www.789pdf.com 789书库网

目　　录

序言 …… iii
前言 …… v
编写说明 …… vi
电子测量仪器技术指标索引 …… ix
第 1 章　频率标准 …… (1)
第 2 章　频率(时间)计数器 …… (21)
第 3 章　频率比对器 …… (61)
第 4 章　群时延测量仪 …… (80)
第 5 章　数字式电压、电流、电阻测量仪器 …… (93)
第 6 章　模拟式电子电压表 …… (123)
第 7 章　测试接收机 …… (136)
第 8 章　稳定电源 …… (146)
第 9 章　功率计 …… (187)
第 10 章　噪声发生器 …… (209)
第 11 章　衰减器 …… (223)
第 12 章　相位计 …… (253)
第 13 章　元件参数测量仪 …… (271)
第 14 章　标量网络分析仪 …… (315)
第 15 章　矢量网络分析仪 …… (328)
第 16 章　动态分析仪器 …… (344)
第 17 章　计量测试用波导与同轴元件 …… (365)
第 18 章　无线电干扰场强测量仪 …… (373)
第 19 章　示波器 …… (451)
第 20 章　脉冲信号发生器 …… (502)
第 21 章　频谱分析仪 …… (513)
第 22 章　失真度测量仪 …… (548)
第 23 章　调制度测量仪 …… (577)
第 24 章　低频信号(函数)发生器 …… (600)
第 25 章　射频信号发生器 …… (622)
第 26 章　射频功率信号发生器和功率放大器 …… (661)
第 27 章　扫频仪 …… (671)
第 28 章　数据域仪器 …… (692)
第 29 章　半导体分立器件测试仪器 …… (723)
第 30 章　集成电路测试仪 …… (759)
第 31 章　电声测量仪器 …… (774)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第 32 章 广播音响测量仪器……（808）
第 33 章 电视测量仪器……（895）
第 34 章 载波通信仪表……（939）
第 35 章 PCM 数字通信测量仪器……（949）
第 36 章 纤维光学测量仪器……（964）
第 37 章 移动通信设备综合测试仪……（992）
第 38 章 激光功率、能量测试仪……（1003）
第 39 章 红外测试仪器……（1014）
第 40 章 雷达综合测试仪……（1041）
第 41 章 安全耐压试验仪器……（1064）
附录一 电子测量仪器标准体系及标准索引……（1078）
附录二 电子计量器具检定规程索引……（1084）
附录三 电子测量仪器产品一览表……（1091）
附录四 电子测量仪器国内科研生产主要厂所一览表……（1217）

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电子测量仪器技术指标索引

第1章　频率标准

输出频率……（11）
频率准确度……（11）
频率稳定度……（14）
相位噪声……（15）
频率漂移率……（16）
频率复现性……（17）
开机特性……（17）
输出信号……（18）
谐波失真……（18）
非谐波失真……（18）
日频率波动……（19）
温度范围……（19）

第2章　频率(时间)计数器

（一）频率测量
频率测量范围……（29）
测频灵敏度……（30）
动态范围……（30）
输入阻抗……（30）
闸门时间……（31）
闸门指示……（32）
分辨力……（32）
准确度……（32）
波形适应性……（32）
幅度调制容限……（33）
频率调制容限……（33）
（二）周期测量
周期测量范围……（33）
周期测量灵敏度……（34）
周期测量动态范围……（34）
输入阻抗……（35）
时标……（35）
多周期平均数……（35）
准确度……（35）
分辨力……（36）
（三）时间间隔测量
测量范围……（36）
输入电压范围……（37）
输入阻抗……（38）
启动/停止输入……（38）
触发斜率……（38）
触发电平……（39）
时标……（41）
准确度……（41）
输入脉冲最小宽度……（41）
最高重复频率……（42）
采样速率……（42）
分辨力……（42）
抖动……（42）
触发延迟……（43）
上升/下降时间……（43）
空度比……（43）
脉宽……（43）
（四）频率比测量
测量范围……（44）
输入电压范围……（44）
输入阻抗……（45）
触发电平……（45）
触发斜率……（45）
频率比倍乘率……（45）
误差……（45）
（五）累加计数测量
计数速率……（45）
计数分辨力……（46）
计数容量……（46）
输入阻抗……（46）
输入电压范围……（46）
手动门控方式……（47）

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

B信号门控……（47）
B事件门控……（47）
B-C时间间隔门控……（48）
误差……（48）
（六）显示部分
显示……（49）
溢出指示……（49）
显示单位……（49）
显示位数……（49）
显示时间……（49）
（七）基准振荡器
频率……（49）
日频率波动……（49）
老化率……（50）
短期频率稳定度……（50）
开机特性……（51）
频率调整范围……（52）
频率负载变化……（52）
频率重现性……（52）
温度变化误差……（52）
电压变化误差……（53）
准确度……（53）
时标输出频率……（54）
时标输出波形……（54）
时标输出电压……（54）
时标输出阻抗……（54）
外接标频输入电压……（54）
外接标频输入阻抗……（55）
（八）其它
自检……（55）
输入输出接口……（55）
电压驻波比……（56）
耦合……（56）
损坏电平……（56）
低通滤波器……（57）
手动触发电平范围……（57）
输入通道……（57）
输入衰减……（57）
触发电平输出……（57）
外闸门输入范围……（57）
外部预备输入……（58）
闸门输出……（58）
多通道间串扰……（58）
定标输出……（58）
最大功率消耗……（59）

第3章　频率比对器

输入频率……（74）
输入幅度……（75）
频率准确度……（75）
相对频差……（75）
输出频率……（75）
输出幅度……（76）
倍增倍数……（76）
测量精度……（76）
相位漂移……（77）
非线性误差……（77）
拍频频率……（77）
拍频周期……（78）
检相灵敏度……（78）
系统剩余噪声电平……（78）

第4章　群时延测量仪

载波频率范围……（84）
载波频率刻度误差……（85）
调制频率……（85）
测量频率范围……（86）
调制系数……（86）
载波转换频率……（87）
返回信号载波频率……（87）
同步信号频率……（87）
频标……（87）
扫描重复频率……（88）
扫描带宽……（88）
频率分辨力……（88）
载波频谱纯度……（89）

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

发送电平范围……（89）
接收电平范围……（89）
输出阻抗……（89）
输入阻抗……（89）
群时延测量范围……（90）
群时延分辨力……（90）
测量误差……（90）
噪声影响……（91）
时延校准信号……（91）

第5章　数字式电压、电流、电阻测量仪器

不确定度……（101）
准确度……（101）
基本误差……（106）
工作误差……（109）
温度系数……（109）
线性度……（110）
分辨力……（110）
读数稳定性……（111）
稳定度……（111）
纹波与噪声……（112）
电源调整率……（113）
负载调整率……（113）
频率准确度……（114）
输入电阻……（114）
输入零电流……（115）
输入阻抗……（115）
串模干扰抑制比……（115）
共模干扰抑制比……（116）
波峰因数……（117）
带宽……（117）
电压频率乘积……（117）
波形失真……（118）
最大允许输入电压……（118）
负荷电压……（118）
最大允许输入电流……（118）
最大输出电流……（119）
极限输出电压……（119）
测试电流……（119）
开路电压……（119）
响应时间……（119）

第6章　模拟式电子电压表

固有误差……（128）
频率特性误差……（129）
电压驻波比……（130）
等效输入阻抗……（131）
输入阻抗……（131）
峰值因数……（132）
通道隔离度……（133）
校准电压……（133）

第7章　测试接收机

频率范围……（139）
频率显示精度……（140）
校准电平精度……（140）
相对电平测试精度……（141）
绝对电平测试精度……（141）
电平测量范围……（141）
带宽(3dB)……（141）
输入阻抗及驻波系数……（142）

第8章　稳定电源

输入电压……（168）
额定源电压……（169）
输入功率……（169）
空载输入功率……（170）
输入频率……（170）
额定源频率……（171）
输入交流相数……（172）
输入波形……（172）
效率……（173）
输出电压范围……（173）
额定输出电压……（174）
输出电流范围……（174）
输出功率范围……（175）

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

负载效应……(176)
源效应……(179)
温度效应……(180)
温度系数……(180)
周期和随机偏移……(182)
短期漂移……(183)
长期漂移……(183)

第9章 功率计

工作频率范围……(195)
功率测量范围……(195)
零点漂移……(196)
零点偏移……(196)
细调零范围……(196)
指示器噪声……(196)
指示器误差……(196)
功率测量误差……(197)
功率座接头型式……(198)
波导截面尺寸……(198)
输入阻抗……(198)
功率座的驻波系数……(199)
功率座校准系数……(199)
功率座有效效率……(202)
功率座校准系数误差……(202)
方向性……(202)
插入损耗……(203)
工作阻值……(204)
校准系数档位误差……(204)
记录器输出特性……(205)
最大允许平均功率……(205)
最大允许峰值功率……(205)
响应时间……(206)
功率线性度……(206)
温度影响……(206)
显示方式……(206)
预热时间……(207)
接口功能……(207)
功耗……(207)
电磁兼容性……(207)
可靠性……(207)

第10章 噪声发生器

工作频率范围……(218)
输出超噪比或等效输出噪声温度…(218)
超噪比影响量和气体放电管噪声发生器的稳定性……(219)
电压驻波比……(220)
消耗功率……(221)
平坦度……(221)
冷/热负载噪声发生器使用时间 …(221)

第11章 衰减器

电压驻波比……(239)
衰减范围(衰减量程)……(241)
频率范围(工作频段)……(242)
起始衰减(起始损失)……(242)
分辨率(分辨力) ……(243)
衰减误差(衰减准确度)……(243)
特性阻抗(标称阻抗)……(245)
自校零点(自校零位)……(245)
最大平均功率(或额定功率)……(246)
最大峰值功率……(246)
重复性……(246)
连接器类型(插头座型式)……(247)
工作温度范围……(247)
连接器寿命……(247)
储存温度范围……(247)
衰减步进量……(247)
开关寿命……(247)
驱动电平(电流)……(247)
工作电压……(247)
电调率(衰减电调率)……(247)
开关时间(速度)(控制速度)……(247)
程控接口……(248)
温度系数(温度敏感性)……(248)
功率系数(功率敏感度)……(248)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第12章 相位计

频率范围……(262)
相位量程……(262)
电平范围……(262)
相位分辨力……(262)
相位极性……(263)
相位模糊范围……(263)
相位准确度……(263)
相位-频率特性 ……(264)
幅-相误差 ……(265)
谐波抑制……(266)
通道隔离度……(267)
相位模拟输出……(267)
相位数字输出……(268)
噪声容限……(268)

第13章 元件参数测量仪

内部偏置电压……(282)
外加最大偏置电压……(282)
直流偏置电流……(282)
测试信号频率及误差……(283)
工作频率范围及误差……(284)
测试信号波形失真……(284)
测试信号电压……(285)
测试信号电流……(285)
测量时间(或测量速率)……(285)
测量范围……(285)
电容测量范围及误差……(286)
电感测量范围及误差……(287)
电阻测量范围及误差……(287)
损耗因数测量范围及误差……(288)
品质因数测量范围及误差……(288)
电导测量范围及误差……(289)
复阻抗模值测量范围及误差……(289)
相位角测量范围及误差……(289)
变动量……(290)
分辨力……(290)
残量……(290)
功率消耗……(290)
GPIB 接口 ……(291)
电感值固有误差……(291)
Q 值……(291)
电感值温度影响误差……(291)
电感值年不稳定度……(292)
分布电容……(292)
电容值固有误差……(292)
损耗角正切……(293)
电容值温度影响误差……(293)
电容值年不稳定度……(293)
绝缘电阻……(294)
电容偏差测量范围及误差……(294)
电容温度系数测量范围及误差……(294)
电容漏电流测量范围及误差……(295)
直流极化电压……(295)
最大充(放)电电流……(296)
充电时间……(296)
电阻偏差测量范围及误差……(297)
电阻温度系数测量范围及误差……(297)
测试温度范围及误差……(298)
绝缘电阻测量范围及误差……(298)
总阻(或标称值)测量范围及误差…(298)
接触电阻变化值范围及误差……(298)
动态噪声带宽……(299)
输入电阻……(299)
噪声电压(即滑动噪声)量程及误差
……(299)
端阻测量范围及误差……(300)
平滑性测量范围及误差……(300)
基本测量法直读 Q 量程……(300)
基本测量法直读 Q 误差……(300)
基本测量法有效 Q 量程……(301)
基本测量法有效 Q 误差……(301)
ΔQ 量程 ……(301)
ΔQ 刻度误差 ……(301)
调谐电容器范围……(302)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

调谐电容器误差……（302）
直读电感测量范围……（302）
直读电感测量误差……（302）
相对介电常数(ε_r)测量范围……（302）
损耗角正切值(tgδ)测量范围……（302）
相对介电常数(ε_r)测量误差……（302）
损耗角正切值(tgδ)测量误差……（303）
电压指示范围……（304）
电压指示误差……（304）
磁化电流指示范围……（305）
磁化电流指示误差……（305）
输出电流范围……（305）
输出电流指示误差……（305）
输出电流稳定度……（306）
负载适用范围……（306）

第14章 标量网络分析仪

频率范围……（320）
动态范围……（320）
功率准确度……（321）
检波器频率响应……（321）
扫频斜波输出……（321）
扫频速度……（322）
频率分辨率……（322）
幅度分辨率……（322）
偏置调节范围……（322）
垂直刻度范围……（322）
平滑……（322）
标记……（323）
规一化……（323）
程控功能……（323）
频率准确度……（323）
频率漂移……（323）
稳幅输出功率范围……（324）
输出功率平坦度……（324）
源驻波……（325）
信号纯度……（325）
剩余调幅……（326）
剩余调频……（326）

第15章 矢量网络分析仪

（一）手动网络分析仪
反射测量的幅度和相位频率响应…（332）
传输测量的幅度和相位频率响应…（333）
测试通道噪声电平……（333）
中频增益控制范围和中频增益控制精度……（334）
参考通道输入功率范围……（334）
测试通道动态范围……（335）
方向性……（335）
源端驻波比……（336）
负载端反射系数……（336）
通道隔离……（337）
（二）HP8510B 自动网络分析仪
8510B 指标性能检查……（337）

第16章 动态分析仪器

（一）FRA 动态分析仪
I.信号发生器部分
频率范围……（355）
输出波形……（355）
输出幅度……（355）
波形失真(正弦波)……（355）
输出阻抗……（355）
II.分析器部分
频率范围……（356）
测量范围(幅度)……（356）
输入阻抗……（356）
直角坐标……（356）
极坐标……（356）
对数极坐标……（356）
共模抑制比……（356）
分辨率……（356）
III.其它
绘图……（356）
接口……（356）

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(二) FFT 动态分析仪
I.输入及外特性部分
输入通道数……(359)
输入阻抗……(359)
抗混滤波器……(359)
A/D 精度和字长……(360)
频率分辨率……(360)
频率分析范围……(360)
触发输入……(361)
门槛和延迟……(361)
动态范围……(361)
振幅线性度……(361)
实时处理最高频率……(361)
II.运算、功能部分
时域……(361)
同步时域平均……(361)
自相关函数……(362)
互相关函数……(362)
频谱……(362)
功率谱……(362)
互功率谱……(362)
传递函数……(362)
相干函数……(363)
奈奎斯特图……(363)
概率密度函数……(363)
概率分布函数……(363)
1/1 倍频程……(363)
1/3 倍频程……(363)
三维谱阵图……(363)
细化……(363)

第 17 章 计量测试用波导与同轴元件

衰减量……(367)
电压驻波比和反射系数……(368)
插入损耗……(370)
相移……(370)
有效方向性……(371)
耦合系数……(371)
隔离度……(372)

第 18 章 无线电干扰场强测量仪

频率范围……(393)
频率准确度……(394)
带宽……(394)
总选择性……(394)
正弦波电压准确度……(395)
衰减器准确度……(395)
脉冲响应(幅度响应、重复频率响应)……(396)
充电时间常数……(397)
放电时间常数……(398)
临界阻尼指示器的机械时间常数…(398)
过载系数……(399)
中频抑制比……(400)
镜频抑制比……(400)
其它乱真响应……(400)
互调效应的限制……(400)
随机噪音……(401)
连续波乱真信号的限制……(401)
屏蔽效果……(402)
频率响应……(403)
各向同性度……(404)
阻抗(人工电源网络)……(405)
平衡度(人工电源网络)……(406)
传输阻抗(电流探头)……(408)
插入损耗的校准(吸收式功率钳)…(410)
阻抗(吸收式功率钳)……(411)
环状天线系数……(412)
偶极子天线系数……(412)
对数周期天线系数……(413)
阻抗(耦合单元)……(418)
插入损耗(耦合单元)……(418)
尖峰信号(尖峰信号发生器)……(419)
隔离度(射频隔离网络)……(420)
插入损耗(10μF 穿心电容器)……(420)
阻抗(10μF 穿心电容器)……(421)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第19章 示波器

Y轴位移范围……(462)
Y轴动态范围……(462)
Y轴位移线性误差……(463)
Y轴输入阻抗……(464)
Y轴最大输入电压……(464)
Y轴偏转系数范围与误差……(465)
Y轴偏转系数微调比……(465)
Y轴偏转系数扩展……(465)
Y轴串接偏转系数……(466)
Y轴幅度线性误差……(466)
Y轴频带宽度频率响应……(466)
上升时间……(467)
上冲……(467)
阻尼……(468)
下垂(上斜)……(468)
脉冲顶部不平度……(468)
直流特性……(469)
视在信号延迟时间……(469)
通道延迟时间差……(470)
漂移……(470)
噪声……(471)
共模抑制比……(471)
通道隔离度……(472)
X轴位移范围……(473)
外触发输入电阻……(473)
X轴偏转系数与误差……(473)
X轴频带宽度……(473)
XY相位差……(473)
扫描时间系数范围与误差……(473)
扫描时间系数微调比……(474)
扫描时间系数扩展倍率与误差……(474)
扫描线性误差……(475)
延迟时间范围……(476)
延迟时间刻度线性误差……(476)
触发(同步)电压范围……(477)
触发(同步)门限……(477)
触发(同步)频率范围……(478)
最高触发(同步)频率……(478)
时基晃动……(478)
延迟晃动比……(478)
时基信号输出……(479)
边缘直线度偏差……(479)
垂直度偏差……(479)
平行度偏差……(480)
Z轴输入电阻……(480)
Z轴最大输入电压……(480)
Z轴增辉电压与极性……(480)
Z轴最高调辉频率……(481)
校准信号幅度误差……(481)
校准信号频率误差……(481)
探极输入阻抗……(482)
探极最大输入电压……(482)
探极衰减比……(482)
探极上升时间……(483)
视在功率……(483)
消耗功率……(483)
驻波比……(484)
像点拖曳……(484)
最大记录速度……(484)
余辉时间可变范围……(485)
开机存储时间……(485)
关机存储时间……(485)
最高数字化速率……(486)
垂直分辨率……(486)
水平分辨率……(486)
记录长度……(487)
重复存储带宽……(487)
重复存储上冲……(487)
重复存储上升时间……(487)
单次存储带宽……(488)
前/后触发……(488)
峰值检测……(488)
平均功能……(489)
滚动显示……(489)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

游标测量误差……(489)
外时钟……(490)
记录输出……(490)
存储方式通道隔离度……(490)
存储方式共模抑制比……(491)
存储方式 XY 相位差……(491)
显示功能……(491)
CRT 读出功能 ……(491)
自动控制功能……(491)
信号处理功能……(491)
矢量相位范围与误差……(492)
正交相位……(492)
增益控制器相移……(493)
增益稳定性……(493)
色同步幅度相移……(493)
固有微分增益……(494)
固有微分相位……(494)
垂直满度误差……(494)
宽带……(495)
亮度滤波器……(495)
低通滤波器……(495)
微分滤波器……(496)
色度滤波器……(496)
Y 轴瞬态特性……(496)
箝位特性……(496)
触发(同步)特性……(497)
扫描时间系数误差……(497)
扫描时间系数扩展的误差……(497)
选行……(498)
Y-X 偏转系数……(498)
Y-X 频带宽度……(498)
Y-X 相移……(499)
"双 V""双 H"功能……(499)
脉冲输入显示特性……(499)

第 20 章 脉冲信号发生器

输出脉冲频率……(505)
触发输入信号频率范围……(506)
输出脉冲幅度……(506)
输出脉冲幅度工作误差……(507)
脉冲持续时间……(507)
脉冲前(后)沿……(507)
脉冲延迟时间……(508)
脉冲延迟时间工作误差……(508)
预冲……(509)
过冲……(509)
衰减振荡……(509)
尖峰……(509)
晃动……(509)
平顶倾斜……(510)
电源触发……(510)
单次触发……(510)
输出脉冲直流偏移……(510)
输出阻抗……(511)
输出脉冲极性与倒置……(511)
功率……(511)
最小延迟步进量……(511)

第 21 章 频谱分析仪

有效频率范围……(524)
中心频率误差……(524)
频率参考精度……(525)
频率读出精度……(525)
标记点频率精度……(525)
频谱宽度误差……(525)
频率线性误差……(526)
扫频线性误差……(526)
频率漂移……(527)
剩余调频……(527)
噪声边带……(528)
交流声边带……(529)
静态分辨力带宽误差……(529)
动态分辨力带宽……(530)
动态显示边缘分辨力……(530)
形状因数……(531)
性能无降低最大输入电平……(531)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

无损坏的最大输入功率……(531)
峰值脉冲功率……(532)
输入信号电平灵敏度……(532)
等效输入噪声灵敏度……(533)
峰-谷显示平坦度 ……(533)
相对显示平坦度……(534)
峰-谷频率响应 ……(534)
相对频率响应……(534)
线性显示律误差……(534)
平方显示律误差……(535)
对数显示误差……(535)
标记点幅度精度……(535)
参考电平误差……(536)
中频增益误差……(536)
输入衰减器误差……(536)
中频带宽转换幅度误差……(537)
谐波动态范围……(537)
非谐波动态范围……(538)
显示动态范围……(538)
增益压缩电平……(538)
增益压缩……(539)
剩余响应……(539)
镜频响应……(539)
多重响应……(539)
互调抑制……(540)
互调失真……(540)
视频滤波器带宽精度……(541)
输入阻抗……(541)
校准器输出……(542)
X输出……(543)
Y输出……(543)
Z输出……(543)
本振发射……(544)
扫描时间精度……(544)
消耗功率……(544)
共模抑制……(545)
输入通道串音……(545)
数字滤波器特性……(545)

第22章 失真度测量仪

(一) 电压测量
固有噪音……(564)
电压表测量范围和引用相对误差…(565)
频率响应特性……(565)
输入阻抗……(566)
波形误差……(566)
波形监视……(567)
(二) 失真度测量
固有噪音……(568)
频率范围和频率误差……(568)
输入电压范围……(568)
失真度测量范围及其误差……(568)
基波抑制特性……(569)
残余失真特性……(570)
谐波响应……(570)
输入阻抗……(571)
高通滤波器……(571)
低通滤波器……(571)
选频特性……(572)
自动幅度校准特性……(572)
视在功率……(572)
电源电压变化……(573)
电源频率变化……(573)

第23章 调制度测量仪

基本功能检查……(582)
射频输入特性……(582)
载波频率范围……(582)
输入灵敏度……(582)
调幅度……(583)
频偏……(585)
相偏……(589)
残余调制……(589)
调制抑制……(590)
解调输出失真……(591)
小调制度测量中残余调制的限制与

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

修正……(595)
调制度自动比对系统……(597)

第24章 低频信号(函数)发生器

频率的有效范围……(606)
频段划分与频段重叠……(606)
输出信号频率误差……(606)
频率短期稳定度……(607)
频率长期稳定度……(607)
温度引起的频率变动量……(607)
电源引起的频率变动量……(608)
负载引起的频率变动量……(608)
内部基准频率的误差……(609)
内部基准频率的老化率……(609)
同步(锁相)频率范围……(609)
同步(锁相)所需的外加电压范围…(610)
同步(锁相)捕捉频率范围……(610)
频率转换时间额定值……(610)
输出幅度有效范围……(611)
最大幅度误差(或机内电压表误差)……(611)
衰减器特性……(612)
输出幅度的短期稳定度……(613)
输出幅度的长期稳定度……(613)
温度引起的输出幅度变动量……(613)
电源引起的输出幅度变动量……(614)
频率引起的输出幅度变动量……(614)
正弦信号总失真系数……(615)
三角波或锯齿波的线性度……(615)
额定负载阻抗……(616)
源阻抗和输出阻抗……(616)
不需要的直流分量……(616)
相位噪声……(617)
方波输出幅度的有效范围……(618)
方波输出的占空系数……(618)
脉冲波形失真……(618)
输出接头型式……(619)
使用电源……(619)
视在功率……(619)
过载保护……(620)
双相信号源的相位误差……(620)
单次触发特性……(621)
门控特性……(621)

第25章 射频信号发生器

频率范围(和频段)和频段重叠……(631)
载波频率工作误差……(631)
增量频率范围……(632)
频率重调误差……(632)
载波频率的稳定度……(632)
载波频率的变动量……(633)
内部基准频率……(634)
同步时的捕获范围和捕获所需外加电压……(635)
同步时的同步范围和同步所需外加电压……(636)
合成信号发生器或程控信号发生器的频率转换时间……(636)
载波幅度范围内最大额定输出幅度的工作误差……(637)
衰减工作误差……(637)
输出幅度的稳定度……(638)
输出幅度的变动量……(638)
载波的相对谐波(分谐波、非谐波)含量……(640)
源阻抗和输出阻抗……(640)
辐射和泄漏……(641)
不需要的直流分量和调制频率分量(642)
单边带相位噪声和相位噪声……(642)
输出幅度转换时间……(643)
调幅系数工作误差(正弦调制)……(644)
调幅系数的稳定度……(644)
调幅系数的变动量……(645)
调幅失真(对于正弦调幅信号)……(645)
不需要的调频(由于调幅引起)……(646)
不需要的调频(未调制状态下)……(646)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

载波脉冲包络持续时间……（646）
载波脉冲包络持续时间的稳定度…（647）
载波脉冲包络持续时间的变动量…（647）
载波脉冲的前(后)过渡持续时间…（648）
载波脉冲的脉冲波形失真……（648）
载波脉冲的延迟……（649）
脉冲展宽……（649）
空度比效应……（650）
载波窄通……（650）
频偏工作误差……（651）
频偏的稳定度……（651）
频偏的变动量……（652）
调频失真(正弦调频信号)……（653）
不需要的调幅(调频时)……（653）
不需要的调幅(在未调制状态下)…（653）
内调制频率范围……（654）
内调制信号频率的稳定度……（654）
内调制信号频率的变动量……（654）
内调制信号的输出电压幅度……（655）
内调制输出电压失真……（655）
外调制电压输入端的输入阻抗……（655）
内调制信号输出端的输出阻抗……（656）

第26章 射频功率信号发生器和功率放大器

频率误差……（665）
频率稳定度……（665）
最大输出功率……（665）
功率指示表误差……（666）
输出衰减器误差……（666）
输出阻抗 VSWR ……（667）
载波谐波(失真)……（667）
内方波调制……（667）
外脉冲调制……（668）
增益……（668）
三阶互调……（669）
噪声系数……（669）

第27章 扫频仪

有效频率范围和频段……（680）
扫频宽度……（680）
单频频率误差……（680）
扫频线性误差……（681）
匹配输出电压……（681）
输出功率……（682）
输出电平平坦度……（682）
输出阻抗或源电压驻波比……（682）
输出衰减误差……（684）
频率标志误差……（684）
频率标志分辨率……（685）
载波失真度……（685）
载波的相对谐波含量……（685）
载波的相对非谐波含量……（685）
剩余调频(无调制条件下)……（686）
输出波形对称性误差……（686）
线性偏转因数……（686）
线性显示带宽……（687）
对数显示动态范围……（687）
输入阻抗……（687）
扫频时间……（687）

第28章 数据域仪器

输入阻抗……（701）
逻辑门限……（701）
最大输入电压……（701）
最大时钟速率……（701）
最小时钟宽度……（702）
建立时间……（703）
保持时间……（704）
通道时差……（704）
最小脉冲持续时间……（705）
采样间隔……（705）
最小毛刺识别宽度……（705）
灵敏度……（706）
错误检出精度……（706）

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

准备时间……(706)
接收时间……(706)
DAV 驱动高……(707)
DAV 驱动低……(707)
ATN 驱动低……(708)
数据改变……(708)
内部时钟频率……(708)
时钟延迟……(709)
数据延迟……(709)
时钟宽度……(709)
数据宽度……(710)
高电平……(710)
低电平……(710)
转换时间……(710)
晃动……(710)
预冲……(711)
过冲……(711)
时钟限定……(711)
锁定方式……(711)
锁定方式时的最小脉宽……(712)
延迟触发……(712)
序列触发……(712)
毛刺触发……(713)
毛刺滤波……(713)
触发限定……(713)
同步方式……(713)
异步方式……(713)
反汇编……(713)
触发事件……(713)
字识别……(714)
无关态……(714)
真触发……(714)
假触发……(714)
预触发……(714)
后触发……(714)
毛刺……(714)
分辨力……(714)
存储深度……(714)
定时图……(714)
状态表……(714)
映像图……(714)
比较方式……(714)
特征……(714)
正常方式……(715)
限定方式……(715)
不稳特征……(715)
总线特征……(715)
源方挂钩接口功能……(715)
受方挂钩接口功能……(715)
讲者接口功能……(715)
听者接口功能……(715)
服务请求接口功能……(715)
远地/本地接口功能……(715)
并行查询接口功能……(716)
器件清除接口功能……(716)
器件触发功能……(716)
控者接口功能……(716)
矢量存储器……(716)
归零数据……(716)
不归零数据……(716)
微处理器支撑……(716)
汇编……(716)
宏汇编……(716)
编辑……(716)
伪指令……(717)
连接……(717)
仿真……(717)

第 29 章　半导体分立器件测试仪器

偏压(源表)……(732)
反向(截止)电流(参数)……(733)
偏流(源表)……(733)
反向击穿电压……(734)
饱和压降、正向电压(参数)……(734)
工作电压……(735)
电流放大系数……(736)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

夹断电压,阈电压 …… (736)
电阻(参数)…… (737)
校准电压…… (738)
集电极电压(V/度) …… (738)
基极电压(V/度) …… (738)
集电极电流(A/度) …… (739)
阶梯电压、阶梯电流…… (739)
直流电压源…… (741)
直流电流源…… (741)
阶梯电压、阶梯电流归一化…… (741)
偏差表…… (742)
晶体三极管输入阻抗…… (742)
晶体三极管输入阻抗…… (743)
晶体三极管输出导纳…… (743)
晶体三极管输出导纳…… (744)
晶体三极管电压反馈系数…… (744)
晶体三极管电压反馈系数…… (745)
晶体三极管交流放大系数…… (745)
晶体三极管交流放大系数…… (746)
音频信号源频率和幅度…… (746)
晶体三极管 AGC 参数……(746)
高频信号源频率…… (747)
高频信号源幅度…… (747)
接收机实用灵敏度…… (747)
稳压二极管动态电阻…… (748)
频率稳定度…… (748)
脉冲信号源幅度…… (749)
脉冲宽度…… (749)
脉冲上升时间…… (749)
脉冲下降时间…… (749)
中频衰减量…… (749)
测试功率…… (751)
热敏参数 V_{BE} 温度系数…… (751)
热敏参数 V_{BE} 变化率…… (751)
单脉冲信号脉宽…… (752)
连续脉冲脉宽…… (752)
脉冲周期…… (752)
占空比(或空度比)…… (753)
二次击穿保护时间…… (753)
集电极电流变化率…… (753)

第 30 章 集成电路测试仪

机内直流数字电压表的检定…… (767)
机内直流数字电流表的检定…… (767)
直流参数测试单元…… (767)
直流参数测试单元…… (768)
被测器件供电电源输出电流测试… (768)
驱动器的检定…… (768)
读出器的检定…… (769)
驱动器压摆率的检定…… (769)
驱动器通道时偏的检定…… (769)
驱动器输出电阻的检定…… (769)
动态负载电流的设定范围及精度分辨率检定…… (770)
系统主时钟检定…… (770)
定时脉冲延时、脉宽的检定…… (770)
程控基准电源的量值及精度检定… (770)
其它特殊测试能力的检定…… (770)

第 31 章 电声测量仪器

(一) 测试电容传声器
开路声压灵敏度(级)…… (790)
声压频率响应…… (791)
自由场频率响应…… (792)
动态范围…… (792)
气压系数…… (793)
平均温度系数…… (793)
(二) 信号发生器
频率响应…… (794)
频率准确度…… (795)
频率稳定度…… (795)
压缩…… (795)
非线性失真…… (796)
频谱特性…… (796)
(三) 测量放大器
频率响应…… (797)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

频率计权特性……(797)
时间计权特性……(797)
衰减器精度……(800)
有效值检波特性……(800)
本机噪声……(801)
（四）滤波器
有效带宽……(801)
通带内的衰减……(802)
通带外的衰减……(802)
非线性失真……(802)
（五）电平记录仪
频率响应……(803)
灵敏度……(803)
动态范围……(804)
分辨率……(804)
记录速度……(804)
输入衰减器精度……(805)
整流器响应……(805)

第 32 章　广播音响测量仪器

（一）立体声信号发生器
通电预测功能……(826)
内调制器频率……(827)
内调制器频率误差……(828)
内调制器输出电压……(828)
内调制信号失真度……(828)
输入阻抗及误差……(829)
输入电平……(829)
预加重特性……(829)
频率特性……(830)
输出电平幅度……(831)
输出阻抗……(832)
分离度……(832)
通道串音……(833)
谐波失真度……(833)
信噪比……(834)
副载波抑制……(835)
副载波漏泄……(836)
导频频率误差……(836)
导频频率稳定度……(837)
（二）调频立体声信号发生器
载波频率误差……(838)
射频输出电平误差……(838)
衰减误差……(838)
频偏及误差……(839)
调频失真……(840)
预加重特性……(840)
调频立体声信号分离度……(840)
（三）低频扫频信号发生器
扫频频率范围……(842)
频率误差……(843)
频率重调误差……(843)
扫描时间……(843)
频率响应……(844)
振幅偏差……(844)
输出波形……(845)
输出指示误差……(845)
输出电平误差……(846)
输出阻抗……(846)
（四）高频扫频信号发生器
有效频率范围……(847)
起止扫频，标志扫频的端点频率误差……(848)
窄带扫频或对称扫频中心频率误差……(848)
窄带扫频或对称扫频的带宽误差…(848)
频率标志误差……(849)
频率标志分辨率……(849)
扫频线性误差……(850)
固定扫描输出电压……(850)
比例扫描输出电压……(850)
不稳幅输出电平……(851)
不稳幅输出电平平坦度……(851)
稳幅输出电平……(851)
稳幅输出电平平坦度及稳幅输出电平可调范围……(851)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

源电压驻波比……(852)
载波的相对谐波含量……(853)
载波的相对分谐波含量……(854)
载波的相对非谐波含量……(854)
方波重复频率……(854)
方波占空系数……(854)
方波调制通断比……(855)
(五) 双通道交流毫伏表
工作正常性测试……(856)
误差……(856)
噪声电压……(858)
输入电阻……(858)
输入电容……(859)
输入阻抗……(859)
开路输出电压和失真度……(859)
输出带宽……(860)
输出频率响应……(860)
输出阻抗……(861)
(六) 立体声解调器
单声频率特性……(861)
立体声频率特性……(862)
分离度误差……(862)
单声谐波失真……(863)
立体声谐波失真……(864)
去加重……(864)
信噪比……(865)
输入阻抗……(866)
输出阻抗……(866)
(七) 抖晃测量仪
工作正常性测试……(867)
抖晃测量误差……(867)
计权曲线……(868)
滤波器特性……(868)
脉冲动态特性……(869)
抗调幅特性……(869)
中心频率适用范围……(869)
灵敏度……(869)
频率计……(870)
输出信号……(870)
漂移输出……(870)
到示波器输出……(871)
到记录仪输出……(871)
(八) 自动频率响应检测仪
工作正常性检查……(872)
频率误差……(872)
输出信号失真度……(872)
输出频率响应特性……(872)
输出衰减误差……(873)
1kHz 窄带滤波器特性……(873)
高频带通滤波器特性……(874)
低频带通滤波器特性……(874)
高频频率响应测量误差……(875)
低频频率响应测量误差……(875)
(九) 电压比较仪
调零……(876)
比较范围和测量误差……(876)
频率响应……(877)
(十) 扫频仪
工作正常性检查……(878)
标志频率及误差……(878)
扫频频率范围……(879)
扫频中心频率范围……(880)
扫频宽度……(880)
扫频输出电平……(882)
扫频非线性系数……(882)
垂直灵敏度……(883)
(十一) 双通道分离度计
左、右通道频率……(884)
输入电压范围……(884)
自动电平控制范围……(884)
分离度误差……(885)
(十二) 测量滤波器
通带宽度……(886)
通带内波动……(887)
通带外衰减……(887)
中心频率可调范围……(888)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

中心频率衰减……(889)
阻带……(889)
A 计权响应误差……(889)
放大系数与误差……(890)

第 33 章 电视测量仪器

视频电平指示误差……(916)
取样脉冲……(917)
视频噪声有效值指示误差……(917)
衰减误差……(918)
振幅频率特性……(918)
回波损耗……(919)
微分增益指示误差……(919)
微分相位指示误差……(920)
色度-亮度增益差指示误差……(921)
色度-亮度时延差指示误差……(921)
垂直电压指示误差……(922)
共模抑制比……(922)
振幅-频率特性……(923)
扫描时间指示误差……(923)
扫描线性误差……(924)
矢量相位准确度……(924)
矢量增量准确度……(924)
校准相位准确度……(925)
正交相位调整范围……(925)
色度带宽……(925)
R、G、B 彩色解码准确度……(926)
亮度通道振幅频率特性……(927)
亮度增益误差……(927)
阶梯波非线性失真……(927)
色度三电平幅度准确度……(928)
正弦平方脉冲和条脉冲宽度和行场同步脉冲宽度……(928)
多波群幅度……(928)
多波群频率……(929)
场方波倾斜……(929)
250kHz 方波过冲……(930)
平场信号幅度……(930)
行同步频率……(930)
行、场同步脉冲幅度……(930)
色同步幅度……(930)
色同步相位……(930)
彩色色度相位和色同步相位……(930)
灰度电平幅度……(931)
清晰度线信号幅度和频率……(931)
行倾斜……(931)
副载波频率……(931)
信噪比(电视图像信号发生器的)…(932)
中频三信号发生器输出频率……(932)
中频三信号发生器输出电平……(932)
互调(电视中频三信号发生器的)…(932)
输出频率……(933)
输出功率……(933)
微分增益……(933)
微分相位……(933)
互调(电视频道信号发生器的)……(934)
信噪比(电视频道信号发生器的)…(934)
振幅频率特性(电视频道信号发生器的)……(934)
群时延频率特性……(935)
K 系数……(935)
伴音非线性失真……(935)
交叉调幅……(936)
伴音振幅-频率特性……(936)

第 34 章 载波通信仪表

电平范围……(942)
电平误差……(942)
频率范围……(943)
频率误差……(944)
频率特性……(944)
回波损耗……(944)
谐波失真……(945)
镜频和中频抑制……(945)
选择性……(945)
信号平衡比……(946)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

杂音电平……(946)
衰减误差……(946)

第35章 PCM数字通信测量仪器

内时钟比特率准确度及可调偏置…(957)
伪随机码码长……(957)
字符码码长……(958)
数据输出参数……(958)
误码插入……(958)
接收器再生时钟速率准确度……(959)
接收器再生时钟曳引范围……(959)
误码率及误码分析……(959)
产生的抖动幅度显示准确度……(960)
产生的抖动频率范围和显示准确度
……(960)
抖动幅度测量范围和准确度……(961)

第36章 纤维光学测量仪器

(一) 光功率计
波长范围……(979)
功率范围……(980)
校准准确度……(880)
(二) 光源
(I) 可变波长光源
输出光功率……(981)
波长准确度……(981)
(II) 稳定光源
输出光功率稳定度……(981)
波长准确度……(982)
光谱宽度……(982)
(三) 光衰减器
插入损耗……(983)
衰减准确度……(983)
衰减器的重复性……(984)
波长范围……(984)
衰减动态范围……(985)
(四) 光谱分析仪
测量光功率电平准确度……(985)
光电平测量范围……(986)
波长范围……(986)
波长测量准确度……(986)
(五) 光时域反射计
输出波长带……(986)
输出光脉冲幅度……(987)
输出光脉冲半值宽……(987)
输出光脉冲周期……(987)
菲涅尔反射单程动态范围……(987)
后向散射动态范围……(987)
距离分辨率……(988)
最大测量时间……(988)
响应分辨率……(988)
幅度灵敏阀……(989)
线性度……(989)

第37章 移动通信设备综合测试仪

载波频率精度……(996)
载波频率稳定度……(996)
输出电平精度……(996)
输入/输出阻抗 *VSWR* ……(997)
谐波……(997)
SSB相位噪声……(997)
输出频偏精度和失真……(998)
剩余调频……(999)
射频功率精度……(999)
调制度仪频偏精度和失真……(999)
射频频率计精度和稳定度……(1000)
音频信号源最大输出电平和失真…(1000)
音频电平表精度……(1001)
失真表精度……(1001)
程控与远控功能检查……(1001)

第38章 激光功率、能量测试仪

光谱响应范围……(1006)
能量计灵敏度……(1007)
功率计灵敏度……(1008)
仪器测量的不确定度……(1009)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

修正系数……(1009)
能量分辨率……(1009)
功率分辨率……(1010)
重复频率范围……(1010)
能量(或功率)的测量上限……(1010)
面响应的不均匀性……(1011)
响应时间……(1011)

第 39 章 红外测试仪器

发射率(比辐射率)……(1022)
红外辐射通量(功率)……(1023)
红外光谱辐射通量(功率)……(1024)
探测器积分响应率……(1025)
探测器光谱响应率……(1026)
线性度……(1027)
波数范围……(1029)
波数准确度……(1030)
波数重复性……(1030)
透过率准确度……(1031)
透过率重复性……(1031)
波数分辨力……(1031)
杂光系数……(1032)
I_0线平直度……(1032)
噪声……(1032)
笔响时间……(1032)
温度测量精度……(1033)
测温重复性……(1033)
测温范围……(1033)
温度分辨力……(1034)
视场角……(1034)
距离系数……(1035)
工作距离……(1035)
响应时间……(1035)
环境温度漂移……(1035)
MTF 精度 ……(1038)
PTF 精度……(1038)
重复性……(1039)
最高响应频率……(1039)

第 40 章 雷达综合测试仪

(一) 信号发生器部分
工作频率范围……(1051)
振荡器的频率误差……(1051)
信号源频率的稳定性……(1052)
交流供电电压波动对载波频率的影响……(1052)
振荡器输出最大功率……(1053)
零分贝功率电平……(1053)
信号发生器频谱纯度……(1053)
精密衰减器衰减误差……(1054)
输出功率的稳定性……(1055)
信号发生器输出端的电压驻波比…(1055)
射频功率泄漏……(1056)
方波调制的占空系数……(1056)
方波调制的频率……(1057)
脉冲调制的重复频率……(1057)
脉冲调制的脉冲宽度……(1058)
脉冲调制信号的延时……(1058)
外部脉冲调制或外脉冲触发……(1059)
脉冲调制深度……(1059)
调制状态变化造成载波频率的变化……(1060)
(二) 功率计部分
功率计的工作频段……(1060)
功率测量误差 ……(1060)
功率计输入端的电压驻波比……(1061)
(三) 频率计部分
频率计的频率范围……(1061)
频率测量的误差……(1061)
频率计测频灵敏度……(1062)
脉冲调制 RF 信号频率测量的灵敏度……(1062)

第 41 章 安全耐压试验仪器

输出电压范围……(1069)
输出电压误差……(1069)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

输出直流电压纹波含量……(1069)
输出交流电压波形畸变因数……(1071)
耐压判定电流范围……(1071)
耐压判定电流误差……(1071)
耐压试验持续时间范围……(1072)
耐压试验持续时间误差……(1072)
泄漏电流测量范围……(1072)
泄漏电流测量误差……(1073)
绝缘电阻测量范围……(1073)
绝缘电阻测量误差……(1073)
最大输出功率……(1073)
标准冲击波峰值电压范围……(1074)
标准冲击波峰值电压误差……(1074)
标准冲击波波前时间误差……(1075)
标准冲击波半峰值时间误差……(1075)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第1章 频率标准

第1节 综 述

在相等时间间隔重复发生的任何现象，都称为周期现象。频率是描述周期现象的重要物理量，它表征单位时间内周期性过程重复、循环或振动的次数，用相应周期的倒数表示，单位为Hz（赫兹）。周期为1秒的周期现象的频率为1Hz。频率为NHz的含义是：在单位时间1秒内，某一确定的周期过程一个个周期积累起来，积累的次数为N。任一能获得和维持确定的周期过程的装置都可看成一个频率源，其中产生周期过程的发生器通称为谐振器。当谐振器受到合适的激励时，就能产生振动或振荡，这种振动或振荡是周期性过程。由于激励方法不同，谐振器可以分成三大类，即机械谐振器（如摆、平衡轮、谐振音叉等）、电磁谐振器（如L-C回路、微波谐振腔等）、原子谐振器（如汞离子、碘分子、氢原子、铯原子等）。相应的频率源也可按谐振器主要特性分成三大类。

频率源的应用十分广泛，从我们的日常生活到国防、国民经济和科学技术无不与之密切相关。在使用时，人们往往把频率源看作是"标准"。但从计量学的角度说，"频率标准"（简称频标）是专指高质量的频率源，严格地用在为其它频率源作参考的那些频率发生器上。目前主要有两类，一类是原子谐振器制成的原子频率标准，另一类是机械谐振器中的石英晶体谐振器制成的石英晶体频率标准。从频率的量值传递关系看，频率标准又可分成国家基准、一级标准，二级标准。二级以下频率源实际上是作为工作计量器具使用的。目前我国的频率国家基准是按国际单位制（SI）基本单位秒的定义复现原子秒的铯原子束基准装置。一级频率标准为按原子秒定义制造的，可以给出一定的准确度的小型铯原子束标准。二级频率标准为不能直接给出准确度、需经频率基准或一级频率标准校准后，才能给出准确度的其它频率标准。

由于周期运动的频率和周期互为倒数的关系，因而频率标准和时间标准原则上是一致的。（但是时间标准除了要有标准的尺度外，还要选定计时的起点。）我们在回顾频率源研究的历史时，不能不追溯到人类对周期运动（时间）研究的起始。对于恒星年的周期研究，我国最早的记载是公元前654年，当时人们利用最古老的天文仪器"表杆"和"圭"来测定回归年的周期和黄赤交角。据考证，这种方法早在公元前13～14世纪时我国殷人就已开始采用了。公元前4世纪我国和西方国家先后都采用了"日圭"利用日影的方向来观测太阳"运动"的周期。公元前1500年之前，人们还利用一定条件下滴水等时性原理，制成了"刻漏"。公元8世纪我国已制成水力传动产生周期过程，并加以计数的机械钟。欧洲直到公元14世纪初才制成重力传动的机械钟。1602年伽利略利用摆的等时性制成了机械摆钟，使周期运动的研究与测定进入一个新阶段。1880年居里（Curie）兄弟发现压电效应，1917年尼科尔森（Nicolson）首次实现用压电晶体在电路中控制振荡器的频率。1921年卡迪（Cady）首次用石英谐振器控制电子管振荡器的频率，开创了对石英晶体振荡器广泛深入的研究。1927年第一台石英钟问世。第二次世界大战后期，相继开展了高频晶体谐振器的研制以及相应的温度控制和电路的研究，使作为频率标准的石英晶体振荡器的稳定性不断改进。

最初的时间（频率）标准是由天文观测得到的。以地球自转周期为标准测定的时间称为世界

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

时（UT 时），定义地球自转周期的 86400 分之一作为世界时的 1 秒。世界时又分为三类。直接通过天文观察求得的时间称为零类世界时（UT0），这个观察值随观察地点不同而不同。在零类世界时基础上，加了地极修正后的世界时称为第一世界时（UT1）。在第一世界时的基础上，修正了地球自转速率季节性变化后的世界时称为第二世界时（UT2）。但是 UT2 受地球自转速率长期无规律变化的影响，仍然不够均匀，其时间标准的准确度只能达到 10^{-8} 量级。以地球环绕太阳公转的周期一年作为计时标准称为历书时（ET）。历书时的准确度可达到 1×10^{-9}。世界时和历书时都是以地球的自转或公转周期作为计时标准的，它们由精密的天文观测获得，观测复杂，费时很长，准确度不高。

利用十分均匀的物质微观运动周期作为频率（时间）的自然标准的设想，是随着原子物理学的发展而产生的。20 世纪 20 年代后期，微波技术研究中第一次把磁场中自旋的量化取向与谐振现象联系起来，30 年代首次在微波波段进行了频谱实验，同时在波谱学研究中发展了原子和分子束谐振技术。1948 年美国国家标准局研制成功第一台完整的“原子钟”，利用氨分子微波吸收线来稳定石英晶体振荡器的频率。1953 年美国哥伦比亚大学试验成功“氨脉泽”——微波受激辐射放大器（现译名为“激射器”），这代表了利用分子或原子的微波谐振作为频率标准的另一途径。1955 年英国国家物理实验室研制成功世界上第一台铯原子频率标准。1958～1959 年间美国、加拿大、瑞士等国也相继研制成功实验室铯原子频率标准。1957 年普林斯敦大学通过观测微波吸收来检测铷（Rb^{87}）微波跃迁，美国国家标准局研究成功光抽运 Rb^{87} 的新技术，推进了铷原子频率标准的发展。1960 年哈佛大学研制成功第一台氢激射器，它具有很高的稳定性和很纯的频谱。1967 年 10 月国际计量大会决定时间单位秒长的新定义为铯（Cs^{133}）原子的两个特定的基态超精细能级之间跃迁辐射的 9192631770 个周期所持续的时间为 1 秒。为了从物理上实现所定义的单位而建造、使用的标准，在世界上主要的国家标准实验室里运行的，都是高稳定的实验室型铯束谐振器。

频率标准的研究和生产在我国的起步时间与世界发达国家相比不算太晚。50 年代初我国科学工作者王天眷就参加了世界上第一台氨激射器的工作。1964 年我国第一台氨激射器在上海天文台试验成功。1965 年北京大学和 1071 所合作研制成功光抽运汽泡型原子频标样机。1969 年 1071 所与 1412 所合作，实现了第一台密封铯束频标的联试。1972 年上海天文台研制成功第一台氢激射器。上海计量局、中科院武汉物理所、4404 厂等单位也相继研制成氢激射器频率标准。实验室铯束频率基准主要由中国计量科学研究院研制，并于 1981 年通过国家鉴定。铷原子频标的研制单位比较多，特别是铷汽泡型频率标准，从 70 年代中开始，中科院上海光机所、上海国荣灯具厂、北京大学、768 厂、867 厂、中科院武汉物理所、南京电讯仪器厂等单位都有研究成果或研制产品，有的单位还形成了小批量生产能力。中科院武汉物理所和原七机部二院计量站（现航空航天部 203 所）合作，研制成功铷激射器频率标准。进入 80 年代，我国的原子频标向着实用化、小型化、改进性能、提高可靠性方面发展。中国计量科学研究院对大型铯频率基准进一步改进，准确度指标 1986 年评定结果比初建立时提高了半个数量级。上海天文台、上海计量局、航空航天部 203 所及陕西天文台、中国计量科学研究院等单位对氢原子频率标准的应用、改进和小型化方面都做出了自己的贡献。铷汽泡型频率标准实用化、小型化发展较快，已在我国的航天、测绘、天文、勘探、计量等各领域广泛应用，基本上可替代进口设备。其中以机电部 768 厂、867 厂和南京电讯仪器厂较为突出，他们在北京大学、中科院武汉物理所等单位的协助下，铷频标小型化取得了较大进展，并已定型生产。小型铯束频标研制中，机电部 1027 所的样机于 1985 年通过了部级鉴定，北京

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

大学、机电部 12 所在小型铯束样管的研究和性能提高研究方面都有新成果。此外光频标等新型频标的研究工作也已起步，并在激光稳频、光频频率合成、光抽运新技术等方面取得了成效。

频率标准不外乎是为了产生一个频率尽可能稳定和准确的周期信号而建立的装置。目前国内外实用型频率标准从产生周期信号的物理机理来分类只有两类，一类是石英晶体振荡器频率标准，另一类是原子频率标准(原子频标)。下面，进一步分类作些介绍。

(一) 石英晶体振荡器频标

石英晶体振荡器是用途很广的频率标准或频率源。由于它的短期稳定性相当好，并具有耐震、价廉、体积小等优点，被广泛用于工业、国防、科学研究等各部门。石英晶体振荡器是由石英晶体谐振器，加上电子放大器反馈和电源而制成的，其输出频率主要决定于石英谐振器的特性，而石英晶体的谐振频率，主要取决于它的尺寸和振动模式。天然压电石英原料将其按一定的轴向角度切割成不同尺寸和形状的晶体片或毛坯，使其具有特殊的压电性质，采用不同的切角(标准切型)，可获得不同的振动模式和频率范围（参见表 1-1)。石英谐振器受激谐振可以在其基本谐振频率(基频)发生振动，也可以在其基频的倍数(称为泛音)激起振动。用石英谐振器控制晶体管振荡电路就构成了石英晶体振荡器。影响石英谐振器频率稳定的因素，主要是温度和晶体老化，即频率随温度变化(温度特性)和频率随时间的变化(长期漂移)是石英谐振器的主要特征。此外，应力(振动和加速度)效应、晶体电流效应、核辐射效应等都将影响谐振频率的稳定。因此晶体振荡器频标的频率准确度需要定期校准。

作为频率标准的石英晶体振荡器可以按石英谐振器的谐振频率分为 2.5 MHz、5 MHz、10 MHz、100MHz 等多种。也可以按恒温控制层分为单层恒温和双层恒温两类。还可以按性能特征不同分为精密晶体振荡器、高稳定度晶体振荡器、温度补偿晶体振荡器，压控晶体振荡器和特殊设计的晶体振荡器等几类。

表 1-1　石英晶体谐振器的类型举例

类　型	通常名称	振动模式	频率范围
A	AT 切型	厚度切变	0.5～600MHz
B	BT	厚度切变	1～30MHz
C	CT	面切变	300～1000kHz
D	DT	面或宽度切变	200～750kHz
E	+5°X	伸缩	60～300kHz
F	−18°X	伸缩	60～300kHz
G	GT	伸缩	100～500kHz
H	+5°X	长宽弯曲	10～100kHz
J	+5°X	双倍长厚弯曲	1～10kHz
M	MT	伸缩	60～300kHz
N	NT	长宽弯曲	10～100kHz
K	X-Y 棒	长宽弯曲或长厚弯曲	2～20kHz

为了推进晶体振荡器研制水平的提高，我国从 1979 年开始至今，共举行了四届全国高稳定度晶体振荡器(高稳晶振)及部分温度补偿、压控晶体振荡器的评比测试。表 1-2 列出了第四届比对

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

评比的部分结果，大致反映了我国高稳晶振研制和生产上达到的水平。

表 1-2 第四届全国晶振比对测试结果

技术指标	5MHz	10MHz	100MHz	1000MHz
日老化率	6×10^{-12}	3×10^{-12}	2×10^{-10}	5×10^{-8}
日波动	2.3×10^{-11}	2.8×10^{-11}	8×10^{-10}	1.8×10^{-8}
重现性	1.9×10^{-10}	4.2×10^{-11}	2.9×10^{-9}	4.7×10^{-8}
稳定度（/1s）	3.6×10^{-13}	5.7×10^{-13}	3.7×10^{-12}	
相位噪声(dBc/10Hz)	—137.5	—132	—103	
阻性负载	8×10^{-12}	1×10^{-12}	1×10^{-10}	
容性负载	1×10^{-12}	1.5×10^{-11}	1×10^{-10}	
感性负载	1.5×10^{-11}	4×10^{-10}	1×10^{-9}	

（二）原子频标

原子频率标准(更广泛地说应该是量子频率标准)不仅应用于时间频率的计量服务系统，还广泛应用于导航、通信、电视、导弹和卫星的发射与控制、天文观测、大地测量、矿物勘探、精密仪器校准、电网调节，乃至高速交通管理等部门。原子频率标准(原子频标)是利用原子或分子内部能级间的量子跃迁现象制成的。主要由量子系统、标准信号源、频率控制系统等三部分组成。量子系统承担谐振器的作用，提供一个线宽极窄、准确而稳定的谐振谱线作为参考标准。标准信号源通常是石英晶体振荡器，它的频率受控于谐振谱线，并维持和谐振频率相近的准确度。频率控制系统完成电子伺服工作，其电路可以是锁相环路，也可以是锁频环路，合理地设计环路可使受控的标准信号源输出频率更好地重现原子(或分子)谐振器的优良特性。

原子频标一般分为两大类：主动型和被动型。主动型又称自激型或称激射振荡型，其量子系统能主动产生受激发射的振荡信号，具有很高的频率稳定性和准确性，可以直接作为标准使用，实际使用时是利用锁相技术，以激射振荡信号作参考去锁定石英晶体振荡器的振荡频率。这类原子频标有氨分子频标、氢激射器频标、铷激射器频标等。被动型又称非自激型，其量子系统不能主动发射标准频率信号，而只起鉴频器作用，需要一台受控振荡器提供频率探索信号，当该信号频率偏离原子(分子)跃迁频率时，量子系统给出误差信号通过频率自动调整电路调整振荡器频率，使之趋近于原子(分子)跃迁频率。这类原子频标有铯原子束频标、铷原子汽泡频标、铊原子束频标、氧化钡分子束频标等。

原子频标的优劣主要由它的输出信号品质决定，可用频率准确度、频率稳定度、频率复现性来表征。影响原子谐振频率的主要因素有磁场影响、原子磁撞影响、谐振腔相位差影响、噪声影响、微波谱不纯影响、多普勒效应、谐振腔牵引等。因此，在设计和制造原子频率标准时，都试图把可能存在的所有因素的影响减至最小，并使它们尽量不随时间变化。

(1) 非自激型频标

非自激型原子(分子)束频标。所谓原子(分子)束是指在真空中沿一定方向运动的原子(分子)流，在束中的原子间没有相互碰撞，基本上可看成是自由原子，有较窄的谱线。束型频标利用了这

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

一特点，可以获得很高的准确度。例如铯束频标准确度已高达 10^{-14} 数量级，商品铯束频标的准确也达到 10^{-12} 数量级。我国的大型铯束频标准确度评估在 10^{-13} 数量级。实验室大型铯束频标准确度估计方法是：先分项估计互相独立的各项误差，然后再平方相加再开方，即得其准确度。表 1-3 列出了我国铯束频标准确度估计结果。表 1-4 列出了美国铯束频标的估计结果。

除铯束频标外，美国于 1962 年曾将一台铯束频标改装成铊束频标，还有一些国家也研制了铊束频标，但由于检测器问题解决不好，性能一直未能超出铯束频标。美国陆军电子学实验室等在 1968 年完成了氧化钡分子束频标初样的试制。1972 年曾报导过氢原子束频标的实验。

表 1-3　中国大型铯束频标准确度估计

误　差　源	铯 2 (CsII)	铯 3 (CsIII)	
	1981	1981	1986
腔相位差	2.5×10^{-13}	2.5×10^{-13}	1.2×10^{-13}
二级多普勒效应	0.5	0.3	0.4
$\bar{H}e$ 值	0.1	0.3	0.5
$\bar{H}_e^2 \neq \bar{H}_e^2$	0.2	0.2	0.02
$\overline{Hc(e)} \neq \overline{Hc(L)}$	0.1	0.03	0.02
腔失谐	0.6	0.6	0.1
频谱不纯	2.5	3.2	2.0
邻线重叠	0.02	0.03	
伺服系统	2.0	1.3	0.6
不确定度	4.1×10^{-13}	4.5×10^{-13}	2.5×10^{-13}

表 1-4　美国大型铯束频标准确度估计

误　差　源	偏差($\times10^{-13}$)	误差 ($\times10^{-13}$)
腔相移	3.3	0.80
二级多普勒频移	−2.8	0.10
C 场偏置	+1767	0.02
磁场不均匀	+0.02	0.02
放大器漂移	0	0.1
二次谐波失真	0	0.2
微波频谱	0	0.1
腔拖曳	0	0.01
系统偏差所致之方均误差		0.87
无规误差(随机)		0.15

非自激型光抽运汽泡式频标。这种频标是把原子饱和蒸汽充入玻璃泡中，然后放入微波谐振腔内，为了增加鉴频用的标准谱线的信噪比和减小线宽，提高稳定度，一般采用光抽运、光检测和在泡内充缓冲气体三个措施。这类频标比较成熟的是光抽运铷汽泡式频标，它的优点是量子系统结构简单，便于制作和小型化，价格低廉，特别是取样时间在 100 秒以下的频率稳定度比铯束频标略好一些，因此虽然只是一种二级频标，准确度较差，仍有大批用户。目前商品铷汽泡原子频标主要技术性能见表 1-5。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 1-5 商品铷汽泡型频标主要技术性能

指标 \ 型号	XSR（德国）	HP5065（美国）
频率漂移率	$\pm1\times10^{-11}$/月	$\pm1\times10^{-11}$/月
频率稳定度		
$\tau=1s$	6×10^{-12}	5×10^{-12}
$\tau=10s$	1.5×10^{-12}	1.6×10^{-12}
$\tau=100s$	5×10^{-13}	5×10^{-13}

（2）自激型频标

自激型微波激射器频标。这种频标显著特点是它的信号频谱极纯，因而短期频率稳定度更高。已研制成功的主要有氨分子激射器频标、光抽运铷激射器频标、氢原子激射器频标。其中氨分子频标是世界上第一个获得成功的量子激射器频标，从 1954 年起开始应用，经历了十几年的研究历史，为激射器的发展奠定了基础，其准确度达到了 1×10^{-11}。由于其它高性能频标的出现，对其研究已不再深化，并被放弃作为频率标准。铷激射器频标是在 60 年代后期研制成功的，主要优点是秒级以下短期频率稳定度很好，可应用于某些特殊用途，在我国国防计量系统，已作为短期稳定度计量标准实际应用。至今只有苏联、美国、加拿大和我国少数几个国家开展铷激射器频标研究工作，实际指标已达到稳定度为 $1.3\times10^{-13}\tau^{-1}(\tau\leqslant1s)$。

表 1-6 各国的氢频率标准性能

国别、单位	频率稳定度	长期稳定性	准确度
美国 哈佛大学		2×10^{-14}/天	1.4×10^{-12}
Varian	5×10^{-13}/秒	2×10^{-14}/天	
NASA-GSFC	6×10^{-13}/秒	1×10^{-14}/天	2×10^{-12}
SAO	1×10^{-13}/秒		
	2×10^{-14}/10秒	2×10^{-15}/天	
法国 LHA	$4\times10^{-13}/\tau$	1×10^{-14}/天	
	$\tau\leqslant40$秒		
英国 NPL	1.1×10^{-13}/15秒	5×10^{-15}/天	2.1×10^{-12}
瑞士 LSRH	5×10^{-14}/100秒		
西德 PTB	6×10^{-13}/秒		
	9×10^{-14}/10秒	2×10^{-15}/天	2×10^{-12}
苏联	8×10^{-13}	5×10^{-14}/天	3.5×10^{-13}
加拿大 NRC		1.1×10^{-14}/天	2.5×10^{-12}
日本 RRL	7×10^{-15}/100秒	1×10^{-14}/10天	
中国	4×10^{-13}/秒	5×10^{-14}/天	2×10^{-12}

氢激射器频标由于采用了储存原子的技术，发射线很窄，频谱纯度极高，有很高的短期和长期频率稳定度，因此从 60 年代以来，一直受到不少国家的重视。有的国家还作为国家基准使用。以氢频标为频率源制成的氢原子钟已参加国际原子时系统作为计算标准。它还可用于评定测算铯束频率基准准确度的参考信号源，可作为射电天文上甚长基线干涉仪的本机振荡器信号源。在航天飞行跟踪器和卫星发射控制系统、相对论理论某些问题的验证、原子和辐射场相互作用的某

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

些细微效应的研究等方面氢频标都有实际应用。氢激射器频标的研制工作目前仍在继续进行，发展的方向除了继续提高稳定度指标外，主要集中在两个方面：一是提高它的准确度，希望壁移限制准确度提高的难题有所突破；二是实现小型化，以便从实验室搬到野外或航天飞行器中去。各国主要氢频标的性能见表 1-6。

（3）量子频标发展展望

射束型谐振器是原子频标发展的一个方向，这是由于原子束谐振器标准克服了激射型频标严重的腔体频率牵引效应。已开始研究的有氢储存束管、氢储存束频标、氢原子束谐振器、光抽运铷原子束谐振器、汞离子储存管、钙镁原子束谐振器等，预计准确度可达 10^{-13} 数量级，稳定度可达 10^{-15} 数量级，这差不多已是非自激原子束型装置的极限能力。

氢激射器的进一步改进。为了减少壁移和提高壁移测量精度，已发展了可变形储存泡氢激射器、大储存泡氢激射器以及两者结合的氢激射器，壁移修正误差已接近 1×10^{-13}。氢激射器小型化向着空间应用方向发展，采用新工艺和新模式共振腔技术，有希望将激射器减小到长 58 厘米、直径 32 厘米、重 23 公斤、耗电 25 瓦。

激光用于频率稳定，开辟了红外范围研制高准确、高稳定度频率标准的通道。已经取得了多种饱和吸收稳频激光器研究成果，并提出了双光子吸收稳频技术、激光减速激光囚禁技术等建议来提高光频的频率稳定性和准确度。与此同时还要解决提高光频测量准确度的技术难题，实现光频绝对测量，推动光频标的研制成功。用光频标取代微波频标，成为新一代时间频率基准是完全有可能的。激光频率测量水平的进展可参见表 1-7。

表 1-7　激光频率测量的进展

年代	激光器	波长（μm）	频率（THz）	精确度
1967	HCN	339	0.8907595	$\pm10^{-7}$
1968	H_2O	118	2.5279540	
1969	D_2O	84	3.557143	$\pm6\times10^{-7}$
1970	H_2O	28	10.718073	$\pm2\times10^{-7}$
1972	He-Ne/CH_4	3.39	88.376245	$\pm5\times10^{-7}$
1973	CO_2	9.33	32.134266891	$\pm8\times10^{-10}$
1973	He-Ne/CH_4	3.39	88.376181627	$\pm6\times10^{-10}$
1974	CO	5.3	56.168515	$\pm7\times10^{-8}$
1975	Xe	2.03	147.915850	$\pm10^{-7}$
1977	Ne	1.52	196.780269	$\pm1.3\times10^{-7}$
1979	Ne	1.15	260.103184	$\pm1.1\times10^{-7}$
1980	He-Ne/CH_4	3.39	88.376181616	$\pm3\times10^{-11}$

为了使读者对国内外频率标准产品有一个比较具体的了解，现将国内外频标产品的主要性能指标介绍如下。由于频率标准国内外产品品种有限，但型号很多，故仅介绍国内研制生产和引进的主要产品。

优质的晶体振荡器频标如德国 R/S 公司的产品 XSD 型晶体频标，日老化率可达 10^{-12}/天量级，稳定度达到 3.5×10^{-12}/1 秒以内。瑞士 2200 型晶体频标稳定度为 1×10^{-12}/1 秒。美国海军天文台的石英频标日老化率进入 10^{-13}/天量级。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

商品铯束频标国内引进的有瑞士的 3200 型铯束频标，准确度为 $\pm 1\times 10^{-11}$，漂移率 $\pm 5\times 10^{-12}$/日，频率可调性 2×10^{-13} 以下。美国的 HP 5061A 准确度 $\pm 1\times 10^{-11}$；HP5061 (004) 准确度 $\pm 7\times 10^{-12}$；HP5061B 准确度 $\pm 6\times 10^{-12}$；HP5061B(004) 准确度 $\pm 4\times 10^{-12}$，稳定度达到 8.5×10^{-13}/100 秒。德国的 XSC 型铯束频标与 3200 型铯束频标指标相当。国内已有机械电子工业部 1027 所的小型密封铯束频标，通过了样机的部级鉴定，生产这类频标的工艺难关已初步攻克。

表 1-8 国内外产品重要性能指标对比表

指标名称	国外代表性产品指标			国内代表性产品指标		
	铯频标	铷频标	氢频标	铯频标	铷频标	氢频标
型号	瑞士 3210	美国 HP5065A	苏联 CH1-76	计量院 Cs-III	768厂(大华) PO1A 优	上海天文台 工程型
准确度	$\pm 7\times 10^{-12}$		$\pm 1.5\times 10^{-12}$	$\pm 2.5\times 10^{-13}$	$<1\times 10^{-10}$	$\pm 2\times 10^{-12}$
长期稳定性	$\pm 3\times 10^{-12}$/寿命	$\pm 1\times 10^{-11}$/1月			8×10^{-13}/日	
短期稳定度	1×10^{-11}/1s	5×10^{-12}/1s	3×10^{-12}/1s	3.4×10^{-12}/1s	4.2×10^{-12}/1s	2×10^{-13}/1s
	5×10^{-12}/100s	5×10^{-13}/100s	2×10^{-13}/100s	8.5×10^{-13}/100s	6×10^{13}/100s	8×10^{-15}/100s
	$3\times 10^{-13}/10^5$s		3×10^{-14}/24h	$1.2\times 10^{-13}/10^5$s		1×10^{-14}/24h
相位噪声	−95dBc/1Hz	−93dBc/1Hz	−125dBc/20Hz			
	−125dBc/10Hz	−120dBc/10Hz	−135dBc/330Hz			
	−140dBc/1kHz	−140dBc/1kHz	−140dBc/1kHz			
重现性	$\pm 3\times 10^{-12}$		3×10^{-13}		8×10^{-12}	
可调性	$\pm 2\times 10^{-13}$	$\pm 2\times 10^{-12}$				
预热时间	30min	5×10^{-11}/4h				36h
输出频率	1、5、10MHz	0.1、1、5MHz	5MHz	5MHz	0.1、1、5 MHz	1、5、100MHz
谐波失真	−40dB	−40dB		−40dB		
非谐波失真	−80dB	−80dB				
温度范围	0～+50℃	0～+50℃	5～40℃	±0.5℃	+10～+35℃	+15～+28℃
交流电源	110/220V	115/230V	115/220V	220V	220V	220V
直流电源	20～30V	23～30V	22～30V			28V
功耗(AC)	130VA	49W	140VA		120W	150W
(DC)	80W	35W	90W			
尺寸 (长×宽×高)	131×428 ×456mm	133×425 ×416mm	280×480 ×555mm	7×3.5×2.5m	235×450 ×630mm	570×830 ×130mm
重量	25kg	15.4kg	55kg		28kg	250kg
有效期	3 年				3 年	3 年

商品铷频标，除早期的上海国荣灯具厂的 QR 型铷频标、星华无线电仪器厂（867 厂）的 H201 频标外，目前常用的有大华无线电仪器厂（768 厂）的 PO-1 型和 PO-1 优选型，漂移率为 8×10^{-13}/日，稳定度为 4×10^{-12}/1 秒，6×10^{-13}/100 秒。南京电讯仪器厂的 PO30 型和星华无线电仪器厂的 PO1D 型属小型铷频标，长期稳定性为优于 3×10^{-11}/月。从国外引进的除美国 HP5065A 型外，还有德国的 XSR 型铷频标，准确度 2×10^{-11}，长期稳定性为 1×10^{-11}/月，稳定度达到 5×10^{-13}/100 秒。苏联的 ЧI-50 型铷频标，漂移率为 2×10^{-12}/日，稳定度优于 3×10^{-11}/1 秒。

氢频标已有广泛应用，但作为产品还有较大距离。目前除苏联的 CHI-76 型氢频标作为产

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

品推出外，仍为实验室型，优秀的实例如美国史密森天文台研制的氢原子频标，其稳定度达到 $1.5\times10^{-14}/8.3$ 秒。此外法国、德国、日本、加拿大、澳大利亚等国都有出色的成果。我国的氢频标目前只有上海计量局和上海天文台的产品在应用，主要作为频率稳定度的标准使用，长期稳定度进入 10^{-14} 量级。

表 1-8 列出了国内外频标代表性产品的重要性能指标。

第 2 节　分　　类

频率标准按谐振器不同，目前通常分成石英晶体振荡器（简称晶振）频标和量子频标。量子频标又包括分子频标、原子频标和激光频标。分子和原子频标是用分子和原子的微波谱线作参考标准而建成的，可认为是微波谱线频标，这些谱线的频率范围大体上处在 $10^{6}\sim10^{11}$Hz。激光频标是以激光器为基础的，但自由运转的激光器的辐射频率不够稳定，一般只起着受控振荡器的作用，其振荡频率靠分子或原子的光频谱线来控制，因此在原理上属于非自激型频标，这种频标是光频谱线频标，通称光频标。

从实用的角度看，目前分子频标已完成历史任务。光频标由于高分辨激光光谱和光频测量技术的限制，进入实用阶段还有较大距离。但是光频标的稳定度和准确度潜力较大，将来有可能用某种光频标取代现用的铯束原子频标，从而成为频率基准。不过，这大概需要很长的时间。因此，实用的量子频标只有原子频标一类。这也是人们一般只讲原子频标而很少讲量子频标的原因。原子频标按工作原理可分成自激型和非自激型。其中实用的频标仅有铯束频标、铷汽泡频标和氢激射器频标等少数几种。

目前频率标准分类可归纳如下：

- 晶振频标
  - 恒温晶振
  - 温补晶振
  - 高稳晶振
  - 压控晶振
  - 特殊晶振
- 量子频标
  - 分子频标——氨分子频标
  - 激光频标
  - 原子频标
    - 自激型
      - 铷激射器频标
      - 氢激射器频标
    - 非自激型
      - 射束频标
        - 铯基准
        - 铯频标
      - 汽泡频标——铷频标

第 3 节　频率标准技术指标汇总表

频率标准技术指标汇总表（表1-9）汇总了目前实用的石英晶体振荡器频标、铯原子束频标、铷

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

汽泡频标、铷激射器频标、氢激射器频标五种类型的频率标准的技术指标。其中有的属于性能评估，需按检定规程或测试方法进行测试；有的属于产品规格，但不影响作为频率标准使用，不必进行测试；有的可根据具体使用条件或要求，有选择的决定是否测试；有的是作为误差源因素，在准确度评估时考虑，使用时不必测试。汇总表中的46个指标，仅序号为1～12的指标，在第4节中有测试方法。

表1-9 频率标准技术指标汇总表

序号	技术指标	晶振	铯束频标	铷频标	铷激射	氢激射	序号	技术指标	晶振	铯束频标	铷频标	铷激激	氢激射
1	输出频率	●	●	●	●	●	24	重量	●	●	●	●	●
2	频率准确度	●	●	●	●	●	25	尺寸	●	●	●	●	●
3	频率稳定度	●	●	●	●	●	26	C场调节范围		●	●		
4	相位噪声	●	●	●	●	●	27	束流		●		●	●
5	频率漂移率	●	●	●	●	●	28	真空度		●		●	●
6	频率复现性	●	●	●	●	●	29	C场频移		●	●	●	●
7	开机特性	●		●			30	腔相位差频移		●			
8	输出信号	●	●	●	●	●	31	二级多普勒频移		●			●
9	谐波失真	●	●	●	●	●	32	邻态跃迁牵引		●			
10	非谐波失真	●	●	●	●	●	33	磁场不均匀性		●	●	●	●
11	日频率波动	●					34	伺服频移		●	●	●	●
12	温度范围	●	●	●	●	●	35	腔失谐		●	●	●	●
13	谐振频率	●	●	●	●	●	36	微波频谱		●	●	●	●
14	频率可调性	●	●	●	●	●	37	碰撞频移			●	●	●
15	直流磁场稳定性		●	●	●	●	38	光频移			●	●	
16	交流磁场稳定性		●	●	●	●	39	微波功率频移			●		●
17	预热时间	●	●	●	●	●	40	泡壁频移					●
18	温度稳定性	●	●	●	●	●	41	塞曼频移					●
19	交流电源	●	●	●	●	●	42	自旋交换频移					●
20	直流电源	●	●	●	●	●	43	储存温度		●	●	●	
21	功耗	●	●	●	●	●	44	有效期		●	●		
22	输出电压	●	●	●	●	●	45	重调度					●
23	负载特性	●					46	压力稳定性				●	●

第4节 主要技术指标及测试方法

总则

(1) 环境条件

① 环境温度：测试晶体频标在(15～30℃)±2℃，测试铷频标在(20～25℃)±1℃，测试铯频标或氢频标在(20～25℃)±0.5℃范围；

② 环境湿度：(65±15)%；

③交流电源电压：220(1±2%)V，50Hz；

④ 杂散磁场：磁感应强度应小于0.2mT。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 对参考源要求

① 所用参考源的频率准确度应比被测试的频标的频率准确度高一个数量级。

② 所用参考源的频率稳定度应比被测试的频标的频率稳定度好3倍。

③ 所用参考源的单边带相位噪声应比被测试的频标的单边带相位噪声低 10dBc/Hz，其频率值能压控。

(3) 对测量装置要求

① 所用测量装置的测量误差(以二次取样方差的平方根值表示)应比被测试的频标的频率稳定度小3倍，测量带宽应大于取样时间倒数的5倍。

② 所用测量装置的单边带相位噪声应比被测试的频标的单边带相位噪声低 10dBc/Hz。

③ 所用测量装置的测量分辨率应比被测试频标指标高一个数量级。

1. 输出频率

output frequency

频率标准提供的作为参考信号使用的周期性信号的频率，即是被测试频标待评估技术性能的信号的频率。用带右下角标的 f 符号表示。

测试方法：

用电缆将频率标准输出端与通用计数器测频输入端(A)连接起来，计数器调整在频率测量工作状态，直接测量频标的输出频率。依次改变电缆连接频标输出端的位置，由计数器读数(采样时间 $\tau \geqslant 1$ 秒)，得到频标各输出端的输出频率(见图 1-1)。

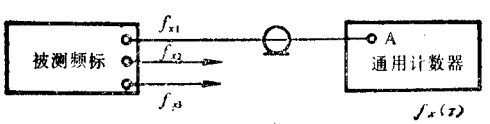


图 1-1

2. 频率准确度

frequency accuracy

频率标准输出频率的实际值与定义值或标称值的相对偏差量。用符号 A 表示。

频率基准的频率准确度是利用分析影响频率偏移的误差源，确定与频率定义值的相对偏差量，进行不确定度合成的办法，独立评定自身的频率准确度。除此之外，各类频率标准的频率准确度都需要与参考频率标准相比较，确定其值，即都需要测量被测频标输出频率与参考频标输出频率的偏差量，当参考频标满足测试要求时，测得的相对频差即为 A 值。

定义值：

$$A = \frac{f_x - f_0}{f_0} \qquad (1\text{-}1)$$

式中 f_x——被测频标输出频率实际值；

f_0——被测频标输出频率标称值。

测量值：

$$\Delta f = f_x - f_r \doteq f_x - f_0 \qquad (1\text{-}2)$$

式中 f_r——参考频标其标称值为 f_0 的输出频率实际值；

Δf——频率偏差量(频差)。

当 $$f_r - f_0 \leqslant \frac{1}{10}(f_x - f_0)$$

时，认为

$$f_x - f_r = f_x - f_0$$

则

$$A = \frac{\Delta f}{f_r} = \frac{\Delta f}{f_0} = \frac{f_x - f_0}{f_0} \qquad (1\text{-}3)$$

由于比较 f_x 与 f_r，测量频率偏差量 Δf 的方法不同，因此 A 值的确定，或被测频标频率准确度校准的方法也有多种。

测试方法：

(1) 频差倍增测频法

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试原理框图，见图 1-2。

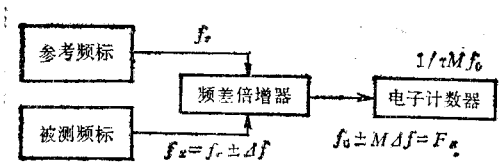


图 1-2

频差倍增器为能将频率偏差 Δf 倍增M倍的频标比对器，通常M为 10^0、10^1、10^2、10^3、10^4等，称为有效倍增系数。电子计数器工作在测频状态，采样时间 τ 取 1 秒、10 秒等，其读数的量化误差（分辨率）为 $1/\tau M f_0$，即读数末位变化一个数相当于相对频率偏差多少。

当被测频标标称频率 f_0 选定后，按 $10A\leqslant 1/\tau M f_0$ 的要求，选择频差倍增器M和电子计数器 τ，并将 f_r、f_x 分别送入频差倍增器对应的输入端。设电子计数器测频读数为 F_x（记单位和小数点）或 F_D（不记单位和小数点），分别按式(1-4)或(1-5)计算A值。

$$A=\frac{F_x-f_0}{Mf_0} \tag{1-4}$$

$$A=\frac{F_D-F_{D0}}{\tau\cdot M\cdot f_0}=R_f\cdot(F_D-F_{D0}) \tag{1-5}$$

式中 F_{D0} 为 f_x 的标称频率计数器读数数值；R_f 为测量分辨率，$R_f=1/\tau M f_0$。

（2）频差倍增测周法

测试原理框图，见图 1-3。

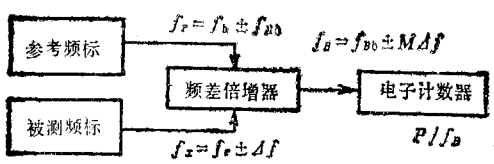


图 1-3

频差倍增器为能将频率偏差 Δf 倍增M倍，并且能将频率标称值由 f_0 变换成低频 f_{B0}，如常为 1kHz 或 10kHz 等，$f_{B0}=f_r-f_0$ 称为差频。电子计数器工作在测周状态，时标信号为 τ_0，可取 1μs，0.1μs，10ns 等。周期倍乘系数为 p，一般计数器的 p 为 10^0、10^1、10^2、10^3、10^4。这种测量方法可通过选择倍增器的 M、计数器的 τ_0 和 p 来提高测量分辨率 R_T，但 p 值确定采样时间 τ，当要求 τ 一定时，p 也就不能改变了。

$$R_T=\frac{f_{B0}\cdot\tau_0}{\tau\cdot M\cdot f_0} \tag{1-6}$$

$$\tau=p\cdot\frac{1}{f_B}\doteq p\cdot\frac{1}{f_{B0}} \tag{1-7}$$

$$f_B=f_{B0}\pm M\Delta f \tag{1-8}$$

将 f_r、f_x 分别送入频差倍增器对应的输入端，取 $\tau=1$ 秒，根据对分辨率的要求 $10A\leqslant R_T$，按(1-6)式确定 τ_0、M，然后用电子计数器多周期测量差频周期的实际值 $T_B=1/f_B$，设计数器读数为 T_x（记单位和小数点）或 T_D（不记单位和小数点的计数器读数数值），分别按公式(1-9)或公式(1-10)计算A值。

$$A=\frac{p/T_x-f_{B0}}{M\cdot f_0} \tag{1-9}$$

$$A=R_T\cdot(T_D-T_{D0}) \tag{1-10}$$

式中 T_{D0} 为 T_x 的标称值（p/f_{B0}）计数器读数的数值。

（3）比相法

测量原理框图，见图 1-4。

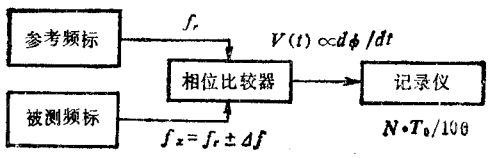


图 1-4

相位比较器为将 f_r 与 f_x 相位差的变化量 $d\phi/dt$ 转化为直流电压量 $V(t)$ 的频率比对仪器，然后由记录仪记录与相位差成比例的 $V(t)$ 值，由记录曲线计算A值。记录仪满刻度记录的相位差对应于两比对信号标称频率的一个周期 T_0，（以时间为单位表征相位变化量），

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

当满刻度为 100 分格时，其记录分辨率为 R_ϕ：

$$R_\phi = \frac{T_0}{100} \qquad (1\text{-}11)$$

将 f_r 和 f_x 分别送入相位比较器输入端，由记录仪连续记录相位差对应的电压值，得到记录曲线。设在测量时间 τ 内（$\tau = t_2 - t_1$ 为起始时刻 t_1 与测量结束时刻 t_2 的时间差，以秒为单位），曲线记了 N 格，可按(1-12)式计算 A 值。

$$A = \frac{T_0}{100} \cdot N \cdot \frac{1}{\tau} = R_\phi \cdot \frac{N}{\tau} \qquad (1\text{-}12)$$

(4) 时差法

测量原理框图，见图 1-5。

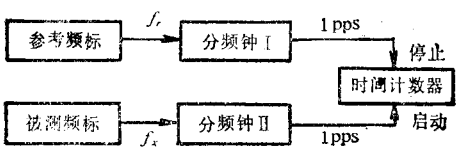


图　1-5

将 f_r 和 f_x 分别送入两个分频钟（或其它分频器），得到两个每秒重复出现一次的脉冲信号（记为 1pps），然后利用计数器测量时间间隔的功能，测量两个秒脉冲信号间的时刻差。时间计数器采用时标为 τ_0，通常取小时标（1μs、0.1μs、10ns 等），目的为了获得高分辨率 R_t：

$$R_t = \frac{\tau_0}{\tau} \qquad (1\text{-}13)$$

τ 为两次测量时间（t_1、t_2）的间隔，即为采样时间 $\tau = t_2 - t_1$。设两次测量的时差值为 $x(t_2)$、$x(t_1)$ 或时差读数数值为 $x_D(t_2)$、$x_D(t_1)$，可按公式(1-14)或(1-15)计算 A 值：

$$A = \frac{x(t_2) - x(t_1)}{t_2 - t_1} \qquad (1\text{-}14)$$

$$A = R_t \cdot [x_D(t_2) - x_D(t_1)] \qquad (1\text{-}15)$$

(5) 接收标准频率测量法

频率标准产生的标准频率可通过无线电信号进行远距离传送，这一其它任何参数不可比拟的特点，使频率(时间)的测量与比较可以通过接收标准频率信号的办法，进行远距离间接比较或校准。目前在我国利用无线电波传送标准频率(时间)的方法有两种：一是建立专用的发播台，如我国陕西天文台建立的短波和长波发播台；二是借助于其它用途的电台，如无线电导航台、电视台、广播电台、通信台等，在这些电台正常业务工作的同时，把标准频率(时间)信息加上去。对应于不同的发播台或电台，可利用相应的接收机接收标准频率(时间)信息，再和用户自己的频标的频率进行比对。各类接收机和必要的频率变换器组成不同的频标比对装置，然后通过上述测频、测周、测相、测时等四类基本测量方法可进行比对测量。

目前国内普遍采用的接收标准频率测量法是接收中央电视台（CCTV）彩色电视信号，利用彩色副载波频率（f_{sc} = 4.43361875MHz）作标准，对被测频标的频率值进行调整或测量，使其具有较高的频率准确度。这个过程一般称为彩电校频，所用装置称为彩电副载波校频仪。由于CCTV 彩色电视信号中的同步信号频率都源于国家频率基准，因此具有很高的准确度。其中利用色同步信号调制的载频 f_{sc} 进行测量的原理框图见图 1-6。

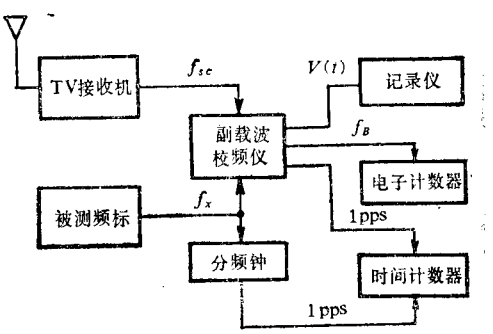


图　1-6

电视接收机接收 CCTV 的彩色电视信号，通过隔离放大器引出彩电副载波频率信号 f_{sc}，送入彩电副载波校频仪输入端，作参考标准信号。被测频标输出频率 f_x 送入彩电副载波校频仪另一输入端，作被测信号，或送入分频钟得

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

到秒脉冲信号。根据校频仪功能不同，可选用三种测量方法，即测量数据采集仪器可选用记录仪、电子计数器或时间计数器。

比相法测量：校频仪可输出 f_{sc} 与 f_x 相位比较后的变化的直流电压 $V(t)$，可用记录仪记录周期性变化的相位差曲线。设在时间间隔 $\tau = t_2 - t_1$ 内记录了 N 格，A 值按(1-16)式计算。

$$A = 5.64 \times 10^{-6} \times N \times R_{\phi} \quad (1\text{-}16)$$

多周期法测量：校频仪输出 f_{sc} 与 f_x 频率比较后的差频周期信号 f_B，可用电子计数器测周工作状态测量 f_B 的多周期值 $p \cdot T_B$，设计数器测量值为 T_x，采样时间为 $\tau = p \cdot T_B$，A 值按(1-17)式计算。

$$A = 5.64 \times 10^{-6} \times \frac{T_x - p/f_{B0}}{T_x} \quad (1\text{-}17)$$

时差法测量：校频仪输出 f_{sc} 经分频后的秒脉冲信号和 f_x 经分频钟分频得到的秒脉冲信号 1pps，可用时间间隔计数器测量两个秒脉冲信号间的时刻差。设在 t_1 和 t_2 两时刻测得的时差值为 $X(t_1)$、$X(t_2)$，A 值按(1-18)式计算。

$$A = 5.64 \times 10^{6} \times \frac{X(t_2) - X(t_1)}{t_2 - t_1} \quad (1\text{-}18)$$

3. 频率稳定度

frequency stability

频率标准的输出频率在某一时间间隔内平均频率的随机起伏程度。时间间隔称为取样时间。根据取样时间的不同分日频率稳定度、100秒频率稳定度、10 秒频率稳定度，1 秒频率稳定度等。频率稳定度用双取样方差(阿仑方差)的平方根值表示，记为 $\sigma_y(\tau)$，τ 为取样时间。基本计算公式为：

$$\sigma_y(\tau) = \frac{1}{f_0}\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\frac{(f_{i+1} - f_i)^2}{2m}} \quad (1\text{-}19)$$

式中 m——取样组数，取样个数为 $m+1$；

f_i、f_{i+1}——分别为第 i 和第 $i+1$ 次测量的频率值(无间隙全连续取样)。

从频率稳定度定义公式(1-19)可看出，$\sigma_y(\tau)$ 是在一定的取样时间 τ 前题下，连续测量 $(m+1)$ 个频率值，经计算得到的，因此测量的基本方法与上述频率准确度测量方法类同。

测试方法：

(1) 频差倍增测频法

测量原理框图见图 1-2。

测量的取样时间 τ 的选择由电子计数器的采样时间决定，一般只有 1ms、10ms、100ms、1s、10s、100s 等几档。在 τ、f_0 一定的条件下，只能选择频差倍增器的有效倍增系数 M。连续测量 $(m+1)$ 次，测得值为 F_{xi}，通常 m 取 100($\tau = 100$ 秒时，m 取 30)，频率稳定度按(1-20)式计算。

$$\sigma_y(\tau) = \frac{1}{M f_0}\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\frac{(F_{x(i+1)} - F_{xi})^2}{2m}} \quad (1\text{-}20)$$

(2) 频差倍增测周法

测量原理框图见图 1-3。

测量的取样时间 τ 由差频周期和电子计数器的多周期倍乘系数限定了，一般只有 1 ms、10ms、100ms、1s 等几档。选定倍增器的 M 值，连续测量 $(m+1)$ 次，测得值为 T_{xi}，m 取 100，频率稳定度按(1-21)式计算。

$$\sigma_y(\tau) = \frac{p}{\bar{\tau}_i^2 M f_0}\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\frac{(T_{x(i+1)} - T_{xi})^2}{2m}} \quad (1\text{-}21)$$

式中 $\bar{\tau}_i$——实测的取样时间平均值：

$$\bar{\tau}_i = \frac{1}{(m+1)}\sum_{i=1}^{m+1} T_{xi} \doteq \frac{p}{f_{B0}} \quad (1\text{-}22)$$

(3) 比相法

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测量原理框图见图 1-4。

测量的取样时间 τ 决定于两次测量时刻的间隔时间，一般取 $\tau \geqslant 1$ 小时。连续等间隔时间测量 m 次，测得值为 N_i（格），当 1 日 $\geqslant \tau \geqslant$ 1 小时，m 取 30；当 $\tau \geqslant 1$ 日，m 取 15，频率稳定度按(1-23)式计算，注意 τ 值以秒为单位。

$$\sigma_y(\tau) = \frac{T_0}{N_0\tau}\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\frac{(N_i - N_{i-1})^2}{2(m-1)}} \tag{1-23}$$

式中 N_0 为记录曲线满刻度数。

(4) 时差法

测量原理框图见图 1-5。

测量的取样时间 τ 决定于时间间隔计数器两次测量的间隔时间，一般 τ 取大于 1 小时，连续等间隔时间测量 $m+1$ 次，测得值为 $X(t_i)$；当 $\tau < 1$ 日时，m 取 30；当 $\tau \geqslant 1$ 日时，m 取 15，频率稳定度按(1-24)式计算。

$$\sigma_y(\tau) = \frac{1}{\tau}\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\frac{[X(t_{i+1}) - X(t_i)]^2}{2m}} \tag{1-24}$$

(5) 接收标准频率测量法

测量原理框图见图 1-6。

由于标准频率在传输过程中稳定度变坏，决定了接收测量法取样时间 τ 必须较长。一般 $\tau \geqslant 30\text{min}$，通常按比相法测量或按时差法测量，等时间间隔测量 m 组，$15 \leqslant m \leqslant 30$，$\tau$ 值以秒为单位。比相法彩电副载波校频仪测量的频率稳定度按(1-25)式计算，时差法彩电副载波校频仪测量的频率稳定度按(1-26)式计算。比相法测得值为 N_i 格，时差法测得值为 $X(t_i)$。

$$\sigma_y(\tau) = 5.64 \times 10^{-6} \times \frac{T_0}{\tau N_0}\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\frac{(N_i - N_{i-1})^2}{2(m-1)}} \tag{1-25}$$

$$\sigma_y(\tau) = 5.64 \times 10^{-6} \times \frac{1}{\tau}\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\frac{X(t_{i+1}) - X(t_i)}{2m}} \tag{1-26}$$

(6) 频率稳定度分析仪法

测量原理框图见图 1-7。

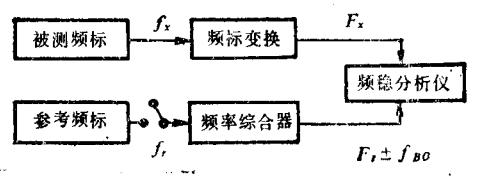


图 1-7

利用频率变换器和频率综合器使 f_x 和 f_r 变成同标称频率并偏差 f_{B0}，用专门设计的频稳分析仪直接测得 $\sigma_y(\tau)$ 值。频率稳定度分析仪通常采用多周期测量或时差测量原理，并具有计算功能或可与计算机接口，测量操作很方便，有的频稳分析仪还能给出 $\sigma_y(\tau)$ 曲线。当频率综合器内装有高稳定晶体振荡器做频率源时，可以不用外接参考频标。

4. 相位噪声

phase noise

频率标准输出频率频谱中偏离 f_0 标称载波频率 f 处在 1Hz 带宽内由噪声的相位调制引起的单边带功率相对于信号总功率（载波加两个对称边带）之比。记为 $\mathscr{L}(f)$。这是由美国国家标准局（NBS）推荐使用的一个量，现在已被普遍地采用来表征频标输出频率在频域内的稳定度。该量与另外二个常用的表征量间有如下的关系：

相位起伏谱密度 $S_\phi(f) = 2\mathscr{L}(f)$ (1-27)

相对频率起伏谱密度 $S_y(f) = (f^2/f_0^2)S_\phi(f)$ (1-28)

测试方法：

测量原理框图见图 1-8。

压控晶振为相位噪声参考标准，鉴相器鉴相灵敏度为 K_ϕ，低噪声放大器增益为 K_A，利

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

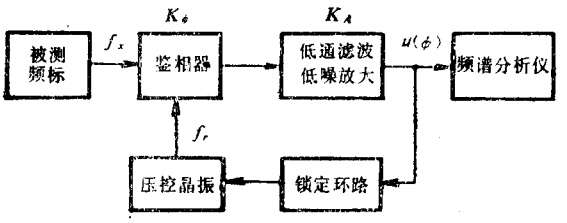


图 1-8

用频谱分析仪测量相位噪声测试仪或比对器输出电压 $u(\phi)$ 的功率谱密度。测量时选择偏离载频 f_0 的频率点，一般取 $f=1$Hz、10Hz、100Hz、1kHz、10kHz，按公式(1-29)计算各频率点处的单边带相位噪声 $\mathscr{L}(f)$：

$$\mathscr{L}(f)=20\lg u_{rms}(f)-20\lg K_\phi-20\lg K_A-3(\text{dBc/H}) \qquad (1\text{-}29)$$

式中 $u_{rms}(f)$ 为 1Hz 带宽内均方根电压值。

5. 频率漂移率

frequency drift rate

(frequency long term stability)

频率标准在连续运行过程中，输出频率值随时间的线性变化称为漂移，单位时间内的频率相对漂移量称为漂移率。若单位时间为日，称为日漂移率，同理有月漂移率、年漂移率之称。石英晶振频标的漂移率主要由于晶体老化效应引起的，故又称老化率 (aging rate)。

漂移率用 K 表示，K_d 表示日漂移率，用最小二乘法计算，其基本计算公式见(1-30)式。

$$K_d=\frac{n'\sum_{i=1}^{n}(f_i-\bar{f})(t_i-\bar{t})}{f_0\sum_{i=1}^{n}(t_i-\bar{t})^2} \qquad (1\text{-}30)$$

式中 n'——每日测量的次数，即 24 小时与取样周期之比；

n——取样个数；

t_i——取样时序，用自然数列表示；

f_i——t_i 时刻测得的输出频率值；

$$\bar{f}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}f_i;$$

$$\bar{t}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}t_i。$$

由基本计算公式 1-30 可看出，K 值测量是采用在 t_i 时刻测量频标输出频率，间隔取样周期后再测量，共测量 n 次。因此基本测量方法仍可采用频率准确度测量框图，只是测量要求不同。K_d 的测量，对于晶振频标，取样周期一般取 12 小时，即 $n'=24/12=2$。对于原子频标，取样周期一般取 24 小时。

测试方法：

(1) 频差倍增测频法

测量原理框图见图 1-2。

测频采样时间 $\tau\geqslant 10$ 秒，连续测量 (4～20)次计算平均值，作为一次测量结果 F_{xi}，间隔 12 小时后再测量一次，依次类推共测 n 次，$n\geqslant 15$，即共得到 15 个以上测得值。此法主要用于晶振频标日老化率测量，K_d 按(1-31)式计算：

$$K_d=\frac{2\sum_{i=1}^{n}(F_{xi}-\bar{F}_{xi})(t_i-\bar{t}_i)}{Mf_0\sum_{i=1}^{n}(t_i-\bar{t}_i)^2} \qquad (1\text{-}31)$$

当 $n=15$ 时，K_d 可按(1-32)式计算：

$$K_d=\frac{\sum_{i=1}^{15}(F_{xi}-\bar{F}_{xi})(t_i-8)}{70Mf_0} \qquad (1\text{-}32)$$

(2) 频差倍增测周法

测量原理框图见图 1-3。

多周期测量采样时间 $\tau=P/f_B$，连续测量(4～20)次计算平均值，作为一次测量结果 T_{xi}，间隔 12 小时后再测量一次，依次类推共测 n 次，$n\geqslant 15$，即共得到 15 个以上测得值。此法主要用于晶振频标日老化率测量，K_d 按(1-33)式计算：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$K_d = \frac{2p\sum_{i=1}^{n}(\bar{T}_{xi} - T_{xi})(t_i - \bar{t}_i)}{\bar{T}_{xi}^2 M f_0 \sum_{i=1}^{n}(t_i - \bar{t}_i)^2} \quad (1\text{-}33)$$

当 $n = 15$，$\tau = 1$ 秒时，K_d 可按(1-34)式计算：

$$K_d = \frac{p\sum_{i=1}^{15}(\bar{T}_{xi} - T_{xi})(t_i - 8)}{70 M f_0} \quad (1\text{-}34)$$

(3) 比相法

测试原理框图见图 1-4。

此法主要用于原子频标 K_d 测量，连续记录相位差曲线 15 天以上，即 $n \geqslant 15$。每天累积计算曲线记录所占的总格数 N_i，作为一次测量值，即取样周期为 24 小时，取样时间也为 24 小时。K_d 按(1-35)式计算。取样时间 τ 要以秒为单位代入，$\tau = 86400$ 秒，记录纸的满刻度格数为 N_0，被测频率标称周期为 $T_0 = 1/f_0$，也以秒为单位代入计算公式。

$$K_d = \frac{T_0 \cdot \sum_{i=1}^{n}(N_i - \bar{N}_i)(t_i - \bar{t}_i)}{N_0 \cdot \tau \sum_{i=1}^{n}(t_i - \bar{t}_i)^2} \quad (1\text{-}35)$$

当 $f_0 = 5\text{MHz}$，$n = 15$，$N_0 = 100$ 时，K_d 按(1-36)式计算：

$$K_d = \frac{1}{6048} \times 10^{-2} \times \sum_{i=1}^{15}(N_i - \bar{N}_i)(t_i - 8) \quad (1\text{-}36)$$

(4) 时差法

测量原理框图见图 1-5。

此法主要用于原子频标 K_d 测量，在时刻 t_1 测量时差 $X(t_1)$，经 24 小时后再测量时差 $X(t_2)$，依次类推共测得 $(n+1)$ 个时差值，要求 $n \geqslant 15$，由 $X(t_2) - X(t_1) = \Delta(t_1)$，依次可得 n 个累积时差变化量 $\Delta(t_i)$。取样周期为 24 小时，取样时间 $\tau = 86400$ 秒，K_d 按(1-37)式计算：

$$K_d = \frac{\sum_{i=1}^{n}[\Delta(t_i) - \overline{\Delta(t_i)}](t_i - \bar{t}_i)}{\tau \sum_{i=1}^{n}(t_i - \bar{t}_i)^2} \quad (1\text{-}37)$$

当 $n = 15$ 时，K_d 按(1-38)式计算：

$$K_d = \frac{1}{12096} \times 10^{-3} \times \sum_{i=1}^{15}[\Delta(t_i) - \Delta(t_i)](t_i - 8) \quad (1\text{-}38)$$

6. 频率复现性

frequency reproducibility

频率标准重复开机输出频率的相对变化量。用频标工作一段时间 t_1 后，关机一段时间 t_2，再开机工作一段时间 t_3 的频率值 $f(t_3)$ 与关机前 t_1 时的频率值 $f(t_1)$ 的相对频差表征。

频率复现性用 R 表示，一般取 $t_1 = t_2 = t_3 = 24$ 小时，或取 $t_1 = t_3 =$ 预热时间。

测试方法：

测量原理框图见图 1-2。

测量取样时间 $\tau \geqslant 10$ 秒，连续测量 (4～20)次取平均值作为测量值 $f(t_i)$，频率复现性 R 按式(1-39)计算：

$$R = \frac{f(t_3) - f(t_1)}{f_0} \quad (1\text{-}39)$$

当用其它方法测量时，可按 (1-40) 式计算：

$$R = \frac{f(t_3) - f_0}{f_0} - \frac{f(t_1) - f_0}{f_0} = \frac{\Delta f}{f_0}(t_3) - \frac{\Delta f}{f_0}(t_1) \quad (1\text{-}40)$$

7. 开机特性

warm-up characteristic

频率标准输出频率在开机预热一段时间 t_a

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

与达到稳定时 t_b 的频率值相对变化量，用符号 V 表示。

测试方法：

测量原理框图见图 1-2。

测量取样时间 $\tau \geqslant 10$ 秒，连续测量（4～20）次取平均值作为测量值 $f(t_i)$，开机预热时间 t_a 按产品技术条件定，稳定时间 t_b 一般取 12 小时或 24 小时，也可按产品技术条件定。开机特性按(1-41)式计算：

$$V = \frac{f(t_b) - f(t_a)}{f_0} \qquad (1\text{-}41)$$

当用其它方法测量时，可按(1-42)式计算：

$$V = \frac{f(t_b) - f_0}{f_0} - \frac{f(t_a) - f_0}{f_0}$$

$$= \frac{\Delta f}{f_0}(t_b) - \frac{\Delta f}{f_0}(t_a) \qquad (1\text{-}42)$$

对于晶振频标，开机特性测量是在开机 1 小时后开始测量，每隔 1 小时再测量一次，共测 8 小时，得 8 个测量值。按(1-43)式计算开机 1 小时后 4 小时内频率的最大变化和开机 4 小时后 4 小时内频率的最大变化。

$$V = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_0} \qquad (1\text{-}43)$$

式中 f_{max}——测量的频率最大值；

f_{min}——测量的频率最小值。

8. 输出信号

signal outputs

频率标准产生的标准信号，除信号频率外，还包括信号波形（waveforms）和输出电压（output level）。

测试方法：

测量原理框图见图 1-9。

利用通用示波器可以观测输出信号波形和幅度，利用电压表可以观测输出信号电压有效值 V_{rms} 伏。测量时需注意被测频标输出与测量仪器之间应按产品技术条件接入规定的负载。示波器和毫伏电压表的具体使用参见有关章节。

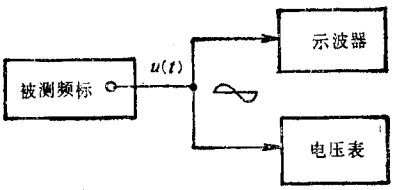


图 1-9

9. 谐波失真

harmonic distortion

频率标准输出信号频谱中谐波电压与基波电压的比值，以 dB 为单位表示，记为 D。

测试方法：

测量原理框图见图 1-10。

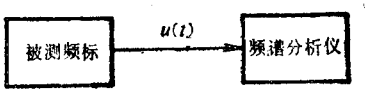


图 1-10

利用频谱分析仪或选频电压表，直接测量频标输出信号的基波电压和 n 次谐波的电压，按式(1-44)计算各次谐波失真：

$$D_n = 20\lg\frac{V(f_n)}{V(f_0)} \qquad (1\text{-}44)$$

式中 n——谐波次数，$n \geqslant 2$；

$V(f_n)$——n 次谐波电压值；

$V(f_0)$——基波电压值。

10. 非谐波失真

non-harmonic distortion

频率标准输出频率信号的非谐波分量电压与基波电压的比值，以 dB 为单位表示。

测试方法：

测量原理框图见图 1-10。

利用频谱分析仪，测量基波电压和 $0.3f_0$ 至 $3f_0$ 之间非谐波分量电压，按式(1-45)计算非谐波失真量：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$D = 20\lg\frac{V(f_{0.3-3})}{V(f_0)} \qquad (1\text{-}45)$$

式中 $V(f_{0.3-3})$ 为非谐波电压值。

11. 日频率波动

daily frequency fluctuation

石英晶振频标经规定的预热时间以后，在24小时内输出频率值的最大变化，记为 S。

测试方法：

测量原理框图见图 1-2。

石英晶振频标预热后，每隔1小时测量1次输出频率值，采样时间 $\tau \geqslant 10s$，采样个数为(4～20)取平均值作为一次测得值，共测24小时，得到25个测得值，取其中最大值和最小值，按式(1-46)计算日频率波动：

$$S = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_0} \qquad (1\text{-}46)$$

式中，f_{max}——24h 内测量的频率最大值；

f_{min}——24h 内测量的频率最小值。

12. 温度范围

operating temperature range

频率标准正常工作的温度界限。超出该温度范围频标不能正常工作，或不能保证频率准确度等主要指标。

测试方法：

被测频标放置在温度可调节的恒温箱内。晶振频标可按图 1-2 测频法框图测试，原子频标可按图 1-4 比相法框图测试。温度变化可按5℃或10℃步进调节，在测试点温度保持稳定，测试频率准确度应符合技术条件要求。

利用 n 个测得值 $\frac{\Delta f}{f}(T)$，按差分计算法或按最小二乘法估算，可求解出温度变化引起的频差变化量 $\frac{\Delta f}{f}\Big/\Delta T$ 或线性变化的温度系数 $\frac{\Delta f}{f}/℃ \leqslant$ 产品指标值。

* * *

本章技术指标和测试方法中所用的主要测试仪器，汇总列表如下。

表 1-10 主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
时频国家基准	NIM-CsIII	
频率综合器	HP8662A、HP3325A	JJG502-87
频率稳定度分析仪	HP5390A	
频标比对器	法国 4110A、苏联 Ч7-12、PO7A、PO7B	JJG（航天）24-87
通用计数器	HP5345A、E324、TR5589	JJG349-84
线性相位比较器	HPK34-59991 XKP、1201A	JJG433-86
频谱分析仪	HP3582A、HP3580A	
电压记录仪	HP680M	
相位噪声测试仪	XZF、DPF	
计算计数器	EE3301、HP5360A	
正弦信号发生器	XD1、TF1101	JJG（电子）15002-88
毫伏表	DA22	JJG308-83
彩电副载频校频仪	JP-4、CPB-3A	JJG434-86
低频标准信号接收机	L-C2000、	
分频钟	瑞士 2205、H241	
通用示波器	SBM-14、SR12、COS-5060	BG6585-86

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第五节 频率标准量值传递表

根据国家计量检定系统表 JJG2007-87《时间频率计量器具检定系统》的统一规定，频率标准的量值传递可按基准器具、标准器具、工作器具三个层次检定传递。由于频率量值的特殊性，可以按量值传递表(检定系统)逐级传递，也可在满足量值准确一致的条件下，直接传递到工作器具。逐级量值传递的检定系统表如下：

频率标准检定系统框图

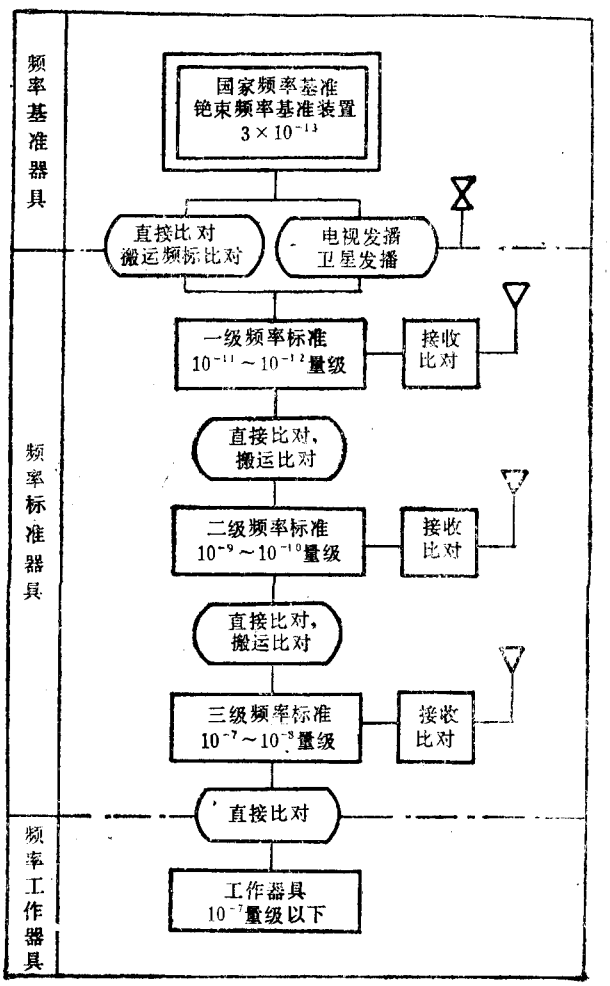


图 1-11

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第2章　频率(时间)计数器

第1节　综　　述

采用电子学的方法测量出在一定时间内的脉冲数目，并显示出结果的仪器称为电子计数器。主要用于测量频率和时间，其测量精度是所有仪器中最高的。一般包括频率计数器，时间(间隔)计数器，通用计数器(计算计数器、智能计数器、倒数计数器)，微波频率计数器和特种计数器。

计数器早在30年代初期就应用于原子结构的研究中，用来测量微观粒子数目，所以早期也称作粒子计数器。这种粒子计数器由两部分组成：一部分把接收到的粒子数转换为电脉冲数；另一部分是测量设备，测量探测器输出的脉冲数，这就是电子计数器的雏形。

电子计数器可以用来测量脉冲数，那么只要能把别的物理量转化为电脉冲，同样可用电子计数器进行测量。例如，把正弦波电磁信号通过整形变为脉冲信号，这样正弦波频率的测量就变为计数每秒钟的脉冲数，随着数码管等直接数字显示器件及设备的发展，这种仪器将测量结果显示为醒目的数字，这就是频率计数器。

50年代以来，电子计数器已从测量粒子数的专用设备演变为应用广泛的通用数字仪器。以电子计数器为基础，加上适当的变换装置，把各种电量及非电量变换为脉冲数，可以做成各种各样的数字仪器，如频率、时间间隔、电压、电流、电阻、相位等数字仪器。

国内外频率测量仪器的发展，大体上可分为三个阶段，即外差式、谐振式频率计阶段，数字式频率计阶段和智能化频率计阶段。

(一) 外差式、谐振式频率计发展阶段(50和60年代)

国外在40年代末就开始了这类频率计的研究工作，而我国在1955年和1957年，武汉中原无线电厂就陆续生产了BC-439型(125MHz)和BC-221型、PW-1型(20MHz)外差式频率计。1963年和1964年，成都前锋无线电厂和北京大华无线电厂先后投产了3GHz的PW-3型和18GHz的PW-10型外差式频率计。这类仪器可测量50Hz到18GHz的频率，测频精度为$10^{-4}\sim10^{-5}$，基本上满足了当时军工和各使用部门的一般要求。

谐振式频率计也是这个阶段发展并大量生产的一类产品。其特点是使用简便、价格便宜，特别在微波波段，是一个测试系统中必不可少的产品或部件。尽管现在数字式频率计已有很大发展，但谐振式频率计仍有其可取之处。

(二) 数字式频率计发展阶段(60和70年代)

国外数字式电子仪器是1950年左右开始出现的，而国内滞后了十年才开始发展。在这个阶段中，除主要发展了数字式频率计外，还发展和派生出了频率扩展装置、时间测量仪、频率标准及校频装置、以及特种计数器等类产品。

1963年，南京电讯仪器厂试制成功的电子管式PJD-5频率计(1.2MHz)，成为我国第一代数字式频率计产品，接着1965年9月又推出了PJD-6型电子计数式频率计(30MHz)。但由于电子管产品庞大笨重，难于进行高速计数。1965年12月该厂投产了全晶体管E312型通用计数

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

器（10MHz）。E312 与电子管计数器比较，体积小、重量轻、耗电少、大量采用印刷电路单元，仪器的系列化、通用化程度大大提高，它是我国频率计技术向数字化、晶体管化发展的一个重要产品。此后，各仪器厂不断采用新技术，扩大新品种，提高测频上限，先后投入了 50MHz、100MHz、300MHz、500MHz、1000MHz 的计数器。

为解决计数器测频上限低的问题，发展了一系列频率扩展装置。全国先后有十多个厂家从事这类产品的试制和生产，开发了约 20 个品种，为我国军事科研和微波频率数字化测量做出了很大的贡献。特别是 40～60GHz 的产品，当时 60GHz 的测频上限在国际商品中居领先地位。

时间测量仪器。我国早期采用示波器测时原理，如 768 厂和哈尔滨电子仪器厂先后生产的 SC-1 型时间测量仪。随着计数器的发展，时间测量也进入了数字化阶段。1962 年南京电讯仪器厂生产了电子管式数字毫秒计，最小测时范围 0.1ms，分辨率 10μs。进入 70 年代，在计数器上增加时间插件，把最小测时范围提高到 0.1μs，分辨率提高到 10ns。1975 年星华仪器厂与成都电讯工程学院合作研制了 PS68 型毫赫计数器，该机采用硬件计算电路实现了等精度测量。进入 80 年代，南京电讯仪器厂生产了 EE3301 型计算计数器、EE3570 型精密测时器，上海无线电仪器厂生产了 S812 型精密时间计数器，又把我国最小测时范围推进到 1ns，分辨率达到 0.1ns。

特种计数器是针对不同使用要求而设计的一种专用计数器。浙江永康仪表厂先后发展了计数装置计数器、闸门时间预置计数器、可逆计数器及预置可逆计数器，南京电讯仪器厂推出可程控多重预置可逆计数器，星华仪器厂推出倒算计数器。

（三）智能化频率计阶段（80 年代）

60 年代初，国外数字式频率计的测频上限已进入了超短波波段。60 年代末期出现了智能化计数器，如 HP5360A。我国在 70 年代末也开始着手智能频率计的开发工作。

进入 80 年代后，我国频率计在技术上主要沿着三个方面继续发展，一是对已有产品进行升级换代；二是努力采用新技术，开发一批新型智能化产品；三是少数厂以技贸合作的方式引进一些国外产品，通过消化吸收，提高自己的水平。

在产品的升级换代方面，各仪器厂都做了不少的工作，取得了较好效果。1970 年上海无线电仪器厂开始采用国产 TTL 集成电路生产 PS-43 数字频率计。1981 年南京电讯仪器厂定型投产了 EE3300 系列产品，在功能上包容了过去生产的产品所具有的全部功能，开始采用中规模集成电路。80 年代初电子部广州通信技术研究所首先推出采用大规模集成电路 IC7216 的频率计数器。1983 年南京电讯仪器厂定型了国内第一台采用大规模集成电路 IC7226 的 E312A 型通用计数器（10MHz），该机集成化程度高，性能优良，可靠性好，体积小，价格低，加上为其配套的一系列产品（E3121A～E3125A 等），可将频率扩展到 1000MHz，组成一个系列。

1978 年，南京电讯仪器厂与南京工学院、成都电讯工程学院等单位合作，在频率测量技术中引入计算机技术，研制生产了实现高精度测量的 PO10 计算计数器，成为智能计数器开发的良好开端。1982 年又在 PO10 的基础上，改型成功 EE3301 型计算计数器，该机能自动地完成频率、周期、时间间隔和阿仑方差等多功能测量，并对测量结果和数据进行算术运算、数据处理和统计分析，其最佳测频稳定度为 1×10^{-9}/取样时间，最佳测时精度为 1ns，测频范围为 0.01Hz～640MHz。它可用于导航、授时系统、激光测距系统、能量转换等方面的高精度自动化的实时测量，在航天、国防工业和其它领域中得到广泛应用。该机是我国最早采用微处理器的测频测时仪器，并被电子

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

工业部定为我国时间/频率/稳定度等三个方面的标准计量仪器。1984年星华仪器厂改型的XH3321毫赫计数器也采用微处理器,实现了智能化测试。

1985年南京电讯仪器厂定型的EE3366型等精度计数器是继EE3301后智能化仪器的又一进步。该机能对脉冲调制的射频信号频率进行高精度和快速直接的测量,填补我国在这一领域中的空白。该仪器的测量范围宽,频率/频率平均为:0.00005Hz～500MHz;周期/周期平均为:2ns～20000s。该机采用平均频率技术与50ns的闸门时间,实现了脉冲调制载波频率的测量;采用了白噪声调制技术,实现了测时的ns分辨率;用倒数技术实现了等精度测量,而且具有高灵敏度、超宽带的前置放大性能,有GB-IB接口可与其它仪器组成自动测试系统。它的测量功能和技术指标接近国际上至今仍处于领先地位的HP5345A的水平,并且在软硬件设计上有所创新,是我国新一代的智能化通用计数器。上海无线电仪器厂生产的AS3341采用输入信号同步技术进行整周期测量,用10ns时标实现等精度测量,测频上限为100MHz,整机在Z80-CPU的控制下进行测量和数据处理,可存储192个测量数据。

1985年南京电讯仪器厂定型了在宽频带范围内进行高精度快速频率测量的EE3383型微波频率计数器。仪器具有自诊断能力,集成度高,可靠性好,与具有IEEE-488标准接口的计算机连接组成自动测试系统,频率直测范围为10Hz～12.4GHz,克服了过去EE3200系列产品需4台仪器加起来才能完成测试及没有采用微处理器而功能单一的缺陷。EE 3383的技术性能与日本TR-5211型微波频率计数器相当。1987年完成了EE3384型,将单机频率覆盖能力进一步提高到10Hz～18GHz,达到了80年代美国HP5342A的水平。为适应国内目前微波通信频率大多数在8.6GHz以下的需要,1988年推出了廉价的EE3382型,它的频率上限为8.6GHz。

在此期间,北京大华无线电厂也推出了DH3382型(450MHz～18GHz)频率计。国内目前微波计数器已成系列,正在向世界先进水平靠拢。

在发展通用计数器和微波计数器的同时,普及型便携式频率计数器以其价格低、性能好、具有单一测频测周期的功能而得到发展。目前从频段上已成系列产品,其中频段最宽的有10Hz～3000MHz的普及型计数器,如南京电讯仪器厂的EE3397。

目前国内外计数器的水平大致如下:

(1) 测频范围

通用计数器和频率计数器

	国外产品	国内产品
频率覆盖范围	50μHz～3GHz	50μHz～3GHz
分辨率	1nHz	1nHz
代表产品	美国HP5386型频率计数器(10Hz～3GHz) 美国R/D9921型频率计数器(10Hz～3GHz) 日本TR5124型频率计数器(10Hz～1.5GHz) 荷兰飞利浦PM6676型(10Hz～1.5GHz) 美国HP5345A型电子计数器(50μHz～500MHz)	南京电讯仪器厂的 NFC-3000型频率计数器(0.1Hz～3GHz) EE3366型等精度计数器(50μHz～500MHz)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

微波频率计数器

	国外产品	国内产品
频率覆盖范围	50μHz～170GHz	50μHz～60GHz
代表产品	HP5345A 加 HP5355 内插变频器加 HP5356A/B/C/D 变频头(50μHz～110GHz，可测连续波，脉冲波) 美国 EIP548(578,588)加 06 型内插件及波导传感器(可测 10Hz～110GHz) 美国 EIP1230A (26.5～170GHz，可测脉冲/连续波) 英国 Thorn EMI 6030 加插件 (10Hz～110 GHz) 日本 Advantest Tr5200 系列 (10Hz～90 GHz)	南京电讯仪器厂的 EE3366 加 EE3421 变频器(50μHz～18GHz，可测脉冲波) EE3384 型微波频率计 (10Hz～18GHz) EE3200 系列计数器加 EE 3250 系列微波置换装置 (10Hz～60GHz) 大华无线电厂的 DH3382 型微波频率计 (450 MHz～18GHz)

(2) 测时范围

	国外产品	国内产品
测时范围	0ns～10^7s	1ns～10^4s
代表产品	HP 5335A 通用计数器 (0ns～10^7s) HP5370B 时间计数器 (10ns～10s)	EE3366 型等精度计数器(10ns～10^4s) EE3570 型精密测时器(1ns～10s) EE3301 型计算计数器(1ns～100s)
最高分辨率	20ps (单次)、0.5ps(平均)	300ps(单次)、2ps(平均)
代表产品	HP5370B(20ps 单次) PM6654(0.5ps 平均) HP5345A(2ps 平均) SR620(4ps 单次，1ps 平均)	EE3301 型计算计数器(300ps 单次) EE3366 型等精度计数器(2ps 平均)

(3) 灵敏度

	国外产品	国内产品
通用计数器	10mV	20mV
微波计数器	−40dBm	−20dBm

(4) 可靠性

国外 50000 小时(如 HP5345A)，国内 30000 小时 (E312A)。

电子计数器的发展趋向：

(1) ASIC 和通用 LSI 的广泛应用

计数器伴随着电子器件的发展，现在已经到了大规模集成化时代。特别是专用集成电路

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(ASIC) 和大规模集成电路 (LSI) 的出现,给电子计数器的研制与生产提供了极大的便利,使电子计数器在提高性能、简化设计和工艺、提高可靠性、降低成本等方面跨上了一个新台阶。

如 HP 公司自己研制的专用电路 MRC,集计数与计算功能于一体,再配上其首创的倒数技术,就可以组成高性能、低价格的通用计数器。如国内生产的 E312A 等采用了 LSI 代替了原 E312 由数千个晶体管组成的计数板,其性能价格比得到很大的提高。

(2) 广泛采用新型接口以适应计算机自动化测试 (CAT) 的发展

为适应日益发展的自动测试的要求,国外近年来推出的电子计数器都带有通用接口 (IEEE-488 接口),并随着 IEEE-488.2 版接口和适合单板仪器的 VXI 接口标准的出现及推广应用,预计 90 年代将全面替代原有 IEEE-488.1 版,以提高接口功能及测量速度。

(3) 集多种功能于一体的频率计出现

以频率计为主体,可以同时测量电压、电流、电阻、功率、相位、波形,配上传感器可测量转速、流量,还可兼作信号源、函数发生器等多功能的测量仪器得到发展,如 HP5335A 既可以测量频率,又可以测量信号的上升斜率、电压、相位、空度比等。在广泛采用 LSI 和 ASIC 及带有通用接口后,使得电子测量仪器使用更方便,大大地提高工作效率,节约投资。

(4) 不断研究与采用新技术、新工艺

美国 EIP 公司 1989 年推出的采用 VXI 总线的 1230A 和 1231A 型微波计数器,突破了采用 VXI 总线的系统不能测量微波信号的限制,并采用一系列可遥控的波导传感器,将过去只能达到 110GHz 的微波测频上限提高到 170GHz。

美国 HP 公司 1987 年推出的 HP5371A 型频率和时间间隔分析系统是在频率和时间测量范畴内一种全新概念的产品,是 HP 公司推出的第一部采用调制域分析技术的测试仪器,它摒弃了原有的传统技术,应用 HP 公司专有的连续测量新技术。该仪器可以测量动态及瞬时信号状态,而传统的电子计数器由于受到测量速率的限制,就不可能做到这一点。测量数据被收集在高速内部存储器内,机内图形显示预处理功能可使仪器以直方图和统计数据、时间剖面图和数字信息的形式显示。显示快速,一目了然,无需另行处理。由于这种新的连续测量技术的应用,使测量中不会漏掉任何重要的数据,测量取样时间可短到 100ns,而且测量中没有死点。其测频、测时、测相位的速度比应用普通计数技术的仪器快 1000 倍以上,可直接测频达 500MHz。1991 年推出的 HP53310A 调制域分析仪,其调制域分析技术进入了第二代,它是第一部将测量和处理功能组合在一块集成电路上的连续计数分析仪。通过记录数据事件以及时间,并动态地计算结果,使这些结果用实时、交互和图形方式来显示频率和时间变化。

轻触面板、表面安装、液晶显示等新工艺也得到不断的应用。

总之,不断开发应用新技术、新工艺,使得频率计数器向着多功能化、智能化、自动化、小型化的方向发展。

第2节 电子计数器的分类

电子计数器的分类可以按照不同的需要进行不同的分类:

按照主要测量对象的不同,可以分为频率计数器和时间计数器。

按照测频量段不同,可以分为微波计数器和基本型频率计数器,或分为低速型、中速型、高速

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

型计数器和超高速计数器。

按照计数器的功能不同，可以分为通用计数器（含智能计数器、计算计数器、倒数计数器），频率计数器，时间间隔计数器，微波计数器和特种计数器。

我们常用的计数器分类就是按功能来分的。

通用计数器是指具有测量频率和时间两种以上功能的电子计数器。一般应有下列几种功能：测频、测时、测周期、测多倍周期、测频率比和累加计数功能。智能计数器、计算计数器是通用计数器派生出来的，是带有微处理器的通用计数器。它一般不仅包括通用计数器的测时测频等基本功能，还可对测量结果完成一定的运算，并可通过程控组成自动测量系统。

频率计数器是指用来测量频率的电子计数器。

时间间隔计数器是主要用来测量信号时间间隔的电子计数器。一般测量两个脉冲的时间间隔，也可以测量一个脉冲宽度、脉冲空度、脉冲信号沿的上升或下降时间等。

微波频率计数器是指频率测量上限达微波频段的频率计数器。

特种计数器是指具有特殊功能的电子计数器。一般包括可逆计数器、预置计数器、程序计数器和差值计数器等。它们主要应用于工业生产自动化，特别是自动控制和自动测量方面。

第3节 电子计数器技术指标汇总表

计数器的技术指标基本上按门类进行汇总。汇总表中所列的技术指标较为齐全，具体到某个产品，有些技术指标是必须制定的，但有些可根据该产品的某些技术要求而定。

随着电子仪器的综合发展，电子计数器除测频测时外的其它辅助功能越来越多。因此，除根据电子计数器的主要功能进行考核外，对诸如测相位、电压、斜率等这些指标均不在本章考虑之列。

标注：●基本上是该门类的必备指标，○作为该门类计数器可给也可不给出的指标。

技术指标	通用计数器	频率计数器	微波计数器	特种计数器	时间间隔计数器
(一) 频率测量					
1.测量范围	●	●	●	●	○
2.灵敏度	●	●	●	●	○
3.动态范围	●	●	●	●	○
4.输入阻抗	●	●	●	●	○
5.闸门时间	●	●	●	●	○
6.闸门指示	●	●	●	●	○
7.分辨力	●	●	●	●	○
8.准确度	●	●	●	●	○
9.波形适应性	●	●	○		○
10.调幅度容限	○	○	○		
11.调频度容限		○	●		
(二)周期测量					
12.周期测量范围	●				○
13.测周灵敏度	●				○
14.输入电压范围	●				○
15.输入阻抗	●				○

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续　表

技　术　指　标	通用计数器	频率计数器	微波计数器	特种计数器	时间间隔计数器
16.时标	●				○
17.多周期平均数(周期倍乘)	●				○
18.准确度	●				○
19.分辨力	●				○
(三)时间间隔测量					
20.测时范围	●				●
21.输入电压范围	●				●
22.输入阻抗	●				●
23.起动/停止输入	●				●
24.触发斜率	●				●
25.触发电平	●				●
26.时标	●				●
27.准确度	●				●
28.输入最小脉冲宽度	○				○
29.最高重复频率	○				○
30.采样速率	○				○
31.分辨力	○				○
32.抖动	○				○
33.触发延迟	○				○
34.上升/下降时间	○				○
35.空度比	○				○
36.脉宽	○				○
(四) 频率比测量					
37.测量范围	●				
38.输入电压范围	●				
39.输入阻抗	●				
40.触发电平	●				
41.触发斜率	○				
42.频率比倍乘率	●				
43.误差	●				
(五) 累加计数测量					
44.计数速率	●				
45.计数分辨率	○				
46.计数容量	●				
47.输入阻抗	○				
48.输入电压	●				
49.手动门控方式	○				
50.B 信号门控	○				
51.B 事件门控	○				
52.B-C 时间间隔门控	○				
53.误差	●				
(六) 显示部分					
54.显示	●	●	●	●	●
55.溢出指示	●	●	○	○	○
56.单位指示	●	●	●	●	●
57.显示位数	●	●	●	●	●

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

技 术 指 标	通用计数器	频率计数器	微波计数器	特种计数器	时间间隔计数器
58.显示时间	○	○	○	○	○
(七) 基准振荡器					
59.频率	●	●	●	●	●
60.日频率波动	○	○	○	○	○
61.老化率	○	○	○	○	○
62.短期频率稳定度	○	○	○	○	●
63.开机特性	○	○	○	○	○
64.频率调整范围	○	○	○	○	○
65.频率负载特性	○	○	○	○	○
66.频率重现性	○	○	○	○	○
67.温度变化误差	○	○	○	○	○
68.电压变化误差	○	○	○	○	○
69.准确度	○	○	○	○	○
70.时标输出频率	●				●
71.时标输出波形	●				●
72.时标输出电压	●				●
73.时标输出阻抗	○				○
74.外接标频输入电压	●	●	●	●	●
75.外接标频输入阻抗	○	○	○	○	○
(八) 其它					
76.自检	●	●	●	●	●
77.输出和输入接口	○	○	○	○	○
78.电压驻波比		○	●		
79.耦合	●	●	○	○	○
80.损坏电平	●	●	●	●	●
81.低通滤波器	○	○		○	
82.手动触发电平范围	○	○	○	○	●
83.输入通道	○	○	○	○	○
84.输入衰减	●	●	●	●	●
85.触发电平输出	○				○
86.外闸门输入范围	○			○	○
87.外预备输入	○			○	○
88.闸门输出	●			○	○
89.多通道串扰	○				○
90.定标输出	○				
91.最大功率消耗	●	●	●	●	●

第4节 技术指标及测试方法

总则:

(1) 本节的测试方法主要参照以下有关资料

SJ1457-79 低速型、中速型通用电子计数器技术条件

SJ1851-81 晶体振荡器测试方法、SJ1852-81 晶体振荡器名词术语

频率计数器通用技术条件(待批稿)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

频率计数器测试方法(待批稿)

通用电子计数器检定规程（JJG349-84）

电子计数器内石英晶体振荡器检定规程（JJG 180-78）

MEA-28 计数器试验方法(日)

国内各计数器生产厂家有关计数器生产的企业标准

美国 HP 公司、荷兰飞利浦公司的有关计数器产品的技术说明书等

(2) 被测计数器及用于测试的仪器在达到各自规定的预热时间后，方可进行测试。

(3) 所有使用单位均符合 SI 单位制。

(4) 原则上，标注电压时对正弦波用 V_{rms}(有效值)，脉冲波、矩形波用 V_{p-p}(峰一峰值)。

(5) 图中标注的 R_{01},R_{02},R_0 均为输入通道的衰减器的匹配电阻。

(6) 图中标注的合成信号发生器、频率综合器、标准时间综合器、标准时间间隔测定器等内时基的准确度和稳定度应比被测仪器分别高 10 倍和 3 倍。如果不符合要求时，应该外接高稳频标。

(7) 任何预调应在测试开始前完成。

(8) 凡标注＊号的指标含义、测试方法等系根据工作经验所作，仅供参考。

(一) 频率测量

1. 频率测量范围

frequency range

在输入电压符合规定要求值（技术条件）时，能够正常进行测量的频率区间。

指标水平：一般为10Hz ～ 100MHz，10Hz ～ 1000MHz。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 2-1 所示。

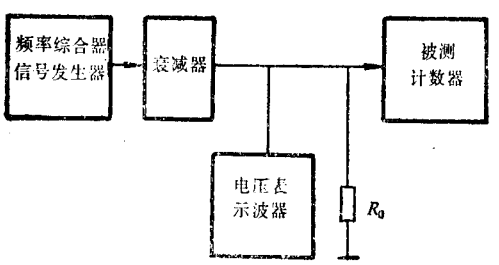


图 2-1

(2) 测试步骤

① 将输入电压置于产品标准（或技术条件)规定的输入灵敏度。

② 将计数器功能开关置“测频”位置，并将带有输入衰减器的计数器调到衰减量最小位置。

③ 闸门时间置 1s(1 秒）或 10s (10 秒)。

④ 使信号发生器从产品标准的最低频率附近起逐步降低，当被测仪器从符合准确度要求的测频状态变为不符合准确度要求的测频状态（也可看作由稳定动作状态变为不稳定动作状态)，测出此时的最低频率。

⑤ 使信号发生器从产品标准规定的最高频率附近起逐步升高，当被测仪器从稳定动作状态变为不稳定动作状态时，测出此时的最高频率。

⑥ 把信号发生器的频率固定于任意的中间频率，检查被测仪器的动作状态是否稳定。

⑦ 将输入电压固定于产品标准的最大输入电压。

⑧ 进行第②～⑥项的测试。

(3) 测试要求

① 信号发生器（频率综合器）的频率范围应包括被测仪器的频率测量范围。

② 被测仪器若带有触发斜率切换器，则在正负两极性下进行测试。

③ 若被测仪器带触发电平调整器，则调整至灵敏度最大的位置进行测试。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

注：对微波频率计数器测试时，一般频率在 500MHz 以上电压表需改用功率计。

2. 测频灵敏度

sensitivity

计数器符合技术条件(或产品标准)中频率测量范围时的最小输入电压。

指标水平：一般为 10mV，20mV，50mV。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 2-1 所示。

(2) 测试步骤

① 按本节“频率测量范围”测试步骤中①～③项测试。

② 把输入信号的频率固定于产品标准规定的下限值。

③ 使信号发生器（或使用衰减器）从产品标准规定的灵敏度以下起逐步增大输入电压，当被测仪器从不符合准确度要求(不稳定动作)的测频状态变为符合准确度要求(稳定动作)的测频状态时的输入电压为频率低端的灵敏度。

④ 把输入信号的频率固定于产品标准规定的上限值时进行上述③项的测试时测得频率高端灵敏度。

⑤ 当灵敏度分频段要求时，必须对各频段按上述①～③的要求进行测试。

(3) 测试要求：同“频率测量范围”测试要求。

注：① 如果用合成信号发生器代替信号发生器（或频率综合器），则在阻抗匹配的情况下，可省去电压表或示波器，直接从合成信号发生器上读出信号的幅度值。

② 测试频率在 500MHz 以上时，一般用功率计代替电压表。

3. 动态范围(输入电压范围)

dynamic range (input voltage range)

从灵敏度(最小输入电压)到最大输入电压的电压范围。

指标水平：一般为 10mV ～ 5V。

测试方法：

(1) 测试方框图：见图 2-1。

(2) 测试步骤：

① 按本节“频率测量范围”的测试步骤中①～③项测试。

② 把输入信号的频率固定于产品标准规定的下限值。

③ 使信号发生器（或使用衰减器）从低于产品标准规定的灵敏度附近起逐步增加输入电压，当被测仪器从不符合准确度要求(不稳定动作）的测频状态变为符合准确度要求（稳定动作）的测频状态时的输入电压的幅度为动态范围的最低电压。

④ 调整信号发生器的输出电压，从产品标准规定的最大输入信号的幅度值附近逐步减小，当被测仪器从不符合准确度要求的测频状态变为符合准确度要求的测频状态时的输入电压的幅度为动态范围的最高电压。

⑤ 分别将输入频率调至任意中间频率和最高频率。

⑥ 进行第③～④项的测试。

(3) 测试要求：

① 同“频率测量范围”测试要求。

② 被测仪器如带有衰减器，必须在衰减器的各档位置上进行试验。

注：① 一般测量动态范围时，高端电压只限于考核产品标准规定的高端电压，因为超过此限时，容易造成仪器破坏性的损坏。

② 同本节“测频灵敏度”的注 。

4. 输入阻抗 R&C

input impedance

输入端对地之间测得的，从输入端向被测计数器看去输入电路所呈现的阻抗（包括直流电阻值和并联电容值)。

指标水平：1MΩ//30pF；50Ω(频率高于 300MHz 的高速计数器)

测试方法一[直接测定法]：

(1) 测试方框图，如图 2-2 所示。

(2) 测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

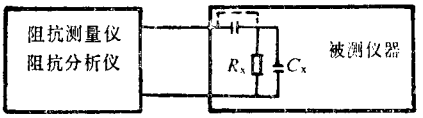


图 2-2

① 被测仪器处于关机工作状态。

② 用电阻测试仪或电桥连接到输入端并测试输入电阻。

③ 被测计数器处于工作状态，用直读式电容测试仪或Q表连接到输入端并测试并联电容。

④ 对于频率高于300MHz的高速计数器，其50Ω的输入阻抗用驻波测量仪测量。

(3) 测试要求：

① 在被测仪器的输入回路有衰减器时以×1档的测试为准，也可按各档分别测试。

② 输入回路中有串联电容时，测电阻时将该电容短路。

③ 用特性阻抗表示的地方，应使用导纳电桥或阻抗分析仪进行测定。

测试方法二[间接测定法]：

对于某些被测仪器，其工作时和非工作时的阻抗存在明显的差异，或者由于测定电压过大等理由，采用直接测定法来进行阻抗测定往往是不适宜的，在这种情况下，最好使用下述间接测定法。

(1) 测试方框图，如图2-3所示

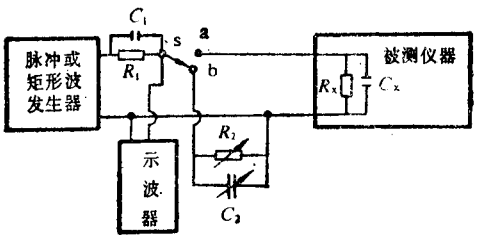


图 2-3

(2) 测试步骤

① 适当调整脉冲或矩形波发生器的脉冲幅度、频率以及输出电平，使之与被测仪器的带宽和输入电平相符。

② 把开关S置于a侧，适当选择R_1和C_1，用示波器观测这时的波形和电平。

③ 把开关S置于b侧，调整R_2和C_2，使示波器上得到的波形和电平与上述②中开关S置a侧观测结果一致。

④ 反复进行②和③项的操作，求得两者读数一致时的R_2和C_2的值。

⑤ R_2的值即为输入电阻，C_2的值即为并联电容。

(3) 测试要求：同测试方法一[直接测定法]的要求。

5. 闸门时间

gate time

在一次测量过程中，主门从开启至终止的时间间隔。

指标水平： 1ms，10ms，100ms，1s，10s 等。

测试方法：

(1) 测试方框图：如图2-4所示

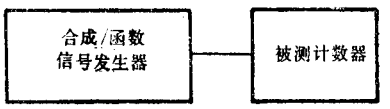


图 2-4

(2) 测试步骤

① 由合成信号发生器给被测计数器施加适当的标准频率信号。

② 被测计数器处于频率测试状态，频率被计数并读出其计数值。

③ 闸门时间为计数值与输入频率之比，单位为秒。即：

$$闸门时间=\frac{计数值}{输入频率}\quad(s)$$

(3) 测试要求

① 在多种闸门时间情况下，按各档进行测试。

② 其它要求同“频率测量范围”测试要求。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6. 闸门指示

gate time indecator

闸门指示的功能是指示主闸门开放和测量正在进行。

测试方法：目测检查闸门指示能否指示主闸门开放和测量正在进行。

7. 分辨力

resolution

能测出的信号频率最小变化的数字。

指标表示：

± 1 个数字 $\left(即\frac{1}{输入频率\times闸门时间}\right)$ 传统方式

$\pm(n\times \mathrm{LSD})\pm 1.4\times\frac{触发误差\times输入频率}{闸门时间}$ 倒数方式

n：可取 1 或者 2；LSD：最低位有效数字。

指标水平：1Hz，0.1Hz

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 2-1。

(2) 测试步骤

① 标准信号发生器（或频率综合器）在被测仪器的测频范围内按1Hz 的变化量改变频率（传统方式）或按被测频率计显示最低位有效数字的单位值的变化量来改变频率（倒数方式）。

② 被测试仪器闸门时间置于 1s。

③ 检查被测试仪器能否稳定地测频，并且准确度符合产品标准的规定。

(3) 测试要求：同“频率测量范围”测试要求。

8. 准确度（误差）

accuracy (error)

表征测量的指示值与相应的真实值的接近程度，指示值越接近相应的真实值，准确度就越高，误差也就越小。

误差表示：时基误差 $\pm\frac{1}{f_x\times t}$

f_x 为被测频率，t 为闸门时间 传统方式

$\pm n\times\frac{\mathrm{LSD}}{输入频率}\pm 1.4\times\frac{触发误差}{闸门时间}\pm$ 时基误差 倒数方式

n：可取 1 或者 2；LSD：最低位有效数字。

指标水平：1×10^{-8}，3×10^{-9}

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 2-1。

(2) 测试步骤

① 来自合成信号发生器（或频率综合器）的输入电压（或经过衰减器）固定于产品标准中规定的灵敏度电压。

② 被测试仪器的闸门时间置于 1s 或 10s 位置。

③ 由被测计数器的三次指示值的平均值和合成信号发生器的频率指示值，按下式计算频率准确度（相对误差）：

$$A=\frac{f_a-f_o}{f_o}$$

式中 A 为频率测量准确度（相对误差），f_a 为被测频率三次指示值的平均值，f_o 为合成信号发生器的频率。

④ 计数器输入信号电压调到 1V，按③项再次测试计算。

(3) 测试要求

① 测试应在不低于产品标准规定的信噪比（S/N）下进行。

② 其它同“频率测量范围”测试要求。

9. 波形适应性

waveform adaptability

被测仪器是否适合测试除正弦波外的其它类型波形的输入信号的能力。

指标水平：一般适合测试三角波、脉冲波、锯齿波等。

测试方法：

(1) 测试方框图：见图 2-4 所示。

(2) 测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 按产品标准的波形适应性中的规定，将合成/函数信号发生器逐项输出各种波形信号。

② 选取"频率范围"内的高、中、低三点频率输出信号，检查被测仪器的指示是否一致并正确。

(3) 测试要求：测试波形应符合被测仪器的产品标准(技术条件)的要求。

10. 幅度调制(AM)容限

amplitude modulation tolerance

被测仪器对输入电压信号为调幅正弦信号(其包络谷值应满足灵敏度的要求)时，能保证准确测量调幅载波频率的极限调制度。

指标水平：一般为30%～80%。

测试方法：

(1)测试方框图，见图2-1。

(2) 测试步骤

① 合成信号发生器按被测仪器的产品标准规定的调幅度输出信号。

② 其余同"频率测量范围"的测试步骤。

(3) 测试要求：同"频率测量范围"的测试要求。

11. 频率调制(FM)容限*

frequency modulation tolerance

被测仪器能准确测量出频率调制的载波频率的能力。FM的容限是在最大的FM频偏情况下又不影响正确测出载频信号而给出的。

指标水平：

CM (等幅波模式)：20MHz [峰-峰频偏值]

FM(调频波模式)：50MHz[峰-峰频偏值]

测试方法：

(1) 测试方框图，如图2-5所示。

(2) 测试步骤

① 将信号发生器输出一正弦(100kHz)信号作调制信号。

② 将微波频率综合器设置在一微波频率上，调制信号加到微波频率综合器的外调频输入端。

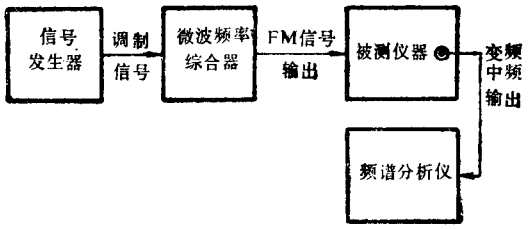


图 2-5

③ 将被测计数器设置在CM(等幅波)工作模式。

④ 将微波频率综合器的调频信号加到被测计数器上和被测仪器的变频中频输出连接到频谱分析仪上，从频谱分析仪上读取频谱宽度。

⑤ 调整调制信号的幅度，观测频谱分析仪上的频谱宽度不超过产品标准规定时，被测计数器的读数是否与微波频率综合器的输出读数一致。

⑥ 将被测计数器设置在FM (调频波)工作模式，进行⑤项的测量。

注：① 当频谱分析仪上调频信号关于中心频率不对称时，计数器不能正确读出载频频率。

② 频率调制容限指标主要用于微波频率计数器。

③ 幅度调制容限、频率调制容限在有些技术规范中可作为波形适应性中的一种内容，在此笔者认为以分开讨论为宜。

(二) 周期测量

12. 周期测量范围

period range

仪器在规定的条件下能正常进行测量的周期区间。

指标水平：0.1μs～10s

测试方法：

(1) 测试方框图，如图2-6所示。

(2) 测试步骤

① 把输入电压固定于产品标准(或技术条件)规定的输入灵敏度。

② 将计数器的功能开关置"周期"位置，周

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

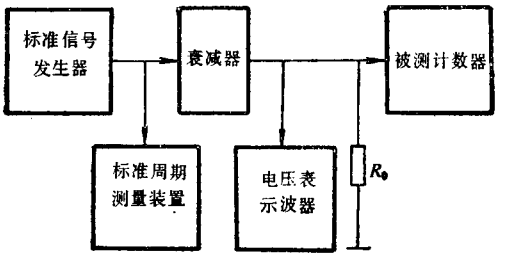


图 2-6

期倍乘置于"1"位置，"时标"置于最短时间位置。带有输入衰减器的计数器应调到衰减量最小位置。

③ 使信号发生器（或频率综合器）从产品标准规定的最小周期起逐步减小，被测仪器从符合准确度要求的测周期状态变为不符合的测周状态（从稳定动作状态变为不稳定动作状态），测出此时的最小周期。

④ 使信号发生器（或频率综合器）从产品标准规定的最大周期起逐步增大，被测仪器从符合准确度要求的测周状态变为不符合的测周状态（从稳定动作状态变为不稳定动作状态），测出此时的最大周期。

⑤ 把信号发生器（或频率综合器）的周期固定于任意中间周期，检查被测仪器的测周误差应符合产品标准的规定。

⑥ 将输入电压固定于产品标准规定的最大输入电压。

⑦ 进行③～⑤项的步骤。

⑧ 在最大测量周期相当长时（达数十秒），使直流输入电压从规定的最低电压以下开始缓缓上升，确认仪器是否能正常工作，以此来测量中间值和最大周期。

（3）测试要求

① 标准信号发生器其周期范围应包含被测仪器的周期测量范围。

② 被测仪器如带有触发斜率切换器，则在正负两极性下进行测试。

③ 如被测仪器带有触发电平调整器，则调整至灵敏度最大的位置进行测试。

④ 测试应在不低于产品标准规定的信噪比 S/N 下进行。

13. 周期测量灵敏度

sensitivity

计数器符合技术条件（或产品标准）中周期测量范围时的最小输入电压。

指标水平：一般为 100mV。

测试方法：

（1）测试方框图：见图 2-6 所示。

（2）测试步骤

① 把输入电压固定于产品标准（或技术条件）规定的输入灵敏度。

② 带有输入衰减器的计数器应调到衰减量最小位置。

③ 把输入信号的周期固定于产品标准规定的下限值线。

④ 使信号发生器（或使用衰减器）从产品标准规定的灵敏度起逐步减小输入电压，当被测仪器从符合准确度要求（稳定动作）的测周状态变为不符合（不稳定动作）的测周状态时的输入电压为周期低端的灵敏度。

⑤ 把输入信号的周期固定于产品标准规定的上限值时进行上述④项的测试时测得周期高端灵敏度。

⑥ 当灵敏度分段要求时，必须对各段按上述①～⑤项的要求进行测试。

（3）测试要求：同"周期测量范围"的测试要求。

14. 周期测量动态范围（周期测量输入电压范围）

dynamic range (input voltage range)

周期测量时灵敏度到最大输入电压的电压范围。

指标水平：一般为 30mV～5V。

测试方法：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 测试方框图：见图 2-6所示。

(2) 测试步骤

① 把输入周期固定于产品标准(或技术要求)规定的下限值。

② 调整衰减器（或信号发生器的输出电压)，使输入电压从规定的灵敏度电压逐次减小，当被测仪器从符合准确度要求变为不符合要求时的输入电压。

③ 然后，将输入电压调至规定的最大值，同时观察被测仪器是否符合要求（动作状态是否稳定)。

④ 把输入周期固定于规定的上限值或10s附近。

⑤ 进行②～③项的测量。

⑥ 在测量范围的最大周期非常长时，使输入直流电压从规定的最低电压以下缓缓增加，确认被测仪器是否正常工作，以此求得最大周期时的输入电压。

(3) 测试要求：同"周期测量范围"的测试要求。

15. 输入阻抗

同本节(一)中指标4"输入阻抗"的测量。

16. 时标

time standard

即为时间标准，是电子计数器中石英晶体振荡器输出及经由倍频、分频后作计数标准用的标准时间信号。

指标水平：10ns，100ns，1ms，10ms 等。

测试方法：

(1) 测试方框图：如图 2-7 所示。

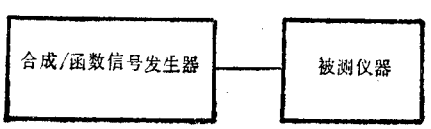


图 2-7

(2) 测试步骤

① 使被测仪器处于周期测试或时间间隔测量的状态。

② 由合成/函数信号发生器输出的矩形波加在被测仪器上。

③ 根据被测计数器所计数读出计数值。

④ 根据下式求得时标：

$$时标=\frac{测定周期数}{计数值\times输入频率}\quad(s)$$

(3) 测试要求：有多个时标存在时，应分别测试。

17. 多周期平均数(周期倍乘)

mupliple periods averaged

作多周期平均测量时所取的实际周期数。

指标水平：10，100，1000，10000，100000

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 2-7。

(2) 测试步骤

① 使被测仪器处于周期测试状态。

② 把合成/函数信号发生器输出一定频率的矩形波加在被测仪器上。

③ 让被测仪器计数，读得其计数值。

④ 由下式求出测量周期数：

测量周期数＝

基准时间(时标)×计数值×输入频率

(3) 测试要求：如果有多档测量周期数的情况下，应按各档进行测试。

18. 准确度(误差)

accuracy (error)

表示周期测量时的指示值与相应的真实值的接近程度。两者越接近，准确度越高，误差越小。

误差表示：$\pm$时标准确度$\pm\frac{触发误差}{倍乘率}$

$$\pm\frac{时标时间}{倍乘率\times被测时间}\qquad 传统方式$$

$$\pm\frac{LSD}{被测周期}\pm\frac{触发误差}{闸门时间}\pm时基误差\qquad 倒数方式$$

式中：LSD 为最低位有效数字。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

指标水平：3×10^{-9}

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 2-6 所示。

(2) 测试步骤

① 将计数器的功能开关置"周期"位置，周期"倍乘"置于"1"位置，"时标"置于最短时间位置。

② 适当调整信号发生器输出电平及衰减器，使输入到被测计数器上电压为产品标准规定的最低值(灵敏度)。

③ 信号发生器输出的周期信号应选择在被测计数器的产品标准(技术条件)所规定的周期测量范围内尽可能大的周期。

④ 根据被测计数器的十次指示值和信号发生器的指示值算出其误差（也可按照标准周期测量装置的指示值算出本项误差）。计算方法如下：

$$\bar{T}_X=\frac{\sum_{i=1}^{N}T_i}{N}\qquad \sigma=\pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(T_i-\bar{T}_X)^2}{N-1}}$$

$$\delta_T=\frac{(\bar{T}_X-T_0)\pm3\sigma}{T_0}$$

其中 T_i 为计数器的各次显示读数；N 为测量次数；σ 为周期测量的均方偏差；T_0 为标准周期信号发生器输出的信号周期；δ_T 为周期测量的相对误差。

⑤ 调节计数器的输入信号为 1V，再次按④项步骤测试计算其相对误差。

(3) 测试要求

① 把输入衰减器和触发电平调整器放在最大灵敏度位置。

② 被测计数器带有触发斜率转换器时，应放在正负两极性测定。

③ 对于有多个测量周期数转换档时，应取最多周期数同样进行。

④ 如果用标准周期测量装置测定时，该装置应比被测计数器有更好的频率特性、时基等。

⑤ 测试应在不低于产品标准规定的信噪比 S/N 下进行。

19. 分辨力

resolution

能测出的信号周期最小变化的数字。

指标表示：$\pm\dfrac{\text{时标时间}}{\text{倍乘率}\times\text{被测周期}}$ 传统方式

$\pm\text{LSD}\pm1.4\times\dfrac{\text{触发误差}\times\text{被测周期}}{\text{闸门时间}}$ 倒数方式

式中 LSD 为最低位有效数字。

指标水平：0.1ns

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 2-6 所示。

(2) 测试步骤

① 标准信号发生器在被测仪器的测周范围内按显示最低位有效数字的单位值的变化量来改变周期。

② 检查被测仪器能否稳定地测周，并且准确度符合产品标准的规定。

(3) 测试要求：同"周期测量范围"的测试要求。

(三) 时间间隔测量

20. 测量范围

time interval measurement range

在规定的输入电压下使仪器能够正常工作的时间间隔测量范围。

指标水平：10ns～100s

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 2-8 所示。

(2) 测试步骤

① 将由时间综合器输出经衰减器后的测试信号分别加到被测计数器启动端和停止端上，输入电压固定为规定的最低值。

② 选择被测计数器的时标为最小，让时间综合器输出的信号从规定的最小时间间隔起逐

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

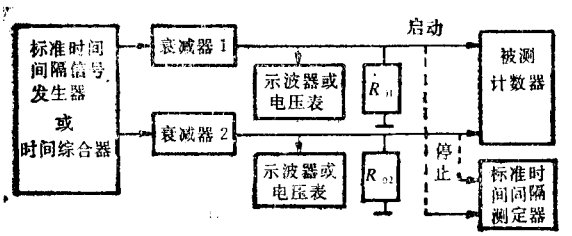


图　2-8

步减小，直到被测计数器的稳定动作状态变为不稳定动作状态。此时的时间间隔值为被测计数器的下端值。

③ 把启动端和停止端的输入电压固定在规定的最大值。

④ 进行②项的测量。选择二次测量较大的下端值作为被测计数器时间间隔测量的下限值。一般地说，下限值等于被测计数器的最小时标值。

⑤ 将时间综合器的时间间隔输出固定于被测时间间隔范围任意的中间值，检查被测仪器的动作状态是否稳定。

⑥ 将时间综合器的时间间隔输出固定于被测仪器规定的时间间隔上限值（当上限值≤10s时），当输入到计数器的信号幅度分别为规定的最小值和最大值时，观测被测仪器的动作状态是否稳定。

⑦ 最大时间间隔如大于10s，可通过启动端和停止端直流输入电压从规定的最低电压以下开始缓缓上升，确认仪器是否能正常工作，以此来测量最大时间间隔。被测仪器的最大时间间隔(即上限值)一般用最大显示数字与最大时标的积来表示，其测量可以省略。

(3) 测试要求

① 置输入衰减器和触发电平调整器为最大灵敏度位置。

② 被测计数器有斜率(触发)转换时，按正负两极进行。

注：对有启动、停止输入共用的被测计数器，可省略一个衰减器及电压表。如图 2-9 所示，将标准脉冲源的输出信号输入到被测计数器的公用输入端。

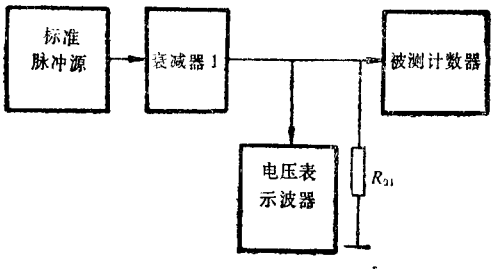


图　2-9

21. 输入电压范围(动态范围)

input voltage range (dynamic range)

衰减器各档上符合正常测量时间间隔指标的输入电压范围。通常以波形的峰-峰值标注。

指标水平：30mV～5V

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 2-8。

(2) 测量步骤

① 把输入时间间隔固定于规定的最小值(下限值)。

② 调整衰减器 R_{02}，把停止侧输入电压固定于规定的最低值，再调整衰减器 R_{01} 将开启侧输入电压从规定的最低点逐渐减小，观测被测仪器从稳定工作状态转入不稳定工作状态时的输入电压。

③ 调整衰减器 R_{01}，把启动侧输入电压固定于规定的最低值，再调整衰减器 R_{02}，将关闭侧输入电压从规定的最低点逐次减小，测出被测仪器从稳定动作状态变为不稳定动作状态时的输入电压。

④ 然后，调整衰减器 R_{01} 和 R_{02}，使启动和关闭输入都达到规定的最高值。观测被测仪器的动作状态是否稳定。

⑤ 被测仪器带有输入衰减器时，必须在衰减器的各个位置上进行。

(3) 测试要求：同本节“测量范围”测试要求。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

22. 输入阻抗

同本节(一)中指标 4“输入阻抗”的测试。

23. 启动/停止输入

start and stop input

表示启动和停止输入回路的使用方法。确认启动和停止输入信号是否能分别输入。

测试方法： 目测信号是否能加入到启动和停止输入通道，在有信号输入作用时触发指示是否闪烁。

24. 触发斜率

trigger slope

表示触发斜率为正或为负时是否都能工作，能否分别设定正负。它的表示为：+，−。

测试方法一 [启动、停止输入为 AC 耦合时的场合]：

(1) 测试方框图，如图 2-10 所示。

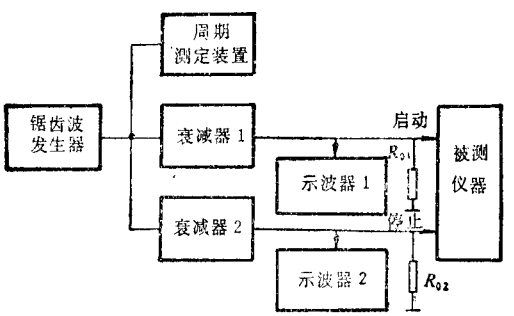


图 2-10

(2) 测试步骤

① 调整锯齿波发生器的输出，使其波峰值、重复频率和电压倾斜度分别与被测仪器的输入电压、测试范围和电压倾斜度相符，并固定之。

② 用示波器 1 和 2 来监视与测定启动、停止信号。

③ 切换锯齿波的倾斜度。如下表所示(共六种)，在触发斜率为正或负时确认启动、停止动作的进行。

锯齿波的倾斜	被测仪器的触发斜率		操作	指示
	启 动	停 止		
正	−	−	A	a
	−	+	B	b
	+	−	C	c
负	+	+	A	a
	+	−	B	c
	−	+	C	b

表中英文字母表示：

A：调整触发电平调整器，把启动侧和停止侧都置于 0，使触发电平以 0 为中心稍微移动。

a：如与周期测定装置的指示值大约相等或者读数接近于0，则可判定动作正常。

B：调整触发电平调整器，使启动侧为 0，使停止侧从负(−)到正(+)变化。

b：如果从接近于 0 的值开始到与周期测定装置的指示值大约相等为止的变化呈连续状态，则可确认动作正常。

C：调整触发电平调整器，使停止侧为 0，使启动侧从负(−)到正(+)变化。

c：如果从与周期测定装置的指示值大致相等的值开始到接近于 0 的值为止的变化呈连续状态，则可确认动作正常。

(3) 测试要求

① 被测仪器为时间间隔测定的状态，带有衰减器时应置于最大灵敏度位置。

② 锯齿波发生器应采用线性良好、稳定度高的发生器。

③ 周期测定装置使用应比被测仪器具有高 10 倍以上准确度、3 倍以上稳定度的仪器。

④ 示波器应具备能够明了地观测被测仪器的输入锯齿波的灵敏度和带宽。

⑤ 启动、停止共用的被测仪器可省略衰减器 2、R_{02} 及示波器 2。

测试方法二[启动、停止输入为 DC 耦合的场合]：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 测试方框图，如图 2-11 所示。

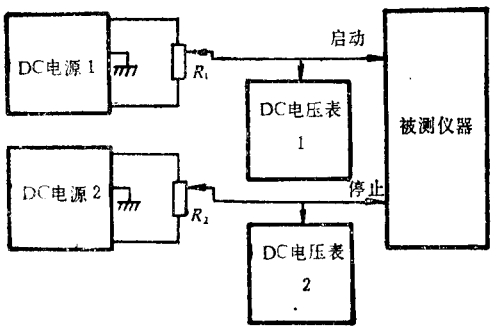


图　2-11

(2) 测试步骤

① 使触发斜率切换器为正。

② 用可变电阻 R_1 使电压从负缓缓上升为正，对启动加以确认。

③ 用可变电阻 R_2 使电压从负缓缓上升为正，对停止加以确认。

④ 使触发斜率切换器为负。

⑤ 用可变电阻 R_1 使电压从正到负缓缓下降，对启动加以确认。

⑥ 用可变电阻 R_2 使电压从正到负缓缓下降，对停止加以确认。

(3) 测试要求

① 被测仪器的触发电平调整器放在 0 的位置。

② DC 电源 1、2 的波纹小，且稳定度高。

③ R_1，R_2 能平滑地回转，噪声小。

④ DC 电压表 1、2 能充分读取因 R_1、R_2 产生的电压变化。

⑤ 启动、停止共用的被测仪器可省略 DC 电源 2、R_2 以及电压表 2。

25. 触发电平

trigger level

表示能够设定的触发电平范围。

指标水平：−5V～+5V

测试方法一[启动、停止输入为 AC 耦合的场合]：

(1) 测试方框图，见图 2-10。

(2) 测试步骤

① 调整锯齿波发生器的输出，使其波峰值、重复频率及电压倾斜度分别符合被测仪器的输入电压、测试范围及电压倾斜度，并固定之。

② 用示波器 1、2 监视和测定启动、停止信号。

③ 变换锯齿波的倾斜度，如下表所示（4 种），求得触发斜率为正或为负时的启动、停止的触发电平范围。

锯齿波的倾斜度	被测仪器的触发斜率		操　作	触发电平
	启动侧	停止侧		
正	正	负	A	a
	负	正	B	b
负	负	正	A	c
	正	负	B	d

表中英文字母表示：

A：用触发电平调整器使停止侧处于 0 位。从负到正调整启动侧的电平调整器。

a：测定时间间隔，求出最大值和最小值(见图 2-12)。从这些值和输入信号的周期以及波峰值算出正斜率时的启动触发电平的＋、－最大值。

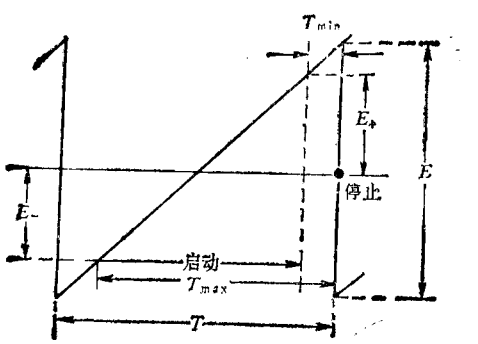


图　2-12

计算公式：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$E_+ = \frac{E(T - 2T_{min})}{2T}$$

$$E_- = \frac{E(2T_{max} - T)}{2T}$$

B:触发电平调整器使启动侧为 0，停止侧电平调整器从一到＋变化。

b:测定时间间隔，求最小值和最大值(见图2-13)。从这些值和输入信号的周期以及波峰值算出正斜率时停止触发电平的＋，一最大值。

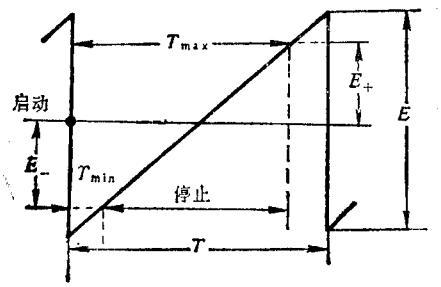


图 2-13

计算公式:

$$E_+ = \frac{E(2T_{max} - T)}{2T}$$

$$E_- = \frac{E(T - 2T_{min})}{2T}$$

c:测定时间间隔，求最大值和最小值(见图2-14)，从这些值和输入信号的周期以及波峰值算出负斜率时启动触发电平的＋，一最大值。

计算公式同 b。

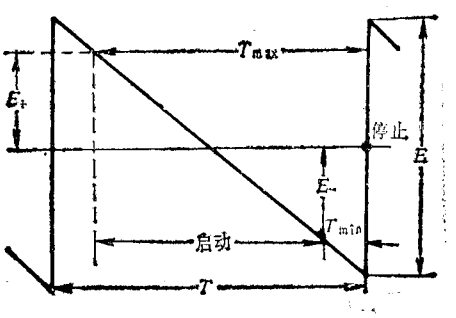


图 2-14

d:测定时间间隔，求最大值和最小值(见图

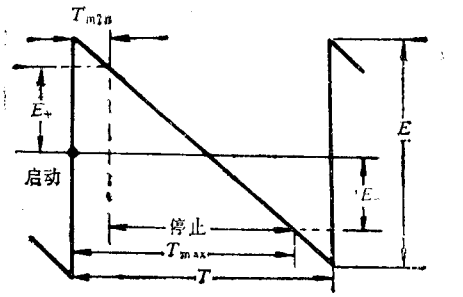


图 2-15

2-15)，从这些值和输入信号的周期以及波峰值算出负斜率时停止触发电平的＋，一最大值。

计算公式同 a。

(3) 测试要求

① 被测仪器处于时间间隔测定状态，有衰减器时应放在灵敏度最大位置。

② 其它规定同本节“触发斜率”测试要求。

测试方法二[启动、停止输入为 DC 耦合时的场合]:

(1) 测试方框图，见图 2-11。

(2) 测试步骤

① 使被测仪器的触发斜率变换器在启动侧和停止侧均为正。触发电平调整器在启动侧、停止侧都处于正向最大点。

② 用可变电阻 R_1，使启动电压从负(一)到正(＋)缓缓上升，用电压表 1 测定被测仪器启动时的电压。

③ 用可变电阻 R_2，使停止电压从负(一)到正(＋)缓缓上升，用电压表 2 测定被测仪器停止时的电压。

④ 使被测仪器触发斜率切换器在启动侧和停止侧均为正，触发电平调整器在启动侧、停止侧都位于负向最大点。

⑤ 用可变电阻 R_1 使启动电压从正 (＋) 到负(一)缓缓下降；用电压表 1 测定被测仪器启动时的电压。

(3) 测试要求

① 让被测仪器处于时间间隔测定状态，有

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

衰减器的放在灵敏度最大的位置。

② 其它规定同本节"触发斜率"测试要求。

26. 时标

同本节(二)中的指标 16"时标"项测试。

27. 准确度(误差)

accuracy (error)

表示时间间隔测试时的测量值与真值的符合程度。

误差表示:

$$\pm\text{时基误差}\pm\frac{\text{时标时间}}{\text{被测时间间隔}}\pm\text{触发误差}\pm\text{抖动}$$

传统方式

$$\pm\text{时基误差}\pm\frac{\text{LSD}}{\text{时间间隔}}\pm\frac{\text{启动触发误差}\pm\text{停止触发误差}}{\text{时间间隔}}\pm\text{抖动}$$

倒数方式

式中　LSD 为最低位有效数字。

指标水平: 0.1ns

测试方法:

I. 单线输入测量误差

(1) 测试方框图,见图 2-9。

(2) 测试步骤

① 将计数器的功能开关置于单线时间间隔测量位置,"时标"置于最短时间位置。

② 时间测量输入端如带有衰减器,则将衰减量调到最小位置。

③ 极性开关的位置与输入脉冲信号的极性一致。

④ 将标准脉冲源的信号加到计数器单线时间间隔测量输入端,信号电压调到计数器规定的输入灵敏度,将计数器三次显示的读数取平均值,按下式计算单线时间间隔的相对误差。

$$\delta_T=\frac{T_x-T_0}{T_0}$$

式中　δ_T 为单线时间间隔测量的相对误差; T_x 为被测计数器显示的时间间隔读数的平均值; T_0 为标准脉冲源输出的信号时间间隔。

(3) 测试要求: 被测仪器带有触发斜率切换装置时,应在正负两极进行测试。

II. 双线输入测量误差

(1) 测试方框图,见图 2-8 所示。

(2) 测试步骤

① 将计数器的功能开关置双线时间测量位置。启动和停止输入端如带有衰减器则将衰减量调到最小位置。两输入端极性开关的位置与输入脉冲信号的极性一致。

② 调整衰减器 1 和 2,使标准时间间隔信号发生器加在被测仪器的启动,停止输入端的电压固定于规定的最低点。

③ 被测仪器的时标设定为最小值,使标准时间间隔信号发生器的时间间隔接近于被测仪器的时间间隔测量范围的最大值。

④ 可用标准时间间隔测定装置的读数及被测仪器的指示值算出本项误差。将计数器三次显示的读数取其平均值按下式计算双线时间间隔测量的相对误差:

$$\delta_T=\frac{T_x-T_0}{T_0}$$

式中 δ_T 为双线时间间隔测量的相对误差; T_x 为被测计数器显示的时间间隔读数平均值; T_0 为标准时间间隔测定装置的读数。

⑤ 如采用标准时间综合器,则可不用标准时间间隔测定装置。

(3) 测试要求

① 输入衰减器和触发电平调整器置于最大灵敏度位置。

② 被测仪器带有触发斜率切换装置时,应在正负两极进行试验。

③ 启动、停止输入共用的被测仪器可省略衰减器 2、电压表 2 及 R_{02}。

28. 输入脉冲最小宽度

input minimum pulse width

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

被测仪器能准确测时的最小输入脉冲宽度。

指标水平：5ns

测试方法*：

(1) 测试方框图，如图 2-16 所示。

图 2-16

(2) 测试步骤

① 将时间综合器的输出脉冲宽度设置为产品标准规定的最小输入脉宽。

② 检查仪器是否能正常地、稳定地工作。

③ 逐渐减小输入脉冲宽度，观测仪器是否正常工作。

(3) 测试要求

① 输出脉冲上升沿和下降沿应符合被测仪器的要求，尽可能陡。

② 时间综合器输出信号的重复频率应小于或等于被测仪器产品标准规定的最高重复频率。

29. 最高重复频率

maximal repetitive frequency

表示仪器能以多高的重复频率完成准确测时的能力。

指标水平：15MHz

测试方法*：

(1) 测试方框图，见图 2-16。

(2) 测试步骤

① 将时间综合器的输出重复频率逐渐提高到产品规定的最高重复频率，检查仪器是否能稳定地正常工作。

② 逐渐提高频率，直到计数器乱计或不计为止，此时即为最高重复频率。

(3) 测试要求：测试时时间综合器的输出脉宽应尽量调到产品标准规定的最小值上。

30. 采样速率*

sample rate

仪器以单次采样(测试)方式工作的最高速率。

指标水平：15MHz

测试方法：用示波器观察被测仪器的复原信号，检查是否满足产品标准的规定。

31. 分辨力

resolution

能测出的时间间隔最小变化的数字。

指标水平：100ps

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 2-8 所示。

(2) 测试方法：按计数器测时显示时的最低位有效数字的单位值的变化量来改变时间综合器的输出，观测被测仪器是否稳定测时，并且准确度符合产品标准的规定。

32. 抖动*

jitter

表示被测仪器因机内电源或器件参数变化而引起实际测试时造成的误差。

指标水平：75ps

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 2-17 所示。

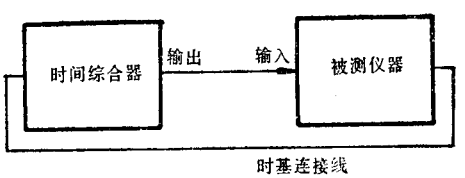


图 2-17

(2) 测试步骤

① 将被测仪器的时基设置到外接，将时间综合器的时基输出连接到被测仪器时基输入上(即两仪器同基准源)。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 将时间综合器(HP5359A)设置一个中频，观测被测仪器的抖动是否满足产品的指标。如指标为多次平均，则测量结果用标准偏差公式求出。

33. 触发延迟

hold off (time interval delay)

为避免测时时由于被测信号的振铃现象(或不必要的错误信号)等导致错误计数，而设置的触发延迟能力。

指标水平：100μs～4s

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 2-1 所示。

(2) 测试步骤

① 将频率综合器设置一个中频(如 500 Hz)输出到计数器输入端。

② 将计数器置测时状态，并置单线输入(即合输入)状态。启动端设置正触发，停止端设置负触发。

③ 此时计数器显示其输入信号的半周期，逐渐调节触发延迟量，则计数器显示 2 倍、3 倍……的半周期(输入信号为 500Hz 时，则显示 1ms，3ms，5ms……，步进量为 2ms 增加)，直至最大延迟量为止。

④ 检查延迟量为最大时显示值是否接近被测仪器的产品标准的要求。

34. 上升/下降时间

rise/fall time

测量输入信号从满幅度的 10% 到 90% 的上升时间(或从满幅度的 90%到 10%的下降时间)的能力。

测试方法*：

(1) 测试方框图，如图 2-18 所示。

(2) 测试步骤

① 脉冲信号发生器输出一脉冲信号分别连接到被测计数器的输入端及高速示波器的输入端。

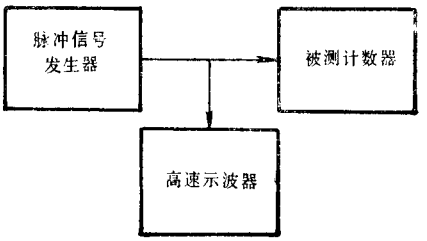


图　2-18

② 观测计数器上的读数与示波器(其扫速经校准)上的读数是否一致。

35. 空度比

duty factor

测量信号的脉宽占信号周期之比的能力。

指标水平：1%～99%

测试方法*：

(1) 测试方框图：见图 2-16。

(2) 测试步骤

① 时间综合器输出一中频信号连接到被测仪器的输入端。

② 将计数器设置为空度比测试状态。

③ 调节时间综合器输出信号的宽度，观测计数器的读数是否正确。

36. 脉宽

pulse width

被测仪器测量输入信号的脉冲宽度的能力。

指标水平：5ns～10s

测试方法*：

(1) 测试方框图，见图 2-16 所示。

(2) 测试步骤

① 适当选择时间综合器的某一中频信号输出连接到被测计数器上。

② 将计数器设置为脉宽测量状态，调节时间综合器输出信号的脉冲宽度，观测计数器显示值是否正确。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（四）频率比测量（A/B 或 A/C）

37. 测量范围

ratio range

表示在规定的输入电压下，能够正常工作的两通道的频率范围。表示方法：A/B，A/C 等等。分子侧是计数输入侧，由计数器对门限时间内的信号进行计数。分母侧是开闭闸门的输入侧。

测试方法：

（1）测试方框图，如图 2-19 所示。

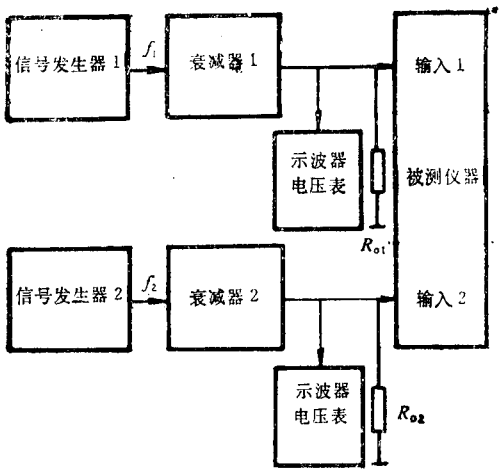


图 2-19

（2）测试步骤

① 频率比的测量意义为 f_1/f_2，但必须保证 $f_1 \geqslant f_2$。

② 把输入 2 侧的输入频率固定于规定的最低频率上，并把输入电压固定于规定的最低值。输入 1 侧用与“频率测量范围的测量方法”相同的方法进行测量。

③ 然后，将输入 1 侧的输入频率固定于规定的最高频率上，并把输入电压固定于规定的最低值。输入 2 侧用与“频率测量范围的测量方法”相同的方法测定频率。

④ 在输入 1 以及输入 2 的输入频率范围最低点非常低时，②和③中最低频率取 0.1Hz 左右进行试验。对规定中最低频率的试验，应将直流输入电压从规定的最低电压以下开始缓缓增加，通过确认是否能正常工作来测量。

（3）测试要求

信号发生器应具有比被测仪器高的准确度及稳定度。

38. 输入电压范围（动态范围）

input voltage range

表示能正常测量频率比时的两通道输入电压范围。

指标水平：−5V～+5V

测试方法：

（1）测试方框图，见图 2-19。

（2）测量步骤

① 把输入 2 侧的输入频率固定于规定的最低频率上，把输入 1 侧的输入频率固定于规定的最高频率上。

② 把输入 2 侧的输入电压固定于规定的最低值上，调整衰减器 1，使输入 1 侧的输入电压从规定的最低电压逐次减小（也可一边与频率测量装置相比较），测量被测仪器由稳定动作状态变为不稳定动作状态时的输入电压。

③ 将输入 1 侧的输入电压固定于规定的最低值上，调整衰减器 2，使输入 2 侧的输入电压从规定的最低电压起逐渐减小（也可一边与频率测量装置相比较），测量被测仪器由稳定动作状态变为不稳定动作状态时的输入电压。

④ 然后，把输入 2 侧的输入电压固定于规定的最高值，把输入 1 侧的输入电压也固定于规定的最高值（也可一边与频率测量装置相比较），观察被测仪器的动作状态是否稳定。

⑤ 在输入 1 和 2 的输入频率范围的最低值非常低时，上述①中的输入 2 侧的最低频率可以固定在 0.1Hz 附近。

⑥ 在规定的最低频率上的试验同本节“测量范围”中测试步骤的 ④ 项。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 测试要求：同本节“测量范围”中的测试要求。

39. 输入阻抗

同本同本节(一)中的指标 4“输入阻抗”。

40. 触发电平

同本节(三)中指标25“触发电平”测试方法。

41. 触发斜率

同本节(三)中指标 24“触发斜率”的测试方法。

42. 频率比倍乘率

multiplication factor

为了增加比率的有效数字，对分母侧的频率进行分频后再来控制闸门的开闭，该分频比即表示倍率。

指标水平：10,100,1000,10000 等。

测试方法：同本节(二)中指标 17“多周期平均数”测试方法。

43. 误差

error

表示频率比测量时的误差。

指标表示：$\pm\frac{1}{M}\pm\frac{\text{B 通道信号的触发误差}}{n}$　传统方式

其中　M为计数器读数，$M=nf_a/f_b$。n为 B 通道信号的周期倍乘率。f_a，f_b 分别为输入到 A、B 输入端的信号频率。

$\pm\text{LSD}\pm\frac{\text{触发误差}\times\text{频率比值}}{\text{闸门时间}}$　倒数方式

式中　LSD 为最低位有效数字。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 2-20。

(2) 测试步骤

① 信号发生器 1 和 2 的输出经过衰减器 1 和 2 的衰减，分别加在被测仪器的输入 1 和 2 上，并把它们固定于规定的最低点。

② 信号发生器 1 的频率原则上取被测仪器分子侧频率规定范围规定的最高值，信号发生器 2 的频率则尽可能取分母侧频率测定范围规定的较低值。

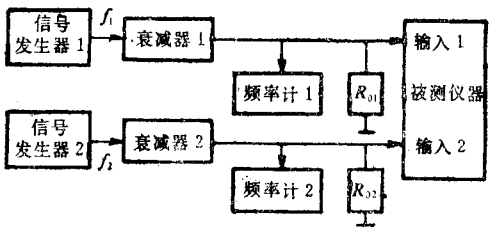


图　2-20

③ 用频率测定装置 1 和 2 测出频率 f_1 和 f_2，由比值 f_1/f_2 和被测仪器的指示算出该项误差。

(3) 测试要求

① 把输入衰减器和触发电平调整器置于最大灵敏度位置。

② 被测仪器带有触发斜率切换装置时按正负两极性进行。

③ 被测仪器带有频率比倍率装置时，在它最大倍率时同样进行。

④ 如果信号发生器 1 和 2 为标准信号发生器，其 S/N 较好，此时可省去频率计 1 和 2。

⑤ 频率计 1 和 2 应能充分读取信号发生器 1 和 2 的频率，具有能够确认被测仪器的误差的准确度。

⑥ 频率比定义为 f_1/f_2，必须 $f_1\geqslant f_2$。

(五) 累加计数测量

44. 计数速率(计数速度)

counting rate

表示可以计数的正弦波或脉冲波输入信号的最高频率。

指标水平：120MHz

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 2-21。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

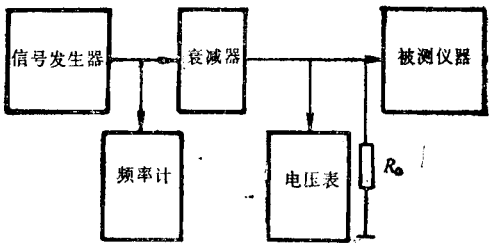


图 2-21

(2) 测试步骤

① 将输入电压固定于规定的最低点。

② 使信号发生器的输出同时连接到频率计和被测仪器上，从规定的最高频率开始逐步提高，测出被测仪器从稳定工作状态变为不稳定工作状态时的频率，这个频率就是所求的计数速率。

③ 然后，将输入电压固定于规定的最高点。

④ 进行②项的测试。选两个频率值较低者为计数速率。

(3) 测试要求

① 信号发生器输出的波形为正弦波或占空比为 50% 的矩形波，或者两者兼有。输入电压以及波形的测量使用示波器。

② 频率计应比被测仪器具有高一个数量级的准确度。

45. 计数分辨力

counting resolution

表示可能计数的一对双脉冲输入信号的最小脉冲间隔。

指标水平：8ns

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 2-22。

(2) 测试步骤

① 使双脉冲信号发生器处于单次，将输入电压固定于规定的最低点。

② 使脉冲间隔逐次减小，测出被测仪器能够正确地数出 2 个脉冲的最小脉冲间隔。

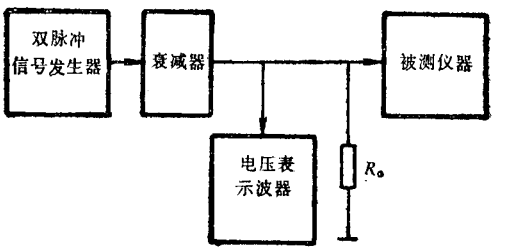


图 2-22

③ 然后，将输入电压固定于规定的最高点。

④ 进行②项的测量。

(3) 测试要求：双脉冲信号发生器输出的脉冲宽度和脉冲间隔的比约为 50%。

46. 计数容量

counting capacity

表示最大计数的数值。

指标水平：$10^{10}-1$

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 2-23 所示。

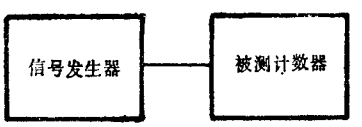


图 2-23

(2) 测试步骤

① 计数器设置为计数状态。

② 将信号发生器的输出连接到计数器的计数输入端。

③ 让计数器进行累加计数，观测计数器在溢出前的计数值是否符合产品标准的规定。

47. 输入阻抗

同本节(一)中指标 4“输入阻抗”项测试。

48. 输入电压范围

input voltage range

表示在规定的计数速率和计数分辨力范围

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

内能正常工作的输入电压范围，通常以峰-峰值表示。

指标水平：0～15V

测试方法一[计数速率测定时的输入电压]

(1) 测试方框图，见图 2-21。

(2) 测试步骤

① 把信号发生器的频率固定在与规定的计数速率相当的值上。

② 调整输出信号幅度(或调整衰减器)，使输入电压从规定的最低值逐步减小，在与频率测量装置相比较的同时，测量被测仪器从稳定动作状态转变为不稳定动作状态时的输入电压。

③ 接着，把输入电压固定于规定的最高值，观察被测仪器的动作状态是否稳定。

(3) 测试要求：同本节"计数速率"中的测试要求。

测试方法二[计数分辨率测量时的输入电压]

(1) 测试方框图，见图 2-22。

(2) 测试步骤

① 使脉冲信号发生器处于单发状态，脉冲间隔固定在相当于规定中计数分辨力的时间间隔上。

② 调整信号发生器的输出电压幅度(或调整衰减器)，使输入电压由规定的最低电压起逐步减小，测量被测仪器能够正确数出 2 个脉冲时的极限输入电压。

③ 接着，将输入电压固定于规定的最高电压，观测被测仪器能否正确地数出 2 个脉冲。

(3) 测试要求：同本节"计数分辨力"测试要求。

49. 手动门控方式(手动计数方式)

manual totalize

计数器人工控制计数的能力。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 2-23 所示。

(2) 测试步骤

① 将计数器设置为手动计数状态，连接信号发生器的输出端到计数器的输入端。

② 反复几次进行手动控制(启动、停止、清零)计数，观测仪器是否能正常工作。

50. B 信号门控[在 B 信号作用下累计 A 信号数(A/B ⎍)]

A by B (gated by B)

以 B 通道信号作为门控方式累计 A 通道的输入事件数的能力。

测试方法*：

(1) 测试方框图，如图 2-24 所示。

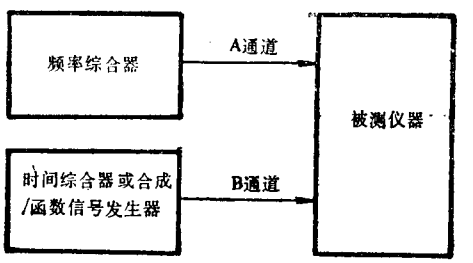


图 2-24

(2) 测试步骤

① 将被测计数器设置为 B 作用累计 A 状态。

② 将时间综合器输出一低频矩形波信号，适当选择其信号宽度(如 10 ms)作为计数门控信号加到 B 通道上。频率综合器输出一较高频率信号作为被计事件数加到 A 通道上。

③ 观测计数器的显示值与实际值是否一致。

51. B 事件门控[两个 B 事件间输入的 A 事件数(A/B ⎍⎍)]

start/stop by B

是指两个 B 事件信号间累计 A 事件数的能力。

测试方法*：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

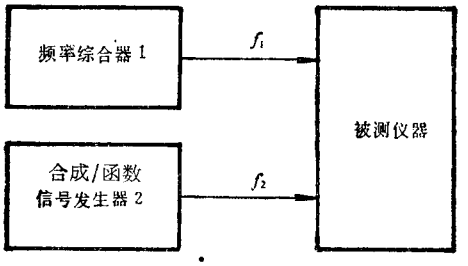


图 2-25

(1) 测试方框图，如图 2-25 所示。

(2) 测试步骤

① 将计数器设置为 B 事件间隔累计 A 事件数状态。

② 调节频率综合器 1 输出频率 f_1 作为被计事件数信号加到 A 通道，合成/函数信号发生器 2 输出频率 f_2 的矩形波信号作为门控事件信号加到 B 通道。

③ 观测计数器显示值是否与 f_1/f_2 一致。

(3) 测试要求：要求 $f_1 > 100f_2$ 以上。

52. B-C 时间间隔门控［在给定的时间间隔内累计事件数（A/B-C）］

totalize A gated by B-C

在外部给定的时间间隔内（B 端输入启动信号，C 端输入停止信号）累计 A 端输入信号的事件数。

测试方法*：

(1) 测试方框图，见图 2-25 所示。

(2) 测试步骤

① 将计数器设置为 A/B-C 状态。

② 设置频率综合器 1 输出一频率信号作为被计事件数连接到 A 输入端。合成/函数信号发生器 2 输出一低频矩形波信号作为门控时间信号加到 B、C 输入端的合输入端口，启动侧采用触发斜率为正，停止侧触发斜率为负，即利用低频信号的半周期作为门控信号。也可将启动与停止触发斜率都设定为正，利用低频信号的周期作为门控信号。

③ 也可采用时间综合器的输出信号作为门控信号(如图 2-24 所示)。

④ 观测计数器的显示是否正确。

(3) 测试要求：要求 f_1 的周期小于 B-C 时间间隔。

53. 误差

error

计数工作时的实际计数误差。

指标表示：手控：±1

A/B：±1±A 事件输入速率 ×B 触发误差

A/B-C：±1±A 事件输入速率 ×（B 触发误差 + C 触发误差）

指标水平： ±1

测试方法一[手控]：

(1) 测试方框图，见图 2-23 所示。

(2) 测试步骤

① 将计数器设置为手控计数状态，连接信号发生器的输出端到计数器的计数输入端。

② 调节信号发生器的输出频率，使其以 1Hz 的速率输出。

③ 以手控方式进行计数，在约定的时间内观测其误差是否为±1。

测试方法二[A/B]：

(1) 测试方框图，见图 2-24 及图 2-25 所示。

(2) 测试步骤

① 将计数器设置为 B 事件间隔(或 B 作用时间)累计 A 事件数状态。

② 将 A 事件数速率分别设置为 1MHz 和 10Hz，将 B 事件间隔(或 B 作用时间)分别设置为 1s 和 10s，观测计数结果是否正确。

测试方法三 [A/B-C]：

(1) 测试方框图，见图 2-25 所示。

(2) 测试步骤

① 将计数器设置为 A/B-C 状态。

② 设置频率综合器 1 分别输出 1MHz 和 10Hz频率信号作为被计事件连接到 A 输入端，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

合成/函数信号发生器输出一低频矩形波信号作为门控信号加到 B-C 端的单线输入端口，启动侧触发斜率设定为正，停止侧设定为正。

③ 调节合成/函数信号发生器的输出频率，使其分别为 1Hz 和 0.1Hz，观测累计数结果是否正确。

（六）显示部分

54. 显示

display

表示仪器的测量结果、消隐和存储功能是否正常。

测试方法： 目测检查。

55. 溢出指示

overflow

在测试过程中，当测量结果超过计数器规定的容量时，能否正确指示。

测试方法： 用目测检查。

56. 显示单位

unit indicator

在测试过程中能自动定位显示测量结果的量值单位指示。

测试方法： 在测试过程中观测单位指示是否与被测值一致。

57. 显示位数

display number

表示显示的位数。

指标水平： 一般为 9 位至 11 位显示。

测试方法： 目测检查是否正确。

58. 显示时间

display time

表示 1 次测量值的显示保留时间。若有手动复位，则显示时间可为无限大。

指标水平*： 一般为 0.1s～10s 左右，连续可调，并有∞档。

测试方法： 目测检查是否正确。精确显示时间值应在打开机盖后通过复位脉冲间的时间间隔测量后获得。

（七）基准振荡器

59. 频率

frequency

表示基准振荡器的标称频率。

指标水平： 通常为 10MHz 或 5MHz。

测试方法： 可用频率计（要满足能够分辨被测仪器的准确度）直接测量频率，检查频率是否正确。

60. 日频率波动

day frequency fluctuation

表示仪器经过规定时间预热后，在一天之内的频率最大相对变化量。

指标水平： 一般为 1×10^{-8}，3×10^{-9} 等。

测试方法：

（1）测试方框图，如图 2-26 或图 2-27 或图 2-28 所示。

（2）测试步骤

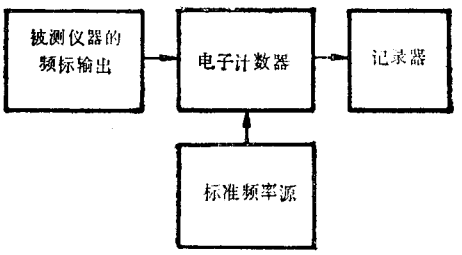


图 2-26 计数器法

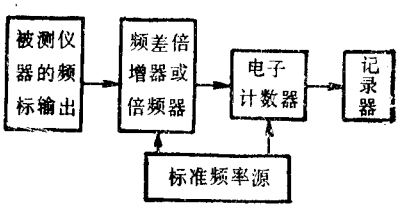


图 2-27 频差倍增法或倍频法

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

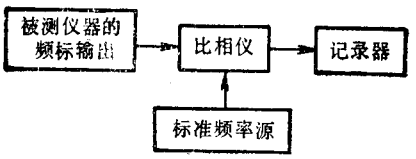


图 2-28 比相法

① 把被测仪器的基准频率输出和标准频率源的输出分别加到频率比较装置上。

② 测试在规定预热时间结束后立即开始(一般为48小时),在一天的时间内每隔一小时测一点,连续测量24小时共25点,并用记录器记录下来。

③ 从记录的数据中找出最大值 f_{max} 和最小值 f_{min},计算出日波动。

计算公式:

$$S=\frac{f_{max}-f_{min}}{f_0}$$

式中 f_0 为被测仪器的基准频率的标称值。

(3) 测试要求

① 标准频率源应比被测仪器准确度高一个数量级,稳定度高三倍以上。

② 用计数器测试时,应取计数器闸门时间 $\tau \geqslant 10s$。

③ 通常对频差要求劣于 $\pm 1\times 10^{-7}$ 的,用图2-26所示的计数器直测法,既可测频率,也可测周期再算频率。频差要求优于 $\pm 1\times 10^{-7}$ 的,用图2-27所示的频差倍增法或倍频法,也可用图2-28所示的比相法。

61. 老化率

aging rate

经过规定的预热时间后,基准振荡器的输出频率在单位时间内频率的平均变化量。

指标水平: 1×10^{-9}/日, 1×10^{-7}/月

测试方法:

(1) 测试方框图,见图2-26或图2-27或图2-28。

(2) 测试步骤

① 同"日频率波动"测试步骤中①项。

② 在规定预热时间后,在必要的时间间隔内(如1小时,1天,1星期或1个月等)连续进行,并记录下来,然后按照最小二乘法进行计算得到老化率。

③ 老化率计算公式:

$$k=\frac{n\sum_{i=1}^{N}(f_i-\overline{f_i})(t_i-\overline{t_i})}{f_0\times\sum_{i=1}^{N}(t_i-\overline{t_i})^2}$$

式中 n——每日测试的次数,即24小时与取样周期之比;

N——取样个数;

t_i——取样时序,用自然数列表示;

f_i——t_i 时刻测量的振荡器输出频率值;

$$\overline{f_i}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}f_i;$$

$$\overline{t_i}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}t_i$$

(3) 测试要求:同"日频率波动"中的测试要求。

62. 短期频率稳定度 $\sigma_y(\tau)$

short term frequency stability

表征基准振荡器输出频率的随机起伏,通常是指1ms~100s时间间隔的稳定度,用阿仑方差来计算。

指标水平: 1×10^{-11}/1s

测试方法一(频差倍增测频法):

(1) 测试方框图,见图2-29。

(2) 测试步骤

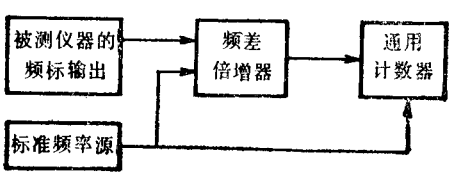


图 2-29

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 将频差倍增器输出与通用电子计数器测频输入端相连。

② 通用计数器功能开关置于"频率"位置，测量经倍增后的频率或差频，所需的取样时间就是计数器的闸门时间，每个取样时间测 $m+1$ 个数，按下式计算：

$$\sigma_y(\tau)=\frac{1}{Mf_0}\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\frac{(f_{i+1}-f_i)^2}{2m}}$$

式中　f_i、f_{i+1}：为第 i 和第 $i+1$ 次测得的频率或频差值，M 为频差倍增次数，f_0 为频率标称值，m 为取样组数，τ 为取样时间。

测试方法二(频差倍增测差频周期法)：

(1) 测试方框图，见图 2-30 或图 2-31 所示。

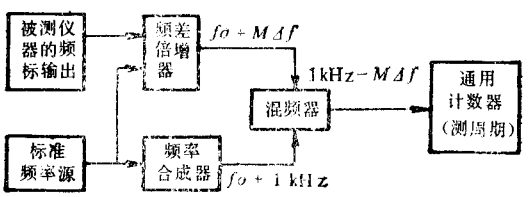


图　2-30

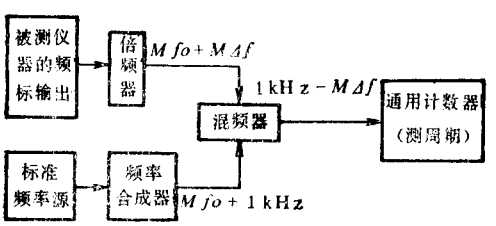


图　2-31

(2) 测试步骤

① 频差倍增器或倍频器输出信号以及频率合成器输出信号分别与混频器的输入端相连，混频器输出的差频信号 1kHz—$M\Delta f$ 加到通用计数器测周期输入端。

② 通用计数器功能开关置于"周期"位置，测量混频后的差频周期。所需的取样时间用改变周期倍乘数获得。当差频取 1kHz 时，与周期倍乘数 1，10，10^2，10^3 及 10^4 相对应的取样时间分别为 1ms，10ms，100ms，1s 和 10s，各测 $m+1$ 个数，按下式计算：

$$\sigma_y(\tau)=\frac{F}{\tau Mf_0}\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\frac{(\tau_{i+1}-\tau_i)^2}{2m}}$$

或

$$\sigma_y(\tau)=\frac{p}{\tau^2 Mf_0}\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\frac{(\tau_{i+1}-\tau_i)^2}{2m}}$$

式中　F——差频，取 1kHz；

p——周期倍乘数；

τ——取样时间，$\tau=p/F$；

τ_i，τ_{i+1}——第 i 和第 $i+1$ 次测得的 p 倍差频周期值。

(3) 测试要求：要求频率综合器输出的频率比被测仪器的频率准确度高一个数量级，稳定度高三倍以上。

63. 开机特性　K

machine on character

晶体振荡器经过初步预热以后，频率值在一段时间内的最大变化。

指标水平：一般为 3×10^{-8}/开机 1 小时后 8 小时内。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 2-29 所示。

(2) 测试步骤

① 把被测仪器的基准频率输出和标准频率源的输出分别加在频差倍增器的输入端上。

② 被测仪器工作一段时间（一般为 24 或 48 小时)后，切断电源 24 小时再接通电源，预热一定时间（一般为 1 或 3 小时）后，每隔 1 小时测量频率一次，测量时计数器闸门取 $\tau\geqslant10$s，连续测量 7 小时共 8 个数据或按被测仪器的技术标准进行测量。

③ 按下式计算出开机 1 小时后 4 小时内的最大变化以及开机 4 小时后 4 小时内频率最大变化或按被测仪器的技术标准进行计算。

$$K=(f_{max}-f_{min})/f_0$$

其中　f_0 为被测仪器的基准频率的标称值；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

f_{max} 为测量的频率最大值；

f_{min} 为测量的频率最小值。

64. 频率调整范围(频率调节范围)

frequency adjust range frequency turning range)

不拆卸晶体振荡器，而通过可变元件改变输出频率的范围。

指标水平：$\pm 2 \times 10^{-7}$

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 2-29 所示。

(2) 测试步骤

① 频差倍增器输出与通用计数器测频输入端相连。

② 通用计数器功能开关置于"频率"位置，测量经倍增后的频率。

③ 调节振荡器的频率可变元件，用计数器作记录器观测被测晶体振荡器的频率范围是否满足其技术标准的规定。

65. 频率负载变化(负载频差) *C*

frequency load variation (frequency tolerance due to load variation)

其他条件保持在基准条件下，负载阻抗在规定变化范围内，晶体振荡器输出频率相对于标称负载阻抗时输出频率的最大相对变化（一般是指负载从空载变化到 50Ω)。

指标水平：10^{-11}

测试方法：

(1) 测试方框图：见图 2-29 所示。

(2) 测试步骤

① 同指标 64"频率调整范围"测试步骤中①～②项。

② 当晶体振荡器输出为空载时，测量出其频率值 f_1。晶体振荡器输出加上标称负载，稳定一段时间后测量出频率值 f_2。

③ 频率负载变化的计算按下式进行：

$$C = (f_1 - f_2)/f_0$$

其中 f_0 为被测仪器的基准频率的标称值。

66. 频率重复性(频率重现性) *R*

frequency retrace characteristic

在晶体振荡器输出频率稳定后，断开电源放置一段时间，再接通电源，在工作规定时间内，其输出频率返回到断开电源前稳定频率的程度。它通常用前后两次输出频率的相对频差来量度。

指标水平：2×10^{-8}

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 2-29 所示。

(2) 测试步骤

① 同指标 64"频率调整范围"的测试步骤①～②项。

② 晶体振荡器预热一段时间（通常为 24 或 48 小时)测出此时的频率 f_1。

③ 断开电源放置一段时间（通常为 24 小时)，再通电预热，在工作规定的时间(一般为 1 或 3 小时)后测出其频率 f_2。

④ 按下式计算重复(现)性：

$$R = (f_2 - f_1)/f_0$$

67. 温度变化误差(温度频差) *D*

frequency temperature variation (frequency tolerance over the temperature range)

其他条件保持在基准条件下，在规定温度范围内，晶体振荡器输出频率相对于基准温度时输出频率的最大相对变化。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 2-32 所示。

(2) 测试步骤

① 使温度试验箱内的温度处于标准状态，测出此时被测仪器的频率作为 f_0。

② 从被测仪器温度范围的最低点到最高点，根据温度特性以适当的温度间隔变化温度试验箱内的温度，测出被测仪器的频率，最低值作为 f_1，最高值作为 f_2。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

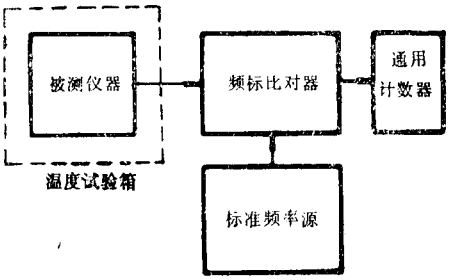


图　2-32

③ 相对温度的变动由下式求得：

$$变动\ D=\frac{f_2-f_1}{f_0}$$

④ 在测定时，每当温度变化后，应根据漂移特性放置到稳定状态后再加以测试。

(3) 测试要求

① 温度试验箱的温度要能从规定的最低点到最高点。

② 同本节“日频率波动”中的测试要求。

68. 电压变化误差　(电压频差)　B

frequency supply voltage variation (frequency tolerance due to supply voltage variation)

其他条件保持在基准条件下，电源电压在规定变化范围内，晶体振荡器输出频率相对于基准电源电压时，输出频率的最大相对变化。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 2-33 所示。

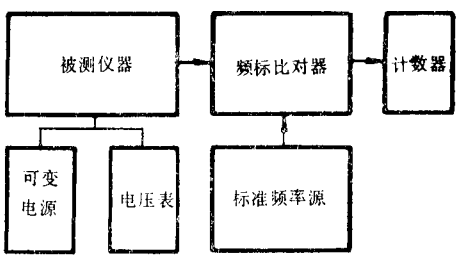


图　2-33

(2) 测试步骤

① 把被测仪器的电源电压调整为额定值，测出此时被测仪器的频率 f_0。

② 然后，使被测仪器的电源电压从规定的最低点变到最高点，测出被测仪器的频率，分别作为 f_1 和 f_2。

③ 相对于电源电压的变动由下式求得，

$$B=\begin{cases}\pm\dfrac{|f_1-f_0|}{f_0}\\[2ex]\pm\dfrac{|f_2-f_0|}{f_0}\end{cases}$$

变动值选 B 值中的较大值。

④ 在测试时，变化电源电压后，要放置到频率充分稳定后再进行测量。

(3) 测试要求

① 可变电源要具有足够高的稳定度。

② 电压表应具备足以读出电压变化的性能。

69. 准确度　A

frequency accuracy

被测晶体振荡器频率的实际值与标称值的综合差异。两者越接近，准确度越高。

指标水平：$\pm 3\times 10^{-9}$

测试方法：

(1) 测试方框图：如图 2-34 所示。

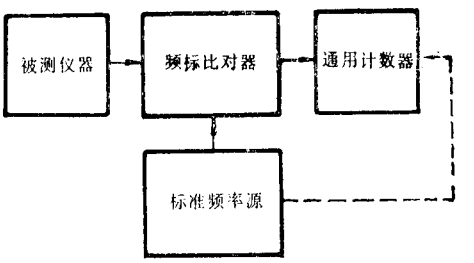


图　2-34

(2) 测试步骤

① 把被测仪器的基准频率输出及标准频率源输出加到频率比较装置上。

② 测出此时的频率 f_1。

③ 准确度计算公式：$A=\dfrac{f_0-f_1}{f_0}$

式中　f_0 为标称频率值。

(3) 测试要求：标准频率源应符合要求。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

70. 时标输出频率

frequency of output of time standard

被测仪器中经倍频或分频后的时基输出的实际频率。

指标水平：100MHz，10MHz，1MHz，1kHz等。

测试方法：

（1）测试方框图，如图 2-35 所示。

图 2-35

（2）测试步骤

① 用计数器测量时标的频率。（如被测仪器本身是频率计，则可将时标输出接到前面频率测量输入端测量也行。）

② 由显示值读出各时标频率值。

③ 测量时可以直接采用频率测量的方式，也可先测周期然后算出频率。

71. 时标输出波形

waveform

输出时标的实际波形。

指标水平：一般为脉冲波输出。

测试方法：

（1）测试方框图，如图 2-36 所示。

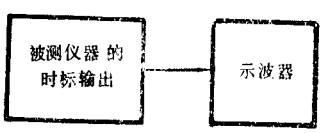


图 2-36

（2）测试步骤：用示波器观测被测仪器的输出时标信号的波形。

（3）测试要求：示波器必须具备足以观测输出时标信号的性能。

72. 时标输出电压

output voltage

输出时标的实际电压幅度。

指标水平：$1V_{rms}$

测试方法：

（1）测试方框图：见图 2-35。

（2）测试步骤：用示波器直接测量被测仪器的时标输出信号。

（3）测试要求：示波器应该具备能测定输出时标信号的电压的性能。

73. 时标输出阻抗

output impedance

输出时标信号时，仪器对外部呈现的阻抗。

测试方法：

（1）测试方框图，如图 2-37 所示。

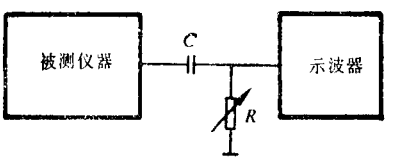


图 2-37

（2）测试步骤

① 用示波器测定未接入可变电阻器 R 时的输出时标信号的电压，把这个值作为 E_0。必须注意选用输入阻抗较高的示波器。

② 然后，接入可变电阻器 R，并变化 R 使输出电压变为 $E_0/2$，这时可变电阻器 R 的值就等于输出阻抗。

（3）测试要求

① 示波器应具备能够测定被测仪器时标输出信号的电压的性能。

② C 为隔直流电容器，CR 取比输出时标信号周期充分大的值，不须隔直时则不用。

74. 外接标频输入电压

input voltage

采用外频标输入时需要的实际输入电压

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

值。

指标水平：1V

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 2-38 所示。

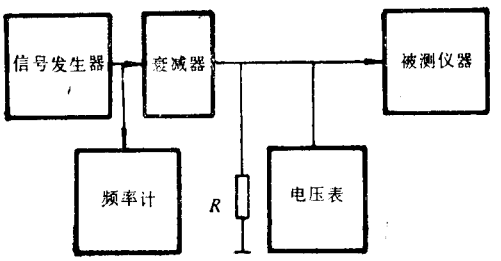


图　2-38

(2) 测试步骤

① 将信号发生器的频率固定于规定所示的频率上。

② 操作衰减器（或信号发生器的输出幅度），让被测仪器的输入电压从规定的最低点缓缓减小下去，测定被测仪器从稳定的动作状态变为不稳定动作状态时的输入电压。

③ 然后，操作衰减器（或信号输出幅度），将被测仪器的输入电压固定于规定的最高值，试验被测仪器是否处于稳定的动作状态。

(3) 测试要求

① 使被检仪器处于自检状态。

② 信号发生器采用 S/N 较好的稳定的正弦波信号发生器。

③信号加在被测仪器的外部基准频率输入上。

75. 外接标频输入阻抗

同本节(一)中指标4“输入阻抗”测试。

(八)　其　　它

76. 自检

self-check

利用频率计内闸门时间和时标进行测频功能检查。

指标水平：10MHz，100MHz 自校。

测试方法：

① 将被测仪器置于自检功能上。

② 分别选择“闸门时间”和时标开关，观测被测仪器的读数应符合产品标准的规定。

③ 显示时间旋钮由最小时间位置旋到最大时间位置，观测显示时间，应符合产品标准的规定。

④ 显示时间旋钮旋到无限大即手控复原位置，按手控复原按钮，被测仪器应正常。

77. 输入输出接口

I/O interface

BCD 码输出：

由每位数字提供 BCD 编码，加上溢出、单位、小数点和打印命令。电平通常为 TTL 或 MOS 电平。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 2-39 所示。

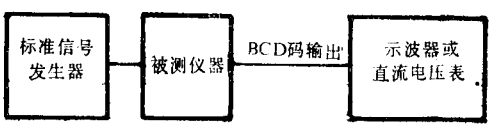


图　2-39

(2) 测试步骤

① 将标准信号发生器信号输入到被测仪器的输入端。

② 功能开关置于频率测量或计数。

③ 调节信号发生器频率由低到高，使被测仪器的各级计数电路出现所需的状态，用示波器或直流电压表逐点测量编码输出逻辑“1”和“0”状态的电压及打印指令信号的电压，均应符合产品标准的规定。

④ 在打印指令信号是触发脉冲信号形式的场合，测出其极性和脉冲振幅、半值幅度。在指令信号是电压信号形式的场合，测定阶跃前后的各电位。

GP-IB 接口功能*：

对于具有 GP-IB 程控功能的计数器其接

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

口应符合 GBn249.1～2 的有关规定，接上控制机后应能根据程控命令工作正常。

测试方法： 按给出的仪器程控代码命令用带 GP-IB 接口的计算机(或 GP-IB 母线分析仪)进行实际操作测试，判断是否符合其产品标准的规定。

78. 电压驻波比 S

voltage standing-wave ratio

由于微波输入通道的输入阻抗与信号源的输出阻抗不相等，会有反射，反射的结果，就有驻波产生，形成波腹和波节。电压驻波比是指波腹点的电压 V_{max} 与波节点的电压 V_{min} 之比，它是一个大于 1 或等于 1 的实数。电压驻波比是用来衡量驻波成分的强弱的，值越大，驻波成分越大。

指标水平： 应符合 ≤1.5，2.0，2.5 或 3.0 的要求。

测试方法：

可以用网络分析仪或驻波电桥直接测量或按下法进行：

(1) 测试方框图，如图 2-40 所示。

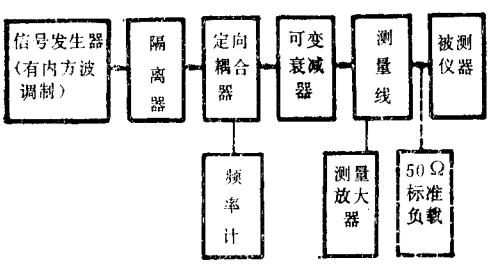


图 2-40

(2) 测试步骤

① 按图 2-40 配备与被测仪器频段内相一致的仪器和微波器件。

② 送入微波信号，读出频率计数值，将 50Ω 标准负载(测量线的附件)接至测量输出端，调可变衰减器，使测量放大器有电压指示，细调测量线内外调谐腔，使谐振在微波信号频率上，此时如测量放大器打表头，可减小信号输出幅度，加大衰减量或减小放大器的放大量，移动测量探针位置，找到 $|X_{max}|$ 和 $|X_{min}|$，使读数在测量放大器量程范围内，此时系统驻波比应为最小。

③ 移去 50Ω 标准负载，接上被测仪器，移动测量线的探针位置，找到相邻一组 $|X_{max}|$ 和 $|X_{min}|$ 之值，记录下来。

④ 改变微波信号发生器频率，重复②、③步骤，又得一组数据，通过计算可得某一频段上的电压驻波比。

计算公式为：$S=\sqrt{\dfrac{|X_{max}|}{|X_{min}|}}$

其中 X_{max}、X_{min} 为测量放大器上读得的最大、最小值。

(3) 测试要求

① 测量需在小信号情况下进行，否则电压驻波比测量误差较大。

② 选用仪器和器件必须与被测仪器频段相一致。

③ 系统的连接要求系统本身驻波比要越小越好，故各仪器和器件本身驻波要小，而且各仪器(器件)间连接要求紧配合，总之使系统驻波比最小为宜。

④ 如要求测得电压驻波比值比较精确。可取多组 $|X_{max}|$ 和 $|X_{min}|$ 值，再求其 $|X_{max}|$ 和 $|X_{min}|$ 的平均值，求出较精确的电压驻波比值。

79. 耦合*

couple

AC 或 DC 或其中之一。

测试方法： 用万用表在输入端口测量其对地直流电阻，当交流耦合时电阻值极大，当直流耦合时电阻值较小。

80. 损坏电平

Danger level

输入电平应满足在产品标准中规定的 DC + AC_{p-p} 值，可按产品规定分频段满足。

测试方法： 按产品标准给出的损坏电平值输入

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

信号，检查仪器是否正常工作。

81. 低通滤波器

lowpass filter

在产品标准中规定滤波器截止频率标称值和噪声抑制能力。

指标水平：DC～1MHz

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 2-41 所示。

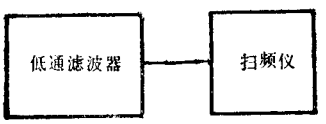


图　2-41

(2) 测试步骤

① 用扫频仪观察通带的带宽是否符合标称值。

② 用扫频仪测出通带损耗及阻带衰减量，阻带衰减量应符合噪声抑制的要求。

③ 对于机内带有低通滤波器输入电路的被测仪器，检查其通带外噪声抑制应符合产品标准的要求。

82. 手动触发电平范围

manual trigger level range

仪器测试时触发电平点的手动调节范围。

指标水平：－5V～＋5V

测试方法：用双向电压表在触发电平测试点处测出旋转手动触发旋钮时的手动触发电平变化范围应符合产品标准的规定。

83. 输入通道

input channel

各个独立通道对输入信号进行整形输出的能力。

测试方法：目测检查被测仪器的各个通道（A、B 或 C)是否都能测试。

84. 输入衰减

input attenuator

输入通道对输入信号进行衰减的能力。

指标水平：一般为 3 倍或 10 倍制衰减。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 2-1 所示。

(2) 测试步骤

① 将计数器设置为测频状态，衰减器放置在×1 档。

② 选择频率综合器适当的频率和幅度输出加到计数器的测频输入端，逐渐调节频率综合器的输出信号幅度直至计数器刚能稳定地测频，记下此时输入幅度为 X_1。

③ 计数器的输入衰减设置于“×n”位置，调节频率综合器信号的输出幅度直至计数器再一次稳定地工作，记下此时的幅度为 X_2。

④ 实际输入衰减器的衰减量为 $N_1 = X_2/X_1$，比较是否 $N_1 \approx n$。（n 为任意衰减量)。

(3) 测试要求：如计数器有多档衰减时，应逐档进行测试。

85. 触发电平输出

trigger level output

计数器实际测试时的触发电平点的电平输出。

指标水平：－5V～＋5V

测试方法*：在触发电平输出端用直流数字电压表测量其电压输出。

86. 外闸门输入范围

external gate input

能保证计数器正常工作的外闸门输入范围。

测试方法*：

(1) 测试方框图，如图 2-42 所示。

(2) 测试步骤

① 将频率综合器的输出端连接到计数器

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

图 2-42

的外闸门输入端。

② 按计数器的产品标准规定，调节频率综合器的输出频率使其半周期等于外闸门输入范围规定的最小值，观测计数器能否正常工作。

③ 调节频率综合器的输出频率使其半周期等于外闸门输入范围规定的最大值，观测计数器能否正常工作。

87. 外部预备输入

external arm input

计数器内闸门在外部预备输入信号的作用下工作的能力。

测试方法：按照计数器产品标准的外预备输入幅度规定，外加一个高电平输入，观测计数器是否正常测量一次后处于等待状态，直至下一次外部预备输入。

88. 闸门输出

gate output

计数器测试时实际闸门信号的输出波形、幅度、闸门宽度。

指标水平： 1μs～100s

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 2-43 所示。

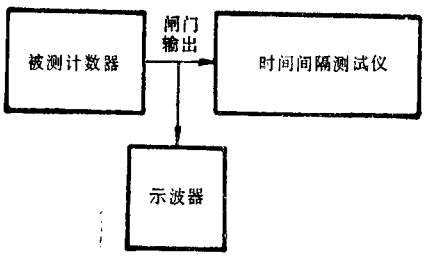


图 2-43

(2) 测试步骤

① 用示波器观测闸门输出信号的波形和幅度。

② 用时间间隔测量仪测量闸门输出信号的闸门宽度。

③ 对传统方式的计数器则应将实测的闸门宽度与预置的闸门宽度进行比较，算出误差，判断是否符合计数器产品标准的规定。对倒数方式的计数器则不需要②项的测试。

89. 多通道间串扰*

multi-channel interfere (cross talk)

当被测仪器具有多通道输入时，在一个通道输入信号时能引起其他通道出现交叉干扰的情况(或渗漏到其他通道中)，这种现象称为多通道间串扰。

指标水平： 大于 500mV

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 2-44 所示。

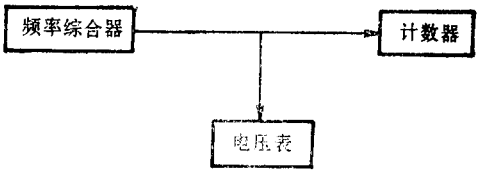


图 2-44

(2) 测试步骤

① 计数器设置为测频状态，各通道独立。

② 将频率综合器的输出连接到计数器的某一测频输入端。

③ 选择一适当的频率，调节频率综合器输出幅度，直至邻近通道的触发指示闪烁为止。读出此时的输入信号电平值。

(3) 测试要求：各通道的触发电平应设置在最灵敏点(一般为 0 触发电平点)。

90. 定标输出*

scaller output

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在输入信号频率下选择定标因子输出分频频率信号的幅度、波形、频率值。

指标水平：$10 \sim 10^9$

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 2-45 所示。

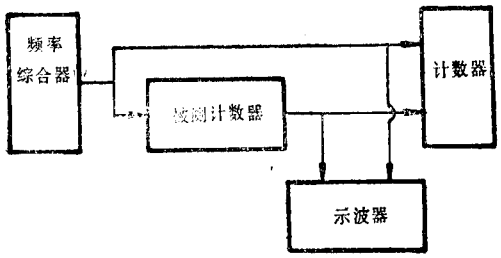


图　2-45

(2) 测试步骤

① 用示波器观测定标信号输出的幅度及波形。

② 将计数器设置为频率比测量。将频率综合器的信号分两路，一路到计数器的频率比输入端，另一路到定标输入端。将被测计数器的定标输出接到计数器的另一路频率比输入端。

③ 选择被测计数器的定标因子，从计数器上读得的值是否与其一致。

(3) 测试要求：如果有多档定标因子则应逐个测试。

91. 最大功率消耗

maximal power consumption

仪器可能出现的最大电源功率消耗。

指标水平：35W

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 2-46 所示。

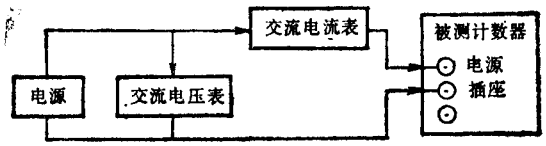


图　2-46

(2) 测试步骤

① 按图 2-46 所示接入电源、交流电压表和交流电流表。

② 使被测计数器处于功耗最大工作状态及在额定电源电压上限条件下测量电流和电压值，计算最大功率消耗。

最大功率消耗：$V \times I$

式中　V 为交流电压表的读数；I 为交流电流表的读数。

*　*　*

本章技术指标及测试方法中所用主要测试仪器汇总如下。

主要测试仪器汇总表

仪器名称	参　考　型　号	检定规程编号
示波器	SBM-14、CS2110 等	JJG262-81
交流电压表	JE-1B、DA-29、DA-22、DYC-5 等	JJG308-83 等
直流数字电压表	PZ-8 等	
小功率计	HP435A 等	
合成/函数发生器	HP3325A 等	
频率综合器	HP8656A、HP8660C、HP8620C、HP8165A 等	
合成信号发生器	HP8662A 等	
信号发生器	XD-1、XO10、XFG-7、XG-13 等	
时间综合器	HP5359A、NF1583 等	
时间计数器	HP5370B、EE3570、EE3301 等	
频率比对装置	PO7 系列、比相仪、XH3590 等	
高稳频标	EE1610、EE1600、XH3302 等	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

仪器名称	参 考 型 号	检定规程编号
高频Q表	QBG-3、QBG-9 等	JJG382-85
阻抗分析仪	HP4191A、HP4192A 等	
频率计	HP5335A、PM6654、E325A 等	JJG349-84
扫频仪	NW1232 等	
测量放大器		
直流电压源		
可变衰减器		
定向耦合器		
双脉冲发生器	MFS-2B 等	
驻波电桥	TB4-50 等	
测量线		
数字万用表		
频谱分析仪	141T 等	
脉冲信号发生器	XC-17、XC-33 等	

第5节 频率(时间)计数器量值传递表

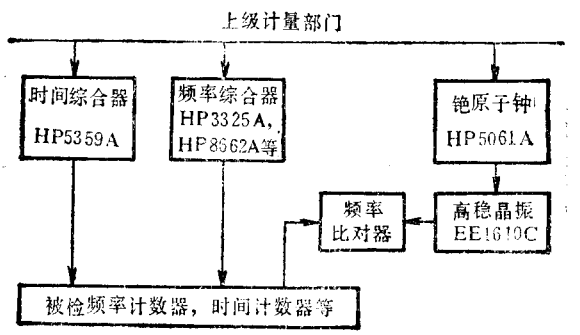


图 2-47

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第3章 频率比对器

第1节 综 述

在电子技术领域内，频率是一个最基本的参数，描述的是在1秒时间间隔内电信号重复（振荡）的次数。广义的频率是描述自然现象中周期性运动过程在单位时间内重复出现的次数，这个单位时间通常也是指1秒（1s）。这个秒是国际单位制中规定的原子秒，即1967年10月第十三届国际计量大会正式通过决定采用的秒定义："秒是位于海平面上的铯（Cs^{133}）原子基态两个超精细能级间在零场中跃迁辐射振荡9192631770个周期所持续的时间"。这个秒定义内容也被我国法定计量单位制中时间量的基本单位秒所采用。按照这个新定义，被测量的量不是时间而是频率，也就是说测定稳定的、连续的振荡周期积累次数可确定时间量。此外频率与其它许多电参量的测量方案、测量结果都有十分密切的关系，因此频率的测量就显得更为重要。对于频率测量所提出的要求，取决于所测频率范围和测量任务。例如，在实验室中，若研究频率对谐振回路、电阻值、电容器损耗角或其它被研究参量的影响时，频率测量精度达到 $\pm1\times10^{-2}\sim\pm1\times10^{-3}$ 也就足够了；对于广播通信设备频率测量精度应达到 $\pm10^{-5}\sim\pm10^{-7}$ 量级；对于导航定位设备频率测量精度可能要求达到 $\pm10^{-8}\sim\pm10^{-10}$ 量级或更高；而对于频率标准设备频率测量精度应要求优于 $\pm1\times10^{-10}\sim\pm1\times10^{-13}$。因此，对频率测量来讲，不同测量任务，对其测频精度要求十分悬殊，相应采用的测量方法、测量设备也是不同的。频率比对器就是在精确测量频率时，所必须的一种设备，通常由频率比对器完成频率变换、频率比较，再通过采样显示装置得出测量结果。随着电子技术的发展，目前有的比对器本身也包含了采样显示甚至数据处理功能，成为一个完整的频率测量系统。

（一）测量频率的工程方法

振荡信号频率的测量，按其原理通常可分为两大类。一类是直接利用电路的某种频率响应特性来测量频率，按这种原理制造成的测频装置有谐振式频率计，测量误差主要由于谐振回路损耗和回路标准元件的变化引入的误差。这类测量方法不能应用频率比对器，测量总误差在 ±(0.25～1)% 范围内。另一类是利用标准频率与被测频率进行比较来确定被测频率，比较法测量频率的误差主要取决于标准频率的准确度和比较方法误差，一般比较法可达到较高的测量精度。常用的比较方法利用示波器做相位比较器，采用 Lissajous 图形确定被比较的两信号的频率比，当一个频率为标准时，即可求出另一个频率值。也可利用谐波混频器做频率比较器，采用组合波的差频确定被比较的两信号频率的谐波次数，当一个频率为已知时，即可得到另一个频率值。由这种谐波差频比较法原理制成的频率测量仪器叫"外差频率计"，测频误差可达 10^{-4} 量级。另一种常用的比较方法就是利用电子计数器做周期比较器，采用在主门时间内计数脉冲个数确定被比较的两信号周期比，当一频率信号的周期为标准时，即可求出另一个信号的频率值。由这种比较原理制成的通用计数器或数字式频率计，可适应比较宽的频率范围的测量，测量误差可小于 $\pm1\times10^{-6}$，主要决定于标准频率误差和数字化仪器特有的量化误差（±1个字误差）。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

上述三种常用的频率比较测量方法所形成的测量设备在当今的电子技术水平看，都属于通用的频率比对仪器，测量的误差或测量精度都受比对方法误差限制。然而频率的显著特征是其定义的高度准确和测量的高度精密，其水平远远超过所有其它物理量。对高度准确和高度稳定的频率进行测量，当测量误差要求小于 $\pm 1\times 10^{-10}\sim\pm 1\times 10^{-12}$ 甚至更小时，利用通用的频率比对测量仪器就无法实现，必须采用提高频率测量精度的新技术，由此一批新型的频率比对器相继出现，但是基本比较原理仍是上述几种比较方法，这些频率比对设备适用于频率的直接比对。如果采用无线电信号传递标准频率，进行频率接收间接比对，又有一批由传递与接收方法不同的频率接收比对设备。如利用短波、长波、微波及电视、卫星、航天飞机等传递标准频率信号时，就有相应的接收设备和比对设备，这类比对装置属于专用的频率比对仪器。通用的一类可参看示波器和电子计数器等章节，专用的一类属时间比对与测量专业不属本章介绍的内容。但考虑到本书不包括时间传递、比对、测量方面的章节，而电视法比对等仪器在频率测量与计量领域的广泛应用，所以对电视法比对器也作些简单介绍。

（二）多周期同步测量

利用数字计数器进行周期比较法测量时，设在标准信号 N 倍周期内与 n 倍被测信号周期比较：

$$NT_r = nT_x \tag{3-1}$$

$$f_x = \frac{n}{NT_r} = \frac{n}{\tau} \tag{3-2}$$

式中 T_r——标准频率信号周期；

T_x——被测频率信号周期；

τ——计数器采样(闸门)时间。

这种比较法就是计数器测频原理，± 1 个字的量化误差为多计或少计一个 T_x 周期，即和被测信号频率 $f_x = 1/T_x$ 有关。若设在被测信号 p 倍周期内与 m 倍标准信号周期比较：

$$pT_x = mT_r \tag{3-3}$$

$$T_x = \frac{mT_r}{p} = \frac{\tau_0}{p}\cdot Q \tag{3-4}$$

$$\tau_0 = \frac{m}{Q}T_r \tag{3-5}$$

式中 τ_0——标准信号周期分数时标；

Q——正整数，计数器读数值。

这种比较法就是计数器测周原理，± 1 个字的量化误差为多计或少计一个时标 τ_0 周期，即和标准信号频率 $f_r = 1/T_r$ 有关，而与被测频率无关。

± 1 个计数所对应的测量误差对于计数器来说就是测量分辨率，它是所能得到的最高测量精度。要想提高分辨率，在测频法中，由式（3-2）知，只有加长测量时间 τ，因受计数器本身结构限制，目前 $\tau = 1\text{ms}\sim 10\text{s}$。在测周法中，由（3-4）式知，可选用小的 τ_0，或大的 p 值，这也受计数器本身结构限制，目前 $\tau_0 \leqslant 10\text{ns}$，$p$ 只有 10^0、10^1、10^2、10^3、10^4 几个值。但是测周法比测频法分辨率可高许多，并与被测频率无关，所以要提高分辨率通常都是采取周期测量法，选用更小的时标。这种思路引出三种新型频率比较测量仪器。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

其一是多周期同步计数器。取样时间 τ 是由控制信号产生，在其同时控制下，打开闸门A和闸门B，使计数条A和计数条B工作。计数条A计数被测信号周期个数 N_a，计数条B计数时标信号周期个数 N_b，经运算器运算，得到被测频率在采样时间内的平均值，在显示器上显示：

$$f_x = \frac{N_a}{N_b \cdot \tau_0} \tag{3-6}$$

此处的 N_a 即是周期扩展倍数 p，它不是几个固定值，而是由计数条A确定。这类仪器目前作为商品的如美国 HP 公司的 5345A 计数器就是代表，直接计数的最高频率是 500MHz，当取样时间为 1 s 时的测量分辨率为 $\pm 2 \times 10^{-9}$。

其二是多周期内插计数器。在计数条B的测量过程中，闸门B与时标信号不同步造成的时间偏差利用两个高性能充放电电容器，在其充电开始到放电结束时间内产生二个辅助闸门信号，其宽度为不同步时间偏差的 1000 倍，并在此时间内计数时标的个数 N_1 和 N_2，此时的被测频率为：

$$f_x = \frac{1000N_a}{(1000N_b + N_1 - N_2)\tau_0} \tag{3-7}$$

利用内插技术可使较低速的计数器，也能得到较高的测量分辨率，如对于同样 1s 取样时间，测量分辨率为 $\pm 2 \times 10^{-9}$，相当于频率上限为 1 MHz。这类仪器作为商品的如我国南京电讯仪器厂生产的 EE3301 型计算计数器。

其三是多周期游标计数器。在计数条B的测量过程，闸门B与时标信号不同步造成的时间偏差利用两个游标时标、两个游标计数条测量，设测量时标个数为 N_1 和 N_2，游标时标为 τ_1 和 τ_2，则被测量的时间间隔为

$$T = N_a\tau_0 + N_1\tau_1 - N_2\tau_2 \tag{3-8}$$

利用游标技术可测量比时标周期更小的时间间隔，并且在同样取样时间（如 1s）条件下，相应的测量分辨率可大大提高(达到 $\pm 4 \times 10^{-11}$)。这种频率比对测量仪器的代表如美国 HP 公司的 5370A 时间间隔计数器。

上述三种计数器的频率比对原理，是目前国内外一些先进的高精度计数器采用的方法，都是在计数器内部采取措施提高频率比对分辨率，为提高测量精度创造条件。下面介绍的几种技术是在电子计数器外部采取办法，实现提高整个频率比对系统的分辨率。

（三）频差倍增测量

电子计数器测频原理表明，要提高测量分辨率，一种有效的办法是把被测频率倍增 M 倍，分辨率也就提高了 M 倍，但受到高次倍频和高速计数器的限制，如取样时间 $\tau = 1$s，欲得到 $\pm 1 \times 10^{-11}$ 分辨率，需要把频率（如 1MHz）倍增到 10^5MHz 以及要求同样高速的计数器，这在实际是难以做到，甚至是不可能的。为此而产生的一种频率比对设备为频差倍增器，它是将被测频率与参考频率之差(简称频差)倍增 M 倍，而基本频率不倍增，或倍增到一个较低值。采用这种原理的频率比对设备，目前普遍使用的有两种主要类型。

一类是利用倍频和混频技术实现的直接式频差倍增法频率比对。由输入变频器对被比较的两频率信号变换成同一标称值，然后将参考频率倍增（$m-1$）倍，被测频率倍增 m 倍，经混频后得到倍频后的差频

$$m(f_0 \pm \Delta f) - (m-1)f_0 = f_0 \pm m\Delta f, \tag{3-9}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

即实际倍增的是初始频差。若将相同的倍频与混频的倍增级串联 n 级，就可能得到倍增差频 $f_0 \pm m^n \Delta f$，然后用计数器测量其频率值。此时计数器 ±1 计数引起的误差，即测量分辨率为原来直接用计数器测频时的 $1/m^n$。这类比对器具有代表性的是苏联生产的 Ч7-12 型和石家庄无线电四厂生产的 PO7A 型频率比对器。

由于线路噪声的影响和相同频率的牵制作用，这类频率比对器倍增级数最高是到 5 级左右(即 $n=5$，通常 $m=10$)，达到的最好测频精度，大约为 $1\times10^{-12}/\tau$。显然这种比对器为了获得高精度测量和高分辨率测量，一般 $\tau \geqslant 1s$。当需要 $\tau \leqslant 1s$ 的取样时间，又要高精度测量时，可以在倍增输出之后通过变频、鉴频、低放组件，输出拍频频率信号送计数器测量周期，或输出正比于初始频差的直流电压用记录仪测量。还可以在倍增输出之后通过移相、检相组件，输出倍增差频信号用频谱分析仪进行频谱分析和频域测量。这类比对器如四川星华无线电仪器厂生产的 XH3590 型频稳分析仪。

另一类是利用分频和锁相技术实现的锁相式频差倍增频率比对。这种比对器需要内装一个压控晶振，其输出频率 f_s 经 m 次分频后与参考频率 f_r 混频，混频器输出频率是两个输入频率的和，再与被测频率经频率变换的频率 $m(f_0+\Delta f)$ 鉴相去锁定压控晶振，当锁定后鉴相器两个输入信号的相位及频率保持一致，即

$$m(f_0+\Delta f)=f_r+f_s/m=mf_0+m\Delta f \tag{3-10}$$

$$f_r=(m-1)f_0 \tag{3-11}$$

$$f_s=m(f_0+m\Delta f)=mf_0+m^2\Delta f \tag{3-12}$$

压控晶振输出频率 f_s 表明基本频率 f_0 倍增 m 倍，而频差 Δf 倍增了 m^2 倍。混频器输出频率 (f_r+f_s/m)，由 (3-10) 式表明基本频率为 mf_0 时，频差倍增了 m 倍。这是一级锁相式频差倍增器，若是 n 级相联，则频差会倍增 m^n 倍。这类频率比对器的代表产品为法国 ADRET 公司生产的 4110 型频差倍增器，其中 $f_0=1MHz$，$m=10$，$n=0、1、2、3、4$，$f_r=9MHz$，倍增器输出频率为 $10MHz\pm10^n\Delta f$，此频率可送入电子计数器直接测频得到。

（四）相位比较测量

为了减小比对测量误差，另一个有效措施是延长测量取样时间。利用电子计数器测量频率或周期时，取样时间的延长要受到限制。目前最长的取样时间是美国 HP 公司的 5345A 计数器。取样时间只到 1000 秒，国产计数器一般只到 10 秒。另外长时间采样容易因外界的电磁干扰导致错误计数。为了解决长取样时间高分辨率高测量精度的测试，可采用所谓相位-时间测量技术，即相位比较测量。

振荡信号的瞬时相位、瞬时角频率和瞬时频率分别为：

$$\phi(t)=2\pi f_0 t+\varphi(t) \tag{3-13}$$

$$\omega(t)=2\pi f(t)=\dot{\phi}(t)=2\pi f_0+\dot{\varphi}(t) \tag{3-14}$$

$$f(t)=\frac{\omega(t)}{2\pi}=f_0+\frac{\dot{\varphi}(t)}{2\pi}=f_0[1+y(t)] \tag{3-15}$$

振荡信号的瞬时相对频率偏差和瞬时相对相位偏差分别为：

$$y(t)=\frac{f(t)-f_0}{f_0}=\frac{\Delta f(t)}{f_0}=\frac{\dot{\varphi}(t)}{2\pi f_0} \tag{3-16}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$x(t)=\int_0^t y(t)dt=\frac{\varphi(t)}{2\pi f_0} \tag{3-17}$$

实际测量中只能得到某时间间隔的平均频率 $\bar{f}_k$ 或平均频率的相对偏差 $\bar{y}_k$，其值为：

$$\bar{f}_k=\frac{1}{\tau}\int_{t_k}^{t_k+\tau} f(t)dt=f_0[1+\bar{y}_k] \tag{3-18}$$

$$\bar{y}_k=\frac{1}{\tau}\int_{t_k}^{t_k+\tau} y(t)dt=\frac{x(t_k+\tau)-x(t_k)}{\tau} \tag{3-19}$$

(3-17) 式表达的 $x(t)$ 量与瞬时相位成正比，量纲是时间，通称为相位-时间，其单位是秒。(3-19) 式表明在取样时间 τ 内的平均频率的相对偏差，可从 τ 时间内累积的相位时间求得，由 (3-18) 式就可得到平均频率，相位比较法就是在 (3-19) 式的原理指导下实现的。频率差为一常数的两个被比较的信号通过整形器后，形成相位不同的脉冲系列，经与门触发器产生矩形波系列，方波的持续时间与两脉冲系列相位差成比例，再经积分器输出电压呈锯齿形，其斜率与频率差成正比，其零点和最大点相应于脉冲相位偏差为 0° 和 360°。使用记录仪记录周期变化的锯齿形电压得到相位曲线，对应于两信号的相位时间差，相位曲线的零位和满度位置相应的相位时间差是被比较信号的周期值。相位曲线记录了两信号累积的相位时间差，由 $t=t_k$ 和 $t=t_k+\tau$ 两测量时刻间记录的累积相位时间差值，用 (3-19) 式和 (3-18) 式计算，即可得到测量结果。

利用测量相位时间差并累积计算的方法制成的频率比对设备称为线性相位比较器或称比相仪，代表性产品有德国 R/S 公司生产的 XKP 型比相仪，美国 AUSTRON 公司生产的 1201 型比相仪，我国烟台市无线电三厂生产的 XJ-2 型线性相位记录仪等。比相法测量可实现连续测量，无间隙采样，长时间采样，获得高分辨率测量的效果。如比相频率为 5 MHz，记录仪分辨率为满度的百分之一，取样时间为 1 h 时，对应的分辨率为 $\pm 5.6\times 10^{-13}$。

（五）双通道混频时差测量

双通道混频时差测量是由美国国家标准局（NBS）研究成功的最新时差测量技术，也是在公式 (3-17)、(3-19) 的基础上实现的，但是和相位比较法的思路完全不同，而是采用数字计数测量方法。这种方法的比对设备有两个比对通道，被测频率和参考频率不直接比对，而是分别通过各自通道与一个辅助振荡器比对，经过混频后得到两个具有同样标称频率的拍频信号，再经过低通滤波、低噪声放大等，获得两个拍频信号的过零点，利用时间间隔计数器测量两个拍频信号正向过零点之间的时间差 Δt_i，即不是直接测量两个比较频率信号的相位-时间 $x(t)$ 值，而是转移到相当低的拍频频率上，使实际需测量的 $x(t)$ 值扩大了 (f_0/f_{B0}) 倍，即：

$$x(t_i)=\Delta t_i\cdot\frac{f_{B0}}{f_0} \tag{3-20}$$

式中 f_{B0}——拍频频率标称值；

f_0——比对频率标称值。

双通道混频时差测量法测量平均频率 $\bar{y}_k$ 时，取样时间 $\tau=n/f_{B0}$，n 为任意的正整数，拍频频率 f_{B0} 可以由频率合成器调节，故这种方法与其它方法相比，取样时间的选取灵活，并且是无间隙取样，符合检定规程(标准)要求。另外一个特点是可以用通用的时间间隔计数器，在时标信号 τ_0 不变的情况下降低 (f_{B0}/f_0) 倍，提高了测量分辨率，有利于达到高精度测量要求。比如通用时

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

间间隔计数器时标取 0.1μs 时，设拍频频率 $f_{B0}=10\text{Hz}$，被测频率 $f_0=5\times10^6\text{Hz}$，取样时间 $\tau=0.1\text{s}$ 时，可计算得用常用的时差测量法测量误差为 1×10^{-8}，测时误差为 0.1μs，而采用双通道混频时差方案，测时误差为 0.2ps，测频误差为 4×10^{-12}，即使采用前述的频差倍增测频法，当倍增次数 $M=1\times10^4$ 时，测频误差也只为 2×10^{-10}。此方法的比对仪器代表产品首推美国 HP 公司的 HP5390 型时域测量装置。

（六）相位锁定低电平相位噪声测量

上述几种测量技术和比对设备都是适用于瞬时频率 $f(t)$ 和相对标称频率的归一化瞬时频率偏差 $y(t)$ 的时域分析，这种分析和测量方法不能得到瞬时取样值，频率比对测量得到的结果总是在一定时间间隔内的平均值，即独立变量确切的说不是连续的时间 t，而是取样时间 τ，时域分析和测量对于确定振荡器的频率和不稳定性是十分必要的。但是任何振荡器的输出信号不可能绝对稳定和纯净，而是具有噪声的，任何噪声源都能作用于所产生的信号的频率或相位上。为了描述噪声模型，采用频域分析方法更为适宜，分析和测量频率和相位起伏波动，可了解信号的频谱和噪声类型。在频域中 $y(t)$ 的特性用它相应的谱密度 $S_y(f)$ 来描述，$\varphi(t)$ 的特性用它相应的谱密度 $S_\varphi(f)$ 来描述，$x(t)$ 的特性用它相应的谱密度 $S_x(f)$ 来描述，另一个实用性很强的量就是单边带相位噪声，具体定义为相位噪声调制的单边带功率谱密度与信号载频功率之比，记为 $\mathscr{L}(f)$，其量纲为 dBc/Hz，f 为付里叶频率。几个量之间是可以互相转换的，但由于相位起伏谱密度 $S_\varphi(f)$ 易于直接测量，目前国内外较普遍采用。简单原理是利用相位锁定技术使被比较的被测信号和参考信号满足频率相等，两信号保持正交（即相位差近于 90°）的条件，保证鉴相器产生的输出电压只与两个比较（鉴相）信号的相位起伏成比例。

当取样时间小于锁定环路作用时间时，该取样时间内输出电压的平均值与两信号的相位差成比例，可利用频谱分析仪或波形分析仪测量相位起伏的付里叶分量，实现频率稳定度的频域测量，通常用于取样时间 $\tau<1\text{s}$ 的相位起伏测量或付里叶频率 $f>1\text{Hz}$ 的相谱分析。当取样时间大于锁定环路作用时间时，该取样时间内输出电压的平均值与两信号的相位的微分（频率）差成比例，可利用电压-频率转换器测量频率起伏的表征量，测量由电子计数器用直接测频或倍乘测周法实现，这就是时域频率稳定性的测量，通常适用于 $\tau>1\text{s}$。

利用相位锁相技术实现低电平相位噪声测量的比对器，主要由鉴相器、环路滤波器、低噪声放大器和电压控制的晶体振荡器组成，其代表性产品有航天部 203 所研制的多功能频率稳定度测量装置，主要用于高稳定度频率标准的测量。这类频标主要应用于多卜勒雷达、相位调制数据系统、多路通信、计量等领域，直接要求相位噪声造成的频标边带的谱密度尽可能的低。当测量要求的最小付里叶频率为 $f_{\min}$，即欲测出偏离标称频率 $f_{\min}$ 以外的相位噪声谱密度，相位锁定闭环时间常数应满足：

$$T\gg1/2\pi f_{\min} \tag{3-21}$$

$$T=1/F\cdot A\cdot K_0K_d \tag{3-22}$$

式中 T——闭环时间常数；

F——低通滤波器增益；

A——低噪放大器增益；

K_0——压控晶振的电调率；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

K_d——检相灵敏度。

相位锁定技术在频率时间精确测量中的一个重要应用就是利用锁相环把本地振荡器锁定在接收到的信号相位上，实现同输入信号的频率(或相位)比对，这即是锁相接收机。

(七) 无线电信号接收比对测量

时间频率信息可通过无线通信传输到远距离，这一特点是其它参数无法比拟的。远距离频率比对，采用接收无线电信号时间频率标准信息的方法是最重要的一种方法。对于分散的用户来说，从灵活性和经济效益的观点看，无线通信接收比对是最适宜的方法。无线电时间频率传输系统和比对方法可以按不同的方法进行分类，至少可以分成两类。一类是专门用于时间频率传输与比对的；另一类主要目的不是时间频率传输但依赖于精密定时的系统。由于这些系统和设备主要用于时间服务和应用，这里只作些与频率比对相关内容的简略介绍。

短波接收比对　短波系统为高频时号广播系统，是最早用来传播标准时间频率信息的无线电信号，载波频率在 2.5～25MHz 范围内，信号主要依靠天空中电离层的反射传播，因此电离层的所谓"衰落"特性、多路径传播特性都影响频率比对精度的提高，通常限制在 $\pm 1 \times 10^{-7}$。短波频率比对主要依靠短波接收机和示波器。世界各国大都有自己的短波授时台，我国早期的短波时号是上海徐家汇天文台主管的 BPV，它于 1981 年 7 月 1 日停发，现在由陕西天文台主管的 BPM (呼号)担任。

甚低频接收比对　甚低频系统为甚低频时号广播系统，载频范围为 3～30kHz，甚低频电波沿着地球表面和较低的电离层（D 层）形成的球形波导传输，由于它的作用距离远，可靠性高，多用于导航和军事通信，只有少数台站，如 OMEGA，严格用于提供时间频率校准。甚低频接收比对主要依靠甚低频校频接收机，如德国的 XKE 型，我国 70 年代末的 RS-1 型。由于电离层高度和密度变化的影响，以及昼夜相位变化等因素，此法校频准确度可达到 1×10^{-11}/ 1 天。

连续波长波接收比对　连续波长波系统为连续波长波导航系统，长波频率范围为 30～300kHz，非常适合局部地区的标准时间频率传输，白天地波的覆盖范围大约为 1000km，夜间天波的覆盖范围约为 2500km，传输的是缓慢的移幅键和移频键调制信号，信号的频谱很窄。频率比对主要靠锁相低频接收机进行相位比较，比对精度可达到 $\pm 1 \times 10^{-11}$。

罗兰-C 长波接收比对　罗兰-C 长波系统是一个远距离双曲线导航系统，能在全球大部分的海面上实现导航。罗兰-C 系统一共设置了九个链，每个链包括 3～5 个导航台，发射的是快速上升的脉冲信号，载波频率为 100kHz，信号频谱的主要成分在 90～110kHz 波段内。脉冲信号波形是指数形式包络，脉冲系列采用相位编码，各导航台发射的脉冲信号重复周期（GRP）不同，各主台发射的脉冲起始时刻都与美国海军天文台（USNO）的主钟时刻密切相关。信号传播可以是地波，也可以是天波。由于天波信号到达时间比地波信号迟 30 μs 左右，因此，接收波形的前几周是地波信号，基本上不受电离层效应的影响。频率比对是利用地波分量，依靠专门的罗兰-C 接收机，完成对罗兰-C 信号的跟踪接收信号地波分量的相位，正确识别周期，利用脉冲鉴相技术得到一个与信号载频保持相位同步的标准频率信号，然后通过比相法或时差测量法进行频率比对，比对一天以上可以获得校频准确度为 5×10^{-12}。

与罗兰-C 系统类同的还有德国的 DCF_{77} 和我国陕西天文台的 BPL 台，但重复周期为 60 ms，BPL 从 1978 年开始小功率试播，1983 年开始进行大功率试播。专用接收机有美国引进的 2000C

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

型，我国自己研制的 PO-20 型等。近十几年罗兰-C 系统成为国际上时间频率精确比对的最主要途径，国际原子时（TAI）和协调世界时（UTC）的产生，也依靠罗兰-C 作联系媒介。

卫星传输接收比对　利用卫星进行频率(时间)传输与比对，由于覆盖面积大，受大气层和电离层干扰小，可靠性高，受到人们特别的重视。多种多样用途的卫星，如通信卫星、广播电视卫星、气象卫星、导航卫星、科学实验卫星等都可用于时间频率的精确比对与测量。按其工作模式的不同，可分为"单向法"、"双向法"和"共视法"三种。所用卫星不同及所用卫星发播信号制式的不同，要选用不同类型的专用卫星接收机和信号分离器，频率比对精度也有所不同，其中以接收利用运行周期同地球自转周期相同的同步卫星进行频率测量，可以达到 $\pm 2\times 10^{-14}$ 的不确定度，为最理想的比对手段。

我国用户在时间频率精确测量中可直接利用的卫星系统有子午仪卫星系统（TRANSIT）、日本的气象卫星（GMS）、国际通信卫星系统、全球定位卫星系统（GPS）及我国自己发射的同步卫星。1979 年，我国曾利用德法交响乐卫星（Symphonie）处于印度洋上空时机，进行了"双向法"试验。1982 年，利用国际通信卫星组织提供的机会，进行了"单向法"研究。1987 年，利用 GPS 实验卫星系统，进行了"共视法"实验。先后都取得了令人满意的成果。

电视信号接收比对　电视信号系统用于时间频率传输与比对开始于 60 年代末。电视广播服务迅速扩展到全世界，提供了时间频率传输与比对的各种可能性，我国电视广播事业的发展也为在全国各地利用电视信号进行频率远距离比对创造了条件。特别是中国计量科学研究院和中央电视台在 CCTV 电视节目的传送过程中采用了铯频标控制同步机，有利于推动电视信号接收比对技术的发展。在不干扰正常电视广播和收看的情况下，目前利用电视信号进行时间频率比对有两种基本方法，即无源时间比对法和几种有源时频比对法。我国的彩色电视制式采用的是逐行倒相正交平衡调幅制（PAL 制），传送色差信号的彩色副载波频率为

$$f_{sc} = 283\frac{3}{4}f_H + \frac{1}{2}f_V,$$

我国电视标准规定，每幅电视影像扫描 625 行，而每秒扫描 25 帧，按奇、偶场扫描，即传送 50 场（每场 312.5 行），场扫描频率 $f_V = 50\text{Hz}$，行扫描频率 $f_H = 50\times 312.5 = 15625\text{Hz}$，故 $f_{sc} = 4433618.75\text{Hz}$。为了保证接收图像稳定，发送端要利用同步机的特殊设备，专门产生供接收端同步用的脉冲信号，分别称为"行(水平)同步信号"、"场(垂直)同步信号"、"色同步信号"。这些同步脉冲信号叠加在场扫描逆程和行扫描逆程，保证在接收屏幕上不留痕迹，这种作用通常叫作消隐。

无源时间比对法就是利用在电视信号消隐期间的同步脉冲信号做参考媒介，需要比对的两地利用参考脉冲选择器从电视信号中识别选出约定的同步脉冲信号，利用电子计数器测量电视同步信号与本地频标产生的脉冲信号之间的时刻差，利用公式（3-19）的原理实现频率比对。原则上讲，任一个同步脉冲都可作为参考媒介，我国目前约定选取奇数场第 6 行的行同步脉冲。这种方法在一天内频率比对准确度可达到 1×10^{-11}。

有源比对法主要有两类，一类是利用在电视信号消隐期插入的标准信息进行比对。标准信息一般包括时间编码、1MHz 的标准频率信号、标准秒脉冲等三种。我国的标准信息是插在奇数场第 16 行消隐期。接收端利用标准信息解码和选取装置取出所用的标准信息，同样可以利用时刻差测量和相位-时间测量、比相法等进行接收比对，比对精度也在 1×10^{-11} 以内。另一类是利用彩色电视副载波频率，其频率由彩色电视接收机引出经隔离放大电路后输出标准的副载频信号供本地

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

频率比对，比对设备通常称为彩色电视副载频校频仪。比对方式有三种：一是同频比相法，这种方法由一特殊型式的频率综合器和一比相器组成校频仪，该综合器实现标准副载频 f_{sc} 到某一整数频率的转换，或者实现被测整数频率到 f_{sc} 的转换，然后在同一标称频率上进行比相。这种方法分辨率高，适合对准确度高的频率比对，测量误差可小于 $1\times10^{-12}/30$ 分钟。二是拍频法，利用谐波混频器(采样检相器)原理，被测信号经适当分频后与 f_{sc} 进行拍频，得到的拍频信号频率与被测信号频率的相对偏差有一简单关系，通过测量拍频周期或它的累积相位-时间，实现频率比对，测量误差可达 1×10^{-11} 左右。三是直接测量法，利用电子计数器测量 f_{sc} 的频率或周期，被测频率做计数器外标准信号，测频时作为计数器的闸门(采样)时间，测周时作为计数器的时标信号。这种方法只适用于频率偏差较大的信号源进行频率校准，允许的相对频率偏差大于 1×10^{-10}。

上述几种电视信号接收比对方法在我国都有应用，并且都有相应的比对仪器。如航天部203所生产的 JHF 型电视定时校频仪可进行无源法比对和副载频法比对。陕西天文台生产的有源电视时间频率同步接收装置可进行有源电视的多种比对。广州市计量所生产的 CPB 型校频仪，柳州市计量所生产的 CXF 型校频仪，航天部生产的 JP 型校频仪可进行副载波校频。中国计量科学研究院研制的 PAL-1 型校频比相仪可进行有源电视比相法测量。

(八) 频率比对器发展概况

频率比对器的出现与发展是和频率测量技术的发展相适应的，虽然在19世纪初就发明了测量时间频率的简单器件，但近代的时频测量设备直到20世纪中期才被人们研制出来。特别是50年代以来，随着高精密度、高准确度频率标准的发展，推动了频率测量技术由早期的借助于示波器、电子计数器测量，发展到利用多种技术和手段，研制成各类频率比对设备，用以提高测量分辨率和准确度。目前在国外以美国、德国、苏联、法国、瑞士等国的频率比对设备水平较高，产品应用较广。

美国各时频测量比对设备生产公司，除了生产有各种接收无线电信号的接收比对设备外，还生产了多种频率测量比对设备，HP5345A 计数器直接测频到500MHz，测时分辨率为2ns；微波计数器 HP5356D 可测到110GHz；计算计数器 HP5360A 测时分辨率达0.1ns；时间间隔计数器 HP5370B 测时分辨率高达20ps；相位噪声测量系统 HP3047A 和 HP3048A，利用计算机技术实现自动测量，低电平相位噪声可测到 —170dBc/Hz。Austron 公司的 1201A 线性相位比较器测量精度优于 1×10^{-14} 数量级。

德国以 R/S 公司为代表，早期生产的 XKE 型接收比对装置，可接收 10kHz～200kHz 的标准频率信号，校频精度在 $5\times10^{-10}\sim1\times10^{-11}$ 之间。XKP 型比相仪，XSRM-Z 型相位比较器可以进行 5MHz 以下的相位比较，分辨率可以达到 10^{-13} 以上。

法国 Adret 公司生产的4110型频差倍增器，适用于1、2、2.5、5、10MHz 五种频率比对，最大倍增倍数对于 1MHz 频率为 10^5 倍，自身不稳定性达到 1×10^{-12} 以下。

苏联生产的 Ч7-12 型频差倍增器，适用于 1MHz 和 5MHz 两种频率，倍增倍数对于 1MHz 最大为 10^4 倍，并有变频输出和检相输出，供多种测量比对工作方式选用，自身不稳定性可达 1×10^{-12} 以下。1028A 型自动测量系统可实现频率比较和相位比较，测量误差分别达到 $3\times10^{-14}/100s$ 和 $2.5\times10^{-15}/1h$。

我国的频率比对设备在50年代只是起步，直到60年代后期才有正式产品，70年代是大发展

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

阶段，各类频率比对设备都有相应的产品或研制品。进入80年代，频率比对设备向着多功能、自动测量、自动数据处理方向发展，出现了多种智能化的或在微机程控下工作的比对测试装置或系统。从总体上看我国的频率比对设备基本上是立足于国内，引进设备很少。以国内生产为主，国产化程度高这一特点是频率比对设备研制、生产、使用单位共同努力的结果，应引为自豪的。这些频率比对设备主要有如下各种产品：

60年代表产品有电子部766厂生产的 RS-1 型甚低频接收机，714厂生产的 SCP-1、SCP-2 型时畴测定仪。总字820部队30分队（现中国计量科学研究院无线电处）生产的 PC-1 型频率测量装置功能比较齐全，是利用频差倍增技术研制的，利用 E312 型计数器测量倍增后的频率或周期，测量误差优于 $3\times10^{-12}/10s$，输入频率可为1、2.5、5MHz，倍增倍数为 2×10^{n}，n 为1、2、3、4共四档，测量结果用 LIOS-4 型数字打印机自动打印。该装置还具有纸带记录测量结果的功能，利用译码器和门电路组成的数字电流转换器将 E312 末两位测量结果转换成电流量，再利用电流记录仪记录成频率相对变化量曲线，记录仪分辨率为 1.6×10^{-12}/格。

70年代初代表产品有石家庄无线电四厂生产的 BP-2 型频标比对器，也是根据频差倍增技术基本原理设计的，利用 PS-10 型计数器测量倍增后的频率，共四档输出 5MHz $+5\Delta f$、5MHz $+100\Delta f$、5MHz $+2000\Delta f$、25MHz $+10000\Delta f$，输入频率为1、2.5、5MHz，比对精度优于 1×10^{-11}。利用鉴相技术输出10μs、100μs检相信号，由记录仪记录比对结果，相位比较测量精度为 10^{-12}/天数量级。国家计量院还设计了倍频式频差倍增器。

70年代后期代表产品有上海市计量技术研究所生产的 SJ-2 型频标倍增比对器，采用两级混频和末级直接从1MHz倍至100MHz，利用高速计数器 JS-2 型或 E324 型频率计数器测量倍增后的频率 $100f_0+10^5\Delta f$，$f_0=1$MHz，测量分辨率为 $1\times10^{-12}/10s$。南京无线电厂研制的 PO-19 型计算时域测频器，利用电子计算技术和多周期同步、模拟扩展测时技术实现对20Hz至150MHz的宽频带信号测频或测周，并能自动、快速、准确地按频率稳定度时域表征量进行数据处理，由数字记录器打印出初始数据和归算结果。测量分辨率为 $1\times10^{-2}/f_0\cdot\tau$，取样时间 $\tau=1$ms～100s。石家庄无线电四厂研制生产的 PO7 型频标比对器，采用倍增测频、多周期测量、相位比较等多种技术。倍增倍数对1MHz为 10^5 倍；拍频频率为10kHz。测量误差可达 $1\times10^{-12}/10s$，$1\times10^{-13}/d$。航天部203所设计生产的短稳测量装置和 DF-1 短稳比对器，可用于时域和频域稳定度测量，频率范围1MHz～300MHz，采用差频法、倍频-差频法、频差倍增法、鉴频法、正交检相法等多种技术，因此功能齐全，测量精度达到 2×10^{-12}/秒，$\mathscr{L}(10kHz)<-160dBc/Hz$。

80年代初代表产品有石家庄无线电四厂研制定型生产的 PO-7A/(PO7-1) 型频标比对器，被测频率为1、2.5、5、10MHz，具有频差倍增测频、测多周期、测相位差等三种基本功能，测量分辨率分别为 $1\times10^{-12}/10s$、$1.5\times10^{-13}/10s$、$1\times10^{-13}/d$。输出频率有五档，最高档为10MHz $+10^5\Delta f$，多周期输出1kHz（标称值）。陕西天文台的数字比相仪，相位分辨率为±0.1ns，准确度为±3ns，该比相仪利用了数字检相、数字移相、可逆计数、可变分频等技术，最大测频误差表明，该比相仪适用于宽频带、长时间测量，日测频误差为 3×10^{-14} 左右。陕西天文台的比相式长稳测试仪，其周期倍率可在0.01～1000秒之间自由变化，测试分辨率可达到 $5.4\times10^{-15}/10s$。航天部203所研制生产的 JHF 电视定时校频仪，JP-2、JP-3、JP-4 型彩色副载频校频仪，可利用 CCTV 彩色电视信号进行无源法比对、副载波测周、副载波比相等测量，测量误差分别为 $<1\times10^{-11}/d$、$1\times10^{-11}/40s$、$1\times10^{-12}/30min$。陕西天文台研制生产的有源电视时频同步系统，可以采用各种电视

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

有源比对工作方式进行频率比对，校频精度为 2×10^{-11}。航天部203所和烟台无线电三厂共同设计生产的 XJ-2 型线性相位记录仪，采用砍刀式压敏记录方式，相位差分辨率为 7.2°/格，并且具有两种走纸速度和工作时间累积计数器，适用于 100kHz～5MHz 频率长期比对。

80年代中、后期微机技术在频率比对器中广泛应用，出现了不少多功能自动比对测量设备或仪器。具有代表性的有四川青神星华仪器厂研制生产的 XH3321 型智能毫赫计数器，可以测频、测时、测稳定度、漂移、日波动等，测频范围为 0.01Hz～20MHz。XH3371 智能通用计数器，可程控工作，测频范围为 0.1Hz～100MHz。XH3590 频稳测试仪，可自动测量、数据处理、显示、打印，测量分辨率 7×10^{-13}/s，能完成周期、相对频差，时域稳定度、漂移、日波动等测量。北京大华无线电厂研制的 DH3242 型有源校频比相仪，可完成宽带线性比相（1kHz～100MHz）、彩电副载频比相（5、2.5、1MHz）、标频比相（1～10MHz），校频精度分别为 4×10^{-14}/d、2×10^{-12}/30min 以及（10^{-6}～10^{-10}）。航天部203所、上海天文台等单位研制了双通道混频时差测量装置，可实现 1ms～100s 之间任意取样时间的无间隙连续采样，自身不确定性为 5×10^{-13} 以内。石家庄无线电四厂研制生产的 PO7B 型频标比对器和 SS3502 型频标比对数据采集处理器，组成自动频率稳定度测量系统，采样时间 1ms～100s 共六个点，采样组数 5、10、30、100，倍增倍数 10^n（$n=1、2、3、4、5$），被测频率扩展到 100kHz～10MHz 间共八个点，倍增输出共四档：$30(1\ \mathrm{MHz}+10^n\Delta f)$，$n=1、2、3、4$，比对精度为 1×10^{-13}/100s、5×10^{-13}/10s、3×10^{-12}/1s。该系统可自动完成自检、测频、测稳定度、测准确度、测开机特性、测日波动、测老化率等比对测量，并由 TPμP-16A 微型打印机打出测量结果。

（九）频率比对器发展趋势

频率比对器今后的发展无疑是要紧密结合频率标准技术性能的提高和新型频标的研制需要，不断适应和满足频率测量技术的发展要求。另外还要解决科学研究、国民经济建设、国防科技工业等方面的实际要求。归纳起来，至少有如下几方面的发展趋势。

宽频段、广取样时间。目前已有的频率比对仪器或设备对输入频率的适应性都很有限，多数只适应少数几个标准频率点，取样时间也很有限，只有几个。因此拓宽比对器对被测频率适应性，扩展取样时间，研制生产宽频段、多种取样时间的频率比对器，一直都是设计者和研制者努力的方向。

多功能、智能化测量。在80年代中、后期已取得了一些进展，但仍是在传统的设计思路上利用计算技术变手动为半自动。因此变革设计思路，应用先进器件、部件和先进技术，研制实用性强的、多功能的、具有智能化的新一代频率比对器，是比对器应用者和需求者所希望的。

新领域、高分辨能力。现有的频率比对器虽然种类不少，应用很广，但基本上是限于时域分析和测量，并且都限于连续波领域。为适应工业控制、雷达技术、通信广播等领域的要求，需研究和设计频域比对器，解决脉冲波领域的频率测量技术问题。同时还要提高比对器和测量系统分辨率，提高比对能力。这也是大家共同追求的目标。

多通道、高比对精度。现有的频率比对器一般采用两两比对，即一个参考频率和一个被测频率比对。对于同时有多个被测频率要比对，已研制了多路扫频开关解决。但从发展方向看，研制多通道比对器，提高比对精度，仍是一个努力方向。

此外，对现有比对器进行技术改造，使之扩展功能、自动测量。在这方面国内已有若干单位做

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

出了成绩，也是值得称赞的。

现将国内外频率比对器代表性产品的主要性能指标，列表对比如下。

国内外产品主要性能指标对比

性能指标	国内代表性产品	国外代表性产品
产品类型	PO7A 型频差倍增器	Ч7-12 型频差倍增器
被测频率	1, 2.5, 5, 10MHz	1,5MHz
参考频率	1,5MHz	1,5MHz
频率准确度	$<\pm1\times10^{-6}$	$<\pm1\times10^{-6}$
允许相对频率	$1\times10^{-4}\sim1\times10^{-9}$	1×10^{-7}
输出频率	$1MHz\pm N\Delta f$	$1MHz\pm N\Delta f$
输出幅度	$\geqslant0.5V/75\Omega$	$\geqslant300mV$
倍增次数	$N=10,10^2,10^3、10^4$	$N=10,10^2、10^3、10^4、10^5$
变频输出	$10kHz\pm(N-10)\Delta f$	$1kHz\pm\frac{N}{10}\Delta f$
变频输出幅度	$\geqslant0.5V/1k\Omega$	$2.5V_{p-p}$
检相输出	$\pm(N-10)\Delta f$	0～10mA 直流
预热时间	1 小时	2 小时
测量精度	$\leqslant1\times10^{-12}/1s$	$\leqslant1\times10^{-12}/1s$
产品类型	DH3242 型比相仪	XKP 型比相仪
频率范围	1kHz～100MHz	50Hz～5MHz
输入幅度	0.3V	0.3～10V
记录方式	接触记录	打点记录
记录纸	热敏纸	压敏纸
走纸速度	30mm/1h, 120mm/1h	20mm/1h, 120mm/1h
分辨率	3.6°/格	7.2°/格
测量精度	$4\times10^{-14}/d$	$1.1\times10^{-14}/100h$
工作温度	10℃～30℃	−10℃～+50℃
电源	交流 220V±10%	交流 115/125/220/235V 直流 11V～16V/320mA 21V～32V/400mA

第2节 分 类

频率比对器可以按不同需要进行分类，主要有如下几种分类方法：

按使用类型可分成时域比对器和频域比对器两类。

按比对类型可分成直接比对器、间接比对器、接收比对器三类。

按比对输出类型可分成零频比对器、拍频比对器、差频比对器、频差倍增比对器四类。

按比对方式可分成频率比较器、周期比较器、相位时间比较器、时差比较器、功率电平比较器五类。

按产品类型可分成频差倍增器、比相仪、频稳测试仪、相位噪声测试仪、彩电副载波校频仪、时频信号接收机六类。

按比对原理可分成混频式、鉴频式、鉴相式、检相式、锁相式、倍频差频式、分频和频式七类。

按比对数据采集方式可分成脉冲计数式、电压记录式、电流记录式、数字记录式、数字显示式、

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

屏幕显示式、波形分析式、谱分析式八类。

严格地说每一类又可分成若干种，有时对于一台实际的频率比对器又难以划归到哪一类中去，特别是随着多项功能合一、多种技术并用的频率比对器的不断出现，更是难以归类。

第3节 频率比对器技术指标汇总表

频率比对器技术指标主要是按比对器产品类型分类进行汇总。其中时频信号接收机一类，考虑到主要用于时间同步方面，通常不是主要作为频率比对仪器使用，因此就不汇总在总表里。汇总表中所列的技术指标主要根据产品技术说明书和技术条件汇总的。至于每个具体的频率比对器的技术指标要按产品要求确定。未来可能有的研制产品的技术指标不包含在此汇总表里。

汇总表中所列的技术指标，有的属于性能指标，有的属于产品设计时应保证的技术指标，有的属于功能性指标，因此第4节中只介绍影响量值传递和表征产品技术水平的1～14项技术指标和测试方法。

频率比对器技术指标汇总表

序号	技术指标	频差倍增器	比相仪	频稳测试仪	相位噪声测试仪	彩电校频仪	序号	技术指标	频差倍增器	比相仪	频稳测试仪	相位噪声测试仪	彩电校频仪
1	输入频率	●	●	●	●	●	25	记录纸		●	●		●
2	输入幅度	●	●	●	●	●	26	可视范围		●	●		●
3	频率准确度	●	●	●	●	●	27	环路时间常数			●	●	
4	相对频差	●		●	●		28	时间倍乘			●	●	
5	输出频率	●				●	29	比对路数			●		
6	输出幅度	●				●	30	系统灵敏度	●		●	●	
7	倍增倍数	●		●			31	环路带宽	●		●	●	
8	测量精度	●	●	●		●	32	环路增益	●		●	●	
9	相位漂移		●			●	33	压控范围	●		●	●	
10	非线性误差		●			●	34	显示方式	●		●	●	●
11	拍频频率	●		●	●	●	35	记录方式	●	●	●	●	●
12	拍频周期	●		●	●	●	36	检相输出	●	●	●	●	●
13	检相灵敏度		●		●		37	输入波形	●	●	●	●	●
14	系统剩余噪声电平				●		38	谐波失真	●	●	●	●	●
15	取样时间	●		●			39	平均无故障时间	●	●	●	●	●
16	取样次数			●			40	工作环境温度	●	●	●	●	●
17	测试带宽			●	●		41	工作环境相对湿度	●	●	●	●	●
18	输出波形	●				●	42	供电电压	●	●	●	●	●
19	预热时间	●		●	●		43	功耗	●	●	●	●	●
20	输入阻抗	●	●	●	●	●	44	工作时间	●	●	●	●	●
21	输出阻抗	●				●	45	外形尺寸	●	●	●	●	●
22	检相死区		●	●		●	46	重量	●	●	●	●	●
23	走纸速度		●	●		●	47	测试功能	●	●	●	●	●
24	分辨率		●	●		●							

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第4节 技术指标及测试方法

总则

测试时除应符合一般的环境条件外，还需注意：

- 参考标准仪器：

稳定度指标应好于被测技术指标三倍以上。准确度指标应好于相对频差要求十倍以上。

- 测量显示仪器：

分辨率应优于被测技术指标十倍以上。

- 其它条件：

测试过程中负载应固定。被测频率比对器和所有测试设备应按要求预热。

1. 输入频率

input frequency

保证频率比对器正常工作的频率。反映频率比对器对输入信号频率的适应性，可记为 f_{in}。

测试方法：

(1) 测试方框图

频差倍增原理的比对器按图 3-1 连接。

相位比较原理的比相仪按图 3-2 连接。

电视比对原理的校频仪按图 3-3 连接。

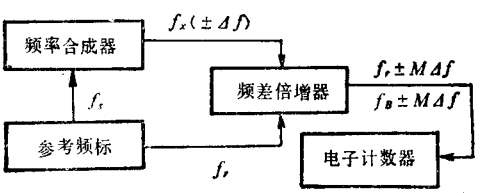


图 3-1

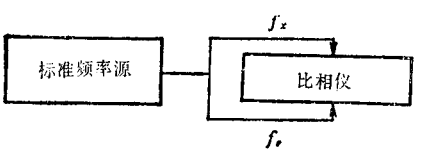


图 3-2

(2) 测试步骤

按被测频率比对器对输入信号频率的要求，选择参考频标或标准频率源。

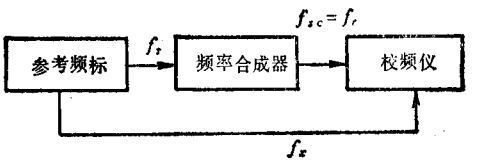


图 3-3

对于频差倍增器，参考频标输出频率 f_r 选在频差倍增器参考频率输入端要求的某一频率上，并固定不变。频率合成器外标准信号 f_s 由参考频标提供，输出频率调整到频差倍增器被测频率输入端要求的某一频率 f_x 上，并给一偏差量 Δf，频差倍增器选定某一倍增倍数 M，输出频率（$f_r\pm M\Delta f$）或（$f_B\pm M\Delta f$）由电子计数器测量频率或周期，应正确。改变 f_x 和 M 值再次测量。在各 f_r、f_x、M 组合情况下，电子计数器测量的频率值或多周期值都应符合计算值。

对于比相仪，两输入信号由同一标准频率源提供，比相仪应能正常画出比对曲线(直线)。

对于校频仪，参考频率 f_r 由参考频标提供，作为被测信号 $f_x=f_r$ 输入校频仪，电视信号 f_{sc} 由频率合成器提供，频率合成器外标准信号 f_s 由频标统一提供，校频仪应能正常画出比对曲线。如果校频仪有输出信号，也可用电子计数器测量，看校频仪是否能正常工作。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 输入幅度

input amplitude

保证频率比对器正常工作的输入信号电平。反映频率比对器对输入信号振幅的适应性，可记为 V_{in}。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 3-4。

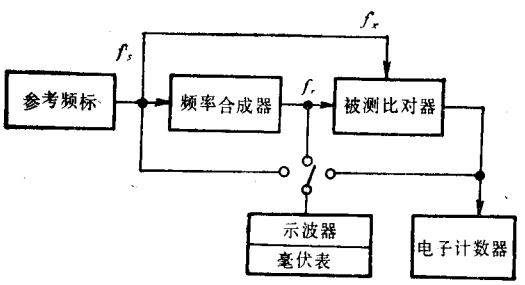


图　3-4

（2）测试步骤

由频率合成器输出频率作为比对器的参考输入端频率，其外标频率由参考频标 f_s 提供，f_s 并作为比对器被测频率输入端频率 f_x。调整频率合成器输出信号电平，用示波器（或高频毫伏表）测量使比对器正常工作的最小输入电压值。频率点可选择比对频率上限和下限频率或指定的频率。

3. 频率准确度

frequency accuracy

保证频率比对器正常工作的输入信号频率的准确度。反映的是频率比对器对输入信号频率准确度的适应性，记为 A。

测试方法：

（1）测量方框图，同图 3-4。

（2）测试步骤

调整频率合成器输出频率，使其与输入频率 f_s 偏差 Δf，并且选择 $\Delta f/f_s$ 等于频率比对器要求的最大频率准确度 A_{max}，比对器应正常工作。调换频率比对器两个输入端接入的信号，此时频率比对器应能正常工作。

4. 相对频差

relative frequency difference

保证频率比对器正常工作时两个输入频率相对标称值的最大偏差量。记为 $\Delta f/f_0$。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 3-5。

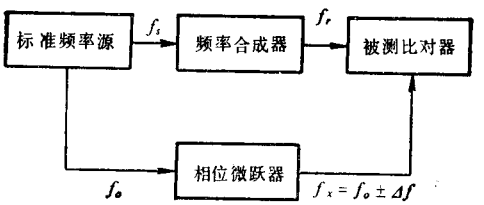


图　3-5

（2）测试步骤

对于频差倍增器、比相仪，调节频率合成器输出信号频率 f_r 为频率比对器参考频率输入端的频率值。对于彩电校频仪，调节 $f_r = f_{sc}$ 彩电副载波频率。调节相位微跃器输出信号频率 $f_x = f_0 \pm \Delta f$，作为频标比对器被测频率输入端的频率值，f_0 为输入频率标称值，并且使 $\Delta f/f_0$ 等于最大频率偏差允许值。此时比对器应正常工作。改变频差倍增器或校频仪的倍增倍数，在最大频差允许值条件下，比对器仍正常工作。

5. 输出频率

output frequency

频率比对器正常工作时，其输出信号的频率实际值。记为 f_{out}。

测试方法：

（1）测试方框图，同图 3-4。

（2）测试步骤

调节频率合成器输出信号的频率和幅度满足频率比对器对输入信号的要求，用计数器测量频率比对器的输出信号频率或周期，应为

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$f_0 \pm M\Delta f$ 或 $f_B \pm M\Delta f$。频率比对器应在倍增倍数各档状态下依次测试，都应符合要求。

6. 输出幅度

output amplitude

频率比对器正常工作时，其输出信号的幅度实际值。记为 V_{out}。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 3-4。

(2) 测试步骤

调节频率合成器输出信号的频率和幅度满足频率比对器对输入信号的要求，用示波器或毫伏表测量频率比对器输出信号的幅度，应符合技术指标要求。频率比对器应在倍增倍数各档状态下依次测试输出幅度，都应符合要求。

7. 倍增倍数

order of multiplication

利用频差倍增原理制成的频率比对器对两输入信号的频率偏差倍增量。记为 M。

倍增倍数通常按十进制给出，即 $M = n \times 10^p$。$n \leqslant 9$ 的整数、$p = 0、1、2、3\cdots\cdots$，每个频差倍增的比对器共有 p 档输出。倍增倍数又称频差倍率。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 3-1。

(2)测试步骤

调节频率合成器输出频率，使 $f_x \pm \Delta f = f_r$，分别加在频率比对器两输入端，依次改变频率比对器的频差倍增档，用电子计数器测量比对器的输出频率值 $f_r \pm M\Delta f$，各档频差倍增倍数按 (3-23) 式计算

$$M = \frac{(f_r \pm M\Delta f) - f_r}{\Delta f} \qquad (3\text{-}23)$$

式中　初始频差 Δf 由频率合成器给出。同理，利用电子计数器测量比对器输出拍频或差频的周期，也可由 $(f_B \pm M\Delta f)$ 求得 M，f_B 为拍频频率标称值。

8. 测量精度

precision of measurement

频率比对器本身噪声引入的不稳定性造成的测量误差。通常指时域测量时频率比对的随机起伏大小的程度，用双取样方差(阿仑方差)的平方根值表征。记为 $\sigma_y(\tau)$。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 3-1、图 3-2、图 3-3。

(2) 测试步骤

对于频差倍增器的频率比对器按图 3-1 连接。电子计数器功能开关置于测频，取样时间由计数器的闸门时间开关控制，连续测量。当取样时间 $\tau = 1\text{ms} \sim 10\text{s}$ 时，测量 m 次，取样次数 $m = 101$，当 $\tau \geqslant 100\text{s}$ 时，$m = 31$。设测频读数为 F_i 时，测量精度按 (3-24) 式计算

$$\sigma_y(\tau) = \frac{1}{Mf_0}\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1}\frac{(F_i - F_{i-1})^2}{2(m-1)}} \qquad (3\text{-}24)$$

当频差倍增器输出拍频信号时，电子计数器功能开关置于测周，取样时间用计数器的周期倍率开关来控制，连续测量，取样时间和取样次数规定同测频。设测周读数为 τ_i 时，测量精度按 (3-25) 式计算：

$$\sigma_y(\tau) = \frac{P}{\tau^2 Mf_0}\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1}\frac{\tau_i - \tau_{i-1}}{2(m-1)}} \qquad (3\text{-}25)$$

式中　P——为计数器所选定的周期倍率；

$\tau = P/f_B$。

对于比相仪按图 3-2 连接。连续测量 m 小时，每小时记录直线偏移量为累积相位时间 $\Delta\tau_i$ 时，测量精度按 (3-26) 式计算

$$\sigma_y(\tau) = \frac{1}{\tau}\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1}\frac{(\Delta\tau_i - \Delta\tau_{i-1})^2}{2(m-1)}} \qquad (3\text{-}26)$$

对于彩电副载波校频仪按图 3-3 连接。当用电子计数器测量校频仪的差拍信号周期时，测周读数为 τ_i 的测量精度按 (3-27) 式计算：

$$\sigma_y(\tau) = 5.6388 \times 10^{-6} \times \frac{\sigma(\bar{\tau}_i)}{\bar{\tau}_i} \qquad (3\text{-}27)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中

$$\bar{\tau}_i = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\tau_i \qquad (3\text{-}28)$$

$$\sigma(\bar{\tau}_i) = \sigma(\tau_i)/\sqrt{m} \qquad (3\text{-}29)$$

$$\sigma(\tau_i) = \sqrt{\frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m}(\tau_i - \bar{\tau}_i)} \qquad (3\text{-}30)$$

测量精度国内有的产品称为比对精度或比对误差，对于校频仪又称校频精度或校频不确定度等。都是指比对器自身不稳定性，都采用如上所述的同源自相关法测试。如果有计算计数器代替电子计数器，则可直接给出 $\sigma_y(\tau)$ 结果。

9. 相位漂移

phase drift

相位比对原理制成的频率比对器两输入端加入相位差固定的同一频率信号后，相位差记录值或指示值的单方向最大变化量。记为 Δ。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 3-2、图 3-3。

(2) 测试步骤

用同一频率源自相关法检定相位漂移。

对于比相仪按图 3-2 连接。连续测量 m 小时，在记录曲线上读出测量时间 $\tau = m = 1\text{d}$ 内相位差的最大变化量，并换算成相位时间差 ΔX，按 (3-31) 式计算，单位都换算成时间单位秒。

$$\Delta = \frac{\Delta X}{\tau} \qquad (3\text{-}31)$$

对于彩电副载波校频仪按图 3-3 连接。校频仪的记录仪连续记录两输入信号在一定时间间隔内的相位差。在取样时间 $\tau = 30\text{min}$ 内记录的相位差的最大变化 ΔX，连续测量 4h，得到 8 个 ΔX 值，取其中最大的 ΔX 值作为相位漂移量。

10. 非线性误差

non-linear error

相位比对原理制成的频率比对器的两输入端加入相位差固定的频率信号后，相位差实测记录曲线情况相对于理论直线的偏离程度。记为 γ。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 3-5。

(2) 测试步骤

调整频率合成器输出频率为比对器参考频率输入端所要求的频率值。对于比相仪调整到上限频率，对于校频仪调整为彩电副载波频率值。调好比相仪或校频仪记录仪的零及满度。从零(或满度)开始，改变相位微跃器输出信号相位，使相位差记录(指示)发生跃跳，从零到满度共改变 n 次微跃器输出信号相位，相位差记录(指示)相应跃跳 n 次，设相位变化量均相同为 ΔX_0，则累积相位差的变化量与累积相位跃跳量之差，即示值误差由式 (3-32) 计算：

$$A_n = \sum_{i=1}^{n}\Delta X_i - n\Delta X_0 \qquad (3\text{-}32)$$

频率比对器鉴相特性非线性误差由式 (3-33)计算：

$$\gamma = \frac{|A_{NM}| + |A_{Nm}|}{T_0} \times 100\% \qquad (3\text{-}33)$$

式中　A_{Nm}——负方向最大示值误差；

A_{NM}——正方向最大示值误差；

T_0——鉴相频率的周期。

11. 拍频频率

beat frequency

频率比对器输出的差拍信号频率。记为 ν_B。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 3-4。

(2) 测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

利用电子计数器直接测量比对器输出的差拍信号频率。计数器工作在测频状态，取样时间由计数器闸门时间确定。比对器改变频差倍增倍数，其输出差拍信号频率为 $f_B \pm M\Delta f$。

12. 拍频周期

period of beat frequency

频率比对器输出的差拍信号周期。记为 T_B。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 3-4。

(2) 测试步骤

利用电子计数器或示波器直接测量比对器输出的差拍信号周期。计数器工作在测周状态，周期倍乘选择应满足测量分辨能力的要求。比对器改变频差倍增倍数，在各档条件下测量差拍信号的周期，$\nu_B = 1/T_B$。

13. 检相灵敏度

sensitivity of phase detector

频域频率稳定度测量所用的频率比对器中检相器两输入信号同频、相位正交时，检相器输出信号过零点的斜率。记为 K_d（伏/弧度）。表征检相器输出电压起伏 ΔV 与输入信号相位起伏 $\Delta\varphi$ 之间线性程度。检相灵敏度又称检相常数或传递增益（V/rad）。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 3-6。

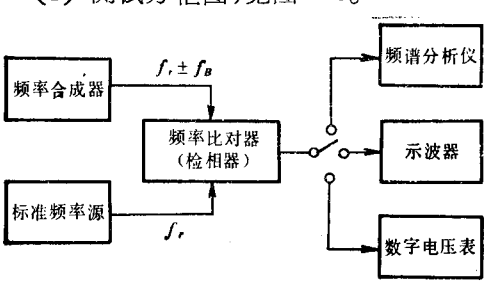


图 3-6

(2) 测试步骤

调节标准频率源的频率为 f_r 送入频域比对器参考频率输入端。调节频率合成器输出频率为（$f_r \pm f_B$）送入频域比对器被测频率输入端。比对器的检相器输出一差拍信号，差拍信号频率应在所分析的付里叶频率范围内（如 1Hz ～ 25kHz）。将差拍信号送到频谱分析仪（或示波器或数字电压表），测出电压值 $V_{rms.S}$（或 $V_{p-p.S}$ 或 $V_{rms.D}$），检相灵敏度按式（3-34）或（3-35）计算：

$$K_d = \sqrt{2}\,V_{rms.S} = \frac{1}{2}V_{p-p.S} = \sqrt{2}\,V_{rms.D} \qquad (3\text{-}34)$$

$$K_d[\text{dB}] = V_{rms.S}[\text{dB}] + 3\text{dB} \qquad (3\text{-}35)$$

在所要分析的频率范围内，选取若干不同差拍信号，测 K_d 值，绘出 K_d-f 校正曲线。

14. 系统剩余噪声电平

residual noise level of system

频域频率稳定度测量所用的频率比对器各组成部分内部噪声带来的总的噪声电平。记为 V_{RN}。由 V_{RN} 可计算出表征系统噪声本底的单边带相位噪声 $\mathscr{L}_{RN}(f)$。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 3-7。

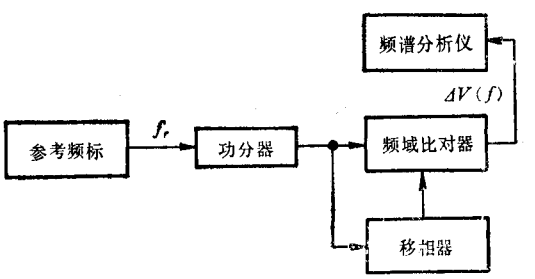


图 3-7

(2) 测试步骤

利用共源自相关法测量。图 3-7 中移相器是保证输入到频域比对器的两个信号相位正交。参考频标可选择满足频率范围要求的频率合成器或多个参考频率源。用频谱分析仪测量比对器输出信号的电压有效值 $V_{rms.S}$ 即为 V_{RN}。分析频率可选在（1Hz ～ 25kHz）或

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1Hz ～ 50kHz)之内。然后利用下列各公式计算系统剩余噪声电平引入的相位噪声 $\mathscr{L}_{RN}(f)$

$$S_{\phi RN}(f)=20\lg\frac{V_{RN}}{K_d\cdot K_A\cdot\sqrt{B_N}}+C \tag{3-36}$$

式中　K_A——低噪声放大器放大倍数；

B_N——频谱仪等效噪声分析带宽；

C——频谱仪(随机信号)校正系数；

$S_{\phi RN}(f)$——系统剩余噪声的相位起伏谱密度；

f——频谱仪分析频率。

$$\mathscr{L}_{RN}(f)=\frac{1}{2}S_{\phi RN}(f)(\mathrm{dB_c/Hz}) \tag{3-37}$$

*　*　*

本章技术指标和测试方法中所用主要测试仪器汇总如下。

主要测试仪器汇总表

仪器名称	参　考　型　号	检定规程编号
高稳晶振	XSD、HP105B	JJG181-78
铯原子频标	HP5061A、3210	JJG492-89
铷原子频标	HP5065A、PO1	JJG292-82
频率合成器	HP8662A、HP8672A HP3325A	JJG502-87
数字式频率计	E324、HP5345A	JJG349-84
相位微跃器	HP2055A H30303	
高灵敏度示波器	SR12、SR46	
频谱分析仪	HP3582A、HP3580A	
时间间隔计数器	HP5370B，EE3570	
计算计数器	HP5360A，EE3301	
超高频毫伏表	DA22	JJG308-83

第 5 节　频率比对器量值传递表

频率比对器对量值传递产生影响的主要指标是测量精度，即比对器自身不稳定性因素引起的测量不确定性，用不确定度描述的比对误差。检定时采用高稳定频率标准自相关法测量，因此，频率比对器的量值传递表原则上应按 JJG2007-87 时间频率计量器具检定系统确定。在具体测试过程中，不依频率准确度为标准，选用的频率标准只要优于被测频率比对器相应被测指标即可，不必严格按等级传递，见图 3-8。

频率比对器检定框图

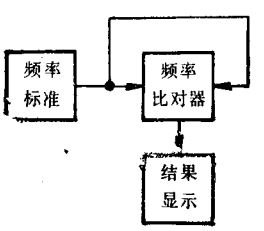


图　3-8

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第4章　群时延测量仪

第1节　综　　述

（一）群时延

频率成分复杂的群信号通过线性系统或线性网络传播时，系统或网络对信号整体产生的时间延迟称为群时延或群延迟（Group delay），群时延用符号 τ_g 表示。

群时延术语中群的含义有两个方面的意思：一方面它表示通过系统传播的信号一定是群信号，对于单色波传输不涉及系统的群时延问题；另一方面，群时延是波群整体时延，而不是指波群中某一个频率分量的相时延，群时延和相时延是完全不同的物理量。

这里所说的群信号是指由频率彼此非常接近的许多频率分量按照某种规律组成的复杂波群。例如，用频率较低的基带信号对高频振荡进行调制所产生的各种已调信号，包括 AM、FM、PM 信号都是群信号。常见的无线电广播信号、射频电视信号、连续波雷达信号、无线电遥控遥测信号等都是群信号。

群时延术语只适用于线性系统和线性网络。线性系统是同时具有均匀性和叠加性的系统。系统通常是指由信号发送设备、信号接收设备、信号转发设备、传输媒质组成的各种信号传输系统，如通信系统、电视系统、数据传输系统、雷达及航空航天测控系统等。所谓网络则是指组成上述系统的各种线性网络或准线性网络，如各种线性放大器、滤波器、均衡器、调制器、解调器和倍频器等。

因为群时延是波群整体的时延，所以它能表示信号能量通过系统传播所需的时间，群时延和能量传播时延是一致的。

分析表明，群时延和信号重心时延 τ_c（Delay of the center of gravity），无论是它们的解析式和数值大小都相同。因此，群时延可以用来表示复杂信号在传输过程中产生的重心时延大小。

也可以证明，在信号包络没有失真的情况下，群时延等于包络时延 τ_e（Envelope delay）。

群时延的数学表达式为

$$\tau_g = \frac{d\phi(\omega)}{d\omega}\text{（秒）},(A(\omega)\text{ 为常数}) \tag{4-1}$$

式中　$A(\omega)$ 为系统或网络的振幅特性，$\phi(\omega)$ 为系统的相位特性。

$$A(\omega) = |H(j\omega)|$$

$$\phi(\omega) = \mathrm{tg}^{-1}\frac{\mathrm{Im}H(j\omega)}{\mathrm{Re}H(j\omega)}$$

式中　$H(j\omega)$ 为线性系统的转移函数。

（4-1）式表明，当系统的 $A(\omega)$ 为常数时，群时延完全由系统的相位特性 $\phi(\omega)$ 所决定，群时延等于 $\phi(\omega)$ 对角频率 ω 的一阶导数，它具有时间量纲。

如果将（4-1）式定义的群时延用图像来表示，如图 4-1 所示，则群时延是 $\phi(\omega)$ 曲线在所论频率点的切线之斜率。即

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$\tau_g(\omega_c) = \frac{d\phi(\omega)}{d\omega}\bigg|_{\omega=\omega_c} = \mathrm{tg}\,\theta$$

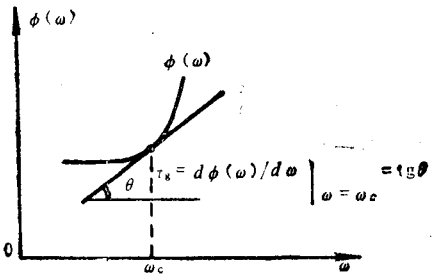


图 4-1　群时延

(4-1) 式和图 4-1 所表示的是系统和网络的绝对群时延，或插入群时延。绝对群时延是系统对信号能量产生的传播时延大小的量度。

(二) 群时延特性

在实际中，几乎所有的系统和网络都程度不同地存在色散效应，包括幅度色散和时延色散。在时延色散系统中，其群时延是信号频率 ω 的函数，表示群时延随频率变化的曲线称为系统的群时延频率特性，简称群时延特性，常用 $\tau_g(\omega)$ 来表示。

(三) 群时延失真

从信号无失真传输理论我们知道，理想无失真系统的特性为：

$$\begin{cases} A(\omega) = A \text{ (常数)} \\ \phi(\omega) = \omega\tau_0 \qquad \tau_0 \text{ 为常数} \end{cases}$$

如图 4-2 所示。

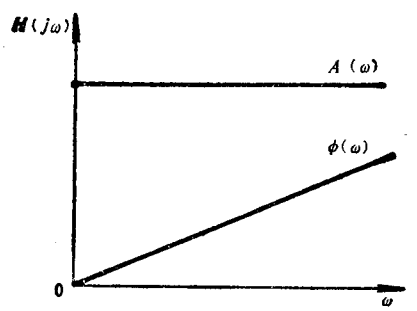


图 4-2　无失真理想系统的特性

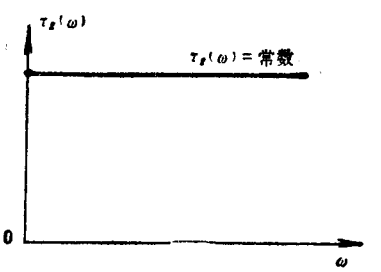


图 4-3　理想群时延特性

信号通过理想系统传输不会产生任何形式的信号失真，包括时延失真。根据理想无失真系统的特性可以求出理想群时延特性 τ_{gi}：

$$\tau_{gi} = \tau_0 \text{ (常数)}$$

即群时延特性为一条水平直线 (图 4-3)。

如果系统的群时延特性不理想，即在信号频谱范围内群时延不为常数，这时信号通过系统传

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

输就会产生信号包络失真。于是我们将群时延特性 $\tau_g(\omega)$ 对理想群时延特性 τ_{gi} 的偏离称为群时延失真 $\tau_{gd}(\omega)$。

$$\tau_{gd}(\omega)=\tau_g(\omega)-\tau_{gi} \tag{4-2}$$

群时延失真又叫做相对群时延，相对群时延是信号传输失真大小的量度。

按照（4-2）式定义的群时延失真在群时延特性理论分析研究中经常被采用。但是，在群时延测量中因为被测系统和网络的理想群时延 τ_{gi} 值很难确定，所以，（4-2）式的应用不方便。在群时延测量中关于群时延失真或相对群时延是按（4-3）式定义的。即

$$\tau_{gd}(\omega)=\tau_g(\omega)-\tau_{gr} \tag{4-3}$$

式中 τ_{gr} 为群时延常数，τ_{gr} 值可以取带内中心频率 ω_c 的群时延值，或者等于系统带内群时延的平均值，也可以取带内某个特定频率上的群时延为 τ_{gr}。τ_{gr} 值很容易确定或测定。

（四）研究群时延的重要意义

群时延是线性系统和网络固有的一种传输特性参数。它不仅决定系统产生的信号传播时延大小，而且与信号传输失真有密切关系，对信号传输质量有很大影响，是现代电子系统工程的一项主要技术指标。如果通信系统和数据传输系统的群时延不好，将会产生串话，增加误码率，降低信噪比；电视系统的群时延特性欠佳可能引起电视图像串色、爬行或发生色拖尾；卫星和导弹外测系统的群时延失真或不稳定将增大测距误差。群时延特性不仅是系统工程的主要技术指标，而且也是组成系统的各部分电路的一项主要技术指标。所以，研究群时延和群时延测量具有重要意义。

（五）群时延测量技术发展简况

群时延测量的历史可以追溯到本世纪30年代。美国的 H. Nyquist 和 S. Brand 等人，在六十年前就开始研究群时延测量，并于1930年在 BSTJ 杂志上发表了关于群时延测量的文章。文章中首次提出了通过包络时延测量实现群时延测量的测量方法，这个方法就是著名的奈奎斯特法。他们应用这种方法及阻抗测量、矢量和/差测量等测相方法，对美国华盛顿和纽约的各种电话线路的群时延特性作了实际测量，获得了大量的数据。奈奎斯特等人在群时延测量理论方面的研究成果奠定了群时延测量的基础，在群时延测量技术发展史上写下了光辉的一章，使30年代成为群时延测量的开创时期。

遗憾的是，30年代以后的很长一段时期内群时延测量没有继续发展，在群时延测量理论和技术研究方面都没有什么建树，这个时期成为群时延测量发展的停滞期。因为当时的电子技术应用主要是电报、电话通信，通信时用人耳收听电报信号和话音信号，人耳具有分解声音的能力，声音的各个分量是被分别感知的，各分量之间的相对时间关系或信号时延失真一般不会影响听懂度，这就是所谓的人耳效应。由于存在人耳效应，使人们对系统或网络的群时延特性的研究不感兴趣。所以，群时延测量技术长期得不到发展。

到了70年代，随着电子技术的迅速发展和广泛应用，出现了许多新的信号传输系统。这些现代电子系统的终端是各种复杂的电子设备。这些电子终端设备没有什么人耳效应。相反，它们对信号群时延失真非常敏感。为了保证系统工程总的性能指标，需要对系统、整机、单元电路的群时延特性提出严格要求，人们对群时延的研究越来越重视。由于工程方面的需求牵引，使长期被忽视了的群时延测量技术进入了新的发展时期。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

近年来，群时延测量得到广泛应用和迅速发展。由于很多人的努力，在群时延测量原理和方法研究方面取得了很大进展。在奈奎斯特法的基础上出现了一些新的测量方法，如自动化的静态测量法、开环动态测量法、双载波交替测量法等，测量方法和理论日臻完善。在群时延测量技术研究方面处于领先地位的是美国、德国和日本等国。

在群时延测量仪器方面，工艺技术不断更新。仪器经过电子管、晶体管时代之后进入了数字化、集成化、自动化阶段。群时延测量仪器已开始从单一的群时延测量仪器转向多参数的多功能仪器。目前世界上已经有近30种型号的群时延测量仪器商品化。仪器的频率范围从音频、视频、中频到微波频段；时延测量范围从纳秒、微秒到毫秒和秒级；仪器准确度一般为3～5%，少数仪器达到1%或更高。

德国是最早生产群时延测量仪的国家。德国 W/G 公司、R/S 公司先后研制和生产了10多种型号的群时延测量仪器和设备，是目前世界上这类仪器的主要生产厂家，在仪器精度方面也处于领先地位。

日本的安立公司、芝测公司也是群时延测量仪的主要生产厂家，主要生产适用于电视和通信系统的群时延测量仪。

美国生产群时延测量仪的历史不长，而且基本上不生产专门测量群时延的仪器。近年来，美国 HP 公司在一些多功能仪器中包含了群时延测量功能，如自动网络分析仪、阻抗分析仪、线路分析仪等。现在美国已经成为群时延测量仪的主要生产国家之一。

在群时延计量标准研究方面，美国、日本、德国都有研究成果。但是，群时延计量标准目前还没有商品化。

70年代，我国开始群时延测量技术的研究。开初主要是进口国外一些仪器作测试应用和仪器仿制工作。电子工业部30所曾于70年代研究过音频段群时延测量。邮电部仪表研究所曾仿制过德国的 LD-1 型群时延测量仪(视频段)。重庆测试仪器厂仿制了德国的早期产品 LFM-1 型视频-射频群时延测量仪。湖南邵阳电子仪器厂仿制生产过日本安立公司的 ME417A 仪器(中频段)。四平电子仪器厂也研制过视频群时延测量仪。这些单位为发展我国的群时延测量技术作出了一定的贡献。

到了80年代，我国的群时延测量技术研究工作取得了新的进展。为了解决同步卫星测控系统及其它重点工程的群时延精密测量问题，电子工业部第十研究所研制成功 AD5121 型精密数字群时延测量仪（3～120MHz），以后该所还研制成功 AD5122 型微波群时延测量仪（4～6GHz）、AD5123 型视频扫频群时延测量仪（0.2～10MHz）。该所同期还研制成功 AD5120A 射频群时延计量标准（3～9600MHz，10、30、50ns），AD5120B 微秒级群时延标准（0.05～10MHz），AD5120C 毫秒级大时延群时延标准（200Hz～50kHz）。1985年初，电子工业部建立了 AD5120 部级群时延标准和“电子工业部群时延参数专业计量站”。几年来，该站在国内开展了量值传递、仪器检定、测试应用方面的工作，为实现我国群时延量值准确一致打下了初步基础。

到了80年代后期，我国的群时延测量技术应用也日渐广泛，开始从少数重点工程和尖端科研项目的个别应用转向电子技术各个领域科研、生产、教学方面的大面积应用，这对群时延测量技术的发展起了推动作用。

在群时延测量仪器方面，我国虽然还没有群时延测量仪器的批量生产销售，但是，为了解决科研生产中的群时延测量问题，我国已经从国外进口了很多这方面的仪器。据不完全统计，进口群

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

时延测量仪器的型号已经超过 20 种，仪器数量近 1000 台。

我国的群时延测量工作目前存在以下几方面问题：

(1) 群时延基础知识、基本理论研究方面比较薄弱，不利于群时延测量技术的发展；

(2) 群时延测量仪器几乎全部靠从国外进口，没有仪器研制、生产基地；

(3) 群时延量值传递体系不完善，没有国家一级的群时延计量标准和专业计量机构。

第2节 分 类

群时延测量仪器有多种分类方法，这里采用按仪器特点进行分类。现有的群时延测量仪可以大致分为以下六类：

(1) 绝对群时延测量仪——这类仪器用来测量被测件的绝对群时延。

(2) 相对群时延测量仪——这类仪器用来测量被测件的相对群时延即群时延失真。

(3) 近端测量仪——这类仪器只能测量"短系统"的群时延特性。所谓短系统是指系统的输入端和输出端同处一室，彼此相距很近。

(4) 远端测量仪——这类仪器可以测量"长系统"的群时延特性。长系统的输入端和输出端不在一地，相距可达数百米、数千公里或更远，如卫星线路、微波线路等。

(5) 点测仪器——仪器产生的测试信号的载波频率固定，改变载频依靠人工手动调节。

(6) 扫频仪器——仪器产生的测试信号的载频在一定范围内随时间线性变化。

第3节 群时延测量仪技术指标汇总表

国内现有的群时延测量仪几乎全是从国外进口的，限于条件，各种进口的群时延测量仪的技术条件我们尚不能全部收集。所以，汇总表中的技术指标主要依据仪器说明书。汇总表见表 4-1。

第4节 技术指标及测试方法

- 关于群时延测量仪的技术指标的定义（或含义）和测试方法国内目前尚无标准，国外资料也少，本节所述内容仅供参考。
- 技术指标中所列各项指标有的是必须测试的主要指标，有的只作一般性检查，有的不必专门进行测量。
- 多功能仪器的其它参数的指标本节不予讨论。

1. 载波频率范围 f_c

carrier frequency range

群时延测量仪器输出的测试信号一般为群信号。群信号的载波频率在测量中可以用手动或扫描方式在一定范围内变化，其变化范围称为载波频率范围。

测试方法：

(1) 测试系统方框图（图 4-4）。

(2) 测试步骤

群时延测量仪的载波输出端与频率计的频率测量输入端相连接，仪器置于"载波"输出状

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-1　群时延测量仪技术指标汇总表

序号	技术指标	绝对群时延测量仪	相对群时延测量仪	近端测量仪	远端测量仪	点测仪器	扫频仪器
1	载波频率范围	●	●	●	●	●	●
2	载波频率刻度误差	●	●	●	●	●	●
3	调制频率	●	●	●	●	●	●
4	测量频率范围	●	●	●	●	●	●
5	调制系数	●	●	●	●	●	●
6	载波转换频率		●	●	●		●
7	返回信号载波频率				●		
8	同步信号频率		●	●			●
9	频标		●	●	●		●
10	扫描重复频率						●
11	扫描带宽						●
12	频率分辨力	●	●	●	●	●	●
13	载波频谱纯度	●	●	●	●	●	●
14	发送电平范围	●	●	●	●	●	●
15	接收电平范围	●	●	●	●	●	●
16	输出阻抗	●	●	●	●	●	●
17	输入阻抗	●	●	●	●	●	●
18	群时延测量范围	●	●	●	●	●	●
19	群时延分辨力	●	●	●	●	●	●
20	测量误差	●	●	●	●	●	●
21	噪声影响						●
22	时延校准信号	●		●		●	●

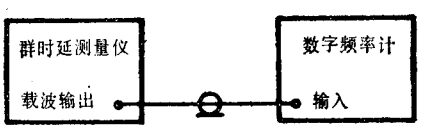


图　4-4

态。调节仪器载波输出电平使之满足频率计输入信号电平的要求，用频率计测量仪器的载波频率变化范围。

2. 载波频率刻度误差　Δf_c

scale error of carrier frequency

群时延测量仪器的频率度盘所指示的载波频率或仪器数字显示的载波频率与仪器输出信号的实际载波频率之差称为载波频率刻度误差。

测试方法：

(1) 测试系统方框图(参见图 4-4)。

(2) 测试步骤

测试方法基本上同载波频率范围测量，不同之处是需要在频率范围内进行很多频率点的测量。

3. 调制频率　f_m

modulating frequency

采用动态法测量原理的群时延测量仪器其输出信号为已调信号（AM、FM），已调信号的调制信号频率或包络的重复频率称为已调信号的调制频率。在群时延测量中调制频率又称为裂频（split frequency）。

测试方法：

(1) 测试系统方框图(图 4-5)。

(2) 测试步骤

f_m 的测试方法可以采用图 4-5(a)和图 4-5(b)两种方法。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

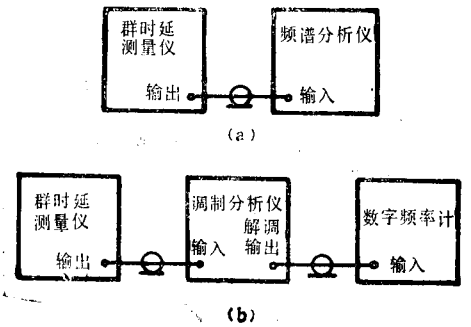


图 4-5

对于图 4-5(a)，将群时延测量仪置于已调信号输出状态。仪器的输出端和频谱分析仪的输入端相连接。在仪器的工作频率范围内的任一个频率上对仪器输出的群信号(三谱线信号)进行频谱测量。从谱线之间的间隔距离得到 f_m 值(图 4-6)。

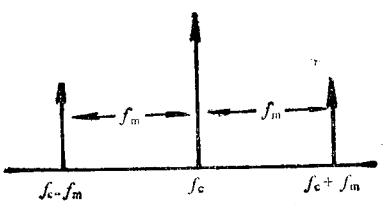


图 4-6

f_m 也可以用调制分析仪进行测量，系统连接如图 4-5(b) 所示。调制分析仪将群时延测量仪输出的已调信号进行解调，得到调制信号输出，用频率计对调制信号(单频率正弦波)的频率进行测量。

4. 测量频率范围 f

measuring frequency range

指仪器能够保证其测量精度的已调波的载波频率范围，通常它与调制频率有关。例如，某仪器的测量频率范围为：

50kHz～100MHz (f_m = 10kHz)

500kHz～100MHz (f_m = 100kHz)

仪器的测量频率范围与载波频率范围不一定相等。

测试方法：

(1) 测试系统方框图(图 4-7)。

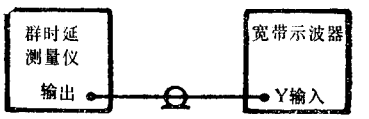


图 4-7

(2) 测试步骤

用宽带示波器对仪器输出的已调波进行波形观测。首先检查在整个频率范围内已调信号波形是否正常，同步信号是否正常，然后用示波器的时间测量法对 f_{min}、f_{max} 进行测量。

5. 调制系数 m

modulation factor

对于 AM 信号，调制系数为调幅度。调幅度为：

$$m = \frac{\Delta A}{A_0} = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}} \times 100\%$$

如图 4-8 所示：

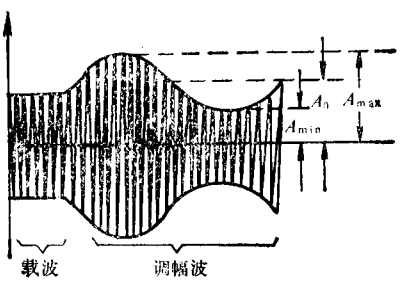


图 4-8

对于 FM 信号，调制系数为调频指数，调频指数 m 等于用弧度表示的相位偏移。

测试方法：

(1) 测试系统方框图(图 4-9)。

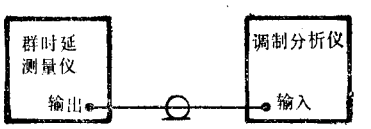


图 4-9

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试步骤

群时延测量仪输出的 AM 或 FM 信号送到调制分析仪进行调幅度和调频指数测量。具体操作见 HP8901A/B 调制分析仪使用说明书。

6. 载波转换频率　f_{cc}

carrier changeover frequency

按照 CCITT 建议采用双载波交替传送开环测量原理的群时测量仪，其测试信号的载波频率是周期性自动转换的，如图 4-10 所示。

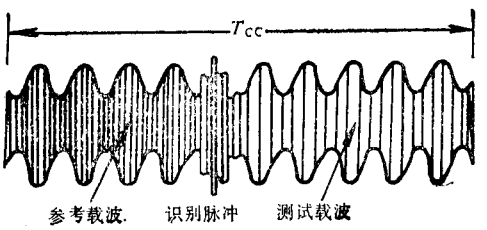


图　4-10

载波频率转换周期为 T_{cc}。T_{cc} 之倒数即为载波转换频率 f_{cc}。

测试方法：

(1) 测试系统方框图（参见图 4-7）。

(2) 测试步骤

采用 CCITT 建议的群时延测量仪的输出信号送入宽带示波器 Y 输入端，调节示波器扫描速率使之能观测图 4-10 波形的一个转换周期左右。从示波器上读取 T_{cc}，并计算 f_{cc}：

$$f_{cc}=\frac{1}{T_{cc}}。$$

7. 返回信号载波频率　f_r

return carrier frequency

在图 4-11 所示的远端群时延测量系统中，由信号转发器（适配器）输出的返回信号的载波频率称为 f_r，f_r 为常数。

测试方法：

(1) 测试系统方框图（参见图 4-5）。

(2) 测试步骤

将适配器的输出信号送入频谱分析仪进行频谱测量，从频谱仪上读取 f_r 值。

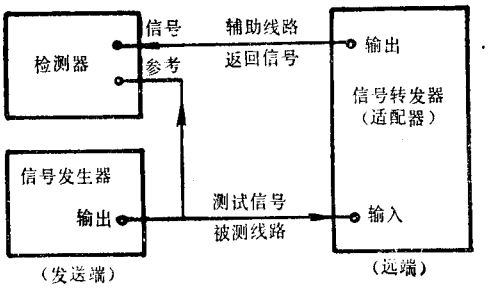


图　4-11

8. 同步信号频率　f_s

sync signal frequency

用于电视传输系统测量的群时延测量仪器其测试信号中需要带有模拟电视同步信号，同步信号的重复频率为 f_s。我国采用的电视制式规定 $f_s=15.625\text{kHz}$，如图 4-12 所示。

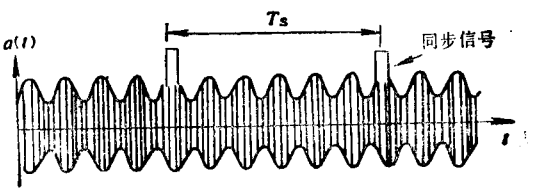


图　4-12

测试方法：

(1) 测试系统方框图（参见图 4-5）

(2) 测试步骤

群时延测量仪器的输出信号送到宽带示波器的 Y 输入端，仪器的同步信号通/断开关置于“通”位置，同步信号的幅度调整到易于观察波形为宜，调节示波器的扫速使显示屏上显示同步信号的一个完整周期，从示波器上读取准确的 T_s 值。根据 T_s 计算 f_s。$f_s=\frac{1}{T_s}$。

9. 频标

markers

在以特性曲线方式读取测量结果的群时延

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测量仪中，为了便于对特性曲线进行定点分析，常在曲线上打上一些频率标志，这些频率标志称为频标。频标信号通常由频率很准确的晶体振荡器产生。频标信号一般由仪器内部提供，也可以从仪器外部输入。

测试方法：

(1) 测试系统方框图（图 4-13）

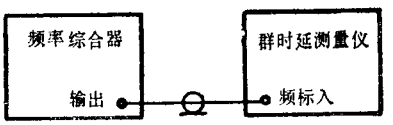


图 4-13

(2) 测试步骤

按照群时延测量仪的说明书要求操作仪器，使仪器显示屏上出现一条 $\tau_g(\omega)$ 曲线，将仪器的频标选择开关置于"内频标"位置。$\tau_g(\omega)$曲线上出现各个频标，然后分别对每个频标进行校准。校准方法如下：记下某个内频标在显示屏上的准确位置之后，将频标选择开关转为"外频标"位置。调节频率综合器的频率等于被校频标的标称值，这时显示屏上只有一个频标，频标位置应与"内频标"时的频标位置重合。如果内、外频标不重合，其差值即为被校内频标的误差。用于电视测量的群时延测量仪的频标设置与采用的电视制式有关。频标校准时需要对仪器的每一个频标逐一校准。

10. 扫描重复频率 F

sweep repeat frequency

扫频群时延测量仪的扫描信号的重复频率，简称扫描频率。扫描频率等于扫描周期T的倒数。即

$$F=\frac{1}{T}$$

图 4-14 是正向锯齿波的扫描周期的示意图。

测试方法：

(1) 测试系统方框图（图 4-15）

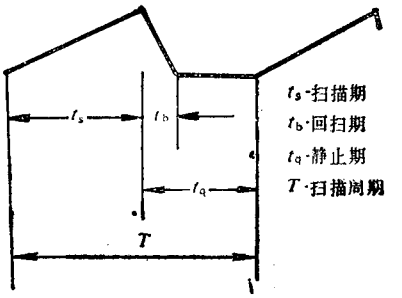


图 4-14

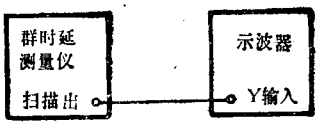


图 4-15

(2) 测试步骤

群时延测量仪的扫描输出信号送入示波器的Y输入端。示波器的扫描时间因子 T(ms/div) 置于合适位置，扫描旋钮置于"校正"位置，在示波器的水平方向上（10 格）观测扫描信号波形的周期数 N，$N\geqslant 10$。扫描频率 F 为

$$F=\frac{N}{10\cdot T}$$

11. 扫描带宽 W

sweep width

群时延测量仪输出的扫频测试信号的最大载波频率 f_{max} 和最小载波频率 f_{min} 之差为扫描带宽，仪器的W可以根据被测件的带宽进行调节。

测试方法：

因为仪器的"载波频率范围"和"载波频率刻度误差"前面已经进行过测试，所以这项指标勿须再测量。

12. 频率分辨力

frequency resolution

群时延测量仪面板上频率显示的最小值。

测试方法：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

这项指标可以不测量。

13. 载波频谱纯度

spectrum purity of carrier

群时延测量仪的载波信号的频谱逼近理想频谱的程度称为载波的频谱纯度。频谱纯度常用载波频谱幅度与寄生杂散信号的频谱幅度之比（dB）来表示。寄生杂散信号包括谐波、噪声和其它寄生信号。

测试方法：

（1）测试系统方框图（参见图 4-5）。

（2）测试步骤

将仪器的载波输出信号送入频谱分析仪进行频谱测量可以得到载波谱频纯度的测量结果。

14. 发送电平范围

send level range

群时延测量仪输出的测试信号幅度变化范围。

测试方法：

（1）测试系统方框图（图 4-16）。

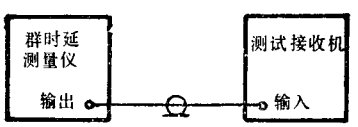


图　4-16

（2）测试步骤

以中频段群时延测量仪为例进行说明。操作步骤以 RS-3 甚高频测试接收机为例。

将群时延测量的输出端与 RS-3 接收机输入端相连接并进行阻抗匹配（50Ω 或 75Ω）。

预热群时延测量仪，RS-3先进行调谐、直流校准、射频校准，RS-3 的中频衰减置于 114dB 位置。进行增益校准。

完成上述校准后，RS-3 的工作类别开关置于“测量”位置。增益旋钮位置保持不变，改变 RS-3 的衰减器和衰减旋钮，使“电平指示”电表的指针指到中间位置，这时衰减器的读数即为群时延测量仪的输出信号电平。改变群时延测量仪的衰减量，重复上述电平测量，可以测试出群时延测量仪的发送电平变化范围。

15. 接收电平范围

receive level range

群时延测量仪在保证测量精度的条件下能够允许的输入信号幅度变化范围。

测试方法：

（1）测试系统联接图（图 4-17）。

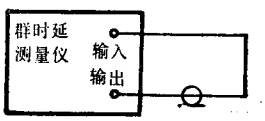


图　4-17

（2）测试步骤

将仪器的输出端和输入端相连接，发送电平置于合适位置，接收部分衰减器置于中间位置，仪器处于群时延自检状态。群时延读数调到零或某一个数值，记录这个数值，然后在一定范围内（按说明书要求）改变接收部分的衰减大小，使接收信号电平在规定的范围内变化，同时观测仪器的群时延读数和起始值之差值，差值小于或等于规定值则接收信号电平指标合格。

16. 输出阻抗

output impedance

仪器发送部分的源阻抗。输出阻抗等于开路电压与短路电流之比。

测试方法：

参见本书信号发生器部分的输出阻抗测量方法。

17. 输入阻抗

input impedance

仪器接收部分的输入阻抗为信号输入端的直流电阻值和并联电容值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

18. 群时延测量范围

group delay measurement range

群时延测量仪能够测量的群时延最大范围。

测试方法：

(1) 测试系统方框图(图 4-18)。

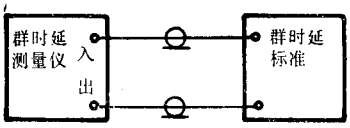


图 4-18

(2) 测试步骤

用群时延测量仪器对群时延标准进行测量，群时延标准值等于仪器规定的量限，如果测量结果满足测量精度要求，则仪器的群时延测量范围指标合格。

19. 群时延分辨力

group delay resolution

仪器能够分辨的群时延变化最小值即群时延测量的灵敏度。

测试方法：

(1) 测试系统方框图(图 4-19)。

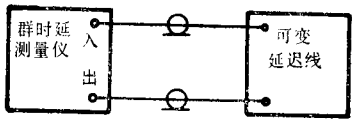


图 4-19

(2) 测试步骤

按图 4-19 连接系统，可变延迟线的时延在仪器时延分辨力附近作微小变化，比较延迟线的时延变化量与仪器测量结果的变化量。二者基本相符即可。

20. 测量误差 $\Delta\tau_g$

measurement error

群时延测量仪的测量结果与被测量的实际值之差。

测试方法：

(1) 测试系统方框图(参见图 4-18)。

(2) 测试说明

高频群时延测量仪的误差测试先要进行测试系统的阻抗匹配检查，如果系统的阻抗匹配不好将引起群时延周期性色散，会影响测量结果的准确性，阻抗失配误差很大，测试便没有意义。低频群时延测量仪对阻抗匹配要求不高，可以直接进行误差测试。下面以高频群时延测量仪为例来讨论误差测试方法。

(3) 测试步骤

测试分两步进行：先检查阻抗匹配，后进行误差测试。

①检查系统阻抗匹配情况

按图 4-18 连接系统，根据仪器频段和时延量限选择合适的群时延标准值，群时延标准的标称值用 τ_{gs} 表示。

对于点测式群时延测量仪，按照说明书要求对群时延标准进行群时延测量。测量频率从仪器低端 f_{min} 开始，一直测到 $f_{min}+\Delta f$。

$$\Delta f \geqslant \frac{1}{2\tau_{gs}}$$

在 Δf 范围内总共测量 40 点左右，将每个频率的测量结果记入表 4-2 中。

表 4-2 (τ_{gs}=常数)

f	f_1 f_2 f_3……f_{40}
$\tau_g(f)$	$\tau_{g1}\tau_{g2}\tau_{g3}$……$\tau_{g40}$

将表 4-2 中数据绘成 $\tau_g(f)$ 曲线，对曲线进行分析，看它有无周期性变化分量存在。如果有，其周期大约为 $\frac{1}{2\tau_g}$，时延周期性波动幅度应远小于仪器误差。否则，系统阻抗没有匹配好，需要重新调配系统，减小反射。直到群时延周期性变化分量消失或小到可以忽略不计为止。

对于扫频群时延测量系统阻抗失配的检

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

查，可以直接在显示屏上观察 $\tau_g(f)$ 曲线的周期性变化分量。

② 误差测试方法

先讨论绝对群时延测量仪的误差测试方法。

测试系统如图 4-18 所示。群时延标准用绝对群时延标准。

在仪器的整个频率范围内对群时延标准进行测量。测量频率点(对于点测式仪器)不得少于 20 点。测量值 $\tau_g(f)$ 与 τ_{gs} 之差为仪器的群时延测量误差。仪器误差常用相对值表示，即

$$\Delta\tau_g = \frac{(\tau_g(f) - \tau_{gs})_{\max}}{\tau_{gs}} 100\%$$

相对群时延测量仪的误差测试，必须用相对群时延标准。图 4-20 示出了相对群时延标准的频率特性。标准在带内的相对群时延值是

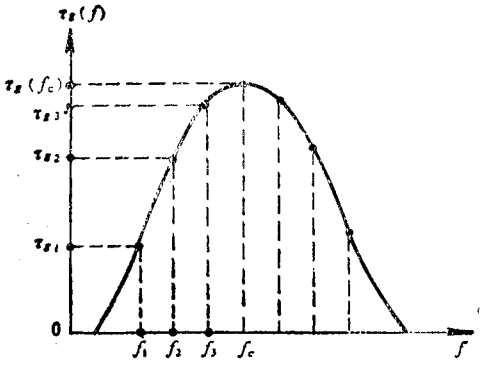


图　4-20

经过标定的已知量。在图 4-20 中有：

$$\Delta\tau_{g1} = \tau_{g1} - \tau_{gr} = \tau_{g1} - \tau_g(f_c)$$

$$\Delta\tau_{g2} = \tau_{g2} - \tau_g(f_c)$$

$$\Delta\tau_{g3} = \tau_{g3} - \tau_g(f_c)$$

用相对群时延测量仪去测量相对群时延标准可以得到仪器的测量误差。

21. 噪声影响

effect of noise

在扫频群时延测量仪中，群时延特性是用曲线来表示的。由于信号中噪声的影响使群时延特性曲线变粗、出现毛刺等，从而影响测量精度。

测试方法：

将仪器的输出端与输入端相连接（如图 4-17)。调节仪器有关机构使显示屏上出现 $\tau_g(\omega)$ 曲线，输入信号电平调至最小电平，仪器时延分辨力置最大灵敏度档，然后直接观测 $\tau_g(\omega)$ 曲线上噪声影响大小。

22. 时延校准信号

delay time calibration signal

有些群时延测量仪为了便于检查仪器的时延准确度，在其内部设有时延电路。时延电路的输出信号作为时延校准信号。时延校准信号由仪器面板上的校准开关进行控制。

测试方法：

(1) 测试系统方框图（参见图 4-18)。

(2) 测试步骤

先用仪器内部校准信号对仪器进行校准，然后将仪器置于“测量”位置，对外部群时延标准进行测量，外部标准的标准值等于内部标准值。测量结果与 τ_{gs} 之差为仪器时延校准信号的时延误差。

*　*　*　　*　*　*

本章技术指标测试方法中所用的主要测试仪器汇总如下。

表 4-3　主要测试仪器汇总表

仪器名称	参　考　型　号	检定规程编号
数字频率计	E325 等	
频谱分析仪	HP71100A HP71200A HP71300A 等	
宽带示仪器	SR8 SR13A 等	
调制分析仪	HP8901A/B	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

仪器名称	参 考 型 号	检定规程编号
频率综合器	MG525C、HP8116 等	
测试接收机	RS-2、RS-3、ME642A 等	
群时延标准	AD5120 系列	
可变延迟线	$20B_1 \sim B_4$	

第5节 群时延测量仪量值传递表

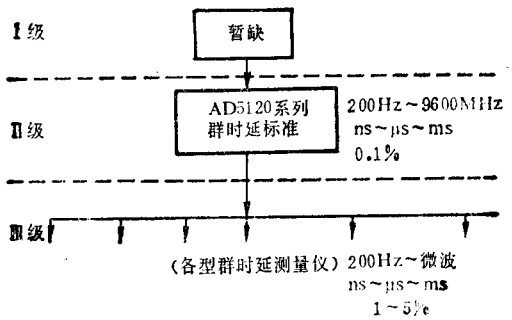


图 4-21

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第5章 数字式电压、电流、电阻测量仪器

第1节 综 述

数字式电压、电流、电阻测量仪器主要包括数字多用表（DMM—Digital Multimeter）和校准器（Calibrator）。近年发展起来的直流电压参考标准（DC Reference Standard）、热传递标准（Thermal Transfer Standard）等高准确度计量仪器也可归入这一门类。

（一）数字多用表

数字多用表是可直接测量电压、电流、电阻或其它参量，其功能可任意组合并以十进制数字显示被测量值的电子仪器仪表。

数字多用表通常具有直流电压、交流电压、直流电流、交流电流、电阻五项测量功能。交流电压频率范围可达1MHz。有些数字多用表还具有温度、频率等测量功能。

1952年，美国NLS（Non-Linear System）公司首先研制出采用电子管的第一台四位数字电压表。从那时起，数字式仪器总是不断吸取最新的科学成果，把现代电子技术、数字技术、自动化技术、微处理器应用技术的成果与精密电测量技术密切结合，成为电子测量仪器领域中独立而完整的一个分支。

早期的数字仪器多是单功能的直流数字电压表和数字欧姆表。今天除了量大面广的数字面板表（DPM—Digital Panel Meter）外，各种准确度等级的仪器都实现了多功能化。经过电子管、晶体管、集成电路诸发展阶段，今天已普遍采用了微处理器（μP—microprocessor）、单片微型计算机（μC—microcomputer）以及专用集成电路（ASIC—Application Specific IC），并已开始使用高密度的表面安装技术（SMT—Surface Mounted Technology）。由于微机的运用，中、高档的数字多用表已普遍具有很强的数据存储、计算、自检、自诊、自校等功能。例如Fluke公司8520A数字多用表可存储400个测量数据，具有14种运算程序；Schlumberger公司7081数字多用表可存储1500个历史文件。这类数字多用表一般均配有IEEE-488和/或RS232C接口，有些还具有模拟量输出，很容易构成自动测试系统（ATS—Automatic Test System）。一些公司并专门开发了支持这些ATS的软件，使数字多用表在自动化、程控化、智能化的结合方面达到了很高的水平。

数字多用表的核心是模数转换器（ADC—Analog to Digital Converter）。为适应高准确度、高采样速度、高抗干扰能力、高分辨力的测量要求，产生了多种ADC原理。现将在发展史上比较有代表性的原理及使用该原理在我国有较大拥有量的典型产品列表如表5-1。

为提高测量准确度，保护被测信号免受共模干扰电压的影响，中、高档数字多用表均采用双层浮地结构。将ADC等模拟电路置于一个和机箱（接大地）浮置的用金属制成的保护盒中，保护盒内外的信号通过磁或光等非电耦合方式进行传输，通过面板上的保护端G（Guard）将保护盒接至被测电路的适当位置，这样就使共模信号产生的地电流很少通过输入线。这种结构可使共模干扰抑制能力达到160dB甚至更高，从而提高了测量准确度。

数字多用表是一种高准确度的电子测量仪器。随着新原理的发展，新型元器件的采用，新工

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 5-1

ADC 原理	制 造 厂	典型产品
斜波式	北京无线电技术研究所	DYJ-1,DYJ-2A
逐次比较式	上海电表厂	PZ-5, PZ-8
双积分式	北京无线电技术研究所 天津中环科学仪器公司 山东大学 上海电表厂 美国 Fluke	DS14 DS26 DS18 PZ-12 8050A,45
电压/频率式	北京无线电技术研究所	DS16, BY1951
三次采样积分式	日本 TR	TR6567
两次采样电感分压比较式	英国 SE lab 北京无线电技术研究所	SM215 DO17
四斜式	英国 Datron 天津中环科学仪器公司	1061,1065A,1071,1081 HG1965A
脉冲宽度调制式	英国 Schlumbreger 北京无线电技术研究所	7150,7151,7081 BY1970
电荷平衡式	美国 Fluke 哈尔滨无线电七厂	192,193 TG1951
余数再循环式	美国 FLUKE 北京无线电技术研究所	8520A,8840A,8506A BY1953, BY1955A
多斜式 多斜多周期式	美国 HP 英国 Datron	3455, 3456, 3458 1281

艺的实现，仪器的准确度也不断提高。目前英国 Datron 公司的 1281、Schlumberger 公司的 7081、美国 HP 公司的 3458 等 8½ 位数字多用表代表了当代数字多用表的最高水平。

数字多用表将随着科学技术的进步而继续发展。在高档产品方面，将会继续出现新的 ADC 原理，若采用 Josephson 器件，测量准确度可望达到 10^{-7} 量级，在测量速度和抗干扰能力方面也将取得新的进展，仪器的自动化、系统化、智能化方面将会进一步提高。16 位微机将广泛进入数字多用表。除现已使用的 IEEE-488 总线和 RS232C 接口外，新一代的 VXI 总线 5½ 位和6½ 位数字多用表已进入国际市场，从而数字多用表在新一代仪器系统中，将起更重要的作用。在中低档产品方面，ASIC 和表面安装器件（SMD）将普遍使用，使仪器的综合性能、安全性和可靠性进一步提高而价格大幅度下降，将出现各种便携式、卡片式、笔式的数字多用表和各种功能、量程、规格的数字面板表，从而在许多领域替代传统模拟式仪表，甚至进入普通居民的家庭。而数字多用表的 ADC 技术与各种传感技术相结合，可进行各种非电物理量的测量，必将使整个仪器仪表行业产生革命性的变化。

我国的数字仪器技术起步于 50 年代。1965 年，北京无线电技术研究所和上海电表厂分别研制成斜波式和逐次比较式 4½ 位直流数字电压表，标志着我国数字仪器工业的开始。到 80 年代

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

初，我国科技人员依靠自己的力量，研制成多种 ADC 原理的数字电压表和多用表。最高准确度达到 5×10^{-6}，最高分辨力达到 0.1μV，并配有微处理器和 IEEE-488 接口，已接近当时的国际先进水平。80 年代以来，随着改革开放政策的实施，一些骨干厂相继从国外的高技术公司引进智能数字多用表的制造技术。北京无线电技术研究所于 1982 年从美国 Fluke 公司引进智能仪器生产线和 8520A、8840A、8050A 三种产品的制造技术。其后，天津中环科学仪器公司从英国 Datron 公司，上海电表厂从英国 Schlumberger 公司，哈尔滨电表仪器厂从日本 YEW 公司也分别引进了数字多用表的制造技术。这些厂、所通过引进、消化、吸收，已推出了一批国产化产品，其综合指标接近或达到 80 年代中期的国际先进水平。与此同时，我国许多专家学者对 ADC 原理也进行了多方面的探索，取得了一批科研成果。许多企业研制了一批新产品，有些达到了很高的技术水平。在数字多用表的研制、开发、生产中，北京无线电技术研究所、天津中环科学仪器公司、上海电表厂、山东大学、中国计量科学研究院、哈尔滨电工仪表研究所、哈尔滨电表仪器厂、哈尔滨无线电七厂等都做出了很大的贡献。

（二）校准器

校准器是可直接以定点或步进方式供给标准电压、电流、电阻参量，其功能可任意组合的电子测量仪器。它作为计量部门的标准仪器可对数字多用表进行检定。

多功能校准器可具有直流电压、交流电压、直流电流、交流电流、电阻五项标准电量输出。交流电压的频率范围一般为 10Hz～1MHz，交流电流的频率范围一般为 10Hz～10kHz，电阻从 1Ω 至 10MΩ 或 100MΩ，电压输出范围为 0～100V 或 1000V，电流输出范围为 0～2A。有些校准器可配功率放大器或跨导放大器，使输出范围扩展到 $1500V_{dc}$，$1100V_{rms}$ 或 20A。

校准器通常由参考电压和可变增益的反馈放大器组成。它的核心是数模转换器（DAC—Digital to Analog Converter）。DAC 把设置的数字量转换成与该数字量相对应的模拟量。依靠参考电压的高准确度和稳定性，以及反馈放大器增益的稳定性，校准器可输出稳定而准确的标准电量。

早期的校准器是基于电阻分压式原理制成的。其增益的设置是通过控制以二进制或十进制权码构成的精密电阻的通断来进行的。由于受权码电阻值及其比例值的温度系数、长期稳定性和模拟开关导通电阻稳定性等误差因素的影响，限制了这种校准器指标的提高。在 60 年代，产生了脉宽调制式（PWM—Pulse Width Modulation）DAC（或称时间分割式 Time Division）。PWM DAC 的原理是用两个模拟开关以固定频率交替在参考电压和零电平之间切换，从而得到脉冲串。脉冲串的幅度等于高准确度的参考电压，占空比决定于两个模拟开关的通断时间。脉冲串通过低通滤波器恢复成直流电压，该电压的幅度正比于脉冲串的占空比，并通过固定增益功率放大器输出。因而只要控制模拟开关的相对通断时间就可得到高准确度可变电量输出。这种原理不需要精密电阻，并且很容易由微机对模拟开关通断时间进行编程控制，因而近年来许多公司运用脉宽调制原理研制出多种微处理器控制的单功能或多功能校准器。目前校准器的直流电压年不确定度已达 4.5×10^{-6}，可实现对高准确度数字多用表的校准。现代校准器用 16 位机或多个 8 位机作控制，普遍带有 IEEE-488 接口，具有存储、自检、自校及软键操作菜单提示等功能，可在较宽的环境条件下工作而不影响其性能。因此，现代校准器可把校准工作从计量室转移到现场进行。这种做法提高了设备的使用效率和可靠性，降低了维护费用。同时，一些公司在个人计算机或仪器控

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

制器上开发了专用软件，利用这些软件通过 IEEE-488 接口将计算机和校准器配置成自动校准系统，可对数字多用表各种测量功能进行校准，作出合格与否的判别，指导操作者的校准步骤，打印检定证书，并可将校准数据作为历史档案存入磁盘。目前，采用脉宽调制原理的校准器已在很大程度上取代了传统的电工类检验装置。

70 年代后期，上海仪器仪表研究所和北京无线电技术研究所相继研制成 NJ-1 型 6½ 位直流电压校准器和 DO11 型 6½ 位可程控直流电压/电流校准器。其后多功能的、带有微机控制和 IEEE-488 接口的校准器也陆续问世。在自动校准系统的组建方面也做了许多工作。北京无线电技术研究所、中国计量科学研究院、中国科学院自动化所、上海仪器仪表研究所、上海电表厂等单位为发展我国校准器都做出了很大的贡献。在国际上比较著名的校准器制造厂有美国 Fluke、Valhalla，英国 Datron，日本 TR（武田）和 YEW（横河）等公司。

（三）直流电压参考标准

直流电压参考标准是能对 10V 直流电压标准进行检定或校准的电子测量仪器，又称固态参考标准。

精密饱和标准电池是电动势稳定性最高的原电池。几十年来，国内外都用它作为直流电压单位量值传递的基准、标准和工作量具。然而它的电动势受温度的影响较大，且当温度变化时电动势的建立有一个滞后效应。另一方面，标准电池的电动势虽然十分稳定可靠且年变化量小于 1μV，但由于其电动势不是整数值，许多仪器仪表的基本量程与其不相吻合，必须配上直流分压箱和标准源才能把量程扩展到 10V，这就增加了系统的综合误差。随着电子技术的发展，特别是高稳定齐纳二极管及参考放大器的出现以及这些器件的高准确度自动测试技术的发展，产生了这种新型的电压参考标准。

直流电压参考标准的核心是高稳定的齐纳二极管或参考放大器。这些器件经过长期的老化测试并在零温度系数的工作点上工作。仪器的关键电路放在恒温槽中，由市电或内装电池供电。仪器具有 10V 直流电压输出，其月稳定度可达 0.05×10^{-6}，有些还具有 1V 和 1.018V 电压输出。它使用温度范围宽，运输携带维护方便，其输出具有很低的纹波和噪声，还有很好的负载能力和短路保护功能。在用内装电池作直流供电时，仪器可作为“无源器件”使用。这些突出的优点使直流电压参考标准已在许多场合代替了饱和标准电池。例如，美国 Fluke 公司早在 1984 年就用四个经长期考核的 732A 直流电压参考标准代替 54 个饱和标准电池作为法定“电压标准”。经过美国国家标准局（NBS）确认其不确定度为 $\pm0.08\times10^{-6}$，并具有 99% 的可信度。

我国各省市计量部门和各大区域计量站现均已配备 732A 作为传递标准。它可以将中国计量科学研究院保存的基准直流电压传递到计量站的工作标准，而不再需要把笨重的校准器送检。

高准确度直流电压参考标准，主要有北京无线电技术研究所的 BY2051，美国 Fluke 公司的 731B 和 732A，Valhalla 公司的 2734A，英国 Datron 公司的 4910 等。

（四）热传递标准

热传递标准是应用热电效应精确测量和校准交流电压和电流的电学交流电量标准。

由于没有像直流标准电池或直流电压参考标准那样高准确度的交流参考标准，对交流电量的计量或校准就必须将此交流与直流标准相比较来进行。根据交流有效值的定义，热传递标准使用

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

同一电路对交流和直流在热电元件上产生的热电效应作比较，达到精密测量或校准交流的目的。

当前最广泛使用的热传递标准是美国 Fluke 公司的 540B。它的热电转换元件是高精度热偶。该热偶与电阻加热器一起密封于真空管中。在热偶和加热器间由一个玻璃珠实现电隔离。真空条件减低了热损耗并提高了仪器灵敏度。使用时，被测电流流过电阻加热器，从而通过玻璃珠将热量传导到热偶。热偶产生的电动势正比于加热器产生的热量，并通过可变参考直流电压和检零器检出其值。当加入标准直流至电阻加热器产生同样大小的电动势时，该标准直流电量就等于被测交流的有效值。因而使用这种方法可准确地测量和校准未知交流电压和电流。该仪器测量交流电压范围为 0.25～1000V，共分 14 个量程，并备有过载保护措施。带宽为 5Hz～1MHz。当使用高频热转换器附件 A55 时，可将频带展宽至 50MHz。若使用交流电流分流器 A40 (A40A)，可测量交流电流范围为 2.5mA～20A，带宽为 5Hz～100kHz，其基本传递不确定度为 0.01%。

由于热偶的输出一般为 mV 级，因此对可变直流参考电压的噪声和检零电路的灵敏度有很高的要求。此外安装热偶时任何机械上的不对称性都会增加反向误差。为此又研制出多结热偶器件。由于多结具有较高的输出电压，且该电压代表了沿加热器长度的平均温度，从而降低了对电路噪声和安装精度的要求。

近年来，随着半导体技术和传感技术的发展，出现了全固态的热转换器件。它将敏感晶体管和电阻做在一个硅岛上，并成对组装形成一个差分放大器。利用薄膜技术制成的加热电阻与敏感晶体管温度采样结尺寸相适配，从而使器件敏感度与加热电阻的平均温度有关。用这种热转换器件制成的热传递标准，具有响应速度快、灵敏度高、直流反向误差小、体积小、机械强度高等特点。例如 Fluke 的 792A，其 AC/DC 转换年不确定度可达到 10×10^{-6}。

北京无线电技术研究所研制的 BY2011 是美国 Fluke 公司 540B 的国产化产品。国际上主要有 Fluke 公司 540B、792A，Ballantine 公司的 1600A、1605A 和 Holt 公司 A11 等产品。

国内外产品主要性能指标对比

指　标		国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
准确度	直流电压校准器	2.0×10^{-6}(23±5℃,90d)	20×10^{-6}(20±5℃,90d)
	交流电压校准器	75×10^{-6}(23±5℃,90d)	0.03%(20±5℃,90d)
	直流电流校准器	40×10^{-6}(23±5℃,90d)	0.05%(20±2℃,90d)
	交流电流校准器	140×10^{-6}(23±5℃,90d)	0.5%(20±2℃,90d)
	电阻校准器	11×10^{-6}(23±5℃,90d)	0.015%(20±5℃,1a)
	直流电压参考标准	0.5×10^{-6}(30d),1×10^{-6}(90d)	15×10^{-6}(20±5℃,90d)
	热传递标准	10×10^{-6}(23±5℃,1a)	0.02%(20±2℃)
基本误差	直流数字电压表	0.5×10^{-6}(23±1℃,24h)	2×10^{-6}(20±1℃,24h)
	交流数字电压表	50×10^{-6}(23±1℃,24h)	0.015%(20±1℃,24h)
	直流数字电流表	13×10^{-6}(23±1℃,24h)	50×10^{-6}(20±1℃,24h)
	交流数字电流表	150×10^{-6}(23±1℃,24h)	0.02%(20±1℃,24h)
	数字欧姆表	1×10^{-6}(23±1℃,24h)	4×10^{-6}(20±1℃,24h)
工作误差	直流数字电压表	6×10^{-6}(23±5℃,1a)	15×10^{-6}(20±5℃,1a)
	交流数字电压表	70×10^{-6}(23±5℃,2a)	0.025%(20±5℃,1a)
	直流数字电流表	25×10^{-6}(23±5℃,1a)	0.01%(20±5℃,1a)
	交流数字电流表	200×10^{-6}(23±5℃,1a)	0.03%(20±5℃,1a)
	数字欧姆表	6×10^{-6}(23±5℃,1a)	15×10^{-6}(20±5℃,1a)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

指 标		国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
温度系数		通常为 0.1×准确度/℃	通常为 0.1×准确度/℃
直流电压校准器线性度		0.5×10^{-6}(15～30℃)	
读数稳定性		±1 字	±1 字
分辨力	直流数字电压表	10nV	0.1μV
	交流数字电压表	0.1μV	0.1μV
	直流数字电流表	100pA	0.01nA
	交流数字电流表	1nA	0.01nA
	数字欧姆表	1μΩ	10μΩ
	直流电压校准器	10nV	0.1μV
	交流电压校准器	1nV	1μV
	直流电流校准器	0.1nA	0.1μA
	交流电流校准器	0.1nA	1μA
稳定度	直流电压校准器	0.2×10^{-6}(10min),0.3×10^{-6}(24h)	
	交流电压校准器	35×10^{-6}(10min)	
	直流电流校准器	50×10^{-6}(10min)	
	交流电流校准器	140×10^{-6}(10min)	
纹波与噪声	直流电压校准器	≤0.1μV(0.1～10Hz)	≤8μV
	直流电流校准器	0.05% 输出值(10Hz～10kHz)	
	直流电压参考标准	≤1μV(0.1～10Hz)	<70μV(>1Hz)
电源调整率	直流电压校准器	$\leqslant0.1\times10^{-6}$	
	直流电压参考标准	$\leqslant0.05\times10^{-6}$	
负载调整率	直流电压校准器	$\leqslant0.1\times10^{-6}$	≤0.002%
	交流电压校准器	$\leqslant50\times10^{-6}$	≤0.02%
	直流电流校准器	20×10^{-6}/V	≤0.02%
	交流电流校准器	50×10^{-6}/V	≤0.2%
	直流电压参考标准	$\leqslant1.2\times10^{-6}$	
交流电压校准器频率准确度		1%	0.02%
输入电阻		10GΩ	10GΩ
输入零电流		20pA	30pA
输入阻抗		1MΩ∥100pF	1MΩ∥100pF
串模干扰抑制比		≥100dB	≥80dB
共模干扰抑制比	直流数字电压表	≥140dB	≥140dB
	交流数字电压表	≥120dB	≥100dB
	直流电压校准器	≥140dB	
波峰因数	交流数字电压表	8:1	
	交流数字电流表	4.5:1	
带宽	交流数字电压表	1MHz	1MHz
	交流数字电流表	100kHz	5kHz
电压频率乘积	交流数字电压表	3×10^{7}	10^{7}
	交流电压校准器	10^{7}	
波形失真	交流电压校准器	0.04%	0.05%
	交流电流校准器	0.05%	

www.789pdf.com 789书库网

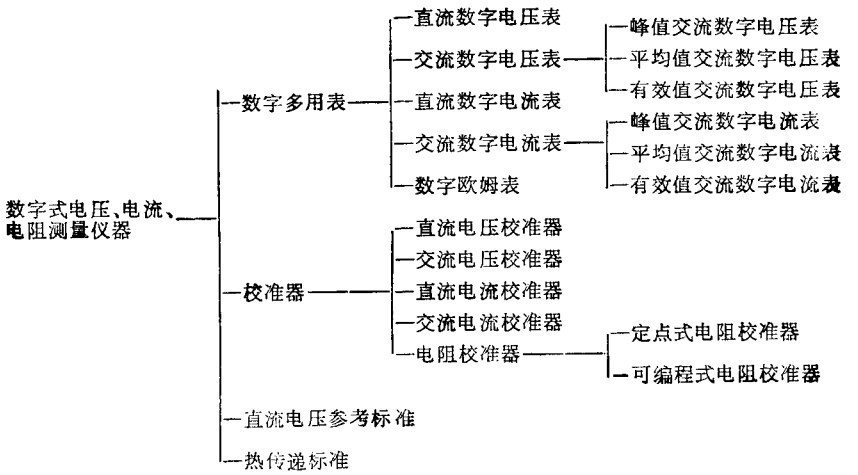
www.789pdf.com 789书库网

续　表

指　标		国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
负　荷电　压	直流数字电流表	0.1V	0.14V
	交流数字电流表	0.1V	0.14V
最大输出电流	直流电压校准器	60mA	50mA
	交流电压校准器	50mA	50mA
极限输出电压	直流电流校准器	3V	
	交流电流校准器	3V	

第2节　分　　类

数字多用表和校准器目前尚无通用的分类标准。此处按它们所测量的或供给的基本电量进行分类。实际仪器往往是这些单独功能的组合。



第3节　技术指标汇总

本章共列入 30 个技术指标。技术指标名称、符号、定义以及测试方法主要引用了有关的国际标准、国家标准、部标准、国外先进标准、国家检定规程和部门检定规程。它们是：

IEC 485	数字电子直流电压表和直流电子模-数转换器
GB	数字多用表通用技术条件(送审稿)
SJ2314-83	直流数字电压表通用技术条件
SJ2315-83	直流数字电压表测试方法
SJ2943-88	交流数字电压表通用技术条件
SJ2944-88	交流数字电压表测试方法
JJG315-83	直流数字电压表试行检定规程
JJG410-86	精密交流电压校准源检定规程

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

JJG445-86 直流标准电压源检定规程
JJG598-89 直流数字电流表(试行)检定规程
JJG(航天)5-84 直流标准电压源检定规程
JJG(航天)34-87 交流数字电压表检定规程
JJG(航天)35-87 交流数字电流表检定规程
JJG(航天)36-87 直流数字电流表检定规程
JJG(航天)37-87 直流数字欧姆表检定规程
JJG(航天)38-87 直流标准电流源检定规程
ANSI C39.6-1983 数字测量仪器(美国)
JIS C1003-1976 数字式电压表试验方法(日本)

技术指标汇总表

序号	技术指标	直流数字电压表	交流数字电压表	直流数字电流表	交流数字电流表	数字欧姆表	直流电压校准器	交流电压校准器	直流电流校准器	交流电流校准器	电阻校准器	直流电压参考标准	热传递标准
1	不确定度	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
2	准确度						●	●	●	●	●	●	●
3	基本误差	●	●	●	●	●							
4	工作误差	●	●	●	●	●							
5	温度系数	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
6	线性度	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
7	分辨力	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
8	读数稳定性	●	●	●	●	●							
9	稳定度						●	●	●	●		●	
10	纹波与噪声						●		●			●	
11	电源调整率						●	●	●	●		●	
12	负载调整率						●	●	●	●		●	
13	频率准确度							●		●			
14	输入电阻	●											
15	输入零电流	●											
16	输入阻抗		●										
17	串模干扰抑制比	●											
18	共模干扰抑制比	●	●				●						
19	波峰因数		●		●								
20	带宽		●		●								
21	电压频率乘积		●					●					
22	波形失真							●		●			
23	最大允许输入电压	●	●			●							
24	负荷电压			●	●								
25	最大允许输入电流			●	●								
26	最大输出电流						●	●					
27	极限输出电压								●	●			
28	测试电流					●							
29	开路电压					●							
30	响应时间	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第 4 节　技术指标及测试方法

1. 不确定度

uncertainty

表征被测量的真值所处量值范围的评定。

说明：目前国际上工业发达国家在数字式电压、电流、电阻测量仪门类中，凡是高档产品都以不确定度作为其主要性能指标，它可直接追溯到国际单位制的基准电量值。

2. 准确度 Δ

accuracy

数字多用表和校准器的准确度是指：在规定条件下，数字多用表或校准器在预热、预调、校准后，在规定的时间间隔内测量电量(数字多用表)或输出电量（校准器）与真值之间的一致程度。

准确度一般以读数误差(数字多用表)或设定值误差(校准器)和满度值误差之和表示：

$$\Delta = \pm(a\% A_x + b\% A_m)$$

式中　A_x——数字多用表的读数值或校准器的设定值

A_m——数字多用表或校准器的量程值或满度值

a——与读数值或设定值有关的误差系数。

b——与量程值或满度值有关的误差系数

有时准确度也可用相对误差 r 的形式表示：

$$r = \pm\left(a\% + b\% \frac{A_m}{A_x}\right)$$

数字多用表的准确度通常用基本误差和工作误差表示。

测试方法：

I. 直流电压校准器准确度的测试方法

(1) 测试方框图，见图 5-1 和图 5-2。

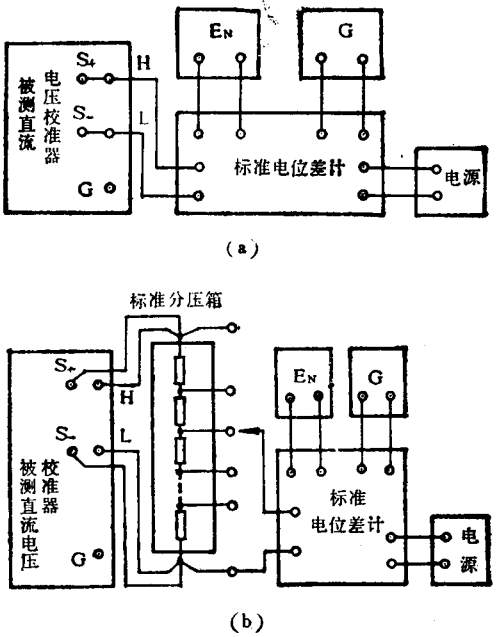


图　5-1

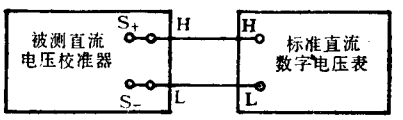


图　5-2

(2) 测试说明和要求

① 电位差计法　图 5-1(a) 适用于校准器输出电压与电位差计测量上限一致的量程。在校准高量程校准器时，应先分压后检测，按图 5-1(b) 接线，图中 E_N 为标准电池，G为检流计。

② 当采用分压箱时，最好用四线接法，以避免测试线压降带来的误差。在高压量程时要注意系统的屏蔽。

③ 当直流数字电压表的误差小于被检校准器允许误差的 1/3～1/5 时，可用它作为标准

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表直接检测如图 5-2 接线。

(3) 测试步骤

① 在规定条件下，检测用仪器进行预热、预调等操作，使仪器处于最佳工作状态。同时将直流电压校准器按规定进行预热、预调等操作。

② 被测直流电压校准器输出一个读数值 U_X，检测用标准仪器测得其实际值为 U_N。

③ 被检直流电压校准器的

绝对误差 $\Delta = U_X - U_N$

相对误差 $r = \frac{U_X - U_N}{U_N} \times 100\%$

④ 重复步骤②、③，对所有规定的测试点进行检测。

II. 交流电压校准器准确度的测试方法

(1) 测试方框图，见图 5-3、图 5-4、图 5-5。

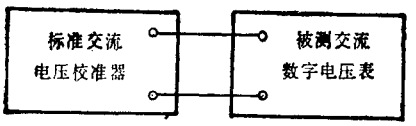


图 5-3

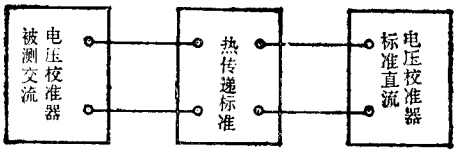


图 5-4

(2) 测试说明和要求

当交流数字电压表的误差小于被测校准器允许误差的 1/3～1/5 时，可用它作为标准表直接检测如图 5-3。图 5-4 用于交流电压校准器电压量程的检测，图 5-5 用于毫伏电压量程的检测，指示器可以是高稳定度交流数字电压表或其它仪器，测试电路接线应注意系统的屏蔽。

(3) 测试步骤

① 在规定条件下，将检测用仪器进行预热、预调等操作，使仪器处于最佳工作状态，同时将交流电压校准器按规定进行预热、预调等操作。

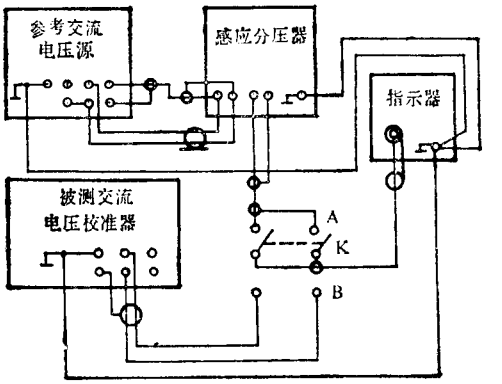


图 5-5

② 如图 5-4 接线，在电压量程，交流电压校准器输出一个读数值 U_X（一般为 1V，1kHz），热传递标准测得其实际值为 U_N。

③ 被测交流电压校准器的

绝对误差 $\Delta = U_X - U_N$

相对误差 $r = \frac{U_X - U_N}{U_N} \times 100\%$

④ 重复步骤②、③，对电压量程所有规定的电压、频率测试点进行检测。

⑤ 如图 5-5 接线在毫伏电压量程，开关打在 B 侧，交流电压校准器输出一个读数值 U_X（一般为 100mV，1kHz），读出指示器的指示值，然后保持指示器各操作部分不变，开关打至 A 侧。

⑥ 参考源保持 1V、1kHz，调整感应分压器使指示器达到原来指示值，此时感应分压器上读数 U_N 即为标准值。

⑦ 被检交流电压校准器的

绝对误差 $\Delta = U_X - U_N$

相对误差 $r = \frac{U_X - U_N}{U_N} \times 100\%$

⑧ 重复步骤⑤、⑥、⑦，对毫伏电压量程所有规定的电压、频率测试点进行检测。

⑨ 也可按图 5-3 接线，直接检测各测试

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

点。

III. 直流电流校准器准确度的测试方法

（1）测试方框图，见图 5-6、图 5-7、图 5-8。

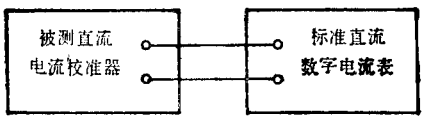


图　5-6

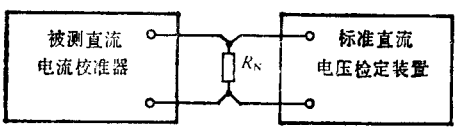


图　5-7

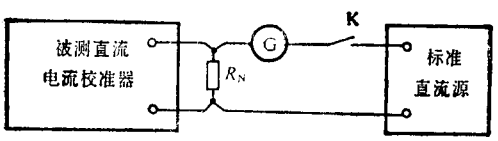


图　5-8

（2）测试说明和要求

① 在标准直流数字电流表的误差小于被检校准器允许误差的 1/3～1/5 时，可用它作为标准表直接检测，如图 5-6。

② 图 5-7 中的标准直流电压检定装置可以是标准电位差计或标准直流数字电压表，R_N 是标准电阻。

③ 图 5-8 中标准直流源可以是标准电池、直流电压参考标准或标准直流电压校准器，G 为检流计，K 为低热电势开关。

（3）测试步骤

① 在规定条件下，将检测用仪器进行预热、预调等操作，使仪器处于最佳工作状态，同时将直流电流校准器按规定进行预热、预调等操作。

② 被检直流电流校准器输出一个读数值 I_X，检测仪器测得其实际值为 I_N。（在图 5-7 及 5-8 的情况下，$I_N = \frac{U_N}{R_N}$。）

③ 被检直流电流校准器的

绝对误差 $\Delta = I_X - I_N$

相对误差 $r = \frac{I_X - I_N}{I_N} \times 100\%$。

④ 重复步骤②、③，对所有规定的检测点进行检测。

IV. 交流电流校准器准确度的测试方法

（1）测试方框图，见图 5-9、图 5-10、图 5-11。

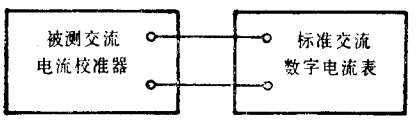


图　5-9

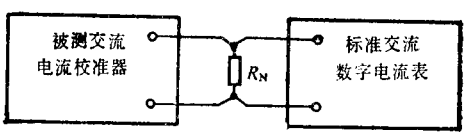


图　5-10

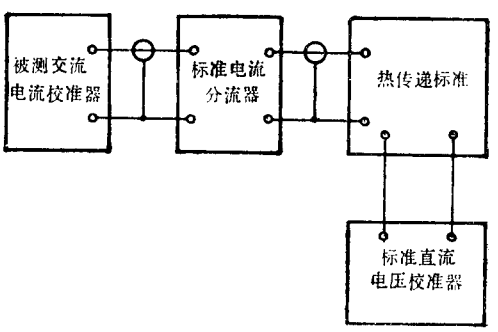


图　5-11

（2）测试说明和要求

① 在标准交流数字电流表的误差小于被检测校准器允许误差的 1/3～1/5 时，可用它作为标准表直接检测，如图 5-9。

③ 图 5-10 中的标准电阻必须是交流标准电阻。

（3）测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 在规定条件下，将检测用仪器进行预热、预调等操作，使仪器处于最佳工作状态，同时将交流电流校准器按规定进行预热、预调等操作。

② 被检交流电流校准器输出一个读数值 I_X，检测仪器测得其实际值为 I_N。（在图 5-10 和 5-11 的情况下，$I_N=\frac{U_N}{R_N}$，R_N 为标准电阻或标准电流分流器阻值。）

③ 被检交流电流校准器的

绝对误差 $\Delta=I_X-I_N$

相对误差 $r=\frac{I_X-I_N}{I_N}\times 100\%$。

④ 重复步骤②、③，对所有规定的电流，频率测试点进行检测。

V. 电阻校准器准确度的测试方法

（1）测试方框图，见图 5-12。

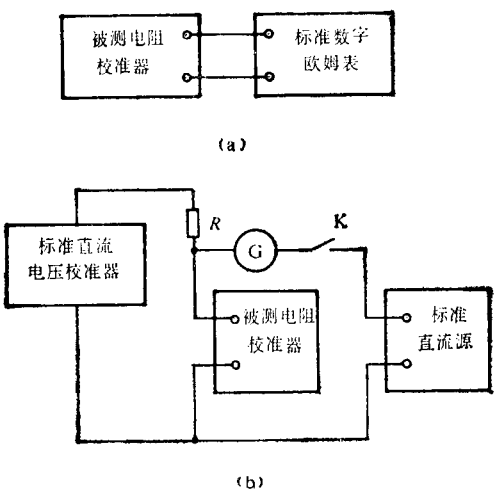


图 5-12

（2）测试说明和要求

在标准数字欧姆表的误差小于被检校准器允许误差的 1/3～1/5时，可用它作为标准表直接检测，如图 5-12(a)。否则应采用标准直流源和检流计法，如图 5-12(b)。其中标准直流源可以是标准电池、直流电压参考标准或标准直流电压校准器。R 为与被检电阻校准器设置值相同的标准电阻，G 为检流计，K 为低热电势开关。

（3）测试步骤

① 在规定条件下，将检测用仪器进行预热、预调等操作，使仪器处于最佳工作状态，同时将电阻校准器按规定进行预热、预调等操作。

② 被检电阻校准器设定一个电阻值 R_X。

③ 设标准直流源的输出为 U_N，调节标准直流电压校准器至检零计为零，如果标准直流电压校准器读数为 U，此时标准仪器测得其标准值为 $R_N=\frac{U_N}{U-U_N}R$。

④ 被检电阻校准器的

绝对误差 $\Delta=R_X-R_N$

相对误差 $r=\frac{R_X-R_N}{R_N}\times 100\%$。

⑤ 重复步骤②、③、④，对所有规定的测试点进行检测。

⑥ 也可按图 5-12(a) 逐点直接检测。

VI. 直流电压参考标准准确度测试方法

直流电压参考标准准确度指标定义：在规定条件下，在规定的时间间隔内仪器输出直流电压量的与真值的一致程度。

（1）测试方框图，见图 5-13、图 5-14、图 5-15。

（2）测试要求和说明

图 5-13、图 5-14、图 5-15，依次是对直流电压参考标准 10V、1.018V、1V 进行检测的框图。标准分压箱应首先进行自校，保证其比率精度为 0.1×10^{-6}，检流计应具有 3μV 或更高灵敏度的量程。在改变接线或不工作时，应使其输入线呈开路状态，避免对标准电池的冲击和损伤。

（3）测试步骤

① 按图 5-13(a) 接线，测控温标准电池组温度，计算 9 个串联标准电池的总电动势值，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

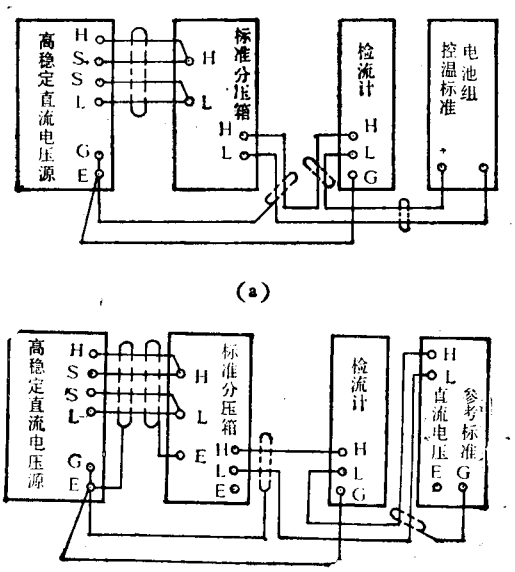


图 5-13

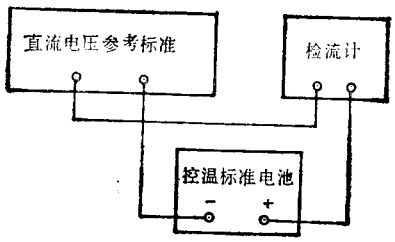


图 5-14

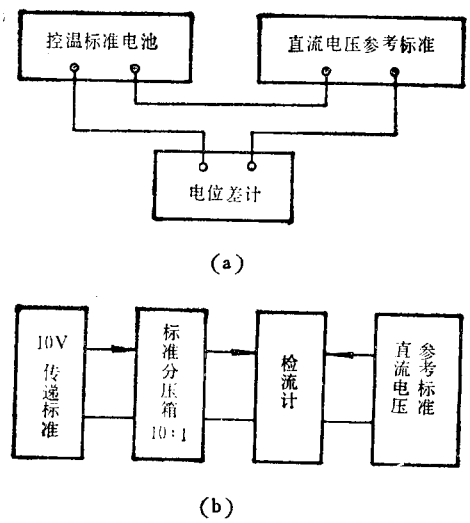


图 5-15

设其为 S，置标准分压箱比率值为 $S/10$。

② 置高稳定直流电压源输出为10V，并微调之。使检流计在 3μV 量程内指零，稳定的零位偏差小于 0.5μV。

③ 不改变电压源调定值和分压器连接线，按图 5-13(b) 接线，置分压箱比率值为 0.999999 × (10)。

④ 检流计所示差值即表示直流电压参考标准的准确度，通常可调节直流电压参考标准的输出 10V 电压在 3μV 内指零，此时该 10V 电压已追溯到控温标准电池组的标准电动势。

⑤ 按图 5-14 接线，检流计示值即反映了直流电压参考标准 1.018V 输出的准确度，通常可调节输出 1.018V 电压使其与检流计示值的代数和等于控温标准电池的实际电动势，此时该 1.018V 电压已追溯到标准电池的标准电动势。

⑥ 按图 5-15(a) 接线，通过高灵敏度、高精度电位差计测出直流电压参考标准 1V 输出和温控标准电池实际电动势的差值，即反映了 1V 输出的准确度。

⑦ 也可按图 5-15(b) 接线，通过检流计测出直流电压参考标准 1V 输出和通过 10:1 分压的 10V 传递标准输出之差，即反映了 1V 输出的准确度。

VII. 热传递标准交流-直流传递准确度测试方法

热传递标准交流-直流传递准确度指标定义：

热传递标准对直流和交流热值响应之差的误差极限。

(1) 测试方框图，见图 5-16。

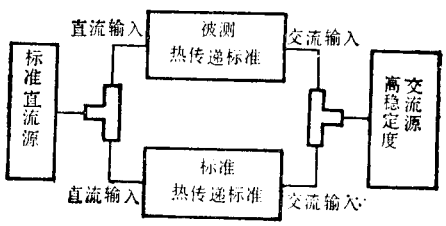


图 5-16

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试要求和说明

热传递标准是高准确度的交流-直流传递标准，其准确度测试只能由更高等级的热传递标准配合标准直流源及高稳定度交流源实现，对高等级的热传递标准只能通过相互比对的方法实现。

3. 基本误差

intrinsic error

在基准条件下，数字多用表经预热、预调和校准后，在24h内测得的误差极限。

测试方法：

I. 直流数字电压表基本误差测试方法

(1) 测试方框图，见图5-17、图5-18、图5-19。

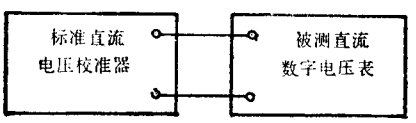


图 5-17

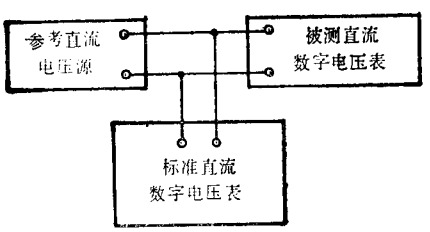
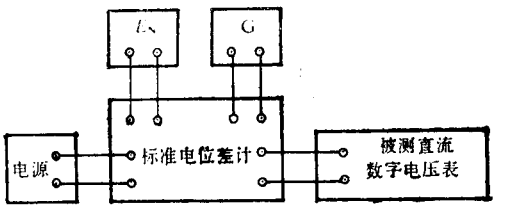


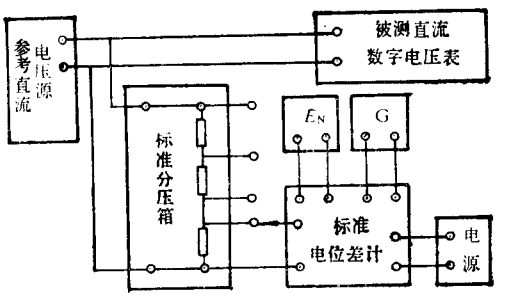
图 5-18

(2) 测试说明和要求

方框图给出的是三种典型的基本误差测试方法。当标准直流电压校准器或标准直流数字电压表误差小于被测直流数字电压表基本误差的1/3～1/5时，可按图5-17标准校准器法及图5-18直接比较法直接测试。采用图5-19电位差计和标准分压箱法时，在低量程直流数字电压表的输入阻抗很高，可把电位差计作为直流标准电压源如图5-19(a)。在高量程时必须



(a)



(b)

图 5-19

配上分压箱和可调稳压电源进行如图5-19(b)，并应注意系统的屏蔽。

(3) 测试步骤

① 在基准条件下，对标准仪器进行预热、预调等操作，使仪器处于最佳工作状态。同时将被测直流数字电压表按规定进行预热、预调等操作。

② 标准仪器输出电压值 U_N，被测直流数字电压表给出的读数为 U_X。

③ 被测直流数字电压表的基本误差

绝对误差 $\Delta = U_X - U_N$

相对误差 $r = \dfrac{U_X - U_N}{U_N} \times 100\%$。

④ 重复步骤②、③，对所有规定点进行检测。

II. 交流数字电压表基本误差测试方法

(1) 测试方框图，见图5-20、图5-21、图5-22。

(2) 测试说明和要求

当标准交流电压校准器或标准交流数字电压表误差小于被测交流数字电压表基本误差的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

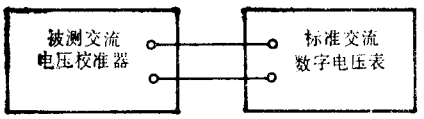


图　5-20

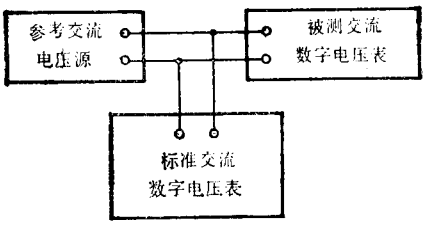


图　5-21

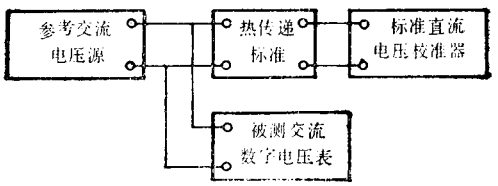


图　5-22

1/3～1/5 时，可按图 5-20 标准校准器法及图 5-21 直接比较法直接测试。图 5-22 热传递标准法是真有效值测量，在测试较高准确度的交流数字电压表时使用。

(3) 测试步骤

① 在基准条件下，对标准仪器进行预热、预调等操作，使仪器处于最佳工作状态。同时将交流数字电压表按规定进行预热、预调等操作。

② 标准仪器输出电压值 U_N，被测直流数字电压表给出的读数为 U_X。

③ 被测交流数字电压表的基本误差：

绝对误差 $\Delta = U_X - U_N$

相对误差 $r = \dfrac{U_X - U_N}{U_N} \times 100\%$

④ 重复步骤②、③，对所有规定点进行检测。

III. 直流数字电流表基本误差测试方法

(1) 测试方框图，见图 5-23、图 5-24、图 5-25。

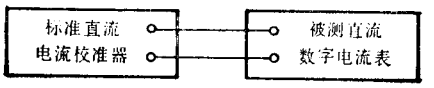


图　5-23

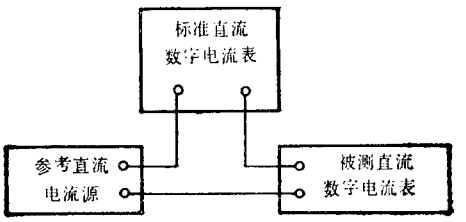


图　5-24

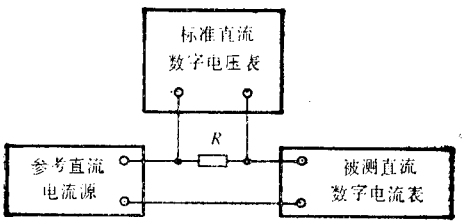


图　5-25

(2) 测试说明和要求

当标准直流电流校准器或标准直流数字电流表误差小于被测直流数字电流表基本误差的 1/3～1/5 时，可按图 5-23 标准直流电流源法及图 5-24 直接比较法直接测试。在采用图 5-25 标准直流数字电压表法时，R 为标准电阻。应选取适当的阻值，使其通过的电流不超过其额定工作电流，而又可获得能进行准确测量的电压数值。

(3) 测试步骤

① 在基准条件下，对标准仪器进行预热、预调等操作，使仪器处于最佳工作状态。同时将直流数字电流表按规定进行预热、预调等操作。

② 标准仪器输出电流值 I_N，被测直流数字电流表给出的读数为 I_X。

③ 被测直流数字电流表的基本误差：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

绝对误差 $\Delta = I_X - I_N$

相对误差 $r = \frac{I_X - I_N}{I_N} \times 100\%$。

④ 重复步骤②、③，对所有规定点进行检测。

IV. 交流数字电流表基本误差测试方法

(1) 测试方框图，见图 5-26、图 5-27、图 5-28。

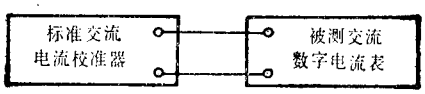


图 5-26

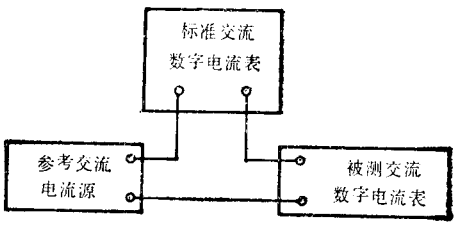


图 5-27

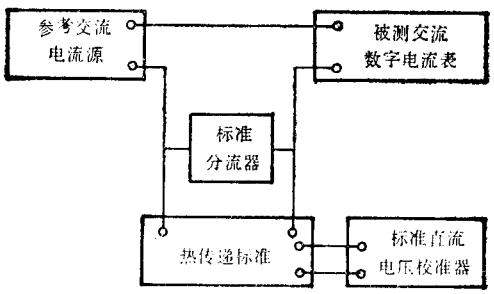


图 5-28

(2) 测试说明和要求

当标准交流电流校准器或标准交流数字电流表误差小于被测交流数字电流表基本误差的 1/3～1/5 时，可按图 5-26 标准交流电流法及图 5-27 直接比较法直接测试。图 5-28 热传递标准法是真有效值测量，在测试较高准确度的交流数字电流表时使用。

(3) 测试步骤

① 在基准条件下，对标准仪器进行预热、预调等操作，使仪器处于最佳工作状态。同时将交流数字电流表按规定进行预热、预调等操作。

② 标准仪器输出电流值 I_N，被测交流数字电流表给出的读数为 I_X。

③ 被测交流数字电流表的基本误差：

绝对误差 $\Delta = I_X - I_N$

相对误差 $r = \frac{I_X - I_N}{I_N} \times 100\%$。

④ 重复步骤②、③，对所有规定点进行检测。

V. 数字欧姆表基本误差测试方法

(1) 测试方框图，见图 5-29。

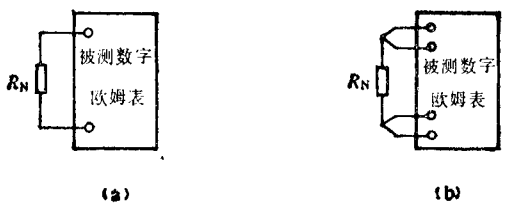


图 5-29

(2) 测试说明和要求

图 5-29 是基本的接线方式。R_N 为标准电阻或电阻校准器。对低阻值一般应进行四端测量，对于高准确度的数字欧姆表，当一般标准电阻器具达不到要求的准确度时，可采用过渡传递法，即采用误差小于被测数字欧姆表 1/3～1/5 的标准电阻测量仪器或装置，对标准电阻器具进行实时测量，所得量值作为标准器具的实际值。在环境条件保持不变的短时间内，检测被测的数字欧姆表。

(3) 测试步骤

① 在基准条件下，对标准仪器进行预热、预调等操作，使仪器处于最佳工作状态，同时将数字欧姆表按规定进行预热、预调等操作。

② 对标准电阻值 R_N，被测数字欧姆表给出的读数为 R_X。

③ 被测数字欧姆表的基本误差：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

绝对误差 $\Delta = R_X - R_N$

相对误差 $r = \frac{R_X - R_N}{R_N} \times 100\%$。

④ 重复步骤②、③，对所有规定点进行检测。

4. 工作误差

operating error

在额定工作条件内任一点测得的误差极限。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 5-30、图 5-31。

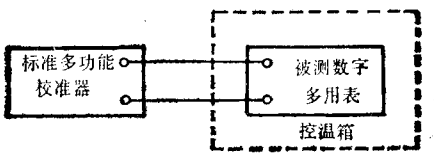
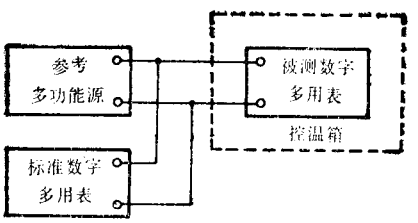


图　5-30



5-31

(2) 测试说明和要求

应选择适当的检测仪器使标准多功能校准器或标准 DMM 误差比被测数字多用表工作误差小 1/3～1/5。可按图 5-30 标准校准器法或图 5-31 直接比较法进行测试。

(3) 测试步骤

① 使被测数字多用表在工作范围上限温度，上限湿度和最高供电电源频率和电压下工作。

② 在预热、预调后输入标准电量 A_N，被测数字多用表测得其电量为 A_X。

③ 被测数字多用表的基本误差：

绝对误差 $\Delta = A_X - A_N$

相对误差 $r = \frac{A_X - A_N}{A_N} \times 100\%$。

④ 对各功能、各量程、各规定测试点重复步骤②、③。

5. 温度系数

temperature coefficient

测量仪器示值（数字多用表）或输出电量（多功能校准器）随温度的变化率。直流电压参按图准的温度系数一般不进行测试，必要时可考标 5-13 所示的方法将参考标准置于控温箱中测试。

测试方法：

I. 数字多用表温度系数测试方法

(1) 测试方框图，见图 5-30 及图 5-31。

(2) 测试说明和要求

标准多功能校准器或标准数字多用表误差应比被测数字多用表误差小 1/3～1/5。

(3) 测试步骤

① 置被测数字多用表工作温度为基准温度 t_0，经热平衡后，对各功能、各量程、各规定测试点进行测试，被测数字多用表测出标准电量为 A_0。

② 置被测数字多用表工作温度为工作范围上限温度 t_1，经热平衡后，对各功能、各量程、各规定测试点进行测试，被测数字多用表测出标准电量为 A_1。

③ 置被测数字多用表工作温度为工作范围下限温度 t_2，经热平衡后，对各功能、各量程、各规定测试点进行测试，被测数字多用表测出标准电量为 A_2。

④ 高低温温度系数分别为

$$\theta_H = \frac{A_1 - A_0}{t_1 - t_0} (1/℃)$$

$$\theta_L = \frac{A_2 - A_0}{t_2 - t_0} (1/℃)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

均应满足技术指标要求。

II. 校准器温度系数测试方法

(1) 测试方框图，见图 5-32。

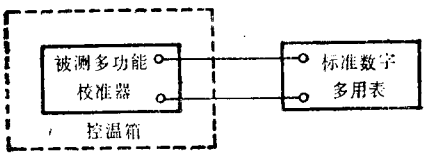


图 5-32

(2) 测试说明和要求

标准数字多用表的误差应比被测校准器的工作误差小 1/3～1/5。

(3) 测试步骤

① 置被测校准器工作温度为基准温度 t_0，经热平衡后，对各功能、各量程、各规定测试点进行测试，标准数字多用表测出其输出电量为 A_0，

② 置被测校准器工作温度为工作范围上限温度 t_1，经热平衡后，对各功能、各量程、各规定测试点进行测试，标准数字多用表测出其输出电量为 A_1。

③ 置被测校准器工作温度为工作范围下限温度 t_2，经热平衡后，对各功能、各量程、各规定测试点进行测试，标准数字多用表测出其输出电量为 A_2。

④ 高低温温度系数分别为：

$$\theta_H = \frac{A_1 - A_0}{t_1 - t_0} (1/℃)$$

$$\theta_L = \frac{A_2 - A_0}{t_2 - t_0} (1/℃)$$

均应满足技术指标要求。

6. 线性度 r

linearity

数字多用表的转换曲线或校准器输出电量实际曲线与理想直线偏离的程度。

测试方法：

在仪器基本量程内，线性度一般结合准确度或基本误差的测试一起进行，若基本量程的满度值为 A_m，各测试点最大绝对误差为 Δ_{max}。

则 $$r = \frac{\Delta_{max}}{A_m} \times 100\%$$

7. 分辨力

resolution

I. 数字多用表分辨力是指仪器能够测量并显示的被测量最小增量。

测试方法：

各功能分辨力的测试通常用标准校准器法或直接比较法进行，测试电路为图 5-30 或图 5-31，但不使用控温箱。

要求标准仪器能产生的被测量最小增量应比数字多用表的分辨力高 5～10 倍。使标准仪器产生相当于被测数字多用表最灵敏量程末位变化一个字的电量变化，被测数字多用表测量结果应相应变化一个字。

通常分辨力在零区附近或有代表性的点进行测试

II. 多功能校准器分辨力是指校准器能够给出的输出电量的最小给定值，分辨力不适用于定点式校准器。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 5-33。

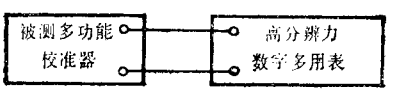


图 5-33

(2) 测试说明和要求

数字多用表的分辨力应比校准器高 5～10 倍。

(3) 测试步骤

使被测校准器在最高分辨力量程末位变化一个字(即一个最小变化量)，高分辨力数字多用表测量该变化量的实际值即为校准器该功能

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的分辨力。

8. 读数稳定性

reading stability

偏离读数(包括零点)平均值的周期性的和随机的偏差,即读数显示时的稳定程度。

测试方法:

(1) 测试方框图见图 5-30,但不使用控温箱。

(2) 测试步骤

① 被测表预热、预调。

② 在各功能最高分辨力量程,对约 80% 满度的输入量进行测试。

③ 在可读数时间内测量 100 次,其平均值和显示数的最大偏差即为读数稳定性。

9. 稳定度 s

stability

在规定的环境条件下,负载保持恒定,校准器或直流电压参考标准输出电量在规定的时间间隔内保持不变的能力。

直流电压参考标准的稳定度一般不作单独测试,必要时可按图 5-13(b) 进行。

测试方法:

I. 直流电压校准器稳定度测试方法

(1) 测试方框图,见图 5-34、图 5-35。

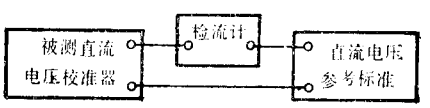


图 5-34

(2) 测试说明和要求

① 图 5-34 所示方法测试要求检流计的灵敏度(或电压常数)比被测电压的稳定度高 1/5～1/10。

② 图 5-35 所示方法测试时,将被测校准器的输出调至与标准电池 E_1 的电动势相接近

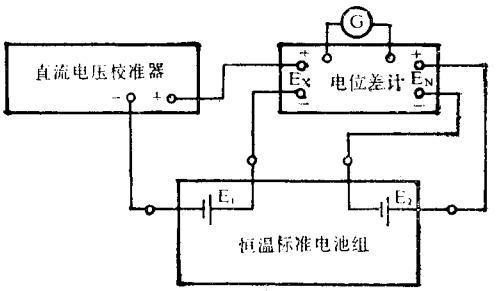


图 5-35

的数值上,E_2、E_1 处于同一个控温箱内。

(3) 测试步骤

在规定的时间间隔内记录输出电压的最大值 U_{max} 和最小值 U_{min} 若被测点输出电压值为 U_0。

$$s = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_0} \times 100\%$$

II. 交流电压校准器稳定度的测试方法

按图 5-4 接线,在规定的时间间隔内记录输出电压的最大值 U_{max} 和最小值 U_{min},若被测点输出电压值为 U_0 则

$$s = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_0} \times 100\%$$

III. 直流电流校准器稳定度的测试方法

按图 5-7 接线,在规定的时间间隔内记录输出电流的最大值 I_{max} 和最小值 I_{min},若被测点输出电流值为 I_0 则

$$s = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_0} \times 100\%$$

IV. 交流电流校准器稳定度的测试方法

按图 5-11 接线,在规定的时间间隔内记录输出电流的最大值 I_{max} 和最小值 I_{min},若被测点输出电流值为 I_0 则

$$s = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_0} \times 100\%$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

10. 纹波和噪声

ripple and noise

叠加于校准器或直流电压参考标准输出信号上的周期和随机干扰电信号

测试方法：

I. 直流电压校准器低频纹波和噪声测试方法

(1) 测试方框图，见图 5-36。

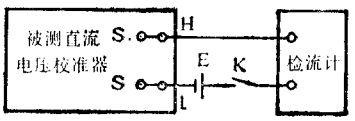


图 5-36

(2) 测试说明和要求

E 为高稳定度无源直流电压，可使用标准电池或直流电压参考标准，K 为低热电势开关。

(3) 测试步骤

调节直流电压校准器使其输出与 E 相同，逐步提高检流器灵敏度，使之在最高灵敏度量程指零，然后以 10s 为一周期，观察检流计指针的变化，记录其最大随机电压的偏差，即为被测校准器在 0～10Hz 频带的纹波和噪声峰值。

II. 直流电压校准器高频纹波和噪声测试方法

(1) 测试方框图，见图 5-37。

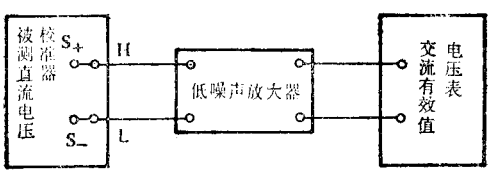


图 5-37

(2) 测试说明和要求

低噪声放大器增益可选 100～1000，带宽为 10Hz～100kHz，交流有效值电压表可选指针式高灵敏度真有效值电压表或交流数字电压表。

(3) 测试步骤

按图 5-37 接线，所测数据除以增益系数即为直流电压校准器高频纹波和噪声的有效值。

III. 直流电流校准器低频纹波和噪声测试方法

(1) 测试方框图，见图 5-38。

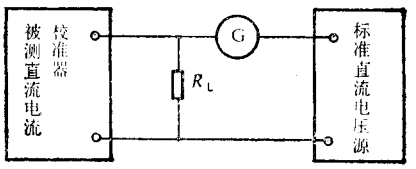


图 5-38

(2) 测试说明和要求

R_L 为低噪声的直流电流校准器负载电阻，G 为检流计，标准直流电压源可以是标准电池、直流电压参考标准或直流电压校准器。

(3) 测试步骤

调节被测仪器输出电流，使其在负载电阻上产生的电压与标准直流电压源相同，逐步提高检流计灵敏度，使之在最高灵敏度量程指零。然后以 10s 为一周期，观察检流计指针的变化，记录其最大随机电压的偏差即为被测校准器在 0～10Hz 频带的纹波和噪声峰值。

IV. 直流电流校准器高频纹波和噪声测试方法

(1) 测试方框图，见图 5-39。

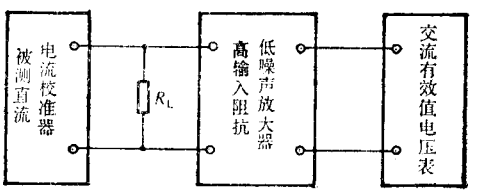


图 5-39

(2) 测试说明和要求

R_L 为无感低噪声的直流电流校准器负载电阻，高输入阻抗低噪声放大器增益可选 100～1000，带宽为 10Hz～100kHz，交流有效值电流表可选指针式高灵敏度真有效值电压表或交流数字电压表。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 测试步骤

按图5-39接线，所测数据除以增益系数即为直流电流校准器高频纹波和噪声的有效值。

V. 直流电压参考标准的纹波和噪声一般不作单独测试，必要时可按图5-13(b)进行。

11. 电源调整率 r_u

line regulation

在规定的条件下，当负载固定时由于电源电压变化引起校准器或直流电压参考标准输出电量的相对变化。

测试方法：

直流电压参考标准的电源调整率一般不作单独测试，必要时可按图5-13(b)进行。

(1) 测试方框图，见图5-40、图5-41。

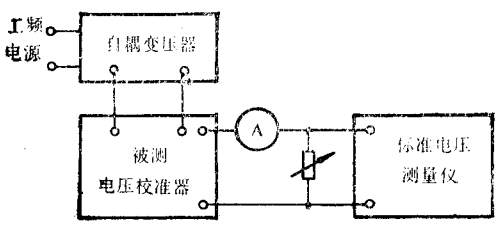


图 5-40

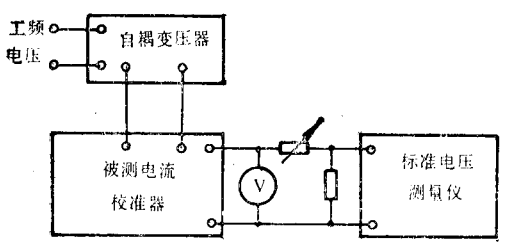


图 5-41

(2) 测试说明和要求

① 图5-40和图5-41分别是电压校准器和电流校准器电源调整率测试电路。图5-41中的电阻在交流测量时应使用无感电阻。

② 对直流校准器，标准电压测量仪可以使用标准电位差计或符合要求的直流数字电压表，对交流校准器，标准电压测量仪可使用热传递标准或符合要求的交流数字电压表。

③ 通常被检校准器工作在最大输出值，并分别在最小和最大负载条件下测试。

(4) 测试步骤

① 在基准供电电压条件下测试，校准器的输出为 A_0。

② 在最大额定电源电压条件下测试，校准器的输出为 A_{max}。

③ 在最小额定电源电压条件下测试，校准器的输出为 A_{min}。

④ 校准器的电源调整率为

$$r_u = \frac{A_{max} - A_0}{A_0} \times 100\%$$

或

$$r_u = \frac{A_{min} - A_0}{A_0} \times 100\%$$

均应符合指标要求。

12. 负载调整率 r_L

load regulation

在规定的条件下，由于负载的变化引起校准器或直流电压参考标准输出电量的相对变化。

直流电压参考标准的负载调整率一般不作单独测试，必要时可按图5-13(b)进行。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图5-42、图5-43。

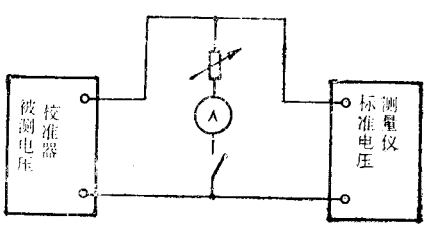


图 5-42

(2) 测试说明和要求

① 图5-42和图5-43分别是电压校准器和电流校准器负载调整率测试电路框图。图中

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

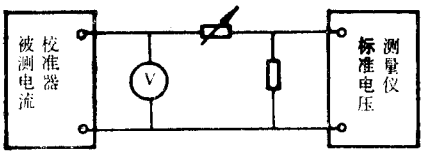


图 5-43

各电阻在交流测试时应使用无感电阻。

② 对直流校准器，标准电压测量仪可以使用标准电位差计或符合要求的直流数字电压表，对交流校准器，标准电压测量仪可使用热传递标准或符合要求的交流数字电压表。

(3) 测试步骤

① 在最小负载下测试，校准器的输出为 A_{min}。

② 在最大负载下测试，校准器的输出为 A_{max}。

③ 校准器的负载调整率为

$$r_L = \left|\frac{A_{max} - A_{min}}{A_{min}}\right| \times 100\%$$

13. 频率准确度

frequency accuracy

在规定条件下，交流校准器在规定的时间间隔内输出交流信号频率的与设定值的一致程度。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 5-44、图 5-45。

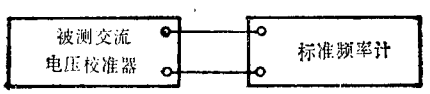


图 5-44

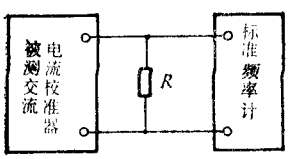


图 5-45

(2) 测试步骤

① 交流校准器输出设定频率为 F_0 的交流信号，幅度应符合标准频率计的要求；

② 标准频率计测得频率为 F；

③ 频率准确度为 $\left|\frac{F - F_0}{F_0}\right| \times 100\%$；

④ 对所有测试点重复步骤①、②、③。

14. 输入电阻 R_i

input resistance

指等效输入电阻。用输入电压的变化值和相对应的输入电流的变化值之比表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 5-46。

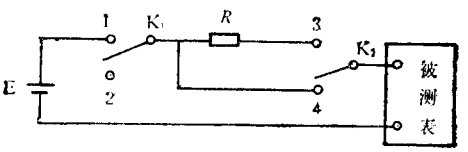


图 5-46

(2) 测试说明和要求

① 图 5-46 中外接电压 E 的大小约为被测表量程满度值的 80%，正、负极性分别测试。

② 为了减小测量误差，电阻 R 的大小应使 U_{23} 减 U_{24} 及 U_{14} 减 U_{13} 的差值均大一些，并加以屏蔽。

③ 当输入零电流可以忽略时，也可以不用开关 K_1 (K_1 置于 1)。

(3) 测试步骤

① 被测表经预热、调零后，分别读取开关 K_1、K_2 置于不同位置时被测表的显示值 U：

U_{13}	K_1 置于1	K_2 置于 3
U_{23}	K_1 置于 2	K_2 置于 3
U_{14}	K_1 置于 1	K_2 置于 4
U_{24}	K_1 置于 2	K_2 置于 4

② 根据上述读数按下列公式计算输入电阻

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

式中 $\Delta U = U_{13} - U_{23}$ (V)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$\Delta I = \frac{U_{14} - U_{13}}{R} - \frac{U_{24} - U_{23}}{R} \quad (A)$$

15. 输入零电流 I_0

input offset current

在输入信号为零时，仪器的输入电路中由于仪器内部引起的电流，它与输入信号的大小无关。

测试方法：

（1）测试方框图，同图5-46。

（2）测试步骤

① 被测表经预热、调零后，分别读取开关K_1、K_2置于不同位置时被测表的显示值U_{23}、U_{24}：

② 按下列公式计算被测表的输入零电流I_0：

$$I_0 = \frac{U_{23} - U_{24}}{R} \quad (A)$$

16. 输入阻抗 $R_i // C_i$

input impedance

输入交流电压的变化与输入交流电流变化之比，包括等效输入电阻R_i和输入电容C_i两部分。

测试方法：

（1）测试方框图，图5-47。

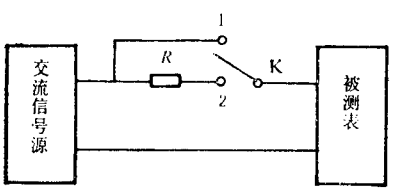


图 5-47

（2）测试说明和要求

① 无感电阻R的值在测R_i时应大于被测表输入电阻的10%，但不大于10MΩ，在测C_i时应适当选择，使$U_4 < 0.9U_3$。

② 交流信号源输出信号幅度约为80%满度值，测R_i时频率≤100Hz，测C_i时用一个频带内的较高频率。

（3）测试步骤

① 被测表预热、预调。

② 开关K置于1，加低频交流信号，被测表显示读数U_1。

③ 开关K置于2，被测表显示读数U_2。

④ 按下式计算输入电阻R_i

$$R_i = \frac{U_2 R}{U_1 - U_2}$$

⑤ 开关K置于1，加高频交流信号，被测表显示读数U_3。

⑥ 开关K置于2，被测表显示读数U_4。

⑦ 按下式计算输入电容C_i

$$C_i = \frac{\sqrt{U_3^2 R^2 - U_4^2 (R + R_i)^2}}{U_4 2\pi f R_i R}$$

17. 串模干扰抑制比 *SMRR*

Series Mode Rejection Ratio

表征仪器对串模干扰电压的抑制能力。用串模干扰电压的峰值与由它引起的读数变化值之比表示。

测试方法：

（1）测试方框图，见图5-48。

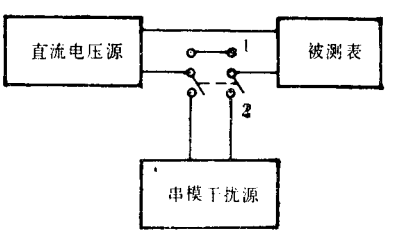


图 5-48

（2）测试说明和要求

串模电压源的频率为50±0.5Hz或规定的频率和频偏范围，并应与供电电源为同一电源，相位应调到使被测表产生最大影响处。

（3）测试步骤

① 开关打到1，先在输入端加一直流电

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

压，并保持不变，记录被测表读数。

② 开关打到2，叠加串模电压 $U_{\sim}$ 并逐渐加大，使被测表读数变化 ΔU。串模电压的大小应使读数变化尽可能地大，但其峰值与所加直流电压之和不应超出被测表的量程范围。

③ 按照下式计算串模抑制比：

$$SMRR = 20\lg \frac{U_{\sim}}{\Delta U}\ (\mathrm{dB})$$

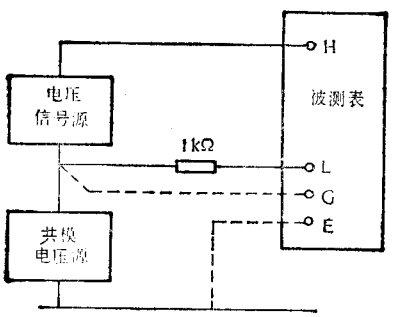
18. 共模干扰抑制比 *CMRR*

Common Mode Rejection Ratio

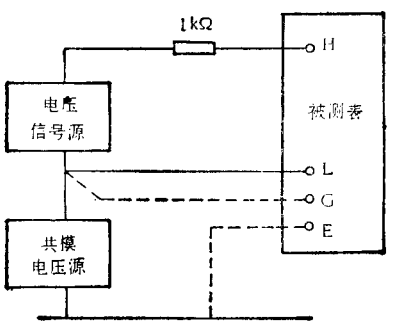
表征仪器对共模干扰电压的抑制能力。用共模干扰电压的峰值与由它引起的读数变化值之比表示。

测试方法：

I. 数字电压表共模干扰抑制比测试方法



(a)



(b)

图 5-49

(1) 测试方框图，见图5-49。

(2) 测试说明和要求

① 当被测表具有保护端G时，保护端应按虚线连接。

② 不平衡电阻 R 应分别串于低端和高端各测一次。

③ 共模干扰电压包括直流和交流两种情况，交流电压的频率为50±0.5Hz或规定的频率和频偏范围，其相位应调到使被测表产生最大影响处。

(3) 测试步骤

① 先在输入端加入标准测试电压，记录被测表读数。

② 加入共模电压 U_c 并逐渐加大，使被测表读数变化 ΔU。共模电压的大小应使读数变化尽可能地大，但注意不要超过允许的最大值。

③ 按下式计算共模抑制比

$$CMRR = 20\lg \frac{U_c}{\Delta U}\quad (\mathrm{dB})$$

式中 U_c 为所加交流共模干扰电压的峰值或直流共模干扰电压值。

II. 直流电压校准器共模干扰抑制比测试方法

(1) 测试方框图，见图5-50。

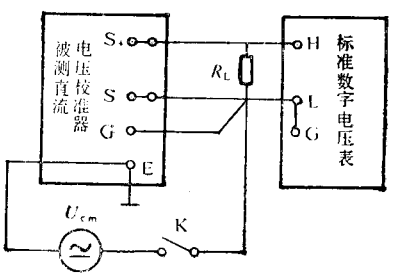


图 5-50

(2) 测试说明和要求

① U_{cm} 是共模干扰源(包括直流和工频交流两个情况)。

② R_L 为负载电阻。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 测试步骤

如图 5-50 所示，将共模干扰源接在 G、E 端之间，开关 K 断开，先使被测直流电压校准器输出一个接近满量程的电压 U_0，然后加上共模干扰电压 U_{cm} 并逐步增加它的幅值，直到使标准数字电压表的读数有一个明显的 ΔU_{cm} 变化为止（但不能超过允许的 U_{cm} 值）记下此时的共模干扰电压（直流 U_{DC} 或交流电压峰值 U_{cm}），则直流和交流共模干扰抑制能力的大小用对数表示分别为

$$CMRR_{DC} = 20\lg \frac{U_{DC}}{\Delta U_{cm}} \quad (dB)$$

$$CMRR_{AC} = 20\lg \frac{U_{cm}}{\Delta U_{cm}} \quad (dB)$$

19. 波峰因数　*CF*

Crest Factor

交流电量的峰值与其有效值之比。

注：波峰因数只适用于有效值交流电压表或电流表。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 5-51。

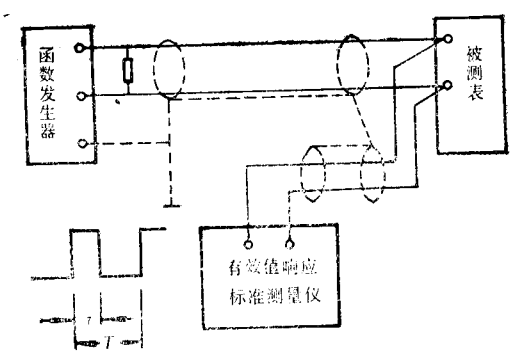


图　5-51

(2) 测试说明和要求

图 5-51 中有效值响应标准测量仪其波峰因数和准确度均应优于被测表，并与被测表置于同样的耦合状态，为减少频响差所造成的误差，二者频带应近似。

(3) 测试步骤

① 调节函数发生器产生规定的最大允许波峰因数的信号，或用可调占空比的矩形波按下述步骤④中的公式计算出的占空比调节矩形波的占空比，以获得要求的波峰因数的信号。

② 信号源取正负两个极性，在量程满度附近测量，其准确度应满足要求。

③ 输入波形的频率通常可取 250Hz。

④ 矩形波脉冲占空比与波峰因数的关系是：

(a) 对 AC 耦合

$$波峰因数\ CF = \sqrt{\frac{T}{\tau} - 1}$$

(b) 对 DC 耦合 AC + DC 型

$$波峰因数\ CF = \sqrt{\frac{T}{\tau}}$$

式中　τ——脉冲宽度；

T——波形的周期。

20. 带宽

bandwidth

满足仪器规定误差的频率范围。

测试方法：

同准确度测试，应在基本量程各频段内及频率分段转折频率上进行，各点测试应满足准确度要求。

21. 电压频率乘积　*V*-Hz

volt-hertz product

I. 交流数字电压表电压频率乘积是指：满足准确度要求的交流数字电压表输入电压和频率乘积的极限值。

测试方法：

同准确度测试，在量程上限处，用对应于电压频率乘积的最高频率测试，应满足准确度要求。

II. 交流电压校准器电压频率乘积是指：满足准确度要求的交流电压校准器输出电压和频率乘积的极限值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：

测试电路如图 5-3 或图5-4，被检交流电压校准器输出最大额定电压 U_{max}，其频率为 F_0，或输出电压 U_0，其频率为最高输出频率 f_{max}，当 $U_{max} \cdot F_0$ 或 $U_0 \cdot f_{max}$ 等于电压频率乘积时，应满足交流电压校准器准确度要求。

22. 波形失真

distortion of waveform

输出交流谐波含量的方均根值与非正弦波成分的方均根值之比。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 5-52、图 5-53。

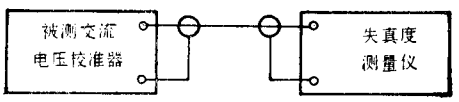


图 5-52

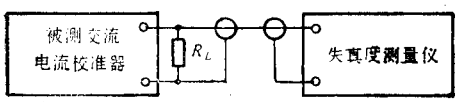


图 5-53

(2) 测试说明和要求

图 5-52 和图 5-53 分别给出交流电压和电流校准器波形失真测试方框图，可测试 200 kHz 以下的频率点，图中 R_L 应采用无感电阻，对更高的频率可以用波形分析仪或选频电压表测试。

(3) 测试步骤

按测试方框图对各测试点依次进行测试。

23. 最大允许输入电压

maximum permissible input voltage

在额定工作条件下，允许施加到一组输入端子间的最大电压值。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 5-54。

(2) 测试步骤

① 被测表预热、预调。

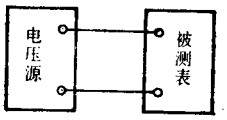


图 5-54

② 在直流电压、交流电压、电阻功能每个量程加最大允许输入电压 1min，然后撤去所加最大允许输入电压，测量最小量程的零点及各量程的满度附近点，其误差应满足要求。

24. 负荷电压 V_a

burden voltage

被测电流在取样电阻上的压降。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 5-55。

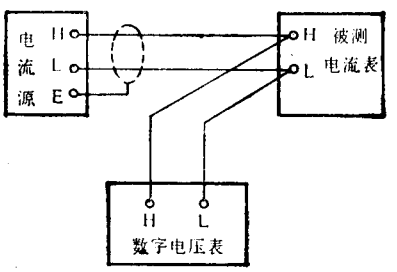


图 5-55

(2) 测试说明和要求

数字电压表的输入电阻 $>1M\Omega$，为减少杂散电容和噪声影响，应使用尽可能短的屏蔽线。

(3) 测试步骤

① 对所设定的量程加入 100% 满度值的电流，在交流时频率可为 100Hz 或频带内某一设定频率。

② 记录数字电压表的读数值。

25. 最大允许输入电流

maximum permissible input current

在额定工作条件下，允许施加到一组输入端子间的最大电流值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 5-56。

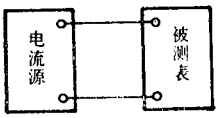


图　5-56

(2) 测试步骤

在工作范围内，被测表经预热预调后，每个量程加入其允许的最大输入电流 1min（或规定的时间），然后撤去所加电流，在最小量程允许的最小测量值附近及各量程满度附近测量，应满足准确度要求。

26. 最大输出电流

maximum output current

满足准确度要求的电压校准器和直流电压参考标准输出电流极限值。

测试方法：

在最大输出电流条件下测试电压校准器或直流电压参考标准的准确度。

注：在最大输出电流条件下施加的负载，称最大负载(Maximum load)。

27. 极限输出电压

compliance voltage

满足准确度要求的电流校准器输出电压极限值。

测试方法：

在极限输出电压条件下测试电流校准器的准确度应满足指标要求。

28. 测试电流

maximum current through unknown resistor

流经被测电阻的电流。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 5-57。

(2) 测试说明和要求

① 该指标通常不进行测试。

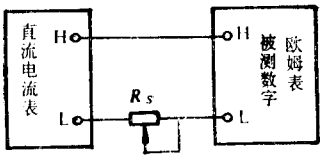


图　5-57

② 测试时，电流表的阻抗应尽可能小以减小负荷电压的影响。

③ 对非常数的测试电流应调节 R_S，使 R_S 为所需要的测试电阻，对常数测试电流通常取 R_S 为零值。

(3) 测试步骤

① 调 R_S 至电流表显示最大值。

② 记录测试结果。

③ 对各量程重复上述步骤。

29. 开路电压

open circuit voltage

两测试端之间的开路电压。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 5-58。

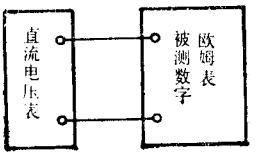


图　5-58

(2) 测试说明和要求

直流电压表的输入阻抗至少应比被测表可测的最高电阻大 50 倍，以减少负载影响。

(3) 测试步骤

被测表开机，直流电压表依次读取被测表各量程开路电压值。

30. 响应时间　t_r

response time

I. 数字多用表响应时间指标定义：按规定的量值施加输入信号，到它的指示值达到规定误差

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

范围所需要的时间，其中主要包括：(a) 阶跃响应时间；(b) 极性响应时间（具有极性自动变换的数字多用表）；(c) 量程响应时间（具有量程自动变换的数字多用表）。

测试方法：

响应时间的测试应根据被测表的具体情况选择，现推荐三种测试方法：方法A适用于响应时间较长的数字多用表；方法B适用于响应时间较长并已知测量速率的数字多用表；方法C适用于带有标准接口的数字多用表。

对于各方法中提及的输入信号规定如下：

(1) 测量阶跃响应时间，输入15%满量程值突变至95%满量程值。

(2) 测量极性响应时间，输入一个极性5%满量程值突变至另一个极性的5%满量程值。

(3) 测量量程响应时间，输入信号从低量程的95%满度值突变至该量程的105%满度值或反之。

测试方法 A：

(1) 测试方框图，见图5-59。

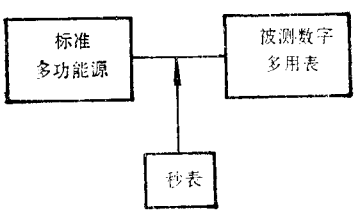


图 5-59

(2) 测试步骤

启动秒表同时加入输入信号，记下被测表达到误差要求时所需时间 t_r。

测试方法 B：

(1) 测试方框图见图5-30，但不使用控温箱。

(2) 测试步骤

观测加入输入信号到显示达到误差要求所需的测量次数，响应时间为：

$$t_r = n\frac{1}{F_r}$$

式中 n——输入信号跃变后到满足误差的新值间的测量最少次数；

F_r——被测表的测量速率，(s^{-1})。

测试方法 C：

(1) 测试方框图，见图5-60。

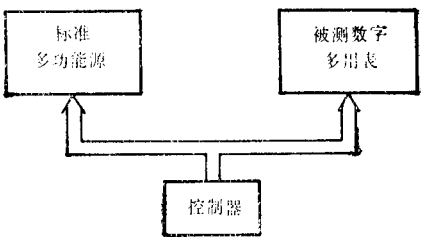


图 5-60

(2) 测试步骤

编制相应的软件，使标准源输出信号时间 t_1 后，被测表一次采样所测得的读数达到满足误差的新值时，被测表采样触发的时间为 t_2，则响应时间 $t_r = t_2 - t_1 + \frac{1}{F_r}$。

II. 标准器响应时间指标定义：从校准器一个稳定的输出值设定另一个输出值至输出信号达到并保持在满足准确度要求的最终稳定值或以这个值为中心的满足准确度要求的误差内所需的时间。

校准器的响应时间也可称为稳定时间（settling time）。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图5-61。

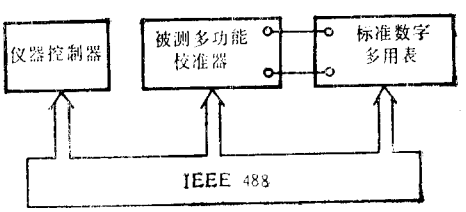


图 5-61

(2) 测试说明和要求

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 标准数字多用表误差应为被测校准器的 1/3～1/5，且测量时间应比被测校准器的稳定时间快 5～10 倍。

② 校准器及标准数字多用表均配有 IEEE-488 接口，且它们的指令执行时间与校准器建立时间相比可忽略不计。

(3) 测试步骤

① 控制器置校准器输出为满度的 10%，标准数字多用表的测量速率为 $r(s^{-1})$。

② 待校准器输出稳定后，控制器置校准器输出为满度的 90%。

③ 数字多用表测试 n 次后，读数达到校准器准确度要求。

④ 稳定时间 $T = n/r$ (s)。

* * *　　* * *

本章技术指标测试方法中所用的主要测试仪器汇总如下。

主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
直流电位差计	9930	JJG 123-88
标准电池	BDK-1	JJG 153-86
直流标准电阻器	B2-3	JJG 166-84
感应分压器	DR-8	JJG 244-81
直流电阻分压箱	9700	JJG 531-88
失真度测量仪	MK6541	JJG 251-81
检流计	845AR	

第 5 节　按门类的量值传递表

直流数字电压表检定系统

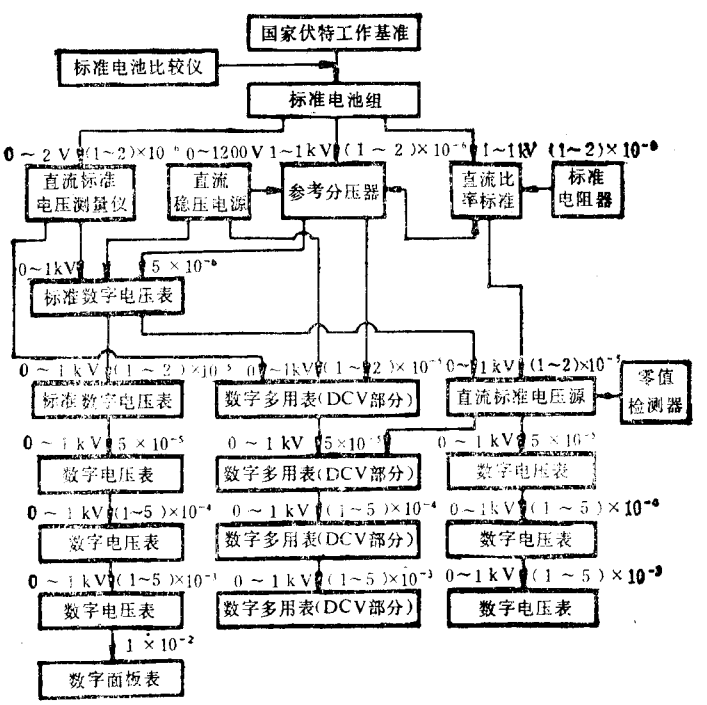


图　5-62

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

直流数字电流表检定系统

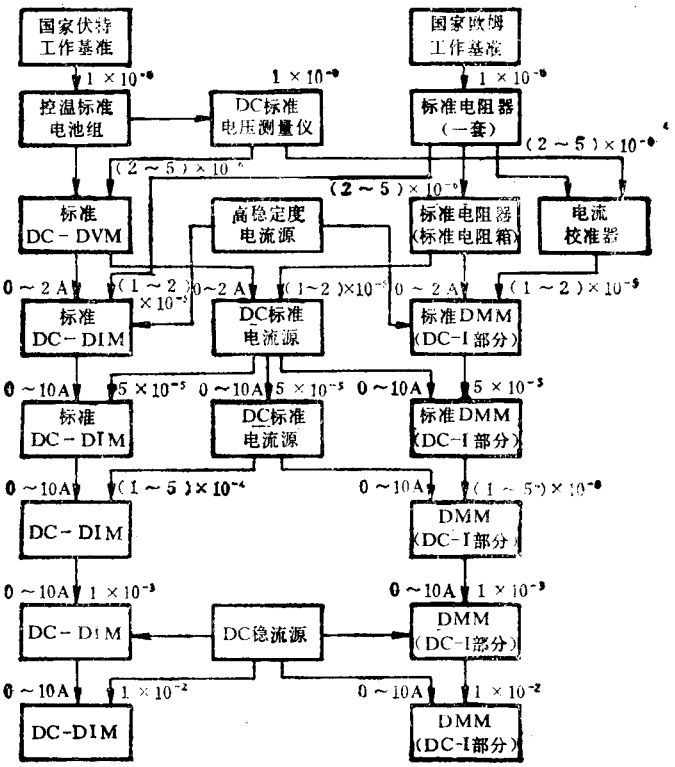


图 5-63

直流标准电压源检定系统

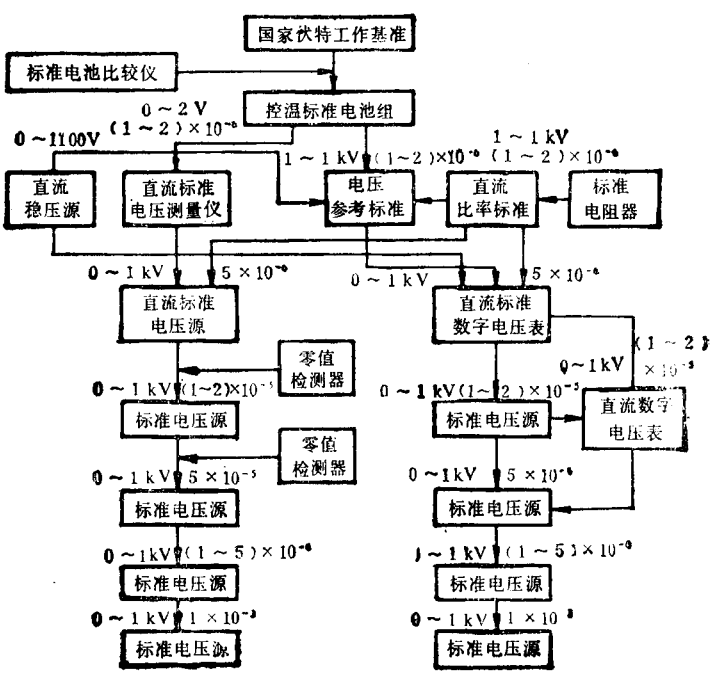


图 5-64

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第6章　模拟式电子电压表

第1节　综　　述

电压是基本物理量之一。早期的电压测量仅涉及直流与工频的中电压和高电压测量，可直接采用磁电式电表进行测量。随着电子技术的发展，需要测量的电压量值越来越小，频段越来越高，于是借助于电子技术拓宽电压测量范围与技术性能的电子仪器相继出现，这些仪器统称为电子电压表（Electronic Voltmeter）。以模拟电表显示电压测量结果的电子电压表称为模拟式电子电压表（Electronic Analog Voltmeter）；以数字显示器显示测量结果的电子电压表称为数字式电压表（Digital Voltmeter）。

电子电压表包括直流和交流电压表，而交流电压表涉及很宽的频段。由于电压是电场E的线性积分的负值，因此只有在横向电磁场（TEM 波模式）时该积分值才具有唯一性，电压测量才有意义。而目前国际广泛应用的7毫米同轴系统出现高次模式的频率下限为 18GHz（正在推广中的3.5毫米和2.4毫米同轴系统相应为 36GHz 和 50GHz），因此理论上的电压测量上限被认为是 50GHz。但由于电压测量仪器的接入影响了同轴连接的不均匀性及其它原因，电压测量仪的实际应用范围大多在 2GHz 以下。

电子电压表的发展史可追溯到1915年，美国 R. A 海辛首先提出峰值电压表的设计，而商品电压表则始于1928年，美国 Generd Radio 公司生产第一批电子电压表，此后相继出现了平均值响应电子电压表，准有效值电压表，真有效值电压表和脉冲电压表。

模拟式电子电压表随频段不同采用不同的工作原理。一般在视频段（30MHz）以内是放大检波式，视频段以上是检波放大式或取样式。模拟电子电压表随电子器件的发展，基本上可以分为三个阶段。

30～50年代是电子管模拟电压表阶段，美国、英国、西德、苏联、日本等国模拟电压表的水平相差不远，低频模拟电压表工作频率高端 10MHz。在此期间，放大检波式电压表频率高端的扩展停滞不前。射频电子管电压表的工作频率 400～500MHz，电子二极管检波放大式射频电压最小测量电压伏特量级。随着半导体检波二极管制造水平的提高，能制造 300～500MHz 射频毫伏表。

60年代是晶体管电子管混合电路交流模拟电压表阶段。放大检波式低频电压表的工作频率 10MHz 左右，输入阻抗最高达 10MΩ，仪器的固有误差、频响误差有所改善。由于二极管检波头的发展，使射频模拟电压表的工作频率提高到 1.5GHz，测量最小电压到 300μV。

70年代模拟交流电子电压表进入集成电路阶段。交流数字电压表频率高端有提高；模拟交流电压表的电表刻度向线性化方向发展，整机向宽量程、高精确度、多功能方向发展。模拟交流电压表整机的线性化是高频电压表实现多功能、数字化、自动化的基础。

视频段内的放大检波式电压表，如 HP 400 E/EL、HP3400A（真有效值电压表）实现了线性刻度，并使基本误差达±2%以下。

射频毫伏表除采用检波放大原理外，还有采用取样原理的取样电压表（HP 3406）以及矢量电压表（HP 8405 A）。其测量电压的工作频率达 1GHz。1978 年 R/S 公司设计的同轴插入

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

单元(将微波结构的检波二极管装入同轴系统内)，在 2GHz 时的反射系数可低于 1.2，在“插入单元”进行同轴分压，2GHz 测量电压量程扩展到 100V，驻波系数小于 1.04。不久，R/S 公司推出 2GHz 指针式射频毫伏表 URV_3，10V 同轴插入单元和 100V 同轴插入单元都有优良频响及低驻波系数。1979 年，R/S 公司的 URV_4 射频数字毫伏表投放市场，该仪器带 IEEE-488 接口，4½ 位 LED 显示，测量电压的分辨率 1μV，测量电压的频率 10kHz～2GHz，具有自动调零功能，使射频电压表能进入计算机控制自动测试系统。

80 年代电压表进入智能化阶级，仪器具有程控操作、自动校准、自诊断故障、数据变换、指标判断和自动分选等功能。典型产品是 Boonton 公司 9200 型和 R/S 公司 URV_5 型射频毫伏表。

在我国，电子电压表的水平基本上能够跟得上国际发展水平。1956 年上海亚美电器厂(上无 26 厂)率先生产 GB-2 型和 GB-9 型平均值响应低频毫伏表(工作频率上限 200kHz)。1958 年武汉中原无线电厂(710 厂)研制成功 DYG-1 型高频电压表，将电压测量频率上限提高到 400MHz。1960 年又研制成功直流声频和高频三种配套分压器，将电子电压表的直流量程扩展到 15000V，并将 30MHz 以下的高频电压量程扩展到 5000V。同一时期前锋无线电厂(766 厂)生产 HFP-1 型视频毫伏表，解决了 10MHz 以下毫伏量级的电压测量问题。国营 782 厂生产了脉冲电压表解决了 15000V 雷达脉冲高压的测量问题。

60 年代中后期，中原无线电厂的 DA-1 型高频毫伏表和 DA-2 型高频电压表，首先将高频电压的测量频率上限扩展到 1GHz；上海无线电仪器厂的 HFJ-8 型高频毫伏表，首先解决 300MHz 以下毫伏表的半导体化，使一度落后的电子电压表跟上当时的国际水平。

70 年代中期，适应卫星地面站的需要，中原无线电厂生产 DA24 型真有效值电压表，工作频率上限高达 10MHz。国营 766 厂生产的 DT-1 型矢量电压表，工作频率上限达 1GHz。

80 年代以来，上海无线电仪器厂的 AS2271 和中原无线电厂的 HW2281 解决了 1GHz 以下超高频毫伏表的线性化刻度技术难题。上海无线电 26 厂的 DAQ-2 型真有效值电压表，解决了 1GHz 以下真有效值的测量问题，使电子电压表再一次赶上了当代国际水平。

电子电压表发展的历程，是科学技术发展的需要。众所周知，电压的概念(量值)可以用峰值、有效值和平均值表征，基于功率的基本概念，国际上一直以有效值为电压的表征值，对于正弦波，其峰值、有效值和平均值之间的关系是确定的，而失真了的正弦波和非正弦波在电子技术中是大量存在的，因此电压的测量就复杂化了。

最早的电子电压表是峰值检波式电压表。但是科学研究早就判明，由于检波器件的非线性，所谓峰值检波只有在电压量值大于 5 伏时才是真实的，而对于中小电压，完全不符合峰值检波规律，例如采用峰值检波电路对 10mV 的电压进行峰值检波，检波所获直流电压只有 1mV，而对于 300μV 的电压，检波结果只有 1μV。

由于上述原因，人们将被测电压先进行放大，获得相对应的大电压然后再进行检波和推动电表显示，这就是先放大后检波程式电压表出现的原因。但是人们不可能在很宽频段获得固定增益的放大，放大-检波式电压表(毫伏表)只适用于 30MHz 以下频段。

利用先检波后放大以推动电表的方案，由于上述原因，刻度是非线性的，因此在相当的历史时期内，非线性的多刻度电压表和毫伏表比比皆是，一直延续到 70 年代后期。

人们通过以下两种途径解决线性化问题：

(1) 找到并表达了峰值检波非线性的数学表达式，获得准确的函数关系，然后设计了反函数

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

放大器，补偿其非线性，以实现线性化，HW2281 超高频毫伏表采用了这一方案。

(2) 选配性能很一致的检波二极管对，其中一对用来对高频信号进行检波，另一对用来检测电子电压表内部的大信号经衰减器衰减后的等同量级的信号，由于大信号是线性检波的已知线性刻度信号，通过上述替代方式，被测信号转成线性刻度。QF 2281A 超高频数字式电压表就是这一种方式。

有效值电压的测定，是电压测量另一重要课题。初期人们通过二极管网络组成的平方律检波器实现低频电压的有效值检波，人们称这类仪器为准有效值电压表。

基于热电转换的原理(热电偶和热敏电阻)所制成的高频毫伏表，称为真有效值电压表。DA-24 型毫伏表就是采用这一原理的。但是限于热电偶和热敏电阻分布参量的限制，因此这类毫伏表的频率上限仅 15MHz。更高频率的真有效值超高频毫伏表，是采用随机采样与均方根变换新技术而实现的(DAQ-2 型电子电压表采用这一原理)，其频率上限达 1000MHz，误差达±15%。

脉冲电压(毫伏)表，在历史上起过重大作用，随着示波器技术的发展，人们直接采用示波器，既观察波形，又测定电压，脉冲电压表已经逐步被示波器取代。但是对于测量脉冲间隔周期很长的脉冲信号(包括单次脉冲)，脉冲电压表仍然是优选的仪器。

相敏电压表和矢量电压表借助了锁相技术，不仅可以测定电压，同时可以测定信号间的相位，已得到广泛的应用。这类电压表也应属于电子电压表的范畴。

选频电压表通常划归有线测试仪器门类，有关国家标准和国际标准都作出明确的规定。

超低频电压表由于涉及 10^{-6} Hz 信号的测量，必需采取特殊检波措施，但仍属于电子电压表的范畴，这里未能作出更详细的解析。

国内外模拟式电子电压表的性能大致相当。现将典型产品的性能对比列表于后。

表 6-1　低频电压表主要性能对比

指标名称	日本利达公司 LMV 181 型	中国苏州电讯仪器厂 SX2172 型
电压量程	1mV～300V	1mV～300V
频率范围	5Hz～2MHz	5Hz～2MHz
固有误差	满刻度的±2%	满刻度的±2%
频率影响误差	±2%～10%	±2%～10%
输入阻抗	电阻 8～10MΩ 并联电容<45pF	电阻 8～10MΩ 并联电容<45pF

表 6-2　视频电压表主要性能对比

指标名称	荷兰飞利浦公司 PM2254	中国上海无线电仪器厂 AS401
电压量程	1mV～300V	1mV～100V
频率范围	2Hz～12MHz	20Hz～10MHz
固有误差	满刻度的±2%	满刻度的±3%
频率响应误差	±3%～6%	±4%～11%
输入阻抗	电阻 1MΩ 并联电容 30pF	电阻 1MΩ 并联电容<20pF

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-3 真有效值电压表主要性能对比

指标名称	美国 HP 公司 HP 3400A	中国中原无线电厂 DA24
电压量程	1mV～300V	1mV～300V
频率范围	10Hz～10MHz	10Hz～10MHz
固有误差	±1%～5%	±1%～5%
频率响应误差	±0.75%～5%	±1%～5%
峰值因素	10:1	10:1
输入阻抗	电阻 10MΩ 并联电容20～50pF	电阻>7MΩ 并联电容 20～50pF

表 6-4 射频毫伏表主要性能对比

指标名称	日本安立公司 ML 69A	中国中原无线电厂 HW2281
电压量程	1mV～3V 线性刻度	1mV～10V 线性刻度
频率范围	10kHz～1000MHz	10kHz～1000MHz
固有误差	满刻度的±3%	满刻度的±3%
频率响应误差	±3%～15%	±4%～15%
驻波系数	<1.3	<1.3
同轴系统特性阻抗	50Ω，75Ω	50Ω，75Ω

第2节 分 类

模拟电压表可作如下分类。

按测量功能分为：

(1) 直流电压表；

(2) 交流电压表；

(3) 脉冲电压表。

按刻度特性分为：

(1) 线性刻度；

(2) 对数刻度；

(3) 指数刻度；

(4) 其它非线性刻度。

按电压表工作频段分为：

(1) 超低频电压表(测量 10Hz 以下频段电压的电压表)；

(2) 低频电压表(测量 1MHz 以下频段电压的电压表)；

(3) 视频电压表(测量 30MHz 以下频段电压的电压表)；

(4) 高频(射频)电压表(测量 300MHz 以下频段电压的电压表)；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(5) 超高频电压表(测量 300MHz 以上频段电压的电压表)。

按测量电压的量级分为:

(1) 电压表(主量程为伏特量级的电压表);

(2) 毫伏表(主量程为毫伏量级的电压表)。

注: ① 不同频段的电压表可以冠以频段名称,例如达 1000MHz 频段的毫伏表,称为超高频毫伏表。

② 主量程是指不附加分压器或外加前置放大器的量程。

按电压表准确度等级分为:

0.05,0.1,0.2,0.5,1.0,1.5,2.5,3①,5.0,10.0 级。

注: ① 3 级为不推荐的准确度等级,但允许采用。

② 多量程电压表可以分别采用上述系列中的不同等级。

以下电压(毫伏)表,都属于模拟电压表范畴。

(1) 真有效值电压表

(2) 双通道电压表

(3) 差分电压表

(4) 对称输入电压表

(5) 隐零式电压表

(6) 浮置式电压表

(7) 相敏电压表

上述的分类与附注,详见 GB12116-89《模拟电子电压表通用技术条件》。

表 6-5　主要技术指标汇总表

序号	技术指标	超低频电压表	低频电压表	视频电压表	超高频电压表	真有效值电压表
1	固有误差	●	●	●	●	●
2	频率特性误差	●	●	●	●	●
3	电压驻波比				●	●
4	等效输入阻抗			●	●	
5	输入阻抗	●	●	●	●	●
6	峰值因数	●	●	●		●
7	通道隔离度	●	●	●		
8	校准电压	●	●	●	●	●
9	电压范围	●	●	●	●	●
10	电平范围	●	●	●	●	●
11	频率范围	●	●	●	●	●
12	量程控制(自动、手动)	●	●	●	●	●
13	等效输入噪声	●	●	●	●	●
14	零点漂移	●	●	●	●	●
15	机械零点及调整器	●	●	●	●	●
16	建立时间	●	●	●	●	●
17	过载电压	●	●	●	●	●
18	过载恢复时间	●	●	●	●	●
19	预热时间	●	●	●	●	●

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第3节 主要技术指标汇总表

汇总表表6-5中所列的技术指标较齐全，一些技术指标是设计电压表原理特点应考虑的内容，具体到某个产品，有些技术指标是一定要提供的，但有些指标可根据该产品的主要性能要求而定。

模拟电子电压表的技术指标，必需符合GB 12116-89《模拟电子电压表通用技术条件》的规定。

第4节 技术指标及测试方法

● 本节介绍模拟电子电压表的主要技术指标和测试方法。对那些经简单的测试即能反映技术指标及功能性检查指标将不再赘述。因此，本节仅有汇总表中序号为1～8的指标的测试方法。

● 被测电压表和测试设备均需按各自产品标准中规定的预热时间进行预热。

● 本节参照：

GB 12116-89《模拟电子电压表通用技术条件》

GB 12117-89《模拟电子电压表测试方法》

本节还参考：

IEC 217-1971《电子电压表》，国际电工委员会标准。

ANSI C39.7-1975《模拟电压表技术要求》，美国国家标准。

JIS C1506-1981《电子电压表测试方法》，日本工业标准。

本节编制还依据国家计量检定规程：

JJG 250-81《电子电压表计量检定规程》

JJG 308-83《超高频毫伏表计量检定规程》

1. 固有误差（基本不确定度）

inherent error (basic uncertainty)

电子电压表工作于基准频率下的电压测量误差。

测试方法：

(1) 测试方框图（见图6-1）。

(2) 测试说明和要求

① 交流电压校准器的输出电压能够保证规定的准确度时，使用图6-1(a)测试方框图；否则应采用图6-1(b)测试方框图。

② 注意仪器之间机壳接地良好

(3) 规定条件

① 低频和射频电压表的固有误差（基本不确定度）测试的基准频率按产品标准规定。可选用下列任一频率点：50(55)Hz、60Hz、400Hz、1kHz、10kHz、100kHz、1MHz、10MHz。

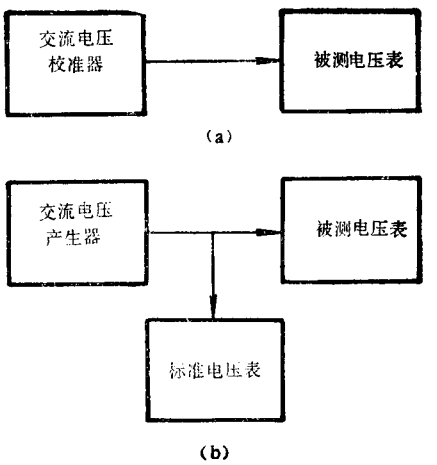


图 6-1

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 根据电子电压表的特点，推荐交流电压校准器或标准电压表的准确度 n，被测电压表的准确度 e，它们之间的比 $n:e$ 优于 1:3，符合 GB6592-86《电子测量仪器误差的一般规定》。

③ 交流电压产生器输出电压的失真度应符合被测电压表产品标准要求，失真度不能影响计量测试准确度。一般信号源的失真度应≤0.3%。

④ 被测电压表的输入阻抗应达大于校准器输出阻抗，以保证不影响交流电压校准器输出电压的准确度。

⑤ 当在较高频率进行测试时，应避免测试线过长或屏蔽不良所造成的影响，以减小因传输线效应和电磁干扰引入误差，当传输线效应引入误差与固有误差处于同一量级时应扣除或修正。射频电压表测试应使用技术条件规定阻抗的低输出阻抗信号源，以解决信号测试系统匹配，减少反射影响和防止射频干扰。

⑥ 电压表有两个以上量程时，应从最高灵敏度的量程开始测试，然后依次向灵敏度低的量程测试。在测试过程中当转换量程时，允许调节电气零点，指针式电压表在通电后不允许调节电表的机械零点。当产品标准确认变动测试程序对测试结果无影响时，允许变更测试程序。

(4) 测试步骤

① 模拟电子式电压表通电前检查并调节电表的机械零点，测试前进行电气调零。

② 产品标准规定了基准频率时，在基准频率上测试；规定基准频率范围时，至少应在其最低和最高两个频率点测试。

③ 测试时可以采用被测电压表指示值固定，读取标准电压校准器或标准电压表的指示值，确定测量误差。也可以采用固定交流电压校准器或标准电压表为标准值，读取被测电压表的指示值确定测量误差。

④ 考虑电表再定度的影响，应将被测电压表由小到大和由大到小指向指示值，取其绝对误差较大者，计算固有误差。

⑤ 被测电压表的固有误差按下式计算：

模拟电压表固有误差为

$$\Delta_{f\cdot s}=\frac{U_x-U_0}{U_{f\cdot s}}\times 100\% \qquad (6\text{-}1)$$

式中　U_x——被测电压表的指示值

U_0——交流电压校准器的输出电压值或标准电压表的指示值。

$U_{f\cdot s}$——被测电压表测试量程的满度值。

⑥ 当被测电压表能测量电平 dB 时，标准电压值换算成 dB 值。

电平误差为：　$\delta=\mathrm{dB}_x-\mathrm{dB}_0$

式中　dB_x——被测电压表电平指示值。

dB_0——交流电压校准器的电平值或标准电压表的指示电平值。

2. 频率特性误差

frequency response error

电压表在工作频率范围内各频率点的电压测量值相对于基准频率的电压测量值的误差(也称频率附加误差)。

测试方法：

(1) 测试方框图(见图 6-1、图 6-2)。

(2) 测试说明和要求

① 图 6-1(a)、(b) 适用于低频电压表。

② 图 6-2(a)、(b) 适用于射频电压表。用图 6-2(a) 测试射频电压表频率特性误差时，使用一种扁三通，使两个电压表的测量头连接距离尽量短。也可以采用带有匹配阻抗终端负载的四通接头。标准射频电压表应采用国家技术监督局确认的仪器并且应经过国家或地区计量站校准有效周期内的仪器。

③ 为减小射频信号产生器的谐波的有害影响，射频信号产生器的输出端应接入低通滤波器，使信号谐波含量符合产品标准要求。

④ 射频信号产生器的幅度稳定度和输出

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

细微度应满足测试要求。

(3) 规定条件

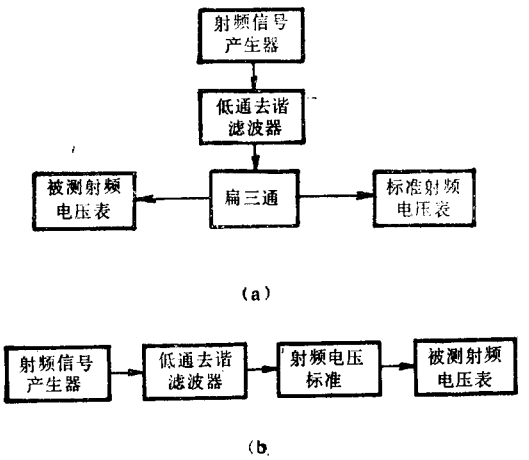


图 6-2

① 交流电压校准器或标准电压表表应具有良好的频率特性，或者系统误差可以修正且满足 $n:e$ 优于 1:3，符合 GB6952-86《电子测量仪器误差的一般规定》的仪器。

② 射频电压标准与射频信号产生器构成一个输出阻抗低于 100 欧的信源，当用它测试号射频电压表的频率特性误差时，测量头的输入端面应直接装入射频标准电压的高频座。

(4) 测试步骤

① 电压表频率特性误差的测试，应按产品标准在规定的频率点测定误差，此外还应在信号源同一频段的高低两个频率点进行测试，或利用扫频仪寻找频率特性的突变点，然后在该点进行测试。

② 模拟电压表频率特性误差测试，当固定"标准"时，在每个量程满刻度的 80% 处进行。也可固定被测电压值，记录标准电压值。

③ 将射频信号发生器的频率调至测试频率，调节其输出幅度，使标准电压的示值为规定测试电压，同时记下被测电压表的指示值。

频率特性误差为：

$$\delta_{fx} = \frac{U_{fx} - U_{f0}}{U_{f0}} \times 100\% \qquad (6\text{-}2)$$

式中 U_{fx}——各测试频率点被测电压指示值；

U_{f0}——基准频率上被测电压表指示值。

3. 电压驻波比（反射系数）VSWR

voltage standing-wave ratio (reflection coefficients)

射频电压表测量头输入端反射波与入射波之比。

测试方法：

(1) 测试方框图（见图 6-3）。

(2) 测试说明和要求

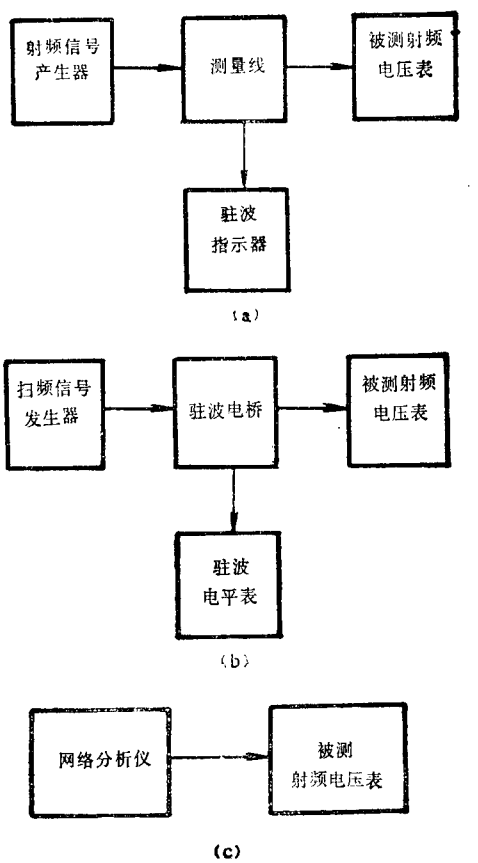


图 6-3

① 采用图 6-3(a) 方法测试。开槽线测

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

试方法为经典方法，测量速度慢、精度低，目前已很少使用。

② 采用图 6-3(b) 驻波桥测量，测量速度较快，测试效果较好。

③ 用图 6-3(c) 网络分析仪测量驻波比速度快，自动网络分析仪能绘制电压驻波比曲线，推荐优选采用本方法。

(3) 规定条件

根据射频电压表产品标准规定，测量头驻波系数的测定频率至少应包括频率范围上限值和有代表性的几个频率点。

(4) 测试步骤

① 射频电压表测量头的测试端口与驻波测试仪器端口应连接良好。三种驻波测试方法按仪器使用说明书的方法进行。

② 电压表的驻波系数分频段规定时，除测试低端和高端两个频率点外，中间频率点任意测试几个点（可用扫频检查出最大电压驻波比测试频率点）。

③ 驻波桥和网络分析仪可直读出电压驻波比。开槽测量线必须测量每个频率点的电压最大值 U_{max} 和电压最小值 U_{min} 计算：

$$VSWR = \sqrt{\frac{U_{max}}{U_{min}}} \qquad (6\text{-}3)$$

4. 等效输入阻抗(导纳)

equivalent input impedance (admittance)

当电压表的输入电路通过的电流是输入电压的非线性函数时，在给定频率和规定输入电压下，探头的等效输入阻抗(或导纳)可由电阻和电容并联的电路来等效。该等效电路吸收的功率与电压表输入端吸收的功率相同，并且通过该电路的基波电流等于流入电压表输入电流的基波分量。

测试方法：

(1) 测试方框图(见图 6-4)。

(2) 测试说明和要求

① 图 6-4(a) 用Q表测量射频电压表产品标准规定频率点探头的等效输入电容。

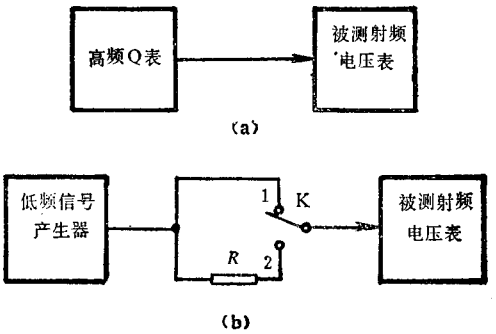


图 6-4

② 图 6-4(b) 在规定电压下测量射频电压表探头等效输入电阻。

③ 串联电阻 R 的阻值不应大于额定等效输入电阻的五分之一。

(3) 规定条件

① 等效输入阻抗的测量应在产品标准规定的频率下进行测试。

② 该方法用于射频电压表探头等效输入阻抗的测试。

(4) 测试步骤

① 按Q表测量电容的方法测试探头等效输入电容。

② 等效输入电阻的测试，先将开关K置于1，调节低频信号产生器的输出 E_i，使被测电压表到规定的电压值 U_1，然后置开关K于2位置(保持 E_i 不变)，读取被测电压表的指示值 U_2。

电压表探头等效输入电阻为

$$R_i = \frac{U_2}{U_1 - U_2} \times R \qquad (6\text{-}4)$$

5. 输入阻抗

input impedance

从电压表输入端测得的阻抗，通常测量输入直流电阻和并联电容表示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：

(1) 测试方框图(见图 6-5)。

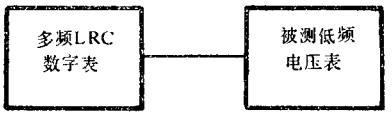


图 6-5

(2) 测试说明和要求

① 测量输入电阻可用图 6-4(a) 测等效输入阻抗的方法。

② 测量输入电阻也可采用直读式电阻表或直流电桥在电压表的输入端各量程上测试。测量输入并联电容采用直读式电容测量仪或交流电桥>1kHz 频率在电压表的各量程上测试。

③ 输入阻抗有两种以上时，应分别进行测试。电压表输入端有耦合电容时，测量输入直流电阻可在耦合电容后测试。

④ 该测试方法适用于放大后检波式交流电压表(低频电压表)。

(3) 测试步骤

① 采用图 6-4 的方法测量等效输入阻抗。

② 采用图 6-5，电压表处于工作状态，分别测量输入电阻和电容值。当有误差规定时，其输入电阻误差与输入电容误差由下式求得：

输入电阻的误差为

$$\Delta_R = \frac{R_x - R_0}{R_0} \times 100\% \qquad (6\text{-}5)$$

输入电容的误差为

$$\Delta_C = \frac{C_x - C_0}{C_0} \times 100\% \qquad (6\text{-}6)$$

式中 R_0——输入电阻额定值；

R_x——输入电阻实测值；

C_0——输入电容额定值；

C_x——输入电容实测值。

(4) 技术要求

电压表的量程不同时，其输入电阻可能不同，其误差应符合产品标准的规定。

输入电容随测试频率不同而异，应小于产品标准规定的值。

6. 峰值因数

crest factor

有效值电压表测量脉冲或非正弦波电压的峰值与有效值之比。

测试方法：

(1) 测试方框图(见图 6-6)。

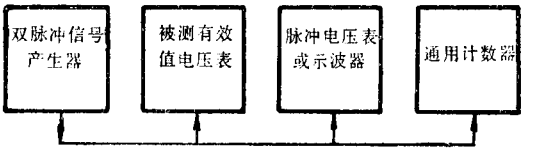


图 6-6

(2) 规定条件

① 脉冲波形如图 6-7。

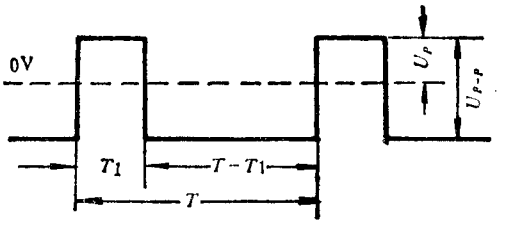


图 6-7

② 脉冲电压的峰值因数有以下关系：

有效值电压：

$$U_{rms} = U_{p-p}\sqrt{D(1-D)} \qquad (6\text{-}7)$$

峰值电压：

$$U_p = U_{p-p}(1-D) \qquad (6\text{-}8)$$

峰值因数：

$$\frac{U_p}{U_{rms}} = \sqrt{\frac{1-D}{D}} = \sqrt{\frac{T-T_1}{T}} \qquad (6\text{-}9)$$

式中 $D = \frac{T_1}{T}$

(3) 测试步骤(测试峰值因数 10:1 举例)

① 计数器测量脉冲周期 1010μs、脉冲宽度为 10μs。

② 脉冲电压表或示波器检测脉冲信号产

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

生器输出幅度为 10V。

③ 被测有效值电压表的读数为 1V，则有效值电压表的峰值因数为：10:1。

7. 通道隔离度

isolation between channels

双通道交流电压表两个通道分别测量电压时相互影响的程度。

测试方法：

(1) 测试方框图（见图 6-8）。

图　6-8

(2) 测试说明和要求

测量低频电压表时用低频信号产生器，测量射频电压表时用射频信号产生器。

(3) 规定条件

① 按电压表产品标准规定频段测试。

② 双通道电压表一个通道输入电压表的最大量程测量电压，另一个通道置灵敏度最高量程且输入端短路。然后按同一方法，反过来进行另一通道的测量。

(4) 测试步骤

调节信号产生器到规定频段，通道 CH_1 测量最大电压为 U_1，读另一通道 CH_2 指示电压 U_2。

$$通道隔离度 = 20\lg\frac{U_1}{U_2}\,(dB) \qquad (6\text{-}10)$$

8. 校准电压

calibrating voltage

某些电压表附设有自校准内部校准电压，该校准电压应符合产品标准的规定（频率一般为电压表测试固有误差的基准频率）。

测试方法：

(1) 测试方框图：（见图 6-9）。

图　6-9

(2) 测试说明和要求

① 按产品标准校准量程的先后规定，进行各量程满度值的校准。

② 电压表校准电位器在每个量程应保证有一定调节余量。

(3) 测试步骤

交流电压校准器输出电压为被校电压表一个量程的满度值电压，调校准电位器到电压表的满刻度，校准电位器不动，然后被校电压表测量内校准电压，其误差应符合技术条件的规定。

*　*　*

本章技术指标测试方法中所用的测试仪器汇总如下。

主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
交流电压校准器	6011A 5200A 5700A（Fluke 公司） 26A（Booton 公司） DO-10，CJ1690 DYB-2 BXG-1	JJG256-81
数字多用表（DMM）	8506A（Fluke 公司） 1071.1281（Datron 公司） 7075，7081（Solartron 公司）	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
射频电压校准装置	DO2 QF2010	JJG（电子）02004-88 JJG（电子）02004-88
标准补偿式电压表	DO1	JJG 250-81 JJG 254-90
射频功率信号产生器	SMLU. SLRD（R/S 公司） XG27. XFC-1	
低通滤波器	TO28 型	
驻波电桥	63N50（Wiltron 公司） QF 10600	
驻波电平表	501（Wiltron 公司）	
测量线	TC-8A	
选频放大器	FD-1	
网络分析仪	HP8753A	
扫频信号源	HP8620C. HP86222B.	
低频信号产生器	XFD-7. XD-1	JJG 230-80
多频 L、R、C 表	HP4274A,	JJG（电子）05018-88
L、R、C 电桥	GR1658	JJG（电子）05021-88
高频Q表	QBG-3	JJG（电子）382-85
双脉冲信号产生器	MFS-2A	
脉冲毫伏表	HFM-1	
通用计数器	E235A	JJG349-84
通用示波器	SR37 VP1050	

第5节 按门类的量值传递

按射频电压计量器具检定系统 JJG2008-87 的规定进行电压量值传递。见射频电压检定系统框图。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

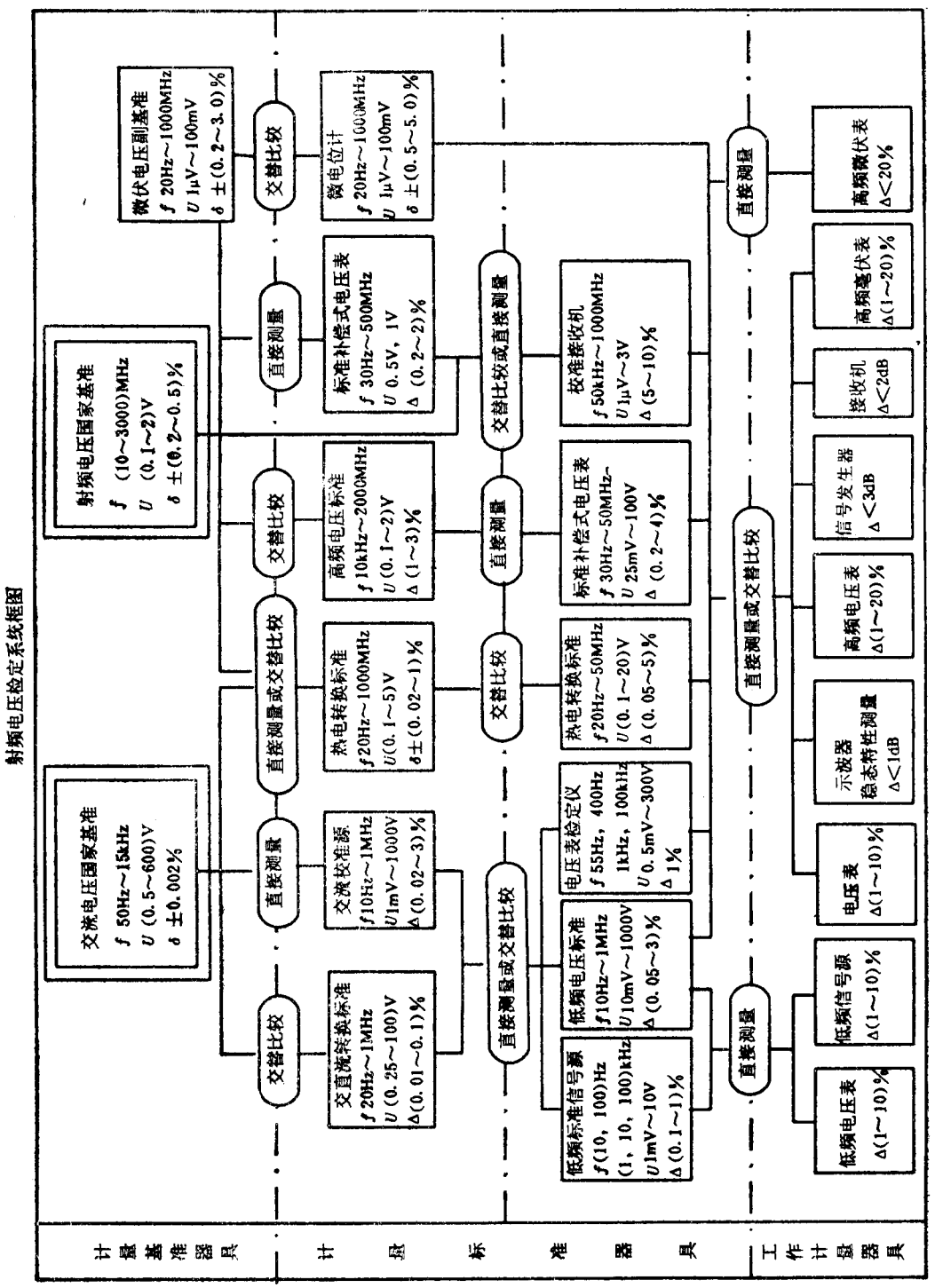


图 6-10

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第7章　测试接收机

第1节　综　　述

测试接收机是专供测量微弱高频信号用的仪器。它是一种高灵敏度的接收机，与其它类型的广播、电视、通信、雷达接收机有相同的性能也有其特殊性能。相同点是具有选择接收某一特定频率信号的能力。与一般调制接收机的不同点是测试接收机的各项技术指标要求更为严格，是专为无线电计量或测试服务。它不需要将实际的声音信息或图像信息再现出来，而只取载波信号的幅值，或取调制信号的有关量值。由于它要测试信号，就要求信号在仪器内部进行变换时不失真或失真很小，且测试的幅度范围宽、精度高。这些就是测试接收机与普通信号接收机的差别。最早采用这个名称的是苏联及西德 R/S 公司，其主要用途是测量微电平及衰减，有些配上天线还可测量干扰与场强。但这些早期产品都较简易，无论在测试精度或动态范围上都不理想。

50年代末，日本开始研究以中频替代法来检测衰减，同时引入了射频标准电压，在被测频率上对接收机进行增益校准，实现了较高精确度的绝对电平测量，较好地解决了信号源的衰减及输出电平的检测问题，当时称之为"校准接收机"以突出其特点。

60年代初，日本富士公司根据当时日本电气研究所阿部武雄的研究成果，开发了 SSR-100、SSR-101 型校准接收机，并被日本列为当时小电压测试标准。之后，冲气公司、目黑公司也先后生产了类同的 WD-205 型及 MSR-462A 型校准接收机，但它们在电路程式、结构设计及工艺上均欠佳。继之，安立公司在前述数种机型基础上，推出了较为成熟的 ARM-5703A(50kHz ～ 30 MHz) 型及 ARM-5702A(25 ～ 470MHz) 型校准接收机，它们采用高线性超外差接收机进行相对测量，其中插入了精密的中频截止式衰减器，以中频串联替代法实现较高精确度的衰减测量；同时采用镇流电阻作为电热转换器件，通过交直流功率替代法产生标准射频电压来校准接收机，对其定标，以完成较高精确度的绝对电平测量；由于采用了高低电平转换技术，使电平测量范围达到了 140dB 以上；又因设有高阻输入，在不太高频率上可实现开路电压测量，相当程度上减小了因接收机输入阻抗偏离标称值所引入的失配误差。因而，它成为当时日本及国际上测试 500MHz 以下信号源输出及衰减的主流商用测试接收机，我国有相当数量的进口。

随着电子技术的发展，上述两种接收机由于全用电子管，电路程式陈旧，频率覆盖窄，体积大且自动化水平低，测试步骤繁，使用不方便等缺点，便很快被淘汰。70年代末日本安立公司在原校准接收机的设计思想上，移用了频谱仪电调、锁相、宽带混频与放大等射频电路成果，并集新型射频标准产生与校准技术，推出了新型的 ME 642A 型接收机（当时取名为电平及衰减校准器—Level and Attenuator Calibrator)，它具有超宽带 (0.1 ～ 1200MHz)、大动态 (－20 ～ 130 dBμ)、高精度、全固态的特点。由于采用了薄膜热耦作为热电转换器件，使产生的射频标准电压的频响误差大为减小；同时在校准时采用了匹配源比较技术，大大地减小了由于测试接收机输入阻抗偏离标称值所导致的失配误差；又因为采用了并联中频替代及同步检波技术，克服了机内噪声影响，提高了衰减测量精难度，并提高了灵敏度。所以，它成为70年代末到80年代手动检测1GHz以下信号源输出及衰减的主流产品。但它毕竟是手动测试，性能完全取决于硬件，这在进入自动

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试并用软件克服硬件的局限以提高性能的新技术时期，它又相对地逊色了。

HP 公司长期来未有此类产品，但于 1983 年在自动调制度仪及功率计基础上，引入了中频替代及同步检波技术，推出了一代崭新的全智能化、数显、高精度、大动态、多功能的 150kHz ～ 1.3 GHz 测试接收机 HP8902A (HP 称 Measuring Receiver)，一鸣惊人而成为当今测试接收机的佼佼者，它充分地利用了机内微处理器进行自动运控及数据采集、存储、调用与处理之功能，实现了自动操作、自动校准、自动改正、自诊断等功能，大大提高了测试精确度与速度。它可与其他仪器组建完整的信号源自动检测系统，也可通过微波变频器，并加上外本振与控制器，扩频到微波波段。

值得一提的是德国 R/S 公司一直是测试接收机的主要生产厂家之一，它除了用于选择性的电平(绝对及相对)测量外，主要用于场强、干扰及无线监测用，80 年代推出的新一代手动及可程控接收机 (ESH2/ESV, ESH3/ESVP Test Receiver) 除完成上述功能外，尤其突出了适于各种标准的 EMI 测试。其智能化、多功能化程度可与 HP8902A 比美，只是因其所瞄准的测试对象的差异，所以其绝对电平及衰减测量的动态范围及精确度不及 HP8902A。类同于 R/S 公司 ESH3/ESVP 的产品还有美国 Eaton 公司的 3018/3038 型测试接收机(Eaton 称 Emission Measuring Receiver)。这部分内容请阅读第 18 章“无线电干扰场强测量仪”。

近期不少移动通信或无线电管制中用于空中电波监测的接收机也采用测试接收机的名称(如日本安立公司的 ML521A, ML522A, ML524A Measuring Receiver 及 Icom 公司的IC-R700、IC-R7A Comunication Receiver)，它们尽管也能进行选频的电压测量，但误差大，动态范围也小，不属本章研讨的重点对象。

国内测试接收机发展较慢，与国际水平相比仍有不小差距。早期主要是仿苏产品，如 50 年代末仿 KOPOT 的 KPOT-M 型接收机，同时有北京电子仪器厂的 WFG-1 型微伏表。60 年代，中国计量科学研究院首先引进日本 ARM5703A/5702A 型接收机，并建议国内试制加以推广。大约在 60 年代后期，北京无线电二厂及前锋无线电仪器厂分别开发出类同于 ARM5703A/5702A 的 RS-3/RS-2 型测试接收机，装备了我国无线电行业的信号源计量室，为统一我国高频和超高频信号发生器电平幅度和衰减器衰减量值，作出了贡献。接着，前锋厂于 1979 年推出了 450～1000 MHz 的 DO29 型测试接收机，北京无线电二厂也同时研制出集频谱仪及电平校准、衰减测量技术的宽带 (30MHz ～ 1000MHz) DO-16 型校准接收机。至此，解决了国内 1GHz 以下信号源衰减及输出的中精度计量手段。

在微波波段，大华无线电仪器厂、永华无线电仪器厂及华东电子测量仪器研究所都开发出多种型号接收机。如大华厂的 1～9.6GHz 的 RS-4, 0.5 ～ 12.4GHz 的 RS-17, RS-18; 永华厂 10MHz ～ 12.4GHz 的 RS-12B, 2 ～ 12.4GHz 的 RS-13B 及华东所 1～18GHz 的 AV3921 型接收机等。它们主要用于相对测量，有的也可进行绝对测量，但误差较大，动态范围较窄。

随着大量测试接收机的使用，如何对其进行检定问题亦趋突出。中国计量科学研究院无线电室最早对 ARM5702/5703 提出了检定方法，陆续地有了各种机型的检定规程。检定的主要手段最初使用 DO-1、B3-9 及 DPU，随着国内研究出多种源式电压标准 (如 710 厂的 DO-2，计量院的 GDY-79，航天部二院的 QJR-1 及前锋无线电仪器厂的 QF2010 等)及高稳定衰减器(如潍坊 53 厂的 TO-8 及前锋无线电仪器厂的 QF1050 1/2)，很快实现了计量手段国产化，而且提高了计量精度。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

值得一提的是机电部电子四区域计量站1990年推出了一种便携式的测试接收机检定装置，只要配上合适的信号源及数字电压表即可进行检定，它集源式电压标准及标准衰减器于一体，只要保持定期量值的溯源，它是国产接收机周检的最佳手段，其技术指标可参阅本章附录。当然，随着接收机频率及测量动态范围的扩展，检测手段及方法仍须不断更新。

由上可知，测试接收机类别众多，从广义上讲甚至衰减检定装置、场强计、调制度仪、频谱仪都属此列。为突出重点，本章从第3节起只讨论能对标准信号源输出电平及衰减进行精确测量的接收机。

就目前技术动态看，测试接收机今后发展的趋势大体上是：

(1) 超宽带化：从数千赫一直扩到微波波段。

(2) 高智能化，从而高精度化、高自动化，并普遍地采用微处理器及多功能软件，使整机实现自动运控，精度校准，误差改正，自诊断，并极易组建自动测试系统。

(3) 扩大测量的动态范围，尤其电平下限。

(4) 极可能实现频谱仪、接收机及调制度仪的一体化，从而实现超多功能化。届时测试接收机的概念也变了，它与其它仪器的界限也模糊了，也许会成为标准信号发生的综合测试仪

HP8902A、8902S、8952S 大体上体现了发展的动向。发展中存在的问题是如何进一步扩展测量下限及如何对精密大动态的衰减及标准电平进行计量。

目前，国内外测试接收机典型产品的性能指标对比，列表如下。

国内外测试接收机重要性能指标对比

指　　标	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
频率范围	2.5MHz～1300MHz	30MHz～1000MHz
频率精度	10^{-9}	
校准电平精度	±1.2%(50MHz)	100dB±0.2dB～0.3dB
相对电平测试精度	(0.36～0.61)max	120～115dB，±0.3dB 115～60dB，±0.2dB 60～5dB，±0.4dB 5～0dB，±0.7dB.
绝对电平测试精度		0.5～1dB.
电平测量范围	−127dBm～0dBm	120dBμ～0dBμ
带宽 (3dB)	200Hz/30kHz	5kHz
其他	50Ω，*VSWR* 1.18～1.5 GP-IB.	50Ω，*VSWR* 1.2

第2节　分　　类

测试接收机可以有好几种分类方法。如以用途分，则有：

(1) 用于相对电平测量的接收机。如前述国产大量的微波测试接收机就属这类。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 用于相对及绝对电平测量的接收机。这又可分为普通型（如 ARM5702A/5703A 或 RS-2/RS-3）及精密型(如 ME642A 及 HP8902A)。

(3) 用于 EMI 测试为主的接收机。如 R/S 公司的 ESH2/ESH3、ESV/ESVP 及 Eaton 公司的 3018/3038 接收机。

(4) 用于无线电波监察的繁用便携式接收机。如安立公司的 ML521、ML522A、ML524A 及 Icom 公司的 IC-R700、ICR7A 等。

如以功能分，则有：

(1) 单功能与多功能型。如 ME642A 属前者，而 HP8902A 则属后者。

(2) 手动型及可程控型。如 ME642A、ESH2、ESV 属前者，而 HP8902A、ESH3、ESVP 属后者。

第 3 节　技术指标汇总

正如本章上两节所述，基于不同用途，测试接收机有多种类型，而本章起研讨的对象仅局限于对信号源输出及衰减能进行较精确测量的接收机。为此，下列主要指标也是针对此类接收机而言。

(1) 频率范围
(2) 频率显示精度
(3) 校准电平精度
(4) 相对电平测试精度
(5) 绝对电平测试精度
(6) 电平测量范围
(7) 带宽（3dB）
(8) 输入阻抗及驻波系数

第 4 节　技术指标及测试方法

测试前应阅读被测接收机及测试设备的使用说明书，确保按其规定的步骤进行操作。

1. 频率范围

frequency range

指可测信号的频率上、下限。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 7-1。

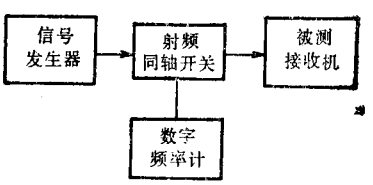


图　7-1

(2) 测试说明和要求

图 7-1 是针对采用一般信号发生器时的配置。如采用合成信号源，则可直接接到接收机输入端，无须射频同轴开关及频率计。

(3) 测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

同轴开关打到频率计一方，监视信号源输出的频率为接收机规定的频率下限，然后开关打到接收机一方，调谐接收机，看其工作是否正常。以同法检查频率上限。如接收机是多个波段覆盖的，则应在波段衔接处检查频率是否能衔接起来。如是使用频率合成器，则信号直接输到接收机输入端，由合成器上读数来检查频率的上下限。

2. 频率显示精度

frequency disply accuracy

指接收机频率度盘或数字显示的频率与被测信号实际频率间的相对误差。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 7-1。

（2）测试步骤

视接收机频率范围的宽窄，置接收机频率度盘(或数字显示)于若干频率点 f_x，参照上述“频率范围”的测试方法，将信号源信号加到接收机输入端，调节信号源频率使接收机达到最佳调谐，由频率计读出(如用合成器，则由合成器上读出)信号源频率 f_0，则：

$$频率显示精度 = \frac{f_x - f_0}{f_0} \times 100\%。$$

3. 校准电平精度

calibration level accuracy

指对线性接收机增益进行校准或定标所提供的标定射频电压精度。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 7-2、7-3。

（2）测试说明和要求

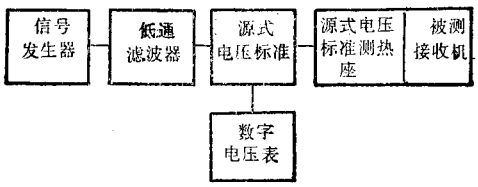


图 7-2

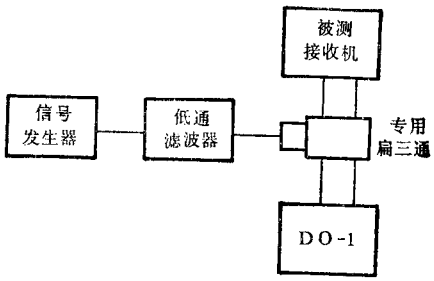


图 7-3

图 7-2 是最佳方法，其中源式电压标准的测热座应直接与接收机输入端口相接，使测热座标准电压面与接收机输入插座端面接触。在不具备源式电压标准情况下，可采用图 7-3 的方法，其中专用扁三通应十分考究，要确保接收机输入插座端面与过渡标准表三通头端面尽量靠近，以减小传输线效应带来的误差。所选用的过渡标准表应经长期考验是稳定可靠的，这样方可将此过渡表送到国家计量院或具有由其周检合格的源式电压标准的单位获取校准值（此值应根据接收机的校准电平及误差限来确定），然后按图 7-3 所示方法，以其为参考来测试接收机校准电平精度。要注意到方框图中所选用的信号源的寄生调频应小于接收机通带的五分之一！

（3）测试步骤

如按图 7-2 进行，则首先按接收机操作要求完成自校准，然后断校准源，接通源式电压标准，调节其频率与幅度，使达到接收机自校准状态，从源式电压标准上读出(或求出)实际电压值 V_0。若设接收机校准电平标称值为 V_x，则其误差

$$\delta_v = \frac{V_x - V_0}{V_0} \times 100\%$$

如按图 7-3进行，方法同前，所不同的是 V_0 是由过渡表读得，此值又须根据标准传递时所给的修正值予以修正后，方可代入计算。

注：上述测试方法所得结果实际上不仅反映了机内标准电平误差，还反映了机内校准电压与机外标准电压到接收机输入电路传输的差异所导致的误差。这在 ARM-5702A 及 1973 年生产的 RS-3 机尤为明显。因其高阻分压器是不对称

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的，在使用“高阻头”时，所产生误差颇巨，所以应按 JJG 252-81 检定规程附录3所给修正值修正。此外，用 RS-3“有载头”时，也须按附录3要求检查，符合要求后方可使用。

4. 相对电平测试精度

relative level measurment accuracy

指接收机在规定的状态下进行相对测量(衰减)时的精度。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 7-4。

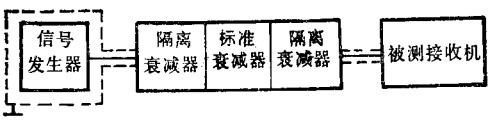


图 7-4

(2) 测试说明和要求

信号发生器通常应置于屏蔽箱内，以防漏泄，但如信号源漏场甚小，亦可不放在屏蔽箱内；信号源输出及接收机输入电缆必须采用铜包或铅包电缆，接头应接触良好，以防信号泄漏导致误差；隔离衰减器的衰减量及驻波系数要根据信号源与接收机的输入阻抗和性能而定，以满足由与标准衰减器分界面看入的驻波系数要小于 1.05，以减小失配误差；标准衰减器要稳定可靠，数据重复性好，两端看入驻波系数要小；隔离衰减器应直接接到标准衰减器上，中间不宜用电缆连接；标准衰减器应送往国家计量院定标，给出修正值进行修正，以提高精度。QF3900 接收机巡检装置除能产生标准电压外，还设有图 7-4 中中间的三个部分，亦满足上述要求，用于接收机相对电平测量十分方便。

(3) 测试步骤

通常接收机先进行校准，然后去除校准信号，并调整信号源的频率及输出使其达到校准状态，之后每 10dB 地增加或减小标准衰减器的衰减量，与此同时相应地减小或增加接收机的衰减，使接收机指示不变。这样，标准衰减器的每 10dB 增量真值与接收机衰减读值差异即接收机每 10dB 相对电平测试误差。同样标准衰减器也可按 10、20、30……dB 数递增或递减，相应地接收机改变衰减量以保持指示不变，由此对比，可得到任一衰减增量测试之误差。

对采用高低电平转换而扩展电平范围的接收机要按要求完成高低电平转换，使电平衔接起来后，再以上法继续往下测。

5. 绝对电平测试精度

absolute level measurment accuracy

指接收机进行绝对电平测试时的精度。

测试方法：

通常是难以进行的，尤其在微电平，一般采用校准电平的精度与相对电平测试精度和来评估其最大误差限；在有高低电平转换的接收机中，其低电平绝对测量误差限应是转换电平的误差与低电平段相对测量误差的和；如考虑到按 IEC 标准规定，信号源输出电压指的是输出到匹配负载上的电压，则还须计入由于接收机输入端阻抗偏离标称值所导致的失配误差，其最大的保守估计值可用 $|\dot{\Gamma}_{in}|$ 表示，$\dot{\Gamma}_{in}$ 为接收机输入端反射系数，较为准确的误差应是 $|\dot{\Gamma}_{in}|\cdot\cos\phi_{in}$，$\phi_{in}$ 为 $\dot{\Gamma}_{in}$ 的相角。

6. 电平测量范围

level measurment range

指符合规定测试精度的可测电平下限到上限的范围。

测试方法：

这实际上是通过相对电平的测量，再通过绝对电平测试精度的评估来判定是否达到规定的范围。

7. 带宽 (3dB) *BW*

band wideh (3dB)

指接收机输入信号频率上下偏离调谐频率使输出端电平下跌 3dB 时的两个频率差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 7-1。

(2) 测试步骤

在被测频率点进行调谐，记下此时信号源

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

输出A及接收机读值(B)dB，调偏信号源的频率并保持其输出为 A，一直到接收机读值为(B-3)dB，记下此时信号源频率 f_1。同法得到另一个频率 f_2。则 $BW=|f_1-f_2|$。

8. 输入阻抗及驻波系数 Z_{in}，$VSWR$

input impeadance and $VSWR$

输入阻抗即接收机输入端口的标称阻抗；驻波系数是指由于实际的输入阻抗偏离标称值形成驻波时，电压峰值与谷值的比。

测试方法：

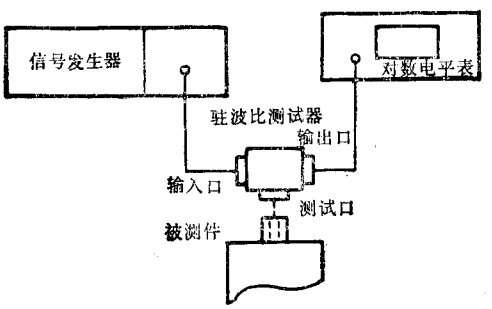


图 7-5

(1) 测试方框图，见图 7-5。

(2) 操作步骤

① 按图 7-5 所示连接仪器。

② 在测试前应设置对数电平表为点测、负极性、滤波器通状态。完成驻波比测试器与对数电平表高、低电平的跟踪调节(方法见对数电平表使用说明书)。

③ 置信号发生器于规定测试频率，输出幅度 10dBm 左右，在测试口接开路或短路器，调对数电平表“偏置”为零，并调“0dB 预置”，使对数电平表指示器读数值为“0” dB。然后去掉接在测试口上的开路或短路器。

④ 在驻波比测试器的测试口接上被测件，保持对数电平表上的所有旋钮位置不动，读出此时指示器读数值“A_x”dB，该值即为被测件在该测试频率的回损值。

⑤ 按公式 $|\Gamma_x|=10^{-\frac{A_x}{20}}$ 计算反射系数，按 $S_x=\frac{1+|\Gamma_x|}{1-|\Gamma_x|}$ 计算驻波比。

* * *

本节技术指标测试方法中所用主要测试仪器汇总如下。

主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
信号发生器	QF1090 (或 MG645B) QF1080 (或 6060B) 6062 HP8640B.	
射频同轴开关	QF40009	
数字频率计	SF8500B	
低通滤波器	QF11601	
源式电压标准	GDY-79, QJR-1, DO-2 QF2010, QF3900	JJG (电子) 02003-88 JJG (电子) 02006-88
补偿式电压表	DO-1 (校正)	
射频电压表	QF2280A	
标准衰减器	QF11501/E 1 挡(挑选) T08 (挑选)	JJG (电子) 09005-88
隔离衰减器	WS11501 (挑选)	
驻波比测试器	QF10601	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续　表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
对数电平表	501 (Wiltron)、QF2150	
屏蔽箱、屏蔽室		

第 5 节　测试接收机量值传递表

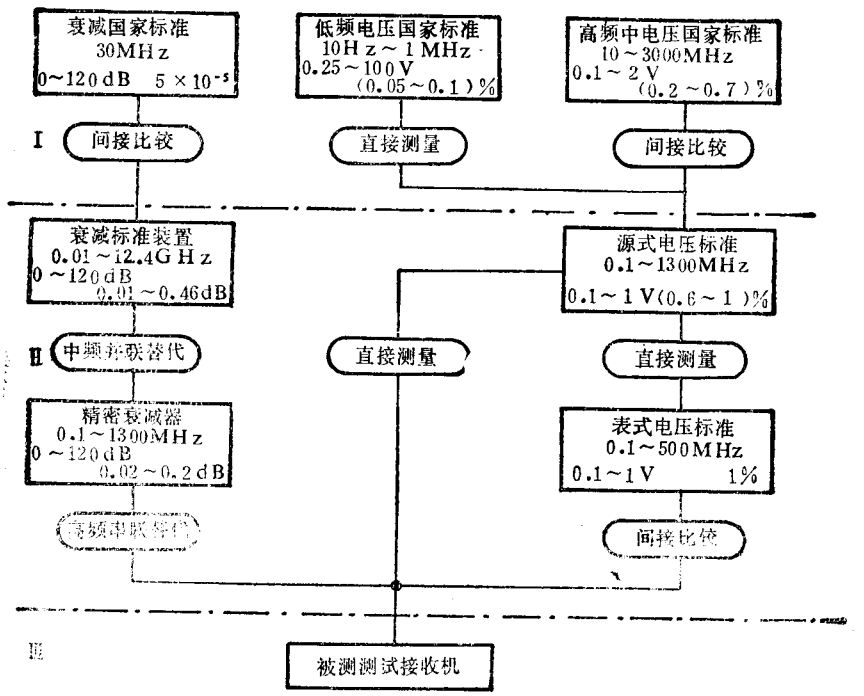


图　7-6

附录 QF3900 型测量接收机检定装置

QF3900 型测量接收机检定装置主要技术指标

(1) 电压测量的频率范围

I 型高频座：0.1～30MHz

II、III 型高频座：30～1000MHz ($Z_{in}=50\Omega$)

30 ～ 500MHz($Z_{in}>50\Omega$)

(2) 电压测量范围：100～1000mV

(3) 电压测量设置点及可测电压范围

0.1V：0.1 ～ 0.3V

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

0.3V:0.3 ～ 0.4V

0.5V:0.4 ～ 0.6V

1V:0.6 ～ 1V

(4) 电压测量工作误差

高频座		工作误差	
类别	型式	直接测量	校正使用
A	I型	±1%	—
	II、III型	±1.5%(30～500MHz) ±2%(500～1000MHz)	+1%
B	I型	±0.6%	—
	II、III型	±0.1%	

(5) 高频座输出接头形式:

高频座	接头形式	备注
I型	N50J/L16-50J	QR2.989,004MX
II型	N50J/L16-50J/L16-75J	QR2.989,005MX
III型	N50J/L16-50J	QR2.989,006MX

(6) 低通滤波器分组及工作通频带

a. 30MHz:30 ～ 40MHz

b. 100MHz:80 ～ 110MHz

c. 300MHz:200 ～ 300MHz

d. 500MHz:350 ～ 500MHz

e. 700MHz:520 ～ 800MHz

f. 1000MHz:800 ～ 1000MHz。

(7) 低通滤波器通带衰减: ≤3dB

(8) 低通滤波器阻带频率范围

a. 30MHz:60 ～ 120MHz

b. 100MHz:160 ～ 330MHz

c. 300MHz:400 ～ 900MHz

d. 500MHz:700 ～ 1500MHz

e. 700MHz:1040 ～ 2400MHz

f. 1000MHz:1600 ～ 3000MHz

(9) 低通滤波器阻带衰减

≥ 40dB (a、b、c、d、e 组)

≥ 35dB (f 组)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(10) 衰减工作频率范围：0.1～1000MHz

(11) 衰减变化范围：0～75dB（5dB 步进）

(12) 衰减工作误差：

0 ～ 60dB：±0.1dB（按校正值使用）

0 ～ 75dB：±0.2dB（按校正值使用）

(13) 衰减器特性阻抗：50Ω

(14) 隔离衰减量：10dB × 2

(15) 衰减输出端口电压驻波比：≤1.05:1

(16) 信号输入端口(衰减状态)电压驻波比：≤1.1:1

(17) 最大输入功率(衰减状态)：＜0.5W

(18) 输入输出接头形式：N50K

(19) 阻抗转换：L16-50J/L16-75K（选订 QF10800）

(20) 测试电缆电压驻波比：≤1.1:1

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第8章 稳定电源

第1节 综 述

稳定电源是电子电源中发展最早、应用最广泛的一种电子仪器，它是能输出一种或几种稳定量的电源。凡是应用电子技术的行业和部门都离不开稳定电源。电子电路稳定电源作为一种二次电源广泛地应用于电子仪器、广播、通信、雷达、导航、遥控、遥测、遥感、计算机、教学、工业电子学领域和家用电器中。稳定电源是电子设备的电能供给者，没有电源几乎一切仪器、设备、装置都不能工作。从甚低频到超高频，从线性放大到大电流脉冲技术，从抗干扰到可靠性，从一般常用电子器件到专用的器件，稳定电源应用跨越的领域越来越宽，技术难度越来越大。随着电子技术的迅速发展，对稳定电源的功能提出了越来越高的要求。一般稳定电源要求输出稳定度高、效率高、体积小、重量轻、可控、价格低等。

20世纪30～50年代，稳定电源主要是电子管、磁放大器、磁饱和变压器的电源；20世纪60年代，晶体管、可控硅电源占领市场；20世纪70年代相继发展了集成化线性电源及开关电源；20世纪80年代又推出了高频开关电源、净化电源、程控电源、不停电电源、微机控制电源、脉冲电源等新品种。

在电源技术领域中，美国的HP公司，Topaz公司，Power-Matic公司，Lambda公司Isoreg公司及日本的Kikusui公司，Tescon公司，Nemic-Lambda公司等在技术开发和产品生产方面居领先地位。

我国在80年代以前，基本上是在整机厂内研制、生产电源产品，80年代才开始陆续成立专门生产电源的整机厂所、公司，1989年已发展到200家左右，年产值100万元的有50家；500万元以上有11家左右。1989年电源产量达到32万台，产值约3亿元左右，产量比1988年增长1倍。在19项测试仪器中，除电表外产量最高，占58.8%，增长率占第2位。

在我国稳定电源的研制生产发展历史过程中，北京大华无线电仪器厂（北京大华新电源公司），辽宁精密电子仪器厂，北京无线电仪器厂，南京无线电工业学校，北京无线电工业学校，天津无线电元件三厂，天津电子仪器厂，内蒙古电子仪器厂，常州电子仪器厂，上海无线电二十六厂，华东电子仪器厂，上海沪光仪器厂，山西卫华仪器厂，温州精密电子仪器厂，顺德无线电一厂，苏州电工仪器厂，连云港无线电厂，石家庄无线电四厂，石家庄无线电十厂，天津无线电七厂，泰兴电子仪器厂，淮阴仪器仪表厂等先后对研制和生产稳定电源产品，推动稳定电源的发展，满足国内市场的需要，作出了自己的贡献。

近几年稳定电源发展比较迅速。下面就几种主要种类稳定电源的发展现状与发展趋势简述如下。

（一）直流输出线性稳定电源

线性电源发展最早，它是目前使用最为广泛的一种直流输出电源，占电源市场产量30%。

线性电源是一个由线性电子元件组成的线性反馈系统，它是一种经典型的电源。其功率调整

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

器件调整管工作在线性区，起一个自动调节的可变电阻作用；反馈控制放大器也工作在线性区之内，以实现功率调整器件的自动线性调节，达到输出电压或电流或两者都稳定的作用。由于调整管始终处于导通状态，必然要消耗一部分电能，其效率低，通常为 30%～60% 左右。随着输出电压降低，其效率也降低。同时，由于使用工频变压器，体积、重量均偏大。它在市场上的数量仅十万台(1989年)。但是，它具有反应迅速、源效应和负载效应(即通常电压稳定度和负载稳定度)高，输出中的纹波、噪声小，射频干扰（RFI）和电磁干扰少，电路技术成熟，控制电路元件少，对调整管开关特性、滤波器的高频性能无特殊要求。由于采用变压器，其隔离性能好，可靠性高，设计、生产、维修都比较容易，成本亦低，它特别适用于一些功率小、电性能技术指标要求高的场合。

线性电源的发展经历了三个阶段：使用电子管的电子稳压器作为第一代的直流稳压电源；使用半导体三极管、二极管技术的晶体管稳压电源为主要代表的第二代直流输出稳压电源；使用半导体管和集成电路以及集成稳压器的第三代直流输出稳定电源。

为提高功率和稳定性，在调整电路前边采用相位控制电路，预稳电路。在输入输出电压差比较大，输出电流亦比较大的场合，采用开关稳压器作串联式稳压器。为了提高串联线性稳压电源的效率，人们采用 PNP 和 NPN 晶体管互补法、偏置法以及开关稳压器、相位控制器作预调节，降低调整管上的压降，减少调整管的损耗。另外还可把传统的电压控制型调整器件改成电流控制型，使作为调整器件的半导体管可工作于饱和电压边界值，降低功耗，典型效率值达(70%～80%)，几乎可以与开关电源匹敌，但是稳压范围不宽。为了加大它的稳压范围，在整流器前加交流变压器进行交流预稳或在整流器之后加开关稳压器进行直流预稳，形成一个多次稳压的混合稳压电源。为了提高效率，减小体积，降低重量，大量发展了集成稳压器，其中有三端固定电压式、三端电压可调式、多端电压可调式、跟踪式、浮动式等；它们主要有半导体单片式集成稳压器和混合式集成稳压器两大类。集成稳压器不但有稳压稳流功能，而且同时具有各种控制保护功能，使电源电路大为简化。现代集成稳压器的输出直流功率已达 200W，输出电流达 10A，纹波峰-峰值 10 mV，源效应、负载效应达 0.2%～0.05%，重量系数 (15～20)W/kg，体积系数 (0.02～0.05)W/cm^3，恢复时间 $t_c = 50\mu s$ (50% 的负载变化)。集成稳压电源性能好，可采用复杂电路，因元件数量少、焊点少而可靠性高，组装调试方便。随着元器件生产技术的发展，高增益、低漂移的运算放大器使稳定电源稳定度更加提高。采用调制型直流放大器控制调整器件，可使线性电源的性能更加提高。现代的超稳压标准源输出电压 $V_0 = 0 \sim 1200V$，输出电流 0～100mA，总效应为 $\pm 1 \times 10^{-5} \sim \pm 5 \times 10^{-7}$，温度漂移为 $\pm 2 \times 10^{-7}/℃$，时漂为 5×10^{-6}/每月，线性度为 $\pm 1 \times 10^{-4}$，纹波电压为 0.2μV(r.m.s)。

在 20 年前，国外电源均采用封闭式结构。从 1971 年开始有人采用敞开式结构以来，使电源的工作条件大为改善，性能也随着提高。现在的一般商品电源大都采用了这种结构形式。

线性电源的理论基础属于经典的有源线性电源理论范畴，其技术问题基本上完全解决。近年来它的发展较为缓慢，没有取得新的显著突破，总趋势向集成化和高稳定度方向发展。

（二）直流输出开关电源

开关式直流输出稳定电源是一个由非线性电子元件组成的非线性反馈系统。其开关管工作于饱和区和截止区。当其导通时，一部分电能供给负载，同时将一部分电能储存在储能元件内，使可调整元件压降小得几乎不消耗能量；当开关管处于截止区时，该储能回路的元件释放出能量供

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

给负载，截止时漏电流很小，几乎不消耗能量，故开关电源效率高。而且开关电源取消了工频变压器也就减小了体积和重量。

40年代发展起来的磁放大器开关式直流稳压电源是利用铁芯的"饱和"、"非饱和"两种状态，用"开"与"关"控制低频磁放大器，以达到稳定输出电压。50年代至60年代，一度盛行可控硅相控整流方式的直流稳压电源，50年代中期开始提出半导体开关电源电路。60年代初开始迅速发展了高频开关变换技术，即主要变换器方式的高频开关式直流稳压电源，70年代掀起了这种电源的高潮。

高频式开关电源发展最早见于1964年NEC杂志发表的二篇关于无工频变压器电源、高频脉冲调制（TL SMPS）化电源的文章。1973年美国莫托罗拉（Motorola）公司报导中发表一篇题为"触发起 20kHz 的革命"的文章，提出20kHz的电源技术革命，即不用工频变压器的20kHz频率的开关电源，使开关电源的理论、工艺、专用器件开始蓬勃发展。特别是大规模开关电源控制集成电路的开发与应用，使开关电源大大发展，并与线性电源的竞争加剧，在彩色电视机中和计算机中广泛使用了开关电源技术。

最早的有晶体管的开关电源产品是发表在1969年EE杂志上的"用开关晶体管改进的小型化电源"，介绍了由美国加利福尼亚的 ACDC 公司生产的5V、10A，重1.5磅，功率密度 1.9W/in^3、工作频率 25kHz 的 JR 型电源。它的关键是用两个 RCA 高反压开关晶体管。1972年电子设计杂志发表了 K8 系列的电源产品。1973年时开关电源采用肖特基二极管（正向压降0.4V，恢复时间 $<10\mu s$）、光电耦合器和集成电路组成的控制电路。1974年以后，对开关电源各个环节的元件进行了深入的分析，相应的专业元件厂生产了专门为开关电源使用的元件，例如，磁心元件就有了E型和罐形的，电容就有四端电解电容、聚丙烯电容，二极管就有快速恢复开关二极管、正向压降低的肖特基二极管、三重扩散的硅功率开关晶体三极管系列，如 2N 6806、6807、6808，控制电路就有专用的大规模集成控制电路。国外开关电源产量占70%左右，年增长率达30%。目前20kHz 开关电源发展很快。1981年 200～600kHz 小功率超小型开关电源已有产品。东京电气化学公司展出 500kHz、50W 超小型开关电源；美国 HP 公司 6500A 系列 50W、200kHz 开关电源已成系列。目前开关电源频率在 100kHz 以上采用 MOSFET 管，它比双极晶体管有很多优点，并主要用于 50～250W，但价格偏高。1986年亦有不少 1MHz 开关电源上市，只是功率较小。

我国在70年代末至80年代初已研制成功为计算机专用的 PWM 型开关电源，并逐步推广到电视机和电子测量仪器仪表领域。80年代初研制成功开关电源的控制集成电路：如原电子工业部第二十四所已批量生产的X63、X64脉冲宽度调制器与保护电路；华东计算所与上海半导体器件十六厂联合研制成功的 SL-64 开关电源控制电路组件等；上海交大和上海无线电七厂联合试制成功 SW3524（同 SG3524 相对应）；同时，我国集成电路标准化委员会的集成稳压器标准化工作组也列出了第一批标准系列的开关电源集成化控制器，它们有 CW3420（与 MC3420 相对应），CW1524（与 SG1524 相对应）等。1978～1979年电源技术展览会上展出 5V、100A 开关电源，现在已大量生产了为电视机、电子仪器、计算机配套的开关电源，重量减轻一半，完全不用矽钢片，铜线节约80%。国内已有 200kHz 的开关电源产品。同时，理论分析也已成熟起来。据不完全统计，虽然作为整机开关电源产品数量只有近万台，仅占整个电源产品产量的3%。但是，在数以百万计的彩色电视机和计算机上则普遍地使用了开关电源。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

开关电源根据开关信号、功率电路、变换器型式等可以分成自激型、它激型、同步型；降压型、升压型、反相型、升降型；单端反激型、单端正激型、推挽型、半桥型、全桥型；改进型的 CUK 电路、Wienberg 电路、Venable 电路、Harada 电路、Hedel 并联电路；双极晶体管、金属氧化物场效应功率管、晶闸管以及脉宽调制、脉频调制、脉冲相位调制、脉冲比调制等各种开关电源类型。

开关电源的优点是频率高，重量轻，体积小，输出维持时间长，效率高，因此越来越得到发展。但由于电路复杂，使用元件多，对开关元件要求较高，价格偏高，输出电压纹波仍较大，调整率低，响应速度慢，干扰大，也限制了它的使用范围，目前它还不能完全取代线性电源。

（三）磁放大器式的交流稳压器

通常所称的电子交流稳压器是指将磁放大器和自耦变压器串联起来，利用电子线路改变磁放大器的阻抗以稳定输出交流电压的装置。

在我国它是继铁磁谐振稳压器之后发展起来的一种交流稳压电源，1961 年起试制并生产614系列及同类的 VR 系列。据全国各大机电站统计，全国在 1986 年共销售七万台，它们由 200 多家工厂生产，其中 23 个工厂年产千台以上。它广泛使用在需要将电网电压稳定在一定范围的地方。

磁放大器式的交流稳压电源的发展经历了三个发展阶段。其中的功率调整元件都是用磁放大器。电子线路控制则由采用电子管控制的 614 型(或 VR 型)发展到晶体管控制的 JA 型，到集成电路控制的 JW 型。电子管式磁放大器交流稳压器一直延用至今，只是近 5 年来才逐步被新发展起来的晶体管式、集成电路式磁放大器交流稳压电源和其它型式的交流稳压电源所代替。

由于电子管式交流稳压电源效率低(78%)，体积、重量大，1979 年我国一些单位对电子管控制的614型进行了晶体管化。该电源中控制电路全部采用晶体管。主电路为升压变压器与磁放大器串联后跨接在电源与输出之间，输入电压和负载变化使输出电压波动，该波动经采样比较，产生脉宽调制，由功率晶体管开关驱动磁放大器控制绕组，改变电抗器的电阻，使输出电压稳定在一定精度上，这种电源比电子管式的效率高、重量轻、工作可靠。

同时还发展了采用补偿变压器及可控硅调感电路的改进型电子交流稳压器。该电路中采用了集成四运放、四比较器，减少半导体型器件数量，提高了可靠性，与同容量 614 型相比，元件重量减少到 2/5，体积减少到 1/2，材料价格减少 30% 左右，满载效率可达 95%，负载适应范围宽，动态恢复时间 50ms，总谐波含量≤4%。

磁放大式电子交流稳压器都是带有反馈控制的闭环系统，所以稳压性能及输出波形较好，经多年技术改进，设计较为成熟。但是，由于采用磁放大器，恢复时间较长；又因采用自耦方式，所以抗干扰能力较低；同时还存在不能带移相的可控硅负载，故已部分为其它类型的交流稳压器所代替。

（四）铁磁谐振式稳压器

该种稳压器是利用饱和扼流圈与电容器组合后具有恒压伏安特性而制成，包括 30 年代的磁饱和式稳压器和近些年发展起来的稳压变压器(简称 CVT)。

磁饱和式稳压器虽然适应输入电压变化范围宽，工作可靠，过载能力强；但是，波形失真较严重，稳定度不高，体积、重量大，60 年代为电子交流稳压器取代。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

CVT 磁共振交流稳压器是近十年来开始采用的一种稳压变压器电源，它借助于电磁元件的非线性实现稳压功能，是在电磁稳压原理的基础上发展起来的交流电源。它与磁饱和式的区别在于结构形式的不同：它是在单一铁芯上同时实现了稳压、变压、隔离三重功能。

我国从70年代中期开始进行研制工作，一些小容量 CVT 稳压电源早已系列化，并投入批量生产。虽然该稳压电源使用电气元件少，没有活动元件和易损元件、可靠性高，隔离性好，具有过载和短路时的自动保护能力，对电网干扰有较强的抑制能力，但由于存在温升高，噪声大，工艺复杂，批量产品技术性能一致性差等缺陷，长期以来，发展较慢。特别是大于 1kVA 以上的 CVT 电源成批生产的困难更大。因此，不少单位试制了改进型的 CVT 电源以及可控硅型的稳压变压器，提高了该种电源的性能。改进型的 CVT 电源对≤100kHz 的干扰衰减在 70～80 分贝，输入和输出隔离并有屏蔽和吸收装置，具有良好的双向抑制和衰减作用。满载时输入电压变化±10%，输出电压变化±0.5%，输出电压总失真≤5%，当负载功率因数 $\cos\phi \geqslant 0.8$ 时，输出电压偏离±3% 以内。

（五）数字控制式交流稳压器

这种交流稳压器由逻辑元件或微处理机构成控制电路，按一定编码方式转换变压器抽头，使输出电压获得稳定。转换变压器抽头的开关可以用继电器，但目前多用双向可控硅元件，并且在过零时换接，以提高可靠性。其主电路也可以采用补偿型式以减少变压器的功率。

微处理机控制的工频电源有变压器输入端控制型，变压器输出端控制型。这种稳压器通常包括由双向可控硅与抽头变压器构成的交流调整回路、控制电路及保护电路等几部分。正常工作时，微机通过取样、转换电路，监视电源的输出。一旦输出超出规定的稳压精度，则根据取样信号经过运算后输出新的控制代码。驱动电路根据微机发出的控制信号驱动相应的双向可控硅导通或截止，以此改变对应的变压器抽头，使输出电压稳定在一定的范围内。由于该稳压器只补偿市电的波动部分，故补偿变压器容量可以设计得很小，因而电源体积小，重量轻，可靠性高。

这种电源处在过零开关工作状态，电源效率高达 96%，失真度小，可带感性和容性负载，响应时间快（<10ms）。在小功率范围内的制造成本还比较高，与 614 型竞争尚有困难。随着功率的增加，微机稳压器成本比其它类型的要低，故国外往往制造 30kVA 至 100kVA 的电源。另外，通过扩充硬件和软件构成的交流稳压器还能兼有电力负荷监测、$\cos\varphi$ 调节等功能，构成计算机电源监测中心。由于这种电源是近几年发展起来的新型电源，硬件可靠性与软件抗干扰性还需经受考验。

（六）参数稳压器

参数稳压器又称参数变压器或参量变压器。1967 年试制成功，1974 年又研制出“平行磁通参数变压器”，使这种电源步入商品行列。参数变压器不同于一般变压器，它不是通过磁通直接耦合，而是通过参数原理来实现能量传输达到输出电压稳定，由参数 L 变化激励起感应电势，同时它也与电容组成振荡电路，引起振荡，输出稳定的正弦波。

这种电源输入电压允许范围宽，120V～320V 输入时，输出稳定在 $220V^{+3}_{-7}\%$。具有过载及短路保护。短路时，变压器振荡自动停止，有自动保护功能。波形失真不大。突出的是具有优异的双向抗干扰功能，对 1kHz～1MHz 衰减大于 60dB 以上。性能好的参数变压器能输入方波，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

输出干净的正弦波，具有极强的滤波功能。能有效克服瞬间断电(半周和一周)，当关断输入电源时，仍能维持 2～5 周的阻尼式自由振荡。由于是谐振型稳压器，因此对电源频率变化比较敏感，频率变化 1Hz，输出变化 2%～3%。另外，体积大，重量大。我国参数稳压器部分漏磁严重。制造 10kVA 以上的稳压器尚有一些技术问题需解决。

(七) 净化式交流稳压器(又称交流电源调节器)

近代电子设备增多，干扰增加，电网污染严重，原有的设备都存在着某种不足。1984 年由美国 Power-Matic 有限公司爱德华·库珀博士提出，1985年在"控制与测量"杂志上发表了题为电源调节技术的文章，提出了电源调节器的新电路——正弦能量分配器，并研制成产品名为"$V_{ARITRON}$"电源调节器，成为 80 年代新技术产品。库珀博士 1985 年来我国讲学。卫华仪器厂从美国引进该产品技术，中国科学院计算技术研究所等单位根据该原理经过研究和实验，1984 年、1986 年先后试制成功并推广这种电源。净化电源的核心是正弦波能量分配器。根据电网变化，调节回路电流，改变电感量，以正弦波电流形式将能量输入电感，通过电感执行对正弦能量的储存或释放，进行能量分配，而且与输入、输出反馈控制电路结合起来组成一个新型的交流稳压器，保证输出电压成为一个不变的良好调整的正弦波电压。所以也称为正弦能量分配式或调感式。这种电源电路响应时间快，半周内快速实现 1% 的调整，输出电压十分干净，抑制输入噪音和尖峰能力强：输入叠加 4000V_{p-p}、宽度 10μs 尖峰电压，输出仅 20V_{p-p}；当脉冲宽度为 0.5μs 时，输出为 1～2V_{p-p}。输出波形附加失真小，输入、输出相位移小，失真<0.2%，位移<5°。可靠性高，耐冲击，重量轻、体积小，对电网传导、辐射干扰小。

(八) 数字合成式工频电源

数字合成式工频电源是随着大规模集成电路制造技术、数字技术、微机技术的迅速发展、应用范围日趋扩大而于近年来发展起来的新型电源。这种电源通常由数字合成式正弦波发生器、电压放大调整电路、电流放大调整电路、直流基准电路和控制电路等几部分组成，它的频率和初相都可以预先设置，功率可以预置设定，电压、电流、功率准确度、稳定度高，失真度小，操作方便，便于微机控制。如有些数字合成式工频电源已经达到了如下指标：

输出：电压：1～750V；电流：0.01～10A；准确度：±0.05%；幅值稳定度：2×10^{-5}/5 分钟；失真度：0.2%。

相位：移相范围：0～360°；预置准确度：0.1°。

功率：设定范围：0.01～7500W；准确度：±0.1%；稳定度：3×10^{-5}/5 分钟。

频率：设定范围：40～70Hz；调节细度：0.01Hz。

数字合成式工频电源可用来检定与测试电压表、电流表、相位表和电度表，也可作高稳定度的精密交流电源使用。

(九) 交流不停电电源

自从 1965 年第一台静止型不停电电源问世以来，至今已发展到第三阶段。70 年代以前，高速晶闸管占主流；70 年代以逆导通晶闸管为主；80 年代则主要以可关断晶闸管和功率晶体管为主。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

高速晶闸管主要用于逆变电路，要求元件的断开时间短并具有承受高电流和高电压上升率的能力。逆导通晶闸管约相当普通单相晶闸管上并联一个同容量反相二极管，使控制电路简化。采用可关断晶闸管和功率晶体管后，换流辅助电路被取消，无需对高电流和高电压上升率进行抑制。产品体积变小，重量变轻，同样 KVA 的电源，体积和重量一般减小 1/3。同时换流电抗器已取消，电源的噪声也减少5～10分贝。由于没有晶闸管因干扰误导通以及无干扰仍维持自导通的现象，提高了可靠性。另一方面，大功率晶体管的饱和压降小，变换效率可进一步提高，一般可增加(3～5)%。近年来，由于采用了微机控制以及大规模集成电路，不间断电源性能得到了提高。不间断电源被广泛用于计算机系统，卫星通信，自动转报系统，数据通信处理传输系统，程控电子交换系统，微波接力系统，工业自动化过程控制系统，航空管理系统，医用控制系统，精密测量系统，工艺过程控制装置等。保证了所供给的电源电压不中断，无瞬变，具有一定的稳定电压，稳定频率；能够快速调整电网的瞬时波动和抑制各样的干扰；并且在电网供电出现故障突然掉电时，能够继续保持供电，避免存储器中的数据丢失。其输出功率从几百伏安到 1000 千伏安。据 1989 年统计，产量已超过 2 万台，比 1988 年增长 80%。

交流不停电电源目前种类较多，按输出波形分有正弦波、方波输出；按工作方式分有后备式、在线式；按构成系统分有静止型、旋转型。静止型中又有市电备用冗余系统、逆变器备用冗余系统、逆变器与市电并联冗余系统、逆变器与逆变器并联冗余系统、三端口稳压变压器不停电电源。

由于备用冗余系统及并联冗余系统的不停电电源，需要进行整流和逆变两次变换，因而系统的总效率较低，特别是当基础的直流电压较低时，系统的总效率更低。例如 48V 电源直接供电的 10kVA 不停电电源的总效率只有 70%～75%。为了提高正常工作时不停电电源的效率，发展了三端口不停电电源及其改进的三端口复合式稳压变压器不间断电源。这种三端口不间断电源由于有变压器使市电与负载隔离，负载不受市电瞬变电压的影响；大部分时间由电网通过变压器供电，逆变器大部分时间空载，故它的寿命长，工作可靠。同时控制系统采用单片机，也保证了系统工作的可靠性。由于能量只经过一次转换，正常工作时效率达 90% 以上，逆变器的效率85%以上。逆变器中二极管兼作充电用，不必另设整流器，成本较低。单片机控制系统体积小，价格低，有较高的性能/价格比。转换可靠，转换时无瞬间停电，无电流冲击。系统设有蓄电池欠压保护，当蓄电池亏损严重时，控制系统欠压监视环节不允许系统起动，同时发出信号，要求先行单独充电。系统设有电网电压欠压保护，当电网电压低于允许的最低值时，自动转由逆变器供电，并且不允许反方向转换，此时逆变器工作与电网锁相。系统设有逆变器过载保护，当逆变器过载时、封锁功率晶体管。在触发回路中采用屏蔽措施，减少干扰，避免电网断电改由逆变器供电转换过程中的线路开关的误瞬时导通。由于变压器是工频的，且有三个绕组，并且用铁磁稳压方式，因此单位功率的体积、重量较大；而输出电压是方波的逆变器，对滤波要求高。

旋转型不停电电源过去广泛应用过，但是由于电机的噪声较大和需要经常维护，后来逐渐被静止型不停电电源代替。近年来由于采用了低噪声电机和无刷发电机，并且采用了先进的电子控制系统，缺点逐步克服，仍获得了应用。

（十）直流不间断电源

直流不间断电源是国外近几年来应用较多、发展较快的一种供电设备。在许多场合可以代替传统的交流不间断电源，并且使供电系统更合理、价格更便宜、性能更可靠。该系统将直流电源

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(开关或线性的)、充电器、直流-直流变换器、蓄电池等几种单元有机地结合起来，可以采用多种多样的方法。由于基本技术主要是已普及了的开关电源技术，所以技术难度不大。另外在结构布置上灵活，各部分可以单放，也可以共同放在一个机箱内。采用向负载某些最重要的部分作不间断供电比全面维持供电的方法省钱、容易；但对多个独立的大系统内实施不间断供电则采用交流不间断供电电源更适合。

(十一) 脉冲电源

脉冲电源是一种新型的二次电源，它具有广泛的用途。它可以应用于电镀、阳极氧化、电铸、电抛光、电泳、电脉冲喷漆等技术领域，在这些部门中引起了重大技术革新。现在主要用于电镀中，根据镀种不同，由脉冲电源产生最佳频率和脉冲波形实施金属电沉积，使镀层孔隙少，沉积速度高，与基体金属结合力强，结晶细致，电镀覆盖层的保护作用增强，提高镀层许多重要特性，减少镀层厚度，达到节约贵金属的目的，在达到相同技术指标前题下，可以节省原材料、降低电能消耗。根据使用单位统计，脉冲镀金可比直流镀金节约 30% 以上的黄金。

1962 年 J.E. Walcolt 在利用电流波形提高产品加工质量的方法获得了一项美国专利。但由于当时技术条件的限制，设备很不完善，以后又长期进展不大，只是近十年多来，才有了较大的突破。

脉冲电镀电源主要有周期换向脉冲电源、正极性脉冲电源、叠加电源。而按电路方案则有调制型脉冲电源和波形脉冲电源。

调制型脉冲电源功率调节器由大功率晶体三极管组成。晶体三极管有自关断能力，容易控制，工作频率也比较高，是高频脉冲电源的优选器件。尤其重要的是晶体三极管可以工作在外特性曲线的线性区，对于矩形波以外的脉冲电源更是非用不可。因此多波形脉冲电源都是以晶体管为调节器的调制型脉冲电源。但是晶体三极管耐压低，电流容量小，价格较贵，脉冲大电流的大功率晶体三极管尚少；另外，由于晶体三极管工作在线性区，因而效率较低。

波形脉冲电源的调节器工作在“开”和“关”两个工作状态，所以除了矩形波以外，无法获得其它形式的波形。该电源的调节器可以是可控硅，也可以是晶体三极管。但可控硅耐压高、电流大、价格便宜，适合制造大功率脉冲电源，尤其是成千上万安培的巨形脉冲电源。由于可控硅开关速度比较低，因而可控硅脉冲电源的工作频率一般都不太高，尤其大功率脉冲电源。可控硅有多种，如快速可控硅、可关断可控硅、逆导可控硅、双向可控硅等，其中可关断可控硅具有像晶体管似的直流自关断能力，控制电路比较简单，是制造可控硅脉冲电源的优选器件。

(十二) 程控电源

程控电源是一种智能化电源。过去曾经试用小型计算机或专用计算机实现程控电源，但是不太理想。当微机作为控制数据运算处理部件引入电源系统后，程控电源得到了迅速发展。几乎主要的电源根据需要都可进行程控。如程控线性稳压电源、程控线性稳流电源、程控线性稳定电源、程控开关电源、程控交流电源、程控相控型电源、程控不停电电源(直流、交流电源)。

程控线性稳定电源的早期作法是保留原有的硬件电路，用微机控制力矩电动机，再由电动机带动电位器旋转，从而改变基准参考电压。但是这种方法的控制精度和灵敏度都很低，响应速度也很慢。现在微机控制线性稳定电源可以采用以软件为主的方法，用软件代替大部分原有电路，但

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

仍用晶体管作调整元件，用微机实现电源的编程输入/输出调节，并通过模/数，数/模转换构成模拟量的可编程序控制器。只要作出电源系统的数学模型就能获得高质量的最佳控制、多功能控制及特种电源要求的按一定规律的控制，达到恒定输出并能自动显示和校正等性能。

程控脉冲调宽型开关电源输出直流电压经采样分压后转换成数字量，在微机中将采样反馈的数字量与给定的数字量比较，得到调制电压的数字量，经转换成为一定脉宽的控制脉冲，控制开关调整管的导通时间，调整并稳定输出电压。

程控交流电源将交流输入电网电源换成特殊的单相、双相或三相的交流输出，在军用、航天、导弹以及测试等很多领域内有用，尤其频率为 400Hz～8000Hz 的程控交流电源在航天系统的军事测试中特别有用。内部测量系统不仅执行程控值而且能报告正在进行的操作和确定输出功率、电流、频率、功率因数、相角、波形以及系统诊断、程控报警等功能，保证了输出稳定，保持输入输出电压同相。生产精度 1% 的 10kW 交流稳定电源的体积相当目前 1kW 的交流稳压电源，比铁磁式交流稳压电源重量减轻约 10 倍，体积也缩小约 7 倍。

程控相控型电源是用微机控制来改变晶闸管的门极信号的相位角并与适当的反馈系统联合，自动调整晶闸管的导通角，达到程控稳定输出电压的目的。其电路有微机控制单相或三相桥式可控整流器的触发电路。该电路中有沿袭模拟系统的控制方法，在此方法中微机只作数字调节器；有用软件仿真模拟控制电路；微机控制可编程序定时器产生触发脉冲等。

程控不停电电源有程控直流不停电电源、程控交流不停电电源。在该程控不停电电源中微机发挥多种控制功能、电源异常检测功能和电网断电后的备用电源与主电源的自动切换功能。

程控电源近年发展较快，仅 1989 年微机控制不间断电源产量达 2 万多台。采用程控后，由于使用数字化控制与显示，克服了模拟系统的温漂和时漂方面的不足，提高了产品的性能。便于实现最佳控制，控制精度高；同时微机还能进行非线性补偿，使输出电压和电流的调节灵敏度和分辨率也显著提高。由于微机工作速度较高，故控制速率和动态响应较快。在各种不同负载的电源中，可以采用基本相同的硬件；只要改变抽样方法和软件程序，电源装置就能适应各种不同的要求，而且许多复杂的电路由软件代替后，装置的体积可以大大缩小。当在相控型电源中采用可关断晶闸管后，触发控制系统的逻辑结构相当复杂，有时很难用电子电路来实现；当逻辑功能由微机软件来实现，则可以大大简化控制系统，减少元件，减少接点，减少制作和维修的困难，提高了可靠性。最终提高电源系统的智能化，使电源技术跨入先进的技术行列。

近年来，国内外稳定电源产量、性能发展迅速。现将国内外代表性产品的主要性能指标，列表对比如表 8-1。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 8-1　国内、外稳定电源代表性产品主要性能指标对比

序号	指标		国外代表性	国内代表性
	电源种类	指标名称	产品指标	产品指标
1	精密直流电源	源效应	$1\times10^{-5}+100\mu V$	5×10^{-5}
		负载效应	1×10^{-5}	5×10^{-5}
		PARD	$100\mu V_{p-p}$	$1mV_{p-p}$
		温度系数	$1\times10^{-5}/℃$	$5\times10^{-5}/℃$
2	通用型直流电源	源效应　CV	2mV	$1\times10^{-5}+1mV$
		CC	2mA	2mA
		负载效应　CV	2mV	$1\times10^{-5}+2mV$
		CC	10mA	10mA
		PARD　CV	$0.5mV_{rms}$	$0.5mV_{rms}$
		CC	$5mA_{rms}$	$5mA_{rms}$
		功能	CVCC 远控、数显	CVCC 远控、数显
3	通用型直流电源	源效应　CV	$1\times10^{-4}+1mV$	$1\times10^{-4}+1mV$
		CC	$5\times10^{-4}+1mA$	$1\times10^{-4}+5mA$
		负载效应　CV	$1\times10^{-4}+1mV$	$1\times10^{-4}+2mV$
		CC	$5\times10^{-4}+1mA$	$1\times10^{-4}+20mA$
		PAPD　CV	$0.5mV_{rms}$	$0.5mV_{rms}$
		CC	$3mA_{rms}$	$5mA_{rms}$
4	通用可控硅预稳直流电源	源效应　CV	$5\times10^{-5}+1mV$	$5\times10^{-5}+1mV$
		CC	5mA	$5\times10^{-5}+10mA$
		负载效应　CV	$5\times10^{-5}+2mV$	$5\times10^{-5}+2mV$
		CC	5mA	$5\times10^{-5}+10mA$
		PARD　CV	$0.5mV_{rms}$	$1mV_{rms}$
		CC	$10mA_{rms}$	$20mA_{rms}$
5	高压直流电源	输出电压	0～3kV	0～3kV
		源效应	$1\times10^{-4}\pm16mV$	1×10^{-3}
		负载效应	$1\times10^{-4}\pm16mV$	1×10^{-3}
		PARD	1mV	1×10^{-3}
6	开关直流电源	源效应	4×10^{-3}	5×10^{-3}
		负载效应	4×10^{-3}	1×10^{-2}
		PARD	$100mV_{p-p}$	$100mV_{p-p}$
		效率	80%	75%
		保持时间	25ms	20ms
		输入频率	47～440Hz	47～400Hz
7	交流电源	源效应	5%	3.3%
		负载效应	5%	3.3%
		失真	0.1%	同电网
		效率	98%	92%
8	交流电源调节器	输入电压	198V～242V	198V～242V
		作高精度输出电压误差	0.1%	0.1%
		作高速调节输出电压误差	1%	1%
		完全矫正时间	下陷 1 / 2 周	下陷 1 周
			浪涌 1 周	浪涌 3 周
		噪声抑制常模 20dB/10 个倍频程	>100Hz	>1kHz
		共模 20dB/10 个倍频程	>1kHz	>10kHz
		尖峰吸收	50J	50J
		效率	92%	97%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表 8-1

序号	指标		国外代表性	国内代表性
	电源种类	指标名称	产品指标	产品指标
9	交流电源	输入电压	176～256V	170～248V
	带超隔离变压器	输出电压	203～233V	202～233V
		尖峰抑制	36dB	36dB
		完全矫正时间	20±10ms	20±10ms
		常模噪声衰减		
		共模	140dB	126dB
		串模	57dB	50dB
		满载效率	96%	94%
10	交流电源	源效应	±6%	±7%
	带微处理技术	完全矫正时间	20±10ms	10～30ms
		附加失真	0.5%	0.5%
		效率	98%	96%
		1000V3μs 尖峰滤波输出	30V	25V
11	不间断电源	源效应	2%	2%
		负载效应	2%	2%
		蓄电池	36Ah	36Ah
		失真	5%	8%
		转换时间	10ms	10ms
12	程控直流电源	源效应	$1\times10^{-4}+1mV$	$1\times10^{-4}+5mV$
		负载效应	$1\times10^{-4}+1mV$	$1\times10^{-4}+5mV$
		程控电压分辨力	6mV	10mV
		程控电流分辨力	10mA	10mA
13	程控交流标准源	频率范围		10～1kHz
		电压设定范围		0～1111.11V
		输出电压幅值准确度		±(0.04%设定值+0.01%量程值)
		输出频率准确度		±0.02%设定值
		输出波形失真度		0.05%
14	高效准方波电源	源效应		3%
		三相相位		120°±1°
		频率稳定		4×10^{-3}
		效率		60%
		温度系数		4×10^{-4}
		主回路稳压源效应		0.3%
		负载连接		Y

第2节 分 类

稳定电源有不同的分类方法。有的按特点分类，有的按原理分类，有的按控制方式分类，有的按输出分类。为了方便读者，将稳定电源各类型列项如下，以便参考。

（一）直流输出稳定电源

1. 按输出量性能分

直流输出稳压电源；直流输出稳流电源；直流输出稳压、稳流电源。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 按稳压方式分

线性电源；开关电源；组合电源；铁磁谐振式电源。

（二）交流输出稳定电源

1. 按输出量特性分

稳压电源；稳压稳频电源；稳流电源。

2. 按电源相数分　单相；三相。

3. 按交流稳压器构成、使用器件分

铁磁谐振式稳压器；磁放大器式稳压器；滑动式交流稳压器；感应式交流稳压器；可控硅交流稳压器；稳压稳频交流电源（CVCF）；补偿式交流稳压器；数字控制式交流稳压器；净化式交流稳压器（交流电源调节器）；参数稳压器；数字合成式工频电源。

（三）不间断电源

1. 按输出波形分　交流输出；直流输出。

2. 按构成系统分　静止型；旋转型。

3. 按工作方式分　后备式；在线式。

4. 按供电方式分　串联型；并联型。

（四）脉冲电源

1. 按波形性质分

周期换向脉冲电源；正极性脉冲电源；叠加电源。

2. 按电路方案分

调制型脉冲电源；波形脉冲电源。

（五）程控电源

1. 程控线性稳定电源

程控稳压电源；程控稳流电源；程控稳定电源。

2. 程控开关电源

3. 程控交流电源

4. 程控相控型电源

微机控制单相桥式可控整流器的触发电路；微机控制三相桥式可控整流器的触发电路。

5. 程控不停电电源。

（六）其它特种电源

第 3 节　稳定电源技术指标汇总表

稳定电源的技术指标基本上按性能特性进行编汇。汇总表中所列技术指标按目前所了解到

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 8-2 稳定电源技术指标汇总表

序号	技术指标 \ 电源类别	直流输出电源			开关电源	交流电源	UPS电源	脉冲电源	程控电源		其它电源
		恒压CV	恒流CC	恒功率CP					直流	交流	
1	输入电压	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
2	额定源电压	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
3	输入电流										
4	额定源电流										
5	输入功率	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
6	空载输入功率					●					
7	输入频率				●						
8	额定源频率	●	●	●		●	●	●	●	●	●
9	输入交流相数	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
10	输入交流相位										
11	输入相位变化范围										
12	输入波形				●			●			
13	输入干扰频率										
14	输入干扰电压										
15	启动冲击电流(浪涌电流)										
16	峰值启动电流										
17	输入功率因数(源功率因素)										
18	变流效率										
19	位移因素										
20	效率	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
21	源失真										
22	源电压失真										
23	源电压总失真										
24	电压不平衡										
25	源电流失真(输入电流失真)										
26	真有效源电流										
27	峰值重复源电流										
28	输入电流纹波										
29	直流源电流的纹波										
30	源电流的相对谐波含量										
31	源电流波中谐波含量										
32	输出电压范围	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
33	额定输出电压					●	●			●	●
34	输出电流范围	●	●	●	●		●		●	●	●
35	额定输出电流										
36	输出功率范围			●	●	●	●	●			
37	输出频率范围									●	
38	额定输出频率						●				
39	输出相数					●				●	
40	移相范围										
41	设定范围								●	●	
42	预置范围								●	●	
43	设置准确度								●	●	
44	调节细度								●	●	
45	阶梯数										

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表　8-2

序号	技术指标 \ 电源类别	直流输出电源			开关电源	交流电源	UPS电源	脉冲电源	程控电源		其它电源
		恒压 CV	恒流 CC	恒功率 CP					直流	交流	
46	负载连接方式					●				●	
47	输出波形						●	●			
48	输出波形可调性							●			
49	输出脉冲频率							●			
50	输出脉冲周期							●			
51	脉冲持续时间							●			
52	电流密度							●			
53	脉冲前沿时间							●			
54	脉冲后沿时间							●			
55	正向超调量							●			
56	负向超调量							●			
57	电功效率							●			
58	重复度							●			
59	时间变化率							●			
60	触发信号							●			
61	准确度	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
62	输出波形失真					●		●			
63	失真系数					●					
64	谐波含量										
65	负载效应(负载调整率)	●	●	●	●	●	●		●	●	●
66	负载变化范围										
67	源效应(电网调整率)	●	●	●	●	●	●		●	●	●
68	源频率效应					●					
69	安稳效应										
70	安稳时间										
71	温度效应										
72	温度系数										
73	输入波形失真效应					●	●	●		●	
74	输入阻抗变化效应					●				●	
75	组合效应										
76	组合效应带										
77	公差带										
78	总效应										
79	效应带										
80	总效应带										
81	周期与随机偏移 rms	●	●	●					●		
82	周期与随机偏移 p-p				●				●		
83	低频噪声				●						
84	开关噪声				●						
85	总噪声				●						
86	短期漂移										
87	长期漂移										
88	输出频率效应										
89	输出功率因数变化效应										
90	噪声抑制常模					●					

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表 8-2

序号	技术指标 \ 电源类别	直流输出电源			开关电源	交流电源	UPS电源	脉冲电源	程控电源		其它电源
		恒压 CV	恒流 CC	恒功率 CP					直流	交流	
91	噪声抑制共模					●					
92	尖峰抑制常模					●					
93	尖峰抑制共模					●					
94	完全矫正时间					●					
95	峰值稳定										
96	平均值稳定										
97	有效值(方均根值)稳定					●					
98	波形稳定					●		●			
99	随机偏差					●					
100	指示误差	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
101	蓄电池工作电压范围						●				
102	蓄能(放电)时间						●				
103	能量再生(充电)时间						●				
104	蓄电池安时数						●				
105	备用时间						●				
106	转换时间						●				
107	转换电压						●				
108	中断时间						●				
109	输出相位偏差										
110	恢复时间					●					
111	最大允许断态电压上升率						●				
112	额定负载时损耗	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
113	最大输出变化率										
114	互作用效应										
115	相角稳定										
116	负载阻抗不平衡					●					
117	输出谐波分量										
118	周期性输出电压调制										
119	周期性频率调制										
120	负载的功率因数					●					
121	直流含量					●					
122	电压不平衡					●					
123	响应速度					●					
124	瞬态恢复带										
125	恢复电平										
126	最大过冲幅度										
127	瞬态时间										
128	瞬态延迟时间										
129	瞬态恢复时间										
130	瞬态起始带										
131	总的瞬态恢复时间										
132	输入瞬态耐压				●						
133	过冲幅度										
134	开机过冲										
135	开机时间										

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表 8-2

序号	技术指标 \ 电源类别	直流输出电源			开关电源	交流电源	UPS电源	脉冲电源	程控电源		其它电源
		恒压 CV	恒流 CC	恒功率 CP					直流	交流	
136	开机延迟时间				●						
137	开机恢复时间				●						
138	关机过冲										
139	关机衰变时间				●						
140	输出保持时间				●						
141	关机延迟时间				●						
142	最大反冲幅值										
143	启动时间										
144	预热时间	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
145	热平衡										
146	输出阻抗										
147	输出电阻										
148	等效输出阻抗										
149	相位移										
150	开机极性变换										
151	关机极性变换										
152	启动电流				●		●				
153	过冲										
154	反冲										
155	调节范围	●	●	●	●	●	●	●			●
156	控制范围	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
157	跨距				●						
158	分辨力								●	●	
159	不连续控制分辨力										
160	本机控制								●	●	
161	远程控制								●	●	
162	电阻控制										
163	电压控制										
164	电流控制										
165	数字控制										
166	功率控制										
167	遥感								●	●	
168	远控程序										
169	远控传感								●	●	
170	控制系数										
171	增量控制系数										
172	控制偏差										
173	控制偏差带										
174	控制速率								●	●	
175	控制时间常数										
176	遥控系数										
177	遥控偏差										
178	控制稳定度								●	●	
179	远程控制率										
180	过压保护启动										

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表 8-2

序号	技术指标 \ 电源类别	直流输出电源			开关电源	交流电源	UPS电源	脉冲电源	程控电源		其它电源
		恒压 CV	恒流 CC	恒功率 CP					直流	交流	
181	编程时间								●	●	
182	程控电压分辨力								●	●	
183	程控电流分辨力										
184	程控功率分辨力										
185	程控接口								●	●	
186	门限电流										
187	门限电压										
188	最大极限电流										
189	最大极限电压										
190	短路电流				●						
191	峰值短路电流										
192	开路电压				●						
193	峰值开路电压										
194	交迭区										
195	可调交迭										
196	交迭点										
197	过流保护										
198	恒流保护										
199	折返保护										
200	释放保护										
201	防短路保护										
202	最大连续电流										
203	过流保护	●				●					
204	过压保护		●								
205	欠压保护										
206	过功率保护			●							
207	反向功率保护										
208	过温保护										
209	反向电压保护										
210	反向电流保护										
211	分流器保护电路										
212	跳闸保护电路										
213	复位										
214	限流										
215	限压										
216	最高浮动电压										
217	隔离电压				●						
218	绝缘电阻测试电压	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
219	绝缘电阻	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
220	绝缘试验电压	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
221	漏电距离										
222	漏电间隙										
223	绝缘试验允许电流	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
224	漏电流	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
225	接地漏电流				●						

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表　8-2

序号	技术指标 \ 电源类别	直流输出电源			开关电源	交流电源	UPS电源	脉冲电源	程控电源		其它电源
		恒压 CV	恒流 CC	恒功率 CP					直流	交流	
226	对源端电容										
227	对机架电容										
228	输出电容										
229	转移电容										
230	易燃性										
231	共模电压										
232	共模电流										
233	共模输出										
234	串联工作										
235	在指定条件下的串联工作										
236	并联工作										
237	在指定条件下的并联工作										
238	从动工作										
239	从动跟踪工作										
240	从动串联工作										
241	从动并联工作										
242	声距离										
243	声频率										
244	声电平										
245	噪声电平										
246	音频噪声				●	●	●				
247	传导型电磁干扰频率范围				●						
248	传导型电磁干扰电平				●						
249	传导型电磁干扰电平极限值										
250	平均无故障工作时间	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
251	幅射电磁干扰										
252	冷却媒质										
253	冷却媒质温度										
254	工作环境温度	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
255	内深度										
256	报警方式										
257	频率稳定性						●				

的已尽可能列入。

表 8-2 中技术指标对某个具体产品因产品用途，性能水平，价格水平不同，指标项目多少不同，有些可以增加，有些可以减少。

表中“●”号为各类产品最基本的，对用户最具影响力的指标，一般产品说明书中必须给出。

鉴于稳定电源种类繁多，技术指标有 260 多项，各种类的测试方法又有所不同，某些项目目前尚无成熟的测试手段，而且稳定电源的各种标准尚不齐全，因此本章的稳定电源技术指标及测试方法仅编写了 20 项，依次列表如表 8-3。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 8-3

序号	电源类别 / 技术指标	直流输出电源			开关电源	交流电源	UPS电源	脉冲电源	程控电源		其它电源
		恒压 CV	恒流 CC	恒功率 CP					直流	交流	
1	输入电压	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
2	额定电源电压	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
3	输入功率	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
4	空载输入功率					●					
5	输入频率				●						
6	额定源频率	●	●	●		●	●	●	●	●	●
7	输入交流相数	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
8	输入波形				●			●			
9	效率	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
10	输出电压范围	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
11	额定输出电压					●	●			●	●
12	输出电流范围	●	●	●	●		●		●	●	●
13	输出功率范围			●	●	●	●	●			
14	负载效应	●	●	●	●	●	●		●	●	●
15	源效应	●	●	●	●	●	●		●	●	●
16	温度效应										
17	温度系数										
18	周期和随机偏移	●	●	●	●				●		
19	短期漂移										
20	长期漂移										

第4节 技术指标及测试方法

- 被测电源及测试设备均应在各自产品标准中规定的预热时间、平衡时间上进行测试。
- 检定条件基本按表 8-4、表 8-5、表 8-6 规定。
- 通常，在测量中应该使用不明显影响(或者可以计算的)被测值的标准仪器。原则上，在测量中，由这些仪器产生的误差与待定误差相比，应该可以忽略不计。

当这些仪器的误差不能忽略时，要应用下述原则，以保证制造厂不致于把超差的仪器发出，同时用户不致于把不超差的仪器退回。

如果，对于一个给定的性能特性，规定的允许误差为 $\pm e$，而相应的试验方法误差为 $\pm n$；则制造厂的误差极限应为 $\pm(e-n)$，而用户的误差极限应为 $\pm(e+n)$。

相对于 e 而言，n 值应尽可能地小。当 n 与 e 的比值趋近于 1 时，必须要在极精确试验方法(而且有时也是不方便的)所带来的高代价与准确度有疑义的被试仪器之间作些折衷。否则，制造厂的可能合格的仪器不能出厂，或者用户可能接受事实上不符合要求的仪器。

$n:e$ 的比值最好能达到 1:10，这样，通常就可以忽略 n。由于代价高或者由于现有可以应用的技术的局限性，1:10 的比例要求太高，常常是不切实际的；而 1:4，1:3 或者 1:2 常常是所能达到的比值。

- 本测试方法中还使用下述一般定义

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 8-4　要求的额定数值

影响量	基准条件			额定条件
	基准数值	公差		数值的额定范围
		I①	G②	
源电压	标称值	±1%	±3%	交流输入： 标称值的90%～110% 直流输入： 标称值的85%～115%
源频率	标称值	±1%	±1%	标称值的98%～102%
输出电流 （恒压源）	标称值或额定范围最大值	±1%	±2%	标称值的 0%～100% 或额定范围
输出电压 （恒流源）	标称值或额定范围最大值	±1%	±2%	标称值的 0%～100% 或额定范围
负载功率因数	$\cos\varphi = 0.95$	±0.05	±0.05	额定范围 0.9～1
负载阻抗的不平衡 （多相输出）	负载阻抗的恒定值 （幅值和相位）	2%	10%	负载阻抗标称值的20%
输出频率 （稳频）	额定值	不适用	±1%	额定值或额定范围
环境温度℃	20、23、25、27	±1	±3	0～40
冷却媒质温度 （当与环境温度不同时）	标称值	±3℃	±5℃	空气冷却 ≤35℃ 水冷却 ≤25℃
冷却媒质流量 （强迫冷却）	标称值	±10%	+50% −10%	降到标称值的90%
输出电压 （恒压源）	标称值或额定范围最大值	不适用	±2%	标称值的 0%～100% 或额定范围
输出电流 （恒流源）	标称值或额定范围最大值	不适用	±2%	标称值的 0%～100% 或额定范围

稳定电源的性能特性： 用变化的影响量对稳定输出量的作用这一术语来确定的。所有其它的影响量保持恒定或保持它们积累效应的量值小于被测效应规定量值的 1/10 内，因而对稳定输出量的积累影响可以忽略不计。

组合误差极限： 由仪表准确度和杂散影响积累效应组成，应将其视为是每次测量在准确度方面的极限公差。当测量的目的是确定数值或规范时，则所得的数值必须考虑到累计误差与该公差相等时的不确定程度。当测量的目的用于验证时，如累计误差等于公差，但不超出规定的极限，则认为该数值验证合格。

标称值： 指仅名义上存在的数值，并非是实际数值。例如：在电源具有校准输出控制的情况下，其标称输出则为控制调节所指示的数值。对具有固定输出的电源而言，其标称输出则为名牌

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 8-5 任选额定数据③

影响量	基准条件			额定条件
	基准数值	公差		数值的额定范围
		I	G	
源电压总失真	交流输入: 3% 的相对谐波含量	+0% −3%	+3% −3%	交流输入: 总的谐波含量≤10%
	直流输入: 峰-峰纹波 10%	+0% −10%	+0% −10%	直流输入: 纹波峰-峰≤20%
电压不平衡	1%	—	—	3%
相对湿度	60%	±15%	+20 −40%	20%～80%
大气压力	101kPa	±5kPa	+5kPa −15kPa	86kPa～106kPa
源频率上磁场强度	到 1A/m	—	—	0A/m～100A/m
振　动				
冲击: 峰值加速度和冲击脉冲持续时间的乘积	0.1m/s	—	—	0.2m/s

上所标明的输出。对交流输入电压而言，其标称值通常指设计中心值。例如 220V±10% 的电压标称值为 220V。在远程控制情况下，其标称值则为远控系数所预示的输出值。

额定值：对电源的一个规定的工作条件所指定的量值。

范围：是两个极限之间的区域，用所考虑的量的上、下极限值来表示。它可用于性能特性、影响量等。

性能：完成电源的预期功能的程度。

性能特性：给仪器规定的一个量，以便用它的数值、公差、范围等定义仪器的性能。根据不同的应用，手册中同一个量，可以是性能特性，可以是被测量，也可以是影响量

影响量：不是测量的对象，但影响被测量电源或测量仪器的指示值。它可以是电源内部的，也可以是电源外部的。当在测量范围内调节一个性能特性时，可能会影响另一个性能特性的误差，前者称为后者的内部影响量。一个被测量或它的参数可以起影响量的作用，如电源上的电压表，所测的电压值由于非线性可以产生附加的误差。

基准值：基准工作条件的一组影响量中一个量的规定值。基准值带有公差。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 8-6　测量用稳定电源装置的基准条件

影响量或影响特性		基准条件	基准值的公差
环境温度℃		基准温度④ 20、23、25、27	装置的输入功耗： ≤50W ±1℃ >50W ±2℃
大气压力		101.3kN/m²(760mm 汞柱)	
空气的相对湿度		45%～75%	
输入	电　压	额定电压或在基准范围内的任何电压	有效值的±10%
	交流电压波形	正弦⑤	包络失真的极限 $\beta \leqslant 0.05$⑤⑥
	直流电压波纹	零	$\frac{\text{峰-峰值波纹电压}}{\text{平均输入电压}} \leqslant 5\%$
	源阻抗	产生 1.5%⑦的电压降	电压降的极限范围1～2%
	频率	额定频率或基准范围内的任何频率	≤200Hz ±1% >200Hz ±2%
输出	电压 电流	最高额定电压 最大额定电流	±1% ±1%
	频率	额定频率或基准范围内的任何频率	±1%　≤200Hz ±2%　>200Hz
	功率因数	$\cos\varphi = 1$	
	负载时间常数	零	只限电阻性负载
位　置		说明书手册中所规定的正常位置	
通　风		按说明书中规定	
外磁场		难以测量	地球磁场
其他影响 如振动、灰尘等		难以测量	可忽略的值

注：① 适用于确定固有误差的公差。
② 适用于一般情况的公差。
③ 特殊的任选额定数值可由制造厂与用户协商。
④ 未指明时为 20℃。
⑤ 失真波形处在由 Y_1 与 Y_2 所构成的包络内，β 为失真因子。$Y_1 = A(1+\beta)\sin\omega t$，$Y_2 = A(1+\beta)\sin\omega t$，必须在不接电源装置时测量失真值。
⑥ 对于交流电源，作为附加要求，输入波形失真系数小于 5%。
⑦ 当接有额定负载的电源装置接到交流供电电源时，在测量时使用有效值。当电源装置形成对电网电源的脉冲负载时，则制造厂与用户之间需要制定专门协议。

基准范围：基准工作条件的一组影响量中一个量的规定范围。

基准工作条件：一组带公差的基准值和基准范围的影响量的集合，在此条件下确定固有误差。

工作范围：指单一影响量的数值范围，它构成额定工作条件的一部分。在概念上与名义使用范围及额定使用范围类同。

测量范围：被测量的一组数值，在此范围内测量仪器的误差应在规定的极限之内。一个电源

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

可以有几个测量范围。它可以小于指定的数值范围。过去它被认为是影响范围。

额定(工作)条件： 是性能特性的测量范围与影响量的工作范围的集合，在此条件内，确定仪器的变动量或工作误差。

约定真值： 足够地接近一个量的真值的值从实际使用它的目的来考虑，它与真值的差可以忽略不计。通常借助于某些方法以及使用适当精度的仪器来确定一个量的约定真值。为了简化，在一般情况下可以把约定真值叫作"真值"。

绝对误差： 测量仪器的指示值减去被测量的(约定)真值。

相对误差： 绝对误差与约定真值之比。

固有误差： 在基准(工作)条件下测得的仪器的误差。

工作误差： 在额定(工作)条件内任一点上测得或求得的某性能特性的误差。在影响量的工作范围内，诸影响量数值的某些组合点上，会有工作误差的极大值。

误差极限： 制造厂对工作在规定条件下的电源的被测量所规定的误差的两个极值。如果某些电源有特定标准，应根据该标准规定性能特性的误差极限。

测量仪表： 测量仪表应具有足够的分辨力、稳定度和准确度，以保证误差极限不超过所测效应规范的10%，对于某一种试验，应提供充分的测量和监视，以保证按试验条件进行。

试验数据组： 由于可以改变输出的稳定电源要承受负载及其它影响量的变化，因而，必须进行重复试验，以获得与输出量和重要影响量的可能组合相对应的一组数据。对各个试验程序，应采用一套最少的试验方法去获得极限情况下的数据，必要时可以有选择地进行接近数据点的附加试验，以获得更多的数据。

时间分隔： 瞬变影响量的响应输出量分为三个阶段：瞬变期，稳态期及安稳期。

瞬态期的特征是幅度和时间测量受变化过程的速率影响。

稳态期通常是在许多试验中测量其响应特性。

安稳期是描述随着工作条件的变化已与周围环境重新建立系统平衡，通常在已改变了消耗，需要建立新的平衡时观测到。

由于瞬态效应的测量与稳态效应的测量完全不同，并且所有瞬态效应是相似的，单独的瞬态效应不应包括在稳态测量之中。

1. 输入电压

input voltage

对电源的一个规定的工作条件所指定的从输入端所取得的电压值。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图8-1。

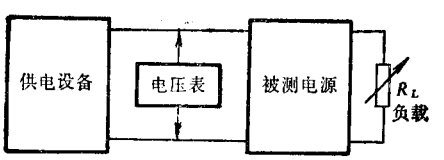


图 8-1

(2) 测试说明和要求

① 供电设备的输出电压及特性（如频率、纹波、失真、输出阻抗等)应符合规定要求。

② 所使用的电压表的精度、量程、频率范围、失真、分辨力等应符合输入电压测量及电源技术指标的要求。

(3) 测试步骤

① 将被测电源及负载等置于基准条件的上限，此时调节输入端电压往两端变化，除输入

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电压之外，在保证电源的其它技术指标符合规定要求时，从电压表上读出输入电压变化的上下极值。

② 将被测电源及负载等置于基准条件的下限，此时调节输入端电压往两端变化，除输入电压之外，在保证电源的其它技术指标符合规定要求时，从电压表上读出输入电压变化的上下极限。

③ 两次所读出的输入电压值中最高值及最低值即为被测电源的输入电压值，其分别与规定输入电压上下极值之差即为输入电压的固有误差。所测的输入电压上下极值应优于规定的输入电压上下极值。

④ 用同样方法，将被测电源及负载分别置于额定条件的上限及下限，所测出的输入电压极值分别与规定的输入电压极值之差，即为该电源的工作误差。

(4) 技术要求：应保证被测电源其它条件处在规定的条件之内，当被测电源技术指标较多时应尽可能选择较少的组合次数，得出最能说明其水平的输入电压极限值。为保证稳定输出量及其它量在规定的指标要求之内，应根据不同类的电源，选用不同的监测仪器。

2. 额定源电压

rated source voltage

对电源工作在规定的额定条件下所指定的输入电压的量值。它往往用标称值±公差来表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 8-2。

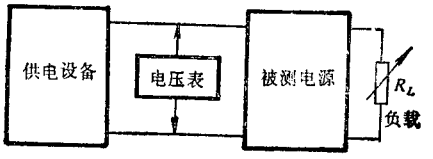


图　8-2

(2) 测试说明和要求

① 被测电源及其负载置于规定的额定条件。

② 供电设备输出的电压及特性应符合规定要求。

(3) 测试步骤

① 分别将输入电压置于额定源电压上限、下限。

② 将被测电源输出量置于规定额定条件的上限、下限，观察各指标应符合要求。

(4) 技术要求：应保证输出满足上下额定(工作)条件。

3. 输入功率 P

input power

对电源的一个规定的工作条件的极限值时所指定的从输入端所取得的最大有功功率。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 8-3、图 8-4、图 8-5。

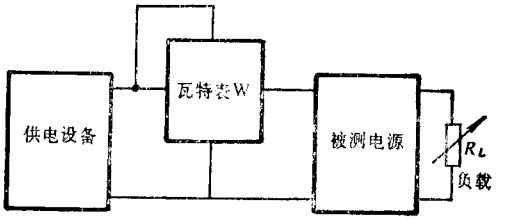


图　8-3

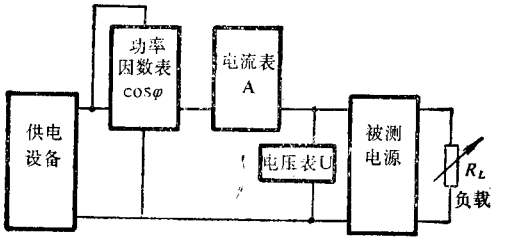


图　8-4

(2) 测试说明和要求

① 对于小功率交流输入电源可用图 8-3、图 8-4；对于大功率交流输入电源可用图 8-4；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

对于直流输入电源可用图 8-5。

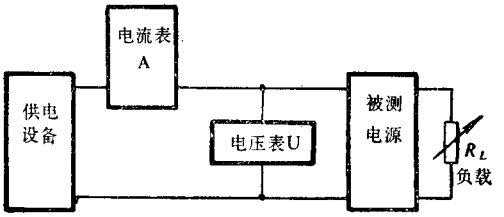


图 8-5

② 图中所用各表应符合被测输入功率输入电压、相位、准确度等的要求，如瓦特表的 $\cos\varphi=1$，$\cos\varphi$ 表的量程应能从 0～1。

③ 供电设备的输出功率等应符合规定要求。

(3) 测试步骤

① 将被测电源及负载等置于额定条件的上限，输入电压置于工作范围上限。

② 按图 8-3 读出瓦特表读数即为输入功率。

③ 按图 8-4 读出功率因数 $\cos\varphi$，输入电流安培 I，输入电压伏特 V，输入功率

$$P=VI\cos\varphi$$

④ 按图 8-5，读出输入电压 V，输入电流 I，输入功率 $P=VI$。

(4) 技术要求：应尽可能测出被测电源在额定条件之内(包括上下极值)时最大的输入功率。

4. 空载输入功率 P_0

input power at no load

对电源不接负载的一个规定条件所指定的从输入端所取得的最大输入功率。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 8-6、图 8-7。

(2) 测试说明和要求

① 对于空载输入功率小的可用图 8-6，对于空载输入功率大的交流电源可用图 8-7。

② 图中所用各表应符合被测空载输入功率的要求

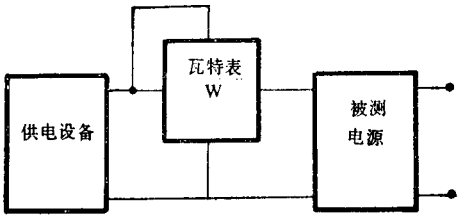


图 8-6

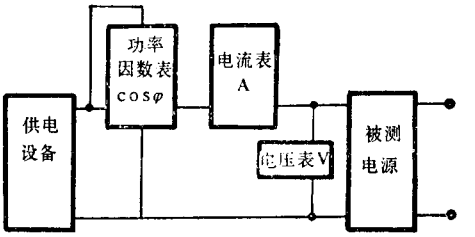


图 8-7

(3) 测试步骤

① 被测电源不接负载，其它项目置于额定条件的上限，输入电压也置于工作范围上限。

② 按图 8-6 读出瓦特表W读数即为空载输入功率。

③ 按图 8-7 读出功率因数 $\cos\varphi$，输入电流 I，输入电压 V，空载输入功率 $P_0=VI\cos\varphi$。

(4) 技术要求：应尽可能测出额定条件之内最大的空载输入功率 P_0。

5. 输入频率

input frequency

对电源的一个规定的工作条件所指定的对

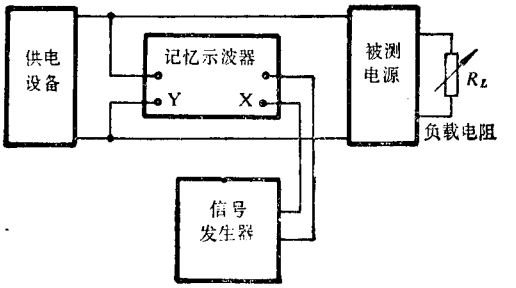


图 8-8

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

输入端所要求的频率值。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 8-8、图 8-9。

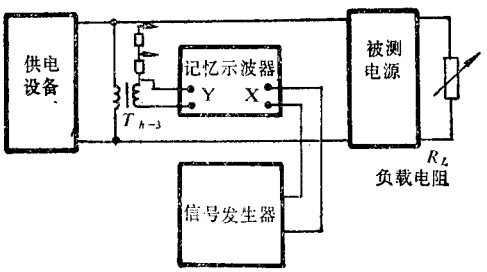


图　8-9

（2）测试说明和要求

① 供电设备的频率特性应符合规定要求。

② 测量频率可采用频率计，通用示波器，此处推荐采用记忆示波器，原因如下：下面测量瞬态特性（如开关机过冲等）需要用记忆示波器；通过示波器可以观察输入频率等许多波形特性，可以达到一机多用的目的。

③ 为保证被测电源输出量及其它量在规定技术指标内，应根据不同电源，选用不同的监测仪器。

④ 对于强电输入设备，建议按图 8-9 方法，图中 T_{h-3} 为自制的一个高保真度、高耐压、高绝缘的 T_{h-3} 隔离变压器，在失真以及许多瞬态性能测试中将用到它。它的作用有三，将强电输入电压降到测量仪器可以接受的电压范围（一般 1～3V），由于测量中经常换接连接头，弱电连接对人身起了安全保障作用；将强电的相线、中线、地线同测量仪器的输入端（其中一端一般仪器都连接到机壳上）隔离开，不使其因连接错误使机壳带电而造成测量事故；同时，对输入源电压的波形应高保真不应产生有害的失真，否则在测量源失真时就会产生附加误差。

（3）测试步骤

① 将被测电源及负载等置于基准条件的上限，此时调节输入端源频率往两端变化，除输入频率之外，在保证电源的其它技术指标符合规定要求时，读出输入频率变化的上下极值。

（a）从频率计上可以直接读出频率。

（b）从示波器上读出被测信号的周期 T，输入频率 $f=\frac{1}{T}$。

（c）利用李沙育图形直接从信号发生器上读出输入频率。

② 将被测电源及负载等置于基准条件的下限，此时调节输入端源频率往两端变化，除输入频率之外，在保证电源的其它技术指标符合规定要求时，读出输入频率变化的上下极值。

③ 两次所读出的输入频率值中最高值及最低值即为被测电源的输入频率值，其分别与规定输入频率之差即为被测电源输入频率的固有误差。所测的输入频率上下极值应优于规定的输入频率上下值。

④ 用同样方法，将被测电源及负载分别置于额定条件的上限及下限，所测出的输入频率极值分别与规定的输入频率极值之差即为被测电源的输入频率工作误差。

（4）技术要求

① 应保证被测电源其它条件处在规定的条件之内，当被测电源技术指标较多时，应尽可能选择较少的组合次数，得出最能说明其水平的输入频率极限值。

② 一般电源输入都是交流 220V，也有交流 380V 输入的，甚至有更高输入电压的，在测量中要特别注意相线、中线及地线接法正确，以免出现测量事故。

6. 额定源频率

rated source frequency

对电源工作在规定的额定条件下所指定的输入频率的量值，它往往用标称值±公差来表示。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 8-10。

（2）测试说明和要求

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

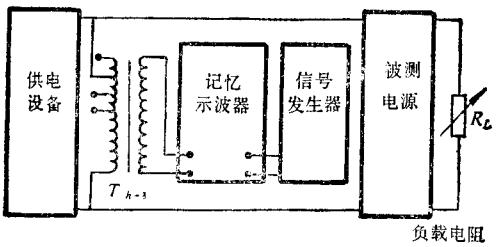


图 8-10

① 供电设备的频率特性应符合规定要求。

② 测量频率可采用频率计、通用示波器，此处推荐采用记忆示波器。原因如下：在测量瞬态特性(如开关机过冲等)时需要用记忆示波器；通过示波器可以观察输入频率等许多波形特征，可以达到一机多用的目的。

③ 为保证被测电源输出量及其它量在规定指标内，应根据不同电源，选用不同的监测仪器

④对于强电输入设备需按图8-10中加T_{h-3}高保真、高耐压、高绝缘的隔离变压器，它在保证高保真降压的同时，将强电输入电压降到测量仪器可以接受的 1～3V 电压范围，并起到了防止误连接而使测量仪器机壳带强电并危及测量设备及人身安全的保障作用，同时将输入强电的相线、中线、地线同测量仪器的输入端隔离开。

(3) 测试步骤

① 分别将输入频率置额定源频率的上限或下限。

② 将被测电源输出量置于规定的额定条件上限、下限，观察各指标应符合要求。

(4) 技术要求：应保证输出满足额定条件上下限的要求。当被测电源技术指标较多时，应尽可能选择较少的组合次数，得出最能说明其水平的额定源频率上下极限值。测量时要注意相线、中线及地线接法正确，以免出现测量事故。

7. 输入交流相数

input AC number of phases

对电源的一个规定的工作条件所指定的对输入端所要求的输入交流信号的相的个数；通常为单相及三相两种。

测试方法：

从输入端测量具有同一频率并各相差一恒定相位差的相线数（即平常说的火线）即可知道；对单相供电设备则只有一根供电能的相线，一根不供电能的中线和一根地线。相线与中线间电压在我国为 220V~。三相供电设备则有三根供电能的相线，一根不供电能的中线和一根地线；相线与相线间电压相差 120° 角，它们间电压为 380V~，相线与中线间电压仍为 220V~。

8. 输入波形

input waveform

对电源的一个规定的工作条件所指定的对输入端所要求的输入源信号的波形。通常为正弦及直流两种。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 8-11。

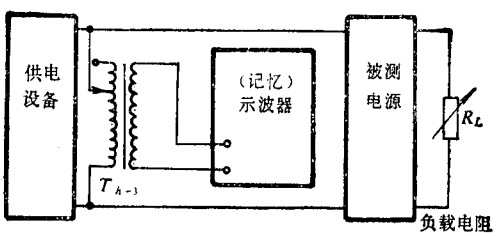


图 8-11

(2) 测试说明和要求

① 供电设备的输出信号及特性不应因被测电源的负载变化而改变，换言之，它应有足够的功率容量。

② 为保证稳定输出量及其它量在规定指标之内，应根据不同的电源选用不同的监测仪器。

(3) 测试步骤

① 将被测电源置于规定条件的上限、下

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

限。

② 观测规定输入波形的变化对被测电源的输出量的指标影响是否在规定范围之内。

(4) 技术要求：该测量中波形应与波形失真、谐波成份(或直流电源的纹波)一同测量。

9. 效率　η

efficiency

总输出功率对输入有功功率之比。一般以典型值给出，如果与负载成函数关系也可以提供曲线图。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 8-12、图 8-13。

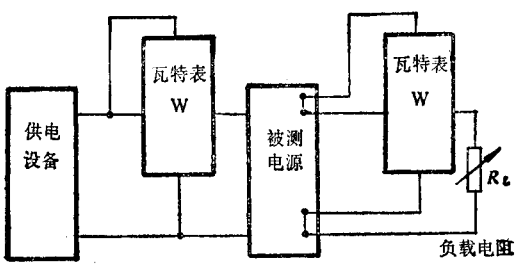


图　8-12

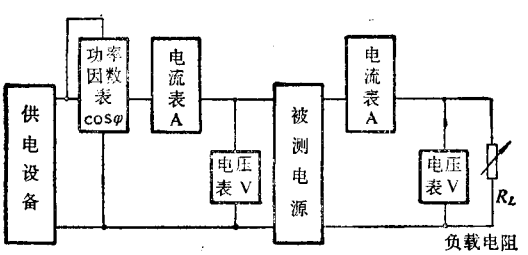


图　8-13

(2) 测试说明和要求

① 供电设备的输出电压及特性应符合规定要求。

② 对于小功率电源可用图 8-12；对于大功率电源可用图 8-13。当输出为交流正弦时应接入 $\cos\phi$ 表。

③ 图中所用各表应符合被测电源输入功率、输出功率测量的要求。

④ 对某些输出特定波形的电源其输出功率按有关要求进行测量或计算。

(3) 测试步骤

① 将被测电源及负载等置于额定条件上限，输入电压置于标称值。

② 按图 8-12 读出输出功率 $P_{出}$，输入功率 $P_{入}$，效率 $\eta=\frac{P_{出}}{P_{入}}\times 100\%$。

③ 按图 8-13 读出输入端功率因数 $\cos\varphi$，电流 $I_{入}$，电压 $V_{入}$，输出端电流 $I_{出}$，电压 $V_{出}$，效率 $\eta=\frac{I_{出}\times V_{出}}{I_{入}V_{入}\cos\varphi}\times 100\%$。

当输出为交流正弦电压时，效率

$$\eta=\frac{I_{出}\times V_{出}\times\cos\phi_{出}}{I_{入}V_{入}\cos\phi}$$

④ 对效率与负载成函数关系的则可以逐步改变负载，求出各点的效率并绘成曲线。

(4) 技术要求：应尽可能测得被测电源的典型效率，也可以用负载最大时的效率和半载时的效率的算术平均值作为平均效率。

10. 输出电压范围

output voltage range

对电源的一个规定的工作条件所能输出电压的上下极限值之间的区域。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 8-14。

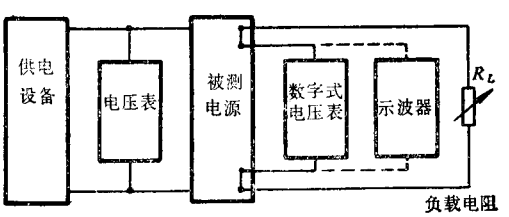


图　8-14

(2) 测试说明和要求

① 供电设备的输出电压及特性应符合规定要求，并能在规定范围内改变。

② 所使用的电压表的精度、量程、频率范围等应符合输入电压及测量输出电压的要求(如正弦电压、直流电压、脉冲电压、阶梯电压，有效值、峰-峰值等)。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

③ 当输出为脉冲电压并要求有规定波形时，应用示波器测量，该示波器频率范围等应符合输出电压的要求。

④ 为保证稳定输出量及其它量在规定指标之内，应根据不同电源选用不同监测仪器。

(3) 测试步骤

① 将被测电源的输入电压置于基准条件的上限，负载电流分别置于最大及最小，除电压外其它量置于最大或最小，调节输出电压，在保证符合技术指标要求时，读出最大及最小输出电压。

② 用同样方法将除输出电压、电流之外的其它量置于基准条件的下限，将负载电流分别置于最大及最小值，在保证符合技术指标要求时，读出最大及最小输出电压值。

③ 两次测量中所读出的最大输出电压中的最小值，与最小输出电压中的最大值即为被测电源在基准条件下的输出电压范围，它们与规定的输出电压上下限极值之差即为固有误差。

④ 用上述 ①～③ 项方法在额定条件下测出被测电源的输出电压范围以及工作误差。

(4) 技术要求：应保证被测电源其它条件处在规定的条件之内，当被测电源技术指标较多时，应尽可能选择较少的组合次数得出最能说明其水平的输出电压极限值。

11. 额定输出电压

rated output voltage

对电源工作在规定的额定条件下所能输出电压的量值，通常用标称值±公差来表示。

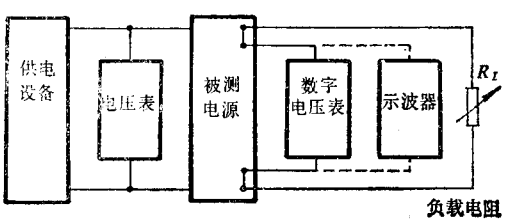


图 8-15

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 8-15。

(2) 测试说明和要求

① 供电设备的输出电压及特性应能在规定范围内变化，并符合规定要求。

② 所使用的电压表、数字式电压表、示波器的量程、分辨力、精度、失真度等应符合输入电压及输出电压测量的要求(如正弦、直流、方波、脉冲、有效值、峰-峰值等)。

③ 为保证稳定输出量及其它量在规定指标之内，应根据不同电源选用不同监测仪器。

④ 当输出为脉冲电压并要求有规定波形时，应用示波器测量，该示波器频率范围应符合输出电压的要求。

(3) 测试步骤

① 除负载电流外，将其它量置于额定条件上限，此时改变负载电流在最大与最小值之间变化，在保证符合技术指标要求时，读出输出电压最大与最小值。

② 除负载电流外，将其它量置于额定条件下限，此时，改变负载电流在最大与最小值之间变化，在保证符合技术指标要求时，读输出电压最大与最小值。

③ 对输出电压影响较大的其它影响量(如负载功率因数输入频率等)按上述 ①～② 项方法得出输出电压最大与最小值。

④ 上述 3 次测量中所读出的最大值与最小值同标称值之差即为被测电源额定输出电压公差；其测出的额定输出电压应优于规定的额定输出电压（即所测出的最大值与最小值应在规定的额定输出电压上下极值之内）。

(4) 技术要求：应保证被测电源其它条件处在额定条件极值内，当被测电源技术指标较多时，应尽可能选择较少的组合次数，得出最能说明其水平的额定输出电压。

12. 输出电流范围

output current range

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

对电源的一个规定的工作条件所能输出电流的上下极限值之间的区域。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 8-16。

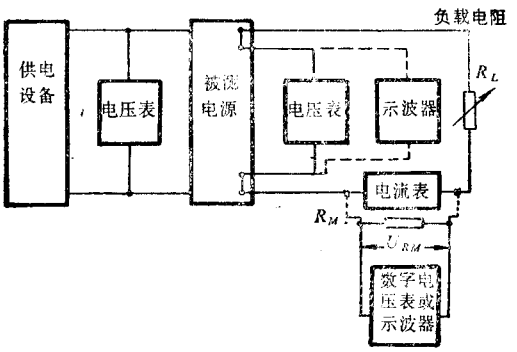


图　8-16

（2）测试说明和要求

① 供电设备的输出电压及特性应符合规定要求，并能在规定范围内改变。

② 所使用电压表、示波器、数字电压表的准确度、量程、频率范围、失真度等应符合输入电压、输出电流测量的要求（如正弦电流、直流电流、脉冲电流、阶梯电流，有效值、峰-峰值等）。

③ 当输出为脉冲电流并要求有规定波形时，应用示波器测量，该示波器幅度及频率范围等应符合输出电流的要求。

④ 为保证稳定输出量及其它量在规定的指标之内，应根据不同的电源，选用不同的监测仪器。

⑤ 当输出电流过大或无大电流表时，或是输出为脉冲电流时，建议接入电阻 R_M，采用读出 R_M 上的电压值，换算出电流值：

$$输出电流 = \frac{V_{RM}}{R_M}$$

⑥ R_M 为四端电阻监流器，其上电压读数与电流成正比，其上最小电压降要符合 10% 误差极限，在测量电流中所产生的误差可以忽略不计。同时它应为非电抗性，其阻抗在 20Hz ～ 10MHz 的频率范围内基本上恒定，10MHz 时的阻抗与 20Hz 的阻抗之差应小于直流电阻 1%，否则，其测试数据必须用频率修正。其功率容量应足够大，温度系数要足够小，以使其电阻阻值不受电流大小的影响，以及因流过电流而发热的影响，必要时应校正其测量电流条件下的阻值并在计算结果时扣除其影响。

⑦ 为保证稳定输出量及其它量在规定的指标之内，应根据不同的电源，选用不同的监测仪器。

（3）测试步骤

① 将被测电源的输入电压置于基准条件的上限，负载电压分别置于最大及最小，除电流外其它量置于最大或最小。调节输出电流，在保证符合技术指标要求时，读出最大及最小输出电流（或计算出——当用 R_M 时）。

② 将被测电源的输入电压置于基准条件的下限，负载电压分别置于最大及最小，除电流外，其它量置于最大或最小。调节输出电流，在保证符合技术指标要求时，读出最大及最小输出电流（或或计算出——当用 R_M 时）。

③ 对输出电流影响较大的其它影响量按上述 ①～② 项方法得出输出电流最大与最小值。

④ 上述 3 次测量中读出的最大输出电流中的最小值，最小输出电流中的最大值，即为被测电源在基准条件下的输出电流范围，它们与规定的输出电流上下限极值之差即为固有误差。

⑤ 用上述 ①～④ 项方法，在额定条件下测出被测电源的输出电流范围以及工作误差。

（4）技术要求：应保证被测电源其它条件处在规定的条件之内，当被测电源技术指标较多时，应尽可能选择较少的组合次数，得出最能说明其水平的输出电流极限值。

13. 输出功率范围

output power range

对电源的一个规定的工作条件所能输出功

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

率的上下极限值之间的区域。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 8-17、图 8-18。

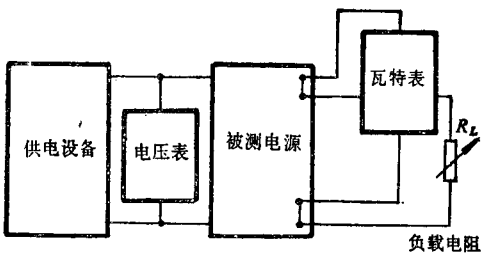


图 8-17

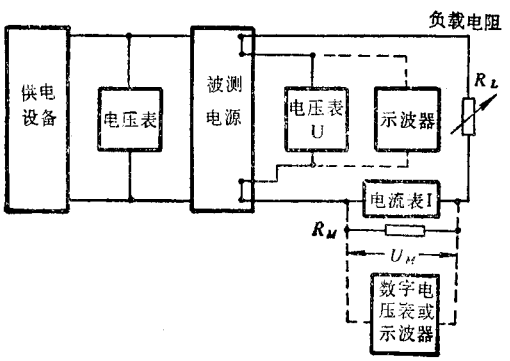


图 8-18

（2）测试说明和要求

① 供电设备的输出及特性应符合规定要求，并能在规定范围内改变。

② 对于小功率电源可用图 8-17，对于大功率电源及脉冲电源可用图 8-18 中实线或虚线部分，此时输出功率

$$P = UI = U \cdot \frac{U_{RM}}{R_M}。$$

③ 图中所用各表应符合被测功率范围的要求。

④ 对输出特定波形的电源，其输出功率按有关要求进行测量和计算。

⑤ 为保证稳定输出量及其它量在规定指标之内，应根据不同的被测电源的技术指标要求，选用不同的监测仪器

（3）测试步骤

① 除输出电压与电流外，将输入电压以及被测电源其它量置于基准条件上限，将输出电压与电流同时置于最小值，然后置于最大值，在保证电源技术指标符合规定要求时，读出最小功率值和最大功率值。

② 除输出电压与电流外，将输入电压以及被测电源其它量置于基准条件下限，将输出电压与电流同时置于最大值，然后置于最大值，在保证电源技术指标符合规定要求时，读出最小功率值和最大功率值。

③ 对输出功率影响较大的其它影响量按上述 ①～② 项方法测出输出功率的最大与最小值。

④ 3 次所测出输出功率最大值中的最低值，最小值中的最高值，即为被测电源的输出功率，其与规定输出功率上下极值之差即为被测电源输出功率的固有误差。

⑤ 按上述 ①～④ 项方法，将输入电压以及其它量置于额定条件的上限与下限，测出被测电源的输出功率上下极值，它们与规定的输出功率上下极值之差即为输出功率的工作误差。

（4）技术要求：应保证被测电源的其它条件处在规定的条件之内，当影响输出功率的指标较多时，应尽可能选择较少的组合次数，得出最能说明其水平的输出功率极限值。

14. 负载效应

load effect

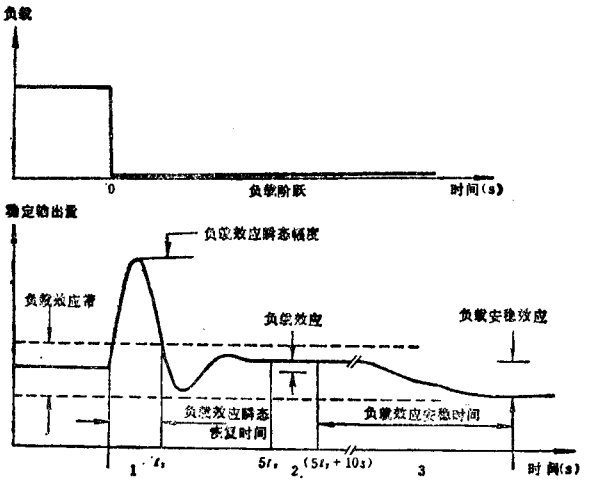
指仅由于负载的变化而引起稳定输出量的变化量的测量。所有其它影响量应维持在其积累影响小于负载效应规范的 1/10。稳态负载效应约在时间等于 5 倍负载效应瞬态恢复时间时出现，并在 $5t_r \sim (5t_r + 10s)$ 的时间间隔内测量（见图 8-19）。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 8-20、图 8-21。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



注： 图中文字符号　1—负载效应瞬态　2—负载效应　3—负载安稳效应

图 8-19　负载阶跃变化后的三种时间分隔输出效应

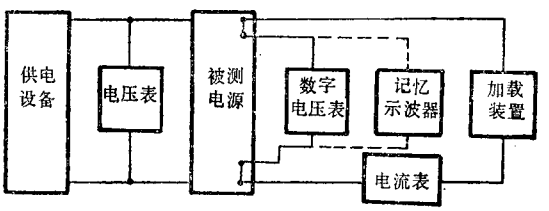


图　8-20

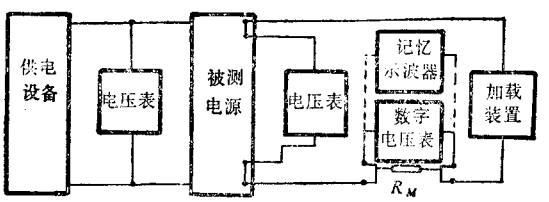


图　8-21

(2) 测试说明和要求

① 未说明的影响量应置于规定值。

② 源电压分别置于最小额定值、最大额定值。

③ 当稳定输出量为可调时，应在最大额定值、最小额定值两点上进行测量，如最小值为零，则在最大值的1%上进行测量。

④ 负载电流或负载电压是可变影响量，应在额定范围和负载效应规定的其它范围内变化。

⑤ 对每一路输出都要进行一系列负载效应测量，此时所有其它输出同时置于最小值，然后置于最大值，并在负载置于最小和最大值的情况下进行。

⑥ 对仪器的要求

检测稳定输出量数值变化的仪器，在注意到避免超出仪表的共模额定值的情况下，推荐使用差动式仪表或平衡装置，以便观测到大的稳态量的微小变化。

电源的加载装置应能在所需要的负载范围内变化。并在有条件时可以阶跃变化，推荐采用电子负载。

稳流电源的测量应采用一合适的监流器，建议选用四端电阻器（或其它类型的电流传感器），四端电阻器上的最小电压降要符合10%误差极限。

对不加载就不能工作的电源，电源接通前，必须确保对输出端施加一固定安全的最小负载。

⑦ 对输出为方波或非正弦波的电源采用图中示波器或脉冲电压表。

⑧ 所使用仪器量程、准确度应满足测量要求。

(3) 测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 稳压电源

按图 8-20 将负载和测量仪表连接到电源的输出端，应注意通过负载引出的电流对测量电压引入的误差可以忽略不计。

实际上，采用四端连接，这种方法可使传输负载电流的任何导线或部件不包括在监测线路内。

负载效应测量时应使负载电流在额定范围内或规定范围内变化。

随着负载变化，在 $5t_\tau \sim (5t_\tau + 10s)$ 这一时间间隔测量稳定输出电压的幅值变化。负载电流应由最小值变化至最大值，然后由最大值变化至最小值，分别记录每一方向的数值。重复测量源电压和输出调节的每一种组合，即可获得试验数据组。取其中一对数据变化最大者即为该稳压电源的负载效应。

② 稳流电源

按图 8-21 接入监流器，其读数与电流成比例。接上负载，使监流器两端的电压降在测量电流中所产生的误差可以忽略不计。

测量负载效应时，负载电压在整个额定范围或规定范围内变化。随着负载变化，在 $5t_\tau \sim (5t_\tau + 10s)$ 这一时间间隔中测量稳定输出电流的幅值变化。负载电压从最小值变化至最大值，然后由最大值变化至最小值。分别记录每一方向的数值。重复测量源电压和输出调节的每一种组合而获得试验数据。取其中一对数据变化最大者为被测稳流电源的负载效应。

③ 试验结果表示方法

负载效应可用最大输出的百分数表示。或者，对稳压源用“伏特”单位(或用分数)表示，对稳流源用“安培”单位(或用分数)表示。可变输出电源的负载效应可用百分数和绝对值两者表示。

④ 替代法，注意事项及误差分析

在测量稳压电源的负载效应时，应避免在负载电路中的测量点和电源输出端之间引入串联电阻。应注意安培表及引线的位置，避免引入这类串联电阻。设电阻 R_1 和 R_2 将视在负载效应测量降低 $I_e(R_1 + R_2)$，见图 8-22。

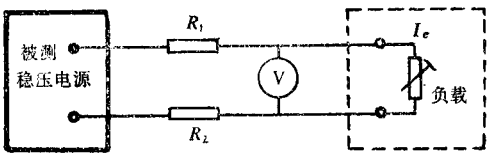


图 8-22 引线电阻对负载效应测量的影响

在测量稳流电源负载效应时，要避免测量点和电源输出端之间的负载两端跨接并联电导，要注意电压表及测量仪表的位置，避免引入这类并联电导，该电导 G_1 将视在负载效应测量降低 $G_1(E_e + R_M I_0)$，见图 8-23。

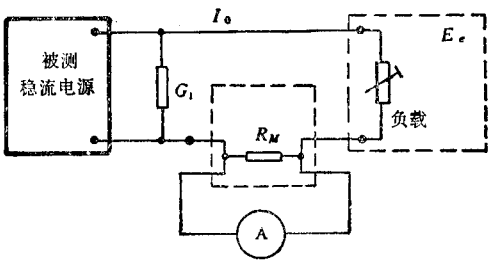


图 8-23 分路电导对负载效应测量的影响

在测量限压或限流或者是具有复合功能(交迭点)的电源时，要注意保证稳定输出量对源、输出或试验的负载条件的任何组合不受电源边界电路的限制。

在测量稳流电源负载效应时，由于测量电流在监流器 R_M 上的电压降，必然限制负载电压范围的数值。它将最小负载电压限制到一个非零的数值，所以在误差分析时必须考虑到这个仪表的极限。

如果电源单独提供“误差敏感”端子，则测量仪连接在这些端子上。

(4) 技术要求：应保证被测电源其它条件处在规定条件之内，当影响负载效应技术指标的项目较多时，应尽可能选择较少的组合次数得出最能说明其水平的负载效应值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

15. 源效应(源电压效应)

source (voltage) effect

指仅由于源电压变化引起稳定输出量的变化量的测量。所有其它影响量应维持在其积累影响小于源效应规范的 1/10。稳态源效应约在时间等于 5 倍源效应瞬态恢复时间时出现，并在 $5t_r$～($5t_r$ + 10s) 的时间间隔内测量。

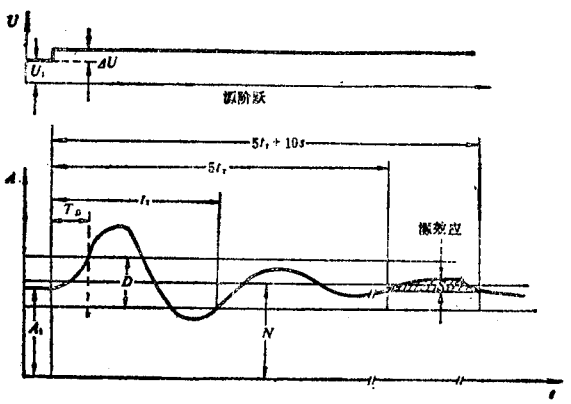


图 8-24　源阶跃变化后的瞬态特性

图中:

U_1 源标称值

ΔU 源阶跃变化量

A 稳定输出量

A_1 稳定输出量起始值

N 稳定输出量标称值

D 稳定输出量的公差带

T_D 瞬态延迟时间

t_r 瞬态恢复时间

s 源阶跃变化后稳定输出量在 $5t_r$～($5t_r$ + 10s) 的时间间隔内变化区域，其某一时刻读出值与稳定输出量的起始值之差构成了源效应。

测试方法:

(1) 测试方框图，见图 8-25、图 8-26。

(2) 测试说明和要求

① 阶跃供电设备应能够在规定的极限之间阶跃改变源电压的幅值，并应具有足够的额定值，以使电源在加载时不致引起源幅度明显的变化或失真，并且阶跃时不能产生断电现象。

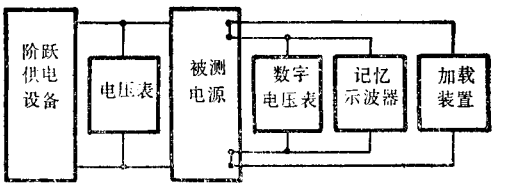


图 8-25

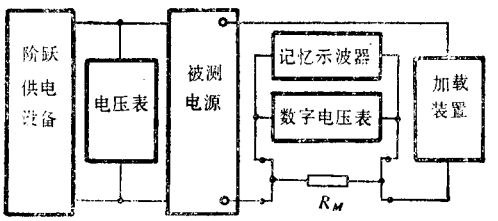


图 8-26

② 测量稳定输出量数值变化的设备，在注意到避免超出仪表的共模额定值的情况下，推荐使用差动式仪表或平衡装置，以便观测到大的稳态量的微小变化。

③ 稳定电源的测量应采用一合适的监流器，建议选用四端电阻器，电阻器上的最小电压降要符合 10% 误差极限。

④ 图 8-25 为稳压电源源效应测量框图。

图 8-26 为稳流电源源效应测量框图。

⑤ 为保证稳定输出量及其它量在规定指标之内，应根据不同被测电源的技术指标要求选用不同的监测仪器

⑥ 对强电压输出的电源应注意安全，可靠地进行测量，必要时可加 T_{h-1} 变压器等降压测量，以及同步触发测出瞬态恢复时间。

(3) 测试步骤

① 源电压是阶跃可变影响量，应在额定范围和源效应规定的其它范围内变化。

② 当稳定输出量可调时应在最大额定值、最小额定值两点上进行测量，如最小值为零，则应在最大值的 1% 上进行测量。

③ 对多路输出电源每一路都要进行一系列源效应的测量，此时其它各路输出同时置于

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

最小值，然后置于最大值，并将负载置于最小和最大值上进行测量。

④ 对稳压电源按图 8-25 进行测量，首先测出源阶跃后的瞬态恢复时间 t_r，要注意不同输出电压和负载时的瞬态恢复时间。然后使源电压阶跃变化，在 $5t_r \sim (5t_r + 10s)$ 的时间内，测量在不同输出电压与负载组合的源效应量值大小。当电源提供"误差敏感"端子时，则测量仪器连接在这些端子上。应注意通过负载引出的电流对测量电压引入的误差可以忽略不计。实际上采用四端连接法连接，再将电源连接到阶跃供电设备。

⑤ 对稳流电源按图 8-26 进行测量，监流器 R_M 上的电压(或指示)仅与电流成比例，它的两端电压降在测量电流中所产生的误差可以忽略不计。首先测出不同电流和负载组合下的源阶跃后的稳定输出电流的瞬态恢复时间，然后再测出不同电流和负载组合下源阶跃后，在 $5t_r \sim (5t_r + 10s)$ 内读出源效应的量值。一般首先考虑它们上限值与下限值的分别组合。

(4) 技术要求

① 应保证被测电源其它条件处在规定条件之内，测量固有误差时处在基准条件，测量工作误差时处在额定条件。

② 当被测电源技术指标较多时，应尽可能选择较少的组合次数，得出最能说明其水平的输出稳定量的源效应数值。

③ 在测量源效应时，由于规定在 $5t_r \sim (5t_r + 10s)$ 内读出，故应取其中源效应值最大者。

④ 在测量限压或限流或者是自动交迭功能的电源时，要注意保证稳定输出量对源、输出或试验的负载条件的任何组合不受电源边界电路的限制。

⑤ 用于测量稳流电源的监流器上的电压降，不可避免地限制了负载电压的范围的数值，它将最小负载电压限制到一个非零(或其它)值，在误差分析中应考虑到这个仪表的极限。

⑥ 如果被测电源与源连接是通过制造厂所提供的端子来实现的，则源电压应该在这个端子上测得，否则，其测量必须通过制造厂所提供或推荐用于电源上的电源软线末端来完成。

16. 温度效应

temperature effect

见温度系数。

17. 温度系数

temperature coefficient

稳定输出量跟随环境温度改变的一种稳态变化，在所有其它影响量均保持恒定时，环境温度单位变化时，稳定输出量的最大变化叫温度效应。每单位温度(通常 1℃)稳定输出量的最大稳态值的相对变化量称温度系数。

在温度改变后，随之存在两种时间可分隔的输出效应。

(1) 瞬态输出扰动与恢复 ($t_0 \sim t_1$ 时刻)

(2) 稳态温度效应 (t_2 时刻)

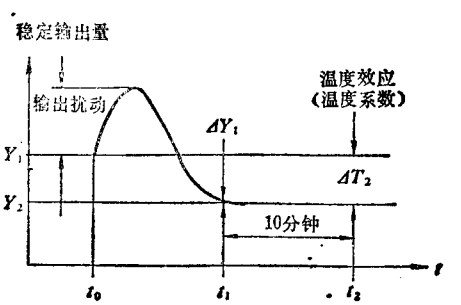


图 8-27

图中：

$t_2 = t_1 + 10$ 分钟；

$t_1 = (\Delta Y_1 \leqslant 0.05\Delta Y_2)$ 时的时间；

t_0 温度改变后稳定输出量开始变化的时间；

t_2 输出量值达到平衡时间，即从 $t_1 \sim t_2$ 合起来 10 分钟内稳定输出量的变化小于总变化 (ΔY_2) 的 5% 时，就认为达到了平衡。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 8-28、图 8-29。

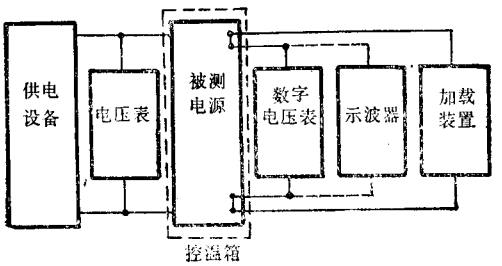


图 8-28

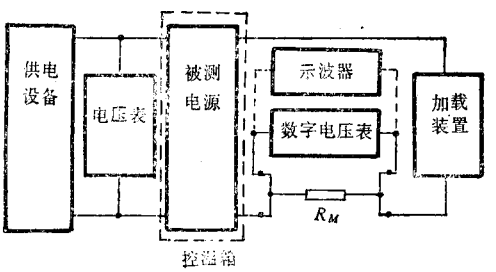


图 8-29

(2) 测试说明和要求

① 测量恒压源用图 8-28。

② 测量恒流源用图 8-29。

③ 供电设备的输出电压及特性应符合规定要求并能在规定范围内改变。

④ 控制环境温度的设备在规定的温度范围内以 10℃ 为增量变化，温度控制准确到1℃。

⑤ 检测稳定输出量的数值变化的仪器，应能确定它们自身达到热平衡的时间 (t_2)，并应有足够的分辨力、稳定度及准确度，而且能够连续读数，如纸带图表记录仪。测试仪器产生的误差与所有其它效应绝对量值相组合时，其误差组合极限不应超过温度效应(系数)规定10%的误差极限。

⑥ 稳流电源的测量，应使用四端电阻监流器，其上的最小电压降与不超过温度效应系数规范 10% 的误差极限一致。

⑦ 如因缺少设备和因被测电源的尺寸原因，在控温箱内加满载试验不可行时，则用尽量减少电源自身加热的加载方法进行试验。当采用这种方法时，试验报告必须注明。

⑧ 监流器 R_M 必须放在试验箱外。

⑨ 在高温测量时应细心按制造厂对热流量的要求操作，确保电源本机的温度在规定的范围内。

⑩ 应说明漂移扰动对温度系数测量所引起的误差。

⑪ 对输出脉冲幅度，可用示波器测量。

(3) 测试步骤

① 温度在本试验中为可变影响量，在规定范围内由最低规定温度以每 10℃ ± 1℃ 为阶梯，升到最高规定温度。然后仍以 10℃±1℃ 为阶梯由最高规定温度降到最低规定温度。如无其它规定，温度效应(系数)测量的整个范围等于被测电源的工作温度范围。在每个温度阶梯上都保持恒定在± 1℃ 范围内，直到输出量值达到平衡时为止(图 8-27 中 t_2 时刻)。当稳定输出量的变化合起来在 10 分钟这段时间内小于总变化的 5% 时，就认为达到了平衡。

② 当稳定输出量可调时，应在最大、最小额定值两点上进行温度效应(系数)测量，如最小值为零时，则应在最大值的 1% 上进行测量。

③ 负载置于最大额定值或电源加载时，应使自身发热为最小情况下进行测量。

④ 对多路输出电源负载全部加载至最大输出时进行或将全部输出加载到自身发热为最小的情况下进行温度效应(系数)测量。

⑤ 在稳定输出量两种调节下，上升温度和下降温度所测的数据构成了温度效应（温度系数)数据组。

⑥ 计算每一温度阶梯上 t_2 时刻测得的 Y_2 与 t_0 时刻测得的 Y_1 之差 ΔY_2，用单位温度内单位稳定输出量的最大变化值 ($\Delta Y/\Delta\theta = \Delta Y_2/10℃$) 表示时，该值即为温度效应。

⑦ 计算每一温度阶梯上 t_2 时刻测得的 Y_2 与 t_0 时刻测得的 Y_1 之差 ΔY_2，用单位温度内(通常 1℃)的最大百分率变化表示时，该表

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

示值即为温度系数。

$$\%/℃=\left(\frac{\Delta Y_2}{10\times Y_1}\times 100\right)\%/℃$$

⑧ 以所测各个温度阶梯上温度效应（系数）数据最大者作为被测电源的指标。

（4）技术要求

应保证被测电源除温度外，其它条件处在规定的条件之内。当被测电源技术指标较多时，应尽可能选择较少的组合次数测出最能说明其水平的温度效应及温度系数。

18. 周期和随机偏移（PARD）

Periodic And Random Deviation

PARD是测量电源稳定输出量中不规则的波动(以前称为纹波和噪声)。PARD包括20Hz～10MHz的频率范围内所发生的波动部分。20Hz以下的波动作为漂移，10MHz以上的波动不包括在内。

测试方法：

（1）测试方框图，见图8-30、图8-31。

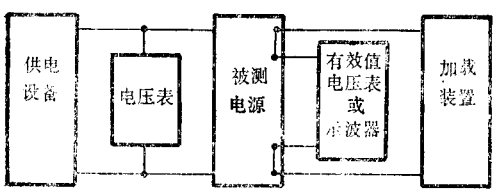


图 8-30

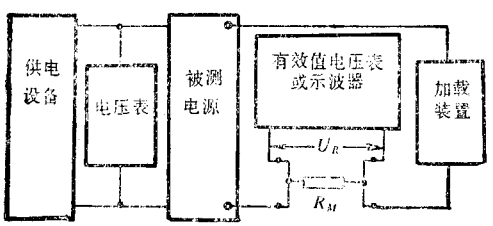


图 8-31

（2）测试说明和要求

① 供电设备应能提供足够的电压和频率的额定极限值，使电源在加载时不致引起源幅值明显的变化或失真。

② 测量恒压电源PARD用图8-30，当测量有效值PARD时用有效值电压表，其频率范围应为20Hz～10MHz，与测量PARD范围相一致，当测量峰-峰值PARD时用示波器或峰值电压表，其频率范围与PARD范围相一致。

③ 测量恒流源PARD时用图8-31，当测量有效值PARD时用有效值电压表，其频率范围应为20Hz～10MHz，与测量PARD范围相一致；当测量峰-峰值PARD时用示波器或峰值电压表，其频率范围与PARD范围相一致；测量恒流源PARD时应加入一只合适的电阻监流器，其上最小电压降符合10%的误差极限，并且为非电抗性，其阻抗在20Hz～10MHz的频率范围内基本恒定，10MHz时的阻抗与20Hz时的阻抗之差应小于直流电阻的1%，否则其测试数据必须用频率修正。其电流的PARD通过下式算出 $I_{PARD}=\frac{U_R}{R_M}$。

④ 电源的加载装置应能在所要求的整个负载范围内转换。

⑤ 为保证稳定输出量及其它量在规定指标之内，应根据不同电源的技术指标要求，选用不同的监测仪器。

⑥ 必须使用单接地点，以避免环路。必须注意确保任何导线中不存在地电流，因为它可形成PARD测量回路的一部分，同时必须采取合适的安全措施保证接地的连续性。

⑦ 如果用差动输入测量设备，则必须注意确保不超过其额定共模电压。而且由于共模信号所引入的误差被测量仪器的抑制比所倍乘，当与所有其它效应的绝对量值相组合时，不应超过PARD规范的10%。

⑧ 需要进行屏蔽，以防PARD成分中的干扰噪声超过积累极限误差的10%

⑨ 在测量限压或限流或者是自动交迭功能电源的PARD时，要注意保证控制输出量不

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

受源、输出或试验的负载的任何组合所限制。

(3) 测试步骤

① 当测量固有误差时应在基准条件下，当测量工作误差时，应在额定条件下。

② 输入源电压分别置于最小、最大规定值时进行测量。

③ 输入源频率分别置于最高、最低源频率时进行测量。

④ 稳定输出量为可调时应在最大、最小额定值两点上进行测量。如最小值为零，则在最大值的 1% 上进行测量。

⑤ 负载应分别置于最大、最小额定值上进行测量。

⑥ 多路输出电源，对每一路输出都要进行一系列 PARD 的测量，此时所有其他输出同时置于最小值，然后置于最大值，并在负载置于最小和最大值的情况下进行。

⑦ 将输入源电压、频率、稳定输出量和负载调节到每一个规定值，重复测量每一种组合而获得 PARD 的试验数据组。以数据中最大者作为 PARD 的量值。

(4) 技术要求：应保证被测电源其它条件处在规定条件之内，当被测电源技术指标较多时，应尽可能选择较少的组合次数，得出最能说明其水平的 PARD 极限值。由于测量稳流电源 PARD 的监流器上的电压降不可避免地限制最小负载电压到一个非零值，在误差分析时必须考虑这个仪表误差。

19. 短期漂移

short-term drift

20. 长期漂移

long-term drift

在其它条件保持不变，在预热时间之后一个规定时间内，稳定输出量(不需要的)缓慢和连续的变化。其余全部影响量的积累影响应小于漂移规范的 1/10。漂移的测量包括从直流到 20Hz 这一频率范围内的输出扰动。它所规定的频率上限 (20Hz) 与 PARD 规定的频率下限 (20Hz) 相一致。

当在预热时间后连续 7 小时内测定的 15 分钟间隔内的最大偏移为短期漂移。

当在预热时间后连续 8 小时内测定的最大峰-峰值差为长期漂移。

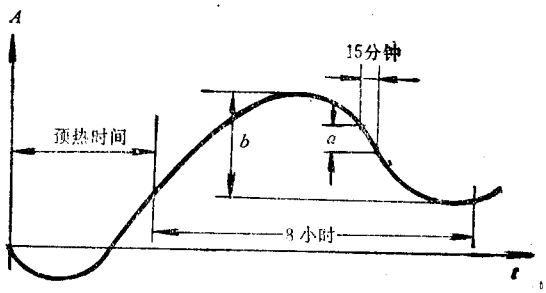


图　8-32

图中文字说明

A　稳定输出量

a　在 15 分钟内测出的短期漂移，因在整个期间此处斜率最大，故为最大的短期漂移。

b　在 8 小时内测定的长期漂移。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 8-33、图 8-34。

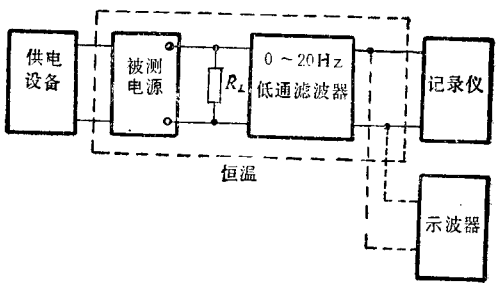


图　8-33

(2) 测试说明和要求

① 稳压电源测试采用图 8-33 方法。
稳流电源测试采用图 8-34 方法。

② 漂移在基准条件下进行测量。

③ 当稳定输出量为连续可调时，应在最大

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

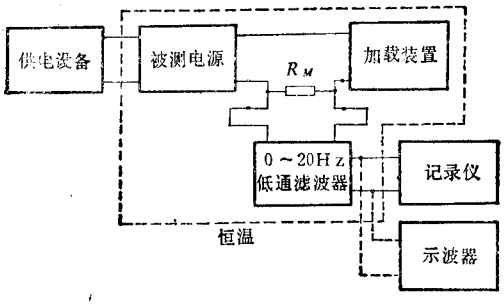


图 8-34

值和最小值时进行测量（如果最小值为零则规定为最大值的1%）。

④ 所有观测仪表在测量漂移期间的变化量应小于稳定输出量的漂移值，所有其它影响量的组合效应的绝对量值所引入的误差极限值不应超过电源漂移指标的1/10。

⑤ 测试仪器应对直流至20Hz的频率扰动有足够的频率响应，对于超过20Hz的信号应由低通滤波器滤除，其带外（大于20Hz）抑制不得小于每个倍频程6dB。

⑥ 推荐采用记录仪记录稳定输出量的变化，如果记录仪上限截止频率小于20Hz，则用示波器进行辅助观测，并通过20Hz低通滤波器，这样的观察周期为每5分钟一次，在开始第一个小时进行并在最后一小时再进行一次。

⑦ 要控制电源所处的环境（特别是温度），这些温度效应以及所有其它组合效应绝对量值不应超过电源漂移指标1/10。

⑧ 对于稳流电源的测量，推荐采用四端电阻器做取样电阻。其最小电压降应小于误差极限的1/10。

⑨ 测量漂移原则上只有稳定输出量对时间的变化，其它量应尽可能维持在开始测试时的基准条件的初始值上（如源电压、源频率、源失真、非稳定输出量、环境温度等）。应根据不同的电源要求选用不同的测试仪器、监测仪器。

（3）测试步骤

① 负载加至额定最大值时或在最小值（或是空载）时两种方法测量。

② 对多路输出电源，负载加至额定最大值时或在最小值（或是空载）时两种方法测量。

③ 使电源在规定条件下预热（预热时间按产品规定）。如未规定预热时间，则允许预热半小时，在半小时内调整好输出调节、负载、源和测量仪表。一旦开始测量，则不准对被测电源进行任何调整，但不包括测量仪器自身必须的校准，如零点校准等。同时要将开机预热后的瞬态安稳效应和漂移区分开。预热后，应记录下此时的源电压、负载、环境温度，并至少30分钟记录一次以上记录内容，同时又至少每15分钟记录一次稳定输出量，以便计算出短期漂移。

④ 如被测电源未规定长期漂移的时间，则按8小时计。

⑤ 在规定的时间间隔内测量漂移（预热后至连续工作8小时），并按定义中规定测量：以每个15分钟相邻两个稳定输出量之绝对差与稳定输出量之比的百分数表示其变化，或以稳定输出量的单位来表示（如伏特、安培或它们的分数）短期漂移。

以8小时内稳定输出量最大值与最小值之绝对差与稳定输出量之比的百分数表示其变化，或以稳定输出量的单位来表示长期漂移。

⑥ 如果不可能提供控温环境，那末漂移测量用下述方法进行并标明结果。

制作一屏蔽箱，使其内部各方向的尺寸均比电源大1m，并将电源安装在其中最良好的空间里。测量电源周围空间三个点的温度并取其平均值。用电源温度效应系数乘以漂移测量间隔期间所观测出的（平均）最大值到最小值的温度变化，并且由观测出的稳定输出量变化值减去该乘积的量值。

此时电源的加载方法应做到处在相邻的环境时，使其自加热降至最低限度情况下工作。

（4）技术要求

第一次开始测试时的基准条件，在以后的测量中应尽可能仍保持在初始值上，直至最后一次测量。这样才能测出仅仅是稳定输出量对

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

时间的漂移。当被测电源技术指标较多时，应尽可能选择较少的组合次数，得出最能说明其水平的漂移值。

必要时，测量稳定输出电流的漂移监测仪器应保持在控温环境中，其数值变化与所有其它效应相组合的绝对量值应小于电流漂移规范的 1/10。

对于限压或限流或者具有自动交迭功能电源的测量，要保证控制量不受源、输出或试验的负载条件的任意组合所限制。

* * *　　* * *

本章技术指标和测试方法中所用的主要测试仪器，汇总列表如下。

表 8-7　主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号	备注
数字式电压表	HP3468A,1905A,5000,1071	JJG315-83 F(电子)02—82	
电压表(交、直流)	D26V$_{\simeq}$,T72,	JJG124-82	
交、直流电流表	D26A,T25	JJG124-82	
直流电流表	C190,C41,C72,C59,T15	JJG124-82	
电子负载	DH2790		
滑线式变阻器	BX		
数字式存储示波器	GOBLD1421,TEK2201,NH4440,HP54501A		
双踪示波器	V-422	JJG262-81	
交直流功率(瓦特)表	D26W D72W, D75W		
功率因数表	D26ϕ		
晶体管 mV 表	V$_P$-960A, JB-IB		
交流有效值电压表	DA30		
信号发生器	XD-1		
数字式频率计	XH3321A		
自动频率计数器	PS69		
阶跃供电设备			
隔离变压器			
无感四端电阻监流器	R_M		
调压器	TDGC,TLGC,TSGC		
失真度仪	V$_p$7701A,ZN4121、SZ-3、BS1	JJG251-81	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第5节 稳定电源的量值传递表

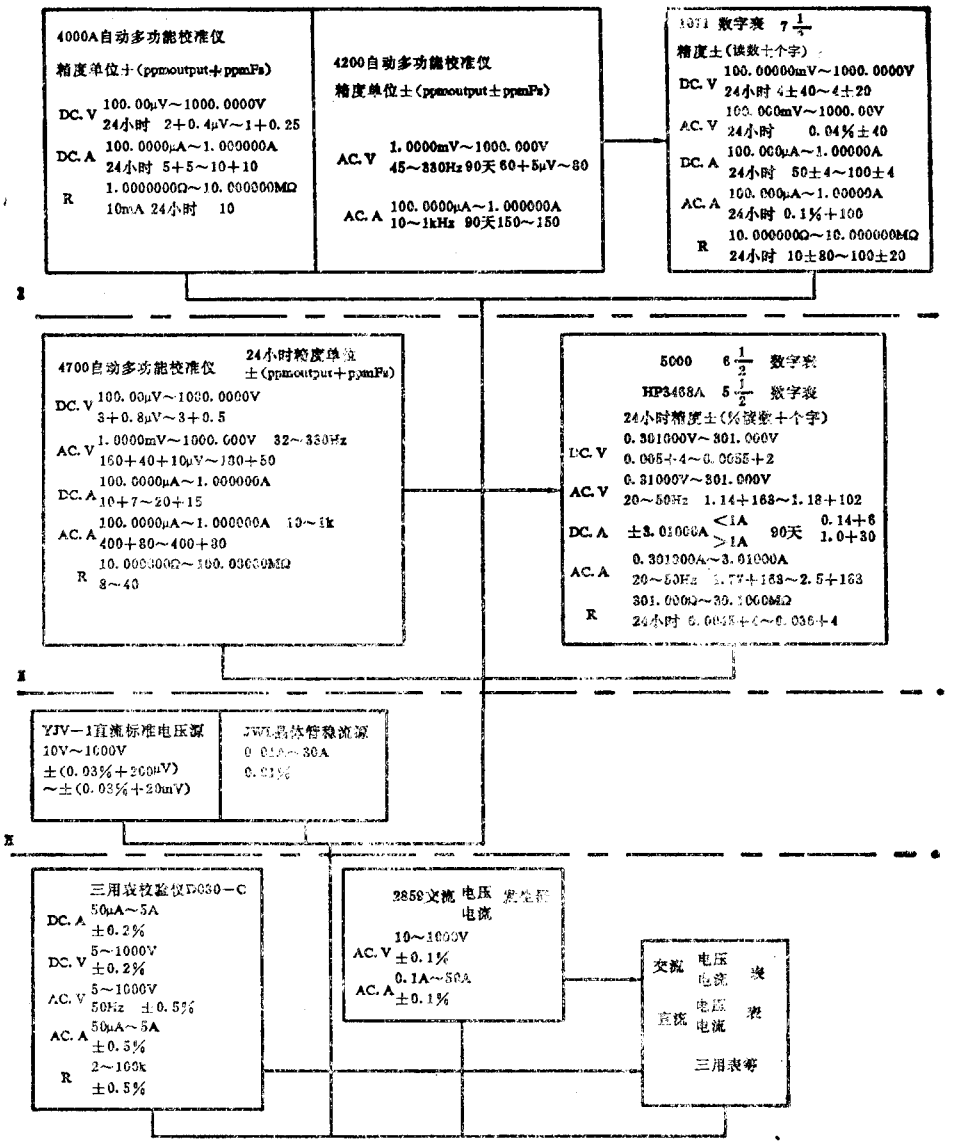


图 8-35

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第9章 功 率 计

第1节 综 述

在高频和微波频段的各种无线电测量项目中，功率测量是主要项目之一。

功率是一个物理量，其定义为单位时间内所完成的功。功率的法定计量单位为瓦(W)。在1秒钟内完成1焦耳功所需的功率为1瓦。实用中又常用"分贝瓦"(dBw)或"分贝毫瓦"(dBm)作为功率单位，即功率与1瓦或1毫瓦为参考电平之比值的对数形式表示的单位$\left(如\ P(\mathrm{dBm})=10\lg\frac{P(\mathrm{mW})}{1(\mathrm{mW})}\right)$。

在直流和低频时，一般是通过测量负载上的电压U、电流I和电流与电压之间的相角差φ来间接测量功率的，即$P=UI\cos\varphi$。在微波波段，当工作波长可以与装置的尺寸相比拟时，电压、电流已失去其唯一性而不被实用于测量。直接测量功率更为方便，并有广泛的用途。例如，通过测量发射机的输出功率可以确定雷达的作用距离，由测量出放大器及各种元器件的输入及输出功率可以确定其增益、插损、隔离度、耦合度等技术性能，功率则是信号源、频率综合器、振荡器的主要技术指标，而接收机的灵敏度是以能接收到的最小功率来表征的。所以在高频及微波波段，功率测量占有特殊重要的地位。

测量微波功率的方法是多种多样的，但大多数测量方法的实质是在于首先将信号功率转变为某种易于测量的其它能量形式，功率计则是简便、准确地测量这些能量的仪器。

功率计的发展至今已有五十多年的历史，二次大战期间随着雷达的应用而发展。在40年代首先用水流箱吸收高频能量实现对发射机功率的测量。1946年 I. B. Turner 研制了3GHz和10GHz水负载的H_{01}型矩形波导的量热计；同年，E. M. Hichin 研制的VHF频段的镇流电阻(Bolometer)问世；1947年由 W. Rosenberg 发表关于热敏电阻(Thermisters)的文章；1948年由 H. J. Cartin 研制了用于微波功率测量的直读式电桥。自那时以来，功率计获得迅速发展并日趋完善。几十年来主要是向着拓宽频段、扩大量程、提高准确度以及小型化、数字化、智能化、模块化和多功能方向发展。目前国际上小功率计的上限频率已可达330GHz。70年代HP公司推出的436A小功率计，配8480系列功率座时，频率范围达100kHz～50GHz，功率量程达100pW～25W(即−70～+44dBm)，并带有IEEE-488标准的程控接口，可方便地接入自动测试系统中使用。1983年美国HP公司推出的438A功率计，除了同样具备频带宽、动态范围大、精度高、反射系数小的优点外，还可以作双通道测量、键盘编程，不但简化了功率测量，而且一机多用，操作方便。现在还有不少仪器，如计数器、信号源、频率综合器等仪器中配备功率计功能，使之更为实用。目前功率计的指示器由于引入了微处理器，普遍采用数字显示、自动调零、自动量程转换和过载报警，充分发挥了微型计算机的数据处理和变换、信息存储和实时控制的长处。80年代末，随着模块式仪器的开发，出现了功率计模块，它直接利用计算机或模块式仪器中零号插件的处理及存储等功能，把功率计简化为一个插件，由HP公司首先推出的E1416A功率计模块，可插到C尺寸的模块式仪器中作为一个插件，为新型的自动测试系统开创了路子。在脉冲功率测量方面，由于使用了微处理器，使脉冲功率计集功率计、计算机和屏幕显示于一体，一次测量不仅显示

www.789pdf.com 789书库网

表 9-1 国内外主要通过式功率计性能比较表

型　号	德 NAUS$_3$	NAUS$_4$	NAUS$_5$	国产 GH2462	国产 YM2461	国产 SD246T	国产 SD2461	国产2464
频率范围	25～1000MHz	25～1000MHz	25～1000MHz	25～1000MHz	25～1000MHz	100～1000MHz	80～300MHz	2GHz～4GHz
功率测量范围	20mW～34W	50mW～110W	0.2～340W	11W～1100W	0.1W～100W	10W～100W 50W～500W 100W～1000W	平均功率1000W 脉冲功率 1MW	10～500mW
准确度	±3%	±3%	±4%	≤±8%	±1dB	±7%	±10%±2个字	±8%
插入损耗	300MHz以下 ≤0.1dB	300MHz以下 ≤0.08dB	0.3GHz 以下 ≤0.08dB	300MHz以下 ≤0.1dB				
	500MHz以下 ≤0.2dB	0.5GHz以下 ≤0.15dB	0.5GHz 以下 ≤0.15dB	500MHz以下 ≤0.15dB	0.3dB	0.15dB	0.15dB	0.1dB
	1GHz 以下 ≤0.75dB	1GHz 以下 ≤0.35dB	1GHz 以下 ≤0.2dB	1GHz 以下 ≤0.2dB				
方向性	30MHz以下 ≥26dB	30MHz以下 ≥26dB	30MHz 以下 ≥26dB	30MHz以下 ≥22dB		≥20dB	≥20dB	
	30MHz以上 ≥30dB	30MHz以上 ≥30dB	30MHz 以上 ≥30dB	30MHz以上 ≥26dB				
主线驻波比	≤1.03	≤1.03	≤1.03	≤1.15	≤1.15	≤1.15	≤1.15	≤1.10
特性阻抗	50Ω	50Ω	50Ω	50Ω	50Ω	50Ω,75Ω	75Ω	50Ω
接头型式	N型	N型	N型	L16-50 L27 + L16	L 16	L16-50K L27-50K	L27	L16
显示方式	LED	LED	LED	表头	表头	表头	LED	表头
最大入射和反射功率	34W	110W	340W	1100W	100 W	1000W	1000W	500W
电　源	220V 50Hz	～220V 50Hz	～220V 50Hz	～220V 50Hz	～220 V 50Hz		～220V 50Hz	～220V 50Hz
重　量							4.2kg + 1.5kg	2.5kg

www.789pdf.com 789书库网
www.789pdf.com 789书库网

表 9-2 国内外主要小功率计性能比较

型 号	美 HP436A HP438A	英 MI6960A	德 NRS2412	日 ML83A	国产 GH2422	国产 YM2431	国产 SD2413
频率范围	100kHz～50GHz	30kHz～26.5GHz	0～15GHz	10MHz～140GHz	10MHz～40GHz	50MHz～110GHz	10MHz～12.4GHz
功率测量范围	100pW～25W	0.1nW～3W	0.1～330mW	1μW～100mW	1μW～10W	0.01μW～300mW	10μW～20mW
指示器误差	0.5%±0.5	≤±0.5%	±1.5%		+0.5%～±0.1μW	±1.5% 满量程 ±1 个字	±1.5%±1个字
噪声和漂移	随滤波器不等 6～0.15%	≤±1%		3%		0.2%（天）	3%
仪器显示方式	4～5位数显	4位数显	表头读数	4位数显		$3\frac{1}{2}$位数显	$3\frac{1}{2}$位数显
功 能	自动调零自动量程转换	自动调零，自动量程可预制补偿	自动调零	同438A		同 HP438A	自动调零
接口功能	GPIB	GPIB		GPIB		GPIB	GPIB
探头型号	8480系列	MI6910/6920		MA72B/73A		YM 系列探头	GX13 系列探头
功率敏感元件	半导体热电偶 肖特基二极管	半导体热电偶 二极管	量热式	薄膜热电偶 二极管		薄膜热电偶	热敏电阻
接头形式	N型	N 型	50Ω 平接头			L16	L16
电压驻波比	1.1～1.4	1.1～1.4	1.05～1.5	1.4～1.5		1.5	1.2～1.5
记录器输出							
记录输出误差	$Zout = 1k\Omega$ 满刻度 1V		$Zout = 2k\Omega$ ≤0.2%				
最大承受功率			350mW				30mW

www.789pdf.com 789书库网
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

出脉冲功率，而且同时显示出脉冲功率的包络、脉宽等众多信息。总之，近几年来，功率测量在测量理论、测量技术及新产品的研制方面都取得了较大的进展。

我国国产功率计的生产始于50年代末和60年代初。当时仅有几家工厂研制和生产功率计，其中首数上海无线电26厂和七八四厂生产的GLX-6小功率计和GLCD-1脉冲大功率计。随着我国电子工业的发展及国防建设的需要，在70年代初期国内功率计生产厂家发展到6个，年产各种功率计约2000台套左右。目前在功率计的研制、开发和生产中作出主要贡献的有上海无线电26厂、安徽光华无线电仪器厂及扬州苏北电子仪器厂等单位。此外，一些研究所也作出了努力。80年代末，由科学院电子所研制生产的RS-28-6型量热式功率座，工作频段达26.5～170GHz，功率量程达100μW～1W，可承受脉冲峰值功率为100W。受到国内外用户的好评。

近几年来，国内外功率计的开发研制工作发展极为迅速，功率计的功能、准确度、测量范围，都有了很大提高，其水平见表9-1、表9-2、表9-3。

表9-3 国内主要大功率计性能比较

型　　号	国产 GD9	国产 GD-11	国产 SD2460	国产 GD-7
测量头频率范围	1720～2620MHz 加转换波导接头可扩展 BJ-48、BJ-58 BJ-70	1140～1730MHz 加转换波导接头可扩展 BJ-48、BJ-58	2.61～3.95GHz 加转换波导接头可扩展 0.8、2、3.5cm	4GHz～6GHz
平均功率测量范围	500W～10kW	1kW～10kW	5～2000W	5～10kW
脉冲功率测量范围	≤2MW	≤5MW	≤1MW	≤1MW
显示方式	表头	表头	表头	表头
电压驻波比	≤1.2	≤1.2	≤1.2	≤1.2
冷却方式	水冷	水冷	水冷	水冷
探头型式	BJ-22 标准波导	BJ-14 标准波导	BJ-32 标准波导	BJ-48 标准波导
准确度	≤±7%	≤±7%	≤±7%	≤±7%

第2节 分　　类

功率计的分类方式有多种，通常有：

(1) 按功率计量程大小分类。分为小功率计（$P \leqslant 100$ mW），中功率计（P 为100mW～100W），大功率计（$P \geqslant 100$W）。

(2) 按功率计测量功率的原理分类。有测辐射热器功率计（包括热敏电阻功率计、镇流电阻功率计、薄膜测热电阻功率计），热电偶式功率计，晶体二极管式功率计，量热式功率计，此外还有微量热计及其他新型的功率计（如，有质功率计、霍耳效应功率计、铁氧体功率计等）。

(3) 按功率计接入传输系统的方式分类。分为通过式功率计及吸收式功率计（又称终端式功率计）。

(4) 按被测功率的特征分类。分为连续波功率计和脉冲峰值功率计。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(5) 按功率座输入端传输线的类型分类。分为同轴型功率计和波导型功率计。

下面，进一步分类作些介绍。

(一) 测辐射热器式功率计

对于电平小于 100 mW 的高频及微波功率的测量，测辐射热器式功率计是一种最常用的方法。测辐射热器是一种对温度极其敏感的电阻元件，当它吸收功率后温度升高，随之其电阻值也发生相应的变化，由电桥测出电阻的变化量便可确定被测功率的量值。

测辐射热器根据其温度系数的正负分为两类。一类是负温度系数的热敏电阻，即热敏电阻的阻值随温度的升高而下降。另一类是正温度系数的铂丝镇流电阻和薄膜测热电阻，其阻值随温度升高而增加。三种测辐射热器功率座的性能比较列于表 9-4。

表 9-4　测辐射热器功率座性能比较表

特性 \ 类型	热敏电阻	镇流电阻	薄膜测热电阻
温度系数	负	正	正
功率灵敏度 (Ω/mW)	10～50	5～10	0.2～2
工作阻值 (Ω)	50～200	100～200	100～250
响应时间 (s)	0.15～0.5	10^{-4}	1
功率量程 (mW)	0.001～10	0.1～10	1～200
频率范围 (GHz)	0.01～50	0.01～50	0.01～100
温度稳定性	差	较好	好
过载能力	较好	较差	好

测辐射热式功率计的指示器是由电桥构成，将测辐射热器电阻置于电桥之一臂，用直流偏置功率去替代加入的微波功率，使电桥达到平衡。读出直流偏置功率即被测的微波功率。现在指针式仪表指示的手动平衡电桥的功率计已被数字显示的具有温度补偿及自动平衡电桥的功率计所替代。国产的 GX12、GX13 及美国 HP432A 功率计均属于这一类功率计。

(二) 热电偶式功率计

又称热电式功率计。当两种不同材料的金属组成热电偶时，若它的两个结点处于不同的温度，便会产生热电势。如果把其中一个结点置于高频电磁场中，使它吸收高频功率而温度升高，则可通过温差热电势测出高频功率的大小。由于热电偶可做成薄膜形式，因此这种功率计又称为薄膜热电式功率计(简写 TFT)。根据热偶材料的不同又有铋锑薄膜热电式功率计和半导体薄膜热电式功率计两类。

热电式功率计具有响应速度快、灵敏度高、动态范围大以及温度漂移小等优点，因此近年来应用很广泛。美国 HP8481 功率座就属于这种原理。其缺点是过载能力较差，灵敏度随时间有变化，并具有较大的功率非线性。

热电式功率计的指示器是一个高灵敏的直流放大器，典型的产品如 HP436A 功率计。为了不使热电偶输出的微弱信号受到干扰，直流放大器中的斩波器和前置放大器是置于功率座内，然

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

后用电缆与放大器连接，即使电缆长达 60 米也不会影响正常工作。国产 GX-2B 型小功率计就是一种热电式功率计，它的工作频率范围为 0.05～12.4GHz，三个功率座覆盖从10μW 到 300mW 的功率量程，全频段内驻波系数小于 1.50，功率座的误差为 ±8% 左右。

（三）量热式功率计

简称量热计。其原理是将一个吸收功率的负载放在隔热容器内作为量热体，当高频功率加到负载上后，负载的温度升高，其温度的变化作为被测功率的量度。德国 R/S 公司生产的 NRS 功率计就是量热式功率计的典型产品，其频率范围为 DC ～ 15GHz，功率测量范围为 0.1mW ～ 330mW。通常量热体负载有固态负载与液态负载二种。量热计测量功率的范围取决于负载的形式。固态负载可承受功率在数百毫瓦到 1 瓦内，采用液态负载时量程可达数十千瓦。量热式功率计的优点是频带宽、量程大、准确度高，可用于中、大功率的测量。其主要的缺点是测量的响应时间很长。

应用量热计技术的优点，把测辐射热器座放在量热计中作为量热体，由此制成的功率计称为微量热计。它具有量热式功率计高准确度的优点和测辐射热式功率计测量迅速、方便等优点。目前世界各国及我国均采用微量热计建立国家小功率基准装置。

（四）晶体二极管式功率计

在微波测量中，晶体二极管是一种常用的信号检波器件，常用它作成信号电平的指示器。晶体二极管检波器具有灵敏度高、响应速度快等优点。检波器灵敏度约 500mV/mW，比热电偶功率座的灵敏度高三个数量级。因此可用晶体二极管对微波信号进行检波，再经高灵敏放大器放大后测出微波功率，这就是晶体二极管式功率计的原理。

早期使用的晶体二极管大多为点接触式硅二极管，它们虽然具有上述优点，但由于结构脆弱、特性一致性差以及稳定性不好等原因，只能作为相对电平的指示，而不能作为功率绝对测量用。随着半导体工艺水平的不断提高，新研制的低势垒肖特基二极管，由于是面接触式的，无论在机械强度或稳定性方面都有明显提高，特性的一致性也较好，因此可以用于测量纳瓦级的低电平功率。美国 HP 公司于 1975 年研制成功的 8484A 功率座就是运用这种原理的典型产品，将肖特基二极管检波器集成在蓝宝石为基体的薄膜电路上，在 0.01～18GHz 频率范围内功率座的驻波系数小于 1.4，最小可测功率到 100pW，最大可承受的平均功率达 200mW。温度漂移很小，当用手握住功率座时，三分种以后二极管功率座的温漂仅为 0.4μW，约为热敏电阻功率座的万分之一。

（五）霍耳效应功率计

霍耳效应功率计一般做成通过式。其工作原理是基于放置在磁场中的载流半导体片（锗、砷化镓等）在磁感应强度与电流垂直时，将产生霍耳电动势，且电动势的大小与传输线上的电磁能量大小有关。这类功率计可用于测量通过波导或同轴传输线的功率，除测量平均功率外，也可测量脉冲功率的平均值，功率测量范围一般在 10 瓦以下。

霍耳效应功率计的最大优点是所产生的霍耳效应电动势受频率的影响很小，即使频率不同，只要功率相同，产生的霍耳电动势也相同。其次是响应时间快、惯性小以及消除了由于负载失配而引起的误差。但这种功率计的缺点是，由于制造工艺及校准方面的困难，目前尚未广泛采用。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（六）有质功率计

这类功率计测量微波功率的原理是利用电磁波机械力的作用，包括辐射压力装置和扭力片装置。这种方法近几年来在测量微波大功率方面获得了卓有成效的应用。如目前用波导截面尺寸 180 × 85mm 的传输线所制作的有质功率计可测量连续波平均功率达 5000 瓦（脉冲峰值功率约 4 兆瓦）。波导截面尺寸 120 × 57mm 的传输线所制作的有质功率计，可测连续波功率达 20000 瓦（脉冲峰值功率约 30 兆瓦），功率测量误差在 ±5% 以内。在测量微波大功率的实践中，常采用扭力片型有质功率计。

有质功率计具有以下优点：(1) 可以制成按绝对方法测量功率的装置，即可将功率测量归结为质量、长度和时间的测量。(2) 可以制成通过式功率计，体积小、重量轻、使用简便。所以在测量从发射机馈至天线的功率中获得广泛应用。(3) 抗过载能力强。(4) 可以制成功率测量范围很宽的功率计，平均功率可以从毫瓦级到数十千瓦级，脉冲功率最大可测数十兆瓦。但尽管如此，这种功率计主要还是适用于测量大功率。

（七）铁氧体功率计

铁氧体功率计的原理是基于铁氧体元件具有对高频电磁能量谐振吸收的特性，利用绕在铁氧体样品上的线圈构成的回路处于铁磁共振下所产生的低频振荡效应来测量微波功率。

铁氧体功率座有两类。第一类铁氧体功率座是根据铁氧体元件吸收微波功率后发热，测出它的发热温度或测出引起同样发热的直流或低频替代功率，就可确定被测的微波功率。它与测辐射热电阻的功率座类似，可用电桥作指示器。但由于很难制造适合于高阻元件工作的电桥，因此在实际工作中，常用热偶或热敏电阻来测量铁氧体元件的发热温度。第二类铁氧体功率座是利用铁氧体吸收元件的非线性特性制成的。它将微波频率的功率变换成较低频率的电压，测量微波功率就归结为测量铁氧体功率座输出的射频电压幅度。

铁氧体功率计的优点是可靠性高、抗过载能力和抗干扰能力强、稳定性好，既可测量连续波也可测量脉冲调制波信号的功率。其缺点是动态范围小、控制测量的仪器复杂。因此目前尚未被广泛采用。

（八）通过式功率计

通过式功率计是由定向耦合器、功率检测器和功率指示器三部份组成。图 9-1 表示了单定向耦合器的通过式功率计的原理框图。当其输入端接功率源，输出端接负载时，定向耦合器的旁臂耦合出被测功率的一部份，经检波放大后指示。已知定向耦合器的耦合度，所以指示器可按输入端的功率值进行刻度。这类功率计往往设计成体积小的便携式产品，有的还是无源的。它具有频率范围和功率量程宽及使用方便的优点。在导航、通信、广播、电视等设备中广泛用于监测功率电平。

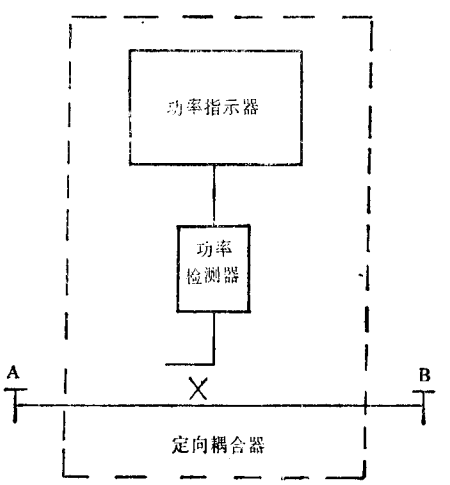


图 9-1　通过式功率计原理框图

通过式功率计，就其形式而言，分为单向和双向两

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

类。由单定向耦合器构成的通过式功率计称为单向。由两个反接的定向耦合器构成的通过式功率计称双向。双向通过式功率计可以同时读取信号源的入射功率和负载的反射功率，常用作反射计测量负载的反射系数。

由于通过式功率计是利用定向耦合器接在传输线中耦合少量微波能量来进行测量的，因此定向耦合器的耦合度随频率变化会产生频响误差；另一方面，一般的通过式功率计常采用点接触式微波晶体二极管检波，而这类晶体检波二极管自身的离散性和非线性又较大。因此，目前一般通过式功率计的测量准确度不高。但如果采用热敏电阻座或其它型式功率座来检测功率就可以提高准确度。例如美国 WE 公司的 1109 型功率传递标准就是采用热敏电阻座的小功率的通过式功率计，其频率范围为 10MHz ～ 18GHz，误差优于 ±2.5%。此外，西德 R/S 公司推出的 $NAUS_3$、$NAUS_4$、$NAUS_5$ 双向通过式功率计的性能也比较好，频率范围从 25MHz 到 1000MHz，功率测量范围为 340mW ～ 1000W，测量误差 ≤±3%。美国 BIRD 公司生产的 4314 型功率计，频率范围为 0.45～2300MHz，功率测量范围为 0.1～10kW。

国内从 70 年代末起，参照国外有关厂商的样机进行了消化、吸收，先后研制了一些产品。如国营光华无线电仪器厂参照 R/S 样机研制并生产的 GH2462 型通过式功率计；扬州苏北电子仪器厂参照美国和日本的样机研制生产的 SD2467、SD2468、SD2461、SD2470 通过式功率计；上海无线电 26 厂研制并生产的 YM2461 通过式功率计；上海微波技术研究所研制生产的 2460、2462、2464 及 2441 通过式功率计。这些产品的主要技术指标基本上都达到了国外同类产品的水平。

第 3 节　功率计技术指标汇总表

通常对于不同类型的功率计其技术指标的内容亦会有所不同，但有相当一部分是相同的。汇总表中的各项技术指标是根据目前功率计的性能列出的最基本的指标。随着电子技术的不断发展，新型功率计的问世及产品性能的不断提高，必然会出现新的技术指标。

表 9-5 中的各项技术指标，具体到某个产品，有些指标是必须制订的，但有些指标则不一定适

表 9-5　功率计技术指标汇总表

序号	技术指标	大功率计	中功率计		小功率计
			吸收式	通过式	
1	工作频率范围	●	●	●	●
2	功率测量范围	●	●	●	●
3	零点漂移				●
4	零点偏移				●
5	细调零范围				●
6	指示器噪声				●
7	指示器误差				●
8	功率测量误差	●	●	●	●
9	功率座接头型式	●	●	●	●
10	波导截面尺寸	●	●	●	●
11	输入阻抗	●	●	●	●

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	技术指标	大功率计	中功率计		小功率计
			吸收式	通过式	
12	功率座的驻波系数	●	●	●	●
13	功率座校准系数				●
14	功率座有效效率				●
15	功率座校准系数误差				●
16	方向性			●	
17	插入损耗			●	
18	工作阻值				●
19	校准系数档位误差				●
20	记录器输出特性				●
21	最大允许平均功率	●	●	●	●
22	最大允许峰值功率	●	●	●	●
23	响应时间	●	●	●	●
24	功率线性度	●	●	●	●
25	温度影响	●	●	●	●
26	显示方式	●	●	●	●
27	预热时间	●	●	●	●
28	接口功能		●	●	●
29	功耗	●	●	●	●
30	电磁兼容性	●	●	●	●
31	可靠性	●	●	●	●

用。表中根据大、中、小功率计来加以区别，而在中功率计中则又分吸收式与通过式两类加以讨论。当然用小功率计加定向耦合器也可进行大功率测量(即通过式大功率计)，但通常所说的大功率计均为吸收式的大功率计。

第4节 技术指标及测试方法

● 本节所列参数定义及测试方法参照 SJ2936 中功率计技术条件，SJ2037 中功率测量方法和 GX13 型功率计技术条件及测试方法行业标准编写。

● 被测功率计及测试设备均应在各自产品标准中规定的预热时间后进行测试。

1. 工作频率范围 *F*

frequency range

指能满足该功率计各项技术指标要求，保证功率计可靠地工作的输入信号的频率范围。

测试方法一： 检查在此频率范围内功率座的驻波系数及校准系数是否符合规定的要求。具体测试方法见驻波系数和校准系数测试。

测试方法二： 对于通过式功率计，由于它内部装有定向耦合器，因此应检查在此频率范围内，功率测量准确度是否符合规定的要求。测试方法见功率测量误差的测试。

2. 功率测量范围 *P*

power ranges

指该功率计所能准确测定的最小功率到最大功率的范围，在此范围内所测功率值应符合产品规定的准确度。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法： 通常是在输入最小功率与最大功率时，检查其功率测量误差是否符合仪器规定的测试准确度。具体测试方法见功率测量误差的测试。

3. 零点漂移 *Z. S.*

zero shift

在基准条件下，仪器预热后，在给定的时间间隔内，功率指示值的变化量，通常以 μW/min 为单位。

测试方法： 将功率座与功率计指示器连接，功率计的量程置于最小量程档，接通电源，按规定时间预热，调节仪器调零旋钮，使指示器有一合适的读数，经过一分钟后，指示器偏离起始值之值即为该功率计的零点漂移值。

4. 零点偏移 *Z. D.*

zero displacement

功率计在最小量程档调零后，功率量程转换到其他各档不再调整的零点变化量。

测试方法： 将功率座与功率计指示器连接，功率计的量程置于最小量程档，接通电源，按规定时间预热，调节仪器调零旋钮，使指示器指零，"量程"开关依次转换到其余各档时，功率计零点之变化量即为该功率计的零点偏移值。

5. 细调零范围 ΔP

zero set

小功率计的细调零，通常有手动细调零与程控细调零两种。细调零范围是指当功率计指示器与功率座连接，接通电源并预热后，在无输入信号时，在仪器最小量程档采用手控或程控自动进行调节时，功率计起始零点调节的范围。通常以 μW 为单位或以最小量程档满刻度值的百分数表示。

测试方法： 将功率计后面板上记录器输出端接一个数字电压表。接通电源，按规定要求预热，在无输入信号时，将功率计置于最小量程，使细调零控制由最小变到最大，数字电压表读数由 V_{min} 变到 V_{max}。加入信号功率到最小量程的满刻度值，记下功率值 P_R 及此时数字电压表指示的满量程输出电压值 V_R。则细调零范围为：

$$\Delta P = (V_{max} - V_{min}) \times \frac{P_R}{V_R} \quad (\mu W)$$

或 $$\frac{\Delta P}{P_R} = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_R} \times 100\%$$

6. 指示器噪声 *N*

indication noise

在仪器正常工作情况下，由于仪器内部元器件产生的噪声而使功率计指示值无规则变化的最大值。

测试方法： 将功率计指示器与功率座相连，接通电源，按规定时间预热，将功率量程置于最小量程档，在无信号输入的情况下，观察功率计指示值的瞬时变化量，取该瞬时变化量的最大值即该功率计的噪声值。

噪声的大小可用 nW 或 μW 表示，也可用最小量程满刻度值的百分数表示。

7. 指示器误差 Δ_I

indication error

功率计指示器引入的测试误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 9-2。

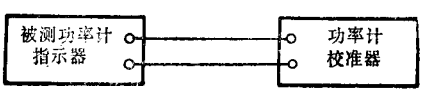


图 9-1

(2) 测试步骤

按图 9-2 将被测功率计指示器与功率计校准器相连，接通电源，功率校准器置"调零"位置，调节功率计调零旋钮使功率计指零，然后将功率计校准器置"测试"位置，读出此时功率计指

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

示值 P_u，则指示器的相对误差为：

$$\Delta_I = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100\%$$

式中　P_s 为功率计校准器所标的标准功率。

8. 功率测量误差 Δ_P

error of power measurement

指功率测量的相对误差

即　$$\Delta_P = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100\%$$

式中　P_s 为标准功率计指示值；

P_u 为被测功率计指示值。

测试方法：对于大、中、小功率计，其测试方法不尽相同，下面分别加以说明。

I. 大功率计测试方法

由于目前国内尚未建立大功率标准，因而大功率计的测试目前无法在射频情况下进行。通常采用低频替代的方法进行测试，显然会引入替代误差，但周密的设计可使替代误差减到很小。具体测试步骤如下：

(1) 首先用被测大功率计测出输入的微波功率值 P_u。

(2) 去掉输入的微波功率，加入低频替代功率，使功率计的读数仍为 P_u。

(3) 测出此时的低频替代功率值 P_L，则该大功率计的功率测量误差为：

$$\Delta_P = \frac{P_u - P_L}{P_L} \times 100\%$$

II. 通过式功率计的测试方法

(1) 测试方框图，见图 9-3。

(2) 测试步骤

当功率测量误差定义为通过式功率计示值与其输出端功率之相对误差时，按图 9-3(a) 连接。当功率测量误差定义为通过式功率计示值与其输入功率之相对误差时，则按图 9-3(b) 连接。

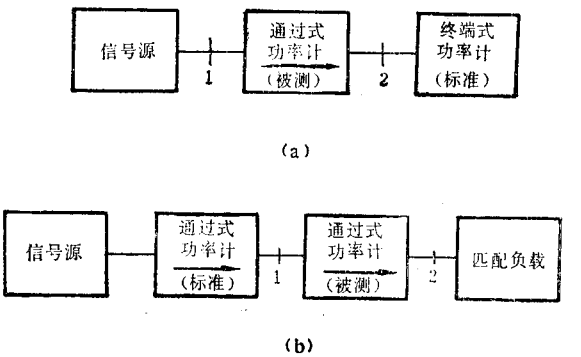


图　9-3

将信号源调到规定频率，调节信号源的输出功率，使标准功率计有示值 P_s，同时读取被测通过式功率计的示值 P_u，则功率测量相对误差为：

$$\Delta_P = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100\%$$

III. 小功率计的测试方法

(1) 交替比较法

① 测试方框图，见图 9-4。

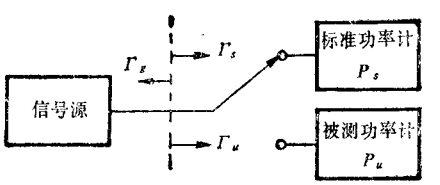


图　9-4

② 测试步骤

将信号源及功率计均按说明书规定加电预热，信号源调到所需的工作频率，先将信号源的输出直接接到标准功率计，读取标准功率计的指示值 P_s。然后保持信号源输出不变的情况下，将信号源的输出换接到被测功率计，读取被测功率计的指示值 P_u。重复上述步骤三次取平均值。则被测功率计的功率测量相对误差为：

$$\Delta_P = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100\%$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

这种测试方法存在较大的失配误差，其失配误差的大小与信号源、标准功率座和被测功率座的反射系数有关。由于反射系数相位不确定而引入失配误差的极限为：

$$\delta_{失} = \pm 2|\Gamma_g|(|\Gamma_s| + |\Gamma_u|)$$

式中 Γ_g 为信号源输出端反射系数；

Γ_s 为标准功率座的反射系数；

Γ_u 为被测功率座的反射系数。

(2) 单定向耦合器法

① 测试方框图，见图 9-5。

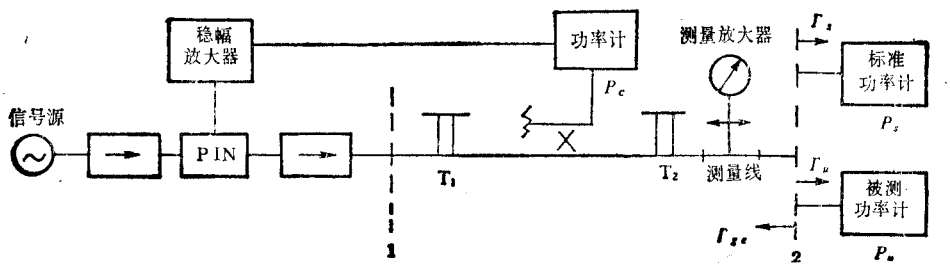


图 9-5

② 测试步骤

将信号源、功率计、稳幅放大器、测量放大器均按说明书的规定开机预热。信号源调到所需的工作频率。

先将端面 1 接匹配负载，信号源工作在内方波调制状态接到端面2，调信号为合适的功率电平从端面 2 输入，调节调配器 T_1 使 P_c 的指示值最小，然后调节调配器 T_2 使由端面 2 向源端看的等效源驻波系数 s_{ge} 小于 1.02。

按上述步骤调配好等效信号源后，信号源及测量系统按图 9-5 连接。信号源工作到连续波工作状态，调整稳幅器使输出功率稳定在所需电平上。

依次在端面 2 接标准功率计与被测功率计，分别读出指示值 P_s、P_u。

则功率测量相对误差为：

$$\Delta_P = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100\%$$

9. 功率座接头型式

connectors of power sensor

指功率座输入接头的型式。功率座通常分同轴型功率座与波导型功率座两种。目前国产同轴小功率座的同轴接头型式最常用的为L16-50Ω 阳接头，中功率计常用的有 L16-50Ω 和 L27-50Ω。进口的功率计同轴座接头有N型、APC-7 型及 SMA 型等。对于波导功率座都选用各种标准矩形波导，我国的矩形波导频段划分和型号见 SJ150-65 标准，型号以BJ×××表示。波导法兰则见 SJ213 标准。在产品技术指标中应注明波导宽边与窄边尺寸及法兰连接尺寸。

10. 波导截面尺寸 $a \times b$

waveguide section dimension

指功率计波导功率座所采用的标准矩形波导内截面宽边与窄边的尺寸，以 $a \times b$ 表示，a 为宽边尺寸，b 为窄边尺寸，并以 mm 为单位。

11. 输入阻抗 Z_i

input impedance

指功率计所配功率座输入端之阻抗，对于同轴型功率座通常为 50Ω。

对于微波功率计通常测量功率座的驻波系数，而不测输入阻抗。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

12. 功率座的驻波系数　S 或 $VSWR$

voltage standing-wave ratio of power sensors

功率计所配功率座输入端的电压驻波比。

测试方法：

I. 测量线法

(1) 测试方框图，见图 9-6。

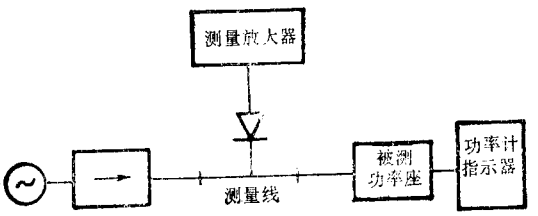


图　9-6

(2) 测试步骤

按图 9-6 连接测试系统，信号源置于内方波工作状态，调到所需的工作频率及合适的输出功率，致使测量线的检波器工作在平方律范围内，移动测量线探针，从测量放大器上读出驻波分布的电压最大值 V_{max} 及电压最小值 V_{min}，则被测功率座在此频率上的驻波系数为：

$$S=\sqrt{\frac{V_{max}}{V_{min}}}$$

II. 网络分析仪法

(1) 测试方框图，见图 9-7。

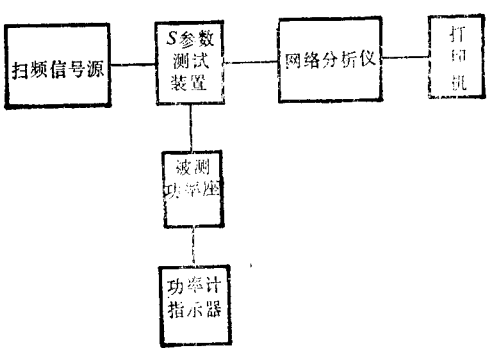


图　9-7

(2) 测试步骤

按图 9-7 连接测量系统，网络分析仪可以是矢量网络分析仪，也可以是标量网络分析仪。

按说明书要求调节扫频信号源及网络分析仪，设置所需的频率范围及频率步进点，运行测量程序，直接打印出所测频率范围内各频率点的驻波系数值。

13. 功率座校准系数　K_b

calibration factor of power sensor

被测功率计的指示功率与该功率座的入射功率之比：

$$K_b=\frac{P_b}{P_i}\times 100\%$$

式中　P_b 为被测功率计的示值，P_i 为被测功率座的入射功率。

测试方法：

I. 交替比较法

(1) 测试方框图，见图 9-4。

(2) 测试步骤：见"功率测量误差"测试中交替比较法的测试步骤，读取 P_s 和 P_u 后，被测功率座的校准系数为：

$$K_{bu}=K_{bs}\frac{P_u}{P_s}\frac{|1-\Gamma_g\Gamma_u|^2}{|1-\Gamma_g\Gamma_s|^2}$$

式中　K_{bs} 为标准功率座的校准系数。反射系数的影响可以作为失配误差考虑，则：

$$K_{bu}=K_{bs}\frac{P_u}{P_s}$$

II. 单定向耦合器法

(1) 测试方框图，见图 9-5。

(2) 测试步骤：按"功率测量误差"测试中单定向耦合器法的步骤调整好等效源系统。在端面 2 接标准功率计，读取标准功率计的指示值 P_{bs} 及此时定向耦合器旁臂功率计的指示值 P_{cs}。由单定向耦合器、调配器及旁臂功率计组成的功率传递标准的校准系数 K_c 为：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$K_c = \eta_{es} \frac{P_{cs}}{P_{bs}} \frac{(1-|\Gamma_s|^2)}{|1-\Gamma_{ge}\Gamma_s|^2}$$

式中 η_{es} 为标准功率计的有效效率，Γ_{ge} 为端面 2 的等效源反射系数，Γ_{ge} 与 S_{ge} 有如下关系：

$$|\Gamma_{ge}| = \frac{S_{ge}-1}{S_{ge}+1}$$

在端面 2 再换接被测功率计，读取被测功率计的指示值 P_{bu} 及此时旁臂功率计的指示值 P_{cu}，则被测功率座的校准系数为

$$K_{bu} = K_c \frac{P_{bu}}{P_{cu}} |1-\Gamma_{ge}\Gamma_u|^2$$

若把反射系数的影响作为测量校准系数的失配误差来考虑，则有

$$K_{bu} = K_c \frac{P_{bu}}{P_{cu}}$$

III. 自动功率校准系统

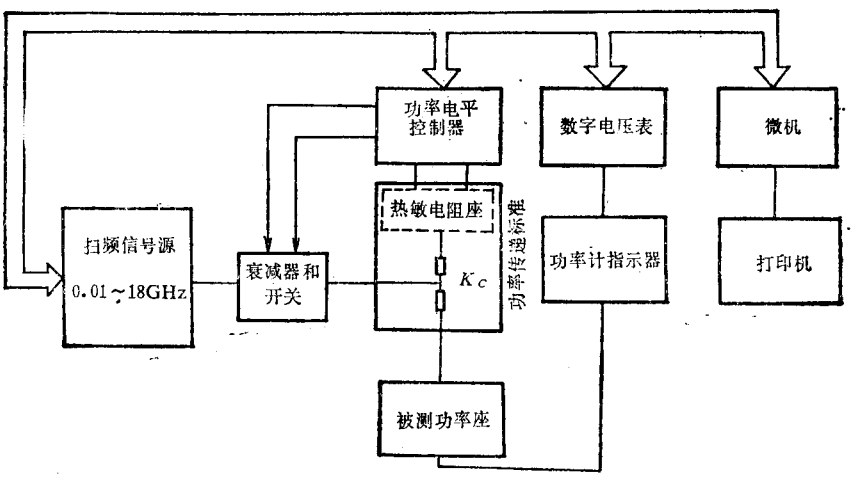


图 9-8

(1) 测试方框图，见图 9-8。

(2) 测试步骤：按图 9-8 接好测试系统，并按说明书要求将各仪器加电预热。将已知的功率传递标准的校准系数 K_c 值输入微机。设置信号源的频率范围及功率电平。操作微机，运行测量程序。扫频信号源的频率由微机程控，被测功率计的指示值 P_{bu} 通过数字电压表进行模数变换后经接口母线输入计算机，功率传递标准热敏电阻座的功率 P_{cu} 通过功率电平控制器输入计算机，由计算机进行数据处理得到被校功率座的校准系数 K_{bu}，并由打印机打印出测试结果。美国 WE 公司生产的"系统 II"型自动功率校准系统，工作频率范围为 10MHz～18GHz，可对 107 个频率点进行自动测量，每个频率点的测量速度为 1.5 秒。校准系数测量的不确定度为±(1.2～2.5)%。

IV. 功率方程法

(1) 测试方框图，见图 9-9。

(2) 测试步骤

① 在端面 2 接可移短路器，调节调配器 T_y，使 P_3 的指示值在移动可移短路器时保持不变。

② 在端面 2 接标准短路器，记下此时功率计的示值 P_{3t}。

③ 在端面 2 接标准功率计，记下此时 P_3 功率计的指示值 P_{3s}，同时记下标准功率计的指示值 P_{bs}。计算标准功率计的失配因子 M_{gs}：

$$M_{gs} = 1 - \frac{P_{3s}}{P_{3t}}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

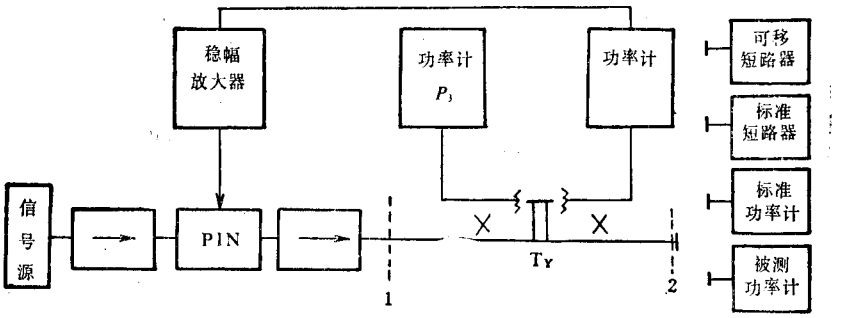


图　9-9

④ 在端面 2 接被测功率计，记下此时 P_3 功率计的指示值 P_{3u}，同时记下被测功率计的指示值 P_{bu}。计算被测功率计的失配因子 M_{gu}：

$$M_{gu} = 1 - \frac{P_{3u}}{P_{3t}}$$

⑤ 被测功率座的有效效率为：

$$\eta_{eu} = \eta_{es} \frac{P_{bu}}{P_{bs}} \frac{M_{gs}}{M_{gu}}$$

式中　η_{es} 为标准功率座的有效效率。

⑥ 被测功率座的校准系数为：

$$K_{bu} = \eta_{eu}(1 - |\Gamma_u|^2)$$

V. 六端口反射计法

(1) 测试方框图，见图 9-10。

(2) 测试步骤

① 按图接好测试系统，并按说明书要求将

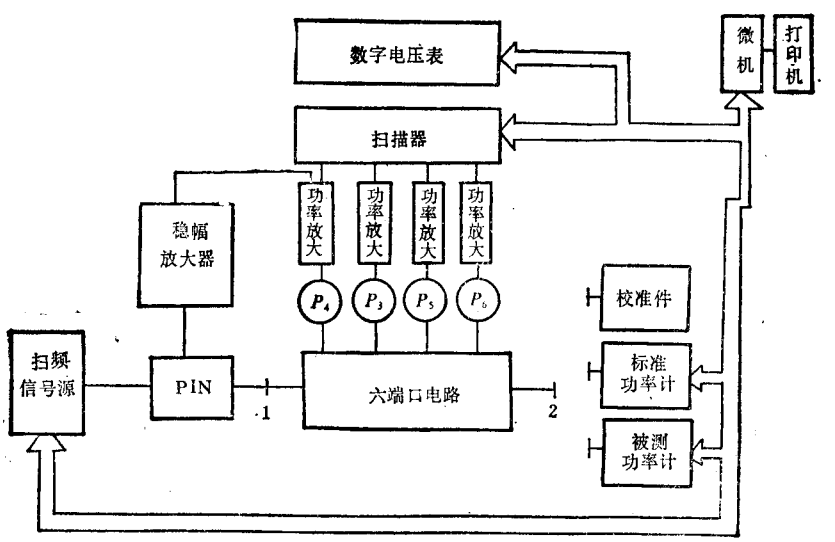


图　9-10

各仪器加电预热。

② 按六端口反射计使用说明的要求，用校准件及标准功率计校准六端口反射计。

③ 在端面 2 接被测功率计，并操作微机，运行测量程序，微机程控扫频源的频率，由六端口反射计测出加到被测功率座的净功率 P_L 及被测功率座的反射系数模值 $|\Gamma_u|$，存入微机，被测功率计的示值 P_b 经接口母线输入微机，经微机进行数据处理后打印出被测功率座的有效效率或校准系数。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

有效效率 $\eta_{eu} = \frac{P_b}{P_L} \times 100\%$

校准系数 $K_{bu} = \eta_{eu}(1 - |\Gamma_u|^2)$

由于小功率计指示器的误差一般远小于功率座的误差，所以功率座校准系数或有效效率的测量是小功率计性能测试的最主要项目。

14. 功率座有效效率 η_e

effective efficiency of power sensor

接被测功率座的功率计指示功率 P_b 与该功率座吸收的净功率 P_L 之比。即：

$$\eta_e = \frac{P_b}{P_L} \times 100\%$$

式中 P_L 为被测功率座吸收的净功率，它等于被测功率座的入射功率减去反射功率后被功率座吸收的功率。

$$P_L = P_i - P_r$$

式中 P_i 为入射功率，P_r 为反射功率。

测试方法：

(1) 由功率座的驻波系数 s 计算得到被测功率座的反射系数 $|\Gamma_u|$

(2) 由"功率座校准系数"测试方法测出校准系数 K_{bu}。

(3) 由下式计算得到被测功率座的有效效率 η_{eu}：

$$\eta_{eu} = \frac{K_{bu}}{1 - |\Gamma_u|^2}$$

15. 功率座校准系数误差 ΔK_b

calibration factor error of power sensor

指功率座校准系数的误差。它来源于标准功率座的校准系数的误差及测试系统引入的误差，通常由量值传递、理论分析及实验结果、误差综合后给出。

16. 方向性 D

directivity

此指标只有通过式功率计具有。

定义一：对于单向的通过式功率计，方向性为端口 1 输入功率、端口 2 接匹配负载时，通过式功率计的指示值 P_1；与端口 2 输入相同功率、端口 1 接同一匹配负载时通过式功率计的指示值 P_2 之比值的对数。即

$$D = 10\lg\frac{P_1}{P_2}$$

定义二：对于双向的通过式功率计，当输入端输入信号功率，输出端接匹配负载时，通过式功率计的两个指示器分别指示出负载的入射功率 P_i 和反射功率 P_r，则方向性定义为：

$$D = 10\lg\frac{P_i}{P_r}$$

测试方法：

I. 单向通过式功率计

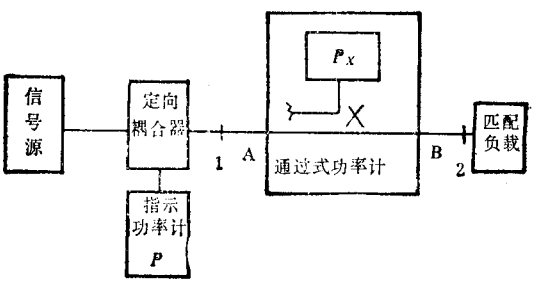


图 9-11

(1) 测试方框图，见图 9-11。

(2) 测试步骤

① 按图 9-11 连接测量系统，调信号源到所需的工作频率及合适的功率输出。

② 同时读取指示功率计的指示值 P 及通过式功率计的指示值 P_1。

③ 将通过式功率计反过来接，即将 B 端接端面 1，A 端接端面 2。调节信号源输出到指示功率计读数仍为 P，记下此时通过式功率计的指示值 P_2。

④ 方向性按下式计算得到：

$$D = 10\lg\frac{P_1}{P_2}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

II. 双向通过式功率计

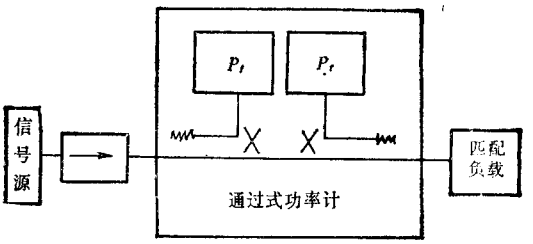


图　9-12

(1) 测试方框图，见图 9-12。

(2) 测试步骤

按图 9-12 连接测试系统，调信号源到所需的工作频率和合适的输出功率。同时读取通过式功率计的二个指示功率 P_i 及 P_r，按下式计算出方向性：

$$D = 10\lg\frac{P_i}{P_r}$$

17. 插入损耗　A

insertion loss

通过式功率计接入微波馈线系统中所引起的损耗。单位为 dB

测试方法：

I. 功率比法

(1) 测试方框图，见图 9-13。

图　9-13

(2) 测试步骤

① 按图 9-13 连接测试系统，按仪器说明书要求加电预热。

② 当不接被测通过式功率计时，即端面 1 与端面 2 直接连接，调信号源输出功率到终端功率计上有合适的读数，记下功率值 P_1。

③ 在端面 1 和端面 2 之间插入被测通过式功率计，记下此时终端功率计的值 P_2。

④ 通过式功率计的插入损耗 A 为

$$A = 10\lg\frac{P_1}{P_2}\ (\text{dB})$$

实际测量时，由于插损很小，功率计的读数分辨度不够，可将功率计的直流输出端口接数字电压表，此时数字电压表指示的电压值正比于输入功率，当被测通过式功率计插入前，数字电压表读数为 V_1，被测件插入后数字电压表读数为 V_2，则

$$A = 20\lg\frac{V_1}{V_2}\ (\text{dB})$$

II. 衰减替代法

(1) 测试方框图，见图 9-14。

(2) 测试步骤

① 按图 9-14(a) 或图 9-14(b) 连接测试系统，按说明书要求将仪器调到正常工作状态。

② 信号源调到所需的工作频率上，调本振频率到接收机收到中频信号。

③ 当被测通过式功率计插入时，调测试接收机的标准衰减器到某一合适的指示值，或调衰减校准装置内的标准衰减器到指示为零。记下标准衰减器的读数 A_1。

④ 将被测功率计从系统中去除，再次调标准衰减器到原来的指示值。记下此时标准衰减器的读数 A_2。

⑤ 通过式功率计的插入损耗 A 为：

串联替代法时　$A = A_2 - A_1$(dB)

并联替代法时　$A = A_1 - A_2$(dB)

III. 网络分析仪法

(1) 测试方框图，见图 9-15。

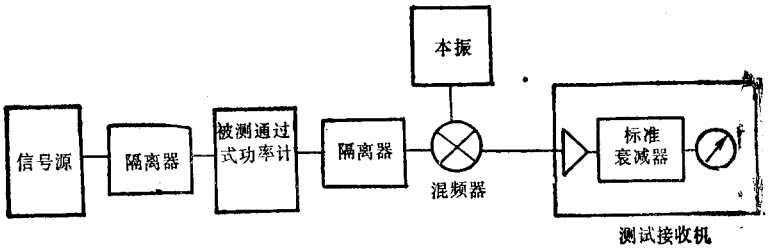
(2) 测试步骤

无论是用标量网络分析仪还是矢量网络分析仪均可用于测量插损。用网络分析仪测出被测通过式功率计的 s_{21} 的模值，则插入损耗为：

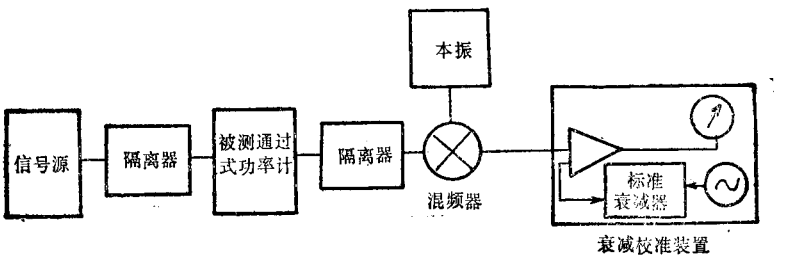
$$A = 20\lg\frac{1}{|s_{21}|}\ (\text{dB})$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



(a) 串联替代法



(b) 并联替代法

图 9-14

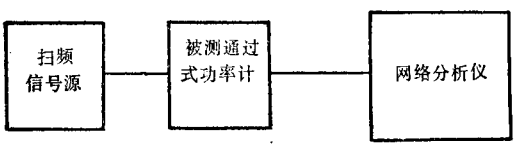


图 9-15

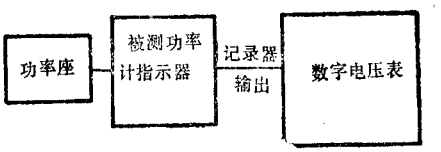


图 9-16

测量结果可直接打印输出，插损随频率变化的曲线可以用绘图仪画出。

18. 工作阻值 R_0

working resistance

通常是指测辐射热器在加直流偏置后使电桥达到平衡时的电阻值，它由电路设计所决定。

19. 校准系数档位误差 ΔK

error of calibration factor control

指功率计指示器面板上校准系数开关各档位的误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 9-16。

(2) 测试步骤

① 按图 9-16 连接测试系统，接通电源并按规定要求预热。

② 将功率计量程置于合适位置，校准系数开关置于 100% 档位，调节粗调零使数字电压表读数为 1.000V。

③ 扳动校准系数开关，读出各档位相应的记录器输出电压值 U_K，则实际各档的校准系数值为 K'：

$$K' = \frac{1.000}{U_K} \times 100\%$$

④ 指示器校准系数各档位的误差为：

$$\Delta K = |K' - K|$$

式中 K' 为实际测出的各档校准系数的值；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

K为功率计指示器标称的各档校准系数值。

20. 记录器输出特性

recorder output

指功率计的“记录器输出”的性能。包括：当功率计满刻度指示时输出的电压值，输出电压与功率指示值之间的线性度，输出电阻值。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 9-17。

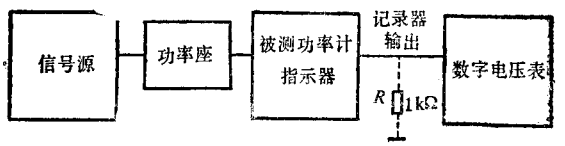


图 9-17

(2) 测试步骤

① 调信号源输出到指示器指示为满刻度的位置，记下此时数字电压表的读数，该电压应符合规定的要求。

② 改变信号源输出功率，分别读出功率计的指示值P和数字电压表上相应的电压值V。画出输出电压与指示功率值之间的关系。

③ 在指示器指于合适刻度时，先将指示器的记录器输出端直接接数字电压表，读取电压值为V_1，再在数字电压表输入端并接一个电阻R(约 1kΩ)，读取此时的电压值为V_2，则输出电阻R_0为：

$$R_0 = R\left(\frac{V_2}{V_1} - 1\right) \quad (欧姆)$$

21. 最大允许平均功率 P_{max}

maximum average power

功率计所允许输入的最大平均功率，当去除该功率后功率计仍能正常工作，不会因此而降低功率的各项性能指标。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 9-18。

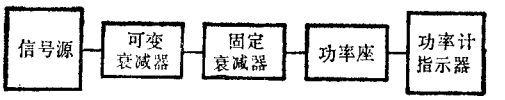


图 9-18

(2) 测试步骤

① 按图 9-18 连接测试系统。在功率计工作频率范围内任意频率点上，调信号源输出功率到功率计在最大量程上指示某一合适值。

② 减小信号源输出功率，拆去固定衰减器，接上被测功率计，调信号源的输出功率，使功率计的输入功率达到最大允许平均功率值，持续 1 分钟，拆下功率座。

③ 再次接入固定衰减器，将功率座接在固定衰减器后，检查功率计是否还能正常工作，各项性能是否符合技术指标要求。

22. 最大允许峰值功率 $\acute{P}_{max}$

maximum peak power

功率计所允许输入的最大峰值功率，当该输入峰值功率去除后，功率计仍能正常工作，不会因此而降低功率计的各项性能指标。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 9-19。

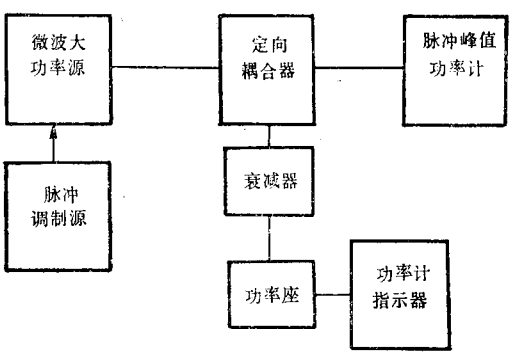


图 9-19

(2) 测试步骤

按功率计规定的技术指标，调节微波大功

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

率源的脉冲重复频率、脉宽，使脉冲工作比达到规定值。调节大功率源的输出功率，使脉冲峰值功率计有一合适的指示。然后拆除 10dB 固定衰减器，使被测功率计所承受的峰值功率达到最大允许峰值功率值，持续 1 分钟后拆去被测功率座。加小功率到被测功率座，检查功率计能否正常工作，各项性能是否符合技术指标的要求，若达不到要求就说明功率座已损坏。

23. 响应时间 *t*

response time

输入微波功率后功率计指示达到稳定值所需的时间。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 9-20

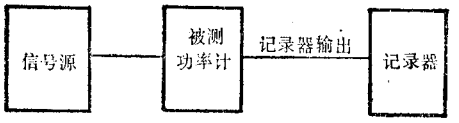


图 9-20

(2) 测试步骤

此项指标对量热式功率计尤为重要。

① 将被测功率计的记录器输出端口接到记录器，记录器的走纸速度放在合适的位置。

② 输入微波功率，功率计的指示逐渐上升，记录器记录下功率指示随时间变化的曲线，当输出达到稳定时所需的时间即响应时间。也可用微机经 A/D 采样后进行数据处理的方法测量响应时间。

24. 功率线性度 *P.L.*

power linearity

由于被测功率电平变化而引入的功率测量附加误差。以某个功率电平范围内，功率测量相对误差的最大变化量表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 9-21。

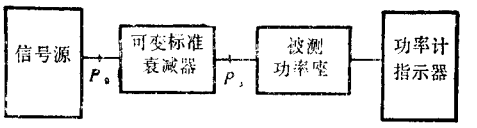


图 9-21

(2) 测试步骤

按图 9-21 连接测试系统，调信号源到所需的工作频率及准确的输出功率 P_0，改变步进式标准衰减器的衰减量 A(dB)，则标准衰减器输出的功率 P_s 为

$$P_s = 10^{-\frac{A}{10}} \cdot P_0$$

相应于每个衰减量 A(dB) 时，记下功率计的指示值 P_u，计算功率计的功率测量相对误差 ΔP

$$\Delta P = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100\%$$

在功率计的工作频率范围的上限频率、下限频率及中心频率上分别重复上述步骤。在每个频率上以某个功率电平范围内功率测量相对误差的变化量[即 $(\Delta P)_{max} - (\Delta P)_{min}$] 为功率非线性的附加误差。取整个频率范围内功率非线性附加误差的最大值为功率线性度。

25. 温度影响 *T*

temperature effect

由于温度变化而引入的功率测量的附加误差。

测试方法：

在不同温度下，对被测功率计的功率测量误差进行测试。以某个温度范围内的最大功率测量相对误差 $(\Delta P)_{max}$ 与最小的功率测量相对误差 $(\Delta P)_{min}$ 之差表示温度影响的指标。

26. 显示方式

display mode

是指功率计指示器的显示方式。通常有模拟式电表显示与数字式显示两种。数字式显示又分为发光二极管数字显示、液晶显示、辉光数

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

码管数字显示等多种，显示位数则有3½位、4½位等多种。

27. 预热时间

warmup time

功率计接通电源后，能正常工作的最短加热时间。

28. 接口功能

interface function

智能化功率计所带微机接口的功能。通常采用 GP-IB（或称 IEEE-488）接口

测试方法：

通过接口母线将带接口的功率计与微机相连接，根据功率计说明书中给出的程序，通过微机控制功率计并运行工作程序，检查接口功能是否正常。

29. 功耗 P_c

power consumption

指功率计消耗的总电源功率，为输入电源电压与电流之乘积。通常以 VA 为单位。

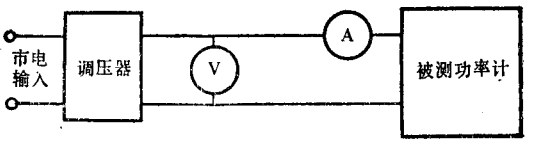


图 9-22

测试方法：

（1）测试方框图，见图 9-22。

（2）测试步骤

调节调压器使在电压表上指示为 220V，由安培表上测得功率计消耗的总电流 I。则功耗为：

$$P_c = UI = 220伏 \times I$$

30. 电磁兼容性 EMC

electromagnetic compatibility

功率计克服电磁干扰影响，保证仪器正常工作的能力。通常应符合 GB6833.1～6833.10。

31. 可靠性 MTBF

reliability

功率计的平均无故障工作时间。

测试方法：按 GB1889。

* * *

本章技术指标与测试方法中所用的主要测试仪器汇总如下。

表 9-6 主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	仪器名称	参考型号
信号发生器	XFC-1，XG22A，XG26	微波稳幅器	MSA-83
	SLRD(R/S 公司)	微波功率放大器	FW3
	XX19，XX20，XF1	标准衰减器(大功率)	RBU、RBS
驻波测量仪(同轴测量线)	TBZ-1、TCBD、YM3631	数字电压表	8480A、GDM
	TC12、TC35	频率计	800C、PS44、E324
	TZ-75	扫频信号源	8350B
(波导测量线)	TC27、TC26、TC23	标量网络分析仪	8757C
选频放大器	XF01	标准功率计	436A、438A、NRS
功率校准器	GX12M2		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第5节 功率计量值传递表

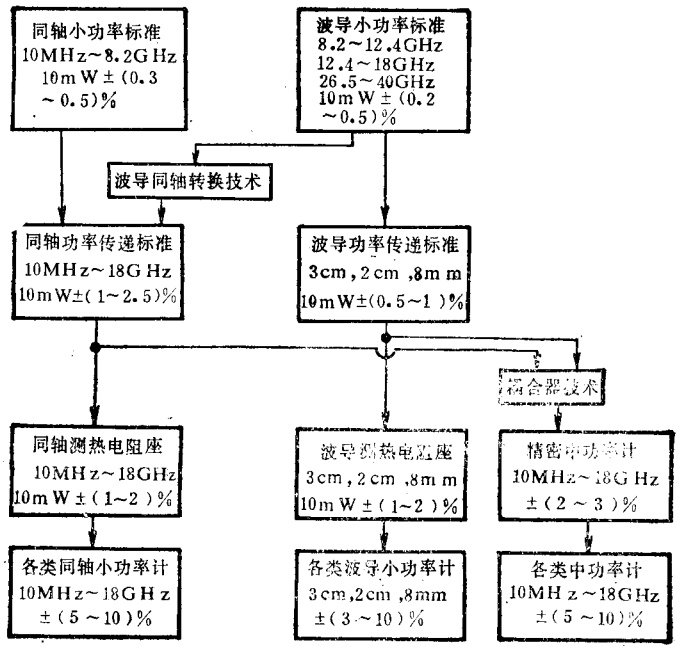


图 9-23

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第10章 噪声发生器

第1节 综 述

噪声和信号是两个对立而统一的概念，无论是在无线电电子学还是在声学等领域中都是如此。噪声通常是指干扰有用信号的不期望的扰动。它使有用信号受到干扰和失真，并且降低了信号观察和测量的可靠性。噪声分为外部噪声和内部噪声。前者是指无线电设备以外的环境噪声如宇宙噪声等；后者是指设备内部的如收音机中的"沙沙声"，电视图像背景中的"雪花"等等。人们为了克服和降低噪声，便开始对它进行了广泛的研究和测量，并加以利用。

1918年 Schottky 发现限温二极管(饱和二极管)可以作为噪声源。

1926年 J. B. Johnson 发现电阻就是噪声源并给出了其开路均方电压为

$$\overline{V}^2 = 4kTRB$$

式中 k——玻尔兹曼常数 (1.380662×10^{-23} 焦耳/K)

T——电阻温度 (K)

B——观测带宽(赫)

R——电阻值(欧姆)

1928年，Nyquist 对上式给出了最简单的推导，并给出了在噪声研究上极有价值的 Nyquist 定理：终端输出的有效噪声功率 P 为

$$P = \frac{1}{2}hfB + \frac{hfB}{e^{hf/kT}-1}$$

式中 h——普朗克常数(6.626176×10^{-34} 焦耳·秒)

f——频率(赫)

假设 $hf/kT \ll 1$

则

$$P = kTB$$

1949年 W. W. Mumford 发明了气体放电管噪声发生器。

1956年 Hughes、Sutcliffe 制造了"热负载"噪声源。

1961年 Stelzried 制造了同轴型致冷噪声源。

60年代，国外相继建立热噪声标准，用以计量饱和二极管噪声发生器和气体放电管噪声发生器。

70年代，美国开始生产固态噪声发生器。

我国60年代开始生产饱和二极管噪声发生器。1964年北京大华无线电仪器厂生产了第一批同轴气体放电噪声发生器。1965年中国计量科学研究院研制成功我国第一套3cm热噪声标准。

70年代由航天部二院计量站、北京大华无线电仪器厂、中国计量科学研究院、邮电科学研究院通信计量中心等单位分别建立了10cm、5cm、3cm、2cm、1.25cm、8mm、4mm等波段的热噪声标准。中国计量科学研究院与上海无线电仪器厂研制了同轴热噪声标准。

1978年北京大华无线电仪器厂仿制成第一台同轴型冷/热噪声源。

80年代，中国计量科学研究院，航天部二院计量站相继建立了7.5cm、5cm冷噪声标准。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

目前我国已能生产 7.5cm、5cm、3cm、1.25cm、8mm 波段冷噪声源。

1980 年北京大华无线电仪器厂首次在 8mm 微波辐射计上制造使用了雪崩二极管固态噪声源。南京固体器件研究所研制、生产了多种固态噪声源。

1986 年北京大华无线电仪器厂在我国首次研制成功具有数字显示的噪声发生器。

由于噪声发生器、噪声标准的研制成功，带动了我国微波遥感技术的发展，我国已能生产用于不同领域的微波辐射计，频率范围从 1GHz 到 112GHz。

在噪声发生器、噪声标准的研制、开发、生产中，中国计量科学研究院、航天部二院计量站、北京大华无线电仪器厂、北京无线电仪器厂，邮电科学研究院通信计量中心，扬州无线电厂、上海无线电仪器厂、南京固体器件研究所、安阳电子管厂、上海电真空器件研究所等单位都做出了自己的贡献。

随着微处理器的发展和普及，今后噪声发生器和噪声测量的控制操作趋向自动化，显示读出趋向数字化，信号处理趋向智能化。

可以预料，人们将进一步开发和应用噪声测量技术，用于国防以及能源、水文、海洋、地理、气象、医疗等国民经济各个领域，使其造福于人类。

在高频、微波领域，测量线性二端口网络的噪声特性，如放大器的噪声特性、接收机的灵敏度，都离不开噪声发生器。它具有输出电平精确度高，可以作为功率测量和校准正弦波信号发生器的初级标准。噪声发生器的输出电平很低，无需采取完善的屏蔽。噪声在使用过程中还有可相加的特性。

噪声发生器是一种能产生连续频谱的仪器，其核心部份是噪声源。一个良好的噪声源应在规定的频带内具有均匀的功率谱密度、良好的传输性能和一定的输出噪声功率。当外界条件（环境温度、气压、湿度等）变化时，噪声特性应不变，应具有重现性。

噪声发生器的一般性能：

类别 / 技术性能	冷/热负载噪声发生器		饱和二极管噪声发生器	固态噪声发生器		气体放电噪声发生器	
	同轴	波导	同轴	同轴	波导	同轴	波导
应用频率范围（GHz）	0～26.5	2.6～75 以上	0.001～3	0.01～26.5	2.6～40 以上	0.2～5	2.6～75 以上
输出噪声温度（K）	4.2,77.3,290,373		290～2×10^5	900～2×10^6		10.4 1.8×10^4	
典型精度(%)	0.1～3		2～15	4～25		2～10	

下面，分类介绍白噪声发生器。

（一）饱和二极管(限制二极管)噪声发生器

此类噪声发生器用在米波和分米波段。它是用阴极温度受限制并工作在饱和区（或称限温区)的二极管作为噪声源，饱和二极管由热阴极和阳极组成。当阳极电压较低时，从阴极发出的一部份电子，因能量小，在阳极和阴极之间形成空间电荷，从而降低了电子发射的随机性，使电流减小。当阴极电压增加时，电流也随之增大，当达到一定值后，空间电荷消失，电流不再增加，二极管工作在饱和区。饱和工作电流与阴极温度有关，温度越高，电流越大，阴极温度由灯丝电压控制。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在饱和区，如阴极温度一定，则电流也维持恒定，在单位时间内，阴极发射的电子数围绕着一平均值起伏变化，这种现象称为“散弹效应”。电子发射的时间、速度和运动过程是随机的。因而，总电流是一些不相关事件的总和，它的平均电流取决于阴极材料、尺寸和温度。而电流的起伏分量则是二极管噪声的来源，这种噪声称为“散弹噪声”。

电流的均方起伏 i_n^2 由下式确定：

$$i_n^2 = 2eIB$$

式中　e——电子电荷量（C）；

I——工作电流平均值（A）；

B——噪声检测带宽（Hz）。

在数千赫到数百兆赫的频率范围内，散弹噪声的谱密度是均匀的。低于数千赫时，二极管出现闪烁噪声，噪声随频率下降而增大。当频率超过数百兆赫时，二极管的杂散电抗及电子渡越时间影响显著，这时需对公式进行修正，其修正值随着频率增高而增加，这也就是饱和二极管噪声发生器工作频率不会太高的原因所在。

对于公式成立的条件，也就是饱和二极管噪声发生器必需做到的是：

① 电子渡越时间和工作频率的周期相比，可以忽略。

② 必须工作在饱和区，为使二极管具有良好的饱和特性，阴极需由纯钨或涂钍的钨制作。

③ 极间距离要小，引线要短，以减小杂散电抗。

饱和二极管噪声发生器有两个噪声来源，即输出电阻 R_e 产生的热噪声功率和噪声电流流经电阻 R_e 产生的噪声功率。

饱和二极管噪声发生器的资用输出噪声功率 P_n 为：

$$P_n = \frac{1}{4} i_n^2 R + kT_a B = \frac{1}{2} eIBR_e + kT_a B$$

式中　T_a——电阻 R 的物理温度；

k——玻尔兹曼常数。

若用超噪比 ENR 表示：

$$ENR = \frac{P_n - kT_0 B}{kT_0 B}$$

当 T_n 为噪声发生器处于热态时的等效输出噪声温度

则

$$P_n = kT_n B$$

或

$$ENR = \frac{T_n - T_0}{T_0}$$

当 $T_a = T_0 = 290\text{K}$ 时

$$ENR = \frac{eIR_e}{2kT_0}$$

代入 k, e, T_0 值后，得

$$ENR = 20IR_e$$

用 dB 表示，$ENR = 10\lg 20IR_e$

若 $R_e = 50\Omega$ 则

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$ENR = 10\lg 1000I$$

式中如 I 以毫安数值代入，则

$$ENR = 10\lg I$$

这就表明，当 R_e 一定后，ENR 仅是 I 的函数。实际应用中常将表头直接以 ENR 为刻度，调节灯丝电压即可连续改变 ENR，使用就很方便。

当频率高于 300MHz 时，由于饱和二极管管脚引线电感和极间电容对输出噪声的影响显著增加，匹配性能严重变差，在这里就要引入一个修正系数 k_n

$$k_n = \left(\frac{1}{1-\omega^2 C L_0}\right)^2 = \left[\frac{1}{1-\left(\frac{f}{f_0}\right)^2}\right]^2$$

式中 ω——测试角频率；

f_0——饱和二极管谐振频率；

$\omega = 2\pi f$。

如：当 $C = 0.9\text{pF}$，$L_0 = 5\times10^{-9}\text{H}$，频率 $f = 600\text{MHz}$ 的 FZ-2 型饱和二极管，计算得 $k_n = 1.14$，$10\lg k_n = 0.57\text{dB}$ 即工作于 600MHz 时，噪声发生器的实际 ENR 将比表头示值增大 0.57dB。

（二）气体放电噪声发生器

该噪声发生器主要由气体放电管和传输系统组成。气体放电管是一种离子器件，它由灯丝（阴极）和阳极组成。管内充满一定气压的惰性气体（常用的是氩 Argon 和氖 Neon）。当放电管点燃时，管内气体电离，在电场作用下，正离子趋向阴极，电子趋向阳极，这种现象称为气体放电。

气体放电时，管内形成的由离子、电子和中性粒子组成的等离子体将产生具有噪声性质的电磁辐射。等离子体是一种准中性的混合体。在每单位体积内，电子和离子的浓度几乎相等。由于电子质量远较其它粒子小，在电场中，它受到更大的加速，并具有比离子和中性粒子高得多的平均速度。电子在运动中将与其它粒子碰撞，这使气体分子进一步电离。而在碰撞时，电子速度急剧减慢，损失的动能就转化为一定形式的电磁辐射。由于电子速度（大小、方向）是随机的，这种辐射就带有噪声的性质，并在极宽的频率范围内谱密度均匀，并可以和微波电路紧密耦合。

等离子体辐射的噪声功率与碰撞时电子平均动能有关。

设电子质量为 m，均方速度为 V^2

则

$$\frac{1}{2}mV^2 = \frac{3}{2}kT_e$$

式中 T_e——电子温度（K）。

T_e 表示电子在作随机运动时所具有的平均能量。由于电子动能远大于其它粒子的能量，故 T_e 远高于物理温度，通常在 10^4K 数量级。可以证明：T_e 几乎与频率、放电电流、环境温度无关，而决定于管子所充气体的种类、放电管直径、充气压力等因素。其关系式如下：

$$\frac{1}{\sqrt{\frac{eU_i}{kT_e}}}e^{\frac{eU_i}{kT_e}} = 1.16\times10^7 c^2 P^2 R^2$$

式中 U_i——点火电压（V）；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

P——气体压力（mmHg）；

c——由气体决定的常数；

R——放电管半径（cm）。

电子温度仅是放电管的等效噪声温度的近似值，还需要在传输系统中进一步精确定标和计量。

气体放电噪声发生器的结构是将放电管以一定形式插入传输线，如同轴型的放电管插入螺旋线式的内导体，波导型的放电管以 E—7°～10° 或U型插入波导。传输线的一端接终端负载，另一端为输出端。放电管由电源供给灯丝电压和阳极电压。放电管点燃产生放电时，辐射的噪声功率与传输线耦合，一路被负载吸收，另一路经输出端输出。

气体放电噪声发生器的等效输出噪声温度并不等于放电管的等效噪声温度。放电管点燃时，等离子体具有很大的插入损耗，称为热损耗。放电管熄灭时，主要是由放电管的玻壳产生的损耗称为冷损耗。这两种损耗一方面衰减辐射的噪声功率；一方面贡献出与自身温度及损耗有关的噪声功率。若热损耗为无穷大，冷损耗为零，放电管的等效噪声功率将全部耦合输出。若不能满足上述条件，一部分噪声功率将不能耦合输出，噪声发生器的输出等效噪声功率将小于放电管辐射的等效噪声功率。

气体放电噪声发生器输出的超噪比 ENR 一般以下式求出：

$$ENR=\left(\frac{T_e}{T_0}-1\right)\left(1-\frac{d_c}{d_h}\right)\left(1-\frac{1}{L_h}\right)$$

式中　L_c 为冷损耗，且 $d_c=10\lg L_c$

　　L_h 为热损耗，且 $d_h=10\lg L_h$

用 dB 表示为：

$$ENR=10\lg\left(\frac{T_e}{T_0}-1\right)+10\lg\left(1-\frac{d_c}{d_h}\right)+10\lg\left(1-\frac{1}{L_h}\right)$$

在噪声发生器工作频率范围内，若 d_c 不为零，d_h 非无穷大，则将有一部份等效噪声功率不能耦合输出，其大小由公式的后两项决定。由于 d_c、d_h 是频率的函数，其 ENR 值随频率在一定的范围内变化。也可以看出公式后两项决定的负修正值。

在波导型气体放电噪声发生器中，由于 d_c 较小，一般小于 0.4dB，d_h 大于 20dB，仅有约 1% 的噪声功率不能耦合输出，且在工作频率范围内 ENR 变化较小。同轴型噪声发生器的 d_c 略大，一般在 1～2dB，所以约 3～5% 的噪声功率不能耦合输出，且 ENR 变化较大，所以误差也大些。

对于气体放电噪声发生器，若放电管充的气体是氖气，输出超噪比一般在 $ENR=18$dB 左右；如果充的是氩气，则 $ENR=15$dB 左右，这从点燃放电后颜色就能很容易分辨出来。

（三）固态噪声发生器

固态噪声发生器覆盖频率极宽，具有体积小、重量轻、功耗低等优点。它的主要器件是固态噪声二极管（Read 型固态噪声二极管），它是一种 P-N 结器件。当工作于反偏压，处于雪崩击穿状态时，载流子雪崩倍增的电流起伏将产生雪崩散弹噪声，这种噪声在工作频率远低于雪崩频率时，近似为白噪声。

在一个没有电抗元件的简单电路中，传输到负载电阻 R_L 的雪崩噪声功率谱密度 $\omega_n(\omega)$ 中

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

下式示出：

$$\omega_n(\omega) = a^2\left(\frac{U_b^2}{I}\right)\left(\frac{1}{1-\frac{\omega^2}{\omega_a^2}}\right)^2\frac{R_L}{R_{sc}+R_{sP}+R_L}$$

式中 $a = \frac{ek_a^2\tau_{tr}^2}{3m^2\tau_x^2}$，取决于 P-N 结材料及几何形状的常数；

m——表示电离系数与电场幂的关系中的指数；

$k_a = \frac{U_b}{U_a}$，击穿电压 U_b 与雪崩区两端电压 U_a 之比值，一般 $k_a = 0.5$；

$\tau_{tr} = \frac{W}{v_d}$，空间电荷层宽度$W$与漂移速度 v_d 之比值；

τ_x——在雪崩区内一个载流子发生二次电离之间的平均时间；

I——雪崩电流（mA）；

ω——工作角频率；

ω_a——雪崩角频率；

R_{sc}——空间电荷电阻（Ω）；

R_{sP}——串联电阻（Ω）。

当负载电阻 R_L 等于二极管的空间电荷电阻 R_{sc} 与串联电阻 R_{sP} 之和时，可得到最大功率传输，

则

$$ENR = 10\lg\frac{a^2U_b^2}{4IkT_0(R_{sc}+R_{sP})\left(1-\frac{\omega^2}{\omega_a^2}\right)^2}$$

噪声二极管的特性阻抗近似等于空间电荷电阻，因此可通过调整结面积和空间电荷区宽度来设计二极管阻抗。

一个固态噪声发生器应该在工作频率范围内具有平坦的噪声输出以及具有良好的匹配。平坦度除了和电路设计有关，但主要由噪声二极管的频谱特性决定。二极管一般具有特殊结构，为了抑制其它不可控噪声（如闪烁噪声）的产生，通常可采取在 P-N 结上加保护环环绕，保护环区域的击穿电压比阳极高，这样即可限制击穿范围直接位于阳极下的部位，消除沿结边缘不可控的微等离子区击穿，抑制不可控噪声的产生，以得到均匀击穿的 P-N 结，从而改善输出特性。此外，缩小击穿面积还可将材料的不均匀性的影响减至最小。为使散热最佳，二极管基片可直接装在金属管壳上，这样可使结温较低，噪声输出在长时间内比较稳定。为了进一步改善匹配性能，可在传输线中串入一个宽频带、低驻波、衰减值均匀、稳定的衰减器。衰减一般为 6～10dB。

由于固态噪声二极管的输出噪声功率与工作电流成反比，故二极管需用恒流电源供电。工作电压一般是 28V，工作电压的变化将导致 ENR 的改变。通常，变化量不大于 0.02dB/V。由于固态噪声发生器的工作频带极宽，且又加入了衰减器，所以需要在较多的频率点上，有时甚至几十个频率点上进行 ENR 的计量，求出平均值和偏差，这就是平坦度指标。

（四）冷/热负载噪声发生器

此类噪声发生器是将终端负载置于低于室温 290K（冷），或等于室温，或高于室温 290K（热）

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的恒温器中，有时冷或热负载噪声发生器装在一个机箱里，有时也可单独提供冷噪声发生器和热噪声发生器。

冷噪声发生器由终端负载、隔离传输线、气流系统和杜瓦瓶组成。终端负载是噪声源的辐射源，输出噪声功率的大小，主要是由负载体的物理温度确定，不仅要求负载的温度稳定，而且要求长期工作中有良好的重现性，所以要选择用物质固有的"相"平衡态(如沸点温度、凝固点温度等)。例如冷噪声发生器常用的标准气压下的氮（Nitrogen）沸点（77.3K），氦（Helium）沸点温度（4.2K）作为负载温度。

负载的材料不仅要具备损耗大、导热性能好，而且要能耐低温，长期使用不变形，一般采用羰基铁粉或铁粉-环氧树脂压制成型。

负载的长度和形状必须保证足够大的衰减量和足够小的反射，负载和传输线接触应尽可能大，以便迅速获得热平衡。对波导型的负载通常采用锥形或楔形渐变。对于同轴型的负载，则选用与同轴线呈阻抗匹配的负载电阻，并将连接负载的同轴线段内、外导体设计成锥形或拖曳线过渡，从而达到阻抗匹配的目的。

终端负载置于冷却液中，一般是采用间接致冷，即终端负载不直接和液氮等冷却液接触，而是被传输线密封包围着。但也有直接致冷的，如用于辐射计包括天线在内的定标的冷噪声发生器，就是将吸收材料的多个负载直接浸泡在冷却液中的。

为了确保传输线损耗不随时间变化，传输线要放在杜瓦瓶中，要采取抽真空、密封等措拖，常用的有不锈钢杜瓦瓶和玻璃杜瓦瓶。为了实现隔热作用，在负载终端和输出传输线之间加隔热传输段，一般采用薄壁的不锈钢、德银等导热性能较差的材料。为了防止在传输线上结霜，增大损耗，要设计气流冲洗系统。有时为防止外界热空气很快进入输出传输线，在传输线内结成水珠、增加损耗，还需要在输出传输线内加入一块损耗极小的泡沫材料，使内外的冷、热空气缓慢交流。

对于冷噪声发生器一定要测量沿不锈钢传输线的温度分布、测量或计算出不锈钢传输线各段的损耗值、计算和求出其温度梯度，最后精确地计算或测量出输出噪声温度。

室温噪声发生器一般采用处于室温的终端负载，或处于"关"状态的开关衰减器。要求是衰减量大于30dB，匹配良好，电压驻波比较小的。

热噪声发生器是指输出噪声温度高于290K的用加热方式获得高温的噪声发生器。它由高温终端负载、隔热传输线、控温系统(包括恒温加热器、控温器、测温器、供电线路)组成。加热器由电阻丝分段绕制而成，通过适当控制各段的加热功率，以形成足够长的等温区。终端负载置于等温区内，加热器需采取多层保温措施，以确保等温区即负载温度长时间的恒定不变。高温负载的材料一般要视温度的高低而定。低于150℃（423K）的采用羰基铁粉等材料。温度高于150℃～1000℃的采用金属氧化物电阻器、硅-碳化合物、粉末碳化硅和石墨混合物等。

隔热传输线要求传输线高温不变形，不氧化。如镀金的薄壁不锈钢、德银等材料以减少热传导。在温度高于150℃时，在输出传输线上还要加水冷却装置。在这样两部份传输线中不可能像终端一样精确地处于同一温度，必须知道沿传输线诸点的损耗与温度分布，以计算和获得修正噪声温度的数据，最后对输出噪声温度进行计算。

对于冷/热噪声发生器的输出噪声温度 T_c（冷），T_h（热）可用下式来表示：

$$T_{c,h} = T_m + \Delta T$$

式中 T_m——负载产生的噪声温度(K)；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

ΔT——由于传输线损耗引起的温度增量。

对于冷噪声发生器 ΔT 是大于零的值。对于热噪声发生器，ΔT 是小于零的值。工作频率越高，传输线损耗越大，ΔT 的绝对值也越大。

冷/热噪声发生器的输出噪声温度可以用辐射计比较、校准得到。有时因条件所限，也可通过测量负载温度和传输线的温度分布和损耗计算出输出噪声温度。

冷/热噪声发生器是测量高灵敏接收机、参量放大器、辐射计、卫星接收地面站、通信设备不可缺少的仪器。

上面我们所介绍的噪声发生器所产生的噪声频谱分布是均匀的，称为白噪声。白噪声这一术语是同白色光相类比而来的，因为白色光具有按波长分布均匀的波谱。在很宽的频率范围内，白噪声的谱密度是常数。但在极高的频率下，谱密度将下降。

在本章中没有列入粉红色噪声发生器。粉红色噪声称为低频噪声又叫 $1/f$ 噪声，其噪声的谱密度按 $1/f$ 的规律分布，谱密度与频率成反比，即噪声在较低频率上其谱密最大，随着频率的增高而降低。如晶体管中的闪烁噪声就属于 $1/f$ 噪声。由于它和白噪声的概念不同，且作为正式产品的也极少，所以未列入。

还有一种伪随机信号发生器也没有列入本章。它是数字噪声信号源，频率一般在 60MHz 以下，所产生的伪随机信号在[0,1]区间内分布的最大长度二进制序列，亦即 M 序列。伪随机信号是一种周期性重复的随机信号。在一个序列中，“1”状态或“0”状态的出现是随机的，它具有相关函数、功率谱密度和概率密度函数等统计特性，这些统计特性比较容易控制，在一定的频率范围内看作是白噪声。它又能周期性重复出现，周期 T 可以控制。它主要用于自动控制系统动态特性测试、环境模拟试验、脉码通信、生理研究等。由于它是模拟噪声、模拟环境干扰的随机变化，和本章介绍的噪声机理不相同，也没有列入本章。

第2节 分　　类

按传输线型式分：如波导型、同轴型……。

按噪声温度分：如低温噪声、高温噪声……。

按器件类型分：如气体放电管、饱和二极管……。

按电平输出型式分：如噪声电平是固定的或可变的……。

根据目前噪声发生器的特点分为：

(1) 饱和二极管噪声发生器；

(2) 气体放电管噪声发生器；

(3) 固态噪声发生器；

(4) 冷/热负载噪声发生器。

第3节 术语和定义

热噪声 (Thermal noise)

导体中电子无规则的热运动所引起的电涨落叫热噪声，其大小取决于导体热力学状态。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

散弹噪声 (Shot noise)

散弹噪声是指有源器件中直流电流或电压随机起伏而引起的电涨落。

白噪声 (White noise)

频谱分布均匀的噪声为白噪声。

1/f 噪声 (1/f noise)

谱密度按 1/f 的规律分布的噪声称为 1/f 噪声，又称低频噪声或粉红色噪声。

资用噪声功率 (Available noise power)

噪声发生器能传输到负载上的最大噪声功率称为资用噪声功率，又称为额定噪声功率。

资用噪声功率谱密度 (Spectral density for available noise power)

单位带宽内的资用噪声功率。

噪声温度 (Noise temperature)

噪声发生器的噪声温度等于产生与噪声发生器相同的噪声温度时电阻所处的物理温度。

标准噪声温度 (Standard noise temperature)

标准噪声温度规定为 290K，通常也称为标准室温。

等效输出噪声温度 (Equivalent of output noise temperature)

等效输出噪声温度表示噪声发生器实际输出的噪声温度。

超噪比 (Excess noise ratio)

它表示噪声发生器输出的噪声温度超过其内阻的热噪声温度的倍数。常用 ENR (Excess Noise Ratio) 表示。规定内阻工作于标准室温 $T_0 = 290K$

则
$$ENR = \frac{T_{en} - 290}{290}$$

式中　T_{en}——等效输出噪声温度

ENR——超噪比，也可用分贝值表示。

$$ENR(\mathrm{dB}) = 10\lg\frac{T_{en} - 290}{290}$$

噪声源和噪声发生器 (Noise source or noise generator)

严格地讲，噪声源是指产生噪声的器件或器件中的机构、部位；噪声发生器则是能够提供噪声功率输出的仪器。通常在测量中，这两个术语被同义地使用(泛指提供特定输出噪声功率的信号源)。

饱和二级管噪声发生器 (Saturated diode noise generators)

利用真空二极管工作在饱和状态下阳极电流的涨落产生的噪声所构成的噪声发生器叫饱和二极管噪声发生器。

气体放电噪声发生器 (Gas discharge noise generators)

利用气体放电时形成的等离子区中电子无规则热运动所产生的噪声而构成的噪声发生器。

固态噪声发生器 (Solid-state noise generators)

利用固体器件(如雪崩噪声二极管)产生的噪声构成的噪声发生器。

冷/热负载噪声发生器 (Cold/Hot body load noise generators)

将电阻器或吸收材料制成的终端负载，置于温度准确已知的恒温器中所构成的噪声发生器。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

平坦度 (Flatness)

在工作频率范围内，衡量噪声发生器超噪比变化的程度，以最大变化量的一半计算。

稳定度 (Stability)

由于噪声发生器工作电流的不稳定所引起超噪比变化的程度。对于气体放电噪声发生器，通常以变化±10mA 时超噪比变化量的一半计算(单位 dB/mA)。

冷/热负载噪声发生器使用时间 (Operational time for cold/hot body load noise generators)

杜瓦瓶灌满液氮(或液氦)后，保证仪器正常工作的时间。

第4节 噪声发生器技术指标汇总表

序号	技术指标	饱和二极管噪声发生器	气体放电噪声发生器	固态噪声发生器	冷/热负载噪声发生器
1	工作频率范围	●	●	●	●
2	输出超噪比	●	●	●	
	等效输出噪声温度				●
3	超噪比影响量(电源电压变化引起)	●	●	●	
	超噪比影响量(环境温度变化引起)	●	●	●	
	超噪比的稳定度(工作电流变化引起)		●		
4	电压驻波比	●	●	●	●
5	消耗功率	●	●	●	●
6	平坦度			●	
7	冷/热负载噪声发生器使用时间				●

第5节 噪声发生器技术指标及测试方法

● 若无特殊说明，本节所列参数定义及测试方法均引自 GB12179《噪声发生器通用技术条件》和 GB12280《噪声发生器测试方法》，这里仅最主要的技术要求举几例示意。

● 被测噪声发生器及测试设备均应在各自产品标准中规定的预热时间后进行测试。

1. 工作频率范围 f_r

frequency range

是指噪声发生器能保证所给出技术指标的工作频率范围。

测试方法： 通过本节以下 2、3、4 项指标的测试确定。

2. 输出超噪比或等效输出噪声温度 *ENR* (dB)

excess noise ratio/equivalent of output noise temperature

输出的噪声温度超过其内阻的热噪声温度的倍数

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$ENR = \frac{T_{en} - 290}{290}$$

测试方法：

（1）超噪比（ENR）的测试在噪声标准装置上进行。

（2）测试方框图(见图 10-1)。

（3）采用高频比较系统时，被测噪声发生器的输出超噪比(见图 10-2)：

$$ENR_n(\mathrm{dB}) = ENR_s(\mathrm{dB}) + \Delta A(\mathrm{dB})$$

式中　ENR_s——标准噪声源的超噪比。

ΔA——高频精密衰减器的衰减变化量。

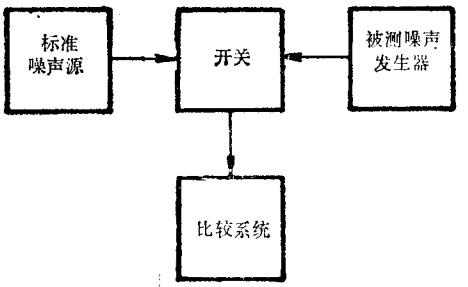


图　10-1

（4）采用中频比较系统时，被测噪声发生器的输出超噪比：

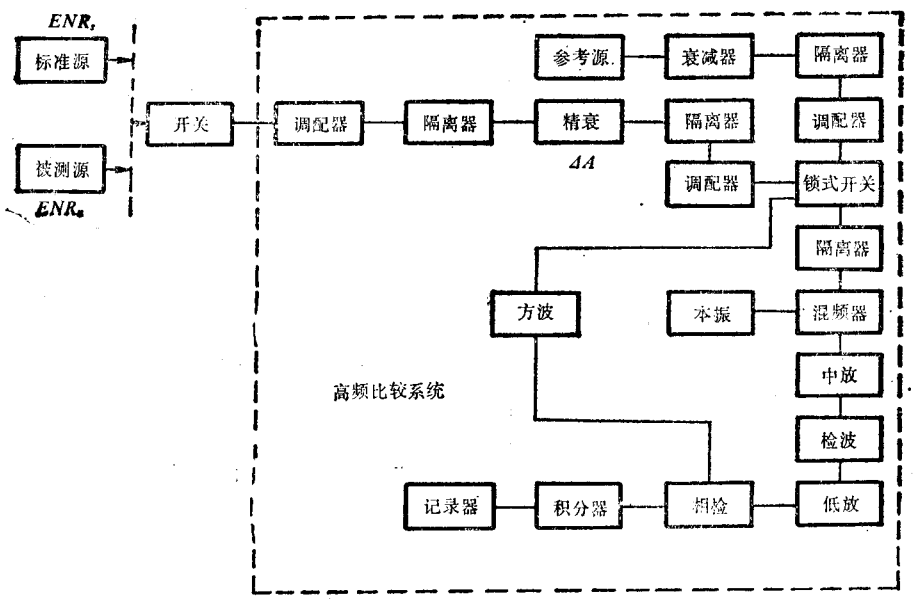


图　10-2

$$ENR_n(\mathrm{dB}) = ENR_s(\mathrm{dB}) - 10\lg(Y_s - 1) + 10\lg(Y_n - 1)$$

式中　$Y_s = 10^{(A_s - A_0)/10}$

$Y_n = 10^{(A_n - A_0)/10}$

其中，A_0、A_s、A_n 分别为接入室温源、标准噪声源和被测噪声源时中频精密衰减器的衰减量。

注：① 对于冷/热负载噪声发生器等效输出噪声温度的确定，可采用标准源对比的办法。在不具备比对条件时，可用计算的方法确定。

② 饱和二极管噪声发生器的 ENR，采用标准比对的方法。在不具备比对条件时，可用理论计算的方法确定。

③ 在工作频率范围内，在具备测试条件的情况下，根据产品标准规定在尽可能多的频率点上进行 ENR 的测定。

3. 超噪比影响量和气体放电管噪声发生器的稳定性

influence the ENR and stability of gas discharge noise generators

超噪比影响量包括交流供电电压变化和环境温度变化所引起的超噪比的变化量。超噪比的稳定性是指气体放电管噪声发生器由于工作

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电流的改变所引起超噪比的变化。

测试方法：

（1）测试方框图(见图 10-3,图 10-4)。

（2）改变噪声发生器的供电电源电压±10%，得到超噪比的变化量。换算成 dB/V (图 10-3)。

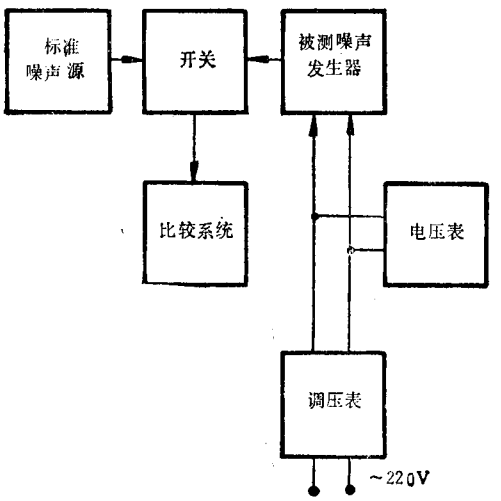


图 10-3

（3）将噪声发生器置于恒温箱中，先在20℃下测定超噪比，再改变恒温箱温度±10℃(10℃，30℃）得到超噪比的变化量。换算成 dB/℃（图 10-4)。

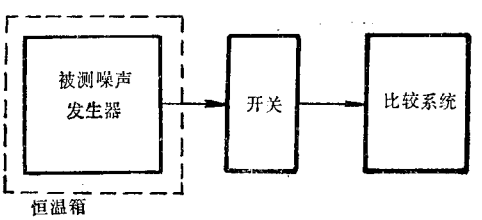


图 10-4

（4）对于气体放电管噪声发生器超噪比稳定性的测试，改变被测噪声发生器的工作电流±10mA，得到超噪比的变化值。换算成 dB/mA(图 10-1,图 10-2)。

4. 电压驻波比 *VSWR*

voltage standing-wave ratio

由于传输系统的不均匀性所引起的反射情况。

测试方法：

（1）冷态电压驻波比的测试，测试时噪声发生器处于不点燃状态。

I. 采用扫频测试法(图 10-5)：

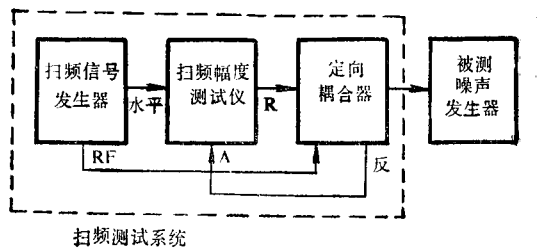


图 10-5

① 置扫频信号发生器与被测仪器频率相对应的频率范围。

② 用精密衰减器，按产品技术要求的电压驻波比最大值，在扫频幅度测试仪上定好坐标。

③ 连续测量三次，其值均应在规定的范围内。

II. 采用驻波测量线法(图 10-6)：

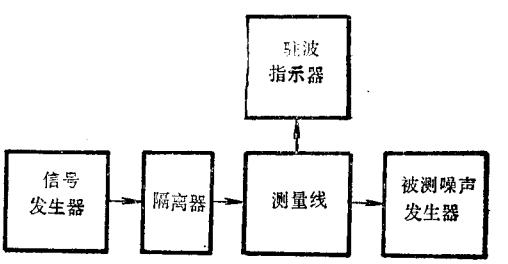


图 10-6

① 在产品标准规定的频率和间隔点上进行。

② 从驻波指示器上读取电压驻波比。

③ 连续测量三次，其平均值应在规定的范围内。

（2）热态电压驻波比的测试，测试时噪声

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

发生器处于点燃工作状态。

测试方法同以上冷态电压驻波比的方法(同图 10-5、图 10-6)。

5. 消耗功率

power

仪器工作所消耗的电能。

测试方法：(见图 10-7)。

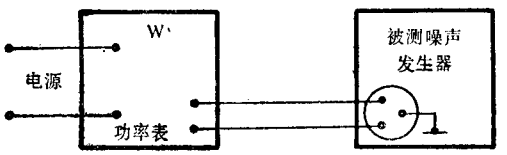


图　10-7

接上所规定的交流电源，使被测仪器工作状态为最大输出。

测出被测仪器在额定电源电压条件下的消耗功率。

6. 平坦度

flatness

在工作频率范围内，衡量噪声发生器超噪比变化的程度，以最大变化量的一半计算。

测试方法：根据以上指标的测试结果计算得到。

7. 冷/热负载噪声发生器使用时间

operational time for cold/hot body load noise generators

杜瓦瓶灌满液氮(或液氦)后，保证仪器正常工作的时间。

测试方法：根据观测记录得到。

* * *

本章技术指标和测试方法中所用的主要测试仪器，列表如下：

* * *

主要测试仪器汇总表

序号	仪器名称	型号	主要技术性能	生产厂家
1	标准信号发生器	QF1052	0.1～170MHz	前锋无线电厂
2	标准信号发生器	XG-2	15Hz～510MHz	同上
3	标准信号发生器	XB28A	0.5～1.0GHz	上无二十六厂
4	信号发生器	XX19	1～2GHz	大华无线电仪器厂
5	信号发生器	XX20	2～4GHz	同上
6	信号发生器	XF1	3.95～9.6GHz	同上
7	微波信号源	XX-25	4～8GHz	永华无线电仪器厂
8	微波信号源	XX6B,XB36	8.2～12.4GHz	大华，永华
9	标准信号发生器	XB-31	12.4～18.0GHz	上无二十六厂
10	信号发生器	XX32	18～26.5GHz	同上
11	扫频信号源	HP8620 系列	10MHz～22GHz	美 HP
12	扫频信号源	610D 系列	10MHz～40GHz	美 wiltron
13	同轴测量线	TC8D	0.5～5GHz $S\leqslant1.04$	上无二十六厂
14	同轴测量线	TC21A	4～18GHz $S\leqslant1.09$	同上
15	波导测量线	TC 系列	8.2GHz～54 GHz	同上
16	波导测量线	TC-41	7.05～10GHz	庆华仪器厂
17	波导测量线	TC-36	5.5～6.5GHz	同上
18	波导测量线		2.6～3.95GHz	山东潍坊电子仪器厂
19	波导测量线	GLX-11	3.95～5.85GHz $S\leqslant2$	大华无线电仪器厂
20	八毫米测量线	DH3631	26.5～40GHz	同上
21	微波扫频幅度测试仪	DH4131		同上
22	双定向耦合器	HP778D	0.1～2GHz 20dB	美 HP
23	双定向耦合器	HP11692D	2～18GHz 22dB	同上

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	仪 器 名 称	型 号	主要技术性能	生产厂家
24	驻波计	WH-01		卫华仪器厂
25	数字电压表	HP3468A	3 1/2～5 1/2 数字	美 HP
26	同轴热噪声标准	XO-11	1GHz 800MHz	上海无线电仪器厂
27	10cm 热噪声标准		3GHz T_r = 1083	航天部二院计量站
28	5cm 噪声标准		4.8GHz T_r = 923K	大华无线电仪器厂
29	3cm 噪声标准		9.37GHz T_r = 923K	中国计量科学研究院
30	2cm 噪声标准	XO20	15GHz T_r = 868K	中国计量科学研究院
31	1.25cm 噪声标准	XO16	22GHz T_r = 953K	大华无线电仪器厂
32	8mm 噪声标准		35.3GHz T_r = 1023K	同上
33	7.5cm 低温噪声标准		4.015GHz $\Delta T = \pm 0.01K$	同上
34	5cm 低温噪声标准		5.3GHz $\Delta T = \pm 0.2K$	航天部二院计量站 中国计量科学研究院 中国计量科学研究院

第6节 噪声发生器量值传递表

射频与微波噪声计量器具检定系统框图

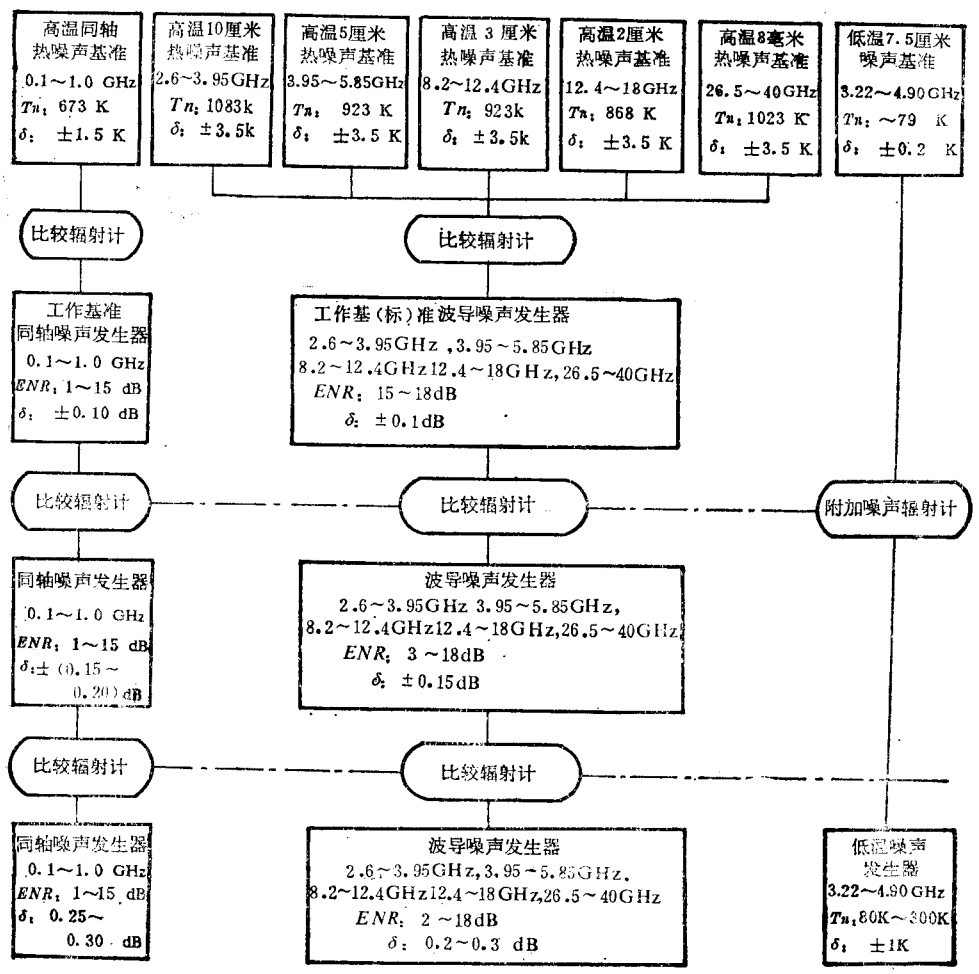


图 10-8

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第11章 衰 减 器

第1节 综 述

衰减是电子测量领域中重要参量之一。衰减器，是电子测量系统中最常用且十分重要的元件。例如，在信号发生器、频谱分析仪、示波器、调制度测量仪、电压表、功率计、场强计、接收机、网络分析仪、失真度测量仪及噪声系数测量仪等多种电子测量仪器中，在手动与自动测试系统、控制系统中也都使用衰减器。衰减器的准确度、量程大小及频率范围与许多无线电参量的测定有着直接而密切的关系。信号发生器的输出功率，频谱分析仪和接收机的灵敏度、动态范围的确定，放大器增益，以及射频、微波元件的幅频特性的测定，都必须使用经过精密校准的衰减器。借助于衰减器可以衰减或调节测量系统中的功率电平，衰减信号发生器的输出功率及衰减功率计或电压表输入端的功率或电压，以扩大基本测量单元的测量范围；也可作为去耦元件以消除负载对信号源的影响，从而保证信号源的稳定性。电子测量领域中有不少参量实际上也是衰减参量的引伸。如接收放大系统的噪声系数；音响系统的失真系数；广播发射信号的调制度及微波系统中电压驻波比等均基于衰减量的测量。这就充分说明了衰减测量在电子测量领域中的普遍性及重要性。

在电子测量系统中，"衰减"一词是指在一个传输系统中，由于能量的耗散与反射，使传输功率由一端口到另一端口的减少。衰减量可用一比值来表示，或用分贝(dB)数来表示。

在衰减测量的发展历史上，曾出现多种术语来描述衰减量，诸如：衰减、特性插入损失、插入损失、插入损耗、增量衰减、标准衰减、本征衰减、耗散损失、发射损耗、衰耗、电压损耗、总衰减等等。在名词术语的使用上存在着极大的混乱，也出现了多种多样的定义，往往用同一术语称呼概念上不同的量，或是用不同的术语称呼同一概念。目前，在有关衰减量的定义及名词术语的使用上的混乱仍未得到澄清，在国内外亦无统一的标准规定。尽管如此，实际上仍然存在着比较普遍使用的名词术语及其定义。衰减的定义，应该最能反映特定器件在"衰减"方面的特性，最易于进行实际测量，最适宜进行量值传递，还要易于使用。目前国内常用的"衰减"习惯定义为：在一个信号源与负载都和传输线匹配的无反射传输系统中，被测网络插入前无反射负载上得到的功率，与被测网络插入后无反射负载上得到的功率以分贝(dB)表示的比值。

$$(\mathrm{dB}) = 10\lg\frac{P_2}{P_1} \tag{11-1}$$

式中 P_2 是被测网络插入后，匹配负载上得到的功率，P_1 是被测网络插入前，匹配负载上得到的功率。在邮电通信部门过去常用奈培（Np）作单位。

$$1\mathrm{Np} = 8.686\mathrm{dB} \tag{11-2}$$

在美国 NBS 工作的比蒂（Beatty）曾把衰减定义为在阻抗为 Z_0 的信号源和负载 Z_0 之间插入一个器件所引起的功率电平(在负载处)的降低。国际电气与电子工程师协会（IEEE）1973 年制定了 IEEE Std 474-1973《DC～40GHz 固定和可变衰减器的技术指标及测试方法》标准。该项标准给衰减下的定义和比蒂给出的定义是一致的，不过它认为"衰减"（Attenuation）这个术语的概念是极不严密的，应把它叫做"特性插入损失"（Characteristic Insertion loss）。

上述定义，虽然在文字表达上不完全一样，但它们的实质是一致的，都强调测量系统应该是无

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

反射的完全匹配的系统，其定义表达都是清楚的。但是，实际测量系统不可能实现这种理想系统，被插入网络与理想系统的匹配情况与被插入网络与非理想系统的匹配情况不同，在所谓"匹配"源和负载之间产生的功率变化称为插入损失。或者说，以入射到负载的功率为基础，在无反射系统中就定义出衰减，在任意系统中就定义出插入损失。插入损失具有最普遍的意义，因为典型的网络当插入系统中时，都会存在失配并表现出相互作用，因此我们定义的插入损失与国际上定义的插入损失（Insertion Loss）统一起来了，我们定义的衰减与 IEEE 标准中称作特性插入损失是指的同一概念。

过去"插入损失"一词也译作"插入损耗"，实际上插入系统使传输功率发生变化，既有能量损耗，也有能量反射，所以还是用插入损失为妥。

目前，衰减测量的方法基本上还是过去那些经典方法，基本原理没有重大改变，只是由于标准衰减器的研制水平不断提高，以及各种新技术的广泛采用，才促使衰减器的频率范围、衰减范围、准确度和稳定性等有了不同程度的改善。近十年来，双六端口测量技术的不断成熟，又提供了自动化、宽频带、高准确度的衰减测量手段。

当前国外衰减测量所能达到的综合水平，其频率范围为 DC～300GHz；衰减量范围为 150～170dB；准确度达到 0.0001dB。但这并不是说目前已有一种衰减器或是一种测量方法均可达到以上综合测量水平，而是说世界上现有的衰减器或测量方法中，曾分别达到过上述衰减测量的水平。为进一步加以分析和说明，现将几种主要种类的衰减器的历史与发展趋势简述如下。

（一）吸收式衰减器

根据衰减器输入输出端口形式，又分同轴式与波导式两大类。其工作原理是基于在传输线内置入损耗物质以吸收掉部分输入功率的方式制成。根据衰减物质的形状不同，分为体吸收式和表面吸收式两大类。前者是在传输线内填充衰减物质（如导电橡胶、石墨、碳黑混合物等），可承受较高的平均功率；后者是在传输线内插入带吸收材料的衰减片，衰减片一般是由酚醛玻璃布板上涂覆石墨，或在陶瓷片、玻璃片上蒸发极薄的金属电阻层制成，可承受较低的平均功率，如在矩形波导中，平行于电场方向上放置一衰减片，就可做成波导衰减器。改变衰减片在波导中的位置即可改变衰减量，可变式波导衰减器的特点是：低的起始衰减（小于 0.2dB）；良好的匹配特性（电压驻波比小于 1.02～1.05）；较高的准确度（在 26.5GHz～40GHz 可达到 0.02dB/10dB）及中等衰减量（0～50dB），可工作于较高的频率（220GHz）。但这种衰减器的频率响应不好，衰减量要通过别的系统来定标。近十年来，由于微带电路技术的发展，广泛采用在陶瓷基片上制作对称 T 型或 Π 型四端网络衰减片，将其装入同轴固定衰减器或同轴步进衰减器的单元结构中，构成了常用的同轴衰减器。由于采用了微带电路和特殊的补偿技术以及高性能的微型同轴连接器（如美国 Wiltron 公司的 2.92mm K 型连接器，其频率范围为 DC～46GHz；1.85mm 的 V 型连接器，其频率范围为 DC～65GHz），使得同轴吸收式衰减器的技术性能大为改善，其波段可延伸到毫米波波段。例如美国 Wiltron 公司推出的 41V 系列同轴固定衰减器，衰减量为 3dB、6dB、10dB、20dB，其准确度为 ±0.5～±0.9dB，电压驻波比为 1.15～1.90 频率范围为 DC～60GHz。美国 HP 公司推出的 HP8490D 同轴固定衰减器，频率范围为 DC～50GHz，最大电压驻波比为 1.10～1.25，最大输入平均功率为 2W，脉冲峰值功率达 100W，衰减准确度分别为：±0.5dB/3dB、±0.6dB/6dB、±0.3dB/10dB、±0.5dB/20dB、±0.7dB/30dB 及 ±1.0dB/40dB。这些产品成为当今国

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

际上频带最宽的高准确度同轴固定衰减器。采用微带电路的衰减器，一致性好，可靠性高，结构简单，易于生产，受到用户的普遍欢迎。为了适应自动测试系统的要求，这种同轴步进衰减器还易于实现程控化。例如美国 Wiltron 公司推出的 4712V 步进衰减器的频率范围为 DC～60GHz，衰减量/步进衰减量分别为 0～11dB/1dB、0～70dB/10dB。4622K 步进衰减器的频率范围为0～40GHz，步进衰减量为 0～110dB，其衰减准确度分别为 ±0.9dB/10dB、±1.0dB/20dB、±1.2dB/30dB、±1.7dB/40dB、±1.9dB/50dB、±2.3dB/60dB、±2.6dB/70dB、及 ±3.2dB/80～110dB。HP 公司的 HP84906L，HP84907L 系列程控步进衰减器，其频率范围为 DC～40GHz，衰减量/步进衰减量分别为 0～11dB/1dB、0～90dB/10dB、0～70dB/10dB，电压驻波比为 1.25～1.80，准确度分别为 ±1.2dB/11dB、±2.7dB/90dB、±1.9dB/70dB。美国 Weinschel 公司的 3200 系列程控步进衰减器的频率范围为 DC～2GHz，其中 3200-1 型的衰减量/步进衰减量达 127dB/1dB，其步进量分别由 1、2、4、8、16、32 及 64dB 共 8 个单元构成（64dB 为两个 32dB 单元组成）。美国 Wavetek 公司生产的 P2000 系列程控步进衰减器的频率范围为 DC～2.5GHz，衰减量为 0～130dB。而手动步进衰减器的生产厂家还有西德 R/S 公司，英国 Marconi 公司等。

80 年代开始，我国光华无线电仪器厂研制的 GH3711 型程控衰减器，频率范围为 DC～8.2 GHz，衰减范围为 0～110dB。前锋无线电仪器厂生产的 QF11500 型步进式衰减器，频率范围为 DC～2GHz，衰减范围为 0～140dB；QF3713 型程控式衰减器，频率范围为 DC～4GHz，衰减范围为 0～70dB 还有潍坊计算机公司仪器厂生产的 WS3701、CS9、CS10 CS11 等电阻式超高频标准衰减器。这种衰减器性能稳定可靠，小巧精致，广泛用于科研生产计量维修等各部门。

（二）感应分压器（比例变压器）

感应分压器，又称比例变压器或电感分压器，是 1928 年 Blumein 首先发明的。它是电学计量中常用的一种计量器具，也是目前世界上衰减精度最高的衰减器。其工作原理是将高导磁率的铁磁材料（如坡莫合金）做成环形磁芯，每一级电感分压单元均由二个磁芯组成，但在线圈绕制方法上是十分巧妙与独特的，每个分压单元的线圈绕组分为两个，一个为激磁绕组线圈，另一个为分压绕组线圈。其绕制方式见图 11-1。如在激磁绕组用单股漆包线，围绕环形磁芯 A 均匀绕 100 匝，则此绕组就构成激磁绕组。分压绕组是由 10 根漆包线绞合成一股粗导线，均匀绕在 A 和 B 两个环形磁芯上，然后将第一根漆包线的尾部与第二根的头部连接，并将连接点作为分压绕组的一个抽头。将第二根漆包线的尾部与第三根漆包线的头部相连，并将接点引出，作为分压器的第二抽头等等。感应分压器中，分压单元连接情况示意图如图 11-2。从图 11-2 可看出，激磁绕组的同名端与分压绕组的同名端连在一起，并接入交流信号源，U 为信号源输出电压。虽然分压绕组的总匝数与激磁绕组的总匝数相同，但激磁绕组的阻抗小于分压绕组，这是由于分压绕组绕接 A、B 两个磁芯，而激磁绕组绕接 A 一个磁芯所致，因此，在激磁绕组中会有较大激磁电流，并在 A 磁芯中建立主磁通，此主磁通在分压绕组中会产生感应电势，此感应电势小于 U，但十分

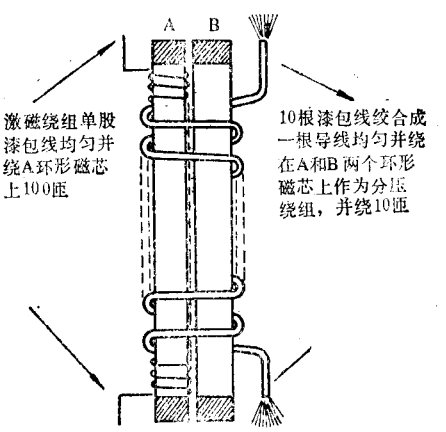


图 11-1　感应分压箱的分压单元

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

接近 U，这是因为激磁电流在激磁绕组上漏感压降，加上主磁通感应电势等于信号源电压 U。再看分压绕组，在分压绕组中主感应电势小于 U，因此在分压绕组上会有电流，但这电流与激磁电流相比是十分小的，这电流产生的磁通主要在B磁芯中，即使分压绕组十个抽头之间漏感有微小不均匀也不会造成很大分压误差。因此分压绕组各抽头之间电压会严格等于信号源电压的十分之一。

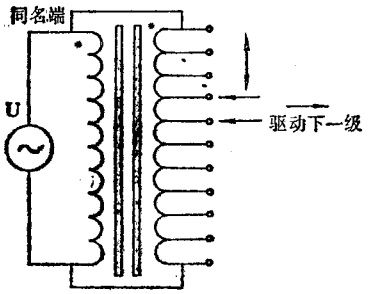


图 11-2 分压单元绕组连接示意图

感应分压器的工作频率比较低，一般为 1～100kHz。美国 NBS 在 1967 年曾研制出了一种工作频率达 1MHz 的感应分压器，不过准确度已降低了。加拿大采用感应分压器建立了衰减最高计量标准。虽然感应分压器的工作频率很低，但它对于建立微波甚至于毫米波衰减标准仍起着十分重要的作用。大华无线电仪器厂建立的 8mm 调制副载波衰减标准可以达到的准确度为 ±0.004dB/10dB。其工作原理就是用 1kHz 音频信号调制毫米波信号得到副载波，将被测的衰减器接在副载波支路中，其衰减量的变化，引起调制副载波信号的变化。调制副载波与载波混合后得到调制波，通过二极管检波得到 1kHz 信号。此信号与一个通过感应分压器衰减后的 1kHz 信号比较，通过感应分压器衰减量的变化来得到被测衰减器的衰减量。这就是说，感应分压器是这种毫米波衰减测量系统的衰减标准。

70 年代末，美国在频率综合与锁相技术发展的基础上，研制出低中频替代法衰减校准装置。一般的中频替代法是利用中频截止式衰减器作标准，其中频频率一般为 30MHz；而低中频替代法衰减校准装置的中频频率为 10kHz，它的衰减标准为感应分压器，这就将中频替代法的宽频带特性，与感应分压器的高准确度溶为一体，这是一种性能十分优良的衰减校准装置。

（三）截止式衰减器

截止式衰减器在 1929 年首先应用于信号发生器中，至今仍在信号发生器、雷达测试仪，以及衰减检定装置中应用。它的工作原理是基于利用电磁波在截止波导中的衰减现象。当电磁波的波长 λ 大于波导的截止波长 λ_c 时，其衰减常数 β 由(11-3)式表示。

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_c}\sqrt{1-\left(\frac{\lambda_c}{\lambda}\right)^2} \tag{11-3}$$

波导的截止波长 λ_c 是由波导形状和截面尺寸所决定。由(11-3)式可以看出当 $\lambda \gg \lambda_c$ 时，(11-3)式可简化为(11-4)式：

$$\beta \simeq \frac{2\pi}{\lambda_c} \tag{11-4}$$

衰减常数 β 由 λ_c 决定，λ_c 可通过波导形状及波导尺寸计算求得。一段长度为 l 的截止波导的衰减量 A 由(11-5)式决定：

$$A = 20\lg e^{\beta l} = 8.686\beta l(\mathrm{dB}) \tag{11-5}$$

只要满足 $\lambda \gg \lambda_c$，衰减量则与频率无关，仅与长度 l 有关。因此，截止衰减器的衰减量可由长度计算求得，这一特性使得它成为一级衰减计量标准。其主要优点是准确度高，衰减范围大，一般可获得 120～160dB 的衰减量。缺点是起始衰减大，一般 20～30dB，另一缺点是衰减器电压驻波

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

比高。作为一级标准，只能用在固定中频上工作。

1964 年，在国际测量联合会（IMEKO）大会上，美国提出了一种波导截止式衰减器，工作频率为 30MHz，衰减范围为 0～120dB，准确度优于 0.001dB/10dB，分辨率为 0.0001dB。该衰减器已作为美国国家标准局（NBS）的一级衰减标准的传递标准，用来检定中频替代系统中的中频衰减器。

英国物理研究所（NPL）曾研制了一种用作国家基准的 30MHz 高准确度的截止式衰减器，衰减范围大于 120dB，准确度优于 0.001dB/10dB 及 0.01dB/120dB，分辨率为 0.0001dB，衰减读数装置采用了光学干涉仪。

70 年代，由于稳频技术、铁氧体隔离器和激光干涉测长技术的发展，为截止式衰减器在大截面尺寸上克服频率影响，减小起始衰减和精密测长提供了良好条件，就有可能在微波频段建立直接与长度有关的截止式衰减器标准。据报导，在采用上述技术的基础上，并用四倍频测Q值导出导电率的办法，在 9GHz 频率上，作出了性能优良的截止式衰减器，其 17dB 的非线性为 0.01dB；20dB 的非线性为 0.001dB。

从总的情况看，微波截止式衰减器的发展前途不太大，特别是在毫米波和亚毫米波频段似乎很难实现。

光华无线电仪器厂在 70 年代研制的 TO7 型衰减校准装置中采用了 30MHz 截止式衰减器作标准，其衰减范围大于 100dB。大华无线电仪器厂在 10 厘米、5 厘米、3 厘米雷达测试仪中都采用了微波截止式衰减器，衰减量均在 90dB 以上，并有较好的准确度。

（四）迴转式衰减器

迴转式衰减器也称为极化衰减器，其设计原理在 1950 年就被提出，目前仍处于不断研究改进之中。这种衰减器的衰减量取决于衰减片的旋转角，衰减器由三段波导段组成，中间段为旋转圆波导，两端为方圆过渡波导段。在每段波导中心平面上装有衰减片，过渡波导中的衰减片平行于矩形波导的宽边。衰减片的作用是完全吸收掉与其平行的电场分量。在起始位置，中间衰减片相对两端衰减片的夹角为 0°。旋转中间圆波导，使中间衰减片相对两端衰减片夹角为 θ 时，此时的衰减量 A 可由（11-6）式表示：

$$A = -40\lg\cos\theta(\mathrm{dB}) \tag{11-6}$$

这种衰减器的特点是衰减量可用数学公式严格计算。因此，常作为标准衰减器使用。在扫频和点频测试系统中作为高频替代的标准衰减器就是一例。迴转式衰减器的优点是频率响应好，起始衰减小，相对相移小，电压驻波比低，准确度、稳定性高，尤其是在小衰减段有极高的分辨率。迴转式衰减器的发展非常迅速，目前直读式迴转式衰减器在市场上非常流行，其频率范围从 1.7～220GHz，衰减量一般为 0～60dB。美国休斯航空公司（Hughes Aircraft Company）1988 年推出的 4572XH 系列衰减器的主要指标为：频率范围：26.5～170GHz，衰减准确度 2%，衰减量范围 0～60dB、0～100dB，分辨率为 0.01dB，可以程控（IEEE-488；GP-IB 或 RS-232C），程控步进为 6000 个点。美国 Flann Microwave Inc. 公司也有类似的程控迴转式衰减器。

在计量标准方面，各国在以下几个方面做了许多努力：（1）利用精密光学技术准确测定旋转角度。（2）避免传动机构引入的机械误差。（3）尽量使两端衰减片平行。（4）减小旋转扼流法兰微波漏泄。（5）减小衰减器中各种反射。这样一来，衰减器的实际值与理论计算值相当符合。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

据报导，研制的X波段迴转式衰减器在 10GHz 的准确度已达到 ±0.0015dB（<16dB 时）、±0.006dB(16～30dB)。

另外，从原理、制造工艺及使用方便看，迴转式衰减器是很有前途的。特别是在毫米波波段，由于衰减的测试和定标更加困难，甚至一些常规的测试方法已难以实现，于是靠理论计算定度的迴转式衰减器显得更加重要。

（五）定向耦合器式衰减器

这种衰减器常使用在波导系统中，它的基本工作原理是基于波导定向耦合器工作原理。这种衰减器由主副二波导组合，在波导的宽边或窄边上有很多不同尺寸的小孔，这些孔的尺寸以及间距、小孔的数量是按照主副波导要求的耦合量与方向性经严格计算求得的。这些小孔的机械加工精度将直接影响到衰减量的准确度以及衰减器的频率响应特性。主副波导的电磁耦合机构有时也使用十字槽孔。这种衰减器与定向耦合器不同之点是在主副波导上均有全匹配吸收负载，定向耦合器有三个端口，或是四个端口，而这种衰减器只有二个端口。很自然，受机械结构上限制，这种衰减器只能是固定式衰减器。

（六）铁氧体电调衰减器

这种衰减器是基于微波铁氧体的旋磁特性做成的，即在微波传输线中放入微波铁氧体材料的同时，也放入片状吸收材料。传输线的外部有线圈，当线圈通以电流后会产生外磁场，微波铁氧体在外磁场作用下会产生旋磁效应，使传输线中的电磁波极化面旋转，此种现象称之为法拉弟效应。当电磁波极化面与衰减片平行时会产生很大衰减。这种衰减器的衰减量受线圈中的电流大小控制。由于控制元件是电感性负载，因此电调速度不会很高，一般是毫秒数量级。再者，由于铁氧体存在磁滞现象，故不能作为定度衰减器使用。这种电调极化式衰减器可用于微波信号源的自动稳幅系统中作自动电平调节器使用，或作为音频调制器使用。

（七）PIN 管电调衰减器

PIN 是由空穴-本征-电子型半导体构成的二极管，其微分电阻将随外加偏流大小而变化，将多个 PIN 二极管按一定规则放在波导鳍线上就可以构成波导吸收式电调衰减器。通过电阻网络对多个 PIN 二极管施加不同偏流，以构成阻值不同的 PIN 管微波吸收网络，以保证电调衰减器的电压驻波比及全频段的频率响应。改变总的 PIN 管的偏流大小就可改变衰减量。PIN 电调衰减器也可利用微带或带线结构制成宽频带同轴型电调衰减器。美国 General Microwave 公司生产的 Model 1959/D1959 PIN 二极管同轴电调衰减器的频率范围为 18～40GHz，可用电压或电流来控制衰减量，衰减范围为 0～50dB，调整率为 10dB/V，上升时间 <500 ns，下降时间 <20ns。这类衰减器的电调速度是很快的，一般均可达到微秒的数量级。机电部第 12 研究所已研制成性能很好的 3 厘米、2 厘米以及 8 毫米波段的波导型 PIN 电调衰减器。大华无线电仪器厂最新研制带 GP-IB 接口的数字雷达综合测试仪中也采用了 PIN 管电调衰减器，该仪器将衰减器“电流-衰减”的频率响应数据存入 ROM 中，在操作使用时自动修正，从而获得极好的频响和高准确度的衰减。

另一类 PIN 电调衰减器是基于反射原理故又称反射式 PIN 电调衰减器。在同轴线中放一

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

低通滤波器，结构如图 11-3 所示：

在低通滤波器的分布式电容段上放置 PIN 二极管，当没有偏流注入 PIN 管时，二极管呈现极小的结电容，处于微波信号的开路状态，同轴线中的电磁波能顺利通过，当 PIN 管注入偏流后呈现极小的电阻，处于微波信号的短路状态，低通滤波器变为反射器，使同轴线中的电磁波反射到信号源端达到衰减的目的。这种衰减器的电调速度很快，一般在毫微秒数量级，衰减量可以做得很大。因为没有吸收元件，衰减量是靠反射原理，可承受较大功率，一般用作调制器。如果利用二极管检波达到自偏流时，也可用作限幅器，或做成 PIN 二极管开关。美国 General Microwave 公司生产的 90 系列单刀单掷或单刀双掷开关主要性能为：频率范围 18～40GHz，隔离度大于 75dB，开关时间 <20ns，上升下降时间 <10ns。TTL 电平驱动。

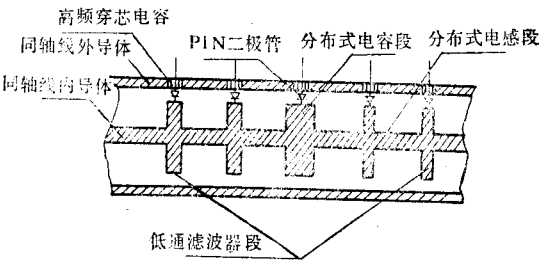


图 11-3　反射式 PIN 管衰减器

衰减测量系统很多，概括起来大致可分为以下几大类：

（一）替代法（比较法）测量系统

替代法又分直流替代、音频替代、中频替代及高频替代法。中频替代法及高频替代法更是常用的测量方法。

中频替代法的基本工作原理是通过外差检波将被测信号线性地变换为固定的中频信号，使被测衰减器与标准中频衰减器互相替代实现测量。这种方法具有准确度高，衰减范围宽，频率范围大等优点，获得了广泛的应用。当然，它也有缺点，主要是系统比较复杂，调整复杂，测量方法也难于掌握。

中频替代法自 1947 年提出后，经不断改进与完善，相继出现了各种各样的测量系统。例如美国 Weinschel 公司新近推出的 VM7 衰减与信号校准装置，是该公司对它 26 年前生产的 VM-3 衰减校准装置的改进和提高，它的基础仍是 30MHz 衰减测量接收机。工作频率范围决定于外接混频器、本地振荡器和信号源。VM7 具有 −110～−127dBm 的灵敏度，机内的 30MHz 标准中频衰减器是经美国 NBS 校准的。线性衰减范围超过 100dB，线性段的准确度达 0.02dB/10dB，读数分辨率为 0.1，0.01，0.001dB，并具有 IEEE-488 接口，便于进入自动测试系统。又如美国 HP 公司的 HP8902AT 测量接收机，日本安立公司的 ME642A 衰减与电平校准装置，西德 R/S 公司的 ESVP 测试接收机等都是十分类似的测量系统。

从 60 年代开始，国内也先后研制生产了一些中频替代衰减测量装置，例如前锋无线电仪器厂的 RS-3 型测试接收机，DO29 型校准接收机，即将推出 QF3911 型测量接收机；光华无线电仪器厂的 TO7 型，GH3701 型衰减校准装置；北京无线电仪器二厂的 RS-2 型及 DO16 型校准接收机；永华仪器厂的 RS-12 型测试接收机等。有了这些校准装置和接收机，解决了国内许多衰减测量中的问题。目前我国中频替代法的水平为：频率范围为 100kHz～18GHz；衰减范围为 0～140dB；准确度为 ±0.015dB/10dB、±0.4dB/100dB 及 ±1.2dB/140dB。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（二）网络参数测量系统

网络参数测量系统主要就是测量微波网络的有关参数。70年代以来，出现了多种微波网络自动测试系统，可以快速准确地测试器件的S_{11}、S_{12}、S_{21}、S_{22}参数，衰减，反射系数，驻波比，特性阻抗，阻抗，传输系数……等等，并以人们所需要的形式（如示波，列表，作曲线等）自动给出测量结果。

微波网络自动测试系统分为二类，一类是标量网络分析仪（Scalar Network Analyzer），另一类是向量网络分析仪（Vector Network Analyzer）。向量网络测试仪价格昂贵，但是可以获得参数的相频特性；而标量网络分析仪结构组成较简单，主要由程控扫频源（频率综合器）、微波电桥、功率检测器组成，可以测量衰减、阻抗、反射系数、传输系数、功率电平等，但只能得到幅频特性，价格较便宜。这些系统在衰减测量时可以扫频方式给出测试结果，并有很好的动态范围及测量准确度。例如，美国Wiltron公司最新推出的Model 360向量网络分析仪，其频率范围为40MHz～110GHz；宽频带同轴V型接头测试单元的频率范围为40 MHz～60 GHz，是目前世界上频带最宽的测试单元，其衰减测量范围为77～145dB（随频率变化），分辨率为0.001dB。美国HP公司的HP8510网络分析仪的频率范围为45 MHz～110 GHz；动态范围为80～100dB；分辨率为0.001dB。美国Wave Tek公司最新推出的Model 8003标量网络分析仪，由Model 80304功率头及Model 80504微波电桥组成，其频率范围为10MHz～40GHz，功率测量范围为+20dBm～−70dBm，衰减测量的线性度为±0.06dB/90dB。

从70年代开始，我国相继研制了几种网络分析仪。例如前锋无线电仪器厂的QF3610T1型微波网络分析仪；光华无线电仪器厂的HW1型智能微波网络分析仪；上海无线电26厂的BO11型微波网络分析仪；华东电子仪器研究所的AV3613X自动射频分析系统等，它们可以覆盖0.01～12.4GHz的频率范围，衰减范围为0～100dB，分辨率为0.001dB。

（三）双六端口及单六端口测量系统

六端口技术是构成微波网络分析仪的新途径。1977年由美国标准局NBS的Engen对六端口反射计作出了几何的解释，从而得出了六端口电路某些设计准则。在此以后，六端口技术得到了很大的发展，究其主要原因是：六端口所需硬件比较简单，对硬件的性能指标要求不很高；通过校准可以消除系统误差；与网络分析仪相比只要一台微波信号源，不需要本振及中频锁相装置；不经过任何频率变换及调制，就在微波频率和等幅状态下进行测量；只需要用一些能测量功率比的幅度检波器，其本身不需要有相位测量能力，但通过计算可以得到网络相位特性，及幅频特性；易于实现宽频带、数字化及自动化；其测量结果可以和网络分析仪媲美，但价格为网络分析仪1/5～1/10；特别是这种系统在毫米波波段更显出其优越性。

美国标准局Hoer等人曾提出用两只六端口反射计构成网络分析仪的方案（如图11-4），跳出只能作反射计的限制，从而完成二端口网终的S_{11}、S_{12}、S_{21}、S_{22}四个参数的测量。图中A为可变衰减器，φ为可变移相器，G为检波器或功率计，a为入射波，b为反射波。

从80年代开始，我国不少单位都开展六端口技术研究，如中国计量研究院无线电处，航空航天部二院计量站，合肥科技大学，机电部第50研究所，上海计量局等。均在不同的方面取得可喜的成果。1990年在北京召开的国际毫米波及亚毫米波年会上，东南大学宣读了一篇用单六端口

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

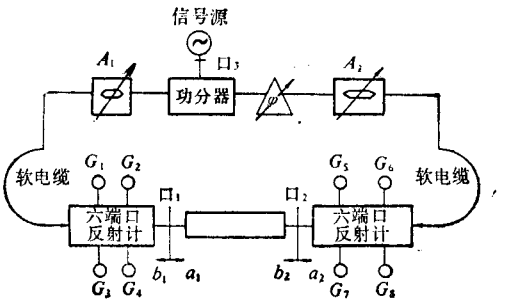


图 11-4　用双六端口反射计构成网络分析仪

反射计结构完成二端口器件 4 个“S”参数的测量，工作频率进入 8 毫米波段。其结构方框图如图 11-5 所示。总之，六端口技术是很有前途的衰减测量的新途径，它必将得到更广泛的应用。

表 11-1　国内外衰减器产品主要性能指标对比

指标名称	国　外	国　内
频率范围	同轴固定式 DC～40GHz 最高 60GHz 同轴步进式 DC～40GHz 最高 60GHz 波导吸收式 ～220GHz 迴转式 1.7～170GHz PIN 衰减器 ～40GHz 感应分压箱 ～1MHz	DC～18GHz DC～12.4GHz ～170GHz 2.6～40GHz ～18GHz ～10kHz
最高准确度	迴转式(商品) ±(1～2)% 迴转式(计量用) X波段±(1～4)×10^{-4} 30MHz 截止式 1×10^{-4}	一般为 ±(1～2)% 最高 0.2% C.X.K_u. 中窄带 ±(5～10)×10^{-4} 5×10^{-5}
最大衰减量	感应分压箱 >160dB 30MHz 截止式 >140dB 迴转式 >90dB 步进式 >140dB	160dB. 100dB. >90dB. 140dB.
电压驻波比	与频率及衰减器类型有关	略大于国外
最大功率	同轴N型 500W	同轴型 25W
寿命	步进式，电调式 5×10^5	无指标
重复性	与频率和衰减量有关 0.001～0.3dB	略低于国外
温度系数	0.0001～0.001 $\frac{\text{dB}}{\text{dB}\times{}^\circ\text{C}}$	无指标
功率系数	0.0001～0.001 $\frac{\text{dB}}{\text{dB}\times\text{W}}$	无指标
程控性	可程控	也可程控

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

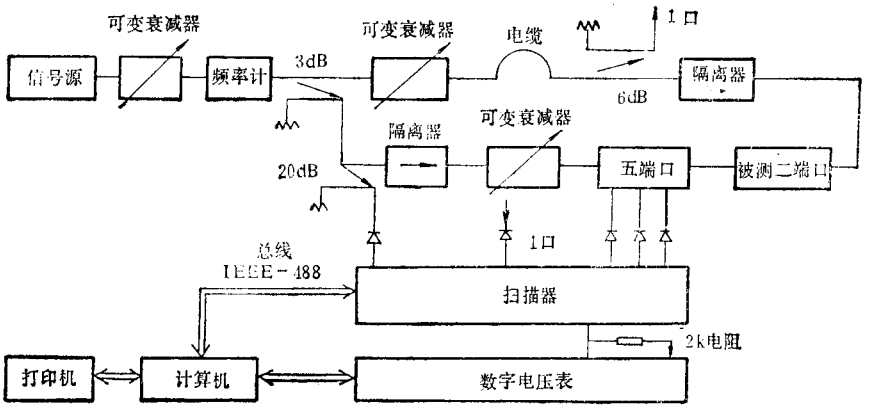


图 11-5 单六端口实现二端口网络测量

从工作原理的角度来看还有调制副载波衰减测量系统及绝对法衰减测量系统等。

当前，国内外衰减器产品主要性能指标对比如表 11-1。

第 2 节 衰减器的分类

根据作用原理，通常可分为截止式衰减器，旋转式衰减器，铁氧体极化衰减器，PIN 管电调衰减器，吸收式衰减器，定向耦合器式衰减器，感应分压器(或称电感分压器，比例变压器)；

根据结构特点，可以分为同轴衰减器，波导衰减器，和带线衰减器，微带衰减器；

根据工作频率范围，可以分为低频衰减器，中频衰减器，射频衰减器，微波衰减器，光衰减器；

根据调节衰减的可能性，可以分为固定衰减器，连续可变衰减器，步进衰减器；

根据调节方式可分为手动、电控和程控衰减器；

根据衰减功率电平，可分为低功率电平(1 瓦以下)衰减器和高功率电平衰减器；

根据准确度等级还可分为若干等级的衰减器。如国际电子电工工程师协会 IEEE 标准将衰减器分为标准衰减器(I 级)，精密衰减器(II 级)，通用衰减器(III 级)和粗测(经济型)衰减器(IV 级)，如表 11-2 所示：

表 11-2 衰减器等级性能表

	技术指标 \ 等级	I 级	II 级	III 级	IV 级
1	最大电压驻波比:				
	波导: 18GHz 以下	1.05	1.15	1.35	1.50
	波导: 18～40GHz	1.15	1.30	1.50	1.75
	同轴:	$1.03+0.005F$	$1.10+0.015F$	$1.30+0.02F$	$1.50+0.03F$
2	在规定频率上，衰减量的最大偏移 (dB)				
	≤10dB	0.02	0.1	0.2	0.5
	>10dB	$0.002\times A$	$0.01\times A$	$0.02\times A$	$0.05\times A$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续　表

	技术指标 \ 等级	I　级	II　级	III　级	IV　级
3	加载额定射频功率，衰减器经温度循环后，最大允许变化量（dB） ≤10dB >10dB	0.001 0.001	0.01 $0.001\times A$	0.05 $0.005\times A$	0.5 $0.05\times A$
4	最大频率响应误差（dB）	$0.005\times A\times B$	$0.02\times A\times B$	$0.1\times A\times B$	不要求
5	额定功率下，最大功率敏感度（dB）	0.001	$0.001\times A\times P$	$0.005\times A\times P$	不要求
6	衰减的最大温度敏感度（dB）	$10^{-6}\times A\times T$	$10^{-4}\times A\times T$	不 要 求	
7	同轴连接器的同心度	外导体内径的 2% 或 <75μm		外导体内径的 4% 或<125μm	不要求
	插入/分离寿命周期	2500	10000	1000	不要求
	连续可变衰减器往返调节寿命周期	20000	10000	不 要 求	
	步进衰减器步跳寿命周期	10000	1000000	不 要 求	

表中　A——标称衰减量，dB;

P——最大额定平均功率，W;

B——频带宽度，GHz;

T——相对于常温的温度变化，°C;

F——频率，GHz。

在电子测量技术中，随着自动测试技术的发展，将会促使高速、宽频带、大动态程控衰减器的发展，并使其获得广泛应用，性能优良价格低廉的六端口系统又为衰减测量开辟了新的途径。

第 3 节　衰减器技术指标汇总表

一般说来，衰减器的主要技术指标是：频率范围、衰减量范围、衰减量误差、电压驻波比、平均功率电平及峰值功率电平。对于同轴式、微带式及带线式衰减器还有特性阻抗及接头形式。对于程控衰减器还有衰减步进量、开关寿命、驱动电平及电流、开关速度、继电器电压、重复性及温度系数等。对于可变衰减器还有起始衰减量、读数分辨率及重复性等指标。其它还有工作温度、储存温度、尺寸、重量等指标。

各种衰减器的技术指标如表 11-3 所示。

考虑到国内外衰减器制造厂商所给出的技术指标不尽相同，其名词术语亦有差异，还没有产生出统一的标准，在汇总表中所列出的技术指标以我国的习惯用语为主。至于国外有的厂家还使用了不同的术语，增加了一些技术指标也尽量列出，以供参考。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 11-3 衰减器技术指标汇总表

序号	种类 / 技术指标	吸收式衰减器（波导）		截止式衰减器	迴转式衰减器		同轴式衰减器			定向耦合衰减器	电控，程控衰减器		微带衰减器	带线衰减器	波导	感应分压器
		固定	可变		直读	读角度	固定	可变	步进		继电器	(同轴) PIN			PIN	
1	电压驻波比	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
2	衰减量	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
3	频率范围	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
4	起始衰减		●	●	●	●		●	●		●	●			●	
5	分辨率		●	●	●	●		●								●
6	衰减误差	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
7	特性阻抗			●			●	●	●		●	●	●	●		
8	自校零点					●										
9	最大平均功率	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
10	最大峰值功率	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
11	重复性		●	●	●	●		●	●		●					●
12	连接器类型			●			●	●	●		●	●				●
13	工作温度范围	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
14	连接器寿命						●	●	●		●	●				
15	储存温度范围	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
16	衰减步进量								●		●					
17	开关寿命								●		●					
18	驱动电平(电流)										●	●			●	
19	工作电压										●					
20	衰减电调率											●			●	
21	开关速度										●	●			●	
22	程控接口											●			●	
23	温度系数	●	●	●			●	●	●	●	●		●	●		
24	功率系数	●	●				●	●	●		●		●	●		

第 4 节 技术指标及测试方法

(一) 总则

由于发展历史不同及技术水平上的差异，国外各公司所采用的名词术语不尽相同；即使用了相同的名词术语，但其概念也不尽一致。如 IEEE std 474-1973《DC～40GHz 固定的和可变的衰减器的技术指标及测试方法》标准中，给出了较多的技术指标，然而，以制造各种衰减器及其测试设备而著名的美国 Weinschel 公司在其产品描述上也未能给出齐全的技术指标。

国内研制生产的衰减器及其测试设备许多技术指标由于条件所限也未能全部给出。这里尽可能对衰减器关键的技术指标及其概念，国内常用技术指标的通用测试方法以及国际上推荐的测试方法进行简要介绍。这里需强调的是在进行测试时，所采用的标准测试系统及仪器，被测衰减器及各种辅助测试设备都必须符合它们各自产品标准所规定的使用要求，其中包括预热时间、环境温度、相对湿度、供电电源、频带宽度、传输线形式等，并按其规定的操作方法正确使用。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（二）衰减器的通用测量方法

这里首先推荐 IEEE Std 474-1973《DC～40GHz 固定的和可变的衰减器的技术指标及测试方法》所规定的通用测试方法，其中包括固定频率和窄频带、宽频带、扫频(或频率步进)的测量方法。其中所有有关衰减准确度指标中都未计入失配不确定度和连接器的不重复度带来的影响。通用衰减测量系统中各种测量方法的比较如图 11-6 所示。

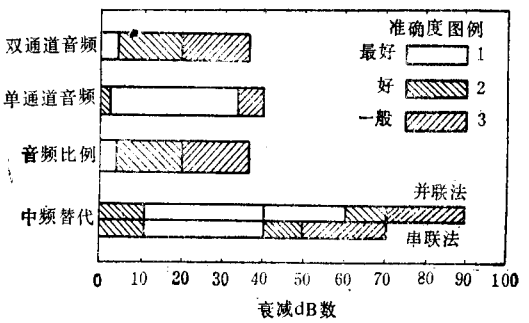


图 11-6　通用衰减测量系统的比较

1. 固定频率下衰减测量

(1)　小衰减量（<5dB）的测量采用双通道音频替代法，如图 11-7 所示。

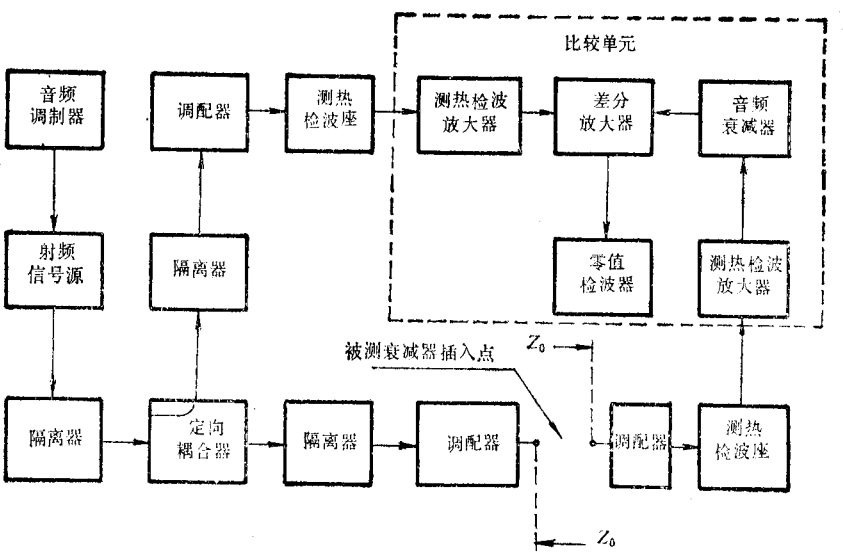


图 11-7　双通道音频替代法

双通道音频替代法准确度：0.01dB

优点：点射频源，在小衰减值测量时可以避免由音频调制源或射频源功率输出不稳定带来的测量误差，因为它们的不稳定性对主副通道的影响是一致的，有互相抵消的作用，有较高的分辨率。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

缺点：系统组成复杂，要求测热式检波器具有一致性好的检波器特性。

标准衰减器：音频衰减器(电阻的)；

比例变压器(电感的)。

说明：测热检波座（Bolometer）一般是由很细的铂金丝组成，在使用时先给测热检波座馈送直流偏置电压，当测热检波座吸收到音频调制的射频功率后，由于测热检波座中的铂金丝的热效应，造成阻值随调制信号变化，使偏置电压中产生音频调制信号完成检波作用，这种测热检波座有很好的检波平方律特性，但极易过载烧毁。大华无线电仪器厂在早期衰减测量中使用过这种检波座，并取得满意的测量效果。如果没有这种测热式检波座，也可改用二极管微波检波器代替，但在使用前必须首先检测其平方律检波范围，控制主副两路正确的功率电平，以保证替代的准确性。两个调配器是为保证获得匹配的信号源及匹配的负载，减少测量的失配误差。

(2) 中等衰减量（1～30dB）的测量

采用音频替代法。

① 单通道音频替代法，如图 11-8 所示。

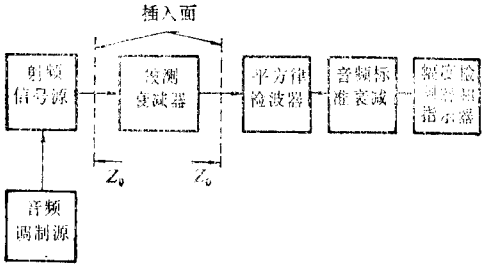


图 11-8 单通道音频替代法

准确度：0.1dB

优点：系统简单，一般测试部门均具备以上测试设备。测试过程简单，易于掌握。

缺点：精度不太高，对音频调制源、射频信号源的功率稳定性、频率稳定性均有较高的要求，系统分辨率不高。要求检波器具有平方律特性。

说明：为保证获得良好匹配的信号源，在射频源输出端增加隔离器及调配器，在检波器的前面也加入隔离器及调配器，以获得匹配的负载，从而减少失配误差。检波器可用测热检波座，如采用微波二极管检波器，一定要首先检查其平方律检波特性的功率范围，测量时严格控制功率电平范围。在检查平方律检波范围时，可采用在不同功率时测量同一衰减量，并观察测得的衰减值变化来判断，如在不同功率电平下均测得同一衰减值，可以认为这一功率电平段为平方律检波。一般正常的晶体二极管检波器在小信号时是平方律检波。

② 双通道音频替代法，如图 11-7 所示。

准确度：0.05dB。

(3) 大衰减（30～100dB）的测量。

采用中频替代法。

① 串联中频替代法，如图 11-9 所示。

准确度：0.1～1 或 2dB。

优点：可进行宽频带(决定于射频源，本机振荡器及混频器频带)、大动态范围的衰减测量。标准中频截止衰减器的精度及分辨率很高。

缺点：系统设备复杂，标准中频截止衰减器为保证足够线性段，起始衰减很大，一般在 20～

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

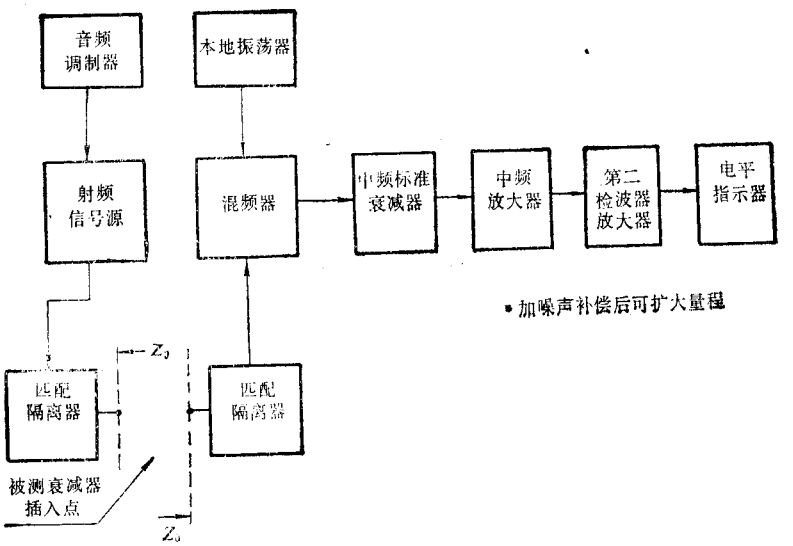


图 11-9　单通道串联中频替代法

30dB 之间，并与混频器串联，从而减小了衰减测量的动态范围。操作程序也复杂。

说明：中频替代法的理论根据是基于线性混频的原理，即射频信号的变化可线性地转化为中频信号的变化。要保证线性混频，一般本振的输入混频器的功率要大于射频信号 20～30dB，为确保线性混频段，在进行测量衰减时，首先要确定线性混频段，在进行确定线性混频的时候可用以下方法：在保持一定本振功率的情况下，不断变化射频功率，在不同射频功率下测量同一衰减，如测得衰减量均无变化，此量程段为线性混频段。衰减测量的动态范围受如下因素制约：小衰减段受标准截止衰减器线性段及混频非线性影响；大衰减段受信号漏泄及系统本底噪声的限制，如加噪声补偿可扩大有限的动态范围。

② 并联中频替代法，如图 11-10 所示。

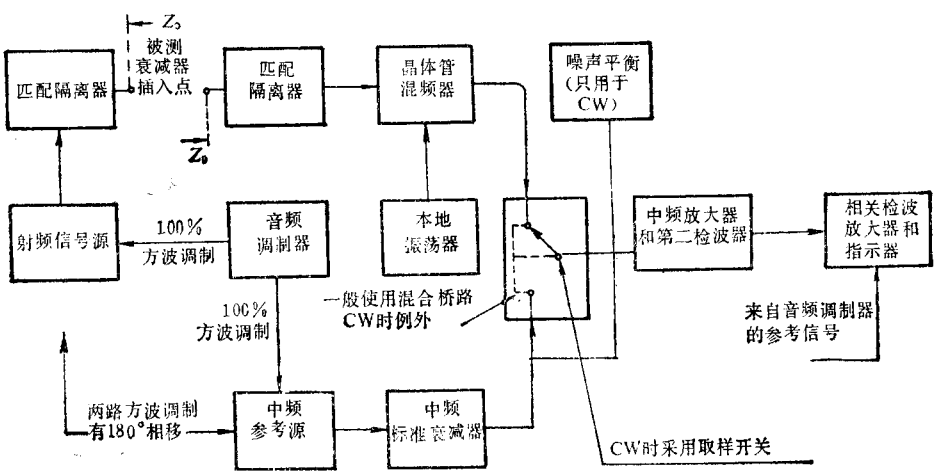


图 11-10　采用噪声注入和相关检波，并联中频替代法

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

准确度：0.1～1或2dB。

优点：标准中频截止衰减器的起始插入损失不再影响最大衰减量的测量，增大了衰减测量的动态范围。中频放大器增益的稳定性对两个通道贡献是一样的，故不再影响衰减测量的误差。用锁相方法保证中频频率稳定很重要。

缺点：同串联中频替代法。

说明：同串联中频替代法。由于减少了中频截止式衰减器的插入损失，可增加衰减量测量范围，由于受到混频器线性混频段的限制，在大于90dB的测量时，可采用二次替代，即将90dB点作为0 dB点，增加输入系统的射频功率作为新的功率参考电平，再进行大于90dB段的测量。然而失配和漏信误差可能增加。

2. 宽带衰减测量

(1) 小衰减（<5dB）的测量

采用双通道音频替代法，如图11-7所示。

准确度：0.01dB。

(2) 1dB以上衰减测量

采用单通道或双通道音频替代法。

准确度：0.01～5dB

3. 扫频(或步进跳频)衰减测量

(1)小于30dB的衰减测量

① 双通道音频替代法，如图11-7所示。

准确度：0.05～0.1dB。

优点：宽频带测量，测量准确度高。

缺点：在扫频或跳频测量时，测热检波座以及射频源的阻抗均在变化，故造成衰减测量中失配误差加大。

说明：由于是扫频或跳频测量，射频源应该有自动幅度控制功能，以保证输出功率的稳定。由于射频源的频率是变化的，图11-7中的调配器应该去掉，失配误差主要由隔离器输出端的驻波比决定。零值检波器可配加记录仪，在扫频测量时，应在每一衰减值的测量平衡点附近，用变化音频衰减器±1dB的方法，可以从零值检波器输出记录仪上取得两条曲线，这就得到了每个平衡点附近衰减量变化的标度尺，以便查找被测衰减器在全频段内，衰减量的真正值。

②宽频带直接比例法，如图11-11所示。

准确度：0.1～0.3dB

优点：测量设备简单，宽频带测量。

缺点：需查曲线

说明：扫频源最好是稳幅的，检波器特性(参考路，信号路)应保持一致，传输损失$=K\cdot S/R$，式中K为比例系数，S是信号通道的幅度，R是参考通道幅度。

③ 取样变频法，如图11-12所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

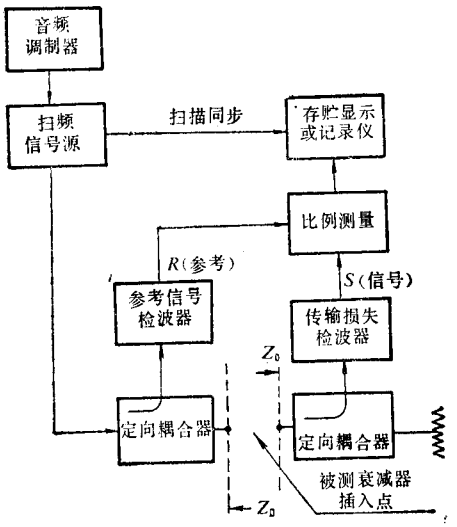


图 11-11　宽频带直接比例法

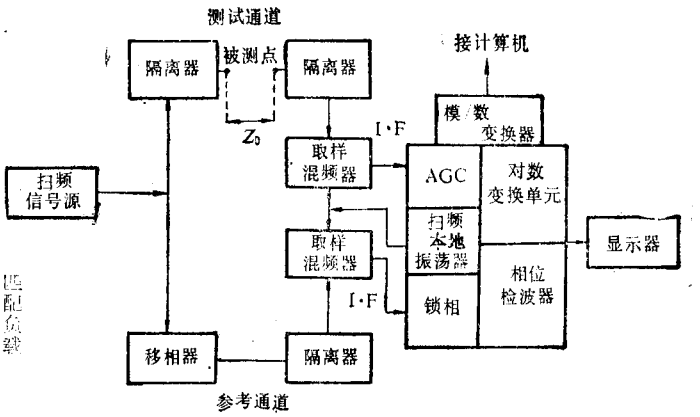


图 11-12　衰减测量的取样变频法

准确度：0.1～0.5dB。

优点：宽频带快速测量，可以使用数字逻辑电路技术。使用计算机控制后可以实现测量误差自动校准。

说明：这种方法是利用采样变频技术将射频信号变为中频信号，在测试原理上类似并联中频替代法。在并联中频替代法中，随着被测衰减量的增加，参考中频信号及被测中频信号同时减小，系统分辨率逐渐降低，在本方法中参考中频始终保持不变，随着被测衰减量增加，系统的自动增益控制使得系统信号通道中频增益提高以保证信号通道中频输出不变，这样系统的分辨率可以保持不变。自动增益控制（AGC）单元增益与控制电压或控制电流之间关系，可以用别的标准中频衰减器预校准，数据可以存储在计算机中，达到了测量时，自动修正误差的目的。测量动态范围决定 AGC 动态范围，以及系统的噪声系数。

（2）大于 30dB 的衰减测量

采用取样变频法，如图 11-12 所示。

准确度：0.5～2dB（可测至 60dB）。

当然，衰减测量技术还很多，例如功率比法、调制副载波法、六端口技术、阻抗法、自校准绝对法等等。使用何种方法最好，应根据用户所持标准设备情况、测量衰减值大小、测量准确度及测量速度等要求，因地制宜处理。但在衰减器校准时尽量降低失配误差是至关重要的。

（三）技术指标及典型测试方法

1. 电压驻波比　*VSWR(S)*

Voltage Standing Wave Ratio

当衰减器的输出(入)端口接上全匹配负载时，测得衰减器输入(出)端口的电压驻波比，定义为衰减器的输入(出)端口的电压驻波比。

测试方法一：点频测试

（1）测试方框图，如图 11-13 所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

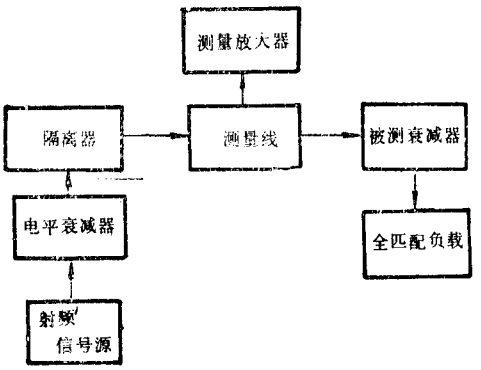


图 11-13 点频下衰减器电压驻波比测量

(2) 测试步骤

① 按图 11-13 连接仪器。

② 将射频信号源调到所需的射频频率上，并置于 1kHz 方波调制状况。调电平衰减器，使射频信号源的输出功率约 1mW。

③ 调测量线探针深度约 1～2mm(探针深度太大，由于探针导纳会影响电压驻波比测量误差；探针太浅，灵敏度不够，或测量线移动不平稳度将会造成 $VSWR$ 的测量误差)，调谐测量线。(测量线的晶体检波率最好预先测量一下，以保证平方律检波，检查的方法是先将被测衰减器取出，在隔离器与测量线之间，加入一标准衰减器，当标准衰减器变化 3dB 衰减时，测量放大器的指示为衰减量变化前的一半，即为平方律)。

④ 移动测量线探针，在测量放大器上读得最大值 α_{max} 和最小值 α_{min}。按 (11-7) 式计算电压驻波比 (测量线晶体二极管是处于平方律检波状况)：

$$VSWR=\sqrt{\frac{\alpha_{max}}{\alpha_{min}}} \qquad (11\text{-}7)$$

(3) 测试要求

① 对被测衰减器的输入输出端口均应测试。

② 在被测衰减器的工作频段内至少取高、中、低三个点频上进行测试，或按其技术条件规定的频率点进行测试。

③ 衰减器 (可变衰减器) 的衰减量设置位置：

步进衰减器：各个衰减档级的每一步进位置。

截止衰减器：非线性段以每变化 2dB 测一次，线性段以每 10dB 递增测量一次。

迴转式衰减器：0～50dB，每变化 10dB 测量一次。

连续可变衰减器 (PIN 管电控衰减等)：从最小衰减量位置开始，每变化 2dB 测量一次。

测试方法二：扫频测试

(1) 测试方框图，如图 11-14 所示。

(2) 测试步骤

① 按图 11-14 连接仪器。

② 选择扫频信号源起始扫描频率及终止扫描频率，使其扫频范围与被测衰减器的频段一致，并将扫频信号源置于内稳幅扫频工作状

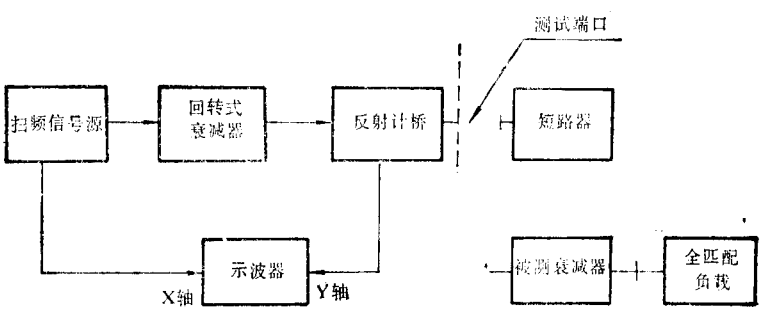


图 11-14 衰减器的 $VSWR$ 扫频测试

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

态，根据系统灵敏度调节扫源输出功率。

③ 迴转式衰减器置一适当初始值 A_1 dB，A_1 的数值应与被测衰减器的电压驻波比有关：$VSWR \geqslant 1.3$ 时，A_1 置 20dB；$VSWR = 1.2 \sim 1.3$ 时，A_1 置 25dB；$VSWR = 1.05 \sim 1.2$ 时，A_1 置 34dB。将短路器接到测试端口，在示波器上描出此时的标准基线（为保证测量的分辨率应在 34dB 基础上变化 ±1dB，观察示波基线有明显变化，否则应加大扫频源输出功率）。

④ 测试端口接被测衰减器，示波器出现一新的扫描线，减小迴转式衰减器的衰减量至 A_2 (dB)，使扫描线的某点与基线相交，则被测衰减器在该频率点的电压驻波比按（11-8）式计算。

$$VSWR = \frac{1 + 10^{-\frac{(A_1 - A_2)}{20}}}{1 - 10^{-\frac{(A_1 - A_2)}{20}}} \qquad (11\text{-}8)$$

（3）测试要求及说明

① 被测衰减器输入输出端口均应测试。

② 被测衰减器衰减量设置与点频测量相同。

③ 若仅需要测量被测衰减器的最大电压驻波比，则在测试步骤④中，不断调节被测的衰减器的衰减量，找出最大电压驻波比的那一点，然后测出此点（此时与基线相切，而不是相交）电压驻波比即可，此值不应大于衰减器指标规定的值。

④ 电压驻波比的扫频测量，也可用向量网络测量仪、标量网络测量仪，或六端口技术有关系统进行测量。

⑤ 反射计桥的方向性指标对电压驻波比测量误差影响很大，反射计桥的方向性如为 40 dB 则本系统的等效电压驻波比为 1.02 左右。

⑥ 迴转式衰减器也可用其它宽频带可变衰减器替代。

2. 衰减范围（衰减量程）　A

attenuation range

可变衰减器的最大有效衰减量与起始衰减量之差。

测试方法：参见 JJG387-85《10MHz～18GHz 频段衰减器试行检定规程》。采用 TO7A 型衰减校准装置测试被测衰减器。也可以采用“综述”中所介绍的其它测量方法。

（1）测试方框图，如图 11-15 所示。

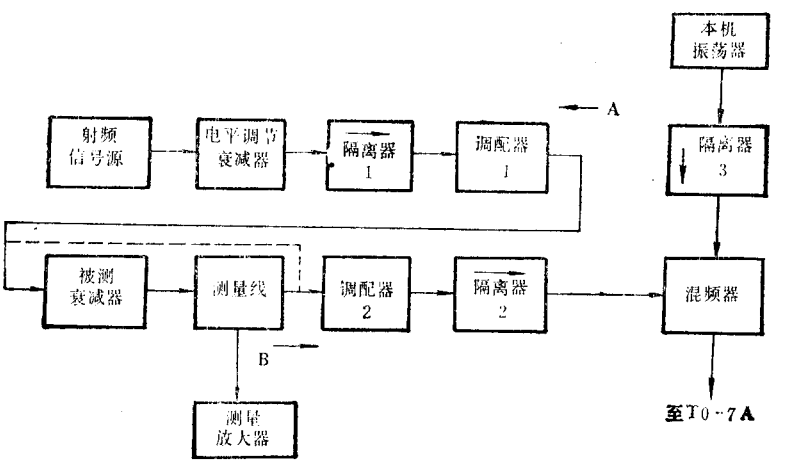


图 11-15　TO7A 型衰减器校准装置

（2）测试步骤

① 根据被测衰减器的频率范围，调节射频信号源的频率，测试频率点不得低于被测衰减器工作频段的高、中、低三点，或根据需要而定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 调节射频信号源为 1kHz 方波调制状态，用电平调节衰减器使射频输出功率约 1mW，调节测量线探针深度为 1.5mm，调谐探针。

③ 为保证获得匹配的信号源及匹配的负载以减小失配误差，首先将“调配器”及“隔离器1”作负载，接到测量线的被测端，调节“调配器1”，使其 $VSWR \leqslant 1.02$。这样向A方向看去 $VSWR \leqslant 1.02$。然后照图 11-15 连接，调节“调配器 2”使得向B方向看过去 $VSWR < 1.02$。

④ 在测量被测衰减器的起始衰减时，首先要确保混频器是工作于线性混频段。具体操作如下：将射频信号源恢复到 TO7A 所要求的工作状态，调节本振频率以获得稳定的 30MHz 中频，将被测衰减器刻度放在起始位置上，调 TO7A 第一次平衡，并记下中频衰减器读数。然后调节被测衰减器使其衰减变化约 10dB，并记下被测衰减器位置刻度。调 TO7A 第二次平衡，并记下中频衰减器读数，计算出被测衰减量。改变电平衰减器衰减量，重复以上过程，这样我们可以获得不同射频功率电平下的对同一衰减量的测量结果，从而获得混频器的线性混频段，将电平衰减器调到开始进入线性混频段的最大射频功率。

⑤ 从系统中取下被测衰减器，按图 11-15 虚线所示方式直接连接系统，调 TO7A 第一次平衡，记下中频截止衰减器读数 A_1，将被测衰减器插入系统，并将被测衰减器调到零刻度。调 TO7A 第二次平衡，记下中频截止衰减器读数 A_2，则被测衰减器的起始衰减为 $A_2 - A_1$。采取交替读数法重复上述测量 4～6 次，取算术平均值为测量值。

⑥ 将被测衰减器调到零刻度，仔细调 TO7A 获得第一次平衡，并记下中频截止衰减器读数，将被测衰减器调到衰减刻度的最大值，仔细调 TO7A 获得第二次平衡，并记下中频截止衰减器读数，两次读数之差即为衰减范围。上述步骤重复 4～6 次，取算术平均值为测量值。

⑦ 固定衰减器衰减量的测量步骤同起始衰减测量步骤。

⑧ 标准信号发生器中的衰减器衰减量测量按图 11-16 进行。

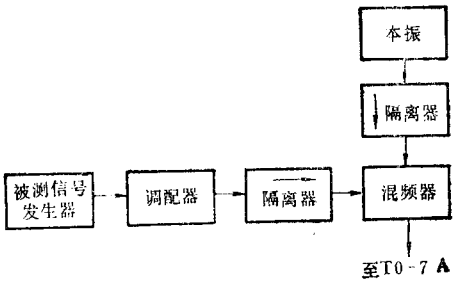


图 11-16 信号发生器中的衰减器衰减量测量

3. 频率范围(工作频段)

frequency range

在此频率范围内，衰减器各项技术指标应满足技术说明书规定的技术要求。

测试方法：按图 11-13、图 11-14、图 11-15、图 11-16，和其它有关项目的测试。

测试步骤：测试频率点不得少于工作频段内高、中、低三点，或按具体要求确定，最好采用扫频法在全频段内测试。

4. 起始衰减(起始损失)

initial loss

可变衰减器置于零刻度时，将衰减器插入系统后的插入损失。

测试方法：

I. 点频法

(1) 测试方框图，如图 11-15 所示。

(2) 测试步骤：见“衰减范围”测试步骤。

II. 扫频法

(1) 测试方框图，如图 11-17 所示。

(2) 测试步骤

① 按图 11-17 连接仪器。

② 调节扫频信号源起始扫频的频率及终

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

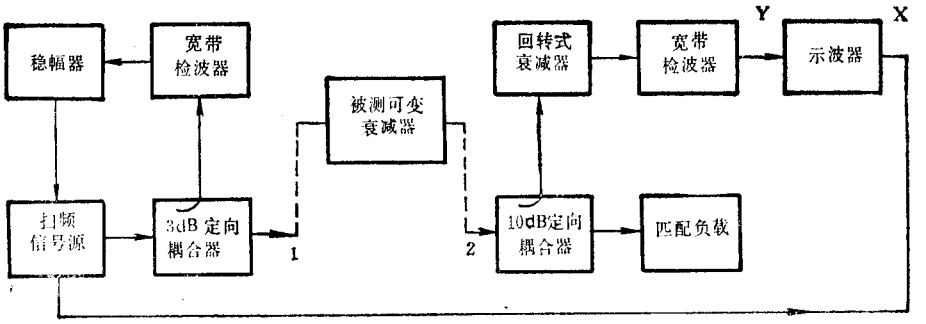


图 11-17　起始衰减扫频测量法

止扫频的频率，使扫频宽度与被测衰减器频段相适应，并将扫频源置于"外稳幅"工作状态，调节扫频源输出功率以保证外稳幅器有足够的取样信号，并使其正常工作。

③ 迴转式衰减器置于 2dB 位置，将测试端口 1 和 2 直接相接，在示波器上描出此时的校准基线。

④ 将置于最小衰减位置的被测衰减器接入 1 和 2 位置之间，示波器出现一新扫描线，减小迴转式衰减器的衰减量至 A(dB)，使扫描线的某点与基线相交。则被测衰减器在该频率点的起始衰减(A_0)按(11-9)式计算：

$$A_0 = (2 - A) \quad (\text{dB}) \qquad (11\text{-}9)$$

(3) 测试要求及说明

如果将示波器改用 X-Y 记录仪，则从测量步骤④开始，将迴转式衰减器从 2dB 起每减少 0.2dB 都可获得一坐标线，这样在 X-Y 记录仪上可以获得 10 根坐标线。然后将置于最小衰减量的衰减器接入 1 和 2 之间的端口，在 X-Y 记录仪上可以获得起始衰减的记录线，根据 0.2 dB 间隔的座标线可确定任意频率下被测衰减器的起始衰减，并可取得起始衰减的硬拷贝。

5. 分辨率(分辨力)

resolution

在可变衰减器的读数机构上能读出的最小衰减变化量。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 11-15 所示。

(2) 测试步骤：见"衰减范围"测量方法中测量步骤④和⑤。

① 根据可变衰减器技术指标的规定，将可变衰减器置一衰减量位置，调 TO7A 第一次平衡，并记下标准中频截止衰减器的读数；然后将被测可变衰减器减少一个可分辨的衰减量，调 TO7A 第二次平衡，并记下标准中频截止衰减器读数。此两读数之差不应小于可变衰减器减少的一个可分辨的衰减量。然后将被测衰减器恢复到原衰减值，再次调 TO7A 平衡，并记下中频截止衰减器读数；然后将被测可变衰减器增加一个可分辨的衰减量，又一次调 TO7A 平衡，并记下标准中频截止衰减器读数。此两读数之差不应小于可变衰减器增加的一个可分辨的衰减量。测量次数 4～6 次，并求出平均值。

② 根据被测可变衰减器指标要求，可在不同衰减量上测这一指标。

说明：可变衰减器的分辨率过去常用目测的方法来判断，这种方法欠妥。有的可变衰减器虽然从衰减器读数上可分辨一衰减量变化，但实际上，由于传动机构上的缺陷等多种原因，并未达到分辨率指标，这一指标好坏也影响可变衰减器的重复性指标。

6. 衰减误差(衰减准确度)

attenuation error (attenuation accuracy)

在规定的频率范围内，输入射频功率不大

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

于10mW，或输入功率小于额定功率的1%条件下，用数值、符号和单位来表示测量结果与约定真值之间的偏差。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图11-13；图11-14；图11-15；图11-16所示。

(2) 测试步骤

① 按"衰减范围"测试方法的有关步骤。

② 本系统对衰减量测量的可能误差为 e_i，并由(11-10)式给出：

$$-\left(e_m+\sqrt{9\frac{\sigma^2}{n}+e_s^2+e_{mis}^2}\right)\leqslant e_i \leqslant\sqrt{9\frac{\sigma^2}{n}+e_s^2+e_{mis}^2} \qquad (11\text{-}10)$$

式中

σ——系列衰减量测量的标准方差；

n——对同一衰减量的测量次数；

e_s——TO7A 标准衰减器的系统误差（$e_s=\pm0.005$ dB/10dB）；

e_{mis}——失配误差；

e_m——混频器非线性误差。

③ 失配误差的计算

a. 固定衰减器：按(11-11)式计算：

$$e_{mis}\doteq\pm8.69(|\Gamma_S|\cdot|\Gamma_L|+|\Gamma_S|\cdot|\Gamma_{in}|+|\Gamma_L|\cdot|\Gamma_{out}|+|\Gamma_S|\cdot|\Gamma_L|\cdot|S_{21}|\cdot|S_{12}|) \quad (\text{dB}) \qquad (11\text{-}11)$$

式中

Γ_{in}——衰减器输入端的反射系数；

Γ_{out}——衰减器输出端的反射系数；

Γ_S——从衰减器输入端向射频源方向看过去的反射系数；

Γ_L——从衰减器输出端向负载方向看过去的反射系数；

S_{21}——是衰减器输入端到输出端的传输系数；

S_{12}——是衰减器输出端到输入端的传输系数。

b. 可变衰减器：按(11-12)式或(11-13)式计算。

$$e_{mis}\doteq\pm8.69[|\Gamma_S|(|\Gamma''_{in}|-|\Gamma'_{in}|)+|\Gamma_L|\cdot(|\Gamma''_{out}|-|\Gamma'_{out}|)+|\Gamma_S|\cdot|\Gamma_L|\cdot(|S'_{12}|\cdot|S''_{21}|-|S'_{12}|\cdot|S_{11}|)] \quad (\text{dB}) \qquad (11\text{-}12)$$

$$e_{mis}\doteq\pm8.69(|\Gamma_S|\cdot|\Gamma_L|+|\Gamma'_{in}|\cdot|\Gamma_S|+|\Gamma'_{out}|\cdot|\Gamma_L|+|\Gamma''_{in}|\cdot|\Gamma_S|+|\Gamma''_{out}|\cdot|\Gamma_L|+|\Gamma_L|\cdot|\Gamma_S|\cdot|S_{21}|\cdot|S_{12}|) \quad (\text{dB}) \qquad (11\text{-}13)$$

式中

Γ_S；Γ_L——同(11-11)式定义；

Γ''_{in}——衰减器在被测位置输入端的反射系数；

Γ''_{out}——衰减器在被测位置输出端的反射系数；

Γ'_{in}——衰减器在起始位置输入端的反射系数；

Γ'_{out}——衰减器在起始位置输出端的反射系数；

S''_{21}——衰减器在被测位置，输入端到输出端的传输系数；

S''_{12}——衰减器在被测位置，输出端到输入端的传输系数；

S'_{21}——衰减器在起始位置，被测衰减器输入端到输出端传输系数；

S'_{12}——衰减器在起始位置，被测衰减器输出端到输入端传输系数。

(11-11)、(11-12)、(11-13)式中反射系数 Γ，按所测得的电压驻比 $VSWR$ 大小，由(11-14)式计算：

$$\Gamma=\frac{VSWR+1}{VSWR-1} \qquad (11\text{-}14)$$

c. 信号发生器中衰减器衰减测量的可能失配误差按(11-15)式或(11-16)式计算。

$$e_{mis}\doteq8.69(|\Gamma'|\cdot|\Gamma_L|+|\Gamma''|\cdot|\Gamma_L|) \quad (\text{dB}) \qquad (11\text{-}15)$$

$$e_{mis}\doteq8.69[(|\Gamma''|-|\Gamma'|)\cdot|\Gamma_L|] \quad (\text{dB}) \qquad (11\text{-}16)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中　Γ'、Γ'' 分别为衰减起始及被测点反射系数。

(3) 测试要求及说明

① 可变衰减器的失配误差按公式(11-12)、(11-13)、(11-15)及(11-16)式计算，它们之间的差别是考虑失配误差的出发点不同造成的。笔者认为(11-12)及(11-16)式更为合理，其考虑失配误差的出发点是从被测衰减器起始位置到被置衰减量位置失配误差变化，这一考虑方法与使用的实际情况相符。

② 为保证测试准确度，射频信号源输出功率要足够大，且输出功率稳定性要优于 0.05dB/10min，频率稳定度要优于 $(1\sim5)\times10^{-4}/15$ min。

③ 系统中采用的隔离器插入损失要小，隔离度要大于 20dB，系统严格调配使 Γ_S、Γ_L 达到 0.01 以下。

④ 测量系统各连接部份要可靠，加铝垫片或弹性铜片以防止射频信号漏泄，特别在大衰减测量时更显重要

⑤ 混频器非线性误差按“衰减范围”测量方法中，测试步骤④进行。

⑥ 被测衰减器误差 Δ 按(11-17)式计算：

$$\Delta \leqslant (A_{标准值} - A_{实际值}) + e_i \text{ (dB)} \quad (11\text{-}17)$$

7. 特性阻抗(标称阻抗)　Z_0

characteristic impedance (nominal impedance)

波导式衰减器一般以波导尺寸及规格来描述，特性阻抗常用于同轴式衰减器，Z_0(特性阻抗)定义为同轴线中行波电压与行波电流之比。

$$Z_0 = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}} 60 \ln \frac{D}{d}$$

式中　ε_r 为同轴线内导体与外导体之间填充介质的相对介电常数；

D 为外导线的内径；

d 为内导体的外径。

一般 Z_0 的常用设计值为 50Ω、75Ω、60Ω、300Ω 等。

测试方法：一般用测量衰减器两个端口的电压驻波比的方法代替，见“电压驻波比”测量一节。当然也可用阻抗图示仪、向量网络分析仪或六端口技术等方法测量。

8. 自校零点(自校零位)

self-check zeropoint position

按角度读数的迴转式衰减器的机械角度读数与电气角度读数之间的偏离值。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 11-18 所示。

(2) 测试步骤

①按图 11-18 连接仪器。

② 调节射频信号源的频率与被测迴转式衰减器工作频段一致，将射频源置于 1 kHz 方波调制状态，并使其输出足够大的射频功率。

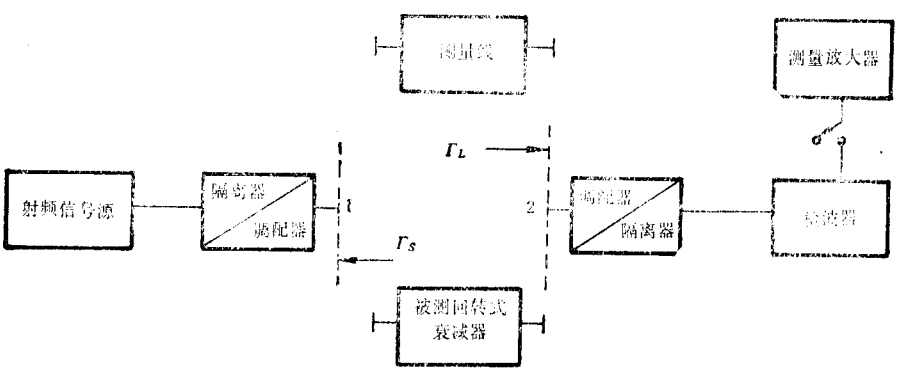


图 11-18　迴转式衰减器自校零点测试

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

③ 调测量线及调配器分别使1和2两个测试端口的反射系数 $|\Gamma_S|$ 及 $|\Gamma_L|$ 小于0.01。

④ 接入被测迴转式衰减器，调谐检波器及测量放大器。

⑤ 置被测衰减器的读数为80°，调节信号源输出功率及测量放大器的增益，使测量放大器指示在满度附近 α 值，然后调节被测衰减器至100°附近，并微调读数至 $\theta°$，使测量放大器仍指示 α 处。自校零位 $\theta_0°$ 按(11-18)式计算：

$$\theta_0° = \frac{\theta° - 100°}{2} \qquad (11\text{-}18)$$

(3) 测试要求及说明

① 自校零位对迴转式衰减器很重要，尤其对大衰减量（读数接近90°时）影响更大，如不进行零位校准会造成很大的衰减量误差。

② 测试频率至少在频率范围内的高、中、低三点，或根据要求在更多点频率上测试。

③ 要求自校零位不得大于 ±10′。各频率点自校零位之差别不得大于5′。

④ 为得到精确数值可进行多次测量取平均值。

9. 最大平均功率(或额定功率)

maximum average power (normal power)

在规定的最高工作温度和被测衰减器输出端接匹配负载的条件下，输入规定的最大功率1小时，当功率减小20dB时，衰减器特性不应产生永久性变化。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图11-15所示。

(2) 测试步骤

① 在标准条件下，按图11-15测得被测衰减器的衰减量 A_1。

② 从测试系统中取下衰减器，在被测衰减器输出端接匹配负载，输入端加等幅射频功率，其功率大小等于额定功率，并将衰减器放入恒温箱，恒温箱的温度调到衰减器最高工作温度。

③ 1小时后从恒温箱内取出被测衰减器，待温度平衡后，插入图11-15测量系统中，测量其衰减量，并得测量结果为 A_2。

④ A_1 与 A_2 之间的差值不应大于指标规定的准确度值。

(3) 测试要求及说明

① 测试频率：一点频，并取中心频率。

② 测试衰减量。对于可变和步进衰减器，衰减量置于20dB，最大衰减量不足20dB的衰减器在最大衰减量点测试。

10. 最大峰值功率

maximum peak power

在衰减器规定的最高工作温度下，衰减器输出端接匹配负载，输入规定的最大的峰值功率1小时(平均功率不得大于规定的数值)。当功率减小20dB时，衰减器特性不应产生永久性变化。

测试方法：与最大平均功率指标测试方法相同，只是在试验时，加规定的最大脉冲射频功率。

11. 重复性

repeatability

在进行寿命试验前后，可变衰减器在正反方向调节时的衰减量最大偏差，对固定衰减器则为接拆寿命前后插入损失的最大偏差（一般指同轴衰减器）。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图11-15所示。

(2) 测试步骤

① 在衰减器寿命试验前，按图11-15所示连接仪器，测出从一个方向调节被测衰减器至20dB位置时的测量值 A_1，然后以相反方向调节被测衰减器至20dB位置时的测量值 A_2。按以上方法重复三次测得 A_3、A_4、A_5 和 A_6（对固定衰减器则是测出接拆6次的插入损失值）。

② 在寿命试验后，按测试步骤①的方法测得 $A_7 \cdots\cdots A_{120}$。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

③ 计算 $A_1 \sim A_{12}$ 中最大与最小值之差，差值不应大于规定的重复性指标。

(3) 测试要求：在被测衰减器工作频段的高端点频测试。

12. 连接器类型(插头座型式)

connector type

波导式衰减器按端口波导尺寸及规格定，同轴式衰减器端口按国际或国标的规定的标准确定，如N型；BNC 型；SMA 型；APC-7；APC-3.5；APC-2.4；K型；V型；L27；L16；Q9 等。

13. 工作温度范围

operating temperature range

衰减器在此温度范围内工作，各项技术指标应满足其产品标准的要求。

14. 连接器寿命(接拆寿命)

connector life (connector span-time)

一般指同轴式衰减器轴向连接和拆开达到额定的周期数后，接头的机械性能及衰减器电气性能（插入损失，起始插入损失等）不致降低。

15. 储存温度范围

storage temperature range

衰减器处于非工作状态，经过此温度范围内储存过的衰减器，经恢复到工作温度范围内，各项技术指标应满足其产品标准的要求。

16. 衰减步进量

attenuation step value

一般指手动、电动或程控步进衰减器的衰减量可能变化的步进值，如 10dB/step、1dB/step、0.1dB/step 等。

17. 开关寿命

switch life

一般指手动步进衰减器的波段开关，或电控、程控步进衰减器的继电器达到额定工作周数后，衰减器的电气及机械性能不致降低。

18. 驱动电平(电流)

driving level

[driving current (驱动电流)
switchingcontrol current (开关控制电流)
switchingcontrol voltage (开关控制电压)]

为使步进电控或程控衰减器衰减量变化，需馈送给控制端最小电平(如 TTL 电平)、最小电压、最小电流等。

19. 工作电压

operating voltage range

步进电控及程控衰减器在工作电压范围(驱动继电器放大器所需的电源等)内，其衰减量能受驱动电平，或开关电压(电流)控制。

20. 电调率(衰减电调率)

electrical control rate

一般指 PIN 二极管电控衰减器单位电压变化或电流变化所能控制的衰减量变化，如 dB/mA、dB/mV。电调率是指 PIN 衰减器控制端而言。

21. 开关时间(速度)(控制速度)

switching speed (control speed)

对于电控及程控继电器式步进衰减器是指从控制信号加入，到继电器动作完成所需的时间，一般以 ms 为单位。对于 PIN 管电控衰减器常给出上升时间 (Rise time) 和下降时间 (Fall time) 分别定义为从控制偏流加入到 90% 最大衰减率所需的时间，以 μs 为单位，以及从最大衰减率变化到 10% 最大衰减率所需时间，以 μs 为单位。一般下降时间小于上升时间。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

22. 程控接口

programming connector

说明程控接头形式，如多少针，以及机械尺寸等，或 GP-IB，IEEE-488 等。

23. 温度系数(温度敏感性)

temperature coefficient (temperature sensitivity)

在规定的工作温度范围内，衰减器衰减量的温度系数。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 11-15 所示。

(2) 测试步骤

① 在标准温度下测出被测衰减器的衰减量 A_1 (dB)。

② 被测衰减器置于恒温箱内，将温度由标准温度改变 T℃（应仍保持在规定的温度范围内），待温度稳定后，再测得衰减量为 A_2(dB)。

③ 按(11-19)式计算温度系数 α_T：

$$\alpha_T = \frac{A_2 - A_1}{A_1 \times T} \left(\frac{\text{dB}}{\text{dB} \times ℃}\right) \quad (11\text{-}19)$$

(3) 测试要求及说明

① 测试频率点：工作频率范围的中心点上。

② 衰减量：对于可变和步进衰减器定为 20dB，最大衰减量不到 20dB 时，置最大衰减量。

③ 温度改变量 T(℃) 其大小和正负号待定。

24. 功率系数(功率敏感度)

power coefficient (power sensitivity)

在规定的功率范围内，衰减器衰减量随输入功率的变化系数。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 11-19。

(2) 测试步骤

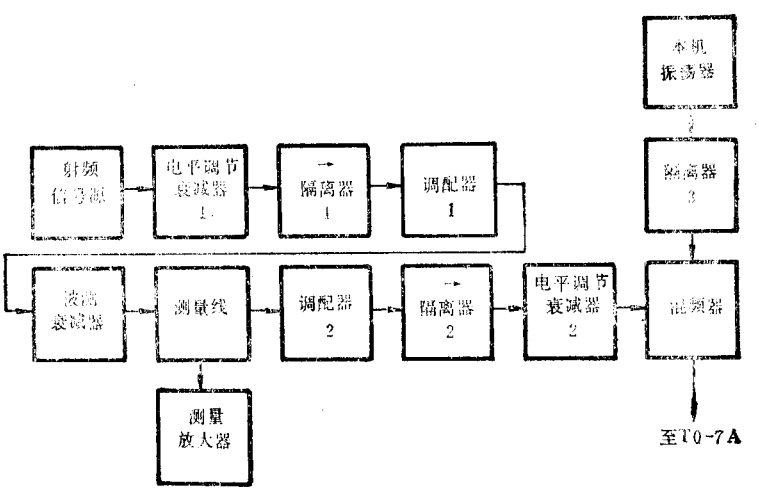


图 11-19 衰减器功率系数测试方框图

① 置“电平调节衰减器 2”在最大衰减位置，调节“电平调节衰减器 1”使被测衰减器输入功率为规定的额定功率 P_{max}，慢慢减小“电平调节衰减器 2”，使 TO7A 处于线性混频段，并测出被测的衰减器的衰减量 A_2。

② 调节“电平调节衰减器 1”使输入功率减少 20dB，然后调节“电平调节衰减器 2”减少 20dB 衰减量，并测出被测的衰减器衰减量 A_1。

③ 被测衰减器的功率系数 α_P 按 (11-20) 式计算：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$\alpha_P = \frac{A_2 - A_1}{A_1 P_{max}\left(1 - \frac{1}{100}\right)}\left(\frac{dB}{dB \times W}\right) \quad (11\text{-}20)$$

(3) 测试要求及说明

① 测试频率点：中心频率。

② 衰减量的选择：对于可变和步进衰减器选 20dB为测试点，最大衰减不到 20dB 的，取最大衰减量为测试点。

上述的技术指标都是国内外商品常用的技术指标。另外，IEEE Std 474 标准还使用了一些表述衰减器技术指标的术语，如：

特性插入损失相对于标称值的偏移 Deviation of Characteristic insertion loss from nominal.

特性插入损失的频率响应 Frequency Sensitivity of Characteristic insertion loss.

插入/分离寿命 Insertion/removal life. 等等。

* * *　　* * *

本章技术指标及测试方法中所用的主要测试仪器汇总如下。

表 11-4　主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
衰减校准装置	TO7A	JJG387-85
	TO7,VM-3	JJG09001-87
	TO12, TO6,	
	RO4	
	Д1-2	ГОСТ
信号发生器	XG-13	JJG424-86
	XB-43	JJG362-84
	PS-5	JJG419-86
	MG645,XFC-1	JJG09001-87
	HP8620C HP8350	JJG(电子)15011-89
	XG-2 XX-6 XFL-2 QF1074 QF1480 QF1090	
示波器	SBM-14	JJG424-86
	SBR-1	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
测量线	ГС8С	JJG362-84
	CLX-20	JJG09001-87
	CLX-6	
测量放大器;选频电平表	PM-5	JJG419-86
	XF-01	
	FD-1	
网络分析仪	QF3610T$_1$	
	HP8510	
	WILTRON 6409	JJG（电子）09002-87
	WILTRON 5600B,5700B	
	WILTRON 360	
校准接收机,测试接收机	RS2, RS3 DO16; DO29	JJG252-81 JJG362-84
	ME642A	JJG（航天）23-87
	VM-7	
衰减器	D12O	JJG419-86
	TO32	JJG09001-87
	SGZ-13	JJG362-84
	DH13505 TS7;S3-1	
波导元件	BD1, BD2, BD5, BD12 BD14; BD16 BD18, BD22	
隔离器	GLX-2, GLX-6	
波导-同轴转换;50Ω/75Ω转换,阳-阴接头转换	QF10800;	JJG09001-87
	AC-140WA17 AC-100WA17 AC-70WA17	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第 5 节　衰减器量值传递表

1.射频与微波衰减检定系统框图

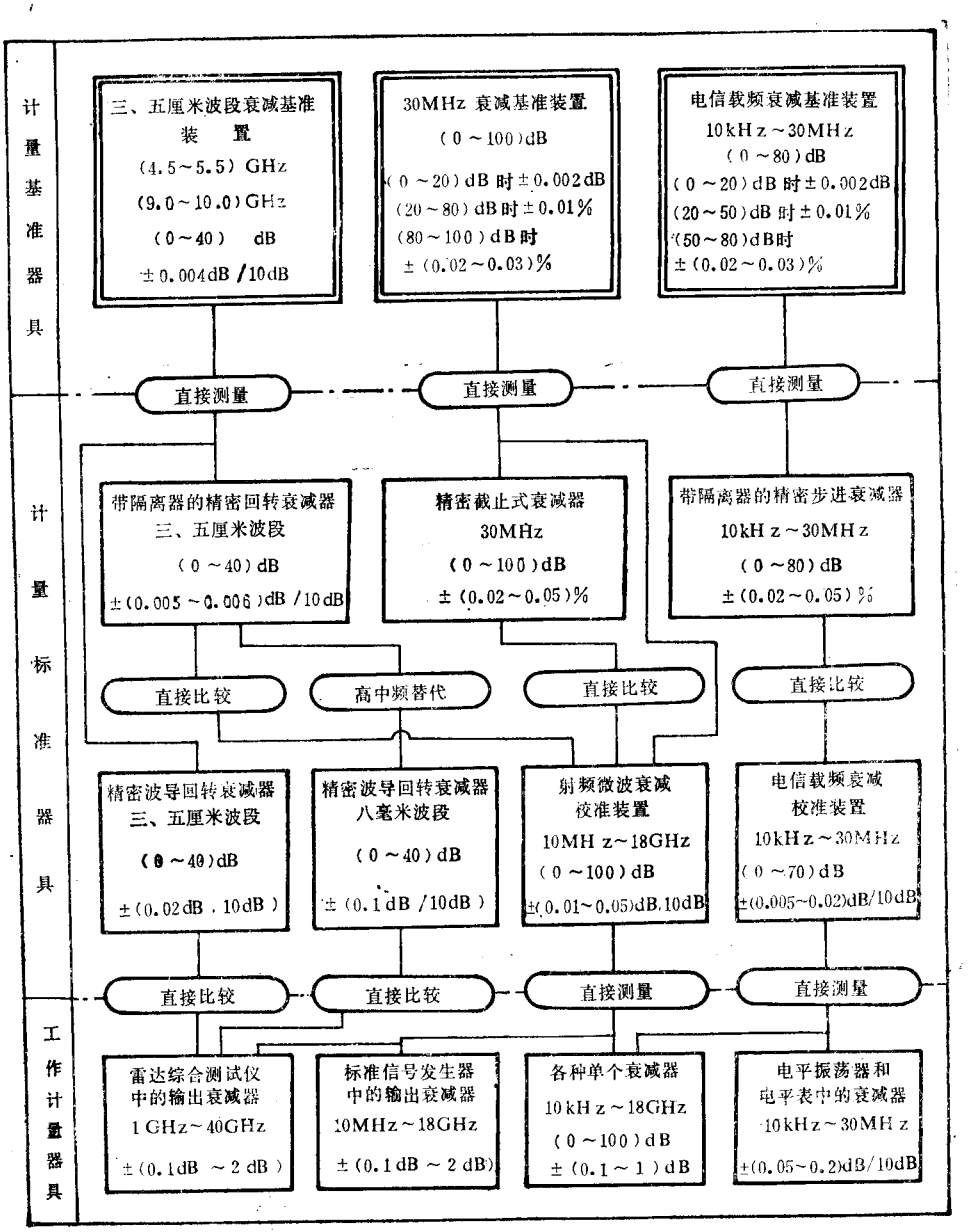


图　11-20

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2.衰减计量器具检定系统框图

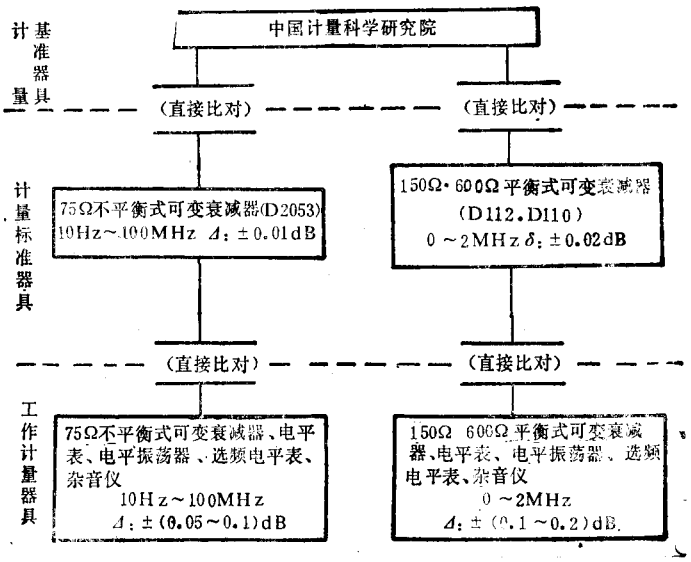


图 11-21

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第12章 相 位 计

第1节 综 述

（一）相位

相位又称为“位相”、“周相”和“相”。

当某一物理量随时间(或空间位置)作正弦变化时，相位是决定该物理量在任一时刻(或位置)的状态的一个参数。例如。某个简谐振荡 A

$$A = A_0 \sin(\omega t + \phi_0)$$

其中 $(\omega t + \phi_0)$ 称为简谐振荡 A 的相位。ϕ_0 是时间 $t = 0$ 时的相位，称为初相。

如果振荡或波在空间和传输线上传播。设电波传播的相移常数为 β，距波源 x 处的波为 A'

$$A' = A'_0 \sin(\omega t - \beta x + \phi_0)$$

它的相位为 $(\omega t - \beta x + \phi_0)$。该相位由三部分组成，即时间相位 ωt，它随时间 t 变化；空间相位 βx，它随空间距离 x 变化；初始相位 ϕ_0。

（二）相位特性

简谐振荡或单色波经过线性系统或线性网络传输时，系统和网络的输出信号与其输入信号之间的相位差称为系统产生的相移。相移是信号频率 ω 的函数，记为 $\phi(\omega)$。$\phi(\omega)$ 称为系统的相位-频率特性，简称相位特性。

$$\phi(\omega) = \mathrm{tg}^{-1} \frac{\mathrm{Im}H(j\omega)}{\mathrm{Re}H(j\omega)}$$

式中 $H(j\omega)$ 为线性系统或网络的转移函数。

相位特性同幅度特性一样，是线性系统的主要特性之一。

（三）相位差

两个同频率的周期性的正弦振荡之间的相位差值称为相位差。

相位差等于零或等于 π 的偶数倍时称为“同相”；相位差为 π 的奇数倍时则为“反相”。

一个振荡的初相大于另一个同频率振荡的初相时，称前者的相位超前后者，或者说后者滞后前者。

（四）相位计

用来测量相位差、相位特性、相位稳定性的仪器和设备统称为相位计或相位表。

本章所述的相位计不仅包括那些专门用来测量相位的单一功能的相位计，而且也包括那些既能测量相位又能测量其它参数的多功能仪器，如矢量网络分析仪、矢量电压表、阻抗分析仪、矢量示波器、微分相位测量仪和幅-相测量接收机等。

用相位计测量相位具有以下特点：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 必须同时输入两个信号给相位计才能进行相位测量。

(2) 输入相位计的两个信号必须频率相等或者两个信号频率具有可约性。

(五) 研究相位测量的重要意义

相位计是应用非常广泛的一种电子测量仪器。正确使用相位计可以解决电气、电子及其它非电量的许多技术问题。例如:

1. 测量四端网络的传递函数

四端网络的传输特性由它的转移函数 $H(j\omega)$ 所规定。$H(j\omega)$ 包括幅度特性 $A(\omega)$ 和相位特性 $\phi(\omega)$

$$H(j\omega)=A(\omega)e^{j\phi(\omega)}$$

只要已知网络的幅度特性 $A(\omega)$ 和相位特性 $\phi(\omega)$，就等于知道了该网络的全部传输特性。$H(j\omega)$ 的测量可以用一个增益/相位计或矢量网络分析仪进行测量，如图 12-1 所示。被测网络包括各种有源和无源网络。

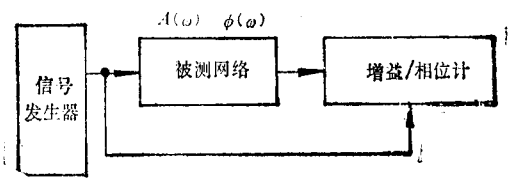


图 12-1

2. 测量滤波器特性

滤波器是一种常用的四端网络。滤波器的截止频率 f_c、带宽 B 和中心频率 f_0 一般是通过对滤波器的幅度特性 $A(\omega)$ 的测量来确定。如果用相位计对滤波器的 $\phi(\omega)$ 进行测量，从 $\phi(\omega)$ 特性也可以确定滤波器的 f_c、f_0、B，而且相位测量法更精密更准确。在 $\phi(\omega)$ 特性上定义 f_c、f_0、B 如图 12-2 所示(单极滤波器)。

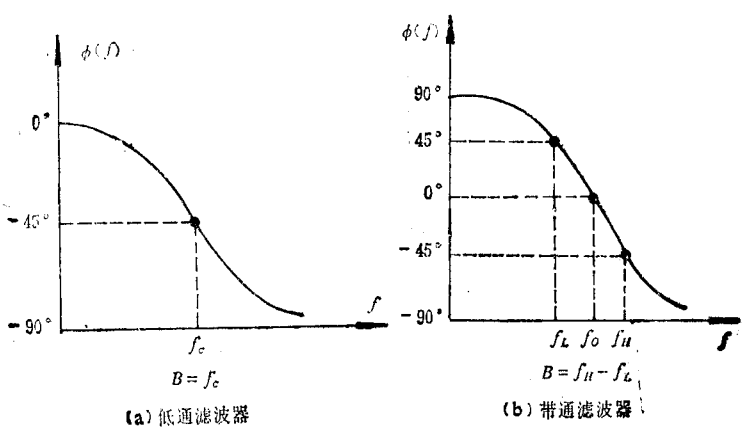


图 12-2

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3. 测量谐振频率 f_r

谐振回路谐振时其相位移为零。利用这个特点可以精确测定如图 12-3 所示回路的谐振频率 f_r：

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

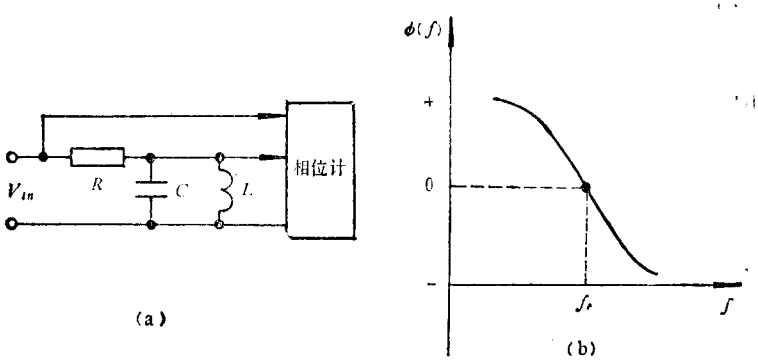


图　12-3

相位测量法比幅度测量法的灵敏度高很多，而且它与回路 Q 值无关。这里的相位计应是高输入阻抗的。

4. 测量元件及损耗

像图 12-4 所示那样，用相位计可以测量电感器和电容器。在串联谐振频率 f_r 上，相位 $\phi = 90°$。

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},\quad \phi = 90°$$

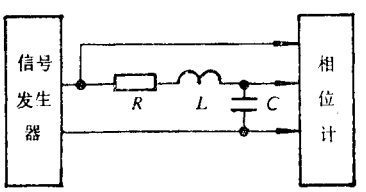


图　12-4

测量电感器时，须用一个标准电容器 C_{ST}，这时

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C_{ST}}$$

电感器的品质因数为 Q

$$Q = \frac{\omega L}{R}$$

电感器的损耗因子 $DF = \dfrac{1}{Q}$

测量电容器时必须用一个标准电感器 L_{ST}，这时

$$C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L_{ST}}$$

5. 测量时延特性

按图 12-5 连接系统。通过测量被测网络的 $\phi(\omega)$，可以获得被测网络的相时延频率特性 $\tau_p(\omega)$ 和群时延频率特性 $\tau_g(\omega)$。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

相时延 $\tau_p(\omega)=\dfrac{\phi(\omega)}{\omega}$，$\omega=2\pi f$

群时延
$$\tau_g(\omega)=\frac{d\phi(\omega)}{d\omega}\approx\frac{\Delta\phi}{\Delta\omega}=\frac{\phi_2-\phi_1}{\omega_2-\omega_1}=\frac{\Delta\phi}{360\Delta f}$$

其中
$$\phi_2=\phi(\omega)|_{\omega=\omega_2}\qquad \phi_1=\phi(\omega)|_{\omega=\omega_1}$$
$$\Delta f=f_2-f_1$$

6. 测量晶体

晶体的谐振频率也可以用相位计来测量。由于谐振时晶体的插入相移为零。在图 12-6 中，改变频率综合器的频率使 $\phi=0$。根据频率综合器的频率可以确定晶体的谐振频率。也可以用图 12-6 中的相位计作为指示器进行晶体加工过程控制或进行晶体频率调整。如果相位有偏离，

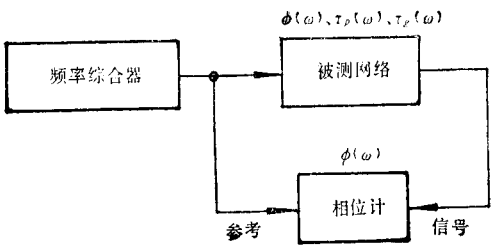


图 12-5

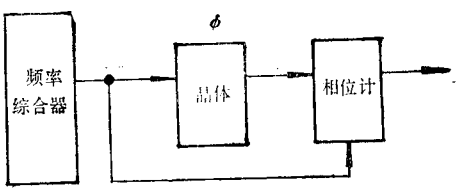


图 12-6

如 $\Delta\phi=0.1°$，它表示晶体的谐振频率偏离了输入信号频率 1×10^{-9}（当 $Q=10^6$ 时）。相位计输出的与 $\Delta\phi$ 成正比的直流电压可以用于晶体自动生产过程中的晶体厚度或它的镀层厚度的伺服控制信号。

7. 测量和校正伺服系统

在自动控制系统中，伺服系统是它的重要组成部分。它的伺服马达、解调器等一般都设计成响应于同相信号（$\phi=0°$），所以伺服系统需要经常测量信号的相位。一般是用相位计或相敏电压表进行相位测量。相敏电压表需要用精密相位计来校准。图 12-7 为校准相敏电压表的系统连接图。

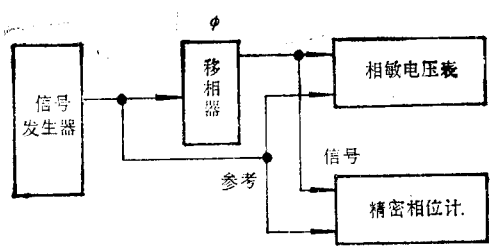


图 12-7

8. 测量动力系统

在电力系统中，多相发电机各相电压之间的相位关系是严格规定的（120°），其相位需要测量和监视。单相和多相电力系统的电压和电流之间的相角 ϕ 也是一个重要技术指标，ϕ 越小，表示功率因数 $\cos\phi$ 越接近 1，说明电网给出的有功功率 P_A 大；ϕ 越小，无功功率 P_R 越小。

在电力系统中用功率因数表来监测功率因数。功率因数表属于工频相位计。

在三相电机中如果存在严重短路将引起电机发热或损坏。局部短路引起各相电压之间的相

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

位变化。用相位计能够检测出电机线电压之间的相位关系偏差，以此来判定电机是否有短路现象。

相位计还可以用来校准工频电度表和瓦特表。

9. 测量放大器和振荡器

高增益放大器很容易产生自激振荡，这是我们所不希望的。为了防止放大器自激，提高它的稳定性，必须使放大器的插入相移 $\phi(\omega)$ 比较小(小于 180 度)。放大器的 $\phi(\omega)$ 用相位计来测量，测量方法同图 12-1。

振荡器的幅、相特性只有同时满足规定的条件，振荡器才能产生振荡。组成振荡器的放大器和反馈网络它们级联后总的相移必须为 0 度(360 度)。振荡器调试时可以采用图 12-8 所示的方法用相位计进行 $\phi(\omega)$ 特性测试。

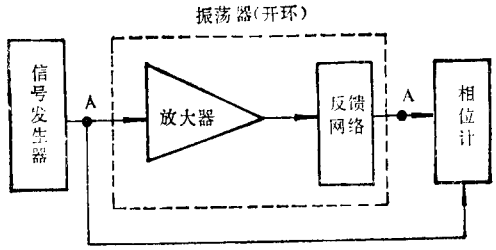


图　12-8

10. 测量距离和方向

在相位导航系统中，安装在船只和飞机上的接收机同时接收来自岸上(或地面上的)导航台的两个发射机传来的信号。每个信号的相位与发射机和接收机之间的距离成正比。导航接收机比较两路信号的相位差即可确定飞机或船只所处位置。

同理，如果在地面上安装两个接收机，接收机之间距离已知，接收机同时接收从卫星上发回的信号，通过相位测量也可以定出卫星的位置(斜距)。

相位测量原理也用于雷达和声纳定向。图 12-9 是相控阵雷达和声纳产生定向扫描波束的原理示意图。同一信号插入不同的延迟线就等效于引入不同的相移，具有相位差的诸信号分别馈入相应的发射机和天线形成发射机或天线阵列，各发射机发射的信号在空间叠加形成定向波束，波束方向是相位差的函数。通过自动改变各延迟线的抽头可以实现波束扫描，也可以改变波束形状。显然，在相控阵雷达和声纳系统的研制和调试过程中需要进行精确的相位测量和相位校准。

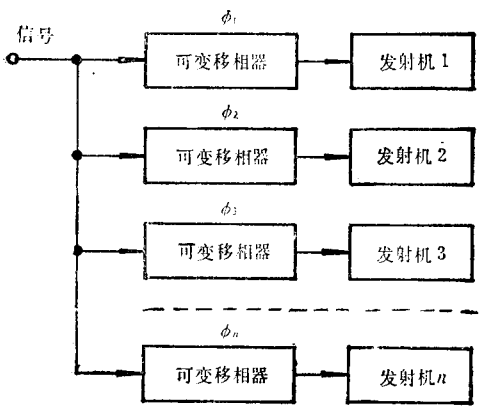


图　12-9

11. 厚度测量和金属探伤

相位计也用于非电量测量，例如金属薄板的厚度测量和探伤等。金属板在一个传感台上移动，厚度传感器由带铁芯的线圈组成。让磁力线通过被测金属板，金属板的电磁特性对电路的电感和 Q 值有直接影响，在谐振点附近，输入阻抗的相角将随金属板厚度变化。用相位计测量相位可以精确测量出金属板厚度。

利用同样道理，如果金属板有裂缝和伤痕，则金属板的涡流损失减小，使传感线圈电感发生显著下降，导致线圈阻抗的相角发生变化。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

除此之外，相位计和测相技术还广泛应用于生物工程、农业、医疗器械、粮食加工、地质勘探等。射电天文望远镜、激光测距、轧钢自动化、石油探测、地震预报方面也常用相位测量技术。

通过上述许多例子说明，研究相位测量在工农业生产和国防科研中都具有非常重要的意义。

（六）相位测量技术

最早研究相位恐怕是在数学的矢量分析和物理学的圆周运动与振动学方面。在电气电力方面对相位和相位测量的研究也开始得很早。可见相位测量技术是一门很古老的科学。我们也很难准确说出相位测量起源于何时。虽然相位测量并不局限于电子技术方面，但是相位测量最主要的应用还是在电子技术的各个领域。随着电子技术发展，相位测量技术也得到了很快发展，现在相位测量技术已趋完善，测量方法和理论比较成熟，测试仪器已经系列化和商品化。

测相原理和测相方案经历了各种变化。在早期，相位测量多采用和/差法、三电压表法（瓦特计法）、阻抗法和李沙育图形观测法等。这些测相方法比较简单，容易实现，但是测量精度不太高。这些方法基本上没有在相位计中广泛应用。低频相位计常用的测相方案大致分为两大类，即零示法和过零检测法。

1. 零示法（null method）

测量中，使被测量的效应与已知量（量具）的效应互作抵消（平衡），如果使总的效应为零。这时就可以肯定被测量等于该已知量。这种方法称为零示法，零示法是比较法中的一种。采用零示法的相位计，其已知量由标准移相器充任，其鉴相器一般为相敏检波器，它属于正弦型鉴相器。这种相位计的准确度主要受标准移相器精度和鉴相器的非线性影响，测相误差对信号幅度也很敏感，因此测量精度不高，使用操作也不甚方便。零示法是早期相位计常用的方案。

2. 过零检测法（zero crossing method）

过零检测又称为零电平检测。它是现代相位计普遍采用的测相方案。

周期性正弦信号与零轴（水平轴）的交点称为信号的过零点。正弦信号每个周期有两个过零点。信号从负值通过零到达正值这次过零称为正向过零，相应的过零时刻（或位置）称为正向过零点。信号从正到负的过零则为负向过零，相应的过零时间称为负向过零点。

所谓过零检测就是采用一种电路或专门技术准确检测并指示出信号的过零点所处位置。过零检测器通常是用它的输出信号（占空比为 1:2 的标准方波）的前后沿来分别指示正弦信号的正、负向过零点的位置。因为两个同频率的正弦信号相应的过零点之间的距离即为它们的相位差，所以，两路过零检测器输出的两个同频率的标准方波的对应边之间的距离差必然等于两个正弦输入信号之间的相位差。这时，用一个脉冲鉴相器就可以检测出输入信号之间的相位差。这就是现代相位计采用的过零检测技术，如图 12-10 所示。

过零检测法具有以下优点：

（1）相位信息从正弦信号的过零点提取，因为正弦信号的过零点的导数有极大值（波形斜率最大），故测量的灵敏度和精度高，它对信号幅度的依赖性比零示法小；

（2）由于采用脉冲鉴相技术。鉴相器的线性很好，即鉴相误差与被测相位值大小无关；

（3）相位计容易实现数字化和自动化。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

过零检测技术又分为两种，即单向过零检测和双向过零检测。

单向过零检测就是在信号的一个周期内只用其中的一个过零点来提取相位信息，例如只用两个正向过零或只用两个负向过零进行相位比较，也可以用一个信号的正向过零与另一个信号的负向过零进行鉴相，或者相反。如果被测信号是理想的正弦波(无谐波、无直流偏置、无噪声)，采用单向过零检测是毫无疑义的。然而实际情况并非如此。由于实际信号的上述各种缺陷使单向过零检测型相位计仍有较大误差。为此，便出现了更为先进的双向过零检测技术。

双向过零检测是指信号每周期的两个过零点(正向和负向)全部用来提取相位信息。分析表明，信号的某些缺陷所产生的过零检测误差在正、负向过零点是其值相等，极性相反。利用这个误差互补性，采用双向过零检测，并进行平均，可以使测相误差减至最小。现代相位计多数已采用双向过零检测方案。图 12-11 是两种过零检测方案的原理框图。

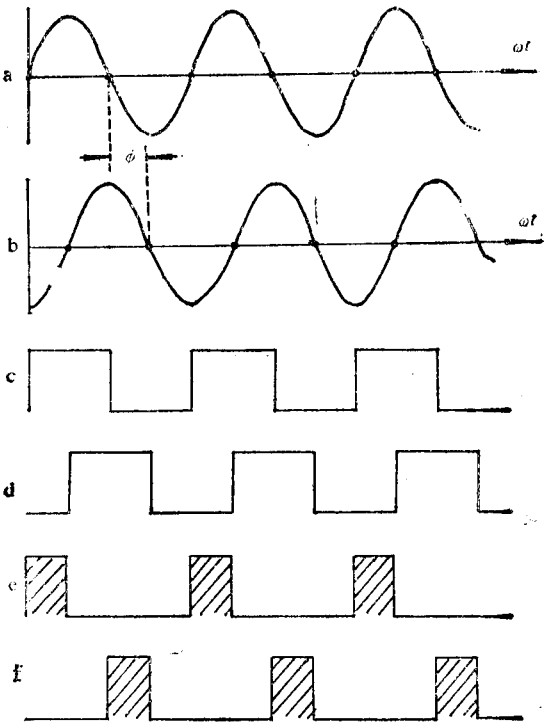
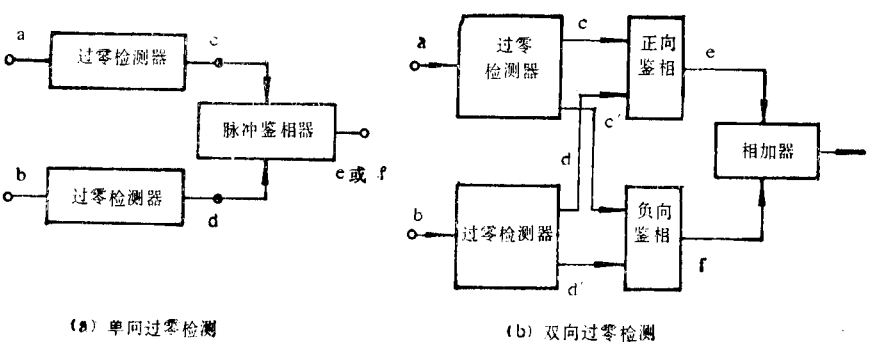


图 12-10　过零检测

3. 高频测相技术

相位测量过程是在鉴相器中对两个信号进行相位比较的过程。在高频和微波信号测相时固然可以在高频和微波频率上进行鉴相，但由于各种高频效应和其它方面的原因，直接在高频和微波上鉴相，测相误差较大。因此，几乎所有的精密高频相位计均采用双通道频率置换技术。先将两路高频信号转换为相应的两个低频信号，在低频上进行测相。所以，高频相位计就是变频装置与低频相位计的组合。

频率置换装置的功能是将两个同频率的高频或微波信号变换为容易进行精密测相的两个同频率的低频信号，并保证两个低频信号之间的相位差严格等于两个高频信号之间的相位差。频率



(a) 单向过零检测　　(b) 双向过零检测

图　12-11

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

变换是用变频器实现的。在现代高频和微波相位计及网络分析仪中，变频器由取样锁相装置充任。虽然它的功能与变频器相同，但是它的频率覆盖范围却比经典的变频器大很多，甚至又可以跨越上百个倍频程。为了保证双通道变频器的上述相位关系，两路变频器必须采用公共的本振源或取样脉冲源。频率置换装置的变频关系和相位关系见图 12-12。通道之间的隔离度应很好。至少大于 60dB。

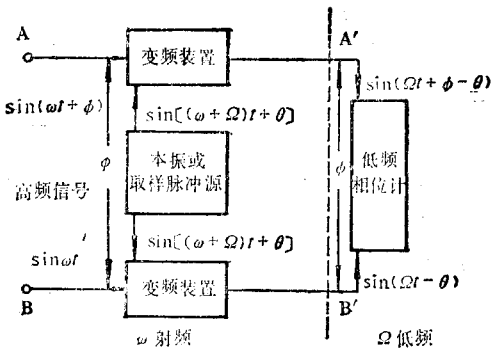


图 12-12

4. 现代相位计的基本特点

概括起来，现代相位计具有以下特点：

(1) 低频相位计多采用双向过零检测技术，精度高；

(2) 高频相位计多采用取样锁相变频技术，频率覆盖范围大；

(3) 相位计采用了微型计算机和 IEEE-488 IB，自动化程度高；

(4) 测相系统具有多功能。精密的增益/相位计、阻抗/增益/相位计、矢量网络分析仪正在取代单功能的专用相位计。它们既可以测量相位特性 $\phi(\omega)$，又可以测量幅度特性 $A(\omega)$。使用十分方便。

5. 相位测量技术的水平

在相位测量技术研究方面，美国一直处于领先地位。美国的 NBS、HP 公司、AD-YU 公司和 Dranetz 实验室在相位测量的理论技术研究和产品研制方面作出了贡献。苏联在这方面的研究也有相当高的水平。据资料报道，商品化的通用相位计的先进水平大致为：

(1) 频率范围：最低频率达 μHz 量级，最高频率达 100GHz

(2) 相位分辨力：0.001°

(3) 相位测量范围：多数为 0～360°，－180°＋180°，少数达到 0～720°

(4) 相位准确度：低频：±0.002°

高频：±0.2°

微波：±0.5°

(一些专用的或者特殊用途的相位测试设备的水平这里不予评述。)

6. 国内相位测量技术基本情况

随着电子技术的发展，为了解决各个工程和科研中的精密相位测量问题，本世纪 60 年代末到 70 年代初，我国相位测量技术的研究工作曾经有一个比较短暂的兴旺时期。国家计量科学院、国防科工委第二计量测试研究中心、电子部第十七研究所、第十研究所、第十四研究所、电子部 766 厂、767 厂、935 厂、天津无线电一厂、天津电子仪器厂、南京电讯仪器厂和电力系统等单位进行了工频、超低频、低频、高频和微波相位计和相位计量标准研制工作，取得了一定进展，初步奠定了我国相位测量的基础。研制出了一批通用和专用相位计产品。从 70 年代中期以后的十多年中，由于各方面的原因，我国相位测量技术的发展转入了低潮，研究相位测量的单位和科技人员越来越少。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

目前电子工业系统中生产商品化相位计的工厂仅两三家，而且型号少。总的说来，我国的相位测量技术和先进国家相比尚有较大差距，差距主要表现在以下几个方面：

（1）相位测量仪器的品种较少；

（2）相位测量仪器功能单一；

（3）仪器精度和自动化程度不太高；

（4）相位计量标准不完备。

国内生产相位计的情况大致是：天津市中环电子仪器公司（超低频相位计）、天津市中环科学仪器公司（低频和高频相位计）、哈尔滨前卫无线电厂（低频相位计）。

相位计量机构主要是中国计量科学研究院和国防科工委第二计量测试研究中心。

第 2 节　相位计分类

相位计分类有很多种方法，我们认为按频段划分比较合适。按照频段划分，相位计可以分为四类：

1. 工频相位计

这种相位计工作频率为电网频率，如 50Hz(60Hz)、400Hz，它只适用于电力系统。这类相位计属于点频式相位计。

2. 超低频相位计

这种相位计频率范围的低端达到 1μHz，它的高端频率为 1kHz 或更高。它主要用于自动控制系统和其它慢变化信号的相位测量。

3. 低频相位计

低频相位计的频率范围为 10Hz～1MHz。

4. 射频相位计

1MHz 以上的相位计统称为射频相位计，它的工作频段包括视频、中频、高频和微波频段，其频率范围为 1MHz～40GHz 或更高。

第 3 节　相位计技术指标汇总表

相位计技术指标汇总表

序号	技术指标	工频相位计	超低频相位计	低频相位计	射频相位计
1	频率范围	●	●	●	●
2	相位量程	●	●	●	●
3	电平范围	●	●	●	●
4	相位分辨力	●	●	●	●
5	相位极性	●	●	●	●
6	相位模糊范围	●	●	●	●
7	相位准确度	●	●	●	●

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	技术指标	工频相位计	超低频相位计	低频相位计	射频相位计
8	相位-频率特性		●	●	●
9	幅-相误差		●	●	●
10	谐波抑制	●	●	●	●
11	通道隔离度			●	●
12	相位模拟输出	●	●	●	●
13	相位数字输出	●	●	●	●
14	噪声容限	●	●	●	●

第4节 技术指标及测试方法

1. 频率范围 f

frequency range

指相位计能够保证其相位测量准确度的频率范围。

测试方法：参见相位频率特性测试。

2. 相位量程

phase range

指相位计无模糊测相的最大范围。（术语相位模糊将在后面叙述。）

测试方法：

（1）测试系统方框图，见图 12-13。

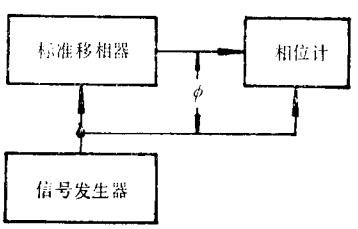


图 12-13

（2）测试说明

图中可变标准移相器的相位值连续可变。变化范围应大于被测相位计的测相范围。标准移相器是有相位刻度并经过标定。

（3）测试步骤

按图 12-13 连接系统。先将移相器置于 30° 左右位置。按相位计的使用说明书要求用相位计测量可变移相器的相移 ϕ。相位计读数应和移相器指示值相符。然后减少相移，使 ϕ 逐渐逼近 0°。当发现相位计的模糊指示灯发亮或者当相位计发生相位量程自动转换时，移相器这时的示值即为相位计能够测量的最小值 ϕ_{min}。然后增加相移 ϕ，使之逐渐逼近 360°（或 ±180°），当相位计又发生模糊指示时，移相器这时的示值为测相范围的最大值 ϕ_{max}。于是，我们可以得到相位计的最大测相范围为（$\phi_{max}-\phi_{min}$）。如果相位计面板上没有“模糊指示灯”。则改用相位计的读数作指示。因为相位计在模糊点会发生错大数或读数严重不稳定。据此也可以确定 ϕ_{max} 和 ϕ_{min}。采用这种方法时应留一定富裕度。

3. 电平范围

level range

指相位计在仪器规定的幅-相误差范围内所允许的最大信号电平变化范围。

测试方法：见后面幅-相误差指标测试方法。

4. 相位分辨力

phase resolution

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

相位分辨力又称为相位灵敏度。分辨力指相位计能够辨别的最小相位增量。对于数字相位计，分辨力等于显示器最低位的 1 个数字所代表的相位值。对于模拟式相位计，它指电表指针变化一小格所代表的相位值。

测试方法：这项指标不需要专门去测量它，只要仪器工作正常，其分辨力自然合格。

5. 相位极性

phase polarty

相位计测量结果的极性是以参考信号的相位作为参考来定义的。例如，+100° 表示测试信号超前参考信号 100°；而 −100° 则表示测试信号滞后参考信号 100°。相位极性的规定是与相位计面板上标明的"信号"、"参考"输入端一致的。相位测量时测试信号和参考信号与相位计的连接必须相符。否则，相位计显示的极性将与实际情况相反。

相位极性无须专门进行测量。

6. 相位模糊范围

phase indistinct range

当被测相位值 ϕ 很小时（例如 $\phi_{min}=\pm0.01°$）或 ϕ 很大时（例如 $\phi_{max}=\pm359.99°$ 或 $\phi_{max}=\pm179.99°$），这时相位计可能出现工作不正常，相位计的测量结果会出现严重不稳定或错大数。在相位测量技术中将（$0\sim\phi_{min}$）和（$360\sim\phi_{max}$）或（$180°\sim\phi_{max}$）这个区域称为相位模糊范围或称为相位不连续。

相位不连续是由于相位计中过零检测器输出的方波信号的脉冲沿不具有阶跃特性和脉冲鉴相器转换速度有限所致。

用相角表示的相位模糊范围与被测信号的频率成正比，信号频率越高，模糊范围越大。

测试方法：

（1）测试系统（见图 12-13）。

（2）测试步骤

测试方法和步骤基本上与"相位量程"的测试步骤相同。但是，测量相位模糊范围时不能够以相位计面板上的"模糊指示灯"为准，因为"模糊指示灯"可能不准确。由于相位计工作在模糊点附近时其测相准确度和稳定性已经下降，相位计一般不允许工作在模糊点附近，所以相位计的"模糊指示灯"发亮点通常要离开相位模糊点一定的距离。本项指标测试不是测量指示灯亮时的相位，而是实际发生相位模糊的相位。测试时，须细心调节移相器并不断观察相位计的读数是否错大数或者是否超过仪器规定的误差范围，或者示值是否出现严重不稳定，只要出现其中一种现象，我们就可以确定实际的相位模糊范围。本项测量需要在相位计的频率范围内（高、中、低）至少测试三点。在各频率上的测试结果 ϕ_{min}、ϕ_{max} 要分别小于和大于相位计面板上"模糊指示灯"发亮时的相位值。否则被认为该指标不合格。

对于有相位量程自动转换开关的相位计，此项指标可不测量。

7. 相位准确度

accuracy

相位计测量结果对被测相位的实际值（或真值）的偏离程度称为相位计的准确度。

测试方法：

测试系统，见图 12-14、图 12-15。

I. 低频、超低频、工频相位计准确度的测试

（1）测试说明

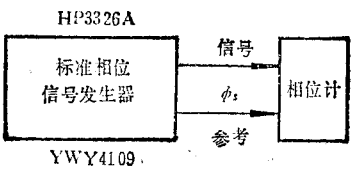


图　12-14

图 12-14 是适用于低频、超低频和工频相位计准确度指标测试的系统，其中标准相位信号发生器作为相位标准源使用，它能提供已知

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

其相位关系的"参考信号"和"测试信号"。相位标准的准确度应比被测相位计高 3～10 倍。相位标准的两路输出信号之间相位差可以自动或手动调节。

(2) 测试步骤

按照相位计的使用说明书要求，用被测相位计测量标准相位信号发生器输出的两路信号之间的相位差，从小到大地改变标准相位信号发生器的相位值 ϕ_s，用相位计逐点读出相应的测量结果 ϕ，根据 ϕ_s 和 ϕ 来计算相位计的误差 δ_ϕ

$$\delta_\phi = \phi - \phi_s$$

II. 射频相位计准确度测试

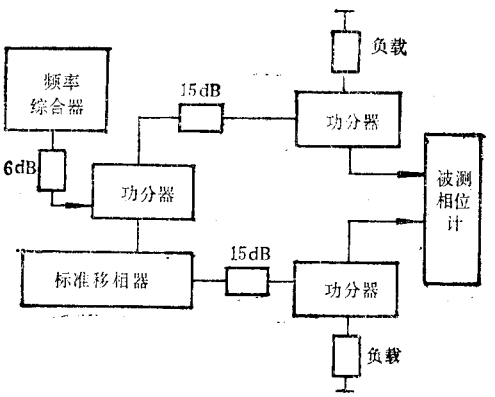


图 12-15

(1) 测试说明

图 12-15 是射频相位计准确度测试框图(以 HP8508A 或 ZPV 矢量电压表为例)。

频率综合器提供稳定准确和电平足够高的输出信号。图 12-15 中的衰减器、功分器、匹配负载用来保证测试系统处于良好匹配状态和通道之间应有的隔离度，并抑制相位计取样头泄漏的残余取样脉冲，使残余的取样脉冲不致于影响信号源的正常工作。

图中标准移相器必须采用频带宽、时延色散小、回差小、分辨力高的同轴可变移相器，如美国 AD-YU 公司生产的 20 B_1 延迟线等。

(2) 测试步骤

按图 12-15 连接系统。用相位计测量移相器的插入相移 ϕ

$$\phi = \omega\tau_P \text{ (弧度)或 } \phi = \frac{\tau_P}{T} \times 360^\circ \text{(度)}$$

式中 τ_P 是移相器的标称相时延值，ω 为信号角频率，T 为信号周期

$$T = \frac{1}{f}, \quad f = \frac{\omega}{2\pi}$$

式中 f 为信号重复频率。

先将移相器置于起始值 τ_{P0}，信号频率为 f，计算出移相器的起始相移 ϕ_0。设相位计这时的读数为 ϕ'_0。然后增加时延到 τ_{P1}，f 保持不变。按公式计算出 ϕ_1(ϕ_1 在第一象限内)，并测量出 ϕ'_1。根据测量结果和计算结果求出相位计的误差 $\delta_{\phi 1}$

$$\delta_{\phi 1} = (\phi'_1 - \phi'_0) - (\phi_1 - \phi_0) \quad \text{(一象限)}$$

继续增加 τ_P 值，分别在二、三、四象限内的某个相位上重复上述测量。得到

$$\delta_{\phi 2} = (\phi'_2 - \phi'_0) - (\phi_2 - \phi_0) \quad \text{(二象限)}$$

$$\delta_{\phi 3} = (\phi'_3 - \phi'_0) - (\phi_3 - \phi_0) \quad \text{(三象限)}$$

$$\delta_{\phi 4} = (\phi'_4 - \phi'_0) - (\phi_4 - \phi_0) \quad \text{(四象限)}$$

对于采用正弦型鉴相器的某些高频相位计其相位准确度与被测相位值大小有关，即鉴相器具有非线性。这时的相位准确度测试应尽量多测一些点，使测量结果能反映相位计的最大误差。

8. 相位-频率特性

phase-frequency characteristic

这里所说的相位-频率特性是指相位计的准确度或误差随信号频率变化的特性 $\delta_\phi(\omega)$，它是与前面述及的线性网络的相位频率特性 $\phi(\omega)$不同的量。

测试方法：

测试方法和步骤基本上同"相位准确度"测试方法。在相位计的整个频率范围内进行相位准确度测试，并将相位误差 δ_ϕ 与频率 f 的关系列表或绘成 $\delta_\phi(f)$ 曲线以便用来评价相位计

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的频率附加误差大小。

9. 幅-相误差

amplitude-phase error

由于相位计输入信号幅度发生变化或者由于两路输入信号之间的电平不相等所引起的测相误差称为相位计的幅-相误差。幅-相误差可以用符号 $\delta_\phi(A)$ 来表示。

幅-相误差包括两类：

(1) 两路信号电平作同方向等量变化时，相位计两通道之间的插入相移变化不相等引入的测相误差称为第一类幅-相误差，用 $\delta_{\phi1}(A)$ 表示；

(2) 两路信号幅度不相等，一路为大信号，另一路为小信号，信号电平差造成相位计信道的传播时延不相等(因为电路有存储效应)引起的测相误差称为第二类幅-相误差 $\delta_{\phi2}(A)$。后面将会说明，$\delta_{\phi2}(A)$ 中还包含有相位计通道间的交叉耦合(隔离度)引入的相位误差。

在相位计中一般都满足 $\delta_{\phi2}(A) > \delta_{\phi1}(A)$。

测试方法：

大家知道，幅-相误差不仅是相位计设计中的一个技术难题，而且这项指标的测试也很困难。尤其是高频相位计中的第二类幅-相误差。

I. 第一类幅-相误差测试

图 12-16 是第一类幅-相误差的测试系统。

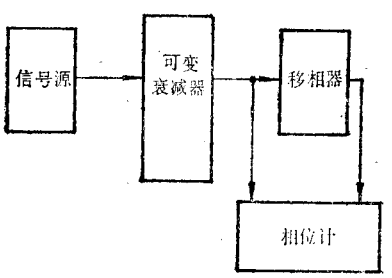


图　12-16

测试步骤：

按图 12-16 连接系统。移相器必须用无源移相器，移相器的相移值 ϕ 固定不变，可变衰减器用来同时改变相位计的两路输入信号幅度，在相位计规定的幅度范围内改变信号电平，从相位计上读取相应的相位测量结果。根据读数的最大值 ϕ_{max} 和最小值 ϕ_{min} 之差来确定相位计的第一类幅-相误差 $\delta_{\phi1}(A)$

$$\delta_{\phi1}(A) = \phi_{max} - \phi_{min}$$

在这种测量方法中，可以不对可变衰减器的幅-相特性作任何要求。因为在改变衰减量时它自身的幅相误差所引起的相位变化将等量地反映到“参考信号”和“测试信号”中，对相位计的读数不会产生影响。

图 12-16 所示的测试系统无论在低频或高频都是适用的。只是在高频时应特别注意系统调配，使反射系数很小。

II. 第二类幅-相误差(低频)测试

图 12-17 是用来测量第二类幅-相误差(低频)的测试系统。

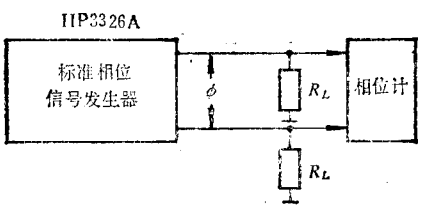


图　12-17

测试步骤：

因为相位计的幅相误差和信号幅度差具有近似于线性关系，幅相误差测量可以在动态范围内的高、中、低电平上测三点即可。必要时可以适当增加测试点。在测试中 ϕ 必应保持不变。

将 HP3326A 双通道频率综合器两路输出信号之间的相位差置于相位量程内某一值 ϕ，按以下步骤用低频相位计测量相位 ϕ。

(1) 在相位计动态范围的中间电平上（通过调节 HP3326A 的输出衰减器实现）测量出 ϕ 值；

(2) 将 A 路输出电平调至相位计的最大电

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

平。B路调至相位计的最小电平。读取相位计读数 ϕ_1；

（3）A路调至最小电平。B路调至最大电平。读取测相结果 ϕ_2，根据 ϕ、ϕ_1、ϕ_2 计算第二类幅-相误差最大值 $\delta_{\phi 2}(A)$

$$\delta_{\phi 2}(A)=\phi_2-\phi$$

或者

$$\delta_{\phi 2}(A)=\phi_1-\phi$$

图 12-18 为测量低频相位计第二类幅-相误差的另一种方法。

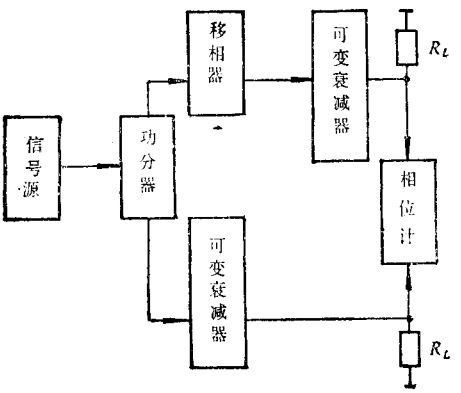


图 12-18

测试步骤：

如果没有 HP3226A，对于低频相位计的指标测试也可以采用图 12-18 所示的系统进行 $\delta_{\phi 2}(A)$ 测试。测试步骤同上（略）。

图 12-18 所示的系统对于高频和微波相位计的幅相误差测试显然不适用。因为在高频段，各种高频效应使绝大多数可变衰减器在它的衰减量变化的同时其插入相移也要伴随发生变化，有时这种相位变化达几十度。相位计的相位读数变化中有一部分是由相位计的幅相误差引起的，另一部分则是衰减器的幅相误差造成的。我们不能很好分离这两种幅相误差，有时后一种误差占有明显优势。为了在射频段应用图 12-18 方法，必须选用插入相移基本上不随衰减变化的特殊的可变衰减器，如极化式微波可变衰减器等，或者使用已知其幅相误差的可变衰减器。高频应用时，系统的调配应使 $SWR \leqslant 1.1$ 或更小。

10. 谐波抑制

harmonic rejection

按照相位差的定义，相位测量应该是指两个正弦基波信号之间的相位差测量。过零检测型相位计中的信号过零点也是对基波而言的。在实际中的测相信号并非是理想的正弦波，而是由基波分量 ω 和各次谐波分量 $n\omega$ 组成的合成信号。谐波分量的存在（即使只有 0.1% 的谐波）将导致基波过零点与合成信号的过零点不重合，引起额外的测相误差。谐波抑制好的相位计对被测信号波形的谐波失真可以放宽要求。

谐波抑制指标分为奇次谐波抑制与偶次谐波抑制两项。相位计抑制奇偶性谐波的能力是不同的，采用双向过零检测技术的相位计对偶次谐波几乎完全能抑制，而奇次谐波抑制较小。

谐波分量影响基波过零点的程度不仅与谐波大小有关，而且还与基波、谐波之间的相对相位关系（在基波过零点附近）有关。它们同相时，谐波不引入误差；彼此差 90° 时（谐波的峰值点对应于基波零点）引入误差最大。在进行“谐波抑制”指标测试时必须考虑这种因素，否则将会给出不真实的测量结果。

谐波抑制指标在低频相位计中是重要的，

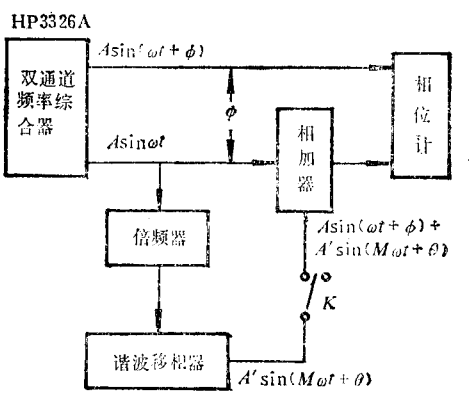


图 12-19

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

对于高频相位计和一些窄带或点频相位计可以不考虑这项指标。

测试方法：

(1) 测试系统如图12-19。

(2) 测试说明

图中倍频器将被测信号倍频M次(M为正整数)获得谐波信号，该谐波信号经过谐波移相器移相θ之后通过开关K送入相加器，相加器将基波和谐波合成后馈入相位计的"信号"输入端。(相加器的输入端相互隔离和输入输出隔离度应满足一定要求。)相位计的"参考"信号仍为比较理想的基波。

(3) 测试步骤

将图中开关K断开，使相位计的两个输入信号均为基波，测量出被测信号的相位ϕ_1；

将倍频器输出信号调整到需要的某次谐波上(如$M=2,3,4,5$)，闭合开关K，移相器相移θ置于90°，谐波幅度按要求调整到适当值，记下相位计在有谐波时的相位读数ϕ_2，谐波引起最大误差为$\delta_{\phi H\max}=\phi_2-\phi_1$。当$M$取不同值时分别测出相应的$\phi_2(M)$值；谐波幅度$A'$取不同值时分别测出对应的$\phi_2(A')$。

改变相移θ值，重复上述测量，可以获得谐波引入的测相误差与谐波相位之间的关系曲线$\delta_{\phi H}(\theta)$。

11. 通道隔离度

insolate of channels

理想相位计的两个通道之间应该是完全隔离的，使参考信号不能串入到测试通道，测试信号也不能串到参考通道去。实际的相位计(低频和高频相位计)其通道之间的隔离是有限的。一般来说工作频率越高，隔离度越差。

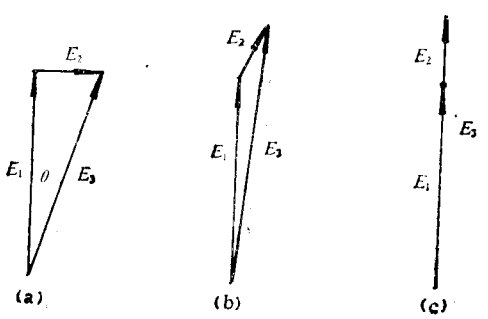


图 12-20

图12-20是表示交叉耦合引起测相误差的矢量分析图。其中E_1为输入本通道的信号(主信号)，E_2为从另一通道串入的信号(干扰信号)，E_3是主信号和干扰信号的合成信号。从图12-20(a)、(b)、(c)可知，θ不仅与交叉耦合分量E_2的大小有关，而且还与E_2、E_1间的相对相位关系有关。

当$E_2 \ll E_1$时，E_2引入的测相误差δ_ϕ为：

$$\delta_\phi=\theta\approx \mathrm{tg}^{-1}\frac{E_2}{E_1}$$

从上式可以看出相位计工作在两路信号电平相差很大时其交叉耦合产生的测相误差最大，等电平时误差较小。相位计的交叉耦合一般是双向的。在有双向交叉耦合时主要考虑大信号对小信号支路的影响。

测试方法：

交叉耦合测试是在一路为大信号另一路为小信号的情况下进行的。这与第二类幅-相误差的测试条件一样。因此在第二类幅-相误差的测试结果中已经包括交叉耦合误差在内。所以，在相位计指标测试中交叉耦合误差是和第二类幅-相误差一起进行综合测量的，一般情况下无须分离它们。当仪器设计者在仪器生产调试中需要分离这两种误差时，可以在相位计的通道中测量出相应的E_1、E_2并按公式计算出交叉耦合误差θ之后，便可分离上述两种误差。

12. 相位模拟输出

phase simulate out

相位计的测相结果是直接用仪器面板上的电表指示或者用数字来显示的。该相位值有时还用模拟电压形式从相位计的后面板上输出。模拟电压值与相位度数成正比。定标因子一般为$A=10\mathrm{mV}/$度。模拟电压输出用于外部记

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

录器(如X-Y记录仪)记录曲线,也可用于CRT(或示波器)的相-频特性曲线显示或者用于相位自动控制系统的相位控制信号。

测试方法:

(1) 测试系统

图12-21是低频相位计模拟输出电压测试系统图。

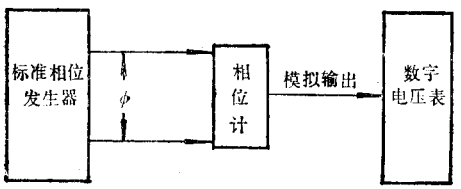


图 12-21

(2) 测试步骤

被测相位计的响应时间置于相应位置,测量HP3326A输出的两路信号之间的相位ϕ,相位计的读数应与被测值ϕ相符。从数字电压表上读取相位模拟输出的直流电压值V(mV)。根据V值和定标因子A(如$A=10$mV/度)计算出电压V所表征的相位值ϕ'

$$\phi'=\frac{V(\mathrm{mV})}{A(\mathrm{mV}/度)}(度)$$

相位模拟输出误差δ_ϕ为;

$$\delta_\phi=\phi'-\phi$$

改变ϕ值,重复上述测量。在相位计量程内测试若干点,求出$\delta_{\phi max}$值作为模拟输出最大误差。

高频相位计的模拟输出测试参照图12-21。但测相系统应按图12-15连接。

13. 相位数字输出

digit out

数字式相位计除有相位模拟输出外,多数都有数字输出功能和数字输出接口。数字输出信号一般为BCD码,供外部数字打印机记录相位测量结果或提供其它数字系统。

测试方法:

这项指标测试比较容易。可以用示波器观测相位计的相位数字输出BCD码波形,示波器置于DC输入方式,示波器的幅度旋钮置于"标准"位置。从示波器上读取脉码的高低电平检查是否合格。在测相位时,起动外部数字打印机,比较相位计的读数和打印的数字。据此,可以判定相位计的数字输出功能是否正常(测试系统从略)。

14. 噪声容限

noise tolerance

指相位计输入信号中有噪声时引入的测相误差。例如一路输入信号是比较理想的正弦波。另一路输入信号为同频率正弦波上附加有噪声。如SNR(信噪比)为30dB。设噪声引起相位计的附加误差为1°,我们就说相位计在该条件下的噪声容限为1°。噪声引入的测相误差与SNR有关。SNR越大,噪声误差越小。同样的SNR,对于采用不同方案的相位计其噪声容限也不同。因为噪声是一种随机变量,对于采用均值法测相方案的相位计通过多周期测相平滑了噪声的影响,其噪声容限指标好;对于采用单周期测相的瞬时法相位计对噪声的影响很敏感,误差大。

测试方法:

(1) 测试系统

图12-22是测试系统的原理框图。

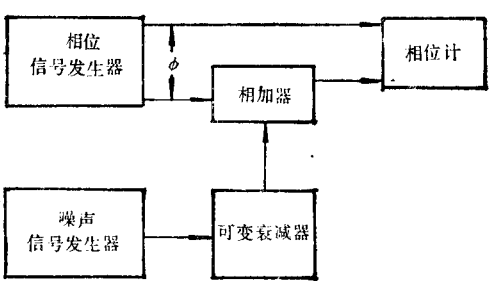


图 12-22

相位信号发生器输出信号是低噪声信号。噪声发生器用来产生需要的噪声(根据信号所

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

处的频段选择适当的噪声源)。噪声电平用可变衰减器来调节以便获得适当的 SNR。

(2) 测试步骤

按图 12-22 连接系统。先使相加器的噪声输入端的噪声电平为零,记下相位计读数 ϕ。然后,增加噪声电平达到规定的 SNR,记下有噪声时的相位计读数 ϕ' 噪声引入的相位误差为 $\delta_{\phi N}$

$$\delta_{\phi N} = \phi' - \phi$$

改变 SNR,重复上述测量。

*　*　*

本章测试方法中所用测试仪器见下表。

*　*　*

主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
超低频相位标准	YWY4109	
低频相位标准	311/312	
高频相位标准	20B1	
双通道频率综合器	HP3326A	
频率综合器	MG525C、HP8672A 等	
噪声信号发生器	HP346 等	
数字电压表	HP3478A	
同轴衰减器	HP8492A	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第5节 相位量值传递表

射频与微波相移检定系统框图

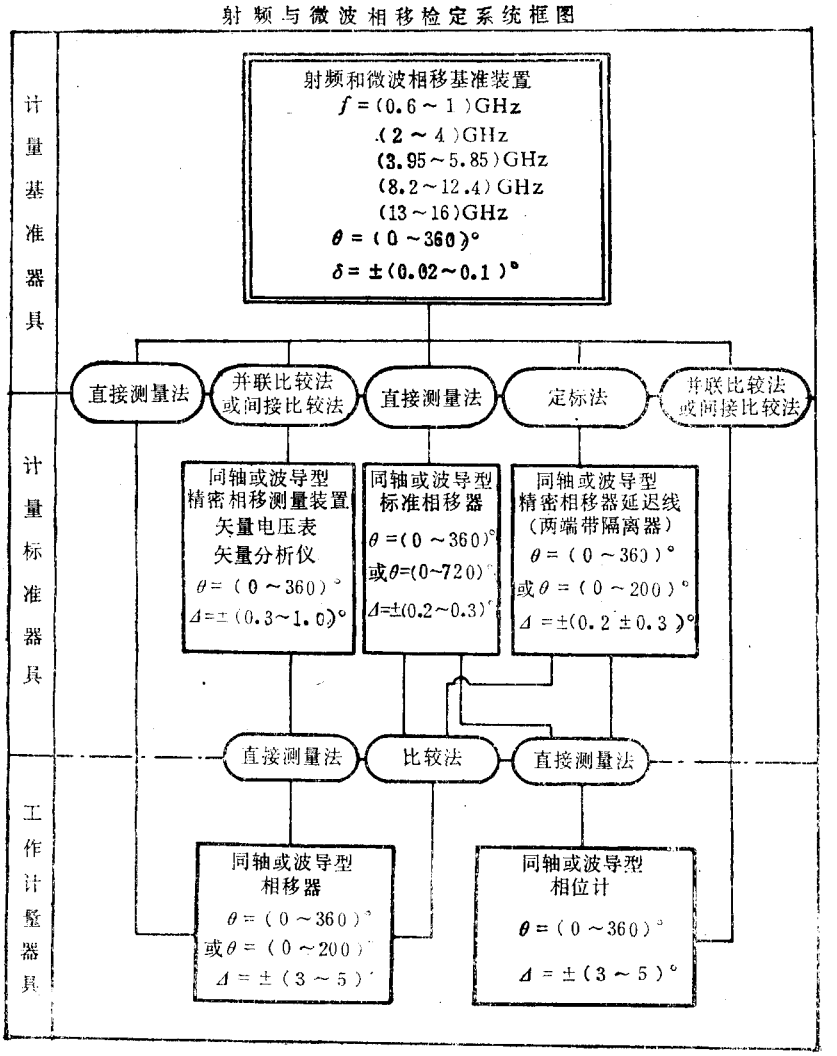


图 12-23

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第13章　元件参数测量仪

第1节　综　　述

电子元件是电子产品的基础，它对电子装备和系统的水平、质量和可靠性起着决定性的作用。因此，元件参数的测量至关重要。元件参数测量仪器(以下简称"元测仪器")是指用电子学的方法测量电子元件参数的仪器，它是最基本、最广泛使用的电子测量仪器之一，属通用测量仪器。本章主要叙述集中参数元件的测量仪器，其它如开关、接插件、继电器等元件的测量仪器本章不作介绍。集中参数元件的基本形式是电容器、电感器和电阻器，在高频情况下，它们实际上均是电容、电感、电阻各种阻抗量的组合，只是其中某个参量起主要作用而已。

由于不同类型元测仪器的工作原理、测量对象、测量方法、测量准确度等等均有不同，对被测参量各有侧重。在某些情况下，为了适应元测仪器给值的方便或考虑到元件参数在实际应用中的合理性，参量的表示形式可能是串联型也可能是并联型。此外，为了提高测量准确度，不同指标或不同原理的元测仪器，在测试端除采用两端测量外，还有诸如三端、四端、四端对及五端测量等不同类型的测量方法。

早期的元测仪器，大部份是模拟式仪器，在测量原理上大多采用电桥法和谐振法。有悠久历史的电桥法具有较高的准确度，已经派生出多种变型，但电桥法对于快速测量、自动测量有很大的局限性，手动电桥平衡调节繁杂，测量时间长。谐振法常被用于较高频率下，测量方法虽简单，但不易满足高准确度的要求，且测试频率不固定，测量方法不规范，测量速度也很难提高。这些都不能适应现代电子技术发展的需要。

70年代以来，随着电子技术特别是微电子技术的发展和元件参数测量的实际需要，元测仪器也在不断地更新换代。纵观近二十年来元测仪器的发展过程，就测量原理而言，是从传统的电桥法和谐振法向伏安法或矢量电流-电压法及反射系数法发展。就仪器的应用技术和水平而言，是从低技术向高技术发展。矢量电流-电压法也是最经典的方法，它直接来源于阻抗的定义：若已知流经被测阻抗的矢量电流以及被测阻抗的端电压，求得比率，便能得到精确的被测阻抗或导纳复量。显然，要实现这种方法，复数除法是必不可少的。为此，仪器必须具有记忆存储能力，这用以往的硬件电路来实现相当困难。综合了微波网络分析法和矢量电流-电压法优点的反射系数法是80年代初出现的一种新型测量方法，通过把测试信号加到连接于测试终端的被测件上，检测出被测件上的反射行波与入射行波的矢量电压比率，得到反射系数，利用反射系数和被测阻抗之间的确定关系，即能换算出被测件的各个阻抗参量。微处理器的发展及其在电子测量仪器中的应用，使得上述方法得以实现，从而为元测仪器的新发展提供了广阔的天地。勿庸置疑，以实现宽量程、宽频带、多功能、多参数、高准确度、高速度、自校准、自诊断等为特征的仪器的智能化，已成为元测仪器发展的大趋势。

元测仪器发展的历史，可以追溯到上一个世纪。1843年，惠斯顿（C. Wheatstone）利用桥式电路，实现了电阻的直流比较(测量)，人们称其为惠斯顿电桥。本世纪60年代以前，能测电阻、电容和电感的四臂电桥，感应耦合比例臂电桥等各类电桥得到了飞速的发展。随着电子管技术向晶体管技术的过渡，60年代中期已研制出晶体管化的全自动元测仪器，例如美国GR公司的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

GR 1680 自动电容电桥。到 70 年代初，就出现了基本上采用集成电路的全自动阻抗电桥，如美国 HP 公司的 HP 4261A、HP 4262A、HP 4271B，测试频率已达 1MHz，基本准确度达 0.2%。到 70 年代中期，由于大规模集成电路技术的发展，出现了内藏微处理器的智能化电桥。1972 年，美国 Boonton Electronics 公司率先推出了内含微处理器的 76A 型电容电桥。从 70 年代末至今，智能化电桥又不断得到发展，达到了一个新的高度。

美国 HP 公司是目前世界上主要的元测仪器制造商，近二十年来，在元测仪器的研制、开发、生产中，独领风骚，处于世界领先地位。它先后推出了一系列元测仪器，主要品种就有 20 多个型号。如HP 4278 A 电容测量仪，采用 LCD 大屏幕显示，可容纳 40 × 16 个字符，能显示所设定的测试状态、测量数据、提供仪器的操作指示和误差信息等，有多种显示页面可供选择，操作由软键(Softkey) 控制，且随菜单的变换软键功能也相应改变，已把微计算机与仪器溶于一体，测量时间最快为 6.5ms，基本准确度可达 0.05%。又如 HP 4191A 型高频阻抗分析仪是一种基于反射系数法原理设计的仪器，工作频段宽达 1MHz～1GHz，可测量 14 种参量。美国的 GR 公司在元测仪器方面也是一个有特色的制造商，该公司创立于 1915 年，是以元测仪器的研制生产起家的，它生产了世界上第一台全自动电容电桥 GR1680。该公司生产的产品准确度高，结构简单，如近年新推出的 GR 1693 数字电桥，主参量基本准确度可达 0.02%。此外，美国的 ESI 公司，早在1953 年就开始研制阻抗测量仪器和元件标准，主要品种有 296V、410、2160 型等。英国 Wayne Kerr 公司，是主要生产元测仪器的公司，近年致力于采用新技术，WK 6425、WK3245 和 WK 7010 等产品在国际市场上有一定的竞争力。

我国在解放以前，元测仪器工业和其它电子测量仪器工业一样，几乎是一片空白。1953 年，原上海新建电仪工业社(上海无线电 21 厂前身)完成了 625 型阻抗电桥的研制工作，成为我国第一台商品万用电桥，从而开创了我国元测仪器发展的历史，后该产品经过几次改进，改型为 WQ5 型万用电桥，1966 年转产到广州电子仪器厂等厂生产，前后共生产二万余台，成为我国早期元测仪器的支柱产品之一。

常州电子仪器厂在 50 年代末开始，致力于元测仪器产品的开发、研制，是国内首家专业生产元测仪器的工厂。第一台国产变压器比例臂电容电桥，第一台国产全自动电容电导电桥，第一台高频介质损耗测量仪均产自该厂。该厂生产的高精密电容测量仪，至今仍是国内主要使用的精密电容计量仪器。

在近四十年的发展过程中，国内元测仪器大体经历了三个阶段，即经典线路与手动测量阶段；数字技术与初步的自动测量阶段；微处理器与智能化阶段。在这个过程中，南通无线电仪器厂、常州电子仪器厂、天津市无线电六厂、天津市第二电子仪器厂、南京长江无线电厂、北京无线电仪器三厂、广州电子仪器厂、泉州电子仪器厂等仪器专业生产厂以及 750 厂，715 厂、718 厂和 797 厂等都做出了自己的贡献。

元测仪器种类繁多，在下面第 2 节中，我们将要把它分成八大类，现就其中的综合参数测量仪，Q 值测量仪和介质材料参数测量仪及电阻测量仪等的发展历史、现状及今后趋势作进一步的叙述。而对电容测量仪、电感测量仪等其余几大类的仪器不再详述。

(一) 综合参数测量仪

这里所说的综合参数测量仪是指多种元件的参数测量仪器，例如能测量 L、C、R 等元件参数

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的仪器。通常，按用途可把元件综合参数测量仪分成两大类，即 LCR 测量仪和阻抗分析仪。前者主要测量电感、电容和电阻；后者除了具有 LCR 测量仪的全部功能外，还可测量被测元件的阻抗和相位。此外，也可按它们的工作原理分成：阻抗、导纳电桥或称电桥法测量仪；阻抗法或矢量电流-电压法测量仪和谐振法测量仪。

1953 年推出的 625 型阻抗电桥就是一台可以测量 L、C、R 的多参数测量仪，它几经改进，于 1963 年定型为 WQ5 型万用电桥，是我国早期手动电桥中影响较大的产品。1965 年，天津推出的 WQJ-1 精密万用电桥，把准确度由初期的 1% 提高到 0.25%。并用机电结合的办法实现了数字显示，是吸收和独创相结合的产品。

1967 年，南通推出的 CD4 型超高频导纳电桥和后期的 CD5 型高频阻抗电桥是高频电桥的早期产品，前者可在 1MHz～100 MHz 范围内测量平衡和不平衡导纳，后者可在 60 kHz～30 MHz 范围内测量不平衡阻抗(或导纳)。

50 年代末、60 年代初，测量技术取得了重大突破、数字技术的出现很快应用于仪器，使得电子测量仪器的性能大大改善。此后，随着集成电路的发展，国外很快出现了以 HP 公司的 HP4261A、HP 4262A、HP 4271B 等为代表的 LCR 自动测量仪，这些仪器的基本工作原理不属于电桥法，而是采用阻抗法或矢量电流-电压法原理构成。这一方法的实质是进行矢量除法运算。实现矢量除法运算，有一个鉴相器相位参考基准的选取问题，即参考电压的选取问题。选取参考电压为固定方向，即在坐标轴选取中，把坐标轴方向选取在分母位置的矢量上，就会使分母矢量只具有实部分量，这就是所谓的固定轴法。它通过对坐标轴方向的“固定”，使矢量运算简化为标量运算，利用双斜积分器硬件电路实现代数除法。这种设计思想在计算机进入电子仪器之前无疑是合理而巧妙的，但是这种方法有它致命的缺点，即同相误差问题。为了确保精确的相位关系，硬件电路要付出相当大的代价，而且也很难圆满解决。上述几种 HP 公司的 LCR 自动测量仪由于采用了固定轴法，因此电路非常复杂。

在国内，1982 年天津推出的 CD23 型 LCR 自动测量仪和 1985 年南通推出的 FJ 2811 LCR 自动测量仪都是采用固定轴法设计的产品。虽然产品的问世使我国元件综合参数测量仪的水平跃上了一个新的台阶。但由于电路复杂，可靠性降低，生产相当困难。

随着大规模集成电路的发展，70 年代以后，微处理器引入电子测量仪器，美国 GR 公司推出了内含微处理器的 GR 1658 型 LCR 数字电桥，名为电桥，其实它采用的是矢量电流-电压法原理。它还采用了所谓自由轴法，选取参考电压为任意方向，坐标轴的取向不再必须与分母矢量的方向相同，而是可以任意旋转，从而消除了固定轴法存在的同相误差，并且使微处理器成为仪器不可分割的有机组成部分。微处理器进入仪器，不是简单地取代传统自动测量仪器的逻辑组件，而是作为仪器的控制和计算中心，有机地参与到测量中去，用软件取代部分硬件，或降低对硬件的要求，这是元测仪器发展的一个重要里程碑。

国内研制内含微处理器的 LCR 自动测器仪始于 80 年代中期。1984 年天津市第二电子仪器厂推出的 ED 2810 LCR 自动测量仪是第一个品种。在此基础上，1986 年该厂又推出了带打印接口的 ED 2814 LCR 自动测量仪，并投入批量生产。南通无线电仪器厂也在 1986 年推出了 FJ 2812 LCR 自动测量仪。

在这一时期，天津市无线电六厂引进英国 Wayne Keer 公司先进的元测仪器生产线，并在消化吸收的基础上迅速实现了国产化，相继推出了 YY2810、YY2811、YY2812、YY2814 等

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

LCR 自动测量仪，其中，有的品种基本误差达到±0.1%，并带有 GP-IB 通用接口，使我国智能化元测仪器达到了一个新的水平。

1986 年，常州电子仪器厂也推出了类似的产品 CY 2693 和 CY 2693A LRC 数字电桥。

1989 年，南通无线电仪器厂推出的 FJ 2816 数字式 LCZ 自动测量仪是国内第一台内含微处理器不仅能测 L、C、R、D、Q，又能测量元件阻抗的仪器，在 100 Hz～20 kHz 范围内有 801 个频率点，基本误差 ±0.1%，特别是能进行高速测量，每秒可达 30 次，这使我国元测仪器向世界先进水平又靠近了一大步。

综合参数测量仪或阻抗测量仪是目前国外发展的重点，水平也最高。和其它门类的元测仪器一样，进入 80 年代末期以来，它的发展具有如下特点：

多功能集于一体，能测试十多个参量；

测试信号频率范围宽；

测量速度快；

大屏幕 LCD 显示，显示信息量大；

测量精度高；

接口功能强，一般都带多种接口选件，便于组成系统；

内含微处理器，功能越来越强，内存容量越来越大；

跟踪新技术、新型器件（如 ASIC 器件）采用迅速，更新快。

例如，美国 HP 公司 1989 年推出的 HP 4284A 精密 LCR 测量仪是一台具有当代国际水平的典型阻抗测量仪，可测 $L,C,R,D,Q,|Z|,|Y|,\theta$ 等 12 个参量，在 20Hz～1MHz 范围内测试频率多达 8610 个点，可进行高速测量，测量时间 30ms，采用大屏幕点阵式 LCD 显示，不仅能显示测量结果，还能显示所设定的测试条件，提供仪器操作指示和误差信息，内存容量大，软件丰富，配以软键（Softkey）操作，灵活多样。

国内元测仪器生产厂，也正在跟踪国外新技术，研制开发这类产品。

（二）Q 值测量仪器（Q 表）和介质材料参数测量仪

Q 表是实验室和生产线上应用最广泛的元测仪，它可以实现元器件实际使用频率下的测量，特别适合高 Q 值阻抗元件的测量，当非谐振式的元测仪在高阻抗及低阻抗的测量中丧失准确度和分辨率时，Q 表则进入了准确度最高的范围。它可用来测量电感器的 Q 值、电感量和分布电容，电容器的电容量、分布电感和损耗因数，电阻器的电阻值及其分布参量，介质材料的损耗角正切值和介电常数，以及进行如谐振回路、传输线及各种二端网络阻抗参量的测量。因此，作为一类不可替代的元测仪器，Q 表始终占有较大的市场。

Q 表普遍采用串联谐振原理，以谐振电压与基准电压之比值刻度 Q 值。当被测件以串联或并联方式接入 Q 表测试回路后，通过回路谐振前后电容量的变化求得被测件的电抗成分，通过谐振电压幅度的变化确定被测件的有功成分。

Q 表经历半个世纪的发展。40 年代，美国 Booton Electronics 公司推出了世界上第一台 Q 表（107 型）。50 年代前的 Q 表实际上是信号源、测试电容器、谐振电压表的简单组合。苏联 KB-1 型高频 Q 表是第一代 Q 表的代表。随着 Q 值测试理论研究的深入，50 年代出现了以英国马可尼公司 TF 1245 型宽带 Q 表为代表的 Q 表。70 年代，开始出现衰减式数字 Q 表，西德 R/S 公司的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

RDM型，就是其中的一种。在此期间，美国HP公司采用谐振法原理的 HP 4342A 高频Q表是最有代表性的先进产品，该仪器频率范围 22kHz～70MHz，测试信号频率稳定度高，且采用了自动电平控制电路，提高了幅度稳定性。测试回路残量大大压缩，整个回路具有极高的固有 Q 值，提高了 Q 值的测量准确度，是迄今为止性能指标仍较为优越的典型Q表。HP 公司目前仍保留着这个产品。

最近十多年，世界各大电子仪器公司均未见新型Q表的报导，只有日本目黑电子公司相继推出了 MQ-171 型超高频Q表、MQ-1601 型高频Q表，这两种Q表主要技术特性与 HP 4342A 接近，但均用六位或五位数字频率计取代传统的频率度盘，从而形成了新型Q表的又一显著特征。

随着国外高频自动阻抗测量仪的出现，由于测量多个参量与测量单一参量相比成本无明显差异，因此，全自动的由微处理器控制的Q表目前只有个别产品。

50年代，国内开始仿制国外Q表。南京是我国Q表制造工业的发源地，南京无线电厂仿制苏联 KB-1 型生产了 Q-1 型和 QBG-1 型Q表。天津无线电厂推出了 QBC-1 型超高频Q表。60年代中期，南京又推出了我国第一代具有优质测试回路的 QBG-1A 型Q表，并先后向各地扩点生产。与此同时，上海仿日本 QM-102B 生产的 QBG-3 型高频Q表尽管残量大，不符合测量原理，但因价廉、结构简单也为国内大量仿制生产。

1978年，南京长江无线电厂在大批量生产 QBG-1A 型的基础上，吸取国外先进技术，研制成功具有优质测试回路和信号源自动电平控制功能的改进型 QBG-1B 型高频Q表，取代 QBG-1A，投入大批量生产。其后，国内竞相仿制国外Q表，先后有仿 TF1245 的 CQ8、CQ9、LJ2861，仿 HP4342A 的 CQ70、FJ2851、AS2851、CJ2850、CJ2851 等一批产品问世，但均未形成较大批量。到80年代末期，国内共有Q表制造工厂8家，生产11个型号，年平均产量约400台。

黑龙江电子技术研究所80年代初研制的 HL2801 型数字式自动Q表是采用 Z-80 微处理器自动控制测量过程、基于衰减法原理的特殊Q表，它可以直接测量元件有效阻抗参数和分布阻抗参数，在我国首次在Q表领域实现了全数字化测量并能自动修正机内残量。

基于谐振法原理，以测量高 Q 元件的高频有效参数为目的高 Q 测量装置是传统的Q表的又一新发展。其典型产品如美国 Boonton 公司的 34A 型谐振同轴线，它与射频信号发生器、毫伏表构成测量系统，目前国内还未见同类产品。1978年，中国计量科学研究院与南京长江无线电厂合作研制成功的 HQM-1 型高 Q 元件测量装置(电容器损耗因数标准定标装置)，指标先进，现已装备国家及部级七个计量单位。

与Q表原理相同但用途专一的高频介质损耗测量仪也得到同步的发展。它以测量介质材料的介电常数和损耗角正切值为主要目的，通过专用测量夹具将被测试样引入测试回路，根据插入和取出介质试样时回路总电容替代和总电导的变化，确定被测材料或元件的介质特性。

谐振式高频介质损耗测量仪的出现可以追溯到本世纪30年代。1963年，哈森-瓦特（Hartshorn-Word）设计了专用的介质试样测试架，并推导了全部测量公式，使哈森-瓦特法成为沿用至今的经典方法。50年代末，英国马可尼公司推出的 TF704B、TF704C 型介质损耗测量仪是此类商品仪器的范例。

正因为高频介质损耗测量仪与Q表的原理相同，50年代以后，此类仪器几乎不再发展，高质量的Q表与专门设计的介质损耗测试架的组合成为测量介质材料特性的主要方式。例如，英国 TF1245 型Q表带有配同轴微调电容器的介质测试架，50MHz 时可测量 1×10^{-4} 损耗角正切值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在国内，自 1965 年常州电子仪器厂仿 TF704B 研制成功 CJ-2 型高频介质损耗测量仪后，再无新的商品仪器出现。南京长江无线电厂则自 1986 年起，专门研制了固体、液体介质测量夹具以配合各型Q表进行介质材料特性的测量。

在我国现行的高频介质材料复电容率量值检定系统中，为高频介质损耗测量仪及与Q表配套的介质测量夹具提供的工作标准是 JZP-1 型高频标准介质样品。它是由中国计量科学研究院 1984 年研制成功的，由石英玻璃、微晶玻璃、玻璃、氧化铝陶瓷四片标准样品和聚乙烯、聚苯乙烯二片参考样片组成。

国外最新发展的介质材料测试仪器完全摆脱了谐振法原理。据报导，1990 年美国 HP 公司推出的 HP85070A "无损伤测量介电材料探测器"在测量液体、半固体或固体介电材料时，无需特殊夹具，仅将探头插入样品或接触样品表面即可测出结果，所需测量时间比传统测量技术大为节省。该型成套探测器由探头和软件组成，可与网络分析仪和计算机一起组成测试系统，用以测量材料在射频和微波情况下复介电常数和损耗因数，频率上限可达 20GHz，其配有的与 PC 机兼容的软件可运行于 Microsoft Window，另一选用件可使 HP BASIC 软件在 HP 9000/300 工作站上运行，但国内尚未见发展同类产品的报导。

(三)电阻测量仪

各类电阻测量仪是元测仪器中出现较早的门类，例如，惠斯顿电桥就是最早的电阻测量仪器。初期的电阻测量仪大部分采用电子管；产品主要是高阻表和分选仪。

我国早期生产的高阻表，只能测到 $10^{11}\Omega$，以后逐步发展，到 60 年代末，已提高到 $10^{17}\Omega$。如南通电子仪器厂生产的 RCJ-3 应用广泛，可测到 $10^{15}\Omega$。

美国 ESI 公司生产的电阻测量仪在国际上具有代表性。它的 1700 系列数字欧姆表，量程覆盖为 $0.1\mu\Omega\sim20M\Omega$，4 ½数字显示，基本误差为 0.02%。242D 型精密电阻测量装置，量程为 $20\mu\Omega\sim120\ M\Omega$，手动平衡，误差为 10×10^{-6}，具有很高的水平。

1970 年，天津市无线电一厂推出了 CR1A 型数字式欧姆表，它采用逻辑电路和干簧继电器达到了测量过程的自动平衡和自动显示，标志了电阻测量在我国进入了数字技术和初步的自动测量阶段。此后，各种数字高阻表和数字欧姆表、数字低阻表和数字微欧表纷纷推向市场。典型产品有：天津市无线电六厂的 YY2511 直流低阻表，量程为 $10\mu\Omega\sim199.99\Omega$，4 ½ 数字显示，误差为 ±0.25%，技术指标和 YY2511 类似并带分选功能的 YY2512；天津市第二电子仪器厂的 ED2510 开关接触电阻测量仪采用数字显示，量程为 $0.1\sim200m\Omega$，配以相应夹具，适合开关接触电阻的测量；北京无线电仪器三厂的 HZ2522 数字灵敏欧姆表，3 ½ 数字显示，量程为 $0.1\mu\Omega\sim2k\Omega$，误差为 ±0.5%。

70 年代中期以后，国外出现了带微处理器的 LCR 自动测量仪，电阻测量已融于其中。受其影响，国内电阻自动测量仪器的研制开发转向提高质量，提高性价比，提高测量速度，向低电阻和高电阻两极发展，面向被测对象的专用方向发展。

美国 HP 公司在 1990 年的样本上，保留了两种电阻表，一种是 HP 4328A 毫欧表，另一种是 HP 4329A 高阻表，都是表头显示。前者测量范围为 $0.01\sim100\Omega$，误差为满刻度的 ±2%，适合于开关、继电器、插头座等的接触电阻的测量；后者的量程为 $500k\Omega\sim2\times10^{16}\Omega$，测试电压为 10～1000V，误差为满刻度的 ±5%，这代表了国外模拟式电阻测量仪当前的较高水平。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

为了使读者对近年来发展十分迅速的元件参数测量仪器有一个比较全面的了解，现将国内外产品主要性能对比列于表 13-1。

表 13-1　国内、外产品主要性能指标对比表

1.LCR 测量仪

指　　标	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
测试信号频率	20Hz～1MHz 共 8610 个点	12Hz～100kHz 大于 500 个点
测量时间	6.5ms	35 ms
测量误差	±0.02%	±0.05%
测量参量	$\|Z\|,\|Y\|,\theta,R,X,G,B,L,C,Q,D,ESR$	$L,C,D,Q,G,ESR,\|Z\|-\theta$

2.阻抗分析仪

指　　标	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
测试信号频率	1MHz～1000MHz 点频或扫频	
测试信号电平	−20dBm	
测量参量	$\|Z\|,R,X,\|Y\|,G,B,\Gamma,\theta,L,C,D(1/Q)$	
测量误差	Γ:0.0070 + 0.000005F（测试频率 MHz） 其它参量：<2%	

3.高频阻抗(导纳)电桥

指　　标	国外代表性产品指标		国内代表性产品指标	
	阻抗电桥	导纳电桥	阻抗电桥	导纳电桥
工作频率（MHz）	0.06～30	50～250	0.06～30	50～250
测量范围	$Z = R \pm j\omega L$ $= 0.5 \sim 32\Omega$	$G = 0 \sim 100$ ms $C = \pm(0 \sim 75)$pF	$Z = R + j\omega L$ $= 0.5 \sim 32\Omega$	$G = 0 \sim 100$ms $C = \pm(0 \sim 75)$pF
工作误差	±0.5%	±2%	±1%	±5%

4.电阻参数测量仪

指　　标	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
低阻表测量范围低端	20μΩ	1μΩ
低阻测量误差	10×10^{-6}	±0.2%
低阻分辨力	0.1μΩ	1μΩ
高阻表测量范围高端	$2 \times 10^{16}\Omega$	$10^{17}\Omega$
高阻测量误差	10×10^{-6}	±(5～15)%
高阻分辨力	10mΩ	—

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5.Q表

指　标		国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
工作频率	范围	22kHz～70MHz	22kHz～100MHz
	误差	±1.5%	1×10^{-4}
	显示方式	刻度盘	$5\frac{1}{2}$-数字显示
测试回路主调电容器	范围	25pF～470pF	25pF～470pF
	误差	±1% 或 1pF	±1%±1pF
测试回路微调电容器	范围	−5pF～+5pF	0～10pF
	误差	±0.1pF	±0.2pF
直读Q值测量	范围	5～1000	10～600
	误差	±(7～20)%	±(7～15)%
测试回路总残感		<10nH	<10nH

6.高频介质损耗测试仪

指　标		国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
工作频率	范围	≤15MHz	1kHz～70MHz
相对介电常数 ε_r 测量	范围	1～200	1～10
	误差	±1%(基本误差,1MHz 时)	≤±5%(全波段)
损耗角正切 $tg\delta$ 测量	范围	0.000001～9.99999	$(0.1—1)\times10^{-4}$
	误差	±(5%+0.005),基本误差,1MHz 时	≤±(10%±1×10^{-4}),全波段
连 接 头		四 端 对	两　端

7.电感参数测量仪

指　标	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
电感标称值	1～10mH	1～100mH
电感值固有误差	低频定标 ±0.1%	高频直接定标 ±0.5%

8.磁性参数测量仪

指　标	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
工作频率	1～150kHz	1kHz～1.5MHz
磁化电流指示范围	0～150mA	0.2～100mA
输出电流范围	0～5A	0～5A
输出电流稳定度	1×10^{-4}	1×10^{-4}

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第2节　分　　类

元件参数测量仪由于被测对象品种繁杂，在其发展过程中，形成了各种功能的测量仪器，这给它的正确合理分类造成了一定困难。原则上，一般可按测量原理和方法、测量功能、用途和测量技术等来进行分类。在《电子计量测试应用手册-RLC 元件参数计量测试分册》一书中，元测仪器型谱分为六大类 22 小类，最近一份有关元测仪器门类通用标准的规划草案中，则又把它分成十四大类。这些分类方法，各有优缺点。本章根据元测仪器的特点和发展现状，参考以往的分类方法，以实用为原则，便于本手册为广大读者服务，分成以下八大类：

1. 综合参数测量仪——LCR 测量仪、阻抗分析仪、阻抗电桥、导纳电桥等。

2. 电容器参数测量仪——电容测量仪，电容误差分选仪、电容损耗测量仪、电容电压特性测量仪、电容漏电流测量仪、电容温度系数测量仪、电容阻抗频率特性测量仪、标准电容器等。

3. 电感参数测量仪——电感测量仪、标准电感器等。

4. 电阻、电位器参数测量仪——绝缘电阻测量仪、电阻测量仪、低电阻测量仪、标准电阻器、电阻误差分选仪、电位器动噪声测试仪、电位器综合参数测试仪等。

5. Q 值测量仪——低频Q表、高频Q表，超高频Q表、数字式自动Q表，Q值测量装置、谐振同轴线等。

6. 材料参数测量仪——介质损耗测量仪、磁性参数测量仪、直流磁化电源等。

7. 敏感元件参数测量仪——目前我国已能大批量生产的电子敏感元件主要有热敏电阻、压敏电阻、光敏电阻和湿敏电阻等。由于这些元件的基本参数仍然是电阻值或其伏安特性，所以它们的测试仍然采用通用的电阻测量仪或其它通用仪器，而它们某些专门参数的测试则大都由生产厂根据实际需要自行组建解决，因此，目前还没有元测仪器制造厂生产的商品化的电子敏感元件测量仪。

8. 其它元件特性测量仪——元件线性度测试仪等。

第3节　元件参数测量仪技术指标汇总表

元件参数测量仪技术指标基本上按大类汇总。但各类元测仪器的通用标准绝大部分尚未编制，因此只能根据少量几个通用标准报批稿以及能收集到的产品标准进行汇总，这样可能有所遗漏，名称也可能不完全规范。同时，在各大类之间、在某些门类中，有些相近的技术指标也不好统一，只好分别列出。元件参数测量仪器技术指标汇总表见表 13-2。

电容器参数测量仪大类中，门类较多，因此技术指标项目较分散，对某一门类来说，只有部分技术指标是必须的。

Q值测量仪的测量方式以间接测量为主，因此它的技术指标必须按不同的连接方法(基本测量法、并联替代法、串联替代法)或不同的测量方式(串联测量、并联测量)给出。表 13-2 中第 73 项到第89项是在基本指标基础上以不同的连接方法经过相应残量修正和数据处理间接得到，因此为不测试的指标项。

高频介质损耗测试仪是变化中的门类，根据其现状和发展趋势，列出了共性的基本技术指标。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 13-2 元件参数测量仪技术指标汇总表

序号	技术指标	综合参数测量仪	电容器参数测量仪	电感参数测量仪	电阻电位器参数测量仪	Q值测量仪	材料参数测量仪	敏感元件参数测量仪
1	内部偏置电压	●	●					
2	外加最大偏置电压	●	●					
3	直流偏置电流	●						
4	测试信号频率及误差	●	●	●	●			
5	工作频率范围及误差					●	●	
6	测试信号波形	●	●					
7	测试信号电压	●	●	●	●			
8	测试信号电流	●		●	●			
9	测量时间或测量速率	●	●	●	●			
10	测量范围	●					●	
11	电容测量范围及误差	●	●					
12	电感测量范围及误差	●		●				
13	电阻测量范围及误差	●			●			
14	损耗因数测量范围及误差	●	●					
15	品质因数测量范围及误差	●		●				
16	电导测量范围及误差	●						
17	复阻抗模值测量范围及误差	●						
18	相位角测量范围及误差	●						
19	变动量	●	●					
20	分辨力	●	●	●	●		●	
21	残量	●	●		●			
22	功率消耗	●	●	●	●			
23	GPIB 接口	●	●	●	●			
24	电感值固有误差			●				
25	Q值			●				
26	电感值温度影响误差			●				
27	电感值年不稳定度			●				
28	分布电容			●				
29	电容值固有误差		●					
30	损耗角正切		●					
31	电容值温度影响误差		●					
32	电容值年不稳定度		●					
33	绝缘电阻		●					
34	电容偏差测量范围及误差		●					
35	电容温度系数测量范围及误差		●					
36	电容漏电流测量范围及误差		●					
37	直流极化电压		●					
38	最大充(放)电电流		●		●			
39	充电时间		●		●			
40	电阻偏差测量范围及误差				●			
41	电阻温度系数测量范围及误差				●			
42	测试温度范围及误差		●	●	●			
43	绝缘电阻测量范围及误差				●			
44	总阻(或标称值)测量范围及误差				●			
45	接触电阻变化值范围及误差				●			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续　表

序　号	技　术　指　标	综合参数测量仪	电容器参数测量仪	电感参数测量仪	电阻电位器参数测量仪	Q值测量仪	材料参数测量仪	敏感元件参数测量仪
46	动态噪声带宽				●			
47	输入电阻				●			
48	噪声电压量程及误差				●			
49	端阻测量范围及误差				●			
50	平滑性测量范围及误差				●			
51	基本测量法直读Q量程					●		
52	基本测量法直读Q误差					●		
53	基本测量法有效Q量程					●		
54	基本测量法有效Q误差					●		
55	ΔQ量程					●		
56	ΔQ刻度误差					●		
57	调谐电容器范围					●		
58	调谐电容器误差					●		
59	直读电感测量范围					●		
60	直读电感测量误差					●		
61	相对介电常数(ε_r)测量范围						●	
62	损耗角正切值($tg\delta$)测量范围						●	
63	相对介电常数(ε_r)测量误差						●	
64	损耗角正切值($tg\delta$)测量误差						●	
65	电压指示范围						●	
66	电压指示误差						●	
67	磁化电流指示范围						●	
68	磁化电流指示误差						●	
69	输出电流范围						●	
70	输出电流指示误差						●	
71	输出电流稳定度						●	
72	负载适用范围						●	
73	有效电感测量范围					●		
74	有效电感测量误差					●		
75	对外接信号源工作特性的规定					●		
76	对外接指示器工作特性的规定					●		
77	并联替代法 $tg\delta$ 量程					●		
78	并联替代法 $tg\delta$ 测量基本精密度					●		
79	并联替代法 $tg\delta$ 测量基本准确度					●		
80	并联替代法有效Q量程					●		
81	并联替代法有效Q测量基本精密度					●		
82	并联替代法有效Q测量基本准确度					●		
83	串联测量方式工作频率范围					●		
84	串联测量方式电容测量范围					●		
85	并联测量方式工作频率范围					●		
86	并联测量方式电容测量范围					●		
87	电容器Q值测量范围					●		
88	电容器Q值测量基本精确度					●		
89	同轴线特性阻抗					●		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

汇总表中所列出的技术指标，对某一具体型号的产品不一定都是必须执行的，要根据产品的要求而定。

第4节 技术指标及测试方法

本节所列技术指标及测试方法参照《LCR 测量仪技术条件》、《LCR 测量仪测试方法》、《电容测量仪技术条件》、《电容测量仪测试方法》等四个国家标准报批稿，部分有关国家级计量检定规程（包括试行和报批稿），部级计量检定规程（或规程草案）和产品标准给出。

被测仪器及测试设备均应按各自产品标准规定的预热时间预热后进行测试。

测试时所用的测量仪器、标准量具及设备，其型号或测量准确度应符合被测仪器企业标准提出的要求。

1. 内部偏置电压

internal bias voltage

仪器内部对测量对象所能提供的直流偏置电压。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 13-1。

图 13-1

（2）测试步骤

在仪器测试端开路的情况下，在仪器测试端用电压表测量内部偏置电压，应符合产品标准的规定。

2. 外加最大偏置电压

extenal maximum bias voltage

仪器所能允许的由外部提供给测量对象的最大偏置电压。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 13-2。

（2）测试步骤

仪器测试端开路的情况下，在仪器外接偏置电压端接入直流电压，使测试端上出现产品

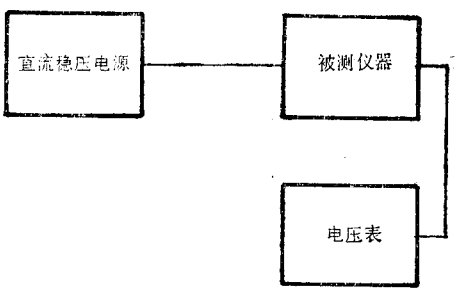


图 13-2

标准规定的外加最大偏置电压，此时，仪器仍能正常工作。

3. 直流偏置电流

direct bias current

对测量对象所能提供的直流偏置电流。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 13-3。

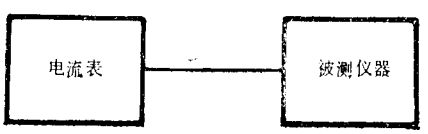


图 13-3

（2）测试步骤

在仪器测试端，用电流表测量直流偏置电流，应符合产品标准的规定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4. 测试信号频率及误差　f、δ_f

test signal frequency and accuracy

被测仪器测试元件时所使用的测试信号每秒钟变化的周期数及其相对误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-4 (a) 和 13-4 (b)。

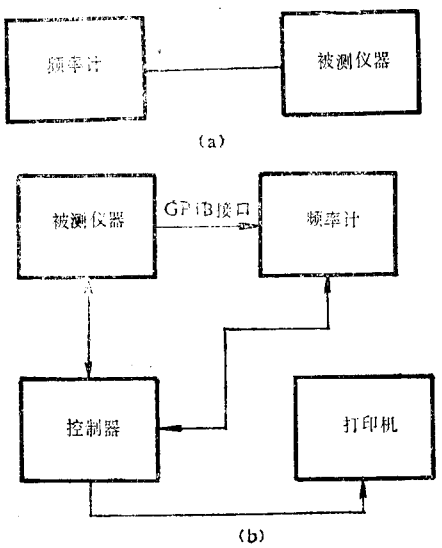


图　13-4

(2) 测试说明和要求

① 测试频率点的选择应按被测仪器产品标准的规定进行。

② 少于或等于 10 个频率点的固定频率仪器采用图 13-4(a)。10 个频率点以上的多频仪器，根据产品情况，可以采用图 13-4(a)，也可采用图 13-4(b)。

(3) 测试步骤

① 按图 13-4(a) 方法测试时，用频率计在仪器的测试端进行测试，有几个测试频率时，应启动相应的控制机构，逐个进行测试。

② 按图 13-4(b) 方法测试时，可通过被测仪器的 GPIB 接口，按预先编好的程序，将各频率点的信号送入带接口的频率计，而后再由频率计送到控制器，逐个显示或打印其频率值。

③ 测试信号频率误差由下式求得：

$$\delta_f = \frac{f - f_0}{f_0} \cdot 100\% \qquad (13\text{-}1)$$

式中　f_0——测试点频率的标称值；

f——测试点频率实测值。

应满足产品标准的规定。

有些测量仪器，如电桥法测量仪器和磁性参数测量仪器，内部不带信号源，测量时使用外接信号源，因此一般使用“工作频率”这一术语，测试方法也不同，现叙述如下。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-5。

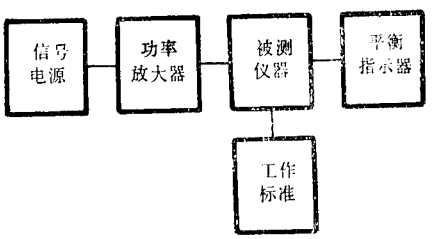


图　13-5

(2) 测试说明和要求

① 电桥法测量仪和磁性参数测量仪工作频率的测试是将信号电源频率置于仪器所规定的工作频率点上(在仪器标准中规定)，用已知参数的工作标准(在仪器标准中确定)去检测仪器工作误差，看是否符合技术指标要求。信号电源输出应是等幅正弦信号。对电桥法测量仪，也可采用调幅度不超过 100% 的正弦调幅信号（输出信号方式应和所选择的平衡指示器相配)，信号的频率误差要求不超过 ±1%，当工作标准为同轴标准件时，信号的频率误差要求不超过 ±0.1%。

② 按照仪器配套和①项的要求选择信号电源和平衡指示器（测量磁性材料功耗的仪器还应配备功率放大器)，并使用屏蔽良好的高频电缆线将它们连接起来。

③ 按照仪器的标准或检定规程建立相应的电阻 R 或电导 G、电感 L 或负电容 $(-C)$ 和

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电容C或负电感($-L$)等一系列工作标准。这些标准应与仪器直接相连接，它的屏蔽外壳应和仪器的测试保护端(通常亦为低电位测试端)相连接。

④ 为避免测试过程中的人体感应现象，可以用横截面积不小于0.75mm²的多股导线将信号电源(功率放大器)、仪器和平衡指示器的外壳连成等电位后接大地。

(3) 测试步骤

① 信号电源的工作频率按仪器的检定频率点逐一设置，并调谐平衡指示器，调节指示器的增益，以指示器不过载为宜。

② 仪器的读数刻度置于零位，测试端为空载，即对于导纳电桥的测试端呈开路状态，阻抗电桥的测试端用短路片(短路片电参数为已知)短接。调节仪器R或G、L或C初始平衡参数，使仪器呈平衡状态。

③ 按仪器的测试要求，用已知参数的工作标准接到仪器的测试端，阻抗电桥应拆除测试端的短路片。调节各个读数度盘，使仪器重新呈平衡状态，并从仪器的读数度盘上记取$R(G)$或$L(C)$等参数。

④ 将记取的参数和工作标准的已知参数进行比较，看仪器的工作误差是否符合要求。

仪器的工作误差可以用两种形式来表式：

绝对误差 $\Delta = A - A_0$ (13-2)

其中 A是仪器的示值，如果是阻抗电桥还应在示值A中加上短路片的参数。A_0是已知工作标准参数值

相对误差 $\delta = \frac{A - A_0}{A_0} \cdot 100\%$ (13-3)

为便于误差的观测，也可根据使用的工作标准和仪器允许的相对工作误差极限，计算出仪器所允许的示值极限，然后用此示值极限与仪器的示值直接进行比较。

⑤ 在其它工作频率点上的测试，可重复①～④项的测试步骤。

⑥ 工作频率的相对误差可按(13-1)式计算。

5. 工作频率范围及误差 δ_f

frequency range and accuracy

仪器有效工作的频率区间及其相对误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图13-6。

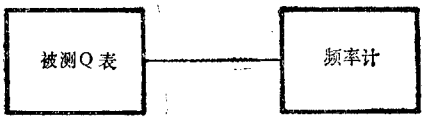


图 13-6

(2) 测试说明和要求

① 被测Q表后面板有“频率输出”插座时，输出信号直接与频率计连接。

② 被测Q表有Q倍率“$\times Q$”(乘号)指示电表时，应置于“$\times 1$”(乘1)位置。

(3) 测试步骤

调节波段开关和“频率读数”旋钮，按产品标准规定在各波段高、中、低选检定点各重复测量三次，取平均值f，全波段最低频率与最高频率实测值的区间为仪器工作频率范围，各波段最低频率与最高频率实测值的区间为各波段频率范围，工作频率的相对误差可按(13-1)式计算求得。

注：当按图13-6连接时，应消除频率计对Q测试回路的频率牵引现象，频率计输入灵敏度应高于10mV。

6. 测试信号波形失真

test signal waveform distortion

仪器测试信号电压所含的高次谐波有效值与基波有效值之比。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图13-7。

(2) 测试步骤

按产品标准要求，在被测仪器测试端，接上

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

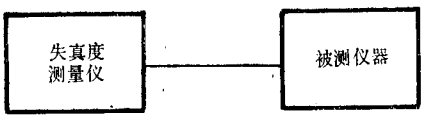


图　13-7

失真度测量仪，检验测试信号波形失真，应符合产品标准的规定。

7. 测试信号电压

test　signal　voltage

仪器工作时所使用的测试信号电压的大小。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-8。

图　13-8

(2) 测试说明和要求

① 当测试信号为直流时测试值为直流电压值，当测试信号为交流时测试值为交流电压有效值。数字繁用表应置于相应的位置。

② 测试电压点的选择应按被测仪器产品标准的规定进行。

(3) 测试步骤

按产品标准要求，在被测仪器测试端，接上数字繁用表，检验测试信号电压，应符合产品标准的规定。

8. 测试信号电流

test　signal　current

仪器工作时所使用的测试信号电流的大小。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-8。

(2) 测试说明和要求

① 当测试信号为直流时测试值为直流电流值，当测试信号为交流时测试值为交流电流有效值。数字繁用表应置于相应位置。

② 测试电流点的选择应按被测仪器产品标准的规定进行。

(3) 测试步骤

按产品标准要求，在被测仪器测试端，接上数字繁用表，检验测试信号电流，应符合产品标准的规定。

9. 测量时间(或测量速率)

measuring　time (measuring　rate)

自动测量仪在连续测量时，两次启动之间所需的时间为测量时间；每秒钟可完成的测量次数为测量速率。

测试方法：

(1) 用测时仪器测量被测仪器两次启动之间的时间。为了测量精确，可以测量多次启动之间所用的时间，然后求取平均值，测量可按式(13-4)计算，并应符合仪器产品标准的规定。

$$测量时间 = \frac{T}{n} \qquad (13\text{-}4)$$

式中　T——仪器测量 n 次的总时间，单位 s；

n——仪器多次启动的总次数。

(2) 用测时仪器测量被测仪器每秒钟内可完成的测量次数。为了测量精确，可以测量数秒钟内被测仪器可完成的测量次数，然后求取平均值，测量速率可按式(13-5)计算，并应符合产品标准的规定。

$$测量速率 = \frac{n}{T} \qquad (13\text{-}5)$$

式中　T——仪器测量次数的总时间，单位 s；

n——T 秒内仪器测量的总次数。

10. 测量范围

measuring　range

被测量的一组数值，在此范围内被测仪器的误差应在规定的极限之内。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-5。

(2) 测试说明和要求

① 电桥法测量仪和磁性参数测量仪测量范围及误差的测试，是将信号源频率置于仪器所规定的工作频率点上，用已知参数的工作标准去检测仪器的测量范围及误差，看是否符合技术指标要求。信号源输出应是等幅正弦信号。对电桥法测量仪，也可采用调幅度不超过100%的正弦调幅信号，信号的频率误差要求不超过±1%，当工作标准为同轴标准件时，信号的频率误差要求不超过±0.1%。

② 按仪器配套和①项的要求选择信号源和平衡指示器（测量磁性材料功耗的仪器还应配备功率放大器），并用屏蔽良好的高频电缆线将它们连接起来。

③ 按仪器的标准或检定规程建立相应的电阻 R 或电导 G，电感 L 或负电容（$-C$），电容 C 或负电感（$-L$）等一系列工作标准。这些标准应与仪器直接连接，它的屏蔽外壳应和仪器的测试保护端（通常亦为低电位测试端）相连接。

④ 为避免测试过程中的人体感应现象，可用横截面积不小于 0.75mm² 的多股导线将信号电源（功率放大器）、仪器和平衡指示器的外壳连成等电位后接大地。

(3) 测试步骤

① 信号源的工作频率按仪器标准的规定设置，并调谐平衡指示器，调节指示器的增益，以指示器不过载为宜。

② 仪器的读数刻度置于零位，测试端为空载，即对于导纳电桥的测试端呈开路状态，阻抗电桥的测试端用短路片（短路片电参数为已知）短接。调节仪器 R 或 G、L 或 C 初始平衡参数，使仪器呈平衡状态。

③ 按仪器的测试要求，用已知参数的工作标准接到仪器的测试端，对阻抗电桥应拆除测试端的短路片，调节各个读数度盘，使仪器重新呈平衡状态，从仪器的读数度盘上记取 $R(G)$ 或 $L(C)$ 等参数。

④ 从仪器上记取的参数和工作标准的参数进行比较，看仪器的测量范围及误差是否符合要求。

仪器各参量的相对误差可以用(13-3)式确定。

⑤ 仪器的固有误差和工作误差可分别在基准条件和额定工作条件下进行测试取得。

11. 电容测量范围及误差

capacitance measuring range and accuracy

仪器有效测量电容的区间及它的测量误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-9。

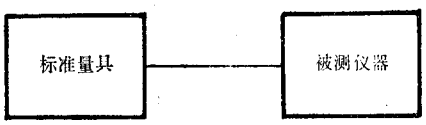


图 13-9

(2) 测试说明和要求

标准量具为标准电容器或标准电容箱，其频率特性和电容交流电平特性等均应符合被测仪器产品标准的要求。

(3) 测试步骤

① 按仪器的测量范围或量程，在测试端接上电容量范围与该测量范围或量程相适应的标准电容箱或相应的标准电容。在产品标准规定的测试频率点上，检验仪器的测量范围和误差，应符合产品标准的规定。可先检验一个主要量程（指在多量程仪器中误差最小的部分量程），再检验其它量程。每个量程至少两点，检验的点数和具体电容值应能保证对仪器的全面检验。

注：被测仪器若规定有开路校正和短路校正或有预调零和预校准，则均应按其规定执行。

② 对于手动仪器，用上述同样的方法检验其范围和误差，应符合产品标准的规定，检验的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

点数至少应有满量程和1/10满量程两点。

③ 仪器的测量误差由式(13-6)表示:

$$\delta_c = \frac{C_x - C_s}{C_s} \cdot 100\% \qquad (13\text{-}6)$$

式中 C_x——被测仪器的示值;

C_s——标准电容或标准电容箱的电容值。

④ 当进行工作误差的检验时,标准量具应处于基准工作条件下。

⑤ 上述检验亦可用准确度更高的仪器进行比对。此时,该测量仪的测试频率、测试信号电压等应与被测仪器的要求相一致。同时,所用的传递元件应有高的短期稳定性。

12. 电感测量范围及误差

inductance measuring range and accuracy

仪器有效测量电感的区间及它的测量误差。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图13-9。

(2) 测试说明和要求

标准量具为标准电感。标准电感的高、低电位端分别与被测仪器的高、低电位测试端相连。若被测仪器为四端方式,需使用专用测试夹具把两端方式的标准电感连接到被测仪器上。如被测仪器具有起始零点调整,应在接上标准电感前进行起始零点调整。

标准电感周围不得有较大体积的导电体和导磁体。

(3) 测试步骤

① 按仪器的测量范围或量程,在测试端接上电感量范围与该测量范围或量程相适应的标准电感,在产品标准规定的测试频率点上,检验仪器的测量范围和误差,应符合产品标准的规定。可先检验一个主要量程,再检验其它量程,每个量程至少两点,检验的点数和具体电感值应能保证对仪器的全面检验。在LCR测量仪中,此项检验可只在主要量程上进行。

② 对于手动仪器,用上述同样的方法检验其范围和误差,应符合产品标准的规定,检验的点数至少应有满量程和1/10满量程两点。

③ 仪器的测量误差由式(13-7)表示:

$$\delta_L = \frac{L_x - L_s}{L_s} \cdot 100\% \qquad (13\text{-}7)$$

式中 L_x——被测仪器和示值;

L_s——标准电感的电感值。

④ 当进行工作误差的检验时,标准量具应处于基准工作条件下。

⑤ 上述检验亦可用准确度更高的仪器进行比对。此时,该测量仪的测试频率、测试信号电压、测试信号电流等应与被测仪器的要求相一致。同时,所用的传递元件应有高的短期稳定性。

⑥ 在综合参数测量仪中,电感检验也可以用等效原理在理论上建立,不需要成套检验设备或标准电感,其误差可以通过电容测量误差的检验建立和保证,检验方法由产品标准规定。

13. 电阻测量范围及误差

resistance measuring range and accuracy

仪器有效测量电阻的区间及它的测量误差。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图13-9。

(2) 测试说明和要求

标准量具为标准电阻器或标准电阻箱,其频率特性、电阻交流电平特性或电阻直流电平特性等均应符合被测仪器产品标准的要求。

(3) 测试步骤

① 按仪器的测量范围或量程,在测试端接上阻值范围与该测量范围或量程相适应的标准电阻或标准电阻箱,在产品标准规定的测试频率点上,检验仪器的测量范围和误差,应符合产品标准的规定,可先检验一个主要量程,再检验其它量程,每个量程至少两点,检验的点数和具体电阻值应能保证对仪器的全面检验。在LCR

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测量仪中，此项检验可只在主要量程上进行。

注：被测仪器若规定有开路校正和短路校正或有预调零和预校准，则均应按其规定执行。

② 对于手动仪器，用上述同样的方法检验其范围和误差，应符合产品标准的规定，检验的点数至少应有满量程和 1/10 满量程两点。

③ 仪器的测量误差由下式表示：

$$\delta_R = \frac{R_x - R_s}{R_s} \cdot 100\% \qquad (13\text{-}8)$$

式中 R_x——被测仪器的示值；

R_s——标准电阻器或标准电阻箱的标定值。

④ 当进行工作误差的检验时，标准量具应处于基准工作条件下。

⑤ 上述检验亦可用准确度更高的仪器进行比对。此时，该测量仪的测试频率、交流电平特性和直流电平特性等均应与被测仪器的要求相一致。同时，所用的传递元件应有高的短期稳定性。

14. 损耗因数测量范围及误差

dissipation factor measuring range and accuracy

仪器有效测量损耗因数的区间及它的测量误差。

测试方法：

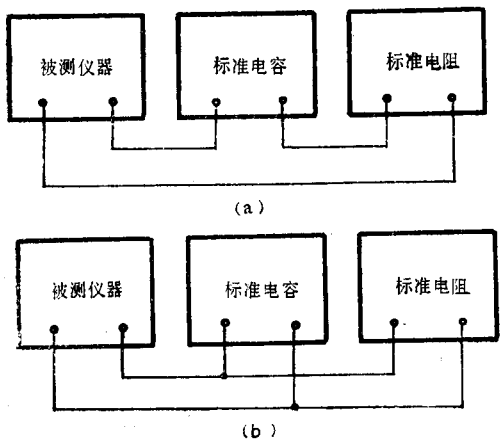


图 13-10

(1) 测试方框图，见图 13-10。

(2) 测试说明和要求

图 13-10 为用计算方法检验损耗因数的方框图。图 13-10(a) 为串联模式，即用损耗因数可忽略不计的电容箱和无感电阻箱串联成损耗因数标准，用来检验 D 值及其误差；图 13-10(b)为并联模式，即用损耗因数可忽略不计的电容箱和无感电阻箱并联成损耗因数标准，用来检验 D 值及其误差。

(3) 测试步骤

① 按图 13-10 的方法，根据产品标准规定的测试点，在被测仪器的测试端，接好损耗因数标准，检验仪器的 D 值及其误差，应符合产品标准的规定。

② 电容箱和电阻箱的设定值和 D 值的关系如式(13-9)和式(13-10)。

$$D_{串联} = 2\pi f C R \qquad (13\text{-}9)$$

$$D_{并联} = \frac{1}{2\pi f C R} \qquad (13\text{-}10)$$

式中 C, R——为电容箱和电阻箱的设定值；

f——为测试信号频率。

③ 将 D 的计算值与仪器的示值进行比较，得到的 D 值误差，应满足产品标准的要求。

④ 仪器的测量误差可按式(13-11)和式(13-12)计算

绝对误差 $\Delta_D = D_x - D_s$ (13-11)

相对误差 $\delta_D = \frac{D_x - D_s}{D_s}$ (13-12)

式中 D_x——被测仪器和示值；

D_s——损耗因数标准的计算值。

⑤ 上述检验亦可用准确度更高的仪器进行比对或直接用量具进行检验。

15. 品质因数测量范围及误差

quality factor measuring range and accuracy

仪器有效测量品质因数的区间及它的测量误差。

测试方法：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 测试方框图，见图 13-11。

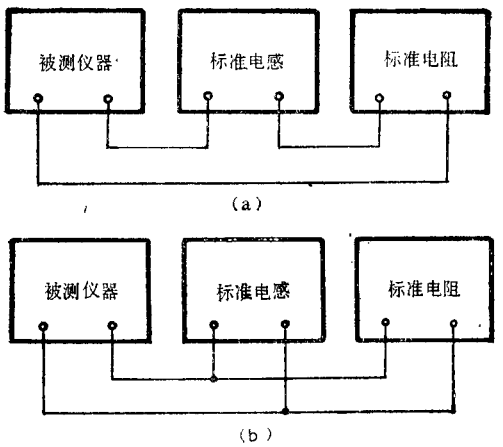


图　13-11

(2) 测试说明和要求

图 13-11 为用计算方法检验品质因数的方框图。图 13-11(a) 为串联模式，即用标准电感器和标准电阻箱串联成 Q 值来检验被测仪器的 Q 测量值及其误差：图 13-11(b) 为并联模式，即用标准电感器和标准电阻箱并联成 Q 值来检验被测仪器的 Q 测量值及其误差。

(3) 测试步骤

① 按图 13-11 的方法，根据产品标准规定的测试点，在被测仪器的测试端，接好 Q 标准，检验仪器的 Q 示值及其测量误差，应符合产品标准的规定。

② 标准电感和标准电阻箱的设定值和 Q 值的关系如式 (13-13) 和式 (13-14)：

$$Q_{串联} = Q_L \left(\frac{1}{1 + \frac{R_s Q_L}{\omega L}} \right) \quad (13\text{-}13)$$

$$Q_{并联} = Q_L \left(\frac{1}{1 + \frac{Q_L \omega L}{R_p}} \right) \quad (13\text{-}14)$$

式中　Q_L——标准电感的 Q 值；

L——标准电感值；

R_s——串联模式时标准电阻设定值；

R_p——并联模式时标准电阻设定值；

ω——测试信号角频率。

③ 将 Q 的计算值与仪器的 Q 示值进行比较，得到的 Q 值测量误差，应满足产品标准的要求。

④ 上述检验亦可用准确度更高的仪器进行比对或直接用量具进行检验。

⑤ Q 值的检验亦可与 D 值检验合并进行，D 值误差合格即视同 Q 值误差合格。

16. 电导测量范围及误差

conductance measuring range and accuracy

仪器有效测量电导的区间及它的测量误差。

测试方法：

检验电导同检验电阻，仅是仪器控制置电导测量的规定位置。它和 R 的关系为：

$$G = \frac{1}{R}$$

17. 复阻抗模值测量范围及误差

impeadance module measuring range and accuracy

仪器有效测量复阻抗模值的区间及它的测量误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-9。

(2) 测试步骤

将仪器量程或控制钮调到规定位置，按被测仪器产品标准规定的检测点依次接入标准量具——标准电阻器，测试的模值应符合产品标准的规定。

注：复阻抗模值 $|Z| = \sqrt{R^2 + x^2}$

R——复阻抗实部

x——复阻抗虚部

18. 相位角测量范围及误差

phase angle measuring range and accuracy

仪器有效测量相位角的区间及它的测量误差。

测试方法：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 测试方框图，见图 13-9。

(2) 测试步骤

将被测仪器量程或控制钮调到规定位置，按被测仪器产品标准规定的检测点，依次接入标准相角量具。测试的相角值应符合产品标准的规定。

注：相位角 $\theta = \mathrm{tg}^{-1}\frac{x}{R}$

R——复阻抗实部

x——复阻抗虚部

19. 变动量

increment

在给出固有误差的精密仪器中，某一影响量所引起的仪器特性的变化量。

测试方法：

对于给出固有误差和变动量的仪器，应检验其变动量极限。

检验影响量所产生的变动量时，首先应在基准工作条件下测定仪器的性能特性，然后在该影响量的工作范围内的测定点(必须含上、下限)上测量其特性，均应符合产品标准的规定。

当检验某一影响量时，其余影响量均应置于基准工作条件下，并保持恒定。

20. 分辨力

resolution

在数字式仪器中，指能使读数识别的最小的被测件的变动量；在指针式仪器中，指能使指针偏转满刻度弧长的 1/50 或大于指针波动幅度 2 倍的被测件的变动量。

测试方法：

(1) 检验应在产品标准规定的量程（一般在最低量程或最高量程)选点进行。

(2) 手动测量仪器，先调节到平衡点，然后分别改变主副参量读数，使指示器产生规定增量，该读数的变动量应符合规定。

(3) 自动测量仪或直读式仪器，先接入标准件，读取被测件的读数，再在标准件上附加微调装置，使被测件产生规定的最小的变动量，此时仪器应能识别(即读数有相应的变化)。为消除数字式仪器量化误差的影响，可连续测量十次，取其平均值。

21. 残量

residual

是指反映在被测仪器测试端上的仪器本身所固有的电容量、电感量和电阻值。

测试方法：

(1) 检验残量时，被测仪器处于工作状态，并应在最低量程或最高量程上进行。

(2) 在仪器测试端开路情况下，测出残余电容量和漏电导应符合产品标准的规定。

(3) 在仪器测试端短路情况下，测出残余等效串联电感和电阻应符合产品标准的规定。

(4) 残余等效串联电感和电阻也可以用下述方法确定：

选用 $n(n \geqslant 5)$ 个电容量和损耗因数基本相同的电容器，先用被测仪器分别测量出各个电容器的电容量 C_i 及其损耗因数 D_i，然后用尽量短粗的接线将 n 个电容器并联，再用该仪器在同一量程上测量出总电容量 C 及其损耗因数 D。用式(13-15)和式(13-16)近似公式计算残余等效串联电感值 L_0 和残余等效串联电阻值 R_0

$$L_0 = \frac{C - \sum_1^n C_i}{\omega^2\left(\sum_1^n C_i\right)^2} \qquad (13\text{-}15)$$

$$R_0 = \frac{D - \frac{1}{n}\sum_1^n D_i}{\omega \sum_1^n C_i} \qquad (13\text{-}16)$$

22. 功率消耗

power loss

仪器正常工作时所消耗的功率。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：

（1）测试方框图，见图 13-12。

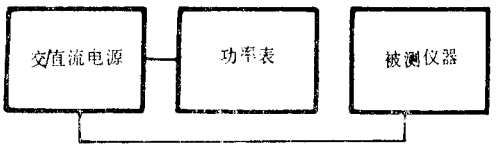


图　13-12

（2）测试步骤

根据被测仪器的要求，将交流电源（或直流电源）电压调到额定电源电压，并按图 13-12 接好，使被测仪器正常工作，从功率表上读得的功率值应符合产品标准的规定。

23. GPIB 接口

GPIB interface

测试方法：

按仪器所选用的接口功能及其子集，采用母线分析仪或系统控制器，依照 GBn249.1～2《可程控测量仪器的一种接口系统（拜特串行、比特并行制式）》的规定功能，进行检验。

24. 电感值固有误差　δ_L

inductance inherent accuracy

基准条件下，标准电感器在某一频率点上电感值的误差。

25. Q 值　Q

quality factor

在特定频率下，电感器的无功功率与有功功率之比。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 13-13。

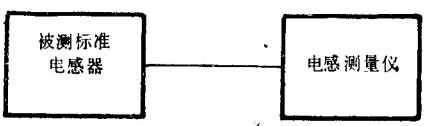


图　13-13

（2）测试说明和要求

① 测试频率在各自产品标准中规定。

② 测试时应保证由标准仪器、测试方法和测试条件所引起的总误差不超过被测电感器极限固有误差的三分之一。

③ 被测标准电感器必须通过专用测试夹具连接到电感测量仪上，专用测试夹具带有经过计算残感的短路片，电感测量仪在各量程上均应进行起始零点调整。10μH 以下被测标准电感器测试结果必须加上短路片残感值。

（3）测试步骤

基准条件下，电感测量仪置于规定频率、相应量程上，测试端装上带短路片的专用测试夹具，进行起始零点调整。取下短路片，将不同量值的标准电感器分别与测量仪相接。读取电感测量仪显示的电感值与 Q 值。应满足产品标准的要求。

电感值固有误差 $\delta_L = \dfrac{L_x - L_s}{L_s}$　（13-17）

式中　L_x——规定频率下的测量值；

L_s——标准电感器的标定值。

注：当用替代法测试时，替代装置的分辨力，短期不稳定性等所引起的误差应不大于被测电感器极限固有误差的十分之一。

26. 电感值温度影响误差

temperature dependent inductance accuracy

温度在额定工作条件的上、下限变化，其余影响量均在基准条件下并保持恒定，标准电感器电感值受温度影响所引起的误差。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 13-13。

（2）测试说明和要求

同“电感值固有误差”测试方法中”测试说明和要求①～③项。

（3）测试步骤

① 被测标准电感器置于温度试验箱内，电感测量仪处于基准条件下，温度试验箱分别升到额定工作条件上限温度（t_1）、降到额定工作条

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

件下限温度(t_2)，热平衡时间不少于2小时。

② 分别测量温度为t_1、t_2时的电感值。

$$电感值温度影响误差 = \frac{L_1 - L_2}{L_2(t_1 - t_2)} \quad (13\text{-}18)$$

式中 L_1、L_2——分别为t_1、t_2时的电感值；

t_1、t_2——分别为额定工作条件上、下限温度值。

误差应满足产品标准要求。

27. 电感值年不稳定度

annual instability of the inductance

基准条件下，标准电感器一年内电感值的相对变化量。

测试方法：

① 测试方框图，见图13-13。

② 测试说明和要求

同"电感值固有误差"测试方法中测试说明和要求①～③项。

(3) 测试步骤

基准条件下，电感测量仪置于规定频率、相应量程，测试端装上带短路片的专用测试夹具，进行起始零点调整。取下短路片，将不同量值的被测标准电感器分别与电感测量仪相接，读取所显示的电感值。

一年内每月测试一次。

$$电感值年不稳定度\ r = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_s} \quad (13\text{-}19)$$

式中 L_{max}——一年内电感值的最大读数；

L_{min}——一年内电感值的最小读数；

L_s——标准电感器的标定值。

不稳定度应满足产品标准的要求。

28. 分布电容 C_0

stray capacitance

电感线圈的匝间、层间、线包与屏蔽外壳间的寄生电容量。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图13-14。

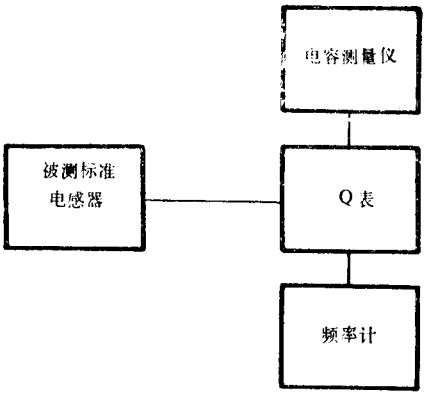


图 13-14

(2) 测试说明和要求

频率计与Q表的频率监测插孔相连。在Q表每次谐振后，拿开被测标准电感器，关闭Q表的电源，才能把电容测量仪接到Q表的电容测量端上进行测量，否则不得接入。

(3) 测试步骤

被测标准电感器分别接到Q表的电感测量端上，Q表的调谐电容置于400pF左右，用Q表的频率度盘调整频率，使之出现谐振点，此时频率为f_1，用电容测量仪测量Q表电容测量端的电容量，此值为C_1。然后将Q表的频率度盘置于$2f_1$处，调整Q表的调谐电容，使之重新谐振，再用电容测量仪测量Q表电容端的电容量，此值为C_2。被测标准电感器的分布电容：

$$C_0 = \frac{C_1 - 4C_2}{3} \quad (13\text{-}20)$$

式中 C_1、C_2分别为第一次、第二次谐振时Q表电容端的电容量。

C_0应满足产品标准的要求。

29. 电容值固有误差 δ_c

capacitance inherent accuracy

基准条件下，标准电容器在某一频率点上电容值的误差。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

30. 损耗角正切　D

the tangent of loss angle

在规定频率的正弦电压下，标准电容器的有功功率除以无功功率。

注："电容值固有误差"和"损耗角正切"可同时进行测试。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-15。

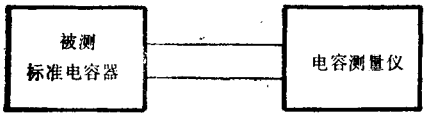


图　13-15

(2) 测试说明和要求

① 测试频率在各自产品标准中规定。

② 测试时应保证由标准仪器、测试方法和测试条件所引起的总误差不超过被测电容器极限固有误差的三分之一。对损耗角正切值的测量，也要对引线电阻、测量器具所造成的影响加以修正，保证测量误差不大于标准电容器损耗角正切极限值的三分之一。

(3) 测试步骤

基准条件下，电容测量仪置于规定频率、相应量程上，接入被测标准电容器，读取电容测量仪显示的电容值和损耗角正切值，应满足产品标准的要求。

$$电容值固有误差\ \delta_c = \frac{C_x - C_s}{C_s} \cdot 100\% \tag{13-21}$$

式中　C_x——规定频率下的测量值；

C_s——标准电容器的标定值。

注：当用替代法测试时，替代装置的分辨力、短期不稳定性等所引起的误差应不大于被测电容器极限固有误差的十分之一。

31. 电容值温度影响误差

temperature dependent capacitance accuracy

温度在额定工作条件的上、下限变化，其余影响量均在基准条件下并保持恒定，标准电容器电容值受温度影响所引起的误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-15。

(2) 测试说明和要求

① 测试频率在各自产品标准中规定。

② 测试时应保证由标准仪器、测试方法和测试条件所引起的总误差不超过被测电容器极限固有误差的三分之一。

(3) 测试步骤

① 被测标准电容器置于温度试验箱内，电容测量仪处于基准条件下，除温度外，其余影响量处于基准条件下且保持恒定。温度试验箱分别升到额定工作条件上限温度 (t_1)，降到额定工作条件下限温度 (t_2)，热平衡时间不少于 2 小时。

② 分别测量温度为 t_1、t_2 时的电容值。

$$电容值的温度影响误差 = \frac{C_1 - C_2}{C_2(t_1 - t_2)} \tag{13-22}$$

式中　C_1, C_2——分别为 t_1、t_2 时的电容值；

t_1、t_2——分别为额定工作条件上、下限温度值。

误差应满足产品标准要求。

32. 电容值年不稳定度　γ

annual instability of the capacitance

基准条件下，标准电容器一年内电容值的相对变化量。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-15。

(2) 测试说明和要求

同"电容值温度影响误差"测试方法中"测试说明和要求"①及②项。

(3) 测试步骤

基准条件下，电容测量仪置于规定频率、相应量程上。把被测标准电容器接到电容测量仪

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试端，读取所显示的电容值。

一年内每月测试一次。

电容值年不稳定度按式(13-23)计算：

$$r = \frac{C_{max} - C_{min}}{C_s} \qquad (13\text{-}23)$$

式中 C_{max}——一年内电容值的最大读数；

C_{min}——一年内电容值的最小读数；

C_s——标准电容器的标定值。

不稳定度应满足产品标准的要求。

33. 绝缘电阻

insulation resistance

标准电容器电极间及电极对屏蔽外壳间的电阻值。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-16。

图 13-16

(2) 测试步骤

在标准电容器电极间及对屏蔽外壳间分别用试验电压约 300 伏的绝缘电阻测量仪进行测量，其值应满足产品标准的要求。

34. 电容偏差测量范围及误差

capacitance deviation measuring range and accuracy

被测仪器有效测量电容量偏差的区间及其测量误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图13-17。

(2) 测试说明和要求

图 13-17(a) 适用于被测仪器没有内部标准的情况；图 13-17(b) 适用于被测仪器含有内部标准的情况。

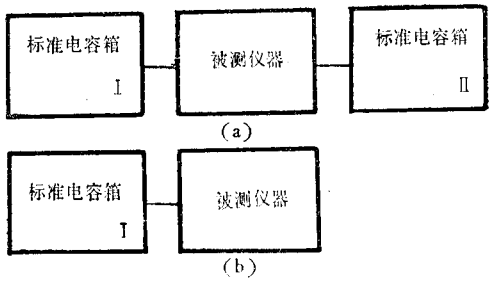


图 13-17

(3) 测试步骤

① 按图 13-17(a) 的方法，被测仪器处于工作状态。按产品标准规定的方法进行预调工作，预调包括调零、调满度和校准等。

② 标准电容箱 I 接在被测端，标准电容箱 II 接在标准端。

③ 按被测仪器产品标准规定的偏差量程及其测试点，设定好标称值(可用标准电容器来设定，也可用键盘、软件来设定)，调好标准电容箱 I，被测仪器即显示偏差测量结果。电容偏差测量的误差按式(13-24)计算，并应符合产品标准的规定。

$$\Delta_{C_e} = \Delta_x - \frac{C_x - C_s}{C_s} \cdot 100\% \qquad (13\text{-}24)$$

式中 Δ_x——被测仪器偏差示值；

C_x——标准电容器箱 I 的调定值；

C_s——设定标称值(或标准电容器箱 II 或被测仪器内部标准的调定值)。

35. 电容温度系数的测量范围及误差

capacitance temperature coefficient measuring range and aceuracy

仪器有效测量电容温度系数的区间及其测量误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-18。

(2) 测试说明和要求

图 13-18 中的 C_s 为标准电容器，其容量应符合被测仪器产品标准的规定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

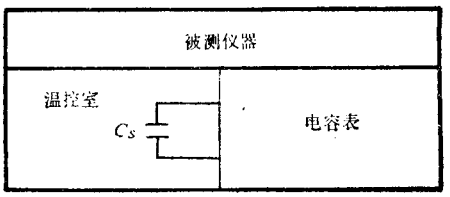


图　13-18

(3) 测试步骤

① 被测仪器处于工作状态，控制钮位置按产品标准的规定。

② 被测仪器的温度指示为 20℃ 时，记下标准电容器的容量值，当温度升到 20℃ + ΔT 时，记下标准电容器的容量值及温度变化量 ΔT 值，同时记下温度系数表的 α_c 值。

③ 测量误差按下式计算并应符合产品标准的规定。

$$\delta_{\alpha_c} = \frac{\alpha_{C_x} - \alpha_{C_s}}{\alpha_{C_s}} \cdot 100\% \quad (13\text{-}25)$$

$$\alpha_{C_s} = \frac{C_2 - C_1}{C_1 \Delta T} \quad (13\text{-}26)$$

式中　α_{C_x}——被测仪器温度系数示值；

α_{C_s}——电容温度系数计算值；

C_2——升温 ΔT 度后标准电容器的容量值；

C_1——基础温度 (20℃) 时标准电容器的容量值；

ΔT——从基础温度算起的温升值，其取值按产品标准的规定。

36. 电容漏电流测量范围及误差

capacitance leakage current measuring range and accuracy

仪器有效测量电容器漏电流的区间及其测量误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-19。

(2) 测试说明和要求

图 13-19 中的标准电阻箱及电阻的阻值和

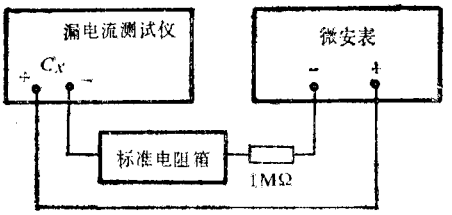


图　13-19

精度应符合产品标准的要求，微安表的量程和精度应与被测仪器的漏电流测量范围及精度相匹配。

(3) 测试步骤

①被测仪器和测试设备处于工作状态，被测仪器面板各控制钮按产品标准的规定放置。

② 按产品标准规定的测试点进行测试，记下仪器及微安表的显示值。

③ 漏电流的测量误差按式(13-27)计算并应符合产品标准的规定。

$$\delta_i = \frac{I_x - I_s}{I_M} \quad (13\text{-}27)$$

式中　I_x——被测仪器漏电流示值；

I_s——微安表实际示值；

I_M——被测仪器漏电流表的满度值。

37. 直流极化电压

direct current polarization voltage

漏电流测量仪中，对被测电容器进行充电的直流电压。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-20。

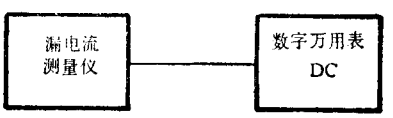


图　13-20

(2) 测试步骤

① 被测仪器和测试设备处于工作状态。

② 漏电流测量仪面板上各控制钮置于规定状态，测试点设置按产品标准的规定进行。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

③ 依次调节漏电流测量仪的调压调节旋钮，得到所需电压，数字万用表置相应量程，并记下其读数。

④ 按式(13-28)计算直流极化电压示值误差，并应满足产品标准的要求。

$$\delta = \frac{V_x - V_s}{V_M} \qquad (13\text{-}28)$$

式中 V_x——被测仪器直流极化电压示值；

V_s——数字万用表实际示值；

V_M——被测仪器上电表满度值。

38. 最大充(放)电电流

maximum charging (discharge) current

电容器在完全放电的情况下接入被测仪器，被测仪器置于充电功能，流过电容器的最大电流；或当电容器在充分充电的情况下，接入被测仪器，被测仪器置于放电功能，流过电容器的最大电流。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-21。

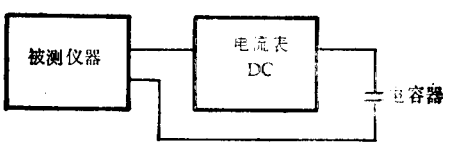


图 13-21

(2) 测试说明和要求

图 13-21 中电容器的容量应符合被测仪器产品标准的规定，电流表的量程也要与产品标准规定相适应。

(3) 测试步骤

被测仪器与测试设备处于工作状态，电容器在完全放电后接入，观察接入瞬间，对电容器充电的电流值，最大充电电流应符合产品标准的规定。

电容器在充分充电后接入，被测仪器置于放电状态，观察开始放电瞬间的电流值，应符合产品标准的规定（当电容器接入时要注意电流表的极性）。

注：也可采用示波器进行测试。

39. 充电时间

charging time

仪器在规定的直流电压下，对规定电容量的电容器进行充电所需要的时间。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-22。

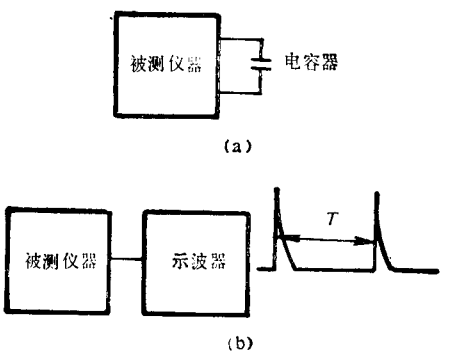


图 13-22

(2) 测试步骤

① 当用图 13-22(a)方法时，被测仪器处于工作状态，规定容量的电容器在充分放电的情况下，接入测试端，并使测试端具有规定的直流电压，然后计时，当达到规定的时间后，立即用数字电压表测量电容器两端的电压，其值若大于 0.63 倍的测试端规定的直流电压，则充电时间符合被测仪器产品标准的规定。

② 当用图 13-22(b)方法时，被测仪器和测试设备处于工作状态，被测仪器有充电时间脉冲输出端口，在该端口连接示波器，示波器经相应调节后，将有如图画出的波形显示，两个脉冲前沿之间的时间即为充电时间。

充电时间的误差按式(13-29)计算，并应符合产品标准的规定。

$$\delta_T = \frac{T_x - T_s}{T_s} \cdot 100\% \qquad (13\text{-}29)$$

式中 T_x——示波器显示的充电时间；

T_s——被测仪器规定的充电时间。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

40. 电阻偏差测量范围及误差

resistance deviation measuring range and accuracy

仪器有效测量电阻值偏差的区间及其测量误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-23。

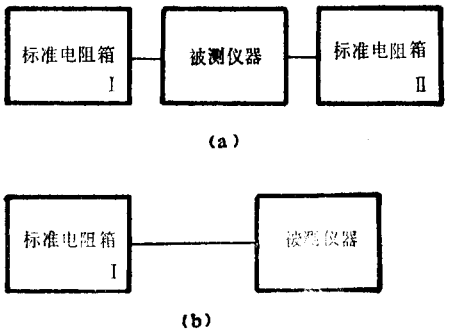


图　13-23

(2) 测试说明和要求

图 13-23(a) 适用于被测仪器没有内部标准的情况；图 13-23(b) 适用于被测仪器含有内部标准的情况。

(3) 测试步骤

① 按图 13-23 的方法，被测仪器处于工作状态，按产品标准的规定进行预调，包括调零、满满度和校准等。

② 标准电阻箱 I 接于被测端，标准电阻箱 II 接在标准端。

③ 按被测仪器产品标准规定的偏差量程及其测试点，调好标准电阻箱 I 和标准电阻箱 II 或内部标准的电阻值，被测仪器即显示偏差测量结果。电阻偏差测量的误差按式(13-30)计算并应符合产品标准的规定。

$$\Delta_{Re} = \Delta_x - \frac{R_x - R_s}{R_s} \cdot 100\% \quad (13\text{-}30)$$

式中　Δ_x——被测仪器偏差显示值；

R_x——标准电阻箱 I 的调定值；

R_s——标准电阻箱 II 或被测仪器内部标准的调定值。

41. 电阻温度系数测量范围及误差

resistance temperature coefficient measuring range and accuracy

仪器有效测量电阻温度系数的区间及其测量误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-24。

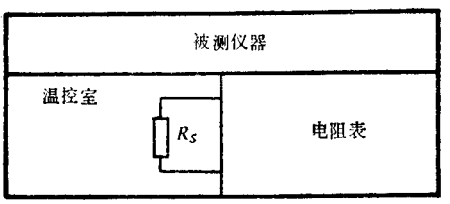


图　13-24

(2) 测试说明和要求

图 13-24 中 R_s 为标准电阻器，其阻值应符合被测仪器产品标准的规定。

(3) 测试步骤

① 被测仪器处于工作状态，控制钮位置按产品标准的规定。

② 被测仪器的温度指示为 20℃ 时，记下标准电阻器的电阻值，当温度升到 20℃ + ΔT 时，记下标准电阻器的电阻值及温度变化量 ΔT 值，同时记下温度系数表的 α_R 值。

③ 测量误差按式(13-31)和式(13-32)计算并应符合产品标准的规定。

$$\alpha_{\alpha R} = \frac{\alpha_{Rx} - \alpha_{R_s}}{\alpha_{R_s}} \cdot 100\% \quad (13\text{-}31)$$

$$\alpha_{R_s} = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \Delta T} \quad (13\text{-}32)$$

式中　α_{Rx}——被测仪器电阻温度系数显示值；

α_{R_s}——电阻温度系数计算值；

R_1——基础温度(20℃)时标准电阻器电阻值；

R_2——升温 ΔT 度后标准电阻器电阻

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

值；

ΔT——从基础温度算起的温升值，其取值应按被测仪器产品标准的规定。

42. 测试温度范围及误差

measuring temperature range and accuracy

仪器的测量对象为元件的温度系数时，仪器所能控制的测试温度的区间及其误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-25。

图 13-25

(2) 测试步骤

被测仪器及测试设备均处于工作状态，当被测仪器的温度达到产品标准规定的测试点时，记下仪器及测试设备的温度显示值，测试温度误差按式(13-33)计算并应符合产品标准的规定。

$$\Delta T = T_x - T_s \qquad (13\text{-}33)$$

式中 T_x——被测仪器的温度显示值；

T_s——测试设备的温度显示值。

43. 绝缘电阻测量范围及误差

insulation resistance measuring range and accuracy

仪器有效测量绝缘电阻的区间及其测量误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-26。

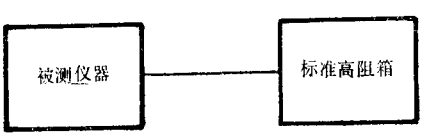


图 13-26

(2) 测试说明和要求

连接被测仪器高电位端子的导线必须用高绝缘的电缆线，长度不宜超过 2 米。

被测仪器地端应与高阻箱外壳相连接。

(3) 测试步骤

① 被测仪器应预热一小时，然后反复进行“∞”、“满度”调整。

② 按被测仪器产品标准的规定，设置测试电压和测试点。

③ 按式(13-34)计算测试误差：

$$\delta = \frac{R_x - R_s}{R_s} \cdot 100\% \qquad (13\text{-}34)$$

式中 R_x——仪器电阻读数；

R_s——标准高阻箱标定值。

应符合产品标准的要求。

44. 总阻(或标称值)测量范围及误差

total resistance (nominal value) measuring range and accuracy

仪器有效测量电位器总阻值的区间及其测量误差。

测试方法：

视电位器参数测量仪的功能，本项目可以不考核，也可根据被测仪器产品标准的具体规定进行测试。

45. 接触电阻变化值范围及误差

contact resistance variable range and accuracy

仪器有效测量电位器动态接触电阻变化(CRV)的范围及其测量误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-27。

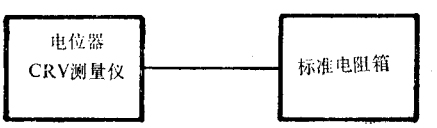


图 13-27

(2) 测试说明和要求

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

采用标准电阻箱模拟电位器的 CRV 值的方法。

(3) 测试步骤

① 按产品标准要求设置标准电阻箱的阻值。

② 按产品标准要求键入相应的被测电位器标称值。

③ 按被测仪器测试的操作要求进行操作，记录各测试点的测试结果，应符合产品标准的要求。

46. 动态噪声带宽

dynamic noise bandwidth

被测仪器能有效测量动态噪声(电压)的频率范围，它是以某一中心频率为参考，信号衰减 3dB 或规定 dB 数的频率区间。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-28。

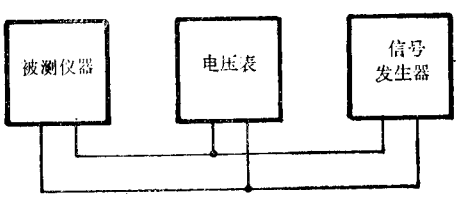


图　13-28

(2) 测试步骤

① 按被测仪器产品标准的规定，依次输入各频率值，并保持输入信号为某一规定值。

② 按被测仪器产品标准的规定，各控制钮(或键)应按要求操作或在规定位置上。

③ 读取被测仪器上各频率点的响应值并记录，其衰减要求应符合产品标准的规定。

47. 输入电阻　R_{in}

input resistance

从被测仪器测试端(输入信号端)看进去的电阻。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-29。

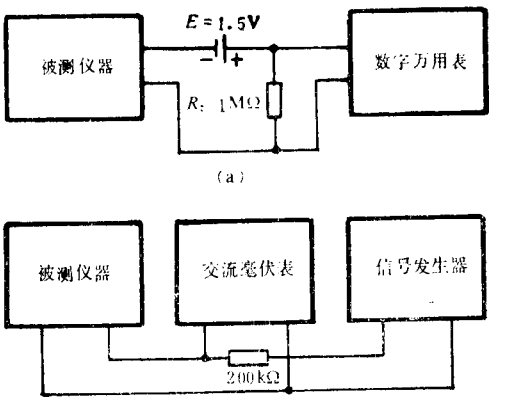


图 13-29

(2) 测试步骤

① 按图 13-29(a) 方法测试时，在数字万用表读取 R 上的电压为 V，按式 (13-35) 计算输入电阻

$$R_{in}=\frac{(E-V)\cdot R}{V} \qquad (13\text{-}35)$$

应满足产品标准的规定。

② 按图 13-29(b) 方法测试时，按产品标准的规定，输入规定频率及幅度的信号，用交流毫伏表测得被测仪器输入电阻上的压降为 V，按式(13-36)计算输入电阻，并应满足产品标准的规定：

$$R_{in}=\frac{V\cdot R}{(E-V)\cdot 10^6}(\text{M}\Omega) \qquad (13\text{-}36)$$

式中　R——200kΩ；

V——毫伏表读得的 R_{in} 上的压降(伏)；

E——信号的幅度，0.1V。

48. 噪声电压(即滑动噪声)量程及误差

noise voltage range and accuracy

仪器有效测量噪声电压的范围及其测量误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-28。

(2) 测试步骤

① 按产品标准的规定，各控制钮或键应按

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

要求操作或在规定位置上。

② 按产品标准的规定，输入规定频率的信号，并按各量程的要求，取不同幅度。

③ 在被测仪器上，读取所示电压值，应满足误差要求。

49. 端阻测量范围及误差

teminal resistance measuring range and accuracy

仪器测量电位器动触点与任一端点间电阻的区间及其测量误差。

测试方法：

(1) 用阻值范围和准确度相当的标准电阻箱模拟电位器端阻接入被测仪器。

(2) 被测仪器按产品标准的规定预调并校准，各控制钮在相应位置上。

(3) 按规定测试点接入标准电阻箱的不同阻值，被测仪器指示仪表反映的阻值应符合产品标准的规定。

50. 平滑性测量范围及误差

smoothing measuring range and accuracy

仪器测量电位器输出平滑性的范围及其测量误差。输出平滑性是指动触点均匀滑动时在输入中不存在而在输出中出现的任何可允许的杂散变化。通常以总外加电压的百分数表示，并在有效电行程范围内所规定的行程增量上测量。输出平滑性包含了接触电阻变化、分辨力和输出中的其它微小非线性因素等影响。

测试方法：

(1) 被测仪器预热 15 分钟。

(2) 按产品标准规定的方法，在规定的触发电平下，连续按动"触发"按钮，被测仪器的不合格指示灯均应处于临界闪亮。

(3) 按产品标准规定，接入不同阻值的电位器，来回转动电位器，测量其总阻及端阻，指示仪表应正常动作，并在整个过程中，不合格指示灯不应出现连续闪亮现象（触发电平应置于产品标准规定的电平上）。

51. 基本测量法直读 Q 量程

indicated Q range (in direct connection measurement methods)

Q 表 Q 值直接读数的刻度区间。

注：本指标为检查项目。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-30。

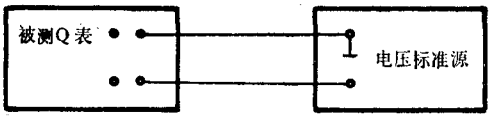


图 13-30

(2) 测试步骤

按产品标准规定选取相应标准电压输入"Q 量程"各档，满度值及刻度误差应符合产品标准规定。

技术要求：刻度误差(包括线性误差)一般不大于满度值的±2%。

注：当被测Q表有特殊规定时，用信号源与电压表的组合代替低频电压标准源。

52. 基本测量法直读 Q 误差 δ_{Qi}

indicated Q accuracy (in direct connection measurement methods)

仪器直读 Q 值 Q_i 与此型仪器均值回路 Q 值 $\bar{Q}_{en}$ 相对偏差的百分数。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-31。

(2) 测试说明和要求

① 接入 Q 标准量具时高、低电位端应与 Q 表测试回路一致。

② 按 Q 标准量具序号顺序测试，各量具的测试均按测试步骤进行。

③ 被测 Q 表有 Q 倍率"×Q"(乘号)电表时，应置于"×1"(乘1)位置。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

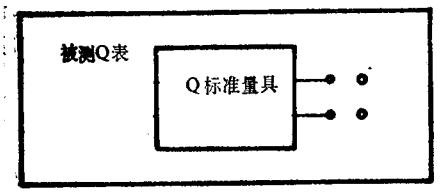


图　13-31

④ Q 标准量具 $\bar{Q}_{en}$ 值应预先给定。

(3) 测试步骤

按 Q 标准量具序号和相应测试点选择波段和频率，按 $\bar{Q}_{en}$ 值选取适当的 Q 量程，调节电容读数旋钮使测试回路谐振，在每个检定点上读取 Q_i 值和 C_i 值，则直读 Q 误差由式(13-37)求得：

$$\delta Q_i = \frac{Q_i - \bar{Q}_{en}}{\bar{Q}_{en}} \cdot 100\% \quad (13\text{-}37)$$

式中　Q_i——直读 Q 值；

$\bar{Q}_{en}$——该型Q表均值回路 Q 值。

53. 基本测量法有效 Q 量程

effictive Q range (in direct connection measurement methods)

被测仪器直读 Q 值 Q_i 经残量修正后有效 Q 值 Q_{ex} 的测量范围。

注：有效 Q 值测试是在直读 Q 值测试基础上进行，本指标项不测试。

54. 基本测量法有效 Q 误差　δQ_{ex}

effictive Q accuracy (in direct connection measurement methods)

用仪器测量标准量具得到的有效 Q 值 Q_{ex} 与 Q 标准量具有效 Q 定标值 Q_e 相对偏差的百分数。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 13-31。

(2) 测试说明及要求

① 同"直读 Q 误差"①；

② 同"直读 Q 误差"②；

③ 被测Q表应给出残量值及残量修正曲线(表)；

④ 测试点频率应由频率计监测，谐振点电容读数值 C_i 应由电容测量仪监测。

(3) 测试步骤

按"直读 Q 误差"测试步骤，在各个测试点上读取 Q_i 值和 C_i 值，从 $(C_{ei} - C_i)$ 残量修正曲线(表)查得对应 C_{ei} 值，从 $(\bar{Q}_n - f - C_i)$ 残量修正曲线(表)查得测试点测试回路均值固有 Q 值 $\bar{Q}_n$，则有效 Q 值 Q_{ex} 由式(13-38)求得：

$$Q_{ex} = \frac{\bar{Q}_n \cdot Q_i}{\bar{Q}_n - Q_i} \cdot (1 - \omega^2 L_1 C_{ei}) \quad (13\text{-}38)$$

式中　$\bar{Q}_n$——测试点上 Q 表测试回路均值固有 Q 值；

Q_i——直读 Q 值；

ω——测试点角频率，$\omega = 2\pi f$；

L_1——被测Q表除谐振电容器残感外的测试回路总残感；

C_{ei}——测试点谐振电容 C_i 的高频有效电容值。

注：测试点频率低于 10MHz 时，可认为　$C_i = C_{ei}$。

有效 Q 误差由式(13-39)得到：

$$\delta Q_{ex} = \frac{Q_{ex} - Q_e}{Q_e} \cdot 100\% \quad (13\text{-}39)$$

式中　Q_{ex}——量具有效 Q 实测值；

Q_e——量具有效 Q 定标值。

55. ΔQ 量程

delta-Q range

Q 表 Q 增量刻度值的区间。

注：本指标为检查项目。

56. ΔQ 刻度误差

delta-Q accuracy

Q 表 Q 增量刻度值与标准仪器输出值相对偏差的百分数。

注：本指标为检查项目。

测试方法：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 测试方框图，见图 13-30。

(2) 测试说明和要求

测试必须严格按照产品标准规定的顺序，以免损坏指示电表。

(3) 测试步骤

按产品标准规定在 ΔQ 量程各档选取相应电压输入Q表，满度值及刻度误差应符合产品标准规定。

57. 调谐电容器范围

tuning capacitor range

仪器调谐电容器的刻度区间。

58. 调谐电容器误差 δ_c

tuning capacitor accuracy

仪器调谐电容器刻度值与标准仪器指示值相对偏差的百分数。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-32。

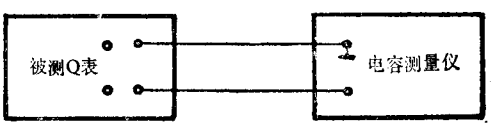


图 13-32

(2) 测试说明和要求

① 连接线与仪器间分布参数应尽量小。

② 测试时应避免人体干扰。

③ 电容测量仪包括连接线的分布电容 C_0 应预先平衡以消除影响。

④ 测试时应断开被测Q表电源。

(3) 测试步骤

按产品标准规定选取电容测试点，刻度值为 C_i，将连接线接入Q表测试回路。在每个测试点重复测量三次，取平均值 C_t，电容度盘最小刻度与最大刻度实测值的区间为调谐电容器范围，刻度误差由式(13-40)求得：

$$\delta_c = \frac{C_i - C_t}{C_t} \cdot 100\% \qquad (13\text{-}40)$$

式中 C_i——被测Q表电容度盘刻度值；

C_t——电容测量仪三次实测值的平均值。

被测Q表有微调电容器时，主、微调电容器应分别测试。测试主调电容器时微调应置于"0"(零)，测试微调电容器时主调应置于最小容量。

59. 直读电感测量范围

indicated L measurement range

仪器电感度盘直读电感值的刻度区间。

60. 直读电感测量误差

indicated L accuracy

仪器电感测量直读值 L_i 的基本准确度。

注：直读电感测量是在指定的电感测试频率点，以电容度盘刻度值 C_i 对应刻度 L_i，因此在频率、电容两项技术指标合格后，电感测量范围及误差不必重新测试。

61. 相对介电常数(ε_r)测量范围

relative permittivity (ε_r) measurement range

对介质材料 ε_r 进行有效测量的范围。

注：本指标为检查项目，仅能在高频介质标准样品给定的 ε_r 范围内测试。

62. 损耗角正切值(tgδ)测量范围

loss angle (tgδ) measurement range

对介质材料 tgδ 进行有效测量的范围。

注：本指标为检查项目，仅能在高频介质标准样品给定的 tgδ 范围内测试。

63. 相对介电常数 ε_r 测量误差 $\delta\varepsilon_r$

relative permittivity (ε_r) measurement accuracy

仪器对标准测样品 ε_r 的实测值与定标值相对偏差的百分数。

64. 损耗角正切值(tgδ)测量误差 $\delta_{tg\delta}$

loss angle (tgδ) measurement accuracy

仪器对标准样品 tgδ 的实测值与定标值相

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

对偏差的百分数。

测试方法一(Q表法):

(1) 测试方框图,见图 13-33。

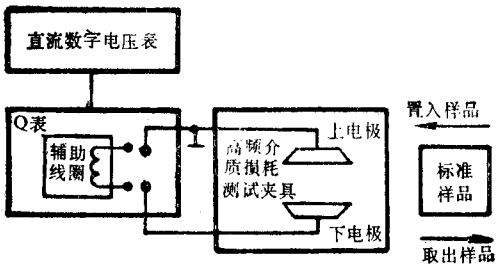


图　13-33

(2) 测试说明和要求

①接入被测夹具时,连接头高、低电位端应与Q表测试回路一致。

② 直流数字电压表连接于Q表"Q 模拟输出"端。

③ 按介质标准样品测试点选取测试频率及适当的辅助线圈,自低频向高频顺序测试。

④ 每件样品的测试均按测试步骤。

⑤ 被测夹具为二电极结构、两端连接头,电极直径符合 GB1409-78 规定,为 ϕ50mm±0.1mm。

(3) 测试步骤

不接入夹具,调节Q表"电容读数"旋钮使测试回路第一次谐振,读取谐振电容值 C_1。

接入夹具,介质标准样品置入两电极之间,调节夹具千分尺杆适当夹紧,自夹具千分尺杆读取样品厚度 t,调节Q表"电容读数"旋钮使测试回路第二次谐振,读取 Q 指示值 Q_1。

取出标准样品,调节夹具千分尺杆使Q表测试回路第三次谐振,读取无样品时电极间距 t_0 及 Q 指示值 Q_2,由式(13-40)得到

$$\varepsilon_r = \frac{t}{t_0} \qquad (13\text{-}40)$$

式中　ε_r——被测介质标准样品相对介电常数实测值;

t——标准样品厚度;

t_0——无样品时电极间距。

$$\mathrm{tg}\,\delta = \frac{C_1 t_0}{K} \cdot \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2 Q_1} \qquad (13\text{-}41)$$

式中　$\mathrm{tg}\,\delta$——被测标准样品损耗角正切实测值;

C_1——不接夹具Q表第一次谐振电容值,pF;

t_0——无样品时电极间距,mm;

K——电极电容系数, $K = 17.377$;

Q_1——第二次谐振时指示 Q 值;

Q_2——第三次谐振时指示 Q 值。

注: ①当电极半径为 a(mm)时, $K = 0.00885\pi a^2$。
②当测试频率高于 10 MHz 时,应按式(13-42)修正 C_1 为 C_{e1} 后再计算:

$$C_{e1} = \frac{C_1}{1 - \omega^2 L_c C_1} \qquad (13\text{-}42)$$

式中　C_{e1}——C_1 的高频有效电容值;
ω——测试点的角频率 $\omega = 2\pi f$;
L_c——Q表测试回路主调电容器残感。

相对介电常数测量误差 δ_{ε_r}、损耗角正切值测量误差 $\delta_{\mathrm{tg}\delta}$ 由式(13-43)和式(13-44)得到:

$$\delta_{\varepsilon_r} = \frac{\varepsilon_r - \varepsilon_{re}}{\varepsilon_{re}} \cdot 100\% \qquad (13\text{-}43)$$

$$\delta_{\mathrm{tg}\delta} = \frac{\mathrm{tg}\,\delta - \mathrm{tg}\,\delta_e}{\mathrm{tg}\,\delta_e} \cdot 100\% \qquad (13\text{-}44)$$

式中　δ_{re}——高频介质标准样品 ε_r 定标准;
$\mathrm{tg}\,\delta_e$——高频介质标准样品 $\mathrm{tg}\,\delta_{\varepsilon_r}$ 定标准。

能进行有效测量的工作频率范围通过对测试点最低及最高测试频率时测量误差的考察予以检查。

测试方法二(矢量阻抗法):

(1) 测试方框图,见图 13-34。

(2) 测试说明和要求

① 按介质标准样品测试点选取测试频率,

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

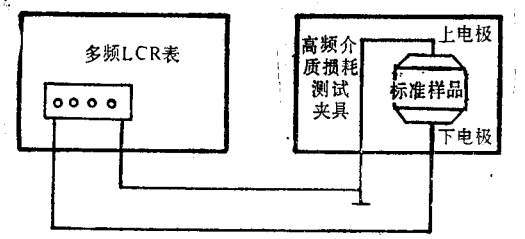


图 13-34

逐件测试。每件样品的测试均按测试步骤。

② 被测夹具为二电极结构，电极直径 ϕ38 mm ～ ϕ56mm，四端对连接头。

(3) 测试步骤

将被测夹具连接头接入 LCR 表 UNKNOWN(未知阻抗)端，CABLE LENGTH (电缆长度) 置于"1m"，DISPLAY A (显示 A) 置于"C"，DISPLAY B (显示B) 置于"D"，LCRZ RANGE (参考转换) 置于"AUTO"，CIRCUIT MODE (电路方式)置于"AUTO"，TRIGGER (触发) 置于 "INT"，通过 FREQUENCY STEP (频率步进) 选择测试频率，通过 OSC LEVEL (振荡电平) 及 MELTIPLIER (倍乘)选择测试信号电平。

将高频介质标准样品置入夹具两电极中间，调节夹具千分尺杆适度夹紧，自 DISPLAY A 读取 C_p 值，自 DISPLAY B 读取 D 值，自夹具千分尺杆读取样品厚度 t 值，按式 (13-45) 计算样品几何电容值：

$$C_{ao} = \frac{d^2}{143.8t} \qquad (13\text{-}45)$$

式中 C_{ao}——样品几何电容值，单位 pF；

d——电极直径，单位 mm；

t——样品厚度，单位 mm。

按式 (13-46) 计算 ε_r 值

$$\varepsilon_r = \frac{C_p}{C_{ao}} \qquad (13\text{-}46)$$

式中 ε_r——被测样品相对介电常数实测值；

C_p——被测样品电极电容(试样电容)实测值，单位 pF；

C_{ao}——被测样品几何电容计算值，单位 pF。

被测样品损耗角正切值

$$\mathrm{tg}\,\delta = D \qquad (13\text{-}47)$$

δ_{ε_r}、$\delta_{\mathrm{tg}\delta}$ 的计算及工作频率范围的检查同测试方法一。

注：①两种测试方法均为接触测量法；
②精密测量时样品边缘电容的修正及带气隙测量法参见 GB1409-78；
③测试方法二以HP4275A多频 LCR 表为标准仪器。

65. 电压指示范围

indication range of voltage

由仪器所显示或指示的施加于测试端上信号电压的最低值到最高值的区间。

66. 电压指示误差

accuracy of voltage indication

由仪器所显示或指示的施加于测试端上信号电压的标称值和真值之间的差值。

注：电压指示范围和电压指示误差同时进行测试。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-35。

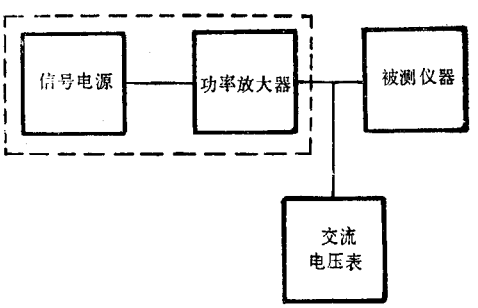


图 13-35

(2) 测试说明和要求

① 按仪器的要求选择信号电源和功率放大器。

② 信号电源的输出信号应为等幅正弦波，并与功率放大器配合使之有足够大的电压输出(包含仪器电压指示的最高值)，且波形失真系

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

数应≤5%。

③ 交流电压表的频率响应特性和工作误差应符合仪器的测试要求，即检测仪器的误差与待定误差相比应达到 1:3 或至少 1:2。

(3) 测试步骤

① 接通测试系统电源，预热半小时以上。

② 对仪器的电压指示部分进行调零和各量程档进行校正，然后将工作选择开关置于"测量"位置。

③ 将信号电源工作频率置于仪器规定的测试频率点上，慢慢增大信号电源和功率放大器的输出，使电压指示表头为满度，并同时记下交流电压表的读数。

④ 比较两者的读数差值，其误差应符合技术指标的要求。

⑤ 采取同样的方法测试其它量程档的读数，直到最高量程档为止。

67. 磁化电流指示范围

indication range of magnetization current

由仪器显示或指示的通过测试端信号电流的最低值到最高值的区间。

68. 磁化电流指示误差

accuracy of magnetization current indication

由仪器所显示或指示的通过测试端的磁化电流的标称值和真值之间的差值。

注：磁化电流指示范围和磁化电流指示误差同时进行测试。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-36。

图　13-36

(2) 测试说明和要求

① 按照仪器的要求选择好信号电源。

② 信号电源的输出信号为等幅正弦波，波形失真系数应≤5%，并有足够大的电压输出(能驱动电流表到指示最大值)。

③ 交流电压表的频率响应特性和工作误差应符合仪器的测试要求，即检测仪器的误差与待定误差相比应达到 1:3 或至少 1:2。

④ 交流电压表接至仪器监测信号输出端，或者是仪器测试端的低电位端至外壳屏蔽端。

(3) 测试步骤

① 接通测试系统电源，预热半小时以上。

② 对仪器的电流指示部位进行调零和校准，然后将电流指示部分的工作选择开关置于测量位置

③ 逐渐增大信号电源输出，使电流指示于各档量程的满刻度处，同时记取各档交流电压表的读数为 V_i。

④ 用交流电压表的读数 V_i 除以仪器被测端取样电阻的阻值 R_i，即可得到磁化电流的真值 I_0：

$$I_0 = \frac{V_i}{R_i}$$

比较电流表的指示值与 I_0 之间的差值，看是否符合磁化电流指示误差的规定。

$$\text{相对误差}\ \delta_i = \frac{I - I_0}{I_0} \cdot 100\% \quad (13\text{-}48)$$

式中　I——电流表满刻度指示值；

I_0——磁化电流的真值。

69. 输出电流范围

range of output current

仪器所能提供的恒定电流的最低值到最高值的区间。

70. 输出电流指示误差

accuracy of output current indication

仪器所显示或指示的输出电流标称值与真值之间的差值。

注：输出电流范围和输出电流指示误差同时进行测试。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-37。

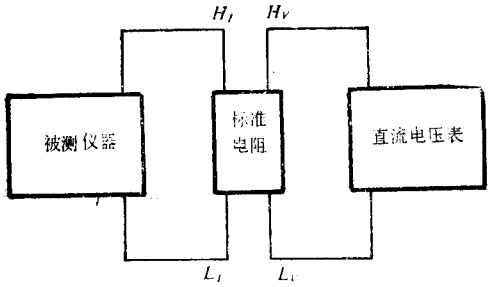


图 13-37

(2) 测试说明和要求

① 标准电阻与仪器的输出端相连，当仪器输出电流为 mA 状态时，四端子标准电阻为 1Ω，0.01 级；当电流为 A 状态时，标准电阻数值为 0.01 Ω/0.1 Ω，0.01 级，直流电压表并接于标准电阻另外两端，电压表测量误差应小于 ±0.05%。

② 连接仪器至电阻的导线应尽量粗短。

③ 测试条件为基准条件。

④ 仪器工作在 1A 状态下时，要求预热 30 分钟后进行测试。

(3) 测试步骤

① 测试顺序由小电流 mA 档逐步至大电流 A 档。

② 先看小电流 mA 档输出，调节仪器的输出大小，从零电流到满刻度的电流显示，并记取直流电压表读数。

③ 再看大电流各 A 档输出，调节仪器的输出大小，从零电流到满刻度电流显示，并记取直流电压表读数。

④ 计算真值电流：

$$I_0 = \frac{V}{R}$$

式中 V——直流电压表读数；

R——标准电阻值。

用仪器的显示电流数值与真值电流作比较，得到电流指示误差，应满足产品标准的要求。

$$相对误差 = \frac{I - I_0}{I_0} \cdot 100\% \quad (13\text{-}49)$$

式中 I——仪器显示值；

I_0——输出电流真值。

71. 输出电流稳定度

output current stability

在规定工作条件下，仪器的输出电流随时间保持不变的能力。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-37。

(2) 电路说明和要求

同“输出电流范围”、“输出电流指示误差”测试方法中“测试说明和要求”①～④项。

(3) 测试步骤

① 将仪器的输出电流调节到各档的最大标称值，并应用直流电压表和标准电阻测试各档输出电流的真值。

② 从直流电压表上读出开始计时时的读数 V_0 和 30 分钟后的读数 V_1，比较两者的差异，并计算出电流稳定度(每分钟)。

$$S = \frac{V_1 - V_0}{tV_0} \cdot 100\% \quad (13\text{-}50)$$

其中，t 为观察时间(分钟)，这里为 30 分钟。

72. 负载适用范围

load suited range

仪器在规定的输出电流下所适用的负载的最小值到最大值的区间。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 13-38。

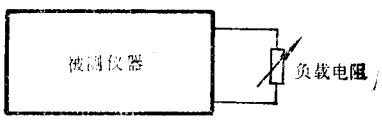


图 13-38

(2) 测试说明和要求

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 测试条件为基准条件。

② 仪器工作在 1A 状态下时，要求预热 30 分钟后进行测试。

(3) 测试步骤

① 测试顺序由小电流 mA 档逐步至大电流 A 档。

② 将仪器的电流输出端短路，调节仪器输出，使短路电流达到规定的各档最大标称数值。

③ 去掉短路负载，分别把规定的不同负载电阻接到仪器的输出端，并记取仪器的输出电流读数，其数值变化应不超过规定数值。

* * *　　* * *

本章技术指标及测试方法中所用主要测试仪器汇总列表如下。

表 13-3　主要测试仪器汇总表

仪器名称	参 考 型 号	检定规程编号
数字式频率计	E312(带 E312-1)、E324、E325 等	JJG349-84
数字万用表	HP3455、GSDT-890C,DMM2650	
交流电压表	HP400E	
信号发生器	XD-1, XFG-7, UX2、MCD16 MCD4C, MCD14, MCD21	
平衡指示器	UD9, WFG-1B, MCD4C MCD14,MCD16, MCD21	
功率放大器	MCD25	
低频电压标准源	DO-10 等	JJG410-86
直流数字电压表	PZ26B, PZ38 等	JJG (电子)05015-88
电容标准	HP16380A, HP16380C ULECH +进电容箱, CY1660?	
电感标准	BG9, 38-077, CO-18	
电阻标准	HP16074A, KZX-1A BZ3 0.01Ω, 0.1Ω, 1Ω, 0.01 级	
高频标准电容器	FJ16601	
高频标准电感器	FJ16701	
电容测量仪	FJ2816,CCJ-1B, CCJ-1C	JJG138-86
阻抗分析仪	HP4192A, HP4194A	JJG (电子)05007-87
多频 LCR 表	HP4274A, HP4275A	JJG(电子)05014-88
精密 LCR 表	HP4284A	
低频Q表	CJ2850 等	JJG(草案)
高频Q表	CJ2851, FJ2851, HP4342A	JJG (电子)05015-88
低频Q值标准量具	CJ16700 等	JJG69-90
高频Q值标准量具	CJ16701 等	JJG69-90
高频介质标准样品	JZP-1	
失 真 仪	KM6800	

www.789pdf.com 789书库网

第5节 元件参数测量仪按门类的量值传递表

1.综合参数测量仪

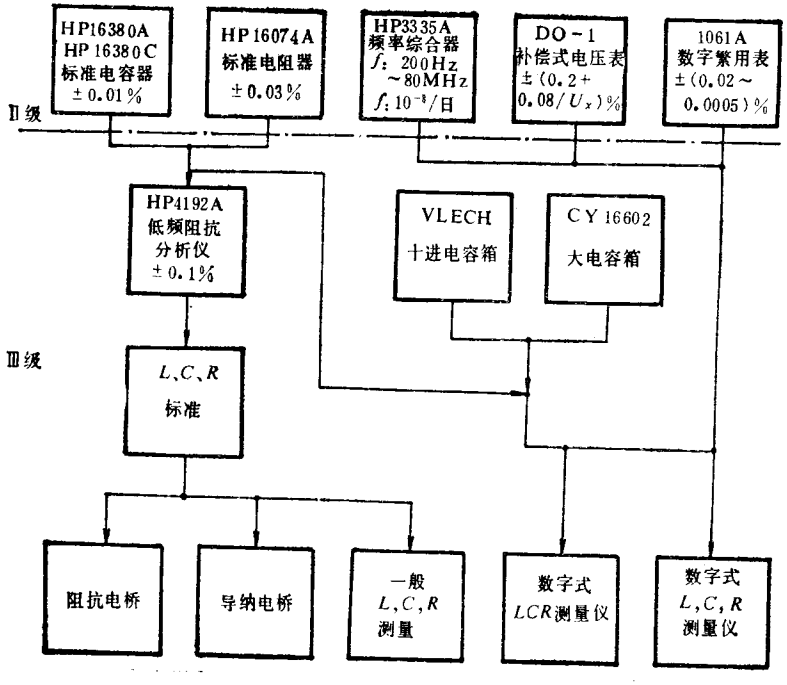


图 13-39

2.电感测量仪、磁性参数测量仪

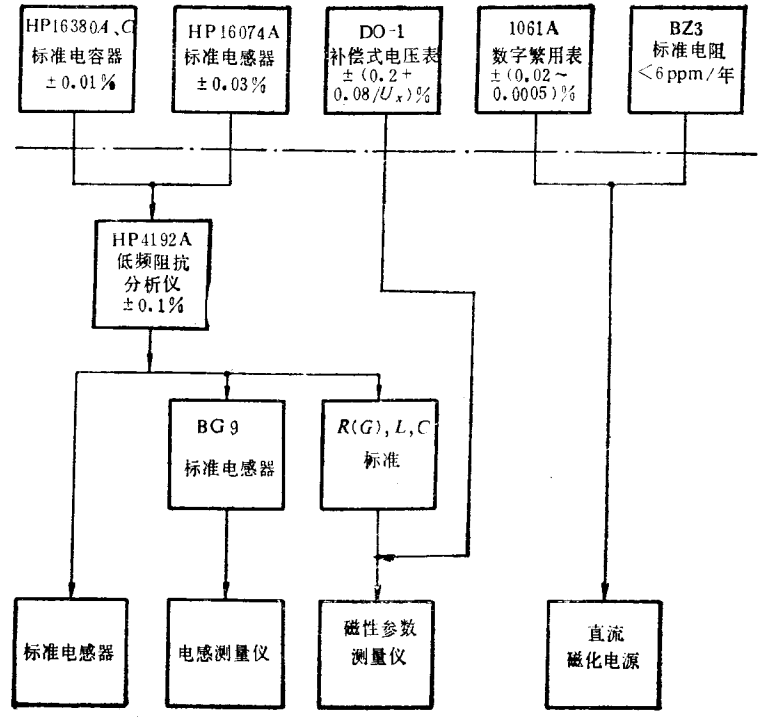


图 13-40

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3.Q 值测试仪器

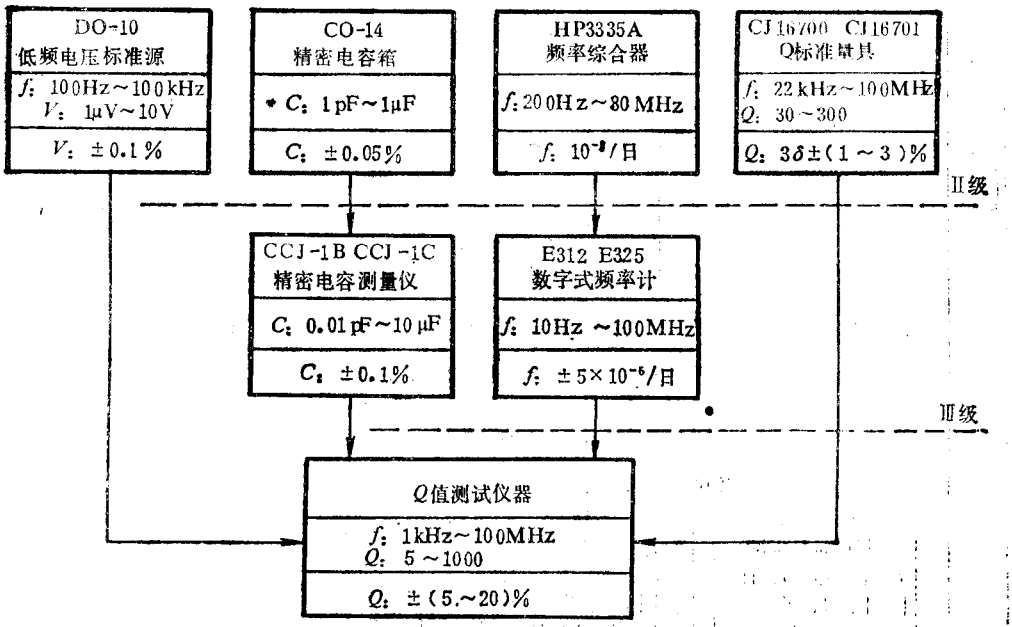


图 13-41

4.高频介质损耗测量仪

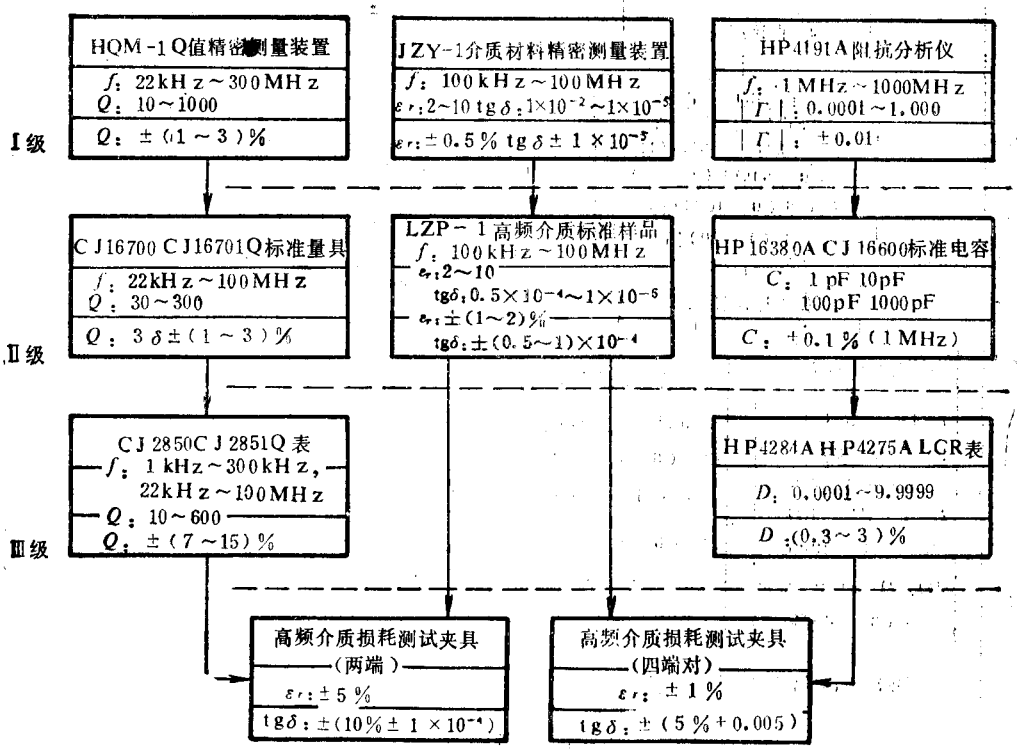


图 13-42

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5.射(高)频阻抗计量器具检定系统框图

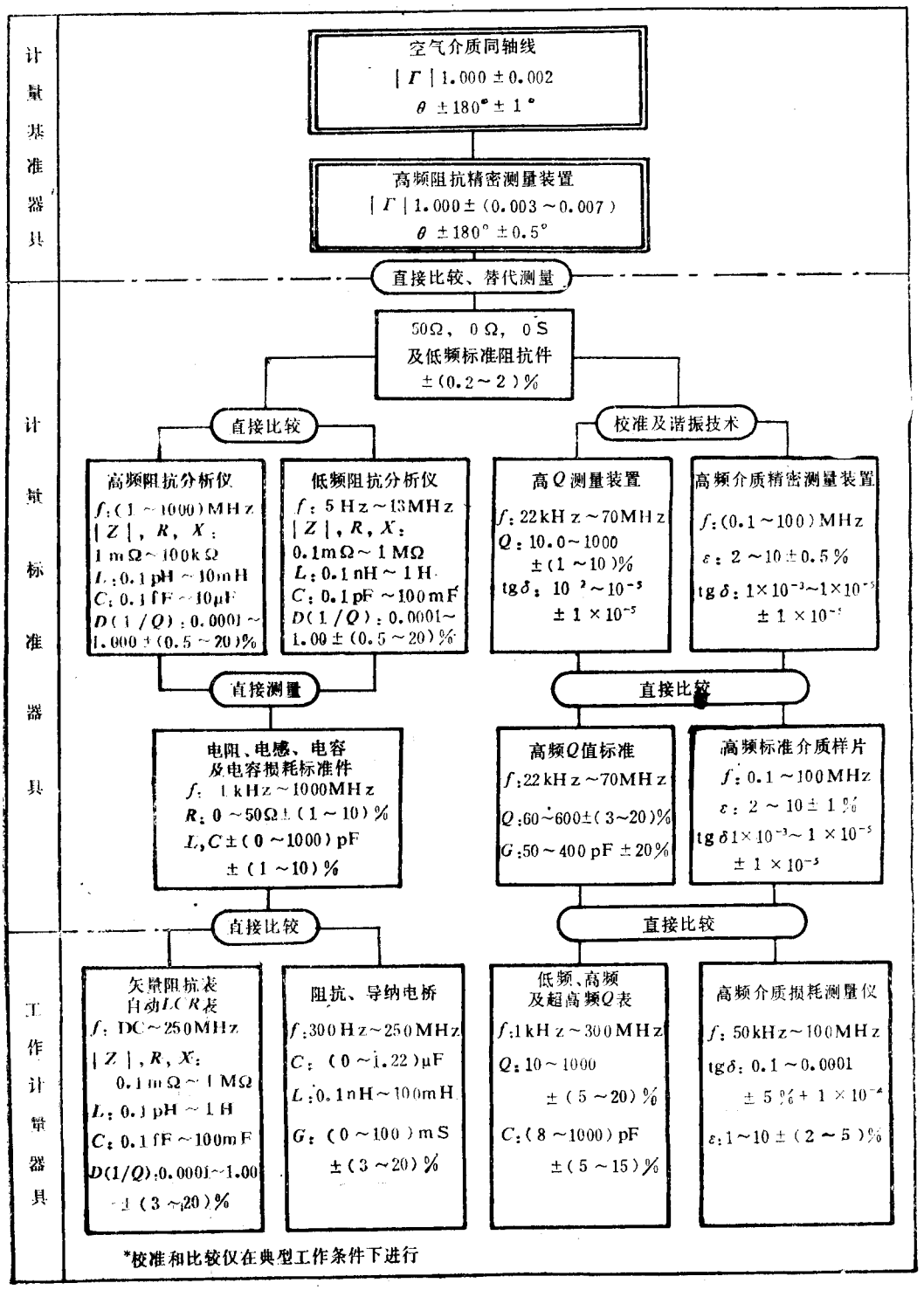


图 13-43

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

附录　元件参数测量的有关术语

1. 根据欧姆定律，在直流电路中，电阻是其上的电压与流过它的电流之比：

$$R = \frac{E}{I}$$

电阻的倒数是电导 G。

对于交流电路，由于电压和电流具有相关的相位和幅度，所以这个比值是一个复数，即阻抗

$$Z = \frac{E}{I} = R + jx$$

这里 R 是(交流)电阻，而 x 是电抗。

阻抗的倒数是导纳 Y

$$Y = \frac{1}{z} = \frac{I}{E} = G + jB$$

这里 G 是(交流)电导，而 B 是电纳。

2. 任何阻抗，不管它的物理结构如何，都可以在任何给定的频率上表示成电阻和电抗的串联形式或并联形式，如图 13-44 所示。

它们之间的相互关系为。

$$Z = R_s + jx_s = \frac{1}{Y} = \frac{1}{G_p + jB_p} = \frac{G}{G_p^2 + B_p^2} - j\frac{B_p}{G_p^2 + B_p^2}$$

或

$$Y = G_p + jB_p = \frac{1}{z} = \frac{1}{R_s + jx_s} = \frac{R_s}{R_s^2 + x_s^2} - j\frac{x_s}{R_s^2 + x_s^2}$$

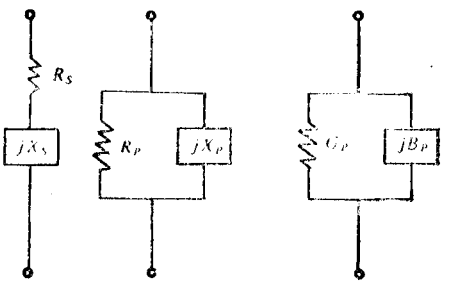


图　13-44

下标 s 和 P 分别表示串联和并联值。

也可采用并联电阻代替并联电导，$R_p = \frac{1}{G_p}$，并联电抗代替并联电纳，$x_p = \frac{1}{B_p}$，但 $R_p \neq R_s$，$x_p \neq x_s$。

损耗因数

$$D = \frac{R_s}{x_s} = \frac{x_p}{R_p} = \frac{G_p}{B_p}$$

品质因数

$$Q = \frac{1}{D} = \frac{x_s}{R_s} = \frac{R_p}{x_p} = \frac{B_p}{G_p}$$

利用上面各式，可得：

$$R_p = \frac{1}{G_p} = R_s(1 + Q^2)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$x_p = \frac{1}{B_p} = x_s(1 + D^2)$$

图 13-44 中的电抗既可以是电容也可以是电感，因此，在任何给定的频率上，一个阻抗可以看作等效电阻和电感 L 的组合或等效电阻和电容 C 的组合，它们的值随串联或并联而有所不同：

$$C_p = C_s\left(\frac{1}{1 + D^2}\right)$$

或

$$C_s = C_p(1 + D^2)$$

$$L_p = L_s\left(1 + \frac{1}{Q^2}\right)$$

或

$$L_s = L_p\frac{Q^2}{1 + Q^2}$$

电容器的 $D = \omega R_s C_s = \dfrac{1}{\omega C_p R_p}$

电感器的 $Q = \dfrac{\omega L_s}{R_s} = \dfrac{R_p}{\omega L_p}$

当前，带微处理器的 LCR 自动测量仪和阻抗分析仪都可以对元件进行串联和并联测量。一般，在阻抗小于 1000Ω 时，采用串联形式测量，阻抗大于 1000Ω 时，采用并联形式测量。

此外，从上列各式也可看出，如果 $D < 0.1$（或 $Q > 10$），串联值和并联值之间的差小于 1%。

3. 在阻抗或导纳的矢量表示中（见图 13-45），引入了角 θ 和 δ，它们和 D 与 Q 的关系如下：

$$D = \mathrm{ctg}\theta = \frac{R}{x} = \frac{G}{B} = \frac{1}{Q} = \mathrm{tg}\,\delta$$

$$Q = \mathrm{tg}\theta = \frac{x}{R} = \frac{B}{G} = \frac{1}{D} = \mathrm{ctg}\delta$$

$$\text{功率因数}\ PF = \cos\theta = \frac{R}{|Z|} = \frac{D}{\sqrt{1 + D^2}}$$

其中 $|Z| = \sqrt{R^2 + x^2}$，是 Z 的模值。

4. 端口对阻抗测量的影响

一个元件至少有两个端口，用两条线将元件接入回路测量，称二端测量，此外，尚有三端、

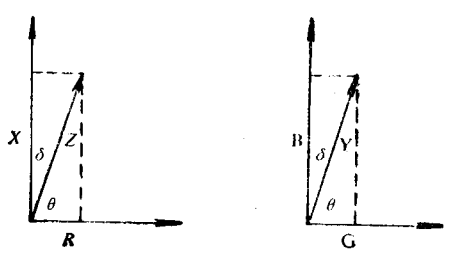


图 13-45

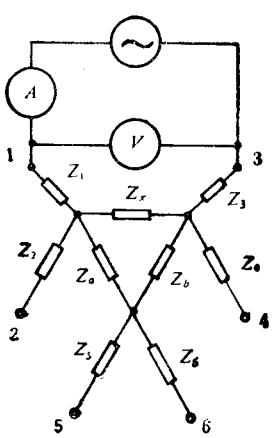


图 13-46

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

四端、四端对，五端等测量。

(1) 二端测量

二端测量是较常用的一种方法，其测量原理图如图 13-46 所示。

其中，Z_x 为被测阻抗，Z_a、Z_b 为与 Z_x 并联的旁路阻抗，Z_1 至 Z_6 为各引线串联阻抗，由测得的端电压和流过器件的电流，可算出被测值 Z_m：

$$Z_m \doteq Z_x\left(1+\frac{Z_1+Z_3}{Z_x}-\frac{Z_x}{Z_a+Z_b}\right)$$

当 Z_x 较小，或 Z_1、Z_3 较大时，由 Z_1、Z_3 串联阻抗引起的误差较大；当 Z_x 较大，或 Z_a、Z_b 较小时，由 Z_a、Z_b 并联阻抗引起的误差较大。

二端测量连接最简单，但不能作为较低或较高阻抗的精密测量。

(2) 四端测量

二端测量量得的端电压，尚含有 Z_1，Z_3 上的压降。若将接在 1，3 端之间的电压表接到 2，4 端之间，就变成了四端测量。此时电压表测得的电压，为 Z_x 上的真正端电压，则有：

$$Z_m \doteq Z_x\left(1-\frac{Z_x}{Z_a+Z_b}\right)$$

当 Z_x 小时，Z_a，Z_b 对测量影响也小，Z_1、Z_3 除降低测量灵敏度外，不引入其它误差。它适用于低阻抗精密测量。

(3) 三端测量

当 Z_x 较大时，四端法测得的电流误差大。若按图 13-47 连接，可测得真正流过 Z_x 的电流，称为三端测量，则有

$$Z_m \doteq Z_x\left(1+\frac{Z_1+Z_3}{Z_x}+\frac{Z_1}{Z_a}+\frac{Z_3}{Z_b}-\frac{Z_5Z_x}{Z_aZ_b}\right)$$

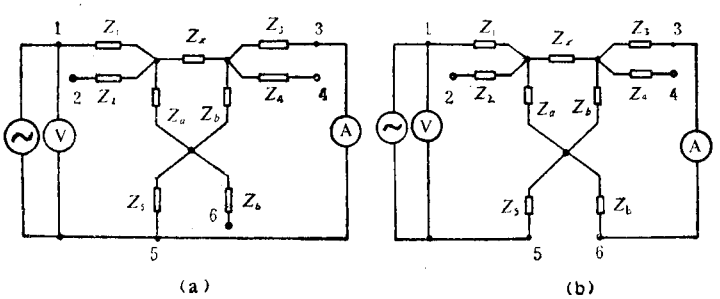


图　13-47

当 Z_x 较大，Z_1、Z_3、Z_5 较 Z_x、Z_a、Z_b 小时，可实现精确测量。这里关键是要有一个低输出阻抗的电压源和电流检测器，并有一个公共接点5。此接点有效地消除了通过第三端点与 Z_x 并联阻抗的影响，故称保护点。

若从第三端至保护点的连线较长，Z_5 较大，这相当于在 Z_x 上并联一附加阻抗，则增加了测量误差。若将图 13-47(a) 的单端保护改接成图 13-47(b) 的双端保护，则有：

$$Z_m = Z_x\left(1+\frac{Z_1+Z_3+Z_5+Z_6}{Z_x}+\frac{Z_1+Z_5}{Z_a}+\frac{Z_3+Z_6}{Z_b}\right)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

这样可消除上述附加阻抗的影响。虽然，这里用了四条接线，但仍为三端测量，称为双保护电路。

(4) 五端、六端、四端对测量

三端和四端相结合，构成了如图 13-48(a) 所示的五端测量。它集中了三端和四端测量的特点，可在宽阻抗范围内精确测量。

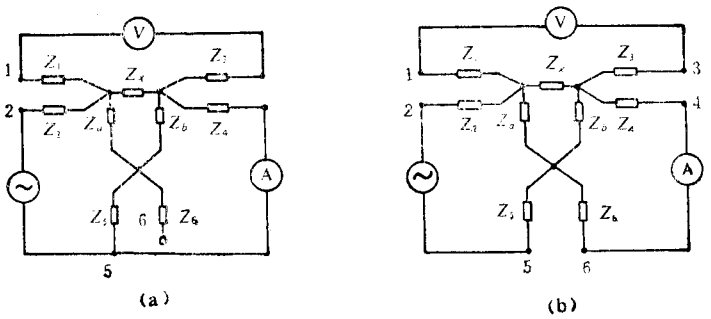


图 13-48

在这种情况下，

$$Z_m \doteq Z_x\left(1+\frac{Z_4}{Z_6}-\frac{Z_5 Z_x}{Z_a Z_b}\right)$$

若第五端(常为四引线的外屏蔽)至保护点的引线较长，Z_5 较大，则同样可用双保护法消除影响。如图 13-48(b) 所示，即为六端测量。则有：

$$Z_m = Z_x\left(1+\frac{Z_4+Z_6}{Z_b}\right)$$

五端和六端，对大多数精密测量已足够用，但电流和电压间引线的互感应，对高频低阻抗的高精密测量仍有影响，为此，又发展了一种四端对测量，如图 13-49 所示。

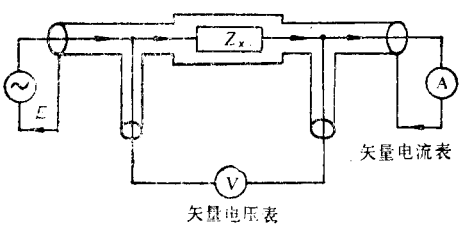


图 13-49

与五端测量相似，四端对测量也是用四条同轴屏蔽线与被测阻抗相接。不同的是，前者电流接线的外屏蔽，一般无电流通过，只起静电屏蔽作用；后者电流接线的外屏蔽，存在与内导线中等值、反方向的电流，其对电压线的互感应很小。但由于屏蔽线两端具有有效并联阻抗，因此仍有微小误差。

测量中端口的选择，要由被测对象的特点及测量的精确度要求而定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第14章 标量网络分析仪

第1节 综 述

标量网络分析仪，又称频响测试仪或幅度分析仪。它配上GP-IB接口，即称之谓自动标量网络分析仪。

标量网络分析仪的用途是在多倍频程内对微波元器件、部件及整机进行连续的插入损耗(或增益)、反射损耗(或驻波比)及绝对功率的扫频测量。

实际上，标量网络测试须由扫频信号源、信号分离器件和标量网络分析仪组成系统才能工作。

标量网络扫频测试技术迄今已发展到了相当成熟的阶段，它不仅能快速、连续、自动地显示被测件的宽带特性，而且能达到点频测试的相同精度。加上空气线技术和检波器精密校准技术，它的反射和功率测试精度可跟踪国际上最先进的计量标准。加上付里叶变换软件就可在频域测试仪器上进行时域测量，而且达到时域反射计的长度测试精度。

谈到标量网络分析仪的发展历史，我们首先介绍一些与其有关的关键技术。

早先，反射和传输测量都是在固定频率上逐点进行的，这种测量烦琐费时，而且常会得出片面的结果。例如，测量点之间的突跳点常被漏掉，滤波器和放大器的边缘响应可能误判。

自1952年第一个宽带高方向性定向耦合器问世之后便开始克服了上述困难，它在宽频带上对正向行波和反向行波分隔的能力，提高了单频测量速度，以后研制出大于40dB方向性的波导定向耦合器和30dB方向性的同轴定向耦合器。从1958年开始用于反射测量的定向耦合器可取代通常的开槽线测量。也在1958年研制出了40dB方向性UHF频段反射电桥，几年后，电桥频率扩展到X波段。1968年，Wiltron公司内装检波器的40dB方向性反射电桥(亦称驻波比自动测试器)，频率覆盖到S波段。当今HP公司高方向性反射电桥频率覆盖已从10MHz到47GHz。

1964年，HP和Alfred公司引用了对数放大器，增加了示波器或X-Y记录仪的动态范围，对数放大还是当今标量网络分析仪信号处理的基本技术。

1954年，扫频信号源(用马达带动的机械调谐速调管)诞生，扫频测量便成为可能。1957年出现了电压调谐返波管(BWO)，它具有较快、较精确的扫描时间，也解决了速调管存在的模式和统调问题，从而淘汰了机械调谐速调管。60年代后期研制出了固态扫频信号源，它克服返波管寿命短、功耗大、份量重的缺点。此后又发展成多倍频程连续扫频的固态源。

1971年微处理机问世，80年代初仪器智能化和通用接口技术的应用，提高了仪器的测试速度和精度，实现了测试自动化。

以上这些都是标量网络分析仪发展到今天这样水平的技术基础。下面我们再介绍标量网络分析仪本身的发展过程。

50年代末，HP公司生产了比值计，它允许反射或传输信号，以入射信号为参考，它加上示波器就组成了第一代标量网络分析仪。

它的基本原理是扫频源经1kHz方波调制过的信号输出，在进入被测器件前由一个定向耦合器分离出一部份入射信号作为参考信号，又有另一个定向耦合器分离出被测器件的传输或反射信

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

号，经检波后参考信号和测量信号进入比值计的“正交和差电路”，最后比值计输出二者的比，即被测试器件的传输损耗或反射损耗。

由于比值计实现了扫频测试。这使得测试速度大大提高。

但由于当时是用点接触式微波二极管检波，它的正切灵敏度不高，又由于选用 1kHz 调制频率、检波器的 1/f 噪声亦较大，这些限制了测试系统动态范围的低端，检波器平方律范围又限制了动态范围的高端，当时比值计测试系统的动态范围仅 40dB 左右。

70 年代初，美国 HP 公司推出了 HP8755 频率响应测试仪，70 年代末相继推出的有美国 PM 公司的 PM1038 和 Wiltron 公司的 560A，这些仪器即是第二代标量网络分析仪。因后两种机器带上了 GP-IB 接口，所以亦改称自动标量网络分析仪。

HP8755 奠定了现代标量网络分析仪的基础，它采用了三个信号通道，其中之一作为参考通道，用于“比值”测量，这大大改善了源失配和源输出功率不平坦对测试的影响，其余二个通道可同时进行传输和反射的测量，从而大大方便了测试操作。

HP8755 引用了对数放大器，这项关键技术提高了整机的动态范围，也使 CRT 显示器可进行线性刻度，提高了读数精度。对数放大器提高整机动态范围包括二个方面：其一是提高了信号放大通道的动态范围；其二可通过对数放大器的大信号级对检波器的大信号平方律偏离进行补偿。HP8755 机采用了低势垒肖特基二极管检波器，它比点接触二极管检波器的可靠性和动态范围有了很大提高。这种检波器的正切灵敏度可达 −50dBm，比点接触二极管检波器高 5dB 以上。又由于它的电气特性的一致性好，所以它很容易通过对数放大器对二极管大信号平方律偏离进行补偿，从而检波器上限功率电平可达 +10dBm 以上。使用这种检波器保证了标量网络分析仪的动态范围超过 60dB。

HP8755 提高了信号调制频率，从以前的 1kHz 提高到 27.8kHz。从而降低了 1/f 噪声，这有助于扩展标量网络分析仪低电平动态范围。

Wiltron 公司于 1972 年引入高精度反射测试方法。这是用纹波法分离不同距离的反射信号，以精密空气线作为阻抗标准，这使系统方向性提高到 60dB 的高水平。

这一代机器开始使用 GPIB 接口。用户可自行编程或购厂方的自动测试软件包，实现测试自动化。

这一代机器开始具有机内“规一化”功能，用以消除系统频响误差，大大提高了测试精度。

1982 年英国 Marconi 公司推出了6500自动幅度分析仪，1983 年美国 HP 公司推出 HP8756 机，PM 公司推出 PM1038-NS20 机，1984 年 HP 公司又推出 HP8757 机，1987 年美国 Wiltron 公司推出了 561 机，这就是第三代标量网络分析仪。这一代机器的主要特征是实现了“智能化”。它们内部带有微处理器并在机内存储器中固化了大量测试软件，信号采用了数字化处理，CRT 实现了全注释的字符、图形显示。这代机器提高了测量速度和精度，提高了整机的可靠性和稳定性，而且还提供了以前不可能提供的方便和操作性能。以 Marconi 6500 机为例，它装有 8085A-2 高速八位微处理器，内装 34K EPROM 和 12K RAM。

由于信号处理实现了数字化，整机分辨率提高到了 0.01dB。检波器大信号平方律补偿更加精确，使整机动态范围上限提高到 +16dBm，动态范围下限用“平均”方法，下移到 −55dBm。检波器的温度误差亦用“查表法”进行补偿，从而使标量网络分析仪可直读绝对功率，而且精度与普通功率计接近。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

由于机器"智能化"，"规一化"功能就变成软件中的几条子程序，不再有上一代机器中很复杂的专用电路板或专用的存储规一化器。由于"智能化"，CRT 具有全注释字符、图形显示功能，读数全部数字化，避免了读出误差，能自动选择刻度，使曲线显示最佳。能任意设置高低极限。可在 CRT 上任意改变读出单位。能自动显示最大、最小值等等。由于"智能化"，机器具有自测试、自诊断能力。

这代机器的 GPIB 接口全部改用大规模集成电路，大大减小了电路板的体积和造价，提高了可靠性。

这一代机器开始配用直流和交流二种检波器。直流检波器可用来测量绝对功率和测量各种有源、无源器件，交流检波器可提高正切灵敏度和抗干扰能力，但不能用于带 AGC 的放大和具有大的低频增益的放大器的测试，也不适用于窄带（<1MHz）器件的测试。

PM1038-NS20 配套检波器中有一种是用共面、全波、双二极管平衡检波器，它具有抑制二次谐波、改善直流漂移、提高正切灵敏度到－60dBm能力，使整机动态范围提高到 76dB。

HP、PM、Wiltron 等公司采用了"一体化"措施，系统配套齐全，不用外加控制计算机就可充分发挥标量网络分析系统中各种仪器的特有功能。Marconi 公司走了另一条路，它是用标量网络分析仪程控的斜波输出去控制扫频源的频率扫描，这使它的标量网络分析仪可与任何厂家的扫频信号源配套组成自动测试系统，从而降低了用户增添设备的开支。

最新一代机器，即第四代标量网络分析仪是 1988 年 PM 公司推出的 WMI8003 精密标量网络分析仪和 1989 年 Marconi 公司推出的 6501 精密幅度分析仪。

这一代机器的主要特征是应用了现代功率计处理信号的方法，达到了 90dB 动态范围和 ±0.04dB 线性精度。它的 1mW 校准输出精度达 ±0.7%，可跟踪 NBS 标准。

上一代标量网络分析仪，由于它有 ±1～±2dB 功率误差和通常只有 76dB的动态范围，这使得它的应用范围受到了很大的限制。而这一代精密标量网络分析仪，使高精度的绝对或相对功率和小信号扫频测量成为可能。

这一代标量网络分析仪都采用彩色显示器，具有四个显示通道和增加了许多方便用户的显示功能。

这一代标量网络分析仪的关键技术是采用了高精度功率计的电路结构。这包括以下几个方面：一是用线性增益放大级转接的方法，达到 100dB 以上的放大增益，而不是用通常的对数放大器。二是独特的自带的 50MHz 校准器，用以校准检波二极管的非平方律响应区（－20dBm 到 ＋20dBm），和提供 1mW 可溯源到 NBS 的绝对功率参考。三是每个检波器的频率响应用高精度的校准系统测得，然后把对应的校准系数存进各个检波器自带的 EEPROM 中，最后供标量网络分析仪在运行时读取并自动修正。

这一代标量网络分析仪提供了交流、直流工作模式指标相同的多种用途的检波器。除真有效值型检波器外，其余各种类型检波器的动态范围都达 90dB。单个K接头的检波器的频率范围就覆盖 0.01～40 GHz。2.4 或V接头检波器频率范围可扩展到 0.01～50GHz（但精密标量网络分析仪还未采用）。低驻波比型检波器是插入 6dB 低驻波比固定衰减器来改善驻波特性的。高功率型检波器是插入 10dB 低驻波比固定衰减器来增大 10dB 的功率上限。真有效值型检波器是插入 40dB 低驻波比固定衰减器，使信号落入检波二极管的平方律范围，但它的动态范围是从 ＋20 dBm～－30dBm，只有 50dB 的宽度。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

这一代标量网络分析仪为被测有源器件准备了可控的偏置电源。

这一代标量网络分析仪提供了二个 GPIB 接口和一个斜波输出接口。这二个 GPIB 接口一个是专用的系统 GPIB 接口，通过它，标量网络分析仪可直接控制如 HP、Wavetek、Wiltron、Marconi、Gigatronics 等公司的扫频信号源和一些绘图机、打印机、频率计等。另一个GPIB接口是用外加控制器时的通用 GPIB 接口。斜波输出接口使标量网络分析仪可与任何类型的扫频信号源配用。

以上介绍的标量网络分析仪都具有极宽的频带，都是覆盖了射频到微波频段的仪器。但不少用户与微波频段的测量无关，他们需选用射频标量网络分析仪。

目前国际上流行的射频标量网络分析仪出自于德国的 R/S 公司和美国的 Wiltron 公司。

R/S 公司的早期产品是 SWOB5，1985 年推出了 ZAS 机。Wiltron 早期产品是 640，1986 年推出了 6407 和 6409 机。这两家公司的早期产品都是模拟电路仪器，80 年代中期以后推出的机器都已智能化。

R/S 公司的 ZAS 标量网络分析仪，配用本公司的 SWP 扫频源，频率范围是 0.1～2500 MHz，动态范围是 76dB，使用有源解调器时可达 95dB。加上群延迟选件采用裂频（Split-frequency）技术，可进行最高分辨率为 1ns 的群延迟测量。该公司还提供方向性为 40/46dB 的高性能电桥，使整个系统可进行高性能的射频测量。

Wiltron 公司的 6407 和 6409 机都称之谓射频标量网络分析系统。之所以如此称谓，主要是它们内部都带有高性能的扫频信号源，因此它们使用特别方便。6407 的频率范围是 1～1000 MHz，6409 是 10～2000MHz。它们内带扫频源的高性能，主要是指它采用了每次扫频起点频率与晶体频率比较，给出频率补偿的“锁滚”技术，这使得整机具有 10kHz 分辨率和 ±100kHz 的单频精度，频率漂移优于 100kHz/h 和 25kHz/℃。该公司还提供齐全的系统附件，如方向性高到 46dB 的电桥，高性能负载等。

我国标量网络分析仪的发展情况是，机电部 860 厂在 1980 年开始生产 BT17 微波扫频图示仪，它是一种波导测试系统，频率范围是 3.3～12.4GHz，分六个波导频段。该厂 1983 年开始生产 QH3611 型扫频幅度分析仪，此为一通用型，频率范围为 0.01～18GHz。这二种仪器的主机大同小异，电路程式有些类似于 HP8755，但有较大的简化。它们的缺点是只有两个测试通道，即不能同时进行传输和反射的“比值”测量。

机电部四十一研究所于 1982 年鉴定了 BF101 型频响测试仪，技术指标达到了美国 HP 公司 70 年代初推出的 8755 机水平。当年移交机电部 768 厂生产，投产后，厂方型号改为 DH4131 型扫频幅度测量仪。

机电部四十一所又于 1987 年 2 月鉴定了 AV3611 型自动标量网络分析仪，技术指标（包括可靠性指标）完全达到了 Marconi 6500 机的水平。HP 公司是 1985 年具有这一水平的。Wiltron 公司是 1987 年 5 月才具备这一水平。这就是说，目前我国的标量网络分析仪的研究和生产技术已具有 80 年代国际水平。

国内生产射频标量网络分析仪已有较长的历史，机电部 860 厂在 1984 年投产的 BT-15A，频率范围是 0.5～1300MHz。但要分六个波段扫完，动态范围 60dB。1989 年 3 月机电部四十一所鉴定了 AV3613 型自动射频分析系统，这一台内装扫频信号源，带有“字符、图形 CRT 显示器”和 GPIB 接口的智能仪器的推出，改变了我国射频标量网络分析仪生产的落后状况，它的技术指

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

标相当于 Wiltron 公司的 6409机，即具有 80 年代中期国际水平。

至此，我们回顾一下标量网络分析仪的发展过程可以看到，从第一代发展到第二代仪器，无论是技术指标还是操作性能都有长足的进步，第三代特点是“智能化”而给操作者带来极大的方便，第四代在技术指标上又有了一次飞跃，而且操作性能上也有了相应的改进。将来的第五代机器将以怎样的面貌问世？现在看来，动态范围必须有待新的工作原理的出现才有可能进一步提高；频率范围只取决于检波器和定向电桥；波导系统会向 110GHz 以上频段扩展；同轴系统向 50GHz 以上扩展。从操作方便角度来讲，将来的机器可能会走射频标量网络分析仪的这条路，即将标量网络分析仪和扫频信号源合二而一。

国内外标量网络分析仪产品的主要性能指标，见表 14-1。

表 14-1　国内外产品重要性能指标对比表

类别	指　　标	国外代表性产品指标（HP8757A）	国内代表性产品指标（AV3611）
标量网络分析仪	频率范围	10MHz～100GHz	10MHz～40GHz
	动态范围	+16～−60dBm(交流检波器)	+16～−55dBm（直流检波器）
	频率分辨率	100kHz	10MHz
	幅度分辨率	0.01dB	0.01dB
	幅度准确度	0.1dB/10dB(+10dBm～−40dBm)	0.1dB/10dB(+10dBm～−40dBm)
	规一化功能	1601 点，0.01dB 分辨率	422 点，0.01dB 分辨率
	检波器频率响应	±0.5dB	±0.5dB
	电桥方向性	40dB	40dB 或 35dB 自选
		国外代表性产品指标（WMI8003）	国内代表性产品指标
精密标量网络分析仪	频率范围	10MHz～40GHz	
	动态范围	+20～−70dBm	
	绝对功率准确度	±0.7%(0dBm) 可溯源 NBS	
	功率指示线性度	±0.02dB（任何 20dB 范围） ±0.04dB（整个 90dB 范围）	
	检波器型式	交流和直流检波器具有相同指标	
	检波器频率响应	自带 EEPROM，其中已存入校准数据	
	CRT 显示器	彩色显示器	
	GPIB 接口	二个 GPIB 接口(一个专用接口，一个系统接口)	
		国外代表性产品指标（Wiltron6409）	国内代表性产品指标（AV3613X）
射频标量网络分析仪	频率范围	10～2000MHz	10～2000MHz
	频率分辨率	10kHz	10kHz
	频率准确度	±100kHz	±100kHz
	稳幅输出功率	+12dBm	+10dBm
	输出功率平坦度	±0.3dB	±0.3dB
	信号纯度	谐波 <−30dBc，非谐波 <−40dBc	谐波 <−30dBc，非谐波 <−40dBc
	动态范围	+16dBm～−55dBm	+16dBm～−55dBm
	幅度准确度	0.15dB/10dB(+10dBm～−40dBm)	0.15dB/10dB(+10dBm～−40dBm)
	显示分辨率	垂直 0.01dB，水平 10kHz	垂直 0.01dB、水平 10kHz
	规一化	800 点、0.002dB 分辨率	800 点、0.002dB 分辨率
	检波器频率响应	±0.5dB	±0.5dB
	电桥方向性	40dB	40dB

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第2节 分类和技术指标

标量网络分析仪可分两大类：

(1) 标量网络分析仪。

(2) 射频标量网络分析仪。

标量网络分析技术指标汇总表见表 14-2。

汇总表中所列技术指标较为齐全。具体到某个产品，因其电器结构或工作原理不尽相同，因此汇总表中有些技术指标是必须执行的，但有些指标可根据该产品的要求而定。

表 14-2 标量网络分析仪技术指标汇总表

序号	技术指标	标量网络分析仪	射频标量网络分析仪	序号	技术指标	标量网络分析仪	射频标量网络分析仪
1	频率范围	●	●	12	标记	●	●
2	动态范围	●	●	13	规一化	●	●
3	功率准确度	●	●	14	程控功能	●	●
4	检波器频率响应	●	●	15	频率准确度		●
5	扫频斜波输出*	●	●	16	频率漂移		●
6	扫频速度	●	●	17	稳幅输出功率范围		●
7	频率分辨率	●	●	18	输出功率平坦度		●
8	幅度分辨率	●	●	19	源驻波		●
9	偏置调节范围	●	●	20	信号纯度		●
10	垂直刻度范围	●	●	21	剩余调幅		●
11	平滑	●	●	22	剩余调频		●

* 此项指标只对有扫频斜波输出的标量网络分析仪适用。

第3节 技术指标及测试方法

被测标量网络分析仪及测试设备均应在各自产品标准中规定的预热时间后进行测试。

1. 频率范围

frequency range

有三种定义：

(1) 标量网络分析仪的频率范围取决于检波器，即检波器的频率范围。

(2) 智能化标量网络分析仪亦指主机内部软件设定的最宽显示频率范围。

(3) 射频标量网络分析系统是指系统的工作频率范围。

测试方法：

定义 (1)：在测试"检波器频率响应"时同时测定。

定义 (2)：用标量网络分析仪按键输入最低和最高频率，CRT 上显示相应频率范围。

定义 (3)：在测试"频率准确度"时同时测定。

2. 动态范围

dynamic range

标量网络分析仪可测量的最大和最小功率范围。

测试方法：在测试"功率准确度"时同时测定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3. 功率准确度

power accuracy

用 50MHz 单频测定的标量网络分析仪动态范围内的功率读数准确度(不包括由于失配、频率响应和源谐波引起的误差)。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 14-1。

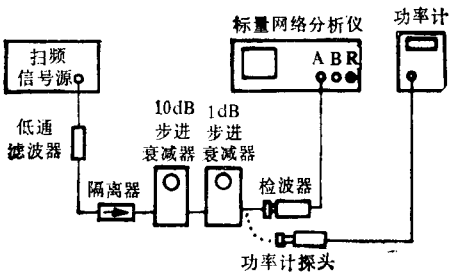


图　14-1

(2)测试步骤

① 调节扫频信号源,使其输出为单频、50MHz、+16dBm (此值由标量网络分析仪动态范围上限确定);

② 步进衰减器亦置于 16dB 位置,在功率计上补偿功率计探头在 50MHz 频率时的校准系数,接上功率计探头到衰减器输出端,细调扫频源功率输出,使功率计读数为 0dBm。

③ 取下功率计探头,接上标量网络分析仪的 A 探头,调衰减器衰减量分别为 0dB、16dB、26dB、36dB、46dB、56dB、66dB (最大衰减视标量网络分析仪动态范围的下限确定),对应标网上功率读数应是 +16dBm、0dBm、−10dBm、−20dBm、−30dBm、−40dBm、−50dBm,实际读数与这组读数之差即为功率误差。

④ 取下 A 探头,接上 B 探头,重复步骤③。

⑤ 取下 B 探头,接上 R 探头,重复步骤③。

4. 检波器频率响应

detector frequency response

检波器在 −10dBm 功率输入时,在其整个频率范围内,标量网络分析仪上功率读数的频率响应。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 14-2。

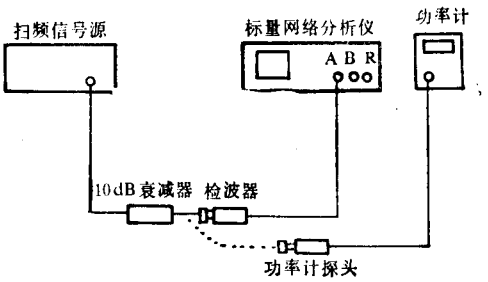


图　14-2

(2) 测试步骤

① 置扫频信号源于"手动扫频"和"内稳幅"状态,调扫频源频率在检波器频率范围的最低端,接上功率计探头,并在功率计上补偿功率计探头在此频率上的校准系数。调扫频源功率电平,使功率计指示 −10dBm。

② 取下功率计探头,接上标量网络分析仪的一个检波器,在标量网络分析仪上读取功率值。

③ 在检波器频率范围内,包括最高端频率在内再取九个测试频率(均匀分布)。在各频率点上重复步骤 ①、②。

④ 重复步骤①、②、③,对标量网络分析仪的另二个检波器进行测试。

5. 扫频斜波输出

ramp output

主要指标量网络分析仪 0～10V 扫频斜波输出的线性度。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 14-3。

(2) 测试步骤

① 置标量网络分析仪的 F_1 (扫源低端频率)为 0GHz,F_2(扫源的高端频率)为 10GHz。

② 把数字电压表接到标量网络分析仪的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

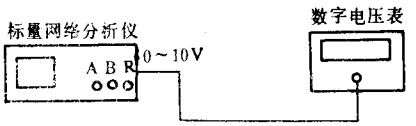


图 14-3

0～10V斜波输出的BNC接头上。再以0GHz、1GHz、2GHz、3GHz、4GHz、5GHz、6GHz、7GHz、8GHz、9GHz、10GHz 11个点为中心频率，作 ΔF 为0的窄带扫频。

③ 在数字电压表上读出这11个点的电压值，作为实测值 $V_{测n}$（n为0～10）。

④ 由 $V_{算n}=\dfrac{(V_{测10}-V_{测0})\times n}{10}+V_{测0}$ 求出这11个点的理想值 $V_{算n}$（n为0～10）。

⑤ 由公式 $V_{\Delta n}=|V_{测n}-V_{算n}|$ 求出这11个点的线性偏离值 $V_{\Delta n}$（n 为0～10）。

6. 扫频速度

sweep speed

频率扫描的重复时间。

测试方法：

（1）测试方框图，见图14-4。

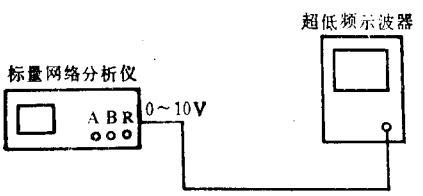


图 14-4

（2）测试步骤

用超低频示波器测量0～10V扫频斜波的重复时间。

7. 频率分辨率

frequency resolution

频率轴读出数字的最小间距。

测试方法：标量网络分析仪上，(扫频带宽/水平频率轴总点数)＜频率分辨率条件下，读出移动光标时频率轴的最小间距。

8. 幅度分辨率

amplitude resolution

功率轴读出数字的最小间距。

测试方法：

（1）测试方框图，见图14-5。

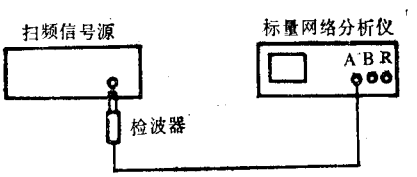


图 14-5

（2）测试步骤：微调扫频信号源的输出功率电平，读出标量网络分析仪功率读数的最小间距dB数。

9. 偏置调节范围

offset range

功率参考线的最大偏移范围及最小偏移间距。

测试方法：调节标量网络分析仪上的“偏置”旋钮(或按键)，读出它的最大偏移范围和最小偏移间距的dB数。

10. 垂直刻度范围

vertical scale range

每格dBm数范围及最小增量。

测试方法：在标量网络分析仪上用按键输入最大和最小dBm/格数及改变dBm/格的最小增量数。观察刻度变化，并保证无出错显示。

11. 平滑

smoothing

用数字或模拟的方法去降低迹线噪声的功能。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：标量网络分析仪接上检波器，按平滑或取平均键，观察检波器的白噪声迹线的线宽变化。

12. 标记

markers

光标数量和频率分辨率。

测试方法：在标量网络分析仪上，用标记键打出光标，并计数量。在 $\frac{\text{扫频带宽}}{\text{水平频率轴总点数}}$ <标记频率分辨率的条件下，读出标记频率移动的最小频率间隔。

13. 规一化

normalization

它是把测试系统频率响应存入标量网络分析仪的寄存器，然后从测试结果中减去这组数据的功能，即消除系统频率响应影响的功能。

测试方法：

（1）测试方框图，同图 14-5。

（2）测试步骤：把扫频源输出功率曲线存入标量网络分析仪的任一规一化存储器，然后从当前显示的扫频源输出功率曲线上减去存储器内容，这时显示器上应显示在 0dB 位置的一根直线。

14. 程控功能

programmable functions

标量网络分析仪通过 GPIB 接口接受其程控代码一一对应的操作功能（GPIB 接口的传数速度，因用作系统控制机的计算机机型不同而不同，所以此项指标难以统一规定）。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 14-6。

图　14-6

（2）测试步骤：由 GPIB 控制计算机发送标量网络分析仪的程控代码观察标量网络分析仪远地控制的执行情况。

15. 频率准确度

frequency accuracy

射频标量网络分析仪输出信号实际频率与要求的频率差。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 14-7。

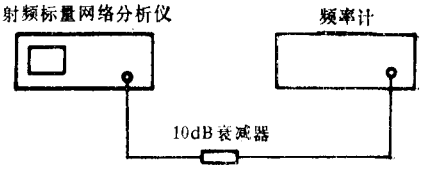


图　14-7

（2）测试步骤：置射频标量网络分析仪于 ΔF 扫频和带宽为零的状态，在射频标量网络分析仪全频带内均匀选取 11 个频率测试点（包括频带最低和最高频率），作为 ΔF 扫频的中心频率 f_0，由频率计测出这 11 个实际输出频率 f_m，则得11组 $f_m - f_0$ 频率误差值。

16. 频率漂移

frequency drift

它包括 1 小时频率漂移，±10% 电源电压变化的频率漂移和 3:1 负载驻波引起的频率漂移。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 14-7、14-8、14-9。

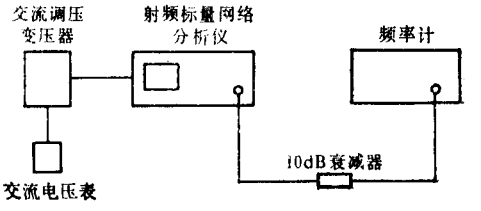


图　14-8

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

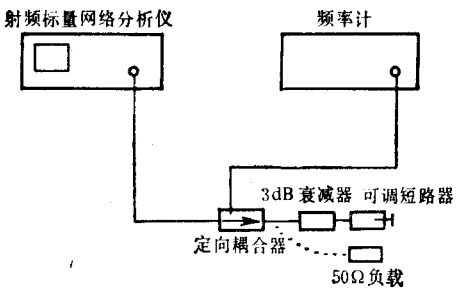


图 14-9

(2) 测试步骤

① 按图 14-7 接好仪器，接通电源，预热一小时，在射频标量网络分析仪的输出频率范围内任选一个频率(一般选频率范围高端)，功率电平 3 dBm，等待半小时，记下频率计读数，经 1 小时后再读数，两次读数之差即是 1 小时频率漂移。

② 按图 14-8 接好仪器，将调压器的输出电压调到 220V，射频标量网络分析仪的输入出信号频率调到频带中心，记下频率计的读数。改变调压器的输出电压为 198V 及 242V，在频率计上读出二个数值，后二个读数分别减去第一个读数，这就是频带中心 ±10% 电源变化的频率漂移。再在射频标量网络分析仪的输出频率范围内均匀选取另四个频率测试点（包括频带最低和最高频率）重复前述测试。

③ 按图 14-9 接好仪器，将射频标量网络分析仪的输出信号频率调到频带中心，输出电平 +10 dBm，在定向耦合器的输出端接上 50Ω 负载，记下此时的频率读数。取下 50Ω 负载接上 3dB 衰减器和可调短路器，反复全程调节短路器，读取变化最大的频率读数。求出此数与接 50Ω 负载时测得的频率之差，即是 3:1 负载驻波引起的频率漂移。再在射频标量网络分析仪的输出频率范围内均匀选取另四个频率测试点(包括频带最低和最高频率)，重复前述测试。

17. 稳幅输出功率范围

leveled output power range

稳幅输出功率变化范围及功率调节的最小步长。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 14-10。

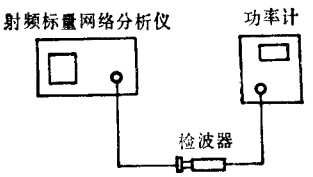


图 14-10

(2) 测试步骤：置射频标量网络分析仪于内稳幅，100 秒全频带自动扫频状态(如射频标量网络分析仪无 100 秒扫速档，则用窄带扫频方式，窄带带宽为零，手动慢慢调节中心频率，使频率扫过全频带时，时间超过 100 秒；也可以通过 GPIB 接口控制，并加上足够的延迟，使扫速超过 100 秒)。在功率计上补偿功率计探头在此频段上的校准系数，调射频标量网络分析仪输出功率到稳幅功率电平的最大值，在整个扫频带宽内；读出功率计的最小读数，调射频标量网络分析仪输出功率到稳幅功率电平的最小值，在整个扫频带宽内，读出功率计的最大读数。微调射频标量网络分析仪的输出功率电平，在射频标量网络分析仪上读出功率计读数变化的最小间隔。

18. 输出功率平坦度

output power flatness

稳幅输出功率在全频带内最大和最小值之差的二分之一。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 14-10。

(2) 测试步骤

① 在功率计上补偿功率计探头在此频段

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

上的校准系数。

② 置射频标量网络分析仪于内稳幅、100 秒、全频带自动扫频状态(如射频标量网络分析仪无 100 秒扫速档，处理方法与“稳幅输出功率范围”中有关内容相同)。调输出功率到额定最大稳幅功率电平。在整个扫频带宽内读出功率计的最大和最小 dBm 读数，求出此二数差的一半。

③ 降低射频标量网络分析仪的射频输出 10dB，再在整个扫频带宽内读出功率最大最小 dBm 读数，求出此二数差的一半。

④ 取②、③测试结果的大者。

19. 源驻波

source match

射频标量网络分析仪工作在全频带扫频状态时，射频输出端口的最大驻波比。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 14-11。

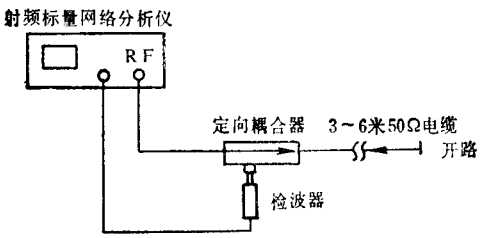


图　14-11

(2) 测试步骤

① 置标量网络分析仪于全带宽扫频状态，功率输出为 +10dBm，在显示器上显示出起伏波纹。读取其中相邻的波峰与波谷落差最大的差值 ΔXdB。

② 根据公式 $10\lg(V_{max}/V_{min})=\Delta X$ 求出 V_{max}/V_{min} 比值，以及所用电缆的损耗 dB 数，查图 14-12，得源驻波比。

20. 信号纯度

signal purity

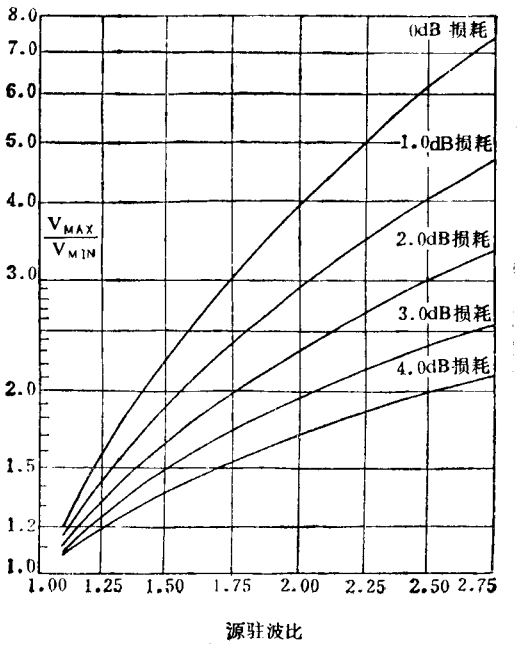


图 14-12　示波器显示与源驻波比换算图

在全频带内，相对于基波电平的谐波和非谐波电平的最大量值。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 14-13。

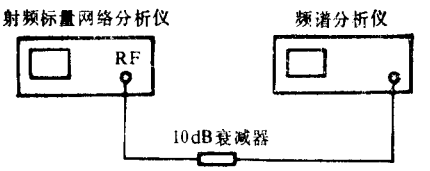


图　14-13

(2) 测试步骤：置射频标量网络分析仪于单频工作状态，输出频率调到频带低端，输出功率为 +10dBm。在频谱仪上观察二次及三次谐波相对于基波，以及非谐波相对于基波的电平读数。向上调节射频标量网络分析仪的输出频率到频带高端，在频谱分析仪上观察二次及三次谐波相对于基波，以及非谐波相对于基波的电平读数变化，分别读取最大值。用 dBc 表

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

示。

21. 剩余调幅

residual AM

在全频带内，相对于信号电平的寄生调幅信号电平的最大量值。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 14-14。

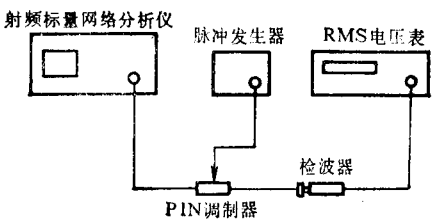


图 14-14

(2) 测试步骤

① 置射频标量网络分析仪于单频工作状态，输出频率调到频率范围的低端，输出功率调到最大额定稳幅输出值。

② 一般射频标量网络分析仪无射频信号加方波调制功能，在此外加 PIN 调制器和脉冲发生器。调脉冲发生器输出为 1kHz 方波，幅度为 +10V 左右，再调脉冲发生器的"OFF SET"旋钮，使输出移动到 ±5V（因 HP11665B PIN 调制器正向偏置为开态，负向偏置为关态）。

③ 关掉脉冲发生器的电源，在 RMS 电压表上读出检波器检出的寄生噪声电平 V_1。接通脉冲发生器的电源，再在 RMS 电压表上读出检波器检出的信号方波包络电平 V_2。

④ 计算剩余 $AM = 20\lg\frac{V_1}{V_2} - 9\text{dB}$（−9dB 是 RMS 电压表的方波响应和检波器的平方律偏离的修正量）。

⑤ 再在射频标量网络分析仪的频率范围内（包括频带高端）均匀选取另四个频率测试点。重复频骤③和④，找出五次测试中最差数据（绝对值最小者）。

22. 剩余调频

residual FM

由于电源等引起的信号频率调频的峰值偏移。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 14-13。

(2) 测试步骤

① 射频标量网络分析仪复位，置单频工作状态，射频输出功率为 +10dBm 和频率为 10MHz

② 测频谱仪中频响应曲线的鉴频斜率，方法是断开频谱仪的射频输入，置频谱仪中心频率为 0MHz，分辨率带宽 300kHz，视频带宽 10kHz，对数显示形式，在 CRT 上调出频谱仪的本振漏信号，使它对中并与顶部参考线对齐，把垂直刻度置于 1dB/格。调参考电平。中心频率和降低扫频宽度到 200kHz 左右，使钟形的中频响应曲线的一半基本上占满 CRT 屏幕，用 Δ 光标功能置一个光标在参考线以下一格的曲线上，另一个光标在底线以上一格的曲线上（垂直共 10 格）。读出光标之间的频率差，除以 8（10 格减上下二格），得鉴频斜率（HP 8566A 约 20kHz/格）。

③ 接上频谱仪的射频输入，300kHz 分辨率带宽和 10kHz 视频带宽不变，在频谱仪上调出射频标量网络分析仪的输出信号并对中，使顶端与参考线对齐，使显示垂直刻度为 1dB/格，降低频谱仪的扫频带宽，同时调频谱仪的频率旋钮，以保持信号对中，一直到扫频带宽为零（频谱仪变为时域显示器）。降低参考电平 8dB，调中心频率使曲线位于屏幕中心，降低频谱仪扫速到 1 秒。这时应显示解调出的寄生调频信号波形，测出其峰-峰值占的垂直格数。则

$$\text{剩余 } FM = \text{峰-峰格数} \div 2 \times \text{鉴频斜率 (kHz/格)}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

*　*　*　　*　*　*

本章技术指标和测试方法中所用主要测试仪器，汇总列表如下。

表 14-3　主要测试仪器汇总表

仪器名称	参　考　型　号	检定规程编号
扫频信号源	HP8350B + HP83592B	
频率计	HP5340A	
频谱仪	HP8566A	
功率计	HP436A + HP8481A	
超低频示波器	TD4651 天津电子仪器厂	
GPIB 控制计算机	HP9836	
5½ 数字万用表	7150（英）Solartron	JJG（电子）09004-88
RMS 电压表	HP3400A	
脉冲发生器	HP8013B	
步进衰减器	HP355C + HP355D	
PIN 调制器	HP11665B	
定向耦合器	HP778D	
可调短路器	TD1 上无26厂	
3、10 dB 同轴衰减器	HP8491B	
50Ω 负载	26N50（美）Wiltron	
低通滤波器	TLD-2 上无26厂	
隔离器	GT12-1 金川无线电器材厂	
交流调压器	V0～500 天津市东风电机厂	

第 4 节　标量网络分析仪量值传递表

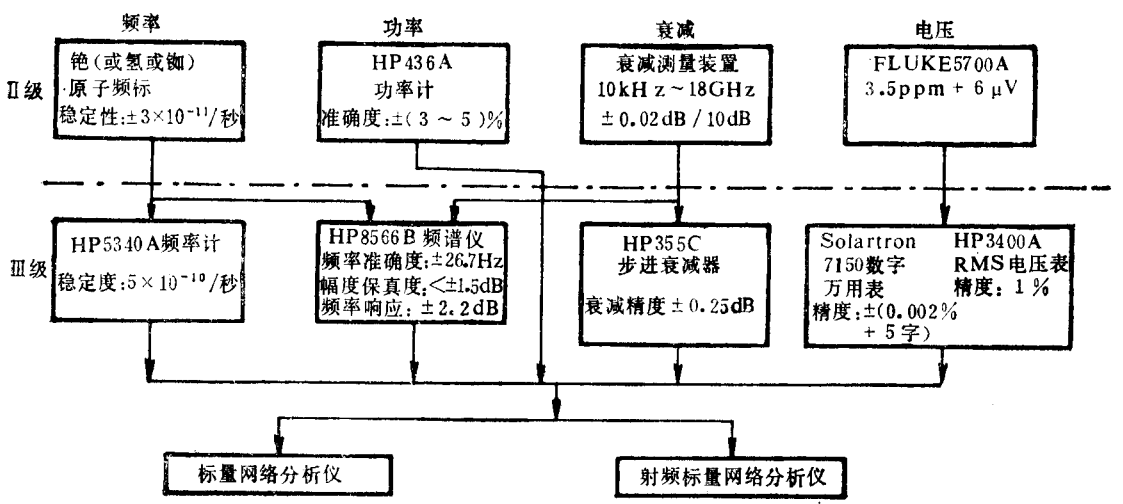


图　14-15

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第 15 章　矢量网络分析仪

第1节　综　　述

任意一个微波元器件或微波电路都可以等效成一个网络，可用散射参数即 S 参数来表征微波网络的特性。一个二端口网络有四个散射参数，其中包括二个反射参数（S_{11}、S_{22}）及二个传输参数（S_{21}、S_{12}）。这些散射参数均为矢量，它们包含了模值和相位。微波元器件的插损、衰减、隔离度、方向性、相移、群延迟、驻波比、反射系数以及微波晶体管的参数、滤波器的滤波特性、热敏电阻的效率等几十个参数均可由 S 参数导出。由于 S 参数在微波理论分析中应用方便且易于测量，所以精确而快速地测量它具有很重要的意义。用于测量网络 S 参数的仪器被称为网络分析仪。网络分析仪可分为两大类：标量网络分析仪和矢量网络分析仪。只测 S 参数模值的称为标量络网分析仪。由于标量网络分析仪具有价格低廉、实用方便等优点，也获得了广泛的应用和不断的发展。能全面测量 S 参数的模值及相位的称为矢量网络分析仪。微波、毫米波矢量网络分析仪包括双四端口和六端口两种。以双四端口技术为基础的 HP8510C 代表了当代矢量网络分析仪的国际水平。六端口技术虽然受到计量部门及高等院校的重视和研究，但综合性能及商品化工作尚有较大差距。

新一代的矢量网络分析仪综合了当今世界在微波、毫米波技术、电路技术、数字技术、计算机软硬件技术等的一系列最新成果，做到了同时满足多功能、宽频带、高分辨度、高准确度、大动态范围、快速实时、使用方便等要求，具有极广泛的用途。随着脉冲压缩及相控阵雷达技术的发展，不仅要求测量元器件的幅度特性，而且要求测量相位特性。一台全固态相控阵雷达可具有成千上万个由微波集成组件组成的有源发射接收单元，例如美国在海湾战争中使用的"爱国者"地空导弹系统中，一部 C 波段的相控阵雷达承担了监视、敌我识别、跟踪和制导的全部任务，它共有 5161 个辐射元。在其研制生产过程中要求对每个单元在多个频率及多个功率电平上测量其幅相的性能指标。这样大的工作量要快速准确地完成，只有应用现代的自动矢量网络分析仪才能满足要求。新一代矢量网络分析仪还是微波电路计算机辅助设计的基础，它不仅可以准确测量无源电路及有源器件的 S 参数，还可通过 HP-IB 接口直接与 CAD 工作站相连，可将器件的测量结果方便地转变为 CAD 程序格式以便于电路模拟，许多 CAD 软件可直接访问网络分析仪的数据，可以从它建立的磁盘文件中读取数据，从而大大促进微波 CAD 的推广应用。自动矢量网络分析仪还可用于传输线分析、天线测量、雷达反射截面积（RCS）测量、材料特性（介电常数和磁导率）测量等。更值得注意的是矢量网络分析仪与高速光电转换技术相结合而研制成功的光波元器件分析仪具有很大的应用前景。

网络参数的测量技术有一个发展的过程。早在 1934 年贝尔实验室设计了一种测量方法，在宽频带内逐点改变频率，在示波器上显示复传递函数与频率关系的极座标图。1947 年 Werthen 等人利用上述原理制成"自动阻抗计"，可以测量二端口网络的复反射系数。1951 年 Alsberg 利用该原理实现了扫频的复阻抗测量。1955 年 Bachman 提出了一种在微波电路中类似于平衡调制器和 90° 移相器的电路来显示反射系数。1958年 Kinnear 叙述了一种用单边带调制器的外差

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式微波网络分析仪。1962 年贝尔实验室研制了一台高精度的传输系数测量装置，采用精密电阻衰减器串联替代法测量插损，通过检测出参考和测试通道正弦波信号的过零点，形成脉冲，由过零脉冲间的时间间隔得到相应的相位差。到 1966 年将频段扩展到 4.2GHz。1969 年贝尔实验室制成计算机控制的传输参数测量装置，频率范围为 50Hz～250MHz。在此基础上于 1972 年制成完整的测量损耗、相位和反射的自动化测量装置。

HP 公司于 1966 年生产了第一台微波矢量网络分析仪 HP8410A。其工作频率范围为 0.11～12.4GHz，采用取样变频和锁相技术。开始配有反射和传输测试单元，后又增加了 S 参数测试单元，可以多种方式显示被测参数的幅度和相位。两年后，即 1968 年 HP 公司推出了自动网络分析仪 HP8540，这是世界上第一台计算机控制的微波自动测试仪器，开创了微波测量技术的新纪元。它配用的是小型机 HP2116，最大存储量为 32K × 16bit。1970 年以后又陆续改进为 8542A～8542C，主要着眼于改进测量准确度，进行 8 项或 12 项误差修正。仪器仍存在着体积庞大、功耗大（6kW）、专用接口、安装复杂、价格昂贵等缺点。当时的商品覆盖的频率范围为：微波网络分析仪 HP 8542 是 110 MHz～12.4 GHz，射频网络分析仪 HP 8507B 是 500 kHz～1.3GHz。

与此同时，许多厂家先后开展了自动网络分析仪的研制工作，如通用无线电公司的 Model 2260，Texas 仪器公司和 Scientific-Atlanta 公司为美国海军研制的全自动化天线、接收发送测量装置。Systron-Donner 公司研制的 CATS 3600 自动化微波测量装置能测量调频调幅单边带收发机。以上尽管方案众多且各具特色，但所用的基本测量原理和方法大体一致。1974 年美国 NBS 对商品网络分析仪作了一些改进，将其准确度提高了一个数量级，并在自动网络分析仪的校准用的标准件方面做了很多研究工作，用以验证网络分析仪的准确度。

1975 年 HP 公司第一次公布了 HP-IB 标准接口母线，这是测量自动化进程中的革命性事件之一。与此同时出现了带 HP-IB 接口的可程控台式计算机。同年 HP 公司将 HP8410A 改型为 HP8410B，上限频率扩展到 18GHz。1976 年公布的 Application note 221 指导用户用 HP8410B、HP9825A 控制机和 HP11863A 应用软件包自行组合半自动网络分析仪，并随即推出了由生产厂商配置的第二代自动网络分析仪系统——HP8409，它采用多倍频程固态扫频源和 12 项误差修正。同时生产的有其普及型 HP8408B，采用 HP-85 个人计算机及 8 项误差修正。

1985 年 HP 公司推出了第三代网络分析仪——HP8510A。它以先进的微波技术与高速的计算机软硬件技术相结合，形成了合为一体的独特结构。可以说是“仪器蚕食了计算机”。其频率范围为 45MHz～26.5GHz，幅度分辨度达 0.001dB，相位分辨度达 0.01°，群延迟分辨度达 0.1ps。动态范围为 80～100dB。数据处理速度提高三个数量级，可在 800ms 内对 401 个点完成经误差修正的测量，基本做到实时测量。机内使用多个微处理器，其主 CPU 为 Motorola 68000，内存总存储能力为 256K 字节 RAM、256K 字节磁泡和 26K 字节 ROM，自动进行对方向性、源失配、负载失配、串扰、频响等 12 项误差的修正，能进行时域/频域转换。1987 年 HP 公司又推出经进一步改进的 HP 8510B。主 CPU 改用 32 位的 68020，采用 1M 字节 RAM，同轴系统频率上限扩展到 40GHz，增加了由机内控制的外接磁盘驱动器。为了满足现代军事技术发展的需要，增加了天线测量、雷达反射截面测量、射频脉冲测量、材料特性（ε_r 和 μ_r）测量、谐振器测量、微波变频器测量等应用软件。并采用谐波混频技术将网络分析仪扩展到整个毫米波频段，包括 R（26.5～40GHz）、Q(33～50GHz)、U(40～60GHz)、V(50～75GHz)、W(75～100GHz) 五个波段的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

波导系统，使 8510B 的工作频率范围扩展到 45 MHz～100GHz。

1987 年美国 Wiltron 公司推出了 360 型微波矢量网络分析仪，打破了由 HP 公司在微波矢量网络分析仪市场上的一统天下。它是第一台提供 SMA 型同轴校准件的矢量网络分析仪，采用专用频率综合器设于机内，每个频率点测量时间达 2ms，设有 3.5 吋磁盘驱动和 720K 字节的存储量，采用 MS-DOS 数据格式，易于与 IBM-PC 微机和软件兼容。具备了四通道同时彩色显示的功能。在小信号时采用了数据平均技术及压缩中频带宽(最小到 10Hz)的方法提高了仪器的动态范围(在 0.04～20GHz 频率范围内达到 140dB)，同时可配套 Q、U、V、W 四个波段的毫米波波导系统，使仪器的上限频率高达 110GHz。

1990 年底 HP公司又推出了 HP8510C。增加了 HP8517 S 参数测试装置，使同轴系统频率覆盖扩展到 45MHz～50GHz，改用 19cm 高分辨率和 16 种颜色显示器对四个 S 参数同时显示。用 3.5 吋软盘驱动器取代了磁带机，测试速度进一步提高三倍，时域变换速度提高 16 倍。

与此同时，在 80 年代，许多厂家开展了毫米波矢量网络分析仪的研制生产。例如日本安立公司生产的 47816H 三毫米矢量网络分析仪，频率范围为 75～110GHz，频率分辨度达 100Hz，动态范围 70dB，有效方向性为 35～45dB。美国休斯公司生产的 MPD4381XH，频率范围为 26.5～170GHz，分 Ka、Q、U、V、E、W、F、D 八个波段波导系统，频率分辨到 100Hz，谐波抑制 −26 dBc，有效方向性为 35～40dB，有效源匹配为 35～40dB。霍尼韦尔公司的 1020 和 1022 型毫米波网络分析仪分别覆盖 26.5～40GHz 及 33～50GHz，有效方向性达 40dB。

我国矢量网络分析仪的研究起始于 1974 年，参考样机为 HP8410A/B。1980 年始见产品，最早投产的为上无 26 厂的 BO11，配有传输和反射测试装置。766 厂首先鉴定了频率上限达 4GHz 的手动网络分析仪 QF3610T1；并以 HP-85 为控制机实现了自动控制和数据处理；近年来与航天部 203 所合作在 PC 机上实现全误差修正。以上两种产品都采用双锥腔取样器。767 厂生产了 HW1 型网络分析仪，改用微带取样器，增加了 S 参数测试装置和晶体管测试夹具，并尝试用低档次的微机做误差修正，已生产销售 60 台以上，还远销罗马尼亚。上述三个厂家生产的网络分析仪的频率范围均为 110MHz～12.4GHz。

1972 年美国 NBS 的 Engen 和 Hoer 提出了“六端口”自动网络分析仪的概念及其精确测量技术。六端口矢量网络分析仪是通过测量功率来确定被测网络的参数，即通过幅度信息的测量得到相位信息。因此可以节省价格昂贵的的仪器及复杂的电路技术，可适用于极宽的频率范围。美国国家标准局自70年代至80年代一直致力于六端口网络分析仪的开发，现已建立的六端口系统覆盖频率范围 10MHz～110GHz。此外，美国 Micro-Now 公司生产的 5301-28 及 5301-22 型六端口网络分析仪覆盖频率为 26.5～40GHz 及 33～50GHz，有效方向性达 50dB。英国 Fiann 微波公司生产的 81000-22 及 81000-27 波导六端口网络分析仪的工作频率分别为 26.5～40GHz 及 90 GHz，动态范围达 40～47dB，传输测量的不确定度为 0.1dB 及 2°，反射测量的不确定度为 0.006 及 3°(当 $VSWR < 1.2$)。

1978 年以来我国有不少单位先后开展了六端口技术的研究工作，例如：中国计量科学院、上海计量测试技术研究所、航空航天部 203 所、邮电部 4 所、机电部 10 所及 1050 所、768 厂、767 厂、清华大学、中国科技大学、华东师范大学、东南大学、成都电子科技大学、天津大学、哈尔滨工业大学、西北工业大学、上海科技大学等单位。1983 年航空航天部二院 203 所鉴定了同轴六端口反射计系统，在 2～8GHz 频段上与 HP8409 相比误差在 2～3% 以内。其后，华东师大和上无 26 厂

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

合作研制成三毫米波导六端口反射计，1986 年 10 月机电部 1050 所研制成 Ka 波段六端口半自动网络分析仪采用二极管检波，模值误差 $<\pm0.03$。1986 年 12 月由中国科技大学和 767 厂联合研制成功八毫米频段双六端口 S 参数标准装置，东南大学也研制了八毫米六端口半自动网络测试系统。1988 年 6 月清华大学研制了八毫米六端口网络分析仪，上海科技大学研制了八毫米波段介质波导双六端口网络分析仪，带宽为 6GHz。成都电子科技大学于 1989 年研制成三毫米扫频双六端口网络分析仪，航空航天部 203 所于1990 年研制成集成六端口结的八毫米六端反射计及 4GHz 左右的实时六端口反射计装置。在众多的研究成果中准确度最高的是 1987 年中国计量科学院研制的八毫米波段（26.5～40GHz）双六端口 S 参数标准装置和 1989 年底由上海计量测试技术研究所研制成的频率为 100MHz～1GHz 的同轴双六端口网络分析仪，可以作为计量标准装置。

尽管十多年来六端口矢量网络分析技术得到了迅速发展，但主要在实验室应用，仍然有许多问题有待进一步深入研究，包括完善装置性能、误差分析及新的校准方法等。

表 15-1　国内外主要矢量网络分析仪性能对照表

型　号		HP8510C	360-3621	HW1	F3610T1	EO11
国别　公司		美 HP 公司	美 Wiltron 公司	中国 767 厂	中国 766 厂	中国上无 26 厂
频段：(GHz)	同轴系统	0.045～50	0.04～40	0.11～12.4	0.11～12.4	0.11～12.4
	波导系统	26.5～100	33～110			
动态范围（dB）		87～105	130～140	60	50～60	50
隔离度　(dB)		80～110	77～105		50～60	
通道数		4	4	1	1	1
测试域		频域、时域	频域、时域	频域	频域	频域
分辨度	幅度（dB）	0.001	0.001	0.1	0.1	0.1
	相位(度)	0.01	0.01	0.1	0.1	0.1
	群延迟（ps）	10	1			
准确度	幅度（dB）	±0.1(50dB内)	±0.1(50dB内)	±1.5	±0.5～1.8	±1
	相位(度)	±1(50dB 内)	±1(50dB 内)	±(5～7)(修正前)		±7
有效方向性（dB）		44～48	44～48	40	28～30	25
有效源匹配（dB）		31～40	34～40	17～22		15
有效负载匹配(dB)		44～48	>44			
接口功能		GP-IB	GP-IB	单板机 GP-IB		
磁盘容量(千字节)		720 或 1400	720			

第 2 节　分类和技术指标

矢量网络分析仪可大致分为二类：

(1) 手动矢量网络分析仪；

(2) 自动矢量网络分析仪。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

矢量网络分析仪技术指标汇总表如表 15-2。

汇总表中所列技术指标是仪器的一些基本指标，具体到某些仪器的特定技术指标未列在表 15-2 中。

表 15-2 矢量网络分析仪技术指标汇总表

序号	技术指标	手动网络分析仪	自动网络分析仪
*	频率范围	●	
1	反射频响	●	
2	传输频响	●	
3	测试通道噪声电平	●	
4	中频增益控制范围和控制精度	●	
5	参考通道输入功率范围	●	
6	测试通道动态范围	●	
7	方向性	●	
8	源端驻波比	●	
9	负载端反射系数	●	
10	通道隔离	●	
*	程控功能		●
*	系统误差修正		●
*	随机误差平滑		●
*	τ 参数测量总不确定度		●

注：带*号的技术指标在第 3 节中没有介绍测试方法。

第 3 节 技术指标和测试方法

被测网络分析仪及测试设备均应在各自产品中规定的预热时间后进行测试。

(一) 手动网络分析仪测试方法

包括 8410、HW、F3610T1 等。

1. 反射测量的幅度和相位频率响应

frequency response of amplitude and phase of reflecting measurement

在网络分析仪进行反射测量时，随着频率的变化，反射参量幅度及相位变化的程度。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图.15-1。

(2) 测试步骤

① 按图 15-1 连接系统，并分别在 8410A 各倍频程波段上进行检测，按下 8743A 的反射按钮。

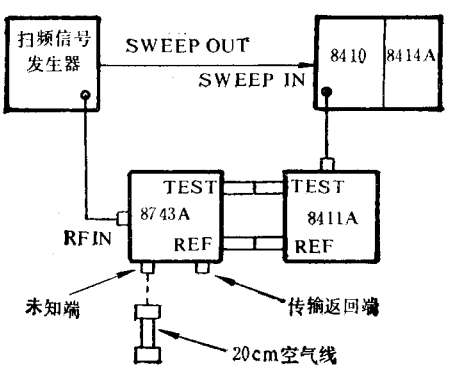


图 15-1

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 在 8743A 未知端口连接 20cm 空气线。

③ 调节 8410A 扫描稳定度旋钮使系统稳定锁相。

④ 调节 8410A 测试通道增益控制和幅度微调，使 CRT 扫频轨迹位于最外圆(平均值)。

⑤ 调节 8743A 参考通道电长度延伸线，使扫频轨迹聚焦成一最小圆点，该聚焦圆点的幅度和相位应满足技术指标要求。

2. 传输测量的幅度和相位频率响应

frequency response of amplitude and phase of transmiting measurement

在 8410A 进行传输测量时，随着频率的变化，传输参量幅度和相位变化的程度。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 15-2。

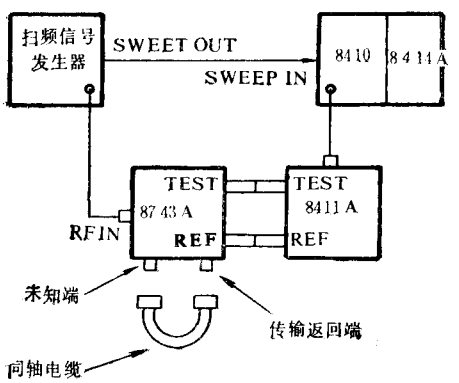


图　15-2

(2) 测试步骤

① 按图 15-2 连接系统，并分别在 8410A 各倍频程波段进行检测，按下 8743A 的传输按钮。

② 在 8743A 未知端与传输返回端之间利用一电缆连接直通。

③ 调节 8410A 扫描稳定度旋钮使系统稳定锁相。

④ 调节 8410A 测试通道增益控制和幅度微调使 CRT 扫频轨迹位于最外圆(平均值)。

⑤ 调节 8743A 参考通道电长度延伸线，使扫频轨迹聚焦成一最小圆点，该聚焦圆点的幅度和相位应满足技术指标要求。

3. 测试通道噪声电平

test channel noise

信号源无输出时，测试通道中固有的噪声电平。

测试方法

(1) 测试方框图，见图 15-3。

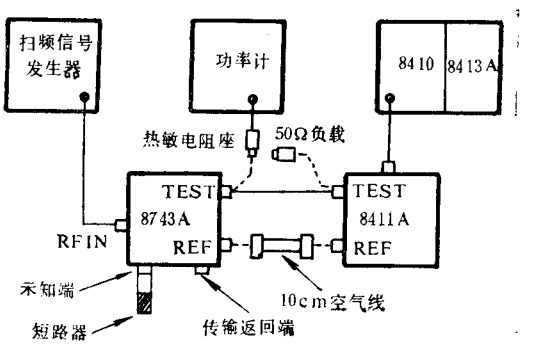


图　15-3

(2) 测试步骤

① 按图 15-3 连接系统，调整信号源为 CW 状态，频率设置在所需频段之内，按下 8743A 的反射按钮，在 8743A 未知端连接短路器。

② 调节 8410A 扫描稳定度旋钮使系统稳定锁相。

③ 从 8743A 上取下 8411A，利用功率计在 8743A 测试端得到 −30 dBm 的信号电平，然后重复连接 8411A 至 8743A，8410 A 参考通道电平表应指示在工作区域内。

④ 调节 8410A 幅度微调和测试通道开关，使 8413A 表头上得到 0dB 的指示，幅度设置在每档 10dB。

⑤ 从 8743A 取下 8411A，将一根 10cm 空气线接至 8743A 参考通道上，在测试通道接 50 欧姆的负载。

⑥ 将 8410A 测试通道增益增加 40dB，然

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

后读取 8413A 表头读数，此读数加上 −70dBm 就等于测试通道的噪声电平。

4. 中频增益控制范围和中频增益控制精度

IF gain control range and IF gain control accuracy

测试通道中"增益控制器"的可控范围和误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 15-4。

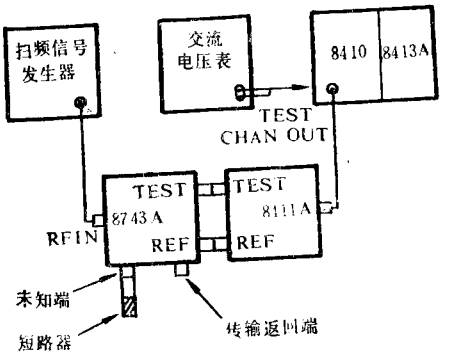


图 15-4

(2) 测试步骤

① 按框图连接系统，调整信号源为 CW 状态，频率设置在所需频段之内，按下 8743A 的反射按钮，在 8743A 未知端连接短路器。

② 调节 8410A 扫描稳定度旋钮使系统稳定锁相。

③ 调节测试通道增益开关至 0dB。

④ 设置窄带交流电压表至 1kHz 带宽，频率为 278kHz，调节 8410A 幅度微调和测试通道增益 1dB/每步开关，在交流电压表得到一个 −60dB 的指示。

⑤ 按每步 10dB 增加测试通道增益，并根据表 15-3 给定的关系及仪器的该项指标检查其精度。

⑥ 设置交流电压表至 −40dB 范围，调节测试通道增益每步 10dB 档至 20dB，每步 1dB 档至 0dB，调幅度微调使交流电压表指示对准任意一个 dB 值。

表15-3

测试通道增益开关位置	交流电压表范围设置	交流电压表指示
10dB	−50dB	0(±A)dB ±表头误差
20dB	−40dB	同上
30dB	−30dB	同上
40dB	−20dB	同上
50dB	−10dB	同上
60dB	0dB	同上

注：表格中的 A 是仪器给定的该项误差指标。

⑦ 按每步 1dB 增加测试通道增益，交流电压表也将相应地按每步 1dB 变化，可根据表头的读数参照仪器的指标确定其精度。

⑧ 使用交流电压表，检查幅度微调范围，其范围应大于指标的要求范围。

5. 参考通道输入功率范围

reference channel input power range。

参考通道自动增益控制的范围。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 15-5。

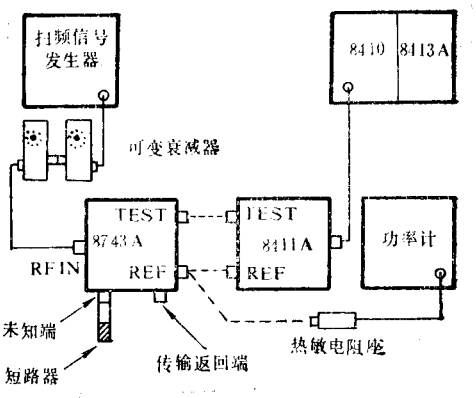


图 15-5

(2) 测试步骤

① 按图 15-5 连接系统，按下 8743A 的反射按钮，在 8743A 未知端连接短路器。

② 调整信号源为 CW 状态，设置频率为

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1GHz，分别调节二个可变衰减器为 0dB。

③ 调节 8410A 扫描稳定度旋钮使系统稳定锁相。

④ 8413A 设置为每步 10dB 位置，调幅度微调和测试通道增益使 8413A 表头指示为 0dB。

⑤ 缓慢地增加信号源功率输出，一直到 8413A 表头指示迅速增加，然后慢慢减少信号源功率使 8413A 表头指示为 0dB。此时 AGC 恰好工作在其范围的顶部。

⑥ 从 8743A 上取下 8411A，接功率计至 8743A 参考端上，测量并记录功率计读数。

⑦ 重新连接 8411A 至 8743A，利用增加衰减器的衰减量来减少信号源的功率一直到 8413A 的表头指示开始迅速降低，这就是 AGC 范围的下限。利用减少衰减量来增加信号一直到 8413A 表头指示回零。此时恰好是 AGC 下限的边缘，记录这个衰减值，利用步骤⑥中所记录的 AGC 上限电平值减去这个衰减值就是 AGC 范围的下限电平。AGC 的范围的上下电平差应大于仪器给定的指标。在输入功率变化 20dB 范围内观察电压表的幅度变化和相位计的相位变化应满足技术指标。

6. 测试通道动态范围

test channel dynamic range

测试通道能正常工作的电平范围。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 15-6。

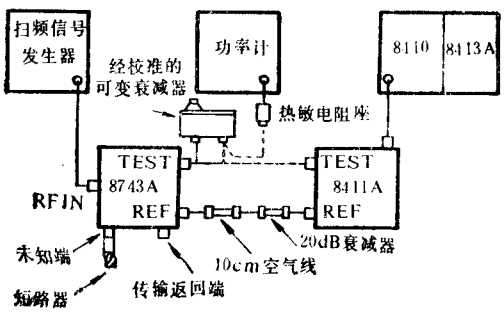


图　15-6

(2) 测试步骤

① 按图 15-6 连接系统，按下 8743A 的反射按钮，在 8743A 未知端连接短路器。

② 调节信号源为 CW 状态，设置频率为 2GHz。

③ 调节 8410A 扫描稳定度旋钮使系统稳定锁相。

④ 连接功率计到可变衰减器输出端。

⑤ 分别调节可变衰减器和 8410A 测试通道增益控制至 0dB。

⑥ 调节信号源使功率计得到一个 −15 dBm 的电平指示，整个测试过程信号源输出功率将维持此电平值。从可变衰减器输出端取下功率计探头，并将可变衰减器输出端连接至 8411A 测试端口。

⑦ 按下 8413A 幅度 3dB 按键，调节 8410A 幅度微调和测试通道增益（1dB/每步）控制使 8413A 表头指示为 0dB。

⑧ 调节可变衰减器至 60dB，调节测试通道增益控制至 60dB，8413A 表头指示仍将维持为 0dB。如存在偏差则是由于信噪比、串扰、测试通道增益控制误差、及可变衰减器误差引起的，这些因素引起的偏差的极限可计算如下：

表头表示的上限 = 0.6dB（噪声）+ 0.2dB（增益控制误差）$-T$（可变衰减器的实际值）+ 60dB

表头指示值的下限 = −0.2dB（增益控制误差）$-T$（可变衰减器的实际值）+ 60dB

注：上述测试，假定测试通道电平范围是≥60dB。

7. 方向性

directivity

8743A 测试装置中定向耦合器的隔离度与耦合度之差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 15-7。

(2) 测试步骤

① 按图 15-7 连接系统，8743A 未知端连

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

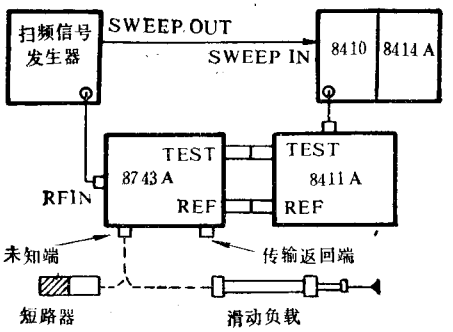


图 15-7

接短路器，并按下反射按钮。

② 设置扫频振荡器到自动扫描方式，使8410A在一个倍频程内锁相，并使8410A参考通道电平表指示在工作范围上限的边缘。

③ 按下并保持8414A射束中心按钮，调节光点到显示器的中心，释放射束中心按钮。

④ 调节参考面延伸使显示器上轨迹成为一个圆点，并有最小聚焦。

⑤ 调节测试通道增益和幅度微调，使此聚焦点的中心在外圆上。

⑥ 取下短路器，接上滑动负载。

⑦ 增加测试通道增益28dB（假定方向性指标为28dB），移动滑动负载，并观察CRT显示，这个显示的平均值必须在显示器的外圆之内。

8. 源端驻比波

source standingwave ratio

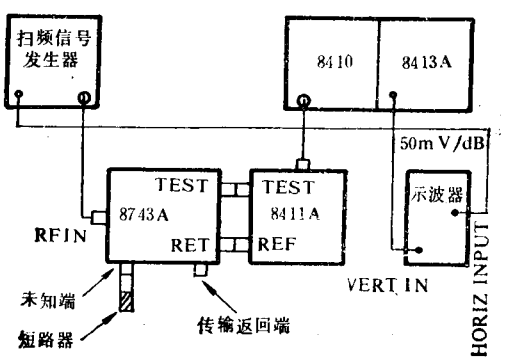


图 15-8

8743A未知端口阻抗不匹配所引起的电量损失。

测试方法：

（1）测试方框图，见图15-8。

（2）测试步骤

① 按图15-8连接系统，8743A未知端连接短路器，并按下反射按钮。

② 调节信号源到自动扫描方式。

③ 调节8410A频率范围选择器、扫描稳定度旋钮、信号源扫描时间和扫描宽度、以及示波器垂直和水平位置旋钮，来显示8413A的幅度输出。

④ 设置示波器垂直灵敏度为0.01V/每格（0.2dB/每格）。

⑤ 利用水笔在示波器CRT上描出幅度轨迹。

⑥ 取下短路器，在CRT上描出开路时幅度轨迹。

⑦ 记下在一个倍频程内两条曲线之间的最大偏差值 ΔdB，利用下面公式计算电压驻波比

$$VSWR = \lg^{-1}(0.05 \times \Delta\text{dB})$$

$VSWR_{max}$ 应小于技术指标要求。

9. 负载端反射系数

termination reflection coefficient

8743A传输返回端阻抗不匹配引起的电量损失。

测试方法：

（1）测试方框图，见图15-9。

（2）测试步骤

① 按图15-9连接系统，按下8743A反射按钮。

② 调节信号源到自动扫描方式。

③ 调节8410A测试通道增益控制和幅度微调，使扫描轨迹位于CRT最外圆（平均值）。

④ 利用10cm空气线将被测仪器（8743A）传输返回端与8743A未知端相连接。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

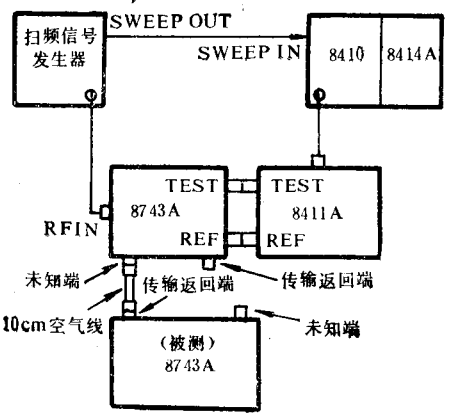


图　15-9

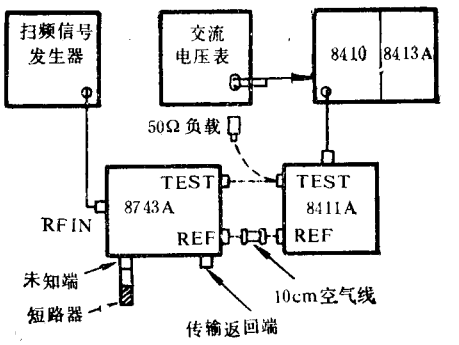


图　15-10

⑤ 在 8414A 显示器上观测扫频轨迹，其最大反射系数 P_{max} 应小于指标所规定值。

10. 通道隔离

channel isolation

参考通道和测试通道之间的信号隔离度。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 15-10。

(2) 测试步骤

① 按图 15-10 连接系统，按下 8743A 反射按钮。

② 设置信号源为 CW 工作方式，选定所需测试的频率。

③ 调节信号源输出功率使 8410A 参考通道电平表指示工作范围上限的边缘处。

④ 未知端连接短路器，连接 8411A 至 8743A (不接空气线)。

⑤ 调节 8410A 测试通道增益旋钮至 0dB，调节交流电压表在 278kHz 上得到最大输出，调节幅度微调(8410A)和 1dB/每步测试通道增益旋钮，使得交流电压表指示为 0dB。

⑥ 从 8743A 上取下 8411A，在 8411A 测试端口上接一50Ω 负载，利用一个 10cm 空气线将 8411A 参考端口连接到 8743A。

⑦ 将 8410A 测试通道增益增加 60dB (假定通道隔离指标为 60dB)，此时交流电压表指示应为零 dB 或小于零 dB。

(二) HP8510B 自动网络分析仪测试方法

8510B 指标性能检查

8510B specification performance verification

8510B 性能检测方式是利用检查标准箱的标准件对系统进行全部四个 S 参数的综合检查。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 15-11。

(2) 测试步骤

① 按图连接系统，并预热 1 小时以上。

② 利用计算机从磁盘驱动器中调入“BASIC”操作系统，进入“BASIC”状态后按顺序调入 8510B 性能检查程序(分别在三片磁盘中)“HP8510B Network Analyzer system specificatin and performance Verification disc 1 of 2; 2of2;3of2”。

③ 根据计算机提供的菜单选择系统工作状态，工作方式，和测试参数以及检查标准件的接头

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

类型等。

④ 利用8510B主机所带磁带机调入厂家提供的标准件测量数据。

⑤ 按程序步骤(由计算机屏幕提示)对测试系统进行全二端口校准。

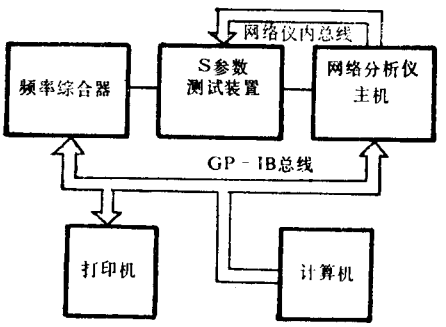


图 15-11

⑥ 分别对检查箱标准件(20dB、50dB衰减器、50Ω、12.5cm 空气线、25Ω、12.5cm 空气线)进行测试。输出表格的型式见附表(20 dB衰减器 S_{11}、S_{21} 测量结果)。

⑦ 表格中给出了厂家提供的测量结果(通过磁带提供),用户的测量结果,以及二者之间的差值,最后给出了系统的总的测量不确定度。它作为检验系统是否合格的依据:厂家与用户二者之间测量结果的差值小于等于总的不确定度指标时,该项参数检查判定为合格,表格的下方将出现"PASSED"。此结果大于总的不确定度指标时,该项参数检查判定为不合格,表格的下方将出现"FAILED"。

* * * * * *

本章技术指标和测试方法中所用主要测试仪器汇总列表如下。

主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
扫频信号源	HP8620C + 86290B	
功率计	HP436A + HP8481A	
双迹示波器	HP1200A	
窄带交流电压表	HP310A	
可变衰减器	HP355C + HP355D	
滑动负载	HP907A	
50Ω负载	26N50 (Wiltron)	

附表

HP8510B PERFORMANCE VERIFICATION 18:18:44 22 Jan 1989

Verif Std: 20 dB Attenuator		Ser #: 00187	Origin: 7/11/88
Verif Kit: HP85055A—N		Ser #: 2815A00145	Origin: 7/11/88
Network Analyzer:	HP8510B	S/N:2825A04342 2825A04399	
Test Set:	HP8514B	S/N: 2820A00367	
Source:	HP8341B	S/N:	
Calibration Kit:	HP85054B	S/N:2705A00237	
Calibration Technique:	SL		
Test Port Cables:	HP85132B		

NBS Test Numbers:	#:738/236940-86	#:738/234708-85
	#:738/230170-83	#:731/237627-06
	#:233661	#:
	#:	#:

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

Comments:

	S11 MAGNITUDE (lin)				S11 PHASE(deg)			
Freq [GHz]	Factory Meas'd [A]	User Meas'd [B]	Diff Mag [A-B]	Total Uncert +/−	Factory Meas'd [A]	User Meas'd [B]	Diff Phase [A-B]	Total Uncert +/−
.045	.00216	.00194	.00022	.00736	3.80	6.37	−2.57N	180.00
.100	.00229	.00209	.00020	.00721	14.16	21.48	−7.32N	180.00
.500	.00395	.00438	−.00042	.00717	52.85	52.98	−.14N	180.00
1.000	.00710	.00762	−.00052	.00717	59.27	55.98	3.29N	63.48
2.000	.01310	.01338	−.00028	.00719	46.02	44.18	1.84N	32.58
3.000	.01722	.01813	−.00091	.01160	32.03	37.79	−5.76N	40.87
4.000	.01943	.01905	.00038	.01161	11.69	17.51	−5.82N	36.08
5.000	.01711	.01556	.00155	.01160	−10.06	−6.44	−3.62N	41.40
6.000	.01108	.00846	.00261	.01157	−18.98	−16.52	−2.46N	69.42
7.000	.01089	.00867	.00222	.01157	19.98	32.08	−12.10N	71.21
8.000	.02564	.02236	.00328	.01164	19.18	23.39	−4.21N	27.65
9.000	.04484	.04165	.00319	.01329	−8.16	−7.65	−.51N	18.35
10.000	.06147	.05891	.00256	.01344	−38.80	−40.59	1.80N	13.95
11.000	.06976	.06958	.00019	.01351	−69.33	−71.18	1.26N	12.6
12.000	.06323	.06618	−.00294	.01344	−99.81	−100.33	.52N	13.84
13.000	.03980	.04288	−.00308	.01323	−130.36	−128.05	−2.32N	20.94
14.000	.00075	.00325	−.00250	.01298	147.26	−104.03	−108.70N	180.00
15.000	.04681	.04804	−.00123	.01328	−4.73	−9.30	4.57N	18.33
16.000	.09157	.09635	−.00478	.01372	−33.43	−34.78	1.35N	10.70
17.000	.12031	.12678	−.00647	.01409	−60.34	−60.72	.37N	8.94
18.000	.12621	.13216	−.00595	.01417	−85.79	−83.78	−2.01N	8.78

NOTE:Total Uncert = Factory System Uncertainty + User System Uncertainty,
Legend:N--Parameter Verification Not Required.

PASSED:S11 Verification Measurement of the 20 dB Attenuator.

HP8510B PERFORMANCE VERIFICATION　　13:18:44 22Jan 1989

Verif Std:20 dB Attenuator　　Ser #:00187　Origin:7/11/88
Verif Kit: HP85055A--N　　Ser #:2815A00145 Origin:7/11/88

Netuork Analyzer:	HP85108	S/N: 2825A01342 2825A04399
Test Set:	HP8514B	S/N: 2820A00367
Source:	HP8341B	S/N:
Calibration Kit:	HP85054B	S/N:2705A00237
Calibration Technique:	SL	
Test Port Cables:	HP85132B	

NBS Test Numbers	#: 738/236940-86	#: 738/234708-8
	#: 738/230170-83	#: 731/237627-865
	#: 233661	#:
	#:	#:

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

Comments:

	S21 MAGNITUDE (dB)				S21 PHASE (deg)			
Freg [GHz]	Factory Meas'd [A]	User Meas'd [B]	Diff Mag [A-B]	Total Uncert +/-	Factory Meas'd [A]	User Meas'd [B]	Diff Phase [A-B]	Total Uncert +/-
.045	-19.948	-19.954	.007	.108	-3.26	-3.23	-.03	.87
.100	-19.949	-19.954	.006	.075	-7.17	-7.22	.06	.64
.500	-19.966	-19.966	-0.000	.064	-35.74	-35.75	.01	.61
1.000	-19.979	-19.978	-.001	.066	-71.41	-71.43	.02	.71
2.000	-19.997	-19.996	-.001	.070	-142.76	-142.72	-.04	.90
3.000	-20.004	-20.011	.007	.098	145.92	145.97	-.05	1.25
4.000	-20.012	-20.012	-0.000	.099	74.56	74.63	-.07	1.43
5.000	-20.001	-20.001	-0.000	.099	3.07	3.20	-.13	1.59
6.000	-19.979	-19.975	-.004	.098	-68.63	-68.49	-.13	1.76
7.000	-19.956	-19.954	-.002	.097	-140.56	-140.41	-.15	1.92
8.000	-19.927	-19.918	-.009	.098	147.18	147.32	-.14	2.10
9.000	-19.906	-19.904	-.002	.160	74.55	74.77	-.22	2.69
10.000	-19.903	-19.893	-.010	.164	1.57	1.83	-.27	2.88
11.000	-19.910	-19.900	-.010	.167	-71..71	-71.42	-.29	3.07
12.000	-19.915	-19.894	-.021	.165	-145.31	-144.93	-.38	3.24
13.000	-19.917	-19.927	.009	.161	140.55	140.88	-.33	3.38
14.300	-19.947	-19.941	-.006	.149	65.91	66.32	-.42	3.47
15.000	-20.005	-20.001	-.004	.163	-9.14	-8.64	-.50	3.74
16.000	-20.086	-20.086	-0.000	.177	-84.44	-83.73	-.71	3.99
17 000	-20.157	-20.153	-.004	.185	-159.71	-159.08	-.64	4.22
18.000	-20.149	-20.145	-.004	.187	125.25	126.05	-.79	4.40

NOTE: Total Uncert = Factory System Uncertainty + User System Uncertainty,

PASSED: S21 Verification Measurement of the 20 dB Attdnuator.

附录 矢量网络分析仪的比对

"自动网络分析仪比对方法国家军用标准"中的比对方式,测量方法，以及数据处理部分有关章节的内容介绍如下:

(一) 比对方式及其测量

1 比对方式

1.1 应采用同一套比对标准件比对。

1.2 由上级主管部门推荐,并经参加比对单位共同确认的单位作为比对主办单位，携带比对标准件至各比对单位,并分别由各比对系统对比对标准件进行测量。

1.3 参加比对的各单位和比对主办单位应按本标准规定对各比对系统测试数据进行综合、整理及数据处理,并给出比对结果。

2 确定系统准确度的测量

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2.1　测量标准失配器

测试系统按测量程序步骤进行单端口校准后，按顺序测量电压驻波比 1.1、1.5、2.0 三个标准失配器 S_{11} 的模值（$|S_{11}|$）。每个器件重复连接并测量三次得到反射系数的模值，由终端打印机输出测量结果。

2.2　测量标准衰减器

测试系统按测量程序步骤进行双端口校准后，按顺序测量衰减量 20dB、50dB 二个标准衰减器 S_{21} 的模值（$|S_{21}|$）。每个器件重复连接并测量三次，得到传输系数的模值。由终端打印机输出测量结果。

2.3　测量标准空气线

测试系统按测量程序步骤进行双端口校准后，测量电长度为 10cm 的标准空气线的相移（$\Phi 21$）。该器件重复连接并测量三次，得到传输系数的相移。由终端打印机输出测量结果。

3　确定系统重复性的测量

3.1　测量标准失配器

测试系统按测量程序步骤进行单端口校准后，测量驻波比为 1.1 的标准失配器（$|S_{11}|$），重复测量五次，由终端打印机输出测量结果。

3.2　测量标准空气线

测试系统按测量程序步骤进行双端口校准后，测量 10cm 空气线的 S_{21} 相移（$\Phi 21$）重复测量五次。由终端打印机输出测量结果。

4　确定系统校准重复性的测量

4.1　测量标准失配器

4.1.1　测试系统按测量程序步骤进行单端口校准后，测量驻波比为 1.1 的标准失配器的（$|S_{11}|$），重复测量五次，由终端打印机输出测量结果。

4.1.2　取下被测件，重复4.1.1条过程一次。

4.2　测量标准空气线

4.2.1　测试系统按测量程序步骤进行双端口校准后，连接 10cm 空气线，复重测量五次。由终端打印机输出测量结果。

4.2.2　取下被测件，重复 4.2.1 条过程一次。

（二）比对数据的处理和判据

1　比对数据的处理

1.1　系统重复性测量数据的处理

检验系统在同一次校准后，重复五次测量的系统重复性误差(不包含接头连接重复性误差)，σ_s 的表达式。

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{1}{4}\sum_{i=1}^{5}(S_i - S_1)^2} \tag{1}$$

式中

$$S_1 = \frac{1}{5}\sum_{i=1}^{5} S_i。$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1.2 系统校准重复性测量数据的处理

检验系统在分别三次校准后，每次重复五次测量比对标准件时的系统校准重复性误差。在(一)4条系统校准重复性测量时，系统两次校准并测量后得到两组数据。在(一)3条系统重复性测量时得到一组数据，共三组数据，每组数据均取五次测量数据的算术平均值，系统校准重复性误差 σ_c 的表达式

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{3}(S_i - S_2)^2} \tag{2}$$

式中 $S_2 = \frac{1}{3}\sum_{j=1}^{3} S_j$； $S_j = \frac{1}{5}\sum_{i=1}^{5} S_i$

$j = 1$ 时 $S_j = S_1$。

1.3 系统准确度测量数据的处理

1.3.1 系统准确度测量中得到的测量结果 S_{Mi} 是三次测得值的算术平均值。

1.3.2 为计算加权算术平均值首先求出参加比对各网络分析仪系统测量值的方差 σ_{Mi}^2，该方差的表达式

$$\sigma_{Mi}^2 = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{3}(S_M - S_{Mi})^2 \tag{3}$$

1.3.3 计权的原则为，令方差最大值 $\sigma_{M\max}^2$ 的权为 1，则方差 σ_{Mi}^2 的 H 表达式

$$P_i = \frac{\sigma_{M\max}^2}{\sigma_{Mi}^2} \tag{4}$$

1.3.4 比对结果加权算术平均值 S_M 的表达式

$$S_M = \frac{P_1 S_{M1} + P_2 S_{M2} + \cdots + P_N S_{MN}}{P_1 + P_2 + \cdots + P_N} \tag{5}$$

式中 $i = 1, 2, \cdots N$；N 为参加比对的网络分析仪的台数。

1.4 比对标准偏差 ΔS

表征系统比对标准件测量结果 S_{Mi} 与它的加权算术平均值 S_M 离散的程度。ΔS 的表达式

$$\Delta S = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(S_{Mi} - S_M)^2} \tag{6}$$

式中 N 为参加比对的网络分析仪系统的台数。

1.5 网络分析仪系统的标准偏差 σ

表征了网络分析仪系统随机误差的大小，综合反映了系统重复性误差和系统校准重复性误差。σ 的表达式

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_c^2} \tag{7}$$

1.6 网络分析仪系统的系统误差 ε_i

表征了网络分析仪系统误差的大小，反映了比对标准件测量结果 S_{Mi} 与它的加权算术平均值 S_M 之间的差值。ε_i 的表达式

$$\varepsilon_i = S_{Mi} - S_M \tag{8}$$

式中 N-参加比对的网络分析仪的台数。$i = 1, 2, \cdots\cdots N$。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2 比对数据的判据

2.1 参加比对的网络分析仪系统的测量结果 S_{Mi} 不满足公式9的要求时，不能参与测量结果 S_{Mi} 的加权算术平均。应剔除该 S_{Mi} 重新计算加权算术平均值 S_M。

$$|S_{Mi} - S_M| < t_a \Delta S \tag{9}$$

式中 t_a 为 t 分布的置信因子，参加比对的网络分析仪的台数决定 t_a 的取值，其值可查表得到。

2.2 比对的置信概率应不小于或等于99%。

3 比对结果一致性和比对结果表

3.1 比对结果一致性

对参加比对的多台网络分析仪系统，ε_{max} 表示本次比对中各套网络分析仪系统的一致性程度。ε_{max} 是参加比对的各套网络分析仪系统中测量结果 S_{Mi} 与 S_M 偏离的最大值。

$$\varepsilon_{max} = |S_{Mimax} - S_M| \tag{10}$$

式中 S_{Mimax} 是参加比对各系统中与 S_M 偏离最大的测量结果。

3.2 比对结果表

3.2.1 由参加比对的各单位有关人员负责对本系统的测量数据进行整理，并计算出 S_M，σ_{Mi}^2，σ_s，σ_c，交付比对主办单位。

3.2.2 由比对主办单位负责将参加比对各单位的数据汇总，整理，并计算出 S_M，ΔS，ε_i，ε_{max}，汇编成表格提供给参加比对各单位。其格式内容见下表。

参加比对单位名称_____网络分析仪编号_____

比对器件名称_____比对参数_____

参数 / 频率 f(GHz)	S_{M1}	S_M	ΔS	ε_i	ε_{max}	σ
0.045						
0.500						
1.000						
2.000						
12.000						
18.000						

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第16章　动态分析仪器

第1节　综　　述

现代科学研究和生产过程中，在测试条件下，当设备或系统被一个随时间变化的信号激励时，设备或系统相应产生的反映性能定义为设备或系统的动态响应。严格地讲对各种变化着的物理现象在测试条件下进行观测与分析所得的信号都属动态信号。然而这样的研究对象无疑范围太宽。在实际应用中常限制在声频以下或更低的频率信号。

动态分析仪是指能提供与被测试设备或系统的动态信号有关信息的测试仪器。动态分析仪提供的信息和测试的参数是单一或多项的。

动态分析中激励技术可以分为稳态正弦激励和宽频带激励两大类。稳态正弦为单频简谐信号。宽频带激励的方式很多，如瞬态、快速正弦扫频、伪随机等。激励信号经转换装置变成电信号，即电流或电压。这些信号的参数可通过各种电子测量仪器被分别测试出来。

动态分析仪器按其测试方法分成频率域、时域、时差域(幅值域)、拉普拉斯域。通常动态分析仪是用频率域和时域及其附属仪器系统组成的。当被测试的对象采用"离线"方式进行时是采用频域法，即把被测对象从正在运行的设备与系统中假想分离出来，就是说在测试瞬间被测对象是停止运行的。当被测试对象采用"在线"方式进行时，也就是对设备与系统进行实时测试时是采用时域法。

现代工程中对结构进行动态测量是获得结构动态参数的方法之一。应用电子测量仪器中动态分析仪器获得结构的动态分析所需的数据，对结构进行识别，从而开辟了结构动态分析的新领域。目前动态分析技术已经推广应用到各种机械工程、航天、汽车、坦克、舰船、建筑工程、桥梁与隧道、化工、冶金等部门。动态分析技术不仅用于动态参数的测试、信号分析、状态监测、故障诊断，而且用于传递函数及系统数学模型的研究，特别是复杂结构模型优化、结构修改和动态设计等方面。随着设备和系统愈来愈复杂，对可靠性要求愈严，反过来对动态分析仪器提出了更高的要求。

本章中的动态分析仪仅对国内外通用的动态分析仪器的情况进行介绍，其它专用的动态分析仪器请参考其它专业资料。

(一) 超低频系列仪器的发展

在50年代末期，随着军事工业和其它工业的发展，对系统的稳定性和系统的振动、冲击等因素需要用仪器进行定量分析。用动态分析仪器来测试系统的参数，用这些参数组合曲线进行分析，从而判定系统的稳定性。初期动态分析仪器是应用信号发生器、电压表、相位与频率计再配上示波器等单个仪器组成系统应用频率域的方法来进行测试的。其频率范围为 0.001～100Hz，所以初期动态分析仪又叫超低频仪器。

在60年代初期，天津电子仪器厂依据苏联的超低频系列仪器试制成我国第一代电子管的超低频仪器。这套系列仪器由 XFD 5 型超低频周期波发生器、DYD 5 型超低频双峰值电压表、

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

PJD15 型超低频相位计、SBD 5 型超低频示波器等组成。用这套仪器对被测系统进行测试，可得到被测系统的幅度、频率、相位三个参数，用这三个参数来表征系统的特性。用仪器分别测试各个参数称为单参数测试。国际上一些仪器公司都生产超低频测试仪器。如英国的 Servomex 公司，在60年代初生产了 LF15 极低频信号发生器、VP151 型移相器等产品。天津电子仪器厂及时进行研制，生产了 XFD 8 型超低频信号发生器、XYD 1 型移相器和 SBD 6 型双踪示波器。

随着电子技术和半导体元器件的发展，国外各公司在60年代生产了晶体管的超低频仪器。这个时期，动态分析和测试在原理上基本没有变化，仅在仪器的生产技术上应用了半导体器件。60年代后期，天津电子仪器厂研制成功 XD 5 型超低频信号发生器、XD 18A 型超低频信号发生器、XD 24 型超低频函数发生器、DS 23 型超低频峰值电压表、DS 43 型超低频峰值电压表、DS33 型交流电压表、PS 34 型低频相位计、BO 7 型超低频相位计及 SR 6 型超低频双踪示波器等一系列超低频仪器，为动态分析和测试提供了一批仪器。70年代初期，贵州遵义、浙江宁波、内蒙古呼和浩特等厂在生产原有超低频仪器的基础上又研制和生产了一批新的仪器。例如宁波东风仪器厂生产的 XFD 8B 型、XFD 8C 型、XFD 8A 型超低频信号发生器，SB 14 型低频示波器，DS 1 型超低频峰值电压表等。这些厂家的仪器丰富了动态测试仪器的品种。

下面简单介绍运用这些仪器组成系统进行动态分析的原理。

图16-1中信号发生器为激励系统，采用正弦波，一般低频频率从0.001Hz开始，高频频率从800Hz至1kHz左右；相位计用来测试系统响应信号的相位特性；电压表用来测试系统的输出电压与其输入电压的比值，即为系统的响应模值。图16-1的这些仪器组成动态分析的测试系统对被测对象进行频率成份的分析称为频域法。图16-1测试系统有不足之处，当被测系统具有非线性且由于受到噪声污染及失调电压存在的影响，在被测对象的输出信号中含有直流分量、谐波、噪声，这将降低测试精度。为了改善图16-1仪器组成的测试系统，曾在被测对象的输出端加滤波器、直流补偿器，以降低谐波、噪声以及直流分量。但这不仅增加了测试环节中的设备，使操作复杂，并且带来了附加误差，仍不是一个理想的方法。

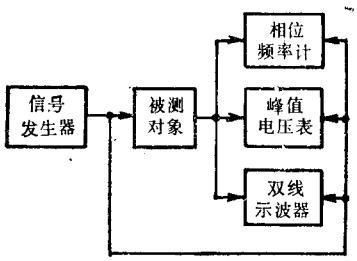


图 16-1

70年代初期集成电路、计算机和微型机技术被广泛应用，使电子测量仪器向小型化、智能化和多功能方向发展，有些仪器配有标准接口系统（GP-IB 或 IEEE 488），使仪器能进行可编程的自动化测量。因此动态分析应用的信号源、电压表、相位计都朝着智能化、可程控测量仪器方面发展。按照电子测量仪器门类划分，它们被归并到所属门类中，本章就不再叙述。

（二）频域法（FRA）测量技术及仪器的发展

频域法简称 FRA（Freguency Response Analysis）即频率响应分析法，是测量被测系统频率特性的方法。

如上所述，早期的频域法测量系统是用信号源、电压表和移相器单机联成。

进入60年代，英国输力强（Solartron）公司生产了电子管的 JY 743 型频率响应过程分析仪，这是采用模拟相关原理第一代的 FRA 产品。该机集信号源、电压表于一体，只用一台仪器就

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

可以完成动态测试。而且由于采用了相关原理，大大增强了抗干扰能力，从而提高了测量精度。因此，JY 743 的诞生，较之用单机联机测试前进了一大步。但限于当时的器件和技术水平，这种仪器的频率上限只达到 100Hz 左右，频率精度也只达到 1.5%，幅度精度只有 5%，而且没有扫频功能，只能单点测试，也没有座标转换。

天津电子仪器厂至 1968 年生产了 BG 1 型过程响应分析仪，其性能指标与 JY 743 相同，自此我国也有了第一代采用相关原理的电子管式 FRA 仪器。

这里对相关原理稍作说明。被测系统采用正弦信号激励以后的输出信号分别与正弦信号、余弦信号相乘，随后再积分，所得结果分别称为同相分量和正交分量，这种相乘、积分的过程叫做相关原理。理论证明，被分析信号经过相关运算以后，将直流成份、干扰信号以及谐波分量滤除掉。因此，相关的作用相当于一个跟踪滤波器，积分时间越长，上述不需要的干扰成份滤除得越干净，从而大大提高了测量的可靠性和精度。

到 60 年代中后期，输力强公司第二代 FRA 产品，即晶体管式 JM 1600、JM 1600A 诞生。该产品最先应用了数字相关滤波技术，用数码管显示有三种坐标方式(即直角坐标、极坐标和对数坐标)，面板操作采用逻辑控制原理，输出波形有正弦波、方波、三角波及相应的单周期，振荡启动停止控制在 0°、90°、180°、270° 及任意瞬间，此外还有浮地输出，系统配件从 JM 1601 到 JM 1607 供各专业选用，频率范围从 10^{-5}～159.9 Hz (JM 1600) 和 从10^{-5}～479.9Hz (JM 1600A)，频率转度为 0.05%，测量精度在直角坐标和极坐标为 0.5%，对数坐标为 0.1dB，相位精度为 0.5°。由此可见，由于采用了数字技术，精度提高了一个数量级以上，功能较前也增加了不少。

天津电子仪器厂于 70 年代中期试制成功了 BT 6 型和 BT 6A 型，其性能指标分别与 JM1600 和 JM 1600A 相同，十年间销售量近 4000 台。该厂还自行设计生产了晶体管式 BT 13 型频响分析仪及 TD 6260 矢量电压表。前者自带信号源，能输出正弦波、方波和三角波，测量显示三种坐标；后者不带信号源，测量显示两种坐标。这两种仪器属于价格低廉，又能完成一定测试项目的产品。

70 年代后期输力强公司，又推出了第三代集成化的 FRA 产品 1170 系列，以 1172、1174 为代表。该产品采用了集成电路、触摸开关、逻辑控制、数据存储功能，以及采用双通道输入和扫频技术。可供选用的插件多达 8 个，可与计算机配接，数据输出可以绘图，它的技术指标也是比较高的。但是这种仪器配齐插件后价格高，体积大，容易产生故障，所以存在的时间不长。

在 70 年代中期到 80 年代初，世界各国的微电子技术迅猛发展，各种微处理器相继出现，促进了仪器的换代。在这种形势下，输力强公司于 80 年代初迅速推出了全新的第四代采用微处理技术的 1250 频响分析仪。

1250 采用了功能比较强的两个微机芯片 6801 和 6809 来实现仪器的工作状态、操作、参数设置以及测试控制，大量的操作步骤编成软件进行，面板操作采用调“清单”(MENU) 的方式，并设置有 5 个软键，这些软键对应不同的硬键有不同的功能，用它来设置、查看、修改各项工作参数，因此面板布局和操作步骤比 1172 大为简化，而且更为灵活方便。1250 的显示器性能较前也有重大突破，每个显示字符采用 5 × 7 点矩阵结构，一个幅面能显示 80 个字符，任何内存信息、设定的参数以及工作状态都可以显示出来。

1250有很强的功能。在接口功能上，它有 IEEE-488 国际通用接口，并配有与苹果机 APPLE IIE 联接的应用程序，组成 1096 数据管理系统。还设置有 RS232 串行接口，以及模拟绘图仪接口。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

为了满足多点测量的需要，设置有多通道接口，能组成多达 34 个通道的测量系统，满足了飞机、汽车、导弹、军舰及大型部件的研究需要。1250 还配有扩展功能的选插件。配置了同步器选件后，可以进行模态分析。配置了调制解调器后，就可以产生并分析调制波。1250 在数据处理上也有独到的功能，例如它能将测量的数据重新标度，或微分积分，或除以一个矢量，这对用户来说是极为方便的。通常在用户进行非电量测量时，用的是加速度传感器，因而得到的是加速度导纳，通过数据重新标度以后，可以得到速度导纳或位移导纳。1250 还可以对所测量的数据施加界限，舍弃用户不需要的数据。1250 的发生器还具有幅度压缩功能，这样可以避免被测系统在谐振点附近产生严重的非线性失真。1250 还具有谐波分析功能，它一次测量就能存储 16 次谐波供用户分析研究。

1250 的技术指标也优于 1172。例如，频率范围从 10^{-5}～65.535 kHz，从最缓慢变化到较快变化的研究对象都能适应；量程从 30mV 到 300V 分 5 档，动态范围 100dB 以上，因而从较微弱的信号到很强的信号都能测量；幅度精度在低频为千分之二，中频为千分之三，高频为千分之五，相位精度小于 1°。

综上所述，1250FRA 技术先进，功能强，为目前世界上最先进的 FRA 产品。世界上同类产品目前有英国 SE 2450 FRA 和日本 NF 公司 5720FRA，这两种仪器都采用集成电路，相当于 1170 系列和 1250FRA 之间产品，5720FRA 唯一特点是频率上限可达 100kHz，但是系统配置不强，开发应用困难，因此在世界市场上还没有 1250FRA 受欢迎。

天津电子仪器厂不失时机地引进了 1250FRA 产品。自 1985 年以后有步骤地实施了引进、消化、吸收、国产化的计划，在 1988 年完成了国产化的工作，定名为 TD 1250 型频响分析仪，现已批量生产。与此同时，该厂还使用 1250 的技术知识对 BT 6A 型进行了集成化并采用了微机控制，技术指标、功能和可靠性都大大提高了，现定名为 TD 4010 型频率响应分析仪。此外，该厂还用 1250 的技术知识，自行设计了频率上限到 30kHz 并有两个通道的宽带 FRA，定名为 TD 4020 型频率响应分析仪。

由于 1250 的高性能、强功能、高精度，使它在我国动态测试领域内的应用越来越宽广。在电化学系统上测量电的交流阻抗，进而计算电化学参数；在复杂的机械结构研究领域进行模态参数识别，以便于结构的修改和动态优化设计；在房屋和桥梁的基础工程中检验灌注桩质量；在橡胶减振器领域进行动态特性参数的研究；在飞机制造、导弹部件测试等领域都有充分的应用。随着时间的推移，它的应用领域还将不断扩大。

（三）时域法测试技术及 FFT 动态分析仪的发展

（1）数字信号分析仪的由来

FFT（Fast Fourier Transfrom）动态分析仪是以付里叶变换为核心派生的一系列分析仪器。FFT 是将时变系统变换到频率域的一种算法，从频率的分布及其特征上给出明确的物理意义，所以在工程上得到广泛的应用。近些年来，随着计算机技术的出现和发展，使早在 1965 年美国的库利（J. W. Cooley）和图基（Tukey）提出的 D・F・T 离散快速算法得以实现，称为快速付里叶变换，简称 FFT。它使运算的乘法次数从 N^2（N 为数据组点数）降为 $(N/2)\cdot \lg N$，因而运算速度发生了数量级的变化，仪器也应运而生。其明显的优点是：

- 运算功能多，表示参数丰富。系统功能由十几种增至数百种。如美国的勃洛雪克（Prcsig）

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

计算机有限公司研制的(DATS)信号处理程序近六十种。若考虑程序自编则功能可以说是无限的。

● 运算速度快、实时能力强。

如 HP 5423A，HP 5451C 处理 1024 点 FFT只需 15ms。

● 分辨率高、精度高。

分辨率高达 4096 线。低频段 Δf 可达 0.0025 Hz，若采用 ZOOM（细化）技术可高达 400 倍细化。

● 操作、显示、复制、扩展、二次处理均很方便。

所以数字信号分析仪取代模拟频率分析仪是发展的必然趋势。

(2) FFT 分析仪及发展趋势

随着科学技术的发展，人们对信号分析仪的要求愈来愈高，对仪器的处理速度、分辨能力、特殊功能的发展、面向工业应用、仪器的性能价格比、小型便携、现场等提出了更高的要求。新的处理技术(理论和实践)，新的超大规模集成电路（VLSI）和专用单片机(DSP)的出现，为研制新的分析仪提供了条件。

自美国时间数据公司（Time Data）于1972年推出世界上第一台 FFT 分析仪以来，美国的 HP 公司、SD 公司、IBM 公司，日本的小野、三荣，英国的输力强，丹麦的 B&K 公司等也相继都有产品出现。

我国的 FFT 动态(信号)分析仪自 70 年代末期开始研制。1979 年由中国科学院声学所和天津电子仪器厂共同研制出我国第一台 HA 1 双通道 FFT 分析仪，它是采用微程序方法 1024 点 FFT 需要 38ms 的高速分析仪。但 HA1 系统庞大，调试困难。1984 年天津电子仪器厂和美国 SD 公司合作，引进和组装了当时世界上先进的 SD375 FFT 分析仪。1987 年又引进了 SD380 四通道 FFT 信号分析仪，目前由天津电子仪器公司消化、吸收并进行了局部国产化。由于 SD 380 价格昂贵不便于普及，1988 年该公司又研制出单板加软件实现的功能较全、价格低廉的 TD 4073 双通道 FFT 分析仪，还开发了 TD 4072 迭代处理器。1990 年利用 FFT 技术开发出小型、便携、价格便宜的专用仪器 TD4075 动平衡和谱分析仪及面向工业现场的 TD4090 旋转机械状态监测仪。为了满足不同用户的需要，该公司采用 IBM-PC 加 I/O 部件配以软件构成一台能自行开发和扩展的实验室信号分析仪方案，于 1990 年开发出模入、模出接口箱及部件与 PC 机加软件称为多通道数字信号处理与模态分析系统。

继天津中环电子仪器公司之后，上海 573 厂、江苏宝应测振仪器厂、北京测振仪器厂、天津中环电子仪器研究所、宁波东风无线电厂相继开发出产品，为发展我国的 FFT 信号分析仪作出贡献。

在 FFT 分析仪应用上，如清华大学、702 所、南京航空学院、江苏工学院等单位均在模态分析上很有研究并取得成果。

FFT 分析仪的发展趋势：

①不断出现新的算法。最初是在通用计算机上用软件实现 FFT 的。由于乘法是计算机的最大障碍，为了提高运算速度，所以陆续出现了许多 FFT 新算法。1986 年美国学者 Reder 发现 D·F·T 可用循环卷积计算，提出 NFFT 算法。1975 年美国学者 Winorgrad 证明了 N点循环卷积乘法次数可减少到 αN 次，称为 WFTA算法，比原 FFT 计算速度提高两倍。1977 年法国学

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

者 Nuss bauner 提出多项式循环变换，使 FFT 运算快了三倍，称为 PFTA 算法。该算法使软件实现 1024 点 FFT 可在一秒内完成，为纯软件方案提供了方便。

② FFT 的硬件实现是提高运算速度的关键。80 年代初 TRW 公司生产的高速乘法器，使16位乘法速度相当于一次"+"法的时间。另外，由于改进 FFT 运算结构，并行迭代阵列结构运算，专用数字信号处理单片机（DSP）TMS 320 系列芯片的出现，目前信号分析仪实时频率已达到 10kHz （LAB 3100 双通道 FFT 分析仪）。不久将来，更高实时速度的分析仪定会出现。

③ 细化 FFT(ZOOM-FFT) 技术使 FFT 分辨率得到进一步提高。1975 年 HP 公司提出带宽可选 FFT 分析法（BSFA），相继又提出了 Chirp-z 变换法、最大熵方法、Yip-ZOOM 变换、相位补偿法、HFRF 法等，有些已在仪器上实现。目前已有将 ZOOM-FFT 硬件标准化，用单片实现可使 FS 频率扩大到 100～128 倍以上，这将对振动模态密集耦合的频率展开带来方便。

④ 扩大和发展新功能是振动科学深入研究的必然。建立在新理论和新实践基础上的振动技术发展很快，所以新技术和新方法将会不断出现。

• 结构振动方面，为了研究受力与运动参数的相互关系，用正弦、脉冲，随机激励情况下的系统响应，实时考查各阶振动模态，分析和识别模态参数，相应出现机械阻抗测试、振动模态分析与参数识别实验技术和测试方法。

• 为了确切反应材料疲劳的实际情况，出现了多种峰值计数和变程统计方法，如雨流计数、穿级计数法等。

• 机械故障诊断方面出现了转速跟踪、倒频谱、细化倒频谱、同态滤波、功率谱阵图、特征比分析等。

• 非接触振动噪声测试利用相关技术的互谱声强测量技术。

另外，系统稳定性测试，各阶模态运动图，各种阻抗导纳图等新技术也在不断发展和完善。

(3) FFT 动态(信号)分析仪的类型

FFT 分析仪按机型可分单机和系统两类。

系统类有丰富的外设，功能强，便于开发，但价格昂贵，如 JEF-16、HP-5451C 等。该类仪器发展缓慢。

单机类发展迅速，是当今国内外 FFT 分析仪发展的主流。就单机而言，按其组成可分以下五种，而且均向能构成系统的方向发展。

① 纯硬件。速度快，价格高，开发生产困难，目前很少出现。如 626，HA1 等。

② 微机加软件。该方案是在微机上配以适当的 I/O 部件利用 FFT 软件实现，价格便宜，便于自行开发。但实时速度慢，不适于现场的实验室仪器方式。

③ 单板机加软件。程序固化，仪器化，价格便宜，使用方便，但速度较慢。

④ 单板机加单片机（DSP）。该类仪器运算速度较快，操作方便，配套能力较强，但价格较贵。如 SD380、HP35660A、TY4074 等。目前该类仪器发展较快。

⑤ 单片机加软件。随着大规模单片机的出现，集 A/D 和高速运算于一体的单片机出现使更高的性能价格比的 FFT 分析仪成为可能。目前已有部分产品出现或正在研制中。

总之，随着 LSI 技术的发展，信号分析仪将向小型化、系统化、通用化、通用与专用结合、专用化方向发展。硬件和软件相互融洽地结合，信号分析仪将向多样化、更高层次发展，满足不同层次

www.789pdf.com 789书库网

表 16-1 FRA 动态分析仪国内外主要产品性能对比表

序号	厂家及型号 / 指标名称	1250 英国	TD1250 型 天津电子仪器厂	TD4010 型 天津电子仪器厂	TD4020 型 天津电子仪器厂
1	频率范围 发生器频率精度	10μHz～65.535kHz ±0.01%	10μHz～65.535kHz ±0.01%	10μHz～999.9Hz 不大于 0.05%	1mHz～30kHz <0.005%±1
2	发生器输出波形	正弦、方波、三角波	正弦、方波、三角波	正弦、方波、三角波	正弦、方波、三角波
3	发生器最大输出幅度 发生器幅度精度 发生器偏压精度	(信号+偏压)15V(峰值) 10mV～1.023V<1%±1mV 1.023V～10.23V<1%±10mV −10.23V～10.25V<1%±10mV	(信号+偏压)±15V(峰值) 10mV～1.023V<1%±1mV 1.023～10.23V<1%±10mV −10.23V～10.23V<1%±10mV	1mV～10V 误差 <0.5%	正弦、方波: 10V(有效值) 三角波: 7.99V(有效值)
4	发生器波形失真	正弦: <1%	正弦: 10μHz～30kHz<1% 30～40kHz<1.5% 40～65.535kHz<2%	正弦失真: <1%	1mHz～9.999kHz<1% 10～30kHz<2%
5	输出阻抗	50Ω±2%	50Ω±10%	170Ω	<10Ω
6	扫频方式	对数: ① 10 频程 N 步。② 倍频程 N 步。③ 整个扫频 N 步。④新频对前面频率之比。 线性: ① 每步 NHz, ② 整个扫频 N 步; 方向: 上扫或下扫	对数: ① 10 频程 N 步。② 倍频程 N 步。③整个扫频 N 步。④ 新频对前面频率之比。 线性: ① 每步 NHz ② 整个扫频 N 步 方向: 上扫或下扫	线性、对数、保持、关断	扫频范围: 1mHz～30kHz 方式: 线性、对数 方向: 上扫、下扫 步长: 线性扫频 1mHz～30kHz 对数扫频每 2 倍频程 1～9 点
7	分析器测量范围	10mV～300V(有效值)	10mV～300V(有效值)	100mV～100V	10mV～100V, AOTO,
8	分析器输入阻抗	1MΩ	1MΩ, 前面板输入电容 70pF 后面板输入电容 100pF	1MΩ	电阻 >900kΩ 电容 <50pF
9	直角坐标精度	$a+jb$,5位数字显示	$a+jb$,5位数字显示	$A+jB$, $A=999$ (同相分量) $B=999$ (正交分量) 不大于 0.5%(满量程) ±1 个字	
10	极坐标精度	r、θ: r:(10μHz～65kHz 时) ±0.2～±0.5%	r、θ: r:(10μHz～65kHz) ±0.2%±0.5%)	r:θ: r: 不大于 0.5%(满量程)±1个字 θ: 不大于 0.2°, ±1 个字(幅度为	r、θ: r: (在100mV, 1V, 10V,100V 时)相对满度

www.789pdf.com 789书库网
www.789pdf.com 789书库网

		(输入信号不低于 10% 满度) θ:(10μHz～65kHz 输入信号不低于 1/5 量程时) ±0.1°～±1°	(输入信号不低于 10% 满度) θ:(10μHz～65kHz，输入信号不低于 1/5 量程时) <±0.1°～±1°	满量程) 不大于 1°±1 个字(幅度为满量程 10%)	1Hz～2kHz:±0.5%±1 2.001～4.999kHz:±1%±1 5～9.999kHz:±1.5%±1 10～30kHz:±2.5%±1 在 100mV 时(相对满度) 1Hz～2kHz:±1%±1 2.001～4.999kHz:±1.5%±1 5～9.999kHz:±2%±1 10～30kHz:±2.5%±1 θ: 在 100mV,1V、10V、100V 时相对满度 1Hz～2kHz:0.5° 2.001kHz～4.999kHz:1° 5～9.999kHz:1.5° 10～30kHz:2.5° 在 10mV 时相对满度 1Hz～2kHz:1° 2.001～4.999kHz:1.5° 5～9.999kHz:2° 10～30kHz:3°
11	对数极坐标精度	lg$R$:<±0.02dB±0.05dB	lg$R$:<±0.02dB～±0.05dB	lg$R$: 不大于 0.1dB±1 个字(幅度为满量程) 不大于 0.5 dB±1 个字(幅度为满量程)	10mV、100mV、1V、10V、100V 相对满度时 1Hz～2kHz:0.1dB 2.001～4.999kHz:0.2dB 5～9.999kHz:0.2dB 10～30kHz:0.3dB
12	共模电压抑制	>60dB(频率至 100Hz)	>60dB(频率至100Hz) 最小为 0		
13	测量延迟	10^6 从 0～10^6 周,或 10^5 秒	0～10^6 周，或 10^5 秒	0.1s,1s,10s 三档	最小为 0.1s，最大为 10s
14	分辨率	a、b 和 r:5 位数+指数 lg$r$:0.01dB θ:0.01°	a、b 和 r: 5 位数+指数 lg$r$:0.01dB θ:0.01°	满量程的 0.1%， 相位: 0.1°	$a+jb$ 及 r:3位半数字显示 lg$r$:0.1dB θ:0.2°
15	绘　图	数字: A_3 或 A_4 幅面模拟	数字 A_3 或 A_4 幅面模拟		
16	接　口	IEEE-488 接口 RS-423(232) 串行接口	IEEE-488 接口 RS-423(232) 串行接口	打印接口	打印接口

www.789pdf.com 789书库网
www.789pdf.com 789书库网

表16-2 FFT 动态(信号)分析仪国内外主要产品性能对比表

厂家及型号 / 指标	英国 SD380Z (SD 公司)	TD4073 天津电子仪器厂	YT4074 天津中环仪器公司研究所	DF4074W 宁波东风无线电厂
分析频率范围	1ch 1～100kHz; 2ch1～40kHz	DC～20kHz	DC～100kHz	DC～50kHz
分析点数	变量最高 2048 点	512 点	变点最高到 4096 点	1024 点
通道数	1～4 通道	2	2	1～4 通道
频率分辨率	变线最高 800 线	250 线	400 线	400 线
电压灵敏度	±10mV～±20V 满度	±50mV～±10V	±100mV～±10V	±5mV～±100V
FFT 实时处理速度	1024 点 30ms 实时 4kHz 带宽	1024 点 8s (软件实现)	1024 点处理速度 50ms	软件实现,速度慢
抗混滤波器	有且有抗混滤波器	无(外加)	−120dB/oct	−120dB/oct
A/D 变换器	12 位	8 位	12位	12 位
内存容量	1560K 字节	64K 字节		
时域分析	多种采集和分析、同步分析	有	有	有
频域分析	有	有	有	有
幅域分析	有	有	有	有
倒频域分析	无	有	无	有
统计分析	概率统计和概率分布	无	有	有
ZOOM 细化分析	1～256 倍(实时、瞬态)	无	CPZ 变换最高达 800 倍	有
倍频程分析	1/1 和 1/3	5"CRT 单、双显示	无	有
显示方式	高速单、双、三维、转旋、断面等		CRT 单双、三维显示	CRT 显示,单、双、三维显示
控制方式	轻触键 63 个菜单方式	按键菜单方式	触键、菜单方式,分配 pC 键盘	触键菜单式
计算机接口	IEEE-488 接口	无	RS-232C	RS-232C
重叠处理	有四档	无	无	无
动态范围	≥80dB	50dB	60dB	60～70dB
特殊功能	用 DSP TMS32020 芯片		应用 OSP TM32DC25 单片	
存储扩展	3 ½ 双面软盘 (1M 字节)	有	可带软盘有运算功能	双路 O/A输出,有运算功能
其它(平均方式)	2^0～2^{10} 线性和指数	线性、指数、峰值保持	能当计算机 (PC) 使用	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

不同应用领域的需要。

现将 FRA 动态分析仪和 FFT 动态(信号)分析仪国内外主要产品性能对比分别列表对比如表 16-1 和表 16-2。

第2节 分 类

动态分析仪按测试方法分成两大类,即:频域法动态分析仪(又称 FRA)和时域法动态分析仪(又称 FFT)。

除上述频域法和时域法动态分析仪外,将动态测试时必须应用的一些辅助仪器,例如滤波器、功率放大器、激振器、同步器等归为动态分析的仪器系统。

第3节 技术指标汇总

(一)频域法动态分析仪

因国内各厂家生产的产品不多,在门类中暂不需要再划分小类,所以技术指标汇总表是按国内各厂的一些型号产品来表示的。

表 16-3 FRA 动态分析仪指标汇总表

技术指标 \ 产品	BT6A	BT13A	TD1250	TD4010	TD4020	备 注
I. 信号发生器部分						
1 频率范围	●	●	●	●	●	
2 输出波形	●	●	●	●	●	
3 幅度范围	●	●	●	●	●	
4 波形失真(正弦波)	●	●	●	●	●	
5 输出阻抗	●	●	●	●	●	
*扫频		●	●	●	●	
II. 分析器部分						
6 频率范围	●	●	●	●	●	
7 测量范围(幅度)	●	●	●	●	●	
8 输入阻抗	●	●	●	●	●	
9 直角坐标	●	●	●	●	●	
10 极坐标	●	●	●	●	●	
11 对数极坐标	●	●	●	●	●	
12 共模抑制比	●		●	●	●	
13 分辨率	●	●	●	●	●	
*测量延迟			●			
III. 其它						
14 绘图			●			功能
15 接口			●	●	●	功能

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（二）时域法动态分析仪

因国内各厂家生产的产品不多，在门类中暂不需再划分小类，所以技术指标汇总表是按国内各厂的一些型号产品来表示的。

表 16-4 FFT 分析仪技术指标汇总表

技术指标 \ 分类	SD580Z 型 天津电子仪器厂	TD 4073 型 天津电子仪器厂	YT4074 型 天津电子仪器公司研究所	MT 401 型 江苏宝应测振仪器厂	DF4074 型 宁波东风无线电厂
I. 输入及外特性部分					
1. 输入通道数	●	●	●	●	●
2. 输入阻抗	●	●	●	●	●
3. 抗混滤波器	●				●
4. A/O 变换精度	●	●	●	●	●
5. 频率分辨率	●	●	●	●	●
6. 频率分析范围	●	●	●	●	●
7. 触发输入	●	●	●	●	●
8. 门槛和延迟	●	●	●	●	●
9. 动态范围	●	●	●	●	●
10. 振幅线性度	●	●	●	●	●
11. 实时处理最高频率	●		●		
II. 运算、功能部分					
12. 时域采集	●	●	●	●	●
13. 同步时域平均	●	●	●		●
14. 自相关函数	●	●	●	●	●
15. 互相关函数	●	●	●	●	●
16. 频谱	●	●	●	●	●
17. 功率谱	●	●	●	●	●
18. 互功率谱	●	●	●	●	●
19. 传递函数	●	●	●	●	●
20. 相干函数	●	●	●	●	●
21. 奈奎斯特图	●	●	●	●	●
22. 概率密度函数	●	●	●	●	●
23. 概率分布函数	●		●	●	●
24. 1/1 倍频程	●				●
25. 1/3 倍频程	●				●
26. 三维谱阵图	●		●		●
27. 细化功能	●				●
III. 外设部分					
* CRT 显示	●	●	●	●	
* IEEE-488接口	●		●		
* 打印机	●	●	●	●	●
* 绘图仪	●				
* 磁盘管理系统	●				
* 模态系统	●				

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第 4 节　技术指标及测试方法

(一) FRA 动态分析仪

I. 信号发生器部分

1. 频率范围

freguency range

根据设计方案，频率数字合成的上限和下限之间的范围。

测试方法：如图 16-2，用高一个数量级精度的频率计测量下限和上限以及中间若干点的频率精度。

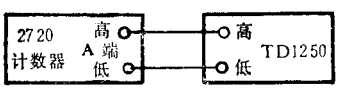


图　16-2

波形设置为方波，幅度 5V，测量其频率精度。

2. 输出波形

output wareform

根据设计方案，发生器部分能产生的信号波形。

测试方法：用示波器观察。

1250 发生器产生的方波和三角波都是同原点对称的，如图 16-3 所示。这种波形用付里叶级数展开后，只有奇次成份而无偶次成份。

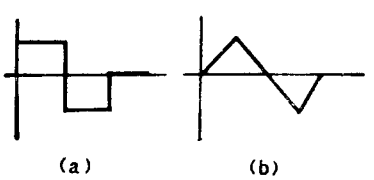


图　16-3

3. 输出幅度

output amplitude

发生器输出电压下限和上限之间的范围。

测试方法：如图 16-4，用高一个数量级精度的电压表测量发生器输出电压的下限和上限以及中间设定点的输出电压精度。

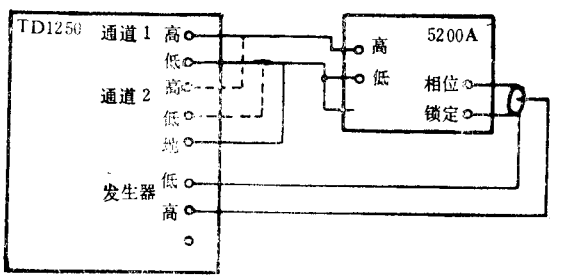


图　16-4

微机控制测量，用万分之一精度的标准信号源 5200 A，输入到 TD1250 的通道 1 和通道 2，校准 TD1250 分析器的测量精度。

4. 波形失真(正弦波)

waveform distortion (sine)

谐波分量的有效值与基波分量的有效值之比，用百分数表示。

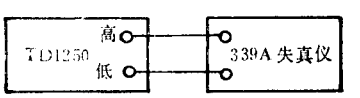


图　16-5

测试方法：如图 16-5，用高一个数量级精度的失真仪，例如 339A，在 1250 输出最大幅度，频率从最高到最低选若干失真较大的频率点测试波形失真。

5. 输出阻抗

output impedance

从发生器输出端看进去的阻抗。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：发生器输出一定频率一定幅度的信号，然后用一个适当阻值的电位器并接于发生器输出端，移动电位器轴使发生器输出幅度为原来的一半，此时电位器的阻值即是发生器输出阻抗。

II. 分析器部分

6. 频率范围

frequency range

仪器能分析被测对象频率上限和下限之间的范围。

测试方法：与指标 7 "测量范围(幅度)"一起完成。

7. 测量范围(幅度)

measuring range

在仪器允许的频率范围内，仪器能够测量信号的最低和最高之间的量值。

测试方法：用精度高一个数量级的标准信号源，在仪器允许的频率界限内，输出若干标准电压，让分析器测量检验其精度。

8. 输入阻抗

input impedance

从分析器输入端看进去的阻抗。

测试方法：用一个标准信号源，设置一定频率和幅度，加于分析器输入端，并用高精度电压表测分析器输入端的电压，然后将标准信号源串一个比分析器内阻稍大的电位器，再加于分析器输入端并用高精度电压表并接于分析器输入端，调节电位器使此时的电压值为未串电位器时的一半。测量此时电位器的值即为分析器输入阻抗。

9. 直角坐标

rectangvlas coordinate

被测系统频率特性的复数表达式用实部和虚部表示。

测试方法：用本机信号发生器输出若干频率和幅度去激励标准网络，标准网络输出送至分析器去测量，显示值应与标准网络设计值一致。

10. 极坐标

polar coordinate

系统频率特性的复数表达式用幅值和相位表示。

测试方法：将仪器置于极坐标方式，同第 9 项指标方法测试。

11. 对数极坐标

logaithmic coordinate

将极坐标幅值取以 10 为底的对数。（注：零电平的幅值由设计者按需要确定。）

测试方法：将仪器置于对数极坐标方式，同第 9 项指标方法测试。

12. 共模抑制比

Common Mode Rejection Riatio (CMRR)

运算放大器的差模增益与共模增益之比的绝对值。

测试方法：在运算放大器的输入端，将同一信号加至同相输入端和反相输入端，在输出端测得信号倒数。

13. 分辨率

resolutioro

仪器能读出被测量值的最小变化量。

III. 其它

14. 绘图

plotting

仪器接上绘图仪后能绘出被测量值的图形和曲线。

15. 接口

inteeface

主机与外围设备相互通信的转接设备。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（二）FFT 动态分析仪

FFT 分析仪均以 FFT 变换为核心进行多种扩充，由于输入通道数、指标、功能、外设配置、系统配套、应用领域、使用环境的不同，使 FFT 分析仪有较大的差别，所以很难给出全面的检测规范。这里只对现行分析仪的一般配置及通用功能，按产品标准给出某种检测方法供参考。至于某些高档 FFT 分析仪具有极完善的预处理，显示方式，系统配套，二次开发功能等，这里就不一一叙述了。如 SD380 的特征比功能，三维多种动画显示，灵活多变的面板监控及显示功能，软件支持下的模态分析系统等，均不描述。

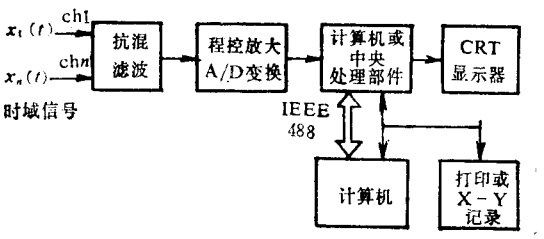


图　16-6

一般 FFT 分析仪的基本构成如图 16-6 所示。

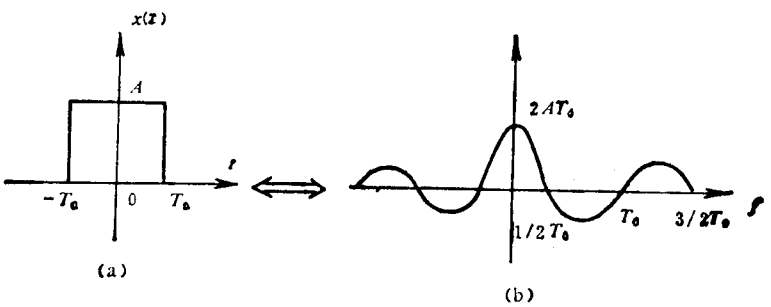


图　16-7

功能测试说明

由于 FFT 分析仪种类繁多，功能、性能差别较大，所以测试方法也不尽相同。为了达到定性与定量检查的目的，现给出下述方法供参考。

(1) 脉冲(方波)信号，由于其付里叶积分结果为 sinc 函数，如图 16-7，用此结果验证 FFT 分析仪功能正确性是适宜的。

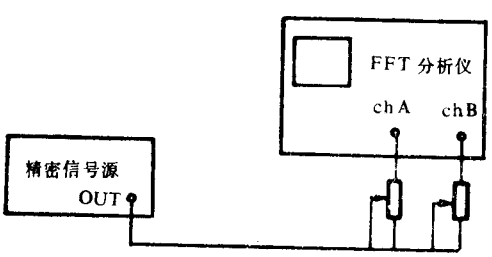


图　16-8

时域函数

$$x(t)=\begin{cases}A, & |t|<T_0\\ \dfrac{A}{2}, & t=\pm T_0\\ 0, & |t|>T_0\end{cases}$$

其付里叶变换由下式给出：

$$X(f)=\int_{T_0}^{T_0}A\cdot e^{-j2\pi ft}dt=2AT_0\frac{\sin(2\pi T_0 f)}{2\pi T_0 f}$$

将其按 FFT 分析仪数据组长度的点数 2^N 进行离散化，取双倍于 FFT 分析仪的字长，用 IBM-PC 计算机计算其结果可作为分析仪检查的标准结构(理论值)。由于线谱、功率谱、自、互相

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

关、互谱、传函、相干、倒频谱均可采取 IBM-PC 计算机对已知时域和频域结果的函数进行标准结果的计算，即可对 FFT 分析仪一系列主要功能进行定性和定量的检查。

典型信号的自相关、功率谱密度、概率密度和累计分布图谱

信号名称	时间函数	自相关	频谱（平均的PSD）	概率密度	累计分布
①正弦波					
②方波					
③脉冲波					
④三角波					
⑤锯齿波					
⑥宽带高斯噪声					
⑦带限噪声（滤波器-BW）					
⑧正弦波加高斯噪声					
⑨伪随机二进制序列噪声					
⑩伪随机二进制电平噪声均匀分布					

图 16-9

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

由于 FFT 分析仪时域信号的输入有的可以通过人机对话将要输入的信号输入，但多数只能通过 A/D 变换输入，再借助编辑功能将多余信号清除，达到与计算的时间函数的幅度、宽度、(点数)及奇偶性相符，经功能运算后才便于和标准结果进行比较。测试图如图 16-8。

(2) 为了进行一般定性检查的方便，现给出一组常规时域信号的自(互)相关、频谱、概率密度、概率分布等对应的结果图例，可供检验时对照。见图 16-9。

(3) 在具较高档 FFT 分析仪的情况下面如 SD380，HP3562 等，可将同一信号分别输入到 SD-380 和被测 FFT 分析仪，选同样功能和条件进行分析对比。

也可用不同类仪器测试同一系统，从分析结果进行对比。

如利用 1250 频响分析仪测滤波器的频响特性曲线进行检测。

(4) 外设部分

由于 FFT 分析仪外设配置差别较大，测试中均需按使用操作说明的要求进行联机，逐项检查。

I. 输入及外特性部分

1. 输入通道数

input channel numoers

指仪器可以同时采集时间信号的最多路数。

测试方法：用同一信号源进行通道输入并显示，通过光标查询各通道同一时刻的信号读数应有一致性。否则将会产生相位差。

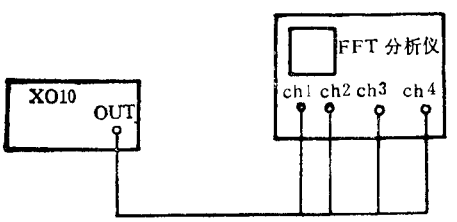


图　16-10

2. 输入阻抗

input impedance

从放大器输入端看进去的有效阻抗。

测试方法：用标准信号源(XO10等)设置分析范围内的某一频率和量程范围内的幅度，分别接至分析仪两通道输入端，用高精度电压表测分析仪输入端电压值。然后将信号源与仪器间串连两只比分析仪内阻稍大的电位器。再用高精度电压表并接到分析仪两输入端，调节电位器使此时电压值为未接电位器时的一半。此时电位器的阻值即定为分析仪的两通道输入阻抗。

3. 抗混滤波器

anti-aliasing filter

滤除 $1/2\Delta t$ (Δt 为 A/D 采样间隔)以上的频率成分，防止分析中出现混叠现象。

测试方法：滤波器的通带波动、陡度、相位是影响 FFT 分析仪精度的三个指标，进行测试时应按产品技术条件检验。利用仪器本身的线谱功能进行测试。

① 将白噪声发生器按已知幅度输出接 FFT 分析仪的 ChA 和 chB 上，取多次平均选不同分析范围的线谱功能，待运算结束显示结果，用光标查询设定分析范围内通带区的幅度，波动过渡带的陡度应满足技术条件要求。

② 将扫频信号源按一定幅度输出接分析仪 ChA 和 ChB，选线谱峰值保持功能经多次运算显示结果，用光标查询通带幅度、波动及陡

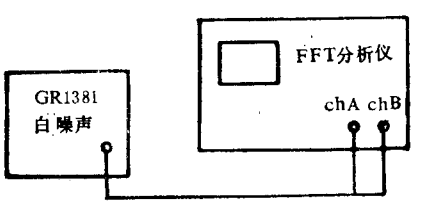


图 16-11　含滤波器 FFT 分析仪取线谱平均方式

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

度应符合技术条件要求。应特别注意低频段和高频段的指标。

③ 用 XO10 信号源接分析仪 ChA 和 ChB 选幅/相功能，在信号源输出频率上相位应为 0 度或在误差范围内。

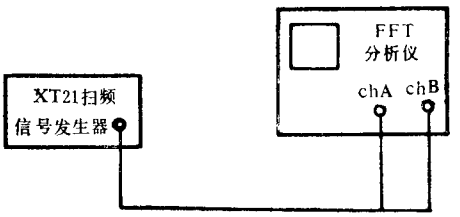


图 16-12 含滤波器 FFT分析仪取线谱峰值保持平均方式

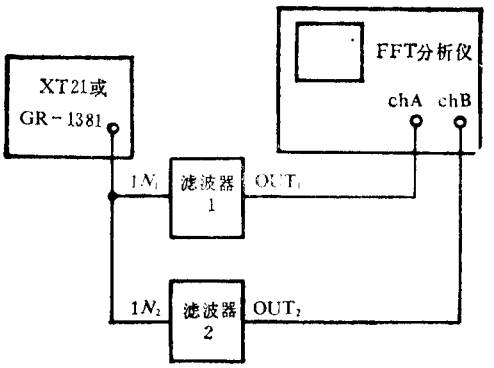


图 16-13 外接滤波器方式

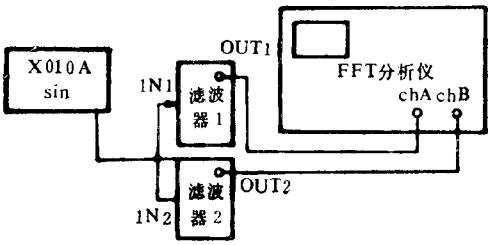


图 16-14 外接滤波器用幅/相功能进行相位检查

4. A/D 精度和字长

A/D accuracy and word length

描述模拟信号变换为数字信号精度的指标。

测试方法： 由于 A/D 字长是分析仪输入信号精度的反映，但也受硬件处理不同而造成精度的误差。用精密直流标准源输出信号接至分析仪 ChA 和 ChB，选不同分析范围(采样频率)的时域采集和显示功能，用光标查询或数据打印输出法检查读出值是否和标准源一致，其精度应满足技术条件要求。

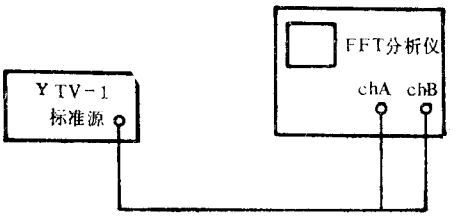


图 16-15 取 TIME A 和 B 功能

5. 频率分辨率

frequency resolution

指 FFT 分析频域图中相邻两谱线频率间隔值(称为 ΔF)。

测试方法： 选各分析范围取线谱功能，用光标查询两相邻谱线频率读出的差值。细化功能的频率分辨力下面还要说明。

6. 频率分析范围

analyse frequency range

分析仪按不同采样频率设定的被分析信号的频率上限。

测试方法： 根据分析仪设定的分析频率范围，将 XO10 信号源选相应的输出频率取线谱功能应得出正确结果。(以检查频率准确度为主。)

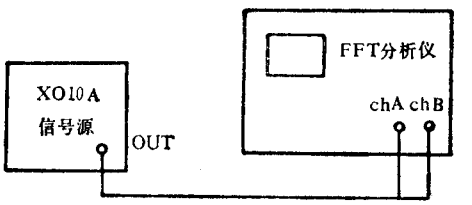


图 16-16 FFT 分析仪取线谱功能

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7. 触发输入

trigger input

8. 门槛和延迟

level, deley

为配合不同形式的时域信号而设定的触发信号到来时开始采集，也可设定满足某电平或正负延迟若干点数的一种时域信号采集方法。

测试方法： 将 XO10 信号源输出正弦信号与分析仪 ChA 和 ChB 相联，设置不同的触发电平(门槛)和延迟点数取时域 TIME A&B 功能反复操作比较和观察即可检查其功能的正确性。要求按技术条件进行。

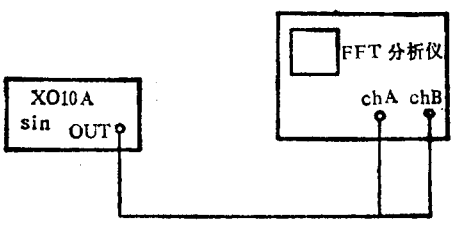


图 16-17　触发、门槛、延迟功能检查

9. 动态范围

dynamic range

在测量仪器内，不受各种噪声的影响而能获得准确的测定结果，范围是最大容许信号级和噪声级之比，一般用 dB (分贝)表示。

测试方法： 动态范围对 FFT 分析仪而言是受抗混滤波器、A/D 字长、运算方法、输入信号的信噪比等多因素影响的综合指标。为方便一般可采用 XO10 精密信号源输出单一正弦信号满度输入到 FFT 分析仪作线谱或功率谱功能，为防止产生旁瓣应使采集的被分析信号要为输入正弦信号周期的整倍数。选择对数坐标方式，用光标读取正弦信号频率外的频率成份的衰减量(dB 值)，即可视为该分析仪的动态范围。

10. 振幅线性度

aliasing linear distortion

系指幅度失真度。

测试方法： 可参考指标 3. 抗混滤波器的测试方法测试通带信号的振幅失真度。注意高频段和低频段应满足技术条件要求。

11. 实时处理最高频率

real time procese upper bound frequency

指仪器线谱分析的最高处理速度的频率。换言之指运算一组 N 点某功能的时间小于或等于输入一组 N 点数据时间的分析带宽称为实时速度。

测试方法： 该指标随仪器的运算速度有直接关系，一般以纯软件实现的 FFT 分析仪可以说无实时能力，例如 SD380 双通道实时带宽 1024 点为 2kHz。

II. 运算、功能部分

12. 时域

time A&B

选择不同采样频率进行时域信号采集并显示功能。

测试方法： 将 XO10 信号源接入分析仪 ChA 和 ChB 进行采样并显示，用光标查询与信号源进行比较。

13. 同步时域平均

sync time A&B

为提高时域输入信号的信噪比 (N/S) 而采取的外同步触发信号启动输入信号的平均。

测试方法： 用加速度传感器安装在旋转设备某部位，用光电传感器从旋转部件上拾取定点触发信号选平均功能可得到随平均次数的增加而逐渐光滑的振动曲线。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

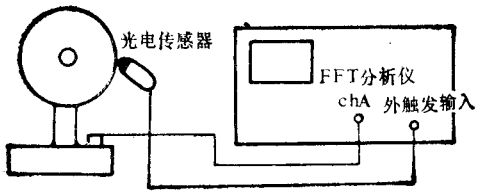


图 16-18 sync timeA 平均功能测试

14. 自相关函数

auto correlaion function

是测两信号在时域上的相似程度的一种描述，广泛地应用于不规则信号的分析。可检查信号的同步性。数学表达式:

$$R_{xx}(\tau):=\int_{-\infty}^{\infty} x(t)\cdot x(t+\tau)dt$$

式中 τ 为延迟时间

测试方法: 可按前面的图 16-9 或输入确定信号进行检测。

15. 互相关函数

cross-correlation function

表示两种信号在时域上的相似程度，数学表达式:

$$R_{xy}(\tau)=\int_{-\infty}^{\infty} x(t)\cdot y(t-\tau)dt$$

测试方法: 可按前面的图 16-9 或输入确定信号进行检测。两路输入同一信号同自相关函数的结果。

16. 频谱

spectrum A&B

指输入信号 FFT 的模值(也称振幅谱)。数学表达式:

幅度谱 $|X(f)|=\sqrt{\mathrm{Re}^2[X(f)]+\mathrm{Im}^2[X(f)]}$

相位谱 $\phi(f)=\mathrm{arctg}\,\mathrm{Im}[X(f)]/\mathrm{Re}[X(f)]$

测试方法: 将 XO10 输出sin信号接分析仪 ChA 和 ChB 取线谱，结果应与sin信号的幅度和频率一致。(注意采样信号为sin信号的整倍数周期进行分析。)或见图 16-9。

17. 功率谱

power spectrum

功率谱是用来表示平稳非确定性信号所使用的一种量，是频域中对信号能量分布的一种描述。它可以由自相关函数或 FFT 方法得到。数学表达式:

$$G_{xx}(f)=X(f)\cdot X^*(f)$$

式中 $X^*(f)$ 为 $X(f)$ 的共轭复数。

它只与幅度有关与相位无关，所以可在频域中进行平均，提高信号的信噪比。

测试方法: 同指标 16 "频谱"测试方法，结果只是线谱的平方量。

18. 互功率谱

cross spectrum

互谱是两个时域信号相关程度在频域中的描述。数学表达式:

$$G_{xy}(f)=X^*(f)\cdot Y(f)$$

式中 $X^*(f)$ 为 $X(f)$的共轭复数。

测试方法: 同指标 16 "频谱"测试方法。因 ChA 和 ChB 输入同一信号，所以结果应与自功率谱一致。

19. 传递函数

transfer function

表示线性系统输出(响应)和输入(激励)付里叶变换之比。数学表达式:

$$Y(f)=H(f)\cdot X(f)$$

或

$$H(f)=\frac{Y(f)}{X(f)}$$

分析仪多用 $H(f)=\dfrac{G_{xy}(f)}{G_{xx}(f)}$

式中 $G_{xy}(f)$ 为输入、输出信号的互功率谱;

$G_{xx}(f)$ 为输入信号的自功率谱。

测试方法: 将白噪声信号源与滤波器相接，白噪声源接分析仪 ChA，滤波器输出接分析仪

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

ChB，选传函功能进行多次平均，其结果的幅相特性可以反映出滤波器的特性。

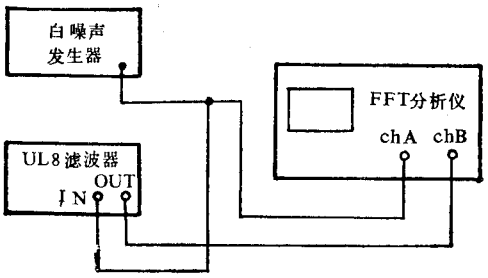


图 16-19　传递函数测量

20. 相干函数

coherence function

是两个信号在频率域中相似性的一种描述，是互功率谱归一化的结果。数学表达式：

$$r^2(f)=\frac{|G_{xy}(f)|^2}{G_{xx}(f)\cdot G_{yy}(f)}\quad 0\leqslant r^2(f)\leqslant 1$$

测试方法：同指标 19“传递函数”。在滤波器通带部分相干值为 1，带阻部分相干值为 0。

21. 奈奎斯特图

nyquist diagram

为复数在直角坐标中的一种表示形式。

测试方法：输入分析仪一方波信号求复数 FFT，其奈奎斯特图可得到一螺旋线。

22. 概率密度函数

probability density function

随机变量瞬时幅值出现在增量范围内出现的概率与增量之比。

测试方法：用 XO10 输出 sin 信号到分析仪 ChA 取概率密度函数多次平均得到盆状曲线。或按图 16-9 测试。

23. 概率分布函数

probability distribution function

随机变量的幅值不大于某值的累积概率。

测试方法：参考图 16-9。

24. 1/1 倍频程

1/1 octave band

频率比为 2 的两个频率宽度范围的有效值电平表示为该带宽中心频率函数的分析方法。在频率轴上，对于 f_1，若取 $f_2=2f_1$，f_2 和 f_1 间隔为倍频。倍频的中心频率为

$$f_0=\sqrt{f_0f_1}=\sqrt{2f_1}=f_2/\sqrt{2}$$

测试方法：将白噪声信号发生器输出接到分析仪的 A 通道，选倍频程功能可得到按倍数频分布的从低到高的阶梯状曲线。

25. 1/3 倍频程

1/3 octave band

是 1/1 倍频再细分 1/3 的一种表示方法。中心频率为

$$f_0=2^{1/6}\cdot f_1=f_2/2^{1/6}$$

测试方法：同指标 24“1/1 倍频程”测试方法。

26. 三维谱阵图

triaxial unrdy spectum Image

将时域信号进行多组连续采集，经 FFT 运算后的多组线谱或功率谱以 Z 轴为时间轴的一种显示方式。

测试方法：利用扫频仪输出接分析仪 ChA 作三维线谱处理可得到振幅随频率而移的三维谱阵图。

27. 细化

zoom

为了提高 FFT 的频率分辨率对局部频率范围进行处理，达到提高分辨率的一种方法。

测试方法：

用频率合成器合成两个已知且频差小于分析仪所选频率分辨率 Δf 频宽，进行常规线谱分析，此时将因 FFT 的帘栅效应将两合成频

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

率丢掉一条谱线。当选细化功能取适当的细化倍数时(如2倍)进行分析则出现两条谱线。以此类推,改变合成频率和细化倍数、逐项检查可将所有的细化倍数进行检查。

* * *　　* * *

本章的技术指标和测试方法中所用的主要测试仪器,汇总列表如下。

1. FRA 动态分析仪主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	可替代的仪器名称	检定规程编号
频率计	2720 E312 型	PS34 型相位频率计	
超低频双踪示波器	SBD6B 型		
超低频峰值电压表	DS43 型	DS33 型超低频峰值电压表	
失真计20Hz～100kHz	339A 型	BS1A 型失真测量仪	
数字电压表	7150 型	$5\frac{1}{2}$ 数字电压表	
四踪显示器	SZ7 型		
专用测试电路			
信号发生器	XFD-6 型		
交流标准源	5200A 型		
计算机系统	CBM8296 型		
磁盘驱动器	包括 8050 及 8023P		
打印机			
数字电容表			

2. FFT 动态分析仪主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	可替代的仪器名称	
精密信号源	XO10A 型		
20MHz 双踪示波器			
扫频信号发生器	XS21 型		
频率计	E312 型		
白噪声发生器	GR1381 型		
双通道滤波器	UL8 型		
直流标准源	YJV-1 型		
打印机	9针或24针	笔录仪	
计算机	IPM-PC 机		
数字电压表	7151 型		
频率合成器			
伪随机信号发生器	XT21		
●信号分析仪	SD380	SD375	
●频响分析仪	TD1250		

注：也可参考同类型仪器进行检测。表中带"●"号者为参考选用仪器。所选测量仪器精度应高于被测 FFT 分析仪精度指标。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第17章 计量测试用波导与同轴元件

第1节 综 述

计量测试用波导与同轴元件(以下简称波导与同轴元件),也有称做为波导、同轴测试附件或配件的,它们不仅是组成各种射频、微波系统(以下简称微波)的基础元件或组合部分,同时在不少场合下,其本身也可独立完成计量测试任务。可以说如果没有必要的、质量指标符合要求的波导与同轴元件,就不可能顺利完成微波传输系统计量测试任务。例如,美国HP公司推出的HP8757 C/E、HP8510等标量、矢量网络分析仪,它就使用和随机配置了许多计量测试用的同轴元件,诸如定向电桥、检波器、开路器、短路器、匹配负载、固定衰减器、转接器、转换器、高与低通滤波器、移相器、校准器……等等。其中的校准器价值达1000美元以上。一个测试系统所含的计量测试用的"元件"的价值有时甚至可以与整机的价值相比。由于这些"波导与同轴元件"与通常的电子元器件有很大的不同,所以国内外对波导与同轴元件的生产、研制或开发都是在专业仪器厂进行的。

在20世纪30年代和40年代中,微波技术获得迅速发展。特别是40年代,由于军事上的需要,进一步加速了在雷达、导航、导弹以及军用接力通信方面的应用。50年代之后,随着科学技术的进步,微波技术在其它科学领域也获得广泛应用。并由此而兴起许多新的技术,如微波频谱学、射电天文学、微波气象学及原子能研究等领域,形成了微波技术和微波电子学两个紧密结合的学科。

微波技术的成就,是由于近代科学和电子技术紧迫要求所促成的,而且,其本身的成就即是在近代科学和技术上主要的成就之一。

伴随微波技术发展的需要,作为其基础的元器件也得到相应发展。40年代,无源线性元件的研制技术趋于成熟,特别是厘米波段以下的波导、同轴元件,其技术性能已达到较高水平。50年代以后,常用非线性元件如铁氧体器件、半导体器件等,由于材料、工艺及测试技术问题的逐步解决,技术性能也得到了很大改善。70年代之后,波导元件的上限工作频率已达300GHz以上,同轴元件的频率也突破26.5GHz这个传统界限而跨入毫米波段。

我国于50年代中期着手微波技术的开发,迄今已近四十年。在此期间内,国外发达国家对我国实行技术封锁,国内又遭受了十年动乱干扰,因而使我国微波技术的发展受到很大损失。就总的情况来看,我国微波、毫米波技术较世界先进水平落后约10年。

近年来,改革开放给我国微波、毫米波技术的发展带来了生机,并在某些方面取得可喜进展。有些产品已进入世界高技术产品行列。我国研制的波导与同轴元件,除少数品种如宽带检波、混频及某些特殊元件外,不少元件的性能已达国际水平。中科院电子所1988年研制成功的KDZ-PA型毫米波功率计,具有超宽频带(26.5～170GHz)、宽功率量程(100μW～1W)、高准确度[±(3～10)%],该产品得到国内外权威人士的高度评价,并被美国HP公司采用;KDZ-WT锥体过渡波导,以高质量在欧美各发达国家中赢得市场;CRK速调管系列,由于采用了先进技术,在输出功率、频带宽度,频率稳定度和寿命方面均达到较高水平,多次出口美国、德国、澳大利亚等

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

发达国家。大华无线电仪器厂生产的DH 系列波导元件，已覆盖 5 厘米至 2 毫米的各个频段，其主要性能及工艺水平均达先进水平。1988 年开始，与美国多拉多公司签定了长期定货意向书，多批投放美、英及其它国际市场。此外，机电部 55 所、50 所、中国科技大学、成都科技大学及上海无线电26厂等单位生产的部分高水平微波毫米波波导元器件，也已进入国外市场。

同轴元件与国外水平相比差距较大。目前，我国生产的同轴元件，其上限频率一般在 18GHz 以下，频率达 40GHz 同轴元件的研制工作刚刚起步。而在国外，随着毫米波技术发展的需要及 MIMIC 和混合集成器件子系统的研制、开发与应用，宽带毫米波同轴元件的发展很快。近年来，美国 Wiltron 公司推出的 K 型 V 型接头、MIA-COM Ommi Spectra 公司的 OS-50 型接头、Kevlin 公司的 KMC-SL 型接头以及 Weinsched 公司和 HP 公司推出多种同轴元件，上限频率可达 40～60GHz 以上，具有极好的性能。另有资料透露，用同轴元件和接头装配的商品仪器，工作频率已达 70GHz，而 1 毫米同轴接头的工作频率已达 110GHz。有人预料，毫米波同轴元件将有可能越来越多地代替波导元件。

本章介绍的测试技术，虽然多为传统的、常规的、通用的测试方法，但曾在微波技术发展过程中起了重要作用，而且在今后仍将发挥一定作用。

科学技术和测量技术始终是共栖交融的。新的测试和计量方法，是促使新技术趋于成熟的关键。标准接口的出现，计算机与微波测量仪器的结合，尤其是与网络分析仪、频谱分析仪、六端口技术的结合，使微波测试技术的自动化变成现实，它将在微波计测技术发展史上产生极为深远的影响。数字计算机的采用，不仅提高了测试速度，改善了测量准确度和精密度，而且由于它对 CAD 技术的巨大贡献，从而改变了人们对产品设计、测试线路和测试方法的传统方式，这将有助于进一步促进微波、毫米波技术的更快成熟与发展。

第 2 节　波导、同轴元件的分类

波导、同轴元件，种类繁多，形式不一，作用不同，不可能进行严格的分类。在一般情况下，可根据其不同功能划分为三大类。

1. 连接元件类：该类元件主要用于系统间的连接。如波导元件中的直波导、扭波导、弯波导、软波导、渐变波导、T 形接头、波导-同轴转换，以及同轴元件中的各种同轴接头、分支、转换等。

2. 通用元件类：在测试系统中经常使用的元件。如波长表、检波器、短路器、调配器、衰减器、移相器、定向耦合器、隔离器、全匹配负载等。

3. 职能器件类：凡不属于以上两类的元件均可列入此类。如波型变换器、滤波器、环行器、功分器、调制器、混频器、倍频器等。

第 3 节　常用波导、同轴元件参数汇总

几点说明

1. 本章叙述的波导与同轴元件仅包括国际电工委员会（IEC）第 46 技术委员会中第 46B 分技术委员会以及美国军用（MIL）规范中类目 FSC5985 规定的部分微波元件。

2. 微波元件涉及的电气参数系标准中规定要测试的参数，其中一部分是通用的，有一部分是

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

专用的。为了简化起见，我们将波导、同轴元件的常用电气参数用"参数汇总表"列出各个参数与类别的对应关系。在编写测试方法时，就合并在一起了。

3. 本章涉及的参数较多，对不同的参数也有多种不同的测试方法。本章给出的仅是一些常用的和典型的测试方法。读者如有需要，可查阅电子技术、微波毫米波测量的有关内容。

常用波导、同轴元件参数汇总表

序号	类别 / 参数	波导、同轴移相器	波导、同轴开关	波导、同轴衰减器	波导、同轴定向耦合器	波导、同轴隔离器	波导、同轴转换器
1	衰减量 A			●		●	
2	电压驻波比和反射系数（$VSWR$ 和 ρ）	●	●	●	●	●	●
3	插入损耗 L		●				●
4	相移	●					
5	有效方向性 D				●		
6	耦合系数 C				●		
7	隔离度		●			●	

第 4 节　波导、同轴元件参数及测试方法

1. 衰减量　A

attenuation

当网络插入一个无反射传输系统时，负载上所得到的信号功率的降低程度（分贝）。

$$A(\mathrm{dB}) = 10\lg\frac{P_1}{P_2} \qquad (17\text{-}1)$$

式中　P_1 = 网络插入前负载得到的功率；

P_2 = 网络插入后负载得到的输出功率。

测试方法：

I. 功率比法

（1）测试方框图，见图 17-1。

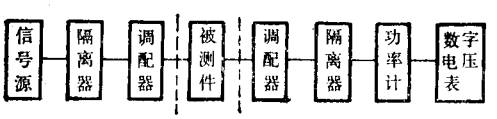


图　17-1

（2）测试说明和要求

测量前先将信号源及指示网络的驻波比调到小于 1.02。

（3）测试步骤

① 按测试方框图连接并使之正常工作。

② 读取被测件未加入前的功率计读数 P_1。

③ 读取接入被测件后的功率计读数 P_2。

④ 按公式（17-1）计算出衰减量 A。

主要测试仪器：按测试要求进行确定。

信号发生器：有足够的稳定的功率输出。

隔离器：反向衰减 >20dB，较小的驻波比。

调配器：可将系统调配到驻波比 <1.02。

功率计：具有适当的量程及动态范围。

II. 高频替代法

（1）测试方框图，见图 17-2。

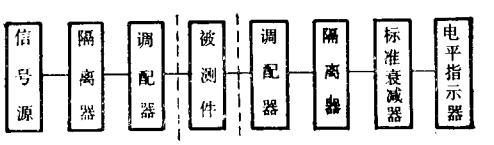


图　17-2

（2）测试说明和要求

① 在小范围衰减量中可用检波器及选频放大器作电平指示器，大范围的测量（直至 100 dB），可用外差接收式频谱仪等作指示器。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 在波导系统中标准衰减器一般采用回转式衰减器为宜；而在同轴系统中可选用十进制电阻式或有耗传输线式衰减器。

③ 为提高测试精度，电路中各调配器-隔离器组合均应调至驻波比小于 1.02 以下。

(3) 测试步骤

① 按测试方框图连接并使之正常工作。

② 在被测件接入之前(或在被测可变衰减元件置于起始位置时)，将标准衰减器置于足以替代未知量的较大衰减值 A_1，并使在电平指示器上指示适当读数。

③ 接入被测件减小标准衰减器到 A_2，使指示器读数保持原读数。

④ 按下式计算衰减量 A

$$A = A_1 - A_2 \qquad (17\text{-}2)$$

主要测试仪器：按测试要求进行确定。

信号源：有足够的稳定的功率输出。

隔离器：反向衰减 >20dB，较小的驻波比。

调配器：可将系统驻波比调到 <1.02。

标准衰减器：精度优于被测值一个数量级以上。

III. 调制副载波法

(1) 测试方框图，见图 17-3。

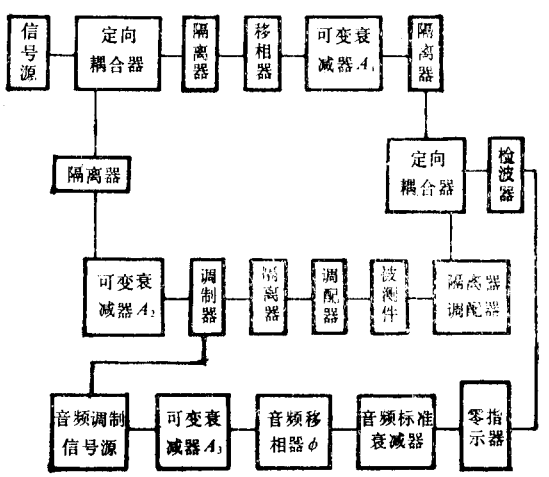


图 17-3

(2) 测试说明和要求

该系统为零差指示的不抑制副载波系统，它将来自同一微波源的两个相关信号，在一个二极管上进行相关检波，使与被测衰减有关的微波调制信号线性地转换为调制音频信号，然后用高精度的音频衰减标准替代被测衰减。

(3) 测试步骤

① 调节微波信号源至测量频率。

② 调节可变衰减器 A_1，使载波通道加到检波器上的功率约为 1mW。

③ 调节可变衰减器 A_2，使副载波加到检波器上的功率为 −20～−30dBm。

④ 系统调配，使 $\Gamma_g \approx 0, \Gamma_l \approx 0$。

⑤ 被测衰减器置零(或参考位置)，音频标准衰减器输出最大。

⑥ 调节指示器内选放增益，改变音频通道的幅度和相位，使指示器指零，此时，音频标准衰减器读数为 α_1，

⑦ 被测件置于测量位置，调节音频通道的幅度和相位，使指示器再次指零，此时，音频校准衰减器读数为 α_2，

⑧ 被测件衰减量按下式计算：

$$A = 20\lg\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \qquad (17\text{-}3)$$

主要测试仪器：按测试要求进行确定。

音频校准衰减器：准确度优于 10^{-6}

微波信号源：频率稳定度优于 1×10^{-4}。

检波器：非线性误差 < ±0.01dB。

音频移相器：相位调整误差优于 ±0.5°。

2. 电压驻波比和反射系数 VSWR 和 ρ

Voltage Standing Wave Ratio

传输线上电压最大值 U_{max} 与电压最小值 U_{min} 之比；电压驻波比与反射系数的模值具有下列关系：

$$VSWR = \frac{1+|\rho|}{1-|\rho|} \qquad (4)$$

式中 $|\rho|$为反射系数的模值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：

I. 测量线直接读数法：

(1) 测试方框图，见图 17-4。

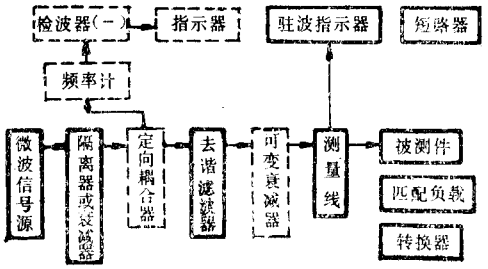


图　17-4

(2) 测试说明和要求

① 按图 17-4 装接测量系统。

② 调整系统正常工作。

(3) 测试步骤

① 测单口元件：移动测量线探针座，分别读出对应于驻波最大值 U_{max} 和最小值 U_{min} 的指示器读数 a_{max} 和 a_{min}。然后按测量线晶体检波律计算电压驻波比的测量值 S_x。

a. 如晶体检波律 $N=1.95\sim2.05$ 时，即：

$$S_x=\sqrt{\frac{a_{max}}{a_{min}}} \qquad (17\text{-}5)$$

b. 如查晶体检波校准曲线时：测量线归一化晶体检波曲线表达式为：

$$a=(a')^N$$

查出 a_{max} 和 a_{min} 的校准值 a'_{max} 和 a'_{min}，按下式计算：

$$S_x=\frac{a'_{max}}{a'_{min}} \qquad (17\text{-}6)$$

② 测双口元件：

a. 双口元件终接匹配负载时：按测单口元件方法步骤进行测量。

b. 双口元件终接滑动负载时：联动法测无耗双口元件，当滑动负载与探针座一起移动超过半导波长时，如同测量线直接读数法一样，可得最大和最小二个指示值：a_{max} 和 a_{min}。然后按公式(17-5)或公式(17-6)计算无耗双口元件的驻波比测量值 S_x。

主要测试仪器：

微波信号发生器、晶体检波器、隔离器和定向耦合器

II. 扫频定向耦合器高频衰减替代法：

(1) 测试方框图，见图 17-5。

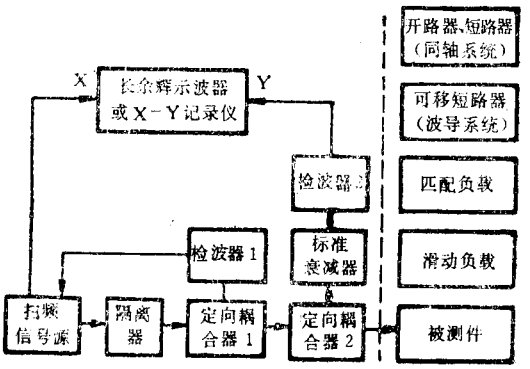


图　17-5

(2) 测试说明和要求

① 按图 17-5 装接测量系统。

② 调整系统正常工作。

(3) 测试步骤

① 标准衰减器放在 0dB，终接可移短路器。调节扫源输出，得到合适的 $|\Gamma|=1$ 的定标线。同时也显示零基线。

② 若系统有跟踪误差，可用开路短路平均曲线法来作满度校正线。

③ 根据被测 $|\Gamma|$ 的变化范围，用标准衰减器作出一组定标线。

④ 拆下短路器，接上待测件，标准衰减器置于 0dB，即可得到 $|\Gamma|\sim f$ 曲线。可根据计算公式 $VSWR=\frac{1+|\rho|}{1-|\rho|}$ 计算出电压驻波比。对于二口被测件，可终接可移负载，将其中吸收片移动半个以上的导内波长，取其包络的平均值作为被测值，这样可不计终接负载驻波系数不为 1 的测量误差。

主要测试仪器：

扫频信号源，检波器、定向耦合器、标准衰

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

减器。

3. 插入损耗 L

insertion loss

当一个网络插入微波传输系统时，网络插入前与网络插入后同一负载所接受的功率之比称为插入损耗。插入损耗用分贝数表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 17-2。

(2) 测试说明和技术要求

插入损耗不仅决定于网络本身的散射参数，而且与信号源及负载是否与传输线匹配有关，因而不同的匹配情况被测件的插入损耗不同。

(3) 测试步骤：同指标 1"衰减量"测试方法 II 高频替代法测试步骤。

主要测试仪器：同衰减量高频替代法测试方法。

4. 相移

phase-shifting

正弦信号通过一个网络时，输出端信号相对于输入端信号的相位的偏移。

测试方法：

I. 反射波法

(1) 测试方框图，见图 17-6。

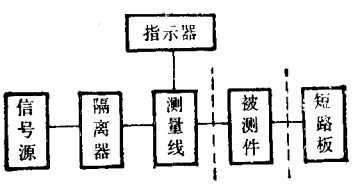


图 17-6

(2) 测试说明和要求

隔离器应具有较大的反向衰减，测量线探针位置读数应足够准确。

(3) 测试步骤

① 按方框图图 17-6 连接电路，并使之正常工作。

② 先将短路板直接接到测量线终端。

③ 在测量线左端找出一个波节点位置 l'。

④ 在测量线与短路板间接入被测件。

⑤ 向右移动测量线探针，找到新的波节点位置 l''。

⑥ 按下式计算出相移量 φ_{21}

$$\varphi_{21} = \frac{2(l' - l'')}{\lambda_g} \qquad (17\text{-}7)$$

式中 λ_g 为导内波长。

主要测试仪器：按测试要求确定。

信号源：具有较好的频率稳定性。

隔离器：反向衰减 > 20dB。

测量线：具有较高的位移读数精度。

II. 电桥法

(1) 测试方框图，见图 17-7。

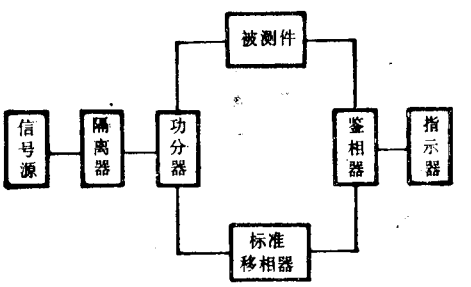


图 17-7

(2) 测试说明和要求

信号可以是连续波，也可以是方波调制，通过对参考通道及测试通道进行两次平衡测量相对相移。

(3) 测试步骤

① 按方框图图 17-7 连接电路并使之正常工作。

② 被测件（例如被测校准移相器）置于起始位置，调节标准移相器，使指示器指示为零，设标准移相器读数为 φ_{r1}。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

③ 调节被测移相器至所需位置，重调标准移相器使指示器恢复零值，标准移相器读数为 φ_{r2}。

④ 被测件的相对相移量 φ_{21} 按下式求出：

$$\varphi_{21} = \varphi_{r2} - \varphi_{r1} \qquad (17\text{-}8)$$

主要测试仪器：按测试要求进行确定：

信号源：具有较高的频率稳定性。

隔离器：反向衰减 > 20dB。

功分器：具有较高的隔离度。

标准移相器：精度优于被测件一个数量级。

5. 有效方向性　*D*

effective directivity

用恒定的功率在定向耦合器主线两个方向激励时，副线输出的正向有效功率 $P_{正}$ 与反向有效功率 $P_{反}$ 之比，以 dB 表示。

$$D = 10\lg_{10}\frac{P_{正}}{P_{反}} \qquad (17\text{-}9)$$

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 17-8。

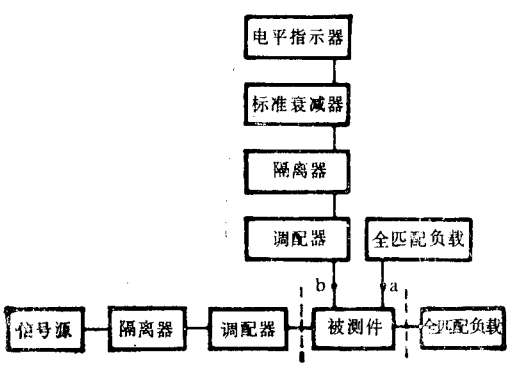


图　17-8

(2) 测试说明和要求

与指标 1“衰减量”高频替代法相同。

(3) 测试步骤

① 按方框图图 17-8 连接电路并使之正常工作。

② 标准衰减器置于 A_1 处使电平指示器有一适当读数 α。

③ 换接 a、b，同时调节标准衰减器读数 A_2，保持电平指示器原来读数 α。

④ 用下式求出方向性 D：

$$D = A_2 - A_1(\text{dB}) \qquad (17\text{-}10)$$

主要测试仪器：

匹配负载：驻波比 < 1.02。

其它仪器要求同指标 1“衰减量”高频替代法。

6. 耦合系数　*C*

coupling coefficent.

定向耦合器使副线产生最大响应方向的主线输入功率 P_i 与副线输出功率 P_0 之比，以 dB（分贝）表示，

$$C = 10\lg\frac{P_i}{P_0} \qquad (17\text{-}11)$$

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 17-9。

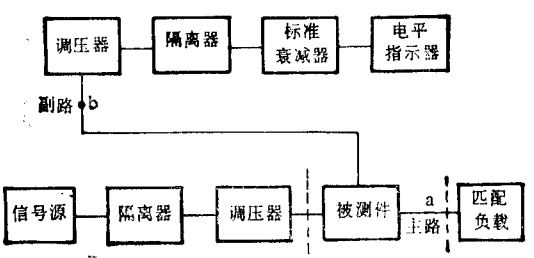


图　17-9

(2) 测试说明和要求

与指标 1“衰减量”高频替代法相同。

(3) 测试步骤

① 按方框图图 17-9 连接电路并使之正常工作。

② 标准衰减器置于 A_1 处，使电平指示器有一适当读数 α。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

③ 换接 a、b，同时调节标准衰减器读数为 A_2 保持电平指示器原来读数 α。

④ 用下式求出耦合系数 C：

$$C = A_2 - A_1(\text{dB}) \qquad (17\text{-}12)$$

主要测试仪器：

匹配负载：驻波比 < 1.02。

其它仪器与指标 1 "衰减量"高频替代法相同。

7. 隔离度

isolation

微波元件输入端口的输入传输功率与输出端口的输出功率的比称为隔离度，一般用 dB 表示。

测试原理和测试方法与指标 6 "耦合系数"相同。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第18章　无线电干扰场强测量仪

第1节　综　　述

众所周知，防止电磁波传播过程中的相互干扰是保证信息有效传输的一个重要问题。目前，随着科学技术的飞速发展，电器、电子(微电子)设备得到大量的应用，因此，要求解决的干扰问题越来越多，也越来越复杂。除了非通信设备对通信设备产生干扰外，非通信设备之间、通信设备之间以及通信设备对非通信设备都会产生干扰，两者都存在着如何降低对外界的干扰和提高抵抗外来干扰的问题。这就是所谓的电磁干扰（简称 EMI-Electromagnetic interference）和电磁敏感度（简称 EMS-Electromagnetic sensitivity），统称为电磁兼容性（简称 EMC-Electromagnetic Compatibility），广义的说法叫作"环境电磁学"。

人们逐渐意识到电磁干扰是导致电气、电子设备在同一个电磁环境中不能可靠工作的主要肇因。为此，世界许多发达国家先后开展了控制电磁干扰的研究。例如，美国、德国、日本、苏联、英国、法国、加拿大、瑞典以及澳大利亚等国，其中以美国最早。控制电磁干扰，早先是属于一门应用技术，涉及的是制订合适的界限值，研究抑制干扰的措施和测量方法以及适用的测量设备。后来随着工业、交通和各种电信事业的发展，以大量的实践为依据，以电磁理论为基础，逐步形成了一门新的学科"环境电磁学"，即电磁兼容性（EMC）。它主要是研究解决在有限空间和频谱范围内，可能发出电磁干扰的各种电信、电子、电器、电力、自动控制系统等，如何在合理的条件下尽量减小相互干扰，达到以最少成本实现并存，即兼容工作的目标。许多国家为此而设立了 EMC研究机构，并在大学里设置 EMC 专业的课程。

自 60 年代后期以来，这门学科发展较快，在一些发达国家，特别是美国，已形成了健全的 EMC 管理机构，制订了成套的规范、技术标准，研制生产了齐全的测试设备，并总结了一套比较完整的测试技术，开展了对系统的 EMC 分析、预测和电磁干扰抑制方法的研究等等。

我国的 EMC 工程起步较晚，1963 年底才开始从事 EMI 测试设备的研制。近年来各工业部门和国防科研系统对 EMC 工程的研究越来越重视。如中国电子技术标准化研究所，上海电器科学研究所，航空航天部 203 所、615 所，中国船舶总公司 701 所，海军某部以及中国计量科学研究院等单位，建立了一定规模的试验研究设施。例如，开展了对近场的试验研究、舰船天线的模型预测、现场测试和解决电磁干扰的某些专题以及规范、标准的编制等，取得了一定的成绩。但是不能不看到我国的 EMC 工程与世界发达国家相比，差距是很大的。要缩短这个差距，赶上发达国家的水平，还需花很大的力气，采取必要的措施，才能迎头赶上。现就我国与发达国家在 EMC 学科的一些差距，特别是测量设备方面的差距，简述如下：

（一）EMC 管理与研究机构方面

美国有上百个管理与研究机构，如电信政策办公室，隶属总统办公厅，是总统在电信方面的代言人，直接向总统提供有关电信方面的建议，负责制定电信方面的方针、政策和计划，督促检查电信研究发展和实施情况，管理和协调这方面的活动。又如，作为国会法令的监督和控制的联邦通

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

信委员会，负责对工业、商业和消费者的电磁干扰控制，负责民用频率申请、分配和批准。军队方面，由国防部三军联合参谋部负责国防系统全面的 EMC 计划，研究及贯彻执行 EMC 要求。此外，在国防部下辖的研究发展部还设立了 EMC 分析中心，建立了综合数据库，随时可以提供频率分配、环境条件、设备性能、组织机构等方面的数据，以支持 EMC 分析和设计。在各军种也分别成立了 EMC 管理机构和研究开发中心，从而形成了完整的管理分析研究网。

我国尚无全国统一的 EMC 管理机构，也没有建立全国性 EMC 研究中心。目前，基本上是处于各自为政的状态。各单位都有一定规模从事 EMC 工程的机构和人员，却又都面临经费不足的局面。如能把我国已经形成的研究力量联合起来，共同研究制订开发 EMC 工程的长远规划和实施措施，必将为我国 EMC 工程的繁荣与发展创下坚实的基础。

（二）标准的制订

EMC 标准分为军用标准和民用标准两大类。

在军用标准方面，美国投入了大量的人力和物力，制订的 EMC 标准比较齐全，内容非常广泛。开始，他们也是各军种制订各自的标准，后来才力求制订三军统一的 EMI 标准，这就是 MIL-STD-460 系列。这是一个三军或多军种通用的协调标准，1968 年 8 月 1 日由美国国防部颁发。基本组成是，MIL-STD-461A：对设备的 EMI 要求；MIL-STD-462：EMI 特性的测试；MIL-STD-463：EMI 术语定义和单位制。460 系列标准在执行过程中又多次发布修改通告，到 1980 年 4 月又颁布了三军重新协调的通用标准，即 MIL-STD-461B。这些基础标准与若干单项标准构成一个比较完整的军用 EMI/EMC 标准体系。在国际间影响很大。我国军标就是等效采用 MIL-STD-460 系列标准。

民用标准方面，在军用标准大量出现的同时，民用标准也日益增多。如西德 VDE0876 系列以及美国电气工程师协会（Institution of Electrical Engineers）和汽车工程师协会（Institution of Traffic Engineers）、电气与电子工程师协会（Institution of Electrical and Electronics Engineers）、无线电工程师协会（Institution of Radio Engineers）等民间组织，也制订了许多 EMI 标准。在国际间影响最大的 EMI/EMC 民用标准是国际无线电干扰特别委员会（简称 CISPR—Comit Internation Special Des Perturbations Radioelectriques）所制订的标准。CISPR 发布的文件分为声明性文件和出版物。声明性文件包括：建议、报告和研究课题。出版物包括：规范、界限值和特殊测量方法；CISPR 和世界各国的干扰界限值与泄漏电流汇编以及由指导委员会或全体会议批准的其他材料。到 1980 年为止，CISPR 共出版了 1～16 号出版物。1 号到 6 号出版物推荐了从音频到 1000MHz 频率范围内干扰场强测量仪的技术规范，它规定了干扰场强测量仪和人工电源网络的性能要求，规定了干扰电压和干扰场强的测量条件，提出了对不同类型干扰源的测试方法。7 号和 8 号出版物是推荐标准、报告和研究课题的正文。9 号出版物是现行的 CISPR 推荐的标准和各国标准的无线电干扰界限值一览表。考虑到发展中的干扰抑制器，正在印制新的版本，这个新版本将包括泄漏电流的界限值。10 号出版物是 CISPR 的组织、章程和工作程序。11 号到 15 号出版物专供工业、科学、医疗管理机关用，它分别对各类干扰源规定了界限值、测量方法，并提出了抑制干扰的原则。16 号出版物是关于无线电干扰测量设备和测量方法的规范，它包括了 1 号到 4 号、6 号到 8 号和 13 号出版物的内容。CISPR 的宗旨是为了促进无线电干扰方面的国际统一，保护国际上无线电广播、通信业务的正常工作，以及有利于国际贸易活动，并为此制订推荐性技术标准，供各国采用。我国民用 EMI/EMC 标准大部分是等效采用 CISPR 推荐的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

标准。

我国是在近十年来才开始制订 EMI/EMC 的民用标准和军用标准的，大都采用等效和部分等效的方法引进国外标准。引进的国外标准主要有 MIL-STD 460 系列军用标准和 CISPR 系列民用标准。由于国际上对这两个标准系列普遍承认和采用，因此等效采用就能提高我国军品和民品的质量，利于打进国际市场。这必将对我国军品和民品的 EMC 工作有很大的促进作用。

毫无疑问，随着国家标准的制订和执行，一系列技术问题必将接踵而至，如产品的 EMC 性能的鉴定和认可；城市干扰电平的测量和控制；干扰参数和测量技术的研究，与干扰有关的统计分析技术的研究；电力网、电气化铁道和通信之间的兼容问题；大型工厂和企业内部各部门之间，由于干扰问题的存在而必须考虑的布局问题；系统间、系统内部的电磁兼容性问题等等。显然，这些问题，只有由科研部门、设计部门、生产部门、通信广播部门等，通过综合研究、分析预测、模型试验、经济技术分析和部门之间的协调，才能得到圆满的合理的解决。

（三）测试设备

美国、德国、苏联和日本等国均有生产 EMC 测试设备的大型企业。产品的特点是稳定性好、可靠性高、频带宽、采用可编程序控制、能自动测量、数字显示和数据自动处理。

关于 EMI 测量设备，美国自 70 年代就实现了数字式自动测试。如 Eaton 财团的 Ailtech 公司提供的 SI-VII 型可编程序 EMI/RFI 数据采集系统就是一例。它有五台主机，覆盖的频率范围为 20Hz ～ 40GHz。此系统配有输入单元 CIU-7 和控制接口 CCI-7 以及转换器 CCA-7 共同组成自动测试系统。

CIU-7 提供五个可任意选择的高频同轴开关，根据需要可选通频段进行频率自动扫描；控制选通测量仪与天线之间插入的衰减器；还可控制脉冲产生器作自动校准；还可遥控 CCI-7 接收信号和译码、以及选通面板的功能开关，从而达到控制各种功能的目的。

CCI-7 控制接口是 IEEE-488（GP-IB）接口。接收机收测的全部参数均可通过 CCI-7 按预编程序遥控自动测量，结果可以数字显示、打印、标绘或送给计算机进行数据处理。

CCA-7 是一个外加兼容器，通过它可满足 CISPR、VDE 和 ANSI 三个标准中的任何一个。不加兼容器时，只满足 ANSI 和 MIL 标准。

又如 Electrio metries 公司在 80 年代中期也开发出一套水平较高的 EMI/EMC 测试设备。其中有 EMC-11MKIV（15Hz～50kHz）、EMC-30MKIV（9kHz～1000MHz）、EMC-60MKIV（0.5～18/40GHz）；还有 CCS-130（16Hz～1000MHz）、CCS-760(16Hz～18GHz)、CCS-780(16Hz～40GHz)。

CCS 系列是将 EMC 系列仪器组合在一起，通过台式计算机控制实现自动测量。它也配有全套天线和各种传感器。它具有 SI-7 的全部功能。从技术水平上看似乎比 SI-7 更先进。

在 9kHz～1300MHz 的民用频段上，德国的 ES 系列和英国的 RA 系列是当前国际上水平最高的测试接收机。ES 系列包括：ESH3（9kHz～30MHz）、ESVP（20～1300MHz）；RA 系列包括：RA1794(10kHz～510MHz)、RA1795(20～1000MHz)。上述四种测试接收机采用频率合成器作本机振荡器，频率稳定度达 5×10^{-8}/日和 5×10^{-8}/月，最小步进频率为 10Hz。该机不仅采用了频率合成技术，而且机内带有微处理器，在 20～1000MHz 的频率范内，可以用机内的 EPROM 记忆单元，存储 100 个频道的频率和工作方式数据，以便重呼。另外，也可对其中 10 个

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

预先编制的程序实行自动扫描测量。它们是应用新技术设计的智能接收机。它们能自动校准电平和自动修正测量误差，从而极大地提高了电平测量的准确度。它们也能自动修正频率响应和带宽，可以按预编程序自动测量电压、电流、场强、脉冲频谱密度和衰减，同时能自动换算电流探头和天线的修正系数。输出数字显示有 μV 到 V、$dB_{\mu V}$、dB_m 和对应的电流、场强和频谱密度等单位。另外，面板上数字显示板，可显示出频道号码、频率、接收机的工作方式以及带宽等。该机除内装微处理器而具有某些智能外，尚可与 IEEE-488 (GP-IB) 接口母线兼容。通过接口母线可加入自动测试系统工作，并且不会因该机本身的智能特性而影响整个系统的工作能力。例如，由于自检失效的仪器控制着整个母线而无法查出问题的所在等。

关于电磁敏感度 (EMS) 测量仪表，国外自 70 年代末期就开始采用计算机辅助敏感度测试系统。测试设备与被测设备通过计算机构成闭环系统。

近场测量方面，美国早已从单偶极子(单环)探头发展到三个偶极子(三环)相互正交的各向同性探头，并采用了高阻传输线和光纤传输线，解决了对待测场的扰动以及测量仪器免受强电磁场干扰等问题。近年来，在近场测试系统中引入了微型计算机，实现了用微机控制测量和进行计算的宽带直角坐标天线阵系统，可提高测试速度 50 多倍，而且精确度高、重复性能也好。

关于瞬变测试仪表，国外自70年代开始就采用了多通道瞬变测试仪表。近年来又采用记忆示波器，它具有数据抽样、磁盘存储和读出的能力，能自动记录和存储多于八个通道的瞬变信号的幅度、波形，并可在记忆示波器上显示出其轨迹。还有能同时监测三相电源的电源线扰动监测仪，并能打印出超过界限值的瞬变峰值出现的次数等信息。

在系统的 EMC 分析和预测方面，国外已由物理模拟转到以数学模拟为主。他们建立了各种类型的数学模型，并在此基础上开发了分析预测程序库和与之相应的数据库，广泛的使用计算机进行系统 EMC 分析和预测。

我国从 1964 年初开始研制第一代（电子管）干扰场强测量仪，频率为 150kHz～30MHz 和 28～300MHz。1965 年底设计定型，1966 年开始批量生产。1969 年到 1972 年又先后研制成功晶体管化的第二代干扰场强测量仪。共四台仪器，覆盖的频率范围为 10kHz～1000MHz。这些仪器一直到今天还在生产。毫无疑问，这些仪器的生产基本上满足了当时的社会需要，为发展我国的 EMC 工程作出了应有的贡献。但是，自 70 年代初期到现在，将近 20 年的时间里，还没有开发出新一代干扰场强测量仪，这是很值得引起重视的问题。

目前，在我国形成批量生产的 EMC 测量设备仅限于 EMI 测量仪器，EMS 测量仪器基本上尚未涉及到。与国外相比，我国生产的 EMI 测量设备存在着稳定性差、可靠性低、频带窄、功能少、性能指标低以及不配套等缺点。由于程式陈旧而不可能采用电信号控制，所以无法实现自动测量。因为满足不了当前的社会需要，导致许多有条件的单位纷纷引进国外昂贵的 EMI/EMS 测量设备，耗费了大量外汇。

在系统的 EMC 分析和预测方面与国外相比差距更大。我国多数是现场实测后提出控制干扰的措施，这样做往往事倍功半。国内也有一些物理模拟预测系统，如天线布置模拟试验场，相当于国际上 60 年代的水平。数学模拟是近些年才开始，只限于对 EMC 某些局部问题建立数学模型和程序。总的来说，应用数模分析和预测，国内尚属起步阶段。

在系统设计的初始方案阶段，利用计算机程序进行系统 EMC 分析和预测，能获得经济和效能兼顾的最优化 EMC 设计方案。这是一个发展方向，需要组织力量，建立 EMC 预测的各种数

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

学模型，开发 EMC 系统分析预测的程序集成系统，建立程序库和数据库，真正的把计算机用于 EMC 工程辅助设计。

另外，在核电磁脉冲方面，美国近年来作了大量的研究，特别是核爆炸产生的电磁脉冲对通信、雷达、武器装备安全的影响。他们是采用核电磁脉冲模拟装置进行研究的。

新的技术革命是以电子计算机、光导纤维、激光、遗传工程和海洋开发等新技术的广泛应用为特征。发达国家高度工业化之后，伴随着信息产业发展起来的 EMC 学科也将会有更大的发展。面对新的技术革命，我们应予重视，研究对策，使我国的 EMC 工程跟上时代的步伐。

为了使读者对干扰/场强测量仪和近区场强计的性能有所了解，现将国内外产品的主要性能列表对比如下。

表 18-1　干扰/场强测量仪主要性能对比

技术指标 \ 产品型号	ES 系列(R/S)	NM 系列(E.T.N)	RR 系列(ZN)
频率范围	9kHz～1300MHz	20Hz～40GHz	10kHz～1000MHz
电压测量范围	0.03μV～6V	0.01μV～1V	0.1μV～1V
电压测量误差	±1dB	±2dB	±2dB
场强测量范围	电压测量范围加天线系数	电压测量范围加天线系数	电压测量范围加天线系数
场强测量误差	±2dB	±3dB	±3dB
中频抑制	大于 80dB	大于80dB	大于40dB
镜频抑制	大于 80dB	大于40dB	大于40dB
指示器型式	准峰值、峰值、平均值	峰值、平均值	准峰值、平均值
带宽(9kHz～30MHz)	0.2/0.5/2.4/10kHz	0.01/0.1/1/10/50kHz	0.2/10kHz
带宽 (30～1000MHz)	7.5/12/120/1000kHz	0.01/0.1/1/10MHz	120kHz
屏蔽效果	大于100dB	大于 100dB	大于或等于 60dB
功能情况	可程控，具有智能	可程控	不能程控

表 13-2　近区场强计主要性能对比

技术指标 \ 产品型号	HI3000系列	8600 系列(NARDA)	HB3941(国产)
频率范围(电场)	300kHz～6GHz	300kHz～40GHz	500kHz～1GHz
频率范围(磁场)	300kHz～300MHz	300kHz～300MHz	——
测量范围(电场)	$(10^2\sim10^7)V^2/m$	$(0.2\sim20)mW/cm^2$	$(0.02\sim2)mW/cm^2$
测量范围(磁场)	$(0.01\sim100)A^2/m^2$	$(0.05\sim5)A^2/m^2$	——
频率响应	±2dB	±2dB	±2dB
各向同性度	±0.5dB	±0.5dB	±1dB
动态范围	60dB	30dB	20dB

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第 2 节 分 类

(1) 无线电干扰场强测量仪(远区弱场)

① 准峰值无线电干扰场强测量仪
② 峰值无线电干扰场强测量仪
③ 平均值无线电干扰场强测量仪
④ 均方根值无线电干扰场强测量仪
⑤ 电磁干扰频谱分析仪
⑥ 音频干扰测量仪

(2) 近区场强测量仪(强场)

(3) 无线电干扰辅助测量设备

① 人工电源网络
② 电流探头
③ 吸收式功率钳
④ 常用天线
⑤ 电流注入耦合单元
⑥ 尖峰信号产生器
⑦ 射频隔离网路
⑧ 10μF 穿心电容器

(4) 开阔试验场

(5) 干扰分析仪

(6) 测量总辐射功率的电磁波混响室

第 3 节 技术指标汇总表

无线电干扰场强测量仪的技术指标按下述原则进行汇总:

第一,虽然近区场强测量仪的技术指标与远区无线电干扰场强测量仪区别很大,为便于比较起见,还是划在一个门类进行汇总,见表 18-3;

第二,无线电干扰辅助测量设备的技术指标离散性很大,不便于和无线电干扰场强测量仪一起汇总,故单独作为一个门类进行汇总,见表 18-4,但指标含义和测试方法分设备进行介绍;

第三,关于"开阔试验场"、"干扰分析仪"和"测量总辐射功率混响室",它们的技术指标具有特殊性,不宜于用表格方式表示,故未收集在汇总表内,在测试方法中详细叙述。

第 4 节 技术指标及测试方法

一、总则

本部分主要依据国际无线电干扰特别委员会第 16 号出版物和国家标准《无线电干扰和抗扰度测量设备规范》(报批稿),并参照 VDE0876、ANSI、MIL460 系列等标准编写的。第一部分是无线电干扰场强测量仪。其中包括准峰值干扰场强测量仪;峰值干扰场强测量仪;平均值干扰场强测量仪;均方根值干扰场强测量仪;电磁干扰频谱分析仪;音频干扰测量仪等。第二部分是近区场强测量仪。第三部分是无线电干扰辅助测量设备。其中包括人工电源网络;电流探头;吸收式功率钳;常用天线;电流注入耦合单元;尖峰信号发生器;射频隔离网路;10μF 穿心电容器

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 18-3　干扰场强测量仪技术指标汇总表

序号	技术指标 \ 分类		准峰值	峰值	平均值	均方根值	频谱仪	音频	近场	
									电场	磁场
1	频率范围		●	●	●	●	●	●	●	●
2	频率准确度		●	●	●	●	●	●		
3	带宽		●	●	●	●	●	●		
4	总选择性		●	●	●	●	●	●		
*	电压测量范围		●	●	●	●	●	●		
5	正弦波电压准确度		●	●	●	●	●	●		
6	衰减器准确度	高频	●	●	●	●	●	●	●	●
		中频	●	●	●	●	●			
7	脉冲响应	幅度响应	●	●	●	●	●	●		
		重复频率响应	●	●	●	●	●	●		
8	充电时间常数		●	●	●	●	●	●		
9	放电时间常数		●	●	●	●	●	●		
10	临界阻尼指示器的机械时间常数		●	●	●	●		●		
11	过载系数	波检前电路	●	●	●	●	●	●		
		检波后电路	●	●	●	●	●	●		
12	中频抑制比		●	●	●	●	●	●		
13	镜频抑制比		●	●	●	●	●	●		
14	其它乱真响应		●	●	●	●	●	●		
15	互调效应的限制		●	●	●	●	●	●		
16	随机噪声		●	●	●	●	●	●		
17	连续波乱真信号的限制		●	●	●	●	●	●		
18	屏蔽效果		●	●	●	●	●	●	●	●
19	频率响应		●	●	●	●	●	●	●	●
20	各向同性度								●	●
*	场强测量范围		●	●	●	●	●	●	●	●
*	场强测量准确度		●	●	●	●	●	●	●	●
*	输入阻抗		●	●	●	●	●	●		

等。第四分部是开阔试验场。第五部分是干扰分析仪。第六部分是测量总辐射功率的混响室。

在第一部分中只对准峰值无线电干扰场强测量仪的技术指标及测试方法做全面的介绍。对于峰值、平均值、均方根值无线电干扰场强测量仪；电磁干扰频谱分析仪以及音频干扰分析仪等的技术指标只介绍不同部分；因技术指标的测量方法均相同，故不再赘述。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 18-4 辅助测量设备技术指标汇总表

技术指标 \ 分类	人工电源网络	电流探头	吸收式功率钳	常用天线	电流注入耦合单元	尖峰信号发生器	射频隔离网络	穿心电容器
频率范围	●	●	●	●	●	●	●	●
阻抗	●		●		●			●
传输阻抗		●						
平衡度	●							
插入损耗			●		●			●
尖峰信号						●		
隔离度							●	
环状天线系数				●				
偶极子天线系数				●				
对数周期天线系数				●				

无线电干扰场强测量仪不仅能测量正弦波信号的端电压和场强，而且也能测量脉冲信号的端电压与场强。所以，除了要作正弦信号响应的检定外还要作脉冲信号响应的检定。它是由测试接收机和常用天线共同组成。主机可以测量正弦信号与脉冲信号的端电压；接上天线即可测场强。为此，测试接收机与常用天线的参数分别检定，不作场强的总体检定。因而，此处把常用天线放在辅助测量设备中编写。

在场强测试中，测试场地是一个十分重要的特殊问题，它往往能影响场强测试结果的准确性，故在第四部分对开阔试验场作了较为详细的描述。

电磁波混响室是近十年来提出的新技术，近几年发展较快，已投入实际应用。它是在屏蔽室中，通过搅拌器产生一个静区，用于电磁兼容性试验。它的特点是造价远低于电波暗室，适合于一般单位建造与应用。它已列入我国国家标准《无线电干扰和抗扰度测量设备规范》(报批稿)中，相信它将会有良好的发展前景。然而，在国内尚没有详细的报道，更谈不上实际应用。为此，本文根据 CISPR 第 16 号出版物和我国国家标准(报批稿)的规定，对测量总辐射功率用的混响室作了较为详细的介绍。

关于音频干扰测量仪，虽然我国尚无此类仪器，国外也不多见，但从 EMC 测量技术的发展来看，也收入本文中。

因无线电干扰场强测量的民用频段只限于 20Hz～1000MHz，故对于 1～40GHz 军用频段的无线电干扰测量仪的技术要求与测量方法未作单独介绍。

这里有必要首先对下述几个名词与术语给予解释：

脉冲强度 Impulse strength

脉冲强度定义为某一脉冲电压对时间的积分，用符号 Is 表示：

$$Is=\int_{-\infty}^{+\infty}V(t)dt \tag{18-1}$$

式中 I_s 为脉冲强度，单位为 μVs 或 $dB_{\mu Vs}$。

脉冲强度与脉冲频谱密度 D(μV/MHz 或 $dB_{\mu V}$/MHz) 直接相关。对于持续时间为 T 的矩

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

形脉冲，当频率 $f > 1/T$ 时，存在如下关系：

$$D(\mu V/MHz) = 2Is(\mu Vs) \tag{18-2}$$

带宽 Band width

低于响应曲线中点某一规定电平处，干扰场强测量仪总选择性曲线的宽度定义为带宽。用符号 B_n 表示。n 为规定电平处的分贝数。

脉冲带宽 Impulse bandwidth

脉冲带宽的符号为 B_{imp}，可以用式(18-3)求得：

$$B_{imp} = \frac{A(t)_{max}}{2G_0 Is} \tag{18-3}$$

式中 $A(t)_{max}$ 为施加一个强度为 Is 的脉冲信号时，指示器指示的峰值；G_0 为电路中心频率的增益。对于临界耦合调谐变压器：

$$B_{imp} = 1.05B_6 = 1.31B_3 \tag{18-4}$$

式中 B_6 为下降 6dB 处的带宽；B_3 为下降 3dB 处的带宽。

为便于理解技术指标及测试方法，首先对近区场强计与远区场强计、干扰场强计与普通场强计以及干扰测量仪与测试接收机的特点与区别略加介绍。

（一）近区场强计与远区场强计

根据电波传播特性，可以把辐射场分成三个重叠的区域，即近场区、费雷斯内尔区和远场区。

通常，规定从近场区到离散射体或天线的距离为 $2D^2/\lambda$ 处叫作 Fresnel 区。D 为散射体的最大线尺寸。

当天线的最大线尺寸远小于波长时，远场区的最小距离为 $\lambda/6$。$r \ll \lambda/6$ 的区域称作近场区；$r \gg \lambda/6$的区域叫作远场区。这里所说的最小距离 $\lambda/6$ 是表示波的相位改变一个弧度所相应的距离，波长 λ 是相位改变 2π 弧度所相应的距离。

(1) 近场区主要特性：

① 可以看成是感应场；

② 场强分布复杂。感应体的存在，会扰动原来电磁场的分布；

③ 波阻抗不是恒定不变的；

④ 点源辐射的近区场是球面波；

⑤ 点源辐射的近区场大都是强电磁场。

基于上述特性，在测量近区场时，有如下几个特点：

① 在近场区，空间各点的电场和磁场强度随测试点的不同而急剧变化，探测天线过大时，拾取的信号就不是该点的信号，而是邻近各点信号的几何平均值，这就导致测量误差。另外，探测天线过大也会扰动待测场的分布，同样会引入测试误差。为此要求探测天线的尺寸远小于波长；对电磁场的响应与极化方向和入射角方向无关。宽带各向同性天线能满足此要求；

② 为避免对待测场产生扰动，天线与指示单元之间的连接线采用高阻传输线；

③ 电场与磁场必须分开测量，为此近区场强计分别备有电场天线和磁场天线；

④ 探测天线制作工艺复杂，主机却很简单。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 远场区主要特性:

① 远区辐射场接近于平面波;

② 电场与磁场是同相位的,它们的方向都与波的前进方向垂直;

③ 电场与磁场的比值是恒定的,即波阻抗 Z_{00} 为 120π 或 376.7Ω;

④ 点源辐射的远区场大都是弱电磁场。

基于上述特性,在测量远区电磁场时,有如下几个特点:

① 电场和磁场不须分别测量,测得其中的一个量便可计算出另一个量;

② 主机采用选频的测试接收机,灵敏度要求高且很复杂。

(二) 干扰场强测量仪与普通场强测量仪

两者都是由常用天线与测试接收机组成。区别在于测试接收机。普通场强仪的接收机只配备平均值电压表,主要用于测量正弦信号的端电压和场强。干扰场强仪除配备平均值电压表外,还要配备准峰值、峰值、均方根值电压表,它也能测量正弦信号端电压,但主要用于测量脉冲信号的端电压和场强。

早在40年代初期,研究电磁干扰效应时,主要是针对电磁干扰对语言通信的影响,为此着重研制与人的听觉器官的响应相一致的电压表,这就是准峰值电压表。它由具有规定时间常数的检波器和指示器共同组成。

干扰场强仪与普通场强仪相比,主要有以下五个不同点:

① 要具有准峰值、平均值、峰值、均方根值检波器。

② 要具有临界阻尼机械时间常数的指示器。

③ 过载系数。

要求接收机的各级电路,在超过满量程指示仍保持非线性偏差不超过 1dB 时的最高电平与满量程电平之比谓过载系数。

如所周知,脉冲持续时间 τ 与带宽 Δf 有下列关系:

$$\tau = \frac{1}{\Delta f}\ (\text{ms}) \tag{18-5}$$

对于 120kHz 的带宽来说,脉冲的持续时间为:

$$\tau = \frac{1}{\Delta f} = \frac{1}{120} = 0.0083\text{ms}$$

假如检波器的充电时间常数为 1ms,那么,电容器上的充电电压只能达到:

$$U = U_\tau(1 - e^{\tau/T_c}) \approx U_\tau \frac{\tau}{T_c} = 0.0083U_\tau \tag{18-6}$$

式中 U_τ 为干扰脉冲的幅度; T_c 为检波器的充电时间常数。

由式(18-6)可知,在C和D频段测量脉冲干扰时,若示值与正弦信号示值相同,则孤立干扰脉冲的幅度要比正弦信号的幅度大120倍以上。为了不失真地测量孤立的脉冲干扰,干扰测量仪必需有足够大的线性储备。对于测量连续波的普通场强计来说就无此必要。

④ 整机带宽。

与重复周期 T 比较,绝大多数高频干扰均属于持续时间非常短的干扰脉冲造成的。测量这类

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

窄脉冲干扰时，在通频带频率覆盖范围内，其示值取决于信号功率谱的分布，即示值随带宽不同而变化。因此，为了统一对脉冲干扰的量度，就必须规定测量仪器的带宽。

对于连续波来说，带宽可以是任意的窄，窄到能选出一条谱线即可。

⑤ 脉冲响应。

检波器的充放电时间常数、临界阻尼指示器的机械时间常数、整机带宽和过载系数，能决定无线电干扰场强测量仪的脉冲响应。所以脉冲响应是上述四个技术性能的综合表征。若脉冲响应符合规定，则上述四项技术性能也必定满足要求。如上述四项技术性能之中任何一项不符合要求，脉冲响应也不会符合规定。

二、无线电干扰场强测量仪的技术要求

（一）准峰值干扰场强测量仪

quasi-peak interference field strength measuring instrument

（1）频率范围：9kHz～1000MHz。共分为四个频段。A 频段：9kHz～150kHz；B 频段：150kHz～30MHz；C 频段：30～300MHz；D 频段：300～1000MHz。

（2）正弦波电压准确度

当施加 50Ω 源阻抗的正弦波信号时，正弦波电压的测量准确度应优于 ±2dB。

（3）基本特性

表 18-5　准峰值干扰场强测量仪的基本特性

特　　性	频率范围		
	9～150kHz	0.15～30MHz	30～1000MHz
整机带宽 B_6	200Hz	9kHz	120kHz
检波器充电时间常数	45ms	1ms	1ms
检波器放电时间常数	500ms	160ms	550ms
临界阻尼指示器机械时间常数	160ms	160ms	100ms
检波前电路过载系数	24dB	30dB	43.5dB
检波后电路过载系数	6dB	12dB	6dB

（4）脉冲响应

① 幅度响应（绝对响应）

准峰值干扰场强测量仪对基准试验脉冲的响应的误差不得超过 ±1.5dB。

② 重复频率响应（相对响应）

表 18-6　准峰值干扰场强测量仪基准试验脉冲的特性

频率范围	脉冲强度（μVs）	均匀频谱最小上限（MHz）	重复频率（Hz）
9～150kHz	13.5	0.15	25
0.15～30MHz	0.316	30	100
30～300MHz	0.044	300	100
300～1000MHz	0.044	1000	100

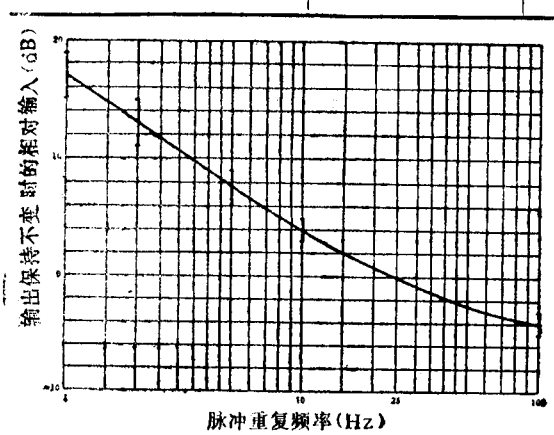
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

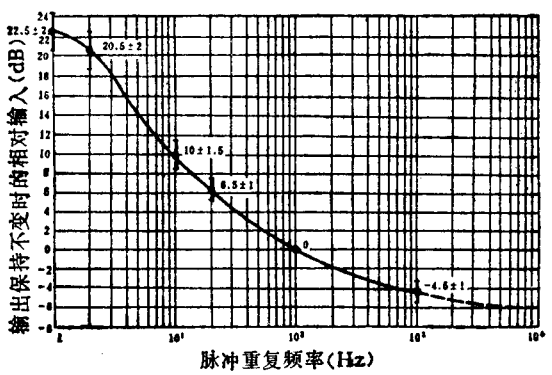
准峰值干扰场强测量仪对重复脉冲的响应为：当测量仪的指示保持不变时，输入脉冲的幅度与重复频率之间的关系应满足图 18-1(a)、(b)、(c) 和表 18-7 所示之界限值。

表 18-7 准峰值干扰场强测量仪的脉冲重复频率响应

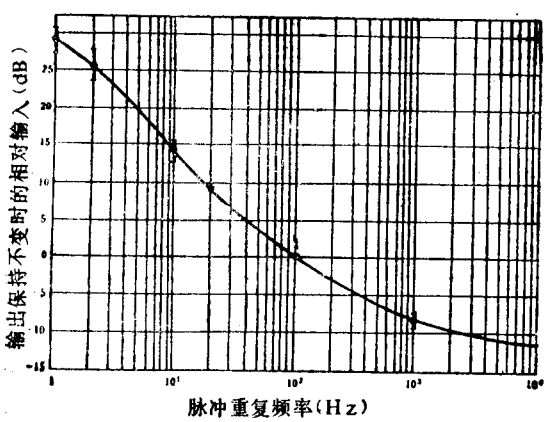
重复频率 (Hz)	脉冲的相对等效电平 (dB)			
	9～150kHz	0.15～30MHz	30～300MHz	300～1000MHz
1000	—	−4.5±1.0	−8.0±1.0	−8.0±1.0
100	−4±1.0	0 (基准)	0 (基准)	0 (基准)
60	−3±1.0	—	—	—
25	0 (基准)	—	—	—
20	—	+6.5±1.0	+9.0±1.0	+9.0±1.0
10	+4±1.0	+10±1.5	+14.0±1.5	+14.0±1.5
5	+7.5±1.5	—	—	—
2	+13±2.0	+20.5±2.0	+26.0±2.0	+26.0±2.0[1]
1	+17±2.0	+22.5±2.0	+28.5±2.0	+28.5±2.0[1]
孤立脉冲	+19±2.0	+23.5±2.0	+31.5±2.0	+31.5±2.0[1]



(a) 脉冲响应曲线 (9～150kHz)



(b) 脉冲响应曲线 (0.15～30MHz)



(c) 脉冲响应曲线 (30～1000MHz)

图 18-1

www.789pdf.com 789书库网

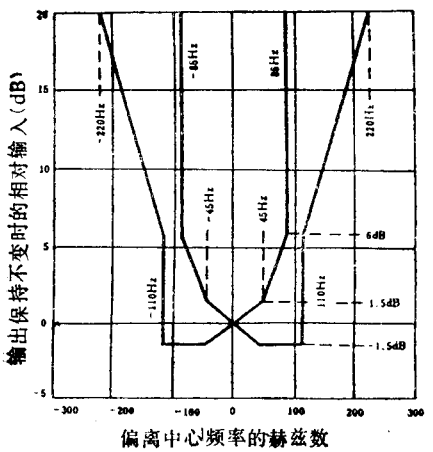
www.789pdf.com 789书库网

注：①频率高于 300MHz 时，由于某些实际问题，脉冲响应受到限制。故表 18-7 中标有1)的数值是任选的，不作硬性规定。

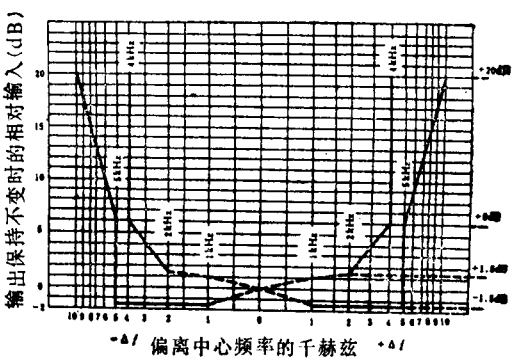
②在 9～150kHz 频段，重复频率高于 100Hz 时，由于中频放大器出现脉冲重叠现象，所以在这个频段对超过 100Hz 的脉冲响应做不出准确判断。因此不做明确规定。

(5) 总选择性

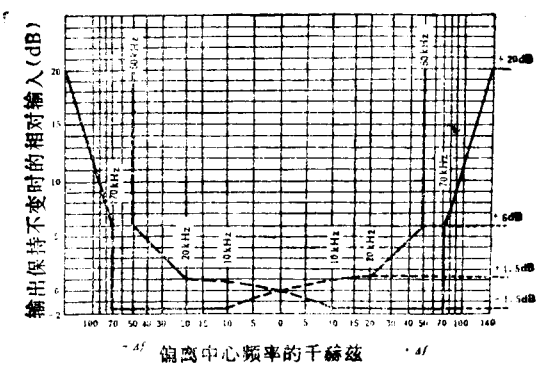
准峰值干扰场强测量仪的总选择性曲线应处于图 18-2(a)、(b)、(c) 所示之界限值之内。



(a) 总选择性(通带)的允许范围 (9～150kHz)



(b) 总选择性(通带)的允许范围(0.15～30MHz)



(c) 总选择性(通带)的允许范围 (30～1000MHz)

图　18-2

(6) 中频抑制比

准峰值干扰场强测量仪的中频抑制比不得小于 40dB。在采用多次变频的情况下，每个中频的抑制比都应满足此要求。

(7) 镜频抑制比

测量仪的镜频抑制比不得小于 40dB。在采用多次变频的情况下，每个中频所对应的镜频都应满足此要求。

(8) 其它乱真响应

测量仪对其它乱真响应的抑制不得小于 40dB。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(9) 互调效应的限制

在采用脉冲信号法测量时，准峰值干扰场强测量仪的互调效应不得小于 36dB。

(10) 随机噪声

当用准峰值干扰场强测量仪按规定测量最小信号时，随机噪声引入的测量误差不得大于 1dB。

(11) 连续波乱真信号

当采用多次变频时，准峰值干扰场强测量仪对于任意输入信号，由于乱真响应的存在所引入的测量误差不得大于 1dB。

(12) 屏蔽效能

在 3V/m 的电磁环境中，在 9kHz～1000MHz 的频率范围内任一频率点，准峰值干扰场强测量仪所产生的附加误差不得大于 1dB。

(13) 输入阻抗

不平衡式输入阻抗的额定值为 50Ω，当高频衰减器在 0dB 的位置时，电压驻波比不得超过 2.0；当高频衰减器在等于或大于 10dB 的位置时，电压驻波比不得超过 1.2。

当进行对称测量时，应采用平衡输入变压器。在 9～150kHz 的频率范围内，应优先选用 600Ω 的输入阻抗。

(14) 场强测量准确度

准峰值干扰场强测量仪在测量正弦波场强时，最大测量误差不得超过 ±3dB。

(二) 峰值干扰场强测量仪

peak ieterference field strength measuring instrument

(1) 带宽

对于非重叠干扰以外的所有其它类型的宽带干扰，在给出干扰电平时，应标明带宽的实际值，并且 6dB(B_6) 带宽应处于表 18-8 规定之界限值。

表 18-8 峰值干扰场强测量仪带宽要求

频率范围	带宽 B_6	优选带宽
9～150kHz	100～300Hz	200Hz
0.15～30MHz	8～10kHz	9kHz
30～1000MHz	100～500kHz	120kHz

因为峰值干扰场强测量仪对非重叠干扰的响应正比于其带宽，所以测量结果可以用实际标定的带宽、也可以用 1MHz 带宽为单位标定的实际电平。对于其它类型的宽带干扰，这一算法会引入误差。

(2) 充放电时间常数比

为了获得重复频率为 1Hz、误差不超过峰值真值 10% 的仪表读数，放电时间常数与充电时间常数之比，不应小于下边给出的数值：

① 小于 150kHz 的频率范围：待定；

② 0.15～30MHz 的频率范围：$1.25:10^6$；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

③30～1000MHz 的频率范围：1.67:10^7。

如果峰值保持装置是组合式的，那末保持时间应设置在 30ms～3s 的范围内。

(3) 过载系数

对于峰值干扰场强测量仪，过载系数不需像准峰值干扰场强测量仪那么大。对于那些设计为直接读数的检波器，过载系数只需比 1 稍大即可。对于上述充放电时间常数比之①、②、③项所规定的数值，这个过载系数是足够的。

(4) 脉冲响应

峰值干扰场强测量仪对基准试验脉冲的响应与对调谐频率上未调制正弦信号的响应相等，其误差不得超过 ±1.5dB。脉冲信号发生器与正弦信号发生器的源阻抗均为 50Ω。正弦信号的电动势为 2mV（均方根值）。试验脉冲的强度为 $1.4/B_{imp}$（B_{imp} 的单位为 Hz），均匀频谱的最小上限如表 18-6 所示，脉冲重复频率应保证测量仪的中频放大器输出端不出现重叠现象，基准试验脉冲如表 18-6 所示。

具有优选带宽的峰值干扰场强测量仪与准峰值干扰场强测量仪指示值之间的关系，在表18-9中给出。

表 18-9　峰值与准峰值干扰场强测量仪脉冲响应相对值

频率范围	脉冲重复频率(Hz)	峰值与准峰值指示值之比（dB）
9～150kHz	25	6.1
0.15～30MHz	100	6.6
30～1000MHz	100	12.0

(5) 选择性

由于峰值干扰场强测量仪的带宽，允许在表 18-8 规定的范围变化，所以，只要在形状上与图 18-2(a)、图 18-2(b) 和图 18-2(c) 等效即可。使用时，频率轴应标出相应的刻度。

（三）平均值干扰场强测量仪

average interference field strength measuring instrument

这种测量仪的检波器被设计成指示信号包络的平均值。在测量窄带信号时，可以克服与调制或噪声相关的一些问题。平均值干扰场强测量仪一般不适用于测量脉冲干扰。

(1) 带宽

带宽 B_6 应处于表 18-10 中所规定的数值范围内。

表 18-10　平均值干扰场强测量仪的带宽要求

频率范围	带宽 B_6	优选带宽
9～150kHz	100～300Hz	200Hz
0.15～30MHz	8～10kHz	9kHz
30～1000MHz	100～500kHz	120kHz

注：如果测量时，使用的不是优选带宽而是其它带宽，在测试结果中应注明带宽。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 过载系数

检波器前各级电路对于重复频率为 nHz 的脉冲信号的过载系数应为 B_{imp}/n。

对于平均值干扰场强测量仪而言，在重复频率很低时，不可能为避免测量仪的非线性而提供足够的过载系数。不出现过载情况的脉冲重复频率在 9～150kHz 频段不得低于 25Hz；在 0.15～30MHz 频段不得低于 500Hz；在 30～1000MHz 频段不得低于 5000Hz。

(3) 脉冲响应

① 幅度响应

平均值干扰场强测量仪对试验脉冲的响应与对调谐频率上未调制的正弦波信号的响应相等，误差不得大于 ±1.5dB。脉冲信号发生器和正弦信号发生器的源阻抗都是 50Ω。正弦信号的电动势为 2mV（均方根值）。试验脉冲的强度为 $1.4/B_{imp}$(mVs)。这里 B_{imp} 的单位为 Hz，均匀频谱的最小上限同表 18-6 的要求，脉冲重复频率在 9～150kHz 频段为 25Hz；在 0.15～30MHz 频段为 500Hz；在 30～1000MHz 频段为 5000Hz。

表 18-11 给出了脉冲重复频率分别为 25Hz、100Hz、1000Hz 和 10000Hz 时，具有相同带宽的平均值与准峰值干扰场强测量仪指示值(假定具有足够的过载系数)之间的关系。

表 18-11 平均值和准峰值干扰场强测量仪对脉冲响应的相对值

频率范围	脉冲重复频率一定时，准峰值与平均值表头指示之比(dB)			
	25Hz	100Hz	1000Hz	10000Hz
9～150kHz	12.4	4.5	—	—
0.15～30MHz	—	32.9	17.4	—
30～1000MHz	—	50.1	38.1	12.5

② 重复频率响应

平均值干扰场强测量仪对不同重复频率脉冲的响应为：当测量仪的指示保持不变时，幅度与重复频率之间的关系应符合如下规律：

$$\text{幅度} \propto (\text{重复频率})^{-1} \tag{18-7}$$

从过载方面考虑确定的最低可用重复频率到数值等于 $B_3/2$ 的频率范围内，允许有+3～−1 dB 的误差。

注：图 18-3 给出了以绝对刻度给出的准峰值和平均值干扰场强测量仪的理想脉冲响应曲线。

(4) 选择性

对于采用非优选带宽的平均值干扰场强测量仪，其总选择性曲线只要与图 18-2(a)、图 18-2(b)、图 18-2(c) 等效即可，使用时应在频率轴上标出相应的刻度。

(四) 均方根值干扰场强测量仪

root-mean-square interference field strength measuring instrument

(1) 带宽

由于均方根值对任何类型宽带干扰的响应均与其带宽的平方根成正比，所以不必规定实际带宽。在测量宽带干扰时，测量结果用“1kHz 带宽”归一化后给出。它是由测得的值除以功率带

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

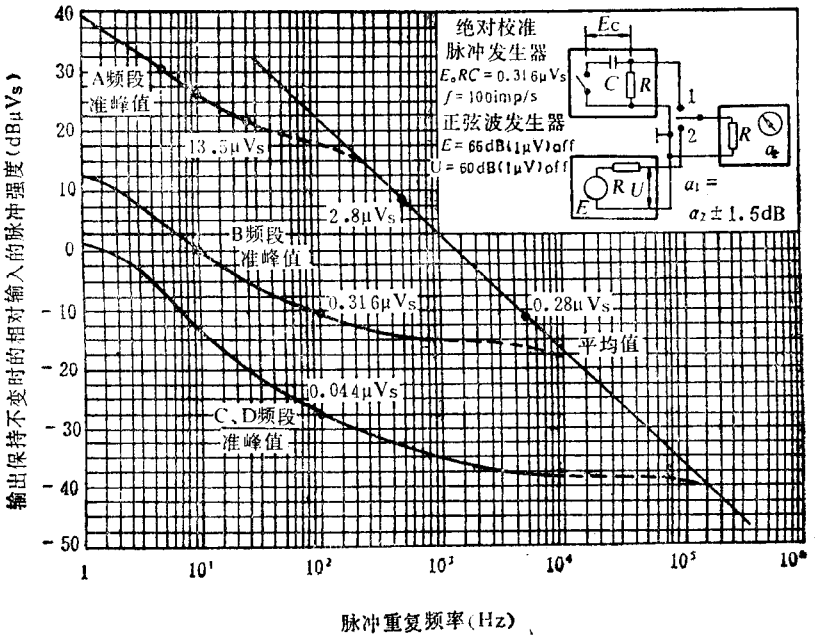


图 18-3　准峰值和平均值检波测量接收机的理论脉冲响应曲线

宽（kHz）的平方根得到的。当给出干扰电平时，应注明实际带宽。

(2) 过载系数

检波器以前的各级电路，对于重复频率为 nHz 的脉冲信号，其过载系数应为 $1.27(B_3/n)^{1/2}$。

通常，对于均方根值检波器，当重复频率很低时，不可能为避免测量仪的非线性而提供足够的过载系数。不论均方根值干扰场强测量仪作何用途，均应确定不过载运行的脉冲最低重复频率。

(3) 脉冲响应

① 幅度响应

均方根值干扰场强测量仪对试验脉冲的响应与在调谐频率上未调制正弦波信号的响应相等，误差不得超过 ±1.5dB。脉冲信号发生器与正弦信号发生器的源阻抗均为 50Ω。正弦波信号的电动势为 2mV（均方根值）。试验脉冲的均匀频谱最小上限与表 18-6 的规定相同。脉冲强度分别为：

在 9～150kHz 的频率范围内，重复频率为 25Hz，

$$Is = 278(B_3)^{-1/2}\mu Vs \tag{18-8}$$

表 18-12　均方根值与准峰值测量仪脉冲响应的相对值

频率范围	脉冲重复频率(Hz)	准峰值与均方根值示值之比(dB)
9～150kHz	25	4.2
0.15～30MHz	100	12.3
30～1000MHz	100	20.1

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在 0.15～1000MHz 的频率范围，重复频率为 100Hz，

$$I_S = 139(B_3)^{-1/2}\mu Vs \tag{18-9}$$

具有相同带宽的均方根值与准峰值干扰场强测量仪指示值之间的关系如表 18-12 所示。

② 脉冲重复频率响应

均方根值干扰场强测量仪对不同重复频率脉冲信号的响应为：当测量仪的指示值保持不变时，幅度与重复频率之间的关系应符合如下之规律：

$$\text{幅度} \propto (\text{重复频率})^{1/2} \tag{18-10}$$

均方根值干扰场强测量仪对不同重复频率脉冲信号的响应不应超出表 18-13 规定的范围。

表 18-13 均方根值干扰场强测量仪的脉冲响应

重复频率（Hz）	脉冲的相对等效电平（dB）	
	9～150kHz	0.15～1000MHz
1000	—	−10±1.0
100	−6	0(基准)
25	0(基准)	+6±0.6
20	+1±0.7	+7±0.7
10	+4±1.0	+10±1.0
2	+11±1.7	+17±1.7
1	+14±2.0	+20±2.0

（五）电磁干扰频谱分析仪

electromagnetic interference spectrum analyzer

对于频率为 9kHz～1000MHz 的频率范围，干扰频谱分析仪的技术要求与准峰值干扰场强测量仪完全相同。

对于频率为 1～18GHz 的频率范围的干扰频谱分析仪的技术要求为：

(1) 带宽（B_6）为 125±25kHz。

(2) 乱真响应比瞬时调谐频率响应至少低 40dB。插入预选器之后可以满足此要求。

(3) 当有强基波信号存在的情况下测量弱乱真信号时，为了防止频谱分析仪的输入电路遭到破坏，应在频谱分析仪的输入端口插入滤波器，对受试设备的基波频率提供 30dB 的衰减即可满足要求。对于多个基波频率，就需要多个这样的滤波器。

(4) 为了满足观察者视觉上的需要而使用较低的扫描次数时，频谱分析仪应能将显示以某种形式储存起来。扫描时间应能在 0.1～10s 的范围内可变。

如所周知，频谱分析仪是采用屏幕显示的方式。显然，屏幕显示系统的时间常数与临界阻尼指示器的机械时间常数之间有显著的差异，因此，指示值之间存在着换算关系。这一点 CISPR16 号出版物中尚未涉及到。这是今后必需解决的问题，否则两种仪器的测量结果不具有互换性。如果不求得两种仪器指示值的换算关系式，那么，就得采用模拟临界阻尼指示器机械时间常数的电子电路，以求得到指示值之间的等效。

另外，必需指出的是，通常频谱分析仪没有前置预选器，用它测量电磁干扰时，必需插入前置预选器，否则会产生测量误差。干扰脉冲的重复频率越低，引入的测量误差越大。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（六）音频干扰测量仪

audio frequency interference measuring equipment

测量干扰时，也需要使用音频干扰测量仪。如将音频干扰测量仪接到性能良好的测试接收机的输出端，则可得到与干扰场强测量仪可比的测量结果。音频干扰测量仪还应能对音频系统遭受到连续波和脉冲干扰的影响作出评估。音频干扰测量仪包括一个依服务功能来选择的各种电路。当需要某种功能时，就配用那种功能的电路。

音频干扰测量仪的电路方框图，见图 18-4。

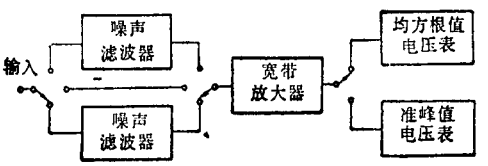


图 18-4　音频干扰测量仪方框图

基本特性

(1) 输入阻抗

50Ω（不平衡）；600Ω(平衡)；高阻(大于 6000Ω、不平衡)。

对于输入阻抗为 600Ω，电路的平衡应作到：当将不对称的电压 U 加到输入端的 600Ω 电阻与地之间时，音频干扰测量仪的输出指示不得超过 0.1mV。测试时，施加的电压 U 如表 18-14 所示。

表 18-14　平衡要求

频率（Hz）	输出电压为 0.1mV 时的不对称输入电压U(V)	共模抑制(dB)
50	200	126
250	40	112
1000	10	100

(2) 测量范围

输入频率为 1kHz 时，音频干扰测量仪的满度指示应为 0.3mV～1V。

(3) 频率响应

音频干扰测量仪的各单元电路对正弦波信号的响应为：

宽带放大器：在 16Hz 和 16kHz 处降落 3dB；

电话电路的加权网络：见图 18-5 和表 18-15；

声音广播电路的加权网络：见图 18-6 和表 18-16。

(4) 正弦波电压准确度

当施加 50Ω 源阻抗的正弦波信号时，正弦波电压的测量准确度应优于 ±2dB。

(5) 屏蔽

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

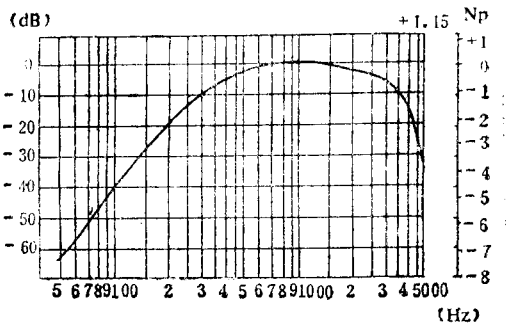


图 18-5 电话电路测量用的噪声滤波器网络的特性曲线

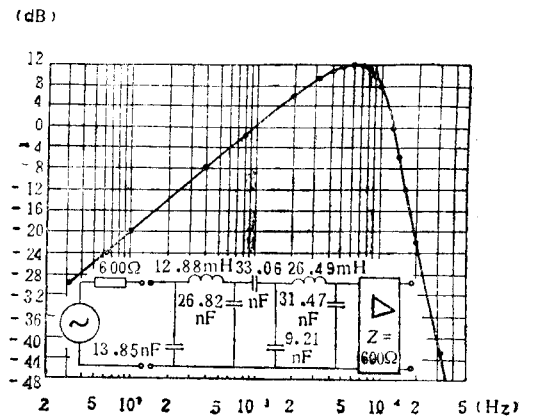


图 18-6 广播测量用的计权网络及其响应曲线

表 18-15 电话加权网络特性限值

频率 (Hz)	相对加权值 (dB)	允差 (dB)
16.66	−85.0	—
50	−63.0	2
100	−41.0	2
200	−21.0	2
300	−10.6	1
400	−6.3	1
500	−3.6	1
600	−2.0	1
700	−0.9	1
800	0.0	0.0(基准)
900	+0.6	1
1000	+1.0	1
1200	0.0	1
1400	−0.9	1
1600	−1.7	1
1800	−2.4	1
2000	−3.0	1
2500	−4.2	1
3000	−5.6	1
3500	−8.5	2
4000	−15.0	3
4500	−25.0	3
5000	−36.0	3
6000	−43.0	—

表 18-16 声音广播加权网络特性限值

频率 (Hz)	响应 (dB)	允差 (dB)
31.5	−29.9	±2.0
63	−23.9	±1.4[1]
100	−19.8	±1.0
200	−13.8	±0.8[1]
400	−7.8	±0.5[1]
800	−1.9	±0.3[1]
1000	0	±0.2
2000	+5.6	±0.5
3150	+9.0	±0.5[1]
4000	+10.5	±0.5[1]
5000	+11.7	±0.5
6300	+12.1	0
7100	+12.0	±0.2[1]
8000	+11.4	±0.4[1]
9000	+10.1	±0.6[1]
10000	+8.1	±0.8[1]
12500	0	±1.2[1]
14000	−5.3	±1.4[1]
16000	−11.7	±1.6[1]
20000	−22.2	±2.0[1]
—	—	+2.8
31500	−42.7	−∞

注：表中的允差是在对数曲线上用线性插入法取得的，用确定掩模频率(即 31.5Hz、100Hz、1000Hz、5000Hz、6300Hz) 的指定值为依据。

音频干扰测量仪的屏蔽应达到：在频率为 50Hz、1A/m 的交变电磁场中，在测量仪的任何测量电平上引入的测量误差不得大于 1dB。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

——准峰值音频干扰测量仪的技术要求:

① 过载系数:　30dB

② 充电时间常数:　1ms

③ 放电时间常数:　160ms

④ 临界阻尼指示器的机械时间常数 160ms

⑤ 脉冲响应: 准峰值音频干扰测量仪对正负试验脉冲的响应与对电动势为 2mV (均方根值)的正弦波信号的响应相等,误差不得超过 ±1.5dB。正弦波信号的频率为 1000Hz, 其源阻抗与脉冲发生器的源阻抗相同。试验脉冲的强度为 0.075μVs, 重复频率为 100Hz,均匀频谱最小上限为 20kHz。

⑥ 脉冲重复频率响应: 当测量仪的指示保持不变时, 幅度和重复频率之间的关系应满足表 18-17 给出的限值。

表 18-17　准峰值音频干扰测量仪的脉冲响应

重复频率 (Hz)	脉冲相对等效电平(dB)
1000	−4.5±1.0
100	0 (基准)
20	6.5±1.0
5	14.5±2.0
孤立脉冲	23.5±3.0

——均方根值音频干扰测量仪的技术要求:

① 时间常数: 不大于 1s。

② 脉冲响应: 具有 3dB(B_3) 带宽(包括加权网络在内) 的测量仪对试验脉冲的响应与对电动势为 2mV (均方根值) 的正弦波信号的响应相等, 正弦信号的频率为能给出最大响应的频率上。试验脉冲的强度为 $139(B_3)^{-\frac{1}{2}}$μVs, 重复频率为 100Hz,均匀频谱的最小上限为 20kHz。脉冲信号发生器与正弦信号发生器的源阻抗应相同。

③ 脉冲重复频率响应: 当均方根值音频干扰测量仪的指示保持不变时, 脉冲幅度与重复频率之间的关系应符合如下规律:

$$脉冲幅度 \propto (重复频率)^{1/2} \tag{18-11}$$

以分贝表示的脉冲等效电平相对于重复频率为 100Hz 的电平允许有 ±1/10 的偏差。

能够进行精确测量的最低重复频率,由测量仪与其前端连接的测试接收机(或滤波器)的总带宽和过载系数共同确定。当 6dB 的低频通带为 9kHz、过载系数为 30dB 时, 最低重复频率为 12Hz。

三、无线电干扰场强测量仪技术指标的测试

1. 频率范围

frequency range

把 CISPR 标准规定的 A、B、C、D 四个频段覆盖的频率定义为频率范围。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 18-7。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

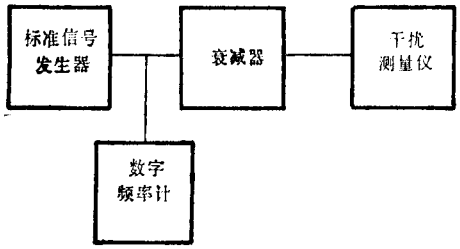


图 18-7 频率范围测试框图

(2) 测试步骤

① 按图 18-7 连接测试仪器，信号由被测仪器输入端座馈入；

② 将被测仪器的波段开关和调谐旋钮分别置于规定的频率点；

③ 将工作选择开关置于"校准"的位置，按规定调零和校准。然后将工作选择开关置于"测量"的位置；

④ 将标准信号发生器的频率依次置于波段覆盖的高低端，微调标准信号发生器的频率使被测仪器的指示为最大；

⑤ 记下频率计的示值，每个频率点重复测量三次，然后取其平均值作为实际值 f_{max} 和 f_{min}；

⑥ 按下列式(18-12)和式 (18-13)计算频率覆盖范围：

$$f_H - f_{max} \leqslant 0 \qquad (18\text{-}12)$$

$$f_L - f_{min} \geqslant 0 \qquad (18\text{-}13)$$

式中 f_H 为波段频率覆盖高端标称频率；f_L 为波段频率覆盖低端标称频率。

2. 频率准确度

frequency accuracy

频率的标称值与实际值之差与频率的实际值之比(%)，定义为频率准确度。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 18-7。

(2) 测试步骤

测试步骤与频率范围相同，按式(18-14)计算频率准确度：

$$\delta_f = \frac{f_x - f_0}{f_0} \times 100\% \qquad (18\text{-}14)$$

式中 f_0 为频率的实际值(MHz 或 kHz)；f_x 为被测仪器频率标称值 (MHz 或 kHz)；δ_f 为频率的准确度(相对值)。

3. 带宽 B_n

band width

低于响应曲线中点某一规定电平处，测量仪选择性曲线的宽度定义为带宽。用符号 B_n 表示，n 表示规定电平的分贝数。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 18-7。

(2) 测试步骤

① 将被测仪器工作选择开关置于"校准"位置，在规定的频率进行校准和调零；

② 将工作选择开关置于"测量"位置，通过标准信号发生器按规定频率和电平向被测仪器输送正弦波信号，调谐被测仪器的频率使指示器的示值为最大，再调节被测仪器的增益使指示器的示值指示在规定的位置；

③ 将标准信号发生器的输出衰减器减小 6dB 同时降低频率，使被测仪器的示值仍回复到原来的位置，读取此时频率计的示值，重复测量三次，取其平均值作为 f_1；然后升高标准信号发生器的频率，使被测仪器的示值上升后又回复到原来的位置，读取此时频率计的示值，重复测量三次，取其平均值作为 f_2；

④ 按式(18-15)计算整机通带 B_6：

$$B_6 = f_2 - f_1(\text{kHz}) \qquad (18\text{-}15)$$

式中 f_2 为上边频(kHz)；f_1 为下边频(kHz)。

4. 总选择性

overall selectivity

当准峰值干扰场强测量仪的指示保持不变时，输入的正弦波信号电压的幅度随频率变化的曲线定义为总选择性。见图 18-2(a)、(b)、(c)。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：

（1）测试方框图，同图 18-7。

（2）测试步骤

① 将被测仪器的工作选择开关置于“校准”的位置，在规定的频率进行调零和校准；

② 将工作选择开关置于“测量”位置，通过标准信号发生器向被测仪器输送规定频率和电平的正弦波信号，调谐被测仪器的频率使指示器的示值为最大，再调节被测仪器的增益使指示器的示值指示在规定的位置；

③ 保持被测仪器的示值不变，改变标准信号发生器的频率，记录输入正弦波信号电压随频率变化的规律，重复测量三次，取其平均值描绘成曲线，应满足图 18-2(a)、(b)、(c) 所示的界限值。

5. 正弦波电压准确度 U

sine-wave voltage accuracy

电压的实际值(dB) 与电压的标称值 (dB) 之差定义为电压准确度。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 18-8。

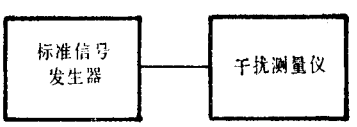


图 18-8　电压准确度测试框图

（2）测试说明和要求　标准信号发生器输出电压的准确度要求小于 ±0.5dB（经校准）。

（3）测试步骤

① 将“准峰值”“平均值”开关置于“平均值”的位置；

② 将工作选择开关置于“校准”的位置，按规定调零和校准；

③ 将工作选择开关置于“测量”的位置，通过标准信号发生器按规定的频率输送正弦波信号电压 U_0；

④ 微调被测仪器的频率使指示器的示值为最大，重复测量三次，取其平均值作为电压的标称值 U_x；

⑤ 按下列式(18-16)计算正弦波信号电压测量准确度：

$$\Delta U = U_x - U_0(\mathrm{dB}) \qquad (18\text{-}16)$$

式中　U_0 为被测电压的实际值 (dB)；U_x 为被测电压的标称值 (dB)。

6. 衰减器准确度 ΔA_{TT}

attenuator accuracy

衰减的标称值 (dB) 与衰减的实际值(dB) 之差定义为衰减器的准确度。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 18-9。

（2）测试说明和要求　标准衰减器的总误差要求小于 ±0.5dB。

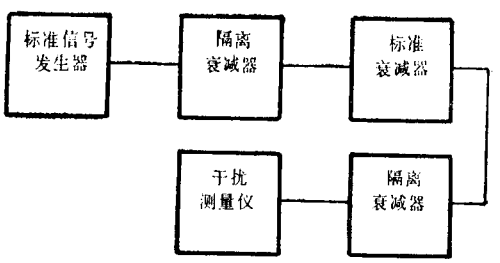


图 18-9　衰减器测试框图

（3）测试步骤

① 将被测仪器置于“校准”位置，按规定调零和校准；

② 将被测仪器置于“测量”位置，将频率置于规定或用户所需之频率点；

③ 将被测仪器的高频衰减器置于“0” dB 的位置，标准衰减器置于衰减 70dB 的位置；

④ 调节标准信号发生器的频率与被测仪器的频率同步，并输送规定电平的正弦波信号，使被测仪器指示在规定的位置；

⑤ 依次按 10dB 步进增加被测仪器高频

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

衰减器的衰减量。同时，同步减小标准衰减器的衰减量，使被测仪器的指示回复到原来的位置。重复测量三次，取其平均值作为衰减的实际值 A_0；

⑥ 按式(18-17)计算衰减器的准确度：

$$\Delta A_{TT} = A_x - A_0(\text{dB}) \quad (18\text{-}17)$$

式中 A_0 为由标准衰减器读出的衰减实际值(dB)；A_x' 为被测衰减器的衰减标称值(dB)。

7. 脉冲响应

pulse response

准峰值干扰场强测量仪主要用于测量脉冲信号，所以只作正弦波信号的检定是不够的，尚须作脉冲响应的测试。脉冲响应又分为幅度响应(绝对响应)和重复频率响应(相对响应)，分述如下：

I. 幅度响应

(amplitude relationship)

准峰值干扰场强测量仪，在所有调谐频率上，对基准试验脉冲的响应与未调制的电动势为 2mV (均方根值) 正弦波信号的响应相等，误差不得超过 ±1.5dB。脉冲信号发生器与正弦波信号发生器的源阻抗均为 50Ω。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 18-10。

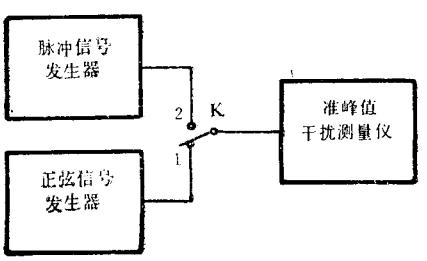


图 18-10 幅度响应测试框图

(2) 测试说明及要求 基准试验脉冲必须符合表 18-18 的要求，脉冲频谱强度的误差不得超过 ±0.5dB。

(3) 测试步骤

① 将被测仪器工作选择开关置于“校准”的位置；

表 18-18 基准试验脉冲的要求

频率范围	脉冲强度(μVs)	均匀频谱最小上限(MHz)	重复频率(Hz)
9～150kHz	13.5	0.15	25
0.15～30MHz	0.316	30	100
30～300MHz	0.044	300	100
300～1000MHz	0.044	1000	100

② 将被测仪器置于规定的频率并调零和校准；

③ 将工作选择开关置于“测量”的位置；

④ 将图 18-10 的工作开关置于“1”的位置，通过正弦波信号发生器向被测仪器输送电动势为 2mV (均方根值)的调谐频率信号，调谐被测仪器使指示为最大。此时，被测仪器的指示值记为 V_1(应为 60dB)；

⑤ 将图 18-10 的工作开关置于“2”的位置，按表 18-18 中的规定输送基准试验脉冲信号。此时，被测仪器的示值记为 V_2。

⑥ 按下列式(18-18)计算准峰值干扰场强测量仪幅度响应误差：

$$\text{脉冲幅值响应误差} = V_1 - V_2(\text{dB}) \quad (18\text{-}18)$$

II. 重复频率响应(相对响应)

(variation with repetition frequency)

当准峰值干扰场强测量仪的指示保持不变时，输入脉冲信号的幅度与重复频率变化的关系定义为重复频率响应。应符合图 18-1(a)、(b)、(c) 和表 18-5 的规定。

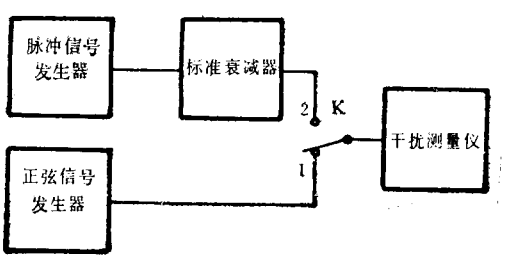


图 18-11 重复频率响应测试框图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 18-11。

(2) 测试说明和要求　要求脉冲信号发生器给出的脉冲信号应作到：当改变脉冲的重复频率时，脉冲的强度（即脉冲的幅度与持续时间）应保持不变；脉冲强度的不确定度应小于 ±0.5dB；正弦信号发生器输出信号幅度的不确定度应优于 ±0.5dB。

(3) 测试步骤

① 被测仪器工作选择开关置于“校准”位置；在规定的频率进行调零和校准；

② 将被测仪器的工作选择开关置于“测量”位置；衰减器置于 40dB 的位置；

③ 将图 18-11 工作开关置于“1”的位置，向被测仪器输送电动势为 2mV(均方根值)的正弦波信号并调谐频率使指示器的示值为最大，此时之示值为 V_a(应为 60dB)；

④ 将图 18-11 工作开关置于“2”的位置，将被测仪器的衰减器置于 0dB 的位置；标准衰减器置于 40dB 的位置。

⑤ 按规定向被测仪器输送基准试验脉冲，此时被测仪器的示值为 V_b，应与 V_a 相等。以这个电平作为相对等效电平“0”dB。

⑥ 按规定依次改变脉冲重复频率，调整标准衰减器的衰减量使被测仪器的示值仍回复到相对等效电平“0”dB 的位置。

⑦ 随重复频率变化时，对应于相对等效电平“0”dB 时标准衰减器的变化量即为重复频率响应。应符合表 18-7 和图 18-1(a)、(b)、(c) 的规定。

8. 充电时间常数　T_c

electrical charge time constant

从恒定的正弦波信号电压施加到检波器输入端的瞬间起，到检波器输出电压达到其最终值的 63% 为止，所用的时间定义为检波器的充电时间常数。

测试方法：

I. 阴极射线示波器法

(1) 测试方框图，见图 18-12。

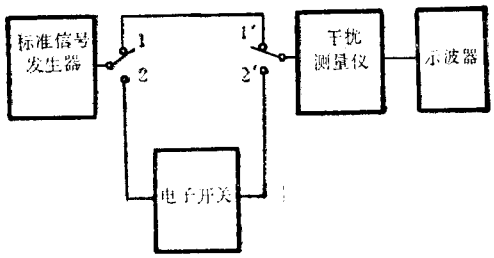


图 18-12　充电时间常数测试方框图

(2) 测试步骤

① 将被测仪器工作选择开关置于“校准”的位置；在规定的频率调零和校准；

② 将工作选择开关置于“测量”的位置，图 18-12 工作开关置于“1-1”的位置；

③ 将正弦波信号发生器的输出端与被测仪器末级中频放大器的输入端相连接，将阴极射线示波器的输入端连接到被测仪器直流放大器电路中不影响检波器工作特性的测量点上；

④ 通过正弦波信号发生器施加一个幅度恒定的中频信号，使指示器达满度偏转 D，施加的信号电平应使得有关各级电路的响应保持在线性工作范围；

⑤ 将图 18-12 的工作开关置于“2-2′”的位置，保持施加的中频信号幅度不变，通过电子开关控制施加中频信号的持续时间，使阴极射线示波器的偏转指示上升到 $0.63D$。这时，施加中频信号的持续时间即为充电时间常数。

II. 替代法

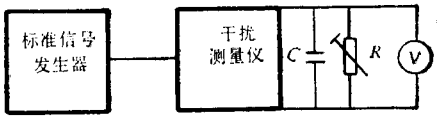


图 18-13　替代法，时间常数测试方框图

(1) 测试方框图，见图 18-13 和图18-14。

(2) 测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

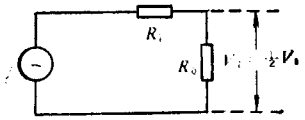


图 18-14 图17-13的等效电路

①将标准信号发生器的输出端连接到被测仪器末级中频放大器的输入端；

② 将可变电阻R连接到检波器的输出端，替代原检波电路的放电电阻（原检波电路的放电电阻去掉），同时，在检波器的输出端连接一只电压表；

③ 将可变电阻R的阻值调节到无穷大的位置，通过标准信号发生器向末级中频放大器的输入端输送等幅中频正弦波信号，使电压表的示值为 10V，并记为 V_1；

④ 保持输入中频信号的幅度不变，调节可变电阻R的阻值，使电压表的指示为 $V_2=\frac{V_1}{2}$；此时，可变电阻R的实际值为 R_a。

⑤ 按下列式(18-19)计算充电时间常数：

$$T_c=0.889R_a\cdot C \qquad (18\text{-}19)$$

式中 C为充电电容。

9. 放电时间常数 T_D

electrical discharge time constant

从移去施加在检波器输入端恒定中频正弦波信号电压的瞬间起，到检波器输出端电压降落至最终值的37%为止，所用的时间定义为放电时间常数。

测试方法：

（1）测试方框图，同图 18-12。

（2）测试步骤

测试步骤与充电时间常数的阴极射线示波器法相同，所不同的是将施加信号电压中断一定时间，使阴极射线示波器的偏转指示由最终稳定值D降至$0.37D$所需的时间就是放电时间常数。

10. 临界阻尼指示器的机械时间常数 T_M

mechanical time constant of a criticauy damped indicating instrument

临界阻尼指示器的机械时间常数 T_M 定义为：

$$T_M=\frac{T_L}{2\pi} \qquad (18\text{-}20)$$

式中 T_L 为去除全部阻尼之后的自由振荡周期。对于临界阻尼指示器，其系统运动方程式可写成：

$$T_M^2\frac{d^2\alpha}{dt^2}+2T_M\frac{d\alpha}{dt}+\alpha=K\cdot i \qquad (18\text{-}21)$$

式中 α为偏转指示；i为流经指示器的电流；K为指示器的时间常数。

由式(18-21)可知，时间常数也可以规定为矩形脉冲(幅度恒定)的持续时间，此矩形脉冲所产生的偏转指示等于幅度与矩形脉冲相同的连续电流所产生的稳定偏转指示的 35%。

临界阻尼指示器机械时间常数的测量方法和调节方法，可以从下述两种方法之一得到：①把自由振荡周期调节到 0.6s，然后加上阻尼，使αT等于$0.35\alpha_{max}$。②如果振荡周期不能测量，就将阻尼调到刚好低于临界值，使仪器的过摆不大于 5%，调节转动惯量，使αT等于$0.35\alpha_{max}$。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 18-15。

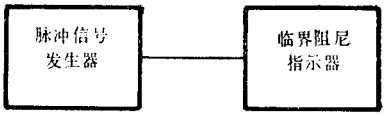


图 18-15 机械时间常数测试方框图

（2）测试步骤

① 将脉冲发生器的输出端与临界阻尼指示器的输入端相连接；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 由脉冲信号发生器给出重复频率为 0.5Hz、持续时间大于 1 秒的矩形脉冲；

③ 调节矩形脉冲的幅度，使临界阻尼指示器达满度偏转，指示器的过摆不能大于 5%；

④ 改变矩形脉冲的持续时间(即脉冲的宽度)，使临界阻尼指示器的偏转指示上升到满度偏转指示的 35%。此时，矩形脉冲的持续时间就是临界阻尼指示器的机械时间常数。

11. 过载系数　O_L

overload factor

电路稳态响应离开理想线性为 1dB 时的最高输入电平与指示器满刻度偏转指示所对应的输入电平之比定义为过载系数。

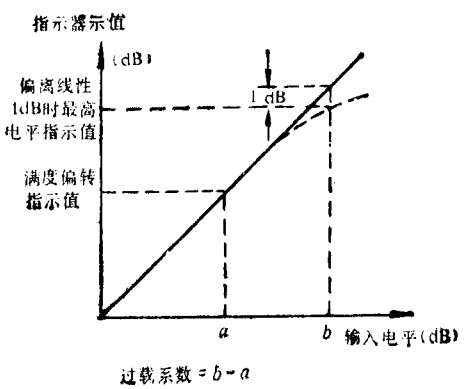


图 18-16　过载系数

I. 检波前电路过载系数

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 18-17。

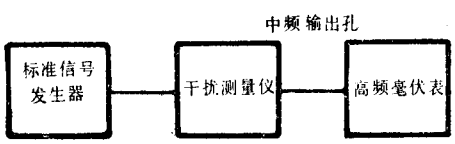


图 18-17　检波前电路过载系数测试框图

(2) 测试步骤

① 将被测仪器工作选择开关置于“校准”的位置，在规定的频率调零和校准；

② 将工作开关置于“测量”的位置；将高频毫伏表与被测仪器的中频输出孔相连接，标准信号发生器的输出端与被测仪器的输入端相连接；

③ 按规定频率向被测仪器输送等幅正弦波信号，调谐被测仪器的频率使指示器的示值为最大；

④ 调节标准信号发生器的输出电平使被测仪器表头达满度偏转。此时，输入之等幅正弦波信号电压为 a (dB)；

⑤ 加大输入正弦波信号电压达到电路的稳态响应离开理想线性 1dB (由高频毫伏表监测) 时，这时输入之等幅正弦波信号电压为 b (dB)；

⑥ 按下列式(18-22)计算检波前各级电路的过载系数：

$$O_L = b - a(\text{dB}) \qquad (18\text{-}22)$$

II. 检波后电路过载系数

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 18-18。

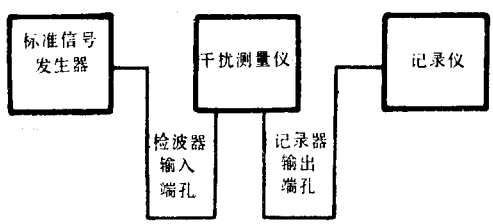


图 18-18　检波后电路过载系数测试框图

(2) 测试步骤

① 将标准信号发生器的输出端与被测仪器检波器的输入端相连接；记录器与被测仪器记录器插孔相连接；

② 向检波器输入端输送等幅中频正弦波信号，调节信号电平使被测仪器的表头达满度偏转。此时，输入之等幅中频正弦波信号电压为 a (dB)；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

③ 增大输入信号电平，当记录仪的示值表示电路响应偏离理想线性达 1dB 时，这时输入的中频正弦波信号电压为 b(dB)；

④ 按式(18-22)计算检波后电路的过载系数。

12. 中频抑制比

intermediate frequency rejection ratio

当干扰场强测量仪的指示值保持不变时，输入的中频正弦波信号电压与调谐频率正弦波信号电压之比定义为中频抑制比。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 18-8。

(2) 测试说明和要求　对于多次变频的测量仪，每一个中频的抑制比均应测试。

(3) 测试步骤

① 将被测仪器置于规定的频率，工作选择开关置于"校准"的位置，调零及校准；

② 工作选择开关置于"测量"的位置，向被测仪器输送规定频率的正弦波信号，在被测仪器得到示值 U，此时输入之正弦波信号电压为 V_1(dB)；

③ 改变标准信号发生器的频率为中频频率，加大中频正弦波信号电压，使被测仪器的示值仍回复为 U，这时输入之正弦波信号电压为 V_2(dB)。

④ 按式(18-23)计算中频抑制比：

$$中频抑制比 = V_2 - V_1(\text{dB}) \quad (18\text{-}23)$$

13. 镜频抑制比

image frequency rejection ratio

当干扰场强测量仪的指示值保持不变时，输入之镜像频率正弦波信号电压与调谐频率正弦波信号电压之比定义为镜频抑制比。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 18-8。

(2) 测试说明和要求　对于多次变频的干扰场强测量仪，每个中频所对应的镜频均应测量。

(3) 测试步骤　同"中频抑制比"。

14. 其它乱真响应

other spurious responses

当干扰场强测量仪的指示值保持不变时，除中频和镜频外，其它频率的正弦波信号电压与调谐频率的正弦波信号电压之比定义为其它乱真响应。有可能出现的其它乱真响应的信号频率为：

$$\frac{1}{m}(nf_L \pm f_i) \quad 和 \quad \frac{1}{K}(f_0) \quad (18\text{-}24)$$

式中　n、m 和 K 为整数；f_L 为本机振荡器的频率；f_i 为中频频率；f_0 为调谐频率。

另外，在不施加任何信号的情况下，也会出现乱真响应，这种乱真响应不包括在本指标之内。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 18-8。

(2) 测试步骤　同"中频抑制比"。

15. 互调效应的限制

imitation of intermodulation effects

当两个以上的干扰信号经混频器的非线性变频作用，由于各干扰频率之间相互调制而产生近于有用信号频率时，叫作互调效应。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 18-19。

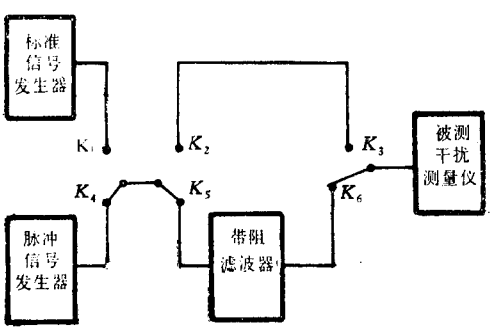


图 18-19　互调效应测试方框图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试说明和要求　干扰场强测量仪的互调效应是采用脉冲信号法测量，这种方法速度快而且不会遗漏。对测试用脉冲信号带宽特性的要求示于表 18-19。

用于试验的脉冲信号产生器所产生的脉冲信号的频谱，在低于和等于表 18-19 的频率(3)时，应基本上是均匀的；在表 18-19 的频率(4)处，应至少降低 10dB。所用带阻滤波器，在试验频率点，至少应衰减 40dB，相对于滤波器最大衰减的 6dB(B_6) 带宽，应介于表 18-19 所列(1)和(2)值之间。

表 18-19　干扰场强测量仪互调试验的带宽特性

频率范围	(1) (kHz)	(2) (kHz)	(3) (MHz)	(4) (MHz)
9～150kHz	0.4	4	0.15	0.3
0.15～30MHz	20	200	30	60
30～300MHz	500	2000	300	600
300～1000MHz	500	6000	1000	2000

(3) 测试步骤

① 被测仪器置于规定的频率；工作选择开关置于“校准”的位置，进行调零和校准；

② 将工作选择开关置于“测量”的位置；图 18-19 的工作开关置于 K_1、K_2 和 K_3 的位置，由标准信号发生器向被测仪器输送规定频率、幅度为 60dB 的正弦波信号，在被测仪器得到示值为 U；

③ 将图 18-19 的工作开关置于 K_1、K_5 和 K_6 的位置，带阻滤波器的中心频率与信号频率相同，这时被测仪器的示值至少应衰减 40dB；

④ 将图 18-19 的工作开关置于 K_4、K_2 和 K_3 的位置，向被测仪器输送脉冲信号，脉冲信号的重复频率除 9～150kHz 为 25Hz 外，其它频段均为 100Hz。调节脉冲信号发生器的输出电平，使被测仪器的示值仍回复到 U；

⑤ 将图 18-19 的工作开关置于 K_4、K_5 和 K_6 的位置，这时被测仪器的示值至少应衰减 36 dB。

16. 随机噪声

random nois

测量仪内部电路的热噪声定义为随机噪声。早先也曾叫背景噪声。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 18-20。

(2) 测试步骤

① 将被测仪器置于规定的频率，工作选择开关置于“校准”的位置，调零和校准；

图 18-20　随机噪声测试方框图

② 工作选择开关置于“测量”的位置；将被测仪器置于最灵敏的挡位，将图 18-20 中标准衰减器置于衰减 15dB 的位置；

③ 向被测仪器输送规定频率的正弦波信号，调谐被测仪器的频率使指示器得到一个偏转指示 θ；

④ 将被测仪器的中频衰减器的衰减量增加 10dB。同时，减小标准衰减器的衰减量，使被测仪器的示值仍回复到原来的偏转指示 θ。此时，标准衰减器的变化量必须在 10～11dB 之间。

17. 连续波乱真信号的限制

limitation of continuous wave spurious signals

多次变频时，由于多个本机振荡频率的谐波所产生的组合频率落入通带范围内，这就是在没有任何输入信号的情况下出现的乱真信号。把这种信号定义为连续波乱真信号。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 18-20。

(2) 测试步骤　同“随机噪声”。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$引入误差 = V_2 - V_1(dB) \quad (18\text{-}25)$$

18. 屏蔽效果

screening effectiveness

屏蔽效果是对干扰场强测量仪在规定的电磁环境中性能无明显降低的前提下工作能力的量度。这个要求适用于所有的测量接收机。

I 开阔场测试法

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 18-21。

(2) 测试步骤

① 按图 18-21 布置测试场地；

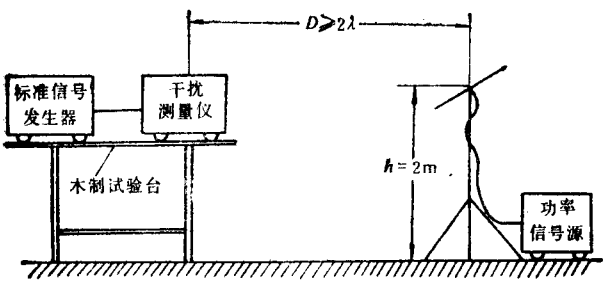


图 18-21 开阔场测试屏蔽效果示意图

② 首先在放置干扰场强测量仪的位置设置场强计的天线；按规定的频率，通过功率信号发生器向发射天线馈送等幅正弦波信号，调节功率信号发生器的输出功率，使场强计测得的场强达 3V/m；

③ 用被测仪器置换场强计的天线；按规定的频率调零并校准被测仪器；

④ 将被测仪器工作选择开关置于“测量”的位置，将被测仪器置于最灵敏的档位和最小可测电压的工作状态；按正常使用状态连接上必不可少的引线(如耳机等选件)；

⑤ 通过标准信号发生器向被测仪器输送电平为该产品最灵敏的正弦波信号。在无环境电磁场时，得到的指示为 V_1(dB)，在有 3V/m 环境电磁场时，得到指示为 V_2(dB)；

⑥ 按式 (18-25) 计算屏蔽不良引入的误差：

II. 横电磁波传输室测试法

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 18-22。

(2) 测试电路说明和要求 用横电磁波传输室测试设备的屏蔽性能时，受试设备的体积必须小于传输室容积的 1/3。否则将增大测试误差，导致测试结果不可信。

(3) 测试步骤

① 按图 18-22 布置测试场地；

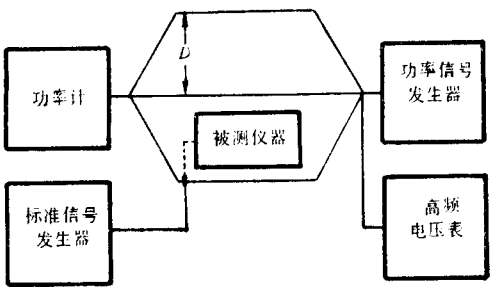


图 18-22 横电磁室测试布置示意图

② 将被测仪器置于规定的频率，工作选择开关置于“校准”的位置，调零和校准；

③ 将工作选择开关置于“测量”的位置，按正常使用状态连接上必不可少的引线（如耳机选件等），将被测仪器置于最灵敏的档位；

④ 通过标准信号发生器向被测仪器输送规定频率的正弦波信号，在指示器上得到示值为 U_1(dB)；

⑤ 通过功率信号发生器向横电磁波传输室馈送规定频率的正弦波信号，调节功率信号发生器的输出电平，使横电磁波传输室产生 3V/m 的电场。这时，被测仪器的示值由 U_1(dB) 增加到 U_2(dB)；

⑥ 按下列式(18-26)计算屏蔽效应引入之误差：

$$\Delta U = U_2 - U_1(dB) \quad (18\text{-}26)$$

横电磁波传输室产生的电场强度由式

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(18-27)或式(18-28)计算得到:

$$E_V = \frac{\sqrt{PR_0}}{D}(\mathrm{V/m}) \qquad (18\text{-}27)$$

或

$$E_V = \frac{U}{D}(\mathrm{V/m}) \qquad (18\text{-}28)$$

式中 E_V 为电场强度 (V/m 或 $\mathrm{dB}_{\mu\mathrm{V}}$/m); P 为功率计的示值 (W); R_0 为横电磁波传输室的特性阻抗,额定值为 50Ω; U 为宽带电压表的示值 (V); D 为横电磁波传输室内部空间的高度(m)。

III. 屏蔽室测试法

由于屏蔽室存在反射，而且接收天线与被测仪器的体积和形状之间的差异又很大，所以测量结果误差较大。如果有电波暗室，在电波暗室中测量会得到较精确的结果。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 18-23。

(2) 测试步骤

此处，所有的测试步骤均与开阔场测试步骤相同。不同的是将标准信号发生器与功率信号发生器放在屏蔽室的外侧,用屏蔽良好的(半钢性)电缆,通过馈通接头与被测仪器和发射天线相连接。

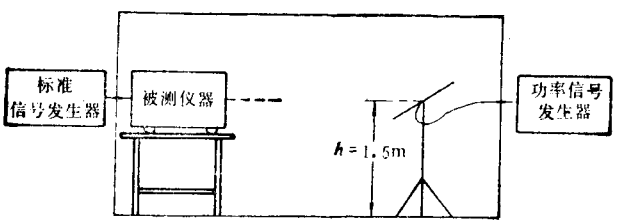


图 18-23　屏蔽室测试屏蔽效果布置示意图

四、近区场强计

近区场强计原设计意图是为了测量近区电磁场,它的结构与性能适合于近场测量的需要，实际上远场区也可以使用,只要灵敏度足够就可以。近区场强计的另一种名称叫作辐射监视器(Radiation monitor)。

如所周知,在近场区,波阻抗不是常数，故电场与磁场必须分开测量,因而近区场强计均分别配备电场探头和磁场探头。

在近场区,电磁波的极化很复杂,为了取得精确的测量结果,要求测量天线具有全向性，为减小对待测场的扰动,要求探头体积小。为达此目的，国际上均采用由三个相互正交的振子组成的各向同性天线。这种天线不仅在方位面上无方向性,在俯仰面上也无方向性。这种各向同性天线是一种频带很宽的宽带天线,它与一个远距离指示单元共同组成近区场强计，工作原理是将天线上感应的射频电压经二极管整流后直接输送给远距离指示单元进行处理。综上所述可知,近区场强计有两个主要性能需要测量。

19. 频率响应

frequency response

近区场强测量仪对额定频率的敏感度与对标准参考频率的敏感度之比定义为频率响应。

测试方法:

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

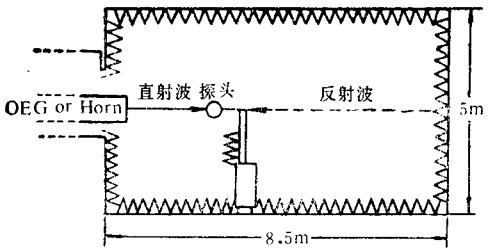


图 18-24 测试方框图及布置示意图

(1) 测试方框图，见图 18-24。

(2) 测试步骤

① 按规定校准近区场强测量仪；

② 按规定频率，通过开口波导或角锥喇叭天线产生标准场强 E_d(dB)，在近区场强测量仪得到指示为 E_r(dB)，重复测量三次取平均值作为实际指示值；

③ 按式(18-29)计算频率响应误差：

频率响应误差 $= E_d - E_r$(dB) (18-29)

式中，E_d 为场强的标准值；E_r 为被测仪器实际指示的标称值。

④ 按规定的频率依次进行测量，即可得到近区场强测量仪的频率响应曲线。

20. 各向同性度

isotropicity

各向同性天线在全部极化方向上的增益与给定方向上的标准天线增益之比定义为各向同性度。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 18-24。

(2) 测试步骤

① 按规定的频率，通过开口波导和角锥喇叭产生标准电场 E_d(dB)，在被测仪器得到指示为 E_r(dB)，重复测试三次，取其平均值作为指示的实际值；

② 保持 E_d 不变，旋转各向同性天线 360°，在被测仪器得到指示 E_{rmax}(dB) 和 E_{rmin}(dB)；

③ E_{rmax}(dB) 和 E_{rmin}(dB) 与 E_d(dB) 之差即为各向同性天线的各向同性度。

注：近区场强测量仪的频率响应和各向同性度的测试，在1000MHz 以下的频率范围，采用横电磁波传输室测量；在1000MHz 以上的频率范围，用电波暗室测量。

五、辅助测量设备

(一) 人工电源网络

人工电源网络是为了在设备的两个端子间提供一个规定的射频阻抗，隔离来自电网的无用射频信号，并将干扰电压耦合到干扰测量仪的输入端。

人工电源网络有两种基本类型：用于耦合不对称电压的V型和用于耦合对称电压的Δ型。对于每根电源线，人工电源网络都配有三个端，即连接设备的电源端、连接受试设备的设备端和连接测试设备的干扰输出端。

人工电源网络的阻抗是指干扰输出端端接 50Ω 负载时，在设备端测得的相对于地的阻抗的模。

人工电源网络设备端的阻抗定义为受试设备呈现的终端阻抗。因此，当干扰输出端没有与干扰测量仪相连时，该输出端应端接一个 50Ω 负载电阻。

对于其它任意大小的阻抗值，包括短路或连接在电源和大地之间的滤波器，人工电源网络每根电源线的阻抗都应满足各自的规定。包括在规定的最大电流和最高温度下，这一要求都应满

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

足。

人工电源网络所引入的电压降应小于额定工作电压的 5%。

测量对称电压的人工电源网络的平衡度，大于 26dB。

(1) 50Ω/50μH + 5Ω V 型人工电源网络(适用于 9～150kHz 的频率范围)

图 18-25 给出了相关频率范围内网络阻抗随频率变化的特性曲线，允许有 ±20% 的偏差。

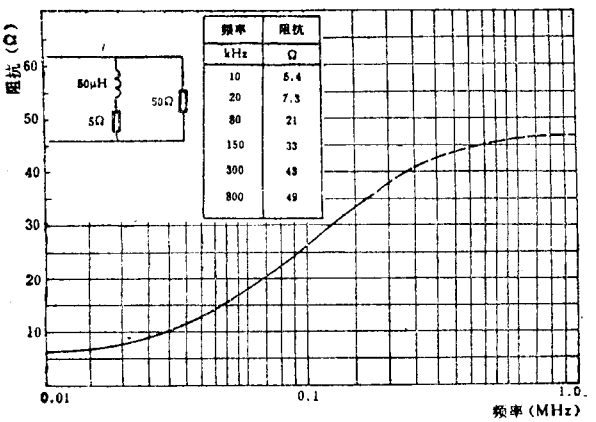


图 18-25　50Ω/50μH + 5Ω 人工电源网络的阻抗特性

(2) 50Ω/50μH V 型人工电源网络 (适用于 0.15～30MHz)。

图 18-26 给出了相关频率范围内，网络阻抗随频率变化的特性曲线，允许有 ±20% 的偏差。

(3) 50Ω/5μH + 1Ω V 型人工电源网络(适用于 150kHz～100MHz 的频率范围)。

图 18-27 给出了相关频率范围内，网络阻抗随频率变化的特性曲线，允许有 ±20% 的偏差。

(4) 150Ω V 型人工电源网络 (适用于 150kHz～30MHz 的频率范围)。

网络阻抗的模为 ±150±20Ω，相角不得超过 20°。

(5) 150Ω △型人工电源网络(适用于 150kHz～30MHz 的频率范围)。

网络在两根电源线之间和两根电源线相连之后与地之间的阻抗的模为 150±20Ω，相角不得超过 20°。

测量对称电压时，需要使用屏蔽的平衡变换器。为了避免阻抗网络产生明显的变化，变换器的输入阻抗在所有感兴趣的频率上均不得低于 1000Ω。由于干扰场强测量仪测得的电压取决于该网络的元件参数和传输比，所以网络应该校准。

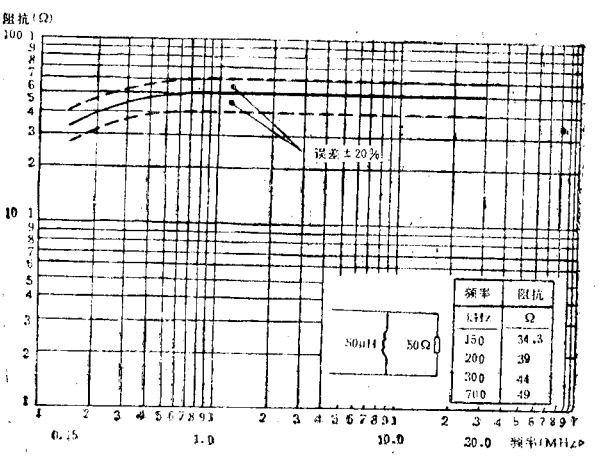


图 18-26　50Ω/50μH 人工电源网络的阻抗

阻抗

impedance

在干扰输出端端接 50Ω 负载电阻时，在设备测得的相对于地的阻抗的模，定义为人工电源网络的阻抗。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 18-28。

(2) 测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

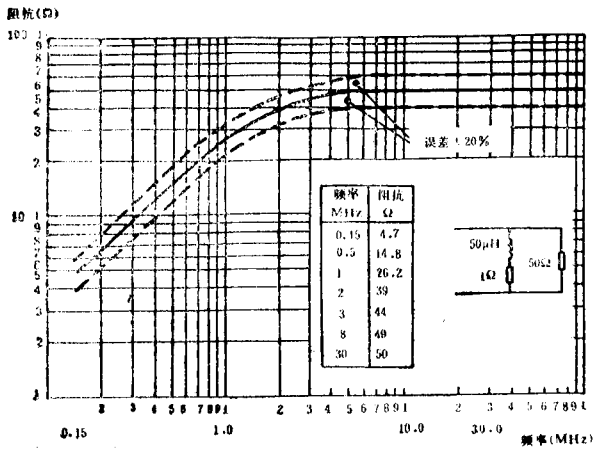


图 18-27 50Ω/5μH 人工电源网络的阻抗

图 18-28 人工电源网络阻抗测试框图

将一只等于干扰场强测量仪输入阻抗的电阻替代干扰场强测量仪，将阻抗测量仪或网络分析仪连接在受试设备端子与地之间，根据人工电源网络的额定频率范围，测量人工电源网络的阻抗值。

平衡度

balance

图 18-29 中，U_a 与 U_s 之比定义为网络的平衡度。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 18-29。

(2) 测试步骤

在△型人工电源网络被测的两个端子之间串联两个电阻 R_1 和 R_2，用源阻抗为 50Ω(75Ω) 的信号发生器，在两个电阻的共同结点与地之间施加电压 U_a(dB)，在测量对称电压的位置上得到电压 U_s(dB)，则 U_a-U_s(dB) 就是人工电源网络的平衡度。

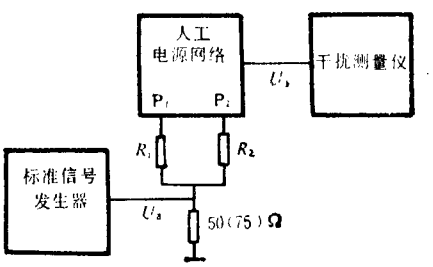


图 18-29 平衡度的测试连接图

$R_1=R_2=100\Omega(150\Omega)\pm0.5\%$；

P_1、P_2 为连接被测设备的端子

(二) 电流探头

电流探头通常作为干扰场强测量仪(测量接收机)的输入部件，因此电流探头被设计成将干扰电流转变为干扰场强测量仪可以检测的电压。电流探头的灵敏度可以用传输阻抗表示。传输阻抗定义为次级电压（通常跨接在 50Ω 负载上)与初级电流之比，有时也用传输导纳表示。

电流探头和干扰场强测量仪的总灵敏度也是干扰场强测量仪灵敏度的函数。故导线中最小可测干扰电流为干扰场强测量仪最小可测电压与电流探头传输阻抗之比。例如，干扰场强测量仪的最高灵敏度为 1μV，电流探头的传输阻抗为 10Ω，那末可测量的最小干扰电流为 0.1 μA。如果干扰场强测量仪的最高灵敏度为 10μV，电流探头的传输阻抗为 1Ω，则最小可测干扰电流为 10μA。可见为了得到最高灵敏度，电流探头的传输阻抗应尽可能的高。

根据变压器的理论，电流探头可以用精确的等效电路来表示。经过对精确等效电路及由其导出的方程简化之后，可以得到传输阻抗表达式为：

高频时：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$Z_T = \frac{\omega M}{\left[\left(\frac{\omega L}{R_L}\right)^2 + (\omega^2 LC - 1)^2\right]^{1/2}} \tag{18-30}$$

中频时：

$$Z_T = \frac{MR_L}{L} \text{（当 } \omega^2 LC = 1 \text{ 时）} \tag{18-31}$$

低频时：

$$Z_T = \frac{\omega M}{\left[\left(\frac{\omega L}{R_L}\right)^2 + 1\right]^{1/2}} \tag{18-32}$$

式中 Z_T 为传输阻抗；M为初次级线圈之间的互感；L为次级线圈电感；R_L 为次级负载阻抗(通常为 50Ω)；C为次级分布电容；ω为角频率。

上述方程可以得出如下结论：

① 负载恒定时，中心频率最大传输阻抗直接正比于互感与次级感抗(R_L 为常量)之比。

② 当次级分布电容的容抗与负载阻抗相等时，出现高频半功率点。

因为电流探头基本上是一个环形变换器，所以次级阻抗会反射到初级。对于圈数为 8、负载阻抗为 50Ω 的次级线圈，典型的反射阻抗约为 1Ω。只要源和被测电路的负载阻抗之和大于 1Ω，那末，电流探头的应用不会明显改变初级电流。然而，当电路的源阻抗和负载阻抗之和小于其反射阻抗时，电流探头的使用就会明显的改变初级电流。

通常电流探头被设计成卡式电流传感器，因而不需与电源导线直接接触，也不用改变导线及其电路就可直接测量导线上的干扰电流。对于复杂的导线系统、电子线路来说，它的实用性与重要性是不言而喻的。

当测量常规电源系统 100MHz 以上的持续干扰电流时，应将探头置于干扰电流最大的位置。

在通带内探头具有平坦响应，低于通带时，仍可精确测量，但灵敏度有所降低，高于通带时，因谐振频率的影响，测量不再精确。

电流探头的技术性能

① 插入阻抗： 1Ω

② 传输阻抗： 0.1～5Ω（平坦范围）
0.001～0.1Ω（低于平坦范围）

③ 频率响应： ±1dB（低于 30MHz）
±2.5dB(30～1000MHz)

④ 饱和电流限值： 300A(直流)
100A(50Hz)

⑤ 外电流的限值： 40dB

⑥ 电场的影响： 10V/m

⑦ 位置影响： 1dB（低于 30MHz）
2.5 dB(30～1000MHz)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

⑧ 工作温度：0～100℃

传输阻抗 Z_T

transfer impedance

干扰场强测量仪的示值 U 与导线中的射频电流 I 之比，定义为电流探头的传输阻抗。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 18-30 与图 18-31。

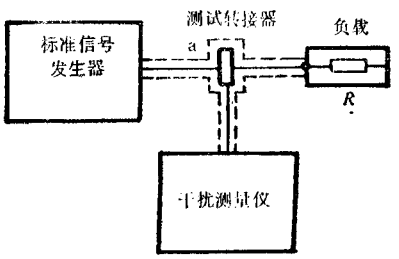


图 18-30 传输阻抗测试连接图

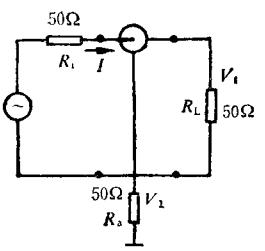


图 18-31

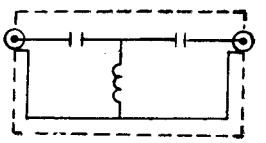


图 18-32

(2) 测试说明和要求

如前所述，电流探头的灵敏度是用传输阻抗来表示的。而传输阻抗则是由干扰场强测量仪的示值与导线中的射频电流之比来确定。只要得到传输阻抗，则频率响应亦迎刃而解。

测试是借助于一个夹具来进行。夹具是由两个半圆的环体组成的同轴转换器。当将电流探头装配其上时，便形成了一根同轴传输线。包裹着电流探头的是外导体，穿过探头孔径的为内导体。当同轴线匹配良好时，流经内导体的电流可通过测量线上的电压来计算。如果电流探头用金属体作为屏蔽体时，就应考虑将夹具设计成性能良好的同轴线。

在电流探头的输出端与干扰测量仪输入端之间，最好插入一个高通滤波器，截止频率为 10 kHz。滤波器如图 18-32 所示。

(3) 测试步骤

按规定频率，通过标准信号发生器向标准负载 R 输送等幅正弦波信号。在标准负载 R 上得电压 V_1，在电流探头的输出端(干扰场强测量仪的输入端)得电压 V_2，由式(18-33)计算导线中的传导电流 I：

$$I = \frac{V_1}{R} \tag{18-33}$$

由式(18-34)计算传输阻抗 Z_T：

$$Z_T = \frac{V_2}{I} \tag{18-34}$$

由式(18-35)计算传输导纳的对数表示式：

$$Y_T = V_1 - V_2 - 34(\text{dB}) \tag{18-35}$$

系数 34 是由 50Ω 线阻抗得来的。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（三）吸收式功率钳

自 80 年代初期以来，在 EMC 测量中，发现相当数量的电气、电子设备所产生的干扰是由这些设备的电源线辐射出来的。因此，带有电源线的设备，其干扰能量可以用起辐射天线作用的电源线所提供的能量来衡量。该辐射功率近似等于一个吸收装置环绕导线放置时所吸收到的最大功率。这个吸收装置被称为吸收式功率钳。

不只是设备的电源线，其外部带有的屏蔽或无屏蔽的导线，也与电源线同样的方式向外辐射能量，吸收式功率钳也可用于这些导线的辐射能量的测量。所以在 30～1000MHz 的频率范围内，这是一种既简便又实用的测量方法。

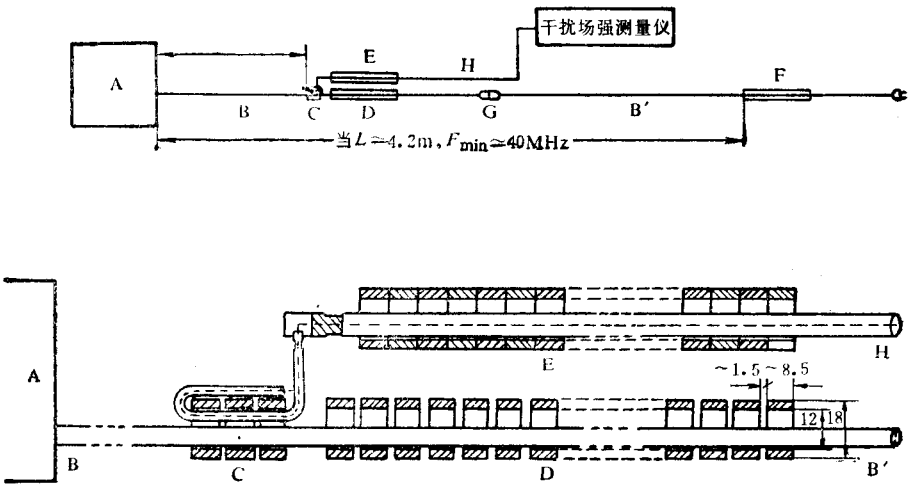
吸收式功率钳的构造示例如图 18-33 所示。它由下述三个部分组成：

① 宽带射频电流变换器；

② 具有阻抗稳定作用的吸收钳；

③ 套筒式吸收钳，用于减小来自电流变换器同轴电缆表面的射频电流。

为了便于把电源线装进吸收功率钳，作为吸收体的铁氧体均作成两个半环。为了移动方便，在吸收功率钳的底部装有滚轮。



A:受试设备；B:受试设备电源线；C:宽带射频电流变换器　D:起阻抗稳定作用的吸收钳；E:吸收钳。

图 18-33　吸收式功率钳结构示意图

图 18-34 为吸收功率钳测量导线辐射能量的等效电路。假定导线的特性阻抗为 Z_0 且无损耗，并且导线上任何一点的反射均相同，那末，测量点的最大干扰功率为：

$$P_f = \frac{P_0}{P_d} = \frac{4m}{(m+1)^2} \tag{18-36}$$

由式(18-36)可知，m 值在一定范围内变化时，吸收功率 P_0 与有效功率 P_d 之比变化很小。

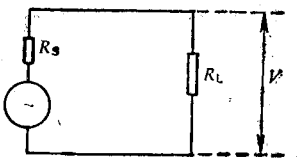


图 18-34　等效电路

测量吸收功率时，不希望再有反射能量被导线吸收，为此，用

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

套在导线上的铁氧体环来吸收这些能量，这样就能保证流过电缆的干扰电流与吸收功率成正比。

用吸收功率钳测量导线上的辐射干扰能量时，吸收功率钳的终端连接的是以 $dB_{\mu V}$ 为指示单位的干扰场强测量仪。所以，如功率以 pW 表示时，则其等效的电压以 μV 表示。

当干扰源的内阻 R_r 为 50Ω，负载阻抗(干扰场强测量仪的输入阻抗)R_L 亦为 50Ω 时，则 m 为 1，故可得 $P_d = P_0 = V^2/R_L$，取对数得：

$$10\lg P_d = 10\lg P_0 = 20\lg V - 10\lg 50 = 20\lg V - 17dB(pW) \qquad (18\text{-}37)$$

式中 V 为干扰场强测量仪的输入端电压 ($dB_{\mu V}$)。

由式(18-37)可知，干扰场强测量仪的示值(dB) 减去 17dB 即为被测导线辐射的干扰功率，$dB_{\mu V}$ 可直接读成 dB_{pW}。

如果能够把吸收功率钳的插入损耗作成 17dB，就可由干扰场强测量仪的示值 $dB_{\mu V}$ 直接得到辐射干扰干率 dB_{pW}。如果在较宽的频率范内，作不出平坦的 17dB 的插入损耗响应，就必须给出插入损耗修正曲线。

吸收式功率钳的技术性能

① 频率范围：30～1000MHz；

② 特性阻抗：100～250Ω，电抗成份不得大于 10%。所谓特性阻抗是指铁氧铁吸收钳对被测设备所呈现的阻抗。

③ 对传导干扰的敏感度：对来自电网的干扰能提供至少 10dB 的衰减。频率较低时，如果达不到要求的限值，则应增加吸收钳。

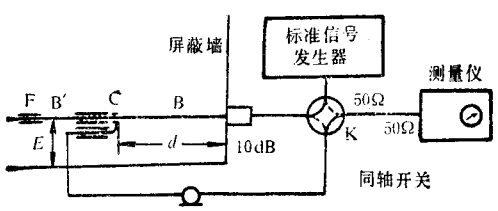
④ 饱和电流限值：25A 的电流引入的误差不得大于 ±1dB。

⑤ 插入损耗：应给出插入损耗的校准曲线。

插入损耗的校准 L_A

calibration of insertion loss

由屏蔽墙的高频插座到干扰测量仪的输入端的损耗定义为插入损耗。



BB′——被测 B 线； C——吸收式功率钳； F——吸收器

图 18-35 吸收式功率钳的校准

测试方法：

(1) 测试方框图及布置，见图 18-35。

(2) 测试说明及要求

被校测的导线 B 是有效截面积为 1～2mm² 的绝缘导线，其一端连接到高频插座中心触针，此高频插座是为穿过墙壁而设置的。将源阻抗为 50Ω 的标准信号发生器的输出端通过一个 50Ω、10dB 衰减器连接到高频插座的另一侧。导线 B 距离地面 1m架空放置，屏蔽墙至少应为 2.5 × 2.5m² 的金属壁或屏蔽室的墙壁。从吸收式功率钳引出的同轴电缆(通过同轴开关到干扰测量仪)应垂直地从吸收式功率钳引出，以防止耦合。

(3) 测试步骤

将图 18-35 的同轴开关 K 置于虚线位置，信号直接注入干扰场强测量仪，得到偏转指示 Q，记录此时标准信号发生器的输出电平为 a_1(dB)；然后，将同轴开关 K 置于实线位置，沿导线移动吸

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

收钳，从屏蔽墙开始到半个波长的距离为止。调节标准信号发生器的输出电平，使测量仪的指示仍回复原来的指示 Q，此时信号发生器的输出电平为 α_2(dB)。按式(18-38)计算吸收式功率钳的插入损耗：

$$L_A = \alpha_1 - \alpha_2(\text{dB}) \tag{18-38}$$

按规定的频率依次进行并给出校准曲线。

阻抗　Z

impedance

指接入吸收式功率钳以后，对被测试设备所呈现的阻抗，定义为吸收式功率钳的特性阻抗。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 18-35。

(2) 测试步骤

用阻抗测量仪在穿过金属壁的同轴插座上（替代标准信号发生器和 10dB 衰减器）测试阻抗，此时吸收式功率钳与金属壁的距离应位于与测试频率相对应的第一个最大指示值。

在上述条件下，测得的阻抗应在 100～250Ω 之间，电抗分量不应超过模的 20%。为了满足电抗分量的要求，可能还要再微调吸收式功率钳的位置，这种变动不会对测试结果产生明显的影响。

(四) 常用天线

远区场强测量仪是由测试接收机与常用天线共同组成。测量接收机与接收天线的有关参数是分别进行测量的，所以场强测量误差由两个方面合成：① 测量接收机测量正弦波信号电压的准确度；② 所采用的接收天线的天线系数的准确度。通常，测量正弦波信号电压的准确度应优于 ±2dB；天线系数的准确度应优于 ±1dB。所以干扰场强测量仪测量正弦波场强的准确度为 ±3 dB。这里不包括测量用的开阔场地的影响。

用于测量辐射干扰的常用天线大致有以下几种：测量磁场分量的环状天线和用于电场测量的杆状天线、对称偶极子天线以及对数周期天线。所有这些天线以及与干扰场强测量仪之间的电路，不能影响测量仪的总特性。

在 9kHz～30MHz 的频率范围内，主要采用环状天线，测量磁场分量。要求天线的平衡应做到：在均匀场中旋转天线时，垂直于极化方向的电平比平行于极化方向的电平至少应低 20dB。如需测量电场分量时，多采用杆状天线。优选的杆状天线长度为 1 米。如果辐射源与天线之间的距离较远时，天线长度最好还是 1 米。如欲提高天线的有效高度，最长也不能超过距离的 10%。在 30～1000MHz 的频率范围内，通常都采用电场天线。其中最基准的天线是半波长平衡偶极子天线。由于干扰场强测量仪的输入阻抗为不平衡的 50Ω，为此应采用平衡-不平衡变换器，通过同轴电缆与干扰场强测量仪连接，以确保良好的匹配，以便获得好的驻波比。

偶极子天线的平衡应做到：在均匀场内旋转天线时，垂直于极化方向的电平比平行于极化方向的电平至少低 20dB。

为了取得较高的场强灵敏度，有时也采用增益较高的天线，如对数周期天线、双锥天线等。这些天线也应是平面极化，平衡的要求与半波长平衡偶子天线相同。测量方法也相同。

有时由于测试场地及周围环境的限制，亦可采用缩短的偶极子天线。这种天线与半波长偶极

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

子天线具有相同的极化鉴别能力，这当然是在具有平衡-不平衡变换器的条件下才能达到此目的。

因为在校测场强测量仪的天线时，只涉及天线系数，所以本文只介绍天线系数的测试方法。其它参数的测量方法从略。

环状天线系数 K

loop antennas factor

电场强度与测试接收机的输入端电压之比定义为天线系数。

测试方法：

环状天线主要用于 20Hz～30MHz 的频率范围，采用标准场法校测其天线系数。

在远场区(自由空间)波阻抗 Z_{00} 为常数，即电场与磁场的比值为 120π 或 376.7Ω。因此，电场与磁场不必分开测量，只要测量其中的一个量，即可求出另一个量。所以，环状天线测量的虽然是磁场分量，也可以用电场标度。这也是国际上的习惯做法。

(1) 测试方框图及场地布置，见图 18-36。

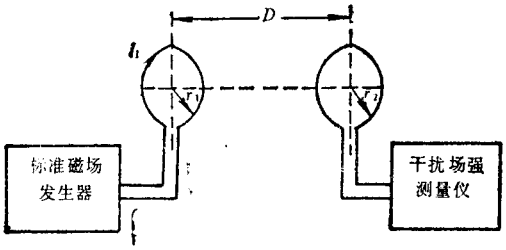


图 18-36 环状天线系数测试布置图

(2) 测试说明和要求

① 收发天线距地面高度要大于 1 米。

② 收发天线的间距为 0.6 米，最大不得超过 1.6 米；收发天线的环面要互相平行，两环中心要在同一个轴线上。

③ 收发天线周围 1 米之内不能有较大的金属反射体。

(3) 测试步骤

① 按规定的要求和频率调节干扰场强测量仪至正常工作状态。

② 调节标准磁场发生器的频率与被测仪器同步，并调节输出电平达标准值 E_{dB}，这时在测量仪的输入端得到电压 V_{dB}。

③ 按式(18-39)计算环状天线的天线系数实际值为 K_{0dB}：

$$K_{0dB} = E_{dB} - V_{dB} \tag{18-39}$$

④ 按式(18-40)计算环天线系数误差：

$$\Delta K = K_{xdB} - K_{0dB} \tag{18-40}$$

式中 K_{0dB} 为环状天线系数的实际值 (dB)，K_{xdB} 为环状天线系数的标称值 (dB)。

偶极子天线系数 K_d

dipole antennas factor

电场强度与测试接收机输入端电压之比定义为天线系数

测试方法：

偶极子天线多用于 25～1000MHz 的频率范围，它测量的是电场分量。测试偶极子天线的天线系数有两种方法：标准场强法和标准天线法。由于标准天线法比较简单，所以日常检定均采用标准天线法。这种方法要求在足够大的开阔场地上进行。对场地的要求，在后边单独介绍。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 测试方框图与场地布置，见图 18-37。

(2) 测试电路说明和要求

① 收发天线距地面的高度大于 3 米；两天线的距离大于两个波长。

② 收发天线振子均水平放置，互相平行，轴线重合。

③ 收发天线周围两个波长的距离内不能有大的反射物体，例如：建筑物、树木、高压线、金属网以及铁板管道等等。

④ 测试设备均置于各自天线的后边，传输线的走向应与天线振子成正交状态。

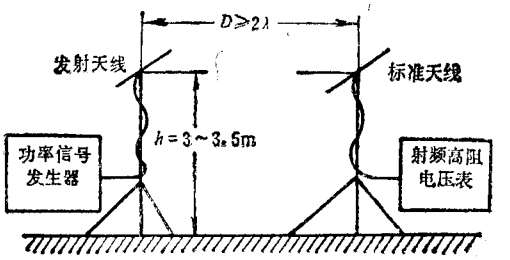


图 18-37　偶极子天线测试布置示意图

⑤ 背景噪声干扰场强比待测场强至少应低 6dB。

⑥ 测试人员除操作者外均应远离收发天线，所有参加测试的人员不要在测试场内来回走动。

(3) 测试步骤

① 按规定的频率选配并架设标准偶极子接收天线，连接射频高阻电压表。

② 按规定的频率选配并架设发射天线，调节功率信号发生器的输出电平，使接收天线侧的射频高阻电压表的指示为 V_{0dB}(V_0 通常在 100～110dB 之间)。

③ 按式(18-41)计算标准偶极子天线所在点的电场强度：

$$E_{dB} = V_{0dB} - L_{effdB} \tag{18-41}$$

式中　V_{0dB} 为标准偶极子天线上的感应电压；L_{effdB} 为标准偶极子接收天线的有效高度。

④ 用被校测的偶极子天线置换标准偶极子天线；用干扰场强测量仪置换射频高阻电压表。

⑤ 按规定的频率调节干扰场强测量仪至正常工作状态。

⑥ 保持标准电场强度 E_{dB} 不变，微调干扰场强测量仪的频率，得到最大指示为 V_{adB}。

⑦ 按式(18-42)计算被测天线的天线系数的实际值：

$$K_{dB} = E_{dB} - V_{adB} \tag{18-42}$$

⑧ 按式(18-43)计算天线系数误差：

$$\Delta K_{dB} = K_{adB} - K_{dB} \tag{18-43}$$

式中　K_{adB} 为天线系数的标称值。

对数周期天线系数　K_L

logperiodic antenna factor

施加的电场强度与接收天线上的感应电压之比定义为天线系数。

测试方法：

这种天线多用于 80～1000MHz 的频率范围内，它有较好的宽频带特性和较高的增益。

它的天线系数，可以采用与偶极子天线相同的方法校准，只是测试距离应以天线的相位中心为准。另外也可以用互易法进行校测，在没有电场标准的情况下这是一种比较实用的方法。这种方法要求有两套条件完全相同的天线系统。

(1) 测试方框图与场地布置，见图 18-38。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试的说明和要求

已知待测天线的增益系数为:

$$G_0 = \frac{4\pi D}{\lambda}\sqrt{\frac{P_C}{P_T}} \tag{18-44}$$

式中 P_C 为接收机的输入功率; P_T 为馈送到发射天线上的功率; D 为收发天线之间的距离。

已知发射天线的增益系数的通式为:

$$G_1 = \frac{E^2D^2}{30P_T} \tag{18-45}$$

式中 E 为距发射天线 P 点电场强度; D 为收发天线的间距; P_T 为馈送到发射天线的功率。

当 $G_1 = G_0$ 时(收发天线完全相同)由式 (18-45) 可导出:

$$P_T = \frac{E^2D^2}{30G_0} \tag{18-46}$$

将式 (18-46) 代入式 (18-44) 可得到场强为:

$$E = \frac{4\pi}{\lambda}\sqrt{\frac{30P_C}{G_0}} \tag{18-47}$$

天线系数为场强 E 与接收机输入端电压之比:

$$K = \frac{E}{V_{in}} \tag{18-48}$$

已知

$$V_{in} = \sqrt{P_C R_{in}} \tag{18-49}$$

将式(18-47)与式(18-49)代入式(18-48)可得到:

$$K = \frac{E}{V_{in}} = \frac{4\pi}{\lambda}\sqrt{\frac{30}{R_{in}G_0}} \tag{18-50}$$

取对数:

$$K_{dB} = 20\lg E - 20\lg V_{in} = 20\lg\frac{4\pi}{\lambda} + 10\lg\frac{30}{R_{in}G_0} \tag{18-51}$$

由式(18-51)知,只要得到 G_0 便可求得天线系数 K。

今假设 α 表示传播损耗,并定义为:

$$\alpha = \frac{P_T}{P_C} \tag{18-52}$$

只要求出传播损耗 α,便可得到 G_0,于是天线系数 K 便垂手可得。

传播损耗是用测量方法得到的。

(3) 测试步骤

① 如图 18-38(a) 所示,馈送给发射天线以恒定的功率 P_T,经由接收天线到测试接收机,得到指示值为 $P_1 = P_C$。

② 如图 18-38(b) 所示,去掉发射和接收天线,将发射机与接收机通过衰减器和连接电缆 L_1 和 L_2 直接连接,保持馈送功率 P_T 不变,这时接收机指示器的指示值为 $P_2 = P_T$。那么,通过式(18-44)便可得到 G_0。

式(18-51)得到的传输系数 K 中未包括两条连接电缆的损耗。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

连接电缆的损耗也可用测量方法得到，方法如下：按图 18-38(b)连接，由信号源给出功率 P_T，接收机得到示值 P_C；然后去掉电缆 L_1、L_2，将接收机与信号源直接连接，保持 P_T 不变，调节衰减器使接收机的示值仍为 P_C。衰减器变化量 A_l 即为两条电缆的损耗，故天线系数 K' 为：

$$K'_{dB} = 20\lg\frac{4\pi}{\lambda} + 10\lg\frac{30}{R_{in}G_0} + \frac{A_l}{2}\,(\mathrm{dB}) \quad (18\text{-}53)$$

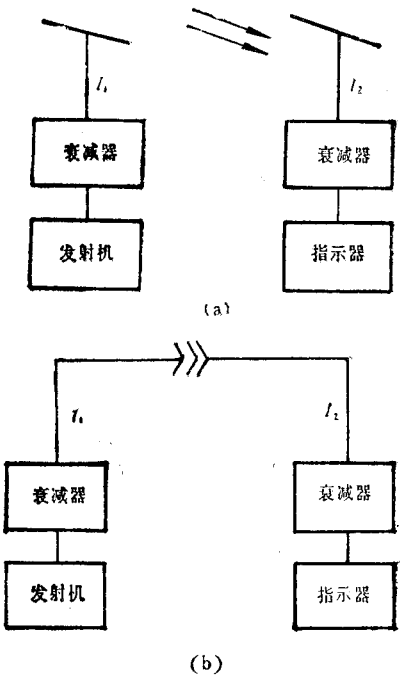


图 18-38　传播损耗测试布置示意图

（五）电流注入耦合单元

电流注入耦合单元主要用于传导电流抗扰度的测量。通过耦合单元将干扰电流注入到受试设备的电源线上并隔离来自与受试设备相连的外部设备电流的影响。在 30MHz 以下的频率范围，采用 150Ω 源阻抗时，作用于装置的干扰场强值与用注入法产生相同影响所必须施加的电动势值具有良好的对应关系。通常，设备的传导交流抗扰度均用电动势来表征。耦合单元的类型及其结构如下：

A 型耦合单元

A型耦合单元是射频同轴耦合单元。主要用于射频范围传递有用信号的同轴线的抗扰度测量，如图 18-39 所示。将 100Ω 电阻(与 50Ω 干扰信号源构成 150Ω 源阻抗)连接到耦合单元同轴输出连接器的屏蔽层上。

M 型耦合单元

M型耦合单元主要用于电源线抗扰度测量，如图 18-40 所示。干扰电流通过连接于两线之间的 100Ω 等效电阻注入电源线。这种耦合单元很像△型人工电源网络。如果从受试设备端看，呈现的是 150Ω 的对称和不对称的等效阻抗。

L 型耦合单元

L 型耦合单元主要用于扬声器引线的抗扰度测量，如图 18-41 所示。干扰源的阻抗分布与M型耦合单元相同。

S_M 型耦合单元

S_M 型耦合单元主要用于音频、视频和其它辅助设备引线的抗扰度测量，为了确保干扰信号直接注入受试设备，线路中要插入简单的滤波器，如图 18-42 所示。图中绕在磁环上的屏蔽双芯线就是一个简单滤波器，对多股引线电缆，可将引线分成单股后再绕到磁环上(见图 18-43)。上述两种情况的干扰电流都是通过 100Ω 电阻注入到输出连接器屏蔽外壳和接地点以及屏蔽引线的屏蔽层，然后通过电容器注入到其它(未屏蔽的)引线。

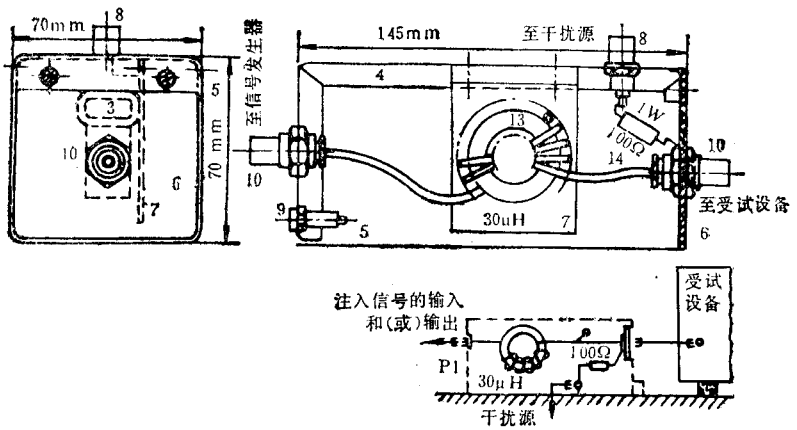
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

S_r 型耦合单元

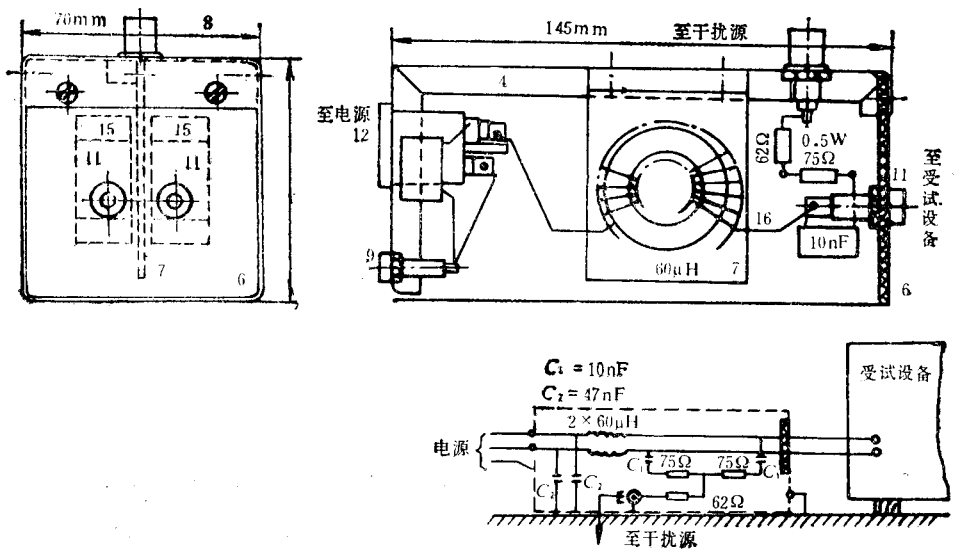
Sr 型耦合单元主要用于不要求有信号通路的场合，电缆中所有的引线都应端接匹配的负载电阻。如图 18-44 所示。干扰电流通过 100Ω 电阻注入屏蔽层连接器接地屏蔽罩和接地插针上，同时也注入到那些接有负载电阻（$R_1 \sim R_n$）的对应点上。

图 18-39 至图 18-44 所示之射频扼流圈，在 1.5～150MHz 的频率范围，电感值为 30μH 或两个 60μH 的并联值；在 0.15～30MHz 的频率范围，电感值为 280μH 或两个 560μH 的并联值。



4、5—金属盒(145mm × 70mm × 70mm) 6—前面板(绝缘材料) 7—扼流圈的支架板 8—同轴连接器，BNC，50Ω 9—接地插座 10—BNC 同轴连接器 13—NiZn250 型铁氧体环（φ36 × φ23 × 15mm)缠绕 40 匝同轴电缆 14—同轴电缆，外径 1.4mm. P1—接地平板

图 18-39 用于同轴输入的A型耦合单元的电路和结构示意图

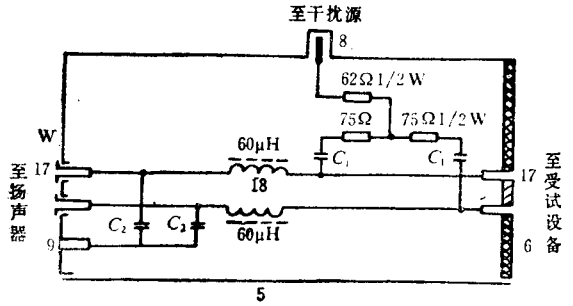


4～9—见 A 型耦合单元 11—受试设备的电源插座(两个绝缘香蕉插头) 12—电源插座(2P + 地) 15—两个 NiZn250 型铁氧体环（φ36mm × φ23mm × 15mm)，每个 20 匝 16—绝缘铜线，外径 φ1.3mm

图 18-40 用于同轴输入的M型耦合单元的电路和结构示意图

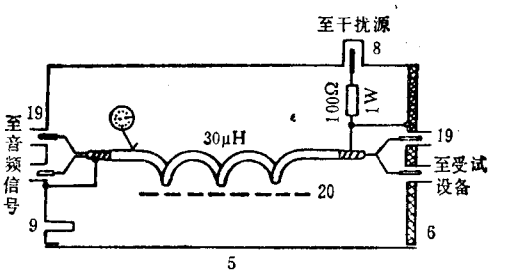
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



4、5、6、8、9—见A型耦合单元　17—绝缘香蕉插座　18—两个 60μH 电感，每个电感含有一个 NiZn250 铁氧体芯：$\phi36\times\phi23mm\times15mm$ 匝数：20　铜绝缘线外径 1.2mm，电感安装见A型单元。$C_1=10nF$ $C_2=47nF$

图 18-41　用于扬声器引线的L型耦合单元的电路图



4、5、6、8、9—见A型耦合单元　19—牢固或DIN 插座　20—30μH 电感　铁芯：一个NiZn250 铁氧体环 ϕ 36mm × 23mm × 15mm 线圈：14 匝屏蔽双芯线，电缆绝缘外径：ϕ2.8mm 电感安装：见A型单元

图 18-42　用于音频信号的 S_M 型耦合单元的电路图和简化结构草图

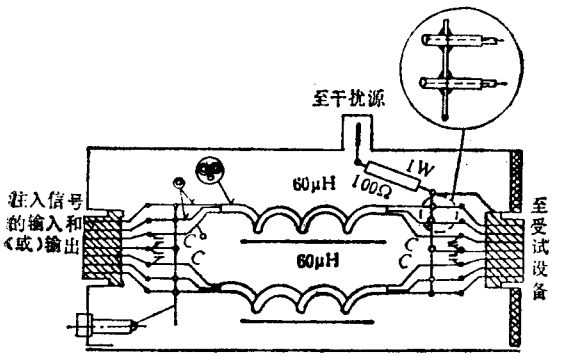
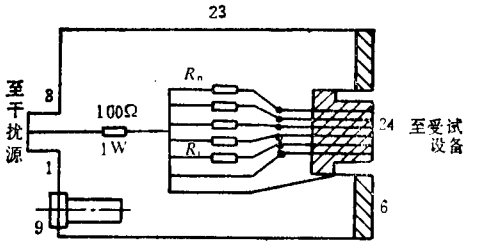


图 18-43　用于音频、视频和控制信号的 S_M 型耦合单元的电路和结构示意图



图中，6、8、9—见A型耦合单元　23—金属箱 100mm × 56 mm × 55mm　24—多芯连接器或 DIN 插座 R 座……R_n—匹配负载阻抗　例如：用于音频设备的 S_r 型耦合单元　电磁拾音头：2×2.2kΩ 晶体拾音头：2×470kΩ 传声器：2×600Ω　调谐器：2×47kΩ 磁带记录器：4×47kΩ 音频信号输入/输出端口：4×47Ω

图 18-44　带有负载阻抗的 S_r 型耦合单元的电路和简化结构草图

耦合单元的工作原理与示例

用图 18-45 来说明其工作原理。电感 L 对注入电流呈高阻抗。滤波器 L/C_2 用来隔离测试设备(有用信号发生器或辅助设备)。如果是交直流两用，则 C_2 可以短路。干扰电流来自具有 50Ω 源阻抗的信号发生器，并通过 100Ω 电阻 R_1 和隔直流电容 C_1(如果需要的话)将其注入电源线或同轴电缆屏蔽层。

耦合单元的性能与测试

在 0.15～30MHz 的频率范围内用阻抗来检验；在 30～150MHz 的频率范围内用插入损耗来检验。

(1) 阻抗：在 0.15～30MHz 的频率范围内，总的非对称阻抗的模为 150±20Ω，相角不大于 ±20°。

(2) 插入损耗：15.6～18.6dB。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

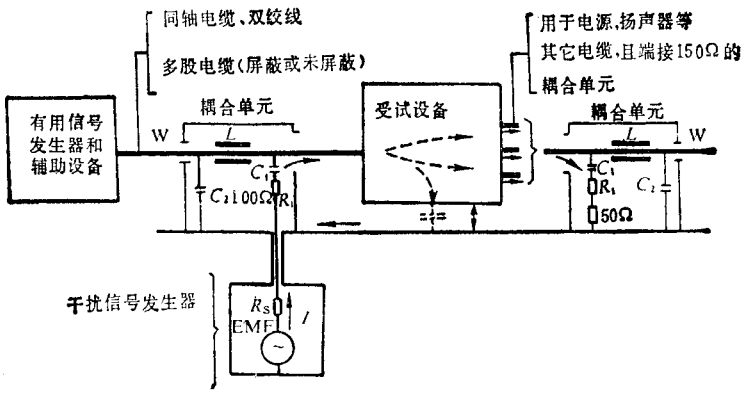
阻抗 Z

impedance

受试设备的干扰信号注入点与耦合单元地之间总的非对称阻抗定义为耦合单元的阻抗。

测试方法：

(1) 测试方框图，参考图 18-45。



I—干扰电流 L—隔离电感 C_1、C_2—具有低射频阻抗的电容器(如果是直流和交流两用的，则用短路替代电容器)干扰信号发生器 EMF 中 $R_S + R_1 = 150\Omega$

图 18-45 电流注入方法的一般原理图

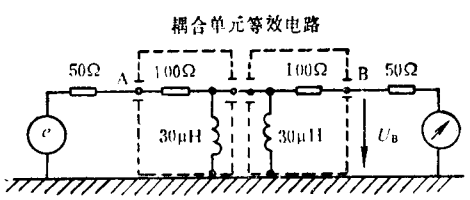
(2) 测试说明及要求 在 0.15～30MHz 的频率范围内检验耦合单元的阻抗。对于A型和S型耦合单元，其注入点是指输出连接器的屏蔽层；对于M型和L型耦合单元，其注入点是指公共输出端。

(3) 测试步骤

将阻抗测量仪或网络分析仪连接到规定的注入点测量耦合单元的阻抗。

插入损耗

insertion loss



按照此图测得的一对耦合单元的插入损耗 (e/U_B)，在 30～150MHz 范围内应介于 15.6～18.5dB 之间。两个单元之间的连接线应尽可能短 (≤1cm)。

图 18-46 检验耦合单元插入损耗的测量装置 频率范围：30～150MHz

两个相同的耦合单元串联后的损耗定义为耦合单元的插入损耗。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 18-46。

(2) 测试说明及要求： 在 30～150MHz 的频率范围内只检验耦合单元的插入损耗。

(3) 测试步骤

通过标准信号发生器按规定频率输送正弦波信号电压为 e，在 B 点得到电压 U_B 则 e(dB) 减去 U_B(dB) 即为插入损耗。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（六）尖峰信号发生器

尖峰信号发生器主要用于确定设备对于电源线上尖峰信号干扰的敏感度。只要尖峰信号波形符合要求，用何种方法产生均可。

尖峰信号发生器的技术特性：

① 尖峰信号的波形，见图 18-47。

② 脉冲宽度：10μs；

③ 脉冲重复频率：每秒 3～10 个脉冲；

④ 输出电压：不小于 200V（峰值）；

⑤ 输出电压控制：0～200V（峰值）可调；

⑥ 输出频谱：由 160dB$_{\mu V}$/MHz(25kHz) 降至 115dB$_{\mu V}$/MHz(30MHz)；

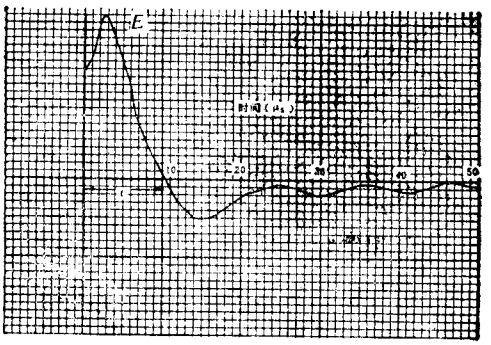
⑦ 相位调节：0～360°；

⑧ 源阻抗：（接注入变压器时）：0.06Ω；

⑨ 变压器载流能力：30A；

⑩ 外同步信号：50～800Hz；

⑪ 外触发脉冲：每秒 0～20 个。



$E=2$ 倍线电压或 100V 中的较小者，$t=10\mu s$

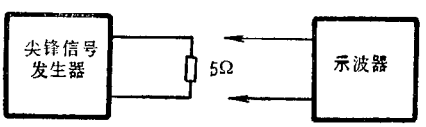
图　18-47

尖峰信号

top peak signal

图 18-47 所示之信号定义为尖峰信号。

测试方法：



将一个校准值为 5Ω 的非电感性负载电阻接到发生器以验证尖峰信号的特性

图 18-48　尖峰信号的测试

（1）测试方框图，见图 18-48。

（2）测试说明及要求　在尖峰信号发生器的输出端并接一只 5Ω 电阻，采用具有 30MHz 带宽和适当扫描速度的示波器跨接在 5Ω 电阻上进行测量。

（3）测试步骤

通过接在负载上的示波器可测得尖峰信号的波形以及②～⑦及⑩和⑪项的技术特性。

（七）射频隔离网络

用双正弦信号法（MIL-STD-461B 的方法）测量接收机的互调和交调指标时，为了防止两信号源之间产生互调或频率牵引效应，需要采用射频隔离网络。图 18-49 就是这种三端隔离网络。

三端隔离网络由三部分组成：两个与信号发生器相连的 10dB 衰减器和中间一个三通式 6dB 功率分配器。

插入的三端式 6dB 功率分配器三个支臂各有 16.7Ω 的电阻与 50Ω 阻抗端接。因而在任意两个端口接 50Ω 阻抗，第三端的输入阻抗就是 50Ω，从而实现了阻抗匹配。从这种三通网络任一端送入的功率，一半消耗在电桥电阻上，另外两端口各输出输入功率的 1/4，即输出端口的功率

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

比输入功率衰减 6dB，因而称之为 6dB 功率分配器。从电压关系看，正常端接下的输出电压为输入电压的一半，衰减量也为 6dB。故而图 18-49 所示衰减器在两信号源之间共提供 26dB 的隔离，因而信号发生器送至 50Ω 抑制网络的电压各衰减 16dB。

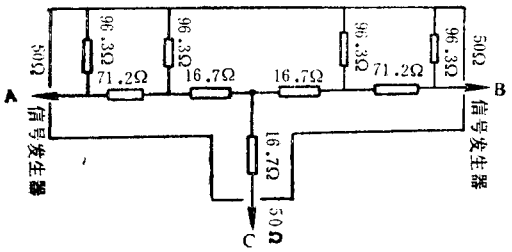


图 18-49 射频隔离网络

隔离度

isolation

射频信号自三端网络的一端至另外两个端口之间的传输衰减定义为各自的隔离度。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 18-49。

(2) 测试步骤

① 将标准信号发生器与端口 A 连接，并输送信号电平为 U_A(dB)；

② 将端口 B 和 C 各端接一个 50Ω 负载电阻，用高阻电压表测得电压各自为 U_B(dB)和 U_C(dB)；

③ $U_A - U_B$(dB) 为端口 A 与 B 之间的隔离度。U_A(dB) − U_C(dB) 为端 A 至端口 C 之间的衰减量。

(八) 10μF 穿心电容器

10μF 穿心电容是 MIL-STD-460 系列标准规定用于测量传导电流发射。它的作用是稳定电源阻抗和隔离电源干扰。它的等效电路如图 18-50 所示。这是一种专用的电容器，除了常规的技术要求外，还有两项特殊要求并且是必须测试的。这两项要求是：① 插入损耗；② 输入阻抗。具体要求如图 18-51 所示。

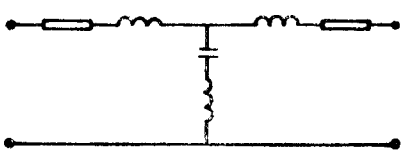


图 18-50 穿心电容器的等效电路

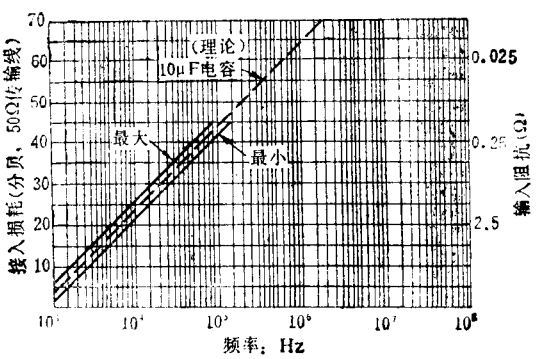


图 18-51 10μF 连接电容器的插入损耗

插入损耗

insertion loss

穿心电容器的输入端电压 U_1(dB) 与输出端电压 U_2(dB) 之差定义为插入损耗。

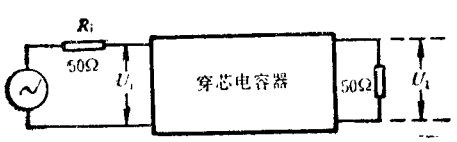


图 18-52 测试方框图

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 18-52。

(2) 测试说明及要求 按 460 系列的要求：输出端接 50Ω 负载电阻；输入端接源阻抗为 50Ω 的标准信号发生器。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 测试步骤

通过标准信号发生器输送等幅正弦波信号电压，用射频高阻电压表测得 U_1(dB) 和 U_2(dB)。则 U_1(dB) − U_2(dB) 即为穿心电容的插入损耗。

阻抗 Z

impedauce

输出端接 50Ω 负载电阻时，由输入端口看过去的阻抗定义为穿心电容器的阻抗。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 18-52。

(2) 测试说明及要求 本方法按插入损耗的测试条件进行阻抗测试，仅供参考。

(3) 测试步骤

按图 18-52，用阻抗测量仪或网络分析仪替代标准信号发生器测量穿心电容器的阻抗。

六、开阔试验场

远区场强计的校准或电器、电子设备的辐射干扰试验以及辐射敏感度测量等，通常多在开阔试验场进行。

开阔试验场应具有空旷、平坦的地势特征。这种试验场应避开建筑物、电力线、篱笆、树木等反射物体，并应远离地下电缆管道。

(一) 无障碍区

为了得到一个真正的开阔试验场，在接收天线或受试设备周围需要一个无障碍区，这个区域应足够大，使得无障碍区以外的散射不会对测量结果产生影响。

由于来自物体散射场强的幅度与物体的尺寸、导电率、介电常数以及波长等因素密切相关，对所有的测试，规定一个必须且充分适宜的无障碍区是不实际的，但推荐采用椭圆形试验场无障碍区还是可行的。接收天线与发送天线或受试设备分别置于椭圆的两个焦点上，长轴为测试距离的两倍，短轴为测试距离的$\sqrt{3}$倍(见图 18-53)。

对于这个椭圆形区域来说，无障碍区周界上任何物体反射波的路径均为两交点间距离的两倍。

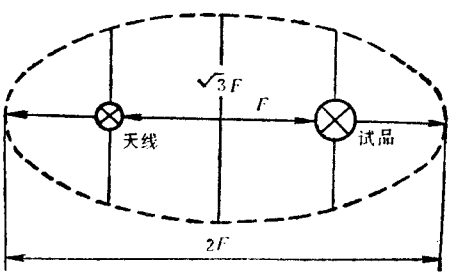


图 18-53 试验场地

(二) 试验场周围的射频环境

试验场周围的射频电平与被测电平相比应足够的低，试验场的质量按四级评估。

(1) 周围发射电平比测试电平低 6dB。

(2) 周围有些发射电平比测试电平低，但差值小于 6dB。

(3) 周围有些发射电平在测试电平之上，它们可能是非周期性的（即相对于测量来说辐射干扰发射的间隔时间较长），也可能是连续的，但只在有限的可识别频率上。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(4) 周围的辐射干扰电平在大部分测量频率上都在测试电平以上，连续出现。

选择的试验场应确保在给定的环境中的工程技术等级下的测量精度。可以选取一些可行的方法弥补场地的缺陷。

(三) 接地平板

接地平板可以采用对地具有高导电率的大面积的金属材料构成。接地平板可以放在地平面上。最好使用金属接地平板，但对某些设备和应用，有些产品标准并不一定推荐使用金属接地平板。金属接地平板的大小取决于试验是否满足场地衰减的要求。如果接地平板不用金属材料，则应注意试验场的选择。试验场的反射特性不应随时间、气候或者因为地下存在金属材料(如管道、导管、或不均匀的土地)而改变，这种试验场地通常给出不同于金属表面试验场的场地衰减特性。

(四) 开阔试验场的有效性(场地衰减)

这里给出了归一化场地衰减要求，用来评定金属接地平板试验场的质量。对于其它类型试验场，这种方法不仅能够提供场地衰减特性，通常还能鉴别不规范点以便研究。

开阔试验场场地衰减的测量布置如图 18-54 和图 18-55 所示。一对天线分别平行和垂直于地面放置，用发射天线的源电压 V_T(dB) 减去接收天线终端测得的电压 V_R(dB) 即可获得开阔试验场的场地衰减。实现该电压测量的系统为 50Ω 系统。如 V_R 和 V_T 不是从接收天线输出端和发射天线输入端测得的，那末还需进行电缆损耗修正，然后再用场地衰减 (dB) 减去两个天线系数 (dB)，所得结果被称为归一化场地衰减 (NSA)。如果水平极化和垂直极化测得的 NSA 与相应的表 18-20、表 18-21 和表 18-22 的值相差不大于 ±4dB，那末就认为这个场地符合要求。如果偏差超出±4dB 准则，那就必须检查超出限值的原因。必须说明的是，测量得到的 NSA 值与理论值的偏差不作为测量受试设备的修正值。这种方法仅仅用来检查场地的有效性。

表 18-20 适用于宽带天线 (如双锥天线和对数周期天线)，包括与地面平行和垂直两个方向。表 18-21 和表 18-22 适用于调谐半波长偶极子天线，但表 18-21 只适用于与地面平行的方向，而表 18-22 适用于与地面垂直的方向。表 18-22 中的扫描高度 h_2 是限定的，这是因为接收偶极子天线的低端至少应保持高于地面 25cm。

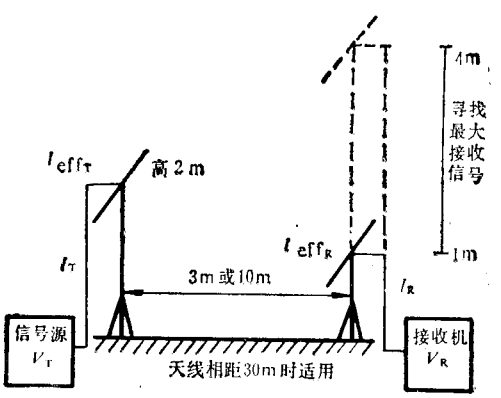


图 18-54 水平极化场地衰减测量布置图

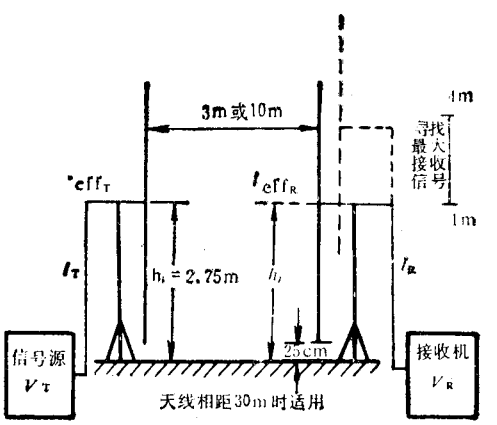


图 18-55 垂直极化场地衰减测量布置图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 18-20　归一化场地衰减(宽带天线推荐的几何尺寸)

极　化	水平	水平	水平	水平	垂直	垂直	垂直	垂直
D(m)	3	10	30	30	3	10	30	30
h_1(m)	1	1	1	1	1	1	1	1
h_2(m)	1～4	1～4	2～6	1～4	1～4	1～4	2～6	1～4
f(MHz)	A_N(dB)							
30	15.8	29.8	44.4	47.8	8.2	16.7	26.1	26.0
40	11.3	24.9	39.4	42.8	5.8	14.2	23.6	23.5
50	7.8	21.1	35.5	38.9	4.0	12.3	21.6	21.6
70	2.8	15.5	29.7	33.1	1.5	9.4	18.7	18.7
100	−2.0	9.7	23.7	27	−0.7	6.4	15.7	15.6
150	−6.8	3.7	16.9	20.0	−2.2	3.1	12.2	12.0
200	−9.6	0.6	12.4	15.3	−3.6	1.0	9.9	9.6
250	−11.7	−1.6	9.1	11.6	−7.7	−0.5	8.2	7.7
300	−12.8	−3.3	6.7	8.8	−10.5	−1.5	6.8	6.2
400	−14.8	−5.9	3.6	4.6	−14.0	−4.1	5.0	3.9
500	−17.3	−7.9	1.7	1.8	−16.4	−6.7	3.9	2.1
600	−19.1	−9.5	0	0	−17.3	−8.7	2.7	0.8
700	−20.6	−10.8	−1.3	−1.3	−18.4	−10.2	−0.5	−0.3
800	−21.3	−12.0	−2.5	−2.5	−20.0	−11.5	−2.1	−1.1
900	−22.5	−12.8	−3.5	−3.5	−21.3	−12.6	−3.2	−1.7
1000	−23.5	−13.8	−4.4	−4.4	−22.4	−13.6	−4.2	−3.5

注：D:发射天线和接收天线在地平面上投影之间的水平距离，m；对于对数周期振子天线D是指每个天线长轴中点在地面投影的距离。
h_1:发射天线中心离地平面高度，m；
h_2:接收天线中心离地平面的高度，m；
f:频率，MHz；
A_N: NSA [见式(18-54)]。
表中给出的数据用于垂直极化时，天线底端距地面至少应为 25cm。

对于表中未列出的其它频率的 NSA，可以采用在列表数值间线性插值法得到。

推荐首先进行水平的 NSA 测量。因为用这种方法寻找场内不规范点不像垂直那样敏感，因而测得的 NSA 容易落入表 18-20、18-21、18-22 规定的 ±4dB 以内。

(五) NSA 的测量方法

对于每一种极化方式的测量，要想确定 NSA 就必须取得两次不同方法测得的 V_R 值。V_R 的第一次读数是指将两根电缆与各自的天线断开，然后用一个转换器将其连接起来之后测量得到的。第二次读数是指将两根电缆分别重新与各自的天线相连后，调整天线的高度得到的最大值（测量距离为 3 米和 10 米时，调节高度为 1～4 米；测量距离为 30 米时，调节高度为 1～4 米或 2～6 米）。两次测量，信号源的输出功率均保持不变。第一次读数记为 V_D，第二次读数记为 V_S。将它们代入式(18-54)，即可得到 NSA 的测量值 A_N。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 18-21 归一化场地衰减(推荐用于调谐半波偶极子水平极化时的几何尺寸)

极　化	水平	水平	水平
D(m)	3	10	30
h_1(m)	2	2	2
h_2(m)	1～4	1～4	2～6
f(MHz)	A_N(dB)		
30	11.0	24.1	38.4
40	7.0	19.4	33.5
50	4.2	15.9	29.7
70	0.6	10.9	24.1
100	−2.8	6.7	18.4
150	−6.3	2.8	12.7
200	−8.4	0.3	9.7
250	−10.6	−1.7	7.7
300	−12.3	−3.3	6.1
400	−14.9	−5.8	3.5
500	−16.7	−7.6	1.6
600	−18.3	−9.3	0
700	−19.7	−10.6	−1.3
800	−20.8	−11.8	−2.4
900	−21.8	−12.9	−3.5
1000	−22.7	−13.8	−4.4

注：对于相距 3m，水平极化的调谐半波偶极子天线，应用测得的 NSA 值减去互阻抗系数(见表 18-23)，再与本表给出的理想场地的 NSA 理论值进行比较。

表 18-22 归一化场地衰减(推荐用于调谐半波偶极子垂直极化时的几何尺寸)

f(MHz)	$D=3$m; $h_1=2.75$m		$D=10$m; $h_1=2.75$m		$D=30$m; $h_1=2.75$m	
	h_2(m)	A_N(dB)	h_2(m)	A_N(dB)	h_2(m)	A_N(dB)
30	2.75～4	12.4	2.75～4	18.8	2.75～6	26.3
40	2.13～4	10.4	2.13～4	16.2	2.13～6	23.8
50	1.75～4	8.4	1.75～4	14.2	2～6	21.9
70	1.32～4	4.4	1.32～4	11.3	2～6	19.1
100	1～4	0.6	1～4	8.4	2～6	16.3
150	1～4	−2.4	1～4	4.6	2～6	13.6
200	1～4	−5.4	1～4	1.6	2～6	12.5
250	1～4	−7.0	1～4	−0.6	2～6	8.6
300	1～4	−8.9	1～4	−2.3	2～6	6.5
400	1～4	−11.4	1～4	−4.9	2～6	3.8
500	1～4	−13.4	1～4	−6.9	2～6	1.8
600	1～4	−14.9	1～4	−8.4	2～6	0.2
700	1～4	−16.3	1～4	−9.7	2～6	−1.0
800	1～4	−17.4	1～4	−10.9	2～6	−2.4
900	1～4	−18.5	1～4	−12.0	2～6	−3.3
1000	1～4	−19.4	1～4	−13.0	2～6	−4.2

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 18-23　互阻抗修正系数(水平极化半波偶极子，$D=3m$)

一对调谐偶极子架设尺寸：$D=3m$；$h_1=2m$；$h_2=1\sim4m$。

频率 f(MHz)	互阻抗修正系数 ΔF_{TOT}(dB)
30	1.3
35	2.7
40	2.7
45	1.7
50	0
60	−0.8
70	−1.9
80	−1.6
90	−0.9
100	−0.9
125	−0.7
150	−0.7
175	−1.4
200	0.1

$$A_N = V_D - V_S - l_{effT} - l_{effR} - \Delta F_{TOT} \tag{18-54}$$

$$V_D = V_T - l_T - l_R \tag{18-55}$$

式中　l_{effT} 为发射天线系数，dB；l_{effR} 为接收天线系数，dB；ΔF_{TOT} 为互阻抗修正系数，dB；l_T 和 l_R 为电缆损耗，dB。

式(18-54)前面两项分别代表场地衰减的实测值，也就是说 V_D 减去 V_S 等于经典意义上的场地衰减。互阻抗修正系数的理论值由表 18-23 给出。l_{effT} 和 l_{effR} 只有经过测量才能得到。l_T 和 l_R 不需分别测量。表 18-23 中的互阻抗修正系数只推荐用于 3 米的试验场，水平极化调谐半波偶极子天线的场合。NSA 的测量可以采用两种测量方法，即离散频率法和扫描频率法。如果所用测量仪器及天线的类型得当并正确运用表 18-20 表 18-21 表 18-22，那末这两种测量方法得到的结果基本上相同。

I. 离散频率测量法

图 18-54 和图 18-55 给出了测量装置的布置。用一根长度适宜的传输线将功率信号发生器与发射天线连接起来。把发射天线放在规定的位置，天线高度按表 18-20、表18-21、表18-22 中 h_1 的值设置并选择所需的极化方向。如果使用调谐偶极子天线，就应针对所需频率调整其长度。

接收天线安装在一个高度可调的支架上，它与发射天线的距离为 D，用长度适宜的传输电缆连接到测量接收机(或频谱分析仪)上，使其极化方向与发射天线相同。如果使用调谐偶极子天线，则应按所需频率调整天线的长度。垂直极化时，偶极子离地面高度不得小于 25cm (见表 18-22)。

用调谐偶极子进行全面的 NSA 测量时，包括 30～80MHz 的频率范围都要调谐在各自的频率上。

(1) 测量步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

应按下述步骤对表 18-20、表18-21 和表 18-22 标定的每一个频率进行测量。测量时，接收天线应与发射天线保持同一极化方向。 测量应先在水平极化方向进行，然后再在垂直极化方向进行，此时发射天线的高度设置在 h_1。

① 调整功率信号发生器的输出电平，使其高于环境和测量接收机(或频谱分析仪)的噪声电平，并得到一个适宜的示值。

② 按表 18-20、表18-21、表18-22 相应标定的 h_2 来改变支架上接收天线的高度。

③ 记录最大信号电平，该值即为式(18-54)中的 V_S。

④ 断开与各自天线相连的传输电缆，用转换器直接将两根电缆连接起来。

⑤ 记录传输电缆连接后的信号电平，该值即为式(18-54)中的 V_D。

⑥ 对每一个频率的每一种极化方式，都要重复步骤②至⑤，然后将每次测得的值依次代入式(18-54)。

⑦ 将与各个频率相应的 l_{effT} 和 l_{effR} 依次代入式(18-54)。

⑧ 将表 18-23 中给出的互阻抗修正系数 ΔF_{TOT} 依次代入式(18-54)。

需要指出的是：表 18-23 给出的值只适用于特定的条件，即测量天线为调谐偶极子，极化方向为水平，测量距离为 3 m。除此以外 $\Delta F_{TOT}=0$。

⑨ 由式(18-54)得到 A_N，此即为该测量频率和极化方向上的 NSA。

⑩ 用表 18-20、表 18-21 和表 18-22 中给出的 A_N 值减去步骤⑨中得到的 A_N 值。

⑪ 如果步骤⑨得到的 A_N 值未超过 ±4dB，就被认为开阔试验场在该频率、极化方向上是有效的。

⑫ 每测量一个新的频率点，都要在两种极化方向上重复步骤①至⑪。

⑬ 将步骤⑫得到的结果与 ±4dB 可接受准则进行比较。

II. 扫描频率测量法

扫描频率法的测量装置与离散频率法基本相似，不同的只是使用了宽带天线。由于宽带天线的物理尺寸小，所以对垂直极化方向的天线的测量不做严格要求。

(1) 测量步骤

使用具有峰值保持(最大保持)、存储能力的自动测量设备和跟踪发生器，按下述步骤进行测量。 这种方法应能在所要求的频率范围内对接收天线的高度 h_2 和测量频率进行扫描，该频率范围通常取决于所用宽带天线的类型。频率扫描的速度一定要比天线高度的扫描速度快得多。 发射天线的高度设置在 h_1。

① 调整功率信号发生器的输出电平，使其高于环境和测量接收机(频谱分析仪)的噪声电平，并使接收机得到一个适宜的示值。

② 按表 18-20、表 18-21 和表 18-22 相应标定的扫描范围，将支架上的接收天线升高到最大高度。

③ 设置频谱分析仪扫过所要求的频率范围，应该确保调整后的分析仪能够在相同幅度刻度上将超过 60dB 的相似的信号显示出来，这样就可以与步骤⑤所记录的电平相对应。

④ 慢慢降低接收天线的高度至表中相应试验列出的扫描高度的最低点，存储或记录最大的接收电压 $V_R(dB_{\mu V})$ (降低天线所用的时间应比频谱分析仪的扫描时间长得多)。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

⑤ 断开与各自天线相连的传输电缆，用转接器直接将两根电缆连接起来。存储或记录此时显示的电压。

⑥ 对于每一个测量频率，用步骤⑤得到的电压值减去步骤④所得之电压值，然后再分别减去 $l_{effT(dB/m)}$、$l_{effR(dB/m)}$（作为频率连续函数的天线系数，可以用离散天线系数连接成的简单线性曲线中得到）。该结果即为所用频率范围的 NSA 测量值。应将它们绘成曲线。表 18-20 给出了理想场地归一化场地衰减的理论值。

⑦ NSA 的理论值与实测值之差应落入 ±4dB 的范围内。

注：对于上述两种 NSA 测量方法，无论是信号源的输出抗阻还是测量接收机（或频谱分析仪）的输入阻抗的失配都能引起反射，从而导致测量误差。这可以通过插入 10dB 衰减器来解决，将衰减器分别放在发射天线和接收天线传输电缆的输出端。在整个 NSA 的测量过程中，每根电缆的输出端都要保留这样的衰减器。

（六）4dB 场地可接受准则

表 18-24 中的误差分析适用于上述之 NSA 的测量方法。总的误差评估是以 ±4dB 场地可接受准则为基础。其中包含约 3dB 的测量不确定度和由于场地不完善造成的允许的 1dB 附加误差。表 18-24 中的误差估算不包括信号发生器、跟踪信号发生器以及所用的任何一个放大器的幅度稳定性误差，也不包括测量技术中的潜在误差。大多数信号发生器和跟踪信号发生器的输出电平不应随时间和温度变化而漂移，放大器的增益也不应随温度漂移。重要的是要使误差源限制在一定范围内，或使其能在测量中得到修正，否则就会因测量仪器的问题导致场地衰减不满足可接受准则。

假如能够尽可能地从自动频谱分析仪的操作指令中去除或补偿各项潜在误差源，那末就只剩下幅度误差，其中包括：

① 校准器的不确定度，±0.2dB；

② 频率响应的平滑度，±1.0dB；

③ 输入衰减器误差，±1.0dB；

④ 射频和中频放大器增益的不平坦度，±0.4dB。

上述潜在误差的代数和为 ±2.6dB，但没有包括温度漂移产生的不确定度。实际上，当进行替代测量时，与频率响应和输入衰减相关的误差通常要小于 1dB，所以作为两端子电压表使用的频谱分析仪，其总误差不会大于 ±1.6dB。

表 18-24　误差估算

产生误差的因素	测量方法	
	离散频率法	扫描频率法
发射天线系数 l_{effT}	±1dB	±1dB
接收天线系数 l_{effR}	±1dB	±1dB
电压表	0	±1.6dB
衰减器	±1dB	0
场地不完善	±1dB	±1dB
总计	±4dB	±4.6dB

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

衰减器的绝对精确度大都较差，因此，在离散频率测量中，误差的估算有可能偏大或偏小。如果采用扫描频率法测量，将外部衰减器与频谱分析仪一起使用，那末，误差的估算可能还要大些。

这些误差估算中不包括由于时间和温度引入的诸如设备的总增益、输出电平的响应等。这些误差实际上是存在的，所以每一步测量都应尽快进行，以避免由于这些因素引起的误差。

实际中，上述计及的误差总体上是很小的，对于一个结构良好的固定试验场，满足 ±4dB 准则，意味着实际上允许异常试验场与理想试验场的偏差有可能大于 ±1dB。

（七）气候保护罩

如果试验场常年使用，则需要一个气候保护罩。气候保护罩应能保护受试设备和场强测量用天线在内的整个试验场，或者只保护受试设备。所使用的材料应具有射频穿透性，以避免造成不需要的反射和受试设备辐射场强的变化。

气候保护罩应易于排雪、水和冰。对外界物体也要进行周期性的检查，它们有可能堆积在结构上，从而导致测量误差。

推荐对具有保护罩的开阔试验场，对归一化场地衰减进行周期性测量，以便检测出场内的不规范点。它们是由气候状态（如潮湿吸收）或者是保护罩材料受到污染而引起气候保护罩性能降低所造成的。这种测量同时也可以检查射频电缆和测量仪器工作状态。通常六个月测量一次即可，除非物理特性表明性能降低太快，例如，由于空气带来的污染改变了材料的颜色等。

七、干扰分析仪

干扰分析仪用来对诸如开关操作所引起的干扰幅度、发生率和持续时间进行自动评定。现行的干扰分析仪均设计成与准峰值干扰测量仪一起使用，它是连接在准峰值干扰测量仪的中频输出端口并工作在中频某一预置电平上。因此这种干扰分析仪不可能与所有的测试接收机均存在正确的对应关系。

1. 基本特性

干扰分析仪应设有测量干扰持续时间的电路。此电路的输入端应与准峰值干扰场强测量仪的中频输出端相连接。干扰持续时间的测量准确度应不劣于 ±5%。

干扰分析仪还应设有评定干扰准峰值幅度的电路。准峰值干扰场强测量仪与干扰分析仪相连后，其所有特性仍应满足原来的要求。

干扰分析仪应能给出下述有关干扰的信息：

（1）幅度超过该干扰分析仪预置的基准电平，持续时间等于或小于 10ms 的喀啰声（见注①）的数目；

（2）幅度超过本条（1）中设置的基准电平，持续时间大于 10ms 但小于 200ms 的喀啰声的数目；

（3）幅度超过本条（1）中设置的基准电平，在任意 2s 周期内出现 2 次以上的喀啰声事件；

（4）幅度超过本条（1）中设置的基准电平，在任意一分钟内出现次数多于 5 次以上、持续时间等于或小于 10ms 的喀啰声的事件次数（见注②）；

（5）超过本条（1）中设置的基准电平的非喀啰声干扰的总的持续时间；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(6) 试验持续时间；

(7) 受试设备开关操作的次数。

注：① 喀啰声的定义：幅度超过规定的基准电平、持续时间小于 200ms、间隔时间大于 200ms 的脉冲干扰定义为喀啰声干扰。

② 这一条不需要满足 GB4343 中的规定，即：幅度超过规定的基准电平，在任意 1min 内产生 5 次以上、持续时间等于或小于 10ms 的喀啰声发生率。单独定义了，这一条可取消。

2. 干扰分析仪测试电路，见图 18-56 举例。

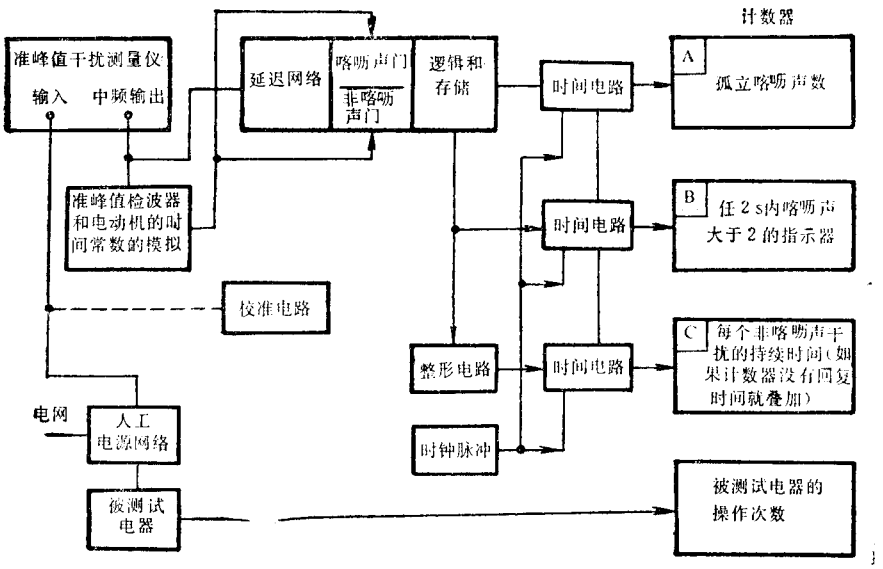


图 18-56　喀啰声干扰分析仪的举例

3. 测试方法

采用表 18-25、表 18-26、表 18-27 中所列之试验波形，测试干扰分析仪的性能。测量结果应与表中的规定一致。

干扰分析仪性能测试时用的波形见图 18-57。

(1) 试验脉冲应由选通的连续波组成。脉冲上升时间不超过 40μs，脉冲持续时间在 0.11～120ms 之间变化，幅度的变化范围为 44dB。

(2) 由选通连续波组成的校准波形，连接到与干扰分析一起使用的准峰值干扰场强测量仪的输入端，调节连续波的幅度，使准峰值干扰场强测量仪产生一个适当的偏转指示，代表连续干扰的极限值。

(3) 在准峰值干扰场强测量仪的中频端座上，用示波器测量连续波的峰值电平，此电平产生的偏转指示应与准峰值干扰场强测量仪指示器指示的极限值等效。

(4) *用示波器在准峰值干扰场强测量仪中频输出端座上测量表 18-25、表 18-26 和表 18-27* 第一栏中所示脉冲的中频幅度，此电平应与第(3)个条款中所测连续波校准波形的幅度相应。

(5) 所有持续时间的测量，都应使用示波器在准峰值干扰场强测量仪的中频输出端座上进

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 18-25 喀呖声干扰分析仪性能测试时用的波形参数

试验序号	1		2		3		4	5
	中频幅度(dB)		准峰值表上的幅度(表刻度的参考中心点)(dB)①		脉冲的持续时间(ms)		脉冲的间隔时间或周期(ms)	结果表示
	脉冲1	脉冲2	脉冲1	脉冲2	脉冲1	脉冲2	—	—
1	—	—	5	—	9.5	—	—	1 次喀呖声≤10ms
2	—	—	5	—	10.5	—	—	1 次喀呖声>10ms
3	—	—	5	—	190.0	—	—	1 次喀呖声>10ms
4	—	—	5	—	210.0	—	—	非喀呖声干扰
5	—	—	5	5	30.0	30.0	180	非喀呖声干扰
6	—	—	5	5	30.0	30.0	130	1 次大于 10ms 的喀呖声
7	—	—	5	5	30.0	30.0	210	2 次大于 10ms 的喀呖声
8	—	—	5	—	30.0	—	周期 210	2 秒内喀呖声多于 2 次
9	—	—	5	—	9.5	—	周期 210	1 分内喀呖声多于 5 次
10②	—	—	1	—	190.0	—	—	1 次大于 10ms 的喀呖声
11②	—	—	1	—	9.5	—	—	1 次小于等于 10ms 的喀呖声
12	—	—	1	—	0.11	—	周期 10	非喀呖声干扰
13	—	—	1	—	0.11	—	—	1 次小于等于 10ms 的喀呖声
14	—	—	2.5③	25	30.0	30.0	230	1 次大于 10ms 的喀呖声
15	—	2	25.0	−2.5③	190.0	30.0	1188④	2 次大于 10ms的喀呖声⑤
16	—	2	25.0	−2.5③	190.0	30.0	1312④	1 次大于 10ms 的喀呖声

注：① 测得的单个脉冲幅度。
② 背景噪声电平在准峰值界限电平以下 2.5dB。
③ 这些较低的电平必须定得超过中频界限但不超过准峰值界限。
④ 对频率范围高于 30MHz 的本标准的准峰值测量仪，分别是 1710ms 和 2090ms。
⑤ 如果这两个脉冲要作为分开的干扰进行测量，就只能记录到一次喀呖声。

表 18-26 用高电平脉冲作性能检查

试验序号	脉冲的幅度(仪表刻度的参考中心点)(dB)			脉冲持续时间(ms)			脉冲间隔时间(ms)		结果
	脉冲			脉冲			脉冲1和2	脉冲2和3	—
	1 在中频	2 在准峰值	3 在中频	1	2	3			
17	2	44	2	1	2	1	169	190	非喀呖声干扰
18	2	44	−2	1	2	1	169	190	1 次喀呖声*

* 如果这三个脉冲要作为单独的干扰进行测量，就只能记录到一次喀呖声。

行。

(6) 在以准峰值干扰场强测量仪指示器上选定的校准标志为基准，测量表 18-25 和表 18-26 中所示脉冲的准峰值幅度。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

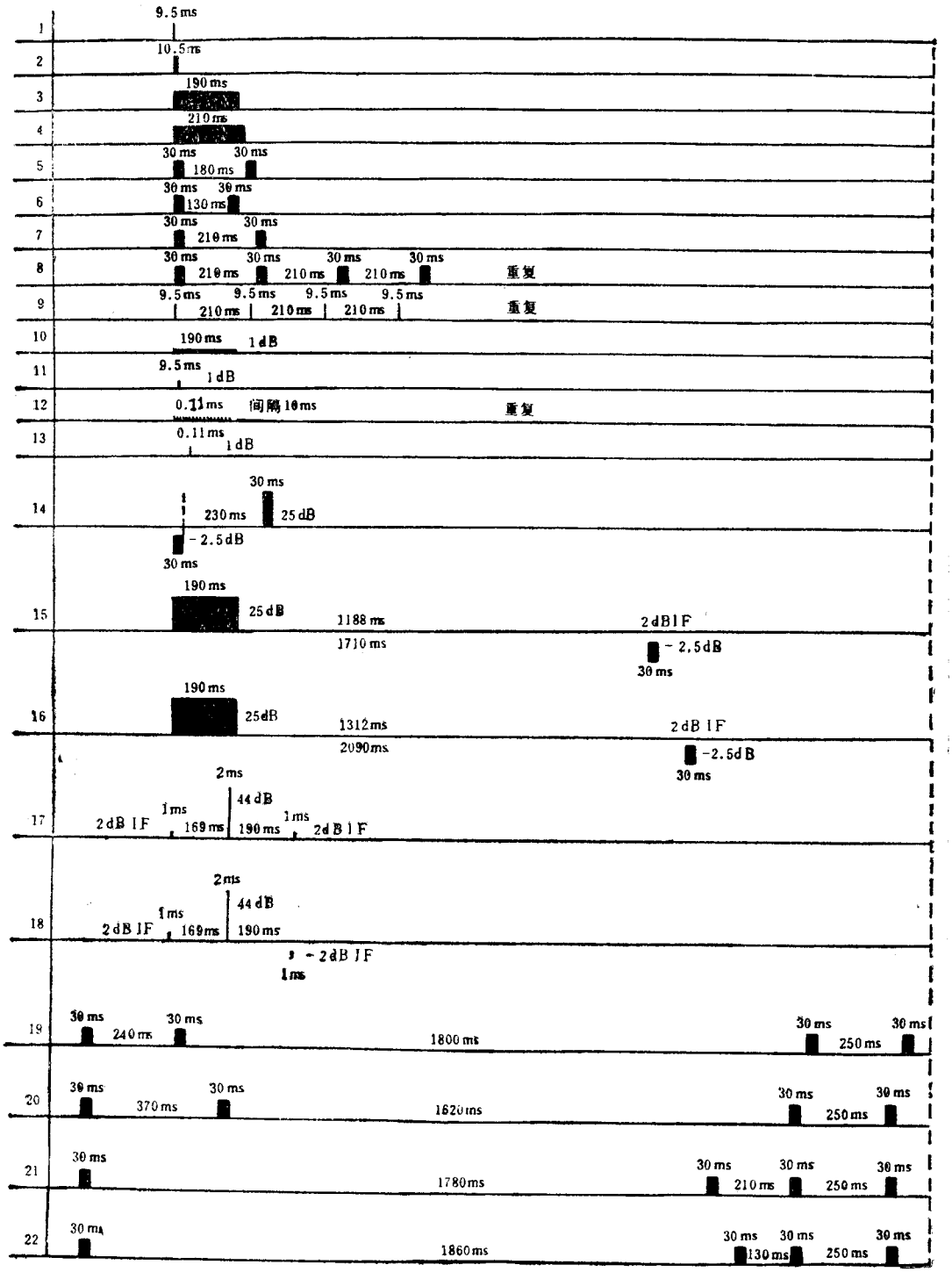


图 18-57　喀呖声干扰分析仪性能测试时用的波形

(7) 在无脉冲输入时，机内随机噪声电平至少应比准峰值干扰场强测量仪指示器上选定的校准标志电平低 20dB，但试验序号第 10 和第 11 号试验例外。作这两种试验时，机内随机噪声比

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 18-27 附加试验

试验序号	脉冲幅度（准峰值表的参考中点）(dB)				脉冲的持续时间（ms）				脉冲的间隔时间（ms）			结果
	脉冲				脉冲				脉冲 1 和 2	脉冲 2 和 3	脉冲 3 和 4	
	1	2	3	4	1	2	3	4				
19	5	5	5	5	30	30	30	30	240	1800	250	4 次喀呖声
20	5	5	5	5	30	30	30	30	370	1620	250	4 次喀呖声；累积条件 2 秒内喀呖声多于 2 次
21	5	5	5	5	30	0	30	30	1780	210	250	4 次喀呖声；累积条件 2 秒内喀呖声多于 2 次
22	5	5	5	5	30	30	30	30	1860	130	250	3 次喀呖声

选定的校准标志电平低 2.5dB。

八、测量总辐射功率的混响室

对于某些微波设备，由于存在复杂的三维辐射，因而对工作条件及其所处环境比较敏感，因此测量总辐射功率更为合理，这一参数与控制干扰密切相关。测量时，可将受试设备置于带有金属壁的合适的混响室。为了避免由于驻波效应导致混响室内不同位置的能量密度分布不均匀，在室内安装旋转搅拌器。如果尺寸、形状与位置合适，则混响室内任意位置的能量密度在相位、幅度与极化方向按照一个恒定的统计分布规律随机变化。

（一）混响室的构造

（1）尺寸和形状

混响室的线尺寸与所感兴趣的最低频率所对应的波长相比应足够大。它的容积大到足够容纳受试设备、搅拌器和测试设备。受试微波设备的体积变化范围很大：从大约 0.2 米的台式炉到高为 1.7 米、底座为 0.76 米的大设备。混响室是任意形状的，只要它的三个方向的尺寸为同一数量级。对于 1GHz 的最低频率，小室的容积至少为 $8m^3$。实际的尺寸取决于混响室的物理特性。这三个尺寸最好应有所差别。

混响室的壁和搅拌器是金属的。金属件之间的结合，在机械上是牢固可靠的；在电气上，沿着整个长度方向应是低阻抗且无表面腐蚀。在混响室内不应放置任何材料，例如木材等。

（2）壁孔以及安装托架

混响室的门应足够大，以便操作人员和受试设备进入。门应向外开，并配合紧密，以减少能量损耗。

为了便于在混响室内安装发射天线和接收天线，安装托架应固定在墙壁上。

（3）搅拌器

图 18-58 给出一种搅拌器的实例，只要搅拌效率满足要求，则允许使用其它形式的搅拌器。

（4）旋转翼

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

为使用旋转翼，应将两个叶片安装在混响室内相邻的壁上，与壁的距离至少应为所用最大波长的 $\lambda/4$；并且应有足够的厚度和刚性。叶片应具有小室可能容纳的最大长度，宽度应为长度的五分之一左右。

(5) 旋转桨

为使用旋转桨，可在混响室的壁上安装两个或三个桨叶。桨叶之间互成直角。桨叶可以是图 18-58 所示的形状，叶片围绕着平行于长度方向轴旋转。扫描筒空间的直径至少应等于所用最大波长，其长度应为屏蔽壁尺寸所容许的最大尺寸。结构应为刚性。

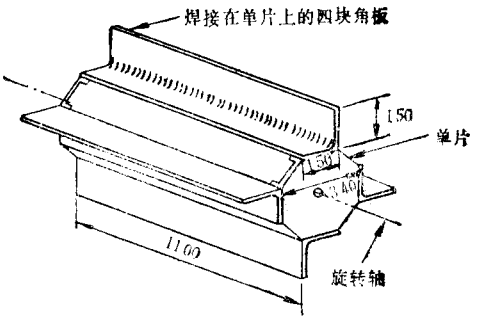


图 18-58　典型搅拌器示意图

(6) 旋转速度

搅拌器的旋转速度应该不一样。搅拌器旋转一周的最长时间应比测量仪表积分时间的五分之一短。合适的速率介于 50r/min～200r/min 之间。用于旋转搅拌器的电动机和减速齿轮，最好都放在室壁的外边。

(二) 混响室的性能

(1) 搅拌效率的试验

混响室内部能量分布的均匀性用耦合衰减随频率变化的平滑度来表示。在低频端，由于波长较长，要作到能量分布均匀是困难的，因而出现明显的最大值和最小值。如果搅拌效率越高，随频率变化的最大值和最小值之差就越小，因此可用频率就越低。

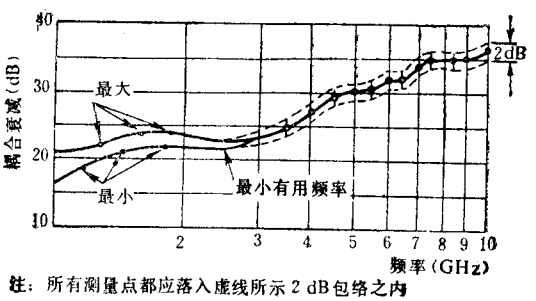


图 18-59　使用图 18-58 所示之搅拌器的混响室的均匀性

在混响室可用频段内测量耦合衰减，在可观察最大值和最小值的低频段，测量的间隔约为 100MHz。此时，接收天线保持固定，发射天线按 45° 间隔旋转，而且要求对于每一个位置、每一个频率重复此试验。在接收天线旋转 90° 以后，再重复一次。符合下述条件，则认为满足要求：

① 发射天线在任何位置上，峰、谷起伏包络的波动不得超过 2dB。

② 四条曲线的平均值应不偏离 2dB 包络线。

(2) 耦合衰减

混响室的耦合衰减是指在发射天线和接收天线之间的插入损耗。用测量方法得到。测量方法是将一个精确标定输出的标准信号源馈给低损耗的发射天线。然后，把接收天线放置在混响室内距离壁至少为 $\lambda/4$ 的任意点，但不允许指向发射天线或临近的室壁，与混响室的任意轴相一致。

将一个低噪声射频放大器经过高通滤波器与接收天线相连接，放大器的输出端经过带通滤波器接到检波器。带通滤波器应具有规定的带宽并调谐在规定的频率上。检波器的输出接到具有规定峰值保持时间的峰值电压表(也可以用频谱分析仪进行测量)，得到偏转指示 Q，此时标准信

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

号源的输出功率为 P_1；然后将标准信号源的输出连接到高通滤波器的输入端，调节标准信号源的输出功率，使峰值电压表的指示仍回复到 Q 的位置，此时标准信号源的输出功率为 P_2。按式(18-56)计算耦合衰减 A_0；

$$A_{0dB} = 10\lg\frac{P_2}{P_1}\ (\mathrm{dB}) \tag{18-56}$$

* * * * * *

本章技术指标及测试方法中所用的主要测试仪器，列表汇总如下。

表 18-28 主要测试仪器汇总表

序号	仪器名称	参考型号	主要技术指标	检定规程编号
1	标准信号发生器	MG645B	50kHz～1040MHz	—
2	标准信号发生器	ZN1080	10kHz～140MHz	—
3	功率信号发生器	445(E·T·N)	2MHz～2500MHz	—
4	功率放大器	5001(E·T·N)	10kHz～10MHz	—
5	数字频率计	E3373A	10Hz～1000MHz	
6	脉冲信号发生器	FM-2B	0.1Hz～1MHz	
7	示波器	SBM-14	100MHz	
8	干扰/场强计	ESH3	9kHz～30MHz	
9	干扰/场强计	ESVP	20～1300MHz	
10	功率计	HP436		
11	高频毫伏表	ZN2270	10kHz～1000MHz	
12	频谱分析仪	HP8568A	100kHz～1500MHz	
13	标准磁场发生器	RB-2	10kHz～30MHz	
14	电场标准装置	DB-1	30MHz～1000MHz	
15	标准衰减器	QF11501	0～2GHz	
16	隔离衰减器		固定 10dB	
17	记录器	HP7046B 或 60010		
18	脉冲响应校准器	GMX-1	9～150kHz	
19	脉冲响应校准器	GMX-2	0.15～30MHz	
20	脉冲响应校准器	GMX-3	9kHz～30MHz	
21	脉冲响应校准器	GMX-4	用于 30～1000MHz	
22	带阻滤波器			
23	宽带天线	HL-0231A	80～1000MHz	
24	宽带天线	HUF-Z1	20～80MHz	
25	阻抗测试仪	HP4191A		
26	横电磁波传输室		DC～500MHz	
27	50Ω大功率负载	大于 10W		
28	电波暗室		尺寸8.5×5m²	
29	角锥喇叭天线		2cm	
30	角锥喇叭天线		3cm	
31	角锥喇叭天线		5cm	
32	角锥喇叭天线		10cm	

第 5 节 按门类的量值传递表

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1.近区场强标准(强场)

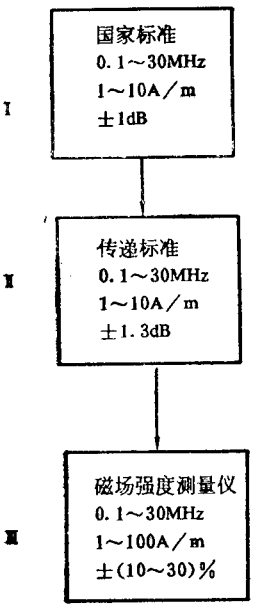


图 18-60　磁场强度检定系统表

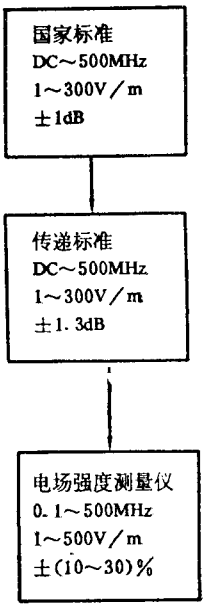


图 18-61　电场强度检定系统表

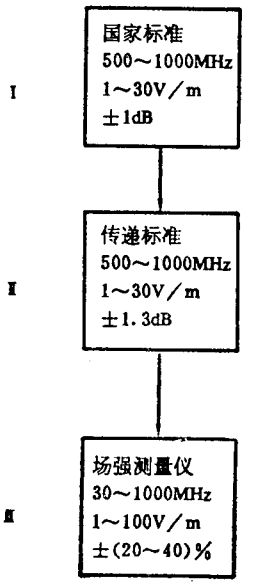


图 18-62　电场强度检定系统表

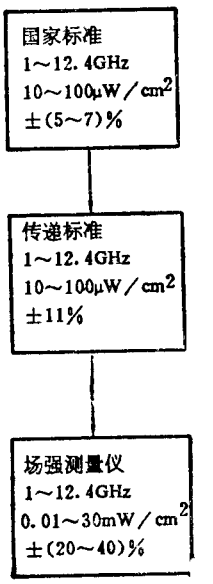


图 18-63　微波场强检定系统表

2.远区场强标准(弱场)

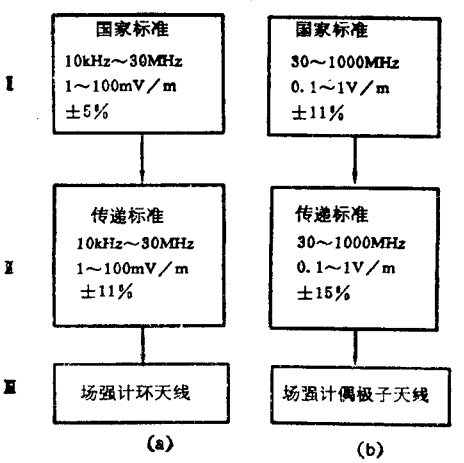


图 18-64　远区场强检定系统表

3.基准试验脉冲标准

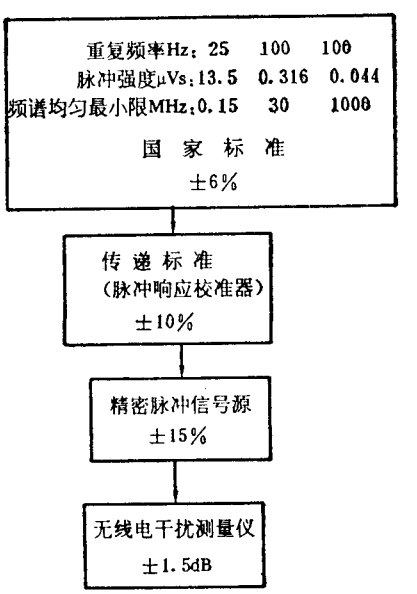


图 18-65　标准脉冲检定系统表

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

附录A 准峰值干扰场强测量仪和均方根值干扰场强测量仪对重复脉冲响应的确定

A.1 概述

本附录给出了计算过程所需的数据以及确定重复脉冲响应曲线的步骤，同时说明了在运算过程中固有的一些假设。

计算依次分为三步：

A.2 检波器前各级的响应

一般来说，检波器前各级的脉冲响应完全是由规定接收机总选择性的几个中频级确定的。

习惯上认为，将两个临界耦合调谐变压器级联即可获得这个选择性，从而在 6dB 处产生符合要求的带宽。为了计算，可将任何其它的等效电路归纳为上述情况。实际上，由于该选择性曲线通常是对称的，所以可以使用等效低通滤波器来计算脉冲响应的包络，而由此产生的误差可以忽略不计。

脉冲响应的包络可写成下式：

$$A(t) = 4\omega_0 G e^{-\omega_0 t}(\sin\omega_0 t - \omega_0 t\cos\omega_0 t) \tag{A1a}$$

式中 G——调谐频率处总增益；

ω_0——$\frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot B_6$ 的角频率。

从上述方程中可得到两个临界耦合调谐变压器对于强度为 $\nu\tau$ 的脉冲响应的包络为：

$$A(t) = (\nu\tau) \cdot 4\omega_0 G e^{-\omega_0 t}(\sin\omega_0 t - \omega_0 t\cos\omega_0 t) \tag{A1b}$$

对于 $\tau < 1/\omega_0$，等效低通滤波器相应的总响应曲线可写成：

$$F(f) = G\left[\frac{2\omega_0^2}{(\omega_0 + j\omega)^2} + \omega_0^2\right]^2 \tag{A2}$$

式中 $\omega = 2\pi f$

带宽 B_3 和 B_6 分别为：

$$B_3 = \frac{(\sqrt{2} \cdot \sqrt[4]{(\sqrt{2}-1)})\omega_0}{\pi} = 0.361\omega_0 \tag{A3a}$$

$$B_6 = \frac{\sqrt{2} \cdot \omega_0}{\pi} = 0.450\omega_0 \tag{A3b}$$

包括与实际接收机具有相同均方根值的理想矩形滤波器的接收机，其有效带宽等于功率带宽，定义为：

$$\Delta f = \left(\frac{1}{F_0^2}\right)\int_{-\infty}^{+\infty} F^2(f)df \tag{A4}$$

式中 $F(f)$——总选择性曲线；

F_0——$F(f)$ 的最大值(假设为单峰选择性曲线)。

对于 $F_0 = 1$，功率带宽为

$$\Delta f = \int_{-\infty}^{+\infty} F^2(f)df \tag{A5}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

将方程(A2)代入方程(A5),且令 $G=1$,得:

$$\Delta f=\int_0^{\infty}[2\omega_0^2/(\omega_0+j\omega)^2+\omega_0^2]^4 df \tag{A6}$$

由此可得:

$$\Delta f=0.265\sqrt{2}\cdot\omega_0=0.375\omega_0 \tag{A7}$$

于是:

$$B_3=0.964\Delta f \tag{A8}$$

A.3 准峰值电压表检波器对前置各级输出的响应

计算是在下述条件下进行的: 假定检波器电路接到最后一级中频输出上并不会影响中频输出信号的幅度和波形,换言之,这一级的输出阻抗与检波器的输入阻抗相比可忽略不计。

任何一个检波器,都可简化为这种形式(实际或等效的): 一个非线性元件(例如二极管)与一个电阻(总正向电阻 S)相联,随后再接一个由电容 C 和放电电阻 R 并联组成的电路。

充电时间常数 T_C 取决于 S 和 C 的乘积,而放电时间常数 T_D 取决于 R 和 C 的乘积。

T_C 和乘积 SC 之间的关系可以这样确定: 突然施加幅度恒定的射频信号,当时间 $t=T_C$ 时,使得指示电压达到最后稳定值的 0.63 倍。

电容器两端的电压 U 与施加于检波器上射频信号幅度 A 之间的关系,可用下列方程式表示:

$$\frac{dU}{dt}+\frac{U}{RC}=A\frac{(\sin\theta-\theta\cos\theta)}{\pi\cdot SC} \tag{A9}$$

式中 θ——导角 ($U=A\cos\theta$)。

这个方程式不能直接积分。由于所选的时间常数满足上述条件,所以 SC 乘积的大小可用近似方法求得。例如:

A频段:

$T_C=45\text{ms}$

$T_D=500\text{ms}$

$2.81SC=1\text{ms}$

B频段:

$T_C=1\text{ms}$

$T_D=160\text{ms}$

$3.95SC=1\text{ms}$

C频段和D频段:

$T_C=1\text{ms}$

$T_D=550\text{ms}$

$4.07SC=1\text{ms}$

进而,把得到的值代入方程(A9),由第A2条中的方程(A1)所给定的函数 $A(t)$ 取代恒定幅度 A,则可求出(用近似方法)施加孤立脉冲或重复脉冲时方程的解。

实际中,重复脉冲的响应也可以这样求得,只要任意假设每一个脉冲开始时检波器输出电压的电平,再确定由脉冲引起的电压增量 ΔU,于是就可求得两脉冲之间必须存在的间隔,从而重复假设初始条件。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

A.3.1 指示仪表对检波器输出信号的响应

为了简化起见，合理地假设检波器输出电压的上升部分是陡峭的。

然后，求解下列特性方程：

$$\frac{da^2}{dt^2}+2\frac{da}{T_M dt}+\frac{1}{T_M^2}a=\frac{1}{T_M^2}\exp\left(-\frac{t}{T_D}\right) \tag{A10}$$

式中 $a(t)$——指示器的偏转。

T_D——准峰值电压表的放电时间常数。

T_M——临界阻尼指示器的机械时间常数。

相对来说在响应曲线两端求解这个方程要简单些。一方面，因为脉冲之间具有足够间隔使脉冲起始点为零，并且是已知的；另一方面，因为脉冲具有足够高的重复频率，所以指示器的惯性不会使指针完全随着振幅摆动。而在响应曲线的中间，计算就变得较为复杂。此时每个脉冲起始时，指示器指针都在摆动，所以只有计及了指针的起始位置和速度的情况下才能求解此方程。

A.4 均方根值检波器对前置各级的输出电压可以从下式求出：

$$U_{rms}=\left[n\int_0^{+\infty}\left(\frac{A^2(t)}{2}\right)dt\right]^{1/2} \tag{A11}$$

式中 n——脉冲重复频率，Hz。

输出电压也可以由频率响应曲线从下式求出：

$$U_{rms}=\left[n\int_{-\infty}^{+\infty}\left(2\nu\tau\cdot\frac{F^2(f)}{2}\right)df\right]^{1/2} \tag{A12}$$

式中 $\nu\tau$——具有均匀频谱的脉冲面积。

由此得：

$$U_{rms}=\sqrt{2}\cdot\nu\tau\cdot\sqrt{n}\left(\int_{-\infty}^{+\infty}F^2(f)df\right)^{1/2} \tag{A13}$$

由方程（A5），上式可简化为：

$$U_{rms}=\sqrt{2}\cdot\nu\tau\cdot\sqrt{n}\sqrt{\Delta f} \tag{A14}$$

由方程（A14），取 $U_{rms}=2\text{mV}$，$n=100\text{Hz}$，于是得：

$$\nu\tau=\frac{100\sqrt{2}}{\sqrt{\Delta f}}\ (\mu\text{Vs}) \tag{A15}$$

由方程（A8）得：

$$\nu\tau=\frac{139}{\sqrt{B_3}}(\mu\text{Vs}) \tag{A16}$$

A.4.1 过载系数的计算

脉冲重复频率为 n 所对应的过载系数计算如下：

由方程（A14）得：

$$U_{rms}=\sqrt{2}\cdot\nu\tau\cdot\sqrt{n}\sqrt{\Delta f}$$

由方程（A1），且令 $G=1$，得：

$$A(t)_p=0.944\cdot\nu\tau\cdot\omega_0$$

于是求得过载系数：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$\frac{A(t)_p}{\sqrt{2}} \cdot U_{rms} = 1.27\left(\frac{B_3}{n}\right)^{1/2} \tag{A17}$$

A.5　均方根仪器指示和准峰值仪器指示之间的关系

方程（A16）表明了均方根值电压表的幅度关系。当正弦波信号的大小为 2mV 时，等效的脉冲强度 $(\nu\tau)_{rms}$ 应为：

$$(\nu\tau)_{rms} = \frac{139}{\sqrt{B_3}}(\mu Vs)$$

对于方程（A2）引用的选择性曲线，当以 6dB 带宽为基准时，相应的幅度关系为：

$$(\nu\tau)_{rms} = \frac{155}{\sqrt{B_6}}(\mu Vs)$$

对于准峰值测量仪来说，与 2mV 正弦波信号等效的脉冲强度 $(\nu\tau)_{qp}$ 如下：

在 0.15～30MHz 频率范围：

$$(\nu\tau)_{qp} = 0.316(\mu Vs)$$

在 30～1000MHz 频率范围：

$$(\nu\tau)_{qp} = 0.044(\mu Vs)$$

因此，如果测量仪的通带特性符合方程(A2)，并且 6dB 处的带宽与本章第 4 节二中规定的额定带宽相符，那么 $(\nu\tau)_{rms}$ 与 $(\nu\tau)_{qp}$ 存在如下关系：

在 0.15～30MHz 频率范围：

$$\frac{(\nu\tau)_{rms}}{(\nu\tau)_{qp}} = 14.3(dB)$$

在 30～1000MHz 频率范围：

$$\frac{(\nu\tau)_{rms}}{(\nu\tau)_{qp}} = 20.1(dB)$$

上述关系只有当重复频率为 100Hz 时才成立。对于其它的重复频率，必须使用相应的脉冲响应曲线。

附录 B　脉冲发生器频谱的测试

B.1　脉冲发生器

为了测试本章第 4 节中之二. 1.(4)条的要求，需用附录 G 中所述的一些技术。但本附录仅讨论用脉冲发生器测试第 4 节中之二. 1.(4)条的要求。

脉冲发生器所产生的脉冲，应具有表 B1 所列的特性。在低于所考虑的频段上限时，频谱应基本上保持均匀。脉冲发生器的脉冲的重复频率应是可调的，至少应覆盖表 B1 所列的频率，频谱幅度的准确度应在 ±1dB 之内，重复频率的准确度应在 1% 以内。

如果在规定的频段内，频谱幅度相对于该频段低频部分的幅度的变化不大于 2dB，则可认为该频段内频谱的均匀性是符合要求的。

频谱用曲线表示，此曲线作为接收机调谐频率的函数，它表示在带宽不变时，干扰场强测量仪输入端等效电压的变化规律。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

为了检定是否符合第4节中之二.1.(4)条的要求，必须限制高于所考虑的频段上限的频谱(在两倍于上限频率处，降落 10dB)。由于调谐频率所分隔的所有各频谱成分的互调效应会对响应产生影响，所以对测试的要求必须有一个统一的标准。

表 B1 脉冲信号的规定

频段(MHz)	脉冲面积 (μVs)	重复频率 (Hz)
A	13.5	1,2,5,10,25,60,100
B	0.316	1,2,10,20,100,1000
C	0.044	1,2,10,20,100,1000
D	(见注)	1,2,10,20,100,1000

注：此脉冲发生器应能产生足够幅度的一些脉冲，并要求在 1000MHz 以下的频率有一个尽可能均匀的频谱。

B.2 一般测量方法

在附录G中，给出了精确测量脉冲频谱幅度绝对值的方法。可以使用下列方法测量频谱幅度随频率变化的规律。

把脉冲发生器连接到一个射频接收机的输入端，在接收机的中频输出端连接一个示波器，用来指示射频脉冲。在接收机的每个调谐频率上进行下述测量：

(1) 接收机的带宽 B_6(Hz)。

(2) 标准信号发生器的输出 E_0，标准信号发生器的源阻抗与脉冲发生器的源阻抗相同。调谐接收机的频率，使 E_0 在示波器上产生的偏转与射频脉冲的峰值产生的偏转相同。则每个频率上频谱的相对幅度为：

$$S_r(f) = \frac{E_0}{B_6} \tag{B1}$$

由 $S_r(f)$ 相对于测量频率的曲线给出了脉冲的频谱。接收机的各级电路，对施加的信号的峰值电平应是线性的。

对于寄生响应，特别是镜频响应和中频响应的抑制，至少应达到 40dB。

在一系列的测量过程中，只要脉冲的重复频率保持不变，就可以用准峰值电压表代替示波器，用符合本标准的接收机进行测量。

注：对适合于A频段和B频段用的持续脉冲，可以用示波器直接测量脉冲面积(等于 1/2 频谱幅度)。在C和D频段可以采用取样示波器测量。

附录C 非准峰值干扰场强测量仪和准峰值干扰场强测量仪测量结果的换算

C.1 引言

测得的干扰值与在规定的通信系统中所造成的损害之间建立较为合理的相互关系，是制定干扰允许值的基础。在规定的通信系统中，容许的信噪比数值是系统参数的函数。这些参数包括带宽、调制形式以及其他许多因素。因此，在研究和试制工作中，应用了各种类型的测量仪器。本附录给出了干扰场强测量仪的特性与被测干扰波形之间的依从关系，从而使不同的测量仪器测得的数据经过换算而得到统一。

C.2 干扰场强测量仪的关键特性

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

确定干扰场强测量仪的脉冲响应时，最关键的因素是带宽、检波器以及被测干扰的类型。其次是过载系数、自动增益控制(如采用的话)、镜频抑制、其他假响应以及指示器临界阻尼机械时间常数等。在有些场合，为分析干扰场强测量仪的某些性能时，这些次要因素仍然是相当重要的。

C.3　三种基本类型的电磁噪声

三种基本类型的电磁噪声为连续波噪声、重复冲击噪声和随机噪声。每种噪声的响应与干扰场强测量仪的带宽和检波形式的依从关系，列于表 C1 中。在该表中，δ 是脉冲强度，B_{imp} 是脉冲带宽，E' 是随机噪声的频谱强度，B_{rn} 是随机噪声的带宽，f_{pR} 是脉冲重复频率。图 18-C1 表示了一台干扰场强测量仪所用的各种检波器对脉冲干扰的相对响应。

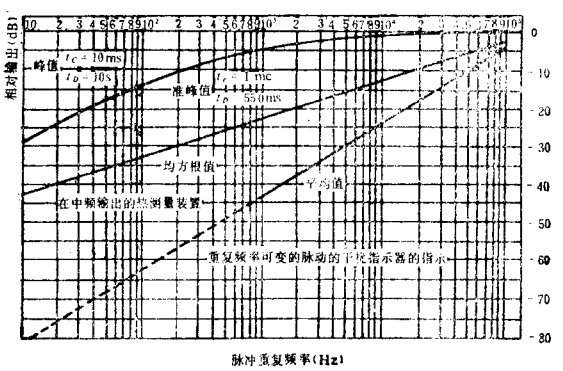
表 C1　噪声与带宽和检波形式的依从关系

输入波形	检波器形式			
	滑退峰值	准峰值1/600	平均值	均方根值
连续波	e①	e	e	e
重复冲击	$1.41\delta B_{imp}$④	$1.41\delta B_{imp}P(\alpha)$②	$1.41\delta f_{pR}$④	$1.41\delta\sqrt{f_{pR}B_{imp}}$
幅度成高斯分布的随机噪声⑤	—	$1.85\sqrt{B_{rn}E'}$③	$0.88\sqrt{B_{rn}E'}$	$\sqrt{B_{rn}E'}$

注：① e 是所加正弦波的均方根值。
② $P(\alpha)$ 在图 18-C2 中给出。
③ E' 是频谱强度，以 V(均方根值)/Hz (带宽)表示。
④ δ 是脉冲强度。假设干扰场强测量仪是用正弦波的均方根值加以校准。
⑤ 假设用检波器测量随机噪声包络线特性。

由表 C1 可知，干扰场强测量仪的响应对带宽的依从关系。对三种类型干扰是不同的。如果能够确定被测干扰的波形是表 C1 所列的三种类型干扰中任何一种噪声的波形，并且由一个标准信号源提供这种类型的噪声。那末，任何具有足够过载系数的干扰场强测量仪，不管其带宽是多少，都可以用这种信号来校准。因此，对随机噪声干扰或已知重复频率的脉冲干扰，均可以利用相应的信号源或根据已知电路参数，由计算得到的相关系数来校准。

如果某一特定的干扰波形，处于这三种形式之间，那末，相关系数也将处于三种形式之间。在



t_C——充电时间常数；　t_D——放电时间常数

图 18-C1　各种检波器对脉冲干扰的相对响应

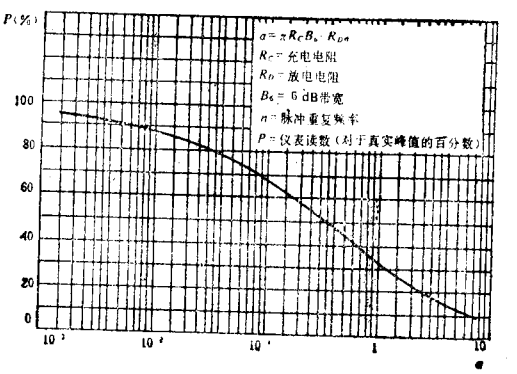


图 18-C2　$P(\alpha)$-α 曲线

www.789pdf.com 789书库网

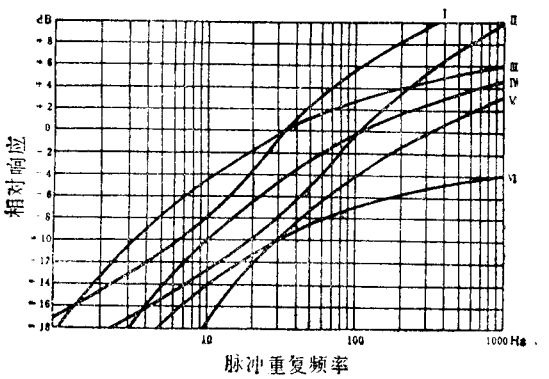
www.789pdf.com 789书库网

任何一种给定的条件下，为了能确定有意义的相关系数，都必须用这样的方法对噪声的波形进行分类。因此，必须研究典型的干扰源，以确定它们的干扰形式在多大的程度上是属于重复冲击噪声或随机噪声，还是连续波噪声。

如果所用的干扰场强测量仪带有几种类型的检波器，如峰值检波器、准峰值检波器、平均值检波器和均方根值检波器等，则这些检波器所得读数之比，可以用来确定干扰的类型。当然，这些比值取决于所用干扰场强测量仪的带宽和其他特性。

C.4 干扰脉冲——相关系数

C.4.1 任何干扰场强测量仪，其准峰值检波器对等幅的规则的重复脉冲的响应，可以用图 18-C2 给出的脉冲响应曲线来确定。该图对于任何一个给定的带宽以及充电电阻值，都以峰值响应的百分数来表示检波器的响应。利用这个曲线时，应注意，峰值本身取决于带宽，带宽增大峰值也增大，但检波器所读到的峰值百分数则减小了，在较窄带宽范围内，这些作用容易相互抵消。这个曲线是在 6dB 带宽下取得的。对于最典型的干扰场强测量仪的通带特性来说，这个带宽比脉冲带宽大约小 5%。



曲线的参数

$B = 6\text{dB}$ 带宽； $r_0 = 160$； $\text{III} = B_0, 3r_0$； $\text{VI} = \frac{B_0}{3}, r_0$

$B_0 = 9\text{kHz}$； $\text{I} = 3B_0, r_0$； $\text{IV} = B_0, r_0$；

$r = \frac{t_D}{t_C}$； $\text{II} = 3B_0, \frac{r_0}{3}$； $\text{V} = B_0, \frac{r_0}{3}$；

图 18-C3 准峰值检波器在不同带宽和不同放电时间与充电时间的响应比较

图 18-C3 给出的是具有各种不同带宽和检波器的干扰测量仪同准峰值干扰场强测量仪的比较(理论值)。

C.4.2 平均值干扰场强测量仪

脉冲噪声在平均值检波器上的读数，与检波器前置各级电路的带宽无关。此读数直接正比于重复频率。在绝大多数情况下，用平均值检波器获得的脉冲噪声读数很小，除非干扰场强测量仪的带宽非常窄(如约为几百赫兹)，否则，读出的量值没有实用意义。当重复频率为 100Hz、带宽约为 10kHz 时，平均值读数近似等于峰值读数的1%。不管测量精确度如何，这样的数值总是太低，难以测量。对于多数通信系统，噪声干扰在系统中产生的效应，远远超过用平均值仪器测得的读数，这当然是采用准峰值测量仪的原因之一。

C.5 随机噪声(幅度成高斯分布)

干扰场强测量仪对随机噪声的响应与带宽的平方根成正比。它与所用检波器的类型无关。随机噪声带宽与 3dB 带宽的比值，取决于滤波电路的形式，随机噪声的有效带宽与 3dB 带宽的比值约为 1.04。

C.6 均方根值干扰场强测量仪

对于宽带噪声，由均方根值检波器所得到的输出正比于带宽的平方根，即噪声功率直接正比于带宽，这个特点是均方根值检波器用于测量大气无线电噪声的主要原因之一。另一个优点是均方根值检波器能使各种干扰源(如脉冲和随机噪声)产生的噪声功率达到正确的叠加。这样就允许有较高的背景噪声。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

噪声对接收调制的射频信号造成骚扰的主观效应，用均方根值表征更确切。但是在使用宽频带干扰场强测量仪来测量脉冲噪声时，要求干扰场强测量仪具有更宽的动态范围，这就是均方根值检波器仅限于窄带测量的主要原因。

C.7 讨论

上面论述了用特性不同的干扰场强测量仪测得噪声干扰的结果进行比较的理论基础。如上所述，相关系数的确定，取决于能否对干扰噪声进行鉴别和分类。在很宽的频段中，最严重的是脉冲干扰。但对于电力线路来说，最关心的是电晕干扰。因而，预计随机干扰是重要的特征。这里还要说明，过载系数是一个重要参数。

附录 D　采用均方根值检波器的干扰场强测量仪基本特性的确定

D.1 带宽

测量仪器的带宽，是指测量仪器的总选择性曲线中心频率响应电平之下 3dB 处的频带宽度。如果具有理想滤波器的测量仪器所给出的均方根值响应与实际使用的测量仪器相同，则测量仪器的有效带宽等于功率带宽 Δf，定义为：

$$\Delta f = \frac{1}{F_0^2}\int_{-\infty}^{+\infty} F^2(f)df \tag{D1}$$

式中　$F(f)$——选择性曲线；

F_0——$F(f)$ 的最大值(假设是单峰选择性曲线)。

实际使用中，通常以功率带宽（Δf）代替 3dB 带宽（B_3）。这两个带宽数值之间的差异很小，在附录 F 中计算带通滤波器带宽时有如下关系：

$$B_3 = 0.964\Delta f \tag{D2}$$

在过载系数和幅度关系的计算中用到了这个关系式。

D.2 过载系数

在电路(或电路组)的稳态响应曲线上，偏离理想线性度 1dB 时的最大电平规定为该电路(或电路组)的实际线性动态范围。这个最大电平与指示器满刻度指示时的电平之比，称为该电路(或电路组)的过载系数。

附录 E　平均值检波器和峰值检波器的响应

E.1 检波器前各级电路的响应

有人已经证明，具有对称频率特性的窄带电路对于脉冲的响应。其包络线下的面积与带宽无关，可由下式求出：

$$\int_{-\infty}^{+\infty} A(t)\mathrm{d}t = 2\nu\tau G_0 \tag{E1}$$

式中　ν、τ——矩形脉冲的幅度和持续时间。并且此脉冲的 $B_{\mathrm{imp}}\cdot\tau \ll 1$；

G_0——电路在中心频率的增益。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

只有在包络线不振荡的情况下，这个定理才严格地成立。振荡的包络线具有双调谐电路的特性。如果不用相敏元件，就必须经过校准来补偿振荡响应引起的误差。在临界耦合的情况下，包络线的第二峰值为第一峰值的 8.3%。

只要脉冲在中频放大器的电路中不产生重叠，平均值就与脉冲的重复频率 n 成正比。所以，平均值电压等于 $2\nu\tau G_0 n$。

由式（E1）看来，对平均值检波器规定有效带宽是没有意义的。

E.2 过载系数

确定检波器前各级电路的有效脉冲带宽量值，对于过载系数的计算以及过载系数在峰值检波器方面的应用是很有用的。此有效脉冲带宽的量值用下式确定：

$$B_{imp} = \frac{A(t)_{max}}{2G_0} \tag{E2}$$

式中 $A(t)_{max}$——单个脉冲在中频输出级的包络线的峰值。

引入式（F14）可得：

$$B_{imp} = \frac{0.944}{2}\omega_0 = 1.05B_6 \tag{E3}$$

$$B_{imp} = \frac{0.944}{2}\omega_0 = 1.31B_3 \tag{E4}$$

式中 B_6——测量仪器-6dB 处的带宽；

B_3——测器仪器-3dB 处的带宽。

对于其它形式的电路，如果 B_{20} 和 B_3 的比值已知，就可以由图 18-E1 来确定 B_{imp} 与 B_6 的比值。这里 B_{20} 是测量仪在 20dB 时的带宽。

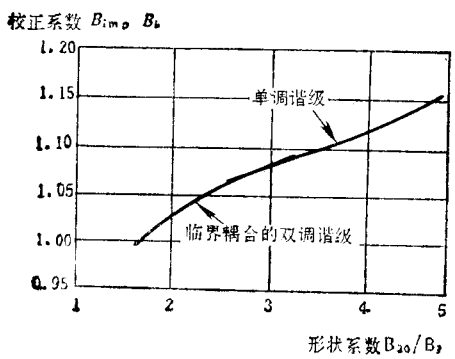


图 18-E1

E.3 平均值电压表与准峰值电压表之间的关系

如果要求重复频率为 nHz 的脉冲在平均值电压表上的响应，与正弦波信号发生器（输出阻抗与脉冲信号发生器相同）所产生的 $2mV_{rms}$ 未加调制的信号在调谐频率上的响应相同。则此脉冲的强度应为：

$$\nu\tau = \frac{1.4}{n} \quad (mVs) \tag{E5}$$

当重复频率为 100Hz 时，则此脉冲的强度就应为 14μVs。所以，根据附录 F 中 F.4，产生相同指示的 $(\nu\tau)_{ave}$ 与 $(\nu\tau)_{qp}$ 之比为：

当频率范围为 0.15～30MHz 时：

$$(\nu\tau)_{ave}/(\nu\tau)_{qp} = 32.9dB。$$

当频率范围为 25～1000MHz 时：

$$(\nu\tau)_{ave}/(\nu\tau)_{qp} = 50.1dB。$$

上述之结果是假设在所讨论的重复频率，测量仪器具有满足要求的过载系数，并且所用之带宽亦分别与准峰值干扰场强测量仪的带宽相对应。当重复频率为 1000Hz 时，相应的比值分别

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

为 17.4dB 和 38.1dB。

E.4　峰值检波器

在采用直读式峰值表时，可由图 C3 的曲线来确定对时间常数的要求。

该曲线给出了相对于真实峰值的百分数 $P(\alpha)\%$ 是参数 α 的函数。参数 α 中包括有：充放电时间常数比、带宽 B_6 以及脉冲的重复频率。在使用这个曲线时应该注意到它是在下述条件下得到的：

$$\frac{R_C}{R_D} = \frac{1}{4} \cdot \frac{T_C}{T_D} \tag{E6}$$

式中　T_C——充电时间常数；

T_D——放电时间常数。

例如：要求仪表读数在重复频率为 1Hz 时至少是真实峰值的 90%。则充电时间常数与放电时间常数的比值必须是：

当频率范围为：0.15～30MHz 时为 1.25×10^6；

当频率范围为：25～1000MHz 时为 1.67×10^7。

E.5　峰值表与准峰值表指示之间的关系

当重复频率为 100Hz 时，利用图 C2 所得到的比值如表 E1 所列：

表 E1　峰值表与准峰值表指示之间的关系

频率范围（MHz）	B_6(kHz)	T_C/T_D	α	峰值与准峰值之比	
				$P(\%)$	(dB)
0.15～30	9	1/160	0.45	44.7	7.0
25～1000	120	1/550	1.77	24.8	12.1

附录 F　均方根值检波器脉冲响应的确定

F.1　检波器前各级电路的响应

根据附录 A 的方程（A1），两个临界耦合调谐变压器对于强度为 $\nu\tau$ 的脉冲响应包络线为：

$$A(t) = (\nu\tau)4\omega_0 G e^{-\omega_0 t}(\sin\omega_0 t - \omega_0 t\cos\omega_0 t) \tag{F1}$$

式中　G——在调谐频率时的总增益；

ω_0——角频率。

等效低通滤波器的选择性曲线可以写成：

$$F(f) = G[(2\omega_0^2)/(\omega_0 + j\omega)^2 + \omega_0^2]^2 \tag{F2}$$

当 $\omega = 2\pi f$，$\tau \ll \frac{1}{\omega_0}$ 时，

选择性曲线在 3dB 处的带宽（B_3）和在 6dB 处的带宽（B_6）分别为：

$$B_3 = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt[4]{\sqrt{2} - 1} \cdot \omega_0}{\pi} = 0.361\omega_0 \tag{F3a}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$B_6 = \sqrt{2} \cdot \omega_0/\pi = 0.450\omega_0 \tag{F3b}$$

功率带宽(参阅附录D)由下式给出:

$$\Delta f = \int_{-\infty}^{+\infty} F^2(f)\mathrm{d}f(F_0 = 1) \tag{F4}$$

由式(F2)求 $F(f)$,并使 $G = 1$,则可得:

$$\Delta f = 2\int_0^{\infty} [2\omega_0^2/(\omega_0 + j\omega)^2 + \omega_0^2]^4 \mathrm{d}f \tag{F5}$$

由此可得:

$$\Delta f = 0.265\sqrt{2} \cdot \omega_0 = 0.375\omega_0 \tag{F6}$$

因此

$$B_3 = 0.964\Delta f \tag{F7}$$

F.2 均方根值检波器对前置各级输出电压的响应

根据均方根值检波器对于其前置各级电路输出电压的响应的定义,得均方根值检波器的输出电压为:

$$U_{\mathrm{rms}} = \left[n\int_0^{\infty} (A^2(t)/2)\mathrm{d}t\right]^{\frac{1}{2}} \tag{F8}$$

式中 n——脉冲重复频率(Hz)。

也可由频率响应曲线按下式求出输出电压:

$$U_{\mathrm{rms}} = \left[n\int_{-\infty}^{+\infty} [(2\nu\tau \cdot F(f))^2/2]\mathrm{d}f\right]^{\frac{1}{2}} \tag{F9}$$

式中 $\nu\tau$——具有均匀频谱的脉冲的面积。

由此得:

$$U_{\mathrm{rms}} = \sqrt{2} \cdot \nu\tau \cdot \sqrt{n}\left[\int_{-\infty}^{+\infty} F^2(f)\mathrm{d}f\right]^{\frac{1}{2}} \tag{F10}$$

将方程(F4)代入方程(F10)可得:

$$U_{\mathrm{rms}} = \sqrt{2} \cdot \nu\tau \cdot \sqrt{n}\sqrt{\Delta f} \tag{F11}$$

取 $U_{\mathrm{rms}} = 2\mathrm{mV}$, $n = 100\mathrm{Hz}$ 则由方程(F11)可导出幅度关系为:

$$\nu\tau = (100\sqrt{2})/\sqrt{\Delta f}\ \mu\mathrm{Vs} \tag{F12}$$

或者由方程(F7)可得:

$$\nu\tau = 139/\sqrt{B_3}\mu\mathrm{Vs} \tag{F13}$$

F.3 过载系数的计算

与脉冲重复频率为 n(Hz)的脉冲相应的过载系数的计算方法如下:

由方程(F11):

$$U_{\mathrm{rms}} = \sqrt{2} \cdot \nu\tau \cdot \sqrt{\Delta f} \cdot \sqrt{n}$$

由方程(F1)得:

$$A(t)_{\mathrm{peak}} = 0.944\nu\tau \cdot \omega_0\ (\text{当 } G = 1)$$

得过载系数为:

$$A(t)_{\mathrm{peak}}/\sqrt{2} \cdot U_{\mathrm{rms}} = 1.27\sqrt{\frac{B_3}{n}} \tag{F14}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

F.4　均方根值电压表与准峰值电压表之间的关系

由方程（F13）可知：对于均方根值电压表来说，如果它所表示的脉冲的量值 $(\nu\tau)_{rms}$ 与 $2mV_{rms}$ 正弦波信号等效，则其幅度关系为：

$$(\nu\tau)_{rms} = 139/\sqrt{B_3}\mu Vs$$

如果选择特性与方程(F2)所引用的相同，则相应的幅度关系为：

$$(\nu\tau)_{rms} = 155/\sqrt{B_6}\mu Vs$$

对于本章所规定的准峰值仪表来说，与 $2mV_{rms}$ 正弦波信号等效的脉冲的量值 $(\nu\tau)_{qp}$ 为：

当频率范围为 0.15～30MHz 时：

$$(\nu\tau)_{qp} = 0.316\mu Vs$$

当频率范围为 25～1000MHz 时：

$$(\nu\tau)_{qp} = 0.044\mu Vs$$

因此，如果测量仪器的通带特性与方程（F2）相一致，并且 6dB 处的带宽与第 4 节中规定的额定带宽相同，则 $(\nu\tau)_{rms}/(\nu\tau)_{qp}$ 存在如下关系：

当频率范围为 0.15～30MHz 时：

$$(\nu\tau)_{rms}/(\nu\tau)_{qp} = 14.2dB$$

当频率范围为 25～1000MHz 时：

$$(\nu\tau)_{rms}/(\nu\tau)_{qp} = 20.1dB$$

上述这些关系，只限于脉冲重复频率为 100Hz 时才成立。在其他重复频率时，必须使用相应的脉冲响应曲线。

附录 G　纳秒脉冲发生器输出的精确测量

G.1　引言

附录 B 中规定了干扰测量仪对短脉冲的响应。还可以利用其他方法。尤其是可以用脉冲调制的射频载波来替代视频脉冲，而频谱密度可以用各种方法来测量。但精确地测量纳秒脉冲发生器的输出是困难的。本附录主要内容就是讨论这些问题。

G.2　幅度关系

当脉冲重复频率为 F 时，在干扰测量仪上给出相同响应的正弦波信号和脉冲信号之间的幅度关系 $R(f,F)$ 定义为：

$$R(f,F) = \frac{U}{S(f)} \tag{G1}$$

式中　$S(f)$——输入脉冲的频谱幅度，并假设这个脉冲的频谱幅度在通带内是均匀的；

U——输入的正弦波电压在调谐频率 (f) 时的均方根值。

注：任何一个施加电压 $V(t)$ 在频率 f 时的频谱幅度值由下列方程给出：

$$S(f) = 2\left|\int_{-\infty}^{+\infty} V(t)e^{-j2\pi ft}dt\right| \tag{G2}$$

当 $F = 100Hz$ 时，所要求的值如下：

在 0.15～30MHz 频段内，$R_{100} = 3160s^{-1}$（根据准峰值干扰场强测量仪 A 频段）。在 30～1000

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

MHz 频段内，$R_{100}=22700s^{-1}$（根据准峰值干扰场强测量仪C频段和D频段）。

R值容许有 ±1.5dB 的误差(当脉冲重复频率为 100 个脉冲/秒时)。

G.3 频谱幅度的测量

在理论上和实践上的研究表明精确的测量方法有下列几种（采用时应适当注意）。

G.3.1 面积法

被测的脉冲通过一个窄带滤波器馈送。带通滤波器的中心频率为设定在具有对称幅度特性和不对称相位特性的频率 f 处(可以使用放大器，但必须工作在线性区域内)。

测量带通滤波器的输出包络线 $A(t,f)$ 下的总面积（考虑各部分的符号），以便计算方程中的积分。

$$S(t)=\int_{-\infty}^{+\infty}A(t,f)\mathrm{d}t \tag{G3}$$

式中 $A(t,f)$——单个脉冲(以等效的正弦波输入电压表示)所引起的包络线的幅度。

使用这个方程时，低频接收机或干扰场强测量仪的中频放大器与一系列频率变换器一起使用，以便在脉冲的整个频谱范围内调谐。末级中频放大器的输出直接与示波器连接，进行脉冲面积的测量。

用这个方法测量的变化中可以看到：当脉冲的持续时间比频率 f 的周期短得多时，$S(f)$ 的量值是固定的，并等于脉冲强度的两倍。这里脉冲强度规定为该脉冲下的面积(伏秒)。如果使用合适的示波器(例如：对于纳秒脉冲则要求用取样示波器)，可以直接测量这个脉冲信号并用此信号不同部位的参数经计算而得到脉冲下的面积。

G.3.2 标准谐振线法

众所周知，谐振线的长度与传播时间 τ 相对应。将谐振线充电至电压为 V_0，然后通过一个与谐振线的特性阻抗相等的负载电阻放电，这里所说的谐振线还包括在开关外壳之内的充电的线段。在脉冲频谱的低频部分，频谱幅度 $S(f)$ 是恒定的，为 $2V_0\tau$，不随频率而变化，不受谐振线与负载电阻之间的某些杂散阻抗的影响，也不受有限的开关时间的影响。在被测频谱幅度保持不变的频率范围内，$S(f)$ 的值可直接由 V_0 和 τ 的测量值进行计算。

G.3.3 谐波测量

可以使用脉冲重复频率足够高的稳定的脉冲发生器的方法。

当脉冲的重复频率 F 超过测量仪的带宽时，测量仪可在脉冲的频谱中选出一根谱线。在这种情况下，频谱幅度可用下式确定：

$$\phi(F,K)=\frac{V_k}{F}=\frac{\sqrt{2}\cdot V}{F} \tag{G4}$$

式中 $V_k=\sqrt{2}\cdot V$表示 k 次谐波电压的峰值。于是可利用脉冲发生器来校准峰值干扰场强测量仪的脉冲响应。

G.3.4 能量法

这是目前正在研究的另一种方法，它是把一个热源(电阻器)所产生的功率与脉冲发生器所产生的功率进行比较，但与上述三种方法相比，这种方法的精确度稍低。但这个方法在频率约为 1000MHz 时，使用是有利的。

G.4 脉冲发生器的频谱特性要求

校准用的脉冲信号发生器应具有下列特性。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

G.4.1　为了确定是否符合本章第 4 节中的二. 1.(4) 脉冲响应之①款的要求，脉冲的频谱幅度误差不超过 ±0.5dB。

G.4.2　脉冲重复频率的误差不超过 1%。

G.4.3　为确定是否符合本章第 4 节中的二. 1.(4)脉冲响应之②款脉冲的要求，频谱幅度不应受其重复频率变化的影响。

G.4.4　为确定是否符合本章第 4 节中的二. 1.(4)脉冲响应之①和②款，脉冲的频谱在测量仪器的通带内应是均匀的。达到下述之要求，则认为是均匀的：

G.4.4.1　如果频谱随重复频率的变化在通带内基本上是线性的，并且在 −6dB 通带内频谱的不平度不超过 0.5dB。

G.4.4.2　如果频谱在干扰强场测量仪的调谐频率的两侧是平滑下降，那么它在 −6dB 电平处的频谱宽度至少比干扰强场测量仪 −6dB 处的带宽要大五倍。

上述两种情况都是指在调谐频率的频谱幅度值。

附录 H　准峰值干扰场强测量仪特性对脉冲响应的影响

重复频率高时，脉冲响应电平主要取决于带宽的大小，而重复频率低时，时间常数起主要作用。*由于时间常数的允差尚未规定，所以推荐允差为 20%。*

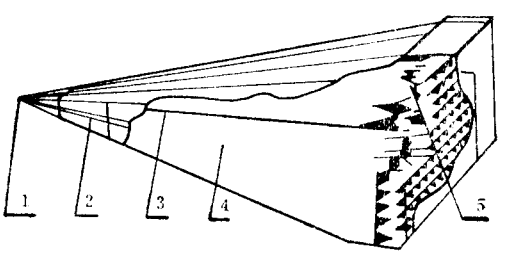
频率很低时，应特别重视过载系数不足所引起的效应。利用前述的带宽和时间常数，对孤立脉冲进行精确测量时所需的过载系数必需得到满足。

通过检验仪表指示范围两端的脉冲响应曲线，可以查出检波器可能出现的非线性现象。关于这一点，最临界的重复频率很可能在 20～100Hz 的频率范围内。

附录 I　一种新型的横电磁波室

如前所述，横电磁波室（TEM Cell）是进行电磁兼容（EMC）测量的重要装置之一。它具有一系列优点，但也存在一定局限性。首先是装置的测试容积与使用频率上限成反比（上限频率取决于高次模的出现），因而使用频率不会太高，一般为几百兆赫以下。同时，由于采用对称带线结构，有效使用容积只是可用容积的 1/2，这样，限制了测试空间的充分利用。

近几年来，一种新型的可模拟开阔场地测试的横电磁波室已研制成功。它基本克服了一般横电磁波室的局限性，使工作频率范围扩展为 DC～几千兆赫。故称为千兆赫横电磁波室（GTEM Cell）。该装置由一段矩形喇叭状带线组成，内导体偏置为 3/4 腔体高度，终端呈球面状，并装有 50 欧姆大功率负载电阻和锥形负载，用于分别吸收低频及高频功率。图 18-I1 示出了简单结构。



1.输入端口　2.矩形喇叭状带状传输线　3.偏置内导体　4.测试容积　5.球面状终端锥形负载

图　18-I1　GTEM Cell 示意图

这装置给出了最佳工作容积、最小的负载

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

效应，并可与大多数国际 EMI 标准兼容和相关。

目前，用于印制电路板及台式仪器 EMC 测试的小、中型 GTEM 室已投放市场，而用于框架式设备及汽车 EMC 测试的大型 GTEM 室，也正在试制中。

下表给出了英国 Belling Leelntec 公司生产的几种 GTEM 室的主要性能：

型　　号	GTEM500	GTEM1500HP	GTEM1500HP/Hv
测试容积最大高度	500mm	1500mm	1500mm
测试对象最大尺寸（长×宽×高）	300×300×200(mm)	1000 × 1000 × 500(mm)	
装置的外形尺寸	2500 × 1000 × 670(mm)	6500 × 3000 × 2000(mm)	
最大输入功率(CW)	10W	1kW	1kW
CW 场强	45～135(V/m)	150～450(V/m)	
最大脉冲电压（5200ns. EXO-NEMP）	15kV	15kV	>80kV
最大脉冲场强	30～90(k V/m)	10～30(kV/m)	>50～150(kV/m)
可使用频率范围	0～>5GHz(18GHz)		
场不均匀性	±3dB	±5dB	±5dB
反射损耗/电压驻波比	>20dB/<1.22		

GTEM 室的发现，将进一步促进 EMC 测试技术的发展，并对屏蔽室、微波暗室某些应用技术提出挑战。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第19章 示 波 器

第1节 综 述

示波器是一种测量、观察、记录用的仪器。它以直观、准确、简便之特点广泛被应用。在电子测量仪器中它属通用仪器之一，占据着相当重要的地位。

示波器是以短暂扫迹的形式显示一个量的瞬时值的仪器。它利用一个或多个电子束的偏转，得到表示某变量函数瞬时值的显示。直观表示二维、三维及多维变量之间的瞬态或稳态函数关系、逻辑关系，以及实现对某些物理量的变换或存储。示波器已成为一种直观、通用、精密的测量工具，广泛地应用于工农业生产、科研、军事、教育各个领域中，进行对电量和许多非电量的测试、分析、监视等。示波器的发展速度和销售额都远远超过其它电子测量仪器。据近几年的统计，示波器年销售额大约占整个电子测量仪器总销售额的百分之十三左右。

示波器发展至今已有一百多年的历史。早在1878年，英国的W. 克鲁克斯发现了阴极射线，并且用磁铁使真空管中的阴极射线产生了偏移。到了1897年，德国的K. F. 布劳恩研制成第一支冷阴极静电偏转电子射线示波管。同时用它制作了一台“可变电流观察仪”，这台原始的装置就是最早的“示波”仪器。1931年，美国通用无线电公司利用曼弗雷德·冯·阿德奈研制的示波管制成了示波器。这种示波器分为阴极射线管和装有聚焦旋钮的主机两部分。美国艾伦·B·杜蒙对现代示波器的发展起了重要作用，他在1930年至1931年间研制成功多种示波管，并在1932年制成了他的第一台示波器。1933年杜蒙推出了一体化的示波器，1934年初又发表了137型示波器。这种新型的示波器带有测量坐标片，可利用前面板的旋钮连续调扫描和聚焦，堪称现代示波器的雏型。此后，杜蒙不断致力于示波器的改进，为使示波器成为一种重要的测量工具做了大量工作。1946年美国Tektronix公司创立，成为示波器开发生产的主要厂商。另外，美国HP公司、荷兰Philips公司、日本岩通公司、松下公司等都对示波器的研制和生产起了很大的推动作用。

从第一台商品示波器出现到今天，已有50余年的历史，其间的发展，大致可分为三个阶段。

20世纪30～50年代是电子管示波器阶段。到1958年示波器的带宽达到了100MHz后，便长期停滞不前。1957年美国休斯飞机制造公司研制成功了记忆示波器；1959年美国卢米特龙公司生产出由R. 休格曼研制的取样示波器。

20世纪60年代是晶体管示波器阶段。由于采用了晶体管器件，示波器的带宽在驻足9年之后，终于突破了100MHz达到150MHz，到了1969年又跃至300MHz。同年，取样示波器的带宽达到了18GHz的高峰。

20世纪70年代是集成化示波器阶段。集成电路技术为示波器的小型化和向高性能、高可靠发展创造了条件。1971年问世的微处理器，更为示波器的智能化增添了双翅。1971年，示波器的带宽提高到500MHz，1979年达到了1GHz的高峰。1972年，第一台数字存储示波器诞生，它对示波器的发展产生了重大的影响。1973年，同时出现的逻辑状态分析仪和逻辑定时分析仪标志着“示波”测量已经跨入了数据域。1974年发表了带微处理器的示波器。从此，示波器的发展进

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

入了智能化的崭新的阶段。80年代以来，示波器正朝着数字化、智能化方向飞速地发展，示波器面貌日新月异，新产品层出不穷。

1949年前，我国示波器工业是一片空白，仅有少数厂商做一些进口示波器的维修工作。1950年，我国开始研制示波器，并于1951年初完成了实验样机。当时这台用于观察"生物电信息"的示波器成为我国自己研制的第一台示波器。1951年上海成立新建电仪工业社，当时职工仅6人，从事示波器和其它电子测量仪器的开发和生产。从1951年开始，先后研制生产了103型、105型、113型和125型示波器。1957年，新建电仪工业社更名为新建电子仪器厂，1967年又改名为上海无线电二十一厂。示波器的"新建"牌商标一直沿用至今。

为了科研和生产的需要，解放初期一些研究单位也曾进行过示波器的研制，但都未形成批量生产能力。随着我国电子工业的发展，在70年代中期，国内示波器生产厂家曾一度猛增到150多家。经过多年的调整，到1986年统计，示波器生产厂尚有42个，其中主要生产厂有9个，年产各类示波器3.3万多台。从技术发展水平上看，1960年前，国内示波器主要产品是通用电子管示波器，带宽不超过5MHz；到1965年，使用国产晶体管的示波器带宽达到了30MHz；紧接着，解决了小型化、高集成度、频率响应、双时基扫描等技术难关，国产示波器产生了新的飞跃，向多功能、高指标的方向发展。1979年开发生产了带宽300MHz的SR13A型示波器；1979年研制生产了带宽为12.4GHz的SQ20型取样示波器；1980年研制生产了带宽30MHz，记录速度为2div/μs的SJ6、SJ7型记忆示波器；1981年研制生产了灵敏度为10μV/div的SG1型高灵敏度

表19-1 示波器发展水平一览表

类别 \ 厂商	Tek公司（美国）	HP公司（美国）	Philips公司（荷兰）	岩通公司（日本）	我国目前水平
宽带示波器	7104	1722B	PM3263	SS5421	SR13A
带宽	1000MHz	275MHz	100MHz	350MHz	300MHz
取样示波器	7000/7511	180/1811A		SAS-601B	SQ20
带宽	14GHz	18GHz		12.4GHz	12.4GHz
记忆示波器	7934	1744A	PM3266	MS-5111	SJ6
带宽	500MHz	100MHz	100MHz	50MHz	30MHz
最高记录速度	4000cm/μs	1800cm/μs	1000cm/μs	100div/μs	2div/μs
高灵敏度示波器	7000/7A22	180/1806A		SS8120/V811	SG1
最高灵敏度	10μV/div	100μV/div		10μV/diV	10μV/div
数字存储示波器	11402	54111	PM3350		XJ4451
最高数字化速率	1GSa/s	1GSa/s	100MSa/s		20MSa/s
信息处理示波器	7854	1980			
带宽	400MHz	100MHz			
二线示波器	7844			DS-8122	
带宽	400MHz			100MHz	
逻辑分析仪	DAS9200	16500	PM3500	SI-4602	SL4
时钟频率	2000MHz	1000MHz	100MHz	20MHz	5MHz
通道数	540	400	16	34	16

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

示波器；1983年投产了存储带宽为 50kHz 的 SS1 型数字存储示波器；1982年开发生产了16通道的 SL4 型逻辑分析仪；1975年开始生产电视专用示波器(包括矢量示波器、波形监视示波器、选行示波器)。在示波器的研究开发生产中，上海无线电二十一厂、红华无线电厂、内蒙古电子仪器厂、南华无线电厂、哈尔滨电子仪器厂、前卫无线电厂、辽宁无线电二厂等都做出了自己的贡献。

近年来，示波器发展极为迅速。目前，世界主要国家以及我国示波器发展的最高水平见表19-1。

为了进一步加以分析和说明，现就几种主要种类示波器的发展现状与发展趋势简述如下。

(一) 通用(宽带)示波器

它是最早发展起来的示波器。被测信号输入通道进行放大后，加至示波管的垂直偏转板。扫描电路产生锯齿波加至示波管的水平偏转板，将被测信号稳定地显示在示波管屏幕上。该种示波器应用面最为广泛，凡涉及电子技术的地方几乎都离不开它。

频带宽度为 100MHz 以下，Y 轴灵敏度为 2～10mV/div 的示波器一般称为中、低档通用示波器。它主要用于现场维修、生产线调试及实验室一般性测量等方面。需求量很大，占示波器总销售量的一半以上。目前，该类示波器正向集成化(目前集成度达百分之八十以上)、多功能(多通道显示、交替触发、延迟触发、双滞后扫描等)、精度高(测量准确度由 5% 提高到 0.5%)，成本低、体积小等方向发展。

中低档示波器的可靠性、功能、性价比等，更能综合地反映一个国家的示波器基础技术水平。专用集成电路的发展和整体式结构的采用为示波器的小型化、便携化创造了条件，各示波器厂商间的竞争主要在价格和功能方面。近几年，日本厂商从低档示波器入手 以价廉、可靠打入世界市场(包括美国市场)。过去一贯着重于高指标示波器研制的 Tek 公司，立即着手设计了有较好性能价格比的 2200 系列示波器。该种示波器机械另件减少了百分之六十五，电缆接头减少了百分之九十。

一般频带宽度为 100MHz 以上的示波器，称为高档通用示波器。它主要用于科研、军事等领域。由于频带的增宽，需解决示波管、集成电路、微带多层板，接插件等一系列技术和工艺难题。所以它代表着一个国家示波器发展的技术水平。目前，多数国家频带宽度仅做到 300MHz 左右，只有美国 Tek 公司遥遥领先。早在 1971 年，它就试制出带宽为 500MHz 的示波器(7904 型)。后又经过八年多的努力，一种被称作微通道板的示波管于 1979 年在结构上取得了新的突破，以及采用以砷化镓、磷化钾为材料的、特征频率 f_T 达到几千兆赫的线性集成电路试制成功后，才使示波器的频带宽度扩展到 1000MHz (7104 型)。看来，提高带宽所需的技术、工艺和元器件的条件还有潜力可挖。预计带宽为 2GHz 的通用示波器不久即可问世。

近年来推出的高档示波器不同于早期的高档示波器，它能提供更多的新功能，如多通道显示、光标测量、CRT 读出、液晶显示、自动设置等。如美国 Tek 公司 2400 系列产品都具有 4 通道、12 踪迹线显示功能；ΔV、ΔT、$1/\Delta T$ 的光标测量；CRT 读出；面板设定显示；垂直和水平量程的自动调定，及可编程的自动测量。其它高档的便携式示波器产品还有日本日立公司的 V1150 型 150MHz 示波器，4 通道、8 踪显示、具有光标读出、面板设定显示功能。荷兰 Philips 公司的 PM3295/PM3296A 型 400MHz 三通道示波器，具有 ΔT、ΔV 光标显示档级自动设置功能，并

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

具有通用接口输出，及远红外遥控功能。

（二）高灵敏度示波器

高灵敏度示波器属于通用示波器门类。但由于它的指标和使用的独特性，有必要分出来加以说明。

高灵敏度示波器是一种灵敏度较高（一般为 μV 量级），频带宽度较窄（一般为 1MHz）的示波器。其Y轴具有高增益的直流放大器，它能测量和显示一般示波器不能观察到的各种微弱的低频信号，也能同时观察和测定两种不同信号的瞬变过程，并进行对比、分析和研究。还可同时差分输入 A、B 端，将外界幅度较大的同相干扰强信号抑制掉，显示出有用的低频微弱信号。高灵敏度示波器主要用于科研、军事、工业等部门；对医学、生理研究有其独特的用处，是必不可少的仪器。其主要指标有噪声、漂移和同相抑制比。60 年代，美国 Tek 公司就攻克了器件和电路的技术关键，研制出低漂移、低噪声的场效应对管，采用了浮动电源电路等，使 7000 系列 7A22 插件的指标达到 10μV/div。至今，最高指标仍保持在该水平上，未有多大进展。近来，采用数字电路，可望使高灵敏度示波器的性能指标有所提高。

另有信息表明，高灵敏度、宽频带的示波器也有相当的市场。随着电子技术的发展，该种示波器将突破灵敏度既要高、频带又要宽的技术难关，得到应有的发展。

（三）取样示波器

由于通用示波器的带宽受到各种因素的限制，为了观察和测试高频或超高频信号（一般为 1000MHz 以上的信号）而引入了新的技术——取样技术。将高频的重复性的周期信号、经过取样（取样速率可调节），变换成低频的重复性的周期信号，再运用通用示波器的原理进行显示和观测，从而形成一种新的示波器，这就是取样示波器。

取样示波器主要用于国防、科研等部门，它问世后发展很快。早在 1969 年 HP 公司试制的 1811A 型取样示波器其频带宽度就达 18GHz。后来一度进展缓慢。其主要原因有二：一是它只能观测重复性的周期信号（而实际需要观察的快速波形多为瞬态的单次脉冲），应用范围受限；二是所显示的波形经过取样后会附加失真。因此，随着通用示波器频带宽度的提高，它已退居次要地位。尽管荷兰飞利浦（Philips）公司是研制生产取样示波器的鼻祖，在 70 年代已率先退出这一市场。美国 HP 公司也于 1980 年停止了取样示波器的生产。近几年，由于光纤通信技术的兴起和发展，取样示波器又有所回升。另外，取样技术非常适用于时域反射仪和 A/D 变换器，在模数、数模变换方面，今后必然有新的进展。

（四）记忆示波器

记忆示波器是一种借助记忆示波管以及相应的电路，将被测信号记忆下来（在关机后，还可记忆相当一段时间）的示波器。主要用于记录瞬变的单次信号。此种示波器给波形的分析研究带来极大的方便。

在 1957 年，美国休斯公司已研制出记忆示波器。由于记忆示波管价格昂贵、易烧坏、使用寿命短、存储记录速度慢、等效带宽低等缺陷，使记忆示波器的应用受到制约，进展缓慢。70 年代以来，记忆示波管的制造技术有了新的突破，存储方式不断更新。在早期双稳态存储方式的基础上，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

又研制出了可变余辉存储和快速转移存储方式。当前，采用快速转移存储管的记忆示波器的存储记录速度已达4000cm/μs、存储带宽达500MHz (Tek79349型)。随着记忆示波管技术和工艺水平的不断提高，它的寿命已基本上接近普通示波管的水平，价格也已显著下降。在性能近似的情况下，国外记忆示波器的价格只比通用示波器贵三分之一左右。但近年来，随着数字电路和数字技术的发展，数字存储示波器像雨后春笋一样发展迅猛，使记忆示波器的发展受到了一定的抑制。

（五）数字存储示波器

数字存储示波器是随着数字电路的发展而发展起来的一种具有存储功能的新型示波器。它与记忆示波器一样，都具有记录功能，但其工作原理却截然不同。它采用数字电路，将输入模拟信号用A/D变换器，变换成数字信息，存储于存储器中。待需读出时，再通过D/A变换器，将数字信息变换成模拟波形显示在示波管上。与记忆示波器相比，数字存储示波器具有存储时间长；能捕捉触发前的信号；可通过接口与计算机相连接等特点。正是由于数字存储示波器引入数字处理技术，并与计算机一起构成联机系统，使其对于复杂的单次瞬变信号的记录存储及分析研究非常有效，在各行各业(包括电子、机械、纺织、水力以及军事应用领域等)都有其广阔的发展天地。

近来，带有通用示波器功能的数字存储示波器相继出现。它既可以做为实时（Real time）示波器使用，又可以做为数字存储示波器使用，集两者优点于一身，深受用户的青睐。它每年以百分之二十以上的速度增长，大有替代模拟示波器之势。

数字存储示波器的发展依赖于新的数据采样技术的发展。实时采样技术由一般数字电路构成的A/D变换器发展到使用CCD（Charge Coupled Devices）技术，使变换速度大大提高。与此同时，非实时采样技术也逐步被采用。最近有两种重复取样技术——顺序取样(Sequential Sampling）和随机取样（Random Sampling)。非实时采样技术对观测和存储重复性的周期信号是极为有利的，可大大提高其频带宽度。美国Tek公司的2430型数字存储示波器，采用“实时取样”和“顺序取样”相结合的方法，使其达到150MHz的带宽和100MS/s的采样速度。荷兰Philips公司研制出新型的P^2 CCD电荷耦合器件，提高了变换速率，可存储30MHz的单次瞬变信号(PM3311型)。HP公司的54100型采用了“随机取样”技术，使有效带宽达到1GHz。

近年来，数字存储示波器的功能愈来愈多，如峰值检测功能、CRT读出、双光标测量，以及用于观察慢速信号的滚动显示等。可以预料，随着新的模数转换技术的出现和扫描变换技术的发展，数字存储示波器将克服存储带宽比较窄、价格较高等弱点，而获得更大的发展。

（六）逻辑分析仪(逻辑示波器)

逻辑分析仪是随着数字技术和计算机技术的发展而产生的一种崭新的测量仪器。主要用于科研、调试、检查、维修数字电路和计算机的软硬件。它在数字领域里的地位与示波器在模拟领域里的重要地位相当。示波器与逻辑分析仪的基本区别是：前者所显示与测量的是信号的形状及其参量值，而后者显示的则为信号的状态和它们之间的状态关系，亦即逻辑状态的关系。逻辑分析仪的特点还具有输入通道多（16、32……104通道等)、触发功能丰富(前触发、后触发等)、显示方式多样(定时、状态、map、graph、彩色显示等)的特点。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

逻辑分析仪面世时间不长，但发展速度却非常快。除示波器生产厂家外，一些计算机的厂家也参予了开发此类仪器。当前，逻辑分析仪主要发展方向是：获取速度(时钟采样频率)越来越高，如 Tek 公司的 DAS9100 和 DAS9200 的非同步频带至 2000MHz，DSA9100 的同步频带达 330MHz；通道数越来越多，如美国 Tek 公司的 DAS9100 最大获取通道数为 104 个、DAS9200 最大获取通道数为 540 个；显示功能越来越多，有状态显示、定时显示、map 显示、graph 显示、彩色显示等。还有些逻辑分析仪与计算机融为一体，更显示出强大的生命力和优越性。近来，国外逻辑分析仪以每年增长百分之二十到三十的速度发展，售价逐年下降，1988 年美国 Tek 公司推出了低价的 1230 型模块式扩展通用逻辑分析仪，100MHz 定时/25MHz 状态分析，最多可加三块模块，通道数可从 16 通道扩展到 64 通道。16 通道为 2795 美元，32 通道为 3995 美元，48 通道为 5195 美元，64 通道为 6395 美元。可以预计它有着广阔的发展前途。

（七）电视专用示波器

随着 40 年代电视的出现，促进了电视专用测试设备的发展，并成为电子测量仪器的一个分支。电视专用示波器包括矢量示波器、波形监视示波器、选行示波器等。主要用于电视和电视设备的科研生产厂家及电视台、电视转播车、卫星转播站中。

根据使用需要，它由单一功能的专用示波器正在发展成为三者合一的多功能的波形/矢量示波器；根据安装需要，它由立式发展成各种便携式、上架式、组合式等。预计它将朝着高精度、高分辨率、多功能、智能化的方向发展。

（八）数字化、智能化示波器

微处理器已广泛地应用于电子测量仪器。我们把带有微处理器的示波器通称为数字化、智能化示波器。它是示波器继集成化之后的又一个新的发展阶段，是示波器发展的方向。

示波器数字化的初级阶段只是用数字字符显示被测信号的信息内容，现在已把数字技术和微处理器应用于信号的检测、处理、显示整个过程中，迈上了智能化的台阶。随着微处理器的发展，示波器智能化的程度也会愈来愈高。

微处理器在示波器中应用的名目、方式、功能繁多，控制能力各异。一般是根据设计要求编排程序并重新设计电路程式，来替代操作者的部分计量与重复测量工作。它对增加测试功能、简化重复操作、减少测试时间、提高测量精度等都有显著的成效。目前，带微处理器的智能化示波器相继问世。这类示波器的控制操作趋向自动化；显示读出趋向数字化；信号处理趋向智能化。

近来，美国 HP 公司 1980 A/B 型示波器的推出，将微处理在示波器中的应用推向了新的阶段。该仪器实现了自动测量，面板上只设置一只控制开关，垂直通道衰减器的输入方式与衰减范围的转换都是由微处理器控制的。输入方式的转换是将接触键盘所确定的方式通过闩接口实现的。前置放大器的控制是通过 16 通道的数模转换器来完成的。触发电路的触发电平与扫描电路的扫描时间的设定均由数模转换器控制，并运用触发标志，使其具备了自动显示功能。

随着微处理器性能的提高，价格的下降，以及设计人员对其熟练的掌握和运用，各类数字化、智能化示波器必将很快投放市场，使示波器向高精度、高可靠、高自动化方向迈出新的一步，揭开新的篇章。

当前国内外示波器的主要性能指标，列表对比如表 19-2。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 19-2　国内、外示波器主要性能指标对比

指　　标	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
Y轴输入阻抗	电阻：一般为 1MΩ ±3% 电容：根据频带宽度不同而不同。误差 ±2pF	电阻：一般为 1MΩ ±5% 电容：根据频带宽度不同而不同，一般小于所规定的值
Y轴最大输入电压	400V	250V
Y轴偏转系数范围与误差	最小偏转系数：2mV/div 误差：±2%	最小偏转系数：10mV/div 误差：±5%
Y轴偏转系数微调比	大于 2.5:1	大于 2.5:1
Y轴偏转系数扩展	扩展：×5 或 ×10 误差：±5%	扩展：×5 或 ×10 误差：±10%
Y轴频带宽度	最高频带宽度 0～1000MHz	最高频带宽度 0～300MHz
上升时间	最小上升时间 0.35ns	最小上升时间 1.16ns
上冲	小于 2%	小于 5%
漂移	最小偏转系数为 10μV/div 时： 短期漂移：5μV/min 长期漂移：10μV/h 温度漂移：50μV/℃	最小偏转系数为 10μV/div 时： 短期漂移：10μV/min 长期漂移：50μV/h
噪声	最小偏转系数为 10μV/div 时： 小于 16μV	最小偏转系数为 10μV/div 时： 小于 20μV
共模抑制比	最小偏转系数为 10μV/div 时： 大于 10^5:1	最小偏转系数为 10μV/div 时： 大于 5×10^4:1
通道隔离度	50:1	25:1
扫描时间系数范围与误差	误差：±2%	误差：±5%
扫描时间系数扩展误差	扩展 ×10 误差：±5%	扩展 ×10 误差：±10%
扫描时间系数微调比	大于 2.5:1	大于 2.5:1
触发(同步)门限	内：0.2 格 外：0.2 伏	内：0.5 格 外：0.5 伏
延迟晃动比	$1:2\times10^4$	$1:10^4$
校准信号幅度误差	±1%	±2%
校准信号频率误差	±1%	±2%
探极输入阻抗	电阻：1MΩ 或 10MΩ 误差 ±3%	电阻：1MΩ 误差 ±5%
探极最大输入电压	400V 或 500V	250V
探极衰减比	1:1；10:1；100:1	1:1；10:1；100:1
最大记录速度	4000cm/μs	2div/μs
余辉时间可变范围	30s～1min	30s～1min
开机存储时间	十几分钟	几分钟
关机存储时间	十几天	几天
最高数字化速率	已达 1GS/s	20MS/s

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表 19-2

指　　标	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
垂直分辨率	一般为 8bits	一般为 8bits
水平分辨率	一般为 10bits	一般为 10bits
记录长度	一般为 1K、2K、4K	一般为 1K
重复存储带宽	已达 1GHz	20MHz
单次存储带宽	已达 100MHz	20MHz
逻辑分析仪输入通道数	已达 540	16
最高时钟频率	已达 2000MHz	5MHz
矢量相位范围与误差	误差为 1° 范围 0～360°	误差为 3° 范围 0～360°
正交相位	0.25°	2°
增益控制器相移	1°	3°
增益稳定性	2%	5%
色同步幅度相移	2°	5°
固有微分增益	0.5%	1%
固有微分相位	0.5°	1°
垂直满度误差	2%	3%～5%

第2节　分　　类

示波器的分类按不同的需要可有不同的分类。有的按特点分类;有的按使用范围分类;有的根据发展规划的要求分类;有的根据标准或检定规程的制订而分类。在此,为了书写方便,主要是按其特点进行分类,仅供读者参阅。

根据目前示波器的特点和发展现状,可分为以下九类:

1. 通用示波器——通用(宽带)示波器、简易示波器、示教示波器、高灵敏度示波器、慢扫描(超低频)示波器、多线示波器、多踪示波器等。

2. 取样示波器——高阻取样示波器、低阻取样示波器、时域反射仪等。

3. 存储示波器——记忆示波器、数字存储示波器等。

4. 逻辑分析仪——逻辑示波器、逻辑分析仪等,详见本书第 28 章。

5. 数字、智能化示波器——数字读出示波器、数字处理示波器、智能化示波器等。

6. 电视专用示波器——矢量示波器、波形监视示波器、选行示波器等。

7. XY 示波器——XY 示波器、立体声示波器等。

8. 显示器——CRT 终端、监视示波器等。

9. 特种示波器——高压示波器、行波示波器、雷达示波器等。

另外,还有示波器校准仪。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第 3 节　示波器技术指标汇总表

示波器技术指标基本上按门类进行汇总。但对存储示波器类来说，考虑到记忆示波器与数字存储示波器差异较大，将予以分列。

汇总表中可看出：各类示波器的技术指标虽有些不同之处，但也有相当一部分是相同的。列出此表可以一目了然，对其相同的指标，参阅前述，不再重复。

汇总表中所列的技术指标较为齐全。具体到某个产品，有些技术指标是必须制订的，但有些指标可据该产品的要求而定。

对有些正在发展的门类（如逻辑分析仪、数字存储示波器等）来说，随着其迅速的发展，功能、技术指标也在不断地增加和提高。在此，只能根据目前掌握的资料，列出最基本的指标。

电子测量仪器的分类有所交叉。如逻辑分析仪根据 IEC TC66 的分类，它是归为 SC66C 的示波器门类中。但它又是用于测试数字电路和计算机电路用的，又可划为数字域仪器门类中。为了既保持分类的完整性，又防止叙述的重复性，现将逻辑分析仪的技术指标列入该示波器技术指标汇总表中，但具体每个技术指标和测试方法的详述请参阅第 28 章，在此不再赘述。

表 19-3　示波器技术指标汇总表

序号	技术指标	通用示波器	取样示波器	记忆示波器	数字存储示波器	数字、智能化示波器	电视专用示波器	XY示波器	显示器	特种示波器	逻辑分析仪
1	Y轴位移范围	●	●	●	●	●		●	●	●	
2	Y轴动态范围	●	●	●	●	●		●	●	●	
3	Y轴位移线性误差	●	●	●	●	●		●	●	●	
4	Y轴输入阻抗	●	●	●	●	●		●	●	●	
5	Y轴最大输入电压	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
6	Y轴偏转系数范围与误差	●	●	●	●	●		●	●	●	
7	Y轴偏转系数微调比	●	●	●	●	●		●	●	●	
8	Y轴偏转系数扩展	●	●	●	●	●		●	●	●	
9	Y轴串接偏转系数	●									
10	Y轴幅度线性误差	●	●	●	●	●		●	●	●	
11	Y轴频带宽度	●	●	●	●	●		●	●	●	
12	上升时间	●	●	●	●	●		●	●	●	
13	上冲	●	●	●	●	●		●		●	
14	阻尼	●	●	●	●	●		●		●	
15	下垂（上斜）	●	●	●	●	●		●		●	
16	脉冲顶部不平度	●	●	●	●	●		●		●	
17	直流特性	●		●	●	●		●		●	
18	视在信号延迟时间	●	●	●	●	●		●		●	
19	通道延迟时间差	●	●	●	●	●		●		●	
20	漂移	●	●	●	●	●		●		●	
21	噪声	●	●	●	●	●		●		●	
22	共模抑制比	●	●	●	●	●		●		●	
23	通道隔离度	●	●	●	●	●		●		●	
24	X轴位移范围	●	●	●	●	●		●	●	●	
25	外触发输入电阻	●	●	●	●	●		●	●	●	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表 19-3

序号	技术指标	通用示波器	取样示波器	记忆示波器	数字存储示波器	数字、智能化示波器	电视专用示波器	XY示波器	显示器	特种示波器	逻辑分析仪
26	X偏转系数与误差	●	●	●	●	●		●	●	●	
27	X轴频带宽度	●		●	●	●		●	●	●	
28	XY 相位差	●	●	●	●	●		●	●	●	
29	扫描时间系数范围与误差	●	●	●	●	●		●	●	●	
30	扫描时间系数微调比	●	●	●	●	●		●	●	●	
31	扫描时间系数扩展倍率与误差	●	●	●	●	●		●	●	●	
32	扫描线性误差	●	●	●	●	●		●	●	●	
33	延迟时间范围	●			●	●					
34	延迟时间刻度线性误差	●			●	●					
35	触发(同步)电压范围	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
36	触发(同步)门限	●	●	●	●	●		●	●	●	
37	触发(同步)频率范围	●	●	●	●	●		●	●	●	
38	最高触发(同步)频率	●	●	●	●	●		●	●	●	
39	时基晃动	●	●	●	●	●		●			
40	延迟晃动比	●			●	●					
41	时基信号输出	●		●	●	●					
42	边缘直线度偏差	●	●	●	●	●		●		●	
43	垂直度偏差	●	●	●	●	●		●		●	
44	平行度偏差	●	●	●	●	●		●		●	
45	Z轴输入电阻	●						●	●		
46	Z轴最大输入电压	●						●	●		
47	Z轴增辉电压与极性	●						●	●		
48	Z轴最高调辉频率	●						●	●		
49	校准信号幅度误差	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
50	校准信号频率误差	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
51	探极输入阻抗	●	●	●	●	●		●	●	●	
52	探极最大输入电压	●	●	●	●	●		●	●	●	
53	探极衰减比	●	●	●	●	●		●	●	●	
54	探极上升时间	●	●	●	●	●		●	●	●	
55	视在功率	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
56	消耗功率	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
57	驻波比		●								
58	像点拖曳		●								
59	最大记录速度			●							
60	余辉时间可变范围			●							
61	开机存储时间			●							
62	关机存储时间			●							
63	最高数字化速率				●						
64	垂直分辨率				●						
65	水平分辨率				●						
66	记录长度				●						
67	重复存储带宽				●						
68	重复存储上冲				●						
69	重复存储上升时间				●						
70	单次存储带宽				●						

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表 19-3

序号	技术指标	通用示波器	取样示波器	记忆示波器	数字存储示波器	数字、智能化示波器	电视专用示波器	XY示波器	显示器	特种示波器	逻辑分析仪
71	前/后触发				●						
72	峰值检测				●						
73	平均功能				●						
74	滚动显示				●						
75	游标测量误差				●	●					
76	外时钟				●						
77	记录输出				●						
78	存储方式通道隔离度				●						
79	存储方式共模抑制比				●						
80	存储方式 XY 相位差				●						
81	显示功能					●					●
82	CRT 读出功能					●					●
83	自动控制功能					●					
84	信号处理功能					●					
85	矢量相位范围与误差						●				
86	正交相位						●				
87	增益控制器相移						●				
88	增益稳定性						●				
89	色同步幅度相移						●				
90	固有微分增益						●				
91	固有微分相位						●				
92	垂直满度误差						●				
93	宽带						●				
94	亮度滤波器						●				
95	低通滤波器						●				
96	微分滤波器						●				
97	色度滤波器						●				
98	Y轴瞬态特性						●				
99	箝位特性						●				
100	触发(同步)特性						●				
101	扫描时间系数误差						●				
102	扫描时间系数扩展的误差						●				
103	选行特性						●				
104	Y-X 偏转系数							●	●		
105	Y-X 频带宽度							●	●		
106	Y-X 相移							●			
107	“双 V”“双 H” 功能							●			
108	脉冲输入显示特性								●		
109	输入通道数										●
110	输入阻抗										●
111	输入逻辑阈值										●
112	最大输入电压										●
113	输入数据时差										●
114	输入灵敏度										●
115	数据限定输入										●

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表 19-3

序号	技术指标	通用示波器	取样示波器	记忆示波器	数字存储示波器	数字、智能化示波器	电视专用示波器	XY示波器	显示器	特种示波器	逻辑分析仪
116	触发限定输入										●
117	最高时钟速率										●
118	建立时间										●
119	保持时间										●
120	时钟最小脉冲宽度										●
121	异步方式										●
122	同步方式										●
123	锁定方式										●
124	锁定方式时的最小脉宽										●
125	延迟触发										●
126	序列触发										●
127	毛刺触发										●
128	毛刺滤波器										●

第 4 节 技术指标及测试方法

（一）通用示波器的技术指标及测试方法

● 若无特殊说明本节所列参数定义及测试方法均引自 GB6586《通用阴极射线示波器技术条件》和 GB6585《通用阴极射线示波器测试方法》。

● 被测示波器及测试设备均应在各自产品标准中规定的预热时间后进行测试。

● 在测试时，观察者应正视示波器屏幕，观察距离一般为 25±10cm。

1. Y 轴位移范围

Y displacement range

图像作垂直方向移动的范围。

指标水平：至少应能使图像移至屏幕的二边缘处。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 19-1。

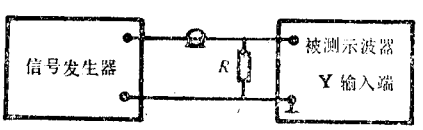


图 19-1

（2）测试说明和要求

信号源一般用 1kHz 正弦波发生器。

（3）测试步骤

输入耦合置于“AC”，时间系数置于合适档，调节信号源输出电压，达到检验工作面高度，并居中稳定显示，然后调节垂直位移，在波形无明显失真情况下，读取上、下两限的最大可移的幅度。

2. Y 轴动态范围

Y dynamic range

图像无失真时，显示幅度的范围。一般表示为示波器带宽的上限值能够显示到多少幅度。

指标水平：一般为 2～3 倍的有效工作面。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 19-2。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

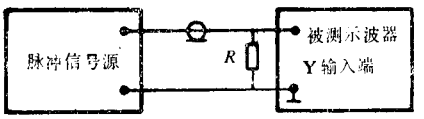


图 19-2

(2) 测试说明和要求

脉冲信号源输出波形应具有中基准脉冲特性。

(3) 测试步骤

输入耦合置于"AC"，时间系数置于合适档，调节信号源输出电压，约达到检验工作面高度的80%的居中稳定显示。调节位移按图19-3所示，分别读取正、负脉冲上冲的变化 Δd 不超过3%时的位移幅度 A_p 与 A_b，则其动态范围 ΔS 由下式求得：

$$\Delta S = A_0 + A_b + A_p$$

式中 ΔS——动态范围值；

A_0——波形为检验工作面80%时幅度(格)；

A_b——波形下移后的幅度(格)；

A_p——波形上移后的幅度(格)。

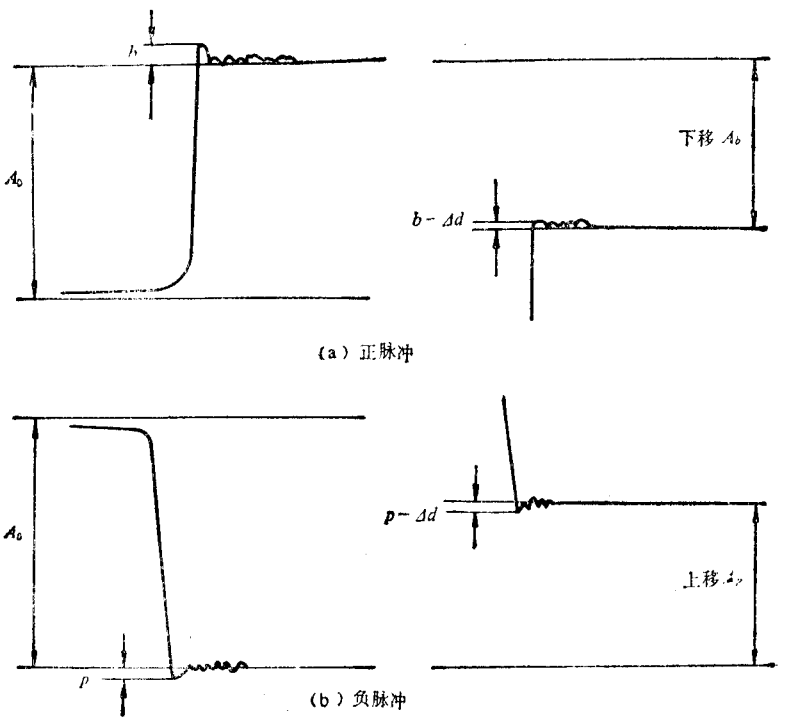


图 19-3

3. Y 轴位移线性误差

Y displacement linear error

在检验工作面内，由于图像位置的变化而引起的幅度变化的相对误差。

指标水平：一般小于5%。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图19-1。

(2) 测试说明和要求

信号源一般用1kHz正弦波。R 为匹配电阻。

本特性应按产品标准中规定的垂直偏转系数及频率范围进行。

(3) 测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

输入耦合置于“AC”，时间系数置于合适档，按规定的频率调节信号源输出电压，使幅度达到检验工作面的50%并居中稳定显示。然后调节“位移”，使波形的上边及下边分别置于检验工作面的上限及下限，读测对应的显示高度(长度)。其位移线性误差为：

$$\left|\frac{b-a}{a}\right| \times 100\% \text{或} \left|\frac{c-a}{a}\right| \times 100\%$$

式中 a——波形为检验工作面50%时的幅度；

b——波形上移后的幅度；

c——波形下移后的幅度。

取两者中的大值。

4. Y 轴输入阻抗 *R&C*

Y input impedance

在示波器输入端规定的直流电阻值和并联电容值。

指标水平：电阻：一般为 1MΩ 误差±5%；±3%等。

电容：根据频带宽度的不同而不同。小于所规定的值或给出规定值的允许范围。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-4。

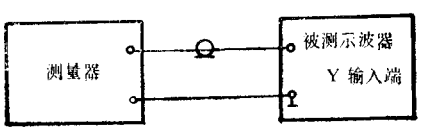


图 19-4

(2) 测试说明和要求

测量输入电阻时，测量器为直读式电阻表或直流电桥。在各Y轴偏转系数档级上测试。

测量输入电容时，测量器为直读式电容表或交流电桥在不小于1kHz频率下，在各Y轴偏转系数档级上测试。

(3) 测试步骤

按图 19-4 连接。被测示波器处于工作状态，由测量器上分别读取输入端的电阻值与电容值。其输入电阻和输入电容的误差由下式求得：

输入电阻的误差为：$\frac{R_0-R}{R} \times 100\%$

输入电容的误差为：C_0-C

其中：R_0——输入电阻的额定值；

R——输入电阻的实测值；

C_0——输入电容的额定值；

C——输入电容的实测值。

5. Y 轴最大输入电压

Y maximum input voltage

输入端能够承受的最大电压。

指标水平：一般给出（DC + AC_{p-p}）的值，该值多为 250V、400V、500V 等。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-5。

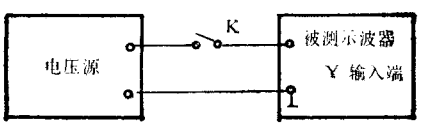


图 19-5

(2) 测试说明和要求

低频电压源采用直流电压或50Hz交流电压。

高频电压源采用正弦信号发生器。

若产品有频率要求时，应在产品规定的频率下进行。

(3) 测试步骤

按图 19-5 连接。被测示波器处于工作状态，输入耦合置“DC”，光迹居中。调节电压源的输出电压与频率，达到产品标准中规定值后，接通输入电压(接通开关 K)，并持续 1min。断开输入电压(断开开关 K)，仪器仍应工作正常。

注：Y 轴偏转系数开关置基准档(即额定带宽的最小偏转系数档，且微调置于校准位置)进行。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6. Y轴偏转系数范围与误差 V/cm或V/div

Y deflection factor range and error

电压与由此电压产生的Y轴偏转的长度之比。

指标水平：一般按1—2—5进制，分为若干档。最小偏转系数一般为5mV/div、2mV/diV其准确度一般为±5%，±3%。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图19-6。

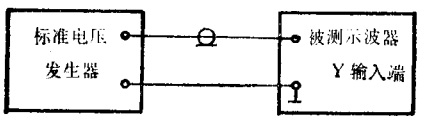


图 19-6

(2) 测试说明和要求

标准电压发生器一般采用1kHz方波信号。

本测试应在各Y轴偏转档级上进行。"微调"置校准位置。

(3) 测试步骤

输入耦合置于"DC"，"微调"置校准位置，调节信号源输出电压，使显示幅度约为检验工作面高度的80%，读取显示高度和相应的输入信号电压V，则偏转系数及误差可由下式求得

$$K_d = \frac{V}{H_d}$$

误差

$$E = \frac{K_{do} - K_d}{K_d} \times 100\%$$

$$= \frac{H_d - H_{do}}{H_{do}} \times 100\%$$

式中 K_d——偏转系数的实测值；

V——信号源输出电压值；

H_d——偏转的显示高度；

K_{do}——偏转系数的额定值；

H_{do}——偏转的额定显示高度；

E——偏转系数误差。

7. Y轴偏转系数微调比

range of Y deflection variable control

Y轴偏转微调电位器所调节偏转系数最大值与最小值的比值。

指标水平：对1—2—5进制的V/div开关，一般偏转微调比大于2.5:1，保证各档级覆盖。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图19-6。

(2) 测试说明和要求

标准电压发生器一般采用1kHz方波。

(3) 测试步骤

偏转系数开关置任意档，"微调"置校准位置，调节信号源的输出电压，使显示达到一定高度，然后调节"微调"从最大到最小位置时，分别读取显示的最大高度H_{max}与最小高度H_{min}，则偏转微调比为：

$$偏转微调比 = \frac{H_{max}}{H_{min}}$$

8. Y轴偏转系数扩展 MAG

magnification factor of Y deflection

Y轴偏转系数扩展的倍数。

指标水平：一般扩展×5、×10；

准确度为±5%、±10%等。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图19-6。

(2) 测试说明和要求

标准电压发生器一般采用1kHz方波信号。

(3) 测试步骤

"扩展倍率"装置置于不扩展，调节标准电压发生器输出电压，使显示高度约为检验工作面高度的80%，然后使"倍率"置于"扩展"档。减小输出电压达到额定倍率的电压要求，读取显示高度H，则偏转系数扩展倍率及其误差为：

$$K = \frac{K_0 H}{H_0}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$E=\frac{K_0-K}{K}\times 100\%=\frac{H_0-H}{H}\times 100\%$$

式中 K——实测的扩展倍率；

K_0——额定的扩展倍率；

H_0——未扩展时的显示高度；

H——扩展后对缩小 K_0 倍信号电压的显示高度；

E——扩展倍率误差。

注：按产品标准中规定的偏转系数档级进行或在基准档进行。

9. Y 轴串接偏转系数

Y series deflection factor

将Y通道（一般将 Y_1、Y_2）串接时，电压与由此电压产生的Y轴偏转的长度之比。

测试方法：同指标6“Y轴偏转系数范围与误差”。

10. Y 轴幅度线性误差

Y amplitude linear error

在检验工作面内，对输入电压幅度变化的相对误差。

指标水平：一般为5%。

测试方法：

（1）测试方框图，见图19-7。

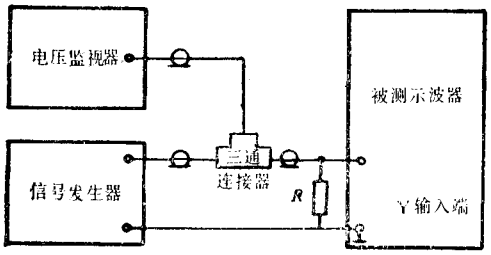


图 19-7

（2）测试说明和要求

信号源输出波形可用1kHz正弦波或方波，需具有定量微调或误差读数装置或外接电压监视器读数。

本特性一般对基准档进行测定或在产品标准中规定的频率与偏转系数档级上进行。

（3）测试步骤

偏转系数置于规定档，输入耦合置于“AC”，时间系数置合适档。调节信号发生器输出电压和频率，使显示波形的幅度 a 达到检验工作面高度的50%，并居中显示。读取此时的电压值，然后将信号源的输出电压增加一倍，读取此时的显示波形的幅度 A，则幅度线性误差为：

$$\text{幅度线性误差}=\left|\frac{A-2a}{2a}\right|\times 100\%$$

11. Y 轴频带宽度或频率响应 f_B

Y bandwidth or frequency response

当示波器输入不同频率的等幅正弦信号时，屏幕上对应基准频率的显示幅度随频率变化而下跌3dB时，其下限到上限频率的范围。

指标水平：一般以100MHz为分界线。100MHz左右为中档示波器；20MHz以下为低档示波器；100MHz以上为高档示波器。

测试方法：

（1）测试方框图，见图19-8。

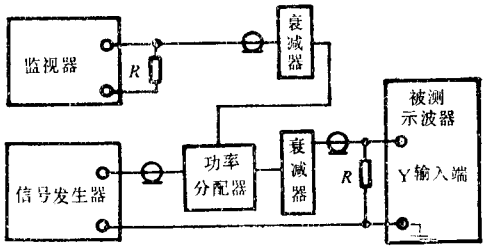


图 19-8

（2）测试说明和要求

信号发生器输出电压不平度应不超过±0.3dB，否则需外接监视器来校准。R 为匹配电阻。

允许采用6dB以上的同轴衰减器，以减小反射的影响。

当一台信号源输出频率不能满足测试要求时，允许用几台信号源按频率衔接，进行测试。

本特性测试时的基准频率，当产品标准中

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

无规定时，对上限频率低于或等于 10MHz 的示波器，其基准频率可采用 1kHz 或 50kHz；对上限频率高于 10MHz 的示波器，则可采用 50 kHz、1MHz 或 10MHz 三者中任一个作为基准频率。

(3) 测试步骤

按图 19-8 连接。被测示波器 Y 轴偏转系数置基准档，增益微调置"校准"位置，调节信号源的输出电压与频率使基准频率时的显示高度 H_0 约为检验工作面的 80%，(记录此时电压监视器的指示值)，并保持此值不变。分别向上、下限改变信号源的输出频率，直至显示高度为 $0.707H_0$ 时，此时的频率，即为频带宽度实测值。

频率响应：读测在规定频率范围内图像稳定显示的最大高度 H_{max} 与最小高度 H_{min}，则频率响应不平度为：$20\lg\frac{H_{min}}{H_{max}}$ (dB)。

12. 上升时间　t_r

rise time

一个矩形脉冲前沿的电压或电流从稳态幅度 A 的 10% 到 90% 所经过的时间间隔。如图 19-9 所示。

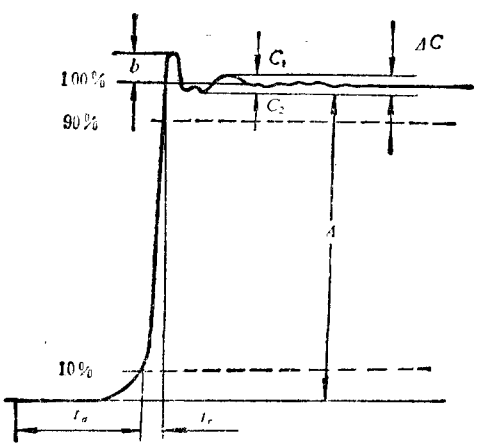


图　19-9

指标水平：不同频带宽度有不同的上升时间。一般小于某规定值。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-10。

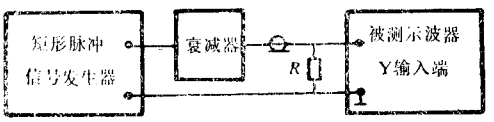


图　19-10

(2) 测试说明和要求

脉冲信号发生器的脉冲上升时间至少应小于被测示波器上升时间的三分之一。

上升时间的测试应在被测示波器各偏转系数档级上进行。

测得的上升时间必须按实测的时间系数误差和垂直度偏差值进行修正。

(3) 测试步骤

输入耦合置"DC"，时间系数置合适档。调节脉冲信号发生器的输出电压，使显示高度为检验工作面的 80%，并居中稳定显示。读取显示波形前沿的 10%～90% 在水平方向的上升时间 t_r 值(如图 19-9 所示)。一般可用时间系数扩展来读取。

13. 上冲

overshoot

屏幕上显示的矩形脉冲信号，前沿部分高于基本幅度平顶的最大值(如图 19-9 所示)。与基本幅度的百分比。

指标水平：一般 ≤ 5%。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-10。

(2) 测试说明和要求。

同上升时间的测试说明和要求。

(3) 测试步骤

输入耦合置"DC"，时间系数置于合适档。调节脉冲信号发生器的输出电压，使显示高度为检验工作面的 80%，并居中稳定显示。读取前沿部分高于基本幅度平顶的最大值 b(如图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

19-9 所示)与基本幅度 A 的百分比。其上冲为:

$$上冲=\frac{b}{A}\times 100\%$$

14. 阻尼

damp

屏幕上显示的矩形脉冲信号,除上冲外,在 $10t_r$ 时间内的衰减振荡最大幅度(如图 19-9 所示)与基本幅度的百分比。

指标水平: 一般 ≤ 5%。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 19-10。

(2) 测试说明和要求

脉冲信号发生器脉冲的上升时间至少应小于被测示波器上升时间的三分之一。

脉冲信号发生器脉冲的持续时间为被测示波器的上升时间的 10 倍以上。

(3) 测试步骤

输入耦合置于"DC",时间系数置合适档,调节信号源的输出电压,使显示高度为检验工作面的 80%,并居中稳定显示,分别读取在 10 倍 t_r 时间范围内,波形中除上冲外最大幅度的正向阻尼量(c_1)和负向阻尼量(c_2)如图 19-9 所示。则其阻尼为:

$$阻尼=\frac{c_1}{A}\times 100\%$$

或

$$阻尼=\frac{c_2}{A}\times 100\%。$$

取二者较大值。

15. 下垂(或上斜)

tilt

屏幕上显示的脉冲信号,平顶部分的倾斜幅度(如图 19-11 所示)与基本幅度的百分比。(它是对一定的脉冲宽度而言)。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 19-10。

(2) 测试说明和要求

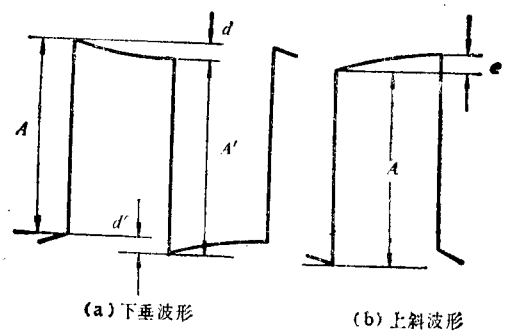


图 19-11

脉冲信号发生器重复频率为频带宽度上限频率 10 倍以下的对称方波或约 15kHz 的对称方波。

脉冲信号发生器脉冲持续时间为示波器上升时间 10 倍以上。

(3) 测试步骤

输入耦合置于"DC",调节脉冲信号发生器的输出电压,使显示高度为检验工作面的 80%,并居中稳定显示。改变时间系数与脉冲持续时间,读取显示波形中的下垂量 d(或上斜量 e),如图 19-11 所示。其下垂为:

$$下垂=\frac{d}{A}\times 100\%$$

或上斜为:

$$上斜=\frac{e}{A}\times 100\%$$

取二者较大者。

16. 脉冲顶部不平度

pulse flat top deterioration

屏幕上显示的矩形脉冲信号,除上冲外,在 $3t_y$(t_y 为延迟线的延迟时间)时间内最大起伏幅度 Δc(如图 19-9 所示)与基本幅度的百分比。

指标水平: 一般 ≤ 7%。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 19-10。

(2) 测试说明和要求

脉冲信号发生器上升时间小于被测示波器

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的三分之一。

脉冲信号发生器脉冲持续时间为延迟电路延迟时间的三倍以上。

(3) 测试步骤

输入耦合置于"DC",时间系数置合适档,调节脉冲信号发生器的输出电压,使显示高度为检验工作面的80%,并居中稳定显示。读取显示波形中除上冲外,约3倍 t_y 时间范围内的最大起伏量(Δc),如图19-9所示,则其脉冲顶部不平度为:

$$顶部不平度=\frac{\Delta c}{A}\times 100\%$$

17. 直流特性

direct-current characteristic

对频率响应从直流开始的示波器,检验放大器直流增益的一致性。当输入直流电平的瞬时到达稳定状态时,其幅值的偏移与稳定幅度的百分比。

指标水平:一般≤5%。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图19-12。

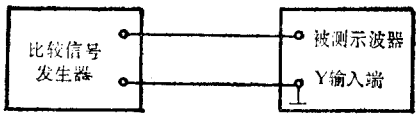


图 19-12

(2) 测试说明和要求

测试直流特性的电压源应具有直流电压输出,并具备"通"与"断"的可控装置,其输出电压应满足检验工作面高度的要求。

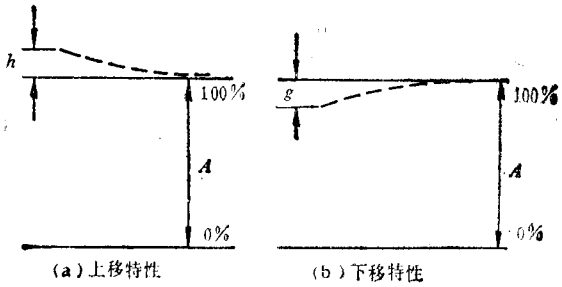
(3) 测试步骤

输入耦合置于"DC",时间系数置合适档,调节电压源输出直流电压,显示一定高度,使电压源反复"通"、"断",读其输入直流电平的瞬时到达稳定状态时的幅值的偏移,上移特性的过渡量为 h,或下移特性的不足量为 g,如图19-13所示。则其直流特性为:

$$直流特性=\frac{h}{A}\times 100\%。$$

或

$$直流特性=\frac{g}{A}\times 100\%。$$



(a) 上移特性　　(b) 下移特性

图 19-13

18. 视在信号延迟时间 t_d

apparent signal delay

从扫描出现的瞬间到信号轨迹达到基本幅度10%所经过的时间。

指标水平:当具有延迟线装置时,应给出视在信号延迟时间,根据延迟线的延迟时间而定。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图19-10。

(2) 测试说明与要求。

脉冲上升时间至少应小于被测示波器上升时间的三分之一。

测得的 t_d 必须按实测的时间系数误差和垂直度偏差值进行修正。

当起始点位置不明显时,允许用增加辉度或其它方法确定。

(3) 测试步骤

输入耦合置"DC",时间系数置于合适档。调节脉冲发生器的输出电压,使显示高度为检验工作面的80%,并居中稳定显示。调节"触发电平",使波形处于视在延迟时间最大位置,读取扫描起始点至脉冲前沿的10%在水平方向的延迟时间 t_d 值,如图19-9所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

19. 通道延迟时间差 t_s

channel time delay difference

当相同信号加于多踪示波器任意两输入端时，它的两个显示波形之间的时间差。

指标水平：频带宽度在30MHz以上的多踪示波器，应在产品标准中给出通道延迟时间差。根据不同带宽而定。

测试方法：

（1）测试方框图，见图19-14。

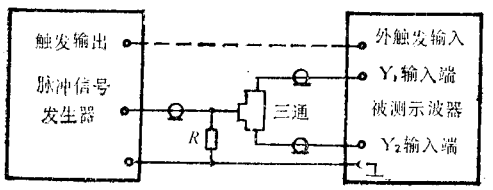


图 19-14

（2）测试说明和要求

脉冲信号发生器上升时间应符合测试要求，三通连接器连接到 Y_1，Y_2 的连接线的规格与长度应一致。

对多于二个通道以上的示波器应分别进行测定。

（3）测试步骤

时间系数置于最快档，调节信号源的输出电压，达到检验工作面高度，并稳定显示。从图19-15中读取两脉冲波形基本幅度50%处的时间差 t_s。

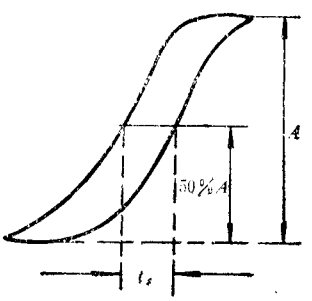


图 19-15

20. 漂移

drift

光点随时间缓慢的和连续的偏移。

1）长期漂移：光点在一小时内的最大偏移。

2）短期漂移：在一小时总的记录时间内，光点在最不利的一分钟内的最大偏移。

指标水平：长期漂移一般为0.5格或1格（在最小Y轴偏转系数档级）

对高灵敏度示波器，漂移为主要指标之一，长期漂移不应移出屏幕。如10μV/div 高灵敏度示波器其长期漂移指标为50μV/h。

测试方法：

（1）测试方框图，见图19-16。

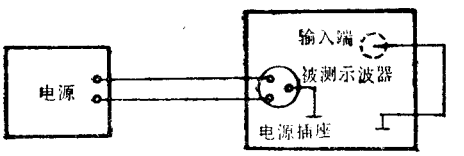


图 19-16

（2）测试说明和要求

供电电压的波动量不超过 ±2%。

本特性与环境温度、电网电压突变有关，应避免外界的干扰信号。

应在本特性规定的预热时间以后进行。

对于多踪示波器的各个输入端应分别进行测试。

（3）测试步骤

输入耦合置"接地"，经规定的预热时间后，将光迹（光点）调整至屏幕居中位置，记录在规

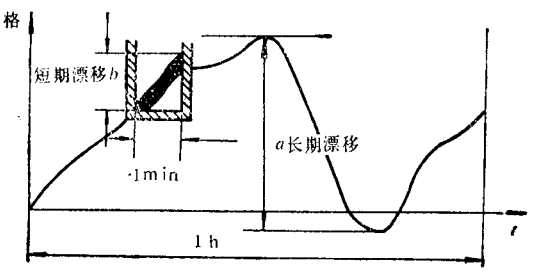


图 19-17

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

定时间内(一小时)光迹(光点)随时间在垂直方向偏移的轨迹(位置),读取其漂移值,见图19-17。

注:严格控制温度、外界干扰、电源电压的变化。

21. 噪声

noise

由于各种原因引起电子不规则运动的随机现象。通常以它的幅度换算成等效输入电压的峰值表示。

(1) 开路噪声:通道输入端开路并加以屏蔽时的噪声。

(2) 短路噪声:通道输入端短路时的噪声。

指标水平:

(1) 开路噪声

当偏转系数小于10mV/div时,开路噪声应值不超过0.4mV;

当带宽大于60MHz时,开路噪声值应不超过6mV;

对高灵敏度示波器而言偏转系数为100μV/div时,一般开路噪声值为100μV。

(2) 短路噪声

对高灵敏示波器

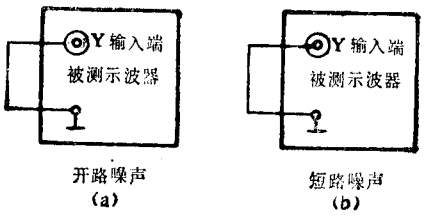
偏转系数为100μV/div时,一般短路噪声值为40μV。

偏转系数为10μV/div时,一般短路噪声值为20μV。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图19-18(a)、(b)。

(2) 测试说明与要求



开路噪声 (a)　　短路噪声 (b)

图 19-18

若被测示波器有多个垂直通道时,均应分别进行测试。若被测示波器有用来降低噪声的带宽限制器或频率选择器,且分别给出指标时,也应分别进行测试。

(3) 测试步骤

当测定开路噪声时,通道输入端屏蔽如图19-18(a),当测定短路噪声时,通道输入端接地如图19-18(b),扫描处于"自激"工作状态,Y轴偏转系数置最小档级,读测屏幕所显示的最大高度,以电压值表示。

有的二线高灵敏度示波器给出的噪声指标是用正切噪声测量法进行测试的,其测试步骤为扫描处于"自激"工作状态,Y轴偏转系数置最小档级。分别调节二线的垂直移位,使之二线的噪声带刚刚接触,读取总的噪声值除以2即为其噪声值。(这种方法可除去边缘的噪声。)

22. 共模抑制比 *CMRR*

common mode rejection ratio

把一电压加于偏转电路的两个分差输入端之间所测得的偏转量与把该电压加于示波器并接后的两输入端与接地点之间所测得的偏转量之比。

指标水平:对多踪示波器及具有分差输入装置的示波器应给出共模抑制比不低于10:1时的频率值。

对高灵敏度示波器(Y轴偏转系数小于100μV/div时)其 *CMRR* 一般为10^4:1或10^5:1,甚至更高。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图19-19或图19-20。

(2) 测试说明和要求

信号源应是具有大幅度输出的正弦信号发生器。

接到分差输入端的连接线的规格与长度应一致。

当有多通道时,应对通道分别进行测试。

在高频测试时,应注意阻抗匹配。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

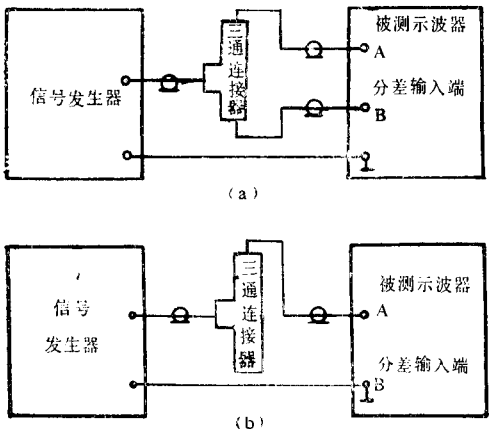


图 19-19

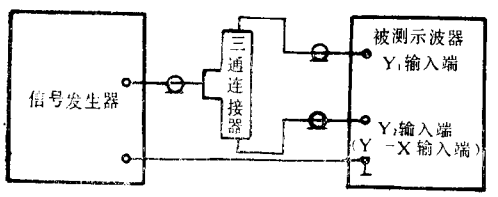


图 19-20

(3) 测试步骤

分差输入共模抑制比:

先按图 19-19(a) 连接,偏转系数置于基准档(即额定带宽的最小偏转系数档),且微调置于校准位置,输入耦合方式均置于"DC",按产品标准中规定的频率值调节信号源的输出电压直至能清晰读出显示高度 H_2;然后信号源输出保持不变,按图 19-19(b) 连接,选择合适的偏转系数,读取此时的显示高度为 H_1,则共模抑制比由下式求得:

$$CMRR = \frac{D_1H_1}{D_2H_2}$$

式中 D_1——单端输入时的偏转系数;

D_2——双端输入时的偏转系数;

H_1——单端输入时的显示高度;

H_2——双端输入时的显示高度。

多踪示波器共模抑制比:

按图 19-20 连接。通道偏转系数均置于基准档,输入耦合均置于"DC",显示工作方式置于"Y_1, Y_2"。按产品标准中所规定的频率值,调节信号源的输出电压,直至能清晰读出显示高度 H_2。然后,保持信号源输出不变,将显示方式改置"单踪显示",选择合适的偏转系数,读取此时的显示高度为 H_1,则其共模抑制比由式 D_1H_1/D_2H_2 求得。

23. 通道隔离度

channel isolation

示波器任意两通道间相互影响的程度。

指标水平:多踪示波器应给出该指标,可按频带宽度分段给出不同的比值。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 19-21。

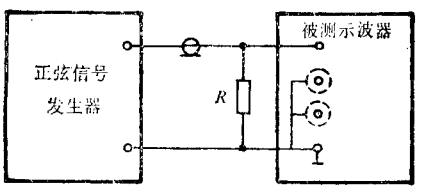


图 19-21

(2) 测试说明和要求

本特性应按产品标准中所规定的频率要求进行。若无规定,则以宽带的上限频率为测试频率。

(3) 测试步骤

干扰通道偏转系数置较大档(该档最易使干扰通道显示干扰),或按产品标准规定。被干扰通道偏转系数置最易受干扰档级,并将其输入端屏蔽,工作方式置多踪显示,时间系数置合适档。

调节信号源的输出电压,并馈入干扰通道,使显示幅度达到检验工作面高度约 80%,并居中稳定显示。然后,保持信号源的输出电压不变,或按产品标准中所规定的频带宽度范围内改变输出频率,读测各被干扰通道中最大的显示高度值,此时,通道隔离度为:

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$通道隔离度=\frac{K_1 \cdot A_1}{K_2 \cdot A_2}$$

式中 A_1——干扰通道的显示高度；

A_2——各被干扰通道中最大的显示高度；

K_1——干扰通道档级的偏转系数；

K_2——被干扰通道档级的偏转系数。

24. X 轴位移范围

X displacement range

图像作水平方向移动的范围。

指标水平：至少应能使扫描线的起端和末端移至有效工作面中心。

测试方法：同技术指标 1 "Y 轴位移范围"。

25. 外触发输入电阻

external triggering input impedance

外触发输入端的直流电阻值。

测试方法：同技术指标 4 "Y 轴输入阻抗"。

26. X 轴偏转系数与误差

X deflection factor and error

电压与由此电压产生的X轴偏转的长度之比。

指标水平：其准确度一般为 ±5%、±10%

测试方法：同技术指标 6 "Y 轴偏转系数范围与误差"。

27. X 轴频带宽度

X band width

定义和测试方法同技术指标 11 "Y 轴频带宽度"。

28. XY 相位差

XY phase difference

当相同相位信号加于具有 X-Y 显示的示波器两输入端时，多踪示波器的任意两显示光迹之间的相位差。它是个与频率有关的量值。

指标水平：在产品标准中应给出相位差不超过 3° 时的频率范围。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 19-22。

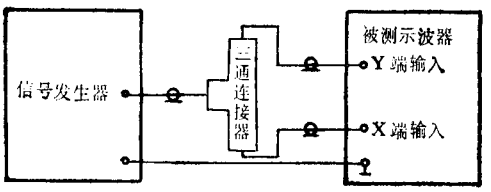


图 19-22

（2）测试说明和要求

信号源的波形失真因子应符合一定的要求。

当能组成两种以上 X、Y 显示时，应分别进行。

（3）测试步骤

Y与X偏转系数均置于合适档，输入耦合置于"DC"，显示工作方式置于 XY 显示，按产品标准中规定的频率调节信号源的输出电压，以获得 XY 的显示图像，按图 19-23 所示。读取 h，H 值，其相位差为：

$$相位差=\sin^{-1}\left(\frac{h}{H}\right)。$$

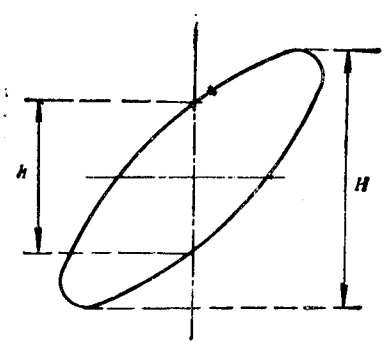


图 19-23

注：当 H 为 6 格其 h 值小于 0.3 格时，相位差小于 3°。

29. 扫描时间系数范围与误差 t/div 或 t/cm

sweep time coefficient and error

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

光点在X轴方向移动单位长度所需的时间。

指标水平：一般按1-2-5进制分若干档。其最小时间系数(包括扩展)应保证示波器固有上升时间在其时间轴上显示不少于0.5div；无延迟线的示波器应能保证其上限频率信号周期的显示宽度不少于1div。

误差一般为±5%；±3%；±2%。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图19-24。

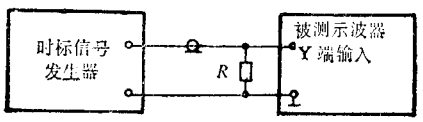


图 19-24

(2) 测试说明和要求

时标信号发生器频率准确度不低于±0.1%，当不具备上述要求时，应外接频率计监视，以确保测试要求。

时间系数误差应在所有档级进行。若有微调装置时，应置于校准或产品标准中规定的位置。

(3) 测试步骤

Y轴偏转系数置于合适档。调节时标信号发生器的输出频率(或时标周期)与时间系数相适应，用触发的方式显示n个周期稳定的波形，读取约检验工作面长度80%的显示长度与其相对应的n个周期的总时间，其时间系数及误差由下式求得：

$$K_b = \frac{T}{L_b}$$

$$E = \frac{K_{b0} - K_b}{K_b} \times 100\% = \frac{L_b - L_{b0}}{L_{b0}} \times 100\%$$

式中 K_b——80%检验工作面内平均时间系数的实测值；

T——n个周期的总时间；

L_b——n个周期对应的显示长度；

E——时间系数误差；

K_{b0}——时间系数的额定值；

L_{b0}——K_{b0}时间系数对应的显示长度。

30. 扫描时间系数微调比

range of time coefficient variable control

扫描时间系数微调装置所调节时间系数最大值与最小值的比值。

指标水平：对1-2-5进制的 t/div 开关，一般扫描时间系数微调比大于2.5:1。保证各档级覆盖。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图19-24。

(2) 测试说明和要求

时标信号发生器频率准确度不低于±0.1%，当不具备上述要求时，应外接频率计监视，以确保测试要求。

(3) 测试步骤

扫描时间系数“微调”置于顺时针极限位置，获得合适的(一般不少于2个周期)显示波形后，读取显示的周期数与对应的长度。然后将“微调”置于逆时针极限位置，读取此时的周期数与对应的长度，其微调比由下式求得：

$$\text{微调比} = \frac{n_2 L_1}{n_1 L_2}$$

式中 n_1——“微调”置于顺时针极限位置时，检验工作面内波形的周期数；

n_2——“微调”置于逆时针极限位置时，检验工作面内波形的周期数；

L_1——n_1个周期在坐标刻度上所测得的长度；

L_2——n_2个周期在坐标刻度上所测得的长度。

31. 扫描时间系数扩展倍率与误差

magnification factor of time coefficient and error

扫描时间系数扩展的倍数。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

指标水平：一般扩展 ×5，×10。

准确度为±5%、±10%、±15%等。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图19-24。

(2) 测试说明和要求

时标信号发生器频率准确度不低于±0.1%。当不具备上述要求时，应外接频率计监视，以确保测试要求。

(3) 测试步骤

Y轴偏转系数置于合适档，扫描时间系数置于待测档。调节信号源输出频率为1kHz，触发(同步)后，使在检验工作面内逐个对应坐标刻度线显示相应个周期的信号，读测检验工作面80%内的时间系数 K_b。然后置"扩展"调节"位移"和信号源输出频率，使显示波形的周期再次满足与坐标刻度逐一对应，读测此时检验工作面80%内的扩展时间系数 K_{b1}。

则扫描扩展倍率与倍率误差由下式求得：

$$A = \frac{K_b}{K_{b1}}$$

$$E = \frac{A_0 - A}{A} \times 100\%$$

式中 A——扩展倍率的实测值；

K_b——未经扩展时的扫描时间系数；

K_{b1}——经扩展后的扫描时间系数；

E——倍率误差；

A_0——额定的扩展倍率。

32. 扫描线性误差

sweep linear error

在检验工作面的80%内，所测得的平均偏转系数，与两边缘10%区域内任一端所测得的平均偏转系数所产生的相对误差。

指标水平：未扩展时一般为10%，5%。

扩展时一般为15%，10%。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图19-24。

(2) 测试说明和要求

时标信号发生器频率准确度不低于±0.1%。当不具备上述要求时，应外接频率计监视，以确保测试要求。

(3) 测试步骤

Y轴偏转系数置合适档，时间系数置于待测档，调节信号源输出频率(或时标周期)使与时间系数相适应，其显示波形如图19-25所示。分别读测经扣除视在信号延迟时间后在检验工作面80%内的平均时间系数，与两边缘10%区域内的平均时间系数，则扫描线性误差由下式求得，取二者较大值。

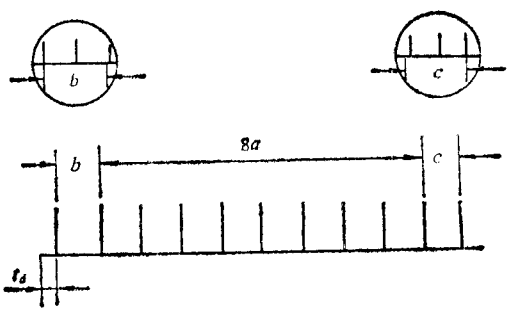


图 19-25

$$\left|\frac{K_b - K_a}{K_a}\right| \times 100\% = \left|\frac{a - b}{b}\right| \times 100\%$$

$$\left|\frac{K_c - K_a}{K_a}\right| \times 100\% = \left|\frac{a - c}{c}\right| \times 100\%$$

式中 K_a——80%检验工作面内的实测平均时间系数；

K_b——检验工作面左端10%边缘内的实测平均时间系数；

K_c——检验工作面右端10%边缘内的实测平均时间系数；

a——80%检验工作面内的实测时标周期的平均值；

b——检验工作面左端10%边缘内的实测时标周期的平均值；

c——检验工作面右端10%边缘内的实测时标周期的平均值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

33. 延迟时间范围

delay time range

在具有双时基电路的示波器中，延迟扫描可延迟被延迟扫描的时间间隔的范围。

指标水平： 根据需要而定，一般为几微秒～几秒。

测试方法：

I. 具有加亮显示功能的双时基电路测试方法

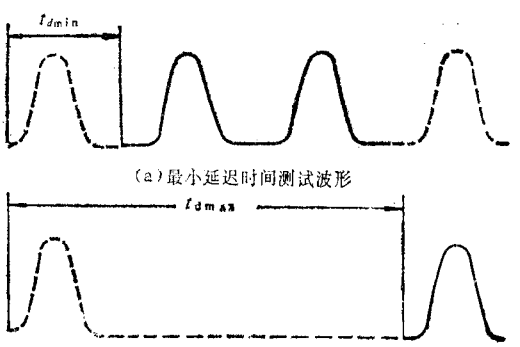
(1) 测试方框图，见图 19-24。

(2) 测试说明和要求

时标信号发生器频率准确度不低于±0.1%，当不具备上述要求时，应外接频率计监视，以确保测试要求。

(3) 测试步骤

按图 19-24 连接，按产品标准中给出的延迟时间范围 $t_1(t_{d\min})\sim t_2(t_{d\max})$，使输入信号波形周期为 t_1，延迟扫描时间系数约为 $0.2t_1$/div，被延迟扫描时间系数约为“$0.1t_1$/div”，时基显示置于“加亮”，延迟倍率置于“6”附近，获得加亮显示并保持图像稳定后，逐步减小延迟倍率数，如图 19-26(a)所示，直至测出最小延迟时间 $t_{d\min}$ 应小于 t_1。然后使信号源置“t_2”，延迟扫描置于相应的位置，被延迟扫描约为“$0.01t_2$/div”，逐步增大延迟倍率值，如图 19-26(b)所示，直至测出最大延迟时间 $t_{d\max}$ 应大于 t_2。



(a) 最小延迟时间测试波形

(b) 最大延迟时间测试波形

图 19-26

II. 具有延迟信号闸门输出装置的双时基电路测试方法

(1) 测试方框图，见图 19-27。

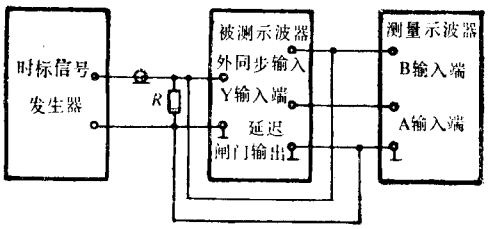


图 19-27

(2) 测试说明和要求

若测量用示波器不能获得最大延迟时间，则测量时允许使用其他时间测量仪器进行测量。

(3) 测试步骤

按图 19-27 连接。用上述的测试方法，获得最小延迟时间 $t_{d\min}$ 与最大延迟时间 $t_{d\max}$ 显示，这些数值可以从测量示波器双踪显示所获的图 19-28 中读取。

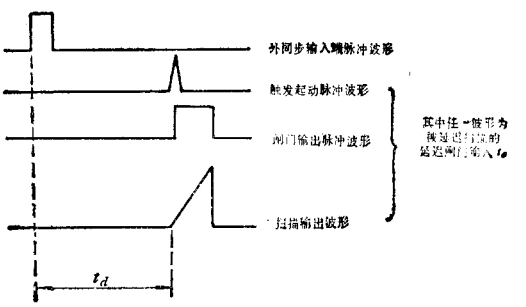


图 19-28

34. 延迟时间刻度线性误差

delay time linear error

延迟时间刻度变化的相对误差。

指标水平： 一般不超过 3%。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-24。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试说明和要求

时标信号发生器频率准确度不低于±0.1%。当不具备上述要求时，应外接频率计监视，以确保测试要求。

当产品标准无规定时，本项可仅对延迟扫描时间系数 t_A/div 为“1ms/div”，被延迟扫描时间系数 t_B/div 为“0.1ms/div”的组合状态下测定。

(3) 测试步骤

Y轴偏转系数置于合适档，显示方式置于“延迟扫描”，扫描时间系数置于 t_A/div，调节信号源输出频率与延迟扫描时间系数相适应，使延迟扫描触发同步后，显示方式改置“被延迟扫描”。时间系数置于 t_B/div，扫描置于自激状态，延迟倍率置于“1”，使波形居中显示，读取度盘值为 D_1。然后改变“延迟倍率”，依次读取显示波形出现在同一位置时的度盘值 $D_2 \cdots D_{n-1}$，则延迟刻度线性误差由下式求得，取二者较大值。

$$\left|\frac{b-a}{a}\right| \times 100\% \text{ 或 } \left|\frac{c-a}{a}\right| \times 100\%$$

式中　a——各相邻 D 值之间差值变化量的平均值；

b——各相邻 D 值之间的最大差值；

c——各相邻 D 值之间的最小差值。

35. 触发(同步)电压范围

triggering voltage range

可获得稳定显示的触发输入电压范围。

指标水平：外触发时，其最大电压一般不低于 $5V_{P-P}$。

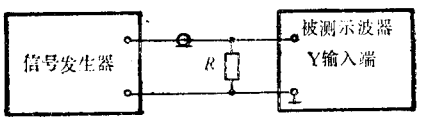
测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-29。

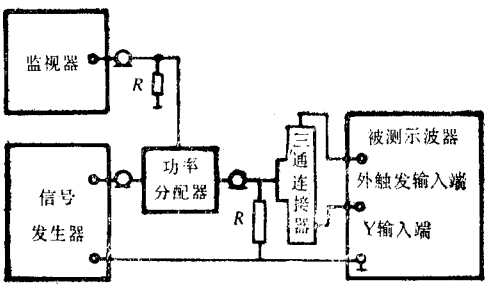
(2) 测试说明和要求

本特性与允许的时基晃动有关，高频测试时允许图像晃动不超过产品标准规定的晃动值。

当触发源具有内(外)等功能时，应分别测定。



(a)内触发时



(b)外触发时

图　19-29

当产品标准中给出正弦波及脉冲波不同要求时，应分别进行测试。

正弦波信号源的波形失真因子应符合 GB 6586 中 5.1.5 的规定。

(3) 测试步骤

① 内触发时按图 19-29(a) 连接。Y轴偏转系数置基准档，扫描时间系数置 1ms/div，信号源输出频率为 1kHz 正弦波，输出电压为 80% 的检验工作面高度。调节电平，变换极性，显示波形的任意点均能触发。

② 外触发时、按图 19-29(b) 连接。Y轴偏转系数置合适档，扫描时间系数置 1ms/div，信号源输出频率为 1kHz 正弦波，输出电压等于或大于规定的最大触发电压，调节电平，变换极性，在规定输入电压范围内输入电压均能触发同步。

36. 触发(同步)门限

triggering threshold

使图像获得稳定显示所需的触发(同步)信号最小数值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

指标水平：内触发一般为 0.5div，0.2div。
外触发一般为 0.5V。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-29。

(2) 测试说明和要求，同技术指标35"触发(同步)电压范围"。

(3) 测验步骤

按图 19-29 连接，Y 轴偏转系数置合适档，扫描时间系数置合适档，信号源输出频率在规定的频带范围内或各分段频率范围上限值及下限值。在测试频率保持不变的情况下，改变信号源的输出电压幅度，测出稳定显示时的最小显示高度(或电压)，即为触发(同步)门限。

37. 触发(同步)频率范围

triggering frequency range

在规定的触发(同步)阈值时，可获得稳定显示的频率范围。

指标水平：至少应达到频带宽度的要求。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-29。

(2) 测试说明和要求，同技术指标35"触发(同步)电压范围"。

(3) 测试步骤

按图 19-29 连接。Y 轴偏转系数置基准档(内触发)或合适档(外触发)，扫描时间系数置合适档，信号输出电压为触发门限，在显示高度(或电压)保持不变时，改变信号源的输出频率，测出稳定显示时的频率范围。

38. 最高触发(同步)频率

highest triggering frequency

在规定的触发电压范围内，可获得稳定显示的最高频率。

指标水平：由产品标准确定。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-29。

(2) 测试说明和要求，同技术指标35"触发(同步)电压范围"。

(3) 测试步骤

按图 19-29 连接，Y 轴偏转系数置基准档(内触发)或合适档(外触发)、扫描时间系数置合适档，信号源输出电压为 80% 的检验工作面高度(内触发)或规定为最大触发电压值 (外触发)。在输出电压保持不变的情况下，改变信号源的输出频率，测出获得稳定显示时的最高频率，即为最高触发(同步)频率。

39. 时基晃动 T_j

time base jitter

显示位置(或它的一部分)平行于扫描方向的一种抖动。

注：这是一种不需要的抖动，引起抖动的原因可能是：
① 触发延迟的不需要的变化；
② 光点速度的不需要的调制。

指标水平：由产品标准中确定。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-29(a)。

(2) 测试说明和要求

信号源一般应采用正弦波信号发生器。当产品标准中同时给出脉冲信号测试的晃动指标时，则还应采用矩形脉冲信号源。

(3) 测试步骤

扫描时间系数置于最快档(经扩展后)，调节信号源的输出频率为触发(同步)频率范围的上限值，输出电压达到检验工作面高度为 30%，读取图像在 X 轴方向上抖动最大的宽度所代表的时间值 T_j。

40. 延迟晃动比

delay jetter ratc

在采用延迟扫描和被延迟扫描的电路中，表示被延迟扫描的晃动和扫描延迟时间之比。

指标水平：双时基应给出延迟晃动比值一般小于 $1:10^4$ 或 $1:2\times10^4$。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-24。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试说明和要求

时标信号发生器频率准确度不低于±0.1%，当不具备上述要求时，应外接频率计监视，以确保测试要求。

(3) 测试步骤

被延迟扫描时间系数置较快档，并处于"自激"工作状态；延迟扫描时间系数与被延迟扫描时间系数的比值应不小于 1000；延迟倍率置于适当位置，调节信号源输出电压，使显示为检验工作面高度为 30%；改变信号源时标周期，使显示波形与时间系数相适应，并居中显示，转动"延迟倍率"，读取如图 19-30 所示图像在 X 轴方向上抖动最大宽度所代表的时间值，则延迟晃动比由下式求得：

$$延迟晃动比=\frac{\Delta T_i}{T_i}$$

式中　ΔT_i——光迹抖动最大宽度与被延迟扫描时间系数的乘积；

T_i——延迟倍率值与延迟扫描时间系数的乘积。

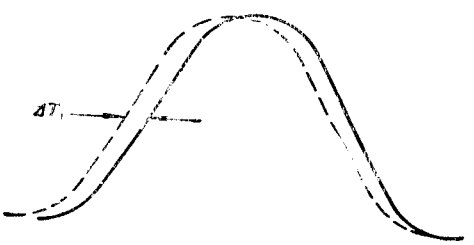


图　19-32

41. 时基信号输出

time base signal output

扫描时基信号的输出。

指标水平：一般给出输出的波形，幅度和极性。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-31。

(2) 测试说明和要求

测量示波器的上升时间应小于被测信号上升时间的三分之一。

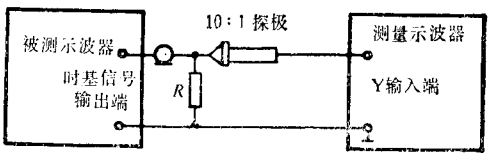


图　19-31

(3) 测试步骤

Y 轴偏转系数置于合适档，时基系统置于合适的工作状态，在产品标准规定的负载条件下，读测其输出端的幅度，波形及极性。

42. 边缘直线度偏差

edge linearity deviation

在检验工作面内，上下(或左右)边缘位置光迹最大弯曲偏离直线的距离，如图 19-32 所示的 D_{max}。

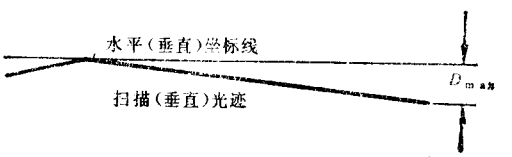


图　19-32

指标水平：由产品标准中确定。

测试方法：

(1) 测试方框图，用本机。

(2) 测试说明和要求

在无特殊规定时，本项目是检查示波管有效工作面内的任意边缘区域中最差的显示特性。

(3) 测试步骤

输入耦合置于"接地"。扫描处于自激工作状态(或不工作)，使光迹幅度达到检验工作面的幅度。调节位移，如图 19-32 所示，测定其在检验工作面内上下(或左右)边缘位置时，光迹最大弯曲偏离直线的距离 D_{max} 应不超过产品标准中的规定。

43. 垂直度偏差

vertical linearity deviation

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在检验工作面的中心位置，X与Y轴图像夹角偏离90°的差值。

指标水平：由产品标准中确定。

测试方法：

（1）测试方框图，见图19-33。

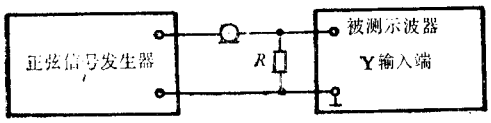


图 19-33

（2）测试说明和要求

若使用多束示波管时，应对各电子束分别进行测试。

（3）测试步骤

如图19-33连接。输入耦合先接地，扫描工作方式置于"自激"，调节垂直"位移"，使光迹与坐标刻度的水平轴线重合。然后使时基系统不工作，调节X轴"位移"使光点处在坐标片X、Y坐标的原点。Y轴偏转系数置合适档，耦合置"DC"，调节信号发生器输出为检验工作面的80%以上，使图像居中显示，如图19-34所示，读测X轴与Y轴图像的交角，垂直度偏差为90°—α。

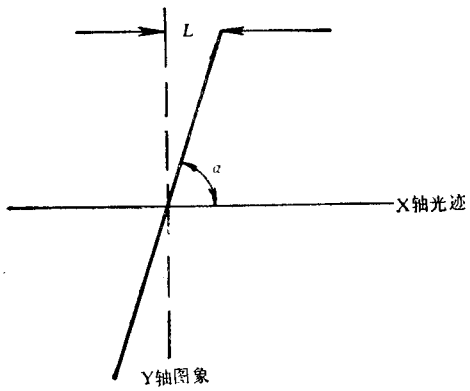


图 19-34

44. 平行度偏差

parallel linearity deviation

在检验工作面内，两Y通道最不平行的水平光迹的夹角。

指标水平：由产品标准中确定。

测试方法：

（1）测试方框图，本机。

（2）测试步骤

将被测示波器各Y轴输入端短路，扫描处于自激状态，改变位移。使各通道光迹调节至屏幕中央并保持适当距离，然后选择二条最不平行的光迹，将该二光迹的始端位移重合，测量该二光迹间的夹角θ。如图19-35所示。其平行度偏差由下式求得：

$$\theta = \mathrm{tg}^{-1}\frac{\Delta H}{L} \approx \frac{180^\circ \cdot \Delta H}{\pi L}$$

式中 θ——两光迹的夹角；

ΔH——两光迹末端开口的距离；

L——光迹在检验工作面内的水平长度。

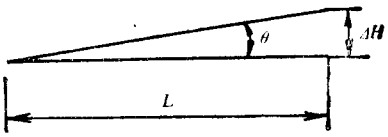


图 19-35

45. Z轴输入电阻

Z-axis input resistance

示波器Z轴输入端规定的直流电阻值。

测试方法：同指标4"(Y轴)输入阻抗"。

46. Z轴最大输入电压

Z-axis maximum input voltage

Z轴输入端能够承受的最大电压。

指标水平：一般为100V～500V。

测试方法：同指标5"(Y轴)最大输入电压"。

47. Z轴增辉电压与极性

Z-axis intensity voltage and polarity

加入Z轴，能观察到具有周期性的明暗调

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

制显示的增辉电压值和极性。

指标水平：一般以 1kHz 正弦波电压在匹配的条件下检查。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 19-36。

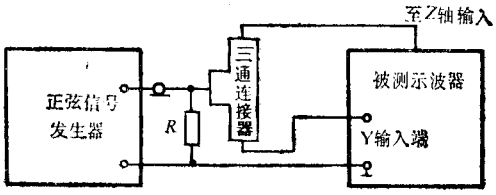


图　19-36

（2）测试说明和要求

一般输入 1kHz 正弦波电压，在匹配的条件下检查。

（3）测试步骤

Y 轴偏转系数置合适档，扫描时间系数置于 1ms/div，使显示的峰值电压略小于产品标准规定的增辉电压，用内触发方式获得稳定的显示波形后，配合辉度调节，应能观察到具有周期性的明暗调制显示，使明亮处达到正常辉度，从明暗分界线中，判别增辉作用的电压值与极性。

48. Z 轴最高调辉频率

Z-axis highest intensity modulation freguency

加入 Z 轴能产生调辉显示的最高信号频率。

指标水平：由产品标准中确定。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 19-36。

（2）测试说明和要求

输入 Z 轴的电压为增辉电压值。

（3）测试步骤

Y 轴偏转系数和扫描时间系数均置于合适档，调节信号发生器的输出电压为产品标准规定的增辉电压值，获得图像稳定显示后，使波形呈现出可分辨的调辉现象，改变信号源的输出频率及时间系数，并保持图像稳定的调辉现象，直到调辉现象消失前，此时信号源的输出频率为最高调辉频率。

49. 校准信号幅度误差

calibration signal amplitude error

校准信号幅度值的相对误差。

指标水平：一般误差为 ±2%，±1%。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 19-37。

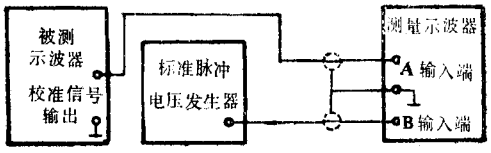


图　19-37

（2）测试说明和要求

标准脉冲电压发生器应具有定量微调输出。

测量示波器应具有共模抑制比大于 10^2 的分差输入的高灵敏度示波器。

（3）测试步骤

如图 19-37 连接。测量示波器的偏转系数为合适档，输入耦合接地时，光迹上下居中，然后输入耦合为“DC”，将被测示波器的校准信号输出与信号发生器输出分别同时馈入测量示波器分差输入端，调节信号源的输出，使测量示波器输入信号的差分值波形接近重合。读取此时信号源指出的电压幅度值 V，则校准信号幅度误差由下式求得：

$$幅度误差=\frac{V_0-V}{V}\times 100\%$$

式中　V_0——校准信号电压幅度的额定值。

V——标准脉冲电压发生器指示的电压幅度值。

注：测试中应扣除校准信号的直流分量。

50. 校准信号频率误差

calibration signal frequency error

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

校准信号频率值的相对误差。

指标水平： 一般为 ±2%，±1%。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-38。

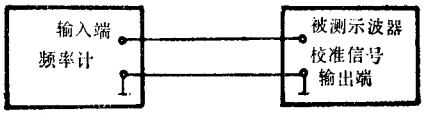


图 19-38

(2) 测试步骤

按图 19-38 连接。调节校准信号的输出幅度达到频率计的输入要求，记录频率计所指示的频率为 f，则频率误差由下式求得：

$$频率误差=\frac{f_0-f}{f}\times 100\%$$

式中 f_0——校准信号重复频率的额定值；

f——频率计显示的重复频率。

51. 探极输入阻抗

probe input inpedance

探极输入端规定的直流电阻值和并联电容值。

指标水平： 电阻：一般为 1MΩ，10MΩ。

电容：一般 ≤10pF。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-39。

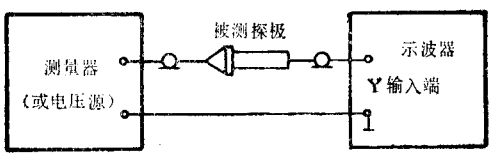


图 19-39

(2) 测试说明和要求

测试的为探极与示波器组合后的特性

(3) 测试步骤

按图 19-39 连接。其测试步骤与指标 4 "(Y 轴)输入阻抗"相同。

52. 探极最大输入电压

probe maximum input voltage

探极输入端能够承受的最大电压。

指标水平： 一般与示波器的最大输入电压相一致。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-39。

(2) 测试说明和要求，与指标 51 "探极输入阻抗"同。

(3) 测试步骤

按图 19-39 连接，其测试步骤与指标 5 "(Y 轴)最大输入电压"相同。

53. 探极衰减比

probe attenuation ratio

探极对输入信号的衰减倍率。

指标水平： 一般为 1:1，10:1。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-40。

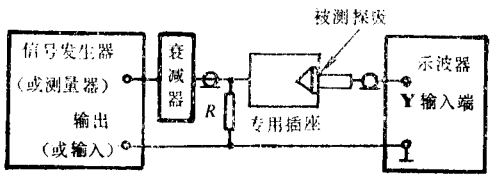


图 19-40

(2) 测试说明和要求

无特殊规定，信号发生器采用 1kHz 方波.

(3) 测试步骤

按图 19-40 连接。探极衰减比置 1:1 档级，调节信号源输出电压，使显示高度约为检验工作面高度的 80%，读取未衰减时的额定显示高度 H_0，然后，将探极衰减比置约定的倍率，(如 N_0)，增大信号源的输出电压，使之为衰减前的 N_0 倍，读取衰减后扩大 N_0 倍的信号电压的显示高度 H，则探极衰减比及其误差由下式求得：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$N=\frac{N_0H_0}{H}$$

$$E=\frac{N_0-N}{N}\times 100\%=\frac{H-H_0}{H_0}\times 100\%$$

式中 N——实测的衰减比；

N_0——额定的衰减比；

H_0——未衰减时的额定显示高度；

H——衰减后，扩大 N_0 倍信号电压的显示高度；

E——衰减比误差。

54. 探极上升时间

probe rise time

一个矩形脉冲前沿的电压或电流经探极，从稳态幅度 A 的 10% 到 90% 所经过的时间间隔。

指标水平：由产品标准中确定。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-40。

(2) 测试说明和要求

测试的为探极与示波器组合后的特性。

(3) 测试步骤

按图 19-40 连接。测试步骤与指标 12"上升时间"的测试步骤相同。

55. 视在功率 P

apparant power

示波器在额定电源条件下的电压有效值与电流有效值的乘积。

指标水平：由产品标准中确定。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-41。

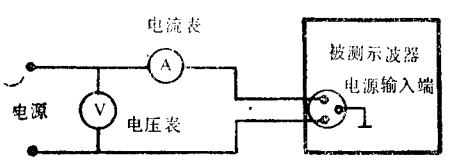


图 19-41

(2) 测试说明和要求

当仪器的视在功率与工作状态有明显关系时，应按照产品标准中注明的最大功率状态进行测定。

(3) 测试步骤

按图 19-41 连接。测出被测示波器在额定电源电压条件下的有效值电流与电压，其视在功率由下式求得：

$$P=VI$$

式中 V——实测交流电压有效值；

I——实测交流电流有效值。

56. 消耗功率

watt consumption

在额定电源电压条件下的实际消耗的功率，等于视在功率与功率因数（$\cos\theta$）的乘积。

指标水平：由产品标准中确定。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-42。

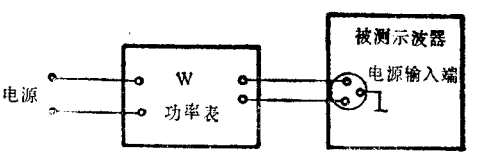


图 19-42

(2) 测试说明和要求

当仪器的消耗功率与工作状态有明显关系时，应按照产品标准中注明的最大功率状态进行测定。

(3) 测试步骤

按图 19-42 连接。测出被测示波器在额定电源电压条件下的实际功率值。

(二) 取样示波器的技术指标及测试方法

参阅第 3 节示波器技术指标汇总表。凡与通用示波器相同或基本相同的技术指标和测试方法在此不再赘述。与其不同的项目介绍

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

如下。

57. 驻波比 S

standing wave ratio

当传输线用一个正弦波信号源馈电，且终端连接取样示波器时，沿着传输线上所测得的最大电压幅值与最小电压幅值之比。

$$S=\frac{E_{max}}{E_{min}}=\frac{1+|\rho|}{1-|\rho|}$$

式中 S——驻波比；

ρ——电压反射系数；

E_{max}——传输线上测得的最大电压幅值；

E_{min}——传输线上测得的最小电压幅值。

指标水平：一般小于 3:1。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-43。

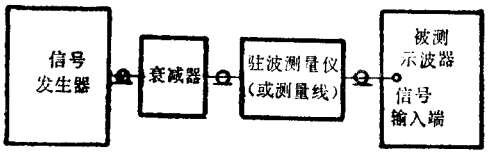


图 19-43

(2) 测试说明和要求

测试频率由产品标准中规定。

(3) 测试步骤

按图 19-43 连接。调节信号发生器频率为产品标准所指定的频率。用驻波测量仪或测量线在传输线上测得其驻波比。

58. 像点拖曳

dot slash

通常是取样保持电路或阶梯波发生器泄漏而引起的像点缺陷。

指标水平：一般为内控指标，像点不允许有明显的拖曳现象。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-44。

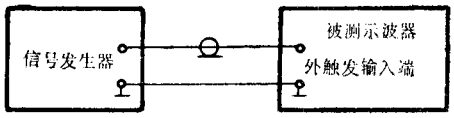


图 19-44

(2) 测试说明和要求

信号发生器输出中基准脉冲。

(3) 测试步骤

按图 19-44 连接。将信号发生器输出重复频率为 80Hz、幅度适当的中基准脉冲，加至取样示波器外触发输入端。Y 轴偏转系数和扫描时间系数置“规定档”。像点密度置于适当值。使用外触发，触发后可以见到像点不再保持点状，像点在垂直方向拉长的距离即为像点拖曳，该值不能超过产品标准的规定。

(三) 记忆示波器的技术指标及测试方法

参阅第 3 节示波器技术指标汇总表。凡与通用示波器相同或基本相同的技术指标和测试方法在此不再赘述，与其不同的项目介绍如下。

59. 最大记录速度

maximum recording rate

一种显示特性，是记忆示波器每秒记录和鉴别的光迹宽度的最大距离。一般用 cm/μs 或 div/cm 表示。

指标水平：这是记忆示波器的主要指标，目前最大记录速度达 4000cm/μs，我国目前只做到 2div/μs。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-45。

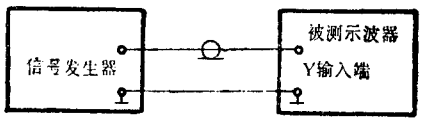


图 19-45

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试说明和要求

信号发生器输出正弦波信号，其频率根据最大记录速度的大小而定。

(3) 测试步骤

按图19-45连接。信号发生器输出的正弦波信号接至被测示波器的 Y_1 或 Y_2 输入端。正弦波信号的频率根据最大记录速度而定。

Y轴偏转系数和扫描系数置合适档。

Y轴输入方式先置于"接地"。触发方式置于"单次"，可变余辉旋置最大位置，显示方式置"最大记录"，按"清除"键，再使单次扫描处于准备状态。

Y输入方式置于"AC"，单次扫描工作，输入一定频率的正弦波信号记录于屏幕上，要求每个周期的波形显示无缺陷。

60. 余辉时间可变范围

variable persistence time range

在光点移走后，显示亮度逐渐减弱的情况下，阴极射线管屏幕暂时保留信息的能力。一般以时间来表示。保留的时间是可变的，该变化的范围即为余辉时间可变范围。

指标水平：一般为30s～1min。

测试方法：

(1) 测试方框图，被测记忆示波器本身。

(2) 测试步骤

触发形式置"全自动"，扫描时间系数置最大值(一般为20s/div)，"辉度"置于较暗，"可变余辉"旋至反时针最大，显示方式按"可变余辉"。待扫描线迹扫出屏幕后，即将"可变余辉"旋至顺时针最大。从扫描开始计算时间，并不断调节Y轴"移位"，使扫描线不相重合。待出现下列任一种缺陷时，即刻停止。该时间即为余辉的最大时间。

该缺陷为：

① 背景的发光亮度达到最大迹线亮度的30%。

② 迹线宽度变粗到它最初值的两倍。

③ 断线大于迹线宽度。

61. 开机存储时间

operating storage time

记忆示波器处于工作条件下，记录下的信息被保留和显示的时间周期。

指标水平：一般为几分钟或十几分钟。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图19-45。

(2) 测试说明和要求

仪器一直处于工作状态，显示为较暗辉度。

(3) 测试步骤

按图19-45连接。将1kHz的正弦波信号输至Y轴输入端。Y轴偏转系数置合适档，扫描时间系数置1ms/div。将扫描方式置于"单次"，显示方式置于"可变余辉"，"可变余辉"旋至顺时针最大，按"清除"键，清除背景后，用"单次按"记录1kHz信号，即将显示方式置于"存储"，再调节"存储辉度"使显示处于较暗辉度，此时，开始计算显示波形的时间，直到背景亮度使记录的波形难于观察为止。这段时间即为开机存储时间，应符合产品标准的规定。

62. 关机存储时间

nonoperating storage time

记忆示波器处于不工作条件下，记录下的信息被保留和显示的时间周期。

指标水平：一般为几天或十几天。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图19-45。

(2) 测试说明和要求

信息被记录后，仪器立即处于不工作(关机)状态。

(3) 测试步骤

按图19-45连接。将1kHz的正弦波信号输至Y轴输入端。Y轴偏转系数置合适档，扫描时间系数置1ms/div。用"单次"记录信号后，即将显示方式置于"存储"，并切断仪器电源。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

经过产品标准中规定的关机存储时间后，再开机观察，被记录的波形应能显示在屏幕上。

（四）数字存储示波器的技术指标及测试方法

数字存储示波器一般说有实时方式（与通用示波器相同），又有存储方式。参阅第3节示波器技术指标汇总表。凡处于实时方式与通用示波器相同或基本相同的技术指标和测试方法在此不再赘述，仅就工作于存储方式情况下的各项指标介绍如下。

63. 最高数字化速率

maximum digitizing rate

最高数字化速率即最高取样速率。它是单位时间内对模拟输入信号的最大取样点数。它常以频率（Hz）或每秒的取样点 MS（sample）/s（sec）来表示。

指标水平：国外已达 1GS/s。

测试方法：

该指标一般不进行测试，它是由晶振频率所决定的。如果需验证的话，可采用以下的方法。

（1）测试方框图，见图 19-46。

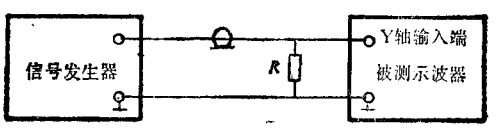


图 19-46

（2）测试说明和要求

信号发生器为正弦波信号发生器。

（3）测试步骤

按图 19-46 连接。示波器处于“存储”工作状态。显示置“点显示”状态。信号发生器输出 1/10 最高数字化速率的频率信号至Y轴输入端。Y轴偏转系数和扫描时间系数置合适档。调节信号发生器的输出电压，直至能清晰显示高度为 5div 的正弦波形，然后读取所显示的一个正弦波周期的取样点数应为 10。

64. 垂直分辨率

vertical resolution

垂直方向所能分辨的最小模拟量的单位数。它取决于模-数转换器的位数。

指标水平：一般为 8bits。

测试方法：

该指标一般不进行测试，它是由模-数转换器所决定的。如果需验证的话，可采用以下的方法。

（1）测试方框图，见图 19-46。

（2）测试说明和要求

信号源输出正弦波信号。

（3）测试步骤

按图 19-46 连接。信号源的输出频率小于或等于最高采样频率的 1/100，输入至被测示波器Y输入端。调节信号源的输出电压，直至能清晰观察到单调上升或下降的一段正弦波信号。仔细测试垂直 1div 中的级数应符合 $2^n/A$ 的要求。其中 n 为 bit 的数；A 为Y轴满量程格数。见图 19-47。

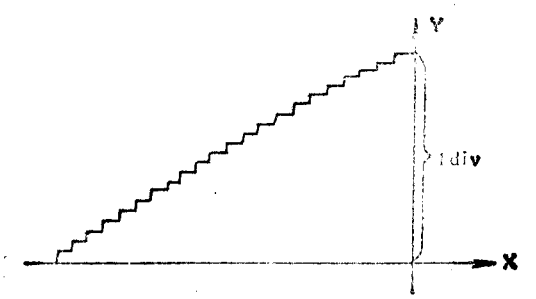


图 19-47

65. 水平分辨率

horizontal resolution

水平方向所能分辨的最小时间增量的单位数。它取决于显示存储器的容量。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

指标水平：一般为 10bits。

测试方法：

该指标一般不进行测试，它是由显示存储器的容量所决定的。如果需验证的话，可采用以下的方法。

(1) 测试方框图，见图 19-46。

(2) 测试步骤

当存储器记录长度为 1K时，水平置于扩展"×10"，在点显示时，水平方向 1div 上应有 10 个点。

66. 记录长度

record length

记录长度是获取每个波形的取样数。它表示数字存储示波器存储信号的能力。

指标水平：一般为 1K、2K、4K。

测试方法：

该指标一般不进行测试。它是由存储器的容量所决定的。

67. 重复存储带宽

repetitive storage band width

数字存储示波器处于"存储"状态时，被取样的重复信号所能达到的最高带宽。

指标水平：最高已达 1GHz。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-46。

(2) 测试说明和要求

信号发生器为稳幅正弦波信号发生器。

(3) 测试步骤

按图 19-46 连接。将稳幅正弦波信号发生器的输出经 50Ω 电缆和终端匹配器加置被测示波器垂直输入端。被测示波器置"重复"方式，按通用示波器频带宽度的测试步骤进行测试。降至基准频率时的显示高度 H_0 的 0.707 倍时的频率即为重复频带宽度。

68. 重复存储上冲

repetitive storage overshoot

数字存储示波器处于"存储"并"重复"工作方式时，信号的上冲值。(上冲的定义与通用示波器的相同。)

指标水平：一般为 1%～5%。

测试方法：

(1) 测试方框图：见图 19-48。

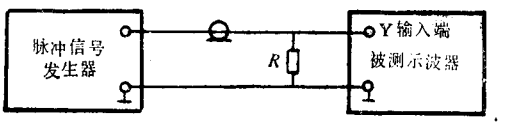


图 19-48

(2) 测试说明和要求

脉冲信号发生器的脉冲上冲至少应小于所测上冲的 3 倍。

(3) 测试步骤

按图 19-48 连接。数字存储示波器置"存储"并"重复"工作状态。将频率为 1MHz 的快速上升脉冲信号经电缆和终端匹配器加至被测示波器 Y 轴输入端。按照通用示波器测试上冲的方法进行测试。

69. 重复存储上升时间

repetitive storage rise time

数字存储示波器处于"存储"并"重复"工作方式时，信号的上升时间。(上升时间的定义与通用示波器的相同。)

指标水平：由产品标准确定。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-48。

(2) 测试说明和要求

脉冲信号发生器的上升时间至少比所测上升时间小三倍。

(3) 测试步骤

按图 19-48 连接。数字存储示波器置"存储"并"重复"工作状态。将频率为 1MHz 的快

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

速上升脉冲信号经电缆和终端匹配器加至被测示波器Y轴输入端。按照通用示波器测试上升时间的方法进行测试。

70. 单次存储带宽

single storage bandwidth

单次存储带宽即有效存储带宽。是指被取样的单次信号所能达到的最高带宽。它取决于最高数字化速率和所采用的显示技术。单次存储带宽为最高数字化速率（MHz）除以系数K。其中K一般：

正弦内插显示为 2.5；

脉冲内插显示为 10；

点显示　　为 25。

指标水平：一般为 20～100MHz

测试方法：

（1）测试方框图，见图 19-46。

（2）测试说明和要求

信号发生器为稳幅正弦波信号发生器。

（3）测试步骤

按图 19-46 连接。将稳幅正弦波信号发生器的输出经 50Ω 电缆和终端匹配器加置被测示波器Y轴输入端。被测示波器置“单次”方式。按通用示波器频带宽度的测试步骤进行测试。同样，降至基准频率时的显示高度 H_0 的 0.707 倍时的频率即为单次频带宽度。

71. 前/后触发

pre/post triggering

按波形的时间关系选择触发点的能力。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 19-48。

（2）测试步骤

按图 19-48 连接。将 1MHz 的脉冲方波信号输至被测示波器的Y轴输入端。触发工作方式先置于“触发”，Y轴偏转系数和扫描时间系数置合适档，屏幕上显示一方波信号。再将触发工作方式置于“重复”。信号获取开关置“前触发”应能观测触发点之前的信号。置“后触发”应能观测触发点之后的信号。

信号获取和处理

Acquisition/Process Modes

数字存储示波器的信号获取和处理功能一般有取样、峰值检测、累计峰值检测、重复、平滑、平均等。

下面仅就几种常用的处理功能叙述如下：

72. 峰值检测

peak detect

是对重复信号取样时，通过显示几次扫描中波形的最大值、最小值来观察波形变化情况的方式。它用于观察图像的包络和检测信号中的毛刺。

指标水平：一般给出捕捉毛刺的窄脉冲宽度的范围。

测试方法：

峰值检测具有包络显示和捕捉毛刺的功能。在测试时应分别进行检查。

I. 包络显示功能

（1）测试方框图，见图 19-48。

（2）测试步骤

按图 19-48 连接。将几百千赫（如 200 kHz）的周期性脉冲信号输入至被测示波器的Y轴输入端。Y轴偏转系数置合适档，扫描时间系数置较慢档级（如 5ms/div），触发工作方式置“常态”。当获取方式不置“峰值检测”档时，屏幕上应显示清晰的脉冲信号（如图 19-49

(a)　　(b)

图 19-49

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(a))。当获取方式置"峰值检测"档时，屏幕上应显示如图19-49(b)的图像。该图像是模糊一片，但其幅度却清晰可见，显示出其包络线。

II. 捕捉毛刺功能

(1) 测试方框图，见图19-48。

(2) 测试说明和要求

脉冲信号发生器可产生窄脉冲信号。

(3) 测试步骤

按图19-48连接。将窄脉冲信号发生器的信号输入Y端，获取方式置"峰值检测"，调节窄脉冲的宽度能捕捉到产品标准中规定脉冲宽度的毛刺信号。

73. 平均功能

average

从连续事件中，多次采集数据并对其进行平均。用于提高信噪比。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图19-46。

(2) 测试说明和要求

信号发生器为带有噪声的正弦波信号发生器。

(3) 测试步骤

按图19-46连接。Y轴偏转系数置"最小档"，将带有噪声的正弦波信号输入至Y轴输入端。当未工作于"平均"状态时，屏幕上应显示图19-50(a)的波形。当按产品标准设定的平均次数，置"平均"工作方式时，应消除信号的噪声。屏幕上显示清晰的正弦波信号，如图19-50(b)。

(a)

(b)

图 19-50

显示方式 display modes

为了提高波形显示的功能和质量，数字存储示波器的显示方式愈来愈丰富。一般有点显示、正弦内插显示、脉冲内插显示、滚动显示、光标测量、CRT读出、自动抹迹等功能。具体到每个产品具有哪些显示功能，应在产品标准中加以说明。

下面仅就几种显示功能叙述如下。

74. 滚动显示

roll display

是指数据连续不断地从屏幕的一端向另一端推出的显示方式。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图19-46。

(2) 测试说明和要求

信号发生器为正弦波信号发生器。

(3) 测试步骤

按图19-46连接。Y轴偏转系数和扫描时间系数置合适档。将一频率较低的正弦波信号(如几百赫兹)输入至被测示波器的Y轴输入端。置"滚动"工作方式。屏幕上应显示一连续不断的被刷新了的信号，该信号沿水平方向，从一端向另一端推出。

75. 游标测量误差

cursors measurements

游标是用于在图像上识别规定位置的标志。游标可对幅度差(ΔV)、时间间隔(ΔT)等进行测量。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

指标水平：测量误差一般为 ±3%～5%。

I. 幅度差值游标测量误差

cursors for voltage measurements

(1) 测试方框图：见图 19-51。

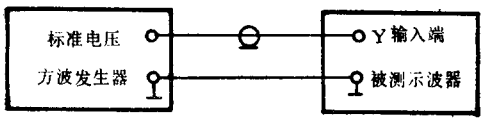


图 19-51

(2) 测试步骤

按图 19-51 连接。Y 轴偏转系数置 10mV/div，扫描时间系数置合适档。将频率为 1kHz、幅度为 50mV 的标准电压方波信号加至被测示波器 Y 轴输入端。屏幕上显示该方波信号。再将二个游标分别对准方波的顶部和底部。由 CRT 可直接读出其 ΔV 值。与 50mV 的标准电压进行比较，可求出其误差值。

II. 时间间隔游标测量误差

cursors for time measurements

(1) 测试方框图，见图 19-52。

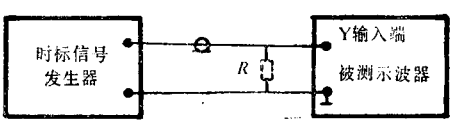


图 19-52

(2) 测试步骤

按图 19-52 连接。Y 轴偏转系数置合适档，扫描时间系数置 0.5ms/div，将 1ms 的时标信号输至被测示波器 Y 轴输入端，屏幕上应显示五个周期的时标信号。将二个光标分别对准同一水平刻度相邻二个时标信号（一个周期），由 CRT 读出其 Δt 值。该值与 1ms 的标准时间进行比较，可求出其误差值。

76. 外时钟

external clock

对输入信号进行取样的外部时钟信号。

指标水平：产品标准中应给出其外时钟的频率值、幅值和脉冲宽度。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-53。

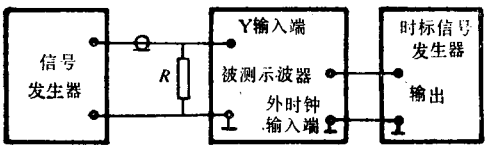


图 19-53

(2) 测试说明和要求

信号发生器为方波发生器。

时标信号发生器替代外时钟信号。

(2) 测试步骤

按图 19-53 连接。将方波信号发生器频率为 1kHz、幅度为 50mV 的方波信号输至被测示波器的 Y 轴输入端。被测示波器置“外时钟”，将周期为 10μs、脉宽为 5μs 的正脉冲信号输至被测示波器的外时钟输入端。方波发生器的信号应能被获取和存储。按产品标准的要求，调节外时钟的频率值、幅值和脉冲宽度。该方波信号均应被获取和存储。

77. 记录输出

recorder output

记录器输出的能力。

指标水平：一般应给出记录速度和偏转系数。

测试方法：

可用示波器来测试其偏转系数。

78. 存储方式通道隔离度

channel isolation in storage mode

数字存储示波器工作在存储状态时的通道隔离度。

指标水平：由产品标准确定。

测试方法：

将数字存储示波器工作于存储状态。其方

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

法与技术指标23“通道隔离度”的方法相同。

79. 存储方式共模抑制比

CMRR in storage mode

数字存储示波器工作在存储状态时的共模抑制比。

指标水平：由产品标准确定。

测试方法：

将数字存储示波器工作于存储状态。其方法与技术指标22“共模抑制比”相同。

80. 存储方式 XY 相位差

XY phase difference in storage mode

数字存储示波器工作在存储状态时的 XY 相位差。

指标水平：由产品标准确定。

测试方法：

将数字存储示波器工作于存储状态。其方法与技术指标28“XY 相位差”相同。

（五）数字、智能化示波器的技术指标及测试方法

数字、智能化示波器是最近发展起来并正在发展的一个门类。它包括数字读出示波器、数字处理示波器、智能化示波器等。主要是将数字技术、计算机技术应用于示波器中，提高测试精度，增加处理功能。目前多见的显示功能有数字读出、游标测量等，处理功能有平均、叠加、快速付里叶变换（FFT）、特征分析等功能。

81. 显示功能

display

数字、智能化示波器所能显示波形和数字的能力。

指标水平：由产品标准确定。

显示的方式各有不同。初级的数字示波器是用数码管显示的；现在大多为示波管划出一个区域专门显示所需的数据和结果。

显示的内容也逐步增加。初级的数字示波器只显示Y轴偏转系数和扫描时间系数的档级或量程；现在大多数字、智能化示波器除显示其所测试的量程外，还显示出波形的电压幅度 ΔV，波形的时间间隔 ΔT，和根据需要所进行运算或处理后的结果。

测试方法：

根据产品标准给出的显示功能，加入适当的波形于数字、智能化示波器输入端，即刻检验其显示功能是否正常。

82. CRT 读出功能

CRT read output.

在 CRT 的某特定区域直接读出所需数字的能力。

指标水平：由产品标准确定。

CRT 读出与游标测量是联系在一起的。游标测量的 ΔV、ΔT 值可直接由 CRT 读出。对信号进行处理（如平均、叠加等）的结果也可由 CRT 读出。

测试方法：

同样，根据产品标准给出的 CRT 读出功能对其数字、智能化示波器进行检验。

83. 自动控制功能

auto-control

根据输入信号的幅度和频率自动调节偏转系数和扫描时间系数的能力。

指标水平：由产品标准确定。

偏转系数和扫描时间系数档级的转换不需用人工转换开关，而是由编好的程序自动进行转换，以确保显示稳定和观测方便。

测试方法：

同样，根据产品标准给出的自动控制功能，加入信号对其数字、智能化示波器进行检验。

84. 信号处理功能

signal process

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

对输入信号进行处理和运算的能力。

指标水平： 由产品标准确定。

信号处理功能随着数字、智能化示波器的发展而发展。由算术运算功能（如平均、叠加等）发展到分析功能（如快速付里叶变换，特征分析等等）。

测试方法

同样，根据产品标准给出的信号处理功能，加入信号对其数字、智能化示波器进行检验。

（六）电视专用示波器的技术指标及测试方法

电视专用示波器包括矢量示波器、波形监视示波器、选行示波器等。它是电视测试的专用设备，有其特定的指标，现列述如下。

85. 矢量相位范围与误差

vector phase range and error

显示 PAL 制彩色电视信号的矢量图。其矢量相位可变化的范围及其所显示矢量相位的误差。

指标水平：

矢量相位范围一般为 0～360°。

矢量相位误差一般为小于 1°～3°。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 19-54。

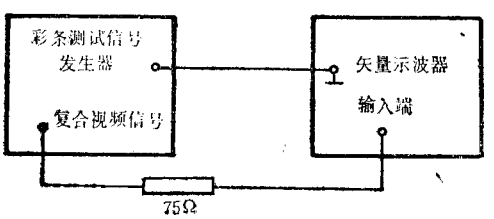


图 19-54

（2）测试说明和要求

彩条测试信号发生器可用 Tek 1411C。用此法测试较为直观、方便。若无彩条测试信号发生器，用相位计直接测试相位也可。

（3）测试步骤

按图 19-54 连接。将彩条测试信号发生器的复合视频信号，用 75Ω 电缆线，经 75Ω 馈通器输入至矢量示波器的输入端 A（或 B）。增益控制置于校准位置、方式开关置 A-PAL（或 B-PAL）。旋转移位控制器，矢量相位图能在 0°～360° 范围转动，并使显示的全电视信号各点均落在相应的刻度标志位置，读取色度矢量各点与相应标志位置之间的相位误差（度数），并取其最大相位误差值。

86. 正交相位

quadrature phasing

移相 90° 所相差的度数。

指标水平：一般小于 0.25°～2°。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 19-55。

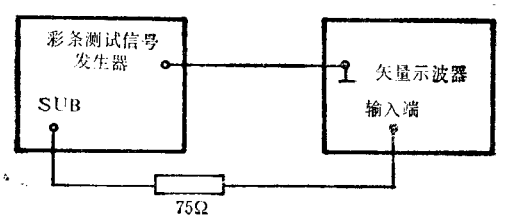


图 19-55

（3）测试步骤

按图 19-55 连接。方式开关置于 A-SUB，增益置非标准位置，将彩条测试信号发生器的副载波 SUB 输入至 A 端。屏幕上将产生两个圆。若该两圆的相位正好相差 90° 时，则两圆将重合为一个圆。若有相差。则产生两个圆，如图 19-56 所示。在相对 45° 处可读出相差的最大值 b，则由下式可算出其相差的最大相位值

$$\phi = 2\arcsin\frac{b}{2R}$$

式中 b 为二圆相差的最大值；

R 为圆半径。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

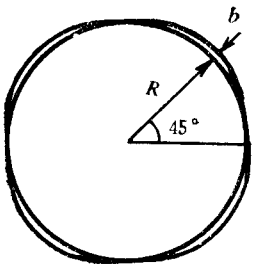


图　19-56

87. 增益控制器相移

phase shift with gain control

增益控制器调整过程中所产生的相位的变化。

指标水平：一般为 1°～3°。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-54。

(2) 测试说明和要求

用输入 A 或输入 B 均可。在此以输入 A 为例。

(3) 测试步骤

按图 19-54 连接。方式开关置 A-PAL，将彩条测试信号发生器的复合视频信号输入至 A 端。关闭彩条测试信号发生器的 V 信号和 U 信号。旋转"增益控制器"，使色同步矢量显示幅度从最小值一直增长到屏幕圆刻度线边缘。读取此变化过程中相位的变化值即为增益控制器的相移。

88. 增益稳定性

gain stability

增益调整后，由于外界条件变化影响其变化的程度。

指标水平：一般为 2%～5%。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-54。

(2) 测试步骤

按图 19-54 连接。方式开关置于 A-PAL，增益控制器处于校准位置。将彩条测试信号发生器的复合视频信号通过 75Ω 馈通器输入至被测矢量示波器的输入 A 端。在屏幕上显示的各矢量点均应在相应刻度的小方框内，幅度为恒值。当环境(包括温度、湿度等)在允许的范围内变化时，读取其各矢量幅度的变化值，与其幅度值之比，即为增益的稳定性。

89. 色同步幅度相移

phase shift with burst amplitude change

色同步矢量信号幅度变化时相位移动的度数。

指标水平：一般为 2°～5°。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-57 和图 19-58。

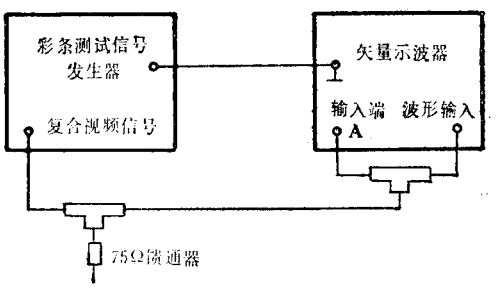


图　19-57

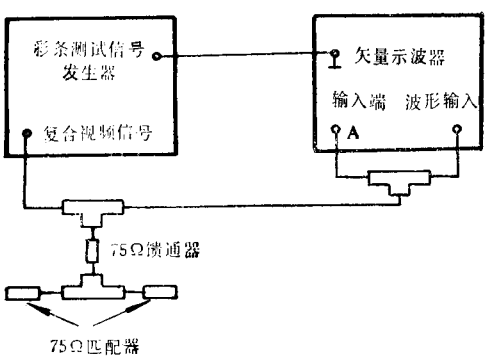


图　19-58

(2) 测试步骤

先按图 19-57 连接。方式开关置于 A-PAL，调整增益控制器，使色同步矢量至刻度

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

线边缘，并旋转相位控制器，将色同步矢量与V、U 轴相对应。此时，不得再旋动相位控制器，并按下列步骤进行检查。

① 从通道A环通中拆去75Ω馈通器，再调整增益控制器，使色同步矢量仍移至刻度边缘，读取这时色同步矢量的位置与原色同步矢量的位置相位的偏离值。

② 按图 19-58 连接。在通道A环通中再加上二个 75Ω 匹配器。调整增益控制器，使色同步矢量移至刻度线边缘。读取该时色同步矢量的位置与原色同步矢量的位置相位的偏离值。

以上二种方法所测得的偏离值的较大者为该色同步幅度的相移。

90. 固有微分增益 dG

differential gain

本机自身所产生的微分增益值。

指标水平：一般为 0.5%～1%。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-54。

(2) 测试步骤

按图 19-54 连接。方式开关置 A-PAL，将彩条测试信号发生器的 140mV 副载波调制阶梯波信号输入至矢量示波器输入端 A。旋转相位控制器和增益控制器，使在屏幕上显示的矢量移至U轴左边测量 dG 的大方框边缘，如图 19-59 所示，读取固有微分增益 dG 值。

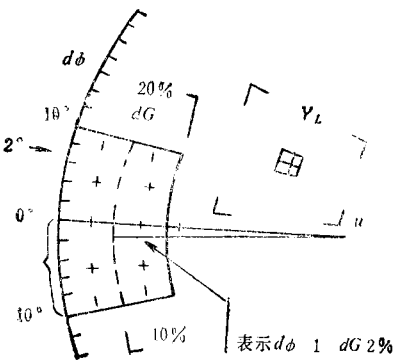


图 19-59

91. 固有微分相位 $d\phi$

differential phase

本机自身所产生的微分相位度数。

指标水平：一般为 0.5°～1°。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-54。

(2) 测试步骤

按图 19-54 连接。方式开关置 A-PAL。将彩条测试信号发生器的 140mV 副载波调制阶梯波信号输入至矢量示波器输入端 A。旋转相位控制器和增益控制器，使在屏幕上显示的矢量移至U轴左边测量 $d\phi$ 的大方框边缘，如图 19-59 所示。读取固有微分相位 $d\phi$ 值。

92. 垂直满度误差

vertical full scale deflection error

波形监视示波器垂直方向偏转满度所需的电压值及误差。

指标水平：一般分为 1V、0.5V、0.2V 各档，误差为 2%～3%。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-60

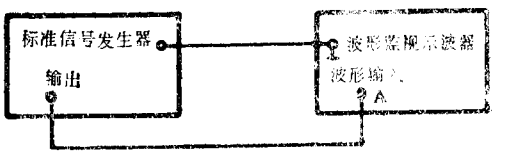


图 19-60

(2) 测试说明和要求

其指标的测试方法与通用示波器Y轴偏转系数范围与误差的测试方法相类同。

(3) 测试步骤

按图 19-60 连接。滤波开关置"宽带"，增益微调置"校准"。垂直满度开关置 1V、将标准信号发生器 1kHz、1V 的方波信号接至波形输入A端。读取屏幕垂直方向显示的格数为 b，则垂直满度 1V 的误差为：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$垂直满度误差=\frac{a-b}{b}$$

式中 a 为满度的格数(一般为10div)。

同样垂直满度开关置0.5V，输入方波为1kHz，0.5V；垂直满度开关置0.2V，输入方波为1kHz，0.2V来测得各档垂直满度的误差。

93. 宽带

bandwidth

以某频率为基准，在一定频带范围内或某些频率点上垂直幅度下降的分贝数。

指标水平：PAL制波形监视示波器一般以白电平为基准。

频率为500kHz、1MHz、2MHz、4MHz、4.8MHz、5.8MHz时≤0.5dB

测试方法：

(1) 测试方框图，见图19-61。

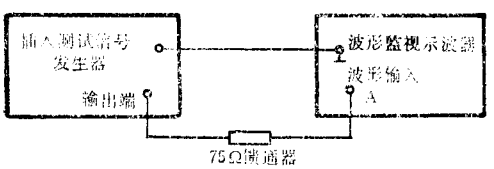


图 19-61

(2) 测试步骤

按图19-61连接。垂直满度开关置"1V"，输入开关置A，增益微调置"校准"。将插入测试信号发生器的多波群信号幅度调至700mV。并输至波形输入A端。以白电平信号的幅度为基准(如7div)，读取技术条件所规定的各点频率的显示幅度值，并折算成dB数。

94. 亮度滤波器 IRE

luminance filters

供测量色度信号对亮度信号交调失真的专用低通滤波器。

指标水平：符合国际"IRE"标准曲线，在4.43MHz时衰减应≥22dB，

测试方法：

(1) 测试方框图，见图19-62。

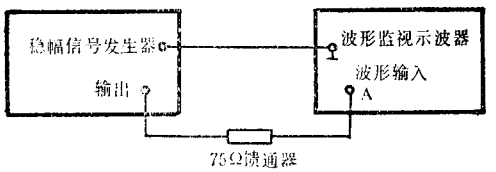


图 19-62

(2) 测试说明和要求

该测试方法与通用示波器的频带宽度的测试方法相类同。

(3) 测试步骤

滤波开关置"IRE"，垂直满度开关置"1V"，增益开关置"校准"。将稳幅信号发生器信号输至波形输入A端，以50kHz频率信号为基准，测量其它频率的特性，应符合下列要求。

稳幅发生器输出频率	垂直显示幅度
50kHz	10div
350kHz	9.4～9.8div
1MHz	7～8div
2MHz	3.1～4.3div
3.6MHz	0.56～1.4div
4.43MHz	其衰减应≥22dB

95. 低通滤波器

low pass filters

大于某频率的信号予以衰减的滤波器。

指标水平：一般以50kHz的幅度为基准，500kHz的幅度下跌应≥14dB。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图19-62。

(2) 测试步骤

按图19-62连接滤波开关置"低通"，将50kHz的稳幅信号接至波形输入端A，调节稳幅信号发生器的输出幅度，使之在屏幕上显示10div的垂直幅度。保持稳幅信号发生器的输

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

出幅度不变，并将频率增至 500kHz，读取其在屏幕上显示的垂直幅度，换算成 dB 数，应符合技术指标的要求。

96. 微分滤波器

differential filters

供亮度非线性失真测量用的微分形成网络。

指标水平：0.4MHz ～ 0.5MHz 变化时，幅度变化 < 2dB；4.43MHz 时幅度衰减大于 40dB。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-62。

(2) 测试步骤

按图 19-62 连接。滤波开关置“阶梯微分”。调节稳幅信号发生器的输出频率为 400kHz。调节输出幅度使在示波管屏幕上显示 10div 的垂直幅度。保持稳幅信号发生器的输出幅度不变，并将频率调至 500kHz。读其垂直幅度的值的变化应小于 2dB。然后再将频率调至 4.43MHz，同样读其垂直幅度的值，其衰减应 ≥ 40dB。

97. 色度滤波器

chrominance filters

以 4.43MHz 为中心，带宽为 0.8MHz 的带通滤波器。

指标水平：4.0MHz ± 0.10MHz 衰减 > 3dB；
4.8MHz ± 0.10MHz 衰减 > 3dB。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-62。

(2) 测试步骤

按图 19-62 连接。滤波开关置“4.43MHz 带通”，调节稳幅信号发生器的输出频率为 4.43 MHz，调节其幅度使示波管屏幕上显示 10div 的垂直幅度。保持稳幅信号发生器输出幅度不变，输出频率为 3.9MHz ～ 4.1MHz，和 4.7 MHz ～ 4.9MHz，读取其显示的垂直幅度，换算成分贝数均应大于等于 3dB。

98. Y 轴瞬态特性

Y axis transient response characteristic

屏幕上显示的信号与原信号相比所产生的波形失真。

指标水平：一般为

正弦平方波信号幅度下跌 ≤ 0.3dB；

条信号平顶倾斜应在 ±0.2dB 之间；

条信号上冲 ≤ 0.3dB。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-63。

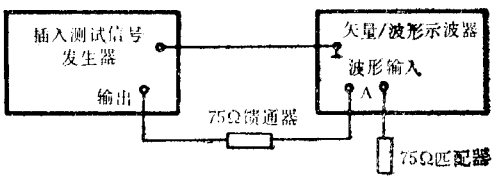


图 19-63

(2) 测试说明和要求

一般用专用的能产生正弦平方波信号和条信号的插入测试信号发生器来测试。

(3) 测试步骤

按图 19-63 连接。滤波开关置“宽带”，时基开关置“1H”输入开关置“A”。将插入测试信号发生器的 1V 正弦平方波脉冲及条信号输入至选行 A 通道的一个插座，75Ω 终端匹配器接至另一个插座。示波管屏幕上所显示的垂直幅度，以条信号中心幅度为基准，读取正弦平方波脉冲信号的幅度下跌值、条信号平顶倾斜值、条信号上冲值，均应符合技术条件的要求。

99. 箝位特性

clamp characteristic

使电压保持在一定电平上的特性。

指标水平：箝位在消隐电平上，其跳变应 ≤0.5div。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-63。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试步骤

按图19-63连接。滤波开关置于"箝位"。将插入信号发生器输出的场方波幅度跳变信号接至矢量/波形示波器的波形输入A通道的一个插座上。而另一个插座接一个75Ω的匹配器。观察和读测示波管屏幕上显示的场方波幅度跳变信号应箝位在消隐电平上。跳变的幅度应小于0.5div。

100. 触发(同步)特性

triggering

能稳定同步显示的信号幅度范围和信号极性等特性。

指标水平:

触发灵敏度范围: 内触发 $0.2\sim1V_{p-p}$

外触发 $0.4\sim1V_{p-p}$

触发极性: 负信号触发

测试方法:

(1) 测试方框图,见图19-63。

(2) 测试步骤

按图19-63连接。时基开关置"2V"(2场),垂直满度开关置"1V",方式开关置"选行",同步开关先置"内"。将插入测试信号发生器的正弦平方波和条脉冲信号接至被测示波器的波形输入A通道,另一个插座接一个75Ω的终端匹配器。调节信号输入幅度从0.2V～1V(即2div～10div),示波管屏幕上应稳定地显示"2V"(2场)的波形。

同步开关置于"外",将插入测试信号发生器的输出信号通过三通连接器分别接至波形输入A通道及外同步输入端。调节插入测试信号发生器输出信号的幅度从0.4V～1V(即4div～10div)示波管屏幕上应稳定地显示"2V"(2场)的波形。

101. 扫描时间系数误差

sweep time coefficient error

指标含义与通用示波器的该项指标相同。

指标水平: 一般也按1-2-5进制,但档级较少,误差为 ±3%～±5%。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图19-64。

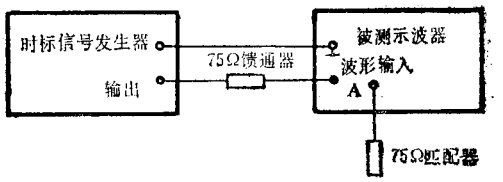


图 19-64

(2) 测试说明和要求

除开关所置方式不同外,读测方法与通用示波器相同。

(3) 测试步骤

按图19-64连接。方式开关置"隔行",垂直满度开关置"1V",扫描扩展开关置"×1",扫描微调开关置"校准",同步开关置"内",将时标信号发生器的信号输至波形输入A端插座,A端的另一插座接75Ω终端匹配器。不同的扫描系数档级,调节相应的时标信号输出。按通用示波器扫描时间系数误差测试的相同方法进行测试并计算其误差值。

102. 扫描时间系数扩展的误差

sweep magnification erorr

指标含义与通用示波器的该项指标相同。

指标水平: 档级较多。一般有×5、×10、×20、×25、×50等等,其误差各档可不同从±3%～±10%左右。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图19-64。

(2) 测试步骤

按图19-64连接。方式开关置"隔行",垂直满度开关置"1V",扫描微调开关置"校准",同步开关置"内",扫描扩展开关分别置所需测试的档级。用与通用示波器测试扫描时间系数扩展误差相同的方法,读测和计算其各档的误差值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

103. 选行

line selection

从输入信号中选出1行或若干行信号加亮显示。

指标水平：一般为

固定选行：14～22H（或 327～335H）

可变选行：>1场(即20ms)

测试方法：

(1) 测试方框图，见图19-63。

(2) 测试步骤

按图19-63连接。扫描时间系数开关置"5μs/div"，先将选行开关置14～22行，选场开关置"奇"或"偶"。将插入测试信号接入波形输入A端一插座，另一插座接一75Ω匹配器，示波管屏幕上显示的波形应插入测试信号发生器的14～22H(或327～335H)的行标准信号相符。

再将选行开关置"可变"，将被测仪器的加亮视频输出信号接至另一波形监视示波器的输入端，旋动可变选行电位器时(从始端至终端)，观测波形监视示波器上加亮线的移动范围应大于1幅图画即20ms。

(七) X-Y 示波器

X-Y 示波器的技术指标大部分与通用示波器相同，只是工作方式置 Y-X 时，有一路Y通道为X轴显示。凡与通用示波器相同的指标在此不再赘述，只对其特殊部分予以说明。

104. Y-X 偏转系数

Y-X deflection coefficient

当一路Y通道为X轴显示时在X轴向，电压与由此电压产生的偏转长度之比。

指标水平：一般规定1～2档。

误差 ±3%～±7% 左右。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图19-65。

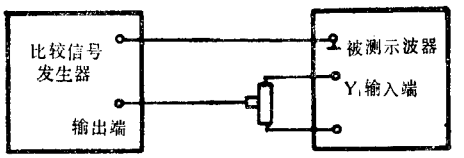


图 19-65

(2) 测试步骤

按图19-65连接。将50mV的比较信号输至被测示波器的 Y_1、Y_2 输入端。Y工作方式、X工作方式均置于 Y-X。Y-X 偏转系数置10mV/div。在屏幕中心部分显示零相李沙育图形，读取斜线在X轴向的距离(格数)为 L_d。

其 Y-X 偏转系数误差为

$$偏转系数误差=\frac{L_d-5}{5}\times 100\%$$

105. Y-X 频带宽度

Y-X bandwidth

在 Y-X 方式时，输入不同频率的等幅正弦信号时，X轴向上对应基准频率的显示幅度随频率变化而下跌3dB时，其下限到上限频率的范围。

指标水平：一般为 10Hz～1MHz。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图19-66。

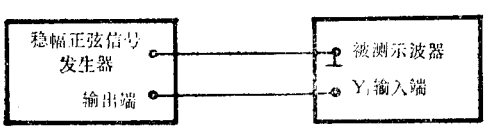


图 19-66

(2) 测试步骤

按图19-66连接。被测示波器Y工作方式、X工作方式均置 Y-X，Y_1 输入端置"DC"，Y_2 输入端置"接地"，将稳幅正弦信号发生器输出信号输至 Y_1 输入端。调节其频率，读取幅度衰减至3dB的频率值，即为 Y-X 频带宽度。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

106. Y-X 相移

Y-X phase shift

Y-X 工作方式时，在一定频带范围内所引起的最大相位差。

指标水平：一般小于3°。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图19-66。

(2) 测试步骤

按图19-66连接。被测示波器Y工作方式、X工作方式置Y-X，Y_1输入端置"DC"、Y_2输入端置"接地"，V/div置10mV/div将稳幅正弦信号发生器50mV输出信号输至Y_1输入端。调节其频率，读取在指标允许的频率范围内所产生的最大X值(格数)，如图19-67所示。

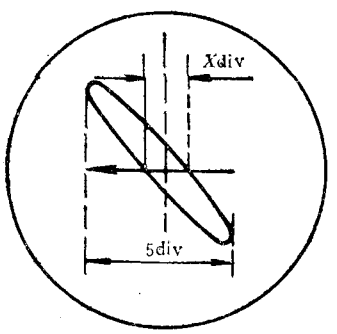


图 19-67

则所测得相移为：

$$\varphi = \arcsin \frac{x}{5}$$

107. "双 V" "双 H" 功能

立体声示波器中，在垂直和水平方向可同时观测二个信号的幅度和相位的功能。

指标水平：应在产品标准中说明。

测试方法：

(1) 测试方框图。见图19-68

(2) 测试步骤

垂直偏转系数和扫描时间系数置合适档。工作方式开关置"双 V、双 H"位置。(Y和X轴均装有电子开关，在Y向和X向均可同时观测二个信号)。将稳幅信号发生器的正弦波信号通过"三通"输至立体声示波器的Y_1和Y_2输入端。调节垂直和水平移位电位器，在屏幕上可观测到如图19-69所示的图形。对单腔示波管来说，不但在垂直方向可观察二踪的波形，在水平方向同样可观察二踪的波形。

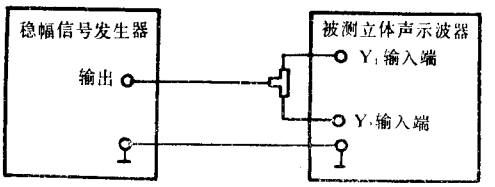


图 19-68

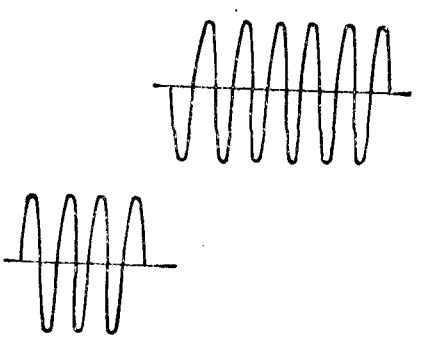


图 19-69

(八) 显 示 器

显示器包括CRT终端、监视示波器等。有教学用的；也有各行业专用的监示器。有用示波管显示的；也有用显像管显示的终端设备。它的绝大部分技术指标与通用示波器的技术指标相同(或仅取其中的一部分指标)，在此不再复述。仅对脉冲输入特性的技术指标予以阐述。

108. 脉冲输入显示特性

palse input display characteristic

脉冲信号输入后所能显示的技术特性。它包括：频带宽度，偏转系数，极性，输入电阻等。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

指标水平： 由产品标准中给出。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 19-70。

图 19-70

(2) 测试说明和要求

脉冲信号发生器可输出正、负窄脉冲信号。

(3) 测试步骤

按图 19-70 连接。将正脉冲信号送至脉冲输入端。极性开关置"+"，应显示正脉冲信号；极性开关置"−"，应显示负极性脉冲信号。

偏转系数、频带宽度、输入电阻等指标均按通用示波器该指标的测试方法来测试。

(九) 逻辑分析仪的技术指标及测试方法

逻辑分析仪的技术指标(109～128)及其测试方法，由于分类重复，请参阅第 28 章数字域仪器，在此不再赘述。

* * *

本章技术指标和测试方法中所用主要测试仪器，汇总列表如下。

主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
示波器校准仪	SO_3、SO_6、NH4606A、CG5001 (Tek公司) Tek500 系列(包括 PG506、TG501、SG502、SG503、SG504)	
正弦信号发生器	XD1、XFG7、JSGD-2 等	JJG 15002-88
超高频毫伏表	DA22 等	JJG 308-83
数字式频率计	PS44、E325 等	JJG 349-84
高灵敏度示波器	SR12、SR46、XJ19 等	
数字万用表	CR-1、1503、TM451 等	
高频Q表	QBG-3 等	JJG 382-85
衰减器	CH-3、CH-2 标准衰减器	JJG 9002-87
驻波测量仪	TC8B 等	
彩条测试信号发生器	Tek1411C、LCG399 等	
插入测试信号发生器	Tek148 等	

第 5 节 示波器按门类的量值传递表

根据第 3 节示波器技术指标一览表所列出的示波器技术指标有 128 个。具体到 1 台示波器，它的技术指标可能是其中的几十个。对这些技术指标的测试，可用十几种或几十种仪器进行。但归纳起来，不外乎是对时间频率、脉冲电压、高频电压、低频电压、电阻、电容的测试等等，所以，就按这几个门类的量值进行量值传递。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

脉冲波形参数计量器具检定系统框图

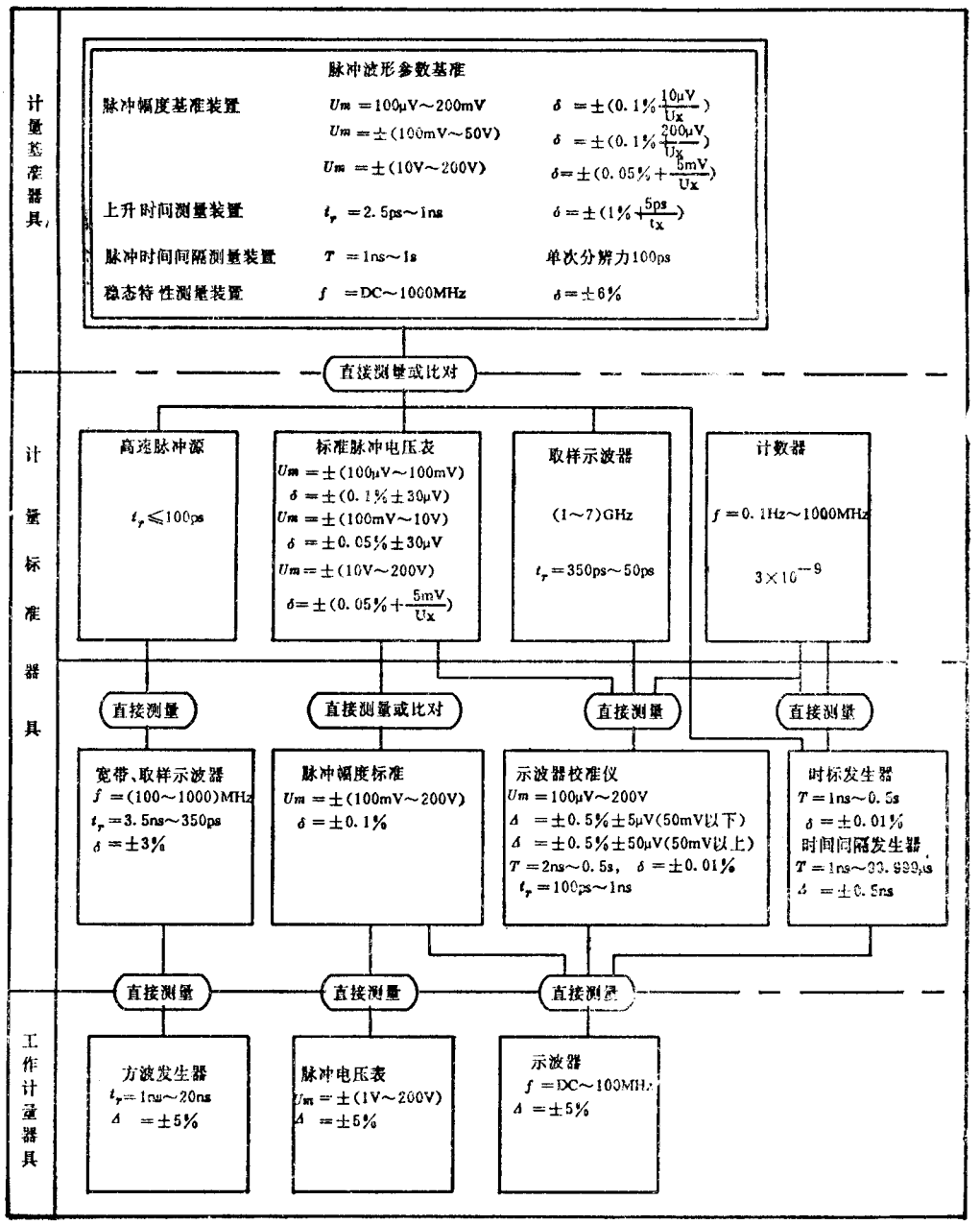


图　19-71

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第20章 脉冲信号发生器

第1节 综 述

脉冲信号发生器是电子测量仪器中的一个重要门类。脉冲信号发生器是产生电信号的一种仪器，由其输出端直接或通过传输线以脉冲形式提供信号。

脉冲信号发生器的主要性能特性是输出脉冲频率、输出脉冲幅度、输出脉冲持续时间、脉冲前(后)过渡持续时间等。脉冲输出极性常常是可以转换的。为便于进行时间参数的测试，除输出矩形主脉冲外，还能输出同步脉冲。脉冲信号发生器被广泛地应用于电子测量系统及数字通信、雷达、激光、航天、计算机技术、自动控制等领域。在这些领域中，脉冲信号发生器用于测试视频放大器、宽带电路的振幅特性、过渡特性，逻辑元件的开关速度，集成电路、逻辑存储电路、数字电路的研究，以及对示波器的检定与测试等。脉冲信号发生器的发展速度同示波器、时间频率门类仪器的增长速度一样，属于增长速度较快的门类，年增长速度大于30%。

脉冲信号发生器问世已有近50年的历史。国外早在40年代就开始研制脉冲信号发生器，早期的产品为电子管的，到60年代随着晶体管和集成电路的迅速发展也促进了脉冲信号发生器的迅速发展，并对脉冲信号发生器提出了更高的要求。70年代美国HP公司，荷兰飞利浦公司、日本安立公司等的脉冲信号发生器均为晶体管分立元件产品(部分电路采用中小规模集成电路)，并形成系列。80年代由于微电子技术的发展，尤其是专用集成电路在仪器中得到广泛的应用，脉冲信号发生器向集成化、数字化、智能化方向发展，出现了带GPIB接口可编程序脉冲信号发生器，使脉冲信号发生器进入各种自动测试系统。

我国是在50年代开始研制脉冲信号发生器的。起初仅是示波器生产厂为解决测试示波器瞬态特性的需要而研制的。60年代初进入商品化生产，这期间主要为电子管产品，输出脉冲频率也不高。70年代随着科学技术的发展，对脉冲信号发生器的性能指标提出了更高的要求，国内全晶体管化和部分采用集成电路的脉冲信号发生器也研制成功。1979年研制生产了输出脉冲频率上限达500MHz的脉冲信号发生器和前沿为100ps的脉冲信号发生器。80年代初研制生产了前沿小于800ps的脉冲信号发生器及100MHz的前后沿可调双脉冲信号生发器。在脉冲信号发生器的研究开发中，国营前卫无线电厂、南通电子仪器厂、兰州红卫机器厂、上海无线电二十一厂、宁波东风无线电厂、江苏洪泽电子设备厂、北京电子显示仪器厂、浙江金华无线电厂、国营南华无线电厂等都作出了贡献。

近几年，随着电子技术的迅猛发展，脉冲信号发生器的生产发展迅速。现就主要的几种脉冲信号发生器的发展现状和趋势简述如下。

(一) 通用脉冲信号发生器

这是最常用的一种脉冲信号发生器，其输出脉冲频率、延迟时间、脉冲持续时间、脉冲极性、脉冲幅度均在一定范围内连续可调。有些产品还具有前后沿可调、双脉冲、群脉冲、闸门、外触发、单次触发等功能。此类脉冲信号发生器国内外都形成系列产品。国外最高水平是美国HP公司的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

8080A，最高输出脉冲频率为 1000MHz，前后沿达 300ps。国内生产最高频率为 500MHz，前后沿最小达 100ps。通用脉冲信号发生器的性能已基本能满足用户要求。现主要朝集成化、多功能、高可靠方向发展，在高频大幅度、大功率输出方面尚须进一步提高。

（二）快沿脉冲信号发生器

这是一种以快速前沿为特征的脉冲信号发生器，主要用于各类电路或网络瞬态特性的测试，特别是在测试示波器的瞬态特性时应用最广。国内小幅度快沿脉冲信号发生器其前沿小于 60ps，大幅度快沿脉冲信号发生器其输出脉冲幅度达 50V，前沿小于 1ns，可用于测试示波器衰减器的瞬态特性等方面。另外，用于激光、雷达等领域的高压高速纳秒脉冲信号发生器也研制成功。这类产品，国外一般与示波器配套，如 TeK 公司 7000 系列中的 S-52 插件（25ps，200mV）。此类产品发展趋势是提高波形质量、快沿和幅度指标，这将取决于器件发展的水平。

（三）函数发生器

函数发生器是一种产生多种波形的信号发生器，如产生正弦波、方波、三角波、斜波、半正弦波、半三角波、梯形波、上升或下降阶梯波、正负脉冲以及各种逻辑电平，能以触发和门控方式产生单脉冲、双脉冲，输出波形的参量几乎全部可调。它基本上具备通用脉冲信号发生器的大部分功能、并具有扫描与调制功能，因此函数发生器已成为一种通用性极强的信号发生器。

目前函数发生器的频率上限已达 50MHz、频率下限低达 10^{-8}Hz。国内 80 年代已有几家生产厂研制生产函数发生器，可以预计近期会有较大发展。但由于函数发生器频率上限还不高，前后沿也难提高，它还不能完全取代通用脉冲信号发生器。

（四）数字化可编程脉冲信号发生器

随着微处理器在电子测量系统中的广泛应用，国外在 70 年代就开始研制数字化可编程脉冲

国内外典型产品的主要性能指标对比表

指标		国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
		美国惠普公司 HP8007B 型脉冲发生器	南通电子仪器厂 NF1535 型脉冲信号发生器
输出脉冲频率		10Hz～100MHz	3kHz～100MHz
输出脉冲宽度		5ns～50ms	5ns～100μs
输出脉冲延迟		30ns（含固有延迟）～50ms	5ns～100μs
双脉冲最高频率		0～50MHz	0～50MHz
输出脉冲前后沿		2ns～250μs	2ns～30μs
输出脉冲	极性	有正极性、负极性	有正极性、负极性
	偏移	±4V	±1V
	幅度	可达到 5V(50Ω)	可达到 5V(50Ω)
波形失真 过冲、预冲、振荡		<5%	<5%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

信号发生器，这是脉冲信号发生器技术一个新的发展阶段和方向，近年来国外发展十分迅速。这种脉冲信号发生器具有通用脉冲信号发生器的全部输出特性，通过接口可接受任何程序数据源(如计算机等)的控制，成为自动测试系统中的一个组成部分。1989年美国HP公司研制的HP8115A—50MHz双路脉冲发生器不仅全部输出脉冲参数可由键盘或HP-IB接口输入，而且全部输出参数能在仪器CRT上显示出来，使脉冲信号发生器向高精度、高度自动化方向迈出新的一步。国内目前此类产品尚属空白。

第2节 分 类

脉冲信号发生器按不同的需要可有不同的分类。在此，按其功能和用途进行分类，仅供参考。

(1) 通用脉冲信号发生器：
　单脉冲信号发生器；
　双脉冲信号发生器；
　群脉冲信号发生器。

(2) 快沿脉冲信号发生器：
　大幅度快沿脉冲信号发生器；
　小幅度快沿脉冲信号发生器。

(3) 函数发生器。

(4) 数字化可编程脉冲信号发生器。

(5) 特种脉冲信号发生器：
　精密延迟脉冲信号发生器；
　稳幅脉冲信号发生器；
　高压脉冲信号发生器；
　数据发生器；
　功率脉冲发生器。

第3节 脉冲信号发生器技术指标汇总表

脉冲信号发生器技术指标汇总表基本上按门类将主要的技术指标汇总。具体到某个产品，有些技术指标是必须给出的，但有些指标可按产品的要求而定。

对有些国内处于空白的门类(如数字化可编程脉冲信号发生器)来说，国外产品正在迅速发展，功能和指标亦不断提高，国内也无精密的测试仪器，故暂未列入本表。

脉冲信号发生器技术指标汇总表

序号	技术指标	通用脉冲信号发生器	快沿脉冲信号发生器	函数发生器	精密延迟脉冲发生器	稳幅脉冲发生器	高压脉冲发生器
1	输出脉冲频率	●	●	●		●	●
2	触发输入信号频率范围	●	●				●
3	输出脉冲幅度	●	●	●	●	●	●

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续　表

序号	技　术　指　标	通用脉冲信号发生器	快沿脉冲信号发生器	函数发生器	精密延迟脉冲发生器	稳幅脉冲发生器	高压脉冲发生器
4	输出脉冲幅度工作误差	●	●			●	
5	脉冲持续时间	●	●		●	●	●
6	脉冲前(后)沿	●	●	●	●	●	●
7	脉冲延迟时间	●	●		●	●	●
8	延迟时间工作误差	●			●		
9	预冲	●	●		●	●	●
10	过冲	●	●		●	●	●
11	衰减振荡	●	●		●	●	●
12	尖峰	●	●		●	●	●
13	晃动	●	●		●	●	●
14	平顶倾斜	●	●		●	●	●
15	电源触发	●	●				
16	单次触发	●	●				
17	输出脉冲直流偏移	●	●				
18	输出阻抗	●	●	●	●	●	●
19	输出脉冲极性与倒置	●	●				
20	功率	●	●	●	●	●	●
21	最小延迟步进量				●		
22	输出波形种类			●			

第 4 节　技术指标及测试方法

本节所列参数定义及测试方法均引自 GB9317-88《脉冲信号发生器技术条件》和 GB9318-88《脉冲信号发生器测试方法》。

被测脉冲信号发生器与测试仪器间的连接应按规定的连线尽量短并匹配好。以减小反射，避免影响测试结果。

1. 输出脉冲频率　f

output pulse frequency

在周期的脉冲序列里，前一个脉冲波形起始时间与下一个脉冲波形的起始时间的时间间隔的倒数。

测试方法：

(1) 测试方框图(见图 20-1)。

图中，R_H 为匹配电阻。

(2) 测试步骤

计数器置于频率(周期)档，计数器指示的频率(周期)即为该发生器的频率(周期)。

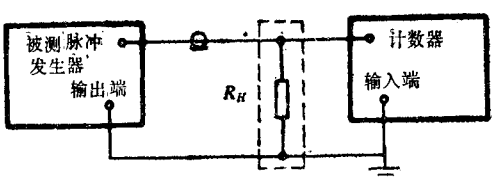


图　20-1

若该发生器规定了频率有效范围，应按产品标准规定的频率范围，调节发生器各频率档(包括微调)进行测试。

注：同步输出脉冲频率的测试同上。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 触发输入信号频率范围

external triggeringsignal frequency

机外信号触发信号发生器正常工作的频率范围。

测试方法：

（1）测试电路(见图 20-2)。

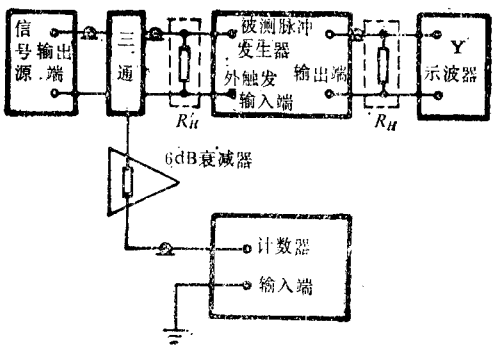


图 20-2

图中，R_H、R_H' 均为匹配电阻。

（2）测试步骤

调节信号源的输出幅度，使它为被测脉冲信号发生器的最小触发幅度并保持不变，改变信号源的频率，测出发生器稳定工作时的最低和最高频率。

然后改变信号源的输出幅度为发生器的最大触发幅度时，用上述方法测出此时的最低和最高频率。

这两次测得的最低值的大者和最高值的小者作为该发生器的触发频率范围。

对具有触发极性装置和正弦信号、脉冲信号都可触发的脉冲信号发生器应分别测试。

3. 输出脉冲幅度 *A*

output pulse amplitude

脉冲波形顶量值与底量值的代数差。

测试方法：

I. 比较测量法

（1）测试方框图(见图 20-3)。

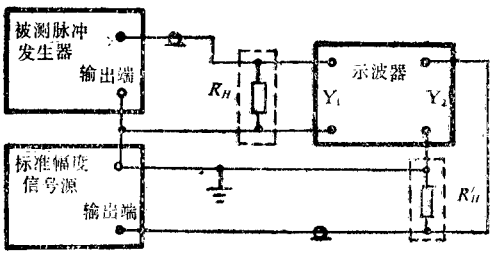


图 20-3

（2）试测步骤

示波器 Y 通道工作在“交替”位置，调节示波器使两脉冲波形底重合，调节标准幅度信号源的输出幅度，使两脉冲波形顶重合，这时标准信号源的输出幅度即为被测脉冲信号发生器的脉冲幅度值。

注：示波器的两通道的垂直偏转系数开关，增益微调旋钮应在相对同一位置，并经校准。

II. 直接测量法

（1）测试方框图(见图 20-4)。

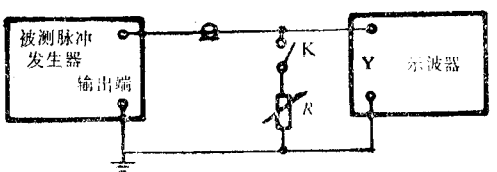


图 20-4

（2）测试步骤

调节示波器使之在屏幕上显示一个完整周期的脉冲波形并对称于示波器屏幕水平中心线，且占有效面积的 80% 左右，测脉冲底到顶所占高度，则：

输出脉冲幅度（V）等于垂直偏转因数（v/div）乘以占有高度（div）。

注：① 脉冲的顶和底有明显平坦部分的脉冲波形，按平坦部分作为顶和底值。

② 脉冲顶(底)持续时间可忽略或很小的脉冲波形，按脉冲的峰值作为顶(底)值。

③ 有较小平顶失真的脉冲波形，找出其顶和底的平均值，作为顶和底值。

III. 电压表测量法

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 测试方框图(见图 20-5)。

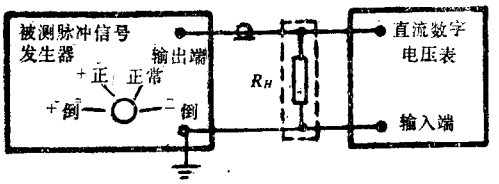


图　20-5

(2) 测试步骤

对具有正常和倒置功能的脉冲信号发生器，可采用测量倒置时基线电平的方法测量脉冲幅度。

调节脉冲信号发生器工作在无脉冲信号输出状态(如内触发置"断"或外触发置"等待"或"单次"等位置)。将正常倒置开关分别置于"+"、"−"、"正常"时，数字电压表应显示 0V，此时显示为输出"零"电位，当置于"+"倒置和"−"倒置时，显示的正负电压值即为输出的正负脉冲幅度。

注：此种方法不适用于无倒置功能的脉冲信号发生器。

4. 输出脉冲幅度工作误差　E

output pulse amplitude error

在额定工作条件下测得的输出脉冲幅度误差。

测试方法：

(1) 测试方框图(见图 20-3、图 20-4、图 20-5)。

(2) 测试步骤

测试方法同脉冲幅度的三种方法，测出测试点的幅度值 V_S，则输出脉冲幅度工作误差为：

$$工作误差=\frac{V_B-V_S}{V_S}\times 100\%$$

式中　V_B——测试点的标称值；

V_S——测试点的实测值。

5. 脉冲持续时间(脉宽)　τ

pulse duration

脉冲波形的前过渡中心点和后过渡中心点之间的持续时间。

测试方法：

I. 示波器法

(1) 测试方框图(见图 20-4)。

(2) 测试步骤

调节示波器，使在屏幕 80% 有效面积上显示一完整周期的脉冲波形，并对称于水平刻度中心线，测出脉冲前后沿中心点所占有的宽度(格数)，则：

脉宽为：扫描时间因数 (t/div) 乘以格数。

注：为准确、稳定地测试，示波器以被测脉冲信号发生器的触发输出脉冲进行外触发工作。

II. 通用计数器法

(1) 测试方框图(见图 20-6)。

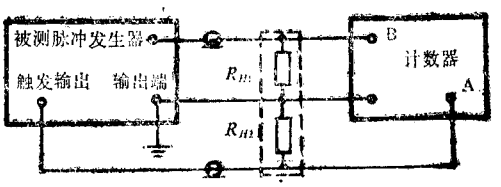


图　20-6

图中，R_{H1}、R_{H2} 均为匹配电阻。

(2) 测试步骤

将带有时间间隔插件的通用计数器置于测时间档，通道开关置于"合"的位置，测正(负)脉冲的脉宽，A 通道置于十(−)斜率触发，B 通道置于−(十)斜率触发，调节两通道的触发电平，此时计数器指示时间值即为该脉冲的宽度。

注：此法适用于脉冲前(后)沿不影响测试精度的脉冲波形。

6. 脉冲前(后)沿　$t_s(t_r)$

first (last) transition duration

脉冲过渡波形上前(后)主要过渡波形幅值的 10% 至 90% 之间的持续时间。

测试方法：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 测试方框图(见图 20-7)。

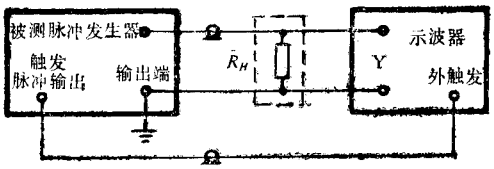


图 20-7

图中，R_H 为匹配电阻。

(2) 测试步骤

首先调节示波器在屏幕 80% 有效面积上显示一个周期完整的波形，并使它对称于水平刻度中心线。

然后将示波器扫描时间因数开关置于已校正的档级，使被测脉冲的前(后)沿时间在横座标的 2div 以上，测出脉冲波形幅度的 10% 到 90%前(后)过渡所占的格数即为脉冲的前(后)沿时间。

脉冲前(后)沿为：扫描时间因数 (t/div) 乘以格数。

对有衰减器和极性装置的应分别测试。

注：测试用示波器瞬态响应的上升时间应小于被测脉冲前沿的三分之一。

7. 脉冲延迟时间

pulse delay interval

发生器输出脉冲相对于触发输出脉冲的时间差。

测试方法：

I. 示波器法

(1) 测试方框图(见图 20-8)。

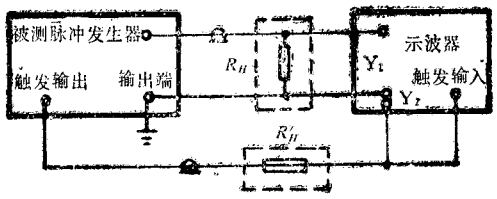


图 20-8

(2) 测试步骤

示波器工作在“交替”(或相加)位置，在屏幕 80% 有效面积上显示输出脉冲与触发输出脉冲波形，调节示波器使波形的底在同一水平线上，且占有高度相等，对称于水平刻度中心线，测出从触发输出脉冲前沿中心点到输出脉冲前沿中心点的格数，则：

输出脉冲的延迟(超前)时间为：扫描时间因数 (t/div) 乘以格数。

多路输出脉冲延迟时间的测试同上，仅将触发输出脉冲作为基准脉冲，另一路作为主脉冲。

双脉冲发生器输出脉冲延迟时间的测试，示波器工作在单通道，用触发输出脉冲进行外触发，在示波器屏幕的 80% 有效面积上显示主脉冲和延迟脉冲波形，测出主脉冲前沿中心点到延迟脉冲前沿中心点的时间间隔，即为双脉冲延迟时间。

II 通用计数器法

此法适用于脉宽较大，前(后)沿可忽略的脉冲波形。

(1) 测试方框图(见图 20-6)。

(2) 测试步骤

将带有时间间隔插件的通用计数器置于测时间档级，通道开关置于“分”的位置，测正(负)脉冲延迟(超前)时间，A 通道用触发输出脉冲前沿触发。B 通道用输出脉冲前沿触发，调节两触发电平，通用计数器指示的时间为延迟(超前)时间。

8. 脉冲延迟时间工作误差

pulse delay interval error

在额定工作条件下测得的输出脉冲延迟时间的误差。

测试方法：

用测试输出脉冲延迟时间的方法，并按产品标准的要求，测出测试点的延迟时间 T_S，则输出脉冲延迟时间工作误差为：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$工作误差=\frac{T_B-T_S}{T_S}\times 100\%。$$

式中 T_B——测试点的标称值；

T_S——测试点实测值。

9. 预冲 S_d

preshoot

主要过渡前的脉冲波形特征失真。

测试方法：

(1) 测试方框图(见图 20-7)。

(2) 测试步骤

调节示波器，在屏幕 80% 有效面积上显示一个周期稳定的脉冲波形，然后测量脉冲幅度 A 和预冲值 d，见图 20-9。

预冲为：$S_d=\frac{d}{A}\times 100\%$

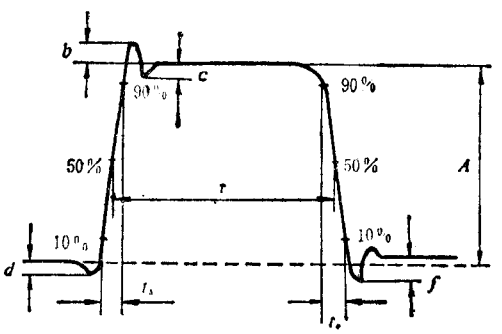


图 20-9

图中：A——脉冲幅度；

τ——脉宽；

t_s——前沿；

t_r——后沿。

10. 过冲 $S_b(S_f)$

overshoot

主要过渡后的脉冲波形失真。

测试方法：

(1) 测试方框图(见图 20-7)。

(2) 测试步骤

按图 20-9 所示波形测出前(后)过冲值 b 和 f 则 前过冲 $S_b=\frac{b}{A}\times 100\%$；

后过冲 $S_f=\frac{f}{A}\times 100\%$。

11. 衰减振荡 S_c

ringing

叠加在脉冲波形上阻尼振荡式的特征失真。通常这种失真发生在主要过渡之后。

测试方法：

(1) 测试方框图(见图 20-7)。

(2) 测试步骤

按图 20-9 所示波形测出衰减振荡 c，则：

衰减振荡 $S_c=\frac{c}{A}\times 100\%$

12. 尖峰

spike

在规则的或所要求的脉冲波形上叠加上持续时间极短的尖状脉冲波形称尖峰。

测试方法：

(1) 测试方框图(见图 20-7)。

(2) 测试步骤

测试方法同预冲的测试方法，在测试中测出在脉冲波形上最大尖峰值(或在某一时间范围内最大波形畸变值)。

13. 晃动 ΔT_d

jitter

脉冲序列里，脉冲波形时间特性相对于参考时间、时间间隔和持续时间的不稳定性。通常指晃动的峰-峰值。

测试方法：

(1) 测试方框图(见图 20-7)。

(2) 测试步骤

调节示波器在屏幕上 80% 有效面积上显示一个周期稳定的脉冲波形后，移动脉冲波形使其前沿处于水平刻度线中心，并使前沿不小

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

于2div，测出最大晃动值 ΔT_{d1} 或 ΔT_{d2}（见图20-10）。

对具有极性装置、衰减器、幅度范围的应分别测试。

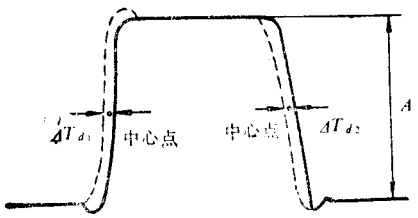


图 20-10

14. 平顶倾斜 S_e

tilt

脉冲波形中，其顶部或底部斜率不为零的失真，它可正可负。

测试方法：

（1）测试方框图（见图20-4）。

（2）测试步骤

在示波器屏幕的80%有效面积上显示一个周期稳定的脉冲波形，然后测出脉冲波形幅度值 A 与倾斜 e_1 和 e_2（见图20-11）。

则倾斜为：

$$S_e = \frac{e}{A} \times 100\%$$

式中 e——为 e_1 与 e_2 中较大者。

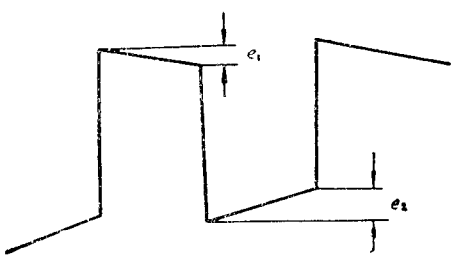


图 20-11

对具有衰减器、极性装置、幅度调节范围的应分别测试。

注：倾斜检测应在不同的脉宽和频率下测试，其具体测试点按产品标准中规定。

15. 电源触发

line trigger

发生器内电源信号为其触发信号的工作方式。

测试方法：

（1）测试方框图（见图20-4）。

（2）测试步骤

被测发生器工作在内触发状态，调节示波器使其屏幕上显示一个周期稳定的脉冲波形，然后将被测发生器工作状态置于电源触发档，应在示波器屏幕上仍然显示一个周期稳定的脉冲波形。

16. 单次触发

single trigger

每输入一个手动触发信号对应输出一次（或一组）脉冲的工作方式。

测试方法：

（1）测试方框图（见图20-1）。

（2）测试步骤

将被测脉冲信号发生器置于单次触发档，按动手动触发按钮，按下一次，计数器应显示一个数，即输出一个脉冲波形。

17. 输出脉冲直流偏移

output pulse offset

脉冲底值相对直流零电位可调节的范围。

测试方法：

（1）测试方框图（见图20-4）。

（2）测试步骤

示波器工作在直流耦合状态，使之在屏幕上显示一个周期稳定的脉冲波形，调节被测脉冲信号发生器的直流偏移旋钮，使脉冲波形与示波器的零线重合，再测出直流偏移旋钮在两个极端位置时的电压值，即为直流偏移的额定范围。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

注：在直流偏移额定范围内应满足波形失真的要求。

18. 输出阻抗　Z_{out}

output impedance

当内部电路是电能的一个负载而不是电能的一个源时，输出端所呈现的阻抗(即在输出端向信号发生器看去所呈现的阻抗)。

测试方法：

(1) 测试方框图(见图 20-4)。

(2) 测试步骤

在高阻示波器屏幕上显示一个周期稳定的脉冲波形，测出脉冲幅度值 V。

合上开关 K，调节电阻 R，使脉冲幅度值等于 $\frac{1}{2}V$，则此时的 R 值即为脉冲信号发生器的输出电阻值。

注：① 此法只适用于输出脉冲有明显平顶部分的脉冲发生器。

② 所谓高阻示波器即示波器的输入电阻远大于脉冲发生器的输出电阻。

③ 有衰减器和两种以上的输出阻抗应分别在各档测试。

19. 输出脉冲极性与倒置

output pulse polarity and invert

输出脉冲顶值高于底值为正极性，反之为负极性。倒置是对输出脉冲宽度加宽的一种方法，其相位后移了原极性输出脉宽数，但极性不变。

测试方法：

(1) 测试方框图(见图 20-4)。

(2) 测试步骤

极性：调节示波器，在示波器屏幕上显示一个周期稳定的完整波形，板动被测脉冲发生器的极性开关，观察示波器屏幕上所显示脉冲波形的极性是否跟随改变。

触发输出脉冲极性的测试同上。

倒置：测试方法同极性测试，板动脉冲发生器的倒置开关时，观察脉冲波形是否跟随改变。

20. 功率　P

power

在额定条件下脉冲信号发生器所耗电流与电压的乘积。

测试方法：

(1) 测试方框图(见图 20-12)

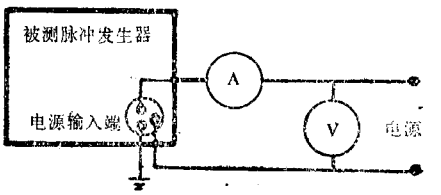


图　20-12

(2) 测试步骤

① 视在功率

按图 20-12 连接，被测脉冲信号发生器在额定电源电压条件下，所测得的伏安值。

视在功率为：$P = V \cdot I$

式中　V——实测交流电压有效值；

I——实测交流电流有效值。

② 消耗功率：(见图 20-13)

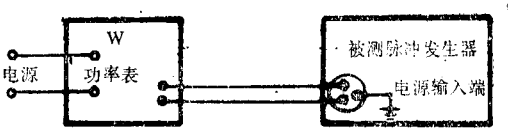


图　20-13

按图 20-13 连接，测脉冲发生器在额定电源电压条件下的消耗功率。

注：当发生器的视在功率与工作状态有明显关系时，应按产品标准中注明的最大功率状态进行测试。

21. 最小延迟步进量

minimun delay step

脉冲延迟时间的最小步进量。

测试方法：

(1) 测试方框图(见图 20-14)。

(2) 测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

图 20-14

将被测精密延迟脉冲发生器的“起始”、“延迟”脉冲信号接至时间间隔测量仪，调节被测脉冲发生器的延迟步进量，在时间间隔测量仪上所显示的数字即为延迟步进量。

* * *

本章技术指标和测试方法中所用的主要测试仪器，汇总列表如下。

主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程
示波器	SBM-14 CS-2100A	
取样示波器	SQ10A	
计数器	E324A	
时间间隔测试仪	NF3571B HP5370B	
脉冲幅度测试仪	NF2144	
脉冲信号发生器	NF1511A NF1535 NF1532A	
智能脉冲信号发生器	NF1524	
数字多用表	BY1941	

第5节 脉冲信号发生器按门类的量值传递表

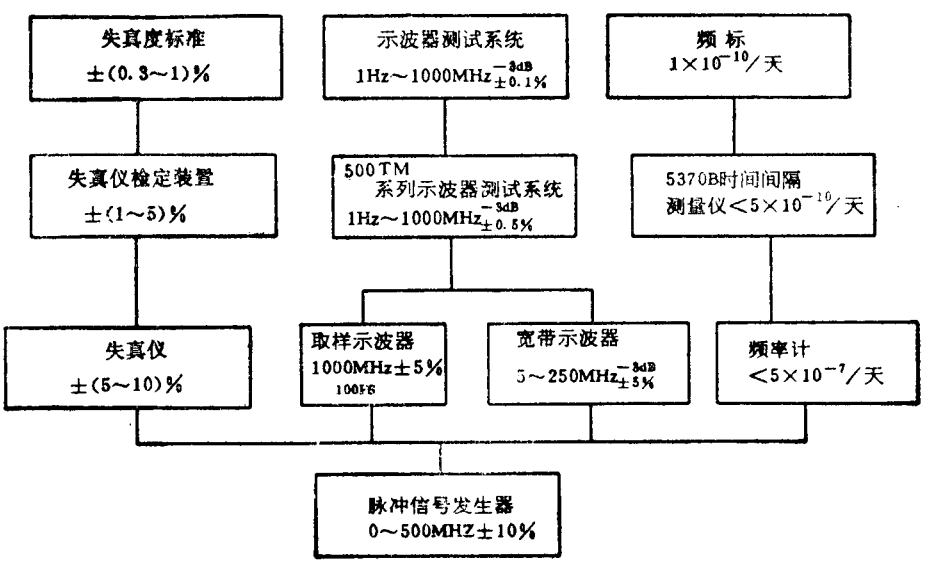


图 20-15

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第21章 频谱分析仪

第1节 综 述

一切信号，不管它是编码型的、发射型的或其它什么类型的；不管是周期重复的、瞬态的还是随机的，其基本参数之一就是频率谱特性。用于频域内分析这些信号参数的仪器叫做频谱分析仪。或者说频谱分析仪是将一个复杂信号分解成各个正弦分量并以 $f\sim V$ 图形显示出来的仪器。它实质上是一台被校准于正弦波有效值的峰值响应的选频电平表。频谱仪有两种基本的类型：实时频谱仪和扫描调谐型频谱仪。频谱分析仪是一种比较复杂的仪器，有大约 15～50 个左右的指标参数及相应的控制装置。幅度和频率都绝对值定标的现代频谱分析仪，可对 AM、FM、脉冲调制及其它信号的频率、电平、调制度、调制失真、频偏、互调失真、谐波失真、宽带、窄带噪声、增益、衰减等多种参数进行测量。配接天线可测场强、干扰。绝大多数新型扫描频谱分析仪可内置或外配跟踪发生器，组成包括显示器在内的跟踪扫频仪。有一些频谱分析仪配接特定天线，内置或外接按 CISPR 标准规定的准峰值检波器、滤波器构成 EMI 接收机。因此，频谱分析仪已经成为具有频率计、功率计、调制度仪、全景接收机和频率特性测试仪、扫频仪、场强计、干扰仪等多种功能的综合测试设备，被越来越广泛地应用于广播、电视、通信、雷达、导航、电子对抗及各种电子电路的设计、制造，电子设备的维护、修理等方面。智能频谱分析仪将基本的频谱测试能力与它的自动控制、自动测试能力结合起来，使它在许多通用或特殊应用中都变得非常理想。许多硬件和软件功能使复杂的测量变得极其容易，操作、使用也十分简单。在需要精确、高速、重复测试或者操作者与分析仪必须分开或由技术不熟练人员进行操作的场合下，例如在 EMC 测试、频谱监测或远地测试等方面，自动频谱分析仪显得更加有用。

各种低频频谱仪，通过各种换能器，在机械振动、声学、生物、医学、建筑、噪声等领域内显示了特殊的功能。特别是快速付里叶变换频谱分析仪，在 100 kHz 以下的低频信号分析中，在需要快速或多次重复测量的地方特别有用。用它能提高测量速度 10 到 100 倍。此外，这种分析仪可分析两个以上信号的组合特性或相关特性，包括声波振动或旋转机械分析方面的应用。采用两个或多个通道同时测量幅度和相位，能提供高质量的网络分析能力，很容易测量网络的传递函数。其应用范围之广泛不亚于 RF 和微波频谱分析仪。

最早的频谱分析仪是在第二次世界大战期间为观察雷达发射机的输出而设计出来的，适合于雷达信号分析这一特定场合。后来逐渐作为灵敏接收机用于无线电通信。技术上主要采用对多个滤波器快速电子扫描实现频谱分析的方法，因此分析频率不高，扫频范围较窄。

50 年代的频谱分析仪，主要采用电子管、速调管作有源器件。到 60 年代，将返波管用于第一本振，使扫频宽度达到一个倍频程，在此基础上采用谐波混频使分析频率的上限提高到几十 GHz，其它指标也由于采用了较新技术而得到提高，以 HP 8551 为代表的全景频谱分析仪的出现，使频谱分析仪的发展进入了第二代。

70 年代，随着 YIG（钇铁石榴石）调谐器、集成电路、高性能微波晶体管及固体微波器件的研制成功；随着取样技术、频率合成技术、微波混合集成技术及数字化技术的发展与应用，频谱分析仪如雨后春笋，得到飞速发展，不仅产品数量猛增，规格品种繁多，而且减小了体积，增加了寿命，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

实现了宽频段、高分辨力、高灵敏度、大动态，包括全景显示的多状态扫频以及幅度、频率绝对值定标，成为高性能、多功能的测量仪器。HP 公司的 HP8553 B、8554 B、8555 A、8554 A/8552 B/141 T (或 140 T)系列，Tek 公司的 7 L 14，Marconi 公司的 TF 2370，Philips 公司 PM 3370，日本 TR 公司的 TR4110/4113，4111，4112 系列，Anritsu 公司的 MS 62 C/D，MS 68 A/B，德国 R/S 公司的 EZF 和 EZFU 等都是第三代频谱分析仪的代表产品。这种全固态频谱仪的分析频率高达 40 GHz，灵敏度 −120 dBm，分辨力达到 10 Hz。动态范围在 80 dB以上。有的还采用了存储示波管显示。

从 70 年代末开始，随着计算机、微处理器的发展和广泛应用，频谱分析仪向智能化、自动化方向大步迈进，先后出现了一大批智能频谱分析仪和自动频谱分析仪，这就是第四代频谱分析仪。典型产品如：HP 8568 A、8566 B、8581 B，Tek 496 P、494 P，Marconi 的 2383，TR 4133，MS611 A 等。这些产品都具有综合器的频率精度和频谱纯度，优于 10 Hz 的分辨力，灵敏度最高达到 −150 dBm。

由于机内使用了微处理器和存储器，智能频谱仪可完成数据存储、运算、处理和显示功能，并控制仪器的各硬件部分按一定程序进行自动测试，实现数、图并显。微处理器的引入，不仅进一步提高频谱分析仪的性能指标，扩展功能，而且使单机智能化或组成自动测试系统成为可能，大大简化了操作程序，节省了时间。绝大多数智能频谱仪都内置或内置选件 1～3 种接口，受外部计算机控制进行远地测试以及操作仪器前面板功能键进行本地测试。以 Marconi 2380 系列频谱分析仪为例，该机优秀的硬件电路设计与微处理器相结合，给出了极高的分辨力、稳定度及测试精度。具有 3 Hz 的窄分辨带宽，因而可以获得 10 Hz/div 的频谱宽度，电平测量分辨力可达 0.025 dB。它具有 ±1 dB 的电平测量总精度；有 ≤−95 dBc 以下的互调产物，可测量低于 −80 dBc 的电源哼声边带等。面板上用三个主控旋钮及各种功能键、数字键来调整参数，在非自动模式中，用增量键进行快速调整。机内装有一张卡片，列出各种测量的操作方法、状态、条件，也给出全部 GP-IB 指令。这样就能保证各种水平的使用者都能准确地执行每一项测量。可在大量频谱中迅速捕获所需信号。仪器的状态参数、测试结果可由 μP 控制直接用字符和数字显示在荧光屏上频谱图形的周围。如果需要，这些状态、参数还可存入非易失存储器中供以后作同样测试时调用或作比较。当然，屏幕标注也可用于手动模式，这种特性使操作者能够同时观察响应信号的变化和控制功能的变化。用自动模式，可对 RF 衰减、IF 增益、分辨带宽、扫描速度及视频滤波器等进行自动控制、自动搭配，因而可获得最佳校准、显示及诸如失真、噪声等测试时的最佳测试状态。利用两个可独立调节的标记亮点可迅速、准确地测量 A、B 两个扫迹谱线的电平和频率绝对值及它们之间的幅度和频率差值。此时，电平分辨力可到 0.01 dB，而且与垂直刻度量程无关。置“RES 1 Hz”键，频率具有 1 Hz 分辨力，误差与所选频宽无关。该机以 0.025 dB 的分辨力进行两个轨迹数据的数字存储。A、B 轨迹可单独地储存、更新和操作，以便进行比较。两个扫迹的垂直刻度和参考电平也可单独调整，因此能以不同的分辨力来同时观察两个(或同一个)信号。用外部彩色显示器还可用不同颜色来区别 A、B 两个轨迹、刻度线以及所有字符、数字标注。μP 将存储的两个动态扫迹进行(减法)运算。“A-B”键显示 A、B 两轨迹之差，在作频响测试时，这种功能排除由于仪器本身和外部因素引起的频响变化，直接显示输入信号的真实频响。仪器采用光栅扫描，提供了无闪烁和无误差显示。电子刻度线使操作者根据需要可随意移动，这在很慢的扫速下调节参考频率时特别有用。此时参考频率的调节不是移动谱线而是移动刻度线，而且扫描被暂停，这

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

就加速了调谐过程。作噪声测量时，只需按一下键盘，可立即读出归一化到 1 Hz 带宽的噪声电平，免去繁杂的计算和校正。自校准功能不仅改善了测量精度和测量的可重复性，而且节约了调整时间。它也是 ATE 应用的基本条件。对自校的可靠性还有一个自校监视器，用一个现成的诊断源可将错误显示出来，并指出故障产生的部位。后面板的状态灯直观地指示出可能发生的常见错误，包括过热、过载、过压或欠压等。除上所述外，该机还有诸如最大值保持、视频平均、过载保护、互调识别等功能。

2380 系列频谱分析仪可通过 GP-IB 与计算机及各种外设组成自动测试系统。除屏幕亮度、标记功能和电源开关外，所有面板功能键都可被遥控。除通过 GP-IB 直接绘图外，仪器还有多种型式提供硬拷贝。例如视频绘图仪、胶片、X-Y 绘图仪等。

自动频谱分析仪是由一个可程控的扫频调谐频谱仪、控制器、一个或多个输入/输出装置、接口母线和软件组成的。HP 8581 B 自动频谱分析仪由 HP 8568 A 频谱分析仪、9825 B 计算机、9876 A 打印机、98034 B HP-IB 接口和 PIC 软件组成。计算机根据输入指令选择程序，并按所选择程序控制测量过程，然后给出经误差修正后的测量结果，需要时由打印机打印出中间结果和最终结果。依靠 PIC 软件，可以由逐条送指令变成只送一条"选程序指令"进行自动测量。

到 80 年代中期，随着电子技术，各种尖端技术以及与电子技术有关的各个科学技术领域的发展需要，频谱分析仪无论在性能指标还是功能、应用方面都朝着更加完美、更加多样的方向继续发展，产品更新速度之快、规格品种之多，都是前所未有的。具体表现在几个方面：

(1) 不断地把崭新的新技术、新工艺、新元件、新材料应用到电路设计中去，使仪器的性能指标达到很高水平。有效频率范围上限扩展到 325 GHz 的毫米波段，频率稳定度达到 10^{-9}/d 量级。频率分辨力达到 1 Hz，灵敏度达到 −150 dBm，动态范围达到 125 dB，幅度分辨力达到 0.01 dB。

(2) 更高程度的智能化、自动化。最近几年国际市场上的新型频谱分析仪几乎全部都是 μP 控制的智能仪器，都内置或内置选件 GP-IB 等多种接口；另一方面许多频谱仪的智能化程度达到更高的水平，如 HP 8562 A/B、70000 系列分析仪等仅显示菜单就列出了上百个功能，H P8562 集小型化与高性能为一体。高智能化，使其具有综合化调谐，快速、精确测量能力。在通信、雷达、微波测量及 EMC 设计方面都独具特点，特别是与 HP85629A 测试和调整组件（TAM）连用，可完成高水平的自诊、自测、自调整工作，可作 1000 个以上参数的测量。不需增加其它设备，在几分钟内就能孤离出有缺陷的板子和元件。并在仪器修复后，能快速、精确地进行自动调整及校准。这种高水平的可维修性，保证了仪器的高可靠性。因此国外把它称为第五代频谱分析仪的代表产品。此外还有 HP 70000 系列，R/S 公司的 FSA，Tek 公司的 494 AP、495 P，武田公司的 TR 4173，Marconi 的 TF 2383 等亦属此列。

(3) 各种不同等级的智能化、多功能便携式频谱分析仪和模块式频谱分析仪的涌现，是目前频谱分析仪发展的又一特点。既有实验室用的高指标台式频谱分析仪，也有轻便型、高性能或经济型、便携式频谱分析仪，还有多功能模块结构的分析仪。HP 70000 系列是模块式频谱分析仪最典型的例子。这种结构只要增加或更换所需模块，便能非常容易地实现频段扩展，指标升、降，功能增、减或变换，以满足不同测试的需求。模块结构的另一突出优点是：随着每年不断开发的新模块的出现，仪器的功能、用途、指标可得到不断扩展、提高，保持了仪器永远旺盛的生命力。仪器换代只需简单地更换模块，这就减少了更换整机带来的各方面的浪费，对用户和制造厂都是有利的。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(4) 利用现有频谱分析仪的成果发展成套设备,组成各种专用系统;扩展频谱分析仪的应用也是近几年来的一个发展趋势。例如: HP 公司的 HP 8573 A (或 HP 8574 A) CISPR EMI 接收机,就是由频谱分析仪 HP 8566 B (或 8567 A,或8568 A)加预选器 HP 8568 5A 加 CISPR 适配器 HP 85650 A 加 EMI 测试软件 H P85864 C (或 HP 85870 A) 组成的。Anritsu 用频谱分析仪 MS 611 A 加跟踪发生器 MH672A 加激光源 E/O (MZ100A 加 MG912A/MG912B) 加光探测器 O/E (MZ118A 加 MH922A/MH923A) 等组成光纤基带特性测试仪 MH98A。R/S 公司的 FSA 是一台由频谱分析仪加跟踪发生器等组成的频谱-网络分析仪。

作为频谱分析仪的另一大类——实时频谱仪,由于它的工作原理、电路结构、应用范围的不同,发展情况也不相同。实时低频频谱分析仪是在 40 年代随着声学的发展需要而产生的。当时主要是多通道滤波器式的实时频谱分析仪。这种频谱分析仪造价高,体积大。到 60 年代,用数字滤波器代替多个 LC、RC 滤波器,使用循环存储器及 D/A 变换器等,出现了时基压缩式和相关存储滤波器型的两种低频频谱分析仪,它们解决了分析范围与通道数目之间的矛盾,减小了体积和成本,提高了分析速度。如丹麦 B.K 公司的 3348 就是这类频谱分析仪,这是由模拟分析进入数字分析的一种过渡性产品。

70 年代,把数字滤波器与微处理器相结合来完成频谱分析,这就是快速付里叶频谱分析仪 (FFT)。它在直接付氏变换的基础上,通过数字信号处理实现了对随机信号、瞬时信号的捕捉和记录,不仅能分析功率谱、电压谱,也能分析相位谱和传递函数。例如: HP 的 3582 A, Salartron 的 1510,武田公司的 TR 9305、TR 9405 等。

到 80 年代末,由于采用了高速、高精度的模拟电路,作为实时频谱仪主要类型和发展方向的 FFT 频谱仪,无论在功能方面或指标方面都达到了很高的水平。现代 FFT 频谱仪可精确地测量低到几 μHz 的信号,能清楚地分辨并精确测量紧靠载波达 20 μHz 的信号分量,能提供 70 dB 以上的动态范围。幅度精度达到 ±0.15 dB,灵敏度达到 −130 dBV,随着几亿次/s 的超高速计算机的出现,目前分析仪的最高分析频率已达到 10 MHz。与 RF 和微波频谱仪一样,目前 FFT 频谱仪也是继续向着高指标、小型化、多功能方向发展。新型的 FFT 分析仪大都是便携式的、智能化的。有频域、时域和幅度域(直方图显示)三种分析功能。双电子刻度,双轨迹存储和显示,可同时观察同一个信号的时域和频域显示,或者同时观察直方图和时域显示以便分析比较。这类产品以 HP 3561 A、3562 A, TR 9403 等最有代表性。

在国内,频谱仪的研制起步较晚。60 年代初有 3 厘米窄频带频谱仪问世。原四机部第 17 研究所在宽频带微波频谱仪的研制中做了开创性工作,1965 年前后推出了频率范围为 10 MHz～44 GHz 的宽频带微波频谱仪,并进行了小批量的生产。但这时期的产品大都是没有绝对值定标的电子管或电子管、晶体管混合仪器。扫宽较窄,分辨力和灵敏度都不高,动态范围仅有 50 dB 左右,如前锋无线电仪器厂的 PFG-1、长虹机器厂的 PFC-1、前锋厂的 BP 1、天津第二电子仪器厂的 BP3/3B、辽宁精密仪器厂的 BP4 等。低频频谱分析仪如天津第二电子仪器厂的 PFS-2、南京无线电仪器厂的 BP7 等。70 年代出现了全固态、全景显示频谱仪,指标有所提高,但产品不多。直到 80 年代,随着四个现代化发展的需要,随着各种新技术、新器件的应用,频谱仪的开发出现了高潮。一批具有较好指标的频谱仪先后出台,如前锋无线电仪器厂的 BP 29、B P29 A、QF4030、QF4031、上海无线电 26 厂的 YM 4031、永华无线电仪器厂的 YH 4020/4021/4022、YH 4033/Y1、天津第二仪器厂的 ED 4030 等。其最高分辨力达 10 Hz,最高分析频率达

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

40 GHz，最高灵敏度达 −120 dBm，实现全景显示。低频范围内出现了双通道 FFT 频谱仪，其频率范围从 0.8 Hz到 26 kHz，动态范围在 60 dB 以上，灵敏度优于 5 mV，带有 GP-IB 接口，典型产品如南京无线电仪器厂的 NW 6270、天津第二电子仪器厂的 ED 4070。

随着改革、开放的进一步深入，随着人们对频谱分析仪的应用越来越广泛深入的了解和越来越大的需求，学习国外的先进技术，大力开发智能频谱仪，赶上世界先进水平，大力发展频谱仪在各个领域内的应用已成为国内频谱仪发展的方向和必然趋势。目前，前锋无线电仪器厂、41 所、南京无线电仪器厂等单位都已经开始智能频谱仪的研制，估计在两三年内就会有一批较高指标、不同频段的智能频谱仪投入市场，满足各方面的需要。

现将频谱仪国内外典型产品的主要性能指标列表对比如下。

表 21-1　实时频谱分析仪主要性能对比

指　　标	国外代表性产品指标（HP3562A）	国内代表性产品指标（NW6270）
有效频率范围	64μHz～100kHz	0.8Hz～26kHz
分辨力	12μHz～450Hz	8mHz～260Hz
频谱宽度	10.24mHz～100kHz	
窗函数	平顶、汉宁、均匀、力型、指数型等	平顶、汉宁型
窗平坦度	平顶型：+0，−0.01 dB 汉宁型：+0，−1.5 dB	
实时带宽	单通道、快速平均：10 kHz 单通道：12.5Hz，双通道：6.25 kHz	
噪声底板	平顶窗，50 Ω，输入范围：−5.1 dBv ＜−126dBv（20Hz～1kHz） ＜−115dBv（1～100kHz）	
幅度精度	±0.15dB（输入−40～27 dBv）	
相位精度	±12°	
频响	±1dB	
动态范围	≥80dB	60dB
通道数	2	
串音	−140dB	
共模抑制	80dB（0～66Hz） 65dB（66Hz～500Hz）	
噪声边带	−85dBc/Hz（30kHz 偏移）	dBc

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 21-2 射频频谱分析仪主要性能对比

指 标	国外代表性产品指标(2383)	国内代表性产品指标 (QF4031)
有效频率范围	100Hz～4.2GHz	50Hz～1.7GHz
频谱宽度及其误差	全扫、每格扫、零扫,误差≤±1%	全扫、每格扫、零扫,误差≤±5%
参考频率稳定度	1×10^{6}/年	频率漂移 50Hz～1.7MHz,≤200Hz/5min 10kHz～1.7GHz,≤20kHz/5min
噪声边带	偏离载波 100Hz, <−90dBc/Hz	偏离载波 20kHz,≤−100dBc/Hz
剩余调频	≤3Hz p-p	50Hz～1.7MHz, ≤10Hzp-p 10kHz～1.7GHz,≤100Hzp-p
静态分辨力带宽	3Hz～1MHz	30Hz～300kHz
形状因数	带宽<1MHz 时≤11:1 带宽=1MHz 时≤5:1	≤15:1
灵敏度	−150dBm	50Hz～1.7MHz,≤−130dBm 10kHz～1.7GHz,≤−120dBm
对数显示精度	≤±0.05dB/dB ±0.3dB/80dB	≤0.25dB/dB,≤±1dB/10dB,≤±2dB/72dB
参考电平误差	100Hz～1.5GHz,输入衰减≥10dB时,≤±1dB 1.5～4.2GHz 各种输入衰减时,≤±1.5dB	≤±1.4dB
频响	100Hz～1.5GHz,输入衰减≥10dB时≤±0.5dB 1.5～4.2GHz 对各种输入衰减时≤±1dB,	50Hz～1.7MHz输入衰减≥10dB时,≤±0.5dB 10kHz～1.7GHz输入衰减≥10dB时,≤±1.25dB
谐波动态范围	≥90dB	≥80dB
非谐波动态范围	−40dBm 的信号加入混频器<−70dBc	
显示动态范围	100 dB	72dB
剩余响应	≤−110dBm	≤−100dBm
互调失真	−40dBm 信号加到混频器,≤−90dBc	−40 dBm 信号加到混频器,≤−90dBc
输入阻抗 *VSWR*	≤1.5GHz,输入衰减≥10 dB时,<1.3 >1.5GHz,输入衰减≥10dB 时,<1.5	输入衰减≥10 dB 时,≤1.5
备注	智能化	存储显示非智能

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 21-3　微波频谱分析仪主要性能对比

指　标	国外代表性产品指标（HP 8566B）	国内代表性产品指标（YH4033/4033Y1）
有效频率范围	100Hz～22GHz，加外混频到325GHz	10MHz～21GHz
频谱宽度	0～2.5GHz，2～22GHz，分档	零扫，100kHz～2GHz，按1，2，5分档
静态分辨力带宽(3dB)	10Hz～3MHz，按1，3分档	1kHz～3kHz 按1，3分档
剩余调频	<0.2Hzp-p（频宽<5kHz） <5Hzp-p（频宽<100kHz）	<2kHzp-p
灵敏度	−114dBm～−134dBm	−90dBm～−111dBm
噪声边带	<−80dBc/Hz（320Hz 偏移） <−85dBc/Hz（1kHz 偏移） <−105dBc/Hz（100kHz 偏移）	<70dBc/1kHz（30kHz 偏移） <100dBc/Hz
对数显示精度	≤±0.1dB/dB（0～80dB）≤±1.5dB/10dB ≤±1dB/80dB	≤±1dB/10dB（0～60dB，0.01～18GHz） ≤±2.4dB/60dB（0～60dB，0.01～18GHz）
显示动态范围	90dB	70dB
剩余响应	<−100dBm（100Hz～5.8GHz） < −95dBm（5.8～12.5GHz） < −85dBm（12.5～18.6GHz） < −80dBm（18.6～22GHz）	≤−90dBm（10MHz～3GHz）
频响	±0.6dB(100Hz～2.5GHz) ～±3dB(20−22GHz)	±1～±3dB
二次谐波失真	≤−70dBc（100Hz～2.5GHz） ≤−80dBc（50～700MHz） 混频器输入−40dBm	≤−70dBc（输入电平−40dBm，输入衰减 0dB）
非谐波动态范围	70dB，混频器输入 −40dBm	
三阶互调	−70dBc，混频器输入 −30dBm	≤−70dBc（输入电平−30dBm，输入衰减 0dB）
镜频响应	<−70dBc(100Hz～18.6GHz) <−60dBc（18.6～22GHz）	
多重响应	<−70dBc	
备　注	智能化	非智能

第 2 节　分　　类

频谱分析仪按不同特性，有不同的分类方法：

按工作频率分：有低频频谱仪，射频频谱仪及微波频谱仪。

按频带宽度分：有宽频带频谱仪，窄带频谱仪。

按扫频体制分：有扫前端型，扫中频型。

按结构特点分：有台式，便携式，模块式(又称插件式)。

按其工作原理及被分析信号的特点划分：有实时频谱仪和扫描调谐型频谱仪。

这里着重介绍最后一种最通行、最基本的分类方法。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1. 实时频谱仪

顾名思义，实时频谱仪因为能同时显示其规定频率范围内所有频率分量，而且保持了两个信号间的时间关系(相位信息)，使得它不仅能分析周期信号、随机信号，而且能分析瞬时信号，显示相位关系。常用的实时频谱仪又分为多通道频谱仪和快速付里叶频谱仪两类。其原理方框图分别见图 21-1 和图 21-2。

图 21-1 中，信息是同时送到每一个滤波器的。滤波器的输出表示输入信号中进入该滤波器通带内的那一部分能量，因此显示器上显示的是各滤波器通带内的信号的合成信号。由于受滤波器数量及带宽的限制，这类频谱仪主要工作在音频范围。

快速付里叶频谱仪的核心是以函数进行付里叶变换的数学计算为基础的计算机分析。因此需要使用高速数字计算机进行数字功率谱的计算。根据抽样定理：最低取样速率应该大于或等于被取样信号的最高频率的两倍。现代付里叶频谱仪的工作频段一般在 DC～100 kHz 的低频段用。如美国 HP 3562 A 的分析频带为 64 μHz～100 kHz，国内永华厂的 RE-201 的频率范围为 20 Hz～25 kHz。

2. 扫描调谐频谱仪

这类频谱仪对输入信号按时间顺序进行扫描调谐，因此它只能分析在规定时间内频谱几乎不

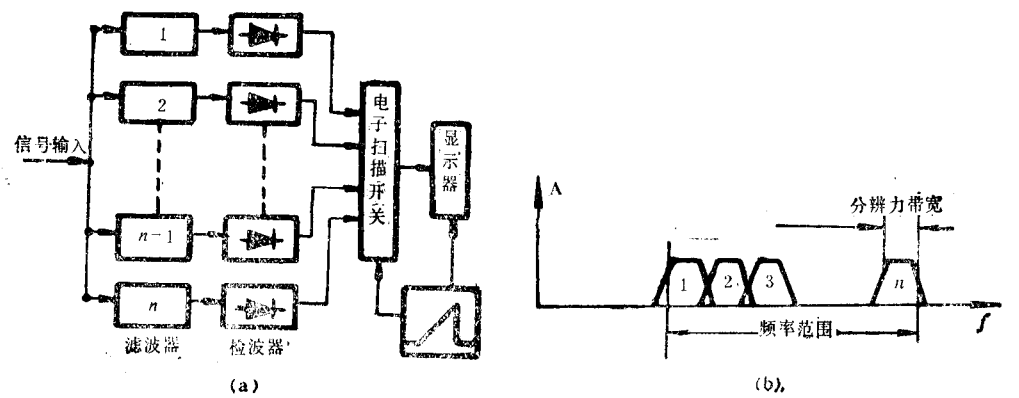


图 21-1 多通道频谱分析仪简化方框图

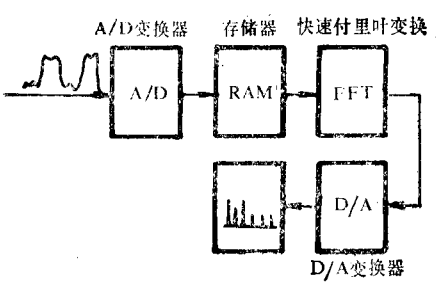


图 21-2 FFT 频谱分析仪简化方框图

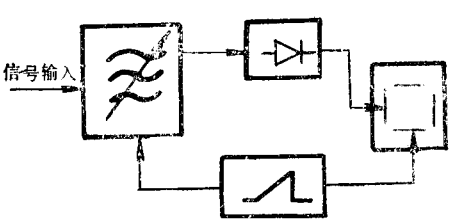


图 21-3 扫描射频调谐频谱仪原理方框图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

变化的周期重复信号。这种频谱仪有很宽的工作频率范围：从 DC～几十 GHz。常用的扫描调谐型频谱仪又分为扫描射频调谐型和超外差型两类。原理方框图见图 21-3 和图 21-4。

扫描射频调谐型频谱仪利用中心频率可电调的带通滤波器来调谐和分辨输入信号。如国产的 RS-13 全景接收机。这种类型的频谱仪分辨率、灵敏度等指标都比较差，新开发的产品也不多。

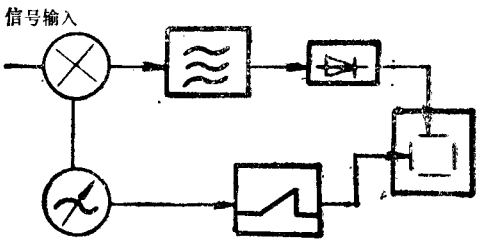


图 21-4　超外差频谱仪简化方框图

超外差型频谱仪实质上是一台具有扫频和窄带滤波功能的超外差接收机。按其被扫频的本振频率又分为扫中频型和扫前端(第一本振)型。前者如国产的 BP-1、QF4021 等，优点是成本低，分辨带宽较窄，主要缺点是频谱宽度较窄，无法实现全景接收。

目前产品品种和数量最多，应用最广泛的是扫描第一本振的超外差频谱仪。这类分析仪具有几 Hz～几百 GHz 的极宽的分析频率范围，从几 Hz～几 MHz 的分辨力带宽，80 dB 以上的动态范围等高技术指标。

第 3 节　频谱仪技术指标汇总表

汇总表中所列的技术指标较为齐全。对具体产品有些指标应规定，有些则可根据要求而定。

需要说明的是，频谱仪指标中有相当一部分功能性指标，它指明仪器具有的量程范围，开关旋钮的设置，这类指标往往不需要测试；有些指标可由某些基本测试数据计算得出结果；以及智能化频谱仪按其各自的特点由软件完成的测试项目，这类指标在汇总表中给出(不排序号，以 * 表示)而在测试方法中未予说明。本章总计指标 89 个，测试方法仅给出 55 个。

表 21-4　频谱仪技术指标汇总表

序号	技术指标	扫中频频谱仪	超外差低频、射频频谱仪	超外差微波频谱仪	智能化、自动频谱仪	多信道实时频谱仪	FFT 频谱仪
1	有效频率范围	●	●	●	●	●	●
*	频率显示模式	●	●	●	●		
2	中心频率误差	●	●	●	●	●	●
3	频率参考精度		●	●	●		
4	频率读出精度	●	●	●	●	●	●
5	标记点频率精度				●		●
*	频谱宽度	●	●	●	●		●
6	频谱宽度误差	●	●	●	●		●
7	频率线性误差	●	●	●	●		
8	扫频线性误差	●	●	●	●		
9	频率漂移	●	●	●	●		
10	剩余调频	●	●	●	●		
11	噪声边带	●	●	●	●		
12	交流声边带	●	●		●		
*	静态分辨力带宽	●	●	●	●	●	●

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	技术指标	扫中频频谱仪	超外差低频、射频频谱仪	超外差微波频谱仪	智能化、自动频谱仪	多信道实时频谱仪	FFT频谱仪
13	静态分辨力带宽误差	●	●	●	●	●	●
14	动态分辨力带宽	●	●	●	●		
15	动态显示边缘分辨力	●	●	●	●		
16	形状因数	●	●	●	●	●	●
17	性能无降低最大输入电平	●	●	●	●	●	●
18	无损坏的最大输入功率	●	●	●	●		
19	峰值脉冲功率	●	●	●	●		
*	幅度测量范围	●	●	●	●	●	●
*	幅度测量模式					●	●
20	输入信号电平灵敏度	●	●	●	●	●	●
21	等效输入噪声灵敏度		●	●	●	●	●
22	峰-谷显示平坦度	●	●	●	●	●	●
23	相对显示平坦度	●	●	●	●	●	●
24	峰-谷频率响应		●	●	●		
25	相对频率响应		●	●	●		
*	幅度显示模式	●	●	●	●	●	●
26	线性显示律误差	●	●	●	●	●	●
27	平方显示律误差	●	●	●	●		●
28	对数显示误差	●	●	●	●	●	●
29	标记点幅度精度				●		●
*	标记点幅度分辨力				●		●
30	参考电平误差		●	●	●		
31	中频增益误差		●	●	●		
32	输入衰减器误差	●	●	●	●		
33	中频带宽转换幅度误差	●	●	●	●		
34	谐波动态范围	●	●	●	●		●
35	非谐波动态范围	●	●	●	●		●
36	显示动态范围	●	●	●	●		●
37	增益压缩电平		●	●	●		
38	增益压缩		●	●	●		
39	剩余响应	●		●	●		
*	镜像间隔			●	●		
40	镜频响应			●	●		
41	多重响应			●	●		
42	互调抑制	●	●	●	●		
43	互调失真	●	●	●	●		
*	视频滤波器带宽		●	●	●		
44	视频滤波器带宽精度		●	●	●		
*	输入耦合	●				●	●
45	输入阻抗	●	●	●	●	●	●
*	输入 *VSWR*		●	●	●		
46	校准器输出	●	●	●	●		
47	X输出	●	●	●	●	●	
48	Y输出	●	●	●	●	●	
49	Z输出	●	●	●	●	●	
*	本振输出		●	●	●		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续　表

序号	技术指标	扫中频频谱仪	超外差低频射频频谱仪	超外差微波频谱仪	智能化、自动频谱仪	多信道实时频谱仪	FFT频谱仪
*	IF 输出		●	●	●		
50	本振发射			●	●		
*	监听输出	●	●	●	●	●	
*	扫描方式	●	●	●	●		
*	扫描触发	●	●	●	●		●
*	扫描时间	●	●	●	●	●	●
51	扫描时间精度	●	●	●	●		
*	对数扫描						●
52	消耗功率	●	●	●	●	●	●
*	平均方式						●
*	窗函数						●
*	通道数					●	●
*	取样速率						●
53	共模抑制					●	●
54	输入通道串音						●
55	数字滤波器特性					●	●
*	相位测量模式					●	●
*	相位显示范围					●	●
*	相位精度					●	●
*	相位分辨力					●	●
*	传递函数测量模式					●	●
*	传递函数显示模式					●	●
*	传递函数测量范围					●	●
*	传递函数测量精度					●	●
*	传递函数分辨力					●	●
*	相关函数测量模式					●	●
*	相关函数测量范围					●	●
*	相关函数分辨力					●	●

第四节　技术指标及测试方法

● 本节所列技术指标及测试方法参照国际电工委员会（IEC）714 号文《频谱分析仪性能表示》和国标 GB11461-89《频谱分析仪通用技术条件》，GB11462-89《频谱分析仪测试方法》及国内部分频谱仪产品标准，国外部分产品说明书。

● 测试仪器性能指标应能满足测试要求，与被测频谱仪之间应有良好的阻抗匹配，良好的接地。

● 所有测试都应保证加入频谱仪的信号功率不超过仪器的最大允许输入电平。没有特殊说明，要求信号发生器输出波形为正弦波。

● 凡是作绝对值测量，频谱仪应首先进行频率和幅度校准（自校）。

● 所有指标都应在频谱仪有效频率范围内进行多点测试。

● 被测频谱仪及测试设备均应在各自产品标准中规定的预热时间后进行测试。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1. 有效频率范围（中心频率范围）

effective frequency range (center frequency range)

规定仪器性能的频率范围，以 Hz 表示其上限和下限。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 21-5。

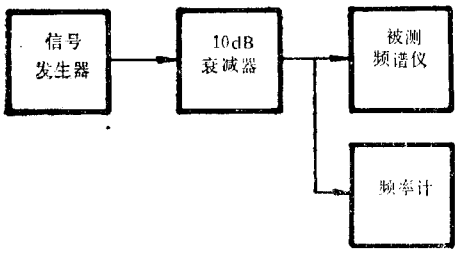


图 21-5

(2) 测试说明与要求

① 当信号发生器有输出衰减或被测频谱仪有输入衰减时，使用机内 10 dB 以上的衰减，外部 10 dB 衰减器可省去。

② 若信号发生器有满足要求的频率读数准确度，频率计可省去。

③ 信号发生器的频率范围及稳定度必须与频谱仪有效频率范围相适应，能满足要求。

(3) 测试步骤

① 按说明书要求，置频谱仪各按键、旋钮到规定位置。

② 调信号发生器输出频率，同时调谐频谱仪使响应谱线位于屏幕水平中心，测量频谱仪所能显示的最低和最高信号频率。

③ 对于分多个频段的频谱仪，在规定的每个频段上按上述步骤 ② 测量其频率覆盖范围，然后测出总的频率覆盖范围。

④ 在有效频率范围内频谱仪应满足所规定的全部指标要求。

注：①上述步骤④的完成必须在全部指标测试完毕，合格之后。

②上述①、②、③三个步骤与下面“中心频率误差”的测试相同，因此也可由“中心频率误差”的测量结果同时得到。

2. 中心频率误差

center frequency error

频谱仪对位于显示频谱宽度中心处的响应信号的频率指示与输入信号频率之差。该误差常用如下形式给出：

$\pm A$Hz；或 $\pm(A\% \times$频谱宽度 $+ B\% \times$中心频率 $+ C$Hz)；或$\pm(A\% \times$频谱宽度$+$参考频率误差$\times$调谐频率 $+ B\% \times$分辨率带宽$+ C$Hz)

其中 A、B、C 为制造厂规定值。

测试方法一：

(1) 测试方框图，同图 21-5。

(2) 测试说明与要求 同“有效频率范围”。

(3) 测试步骤

① 按说明书要求，置频谱仪各按键、旋钮到规定位置。

② 调信号发生器输出频率，同时调谐频谱仪使响应谱线对准屏幕水平中心，用计数器测得输入信号频率、频谱仪中心频率显示读数与输入信号频率之差。

③ 在频谱仪的整个频率范围内改变中心频率，重复步骤②，测量得到该范围内的最大差值即为中心频率误差。

测试方法二：

(1) 测试方框图，见图 21-6。

图 21-6

(2) 测试说明和要求 梳状波发生器（以下简称梳频）必须具有 1×10^{-4} 以上的频率稳定度。梳状线的频率间隔(即基波频率)应与被测频谱仪有效频率范围相适应。例如对最高频率 110 MHz 的频谱仪，梳频必须有 10 MHz

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

基波频率;对 0.1～10 GHz 以内的频谱仪梳频必须有 100 MHz 的基频。

(3) 测试步骤

① 按说明书要求置各开关、旋钮到规定位置。

② 将等频率间隔的梳状信号送到频谱仪输入端。

③ 调谐频谱仪使零标志信号(零频)对准屏幕水平中心。如果有"调零"装置，可对中心频率显示"校零"。

④ 由频率范围低端到高端调谐频谱仪,使第 1 根、第 2 根、……第 n 根(有效频率范围的上限频率)依次对准屏幕水平中心,记下每次调节后中心频率显示读数与相应梳频频率之差,并找出其中的最大差值。

3. 频率参考精度

frequency refrence accuracy

频谱仪内部用来作为频率参考源的晶体振荡器的频率准确度。

测试方法：见第 2 章频率计数器基准振荡器频率准确度的测试。

4. 频率读出精度

frequency readout accuracy

按规定的频率显示方式，频谱仪对输入信号频率读数值的准确度。

低频频谱仪常以中心频率读数的 $\pm A\%$ 来表示,射频及微波频谱仪中常以 $\pm[(A\text{Hz}\times N)+$ 中心频率读数的 $B\%$ + 频谱宽度的 $C\%]$ 形式给出结果。

其中　A、B、C 为说明书规定的常数;

N 为所选用谐波混频频段的谐波次数。

测试方法：由中心频率及频谱宽度代入表达式计算得出结果。

5. 标记点频率精度

marker frequency accuracy

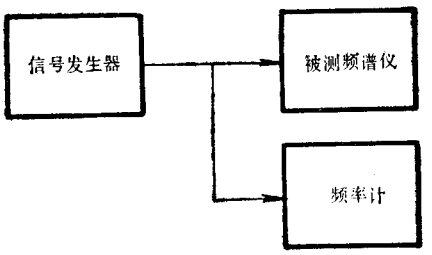


图　21-7

对屏幕上标记点所在位置读出的频率误差。

测试方法：

(1) 测试方框图,见图 21-7。

(2) 测试说明与要求　如果信号发生器输出频率读出精度满足要求,可不用频率计。

(3) 测试步骤

① 按图 21-7 连接仪器。信号发生器输出频率调到说明书规定的测试频率(由频率计读数,低频频谱仪一般为最高工作频率,射频和微波频谱仪应调到尽可能高的频率上),输出电平置适当位置。

② 频谱仪在较宽扫频下对输入信号调谐,"频谱宽度"转到最窄档，移动标记点到响应信号峰点,读出标记点频率与频率计读数之差。

6. 频谱宽度误差(或扫频宽度精度)

frequency span error (frequency span accuracy)

频谱仪显示屏幕最左和最右垂直刻度线内所能显示的响应信号的频率范围(频谱宽度)与指示值之差。频谱宽度通常又分三种模式:

全扫频　full band span　频谱仪一次扫描它的有效频率范围。

每格扫频　frequency span per division　频谱仪一次只扫描一个规定的频率范围。用每格表示的频谱宽度可改变。

零扫频　zero span　频率宽度为零，频谱

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

仪不扫频，变成调谐接收机。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-5。

(2) 测试说明与要求 同“有效频率范围”。

(3) 测试步骤

① 按说明书要求，置频谱仪各按键、旋钮到规定位置。

② 调频谱仪零频信号对准屏幕左边某一垂直刻度线(按说明书规定)。

③ 调信号发生器输出电平，使频谱仪有一便于读数的显示。调输出频率，使响应谱线对准屏幕右边某一垂直刻度线(按说明书规定)记下此时频率计读数 f_n，则频谱宽度相对误差为：

$$\delta_F = \frac{\Delta F_n - \frac{1}{m} f_n}{\Delta F_n} \times 100\% \quad (21\text{-}1)$$

式中 ΔF_n——理想线性扫频时频谱宽度的指示值 (Hz/div)；

m——说明书规定的左、右两垂直刻度线之间的水平格数。

④ 改变频谱宽度，重复步骤②、③测量每一种频谱宽度的误差。

注：对较宽的频谱宽度进行测量时，可用梳频信号进行。

7. 频率线性误差

frequency linearity error

输入信号频率和显示频率读数间的误差(以一种比率表示)。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-6。

(2) 测试说明与要求 同“中心频率误差”。

(3) 测试步骤

① 将梳状波发生器(或满足频率准确度要求的信号发生器，如频率合成器)接到频谱仪输入端。调谐频谱仪中心频率，使每根梳状线(或单谱线)对准屏幕水平中心。

② 记下每根梳状线(或单谱线)频率和显示频率差 $\Delta f_1, \Delta f_2 \cdots\cdots$。则频率线性误差 δ_{FL} 由式(21-2)求出：

$$\delta_{FL} = \frac{|\Delta f_{i+1} - \Delta f_i|_{max}}{W} \times 100\% \quad (21\text{-}2)$$

式中 W——每两根相邻梳状线间的频率间隔；

i——1,2,3……。

8. 扫频线性误差

scan linerity error

频谱仪扫频频率为扫描电压线性函数的满足程度。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-6。

(2) 测试说明和要求 同“中心频率误差”测试方法二。

(3) 测试步骤

① 按说明书要求，置频谱仪各按键、旋钮到规定位置。

② 根据频谱仪有效频率范围选取梳频间隔，并置“频谱宽度”到适当位置以保证在屏幕上能同时看到两根梳状线。

③ 调谐频谱仪使零频信号对准屏幕左起某一根垂直刻度线，以能看到第 1 根梳状线为原则。记下第 1 根梳状线与代表相应频率的垂直刻度线间的频率差 ΔF_1。

④ 调谐频谱仪使第 1 根梳状线到原零频的位置，记下第 2 根梳状线与代表相应频率的垂直刻度线间的频率差 ΔF_2。如图 21-8 所示。

⑤ 重复步骤③、④直到频谱仪最高工作频率，则扫频线性误差 δ_{SL} 为：

$$\delta_{SL} = \frac{(\Delta F_i)_{max}}{W} \times 100\% \quad (21\text{-}3)$$

式中 W——每两根相邻梳状线间的频率间隔。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$i = 1,2,3\cdots\cdots$

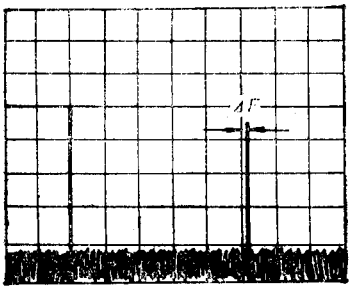


图　21-8

9. 频率漂移

frequency drift

由频谱仪内部变化引起显示频率的逐渐漂移或变化，以单位时间内变化的 Hz 数表示或者用保持其它条件恒定时的某一影响量来表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-7。

(2) 测试说明与要求

① 信号发生器输出频率必须有高于被测频谱仪一个数量级的稳定度。

② 对用 YIG 振荡器作扫频本振的频谱仪，当中心频率从频率的高(低)端，快速调到低(高)端时必须稳定至少 5 分钟才能开始测试。

③ 其余同"有效频率范围"。

(3) 测试步骤

① 置频谱仪"频谱宽度"和"中频带宽"到适当位置以保证足够的频率分辨力。

② 调节频谱分析仪使响应谱线位于屏幕水平中心，等待一段规定时间间隔后，调信号发生器使谱线重新回到中心。频率计前后两次读数之差即为规定观察时间内的频率漂移。

10. 剩余调频

residual FM

由于频谱仪本振的不稳定性引起显示频率的短期不稳定性或晃动，其大小由峰-峰频偏 Hz 数(或显示频率的百分数)表示。

测试方法一：

(1) 测试方框图，见图 21-9。

(2) 测试说明与要求

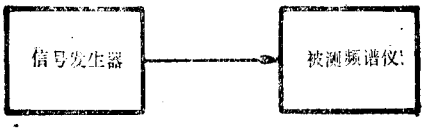


图　21-9

① 用频谱仪的中频滤波器作调频波斜率检波器来测量剩余调频。

② 要求信号发生器具有足够低的剩余调频。

(3) 测试步骤

① 选用比预期峰-峰剩余调频约大 10 倍的分辨力带宽，按线性显示律或对数显示律的 1 dB/div 量程(由说明书规定)观测信号。

② 调谐频谱仪使响应谱线到屏幕水平轴中心，调信号电平使响应峰值到屏幕顶部刻度线。

③ 改变频谱宽度，使该显示的斜边(中频滤波器特性曲线的边缘)与水平轴形成一适当角度，选取斜升边一近似线性区(满刻度下一格线与垂直轴中线之间的区域)读取它在水平与垂直刻度上的投影 X(格)、Y(格)，如图 21-10 所示。按式(21-4)计算该解调器的解调灵敏度：

$$K = X \cdot \Delta F / Y \ (\mathrm{Hz/div}) \qquad (21\text{-}4)$$

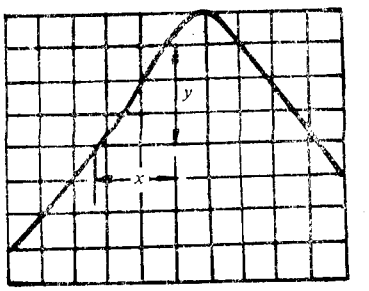


图　21-10

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中 ΔF——所选用的频谱宽度（Hz/div）；

K——解调器解调灵敏度。

④ 频谱仪频谱宽度转到“零扫频”方式，微调频谱仪的频率调谐，使水平扫迹位于步骤③中所选取的线性区，读取此时水平扫迹上、下跳动的峰-峰值 A，如图 21-11，则剩余调频为 K 与 A 的乘积。

注：①剩余调频是频谱仪的短期稳定度。因此应按制造厂规定的时间间隔进行测量，若说明书未加规定，推荐用 10s/div～20ms/div 间的扫速进行测量。

② 观察到的剩余调频还与所用视频带宽有关，对重要的测量应记录该参数。

③ 如果调频谱仪的中频增益能使零频信号峰值到满刻度线位置，也可用作测试信号，以避免外信号发生器输出信号的附加误差。

测试方法 二：

（1）测试方框图，同图 21-7。

（2）测试说明与要求 当被测频偏较大时可采用此法进行测试。

（3）测试步骤

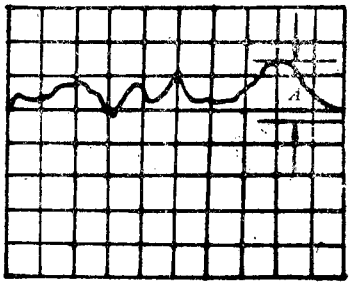


图 21-11

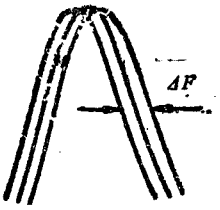


图 21-12

调谐频谱仪使响应频谱位于屏幕水平轴中心，调“中频带宽”及“中频增益”使显示的谱线（中频滤波器特性曲线）形状适当，观察此曲线在水平方向上的短期晃动如图 21-12 所示，图中 Δf 即为峰-峰剩余调频。

注：也可用频谱仪的零频信号代替外加信号发生器做测试。

11. 噪声边带（相位噪声）

noise sideband (phase noise)

出现在有用响应信号周围，由频谱仪内部噪声引起的不需要的响应。主响应信号幅度与在规定分辨力带宽下，偏离主响应信号为规定频率间隔（BHz）及以远处的噪声幅度的 dB 差值，以 dBc 表示。见图 21-13。

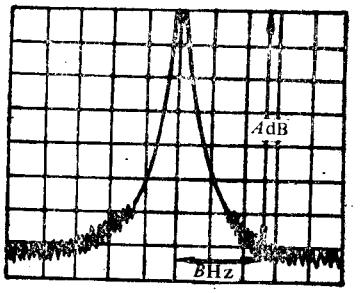


图 21-13

测试方法：

（1）测试方框图，见图 21-14。

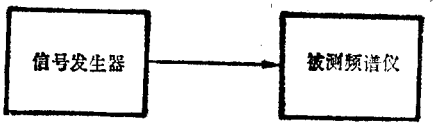


图 21-14

（2）测试说明与要求

① 信号发生器输出信号必须有足够低的噪声边带（比被测频谱仪低 10 dB 以上）。

② 如果频谱仪有效频率范围下限靠近零频（如 1 MHz 以下）可省去信号发生器，直接观察频谱仪零频直通信号。

（3）测试步骤

① 调谐频谱仪，使响应信号出现在屏幕上，调节分辨力带宽、视频滤波器到规定值。改

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

变频谱宽度使在屏幕上能够同时观测到主响应及被测边带。

② 记录主响应信号幅度和规定频率间隔及以远的噪声幅度最大值。两个幅度之差即为噪声边带。

③如果说明书给出边带上两点或多点噪声边带指标，则重复①、②步骤。

12. 交流声边带(哼声边带)

hum sideband

在频谱仪的显示中，由电源频率基波 f_B 和谐波 nf_B 引起的，并可与需要的响应分离开来的不需要的响应。以 dBc 表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-14。

(2) 测试说明与要求

① 信号发生器必须有足够低的噪声边带和哼声边带(比被测频谱仪低 10 dB 以上)。

② 如果频谱仪有效频率低端靠近零，可直接观测零频直通信号。

(3) 测试步骤

调谐频谱仪，使响应信号出现在屏幕水平中心，改变频谱宽度和分辨力带宽，以分辨出交流声边带。测量每个交流声边带的电平与主响应幅度 dB 差值 (以 dBc 表示) 即为交流声边带，如图 21-15 所示。

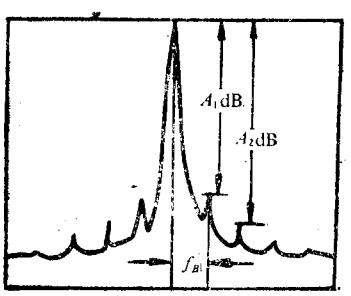


图　21-15

13. 静态分辨力带宽(或分辨力或 IF 带宽)误差

static resolution bandwidth (resolution bandwidth or IF bandwith) error

扫描时间足够长时，频谱仪对载频信号响应所规定的带宽。如果用手动扫描(真静态法)或很低速度扫描(准静态)测量，则此带宽就是响应曲线上两个特定低点(通常为 −3 dB，或 −6 dB) 的频率间隔，如图 21-16。它表示频谱仪能够把两个彼此靠得很近的等幅信号在规定低点处分辨开来的能力，见图 21-17。

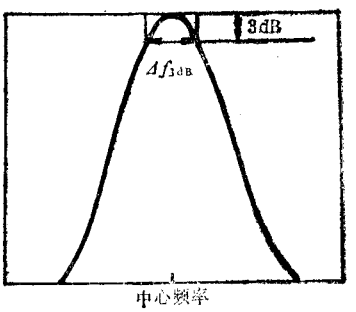


图　21-16

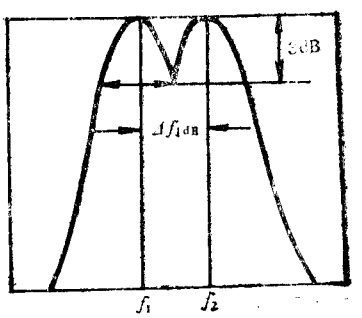


图 21-17

测试方法一：

(1) 测试方框图同图 21-7。

(2) 测试说明与要求

① 信号发生器应具有足够的频率稳定度和幅度稳定度。

② 扫描时间应足够长以免影响测量精度。

③ 若频谱仪有中频输入端口，信号可加至此端口上进行测量。

(3) 测试步骤

① 调谐频谱仪使响应信号到屏幕水平中心；调信号发生器输出幅度及频谱仪“中频增

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

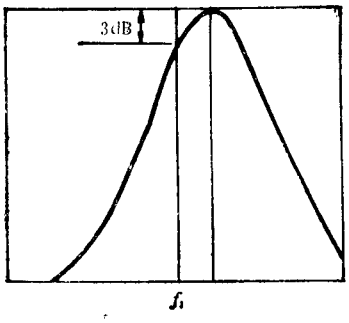


图 21-18

益"(或"参考电平")使响应幅度到参考电平线。

② 调节频谱仪"频谱宽度"使响应曲线的形状适当(即能清晰的分辨出规定频率点)。

③ 改变信号发生器的频率,使响应曲线上升边上的下降值为规定值 AdB 点,对准屏幕水平中心,如图 21-18 记下此时频率计读数 f_1。

④ 改变信号发生器的频率,使响应曲线的下降边上同一个规定下降值处对准屏幕水平中心,测量得到信号频率为 f_2,如图 21-19 所示。则分辨力带宽为:

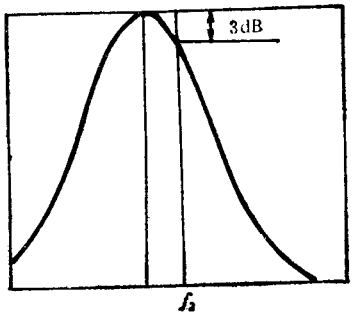


图 21-19

$$\Delta f_{A\mathrm{dB}} = |f_2 - f_1| \qquad (21\text{-}5)$$

式中 $\Delta f_{A\mathrm{dB}}$——制造厂规定值 AdB 点处的静态分辨力带宽。

⑤ 由测得的静态分辨力带宽按式(21-6)计算出静态分辨力带宽误差相对值:

$$\delta_{\Delta f} = \frac{\Delta f_{A\mathrm{dB}} - \Delta F_{A\mathrm{dB}}}{\Delta F_{A\mathrm{dB}}} \times 100\% \qquad (21\text{-}6)$$

式中 $\Delta f_{A\mathrm{dB}}$——静态分辨力带宽实测值;

$\Delta F_{A\mathrm{dB}}$——静态分辨力带宽指示值。

测试方法二:

(1) 测试方框图,同图 21-7。

(2) 测试说明与要求 如果频谱仪有手动扫描功能,采用此方法测试精度较高。

(3) 测试步骤

① 用与方法一中①、②两步骤相同的调节程序,使响应曲线出现在屏幕上。

② 置频谱仪扫描方式于手动扫描使光点到屏幕水平中心,微调谐频谱仪使光点至最高,再调节"中频增益"至某一适当电平处。

③ 改变信号发生器的频率使光点下降至规定的分贝数,用频率计测出信号发生器的频率为 f_1。

④ 反方向调节信号发生器频率,使光点经过峰点又下降至同样的分贝数,测出信号发生器的频率为 f_2。则静态分辨率带宽为:

$$\Delta f_{3\mathrm{dB}} = |f_2 - f_1| \qquad (21\text{-}7)$$

⑤ 按公式(21-6)计算出分辨力带宽误差。

14. 动态分辨力带宽

dynamic resolution bandwidth

扫描时间较短时的视在分辨力带宽,它与静态分辨力带宽有如下关系:

$$\Delta f_d = \sqrt{\Delta f^2 + K_1\left(\frac{\Delta F}{\Delta t \cdot \Delta f}\right)} \qquad (21\text{-}8)$$

式中 Δf——静态分辨力带宽;

Δf_d——动态分辨力带宽;

ΔF——频谱宽度;

Δt——扫描时间;

K_1——系数(对高斯型滤波器为 0.195)。

测试方法:同静态分辨力带宽测试方法。

15. 动态显示边缘分辨力

dynamic display edge resolution

在规定的扫描时间下,具有一个规定幅度比(通常为 −60 dB)的两个不等幅响应之间形成的凹陷相对于较小响应低 3 dB,此两个不等幅响应的频率间隔,见图 21-21。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

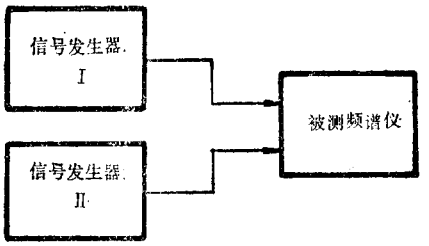


图　21-20

测试方法：

（1）测试方框图，见图 21-20。

（2）测试步骤

① 频谱仪对一个信号调谐，调该信号发生器输出幅度及频谱仪"中频增益"使响应幅度到参考电平线而噪声电平在 −60 dB 以下。改变扫频宽度使响应信号的形状适当（能清晰分辨出 −60 dB 点）。

② 调节另一个信号发生器频率与前面响应的信号靠拢，同时改变它的输出电平直到出现图 21-21 所示的 3dB 凹陷。此时两个不等幅响应信号峰点之间的频率间隔即为动态边缘分辨力。

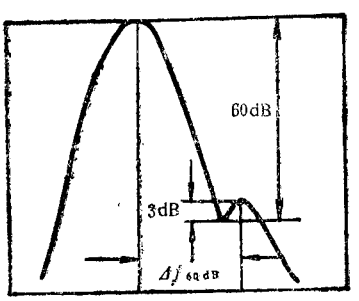


图　21-21

16. 形状因数（形状系数，中频带宽选择性）

shape factor (IF bandwidth selectivity)

响应曲线上两个 −60 dB 点的频率间隔（Δf_{60dB}）与静态分辨力带宽 Δf_{AdB} 之比。

测试方法：

（1）测试方框图，同图 21-7。

（2）测试说明与要求　同"静态分辨力带宽误差"。

（3）测试步骤　按"静态分辨力带宽误差"的测试步骤测出滤波器 −3 dB（或−6dB）点和 −60 dB 点的带宽。该滤波器的形状因数由下式计算得出：

$$\Delta f_{60dB}/\Delta f_{3dB}\ （或\ \Delta f_{60dB}/\Delta f_{6dB}）\qquad (21\text{-}9)$$

注：为使技术条件统一，一般厂家都规定 −60 dB 的测试点。有的频谱仪由于噪声边带等的影响无法真实地测出 −60dB 点频率差，此时，允许用渐近外推法从响应曲线上部的一个临近点来推算出 60dB 点的位置。

17. 性能无降低的最大输入电平

without degradation maximum input level

在不损坏仪器的前提下所能加到其输入端上的直流电平和加到仪器输入端、保证仪器各性能指标的最大信号电平。

图　21-22

测试方法：

（1）测试方框图，直流电平测试见图 21-22；交流信号电平测试同图 21-14。

（2）测试步骤

① 在频谱仪输入端加说明书规定的直流电压，持续一个规定时间（若无规定，可持续 10 分钟），然后断开该电压并检查仪器各项指标应满足要求。

② 按图 21-14 连接测试电路。频谱仪输入衰减器置规定位置（通常置最大衰减位置）。调信号发生器输出电平到规定的最大允许值，检查增益压缩、谐波动态范围、非谐波动态范围、互调抑制等指标应满足要求。

18. 无损坏的最大输入功率

without damage maximun input power

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在输入端所加的不损坏仪器的最大功率。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-14。

(2) 测试步骤

① 调信号发生器输出电平到 0 dBm，频谱仪输入衰减器置规定位置（或最大衰减位置），按图21-14连接电路。

② 频谱仪对输入的正弦信号调谐至屏幕水平中心。逐渐增加信号功率直到等于规定电平值，持续一个规定时间(通常是10 min 以上)，检查仪器应无损坏。

19. 峰值脉冲功率

peak pulse power

在输入端所允许加的峰值脉冲功率。

图 21-23

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 21-23。

(2) 测试步骤

① 调整脉冲信号发生器输出幅度到较低值，脉冲宽度和占空系数到规定值。频谱仪输入衰减器置规定位置(或最大衰减位置)，按图 21-23 连接电路。

② 调谐频谱仪使屏幕上显示脉冲频谱。逐渐增加脉冲源输出功率直到等于规定功率，观察显示频谱(频率和幅度)，持续一个规定时间后，检查频谱仪性能指标应无降低。

20. 输入信号电平灵敏度(或输入灵敏度或灵敏度)

input signal level sesitivity (or input sesitivity or sesitivity)

频谱仪灵敏度指标有几种定义方法，常见的有下面两种：

定义一：产生的输出等于两倍平均噪声电平值的输入信号电平。它描述在给定分辨带宽、显示方式和其它影响因素下，频谱仪显示最小信号电平的能力，以 dBm、dBμ、dBv、V 等单位表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-14。

(2) 测试说明和要求　信号发生器输出幅度必须经过校准。噪声显示取决于带宽、显示律等多种参数，因此测量应在说明书规定条件下进行。例如：当分辨力带宽为 10 kHz 时，噪声显示为 −100 dBm，带宽置 1 kHz 时，将为 −110dBm。

(3) 测试步骤

① 按说明书要求置频谱仪各旋钮于规定位置。

② 调频谱仪增益，使内部噪声显示到一个适当位置(例如屏幕底部 1 格)。

③ 调节信号发生器输出电平使频谱仪线性律显示的指示为平均噪声值的两倍（屏幕底部向上两格），则该信号发生器的输出电平即为频谱仪灵敏度，见图 21-24 所示。

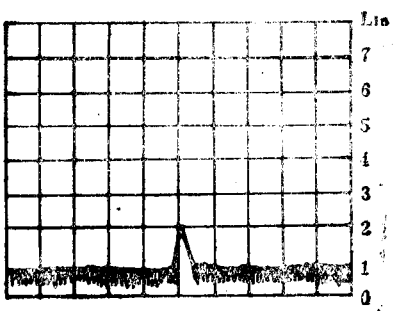


图 21-24

定义二：在规定的显示信噪比下，屏幕上响应幅度达到某一规定值(如到 0 dB 或到满刻度)时，输入信号的电平。

测试方法：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 测试方框图，用图 21-14。

(2) 测试说明与要求　同定义一。

(3) 测试步骤

① 按说明书要求置频谱仪各开关、旋钮于规定位置，对输入信号调谐。

② 调频谱仪增益使内部噪声显示到规定位置(按规定的信噪比要求，例如相对于 0 dB 线—60 dB 处)。

③ 调信号发生器输出电平使响应显示到另一规定值（通常是 0 dB 线），此时信号发生器的输出电平即为灵敏度。

21. 等效输入噪声灵敏度(平均噪声电平)

equivalent input noise sensitivity

在规定的测试条件下，频谱仪内部产生的噪声功率电平。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-14。

(2) 测试说明与要求　如果频谱仪有校准器，可用"校准输出"进行自校准。

(3) 测试步骤

① 按说明书置频谱仪各开关旋钮于规定位置。

② 对频谱仪进行幅度校准，调增益使内部噪声显示到屏幕上一个适当位置、扫描速度足够慢，根据参考电平及偏转系数读出平均噪声电平值。

例如：参考电平为 — 50 dBm，显示屏幕的垂直刻度 8 格，偏转系数为 10 dB/div，显示为(从下向上数) 1 格高度的噪声，其平均电平为 —120 dBm。

注：如频谱仪有视频滤波器，应置于规定位置。必须在规定的 IF 带宽下测试。

22. 峰-谷显示平坦度

peak-to-valliey flatness

在一个规定频率范围内，频谱仪整个屏幕上，显示幅度的不希望有的峰-谷点的变化（以 dB 表示）或相对于峰-谷中心值(对数值)的正负偏差值，以±AdB 表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 21-25。

(2) 测试说明与要求

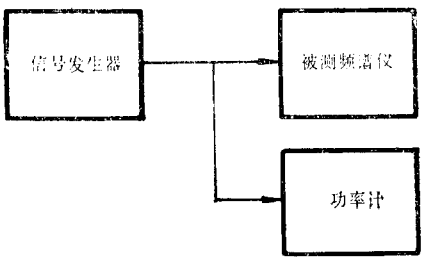


图　21-25

① 如果在规定频率范围内，信号发生器输出幅度的起伏远小于频谱仪显示平坦度的峰-谷值，则电路(框图)中的功率计可不用。

② 为保证试验信号的平坦度，必要时应考虑它的修正因数。

③ 该指标测试与 IF 带宽、显示律及偏转系数关系不大，可按方便选取，但最好优先选择最灵敏的偏转系数，以分辨显示幅度的微小变化。

(3) 测试步骤

① 调谐频谱分析仪使响应谱线位于屏幕水平中心。置频谱宽度到规定值(若无规定，可根据频段宽度适当选择)。

② 调信号发生器输出电平到频谱仪线性范围内；同时调"中频增益"使响应谱线到屏幕上一个容易观测的位置。

③ 在规定频率范围内改变信号发生器频率，用功率计监视信号发生器输出电平使之不随频率而改变。显示信号在屏幕上从左到右移动，测出显示幅度的最大起伏即为峰-谷显示平坦度。以 dB_{p-v} 表示。

注：相对于峰-谷中心值 (dB 数) 的显示平坦度，用同样测试方法测出峰-谷显示平坦度再由式 (21-10) 计算结果：

$$\pm\frac{\text{峰-谷显示平坦度}}{2} \qquad (21\text{-}10)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

23. 相对显示平坦度

relative display flatness

在规定频率范围内，测得相对于某一特定频率(制造厂规定)显示幅度的显示平坦度，以 $\begin{matrix}+A\\-B\end{matrix}$ dB 表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-25。

(2) 测试步骤　调信号发生器频率到某一特定频率，调谐频谱仪使其响应信号位于屏幕水平中心，记下该频率点的显示电平。再按"峰-谷显示平坦度"的测试方法，读出相对于这一特定频率点的显示幅度的正负偏差 (dB) 值。

24. 峰-谷频率响应(简称峰-谷频响或频响)

peak-to-valley frequency response (or frequency response)

在一个规定的频率范围内，中心频率处显示幅度的不希望有的峰点-谷点的变化。

测试方法一：

(1) 测试方框图，同图 21-25。

(2) 测试说明与要求　同"峰-谷显示平坦度"。

(3) 测试步骤

① 调信号发生器幅度到频谱仪线性范围内，调谐频谱仪使响应信号位于屏幕水平中心，调频谱仪的增益使显示幅度到一个便于观察的位置上。

② 置频谱仪偏转系数到最高灵敏度档，在规定的频率范围内改变试验信号频率，每次改变频率后重新调谐频谱仪使响应信号回到屏幕水平中心，在此中心点读出显示幅度峰-谷变化，即为峰-谷频率响应。

注：允许用相对峰-谷中心值 (dB 数)的正负偏差来表示峰-谷频响为：

$$\pm\frac{\text{峰-谷频响}}{2} \qquad (21\text{-}11)$$

测试方法二：

(1) 测试方框图，同图 21-25。

(2) 测试步骤

① 同测试方法一的步骤①。

② 记下功率计读数。在规定的频率范围内改变信号发生器输出频率，同时调谐频谱仪使显示信号保持在屏幕水平中心。在改变信号发生器输出频率的同时调节其输出电平使显示信号峰点位置保持不变。

③ 在整个调节过程中功率计读数的最大与最小值之差即为峰-谷频响 (以 dB 表示)。

25. 相对频率响应

relative frequency respons

在规定频率范围内，测得相对于某特定频率(制造厂规定，通常为校准输出频率)的显示幅度的频率响应。以 $\begin{matrix}+A\\-B\end{matrix}$ dB 表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-25。

(2) 测试步骤　调信号发生器到特定频率，调谐频谱仪使响应谱线位于屏幕水平中心，按"峰-谷频响测试方法"在屏幕水平中心处读出相对于这一特定频率显示幅度的正负偏差 (dB 值) 即为相对频率响应。

26. 线性显示律误差(线性刻度准确度)

linear display law error (linear scale fidelity)

刻度为输入信号电压的线性函数的满足程度。

图　21-26

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 21-26。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试说明与要求　如信号发生器输出电平精度足够，测试电路中的标准衰减器可以省去。

(3) 测试步骤

① 按图 21-26 连接电路。调谐频增仪使响应信号到屏幕显示水平中心，幅度显示置"线性"，调信号发生器输出电平对频增仪进行幅度校准。

② 置"线性灵敏度"到某一量程，使加到频谱仪的信号电平为 D_1，相应的显示幅度为 D_2，则线性误差 ΔD_L 为：

$$\Delta D_L = \frac{D_2 - D_1}{D_1} \cdot 100\% \qquad (21\text{-}12)$$

③ 改变"线性量程"，重复步骤②，测得不同量程的误差。

27. 平方显示律误差

square display law error

刻度为输入信号功率的线性函数的满足程度。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-26。

(2) 测试步骤

① 频谱仪对输入信号调谐，各开关、旋钮置说明书规定位置。

② 调信号电平在频谱仪线性范围内，并使显示幅度为满刻度 D_1。

③ 用衰减器按已知比率或百分比 r（例如 1/2，1/4 等）减小输入信号电平，显示幅度应按同样比率或百分比的平方减小至 D_2，则平方律误差 ΔD_s 为：

$$\Delta D_s = \frac{D_2 - D_1 r^2}{D_1} \times 100\% \qquad (21\text{-}13)$$

28. 对数显示误差（对数刻度准确度或对数偏转系数误差）

log display law error (log scale fidelity or log deflection coeffcinet error)

刻度为输入信号电压的对数函数的满足程度。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-26。

(2) 测试说明与要求　标准衰减器必须有 10 dB、1 dB 和 0.1 dB 三种步进衰减。

(3) 测试步骤

① 频谱仪对输入信号调谐到屏幕水平中心，调"中频增益"及"分辨力带宽"，使噪声基线最低。

② 调信号电平到频谱仪线性范围内，并使显示幅度为满刻度。

③ 以偏转系数（dB/div）为步长增加标准衰减器衰减量（例如按 2 dB 或 10 dB 步进），以降低频谱仪输入信号电平，显示幅度相应减小一格左右，微调衰减器使显示幅度对准顶线下第二格水平线，则衰减器的总变化与偏转系数指示值之差即为第一格刻度的对数误差（例如当偏转系数为 10 dB/div 时，若步骤③测试中衰减器的变化量为 10.5 dB，则该刻度格的对数误差为 0.5 dB/10dB）。

④ 重复步骤③。测出显示屏幕上所有刻度的对数误差及其积累误差。

⑤ 改变偏转系数，重复步骤③、④，可得出各种偏转系数的对数误差。

29. 标记点幅度精度

marker amplitude accuracy

屏幕上标记点所在位置的幅度读出误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 21-27。

(2) 测试说明与要求　如果信号发生器电平读出精度足够，可省去选频电平表。

(3) 测试步骤　调信号发生器输出电平到适当值，（由电平表读出，注意不使频谱仪过载）。频谱仪幅度显示置分辨力最高档，对输入信号调谐，按要求操作各功能键，移动标记点到响应信号峰点，读出标记点电平与电平表读数

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

之差，即可得出标记点幅度精度。

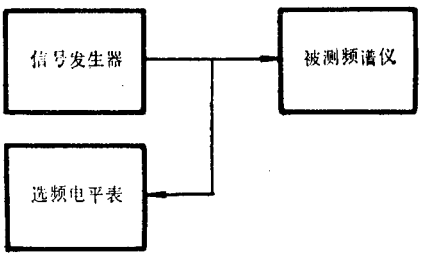


图 21-27

30. 参考电平误差

reference level error

示波管屏幕上被指定的垂直位置所代表的输入信号电平的精度。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-26。

(2) 测试步骤

① 频谱仪"输入衰减"置 0 dB，幅度显示置分辨力最高档，调"参考电平"等于校准输出电平，标准衰减器置适当位置(通常为 20 dB)，调信号发生器输出电平使加到频谱仪输入端的电平等于"参考电平"示数，频谱仪对输入信号调谐到屏幕水平中心；调"校准"使响应谱线对准参考电平线。

② 改变"参考电平"示数，同时改变标准衰减器使响应峰保持在参考电平线上。参考电平示数的变化量与标准衰减器衰减变化量之差即为"参考电平"误差。

③ 以前一次的测量为基础，重复上述步骤测量各档参考电平误差（以 dB 表示），找到最大误差值。

注：为保证测试精度，输入信号电平应不使频谱仪出现增益压缩。

31. 中频增益误差(中频增益精度)

IF gain error

中频放大器增益对其标称值的偏差。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-26。

(2) 测试步骤

① 频谱仪输入衰减置 0dB，中频增益 0dB，显示幅度置分辨力最高档，其它控制器置适当位置。标准衰减器置 0 dB。调信号发生器电平到一个便于观察的位置(不出现增益压缩)。

② 频谱仪对输入信号调谐，调"校准"使响应峰值对准某一水平刻度线(参考刻度线)。

③ 按下列关系同时调整"中频增益"和标准衰减器。

中频增益位置	标准衰减器位置
10dB	10dB
20dB	20dB
30dB	30dB

检查响应信号峰值对参考刻度线的偏差(dB 表示)，确定最大差值。

④ 用同样方法可测出各种步进长度的中频增益误差。

32. 输入衰减器误差（RF 衰减器精度）

input attenuator error

输入端 RF 衰减器与标称值之差。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-26。

(2) 测试步骤

① 置标准衰减器衰减量等于频谱仪输入衰减器最大衰减量，RF 输入衰减器置 0 dB，幅度显示置分辨力最高档。

② 频谱仪对输入信号调谐到屏幕水平中心，调"中频增益"(或"参考电平")使响应峰对准某一便于观察的水平刻度线（例如垂直中心水平线）作参考刻度线。

③ 按下列顺序调整输入衰减器和标准衰减器，每次调整后，检查响应信号峰值与参考刻度线的偏差。即为输入衰减误差：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

输入衰减器位置	标准衰减器位置
0dB	$n\times10$dB
10dB	$(n-1)\times10$dB
20dB	$(n-2)\times10$dB
⋮	⋮
$(n-1)\times10$dB	10dB
$n\times10$dB	0dB

注：①每次调整，应按先增加输入衰减，再减小标准衰减的顺序进行。

②步骤③中也可在每次调整后用 0.1dB 步进的标准衰减将已偏离参考刻度线的响应峰调到参考线，由 0.1dB 步进衰减器的变化读出输入衰减误差。

33. 中频带宽转换幅度误差(分辨力带宽增益变化)

IF bandwidth switching amplitude error (resolution bandwidth gain variation)

改变中频滤波器带宽时带来的显示幅度的变化。

测试方法：

(1) 测试方框图，本机。

(2) 测试步骤

① 送自身"校准输出"信号到频谱仪输入端。调谐使响应信号到屏幕水平中心，中频带宽置最宽档，幅度显示置分辨力最高档，调"校准"及"中频增益"，使响应信号峰点对准某一便于观察的水平刻度线，扫描速度足够慢。

② 由宽到窄，依次改变中频带宽，观察响应信号幅度的峰-谷变化为 ΔAdB。则中频带宽转换幅度误差为 $\pm\frac{\Delta A}{2}$ dB。

注：为了缩短测试时间可在不同带宽测试时选用不同扫宽，通常是宽的带宽配宽的扫宽。

若无校准输出，可用外接信号源。

34. 谐波动态范围

hamonic dynamic range

能以规定精度测量同时加在输入端的两个成谐波关系的正弦信号电平之间的最大差值。

图　21-28

测试方法一：

(1) 测试方框图，见图 21-28。

(2) 测试说明和要求　信号发生器输出经低通(或带通)滤波后应是谐波可忽略的信号。如果信号发生器的谐波含量能满足要求，滤波器可省去。

(3) 测试步骤

① 频谱仪对输入信号调谐。调信号发生器输出电平到适当低值。

② 增加输入信号电平，直到出现一个谐波响应，其幅度等于频谱仪灵敏度电平，这时的输入信号电平和频谱仪灵敏度电平之差(以 dB 表示)，即为谐波动态范围。

例如：测得的输入信号电平为 −20dBm，频谱仪的灵敏度为 −100 dBm，则谐波动态范围为 80 dB。

注：谐波响应包括二次以上的谐波分量。

测试方法二：

(1) 测试方框图，同图 21-9。

(2) 测试说明和要求　当没有高纯信号发生器或者没有能满足要求的滤波器时，采用此测试方法。由于只考虑了二次非线性项，其测试精度较低。

(3) 测试步骤

① 按图 21-9 连接电路。调频谱仪"中心频率"及频谱宽度使能同时显示信号的基波和二次谐波，增加信号电平直到二次谐波显示幅度增加值为基波增加值(dB 数)的两倍(例如：基波电平增加 10dB，二次谐波显示增加20dB)。

② 记下此时基波信号电平 L_1 和基波电平与二次谐波显示电平之差 ΔL。由式(21-14)计算得到谐波动态范围 D_L：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$D_L = \frac{L_1 + \Delta L - L_{min}}{2} \quad (21\text{-}14)$$

式中 L_{min}——被测频谱仪的灵敏度。

例如：$L_1 = -10$ dB，$\Delta L = 40$ dB，

$L_{min} = -100$ dBm

则 $D_L = 65$ dB。

注：为避免仪器损坏，L_1 应低于最大输入功率电平。

35. 非谐波动态范围

non-hamonic dynamic range

能以规定的精度测量同时加到输入端的两个不成谐波关系的正弦信号电平之间的最大差值。

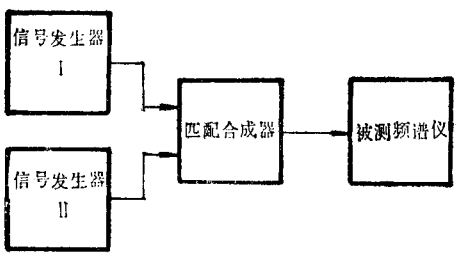


图 21-29

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 21-29。

(2) 测试说明和要求 两个信号发生器输出幅度被校准且连续可调。

(3) 测试步骤

① 调两个信号发生器输出频率彼此不成谐波关系，而且两信号的频率间隔不低于说明书规定的最小值。

② 调节一个信号的电平到频谱仪的输入信号灵敏度电平（即显示幅度比噪声电平高 3 dB）。

③ 增加第二个输入信号的电平，直到增益压缩电平或因寄生响应，边带噪声或其它效应导致那个低电平信号恰好被淹没为止，此时第二个输入信号的电平与频谱仪灵敏度电平之差（以 dB 表示）即为非谐波动态范围。

例如：第二个信号电平为 −10 dBm，频谱仪灵敏度电平为 −100 dBm，则非谐波动态范围为 90 dB。

36. 显示动态范围

display dynamic range

能同时完整地显示出来的两个不成谐波关系的正弦信号电平之间的最大差值。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-29。

(2) 测试说明和要求 同"非谐波动态范围"。

(3) 测试步骤

① 调两个信号发生器输出频率不成谐波关系，其频率间隔不低于说明书规定的最小值。

② 调一个信号的电平到频谱仪灵敏度。

③ 调第二个输入信号的电平直到使响应信号到满刻度或者到低电平信号恰好被淹没为止，此时第二个输入信号电平与频谱仪灵敏度电平之差（以 dB 表示）即为显示动态范围。

例如：测得最大输入信号电平为 −30dBm，频谱仪的灵敏度电平为 −100 dBm，则显示动态范围为 70 dB。

37. 增益压缩电平

gain compression lever

刻度线性误差等于所规定值的最大输入电平，通常规定 1 dB 增益压缩电平。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-9。

(2) 测试步骤

① 调信号发生器输出电平比说明书规定的压缩电平至少低 10dB。频谱仪对输入信号调谐到屏幕水平中心。

② 增加信号电平直到显示幅度出现说明书规定的增益压缩，此时的输入信号电平即为增益压缩电平。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

38. 增益压缩

gain compression

输入信号电平为一规定值时的刻度线性误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-9。

(2) 测试步骤

① 频谱仪对输入信号调谐到屏幕水平中心，各旋钮、开关置于说明书规定位置。

② 调输入信号电平到规定值，观察显示幅度，读出与相应刻度线电平之差。

例如：某频谱仪规定输入信号电平为 −10dBm 时，增益压缩小于 1dB，如果实测显示幅度为 −10.4 dB 则刻度线性误差为 0.4 dB。

39. 剩余响应

residual response

无输入信号时的寄生响应，它们是由内部各本振频率的基波、谐波及相互间的混频产物形成的。

测试方法：

(1) 测试方框图，本机。

(2) 测试步骤

① 用自身校准信号对频谱仪进行幅度校准，各旋钮开关置说明书规定的适当位置，输入端接匹配负载。

② 调中心频率，在规定的频率范围内检查显示屏上出现的除零标志信号及噪声边带以外的所有响应的电平，确定最大值。

40. 镜频响应(镜像隔离)

image response

分析仪在一个本振频率上对一个以上输入信号频率的响应。见图 21-30。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-14。

(2) 测试步骤

①频谱仪工作在规定的混频模式，各旋钮、开关置说明书规定位置。调信号电平到适当值(不出现增益压缩)。频谱仪对输入信号调谐到水平中心，读出此时输入信号电平。

② 保持信号发生器输出电平不变，改变输出频率到原频率的镜像频率上，保持频谱仪状态，调中心频率到镜频上，读出显示的镜频幅度，此电平与步骤①记录的电平的 dB 差值即为镜频响应，以 dBc 表示。

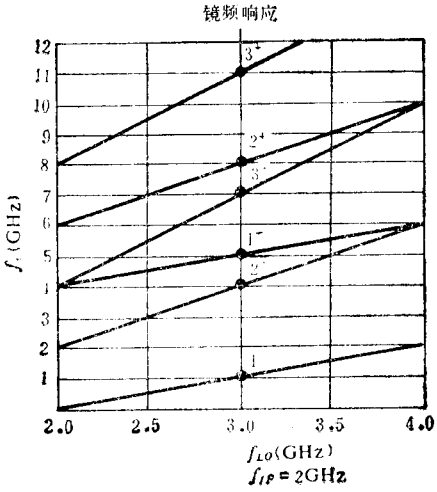


图 21-30　在不同混频模式下，在 3GHzLO 频率点出现的镜频响应 (3^+为 $f_{IF} = f_S - 3f_{LO}$)

41. 多重响应

multiple responses

分析仪对单一频率的输入信号在一个以上的频率点处产生的响应。见图 21-31。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-14。

(2) 测试步骤

① 频谱仪工作在规定的混频模式下，各开关、旋钮置说明书规定位置，调信号发生器输出电平到不出现增益压缩的适当值，频谱仪对输入信号调谐，读出输入信号电平。

② 在整个频段内改变中心频率，在显示屏

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

上观察多重响应的幅度，它们各自与步骤①读出的电平差即为多重响应，以 dBc 表示。

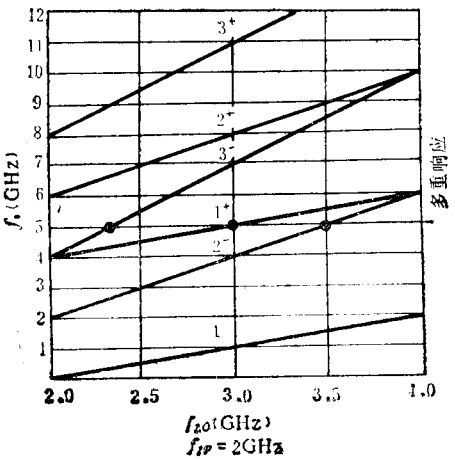


图 21-31 对 5GHz 输入信号在不同本振频率点处产生的多重响应

42. 互调抑制

intermodulation reject

两个具有规定频率间隔的等幅输入信号在频谱仪内产生的互调产物与灵敏度电平相等时，输入信号电平与灵敏度电平之差，以 dB 表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-29。

(2) 测试说明与要求 匹配合成器必须在两个输入信号源之间有好的隔离，在微波频段最好在每个信号源输出端都加隔离器，然后再用 3dB 耦合器作合成器。

(3) 测试步骤

① 调两信号源输出频率间隔为规定值，输出幅度到适当低并且相等，频谱仪加适当视频滤波，扫描足够慢。

② 同时增加两个信号电平直到主响应的任何一边(或两边)出现 1:1 的信噪比边带(即任何一边或两边同时出现高于噪声电平 3dB 的显示)则此两等幅信号之一的电平与噪声电平的 dB 差值，为互调抑制。见图 21-32 举例。图中 $f_2-f_1=50$ kHz，信号电平为 −40 dBm，平均噪声电平为 −110 dBm，三阶互调抑制为 70 dB。

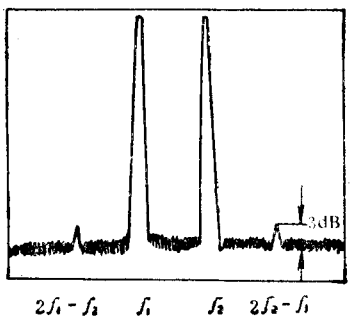


图 21-32

43. 互调失真

intermodulation distortion

两个具有规定频率间隔和规定幅度电平的等幅信号在频谱仪内产生的互调产物与输入信号电平的 dB 差值。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-29。

(2) 测试说明与要求 同“互调抑制”。

(3) 测试步骤

① 频谱仪各开关、旋钮置说明书规定位置，输入衰减置 0 dB。

② 调两台信号发生器使加到频谱仪的电平和频率间隔为规定值。

③ 频谱仪对输入信号调谐，加适当视频滤波，扫描速度足够慢。观察两个主响应两边出现的互调边带，读出其中较大一个与信号电平的 dB 差值，以 dBc 表示即为三阶互调失真。见图 21-33 举例。

④ 保持信号源状态，频谱仪对两信号源的和频调谐，读出二阶互调失真。见图 21-34 所示。同理，只需调谐频谱仪便可测量 5 阶、7 阶……失真。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

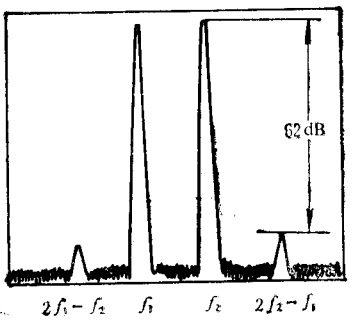


图　21-33

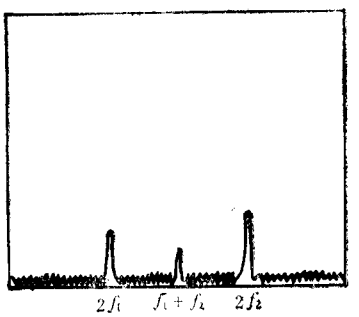


图　21-34

44. 视频滤波器带宽精度

video filter bandwidth accuracy

检波后置低通滤波器 3 dB 带宽准确度。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 21-35。

(2) 测试说明与要求　高频信号发生器必须有外调幅功能。

(3) 测试步骤

① 低频源频率调至较频谱仪最窄视频滤波器截止频率低 40% 的频率上，输出送到高频信号发生器外调幅输入端。

② 高频源的调幅信号加到频谱仪输入端。频谱仪对载波调谐，幅度显示置"线性"，调增益使响应峰到一个便于观察的中间位置，置"中频带宽"到最宽档，"频谱宽度"转到"零扫"(或 0Hz/div)，微动调谐使解调信号达最高点。

③ 调低频源输出电平使解调信号峰-峰值占满 5 格，增加低频频率直到显示的信号峰-峰

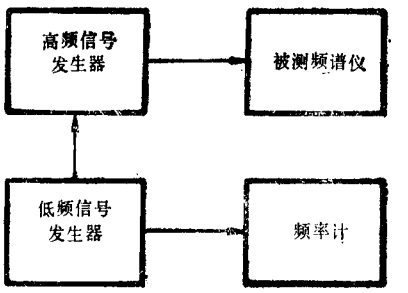


图　21-35

降为 3.5 格，记下此时计数器的频率 f，则视频滤波器带宽误差 Δf_r 为：

$$\Delta f_r = \frac{f_0 - f}{f_0} \times 100\% \qquad (21\text{-}15)$$

式中　f_0——视频滤波器带宽指示值。

④ 改变低频源频率重复上述步骤测量各档带宽精度。

45. 输入阻抗

input impedance

在信号输入端上的阻抗。

测试方法一：

(1) 测试方框图，见图 21-36 及图 21-37。

(2) 测试说明与要求

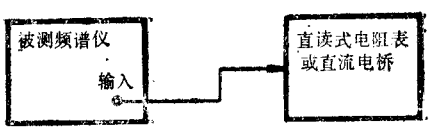


图　21-36

① 此测试方法适用于以输入电阻和与之并联的输入电容来表示输入阻抗的频谱仪。

② 对有耦合电容而无耦合选择开关的频谱仪，应打开机箱将测量仪器接至耦合电容后面进行测试。

③ 交流测试频率应按说明书规定进行。

(3) 测试步骤

① 被测频谱仪处于工作状态，由电阻表读出输入电阻，按式(21-16)求得输入电阻相对

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

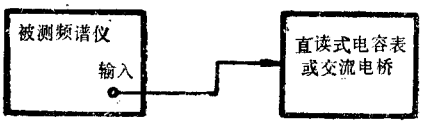


图 21-37

误差 δ_R:

$$\delta_R = \frac{R_0 - R}{R} \times 100\% \qquad (21\text{-}16)$$

式中 R_0——输入电阻的额定值。

R——输入电阻的实测值。

② 频谱仪处于工作状态，由电容表读出输入电容，它与标称电容之差即为输入电容误差。

测试方法二:

(1) 测试方框图，见图 21-38。

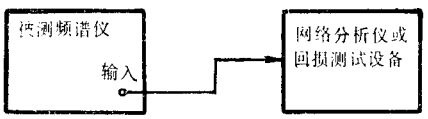


图 21-38

(2) 测试说明与要求 此方法适用于以输入电压驻波比定义输入阻抗的频谱仪。

(3) 测试步骤 频谱仪通电工作，输入衰减器置说明书规定位置，由网络仪读出全频段的反射系数(或返回损耗)，查表得到驻波系数(VSWR)。

注：应选用输入电阻与频谱仪标称值相同的网络仪。

46. 校准器输出

calibrator output

校准器输出信号中基波分量的电平和频率绝对值及其允许的误差。

测试方法一:

(1) 测试方框图，见图 21-39、21-40 及 21-41。

(2) 测试说明与要求 频谱仪校准输出信号通常呈脉冲波形，包含丰富的谐波分量，必须

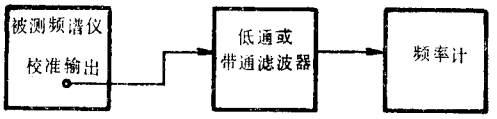


图 21-39

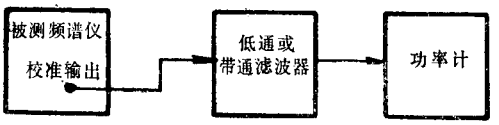


图 21-40

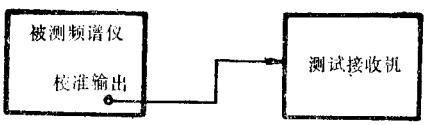


图 21-41

用低通或带通滤波器选出基波分量进行测试。

(3) 测试步骤

由计数器直接读出输出频率。由功率计或测试接收机直接读出基波电平。

测试方法二:

(1) 测试方框图，见图 21-42

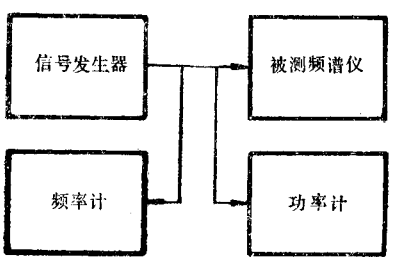


图 21-42

(2) 测试说明与要求 信号发生器必须是稳频、稳幅源。若仪器的频率及电平有足够的读出精度，可省去外接频率计和功率计。

(3) 测试步骤

① 调信号源输出频率到校准输出的标称频率上，用功率计校准信号源的输出幅度等于校准输出的电平标称值，断开频率计和功率计。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 将信号发生器输出接到频谱仪输入端，频谱仪对该信号调谐到屏幕水平中心，调"IF带宽""频谱宽度"及幅度显示使频率和幅度分辨力都处于最高位置。调中频增益使响应峰对准某一水平刻度线。

③ 断开信号源，将校准输出送到输入端，直接读出校准信号与参考刻度线之间的电平差和与中心频率间的频率差。

47. X输出(水平输出)

X-axis output

示波管有效显示范围内水平扫描信号输出。

测试方法一：

(1) 测试方框图，见图21-43。

(2) 测试步骤 频谱仪扫描速度调到适当位置，由示波器读出锯齿信号的起点和终点电平。

测试方法二：

(1) 测试方框图，见图21-44。

(2) 测试步骤 若频谱仪有手动扫描功能，置"扫描方式"于手扫，"IF带宽"置较窄位置，加适当视频滤波使光点干净清晰，调亮点对准最左边垂直刻度线，直流电压表读出该点电压，将亮点调到最右边垂直刻度线上由电压表读出终点电压。

注：方法二测量值比方法一偏低。

图 21-43

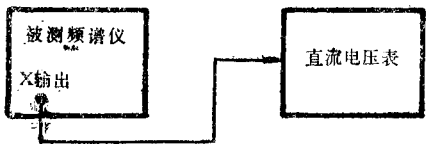


图 21-44

48. Y输出(垂直输出)

Y-axis output

对应于示波管刻度顶线到底线的视频信号输出。

测试方法一：

(1) 测试方框图，见图21-45。

(2) 测试步骤 调频谱仪零频直通信号到屏幕水平中心，IF带宽置最窄处，调中频增益使显示峰对准顶线，扫描速度足够慢，由示波器直接读出视频信号的最低、最高电压。

图 21-45

测试方法二：

(1) 测试方框图，见图21-46。

(2) 测试步骤

① 若频谱仪有手动扫描或零扫描功能，调零频直通信号到屏幕水平中心，并使响应峰到顶线。频谱仪置"零扫"或"手扫"，由电压表读出高电平。

② 频谱仪对零频信号失谐，调中频增益使亮点落到底线，由电压表读出低电压。

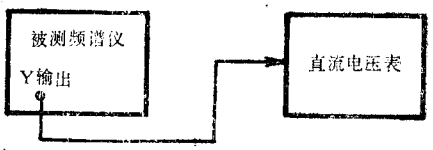


图 21-46

49. Z输出(抬笔输出或消隐输出)

Z-axis output (penlift out or clipping output)

示波管扫描回扫脉冲信号输出。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图21-47。

(2) 测试步骤 按图21-47连接电路，频

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

谱仪扫描速度适当，由示波器直接读出脉冲信号电平。

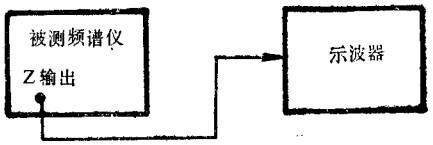


图 21-47

50. 本振发射

local oscillator emission

出现在信号输入端的内部本振信号电平，见图 21-48 所示。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 21-49。

(2) 测试说明：若用功率计代替频谱仪或接收机，读数稍有不同。

(3) 测试步骤：被测频谱仪通电工作，接收机对被测频谱仪本振频率调谐读出绝对电平。

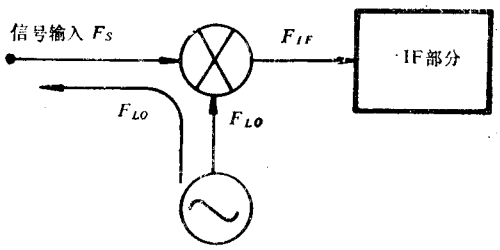


图 21-48

图 21-49

51. 扫描时间精度

sweep time accuracy

显示器上扫描线从最左边垂直刻度线扫到最右边刻度线所需要的时间。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 21-35。

(2) 测试说明 同“视频滤波器带宽精度”。

(3) 测试步骤

① 在扫描时间≥10 秒(或扫描时间/div≥1 秒)时直接用跑表测出扫描时间。

② 扫描时间＜10 秒时，按图 21-35 电路进行测试。低频源外调幅高频源，频谱仪对载波调谐。调响应峰到一个便于观察的位置，“IF 带宽”置最宽档，扫描触发置视频位置，频谱宽度置“零扫”，调节低频源频率使解调显示被视频同步，而且在最左和最右刻度线间为整数(N)个周期如图 21-50 所示。由低频源频率读数得到扫描时间 $\Delta t = N/F$ 按式(21-17)计算扫描时间误差 $\delta_{\Delta t}$：

$$\delta_{\Delta t} = \frac{\Delta t - \Delta t_0}{\Delta t_0} \times 100\% \qquad (21\text{-}17)$$

式中 Δt_0——扫描时间标称值；

Δt——扫描时间实测值。

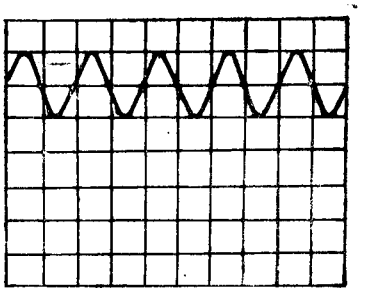


图 21-50

52. 消耗功率

consumed power

仪器在额定条件下所消耗的功率。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 21-51。

(2) 测试步骤：用交流电压表测出外电源电压 V，将频谱仪电源保险器拔下，在保险器座两端串接交流电流表。频谱仪工作在最大功耗状态，则视在功率为 $V \cdot A$。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

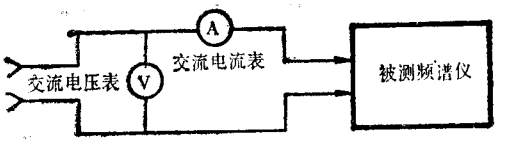


图 21-51

53. 共模抑制

common mode rejection

频谱仪对同时出现在两个输入端口的共模信号的抑制。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 21-52 及图 21-53。

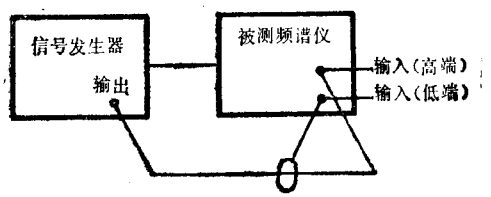


图 21-52

(2) 测试步骤

① 信号发生器送一个适当电平的信号到频谱仪输入通道高端,低端接地(外屏蔽线)。

② 按说明书规定操作频谱仪,移动标记点到响应信号峰点,记下标记点电平。

③ 按图 21-53 重新连接电路,屏蔽线接机壳。信号同时加到输入通道高、低两端,读出此时的响应信号电平。两次电平读数之差即为共模抑制,以 dB 表示。

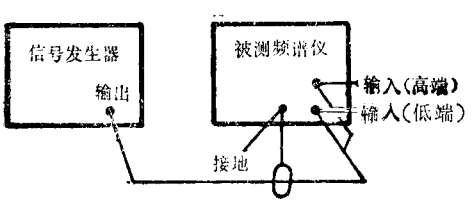


图 21-53

④对两个以上通道按上述步骤分别测量。

54. 输入通道串音

input channal crosstalk

具有两个或多个输入通道的频谱仪,由于串扰,一个通道上出现的由其它通道耦合而来的不需要的能量。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 21-54。

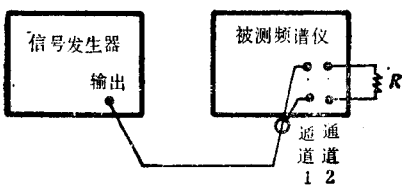


图 21-54

(2) 测试步骤

① 按说明书规定操作频谱仪各控制装置,将信号加入通道 1,通道 2 两端接匹配电阻,输入模式和显示模式均置通道 2。

② 通道 2 幅度显示置灵敏度最高档,信号发生器指示电平与显示屏读出的响应电平之差(以 dB 表示)即为通道 1 对通道 2 的串音。

③ 按同样方法测量其它通道。

55. 数字滤波器特性

digital filter property

数字滤波器对其上、下相邻通道的衰减特性。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 21-55。

(2) 测试步骤

①函数发生器工作于正弦输出状态,输出频率调到滤波器中心频率。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

图 21-55

② 按说明书规定操作频谱仪。调发生器输出幅度使响应信号到某一刻度，微调输出频率使左右两个通道谱线显示高度大致相等，由显示的直方图直接读出衰减特性，如图 21-56 所示。

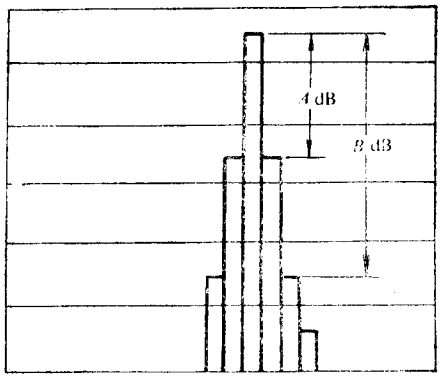


图 21-56

* * *

本章涉及的频率范围从 μHz～325 GHz，指标从低到高跨度很大，而且通常有多种型号的仪器均能满足测试要求，因此很难准确地推荐测试仪器的型号，只能提出一些参考型号供选择。现将本章技术指标和测试方法中所用的主要测试仪器的参考型号汇总列表如下。

表 21-5 主要测试仪器汇总表

仪器名称	参 考 型 号	检定规程编号
信号发生器	QF3712,QF1020,AFGU(R/S),QF1074,XB28A,QF1022,XDIA,Fluke6060B,6071A,Marconi 2071,HP8640B,HP 8663A,HP8665A,HP8673G,HP8780A 等	
扫频信号源	HP8601,HP8620C/86222B/86290A,HP8340B,HP8350B/83550 系列,6600A/1(Marconi)	
函数发生器	QF1021,NW1630,FG501A,HP3325A 等	
脉冲信号发生器	XC12,HP214B 等	
梳状波发生器	XT-22 等	
频谱分析仪	HP3582A,TR9405,BP29A,QF4031,Marconi 2383,HP8566B,HP8592B 等	
网络分析仪	DTIA,ZPV(R/S公司),HP8410,AV3611 等	
测试接收机	ME642A (安立),HP8902	
功率计	HP436,GLZ-1,GZ2,Anritsu,ML83A	
数字式频率计	HP5352B,Tek DC510/DC5010,SF-8000C CN3165(SAMPO),DS822 等	
标准衰减器	TO32,QF3712,HP8419B/010,HP370C,HPU370C 等	
示波器	SJ-16J,SBM-10 等	JJG262-81

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第5节 频谱仪按门类的量值传递表

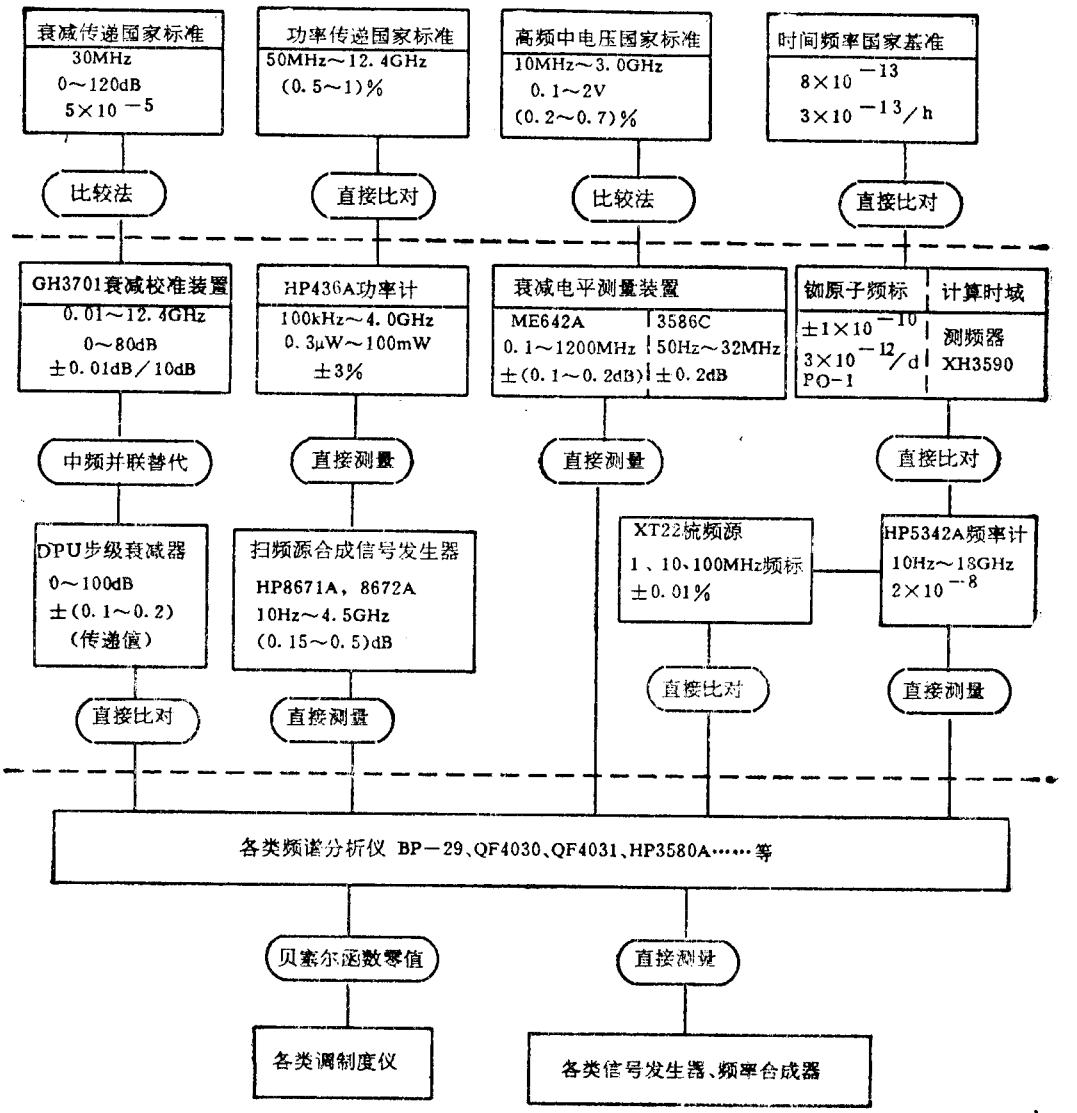


图 21-57

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第22章　失真度测量仪

第1节　综　　述

在电子工程的设计和应用中，主要工作是研究如何产生、传递、接收有用的信息。这些信息无论在开路传输或闭路传输中都受到环境、传输网络的工作状态和应用的元器件参数变化的影响，从而会或多或少地改变有用信息的性质，这种变化就是所谓的信号畸变现象，通常称作失真。

工程技术人员必须清楚地了解这种失真现象，寻求科学的技术措施定性的或定量的把失真变化甄别出来，并通过工程设计抑制或扩展这种变化，以达到应用所能允许或希望的程度。因此，在信息产生、传递、接收过程中，必须认真分析并处理好失真问题。

根据对有用信息的失真的分析，其产生除了受外部因素的影响外(电磁干扰、天电干扰、公共电源串扰)，主要是由于电子工程系统内部的原因引起的，其中包括选用电路和应用元器件不尽合理等。严格地讲，信息的失真又是不能完全避免的，因此，对电子工程系统失真的分析，必须确立正确的测量方法，选择合理的测量设备以及检定它们的准确程度。

在电子工程系统中存在的失真，基本类型是线性失真和非线性失真两大类。这两类失真由于应用的频段不同，其传输的信息特性不同，使其分析方法、测量方法以及采用的仪器设备有很大区别。随着科学技术的进步，这些方法和应用设备也在不断地更新。为了使读者对失真度测量仪的情况有一个比较全面的了解，现将不同条件下失真的表现形式和测量方法简述如下。

1. 高频和超高频失真测量

属于该段信息的频谱大约为 100 千赫～几百兆赫。

(1) 校准接收机法。

利用校准接收机的窄带选频特性，对被测系统信息的频谱特性进行分析，以决定其幅频失真和非线性谐波失真。

应用的测量仪器有 RS 2 型、RS3 型、DO-16 型、DO-29 型高频或超高频校准接收机，其工作频段分别在 50 kHz～1000MHz，选频电压测量范围约为 0～120 dB(0dB ═ 1μV)。

(2) 取样技术法。

利用对被测信息的取样、混频，可将高频信号转为较低的固定中频信号。由于这种频率变换过程是线性的，所以输出的中频信号具有与输入被测信号相同的幅度和相位，以及相类似的信号波形，这样采用一般的低频电压表或失真度测量仪就可以进行幅频特性和非线性失真测量。

应用的测量仪器有 DT-1 型矢量电压表，其测试连接图如图 22-1。

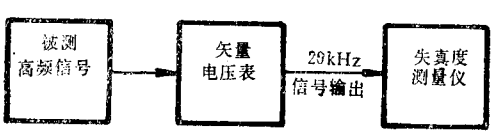


图　22-1

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试频率范围为 1～1000 MHz，可测幅度为 0～95 dB，对高频信号的相位移可测范围为 0～360°，分辨率为 0.1°。高频信号的谐波失真测量由配搭的失真度测量仪完成。

利用取样技术制成的高频频谱分析仪，由于有示波管配合，可以直接观测，计算被测信号的幅频特性和非线性谐波失真。

应用的仪器有 BP1、BP1M、BP29 频谱分析仪。可测频率分别为 100～1500 MHz，可测幅度范围为 +20 dB～－111 dB，屏幕显示幅值范围约达 0～60～80 dB。

2. 视频失真测量

属于该段信息的频谱大约为几十赫～10 兆赫。其失真分析除用通用的失真度测量仪外，主要应用特殊的标准图像信号发生器，配以视频示波器观测测量。

(1) 利用微分增益、微分相位测量仪检测视频设备的非线性失真。

应用仪器有：英国的 TF 2910/4 非线性失真分析仪、日本的 948C/2 DG-DP 测量仪、我国的 VS22 电视非线性失真测量仪。上述仪器微分相位可测 0.01°～11°，微分增益可测 (0.02～11)%。

(2) 利用电视视频信号发生器产生的特殊波形信号，如：多波群信号、T脉冲、2 T脉冲、10 T 脉冲、窗口信号等，配以视频示波器或电视波形监视器直接观测和计算被测视频设备的线性和非线性失真。

应用仪器有：XT-1A 型、XT-1B 型、XT-16 型、CC5361A 型电视视频信号发生器。

(3) 利用标准的彩色信号发生器并配以电视示波器、电视波形监视器、矢量示波器等直接测量电视视频设备及其相应的解码电路的工作特性。

应用仪器有：CC 5362 微机数字化彩色电视信号发生器、CC 5331 视频自动测试仪等。

3. 音频失真测量

属于该段信息的频谱大约为 20 Hz～200 kHz。其中 20 Hz～20 kHz 为主要的音频信息频段。

(1) 用低频电压表测量幅频失真。

应用仪器有：BS1 型、BS1A 型、DAQ-1 型、DA-16 型、HG 2170 型等失真度测量仪或低频交流电压表。其可测频段为 20 Hz～1MHz，可测信号有效值电压为 100 μV～300V。

(2) 用网络分析仪或相位计测量相位失真。

应用仪器有 MS 420 B/K (ANRITSU)，HP 3577 A 等均可测量 ±180° 相位，其分辨率达 ±0.1°～0.01°。

(3) 非线性失真测量。

根据目前技术的发展，对音频传输网络的非线性失真分析包括以下几种类型。

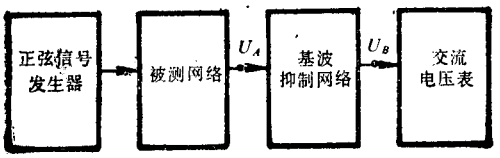
①通过频谱分析仪方法直接测出被测信息中的基波分量及各次谐波分量，然后依据第 3 节公式(22-1)直接计算出失真度值。这类仪器主要应用具有窄带特性的选频电压表或低频频谱分析仪。如：丹麦的 2010 型、美国的 HP 8903 B，以及日本的 VP-7722 A 型等低频分析仪。

② 通过基波抑制法将被测信号中的基波分量全部滤除而选通全部谐波分量，然后通过技术处理按第 3 节公式(22-2)直接读取失真度值。

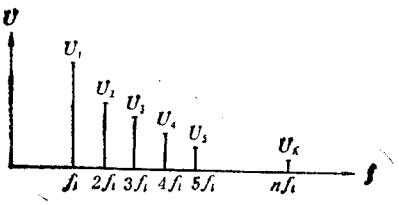
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

这种方法采用单一正弦信号输入被测设备，当被测设备的工作状态处于不同程度的非线性时，其输出信号中除被放大的基波分量外，还有不同幅度的各次谐波分量。经基波抑制法的技术处理可以测定被测设备的谐波失真程度。其测试原理方框图和谐波分量频谱如图 22-2(a)、(b)。



(a)



(b)

图 22-2

被测网络的非线性谐波失真度（D）等于：

$$谐波失真度(D)=\frac{U_B}{U_A}\times 100\%$$

其中 $$U_A=\sqrt{U_1^2+U_2^2+\cdots U_n^2},U_B=\sqrt{U_2^2+U_3^2+\cdots U_n^2}。$$

这种类型的仪器在国内外品种繁多，常见的有：SZ-3 型、BS1 型、BS2 型、BS1A 型、BS6 型、ZN4112 型、ZN4121 型以及国外的产品 BK 2010 型、HP 8903B、VP-7722 型等。

③ 按照 SMPTE 方法进行互调失真测量。它是美国电影和电视工程师协会推荐的。这种方法采用两个正弦信号叠加，形成复合信号考核被测设备的非线性失真程度，比采用单一正弦信号更接近实际情况。

这种复合信号中的高频信号 U_H 的频率 f_H 一般选取低频信号 U_L 的频率 f_L 的 10 倍，而 U_L 的幅值为 U_H 的 4 倍。当它们经过被测网络后，其输出的信号中将出现除 f_L、f_H 的频率信号外，还有大量的互调信号成分，其组合频率为 $mf_H\pm nf_L$。

SMPTE 方法测试方框图和互调失真分量频谱图如图 22-3 (a)、(b)。

用交流电压表分别测出被解调的高频电压 U'_H 和互调分量 U_x。其互调失真度按下式定义：

$$互调失真度(IM)=\frac{\sqrt{U_2^2+(U'_2)^2+U_3^2+(U'_3)^2+\cdots}}{U'_H}\times 100\%$$

ZN4120 互调失真仪就是依据上述原理设计的。其 IM 测量范围为 0.1～80%。f_H 频率设定为 3、5、7、10、15、20 kHz，f_L 频率设定为 40、50、70、100、200、300 Hz。f_H 和 f_L 可以任意组合。

④ 按照 CCIT 法进行互调失真测量。它是由国际电话咨询委员会推荐的，适用于考核多路通信系统的串扰程度。它采用两个正弦信号叠加，形成复合信号以检查被测网络的非线性失真程度。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

复合信号中的两个正弦信号 $U_H = U_L$，而频率相近，$f_H - f_L$ 约在 10～1000 Hz，依被测网络的设计要求而定。上述信号通过被测网络后，将出现除 f_H、f_L 的频率信号外，还有大量的互调信号成分(依被测网络工作状态优劣而定)，其组合频率为 $\pm mf_H \pm nf_L$。

CCIT 法的测试方框图和互调失真分量频谱图如图 22-4 (a)、(b)。

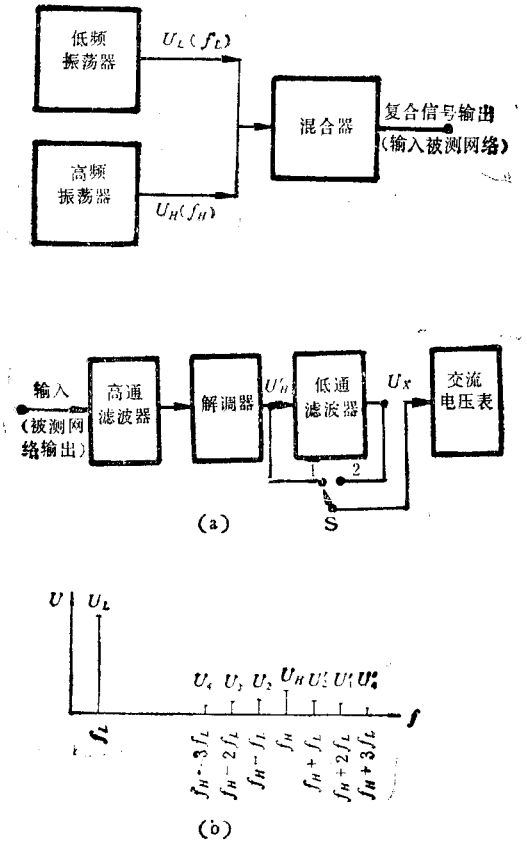


图　22-3

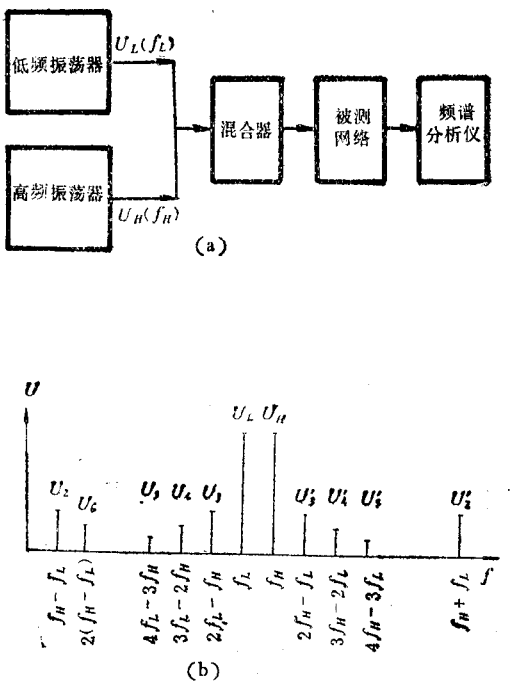


图　22-4

用频谱分析仪分别测出两个正弦信号及其各组合互调信号分量，互调失真度 (IM) 依下述几种定义表达：

$$(IM)_{D1} = \frac{U_2}{U_H + U_L} \times 100\%$$

$$(IM)_{D2} = \frac{U_3 + U_3'}{U_H + U_L} \times 100\%$$

$$(IM)_E = \frac{U_2 + U_6 + U_3 + U_4}{U_H + U_L} \times 100\%$$

$$(IM)_F = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_6^2 + U_3^2 + U_4^2 + \cdots U_n^2}}{\sqrt{U_H^2 + U_L^2}} \times 100\%$$

由于这种互调失真的表达方式不完全统一，在测量时应特别将测量手段及表达方式作相应说明。

⑤ 瞬态互调失真测量。

现代音频传输网络大都采取负反馈网络改善传输特性，但强负反馈的传输网络由于不能快速

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

反应瞬变信息而使传输网络过载，从而产生严重的非线性失真。目前学术界称之为瞬态互调失真（TLM）。

瞬态互调失真测量主要是对高音响的音频传输网络的高频音频特性进行考核。推荐的方法是采用一个 15 kKz 正弦信号 U_H 和一个 3.15kHz 的方波信号 U_L 叠加，控制 $U_L = 4U_H$，叠加后的复合波信号输入到被测网络，考核其非线性瞬态互调特性。

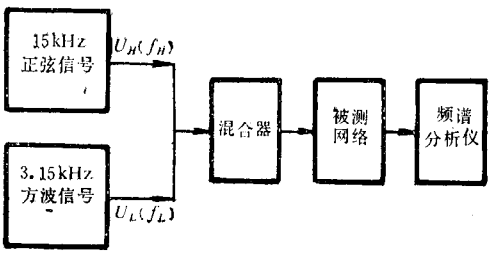


图 22-5

其测试原理方框图如图 22-5。

按国际电工委员会（IEC）规定，选择九种瞬态互调分量：0.75、2.4、3.9、5.55、7.07、8.7、10.2、11.85、13.35 kHz 信号与 15 kHz 信号进行比较。瞬态互调失真度定义为：

$$TLM = \frac{\sqrt{\sum U_n^2}}{U_H} \times 100\%$$

上式中，分子项为瞬态互调分量有效值之和，分母项为断开方波信号时，频谱分析仪测得的 U_H 有效值。

目前瞬态互调失真仪在国内外仍处于试研阶段。

4. 超低频失真测量

属于该段信息的频谱大约为 0.001～100 Hz。这一频段的传输网络，其性能分析仍处于研究阶段，可以提供参考的分析方案有以下几种：

（1）失真度测量仪方案。

利用失真度测量仪直接测量传输网络的线性和非线性特性，其频率测量范围最低可达 2Hz。

应用仪器有：BS1 型、BS2 型、BS1A 型失真度测量仪和美国的 6800 型自动失真仪。

（2）快速付里叶分析方案。

本世纪 60 年代出现快速付里叶分析方法，随着微处理机及其外围设备的发展，制造了快速付里叶分析仪——FFT 分析仪。它能快速地测定被测信号中的基波和谐波的频率、幅度、相位，并能快速地计算谐波失真度。

美国 HP 3561 A 动态信号分析仪可以自动显示被测信号基波频率以及计算 20 次以内的总谐波失真值。其测量频率范围为 0.000125 Hz～100 kHz。最低失真度可测量 0.01%。

国产 BD1 型多功能超低频信号测试仪亦可达到上述部分性能。

下面，概略地介绍失真度测量仪的发展情况。

在本世纪 50 年代以前，由于受技术条件的限制，对音频设备的非线性失真的分析方法采用典型的单音信号输入法。通过给被测网络逐一的输入一个不同频率的相对纯正的正弦信号，在其输出端监测其产生的谐波信号大小，决定该设备的非线性失真程度。这种方法一直延用到现在。由于当时不可能有优良的选频电压表去监测被测网络的各次谐波成分，而是采取基波抑制法直接测量总谐波分量的有效值，通过技术处理按第 3 节公式(22-2)的定义读取被测网络的失真度值。

50 年代处于电子管的发展时期，在国际上设计有各类电子管程式的谐波失真度测量仪。我国到 50 年代末期才开始试制电子管程式的失真度测量仪，并在国内市场相继推出 SZ-1 型、SZ-2 型、SZ-1A 型、SZ-3 型失真度测量仪。这些仪器的频率范围为 20 Hz～20 kHz，失真度

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

可测量程大多为 1%～100%。

60 年代末期,国际上已经普遍地应用晶体管程式的失真度测量仪。我国在 70 年代国内市场上陆续出现了 BS1 型、BS2 型、BS1A 型等晶体管失真度测量仪。其频率范围按照我国技术和生产发展要求,扩展为 2Hz～200 kHz,失真度可测量程为 0.1%～100%。

在此期间,为了配合收音机、录音机生产流水线的快速测量非线性失真特性指标,设计出 BS4 型、BS5 型等自动点频失真仪。

80 年代随着我国集成电路设计规模的扩大,立体声广播对传输设备性能要求的提高,我国开始利用集成电路技术设计低失真度测量仪和全自动失真度测量仪。陆续生产的型号有:ZN4112 型、BS6 型、ZQ4121 型、ZN4121 型等失真度测量仪,初步满足了国内市场的需要。

随着微处理器技术的迅速发展,国外设计出综合性的低频分析仪。这种仪器通过微处理器的预置,可以进行通常的谐波失真度测量,也可进行谐波分析测量,此外还可以按照 SMPTE 和 CCIT 方案进行互调失真测量。这种仪器对音频传输设备的性能分析非常方便,是失真度测量设备的最新发展技术。具有代表性的产品有:美国的 HP-8903 B、日本的 VP 7722 型、丹麦的 2010 型、加拿大的 3501 型等。

早期的失真度测量仪均采用单组基波抑制网络,其基波抑制点处的平衡状态受元件参数随温度、湿度的变化影响很大,稳定性差。后期设计的全自动失真度测量仪、低失真测量仪、低频分析仪等均采用三组以上的基波抑制网络,构成一个基波抑制阻带,保证了测试性能的稳定。

在我国失真度测量仪的开发和生产中,北京无线电仪器二厂、成都无线电一厂、浙江电子仪器厂、宁波东风无线电厂、上海无线电厂、天津电子仪器厂等都做出了应有的努力。

第 2 节 失真度测量仪的分类

目前国内外仍在应用的失真度测量仪,包括低频分析仪在内,其分类大致如下:

(1) 通用失真度测量仪

频率范围在 2 Hz～200 kHz 以内,失真度量程范围在 100%～0.1% 以内。如:SZ-3 型、BS1 型、BS2 型、BS1A 型等。

(2) 高频失真度测量仪

频率范围在 100 kHz～1 MHz,失真度量程约为 100%～1% 以内。这类仪器目前没有批量生产的商品,主要为协议产品。

(3) 自动点频失真度测量仪

频率范围设计于若干专用的频率点上,失真度量程在 100%～0.1% 以内。一般设计有自动幅度校准电路,采用高通滤波器电路自动抑制基波信号,如:BS 4 型、BS5 型、ZN 4110 型、ZN4111 型、S907 型、S908 型、HG4111 型等。

(4) 全自动失真度测量仪

频率范围设计于 10Hz～100 kHz,失真度量程在 30%～0.1%。在全部设计的频段内,均能自动滤除被测信号中的基波分量,其电压表量程能随信号的大小自动切换。如 ZN4121 型、ZQ4121 型等。

(5) 低失真度测量仪

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 22-1 通用失

序号	技术性能	仪器型号	
		SZ-1A 型(中国)	SZ-3 型(中国)
	电压测量		
1	固有噪音	—	0.02mV
2	测量范围	10mV～300V（满刻度）	1mV～300V（满刻度）
3	引用相对误差	±5%(1kHz 为准)	±5%(1kHz 为准)
4	频率响应特性	20Hz～60kHz ±0.5dB	20Hz～100kHz ±0.3dB 100kHz～200kHz ±0.5dB
5	输入阻抗	300kΩ	500kΩ
6	波型误差	—	—
7	波形监视	有	有
	失真度测量		
8	固有噪音	—	0.25mV
9	频率范围	20Hz～20kHz	20Hz～20kHz
10	频率误差	±3%	±10%
11	失真度测量范围	1%～100%（满刻度）	0.1%～100%（满刻度）
12	引用相对误差	±10%(满度)±0.05%	±10%(满度)±0.01%
13	输入电压范围	1～30V	60mV～250V
14	基波抑制	60～70dB	70～80dB
15	残余失真	—	—
16	谐波响应	—	20Hz～60kHz ±0.5dB 60kHz～200kHz ±1.5dB
17	输入阻抗	70kΩ	47～100kΩ
18	高通滤波器	—	—
19	低通滤波器	—	—
20	选频特性	—	—
21	自动稳幅特性	—	—
22	视在功率	70VA	80VA
23	电源电压变化	—	220V±10%
24	电源频率变化	—	50Hz±4%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

真度测量仪

和 国 别

BS1 型(中国)	BS1A 型(中国)	BKF6 型(丹麦)	TF2331 (英)
0.05mV	0.02mV	—	—
1mV～300V (满刻度)	1mV～300V (满刻度)	0.3mV～300V (满刻度)	1mV～30V
±5%(1kHz 为准)	±5%(1kHz为准)	±3%	±3%(满刻度)
4Hz～100kHz ±1dB 2Hz～1MHz ±1.5dB	4Hz～100kHz ±1dB 2Hz～1MHz ±1.5dB	20Hz～100kHz 0.3dB 100kHz～200kHz 1dB	—
1MΩ	1MΩ	1MΩ	1MΩ
—	波高率≤3 不大于3%	波高率≤2.8	—
有	有	有	有
0.25mV	0.25mV	—	—
2Hz～200kHz	2Hz～200kHz	20Hz～20kHz	20Hz～20kHz
±5%	±5%	±1%	—
0.1%～100%(满刻度)	0.1～100%(满刻度)	0.03%～100% (满刻度)	0.1%～100%(满刻度)
±0%(满度)±0.01%	±10%(满度)±0.01%	±3%(满度)±0.01%	±3%(满刻度)
300mV～300V	300mV～300V	110mV～300V	—
70～80dB	>80dB	>80dB	>80dB
—	—	<0.01%	—
二次以上谐波衰减不大于±10%	二次以上谐波衰减不大于±10%	二次以上谐波衰减 不大于0.3dB	—
500kΩ	500kΩ	1MΩ	10～100kΩ
—	—	250Hz	—
—	—	250Hz	400Hz
—	—	—	—
—	—	—	—
10VA	25VA	35VA	3VA
220±10%	220V±10%	110～240V	95～260V
50Hz±4%	50Hz±4%	50～60Hz	40～400Hz

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 22-2 自动点频失真度测量仪

序号	技术性能	仪器型号与国别		
		BS4 型、BS5 型(中国)	ZN4110、ZN4111 (中国)	VP7704A (日)
	电压测量			
1	固有噪音	—	—	—
2	测量范围	100mV～100V	100mV～100V	100mV～100V
3	引用相对误差	±5%	±5%	±3%(1kHz)
4	频率响应	20Hz～100kHz ±1dB	20Hz～100kHz ±1dB	20Hz～50kHz ±0.5dB 20Hz～100kHz ±1dB
5	输入阻抗	100kΩ	100kΩ	100kΩ
6	波型误差	—	—	—
7	波形监视	—	—	—
	失真度测量			
8	固有噪音	—	—	—
9	频率范围	315Hz,400Hz,1kHz	315Hz,400Hz,1kHz	400Hz, 1kHz
10	频率误差	±10%	±10%	±5%
11	失真度测量范围	0.1%～30%	0.1%～30%	0.1%～10%
12	输入电压范围	30mV～100V	30mV～100V	10mV～100V
13	引用相对误差	±10%	±10%(满度)±0.01%	—
14	基波抑制	≥70dB	≥70dB	≥66dB
15	残余失真	—	—	≥70dB
16	谐波响应	二次以上谐波衰减不大于0.5dB	二次以上谐波衰减不大于0.5dB	二次以上谐波衰减不大于±0.5dB
17	输入阻抗	100kΩ	100kΩ	100kΩ
18	高通滤波器	—	—	—
19	低通滤波器	—	—	—
20	选频特性	—	—	—
21	自动稳幅特性	有	有	有
22	视在功率	—	17VA	8VA
23	电源电压变化	220V±10%	220V±10%	100V～230V±10%
24	电源频率变化	50Hz±4%	50Hz±4%	50～60Hz

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 22-3　全自动失真度测量仪

序号	技术性能	仪器型号与国别		
		MAK600A（日）	ZQ4121（中国）	ZN4121（中国）
	电压测量			
1	固有噪音	—	50μV	—
2	测量范围	+48～−70dB	300μV～100V	+48～−70dB
3	引用相对误差	±5%	±5%	±5%～±10%
4	频率响应	10Hz～300kHz ±0.5dB	20Hz～50kHz ±0.5dB 5Hz～300kHz ±1dB	10Hz～300kHz ±0.5dB
5	输入阻抗	100kΩ	100kΩ	100kΩ
6	波型误差	—	—	—
7	波形监视	有	有	有
	失真度测量			
8	固有噪音	—	—	—
9	频率范围	10Hz～100kHz	10Hz～109kHz	10Hz～100kHz
10	频率误差	10Hz～10kHz ±1% 10～100kHz 50ppm±1 字	±5%	10Hz～10kHz ±1% 10～100kHz 10.1%±1个字
11	失真度测量范围	0.06%～30%	0.01%～30%	0.06%～30%
12	输入电压范围	62mV～77.5V		60mV～77.5V
13	引用相对误差	10Hz～50kHz ±5% 50～100kHz +5% −10%	±7%～±10%	±5%～±10%
14	基波抑制	−64～−74dB	—	−64～−74dB
15	残余失真	—	0.01%～0.02%	—
16	谐波响应	二次以上谐波衰减在 0.5～1dB	—	二次以上谐波衰减在 0.5～1dB
17	输入阻抗	100kΩ 100pF	100kΩ	100kΩ
18	高通滤波器	—	400Hz	—
19	低通滤波器	—	30kHz	—
20	选频特性	—	—	—
21	自动稳幅特性	有	有	有
22	视在功率	70VA	15VA	100VA
23	电源电压变化	220V±10%	220V±10%	220V±10%
24	电源频率变化	50Hz±4%	50±2Hz	50Hz±5%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 22-4 低失真度测量仪

序号	技术性能	仪器型号和国别		
		ZN4112（中国）	BS6 型(中国)	1700B 型(美)
	电压测量			
1	固有噪音	—	—	8～15μV
2	测量范围	−100～+40dB	300μV～100V	3mV～300V
3	引用相对误差	±0.8dB(1kHz 为准)	—	20Hz～20kHz ±2% 10Hz～110kHz ±5%
4	频率响应特性	10Hz～300kHz ±1dB	5Hz～600kHz 10Hz～100kHz ±0.5dB	—
5	输入阻抗	100kΩ	—	100kΩ
6	波型误差	—	—	—
7	波型监视	有	—	有
	失真度测量			
8	固有噪音	—	—	25～30μV
9	频率范围	10Hz～100kHz	5Hz～150kHz	10Hz～110kHz
10	频率误差	±0.5%+1字	—	—
11	失真度测量范围	0.003%～30%	0.01%～100%	0.01%～100%
12	引用相对误差	10Hz～10kHz ±10% 10～100kHz ±20%	—	—
13	输入电压范围	100mV～100V	—	100mV～300V
14	基波抑制	80～90dB	90～100dB	100dB
15	残余失真	—	95dB	0.007%～0.05%
16	谐波响应	—	二次以上谐波衰减不大于±1dB	二次以上谐波衰减在1～3dB
17	输入阻抗	100kΩ	—	100kΩ
18	高通滤波器	200Hz	400Hz	400Hz
19	低通滤波器	300kHz	100kHz	80kHz
20	选频特性	—	—	—
21	自动稳幅特性	有	有	有
22	视在功率	35VA	—	—
23	电源电压变化	220V±10%	—	115～220V
24	电源频率变化	50Hz±5%	—	50～60Hz
25	其他特性			具有同步信号源

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 22-5　低频分析仪

序号	技术性能	仪器型号与国别			
		HP8903B（美）	725B（日本）	3501 型(加拿大)	VP-7722A 型(日)
	电压测量				
1	固有噪音	—	—	—	—
2	测量范围	0.3mV～300V	−90～+40dB	−130～+40dB	+40～−70dB
3	引用相对误差	±2%～±4%	±3%～±6%	20Hz～20kHz ±0.3dB 10Hz～100kHz ±0.5dB	±2%
4	频率响应特性	—	5Hz～200kHz ±0.5dB 200～500kHz ±1dB	3Hz～300kHz −3dB	10Hz～300kHz
5	输入阻抗	—	100kΩ	100kΩ	100kΩ
6	波型误差	波高率=3	—	—	—
7	波形监视	有	有	有	有
	失真度测量				
8	固有噪音	—	—	—	—
9	频率范围	20Hz～100kHz	5Hz～110kHz	10Hz～100kHz	10Hz～110kHz
10	频率误差	—	—	—	—
11	失真度测量范围	0.001%～100%	0.003%～30%	0.001%～100%	0.01%～100%
12	引用相对误差	20Hz～20kHz ±1dB 20～100kHz ±2dB	—	20Hz～20kHz ±1dB 10Hz～50kHz ±2dB 50～100kHz ±3dB	—
13	输入电压范围	50mV～300V	0.1～100V	−30～+40dB	0.3～100V
14	基波抑制	—	90～120dB	—	>100dB
15	残余失真	−65～−80dB	−85～−115dB	−84～−102dB	—
16	谐波响应	—	二次以上谐波衰减 ±0.5～−3dB	10Hz～300kHz ±3dB	二次以上谐波衰减在 ±1.5dB以内
17	输入阻抗	—	100kΩ	100kΩ	100kΩ
18	高通滤波器	400Hz	400Hz	400Hz	400Hz
19	低通滤波器	30kHz,80kHz	30kHz,100kHz	30kHz,80kHz	30kHz,80kHz
20	选频特性	—	对基波5Hz～110kHz最高分析频率为500kHz	—	对基波10Hz～110kHz最高分析至5倍频
21	自动稳幅特性	有	有	有	有
22	视在功率	—	70VA	40VA	120VA
23	电源电压变化	—	100～230V ±10%	100～240V +5% −10%	115～230V ±10%
24	电源频率变化	—	50～60Hz	48～62Hz	50～60Hz
25	其它特性	具有同步信号源	具有同步信号源	可以做互调失真测量	可以进行互调失真测量

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

频率范围设计于 10 Hz～100 kHz。失真度量程在 30%～0.003%。一般设计为分频段自动滤除基波分量，其电压表量程能自动切换。如 ZN4112 型、BS6 型等。

(6) 同步失真度测量仪

频率范围在 10 Hz～100 kHz 以内，失真度量程在 30%～0.1% 以内。在仪器内部设计有独立的低失真音频信号发生器，其振荡信号的频率与内部失真度测量仪的基波抑制网络的抑制频率相同步，因此可以完成自动滤除基波信号的功能。其操作方式，早期为手动调谐式，在 80 年代前后由于应用集成电路而设计为自动调谐方式。它是低频分析仪发展的技术前奏。如 ZQ4120 型等。

(7) 低频分析仪

这是 80 年代较先进的失真度分析仪。仪器中包括低失真度的信号发生器，高灵敏度的交流电压表，低失真度的组合谐波分析器部分。这些部件均由内装的几组微处理器进行信号处理控制，因此可以进行谐波失真测量、谐波分析测量和按 SMPTE 和 CCIT 方式的互调失真测量，有些仪器配有标准接口功能，能驱动打印设备。

这种仪器的频率范围为 10Hz～100kHz，失真度量程在 30%～0.003%～0.001% 以内，使用方便，用途广泛。其代表性仪器有美国的 HP-8903B、AA501 型，日本的 VP-7722A 型，725B 型以及加拿大的 3501 型等。

(8) 超低频失真度测量仪

频率范围在 0.001 Hz～100 Hz，失真度量程约在 30%～0.1% 以内。其分析方法和电路实施在国内处于研究和试制阶段。

目前，国内外各类失真度测量仪的典型技术指标，分类列表如表 22-1～表 22-5。

第 3 节 失真测量中的术语和定义

1. 基波

非正弦波信号通过付里叶级数变换分析，它是由若干个振幅不同、频率不同的正弦波信号组成的。其中与非正弦波信号频率相同的信号称为基波信号，其频率称基波频率。

2. 谐波

非正弦波信号通过付里叶级数变换分析，它是由基波信号和若干个振幅不同，频率为基波频率整数倍的正弦波信号组成。后者均称为谐波信号，其频率称为谐波频率。

3. 失真

① 幅频失真

非正弦信号经过传输网络后，由于网络对信号中的基波分量和各次谐波分量有不等的增益响应，因而使输出信号的波形不同于原输入的信号，这种变化称为线性幅频失真。

② 相频失真

非正弦信号经过传输网络后，由于网络对信号中的基波分量和各次谐波分量有不同的相位延迟(超前或滞后)，因而使输出信号的波形不同于原输入的信号，这种变化称为线性相频失真。

③ 谐波失真

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

一个理想的正弦波信号经过传输网络后，由于网络的非线性工作特性，使其输出信号变为非正弦信号，其中除具有基波信号外，还包括若干高次谐波信号，这种变化称为非线性的谐波失真。

4. 谐波失真度 THD_0

衡量一个非理想正弦波信号的失真程度，通常用谐波失真度描述。其理论定义为：总谐波信号的有效值电压与基波信号有效值电压之比，取其百分比值。按式(22-1)计算：

$$THD_0 = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \cdots U_n^2}}{U_1} \times 100\% \tag{22-1}$$

式中 U_1——基波信号有效值电压；

U_2、U_3、U_n——各次谐波信号有效值电压。

谐波失真度 THD_0 的测量方法采用选频方法，即波形分析法。

5. 谐波失真度 THD

在实际中，对一个非理想的正弦信号的谐波失真度测量，通常采用基波抑制(滤除)方法。其定义为：总谐波信号的有效值电压与总信号的有效值电压之比，取其百分比值。按式(22-2)计算：

$$THD = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \cdots U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \cdots U_n^2}} \times 100\% \tag{22-2}$$

式(22-1)与式(22-2)经数学推导后，可得到 THD_0 与 THD (分别用 D_0 与 D 表示)之间的关系式，用式(22-3)与式(22-4)表示，

$$D_0 = \frac{D}{\sqrt{1 - D^2}} \tag{22-3}$$

$$D = \frac{D_0}{\sqrt{1 + D_0^2}} \tag{22-4}$$

当应用谐波失真度测量仪进行失真度测量时，其指示的 THD 值必须按式(22-3)换算为 THD_0 值，即 JJG 251-81 失真度测量仪检定规程规定的出证值。但当实测的 D 值小于10%时，则 $D \approx D_0$。

当应用标准失真源对谐波失真度测量仪进行工作误差检定时，其输出的 THD_0 值必须按式(22-4)换算为 THD 值作为标准值，然后与失真度测量仪实测值进行误差计算。但标准 D_0 值小于10%时，则 $D_0 \approx D$，可不必换算。

6. 总失真度 $DISTN$

在通常的谐波失真度测量中，被测信号包括有噪音分量，其总失真度按式(22-5)定义：

$$DISTN = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \cdots U_n^2 + U_N^2}}{U_{in}} \times 100\% \tag{22-5}$$

式中 U_N···噪音分量的有效值电压；

U_{in}···被测信号的有效值电压。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7. 谐波失真度 THD_1

在通常的谐波失真度测量中，从总失真度中去掉部分高次谐波分量和噪音分量，其谐波失真度 THD_1 按式(22-6)定义：

$$THD_1 = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \cdots U_m^2}}{U_{in}} \times 100\% \tag{22-6}$$

式中 U_m 为高次谐波分量，一般保持到 5～10 次谐波。

8. 谐波失真度 THD_2

在谐波失真度高速测量中，失真度分量中包括有 THD_1 分量和信号流程噪音，其谐波失真度 THD_2 按式(22-7)定义：

$$THD_2 = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \cdots U_m^2 + U_{DN}^2}}{U_{in}} \times 100\% \tag{22-7}$$

式中 U_{DN} 为信号流程引起的噪音有效值电压。

9. 单次谐波失真度 HD

在测量谐波失真时，仅考虑某次谐波分量影响的失真度，称为单次谐波失真度。它是从被测信号中，用狭窄的带通滤波器逐项测量单一的谐波分量，其谐波频率一般取至 2～5 倍基波频率。单次谐波失真度 HD 按式(22-8)定义：

$$HD = \frac{U_m}{U_{in}} \times 100\% \tag{22-8}$$

10. 固有噪音

由失真度测量仪内部电路所产生的噪音。其测试条件为：在失真度测量仪输入端接规定电阻，其噪音量值由电压表显示，在规定的测量频率范围内，取其稳定的最大值。

11. 基波抑制

失真度测量仪采用基波抑制电路程式时，该电路对被测信号中的基波分量滤除的程度。基波抑制通常以分贝值表示。

12. 残余失真

在规定的测试条件下，残余失真是被测失真度测量仪在进行失真度测量时，其内部电路的固有噪音、非线性谐波失真、基波抑制电路的残余基波分量对失真度指示值的影响量。

13. 基波抑制电路的谐波响应

失真度测量仪采用基波抑制电路时，在基波分量被滤除的状态下，该电路对输入信号中二次以上谐波电压的响应程度。谐波响应通常以分贝值表示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

14. 有效值电压表

在规定的频率范围内，检波特性按平方律特性工作的电压表。其指示值与输入电压绝对值的有效值成正比。

15. 平均值电压表

在规定的频率范围内，检波特性按平均值特性工作的电压表。其指示值与输入电压绝对值的平均值成正比。

16. 准有效值电压表

在规定的频率范围内，检波特性按逼近平方律特性工作的电压表。当输入电压的波峰系数小于某一规定值时，其指示值与输入电压绝对值的有效值近似成正比。

17. 波峰系数(波高率)

为交流信号峰值电压的绝对值与其有效值之比。

18. 波形误差

电压表电路为非平方律工作特性，对具有相同有效值电压的正弦波信号和非正弦波信号出现不同的指示值，这种指示值的偏离称为波形误差。

第 4 节　失真度测量仪技术指标汇总表

自本世纪 30 年代出现失真度测量仪后，其基本原理均采用基波抑制法，应用电路以采用文式电桥、双 T 网络最为普遍。50 年代曾出现波形分析仪可以按失真度理论定义测量非线性谐波失真。如：英国的 TF 455 E、TF 2330 等仪器。由于技术难度较高，操作不便，计算复杂而不易推广。因此到目前为止，广泛应用的仍然是基波抑制法的谐波失真度测量仪。

立体声技术的发展，要求音频传输网络具有低于 0.1% 以下的非线性谐波失真，这样也要求音频信号发生器要具有低于 0.01% 以下的非线性失真。这种趋势促进了低失真度测量仪的产生，然而其主要的技术指标类别没有变化。

微处理机技术的发展，促使谐波分析法重新返回音频传输网络技术分析舞台。通过谐波分析测量可以考查传输网络的失真性质，有利于改进传输网络特性，因此有必要将低频分析仪的部分技术指标汇集在失真度测量仪技术指标中。

根据目前掌握的资料，本文列出失真度测量仪包括低频分析仪最基本的技术指标，如表 22-6。

第 5 节　技术指标和测量方法

测试时除必须具备仪器规定的环境条件外，还需注意：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 22-6 失真度测量仪技术指标汇总表

序号	技术性能	失真度测量仪分类					
		通用型	高频	点频	全自动	低失真	低频分析仪
(一)	电压测量						
1	固有噪音	●	●	●	●	●	●
2	电压表测量范围和引用相对误差	●	●	●	●	●	●
3	频率响应特性	●	●	●	●	●	●
4	输入阻抗	●	●	●	●	●	●
5	波形误差	○	○	○	○	○	○
6	波形监视	○	○	○	○	○	○
(二)	失真度测量						
7	固有噪音	●	●	●	●	●	●
8	频率范围和频率误差	●	●	●	●	●	●
9	输入电压范围	●	●	●	●	●	●
10	失真度测量范围及其误差	●	●	●	●	●	●
11	基波抑制特性	●			●	●	●
12	残余失真				●	●	●
13	谐波响应	●			●	●	●
14	输入阻抗	○		○	○	○	○
15	高通滤波器				●	●	●
16	低通滤波器				●	●	●
17	选频特性						●
18	自动幅度校准特性			●	●	●	●
19	视在功率	○	○	○	○	○	○
20	电源电压变化	○	○	○	○	○	○
21	电源频率变化	○	○	○	○	○	○

注：● 为必检项目。 ○ 为抽检项目。

交流供电电源波形：正弦波（$\beta = 0.05$）；β 为失真因子，即交流供电电源电压的波形失真应保持在 $(1+\beta)A\sin\omega t$ 与 $(1-\beta)A\sin\omega t$ 所形成的包络之间。

直流供电电源波形：其波纹电压 ΔV 与供电电源额定值 V_0 之比应小于或等于 0.1%。

(一) 电压测量

1. 固有噪音

residual noise

它是失真度测量仪电压表电路所产生的热噪音。其测试条件为：在电压表电路的输入端接规定的电阻，读取电压表指示的最大稳定值。用电压（V）或分贝（dB）为计算单位。

技术水平：一般均低于 50 μV 到 10 μV。

测试方法：

（1）测试设备连接图如图 22-6。

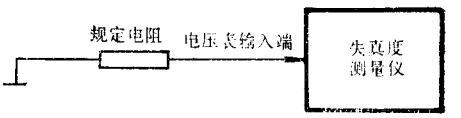


图 22-6

（2）测试步骤

①被测失真度测量仪的电压表输入端并接规定电阻，推荐选用 600Ω ±5%阻值；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 使失真度测量仪处于电压测量工作位置。接通电源，经规定的预热时间后；

③ 改变电压表量程开关，使电压表读数显示于最明显的量程位置；

④ 读记电压表指示的稳定的最大值。

2. 电压表测量范围和引用相对误差

voltage range and reduced error in voltage measurement

推荐用 1 kHz 不同幅值信号考核被测电压表在不同量程能够进行音频电压测量的有效范围。同时依据标准仪器，判断其指示值的误差程度。

技术水平：引用误差在±(3%～5%)。

测试方法：

(1) 测试设备连接图如图 22-7。

图　22-7

(2) 测试步骤

① 将失真度测量仪置于电压表工作状态，电压表衰减器置于最大量程位置；

②使交流电压校准源输出 1kHz 信号，其幅值使电压表指示最大值，读记校准源电压值为 U_1，电压表指示值为 U_2；

③ 按照国家标准《模拟电子电压表通用测试方法》的要求，分别使交流电压校准源输出信号电压值为电压表满量程的 2/3，1/3，并分别读记两组 U_1 和 U_2 值；

④ 按上述方法，依电压表量程，逐次相应改变交流电压校准源的输出信号电压值，读记每量程的三组 U_1 和 U_2 值；

⑤ 电压表的引用相对误差（满刻度误差）按式(22-9)计算：

$$\delta_U = \frac{U_2 - U_1}{U_0} \times 100\% \qquad (22\text{-}9)$$

式中　δ_U——电压表引用相对误差；

U_0——电压表各量程的满刻度值；

U_1——交流电压校准源输出信号标准值；

U_2——电压表的指示值。

3. 频率响应特性

frequency response

根据电压表技术指标规定，考核其能够进行电压测量的频段范围，并在不同量程考核其全频段的增益特性。作为判断电压表对不同幅度，不同频率信号的测量误差。

技术水平：2Hz ～ 1MHz ±1.5dB。

测试方法：

(1) 测量设备连接图

按图 22-7 连接测试仪器。当交流电压校准源不用时，可改用正弦信号发生器、标准交流电压表和标准频率计联合测试，其连接图为图 22-8。

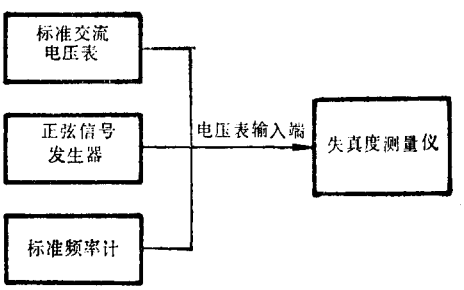


图　22-8

(2) 测试步骤

① 将失真度测量仪置于电压表工作位置；

② 将交流电压校准源（正弦信号发生器）输出 1 kHz 信号，其幅值为电压表各量程满度值 80%～90% 的一个定值，分别读记电压表各量程的指示值为 U_1，该值为基准电压值；

③ 保持交流电压校准源(应用正弦信号发生器时，输出幅值以标准交流电压表的指示为准)的输出幅值不变，按被检电压表规定的频率范围，改变输出信号频率（以频率计的指示为

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

准)，分别读记电压表各量程的指示值为 U_2，其测试频率不应少于五点，其中包括高、低端极限频率点；

④ 电压表的频率响应误差按式(22-10)计算：

$$\delta_{u-f} = 20\lg\frac{U_2}{U_1} \qquad (22\text{-}10)$$

式中 δ_{u-f}——电压表的频率响应误差（dB）；

U_1——1 kHz 信号在电压表各量程的指示值（V）；

U_2——不同频率信号在电压表各量程的指示值（V）。

4. 输入阻抗

input impedance

失真度测量仪的电压表部分的输入阻抗是在其输入端对被测交流信号的并联分流电阻和分流电容。为了不影响被测信号的工作状态，其输入电阻一般为 1～10 MΩ，输入电容一般在 10～100 pF，不包括测试电缆的分布电容。

由于输入阻抗对交流信号而言，是频率的函数，因此通常推荐用 1 kHz 交流信号分别测量其输入电阻和输入电容。

当失真度测量仪的电压表电路和抑制基波网络有公共的输入端时，可以一次测量，否则分两次测量。

测试方法：

(1) 输入电阻测试设备连接图如图 22-9。

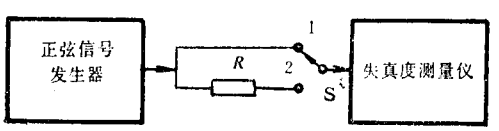


图 22-9

(2) 测试步骤

① 将失真度测量仪置于电压测量位置；

② 将开关 S 置于 1 的位置；

③使正弦信号发生器输出 1 kHz 信号，其幅值使电压表在相应量程达满刻度指示值为 E_1；

④ 将开关 S 置于 2 位置，读记电压表指示值为 E_2；

⑤ 输入电阻按式(22-11)计算；

$$R_1 = \frac{E_2}{E_1 - E_2}R \qquad (22\text{-}11)$$

式中 R_1——电压表输入电阻值（kΩ）；

R——标准电阻器电阻值（kΩ），其值不应大于 R_1 值。

(3) 输入电容测试设备连接图如图22-10。

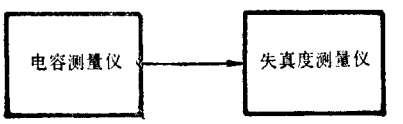


图 22-10

(4) 测试步骤

① 将失真度测量仪置于电压测量工作位置，不用接通电源；

② 用电容测量仪测量电压表输入电容；并读记其指示值。

5. 波形误差

error in non-sine wave measurement

失真度测量仪的电压表电压显示刻度盘均按有效值电压刻度，但由于电压表的检波电路不一定采用平方律检波特性，因此对具有相同有效值电压的正弦波信号和非正弦波信号呈现不同的指示值，这种偏离称波形误差。

依国际电工委员会制定的标准测试方法，对于没有明确规定波高率指标的电压表，通常采用双音频信号测试，也可采用波高率已知的白噪声信号测试；对于有明确规定波高率指标的电压表，可采用波高率可变的脉冲信号测试。

测试方法：

(1) 双音频法测试设备连接图如图22-11。

(2) 测试步骤

① 分别控制 S 开关在 1，2 位置，使两组信号源输出的信号幅值相等，其频率在 $f_1 \neq nf$，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

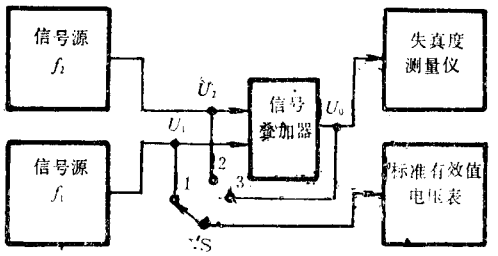


图　22-11

（n 为正整数）的情况下进行测量；

② 将开关 S 置于 3 位置，读记标准有效值电压表的指示值为 U_0，被检电压表的指示值为 U_0'；

③ 电压表的波形误差 δ 按（22-12）式计算；

$$\delta(\%)=\frac{U_0'-U_0}{U_0}\times 100\% \quad (22\text{-}12)$$

（3）脉冲信号法测试设备连接图如图 22-12。

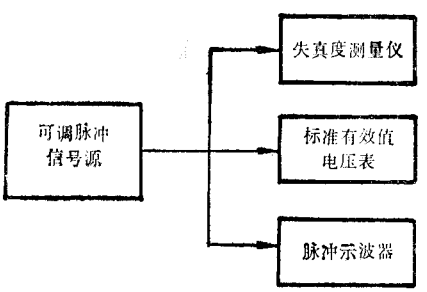


图　22-12

（4）测试步骤

① 调整可调脉冲信号源输出 100 Hz 脉冲信号，并按被测电压表的技术性能规定的波高率要求调整其脉冲宽度，用脉冲示波器监测；

② 控制可调脉冲源使其输出幅度使标准有效值电压表指示为 0.9 V，并读记为 U_0；

③ 读记被测电压表指示值为 U_0'；

④ 其波形误差 δ 仍按式(12)计算。

6. 波形监视

waveform monitor

通常的音频电压表均在其末级放大器的输出端配置接示波器端，一般设计在前面板上，以便外接示波器配合考查被测信号波形的变化，协助设计人员对被测设备进行定性分析。

当电压表动态增益较高时，还可做为宽频带放大器使用，因此考核其波形监视端口的带宽和增益是有必要的，可以按被检仪器的技术性能规定检测。

测试方法：

（1）测量设备连接图如图 22-13。

图　22-13

（2）测试步骤

① 控制交流电压校准源输出 1kHz信号，其幅值约为 0.9～1V，使被检电压表指示大约在满刻度位置；

② 将标准交流电压表连接于被测仪器的接示波器端，并读记其指示值为 U_1；

③ 保持交流电压校准源输出幅值不变，按被检电压表技术条件规定改变频率，读记标准电压表的指示值为 U_2。变更的频率点不应少于五点，其中包括两个极限频率点。

④ 接示波器端（波形监视端）的幅频特性依下述说明中公式计算。

说明：电压表放大器被用作宽带放大器时，其不同频率时的增益测量，应读记电压表实际输入信号幅值与其输出信号幅值，按下式进行增益计算：

$$A(\mathrm{dB})=20\lg\frac{U_n'}{U_n}$$

式中　A——放大器不同频率时的增益；

U_n——放大器实际输入的不同频率信号的幅值；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

U'_n——放大器接示波器端（输出端）不同频率信号的输出幅值。

（二）失真度测量

7. 固有噪音

residual noise

它包括电桥电路放大器和电压表电路两部分热噪音的综合。由于电桥电路在规定的频段内，对不同频率信号的抑制量不尽相同，平衡电路不能做到绝对平衡，因而在不同基波抑制位置，固有噪音量值不同，尤其在 50Hz 和 100 Hz 附近位置，噪音量值有可能较大。

测试方法：

（1）测试设备连接图：同图 22-6。

（2）测试步骤

① 接通失真度测量仪电源，使其工作于失真度测量工作位置，其输入端接规定电阻，经规定的预热时间后测试；

② 具有失真度校准功能的被检仪器，应将校准电位器置于最大位置；

③ 将失真度测量仪的电压表电压量程置于指示最灵敏位置，然后在全部失真度测量的频段内，搜寻最大的噪音指示值，并读记最大的稳定指示值。

8. 频率范围和频率误差

frequency range and error

被检仪器按其技术性能规定能够对音频信号进行失真度测量的频率覆盖范围。依频率显示值与输入信号频率之差决定频率误差值。

测试方法：

（1）测试设备连接图，同图 22-8。

（2）测试步骤

① 按照被检失真度测量仪的频率覆盖范围预先对音频信号发生器的有关频率点输出信号进行失真度计量；

② 控制信号发生器输出 1 V 信号，其频率分别为被检仪器每个频段的上限值、中间值、下限值。然后被检仪器按失真度测量方法分别对上述信号进行失真度测量，达到该信号的计量值或符合被检仪器误差范围值。读记频率计的指示值为 f_1，失真度测量仪的频率显示值为 f_2；

③ 失真度测量仪的频率误差 δ_f 按（22-13）式计算：

$$\delta_f = \frac{f_2 - f_1}{f_1} \times 100\% \qquad (22\text{-}13)$$

9. 输入电压范围

input valtage range

考核被检仪器能够进行失真度测量的输入信号幅值范围。

技术水平：10 mV ～ 300 V（有效值）。

测试方法：

（1）测试设备连接图，同图 22-8。

（2）测试步骤

① 按照被检失真度测量仪规定的可测输入电压范围，对信号发生器不同频率的输出信号的不同幅值进行失真度计量；

② 控制信号发生器分别输出被检仪器规定的输入电压的上限值和下限值，依标准电压表指示为准，按失真度测量方法，分别对上述信号进行失真度测量，达到规定的计量值，或符合被检仪器的误差范围值；

③ 标准电压表指示的电压值就是被检输入电压范围；

④ 测试输入电压范围时，其频率覆盖点，每个频段不应少于三点，其中必须包括每个频段的上、下限值和中间频率点。

10. 失真度测量范围及其误差

distortion range and reduced error

利用标准失真源考核被测失真度测量仪对不同失真度的信号能够测量的范围，同时考核

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

其指示值的误差程度。

技术水平：测量范围　30%～0.003%；

误差　±3%(满刻度)。

测试方法：

(1) 测试设备连接图如图 22-14。

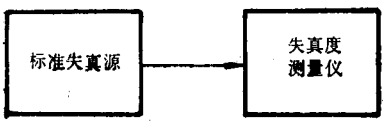


图　22-14

(2) 测试步骤

① 控制标准失真源分别输出 1 V，不同频率的失真信号，并控制其不同失真值对应于被检仪器的各个量程；

② 被检失真度测量仪按失真度测量方法分别对上述标准失真信号进行精细测量。然后读记标准失真度值为 D_A，被检仪器指示值为 D_B；

③ 失真度测量仪按其技术性能规定能够测量的标准失真度的上、下限值，即为被检仪器的失真度测量范围；

④ 失真度引用误差按式(22-14)计算：

$$\delta_D = \frac{D_B - D_A}{D_m} \times 100\% \qquad (22\text{-}14)$$

式中　δ_D——失真度引用相对误差；

D_A——标准失真度；

D_B——被检仪器指示值；

D_m——被检仪器量程满刻度值。

⑤ 当标准失真源输出的标准失真信号大于 10% 时，应按公式(22-4)将 D_A 换算为 D'_A，再按式(22-14)计算误差。

举例：当 $D_A = 100\%$，$D'_A = 70.71\%$

$D_A = 30\%$，$D'_A = 28.74\%$

$D_A = 10\%$，$D'_A = 9.95\%$

⑥ 被检仪器每个频段的失真度测量范围考核不应少于两点，其中应包括每个频段的高、低端极限频率点，以及必要的中间频率点。

11. 基波抑制特性

fundamental rejection

由于目前国内外的谐波失真度测量仪均采用基波抑制原理设计，因此考核其对基波分量的滤除程度是考核其失真度误差的主要指标之一。由第 3 节公式 (22-2) 可以看出，一般的通用失真度测量仪其基波抑制深度必须保证 70～80 dB，而低失真度测量仪则应达到 100 dB 以上。

技术水平：110 dB。

测试方法：

(1) 测试设备连接图如图 22-15。

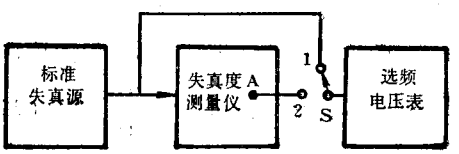


图　22-15

(2) 当 A 点接于电桥电路输出端时，其测试步骤如下：

① 控制标准失真源采用基波输出方式(或代用低失真信号发生器)，输出 1kHz、1V 信号；

② 将开关 S 置于 1 位置，用选频电压表测出该信号幅值，并读记为 U_1；

③ 将开关 S 置于 2 位置，选频电压表调谐状态不变，被检仪器按失真度测量仪方法对输入信号进行失真度测量并达到最佳调谐状态，读记选频电压表指示值为 U_2；

④ 基波抑制特性按式(22-15)计算

$$F_r = 20\lg\frac{U_1}{U_2} \qquad (22\text{-}15)$$

式中　F_r——基波抑制量 (dB)；

U_1——标准失真源输出信号中的基波分量值；

U_2——经基波抑制电路后的残余基波分量值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

⑤ 按照上述方法分别测出被检仪器在不同频率信号时的 U_1,U_2 值。每个频段至少考核两个频率点,其中包括频段的高、低端极限频率点以及必要的中间频率点。

(3) 当A点接于被检仪器的接示波器端时,其测试步骤如下:

① 同(2)-①项;

② 同(2)-②项,但不必读记 U_1 值;

③ 将开关S置于2位置,用选频电压表测量被检仪器处于校准状态时的基波电压值 U_3。不改变选频电压表的调谐状态,将被测仪器转为失真度测量状态,并调谐到对被测信号的最佳平衡状态,改变被检仪器的电压表量程,使选频电压表指示达到最明显位置读记其指示值 U_4;

④ 基波抑制特性按式(22-16)计算;

$$F_r = A_{TT} + 20\lg\frac{U_3}{U_4} \qquad (22\text{-}16)$$

式中 U_3 为选频电压表测量的基准基波电压值;

U_4 为选频电压表测量的残余基波电压值;

ATT 为被检仪器电压表量程的衰减值(取 dB 读数)。

⑤ 同步骤(2)的⑤项。

12. 残余失真特性

residual distortion

定义同第3节术语中第(12)项说明。由于测试条件的限制,只能对三项影响量进行综合测量。

技术水平: 120dB(0.001%)。

测试方法:

(1) 测试设备连接图,同图22-14。

(2) 测试步骤

① 控制标准失真源以基波方式输出,或用低失真信号源,其失真度至少应低于 10^{-4} 以下,输出 1 kHz、1 V 信号;

② 被检仪器按失真度测量方法对上述信号进行精密测试,读记电压表稳定的指示值,即为残余失真值;

③ 按上述方法对被检仪器每个频段的高、低极限频率点均应考核。

13. 谐波响应

harmonic response

根据谐波失真度测量仪的工作原理,依第3节式(22-2)可以看出,当失真度测量仪对被测信号中的基波分量深度抑制以后,要求对被测信号中的各次谐波分量增益相同,优良的谐波响应是考核其失真度误差的另一主要指标。优质的谐波响应特性应在 ±1 dB 以内。

技术水平: ±0.5 dB。

测试方法:

(1) 测试设备连接图,同图22-8。

(2) 测试步骤

① 控制正弦信号发生器输出 1kHz、1V 信号,被检仪器按失真度测量方法对输入信号进行失真度测量,达到规定的计量值范围;

② 保持被检仪器调谐状态不变,将其失真度量程返回 100% 位置。将被检仪器重新置于校准工作位置,读记其电压表指示值为 U_1;

③ 再将被检仪器置于失真度测量位置,改变正弦信号发生器输出信号的频率为原信号的二倍频,保持输出幅值不变,读记电压表的指示值为 U_n;

④ 按照上述方法测量高于二次以上的谐波响应特性,依被检仪器的具体规定测试;

⑤ 按照上述方法对被检仪器每个频段的高、低端频率点进行考核;

⑥ 谐波响应特性按式(22-17)计算:

$$\delta_{un} = 20\lg\frac{U_1}{U_n} \qquad (22\text{-}17)$$

式中 δ_{un}——被检仪器对 n 次谐波的衰减量,n 为正整数;

U_n——n 次谐波的响应电压值;

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

U_t——校准状态下的输入总电压的基准值。

14. 输入阻抗

input impedance

同指标 4 电压测量"输入阻抗"的叙述和测试方法。

15. 高通滤波器

high-pass filter

在对音频信号进行失真性质的分析中，为排除电源频率信号（哼声）和其他信号的影响，在失真度测量仪中插入高通滤波器电路。按通常设计，它对 400 Hz 信号衰减为 3 dB，低于 400 Hz 信号按 18 dB/倍频程要求衰减，或按 60 dB/10 倍频程要求衰减。参考图 22-16。

由于加入上述滤波器，在进行失真度测量时，其测试信号的基波频率应大于 500 Hz。

测试方法：

(1) 测试设备连接图，同图 22-8。

(2) 测试步骤

① 置失真度测量仪于电压表测量位置；

② 控制正弦信号发生器输出 1 kHz、0 dB 信号；

③ 按下 400 Hz 高通滤波器按钮，被检仪器应指示在 0 dB 处，并读记该值；

④ 保持正弦信号发生器输出信号幅值不变，改变其频率分别为 400、200、100、50 Hz，读记被检仪器指示应为 −3、−18、−36、−54 dB。其误差范围依技术性能要求考核。

16. 低通滤波器

low-pass filter

在对音频信号进行失真性质分析中，为排除某些高频信号的影响，在失真度测量仪中插入低通滤波器电路，按通常设计有 30kHz、80 kHz 两组低通滤波器，分别对上述信号衰减为 3 dB，高于上述频率的信号按18dB/倍频程或 60 dB/10 倍频程衰减。参考图如图 22-16。

由于加入上述滤波器，在进行失真度测量时，其测试信号的基波效率应分别大于 10 kHz 和 20 kHz。

测试方法：

(1) 测试设备连接图同图 22-8。

(2) 测试步骤

参考指标 15"高通滤波器"的测试步骤。两组低通滤波器均以 10 kHz 信号为 0dB 参考点，然后分别按其倍频程信号进行衰减测量。

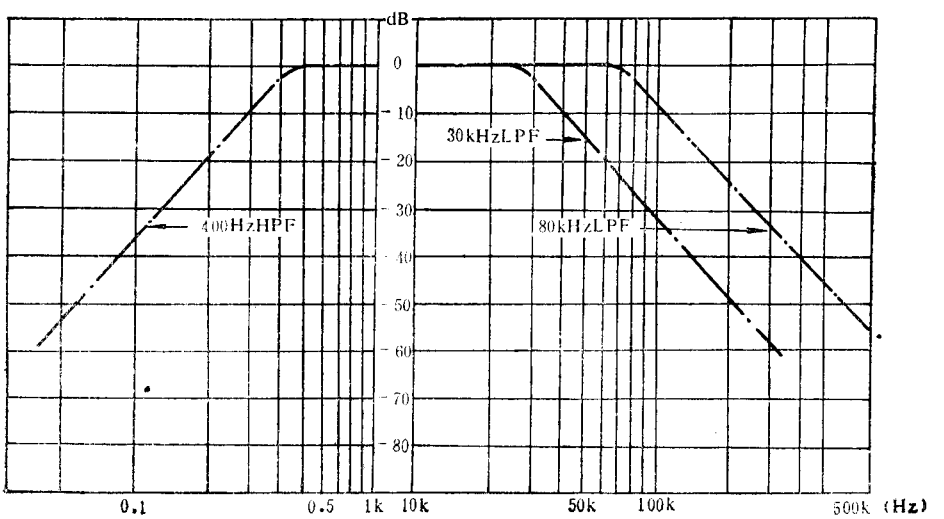


图　22-16

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

如：30、60、120、240 kHz；
80、160、320、640kHz。

17. 选频特性

harmonic analysis

80年代后，由于在谐波失真测量技术中，应用了微处理技术，而使这类仪器不但能进行谐波失真度测量，而且能对被测信号进行谐波分析。这类仪器兼做低频选频电压表，一般能测量被测信号的基波分量和其 2～5 倍的倍频分量。

测试方法：

(1) 测试设备连接图如图 22-17。

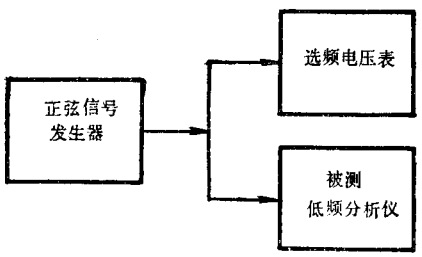


图 22-17

(2) 测试步骤

① 按被检仪器(低频分析仪)的操作方法，将其置于失真分析准备位置；

②使正弦信号发生器输出 1kHz、1V 信号；

③ 用标准选频电压表测量 1 kHz 信号的幅值并读记为 U_1。再用被检仪器测量该信号的幅值并读记为 U_2；

④ 按照式(22-18)，计算其误差

$$\delta_{dB} = 20\lg\frac{U_2}{U_1} \qquad (22\text{-}18)$$

式中 δ_{dB}——低频分析仪指示的误差量；
U_1——标准选频电压表指示值；
U_2——低频分析仪指示值。

⑤参考上述方法，按被测仪器的技术性能规定，考核其最高和最低选频电压的测量误差。

⑥ 按照上述方法，分别考核被测仪器在全部规定的频率范围内，最高可测电压和最低可测电压的误差。

18. 自动幅度校准特性

automatic level calibration

自动幅度校准电路一般应用于自动或自动点频失真度测量仪中，以避免在生产中由于采用手动幅度校准所造成的测量失误。

依照设计决定，在进行失真度测量时，在规定的输入被测信号的幅度范围内，在任一电压表量程档内，只要输入信号幅度在量程的 1/3 到满量程值内，就能在校准工作状态时使电压表指示满刻度，其误差值将造成被测信号失真值的误差。

测试方法：

(1) 测试设备连接图，同图 22-8。

(2) 测试步骤

① 将被检仪器置于自动校准位置，输入衰减器置于设计规定的最低量程位置。例如被检仪器规定失真度最低可测电压为 100 mV，则置于 100 mV 档；

② 将正弦信号发生器输出 1 kHz、100 mV 信号，以标准电压表指示为准，读记被检仪器指示的 U_1 值；

③ 改变被检仪器电压表量程为 316 mV 档，读记电压表指示值为 U_2；

④ 其自动幅度稳定误差依式 (22-19) 计算

$$\delta_{An} = 20\lg\frac{U_2}{U_1} \qquad (22\text{-}19)$$

式中 δ_{An}——稳幅误差；
U_1——量程最大值时的稳幅值；
U_2——1/3 量程时的稳幅值。

19. 视在功率

active power

被检仪器在正常工作条件下消耗供电电源的功率。为检测方便，一般因交流电压表和交流电流表直接量测其输入电压和输入电流，取其积确定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：

(1) 测试设备连接图如图 22-18。

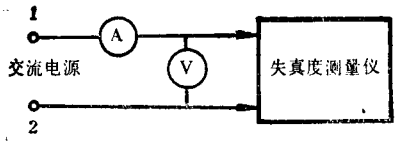


图　22-18

(2) 测试步骤

① 按图 22-18 接好交流电流表 A 和交流电压表 V，然后将 1、2 端接入供电电源。在测试中注意安全；

② 将被检仪器置于全部工作电路正常工作状态，并按规定时间预热；

③ 读记交流电流表和交流电压表指示值；

④ 按(22-20)式计算视在功率；

$$P = UI \qquad (22\text{-}20)$$

20. 电源电压变化(从略)

21. 电源频率变化(从略)

*　*　*　　*　*　*

本章技术指标和测试方法中所用的主要测试仪器汇总列表如下。

表 22-7　主要测试仪器汇总表

序号	仪器名称	参考型号	参考检定规程编号
1	低频信号发生器(正弦信号)	ZN1040 低频功率信号发生器	JJG230-80 (XFD-7A)
		XD1 低频信号发生器	
		XD22 低频信号发生器	
2	低失真信号发生器(正弦信号)	XD10A 精密信号发生器	JJG230-80 (XFD-7A)
3	交流电压校准源	DO-5 精密交流校准电压源	JJG410-86 (DO-5)
		5200A 交流电压校准源(美)	
4	标准失真源	BO-5 型失真检定装置	
		BO-13 型失真检定装置	
		BO-13B 型失真检定装置(日) AC-12B 型失真校准源	
5	标准交流电压表(有效值电压表)	DF-10 型电子电压表	JJG256-81(DYB-2 型)
		DA-24 型电子电压表	JJG250-81 (电子电压表)
		931B 型真有效值电压表(美)	JJG446-86 (931B 型)
		3400A 型电子电压表	
6	选频电压表	2010 型外差分析仪(丹麦)	
		FNA 型频谱分析仪(西德)	
7	频率计	E312 型电子计数式频率计	JJG 349-84 (通用计数器)
8	标准衰减器	SH3 型步进衰减器	JJG507-87 (电阻式衰减器)
		8496 型步进衰减器(美)	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	仪 器 名 称	参 考 型 号	参考检定规程编号
9	脉冲示波器	SR72 通用示波器	JJG262-81
		SS5710 通用示波器(日本)	
10	脉冲信号发生器	NF1512 型脉冲信号发生器	JJG263-81 (MFS-2A)
		8005B 脉冲信号发生器(美)	
		QF1021 型函数发生器	
11	电容测量仪	CCT-1C 电容测量仪	JJG197-79 (LCCG-1 型)
		4278A 电容测量仪(美)	

第6节 失真度测量仪量值传递系统

1. 电压量值传递系统

低频电压检定系统表(草案)

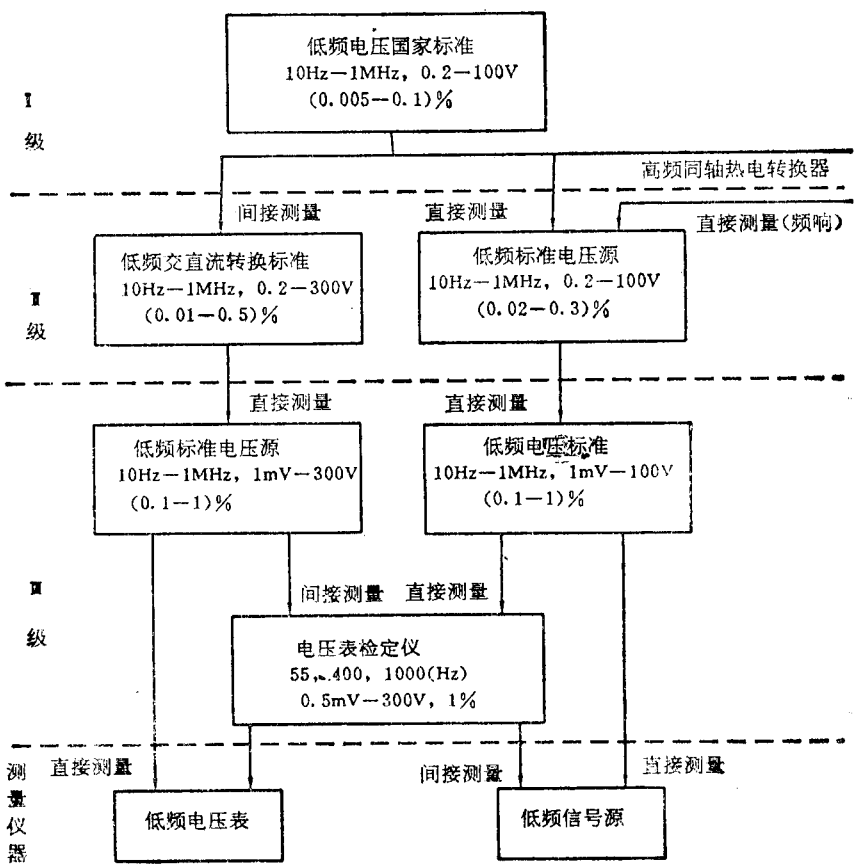


图 22-19

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在谐波失真度测量仪中，低频电压表是它的主要部分。我国低频电压表的检定系统目前还未正式公布，经多年工作实践和各方面的讨论，草案已形成，正待批准后公布。

这个草案系统由三级标准的形式传递量值。低频电压国家标准作为 I 级标准，通过直接测量和间接测量两种方式向 II 级工作标准传递量值。

II 级工作标准分标准源和标准表两种形式，它以直接测量的方式把量值传递到 III 级工作标准(表和源)。

III 级工作标准按准确度等级不同可分为标准源和标准表以及电压表检定仪两段，分别用来检定日常工作中使用的不同准确度等级的工作仪器。

失真度测量仪中的电压表部分依准确度等级可以按 III 类或 II 类工作标准传递。

我国低频电压表检定系统表(草案)如图 22-19 所示。

2. 失真度量值传递系统

在谐波失真度测量仪中，另一个重要组成部分就是基波抑制网络。由于低频电压表部分可以独立于基波抑制网络，因此对失真度测量仪的技术性能检定可以采用分项检定法，其主要内容在第 5 节中已详细介绍。

由于标准失真源的出现，对失真度测量仪的失真度误差可以采用总体检定法。

总体检定法较分项检定法操作简便，可直接判定被检特性的工作误差，但分项检定法对新设计的和初次投产的失真度测量仪的质量分析、故障判断还是有重要作用的。

我国自 50 年代开展电子测量仪器设计生产以来，失真度测量仪品种不断更新，至 80 年代其总数约达五万台之多。为统一失真度测量仪的量值，在 60 到 70 年代，中国计量科学研究院和原第四机械工业部曾两次组织全国有关失真度测量仪设计、生产、计量检定的专家们讨论失真度计量标准和测量方法问题。

会议中对总体检定法曾提出以下几种标准失真源设计方案:

(1) 基波加二次谐波法

(2) 基波加二、六次谐波法

(3) 基波加多种可移相谐波法

(4) 基波加方波法

(5) 基波加宽带白噪音法

经过认真的讨论，最后基本上统一于第一种方案。它的特点是设计原理简单，量值传递简化，考核了失真度测量仪基波抑制网络的两项主要特性——基波抑制特性和高次谐波(二次)衰减特性。对于电压表部分的波形误差考核，则按低频电压表的技术要求单独进行。

其它方案的设计原理复杂，调整工艺复杂。其基本设计思想是在考核基波抑制网络的两项特性外，由于其总谐波分量为特殊的非正弦信号，也同时考核了低频电压表部分的波形误差特性。但是这几种特殊的总谐波信号波形并非是失真度测量仪在通常实际测试中遇到的波形，因它的计量数据代表被检失真度测量仪失真度参量的工作误差反而会给工作带来不便；另一方面，用这种特殊波形进行电压表波形误差检定在“模拟电子电压表通用技术条件”中并未做规定，会议对这几种方法持保留意见。

此后，成都无线电一厂和浙江电子仪器厂先后设计和生产 BO5 和 BO13 型失真检定装置，

www.789pdf.com 789书库网

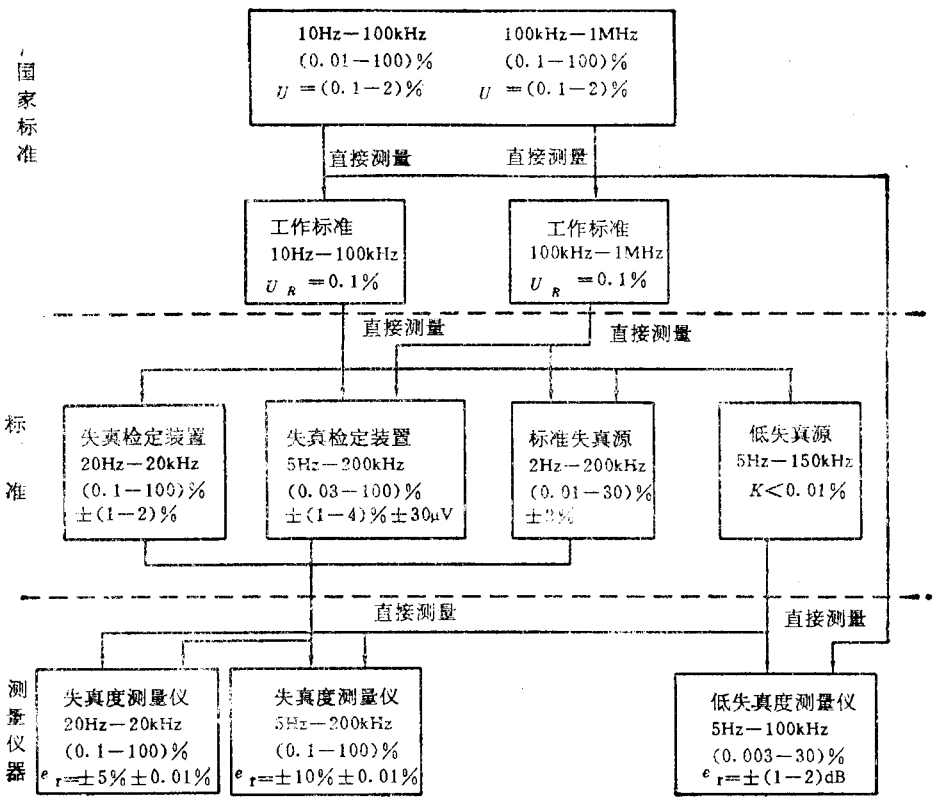
www.789pdf.com 789书库网

它们都是基于第一种方案，两种仪器时失真度量值的统一起到应有的作用。

在上述实践的基础上，80年代中国计量科学研究院曾推出一套非线性失真系数检定系统草案，并提供全国有关单位和专家讨论。这项方案待批准后，方能施行。

非线性失真系数检定系统草案如图22-20。

非线性失真系数检定系统(草案)



U——不确定度
U_R——随机不确定度
K——剩余失真
e_r——引用误差

图 22-20

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第23章 调制度测量仪

第1节 综 述

声音、图像、文字、符号等信息转换成的电信号——音频、视频信号，频率比较低，不能进行远距离传输。必须借助调制技术将这些低频信号搬运到易于辐射的高频电磁波上，才能进行发射与接收。通信、广播、电视、雷达、导航……等无线电工程，都是利用调制技术传输信息的。

调制种类、调制度准确性、传输信号失真度、信号噪声比、寄生调制分量……等参数直接关系着信息传输的能力与质量。专门用于测量、分析与评定这些调制参数的仪器称为调制度测量仪(简称调制度仪)。

调制度测量仪于30年代初问世。经过半个多世纪的发展，在测量功能、测量范围、测量准确度、所用器件及自动化程度诸方面，均发生了很大变化。

早期的调制度测量仪是单纯的调幅度测量仪，这是因为调幅技术是最先采用的调制技术。随着调频技术的应用，相应地出现了频偏测量仪。调幅度测量仪与频偏测量仪结合形成调制度测量仪。当调相技术进入实用阶段，调制度测量仪也随之增加了测量调相的功能。为了全面分析信号特征，现代调制度仪又综合了频率、功率、调谐电平、衰减、失真、信纳……等测量功能，形成综合测试设备。例如 HP8901A 调制度分析仪、HP8902A 测试接收机等。

由于采用谐波混频技术、锁相技术、频率合成技术，使调制度仪获得了从低频到准微波波段的宽频带调谐范围。例如 MS616 A 调制度分析仪所能测量的载波频率范围为 150 kHz 至 3000 MHz。微波变频技术则使调制度测量的载频范围向着微波波段发展。例如 HP 8902 S 微波测量系统可以测量 150 kHz 至 26.5 GHz 信号的调幅度、频偏和相偏。

为了分析高纯度、高稳定的射频信号，要求实现调制度低噪声测量。HP8901A 采用锁相的高频压控振荡器（VCO）作本振，实现了在载波频率不大于 500 MHz 时，FM 噪声的典型值小于 1 Hz rms。MS616 A 采用频率合成本振达到了载波频率不大于 3000 MHz 时，FM 噪声小于 10 Hz rms。这就为测量几百赫兹、几十赫兹的小频偏奠定了基础。同样，调制度仪万分之几的 AM 噪声（rms）提供了测量小调幅度的可能性。

调制度测量的准确度是调制度测量仪最重要的技术指标。围绕提高测量准确度，人们进行了大量的工作，尤其注意改进解调器。对调幅波的解调广泛采用了各种基带反馈线性检波器。调频波的解调大量采用线性良好的脉冲计数式鉴频器和性能更为优良的电荷计数式鉴频器。目前，普通调制度测量能够达到 3% 的准确度，可以满足广大用户的需要。高精度的调制度分析仪可以达到 1%的准确度，能够满足研究部门、计量部门、导航系统及某些特殊需要。

通信、广播系统传输声音的失真度是重要的质量指标。因而发射设备的调制失真，接收设备的解调失真都必须严格控制。为此，对调制度测量仪本身的解调失真，提出了更为严格的要求。通常调制度仪的解调失真应优于发射设备的调制失真 10dB 以上。调制度仪通过改进解调器及有关电路的线性，目前已达到的水平是：AM 解调失真优于 0.3%，FM 解调失真优于 0.1%。这种解调质量一般能够满足通信、广播设备测试的需要，但尚不足以检定某些优质调制信号源。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 23-1 国内外调制度测量仪主要性能对比

仪器型号		BD-5	QF4131	QF4132	FAM	HP8901A	TF2305	8210	MS 616A
生产厂家 国别		766厂 中国	766厂 中国	766厂 中国	R&S 公司 德国	HP 公司 美国	Marconi 公司 英国	Boonton 公司 美国	安立公司 日本
操作方式		手动	自动调谐 自动调电平	自动调谐 自动调电平	全自动 可程控	全自动 可程控	全自动 可程控	全自动 可程控	全自动 可程控
显示器		表头	表头	表头	数字	数字	数字	数字	数字
RF输入	载频范围（MHz）	4～1000	9～1000	0.1～30	0.055～1360	0.15～1300	0.5～2000	0.1～2000	0.15～3000
	灵敏度（mV）	50	50	30	10	12	13	10	7
FM测量	调制频率（kHz）	0.03～200	0.05～9	0.05～10	0.03～100	0.02～200	0.02～275	0.02～220	0.02～200
	最大频偏量程（kHz）	500	150	150	500	400	500	500	400
	测量误差(%)	3	3	3	1.5	1	1	1	1
	解调失真(%)	0.3	0.2	1	0.1	0.1	0.15	0.1	0.1
	残余 FM(Hz)	28～158pk	40pk		1～50rms	1～8rms	1.4～30rms	1～15rms	2.5～10rms
PM测量	调制频率（kHz）				0.3～20	0.2～20	0.3～4	0.1～100	0.2～20
	最大相偏量程（rad）				500	400	500	500	400
	测量误差(%)				3.5	3	2	3	3
	解调失真(%)				0.1	0.1	0.15	0.1	0.1
AM测量	调制频率（kHz）	0.03～50	0.05～9	0.05～10	0.03～100	0.02～100	0.03～50	0.03～100	0.02～100
	调幅量程(%)	30、100	10、30、100	30、100	～100	～100	～100	～100	～100
	测量误差(%)	3	3	3	2	1	1	1	1
	解调失真(%)	1.5	1	1	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
	残余 AM(%)rms			0.3	0.05	0.01	0.02	0.02	0.02
频率测量	显示位数				8	8	8	8	9
	参考标准老化率				1×10^{-6}/月	1×10^{-6}/月	1×10^{-6}/年	1×10^{-6}/年	2×10^{-8}/日
功率电平测量	电平范围（dB_m）					01:1mW～1W 02,－127～＋30	＋10～＋30	－47～＋19	－20～＋20
	准确度					01:±1.5dB 02:±0.5dB	±1dB	±1dB	±7%
音频分析					电压 频率 失真 信纳	02: 电压 频率 失真	（选件） 失真 信纳	频率 失真 信纳	
接口母线					IEC-625	HP-IB	GP-IB	IEEE-488	GP-IB

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

为了测量信号源和发射机的伴随调制及复合调制，调制度仪发展了抑制无关调制的能力，即对同时存在两种调制的信号，只测量其中一种调制而不受另一种调制的影响。例如，调幅抑制能力使调制度仪能对一个存在着深调幅的信号进行频偏测量，而调频抑制能力可使其对存在着较大频偏的信号进行调幅度测量。

调制度测量程序中，调谐频率寻找信号和调节测量电平是费时而精细的操作。为了解决人工调节的困难，人们运用取样原理、搜索和锁相技术，实现自动调谐。利用载波电平自动控制环路，调节中放输出电平，使输到解调器的载波电平自动地稳定到预选的参考电平，以便解调器工作于最佳电平状态。这类半自动调制度测量仪常见的有：TF 2304、QF 4131、QF 4132、Racal 9009、Wavetek 4101、Farnell AMM。

全自动调制度测量仪是用微处理机控制的智能调制度测量仪。微处理机的应用不仅提高了自动化程度，而且使整个仪器面貌焕然一新。仪器可以功能自检，量值自校，具有自诊断能力，可以分析和显示故障原因，能够存储和调用工作状态。手动工作时的键盘输入指令和遥控工作时母线输入的指令均由微机解释和指挥执行。仪器还能自动修正测量误差，并对测量结果进行简单运算，如取比例、设置和比较极限等，从而实现了高速度、高精度、多功能的自动测量。HP8901 A 调制度分析仪就是典型代表。

像所有电子仪器一样，调制度测量仪也经历了电子管——晶体管——集成电路的发展过程。对测量结果的显示，很长时间内都是采用表头模拟显示。80 年代普遍采用了直读式的高分辨率数字显示。随着计算技术的广泛应用，预计 90 年代显示器的发展方向是荧光屏——CRT 显示。由于 CRT 提供的信息量大，可同时提供数字显示和模拟显示，同时显示多个参量，同时显示测量结果和相应的测试条件。由微处理机控制的 CRT 显示器作为人机对话的窗口，使仪器的操作极其简单。本地工作时，由 CRT 提供仪器的测量功能、测量条件、测量范围等各种清单，供操作者选择。操作者只需按动输入键把选择的项目和数据告诉仪器。仪器的要求、工作状态、测量结果亦通过 CRT 显示。仪器面板变得非常简单，除少量按键外，主要是 CRT 显示器。

综上所述，调制度测量仪随着科学技术的飞速发展而不断发展。为了使读者对目前国内外调制度测量仪的性能有个比较全面的了解，现将国内外调制度测量仪典型产品的主要技术指标，列表对比如表 23-1。

第2节　分　　类

调制度测量仪可按如下原则分类：

(1) 按所用器件分类。有电子管调制度测量仪，如 TF-2；晶体管调制度测量仪，如 BE-4；集成电路调制度测量仪，如 TF2305。

(2) 按测量准确度分类。测量准确度为 ±3%～±5% 者称普通精度的调制度测量仪，如 TF2300B；测量准确度为 ±1% 者称精密调制度测量仪或标准调制度测量仪，如 HP8901A。

(3) 按测量功能分类。只测量调幅度的称调幅度测量仪，如 TF-1；只测量频偏的称频偏测量仪，如 AF-5507B；具有调频、调幅测量功能的称调制度测量仪，如 AFM-3；具有调频、调幅、调相及频率、电平……多种测量功能的称调制度分析仪，如 Boonton8200。

(4) 按自动化程度分类。普通(手动)调制度测量仪，如 QF4130；半自动调制度测量仪，如

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 23-2 调制度测量仪技术指标汇总表

指标类别	技术指标项目	普通调制度仪	半自动调制度仪	调制度分析仪
射频输入	频率:			
	范围	●	●	●
	波段及覆盖	○		
	读数误差	○		●
	调谐方式		○	○
	捕捉时间		○	○
	锁定指示		○	
	电平:			
	灵敏度	●	●	●
	最高工作电平	●	●	●
	最高安全电平	○	○	○
	输入衰减	○		
	电平设置方式		○	
	输入阻抗	●	●	●
	外本振输入	○	○	○
AM 测量	调制频率范围	●	●	●
	调幅度量程	●	●	●
	调幅度显示及分辨率		○	○
	调幅度测量误差	●	●	●
	解调失真	●	●	●
	残余调幅	○	○	●
	调频抑制	○	○	●
FM 测量	调制频率范围	●	●	●
	频偏量程	●	●	●
	频偏显示及分辨率		○	○
	频偏测量误差	●	●	●
	解调失真	●	●	●
	残余调频	●	●	●
	调幅抑制	●	●	●
	调频立体声分离度			●
PM 测量	调制频率范围			●
	相偏量程			●
	相偏显示及分辨率			○
	相偏测量误差			●
	解调失真			●
	残余调相			○
	调幅抑制			○
中频及辅助输出	频率	○	○	○
	幅度	○	○	○
	阻抗	○	○	○
校准器	FM 校准源	○	○	●
	AM 校准源			●
	功率校准源			○

指标类别	技术指标项目	普通调制度仪	半自动调制度仪	调制度分析仪
低频检波	正峰值 (P_+)	●	●	●
	负峰值 (P_-)	●	●	●
	峰值平均 $(P_+ + P_-)/2$		○	○
	平均值 (AVG) 或有效值 (rms)			●
	峰值保持			○
低频滤波器	低通选择	●	●	●
	高通选择	●	●	●
	去加重选择	●	●	●
	噪声滤波 (CCITT/CCIR)		○	○
低频输出	输出频率范围	●	●	●
	输出幅度	●	●	●
	输出阻抗	○	○	●
比较测量	相对比较%			○
	相对比较 dB			○
	设极限比较			○
音频分析	频率			○
	电平 (AC/DC)			○
	失真			○
	信纳			○
	信噪比			○
频率测量	频率范围			●
	灵敏度			●
	显示位数及分辨率			●
	测量准确度			●
	参考频率源:			
	标称频率			○
	老化率			○
	开机特性			○
	温度特性			○
	短期稳定度			○
功率及电平测量	功率及电平测量范围			●
	测量准确度			●
	频率范围			●
	功率探头/检波器			●
	输入阻抗			●
	驻波系数			●
	显示及分辨率			○
	功率参考准确度			○

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续　表

指标类别	技术指标项目	普通调制度仪	半自动调制度仪	调制度分析仪	指标类别	技术指标项目	普通调制度仪	半自动调制度仪	调制度分析仪
自动性能	自动调谐		●	●	自动性能	量值自校			●
	自动调电平		●	●		故障显示			●
	遥控功能			●		特殊功能			○
	接口母线			●		设置与调用工作状态			○
	功能自检			●					

QF4131；智能调制度测量仪，如 MS616A。

不同的分类原则适用于不同的使用场所，其中按功能分类的方法使用较多。

调制度测量仪的分类情况不同于其它仪器的分类。它不存在彼此独立发展的类型，不同的类型仅反映不同发展阶段的状况。

第 3 节　调制度测量仪技术指标汇总表

目前尚无通用的调制度测量仪技术标准，表 23-2 仅系几种典型仪器技术指标项目的汇编。表中未包括整机物理参数、供电要求、环境条件、电磁兼容等通用技术指标。

鉴于普通的手动调制度测量仪和智能化的调制度分析仪最具代表性，故采用按自动化程度分类的方法给出技术指标项目。按功能分类的调幅度测量仪和频偏测量仪的技术指标可参考普通调制度测量仪的相关部分。

关于各类仪器技术指标的完备性，即必须规定的、选择性规定的和不规定的，表中分别用“●”、“○”和空格表示，仅供参考。

现代调制度测量仪（分析仪）除测量调制度以外，还具有测量频率、功率电平、音频参数等多种功能，这些功能的测试方法可参考本书的有关章节。技术指标中有些参考性项目，只要功能正常，勿需定量测量。有些无误差要求的项目或有些测量方法很简单的项目，它们的测试方法均不再赘述。本章只介绍与调制度有关的计量测试方法，共 10 项功能和指标，它们是：

1. 基本功能检查
2. 射频输入特性
   载波频率范围　输入灵敏度
3. 调幅度
4. 频偏
5. 相偏
6. 残余调制
7. 调制抑制
8. 解调输出失真
9. 小调制度测量中残余调制的限制与修正
10. 调制度自动比对系统

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第4节 技术指标和测试方法

1. 基本功能检查

basic functional checks

在开始性能测试之前，应进行仪器基本功能检查，以确定调制度仪工作是否正常，所设功能是否齐全。

功能检查方框图，如图23-1所示。

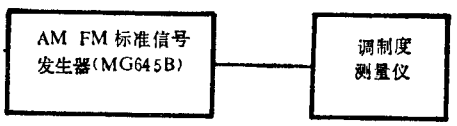


图 23-1

检查步骤如下：

仪器通电后，先按规定程序进行自验、自校，然后将符合规定的射频已调信号，加至调制度测量仪输入端，进行下述功能检查：

调制度仪能响应输入信号频率的变化：能调谐信号，或测量信号频率。

调制度仪能响应输入信号电平的变化：能调节信号电平，或测量信号电平。

调制度仪能测量和显示信号的调制度：调幅度、频偏或相偏。

调制度仪能选择不同的检波器检测信号：正峰值、负峰值、平均值……等。

调制度仪能以各种滤波器处理信号：高通滤波器、低通滤波器、去加重滤波器……等。

若有音频分析功能，则调制度仪应能显示解调信号的频率、电平、失真……等。

2. 射频输入特性

RF input performance

(1) 载波频率范围 f_c

carrier frequency range

信号频率的一个连续区间，对载波频率处于该区间内的信号，调制度仪能进行有效测量。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图23-1。

(2) 测试说明和要求

信号发生器的频率范围必须足以覆盖调制度仪的载波频率范围。其频率精度是足够高的。

(3) 测试步骤

信号发生器输出载波信号，其输出电平等于或大于调制度仪的输入灵敏度。改变信号发生器的载波频率，检查调制度仪能否捕捉信号和恰当指示载波频率。以信号发生器输出频率为参考，检查调制度仪的工作频率范围，及频率刻度误差。包括波段覆盖量及最低、最高载波频率点。

(2) 输入灵敏度 S_n

RF input sensitivity

调制度仪进行符合技术条件的正常测量所需要的射频信号的最低输入电平。

测试方法

(1) 测试方框图，见图23-1。

(2) 测试说明和要求

射频信号发生器的输出电平是经过校准的。其输出阻抗应与调制度仪的输入阻抗相匹配。

(3) 测试步骤

灵敏度测试的载波频率点必须包括调制度仪灵敏度指标的分段点。可用下述两种方法之一进行测试：

I. 通过法 信号发生器的输出电平设置于调制度仪灵敏度指标的额定值，若调制度仪能对此信号进行正常的调谐、调电平和测量调制度，则在此载频点上调制度仪灵敏度指标合格。

II. 寻找最高灵敏度法 当调制度仪对载波信号进行调谐、调电平和正确的调制度测量

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

之后，将信号发生器的输出电平降低到调制度仪不能工作的程度，并使调制度仪处于最高灵敏度工作状态，即输入衰减最小（0dB）、增益最高。逐渐增加信号源输出电平，寻找出使调制度仪进行正常测量的最小输入电平。

3. 调幅度　m

amplitude modulation factor

图 23-2 是调幅波的时域波形图。

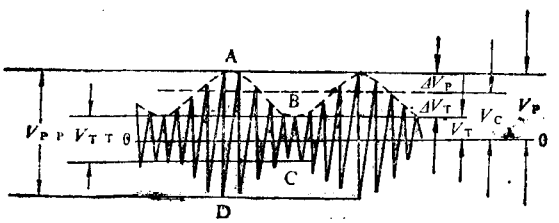


图　23-2

调幅波的电压(或电流)振幅从参考值(V_c)到包络的峰值（ΔV_P、ΔV_T）对于参考值之比，称为调幅度或调幅系数，记为 m，常用百分数来表示。

参考值（V_c）为调幅波的平均电平，常取未调载波振幅作为参考值。

包络是当调制信号的相位连续变化 360° 时，载波对时间波形所扫过的区域的上、下边缘线，可以近似地认为是调幅载波峰值所连成的曲线。

与包络的正峰(峰值)和负峰（谷值）相对应的调幅度分别称上调幅度和下调幅度，记为 $m_{上}$、$m_{下}$ 或 m_+、m_-。即：

$$m_+ = \frac{\Delta V_P}{V_c} \times 100\%$$

$$m_- = \frac{\Delta V_T}{V_c} \times 100\%$$

对于正弦调制

$$\Delta V_P = \Delta V_T = \frac{1}{2}(V_P - V_T)$$

$$= \frac{1}{4}(V_{P-P} - V_{T-T})$$

$$V_c = \frac{1}{2}(V_P + V_T)$$

$$= \frac{1}{4}(V_{P-P} + V_{T-T})$$

故

$$m_+ = m_- = m$$

$$m = \frac{V_P - V_T}{V_P + V_T} = \frac{V_{P-P} - V_{T-T}}{V_{P-P} + V_{T-T}}$$

测试方法：

I. 标准调制度仪法

(1) 测试方框图，见图 23-3、图 23-4。

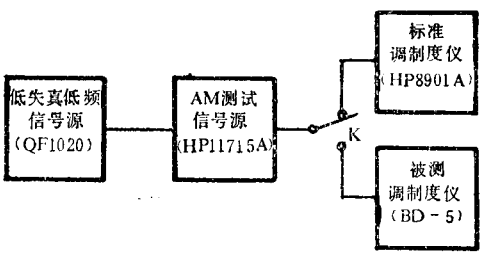


图　23-3

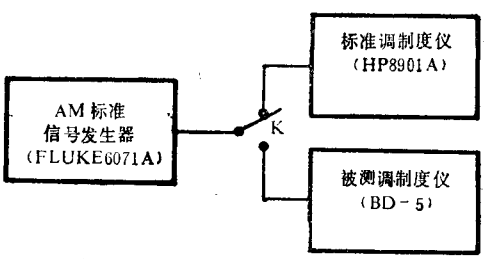


图　23-4

(2) 测试说明和要求

① 标准调制度仪测量调幅度的准确度必须优于被测调制度仪准确度三倍以上。其载波频率、调制频率及调幅度的测量范围应满足检定之需。

② AM 测试信号源的调幅失真 $D \leqslant 0.1\%$，调制频率和调幅度的变化范围能满足检定之需。

③ 低失真低频信号源的谐波失真 $D \leqslant 0.01\%$，输出频率范围 30 Hz ～ 100kHz，输出

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电平调节范围 10 mV～3V。

④ 标准调制度系统的稳定度不劣于 0.01%/5 分钟。

⑤ 标准信号发生器在 $f_m = 1\text{kHz}$，30%≤ m ≤50% 内的测试点上，调幅失真 $D<0.5\%$。载波频率调节范围能满足检定之需。

⑥ 图中K为同轴射频开关(下同)。

(3) 测试步骤

① 由低失真低频信号发生器对 AM 测试信号源调幅，获得测试所需的调幅度数值。对于同一调幅信号，由被测调制度仪测出的调幅度数值为 m_x，由标准调制度仪测出的调幅度数值为 m_0，被测调制度仪测量调幅度的绝对误差为

$$\Delta m = m_x - m_0$$

相对于满刻度值 $m_{f.s}$ 的测量误差为：

$$\delta_{f.s} = \frac{m_x - m_0}{m_{f.s}} \times 100\%$$

相对于读数值 m_x 的测量误差为：

$$\delta_{rd} = \frac{m_x - m_0}{m_x} \times 100\%$$

② 取 $f_m = 1\text{kHz}$，调整音频输出电压，对各种不同的调幅度数值进行测量。

③ 在较大的调幅度数值上，改变各种调制频率进行测量。

④ 在图 23-4 中，当 $f_m = 1\text{kHz}$ 时，在 30%～50% 内选取调幅失真最小的调幅度数值 ($D < 0.5\%$)，改变载波频率进行测量。

II. 低载频调幅度的波形电压补偿测量法

(1) 测试方框图，见图 23-5。

(2) 测试说明

波形电压补偿法是从调幅波的波形图 23-2 中，测量出波形参数 V_{P-P}、V_{T-T} 以确定调幅度。但不是用示波器直接测量电压，而是用一可变直流电压叠加在波形上。调节直流电压，使波形上下位移，将交流电压 V_{P-P}、V_{T-T} 由波形尺寸的测量转化为位移直流电压的测量。示波器仅作参考指示器，测量数据取自直

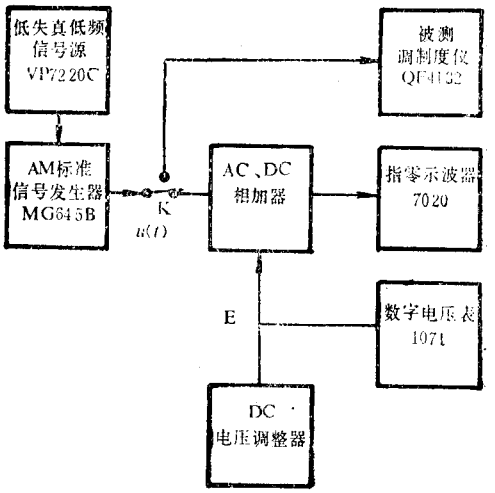


图 23-5

流数字电压表。

(3) 对测试仪器的要求

① 对示波器的要求是：灵敏度高，2～5 mV/div；分辨率高，±0.01 cm；频带宽度不低于被测载波频率的 10 倍。

② 对调幅信号的要求是：包络失真优于 52 dB，调幅噪声≤0.06%。

③直流数字电压表的准确度优于 0.01%。

(4) 测试步骤

由低失真低频信号源对标准信号发生器调幅。被测调幅信号 $u(t)$ 与一可调直流电压 E 叠加后送入示波器Y轴(直流耦合)。示波器显示出调幅信号包络波形如图 23-2。然后提高示波器灵敏度，加大波形尺寸，以示波器荧光屏中心水平刻线作为参考零线，调节直流电压，垂直移动波形，使波形包络的 A、B、C、D 各点依次对准参考零线，如图 23-6。同时从数字电压表上读出相应电压 V_A、V_B、V_C、V_D，则

$$V_{P-P} = V_A - V_D$$

$$V_{T-T} = V_B - V_C$$

故标准调幅度 m_0 为

$$m_0 = \frac{V_{P-P} - V_{T-T}}{V_{P-P} + V_{T-T}}$$

此标准调幅信号可用于检定被测调制度仪的调

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

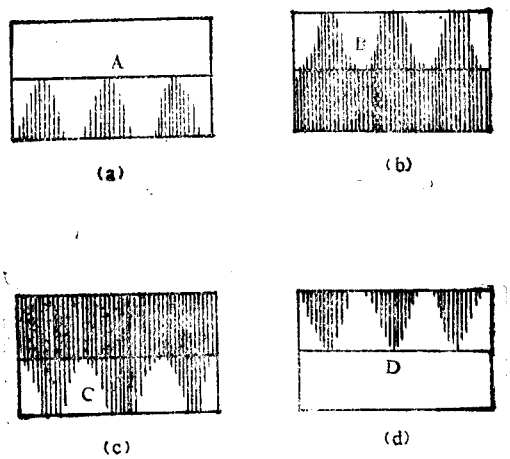


图　23-6

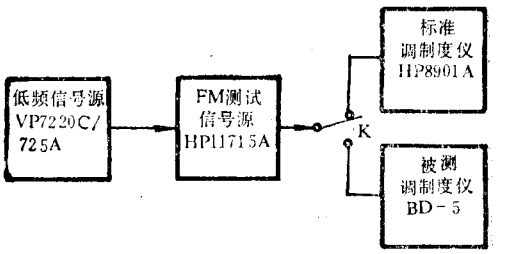


图　23-7

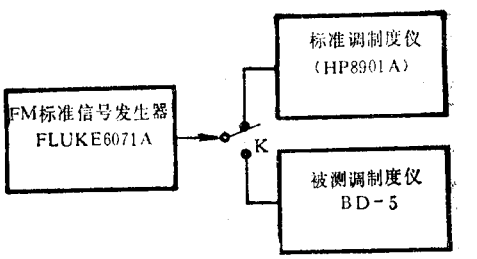


图23-8

幅度测量误差。此方法适用于图 23-3、23-4 的设备不能测试的低载频段。

4. 频偏　Δf

frequency deviation

调频波的瞬时频率相对于平均频率——载波频率（f_c）的最大偏移称为频偏，记为 Δf，单位为千赫（kHz）。

瞬时频率高于载波频率的最大偏移值称上频偏，记为 $\Delta f_{上}$ 或 Δf_+：

$$\Delta f_+ = f_{max} - f_c$$

瞬时频率低于载波频率的最大偏移值称下频偏，记为 $\Delta f_{下}$ 或 Δf_-：

$$\Delta f_- = f_c - f_{min}$$

上、下频偏的算术平均值称为平均频偏：

$$\Delta f = (\Delta f_+ + \Delta f_-)/2$$
$$= (f_{max} - f_{min})/2$$

对于正弦调制：

$$\Delta f = \Delta f_+ = \Delta f_-$$

测试方法：

I. 标准调制度仪法

(1) 测试方框图，见图 23-7、图 23-8。

(2) 测试说明和要求

① 标准调制度仪测量频偏的准确度必须优于被测调制度仪测量准确度三倍以上。其载波频率、调制频率及频偏的测量范围应满足测试之需。

② FM 测试信号源的调频失真 $D \leqslant 0.05\%$，调制频率和频偏的变化范围能满足测试之需。

③ 低失真低频信号源的谐波失真 $D \leqslant 0.01\%$，频率范围 30Hz ～ 200kHz，输出电平调节范围 10mV～3V。

④ 标准频偏系统的稳定度不劣于0.01%/5分钟。

⑤ 合成信号发生器在 $f_m = 1$kHz，$\Delta f \leqslant 100$kHz 的测试点上，调频失真 $D < 0.3\%$。载波频率 0.2～1000 MHz。

(3) 测试步骤

① 由低失真低频信号发生器对 FM 测试信号源调频，获得测试所需的频偏数值。对于同一调频信号，由被测调制度仪测出的频偏数值为 Δf_x，由标准调制度仪测出的频偏数值为 Δf_0，被测调制度测量仪测量频偏的绝对误差为

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$\Delta_f = \Delta f_x - \Delta f_0$$

相对于满刻度值 $\Delta f_{f\cdot s}$ 的测量误差为:

$$\delta_{f\cdot s} = \frac{\Delta f_x - \Delta f_0}{\Delta f_{f\cdot s}} \times 100\%$$

相对于读数值 Δf_x 的测量误差为:

$$\delta_{rd} = \frac{\Delta f_x - \Delta f_0}{\Delta f_x} \times 100\%$$

② 取 $f_m = 1\,\text{kHz}$，调整低频输出电压，对各种不同的频偏数值进行测量。

③ 在较大的频偏数值上，改变各种调制频率进行测量。

④ 在图 23-8 中，当 $f_m = 1\text{kHz}$，在 $\Delta f \leqslant 100\text{kHz}$ 选取调频失真最小（$D < 0.3\%$）的频偏值，改变载波频率进行测量。

II. 大频偏的分频测量法

(1) 测试方框图，见图 23-9。

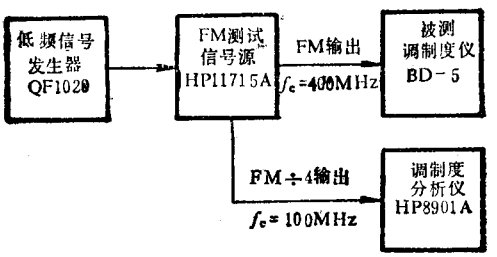


图 23-9

(2) 测试说明

在图 23-9 的 FM 测试信号源内的分频器（如图 23-10）里信号频率的变化是线性的，输入频率（f_i）与输出频率（f_0）之比为一正整数 N，称为分频系数。调频波通过分频器后，载波频率与峰值频偏均按分频系数下降。

即:

$$f_i = Nf_0$$

$$\Delta f_i = N\Delta f_0$$

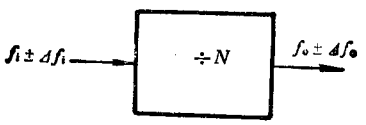


图 23-10

若已知分频器输出端的频偏及分频系数，就可求出分频器输入端的频偏。利用这个原理可以扩大图 23-7 中标准调制度仪所能测定的频偏范围。

(3) 对测试仪器的要求

FM 测试信号源必须具有 FM 输出端和 FM÷N 输出端。其余要求与方法 I 相同。

(4) 测试步骤

由低失真低频信号源对 FM 测试信号源调频。FM 测试信号源的 FM 输出端（f_c=400 MHz）供被测调制度仪测量，FM ÷ 4 输出端（f_c = 100 MHz）供标准调制度仪测量。两端口的频偏存在下述关系:

$$\Delta f_i = 4\Delta f_0$$

例如当标准调制度仪测得 FM ÷ 4 输出端的频偏为 $\Delta f_0 = 125.0\text{kHz}$ 时，FM 输出端的准确频偏值应为:

$$\Delta f_i = 4\Delta f_0 = 500\text{kHz}$$

III. 高载频频偏的倍频测量法

(1) 测试方框图，见图 23-11。

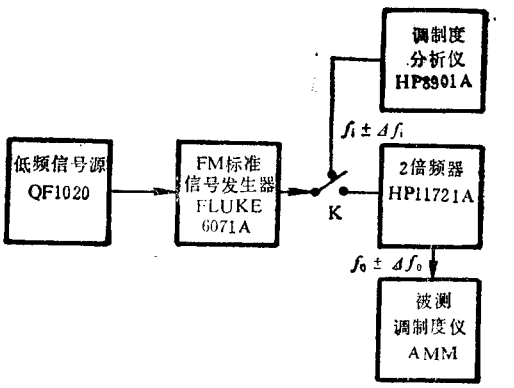


图 23-11

(2) 测试说明

在图 23-11 的 2 倍频器（如图23-12）里，信号频率的变化是线性的。输出频率（f_0）与输入频率（f_i）之比为一常数 N，称为倍频系数。调频波通过倍频器后，载波频率与峰值频偏均

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

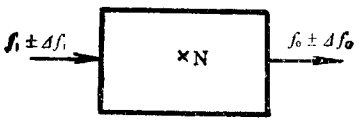


图　23-12

按倍频系数增加。即：

$$f_0 = Nf_i$$

$$\Delta f_0 = N\Delta f_i$$

若已知倍频系数及倍频器输入端的载波频率、峰值频偏，则可求出倍频器输出端的载波频率及峰值频偏。利用这个原理，可以扩大图 23-8 中标准频偏检定装置所能测定的载波频率范围。

(3) 对测试仪器的要求

倍频器的工作频率范围应与需要测量的载波频率相适应；倍频器的工作电平应在标准信号发生器输出电平范围内；倍频器的输出电平应能满足被测调制度仪对灵敏度的要求。

其余要求参照对图 23-8 仪器的要求。

(4) 测试步骤

由低失真低频信号源对标准信号发生器进行调频。已调频波（$f_i \pm \Delta f_i$）送标准调制度仪测量载波频率和峰值频偏。然后将已调波经 2 倍频器后送被测调制度仪。倍频器输出、输入频率关系为：

$$f_0 = 2f_i$$

$$\Delta f_0 = 2\Delta f_i$$

例如，当标准调制度仪测得

$$f_i = 1000\ \text{MHz},$$

$$\Delta f_i = 50\ \text{kHz}$$

则倍频器输出的标准调频信号为：

$$f_0 = 2000\ \text{MHz}$$

$$\Delta f_0 = 100\ \text{kHz}$$

IV. 宽带调制的间接测量法

(1) 测试方框图，见图 23-13。

(2) 测试说明

标准调制度仪与被测调制度仪同属测试接

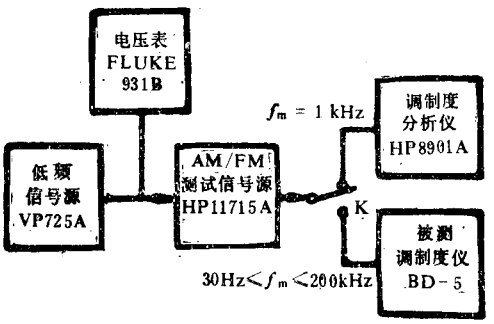


图　23-13

收机，调制度量值（频偏、调幅度）必须通过一个调制测试信号源来传递。如果调制测试信号源具有很好的调制频率平坦度（亦称调制频率响应），当调制电压保持不变时，可以认为调制度在所考查的带宽内不随调制频率而变化。那么，标准调制度仪在窄带范围内的高准确度，就可通过调制测试信号源传递到宽带调制范围，从而实现宽带调制时调制度的测量。

(3) 对测试仪器的要求

① FM 测试信号源在 30 Hz ≤ f_m ≤ 200 kHz 内的调制频率平坦度优于 ± 0.25%。

② 在 f_m = 1 kHz 时，标准调制度仪的准确度优于 ±1%。

③ FM 测试信号源的调频失真优于 0.1%。

④ 电压表在 30Hz ～ 200 kHz 内的频响误差不大于 ±0.3%。

⑤ 本系统调制度的稳定度，在五分钟内优于 ±0.025%。

(4) 测试步骤

① 低失真低频信号源选用 f_m = 1 kHz，标准调制度仪在窄带（50 Hz ～ 15 kHz）上给 FM 测试信号源的调制度定标。调整低失真低频信号源输出电压，使标准调制度仪指示出测试所需要的调制度数值（Δf_0），并用电压表记录对应的调制电压 U_m。

② 保持调制电压 U_m 不变，将低失真低频信号源的频率 f_m 扩展至 30 Hz ～ 200 kHz 内需要测试的频率点，此时测试信号在宽带调

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

制内，具有准确的调制度数值，可供被测调制度仪测量。

宽带调制的间接测量法，解决了频偏测试方法 I 中在 $100\,kHz \leqslant f_m \leqslant 150\,kHz$ 内标准调制度仪与被测调制度仪具有相同精度等级的矛盾。此法不仅适用于宽带调频的测量，也适用于宽带调幅的测量。

V 贝塞尔函数零值法

(1) 测试方框图，见图 23-14。

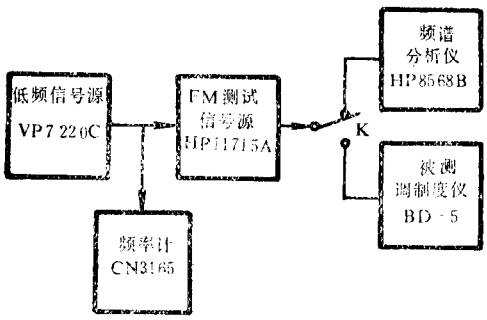


图 23-14

(2) 测试说明

调频波的频偏 Δf 与调制频率 f_m 之比称调频指数 m_f，即：

$$m_f = \frac{\Delta f}{f_m}$$

调频波各频谱分量的振幅（U_n）是调频指数 m_f 的贝塞尔函数：

$$U_n = U_0 J_n(m_f)$$

式中 $J_n(m_f)$ 是以 m_f 为宗数（自变量）的第 n 阶第一类贝塞尔函数。当自变量 m_f 为某些值时，可使

$$U_n = U_0 J_n(m_f) = 0$$

即第 n 频谱分量的振幅等于零。频谱分量为零的条件可由频谱分析仪直接观察到。于是由贝塞尔函数零值可准确算出函数的根值，即判断调频指数 m_f 的数值。而调制频率可用数字频率计精确测得。于是获得调频波的准确频偏值

$$\Delta f = f_m \cdot m_f$$

这就是贝塞尔函数零值法测量频偏的原理。

(3) 对测试仪器的要求

① 频谱分析仪要求：(a) 频率范围宽，能对需要检定的各种载波频率进行分析；(b) 中频带宽窄，足以分辨最低调制频率的谱线；(c) 动态范围大，显示范围大于 70 dB，噪声电平小。

② 数字频率计的测量准确度优于 1×10^{-7}。

③ FM测试信号源调频失真优于 0.05%。

④ 低失真低频信号源谐波失真 $D < 0.01\%$。

⑤ 标准频偏系统的稳定度不劣于 ±0.01%/5 分钟。

(4) 测试步骤

① 不加调制电压，在频谱仪上找出载频谱线 $J_0(0)$，调整谱线高度，使其大于 60dB，顶端对准参考电平（0dB），如图 23-15(a)。

② 加上调制信号，慢慢增加调制电压，从频谱仪上可以看见载波幅度逐渐下降，载波两侧出现边频谱线，如图 23-15 (b)。继续增加调制电压 U_m，载频幅度继续下降，边频幅度逐渐

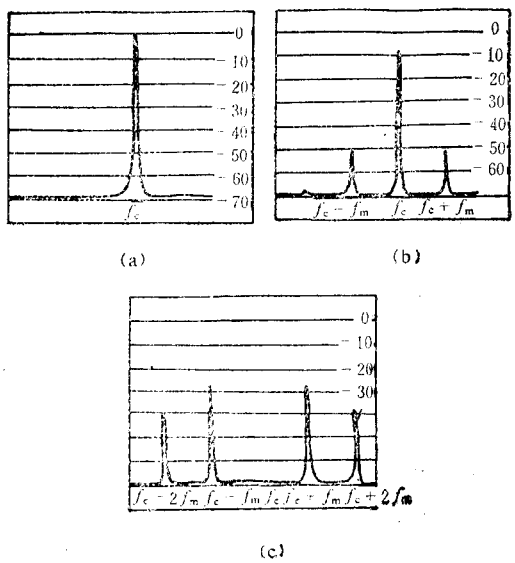


图 23-15

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

增大，边频根数亦增多。当 U_m 达到一定值时，载波谱线下降到 −60dB 以下，甚至完全消失，如图 23-15 (c)所示。此点即为零阶贝塞尔函数第一零点，所对应的调频指数为 $m_f=2.4048$。

③ 再继续增大 U_m 值，载频谱线重新出现，经过上升和下降过程，第二次到达零点。此时对应的调频指数 $m_f=5.5201$。如此继续下去，可得到第三、第四……第 i 个零点。由贝塞尔函数根值表可查出相应的 m_f 值。

④ 当载频谱线幅度达零点时，用数字频率计测量出调制频率 f_m。

⑤ 计算此时调频信号的频偏值：

$$\Delta f_0 = f_m \cdot m_f$$

⑥ 以贝塞尔函数零值法所确定的频偏值为标准，测量被测调制度测量仪。

贝塞尔函数零值法测量频偏，操作过程繁琐，但准确度高，可以作为标准调制度仪测量频偏的参考和补充方法。

5. 相偏　$\Delta\phi$

phase deviation

调相波的瞬时相位（φ_x）相对于平均相位——载波相位（φ_c）的最大偏移称相偏，记为 $\Delta\phi$，单位为弧度（rad）。

瞬时相位超前于载波相位的最大偏移值称上相偏，记为 $\Delta\phi_上$ 或 $\Delta\phi_+$：

$$\Delta\phi_+ = \varphi_{max} - \varphi_c$$

瞬时相位迟后于载波相位的最大偏移值称下相偏，记为 $\Delta\phi_下$ 或 $\Delta\phi_-$：

$$\Delta\phi_- = \varphi_c - \varphi_{min}$$

测试方法：

由于相位与频率相关，即相位对时间微分得频率，频率积分得相位，故峰值相偏与峰值频偏存在下述关系：

$$\Delta\phi = \Delta f / f_m$$

式中　f_m 为调制信号频率。

对于一个频偏和调制频率精确已知的信号，由上述公式计算出准确相偏 $\Delta\phi_0$。再将此调频信号送到调制度测量仪测量相偏 $\Delta\phi_x$，测量值与计算值比较，得出相偏读数值相对误差：

$$\delta_{rd} = \frac{\Delta\phi_x - \Delta\phi_0}{\Delta\phi_x}$$

6. 残余调制

residual modulation

对信号发生器而言，残余调制是在未调制状态下，载波所具有的调制度。

对调制度测量仪而言，残余调制是在解调无调制载波信号的过程中所产生的调制度。

根据不同的考核种类，残余调制可分为残余调幅（Residual AM）、残余调频（Residua FM）、残余调相（Residual PM）。

残余调制又叫调制噪声（Modulation Noise），并分别称为调幅噪声（AM Noise）、调频噪声（FM Noise）、调相噪声（PM Noise）。

残余调制与给定调制度之比的对数表示式就是信噪比（Signal to Noise Ratio）：

$$R(\text{dB}) = 20\lg\frac{V_N}{V_S}$$

式中　V_N——残余调制度对应的解调输出电压；

V_S——给定调制度对应的解调输出电压。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 23-16。

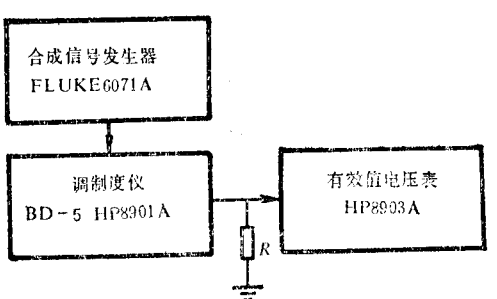


图　23-16

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试说明和要求

调制度仪残余调制的测试，需要一个纯净的无调制的载波信号源，即信号源本身的残余调制比起调制度仪的残余调制来必须足够地小，可以忽略不计。这样解调载波所得的调制度就认为是调制度仪的残余调制。可以用高频晶体振荡器作为残余调频的测试源，例如HP11715A测试信号源的 560 MHz 低残余输出。但一个晶振只有一个测试频率点，因而常用高纯度的频率合成器作测试源。

解调带宽对残余调制的测量结果影响极大，必须明确规定测量带宽。通常选用窄带测量，例如 50 Hz ～ 3 kHz 或 50 Hz ～ 15 kHz。

由于残余调制的主要成分为噪声，而峰值检波难于反映噪声的真实电平，所以对残余调制的测试一般用有效值检波 (rms)，或有效值校准的平均值检波 (AVG)，并加上有效值标记 "rms"。

(3) 测试步骤

当调制度仪备有 AVG-rms 检波器时，可以按调制度测量操作，直接读取残余调频 Δf_N (kHz rms) 或残余调幅 m_N(%rms)。若调制度仪只备有峰值检波器，则应将解调输出信号外接到有效值电压表上测量。

用有效值电压表测量时，首先要确定解调输出电压与调制度的变换系数 α。

信号源先输出相应的已调信号，使调制度仪达到调制度满刻度值(通常用最小量程)，设为 m_0，此时测量出对应的解调输出电压，设为 V_0，则变换系数为：

$$\alpha = \frac{m_0}{V_0}$$

然后，去掉信号源的调制度，保留载波信号，读取残余调制的解调输出电压 V_N，则残余调制为：

$$m_N = \alpha V_N = \frac{m_0}{V_0} \cdot V_N$$

注意：V_N 和 V_0 必须在调制度仪的同一量程上测量。

若残余调制是以信噪比的形式给出，则以给定调制度的解调输出电压 V_S 为参考，测量载波时的解调输出电压 V_N，并取对数，得信噪比：

$$R(\text{dB}) = 20\lg\frac{V_N}{V_S}$$

7. 调制抑制

modulation rejection

调制度测量仪对信号源中无关调制（未被测量的调制)的抑制能力，即当调制度仪进行某种调制度测量时，由信号源中另一种调制所转化成的调制度仪的读数值，称为调制度仪对另一种调制的抑制能力。例如，调制度仪对一个纯调幅信号测量频偏时，所测得的频偏数值称为调幅抑制 (AM Rejection)；调制度仪对一个纯调频信号测量调幅度时，所测得的调幅度数值称为调频抑制 (FM Rejection)。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 23-17。

图 23-17

(2) 测试说明和要求

用于测试调制度仪调制抑制性能的调制测试信号源，必须具有足够小的伴随调制 (Incidental Modulation)，其数值与被测调制度仪的抑制指标比较可以忽略不计。HP11715A 就是一种伴随调制很小的 AM/FM 测试信号源。

(3) 测试步骤

调制抑制性能测试时，信号源的调制状态和调制度仪的测量状态属于两种调制类型。

① 调幅抑制的测量 首先，信号源输出调幅信号，调制度仪测量调幅度。调整低频信号

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

源的输出电平，使信号源达到规定的调幅度数值。然后，保持信号源的调制状态不变，而调制度仪转换为测量频偏，所得的频偏数值即为调制度仪的调幅抑制。在测量调幅抑制时，应扣除系统残余调频的影响。

② 调频抑制的测量　首先，信号源输出调频信号，调制度仪测量频偏，调整低频信号源的输出电平，使信号源达到规定的频偏值。然后，保持信号源的调制状态不变，而调制度仪转换为测量调幅度，所测得的调幅度数值即为调制度仪的调频抑制。在测量调频抑制时，应扣除系统残余调幅的影响。

8. 解调输出失真　*D*

demodulated output distortion

当一个只携带调制信号基波信息的已调波加于解调器时，由于解调过程的非线性，使得解调恢复的低频信号，除包含调制信号的基波分量外，还可能产生调制信号的若干谐波分量。谐波电平有效值之和与基波电平有效值之比称为解调失真。即

$$D=\frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty}U_n^2}}{U_1}\times 100\%$$

式中　U_1——信号基波电压有效值；

U_n——信号 n 次谐波电压有效值。

上述定义式常用总谐波失真（Total Harmonic Distortion）——T.H.D 的术语概括。

与解调失真关系密切的一个术语是调制失真，即当一个纯正弦信号对载波进行调制时，由于调制过程的非线性，使得已调波中除携带了调制信号的基波信息外，还可能产生调制信号的若干谐波分量，谐波分量有效值之和与基波分量有效值之比称为调制失真。

测试方法：

I. 基波抑制法

（1）测试方框图，见图 23-18。

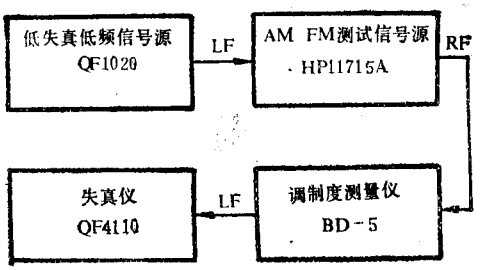


图　23-18

（2）测试说明与要求

用于测试调制度仪解调失真的调制测试信号源必须具有足够小的调制失真，其数值与被测调制度仪的解调失真比较可以忽略不计。HP 11715 A 就是一种调制失真极小的测试信号源。

（3）测试步骤

由低失真低频信号源对 AM/FM 测试信号源进行调制，已调波送调制度仪测量调制度。调整信号源的调制度，使其达到规定的调制度数值。由调制度仪获得的解调信号，送失真度测量仪测量，由此测得的失真度即为解调失真。解调失真数值不仅与解调质量有关，还与调制度有关。调制越深，失真越大。因而解调失真应在产品技术条件限定的最大调制度上测量。

（4）方法讨论

基波抑制法测量解调失真的优点是快速、方便，易于自动化，因而被广泛采用。

基波抑制法的缺点是：

① 所测失真值是调制与解调过程的总失真，不能区分调制失真和解调失真。欲测某一过程的失真，必须确保另一过程的失真足够小。

② 基波抑制法测量失真度的过程与总谐波失真（T.H.D）的定义有出入。它首先测量信号的总有效值电压 U_a：

$$U_a=\sqrt{\sum_{n=0}^{\infty}u_n^2}$$

式中　$n=0$ 为噪声分量

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$n=1$ 为基波分量

$n=2、3\cdots$ 为谐波分量。

然后测量抑制基波后的有效值电压：

$$U_b=\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty}u_n^2+u_0^2}$$

取两电压之比为失真度 D：

$$D=U_b/U_a\times 100\%$$

由于 U_b 包含了噪声分量，当 U_1 很小时，U_b/U_a 将主要反映信噪比。因而用失真度测量仪测量调制与解调失真时，调制度不能太小。

II. 谐波分析法

(1) 测试方框图，见图 23-19。

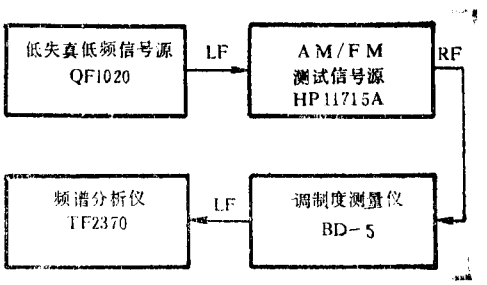


图 23-19

(2) 测试说明和要求

用于测试调制度仪解调失真的信号源必须具有足够小的分辨调制失真，其数值与被测调制度仪的解调失真比较可以忽略不计。

频谱分析仪的分辨带宽必须足够窄，以便能区分调制信号的基波及各次谐波。

(3) 测试步骤

由低失真低频信号源对 AM/FM 测试信号源调制，已调波送调制度仪测量调制度。调整信号源的调制度，使其达到规定的调制度数值。由调制度仪获得的解调信号，送频谱分析仪测量基波和各次谐波电压有效值，按总谐波失真的定义式计算失真度：

$$D=\frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty}U_n^2}}{U_1}\times 100\%$$

频谱仪常用对数显示，如图 23-20。可选基波谱线为参考电平（0dB），谐波谱线读取低于基波的 dB 数 A_n，则第 n 次谐波的失真度为：

$$D_n=\lg^{-1}(-A_n/20)$$

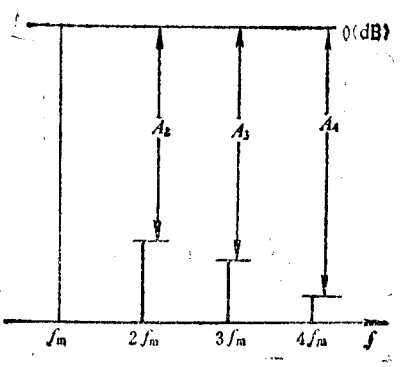


图 23-20

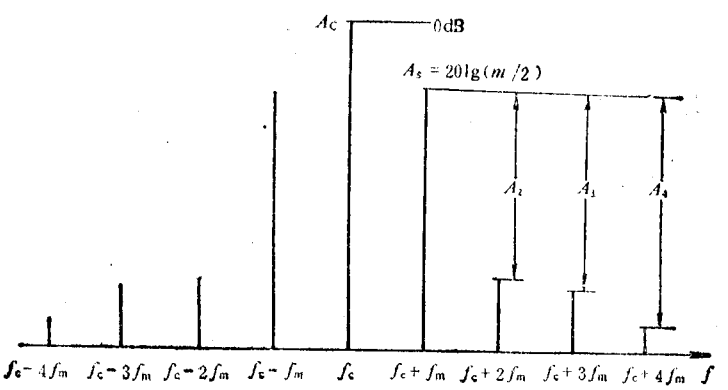


图 23-21

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

总谐波失真度为：

$$D_{THD}=\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty}D_n^2}\times 100\%$$

(4) 方法讨论

谐波分析法符合总谐波失真定义，但测量烦琐，故使用不多。

对解调信号进行频谱分析所测得的失真度为调制与解调过程的总失真度。对于频率调制而言，不能区分调频失真与解调失真。但对调幅信号，可通过射频（RF）分析，确定调幅失真。存在调制失真的调幅波频谱如图 23-21。其中 f_c 及 $f_c\pm f_m$ 为调幅波的特征谱线，$f_c\pm 2f_m$，$f_c\pm 3f_m\cdots f_c\pm nf_m$ 均为调制失真分量。以基波谱线（$f_c\pm f_m$）作为参考电平，读取失真分量相对的 dB 数 A_2、$A_3\cdots A_n$，则可按上式计算调幅失真。由解调后的总失真中扣除调幅失真，就得到解调失真。

III. 交互调制法

(1) 测试方框图，见图 23-22。

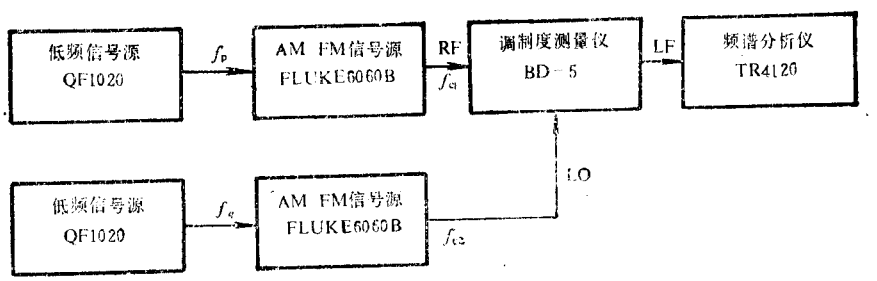


图　23-22

(2) 测试说明和要求

在调制度仪的解调器上同时加入携带不同基带信号（f_p、f_q）的两个已调波时，由于解调器传输特性的非线性，使得解调信号中，除含有 f_p，f_q 的基波及其谐波分量外，还将产生交互调制的频率分量 $|mf_p\pm nf_q|$（m、n 为正整数）。非线性越严重，互调分量越大。借助于互调分量的测量，可以判断调制度仪的解调失真。

(3) 测试步骤

两个低频信号源 f_p、f_q 分别对调制测试信号源或射频信号发生器 f_{c1}、f_{c2} 进行调制。二者的调制度相等，均为失真度测试时规定调制度的一半。例如测量调制度仪解调 Δf_0 时的失真，则

$$\Delta f_p=\Delta f_q=\Delta f_0/2$$

已调频波 f_{c1} 加到被测调制度仪射频（RF）输入端，作为被测信号；已调频波 f_{c2} 加到被检调制度仪外本振(LO)输入端，作为本振信号。两射频信号载波频率之差等于调制度仪的中频：

$$f_{c2}-f_{c1}=f_I$$

两射频信号的电平按调制度仪线性混频的要求调整。通常要求信号电平比本振电平低 20 dB。

对调制度仪解调输出信号进行频谱分析。分别测量出与 $\Delta f_0/2$ 对应的 f_p、f_q 基波电压

$$U_p=U_q$$

二阶互调失真分量 $|f_p-f_q|$ 的电压 U_2，

三阶互调失真分量 $|2f_p-f_q|$ 的电压 U_3，

三阶互调失真分量 $|f_p-2f_q|$ 的电压 U_3'，

……

然后按下式计算互调失真：

$$(IM)_F=\frac{\sqrt{U_2^2+U_3^2+(U_3')^2+U_4^2+\cdots}}{U_p}$$

交互调制法测量失真的定义和计算公式不完全统一，引用时需要注明。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(4) 方法讨论

交互调制法测量失真相当麻烦，且需要的设备多，故未广泛采用。

但这个方法可以单独测量解调失真，特别是鉴频失真，因而在调制度仪的研制中，是检测解调质量的有效手段。

IV. 非线性测量法

(1) 测试方框图，见图 23-23。

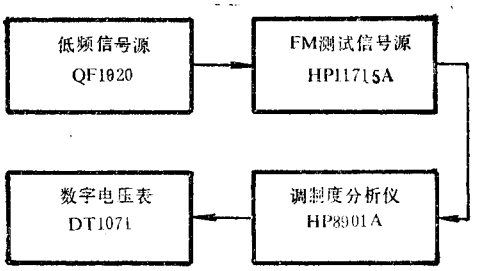


图 23-23

(2) 测试说明与要求

图 23-23 是以调制分析仪 HP8901A 为例进行测试。但方法的使用不受仪器型号的限制。

失真是由电路或器件传输特性的非线性产生的，因而通过传输特性非线性的测量，可以评定失真度。

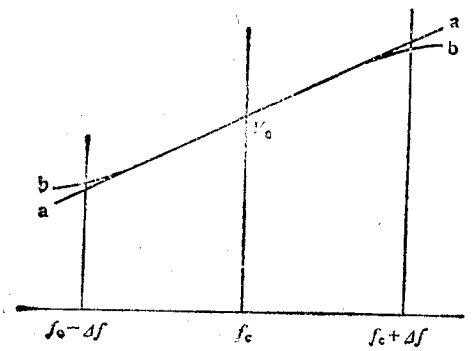


图 23-24

调制度仪鉴频器的传输特性是输出电压与输入频率的关系，如图23-24。图中 a-a 为理想直线，b-b 为实际的 S 曲线，曲线与直线的偏离程度确定了失真的大小。假定失真分量全为二次谐波(这是最坏的情况)，则可导出失真系数 D_2 与曲线斜率相对变化量 Δ 的关系为：

$$D_2=\frac{\Delta}{4}$$

鉴频特性曲线斜率相对变化量就是频偏从 0 到 $\pm\Delta f$ 时，鉴频灵敏度的相对变化量。因而，失真度的非线性测量法就是测量鉴频灵敏度的相对变化量 Δ。

(3) 测试步骤

由低失真低频信号源对调制测试信号源调频，获得一个较小的观察频偏，例如 30kHz。FM 信号送 HP8901A 测量频偏，其解调输出电压 (V)，由数字电压表测量，它实际为中频等于1.5 MHz 时的解调输出电压。保持低失真低频信号源和调制测试信号源的状态不变，用手动调谐方式改变 HP 8901 A 的本振频率，观察 HP8901A 的中频频率，让中频从 1.5MHz 偏移到失真测量所要求的频偏值，即 1.5MHz$\pm\Delta f$，同时记录解调输出电压，并计算相对变化量

$$\Delta=\frac{V_x-V_0}{V_0}$$

式中 V_0——$IF=1.5$ MHz 时的解调输出电压；

V_x——$IF=1.5\text{MHz}\pm\Delta f$ 时的解调输出电压。

则 HP8901A 的解调失真为

$$D=\frac{\Delta}{4}$$

(4) 方法讨论

非线性法测量失真比较麻烦，且与总谐波失真的定义不很吻合，因而测量准确度不高，故未广泛采用。

但这个方法有两项显著优点：

① 能测量极低的失真，适于 $D\leqslant 0.1\%$ 的测量。

② 能分别测量解调失真与调制失真。例

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

如在图 23-26 的设备中，欲测量 AM/FM 测试信号源的调频失真，则在建立观察频偏后，HP8901A 处于正常的频偏测量状态，本振工作于自动低噪声调谐方式，解调输出电压由数字电压表测量。保持各仪器的状态不变，调节 AM/FM 测试信号源的载波频率，使其从 f_c (100 MHz) 到 $f_c \pm \Delta f$，同时记录解调输出电压，并计算出解调输出电压的相对变化量 Δ，则 AM/FM 测试信号源的调频失真为：

$$D = \frac{\Delta}{4}$$

9. 小调制度测量中残余调制的限制与修正

the residual modulation's being limited and calibrated in measurement of small modulation

小调制度测量的主要障碍是残余调制，因而提高小调制度测量准确度的关键是限制与修正残余调制的影响。

测试方法：

下面介绍几种限制与修正残余调制的方法。

I. 窄带限噪法

(1) 测试方框图，如图 23-25。

图　23-25

(2) 测试说明

图 23-25 是以调制分析仪 HP8901A 为例进行测试，但方法的使用不受仪器型号的限制。

(3) 测试方法

由于随机噪声功率 P_N 与解调带宽 BW 成比例，故限制噪声最简便而有效的途径是选用尽可能窄的解调带宽。

但带宽不能无限制地压缩，必须保证解调信号的基波及其谐波能够均衡通过。否则，不能如实解调。

在图 23-25 的仪器里，调制度分析仪 HP 8901 A 具有两种高通滤波器：50 Hz、300 Hz；四种低通滤波器：3kHz、15kHz、>20kHz (约 110kHz)、off(约260 kHz)。当 $f_m = 1$kHz 时，用 50Hz～15kHz 解调带宽比较恰当，对 HP11715A 信号源而言，由于调制失真特别小，故也可用 50 Hz～3 kHz 解调带宽。例如对 $f_m = 1$ kHz，$\Delta f = 1$ kHz 的调频信号，若用宽带解调测量（滤波器 off），测量误差可达 6～10%，若用 50 Hz～15 kHz 带宽解调，测量误差可下降到 1%。

II. 峰值修正法

(1) 测试方框图，如图 23-26。

图　23-26

(2) 测试说明

图 23-26 以调制分析仪 HP8901A 为例进行测试。但方法的使用不受仪器型号的限制。

(3) 测试方法

在调制量程、解调带宽不变的情况下，测量出信号与噪声和的峰值调制度 $(S+N)_{PK}$，噪声峰值调制度 N_{PK}，噪声有效值调制度 N_{av}。根据比值：

$$\frac{(S+N)_{PK}}{N_{PK}} \text{ 和 } \frac{N_{PK}}{N_{av}}$$

利用诺模图求出峰值修正系数 $N\%(N<100)$，然后计算信号峰值调制度：

$$S_{PK} = (S+N)_{PK} - N_{PK}(N\%)$$

诺模图由仪器说明书给出。

例如，由低失真低频信号发生的 QF1020、标准信号发生器 QF 1076、调制度分析仪 HP8901A 所组成的 AM 测量系统里，当载波

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

频率 $f_c = 80\text{MHz}$，载波电平为 $0\ \text{dB}_m$，调制频率 $f_m = 20\ \text{kHz}$ 时，测得信号与噪声和的峰值调幅度为：

$$(S+N)_{PKm} = 20.73\%$$

峰值残余调幅度

$$N_{PKm} = 0.27\%$$

平均值残余调幅度

$$N_{avm} = 0.09\%$$

计算比值

$$\frac{(S+N)_{PKm}}{N_{PKm}} = 76$$

$$\frac{N_{PKm}}{N_{avm}} = 3$$

由诺模图查出

$$N\% = 36\%$$

则信号的实际调幅度为

$$S_{PKm} = (S+N)_{PKm} - N_{PKm}(N\%) = 20.63\%$$

也有个别厂家采用直接扣除峰值残余调制的简单办法，即取峰值修正系数 $N\% = 100\%$。

III. 变带比较修正法

(1) 测试方框图，见图 23-25。

(2) 测试说明

图中仪器型号仅为一例，其它调制度测量仪及信号源亦可使用。

(3) 测试方法

由于噪声频谱密度与调制频率谱线的位置无关，故载波频率、载波电平、调制深度、解调带宽均不变，仅变化调制频率时，噪声对调制度的影响将不发生变化。这样高调制频率时噪声的影响，可以转化为低调制频率的情况来研究。而低调制频率时的测量又可用窄带限噪法排除噪声干扰。于是在低调制频率上，通过宽窄带读数值的比较，可以求出高调制频率时的噪声修正量。

例如，在 VP 7220 C——HP 11715 A——HP8901A 的测量系统里，当调制频率 $f_m = 100$ kHz 时，取解调带宽 BW 为 260 kHz (off)，测量出信号加噪声的调幅度 $m_T = 1.12\%$。保持各参数不变，仅将调制频率变为 $f_m = 1$kHz，测量出此时信号加噪声的调幅度为 $m_{T1} = 1.09\%$。然后维持信号源不变，利用窄带限噪法，取 BW

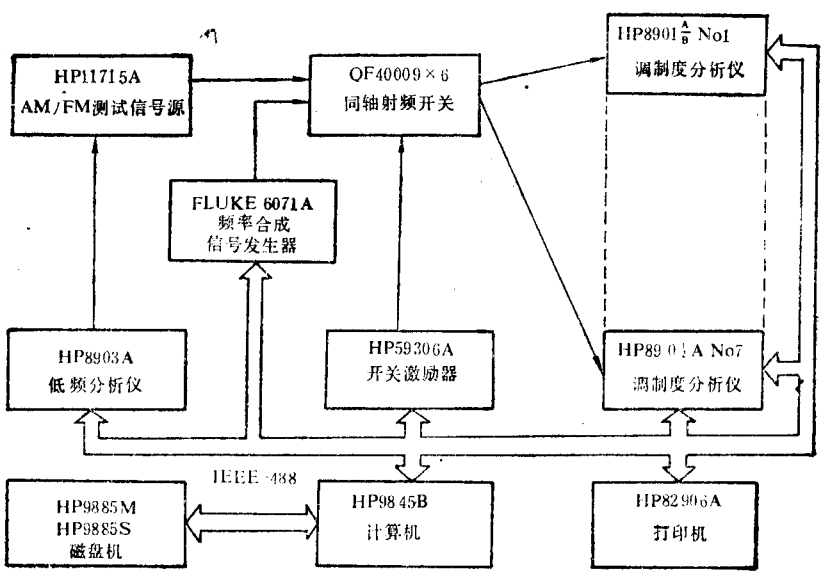


图 23-27

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

为 15kHz，测量限噪后的调幅度为 $m_1=1.03\%$。由此计算变带修正量：

$$\Delta = m_{T1} - m_1 = 1.09\% - 1.03\% = 0.06\%$$

于是得 $f_m = 100\text{kHz}$ 时的实际调幅度为：

$$m_0 = m_T - \Delta = 1.12\% - 0.06\% = 1.06\%$$

修正后，调幅测量的相对准确度提高了约 6%。

10. 调制度自动比对系统

automatic comparison measurement system for modulation

在调制度量值传递系统里，由于缺乏调幅度与频偏的国家标准，不能直接对±1% 准确度的调制分析仪进行检定。为了统一调制度量值，研制了调制度自动比对系统，以解决机电行业调制度标准的相对统一。通过多台调制度分析仪的比对，取其平均值作为调制度参考标准。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 23-27。

（2）测试说明与要求

调制度自动比对系统由四部分组成。

第一部分为调制测试信号源。其作用是提供可程控的、稳定的、低失真的调制测试信号。目前可程控的信号源，其调制特性难于满足高精度调制度比对之需。而调制性能特别优良的

图　23-28

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

调制测试信号源又不能程控。现将可程控的、具有低失真低频输出的低频分析仪 HP8903A 与调制性能优良的调制测试信号源 HP 11715 A 结合，组成了可程控的优质调制测试信号源。并用可程控的频率合成信号发生器 Fluke 6071A 补充其载频的变化。从而满足了自动比对系统对调制测试信号源的要求。

第二部分为可程控的射频开关。它由 QF40009 × 6 同轴射频开关矩阵与 HP59306A 开关激励器组成。其功用是将调制测试信号逐一送入被比对的仪器。

第三部分为被比对的调制度分析仪。由若干台 HP8901A、HP8901B、HP8902A 组成。适当修改程序也可接纳其他型号的调制度分析仪。

第四部分为计算机及其外围设备。包括 HP9845B 计算机、HP 9885M、HP9885 S 磁盘机和 HP 82906 A 打印机。其功能是指挥系统工作，并处理测量数据和打印测量结果。

调制度自动比对系统的主要技术性能如下：

① 比对容量：一次可容纳 2～7 台仪器比对。

② 载波频率范围：200kHz ～ 1000MHz。

③ 调制频率范围：20Hz ～ 100kHz。

④ AM 调制：5%～98%（百分调幅度）。

⑤ FM 调制：1kHz ～ 400kHz（频偏）。

⑥ ϕM 调制：1rad ～ 100rad（相偏）。

⑦ 自动比对系统引入误差：0.1%。

(3) 测试步骤

计算机根据如图 23-28 所示的顺序指挥全过程。

* * *　　* * *

本章技术指标和测试方法中所用的主要测试仪器，汇总列表如下。

表 23-3 主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程偏号
调制分析仪及测试接收机	HP8901A、HP8901B，HP8902A	
AM/FM 测试信号源	HP11715A	
合成信号发生器	Fluke6071A.Fluke6060B,HP8662 HP8663	
标准信号发生器	MG645B QF1076 HP8640B	
低失真低频信号发生器	QF1020 VP7220C,VP725A	
失真度测量仪及低频分析仪	QF4110 BS-2 BS-1 HP8903A	JJG251-81
数字频率计	QF3360 CN3165	JJG349-84
真有效值电压表	Fluke931B	JJG446-86
数字电压表	DT1071	
功率计	HP436A	
射频频谱分析仪	TF2370/2373 HP8568B	JJG501-87
低频频谱分析仪	HP3568 TR4120	
示波器	7020	
倍频器	HP11721A	
同轴射频开关	QF40009	
计算机	HP9845B	
磁盘机	HP9885M、9885S	
打印机	HP82906A	
开关激励器	HP59036A	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第 5 节　调制度量值传递系统

调制度量值传递系统，如图23-29。

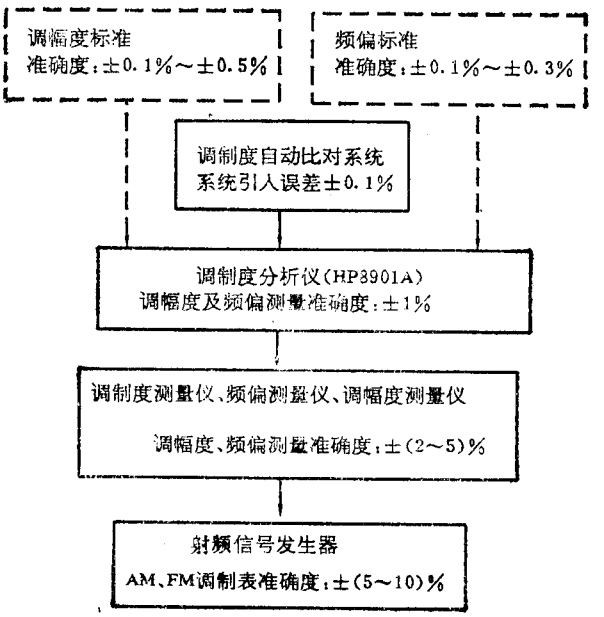


图　23-29

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第24章 低频信号(函数)发生器

第1节 综 述

信号发生器是电子测量仪器中应用范围最广泛的仪器之一。在电子技术领域中，无论是研制、生产、使用或维修各种电子元器件、电路部件及整机设备，其性能特性只有在信号发生器产生的一定的电信号作用时才能显露出来。其应用的广泛性还表现在任何线性四端网络的特性都可以用它对正弦波的响应来表征。可以这样认为，在电子测量技术中，所有的参量的测量，几乎都需借助信号发生器来完成。

低频信号发生器是信号发生器庞大家族中一个非常重要的组成部分，它几乎渗透到所有的电子学实验和测量中。所谓"低频"，是从过去所说"音频"的含义中演化而来的。"音频"一般被认为是从 20 Hz 到 20 kHz 人耳可以听到的声音频率，故早期的低频信号发生器的频率也多半在这个频段附近。但是，随着生产实践和科学技术发展不断提出新的要求，低频信号发生器的设计者们也不断地向低和高的两端拓展着仪器的频率范围。当然，在晶体管和集成电路出现以后，工程师们获得了空前有力的各种技术手段去改进他们的仪器，使今天的低频信号发生器具有了许许多多新的功能和精密的特性，其频段在低频端已与超低频信号发生器相连接，在高频端也深入到高频信号发生器的领地中去了。今天，我们所说的"低频信号发生器"一般是指从 1 Hz 到 1 MHz 频段，波形以正弦波为主，或兼有方波和其他波形的那一部分发生器。

早期出现的电振荡器都是 LC 振荡器，特斯拉（Tesla）和马可尼（Marconi）都曾用火花放电的方法激励出 LC 系统的振荡来。电子管出现以后，阿姆斯特朗（Armstroug）用它来补充 LC 回路中的损耗，才制成了真正的电子 LC 振荡器。为了得到音频电信号，当时只能靠加大电感量和电容量，但是大数值的电感的体积和重量都很可观，并且铁芯的非线性也会引起严重的失真。到了 30 年代，发明了由 RC 构成的电子振荡器，从此低频振荡领域就几乎都被 RC 振荡器所占领。当然在音频领域，主要用做扫频的信号源也使用过由两个 LC 振荡器和一个混频器构成的拍频振荡器。后来以 RC 电路为基础发展起来的函数发生器使低频信号源的园地更加繁茂了。函数发生器的基本构思产生于 50 年代初，到 1962 年美国维夫特克公司（Wavetek）才将它作为低频信号源的商品正式推出。在今天，由于它的功能的多样化和频率调节方式的简单性，使它在许多应用中已挤占了传统桥式或相移式 RC 振荡器的市场。但传统 RC 振荡器也有它不可取代的某些优点，如较低的失真系数和幅度能够做得很稳定。今天，许多高档的低频信号源，正是这种传统 RC 信号发生器的改进型。单回路的 LC 振荡器从低频领域退出以后，在 60 年代初，随着频率合成技术从通信领域被引进到仪器设计中来，LC 电路又以频率合成器的形式进入了低频信号发生器的行列。频率合成器的突出优点是它有极好的频率稳定度和频率精确度，而且其频率覆盖也可以从超低频一直延伸到高频和超高频。在低频频率方面的这种特长使它弥补了其它各种低频信号源频率精度不高的缺点。

20 世纪 80 年代，低频信号源又有了新的发展。传统 RC 振荡器、函数发生器、频率合成器等除了自身的不断发展完善以外，它们在技术上又发生了综合和相互渗透。例如把频率合成技术与

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

传统 RC 振荡器综合起来，出现了既有低失真、高稳幅的特点，同时还得有十分好的频率精度的精密校准源。把频率合成技术与函数发生器综合起来，也出现了既有函数发生器的多功能、多波形，又有高的频率精确度的合成函数发生器。把微机技术引入低频信号源后，又出现了任意波形发生器，它既能产生一般函数发生器所常有的各种波形，又能产生能模拟各种诸如生物的、生理的、振动的、爆炸的等你所想要的任意波形，这为低频信号发生器在电的以及非电的领域中的应用，开辟了一个新天地。微机的应用，还使仪器面板上的各种机械开关可以去掉，使操作变得更简单，而且可以使低频信号源进入整个自动测试系统，在计算机的控制下，实现各种电的和非电的参数的自动测量。

我国从 50 年代起开始生产电子管低频信号源，最早还生产过点频信号源。50 年代后期由亚美无线电厂(今上无 26 厂)生产的音讯 1 甲型和天津电子仪器厂生产的 XFD-6 两种低频信号发生器有相当大的普及率。60 年代中期由天津电子仪器厂仿制的 XFD-7 低频信号发生器，频率已扩展到 20 Hz 至 200 kHz，并且还带有功率输出，其它指标也都有较大提高，成为当时国内低频信号发生器的佼佼者。同时，天津电子仪器厂开始研制 XFS-11 声频信号发生器，这是国内第一台晶体管信号发生器，频率范围从 20 Hz 到 50 kHz，失真指标可达 0.05%，后由天津红光无线电厂(天津无线电一厂的前身) 改进并于 1968 年投入生产。两年后，XD 1 低频信号发生器在红光无线电厂问世了，这是一台自行设计的带有功率输出的宽频带的晶体管信号发生器，它第一次将低频信号发生器的频率范围扩展到 1 Hz 到 1 MHz。在此基础上又设计了 XD 2 低频信号发生器。在 70 和 80 年代，这两种产品在国内都有相当高的市场占有率。80 年代初，宁波东风无线电厂仿制的 X O10 精密信号发生器和天津无线电一厂研制的 HG1020 (QX-1) 信号发生器是两种在频响、失真、幅度稳定度等方面达到较高水平的有代表性的低频信号源。

函数发生器的研制在我国始于 70 年代中期，如宁波东风无线电厂的 XO 17 型函数发生器和阜阳无线电厂的 XD 11 型多用信号发生器都是早期的产品。进入 80 年代以后，函数发生器的品种有了迅速的增加，质量也有较大的提高。同时内含微处理器的任意波形发生器和交流校准源等中高档的信号源也相继在宁波、上海和成都等地研制出来。

纵观解放以来的四十年中，国内在低频信号源的技术发展上做出较大贡献的先后有上海无线电二十六厂、天津电子仪器厂、天津无线电一厂、宁波东风无线电厂、北京无线电二厂以及北京长城无线电厂等。

下面将各种类型的低频信号发生器的现状与发展趋势分别介绍如下：

(一) 通用 RC 振荡器

这主要指用 RC 选频网络与放大电路、稳幅电路组成的 RC 振荡器。选频网络的种类很多，但现在最常用的有文氏电桥和相移网络。也有用双 T 桥和桥 T 网络的，但因元件较多，更换频率时所用开关太多，目前用得不多了。从晶体管尤其是集成运放大量应用后，放大电路可以做到很小的体积，却有较大的带宽和相当好的失真度，因此像双积分振荡器、全通相移网络这样性能更优越的电路也被研制出来了。目前在音频段附近的失真度最好可达到十万分之一，带宽可从 0.001 Hz 至 1 MHz 或更高，频响误差可达 0.01 dB 或更低。稳幅电路在 RC 振荡器里的作用越来越突出。早期的产品仅用一个钨丝泡或半导体热敏电阻就实现了稳幅，但其温度稳定性和时间稳定性都很有限。由于这种热敏元件的热惯性是固定的，对太低和太高的频率其时间常数都不能满

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

足，再加上它也不能实现快速稳幅，于是进入70年代以后，许多新的稳幅原理被研究出来，从而可以同时实现很宽的频带、极好的幅度稳定性、极好的频响和快速稳幅特性。今后稳幅电路仍是通用 RC 振荡器研制中的重要内容，目前在要求较高的 RC 信号源中比较普遍采用的"双环路制"，既可同时满足高的稳幅精度，又可实现快速稳幅，还能保证低失真，可以说是稳幅电路的一个发展方向，但电路还嫌复杂，今后随着集成电路的发展将可得到进一步简化。在 RC 振荡器的研制上贡献较大的当推(美) KH 公司，(美) Fluke 公司等。

(二) 函数发生器

前面已经提到，国外从60年代，国内从70年代中期以来，函数发生器开始进入低频信号源的市场，并且成为最有生气，发展最快的一个分支。从原理上说，它与传统的桥式或相移式 RC 振荡器大不相同。它没有什么选频网络，而是用一个积分器对一个直流电压积分，再通过比较器等逻辑电路形成三角波和方波。三角波通过函数变换电路整形成为正弦波。这里三角波是最基本的，只要改变直流电压，引起积分斜率改变，三角波的频率就改变。因此从原理上讲，它一下就至少能产生三种波形，而且改变频率只用一只电位器就行了。同时频率覆盖很宽，一个量程就可覆盖 10^3 以上，一台仪器频率覆盖达 10^{12} 或更高也能做到。它还可同时实现门控、触发单次信号、扫频，甚至是调频、调幅、调相等过去在高频信号发生器中才能达到的功能。进入80年代以来，一些高档函数发生器几乎都增加了微处理器和 IEEE-488 接口功能，可实现程控，也可存储波形程序。频率上限最高可达 50 MHz，下限可达 1 μHz (10^{-6}Hz)。有的还引入频率合成技术，使其频率精度达到 10^{-5} 以上，这就克服了一般函数发生器频率不易做得精确的缺点。波形也更加丰富了，除三种基本波形外，还可产生阶梯波、锯齿波、梯形波、脉冲波，并可改变波形对称性，起/停时间和上升/下降时间等。像(美) Wavetek 公司、HP 公司等都是著名的生产厂家。今后，随着集成电路的改进，函数发生器将做得体积更小、更轻、更耐用，同时具有更强的功能，自动化程度更高，其应用也将深入到许许多多不同学科的工程测试系统中去。

(三) 频率合成器

频率合成器是从一个基准频率用算术方法综合出所有的输出信号的仪器。因此，其输出的所有频率都具有基准频率(晶振)的准确度。和 RC 振荡器相比，这是突出的优点。早期的频率合成器存在的主要缺点是频谱纯度不高，仅达 20～30 dB，而且与一般振荡器相比，其波形主要缺陷除谐波外，还有位于信号频率附近的旁频，这些在近年来已得到很好的克服，如 HP3326A 频谱纯度已可达到－80 dB。频率范围最宽的可从 1 μHz 到几十 MHz。有的还可以同时输出正弦波、方波、三角波、锯齿波，并可做宽带扫频，从而具有了函数发生器的功能。并且随着微处理器在仪器中的普及，带 IEEE-488 接口的频率合成器还可以在接受程控的同时，具有快速变换频率的能力(如在几十微秒内)，这在许多自动测试系统中又有着特殊的用处。另外在诸如频率响应、幅度精度和衰减精度等方面，频率合成器都可以有相当好的指标。因此从总体看，频率合成器在低频信号源的范畴内也是一个相当优秀的成员。

(四) 特殊类型的低频信号源

(1) 双相信号发生器

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在有一类型的低频信号发生器中，可同时输出两个相互间有 90° 相移的信号，如双积分型振荡器和全通相移网络型振荡器等都要这种功能，它们在整个频率覆盖范围内都能同时输出一个正信号和一个正交信号，且相移误差可达 ±1° 以内，这在某些特殊应用中是难得的。比如可以从这两个信号出发再去合成一个相位在 0° 至 90°，或 0° 至 360° 间连续变化的信号。

还有一类就是专门用于产生两个不同相位输出的双相信号发生器，这两个信号间的相位差可以在 0° 至 360° 之间精确设定，且其幅相误差很小。它可以用来检测或校准相位计，也可用来做与相位有关的测量工作，如测量一个系统的相频特性。为了使相位的精确度得到保证，这类信号源有的是用数字技术合成产生正弦信号的。这样，只要脉冲信号间的时间关系足够准确，就可以保证相位精度。作为相位标准用的这类双相信号源，在音频频段的相位准确度最好可达 0.01° 或更高，如中国计量院设计的 YWY 4109 型相位标准。而用模拟方法实现相移的，其相位精确度则在 1° 到 2° 左右，如宁波东风无线电厂生产的 BX 29 双相信号发生器。美国 HP 公司近几年推出的 3326 A 双通道频率合成器，既是一台频率合成器，又是函数发生器，还是一台双相信号发生器，其相位精度最高可达 0.2°。

(2) 交流电压校准源

如果说双相信号发生器是以其信号的相位差为其主要特征的话，那么交流电压校准源则是以其信号的交流电压值为主要特征。它不但能输出很稳定的交流有效值，而且其值有很高的精确度。这类专用信号源主要用于计量交流电压表或数字多用表，它最早出现于 60 年代，是经通用 RC 正弦信号发生器改进而来的。其频段一般包括了从 10 Hz 到 100 kHz 的一段，有的上限可达 1 MHz，其电压范围可从 mV 开始，上限可达 100 V 或 1 kV。其输出信号的电压和频率一般可连续设置(也有某些型号的频率为几个点频)，对信号失真度的要求也很高。较高档的产品都有程控功能有的还包括一个电流源。这种产品的出现，给过去使用一直很繁琐的低频电压计量带来了极大的方便。目前最高档的产品的电压计量精度已可达万分之一以上。国外比较著名的厂家有美国的 Fluke 公司和英国的 Datron 公司，国内的天津无线电一厂和上海电工仪表研究所、北京无线电技术研究所都研制了这类产品。

此外，在低频信号源中，以精确的频率为主要特征的频率合成器和以多种波形为主要特征的函数发生器也可算作有特殊性的种类，前面已介绍过，就不再专门叙述了。

国内外低频信号(函数)发生器典型产品的主要技术指标，分类对比列表如表 24-1。

第2节　分　　类

按原理及用途不同，可将低频信号发生器分成四大类。但从近年技术的发展看，不同原理的仪器之间有明显的相互渗透、相互交叉的趋势，以求得技术上的互补，使性能更加完善，因此这种分类只是大致的，供读者参考。

(1) 通用 RC 振荡器——文氏桥振荡器，相移网络振荡器，双 T 桥振荡器，双积分振荡器，全通网络振荡器等。

(2) 函数发生器——通用函数发生器，频率合成函数发生器，任意波形发生器等。

(3) 频率合成器——通用频率合成器，频率合成函数发生器，双相双音频率合成器等。

(4) 拍频振荡器

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(5) 特种信号发生器——双相信号发生器，交流电压校准源，交流电流校准源，三相工频稳定电源，单相工频稳定电压电流源等。

表 24-1 低频信号(函数)发生器典型产品性能对比

门类	产品厂家	国外代表产品	国内代表产品
通用RC信号发生器	频率覆盖	10Hz～10MHz (美) KH4300A 型 0.001Hz～110kHz (美) KH4024 型	0.1Hz～1MHz HG1030 型 0.001Hz～110kHz HG1010 型
	失 真	0.001% (美) KH 超低失真信号发生器	0.003% ZN1030 型
	幅度稳定度	0.01%/小时 (美) KH4024	0.01%/小时 HG1010 型
	其他功能	具有快速稳幅特性 0°,90°双相输出 (美) KH4024 型	具有快速稳幅特性 0°,90°双相输出 HG1010 型
函数发生器	频率覆盖	1μHz～50MHz (美) Wavetek 178 型	0.005Hz～40MHz EE1631 型
	波形种类	正弦、三角、锯齿、方波、半三角、半锯齿、调幅波、直流等 (美) Wavetek 178 型	正弦波，三角，锯齿，方波，脉冲波，调幅，调频，TTL 脉冲 EE 1631 型
	功 能	连续线性和对数扫频，频率标志输出，相位调制，门控，触发，半波触发等，(美) Wavetek 178 型	连续扫描(对数，线性)，连续输出，触发，半波触发，门控 EE 1631 型
频率合成器	频率覆盖	DC～21MHz (美) HP3325A 型 200Hz～80MHz (美) HP3335A 型	0.1Hz～50MHz PO-17 型
	失真及非谐波含量	频谱纯度(谐波加噪声)优于－66dBc (美) HP8904A 型	频谱纯度＜－45dB DF 1412 型
	频率精度	5×10^{-10}/天 (美) HP3335A 型	5×10^{-9}/天 PO-17 型
交流校准源	频率范围	10Hz～1MHz (英) Datron 4708 型	10Hz～100kHz YS 66 型
	电压范围	1mV～1000V (英) Datron 4708 型	0～1000V YS66 型
	幅度精度(典型值)	0.003% (英) Datron 4708 型	0.04% YS66 型

第 3 节 低频信号发生器技术指标汇总表

低频信号发生器技术指标汇总表如表 24-2。

由于低频信号发生器门类内容十分丰富，而且有的领域目前正迅速发展，这里所列技术指标是低频信号发生器的基本指标。对有一些信号源，像函数发生器类和某些频率合成器类产品，其频段跨越可能从超低频直至高频，在一个具体产品中可能规定了超低频或高频信号发生器的有关技术指标，为了不与这部分内容重复，这里就略去了，请读者参阅有关章节。还有的技术指标，如锯齿波和三角波的线性度，目前尚未找到一个在全部低频段适用的简便测法，故只列出条目，测试方法暂缺。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 24-2　低频信号发生器技术指标汇总表

序　号	技 术 指 标	通用 RC 振荡器	函　数 发生器	频　率 合成器	拍　频 振荡器	特种信号 发生器
1	频率的有效范围	●	●	●	●	●
2	频段划分与频段重叠	●	●	●	●	●
3	输出信号频率误差	●	●	●	●	●
4	频率短期稳定度	●	●	●	●	●
5	频率长期稳定度	●	●	●	●	●
6	温度引起的频率变动量	●	●	●	●	●
7	电源引起的频率变动量	●	●	●	●	●
*	(输出幅度引起的频率变动量)	●	●	●	●	●
8	负载引起的频率变动量	●	●	●	●	●
9	内部基准频率的误差			●		
10	内部基准频率的老化率			●		
11	同步(锁相)频率范围	●				
12	同步(锁相)所需的外加电压范围	●				
13	同步(锁相)捕捉频率范围	●				
14	频率转换时间额定值			●		●
15	输出幅度有效范围	●	●	●	●	●
16	最大幅度误差(或机内电压表误差)	●	●	●	●	●
17	衰减器特性	●	●	●	●	●
18	输出幅度的短期稳定度	●	●	●	●	●
19	输出幅度的长期稳定度	●	●	●	●	●
20	温度引起的输出幅度变动量	●	●	●	●	●
21	电源引起的输出幅度变动量	●	●	●	●	●
22	频率引起的输出幅度变动量	●	●	●	●	●
23	正弦信号总失真系数	●	●	●	●	●
24	三角波或锯齿波的线性度		●			
25	额定负载阻抗	●	●	●	●	●
26	源阻抗和输出阻抗	●	●	●	●	●
27	不需要的直流分量	●	●	●	●	●
28	相位噪声			●		
29	方波输出幅度的有效范围	●	●			
30	方波输出的占空系数	●	●			
31	脉冲波形失真	●	●			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序 号	技 术 指 标	通用 RC 振荡器	函 数 发生器	频 率 合成器	拍 频 振荡器	特种信号 发生器
32	输出接头型式	●	●	●	●	●
33	使用电源	●	●	●	●	●
34	视在功率	●	●	●	●	●
35	过载保护	●	●	●	●	●
36	双相信号源的相位误差	●				●
37	单次触发特性		●			
38	门控特性		●			

第 4 节 技术指标及测试方法

1. 频率有效范围

effective frequency range

发生器所产生的信号频率范围，该范围既可连续也可由若干频段或一系列离散频率来覆盖，在此范围内发生器应满足全部误差要求。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 24-1。

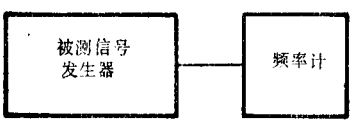


图 24-1

(2) 测试步骤

在被测信号发生器的输出端分别测出各频率段的最低频率和最高频率或各个离散频率，其总和应满足被测仪器有效频率范围的规定。

2. 频段划分与频段重叠

frequency band and band over lap

频段即频率范围的一部分，其频率可连续或步进调节。为保证有效频率范围连续，两相邻频段间相互衔接的公共部分叫频段重叠。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 24-1。

(2) 测试步骤 同指标 1 "频率有效范围"。每个频段的最高和最低频率（或点频数）以及频段间搭接的公共部分应满足被测发生器的技术条件。

3. 输出信号频率误差

frequency error of output signal

(1) 频率的工作误差：频率的预调值与频率的实际值之间的偏差。

(2) 频率的重调误差：对于用机械度盘指示频率的信号发生器，当从顺时针方向和逆时针方向旋向预定刻度时，实际输出频率不同所带来的误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 24-1。

(2) 测试步骤

① 频率的工作误差：将被测信号发生器的频率调到预调值，用频率计测出这时的实际频率值。频率误差由下式求得：

$$\Delta = \frac{f_0 - f_1}{f_1} \times 100\%$$

式中 f_0——被测信号发生器的频率预调值；

f_1——用频率计测出的实际频率值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 频率的重调误差

将频率调节控制装置从顺时针方向至少三次逼近预调值位置，用频率计测出各次所得频率值，并取其平均值。再用同样方法从反时针方向进行，求得其平均值。重调误差由下式求得：

$$\delta = \frac{1}{2} \cdot \frac{f_1 - f_2}{f_0} \times 100\%$$

式中　f_0——被测信号发生器频率的预调值；

f_1——从顺时针方向逼近 f_0 的实际平均频率；

f_2——从反时针方向逼近 f_0 的实际平均频率。

4. 频率短期稳定度

sort term frequency stability

信号发生器经过规定的预热时间后，信号频率在任意 15 分钟内所发生的最大频率变化。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 24-1。

(2) 测试步骤

适当选择频率计的闸门时间，每隔 1 分钟测一次频率(或周期)，连续测试 1 小时，绘出频率随时间的变化曲线，找出任意 15 分钟时间间隔内频率变化最大值如图 24-2 所示。

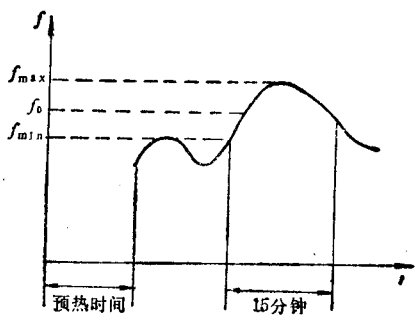


图　24-2

频率稳定度由下式求得：

$$\delta = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_0} \times 100\%$$

式中　f_0——频率预调值；

$(f_{max} - f_{min})$——频率在任何 15 分钟内的最大变化量。

5. 频率长期稳定度

long term frequency stability

信号发生器经过规定的预热时间后，信号频率在任意 3 小时内产生的最大频率变化，该变化表示为：预调频率的 $x \cdot 10^{-6} + y$Hz，其中 x、y 值由制造厂规定。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 24-1。

(2) 测试步骤

适当选择频率计闸门时间，每隔 10 分钟测一次频率(或周期)，连续测试 4 小时，绘出频率随时间变化曲线，找出任意 3 小时时间间隔内频率变化的最大值，如图 24-3 所示。

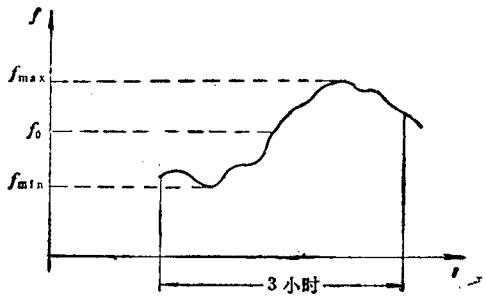


图　24-3

频率稳定度由下式求得

$$\delta = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_0} \times 100\%$$

式中　f_0——频率预调值；

$(f_{max} - f_{min})$——频率在任何 3 小时内的最大变化量。

6. 温度引起的频率变动量

varying value of frequency caused by temperature

环境温度每变化 1℃ 所产生的相对频率变化，该变化可表示为：预置频率的 $x \cdot 10^{-6}$/℃，其中 x 由制造厂规定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：

（1）测试方框图，见图 24-4。

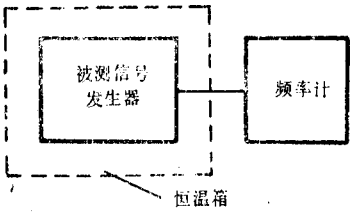


图 24-4

（2）测试步骤

将被测信号发生器放入恒温箱内，在正常情况下经预热后预调信号发生器的频率。将恒温箱温度按一定间隔（一般为 10℃）改变，经热平衡后测得这时的频率。频率的温度影响系数为：

$$\Delta = \frac{(f_1 - f_0) \cdot 10^6}{f_0 \cdot \Delta t} \times 10^{-6}/℃$$

式中 f_0——被测信号发生器频率预调值；

f_1——改变一定温度间隔后测得的频率。

当温度对频率的影响不为线性关系时，应在整个额定使用范围内按适当的温度间隔测试，以测出影响量的最大值。

7. 电源引起的频率变动量

varying value of frequency caused by power

供电电源电压变化±10%所产生的相对频率变化，该变化表示为：预调信号频率的 $x \cdot 10^{-6}$，其中 x 为制造厂规定的值。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 24-5。

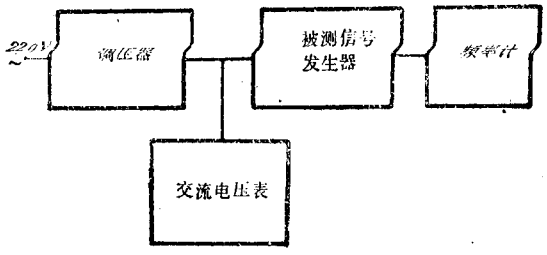


图 24-5

（2）测试步骤

在基准条件下测得频率 f_0，将电源电压从 220 V 分别调到 242 V（或 198 V），在第一分钟内测出与 f_0 相差最大的频率 f_1'（或 f_1''），随后再测出 15 分钟后的频率 f_2'（或 f_2''）。电源电压引起的频率变动量由下式求得：

第 1 分钟内：

$$\Delta = \frac{(f_1 - f_0) \cdot 10^6}{f_0} \times 10^{-6}$$

式中 f_1——f_1' 或 f_1'' 与 f_0 之差较大者

第 15 分钟后：

$$\Delta = \frac{(f_2 - f_0) \cdot 10^6}{f_0} \times 10^{-6}$$

式中 f_2——f_2' 或 f_2'' 与 f_0 之差较大者。

8. 负载引起的频率变动量

varying value of frequency caused by laod

负载阻抗从开路变到额定负载阻抗所引起的相对频率变化，该变化表示为预调频率的 $x \cdot 10^{-6}$，其中 x 为制造厂规定的值。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 24-6。

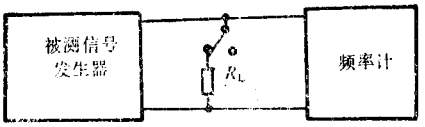


图 24-6

（2）测试步骤

在基准条件下被测信号发生器预热后，置于有效频率范围内的任意频率点（至少应包括有效频率范围的最低及最高端），用频率计分别测出空载和满载（R_L 为额定负载）时的频率。负载阻抗引起的频率变动量由下式求得：

$$\Delta = \frac{(f_2 - f_1) \cdot 10^6}{f_1} \times 10^{-6}$$

式中 f_1——被测信号发生器空载时测出的频率；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

f_2——被测信号发生器加接额定负载R_L时测出的同一点频率。

9. 内部基准频率的误差

error of inner reference frequency

内部基准振荡器频率的标称值与测得的约定真值之间的误差，它表示为：

$$\pm\frac{(f_0-f_1)\cdot 10^y}{f_1}\cdot 10^{-y}\pm z\text{Hz}$$

式中　f_0为标称值，f_1各测得的约定真值。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 24-7。

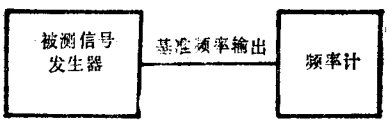


图　24-7

(2) 测试步骤

被测信号发生器预热后，用频率计测得其基准频率的读数，基准频率的误差可按上式计算。其中 y 值可取 3，6 或 9。

10. 内部基准频率的老化率

ageing rate of inner reference frequency

基准振荡器连续工作 m 小时（或 m 天或 m 月）以后，基准频率变化小于 $x\cdot 10^{-y}$/天。其中 x 为制造厂规定值，y 为制造厂规定的整数值。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 24-8。

(2) 测试步骤

内部基准振荡器经过由产品标准规定的预热时间后，开始测量日老化率。采样时间大于 10 秒，采样周期 $T=12$ 小时(即每日测量的次数 $n=2$)，连续测量 7 天，共得 15 个数据(取样数 $N=15$)。

日老化率用最小二乘法计算，其基本公式

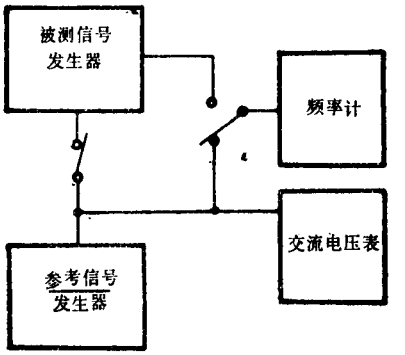


图　24-8

为：

$$K=\frac{n\sum_{i=1}^{n}(f_i-\bar{f}_i)(t_i-\bar{t}_i)}{mf_0\sum_{i=1}^{N}(t_i-\bar{t}_i)^2}$$

即：

$$K=\frac{2\sum_{i=1}^{15}(f_i-\bar{f}_i)(t_i-\bar{t}_i)}{mf_0\sum_{i=1}^{15}(t_i-\bar{t}_i)^2}\Big/d$$

式中　t_i——取样时序，用自然数列表示；

E_i——$\frac{1}{15}\sum_{i=1}^{15}t_i$；

f_i——t_i 时刻测得的振荡器的频率值；

$\bar{f}_i$——$\frac{1}{15}\sum_{i=1}^{15}f_i$；

f_0——晶体振荡器输出的标称频率；

m——倍频器倍频次数。

注：一般情况下该测试方法可只对晶体振荡器本身进行测试。

11. 同步(锁相)频率范围

synchronous (phase lock) frequency range

同步和锁相是在参考信号和信号发生器之间建立起相位锁定关系的一种方法。同步是指锁定后仅保持同频关系，锁相则对两信号间相位差有一定要求。同步(锁相)频率范围是指在额定外加同步信号电压下，被测信号发生器能

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

实现同步(锁相)功能的频率范围。

测试方法:

(1) 测试方框图,同图 24-8。

(2) 测试步骤

① 在基准条件下,被测信号发生器预热后,与频率计接通,将被测信号发生器置于同步(锁相)范围的某一点,测出其频率为 f_0。

② 参考信号发生器接至被测信号发生器外同步输入端,并选择近于 f_0 的频率。

③ 在外同步电压额定值范围附近,从大至小调节参考信号发生器输出电平,使被测信号发生器刚刚能保持同步状态,此时从电压表所测得的为保持同步所需的最小外同步电压。

④ 参考信号发生器的频率为 f_0,输出电压在同步电压额定值范围内,使被测信号发生器频率偏离 f_0,并分别从高和低的两个方向向 f_0 移动,当刚刚达到同步时断开外同步信号,从频率计测得被测信号发生器的输出频率。同步(锁相)频率捕捉范围按下式计算:

$$\Delta = \frac{1}{2} \cdot \frac{f_H - f_L}{f_0} \times 100\%$$

式中 f_0——外同步信号频率;

f_L——被测信号发生器从低处向 f_0 方向移动时的同步频率;

f_H——被测信号发生器从高处向 f_0 方向移动时的同步频率。

⑤ 在外同步电压为额定值,并使参考信号频率与被测信号频率之差处于捕捉频率范围的条件下,使被测信号发生器和参考信号发生器的频率同时向同步(锁相)频率范围的低端移动,并测出满足上述条件并实现同步的被测信号发生器的最低频率 f_1。同样做法测出其最高频率 f_2。同步(锁相)的频率范围为 f_1 至 f_2。

12. 同步(锁相)所需的外加电压范围

outside reference voltage range for synchronizing (phase locking)

对可外同步的信号发生器,在捕捉频率范围内,为达到同步状态所需的外加参考信号的电压范围。

测试方法:

(1) 测试方框图,同图 24-8。

(2) 测试步骤 同指标 11"同步(锁相)频率范围"中测试步骤的①、②、③三项。

13. 同步(锁相)捕捉频率范围

hold-in frenquency range for synchronizing (phase lock)

对可外同步的信号发生器,当外部参考信号的电压在同步电压额定值范围内,在参考信号频率 f_0 作用下,被测信号发生器的频率可与参考信号 f_0 实现同步的频率范围。它表示为与频率 f_0 之比的百分数。

测试方法:

(1) 测试方框图,同图 24-8。

(2) 测试步骤 同指标 11"同步(锁相)频率范围"中测试步骤的①、②、④。

14. 频率转换时间额定值

rated frequency switching time

频率开始变化与频率达到终值并保持在容许偏差范围内的时间间隔。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 24-9。

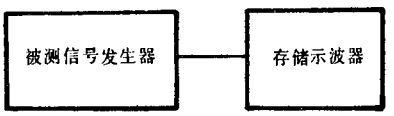


图 24-9

(2) 测试步骤

① 被测信号发生器输出电平置于最大额定值。

② 调节信号发生器输出频率为 f_1,并调整示波器能清晰显示 f_1 的波形。

③ 将信号发生器输出频率更换到 f_2,在示波器上观察,当 f_2 波形稳定后,从示波器上读

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

出由 f_1 变到 f_2 中间过渡时间即为信号发生器频率转换时间。

注：为在示波器上同时清楚地看到 f_1 和 f_2 的波形，f_1 与 f_2 的差应选择适当。

15. 输出幅度有效范围

effective output amplitude range

由产品标准规定的信号发生器的最大输出电压和最大输出功率（包括对额定负载阻抗提供的最大电压或最大电流）及其衰减范围所得到输出幅度的有效范围。(输出幅度可用电压或分贝表示。当用分贝表示时，应注明零分贝的定义，推荐采用 dBm 或 dBv 两种表示方法。)

测试方法：

见指标 16“最大幅度误差”和指标 17“衰减器特性”的相应测试方法。

16. 最大幅度误差(机内电压表误差)

maximum output amplitude error (inner voltmeter error)

信号发生器额定的最大输出电压(或功率)与实测值之间的误差。表示为最大幅度的 $\pm x$dB 或 $\pm x\%$。当机内带有电压表用以指示未经衰减的输出幅度时，电压表的误差可表示为电压表满量程的 $\pm x$dB 或 $\pm y\%$。当信号发生器具有辅助信号输出时，也适用上述定义(上述 x 和 y 值均由制造厂规定)。

测试方法：

(1) 测试方框图

图 24-10 的电路用于输出电压的测试，图 24-11 的电路用于输出功率的测试。

(2) 测试步骤

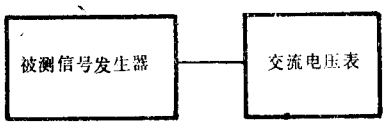


图　24-10

① 额定输出电压误差的测试：按图 24-10 的电路，将被测信号发生器的频率置于产品标准规定的频率点上，调节输出电压控制装置至额定值，从电压表上测得其电压值。最大输出电压的相对误差由下式求得：

$$\Delta = \frac{V_0 - V_1}{V_1} \times 100\%$$

式中　V_0——被测信号发生器产品标准中规定的额定输出电压；

V_1——测得的实际输出电压值。

② 对于用自身电压表指示输出幅度的信号发生器，应按相应产品标准规定的方法和相应的频率点进行电压表误差的测试。

③ 额定输出功率的测试，其测试电路见图 24-11。

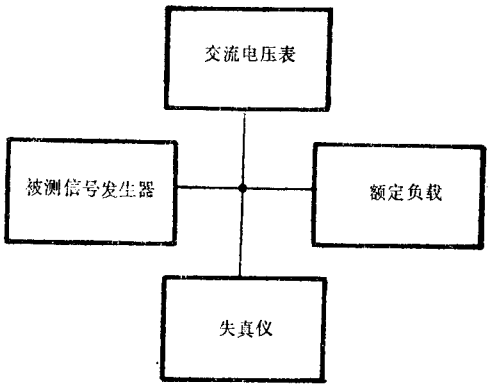


图　24-11

对具有各种不同负载阻抗的被测功率信号发生器，在其输出端接上相应的额定负载 R_L，把频率置于产品标准规定的频率点上，调节被测信号发生器的功率输出，由小逐渐增大，用失真仪监视其波形失真不超过产品标准规定的失真值，从电压表上测得此时负载两端的输出电压。其不失真最大输出功率按下式计算：

$$P = \frac{V^2}{R_L}$$

式中　V——测得的输出电压值；

R_L——额定负载。

P 值应等于或大于产品标准规定的额定输出功率。此时最大输出电流按下式计算：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$I = \frac{V}{R_L}$$

17. 衰减器特性

attenuation

任一输出值与产品标准规定的参考电平之比，用分贝或电压(功率)的比值表示。

衰减器特性的三个具体指标是：

衰减有效范围——包括衰减的步进数，每步衰减量的大小及总衰减量。

衰减器的工作误差——衰减器在任意组合下的误差，该误差在用分贝表示时为±(以 dB 表示的衰减量的 $x\%+y$) dB 或 $\pm z$dB，该误差在用电压表示时为±(输出电压指示值的 $x\%+y$) V。其中 x, y, z 为制造厂规定值。

频率引起的衰减变动量——可在产品标准中给出，表示方法同上。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 24-10 及图 24-12。

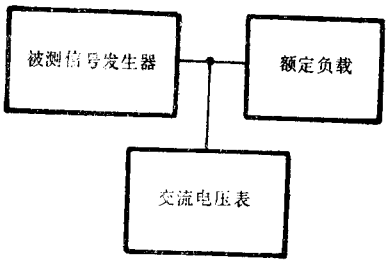


图 24-12

(2) 测试步骤

① 电压衰减器的衰减误差，参照图24-10。

被测信号发生器，在其产品标准规定的衰减器工作频率范围内，选取适当密度的频率点进行测试。调节被测信号发生器在近于最大输出电压处测得分贝值。被测信号发生器按面板刻度每增加一步衰减，可从电压表相应量程上读得衰减后的分贝值。电压衰减器的衰减误差由下式求得：

$$\Delta = (A_0 - A_1)\text{dB} - A\text{dB}$$

式中 A_0——被测信号发生器在近于最大输出电压处测得的分贝值；

A_1——被测信号发生器按面板刻度每增加一步衰减，从电压表相应量程上测得的衰减后分贝值；

A——从被测信号发生器面板上读得的衰减量的分贝值。

注：测试时，整个系统应保证可靠连接，并保证有良好的屏蔽接地

② 功率衰减器的衰减误差

测试方框图见图 24-12。被测信号发生器在其产品标准规定的衰减器工作频率范围内的低频段、中频段及高频段选取适当密度的频率点进行测试。对具有不同额定负载阻抗的被测信号发生器，在其输出端按产品标准规定加接相应的额定负载 R_L。调节被测信号发生器的输出，在近于最大输出功率处测得分贝值。被测信号发生器按面板刻度每增加一步衰减，可从电压表相应量程测得衰减后的分贝值。

功率衰减器的衰减误差由下式求得：

$$\Delta = (A_2 - A_2')\text{dB} - A\text{dB}$$

式中 A_2——被测信号发生器在近于最大输出功率处测得的分贝值；

A_2'——被测信号发生器每增加一步衰减后，从电压表相应量程上测得的分贝值；

A——从被测信号发生器面板上读得的衰减量的分贝值。

输出电流的衰减误差，应从测试电压表中，分别读出未衰减时的电压值以及每步衰减后的电压值。输出电流的衰减误差由下式求得：

$$\Delta = 20\left(\lg\frac{V}{R_L} - \lg\frac{V'}{R_L}\right)\text{dB} - A\text{dB}$$

式中 A——信号发生器面板上指示的衰减值；

V——未衰减时的电压值；

V'——每步衰减后的电压值。

改变频率引起的衰减变动量可根据上述测量结果算出。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

18. 输出幅度的短期稳定度

short term stability of output amplitude

信号发生器经规定的预热时间后，输出幅度在任意 15 分钟内所产生的最大变化，该变化表示为：预调幅度的 $x\%$ 或 ydB，其中 x，y 为制造厂规定值。

测试方法：

(1) 测试方框图，电压稳定度测量参照图 24-10，电功率稳定度测量参照图 24-12。

(2) 测试步骤

在基准工作条件下，被测信号发生器调至最大额定输出电压(如果测功率的稳定度，则下面的公式应换算成功率)。

短期幅度稳定度：每 1 分钟测一次幅度，连续测量 1 小时，取任意 15 分钟间隔内的最大幅度变化。

长期幅度稳定度：每 15 分钟测一次，连续测量 4 小时，取任意 3 小时间隔内的最大幅度变化。

输出幅度的短期稳定度(或长期稳定度)由下式求得：

$$\Delta = \frac{\Delta V_1\ (\text{或}\ \Delta V_2)}{V_0} \times 100\%$$

式中　V_0——预调电压值（或在功率输出端任一额定负载情况下预调电压值）；

ΔV_1（或 ΔV_2）——任意 15 分钟（或 3 小时)之内测得的电压最大变化量。

19. 输出幅度的长期稳定度

long term stability of output amplitude

信号发生器经规定的预热时间后，输出幅度在任意 3 小时内所产生的最大变化，该变化表示为：预调幅度的 $x\%$ 或 ydB。

测试方法：

(1) 测试方框图，电压稳定度见图 24-10，功率稳定度见图 24-12。

(2) 测试步骤：见指标 19“输出幅度的短期稳定度”测试方法部分。

20. 温度引起的输出幅度变动量

varying value of output amplitude caused by temperature

环境温度每变化 1℃ 所引起的输出幅度变化，该变化表示为 xdB/℃或 yV/℃。其中 x 和 y 为制造厂规定值。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 24-13。

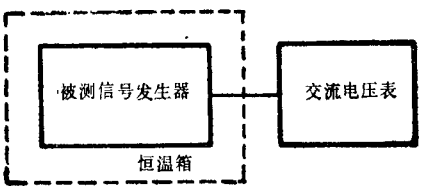


图　24-13

(2) 测试步骤

在基准工作条件下，将被测信号发生器调至最大额定输出电压（或加接额定负载情况下最大额定输出功率)状态下，测出其电压值。

将恒温箱的温度改变（一般幅值为 10℃)，经 2 小时热平衡后，测得这时的输出电压(或在功率输出端额定负载上测得的电压)。温度引起的输出幅度的变动量为：

$$\Delta = \frac{V_1 - V_0}{V_0 \cdot \Delta t} \Big/ ℃$$

式中　V_0——在基准条件下测得的电压值；

Δt——恒温箱温度的变化值；

V_1——恒温箱温度改变 Δt 后所测得的电压值。

若指功率时：

$$\Delta = \frac{V_1^2 - V_0^2}{V_0^2 \cdot \Delta t} \Big/ ℃$$

式中　V_0——在基准条件下测得的电压值；

Δt——恒温箱温度的变化值；

V_1——恒温箱温度改变 Δt 后所测得的电压值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

当温度对输出幅度的影响不为线性关系时，应在整个额定使用温度范围内按适当温度间隔测试，以测出输出幅度变动量的最大值。

21. 电源引起的输出幅度变动量

varying value of output amplitude caused by power

供电电压变化±10%所引起的输出幅度变化。该变化表示为：xdB 或 yV。其中 x，y 为制造厂规定值。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 24-14。

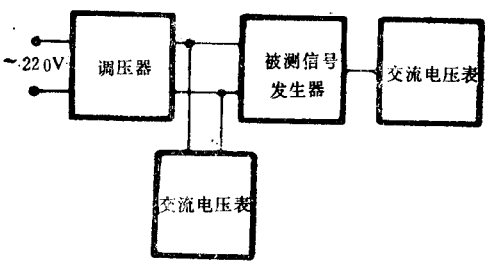


图 24-14

(2) 测试方法

在基准工作条件下，被测信号发生器工作于最大额定输出电压（或加接额定负载情况下的最大输出功率）状态下，测出其输出电压值。然后将电源电压从 220 V 分别调到 242 V（198 V），测出第一分钟内及第 15 分钟后与 220 V 时输出电压值的最大差值。

电源电压变化对输出幅度的影响由下式求得：

在第 1 分钟内

$$\Delta = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \times 100\%$$

式中 V_1——在电源电压为 242 V 和 198 V 时，在 1 分钟内测得的输出电压值与 220 V 时所测电压相差较大者；

V_0——在基准条件下，电源电压为 220V 时测得的电压值。

在 15 分钟后：

$$\Delta = \frac{V_2 - V_0}{V_0} \times 100\%$$

式中 V_2——在电源电压为 242 V 和 198 V 时，在 15 分钟后测得的输出电压值与 220 V 时所测得输出电压值间相差较大者。

22. 频率引起的输出幅度变动量

varying value of output amplitude caused by frequency

全部有效频率范围内各点的幅度相对于基准频率实际幅度的 ±xdB 或 ±y%，其中 x，y 为制造厂规定值。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 24-10。

(2) 测试方法

被测信号发生器工作于中频段的基准频率点（按产品标准规定）。对有额定负载规定的被测信号发生器应接好相应的额定负载，调节其输出，近于最大额定电压值（或用分贝表示）。在被测信号发生器的有效频率范围内改变频率，测出各频段与基准频率点相比偏差最大的电压值（或用分贝表示）。

因频率变化引起的输出幅度变动量由下式求得：

$$\Delta = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100\%$$

式中 V_1——被测信号发生器频率在基准点处测得的电压值；

V_2——当被测信号发生器频率改变后所测得的相差最大的电压值。

或用分贝（dB）表示：

$$\Delta = (A_2 - A_1)\,\text{dB}$$

式中 A_1——被测信号发生器频率在基准处测得的分贝值；

A_2——当被测信号发生器频率改变后所测得的偏差最大点的分贝值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

23. 正弦信号总失真系数

total distortion factor of sine wave

失真的正弦信号中，除去基波含量后，各种电平的有效值与基波电平的有效值之比，以百分比表示。失真的正弦信号包括相对的谐波含量，电源纹波和相对非谐波含量和噪声。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 24-15。

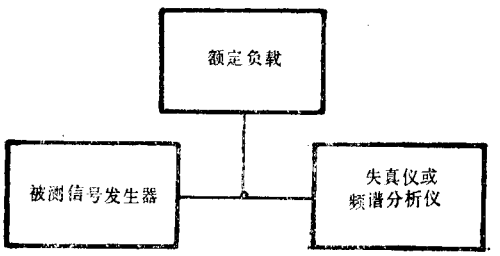


图　24-15

(2) 测试步骤

被测信号发生器的频率分别置于产品标准所规定的相应频率范围内各点，分别测出这些频率点的总失真系数(包括谐波分量，噪声，电源纹波及非谐波相关分量等)。

如果对某些频率点失真仪的测量范围不能满足要求时，可用频谱分析仪测出或换算出各次谐波分量的有效值（所取谐波分量不低于5次)，这时总谐波含量的百分比由下式求得：

$$Y = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 \cdots + V_n^2}}{V_1} \times 100\%$$

式中　V_1——基波分量有效值；

V_2、V_3、$V_4 \cdots V_n$——各项谐波分量的有效值。

注：① 对于测试正弦波输出电压（源电动势）的总失真系数时，额定负载可不接。

② 当测试功率输出的总失真系数时，要接入与产品标准规定对应的各个额定负载。

24. 三角波或锯齿波的线性度

triangle or toothwave linearity

关于三角波或锯齿波的线性度至今未见到一种统一的或权威的说法，至少有两种可能的定义，现叙述如下，供读者参考。第一种定义：如图 24-16 所示，一个理想的锯齿波，其电压与时间关系应完全是线性的，即曲线 a，但实际波形均有偏差，如曲线 b。把在某一时刻理想曲线与实际曲线偏离最大值 ΔV_1 找出(不论其偏离方向)，线性度可如下式所示：

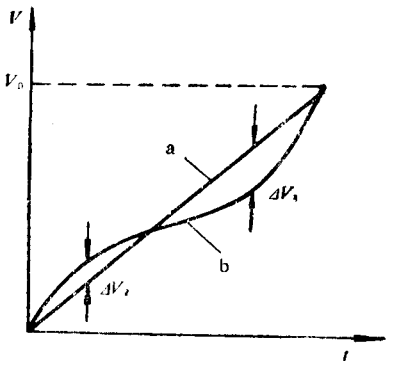


图　26-16

$$\Delta = \frac{\Delta V_1}{V_0} \times 100\%$$

式中　V_0——三角波或锯齿波的满幅值；

ΔV_1——实际曲线与理想曲线的最大偏离值。

第二种定义可由下式表示：

$$\Delta = \frac{\Delta V_1 + \Delta V_2}{V_0} \times 100\%$$

式中　V_0——三角波或锯齿波的满幅值；

ΔV_1——实际曲线与理想曲线负向最大偏离值；

ΔV_2——实际曲线与理想曲线正向最大偏离值。

测试方法：

目前除了用示波器法以外尚未找到一种现成的容易实现的方法去精确地测量三角波或锯齿波的线性，尤其是重复频率高于 1 kHz 的波形。示波器法虽然能测，但其本身的误差较大，有时甚至高于被测信号，故仅供参考。

(1) 测试方框图，见图 24-17。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

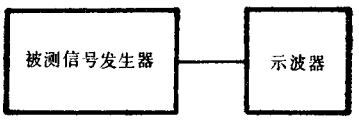


图 24-17

(2) 适当选择示波器时基标度，输入选用直流（DC）耦合，使三角波或锯齿波在示波器上成一稳定易观察之波形，根据图 24-16 所示，用目测读出 V_0，ΔV_1 及 ΔV_2，再用上述两种定义之一进行计算。

25. 额定负载阻抗

rated load impedence

有如下几种定义：

① 信号发生器使用匹配负载时，其负载为源阻抗(或输出阻抗)的额定值；

② 信号发生器在输出高电平无衰减工作时，为得到最大不失真功率规定的负载值；

③ 信号发生器在近于开路状态下使用时，能满足输出误差要求的负载阻抗的最小值；

④ 额定负载阻抗可优选 50，75，200 或 600 Ω。对于以较高负载阻抗为应用对象的低额信号源，其源阻抗可不在此范围内，但必须在产品标准中说明。

26. 源阻抗和输出阻抗

source impedance and output impedance

源阻抗和输出阻抗的定义分别为：

(1) 源阻抗：当源电动势保持在与负载无关的恒定值时信号发生器的内阻抗。

注：① 如图 24-18 所示，信号发生器可以看做与阻抗 Z 串联的一个内电动势(即从 AB 端向左看过去那部分)，它再与阻抗 $Z_{源}$ 串联后接负载 $Z_{外}$。若 AB 间的"源电动势"保持恒定时，电路 AB 端以左的部分可以看做零阻抗(即 $Z=0$)，信号发生器的源阻抗就等于 $Z_{源}$。此时若 $Z_{外}$ 等于额定阻抗，在 PQ 两端出现的就是匹配输出。当然可以设法使 PQ 间的电压在 $Z_{外}$ 改变时保持恒定，则可以等效地认为信号发生器的源阻抗为零（即 $Z_{源}=0$），否则从 PQ 端向内看去输出阻抗仍为 $Z+Z_{源}$。

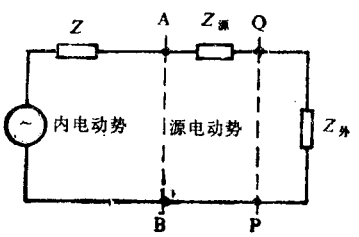


图 24-18

② 在多数情况下，图 24-18 中的 Z 值很小可以忽略。

③ 源电动势无论以手动或自动保持恒定都可以。

(2) 输出阻抗：图 24-17 中从信号源输出端(图 24-18 中的 PQ 端)向左看，呈现的阻抗为($Z+Z_{源}$)。

注：其中源阻抗是主要的，因为它表示的是当信号发生器在向线性负载馈送信号时仪器的阻抗，对于非线性的或调谐负载，Z 的大小会影响由发生器给出的电压。对于这些应用 Z 应尽可能为零。实际上输出阻抗可能大于源阻抗，尤其当发生器输出电路中无衰减时(即在高输出电平时)。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 24-19。

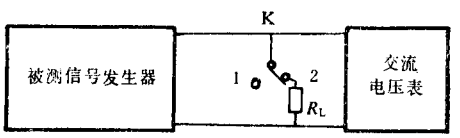


图 24-19

(2) 测试步骤

被测信号发生器置于有效频率范围内任意点，但至少应包括有效频率范围的最低端和最高端。当 K 置于"1"时，测出被测信号发生器的源电动势，当 K 置于"2"时，测出加额定负载 R_L 时的电压。被测信号发生器的输出阻抗由下式求得：

$$Z_0=\left(\frac{E}{V}-1\right)R_L$$

式中 E——被测信号发生器的源电动势；

V——被测信号发生器加额定负载 R_L 时所得的电压值。

注：由于在低频范围的输出阻抗的电抗部分可忽略，这里主要测其源电阻和输出电阻。

27. 不需要的直流分量

unwanted DC component

在信号发生器输出信号中包含的不希望有

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的直流分量，用交直流分量的百分比表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 24-20。

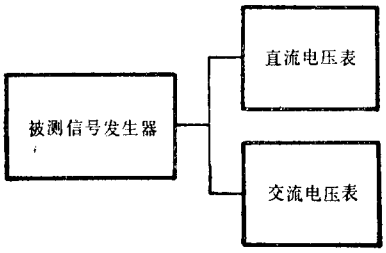


图　24-20

(2) 测试步骤

被测信号发生器工作在最大额定输出状态，用交流电压表测得交流输出电压，用直流电压表测出直流电压。直流分量的相对值由下式求得：

$$直流分量相对值=\frac{V_{DC}}{V_{AC}}\times 100\%$$

式中　V_{AC}——被测信号发生器输出的交流电压；

V_{DC}——被测信号发生器输出端的直流电压。

28. 相位噪声　$L(f)$

phase noise

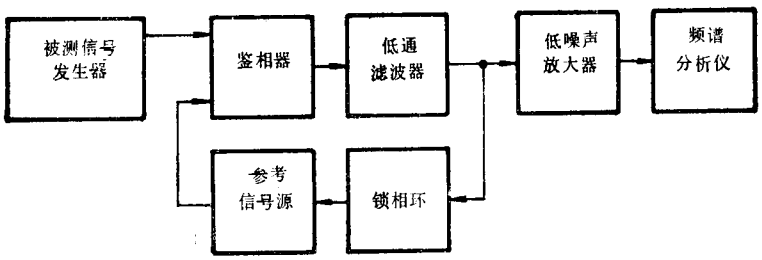
偏离载频某一频率处每赫兹带宽内的功率密度与载频功率之比，即

$$L(f)=\frac{由相位调制引起的单边带功率谱密度}{载频功率}$$

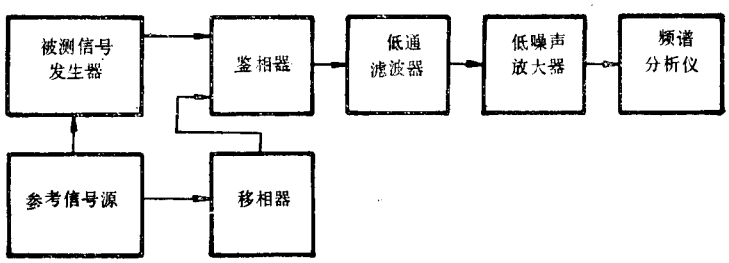
测试方法：

(1) 测试方框图，如图 24-21。一般信号发生器的相位噪声分两种类型：一种称为绝对相位噪声，它包括机内晶振在内的相位噪声，测试方框图，如图 24-21 (a)；另一种称为残余相位噪声，它不包括仪器内部的晶振噪声，测试方框图，如图 24-21 (b)。

(2) 测试步骤：按上面两种方框图获得相位正交信号，经鉴相器低噪声放大器（增益为 A）放大后直接由频谱分析仪测量。则单边带相位噪声由下式求得：



(a)



(b)

图　24-21

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$L(f)=\frac{1}{2(K_d+K_A)^2}\Delta U^2_{rms}(f)|_{1Hz}\ 带宽$$

以 dB 表示时，可得：

$$L(f)=20\lg\Delta U_{rms}(f)|_{BW=1Hz}-20\lg K_a-20\lg K_A-3\ (dBc/Hz)$$

式中 $20\lg\Delta U_{rms}(f)$——直接由频谱分析仪上读得的值（以 1 V 为 0 dB）并按 1 Hz 带宽归一化；

K_A——低噪声放大器的电压增益；

K_d——鉴相器鉴相灵敏度（V/V_{ad}）；

-3——功率谱密度由双边带转化为单边带的修正系数；

BW——测试带宽。

29. 方波输出幅度的有效范围

effective range of square pulse amplitude

方脉冲顶部和底部的代数差即为输出幅度，以电压的峰-峰值表示。仪器能够输出的幅值范围为其幅度的有效范围。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 24-22。

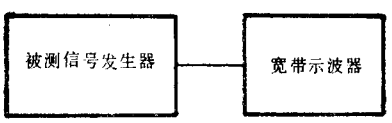


图 24-22

(2) 测试步骤

调节被测信号发生器的脉冲幅度在最大和最小位置处，分别从示波器上读得其脉冲幅度的有效范围。

30. 方波输出的占空系数

duty factor of output square pulse

一个周期性脉冲串中，脉冲波形持续时间与脉冲重复周期之比。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 24-22。

(2) 测试步骤

调节被测信号发生器的脉冲宽度，在最大和最小位置处，分别从示波器上读出脉冲重复周期 T 和脉冲宽度 t，其占空系数为 $\frac{t}{T}\times 100\%$，见图 24-23。

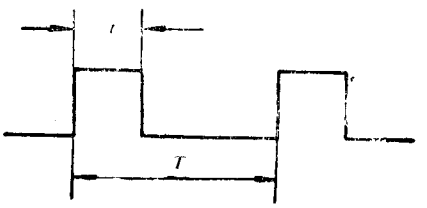


图 24-23

31. 脉冲波形失真

pulse waveform distortion

脉冲波形与一个参考脉冲波形所有的时间上相对应点之间的幅度的代数差，通常用峰-峰波形失真来表示，它具体分成以下三项指标：

① 前(后)过渡时间：矩形脉冲的电压从稳态幅度 A 的 10% 到 90% 所经过的时间间隔，通常以 t_r 表示，如图 24-24 所示：

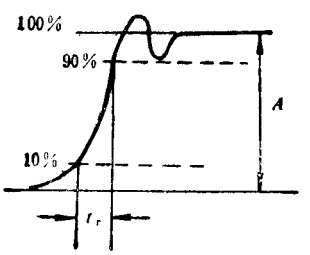


图 24-24

② 前(后)过冲量：过冲量表示为

$$过冲量=\frac{V_2-V_1}{V_1}\times 100\%$$

式中 V_1——脉冲平均高度；

V_2——脉冲峰点高度。

如图 24-25 所示，过冲是指脉冲或方波在前(后)过渡时间内其值超过稳定状态的脉冲幅度。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

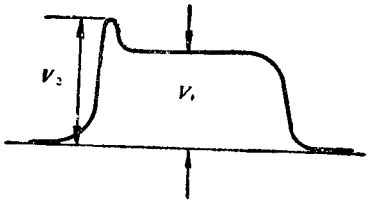


图　24-25

③ 倾斜:指脉冲或方波在顶部或底部的失真，这时整个顶部或底部范围内的总斜率基本上是常数(但不是零)，倾斜可有两种极性。倾斜通常用起始脉冲幅度的百分比来表示，而不考虑过冲或其它失真(参看图 24-26)。

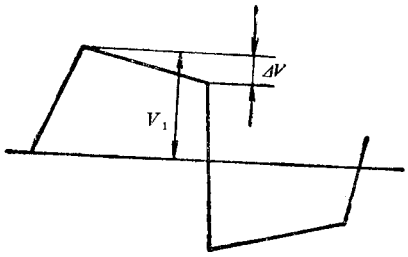


图　24-26

倾斜表示为:

$$倾斜=\frac{\Delta V}{V_1}\times 100\%$$

式中　V_1——脉冲的基本高度;

ΔV——顶部或底部的幅度变化量。

测试方法:

(1) 测试方框图,如图 24-22。

(2) 测试步骤

在被测信号发生器的有效重复频率范围内的任意频率点上，从示波器上读得脉冲前(后)过渡时间和前(后)过冲量。在产品标准规定的频率点上,从示波器上测得脉冲倾斜量。

32. 输出接头型式

type of output connector

信号发生器信号输出接头型式由产品标准给出。

33. 使用电源

description of power supply

应符合 GB 6587.8 的有关规定，并在产品标准中给出电源种类，相应的电压与频率的允许误差。由电池供电的仪器应说明电池的规格和电池保持正常工作的小时数。

测试方法:(电池供电电流)

(1) 测试方框图,如图 24-27。

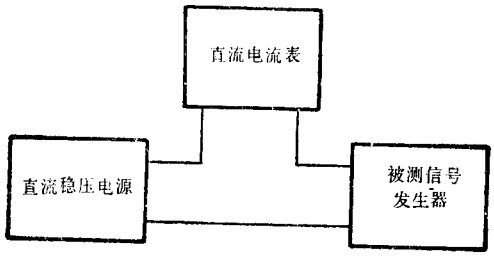


图　24-27

(2) 测试步骤

利用直流稳压电源提供被测信号发生器所需电池电压,串接直流电流表后,接到信号发生器的电池供电端,接通信号发生器,并使被测信号发生器处于最大额定输出状态，此时从电流表上读得电池供电电流值。

34. 视在功率

apparent power

产品标准中应给出在额定条件下工作时的视在功率(单位: V·A)，其误差不超过 ±20%。

注: 允许同时给出视在功率与消耗功率。

测试方法:

(1) 测试方框图,如图 24-28。

(2) 测试步骤

被测信号发生器置于最大额定值工作状态，在供电端用交流电流表和交流电压表分别测出交流电流值和交流电压值。电流的视在功率由下式求得:

$$P=I_{AC}\cdot V_{AC}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中 I_{AC}——测得的交流电流值；

V_{AC}——测得的交流电压值。

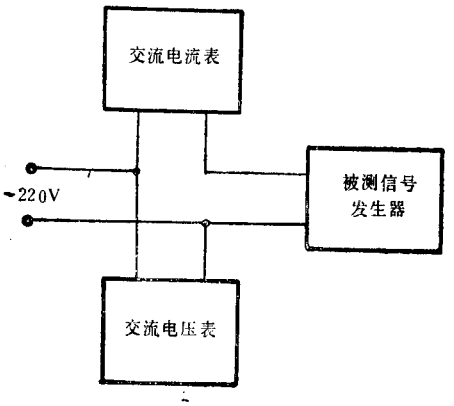


图 24-28

35. 过载保护

over load protection

应在产品标准中给出熔断器，过载继电器，保护热继电器的数值。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 24-29。

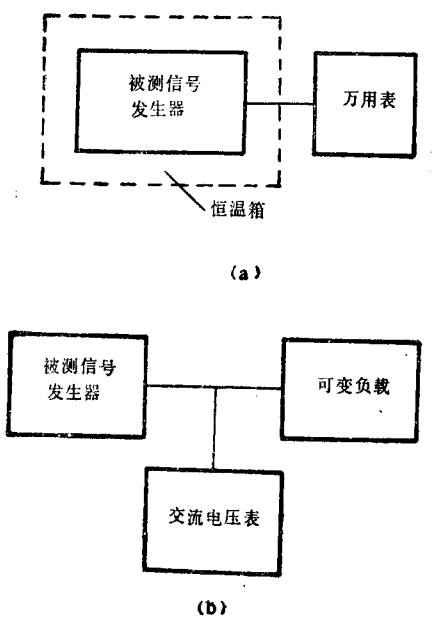


图 24-29

(2) 测试步骤

① 热继电器保护温度的测试，见图 24-29 (a)。

把被测信号发生器置于恒温箱内，不通电，用万用表监视热保护继电器的通断状态，逐渐升高恒温箱的温度，并测出保护动作的临界温度，即为热继电器的保护温度。

② 过载保护电流的测试，见图 24-29 (b)。

在基准条件下，被测信号发生器置于最大额定值附近，在它的输出端加接可变负载电阻，当此电阻由大至小变化测出临界保护时的输出电压值及负载电阻值。过载保护电流为：

$$I_0 = \frac{V_0}{R_L}$$

式中 V_0——被测信号发生器临界保护时的输出电压值；

R_L——被测信号发生器临界保护负载电阻值。

36. 双相信号源的相位误差

在具有两路同频输出的信号源中，两路输出信号间的相位差与预置相位差或给定相位差之间的误差。以“度”为单位。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 24-30。

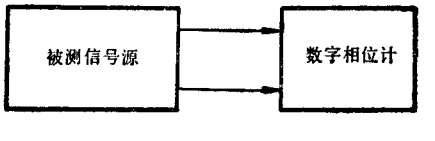


图 24-30

(2) 测试步骤

在产品标准规定的频率范围和幅度范围的任一点上，用数字相位计测量双相信号源两路输出信号之间的相位差。并求出它与双相信号源输出相位的额定值(例如 90°) 或预置值之间的误差。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

37. 单次触发特性

single waveform trigger

从面板上手动触发或在外部触发信号作用下，信号发生器输出单周期波形的能力。对外部触发信号，还应包括触发信号极性、触发电平、输入阻抗、最大触发速率、最小触发脉宽等项指标。

测试方法：

此项指标尚无统一的标准可参考，故从略。

38. 门控特性

gate

在外部门控脉冲作用下，信号发生器在门控脉冲作用期间内输出信号的能力。对门控脉冲还应包括它的极性及幅值范围、输入阻抗等指标。

测试方法：

因此项指标尚无统一标准可参考，故从略。

* * *　　* * *

本章技术指标和测试方法中所用的主要测试仪器，汇总列表如表 24-3。

表 24-3　主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
交流电压表	DA 16 交流毫伏表 931 B 差值电压表 1081 数字繁用表	
失真度测量仪	BS1A 失真仪	
数字频率计	E 312 A 数字频率计	
直流电压表	SK-6221 数字多用表 ($3^1/_2$ 位)	
宽带示波器	COS6100 G 100 MHz 示波器	
相位噪声测试仪	QF 4022 型	
存储示波器	HH 9440 型存储示波器	
直流稳压电源	JWY-30J	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第25章 射频信号发生器

第1节 综 述

射频信号发生器是指：能产生正弦信号，频率范围部分或全部覆盖 30 kHz～1 GHz（允许向此范围外延伸），并且具有一种或一种以上调制或组合调制（这些调制是正弦调幅、正弦调频及通断脉冲调制）的信号发生器。

为了测量无线电接收机的性能，早在1928年，美国 General Radio 公司生产出了第一台调幅信号发生器，它的结构和线路都非常简单，只采用了两只电子管和一个调谐回路。到1939年，信号发生器的频率范围已扩展到了甚高频波段。随着广播通信事业的发展，在40年代初就出现了调频信号发生器。到了50年代，频率到480 MHz 的各种调频调幅信号发生器相继出现。然而，这些信号发生器都是由电子管构成的调谐信号发生器。进入60年代，信号发生器逐步由晶体管替代电子管。1964年 HP 公司在信号源领域中设计成功一种 HP 5100 A 型频率合成器。该信号发生器使用了二千多个分立的晶体管器件，最高频率为50 MHz，分辨力达0.1 Hz。1968年美国 Logi Metrics 公司生产了一种内装计数器的900系列信号发生器。由于频率合成技术及内装计数器技术的出现，使得信号发生器的频率准确度和频率稳定度的指标得到很大提高。而高质量、高性能的元器件及中、大规模集成电路的广泛应用，又促使了频率合成、调频调相、宽带放大、宽带调制等新技术的不断出现和不断发展。到70年代，在原来调谐信号发生器的基础上，加上计数单元和锁相单元，派生出了一种新型信号发生器——锁相信号发生器；同时，在频率合成器的基础上，不断完善调制功能，提高其输出特性指标，形成了另一种新型信号发生器——合成信号发生器。为了进一步分析和说明，现将调谐信号发生器、锁相信号发生器、合成信号发生器的特点及发展情况简述如下：

（一）调谐信号发生器

调谐振荡器、统调的调谐调幅放大器（输出放大器）加上一些指示电路，是早期电子管信号发生器的传统构成形式。这种信号发生器的结构比较复杂，除了需统调的可变电容器外，每一级都需有统调的波段转换开关。它既要保证接触可靠，又要保证每个波段的各频率点的调谐。因此，传统的调谐信号发生器的频率覆盖范围不可能做得很宽，而且其输出信号幅度的动态范围小。最大的缺点是可靠性、稳定性差。但由于采用的是调谐振荡回路，其输出信号的杂散分量（非谐波含量）比较小。如 XG-2、XFC-2、SMAF 等型号的信号发生器皆属于调谐信号发生器。

到了70年代，由于半导体器件的高速发展，促进了宽带技术和倍频、分频、数字电路技术的发展。宽频带放大器、宽频带调制器及滤波器的应用，替代了统调式调幅放大器。这样，不仅大大减少了波段转换开关的接触点数，省去了多联可变电容器，提高了调谐信号发生器的可靠性和稳定性，而且大大改善了调谐信号发生器的调幅特性、输出特性。这类调谐信号发生器有 HP 8654、MG 524、QF 1074、QF 1076 等。

经过改善提高的调谐信号发生器，虽然指标不高，但价格低廉。由于使用的元器件数量少，可靠性和稳定性较高，受到了要求不高的用户的欢迎。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（二）锁相信号发生器

随着广播通信事业不断发展，测量技术不断提高，对信号发生器的频率稳定度、频率准确度的要求越来越高，一般的调谐信号发生器已不能满足其测试的要求了。为了提高信号发生器的频率稳定度和频率准确度，在调谐信号发生器中增加计数单元，并将信号源的振荡频率锁定在频率计数器的时基上，从而大幅度提高了信号发生器的频率稳定度和频率准确度。这类锁相信号发生器有松下的 VP 8177、VP 8179，日黑的 MSG-2560 B 及我国前锋无线电仪器厂的 QF 1050、QF 1051、QF 1052 等。

到了 70 年代，移动通信已广泛用于交通运输、公安、矿山、工厂、森林等各个部门，用户大量增加，信息量不断增长，导致了通信频道越来越窄，通信电台占用的频率范围越来越宽。面对迅速发展的众多的移动式电台通信，以往生产的调谐信号发生器已远远不能满足要求了。尤其是在测试移动通信接收机接收所需信号的能力（也就是测试接收机当存在不需要的邻近频道的强信号时，对干扰信号的抑制能力）时，需要一种输出信号频率覆盖宽，频谱纯度好以及极低的单边带相位噪声和杂散分量的信号发生器。世界各国生产信号源的厂商，在寻求如何提高信号源的性能方面进行着激烈的竞争。在 70 年代后期，相继投放市场一些新型的高纯度锁相信号发生器。这些锁相信号发生器都采用了高 Q 同轴谐振腔振荡器的型式，有源器件则采用低噪声的微波管或场效应管。其目的就是为了提高信号发生器输出信号的频谱纯度，降低杂散和单边带相位噪声。例如美国 HP 公司的 HP 8640 B 信号发生器就是高纯度锁相信号发生器的典型代表。它的主振采用了可调的高 Q 谐振腔振荡器，其振荡频率范围为 225～550 MHz，机内采用了倍频、分频的方法，保证了整机输出信号的频率覆盖范围为 500 kHz～1024 MHz，机内的 $6\frac{1}{2}$ 位数字计数器可用来显示其输出信号频率；也能对外加的 1 Hz～550 MHz 输入信号进行计数。该信号发生器在锁定方式时，输出信号的频率稳定度优于 5×10^{-8}/h，并能保持非锁定方式时的频谱纯度和调频能力。HP 8640 B 具有极佳的频谱纯度，其单边带相位噪声，在偏离载波频率 20 kHz 时可达－130 dBc/Hz，其非谐波含量可达－100 dBc。该产品还具有较好的调频调幅和脉冲调制功能，其输出电平范围为＋19～－145 dBm，输出频响为 ±0.5 dB。与 HP 8640 B 相似的锁相信号发生器还有日本安立公司的 MG 645 B、英国马可尼公司的 TF 2017、我国前锋无线电仪器厂的 QF1090 等。

锁相信号发生器不仅具有较高的频率稳定度和准确度，而且其信号的频谱纯度指标，无论是近端噪声（单边带相位噪声），还是远端杂散（非谐波含量），都具有较好的性能特性，比一般调谐信号发生器和频率合成器优越得多。但由于锁相信号发生器的频率调整是通过机械运动来实现的，因此给快速程控带来了困难，同时输出信号的频率分辨率较差，所以很难用锁相信号发生器构成自动测试系统。

（三）合成信号发生器

合成信号发生器就是用频率合成器代替信号发生器主振荡器的信号发生器。它既有信号发生器的良好输出特性及调制特性，又有频率合成器的高稳定度、高分辨力的优点，同时其输出信号的频率、输出电平、调制深度，均可方便程控。所以合成信号发生器在自动测试系统中既可用作被测件的激励源，又可作为本振信号源。但合成信号发生器由于所用的宽频带放大器、混频器、锁相环、倍频器、分频器产生的噪声都混杂在输出信号中，因而其单边带相位噪声和杂散分量（非谐波

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

含量)都很难达到高纯度锁相信号发生器的水平。由于科学技术不断发展,元器件水平不断提高,近几年也出现了一些输出信号频谱纯度极好的合成信号发生器。其典型代表就是美国 HP 公司的 HP 8663 A 合成信号发生器。其输出信号的频率范围为 100 kHz～2560 MHz，频率分辨力为 0.1 Hz～0.4 Hz，频率稳定度为 5×10^{-10}/d，输出电平范围为+16 dBm～−129.9 dBm，输出分辨力为 0.1 dB，具有调幅、调频、调相和脉冲调制功能，其单边带相位噪声在偏离载波频率 10 kHz 时可达−147 dBc/Hz，其非谐波含量(杂散分量)小于−84 dBc～−100 dBc，所有的功能都可以实现程控,程控时保证各种指标的准确度和分辨力。又如美国 Fluke 公司的 6071 A 型合成信号发生器，其输出频率范围为 200 kHz～1040 MHz，频率分辨力为 1～2 Hz，频率稳定度为 5×10^{-7}/月,输出电平范围 + 13 dBm～−140 dBm，单边带相位噪声偏离载波频率 20 kHz 时可达−138 dBc/Hz，非谐波含量小于−84 dBc～−100 dBc，具有调频、调幅、调相等调制功能。该产品不仅所有性能特性可以进行程控、储存和调用,而且还有可进行自诊断、自修正、自检测功能。因此,6071 A 是一部高智能化的合成信号发生器。

当代的合成信号发生器的各项性能指标及其可接受程控的性能比调谐信号发生器和锁相信号发生器都要优越得多,但其价格都较昂贵。频谱纯度好的合成信号发生器价格是锁相信号发生器、调谐信号发生器的几倍甚至十倍以上，这是用户考虑是否能接受的首要问题。例如：合成信号发生器 HP 8663 A 的价格是 51415 美元,它是锁相信号发生器 HP 8640 B (11410 美元)价格的 5 倍左右,是调谐信号发生器 HP 8654 (5695 美元)的 10 倍。从以上分析可知，各种类型的信号发生器都有其长处、短处,谁也不能代替谁,而只能互相渗透，互相促进。使用时应根据实际需要,合理经济地选用各类信号发生器。

我国的信号发生器生产在解放前是一片空白。在 50 年代研制成功了 ГСС-6 型高频信号发生器,60 年代到 70 年代相继研制生产出了 XFC-2、XFC-1，XFC-6，XG-2 等电子管的各种调谐信号发生器。其中前锋无线电仪器厂研制生产的 XFC-6，当时在国内属于频率范围宽、输出电平特性好、具有多种调制功能的一种射频信号发生器,广泛用于国内广播、通信、电视、雷达、电子对抗等各电子专业中,年销售量达数千台。到 70 年代末 80 年代初，全晶体管化的射频信号发生器及频率合成器相继在我国研制成功，其中具代表性的产品有北京无线电仪器二厂的 XB 44 型、XB 46 型高频信号发生器，PZ 13 型频率合成器;上海无线电 26 厂的 XB 16 型、XB28 A 型高频信号发生器;上海无线电仪器厂的 S 102 型;国营前锋无线电仪器厂的 XB 41 型、XB 43 型、XB 48 型高频信号发生器,以及 PO 16 型、PO 17 型频率合成器等。这些射频信号发生器和频率合成器,都是属于一般的调谐信号发生器和不能调制、输出指标不高的频率合成器。

在 80 年代中期,我国生产射频信号发生器的工厂相继引进组装了一些具有国际 80 年代水平的锁相信号发生器、合成信号发生器。如：前锋无线电仪器厂引进组装了美国 Fluke 公司的 6071 A、6060 B 型合成信号发生器;日本安立公司的高纯度的锁相信号发生器 MG 645B。上海无线电二十六厂引进组装了日本松下公司的 VP 8177 A 锁相信号发生器。北京无线电仪器二厂引进组装了日本目黑公司的 MSG-2560 B、MSG-2580 型锁相信号发生器。山东潍坊计算机公司仪器厂引进组装了英国 Farnell 仪器公司的 SSG 520 型、SSG 1000 型合成信号发生器。在此期间,各厂家在引进国外先进产品及元器件的同时,消化吸收了其先进技术和先进工艺,大大推动了我国射频信号发生器的开发和研制工作,相继研制开发了具有一定水平的各种类型的射频信号发生器,其中有 QF 1050、QF 1051、QF 1052 型等各种锁相信号发生器(其性能特性相当于日本松

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

下公司 VP 8177 的水平)，QF 1090 型高纯度锁相信号发生器(日本安立公司的 MG 645 B 型高纯信号发生器的国产化，产品性能特性相当于美国 HP 公司的 HP 8640 B)，QF 1480 型、QF 1421 型、ZN 1480 型合成信号发生器（其中 QF 1480 型合成信号发生器是美国 Fluke 公司的 6060B 合成信号发生器的国产化产品，其主要性能见国内外产品的主要技术性能对比表)。

在射频信号发生器的研究、开发、生产中，国营前锋无线电仪器厂、北京无线电仪器二厂、上海无线电二十六厂、上海无线电仪器厂、山东潍坊计算机公司仪器厂、苏北电子仪器厂、杭州无线电三厂、南海电子仪器厂等都作出了贡献。

射频信号发生器随着新器件的不断涌现和新技术的日益广泛使用，正朝着宽频带、高频率稳定度、高准确度、数字化、自动化方向发展。其发展动态除了高可靠性、数字化、小型化外，还有下述几个方面：

(1) 频率覆盖范围宽、频率稳定度高

在 70 年代中期到 80 年代，国内外研制生产的射频信号发生器由于采用了倍频、分频、混频及宽频带放大器技术，所以频率覆盖范围都很宽，典型值从 100 kHz～1 GHz，甚至更宽。这样宽的频带可以代替以往工作在 MF，HF，VHF，UHF 四个频段的四种信号发生器。在频率稳定度上，由于采用了频率合成技术或锁相技术，使射频信号发生器输出信号的频率稳定度高达 10^{-8}/h 以上的量级，这是以往调谐信号发生器(一般在 10^{-4}/15 min 量级)无法相比的。这样的宽带高稳定度射频信号发生器有：HP 8640 B、HP 8660 C、HP 8662 A、HP 8663 A；SMDU、SMS；MG 645 B；6071 A、6060 B、国产 QF 1090 等。

(2) 大的输出动态范围(衰减范围)、良好的输出频响

良好的输出频响是保证射频信号发生器输出电平准确度的基础，然而有了大电平的输出和良好的屏蔽性能及良好的衰减器准确度，才能保证射频信号发生器具有大的输出动态范围(衰减范围)。因此大的输出动态范围(衰减范围)和良好的输出频响是体现现代化射频信号发生器输出特性的重要根据。当前射频信号发生器的输出动态范围(衰减范围)可达 160 dB 以上。输出频响在 100 kHz～1 GHz 范围内可达 ±0.2～±0.5 dB。

(3) 具有多种调制功能

不仅具有调频、调幅功能，同时具有调相和脉冲调制及混合调制等功能，这也是现代射频信号发生器的特点。例如 Fluke 公司的 6071 A，HP 公司的 HP 8660 C、HP 8663 A 等，同时具有调频、调幅和调相功能。

(4) 低噪声

由于现代通信广播及电子对抗、电子测量不断发展的要求，低噪声是当前衡量射频信号发生器性能特性的最重要指标，尤其是单边带相位噪声。这是以往传统的射频信号发生器无法给出或者是很差的，一般不到 −100 dBc/Hz，而当前较好的低噪声的射频信号发生器有：HP 8663 A 典型值可达 −130 dBc/Hz～−147 dBc/Hz；6071 A 和 MG 645 B 可达 −120 dBc/Hz～−138dBc/Hz。

(5) 智能化

带 μP 控制、可程控智能化的射频信号发生器是组建自动测试系统的必要条件，也是提高射频信号发生器本身技术指标的重要措施。在射频信号发生器中也只有合成信号发生器(可以快速程控频率)，才能实现频率、输出、调制等全自动的控制和测试。现代射频信号发生器中合成信号发生器如：HP 8662 A、HP 8663 A、6071 A、6060 B 等不仅能够对所有性能特性实现程控而进

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

行全自动的测试，有的还具有自校准、自诊断的智能化的功能。

国内外产品主要性能指标对比列表如下：

表 25-1 调谐信号发生器国内外产品主要性能指标对比

指标名称	国外代表产品的性能 HP 8654（美国 HP 公司）	国内代表产品的性能 QF1076（前锋无线电仪器厂）
频率范围	10 MHz～520 MHz	10 MHz～520 MHz
频率精度	±3%	6 位 LED 数字显示 指示值×10^{-3}+1 kHz
频率稳定度	±20×10^{-6}/5 分钟±1 kHz	±50×10^{-6}/15 分钟+1 kHz
输出电平范围	+10dBm～−130 dBm	+10dBm～−120 dBm
最大输出电平的误差	±1 dB	±1 dB
相对谐波含量	≤−20 dBc	≤−20 dBc
非谐波含量	≤−100 dBc	≤−50 dBc
调幅 深度 误差	0～90% 读数值×5%+满刻度值×5%	0～80% 预调值×5%+5%
调频 频偏范围 误差	0～100 kHz 读数值×12%+满刻度值×3%	0～100 kHz 预调值×12%+满刻度值×15%

表 25-2 锁相信号发生器国内外产品主要性能指标对比

指标名称	国外代表产品的性能 HP8640B（美国 HP 公司）	国内代表产品的性能 QF1090（前锋无线电仪器厂）
频率范围	500 kHz～1024 MHz	50 kHz～1040 MHz
频率显示方法	$6\frac{1}{2}$ LED 数字显示	机内计数器 8 位数字显示
频率稳定度	5×10^{-8}/小时	2×10^{-9}/天
频率分辨率 （锁定后）	1 Hz～10 kHz	5 kHz～100 kHz
输出电平范围	+19dBm～−145 dBm	+17 dBm～−143 dBm
输出电平总误差	±1.5 dB～±4.5 dB	±1.7 dB～±3.5 dB
谐波含量	<−30 dBc（0.5～512 MHz） <−12 dBc（512～1024 MHz）	<−30 dBc～−40 dBc
载波状态下的 不需要的调频	<5 Hz～10 Hz	<10 Hz～20 Hz
单边带相位噪声	偏离载频 20 kHz 时 −134 dBc/Hz	偏离载波频率 25 kHz 时 −124 dBc～−133 dBc/Hz
调幅 深度范围 误差	0～100% ±(读数值×5.5%+满刻度值×1.5%)	0～100% ±(预调值×0.08+2)%
调频 最大频偏范围 误差	5 kHz～5120 kHz ±(读数值×7%+满刻度值×1.5%)	200 kHz ±(预调值×0.08+满刻度值×0.02)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 25-3　合成信号发生器国内外产品重要性能指标对比

指标名称	国外代表产品的性能 HP 8663（美国 HP 公司）	国内代表产品的性能 QF1480（前锋无线电仪器厂）
频率范围	100 kHz～2560 MHz	10 kHz～1050 MHz
频率分辨率	0.1～0.4 Hz	10 Hz
频率误差	与基准振荡器相同 $\left(10\frac{1}{2}\right.$ 位数字显示$\left.\right)$	与基准振荡器相同 $\left(8\frac{1}{2}\right.$ 位数字显示$\left.\right)$
频率稳定度	5×10^{-10}/天	5×10^{-7}/天
输出电平范围	+16 dBm～−129.9 dBm	+13 dBm～−127 dBm
电平误差	±1 dB	±1 dB
单边带相位噪声	偏离载波频率 10 kHz 时 −136 dBc/Hz～−147 dBc/Hz	未给出
非谐波含量	<−84 dBc～−100 dBc	<−60 dBc
谐波含量	<−30 dBc	<−30 dBc
调幅　深度范围 误差	0～95% ±读数值×6%±1%	0～99% ±(2%+预调值×4%)
调频　频偏范围 误差	25～200 kHz ±8%	0～99.9 kHz ±7%
调相	±25°～±400°	/
脉冲调制	通断比>80 dB 上升/下降时间<250～780 ns	/
程控功能	前面板的所有功能均可程控并且具有同样的精度和分辨率	前面板的所有功能（除电源开关和调制时输出幅度外）均可程控。并且有自检测、自诊断、自修正的功能。

第 2 节　射频信号发生器分类

根据国家标准 GB 12114-89《高频信号发生器技术条件》的规定，射频信号发生器的分类为：

(1) 调谐信号发生器

由可调谐振荡器组成的信号发生器称之为调谐信号发生器。

常用的调谐信号发生器有：XFC-6、XFC-2、QF5360、QF 1074、XFG-7、XB 44、XB 48、XB 41、XB 16、MG 528、HP 8654 等。

(2) 锁相信号发生器

输出信号的频率由可调谐振荡器用锁相方法获得，这类信号发生器称之为锁相信号发生器。

常用的锁相信号发生器有：QF 1050、QF 1052、QF 1090、VP 8177 A、VP 8178、VP 8179B、VP 8180、VP 8190 A、MG 645 B、HP 8640 B、SMDU、MSG 2560 B 等。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 合成信号发生器

输出信号的频率由基准振荡器用算术方法导出的一种信号发生器。

常用的合成信号发生器有：6071 A、6060B、HP 8660 C、HP 8656 B、HP 8662 A、HP 8663 A、MG 655 A 等。

第 3 节 射频信号发生器技术指标汇总表

表 25-4 技术指标汇总表

序号	技术指标	调谐信号发生器	锁相信号发生器	合成信号发生器
1	频率范围(和频段)	●	●	●
	频段重叠(对于调谐发生器)	●		
2	载波频率工作误差	●	●	●
3	增量频率范围	●		
4	频率重调误差	○		
5	载波频率的稳定度			
	15 分钟	●		
	3 小时	○		
6	载波频率的变动量			
	a. 环境温度变化引起的变动量	○	○	○
	b. 交流供电电源电压变化引起的变动量	○	○	○
	c. 从最大额定输出电平减小 10 dB 引起的变动量	○	○	○
	d. 调制引起的载波频率偏移	○	○	○
	e. 脉冲期间载波频率的变动量	○	○	○
7	内部基准频率			
	校准器频率(对于调谐振荡器)；			
	基准振荡器频率(对于同步器和合成信号发生器)			
	工作误差			
	稳定度			
	a. 15 分钟	●		
	3 小时	○		
	b. 晶振老化率(对高稳晶振)	○	●	●
8	同步时的捕获带宽		○	
	捕获所需外加电压		●	
9	同步时的同步范围		○	
	同步所需的外加电压		●	
10	合成信号发生器或程控信号发生器的频率转换时间			
11	输出辐度范围	●	●	●
	最大额定输出辐度工作误差	●	●	●

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续　表

序　号	技　术　指　标	调　谐 信号发生器	锁　相 信号发生器	合　成 信号发生器
12	衰减工作误差 辅助信号输出幅度及输出阻抗	● ○	● ○	● ○
13	输出幅度的稳定度	○	○	○
14	输出幅度的变动量 a.环境温度变化引起的变动量 b.交流供电电源电压变化引起的变动量 c.由于调制引起的变动量	 ○ ○ ○	 ○ ○ ○	 ○ ○ ○
15	载波的相对谐波、分谐波及非谐波含量	●	●	●
16	源阻抗 输出阻抗	● ○	● ○	● ○
17	泄漏和辐射	●	●	●
18	不需要的直流分量和调制频率分量	○	○	○
19	单边带相位噪声 相位噪声	○ ○	● ○	● ○
20	输出幅度转换时间	○	○	●
21	调幅系数(正弦)工作误差	●	●	●
22	调幅系数的稳定度	○	○	○
23	调幅系数的变动量 a. 环境温度变化引起的变动量 b. 交流供电电压变化引起的变动量	 ○ ○	 ○ ○	 ○ ○
24	调幅失真(正弦)	●	●	●
25	不需要的调频(调幅时)	●	●	●
26	不需要的调频(未调制状态下)	●	●	●
27	载波脉冲包络持续时间	●	●	●
28	载波脉冲包络持续时间稳定度	○	○	○
29	载波脉冲包络持续时间变动量 a. 环境温度变化引起的变动量 b. 交流供电电压变化引起的变动量	 ○ ○	 ○ ○	 ○ ○
30	载波脉冲的前(后)过渡持续时间	●	●	●
31	载波脉冲的脉冲波形失真	○	○	○
32	脉冲包络延迟时间 a. 对固定延迟规定 b. 对可调延迟规定	 ● ●	 ● ●	 ● ●
33	脉冲展宽	○	○	○
34	空度比效应	○	○	○

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序 号	技 术 指 标	调 谐 信号发生器	锁 相 信号发生器	合 成 信号发生器
35	载波窜通	●	●	●
36	频偏工作误差	●	●	●
37	频偏的稳定度	○	○	○
38	频偏的变动量 a. 环境温度变化引起的变动量 b. 交流供电电压变化引起的变动量 c. 增量频率引起的变动量	 ○ ○ ○	 ○ ○ ○	 ○ ○ ○
39	调频失真	●	●	●
40	不需要的调幅(调频时)	●	●	●
41	不需要的调幅(在未调制状态下)	●	●	●
42	内调制频率范围 a. 内调制频率 b. 内调制重复频率(脉冲)	 ● ●	 ● ●	 ● ●
43	内调制频率的稳定度	○	○	○
44	内调制频率变动量 a. 环境温度变化引起的变动量 b. 交流供电电压变化引起的变动量	 ○ ○	 ○ ○	 ○ ○
45	内调制信号的输出电压幅度	●	●	●
46	内调制输出电压失真	●	●	●
47	外调制电压输入端的输入阻抗	●	●	●
48	内调制信号输出端的输出阻抗	●	●	●
49	额定的外正弦、外脉冲调制的电压、极性、外增量调谐的电压幅度，脉冲持续时间，脉冲转换时间和脉冲分辨力	●	●	●
50	外调制的频率范围	●	●	●
51	适用于程控工作的控制信号所采用的体制说明或数值的规定	○	○	○
52	给出有关电磁兼容指标	●	●	●
53	给出可靠性指标	○	○	○
54	基本安全要求	●	●	●
55	直流供电电压的范围	●	●	●
56	交流供电电压与频率范围	●	●	●
57	由电池供电的仪器应说明使用电池的规格和电池保证正常工作的小时数	●	●	●
58	最大功率消耗	●	●	●
59	过载保护装置(如保险丝，过载继电器，热敏断路继电器)及其切断值	●	●	●

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续　表

序　号	技　术　指　标	调　谐 信号发生器	锁　相 信号发生器	合　成 信号发生器
60	仪器的外形尺寸	●	●	●
61	仪器的重量	●	●	●
62	输出接头型式	●	●	●
63	外观与结构要求	○	○	○
64	仪器的预热时间	●	●	●
65	仪器的热平衡时间	○	○	○

注：①●表示技术指标中必须规定的性能特性。
②○表示技术指标可规定的性能特性。
③空白表示技术指标中无法规定或无需规定的性能特性。

第 4 节　技术指标及测试方法

1. 频率范围(和频段)和频段重叠

frequency range (and frequency band) and band overlap

(1) 频率范围

信号发生器所产生的载波频率范围，该范围既可连续亦可由若干频段或一系列离散频率来覆盖。在此频率范围内，信号发生器满足全部误差要求。

(2) 频段

频率范围内的一部分，其频率可连续或步进调节。

(3) 频段重叠

为了保证频率范围的连续，两相邻频段的公共部分。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-1。

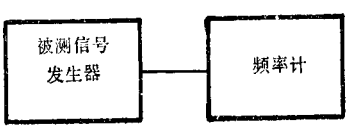


图　25-1

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器置于未调制状态，将信号发生器的射频输出端接到频率计的输入端。

② 测得频率覆盖范围的高端频率和低端频率分别为 f_{max} 及 f_{min}。

③ 若信号发生器分成若干频段，第 n 个频段的高端频率为 f_{nmax}，低端频率为 f_{nmin}，则频段重叠 Δ 为：

$$\Delta = f_{(n-1)max} - f_{nmin} \qquad (25\text{-}1)$$

式中 $f_{(n-1)max}$ 为第 $(n-1)$ 个频段的高端频率。

2. 载波频率工作误差

carrier frequency error

信号发生器工作频率范围内的频率误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-1。

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器置于未调制状态。将信号发生器的射频输出端接到频率计的输入端。

② 将被测信号发生器的载波频率调到预调值 f，用频率计测量频率，其测量值 f_1。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

③ 未调制载波频率的工作误差 δ 为

$$\delta = \frac{f - f_1}{f} \times 100\% \qquad (25\text{-}2)$$

或

$$\delta = \frac{f - f_1}{f} \times 10^{Y} \times 10^{-Y} \qquad (25\text{-}3)$$

式中 Y 取 6 或 9。

3. 增量频率范围

incremental frequency range

在频率控制（频率粗调）所调节的频率值上，由增量频率控制(频率细调)所覆盖高于或低于该频率值的频段宽度。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-1。

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器置于未调制状态。增量频率指示器调到“0”增量位置，载波频率的预调值为 f，频率计测量值为 f_1。

② 将增量指示器向上和向下调到增量频率范围的最大值，信号发生器相应的频率预调值分别为 f_H、f_L，用频率计分别测出信号发生器的频率 f'_H、f'_L。

③ 测得的增量频率范围为 $f'_H - f_1$，和 $f_1 - f'_L$。

④ 增量频率范围的工作误差 δ 由式 (25-4)、(25-5)求得：

$$\delta_H = \frac{f_H - f'_H}{f_H - f} \times 100\% \qquad (25\text{-}4)$$

和

$$\delta_L = \frac{f_L - f'_L}{f - f_L} \times 100\% \qquad (25\text{-}5)$$

取二者绝对值较大者。

4. 频率重调误差

frequency resetting error

频率反复从一个方向调到一个规定的刻度位置得到的平均值与反复从另一个方向调到该刻度位置得到的平均值之差的一半。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-1。

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器置于未调制状态，载波频率预调值为 f。

② 调节载波频率控制机构，至少三次从顺时针方向调到预调值位置，用频率计测出各次频率，并求得平均频率为 f_1。

③ 按同样的方法，求得反时针方向的平均频率为 f_2。

④ 重调误差 δ 由式 (25-6) 求得

$$\delta = \frac{1}{2}\left|\frac{f_1 - f_2}{f}\right| \times 10^{3} \times 10^{-3} \qquad (25\text{-}6)$$

5. 载波频率的稳定度

stability of carrier frequency

在其它条件保持不变的情况下，信号发生器载波频率在规定时间内的变动量。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-1。

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器置于未调制状态，载波频率预调值为 f，经规定的时间预热后开始测试。

② 15 分钟时间间隔内稳定度的测试：每隔 1 分钟测一次载波频率，连续测试 1 小时，找出任何 15 分钟时间间隔内频率的最大变化量 Δf_1。

③ 3 小时时间间隔内稳定度的测试：每隔 15 分钟测一次载波频率，连续 4 小时找出任何 3 小时时间间隔内频率的最大变化量 Δf_2。

④ 频率的稳定度 S 表示为：

15 分钟的：

$$S = \frac{\Delta f_1}{f} \times 10^{6} \times 10^{-6} \qquad (25\text{-}7)$$

3 小时的：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$S = \frac{\Delta f_2}{f} \times 10^6 \times 10^{-6} \qquad (25\text{-}8)$$

注：① 预置频率后，面板上所有的控制不得变动，不允许有瞬时断电现象，避免受到剧烈冲击和振动。

② 高稳定度的晶体振荡器按其特殊要求和方法进行测量，应在产品标准中明确规定。

6. 载波频率的变动量

variation of carrier frequency

信号发生器在内部或外部影响量变化时，其输出信号频率的变动量。

测试方法：

I. 环境温度变化引起的频率变动量

(1) 测试方框图，见图 25-2。

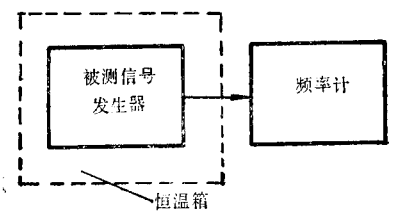


图　25-2

(2) 测试步骤

将被测信号发生器放入恒温箱内，并置于未调制状态，载波频率预调值 f，在基准工作条件下，由频率计测出载波频率为 f_0。

当温度对频率的影响为线性关系时，将恒温箱温度调到 10℃(或 30℃)，经热平衡后测得载波频率为 f_1(或 f_2)，则载波频率的温度影响系数 α 由式(25-9)、(25-10)得出：

$$\alpha = \frac{f_0 - f_1}{10f} \times 10^6 \times 10^{-6}/℃ \qquad (25\text{-}9)$$

或

$$\alpha = \frac{f_2 - f_0}{10f} \times 10^6 \times 10^{-6}/℃ \qquad (25\text{-}10)$$

当温度对载波频率的影响不为线性关系时，应在温度的工作范围内按适当的密度进行测试，以便测出温度引起的载波频率变动量。

II. 交流供电电源电压变化引起的频率变动量。

(1) 测试方框图，见图 25-3。

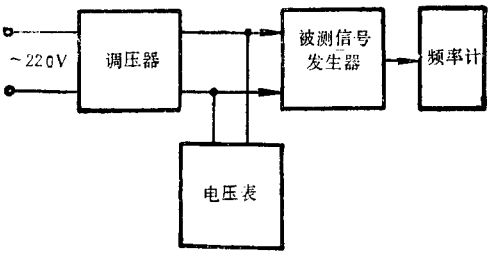


图　25-3

(2) 测试步骤

在基准工作条件下，被测信号发生器置于未调制状态，载波频率预调值为 f，频率计测量值为 f_0。

将电源电压突然调到 242V(和 198V)，读出第 1 分钟内与 f_0 相差最大的频差 $\Delta f_1'$(和 $\Delta f_1''$)，随后再测出第 15 分钟以后与 f_0 相差的最大频差 $\Delta f_2'$(和 $\Delta f_2''$)。

电源电压变化±10%引起的载波频率变动量 δ 由式(25-11)、(25-12)求出：

第 1 分钟内：

$$\delta = \frac{\Delta f_1}{f} \times 10^6 \times 10^{-6} \Big/ \text{电源电压变化} \pm 10\% \qquad (25\text{-}11)$$

式中　Δf_1——$\Delta f_1'$ 和 $\Delta f_1''$ 中较大者。

第 15 分钟后：

$$\delta = \frac{\Delta f_2}{f} \times 10^6 \times 10^{-6} \Big/ \text{电源电压变化} \pm 10\% \qquad (25\text{-}12)$$

式中　Δf_2——$\Delta f_2'$ 和 $\Delta f_2''$ 中较大者。

III. 从最大额定输出电平减小 10 dB 引起的载波频率变动量。

(1) 测试方框图，见图 25-1。

(2) 测试步骤

在基准工作条件下，被测信号发生器置于未调制状态，载波频率预调值为 f，由频率计测出载波频率为 f_0。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

将输出衰减器自最大额定输出电平衰减10 dB，测出相应的载波频率 f_1。

从最大额定输出电平减小 10 dB 引起的载波频率变动量 δ 为：

$$\delta = \left|\frac{f_0 - f_1}{f}\right| \times 10^6 \times 10^{-6} \quad (25\text{-}13)$$

IV. 调制引起的载波频率偏移

(1) 测试方框图，见图 25-4。

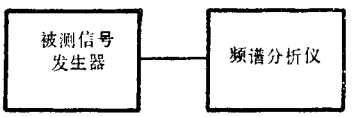


图 25-4

(2) 测试步骤

在基准工作条件下，被测信号发生器置于未调制状态，载波频率的预调值 f，射频输出接到频谱分析仪，在频谱分析仪上找到载波谱线，其频率为 f_0。

将被测信号发生器工作在调频(和调幅)状态，调制频率为 1 kHz，在最大有效频偏(和规定的调幅系数)时，测出频谱分析仪上载频谱线偏移后的频率值 f_1。

调制引起的载波频率偏移 δ 表示为：

$$\delta = \frac{f_0 - f_1}{f} \times 10^6 \times 10^{-6} \quad (25\text{-}14)$$

注：频谱分析仪内部振荡器的频率稳定度应高于被测信号发生器的载波频率偏移，并且要求频谱分析仪有足够窄的分辨率带宽(例如 10 Hz)。每格频宽足够窄(例如 100 Hz)如此则可将±1000 Hz 的两旁频移出荧光屏外，从而能够观察到微小的频率偏移。

V. 脉冲期间载波频率偏移

(1) 测试方框图，见图 25-4。

(2) 测试步骤

在基准工作条件下，被测信号发生器置于未调制状态，载波频率的预调值为 f，射频输出接到频谱分析仪，在频谱分析仪上找到被测信号发生器的载波谱线，其频率为 f_0。

被测信号发生器置于脉冲调制状态，从频谱仪上观察载波谱线的偏移，偏移后的频率为 f_1。

脉冲期间的载波频率偏移 δ 表示为：

$$\delta = \frac{f_0 - f_1}{f} \times 10^6 \times 10^{-6} \quad (25\text{-}15)$$

注：频谱分析仪本振的频率稳定度应高于被测信号发生器的载波频率偏移，并且频谱分析仪要有足够窄的分辨率带宽，每格频宽及扫速要选择适当。

7. 内部基准频率

internal reference frequency

测量信号发生器内部基准频率的误差及稳定度。

测试方法：

I. 校准器的频率(用于可调谐振荡器)

(1) 测试方框图，见图 25-5。

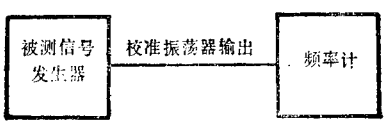


图 25-5

(2) 测试步骤

在额定工作条件下，被测信号发生器的校准器经过规定的预热时间后，用频率计测量内部校准器的频率为 f_1。

校准器频率的工作误差 δ 表示为：

$$\delta = \frac{f - f_1}{f} \times 10^6 \times 10^{-6} \quad (25\text{-}16)$$

式中 f——校准器频率的额定值。

II. 基准振荡器频率(用于同步器和频率合成信号发生器)。

(1) 测试方框图，见图 25-6。

(2) 测试步骤

在额定工作条件下，被测信号发生器的基准振荡器和测试设备按规定的时间预热。

连接频率标准输出端到频率计的外基准输入端，并置频率计于外同步工作状态。被测信

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

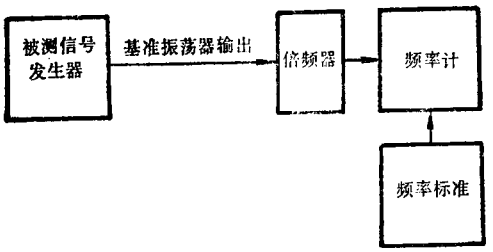


图　25-6

号发生器的基准振荡器频率输出经倍频后加到频率计的输入端进行测试，频率测量值为 f_1。

基准振荡器频率的工作误差 δ 表示为：

$$\delta = \frac{Mf - f_1}{Mf} \times 10^6 \times 10^{-6} \quad (25\text{-}17)$$

式中　f——基准振荡器的额定值；

M——倍频器的倍频系数。

III. 内部校准器和基准振荡器的频率稳定度

(1) 测试方框图，分别见图 25-5 和图 25-6。

(2) 测试步骤

15 分钟的频率稳定度：每隔 1 分钟测一次频率，连续测试 1 小时，找出任何 15 分钟时间间隔内频率的最大变化量 Δf_1。

15 分钟的频率稳定度 S 表示为：

$$S = \frac{\Delta f_1}{f} \times 10^6 \times 10^{-6} \quad (25\text{-}18)$$

式中　f——内部基准频率的额定值。

3 小时的频率稳定度：每隔 15 分钟测一次频率，连续 4 小时，找出任何 3 小时时间间隔内频率的最大变化量 Δf_2。

3 小时的频率稳定度 S 表示为：

$$S = \frac{\Delta f_2}{f} \times 10^6 \times 10^{-6} \quad (25\text{-}19)$$

晶振老化率是基准晶振在连续运行中，频率值随时间的单向漂移。振荡器经过规定的预热时间后开始测量日老化率，取样时间大于或等于 10 秒，取样周期等于 12 小时(即每日测量的次数 n 为 2)，连续测量 7 日，共 15 个数(取样个数 N 为 15)。

用频率计测量倍频后的频率，日老化率用式(25-20)算出：

$$K = \frac{2 \times \sum_{i=1}^{15} (f_i - \overline{f_i})(t_i - \overline{t_i})}{Mf \sum_{i=1}^{15} (t_i - \overline{t_i})^2} \Big/ d \quad (25\text{-}20)$$

式中　t_i——取样时序，用自然数列表示；

$\overline{t_i} = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} t_i$；

f_i——t_i 时刻测得的倍频后的频率；

$\overline{f_i} = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} f_i$。

8. 同步时的捕获范围和捕获所需外加电压

pull-in range for synchronizing and external voltage required for pull-in

需同步的信号发生器的频率从两个不同方向逼近同步信号频率时，由不同步到同步的两个频率值之差称之为同步时的捕获范围。所需的电压称为捕获时所需外加电压。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-7。

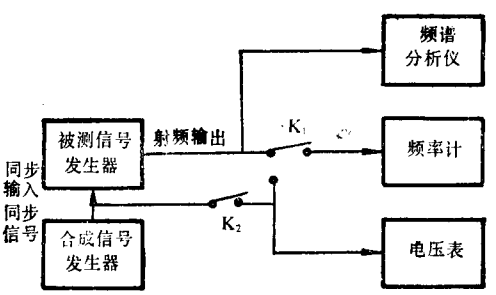


图　25-7

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器置于未调制工作状态。

② 合成信号发生器的输出接到被测信号

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

发生器的外同步输入端，适当选择合成信号发生器的输出频率，作为基准频率去同步被测信号发生器，其频率用频率计读出为 f_0。调节合成信号发生器的输出电平，使其满足被测信号发生器外同步所需的额定值。并由电压表测出电压值。然后自合成信号发生器输出端断开频率计和电压表。

③ 改变被测信号发生器的频率由远低于 Mf_0（M 为正整数）的一侧向 Mf_0 缓慢移动，当进入锁定时（频谱分析仪显示被测信号的频谱应是干净的符合指标要求的，由频率计测得信号频率为 Mf_0），断开合成信号发生器加入的外同步信号，再测出被测信号发生器的输出频率为 f_L。

④ 重新将合成信号发生器接入，即加上外同步信号，改变被测信号发生器的频率由远高于 Mf_0 的一侧向 Mf_0 缓慢移动，当重新进入锁定时，断开合成信号发生器加入的外同步信号，再测出被测信号发生器的输出频率为 f_H。

⑤ 捕获范围 Δf_p 按式（25-21）求出：

$$\Delta f_p = f_H - f_L \qquad (25\text{-}21)$$

⑥ 用电压表测出捕获所需的外加电压额定值。

注：有别于上述同步系统的被测信号发生器，应采用适用于该系统的测试方法。

9. 同步时的同步范围和同步所需外加电压

hold-in range for synchronizing and external voltage required for hold-in

已同步的信号发生器的频率从两个不同方向离开同步信号的频率时，由同步到不同步的两个频率值之差称为同步时的同步范围。所需的电压称为同步所需外加电压。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 25-7。

（2）测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器置于未调制工作状态。

② 合成信号发生器的输出接至被测信号发生器外同步输入端。适当选择合成信号发生器的输出频率，作为基准频率去同步被测信号发生器，其频率先用频率计读出为 f_0，调节合成信号发生器的输出电平，使其满足被测信号发生器被锁定所需的额定值，并由电压表测出电压值，然后自合成信号发生器输出端断开频率计和电压表。

③ 调整被测信号发生器的频率使其锁定在 f_0 的 M（M 为正整数）次谐波上，此时频谱分析仪显示被测信号的频谱应是干净的，符合指标要求的，用频率计测得的频率为 Mf_0。

④ 调整被信号发生器由锁定状态向低于 Mf_0（和高于 Mf_0）的方向缓慢移动，当刚刚失锁时，断开外同步信号，从频率计数器上测得被测信号发生器的输出频率为 f_L（和 f_H）。

⑤ 同步范围 Δf_h 按式（25-22）求出：

$$\Delta f_h = f_H - f_L \qquad (25\text{-}22)$$

⑥ 用电压表测出所需外加电压的额定值。

注：有别于上述同步系统的信号发生器，应采用适用于该系统的测试方法。

10. 合成信号发生器或程控信号发生器的频率转换时间

frequency switching time

从频率开始变化起，到频率接近终止值并且与终止值的偏离保持在规定范围内的时间间隔。

测试方法：

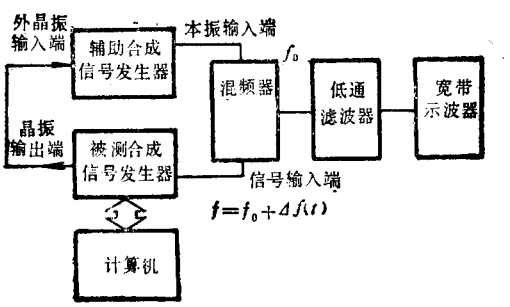


图 25-8

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 测试方框图，见图 25-8。

(2) 测试步骤

① 由被测合成信号发生器的内部晶振去外同步辅助合成信号发生器(反之亦可)，二者均置于未调制状态，其输出信号分别加到混频器的本振端和信号端。两输入端的信号电平应适当调整以保证混频器工作于最佳混频状态。测试过程中辅助合成信号发生器的频率保持不变为 f_0。被测合成信号发生器，按预先编好的程序，由计算机通过接口母线进行频率控制，其变化规律为：

$$f = f_0 + \Delta f(t)$$

其中时间函数 $\Delta f(t)$ 交替为 0 或 Δf，Δf 为频率步进量，即两信号发生器的差频。取值为 0 或 Δf 的持续时间可置定成相等的，但比频率转换时间长得多。

② 当两个合成信号发生器的频率不同时，混频器输出为差频信号。两个合成信号发生器的频率相同时，混频器按鉴相器方式工作，在转换过程结束后，低通滤波器输出一定的直流分量(亦可能为 0)，以及可忽略的噪声和干扰。

从示波器上观察到的示意图如图 25-9 (示波器输入端置于 DC 通过状态)。

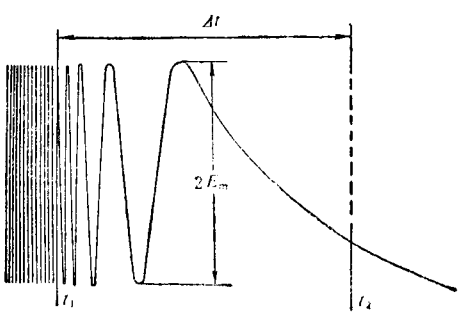


图　25-9

由示波器上测得差频信号峰峰值的一半为 E_m (见图 25-9)，被测信号发生器性能特性规定的偏离频率为 F，则以斜率为 $-2\pi F E_m$ (负号表示时间增加偏离频率减小) 的直线与频率转换过渡波形曲线相切，切点对应的时刻为 t_2，也就是转换过程到达偏离频率为 F 的时刻。转换起始时刻 t_1 就是连续平坦的差频信号波形上，出现突变的那一点所对应的时刻。因此，频率转换时间 Δt 表示为：

$$\Delta t = t_1 - t_2 \qquad (25\text{-}23)$$

注：低通滤波器的截止频率足够高，容许 Δf 信号通过，但不容许 f_0 和高于 f_0 的信号通过。

11. 载波幅度范围内最大额定输出幅度的工作误差

operating error of maximum rated amplitude in the amplitude range of the carrier

信号发生器规定最大输出电平的误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-10。

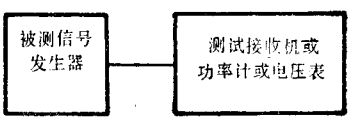


图　25-10

(2) 测试步骤

在额定工作条件下，测试设备应接到被测信号发生器所规定的输出端面上，被测信号发生器置于未调制状态，载波幅度指示置于最大额定输出电平 $V(P)$，由测试设备测得的读数为 $V_1(P_1)$。V、V_1 表示电压，P、P_1 表示功率。

载波幅度测量范围内最大额定输出幅度的工作误差 δ 由式 (25-24)、(25-25) 求得：

$$\delta = 20\lg\frac{V_1}{V} \quad (\text{dB}) \qquad (25\text{-}24)$$

或

$$\delta = 10\lg\frac{P_1}{P} \quad (\text{dB}) \qquad (25\text{-}25)$$

注：① 测试时应保证系统的阻抗匹配，否则应考虑失配引起的误差。同时应注意被测信号发生器输出电压的波形失真带来的影响。

② 辅助信号输出幅度的测量亦可按上述方法进行。

12. 衰减工作误差

operating error of attenuation

信号发生器的衰减器各控制机构任意组合

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

时载波衰减的工作误差。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 25-11、图 25-12。

图 25-11

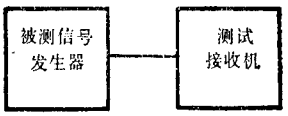


图 25-12

（2）测试步骤

在额定工作条件下，被测信号发生器置于未调制状态，载波幅度指示置于最大额定输出电平，被测衰减器置于"零衰减"位置。外接标准衰减器，或测试接收机内的标准衰减器置于测试所需的适当位置。

调谐接收机，使其指示器指到一定的位置上，被测衰减器增加 A_1dB，同时标准衰减器（或测试接收机内的标准衰减器）减小 A_1'dB，使接收机的指示仍保持在原先的位置上。

载波幅度的衰减工作误差 Δ 由式（25-26）求得：

$$\Delta = (A_1 - A_1') \quad \text{(dB)} \qquad (25\text{-}26)$$

注：测试过程中整个测试系统应保证可靠的连接和阻抗匹配，且屏蔽良好。

13. 输出幅度的稳定度

stability of output amplitude

在其它条件保持不变的情况下，信号发生器输出幅度在规定时间内的变动量。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 25-13。

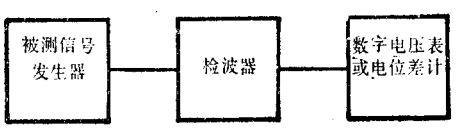


图 25-13

（2）测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器置于未调制状态，载波幅度指示置于最大额定输出电平。经检波后，由数字电压表或电位差计测得的电压 V。

② 当测量 15 分钟时间间隔内稳定度时，每隔 1 分钟测一次幅度，连续测试 1 小时，观察 15 分钟内的最大幅度变化量 ΔV_1。当测量 3 小时时间间隔内稳定度时，每 15 分钟测一次连续测试 4 小时，观察任何 3 小时内的幅度最大变化量 ΔV_2。

③ 幅度的稳定度 S（15 分钟的和 3 小时的）由式（25-27）求得：

$$S = \frac{\Delta V_1 \text{（或 } \Delta V_2\text{）}}{V} \times 100\% \qquad (25\text{-}27)$$

（或换算成 dB 表示）

注：选用的检波器的失真和不稳定性应可忽略不计。

14. 输出幅度的变动量

variation of output amplitude

信号发生器在内部或外部影响量变化时，其输出信号幅度的变动量。

测试方法：

I. 环境温度变化引起的输出幅度变动量

（1）测试方框图，见图 25-14。

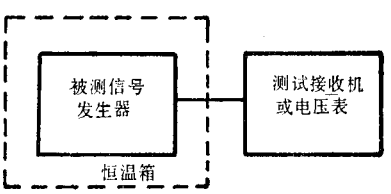


图 25-14

（2）测试步骤

在基准工作条件下，被测信号发生器置于未调制状态，载波幅度指示置于最大额定输出电平 V_1，在测试接收机上测得的读数为 V_0。

当温度对电压的影响为线性关系时，将恒

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

温箱温度调到 10℃（或 30℃）。经热平衡后测得电压为 V_1（或 V_2）。

输出幅度的温度影响系数 α 表示为：

$$\alpha = \frac{V_0 - V_1}{10V} \times 100\%/℃ \quad (25\text{-}28)$$

或

$$\alpha = \frac{V_2 - V_0}{10V} \times 100\%/℃ \quad (25\text{-}29)$$

当温度对幅度的影响不为线性关系时，应在整个工作范围内，按适当密度测试，以便测出输出幅度变动量。

II. 交流供电电源电压变化引起的输出幅度变动量。

（1）测试方框图，见图 25-15。

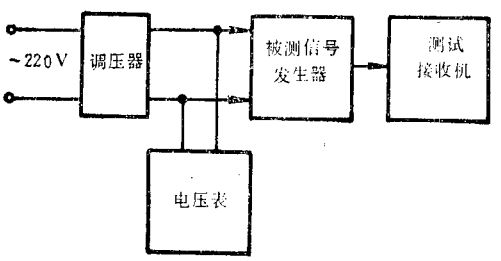


图　25-15

（2）测试步骤

在基准工作条件下，被测信号发生器置于未调制状态，载波幅度指示置于最大额定输出电平，测试接收机测得以 dB 表示的 V_0。

将电源电压调到 242 V（和 198 V），在测试接收机上测出第 1 分钟内输出幅度相对于 V_0 的最大变化 $\Delta V_1'$（和 $\Delta V_1''$）dB。第 15 分钟后输出幅度相对于 V_0 的最大变化 $\Delta V_2'$（和 $\Delta V_2''$）dB。则电源电压引起的输出幅度变动量 ΔV：

第 1 分钟内为：

ΔV_1 dB/电源电压变化±10%

其中　ΔV_1 为 $\Delta V_1'$ 和 $\Delta V_1''$ 中较大者。

第 15 分钟后为：

ΔV_2 dB/电源电压变化±10%

其中　ΔV_2 为 $\Delta V_2'$ 和 $\Delta V_2''$ 中较大者。

III 由于调制引起的输出幅度变动量

（1）由于调频引起的输出幅度变动量

① 测试方框图，见图 25-16。

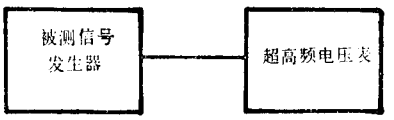


图　25-16

② 测试步骤

在基准工作条件下，被测信号发生器置于未调制状态，载波幅度指示置于最大额定输出电平，由超高频电压表测得载波幅度 V_0。

将被测信号发生器置于调频状态，频偏置于最大值，调制频率 1 kHz，由超高频电压表测得载波幅度为 V_1。

由于调频引起输出幅度的变动量 δ 由式（25-30）求得：

$$\delta = 20\lg\frac{V_1}{V_0} \quad (\text{dB}) \quad (25\text{-}30)$$

（2）由于调幅引起的输出幅度变动量

① 测试方框图，见图 25-4。

② 测试步骤

在基准工作条件下，被测信号发生器置于未调制状态，载波幅度指示置于最大额定输出电平，调整频谱分析仪的水平扫速、每格频宽、分辨率带宽，以及垂直显示的每格 dB 数，将载波频率信号置于荧光屏适于观察的部位，测得其幅度为 V_0dB。

将被测信号发生器置于调幅状态，调幅系数为最大值，调制频率 1 kHz，测得载波频率信号的幅度为 V_1dB。

由于调幅引起的输出幅度变动量 δ 由式（25-31）求得：

$$\delta = (V_0 - V_1) \quad (\text{dB}) \quad (25\text{-}31)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

15. 载波的相对谐波含量

relative harmonic content (of a carrier wave)

载波的相对分谐波含量

relative subharmonic content (of a carrier wave)

载波的相对非谐波含量

relative nonharmonic content (of a carrier wave)

(1) 载波的相对谐波含量

规定的一个谐波输出信号或指定的一组谐波信号的有效值（或功率）与载波基波有效值(或功率)之比，以百分比或低于载波电平分贝数表示。

注：有效值的相对谐波含量由式(25-32a)和(25-32b)表示：

$$\text{有效值的相对谐波含量} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \cdots + U_n^2}}{U_1} \times 100\% \quad (25\text{-}32a)$$

式中 U_n 是 n 次谐波电压有效值。

功率的相对谐波含量由下式表示：

$$\text{功率的相对谐波含量} = 10\lg\frac{P_2 + P_3 + P_4 + \cdots + P_n}{P} \ (\text{dB}) \quad (25\text{-}32b)$$

式中 P_n 是 n 次谐波的功率。

(2) 载波的相对分谐波含量

规定的分谐波输出信号的功率值与载波基波功率值之比，以低于载波电平的分贝数表示。

注：分谐波又称为分数谐波。

(3) 载波的相对非谐波含量

规定的非谐波输出信号功率值与载波基波功率值之比，以低于载波电平的分贝数表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-4。

(2) 测试步骤

要求频谱分析仪的频率范围的下限是载波频率测量范围内最低频率的 1/3，上限是载波频率测量范围内最高频率的 3 倍。在此频率范围以外的任何不可忽略的含量也应按规定测出。

① 在额定工作条件下，被测信号发生器置于未调制状态，载波幅度指示器调到最大额定输出电平。

② 从频谱分析仪上，测得输出基波幅度为 V_1(dB)。

③ 测得该频率的 2 次、3 次……n 次谐波含量和 1/2 次、1/3 次……$1/n$ 次分谐波含量分别为 V_2、V_3、…V_n(dB) 和 V'_2、V'_3、……V'_n(dB)（n 为大于 1 的整数），以及最大的非谐波含量(若在频率范围中分段规定指标，则分段测出) V_{non}(dB)。

④ 相对谐波含量和相对分谐波含量由式(25-32c)、(25-33) 求得：

$$\text{第 } n \text{ 次相对谐波含量} = (V_n - V_1)\ \text{dBc} \quad \text{或用百分数表示} \quad (25\text{-}32c)$$

$$1/n \text{ 次相对分谐波含量} = (V'_n - V_1)\ \text{dBc} \quad \text{或用百分数表示} \quad (25\text{-}33)$$

⑤ 相对非谐波含量由式(25-34)求得：

$$\text{相对非谐波含量} = (V_{non} - V_1)\text{dBc} \quad \text{或用百分数表示} \quad (25\text{-}34)$$

注：频谱分析仪的动态范围要足够大，应特别注意被测信号发生器的输出幅度太大时，频谱分析仪带来的非线性失真，其输入衰减、分辨率带宽和扫速要选择恰当。

16. 源阻抗和输出阻抗

source impedance and output impedance

(1) 源阻抗

当源电动势保持在与负载无关的恒定值时信号发生器的内阻抗。

注：① 如图 25-17 所示，信号发生器可看作为一个内部电动势与阻抗 Z 和 $Z_{源}$ 串联，再接至负载 $Z_{外}$。当 AB 间的源电动势保持恒定时，电路中 AB 端向左的部分阻抗视为零，信号发生器的源阻抗等于 $Z_{源}$。如果 $Z_{外}$ 等于额定源阻抗，PQ 端呈现匹配输出电压。如果端点 PQ 之间的电压保持恒

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

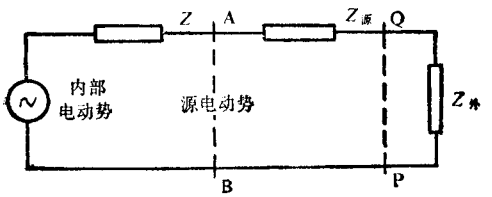


图　25-17

定，信号发生器的源阻抗视为零。但是从 PQ 端向内看，输出阻抗是 $Z+Z_{源}$。

② 实际情况往往是图中 Z 的值很小，可忽略。

③ 源电动势是自动保持恒定值，还是由人工调节保持恒定值，这一点是无关紧要的。

（2）输出阻抗

在信号发生器输出端（图 25-17 中端点 P 和 Q）往里看所呈现的阻抗（$Z+Z_{源}$）。

注：① 源阻抗是主要定义，因为它表示装置作为一台接有线性负载的信号发生器工作时的阻抗。对于非线性或调谐负载，特别是输出一已调制信号时，Z 的值对信号发生器输出的电压有影响，这时 Z 应可能接近零。输出阻抗可以大于源阻抗，特别是在信号发生器的输出电路中没有衰减时（即在高输出电平）。

② 阻抗的误差通常用电压驻波比（VSWR）来表示，或者用反射系数更精确地表示。

③ 测量输出阻抗时，信号发生器应处于规定的工作条件。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 25-18。

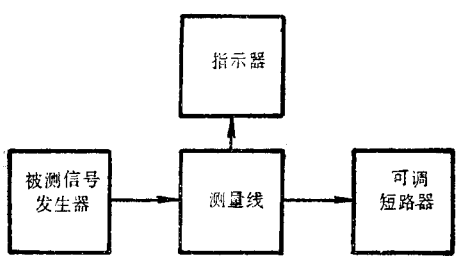


图　25-18

（2）测试步骤

① 被测信号发生器置于未调制状态，载波幅度指示调到最大额定输出电平，衰减器置于“0”衰减位置。

② 置测量线的探针在腹点位置，移动测量线的探针和短路器并使探针和短路器的距离保持为预调频率的 1/4 波长，读取指示器最大和最小测量值 a_{max} 和 a_{min}。

重复上述动作，并且保持信号发生器输出指示器指示不变，测得 a'_{max} 和 a'_{min}。

③ 源阻抗的驻波比 S_s 由式(25-35)计算：

$$S_s=\frac{S_t\sqrt{\frac{a'_{max}}{a'_{min}}}-1}{S_t-\sqrt{\frac{a'_{max}}{a'_{min}}}} \qquad (25\text{-}35)$$

输出阻抗的驻波比 S_0 由式(25-36)计算：

$$S_0=\frac{S_t\sqrt{\frac{a_{max}}{a_{min}}}-1}{S_t-\sqrt{\frac{a_{max}}{a_{min}}}} \qquad (25\text{-}36)$$

式中　S_t——短路器的驻波比。

注：① 当被测信号发生器频率较低（150 MHz 以下）其输出电路基本上是纯电阻电路时，可用高精度电压表测出被测信号发生器的开路电动势 E 及匹配电压 V，然后按式（25-37）求出源阻抗驻波比 S_s。

$$S_s=\frac{E}{V}-1 \qquad (25\text{-}37)$$

② 亦可用其它合理的方法进行测试。

17. 辐射和泄漏

radiation and leakage

辐射：由于信号发生器不完善而引起的不需要的辐射场。

泄漏：由于信号发生器内部不完善而引起并出现在任何外部连线（包括电源线）上不需要的电压。

测试方法：

I. 载波的辐射

用下述两种方法进行测试，其结果都应达到有关性能特性的规定。

按 GB6833.10《电子测量仪器电磁兼容性试验规范，辐射干扰试验》规定的方法进行测试。

按下述方法进行测试。

（1）测试方框图，见图 25-19。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

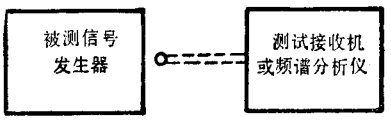


图 25-19

(2) 测试步骤

在额定工作条件下，被测信号发生器置于最低电平的未调制状态，即衰减器置于最大衰减位置，载波频率可以任意选择，射频输出端和辅助输出端接 50 Ω 负载。

用线径 1 mm 的镀银铜线，制成两圈直径为 2.5 cm、匝间距离为 2 mm 的环状天线，并将它用特性阻抗为 50 Ω、长度为 1m 的电缆接到输入阻抗为 50 Ω 的测试接收机（或频谱分析仪)的输入端，用环状天线在距离被测信号发生器 2.5 cm 处的任何部位，由测试接收机或频谱分析仪在 10 kHz ～ 1000 MHz 频率范围内，测出的最大感应电压，应不超过被测信号发生器产品标准的规定。

注：① 测试需在屏蔽室内进行。

② 当测试接收机或频谱分析仪的灵敏度不够高时，可在其输入端加一个带宽和增益均满足要求的低噪声放大器，测试前要事先定标。

II. 载波的泄漏

按 GB 6833.9《电子测量仪器电磁兼容性试验规范，信道干扰试验》规定的方法进行测试。

18. 不需要的直流分量和调制频率分量

unwanted DC contents and modulating frequency

信号发生器输出的射频信号中，含有的直流分量和调制频率的分量。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-20。

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器置于未调制状态，载波幅度指示置于最大额定输出电平 V。

② 由测试设备测得输出直流电压 V_1 和

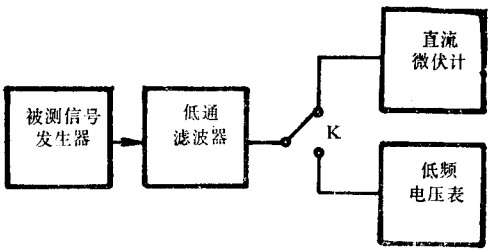


图 25-20

低频交流电压 V_2。

③ 不需要的直流分量 $= \frac{V_1}{V}$ (25-38)

或换算成 dB 表示

④ 不需要的调制频率分量 $= \frac{V_2}{V}$ (25-39)

或换算成 dB 表示

19. 单边带相位噪声和相位噪声

single-sideband phase noise and phase noise

(1) 单边带相位噪声

1 Hz 带宽内噪声的功率值与载波基波功率值之比。

注：① 单边带相位噪声通常应对偏离载波的频率值作出规定。

② 若在 1Hz 带宽内，调幅噪声与相位噪声相比可以忽略时，则为单边带相位噪声。

(2) 相位噪声

在以载波频率为中心的 30 kHz 等效噪声带宽内，不包括载波频率为中心的 1 Hz 带宽，所测得的不需要的相位调制边带的功率值与载波基波功率值之比。以 dB 表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-21。

(2) 测试步骤

① 选用正交鉴相法相位噪声测试仪进行测量，相位噪声测试仪的剩余单边带相位噪声应优于被测信号发生器的单边带相噪一个数量级。参考源的单边带相位噪声也应优于被测信号发生器的单边带相噪，10 dB 的容限就足够了。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

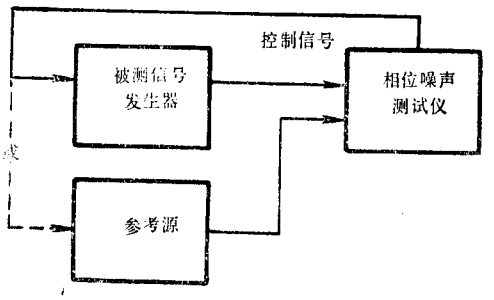


图　25-21

正交的获得可利用相位噪声测试仪输出的误差控制电压控制被测信号发生器（或参考源），系统锁定后即实现正交。注意应使环路带宽远小于测量过程中最小的偏离载波的频率。

② 相位正交后，鉴相器输出经相位噪声测试仪内部的低噪声放大器放大（增益为 A）后，直接由仪器的终端部分显示读数。

③ 单边带相位噪声 $L(f)$

相位噪声测试仪工作选择开关置于 L(f)，终端部分读出对应于偏离载波的频率 f 处的噪声电压为 $V_X(t, f+F_N/2, f-F_N/2)$dB 则：

$$L(f)=(-3-10\lg F_N-20\lg A-20\lg K_\phi/V_r+V_X)\text{dB}_c/\text{Hz} \quad (25\text{-}40)$$

式中　F_N——终端部分等效噪声带宽（Hz）；

V_r——终端部分参考电平（V）；

A——低噪声放大器电压增益；

K_ϕ——鉴相器灵敏度（V/rad）；

f——偏离载波的频率（Hz）；

V_X——终端部分测出的电压（dB）。

当不能满足环路带宽远小于测量过程中最低偏离载波频率这一条件时，(25-40)式要加入修正项 $+10\lg|1+$ 锁相环路正向增益 $|$。

注：① 本方法亦可用于相对非谐波含量的测量，但是需要从(25-40)式中除去带宽校准系数（$10\lg F_N$）。

② 可用频谱分析仪或选频电平表作为相位噪声测试仪的外接终端部分，测量 $L(f)$ 时，当工作于线性模式时还应加上 1.05 dB 检波器校正值，当工作于对数模式时，这个值为 2.5 dB。在智能频谱分析仪中，校正值可自动计入，频谱分析仪或选频电平表的等效噪声带宽可用合成信号发生器测定。

④ 相位噪声 $N/S(f_L, f_H)$

仍用相位噪声测试仪进行测量，相位噪声测试仪工作选择开关置于 N/S 位置，终端部分读数为 $V_X(t, f_L, f_H)$。则：

$$N/S(f_L, f_H)=[V_X(t, f_L, f_H)-20\lg A-20\lg K_\phi/V_r]\text{dB}_c \quad (25\text{-}41)$$

式中　f_L——等效噪声带宽的下截止频率，应为 0.5Hz。

f_H——等效噪声带宽的上截止频率，应为 15 kHz。

注：亦可使用其它合理的方法测试单边带相位噪声和相位噪声。

20. 输出幅度转换时间

output amplitude switching time

输出电平从开始变化起，到电平接近终止值、并且与终止值的偏离保持在规定范围内的时间间隔。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 25-22。

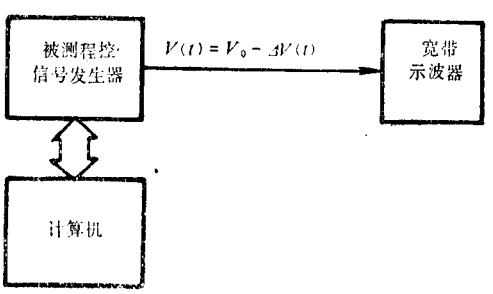


图　25-22

（2）测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器置于未调制状态，输出载波频率为 f、电平为 V_0 的信号加到宽带示波器观察波形。

② 被测信号发生器，按预先编好的程序，由计算机通过接口母线进行幅度控制，使其幅度在两种电平上交替变化。

$$V(t)=V_0-\Delta V(t)$$

式中的电平以 dB 表示，ΔV 为幅度变化量，为了便于观察起见，可选择 V_0 为最大额定

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

输出电平，ΔV 为 20 dB，两种电平的持续时间，可置定成相等的，但比幅度转换时间长得多。

从示波器观察到的波形示意图如图 25-23 所示。

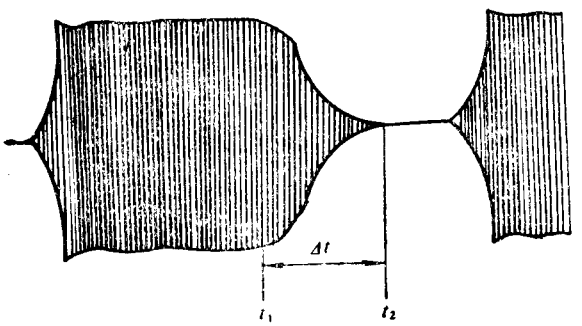


图 25-23

读出由 V_0dB 开始变化的时刻 t_1，以及达到 (V_0-20) dB 规定误差范围时相对应的时刻 t_2，则幅度转换时间 Δt 表示为：

$$\Delta t = t_1 - t_2 \qquad (25\text{-}42)$$

21. 调幅系数工作误差(正弦调制)

amplitude modulation factor operation error (for sinusoidal modulation)

调幅信号最大和最小幅度之差的一半与这些幅度平均值之比，称为调幅系数。

注：调幅系数(可以是百分数表示)，也可称为调幅深度。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-24。

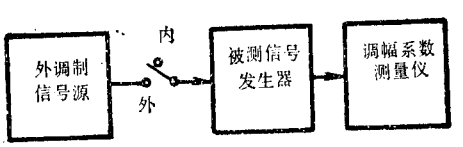


图 25-24

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器置于调幅工作状态（既要测内调制，也要测外调制），已调载波接到调幅系数测量仪输入端。

② 当被测调幅波的调制失真不大于5%时，调幅系数测量仪测得的值可认为有效调幅系数，否则为该调幅度测量仪定义之调幅系数。

③ 在调制频率范围内足够多的频率点以及 1000 Hz 频率点上测量调幅系数的工作误差 δ，表示为：

$$\delta = \frac{M - M_1}{M} \times 100\% \qquad (25\text{-}43)$$

式中 M——调幅系数的预调值；

M_1——调幅系数测量值（取上或下调幅系数，二者误差较大的值）。

或表示为：

$$\delta = \frac{M - M_1}{M'} \times 100\% \qquad (25\text{-}44)$$

式中 M'——调幅系数规定的准值。

④ 从上述测试结果中，算出最大调幅系数时的调制频响(相对于 1000 Hz 的最大调幅系数)。

22. 调幅系数的稳定度

stability of amplitude modulation factor

在其它条件保持不变的情况下，信号发生器调幅系数在规定时间内的变动量。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-24。

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器置于内调幅状态，调幅系数预调值为 M，调幅系数测量仪监视调幅系数随时间的变化，每隔 1 分钟（或 15 分钟）测量一次，连续测量 1 小时（或 4 小时），找出任何 15 分钟(或任何 3 小时)时间间隔内调幅系数最大变化量 ΔM_{max}（和 $\Delta M'_{max}$）。

② 稳定度 S 表示如下

15 分钟的：

$$S = \frac{\Delta M_{max}}{M} \times 100\% \qquad (25\text{-}45)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3 小时的:

$$S=\frac{\Delta M'_{max}}{M}\times 100\% \qquad (25\text{-}46)$$

23. 调幅系数的变动量

variation of amplitude modulation factor

信号发生器在外部影响量变化时，其调幅系数的变动量。

测试方法:

I 环境温度变化引起的调幅系数的变动量

(1) 测试方框图，见图 25-25。

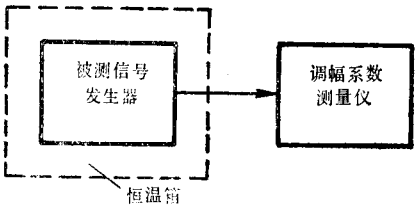


图　25-25

(2) 测试步骤

被测信号发生器置于恒温箱内，工作于调幅状态，调幅系数预调值为 M，在基准工作条件下，测得调幅系数为 M_0。

当温度对调幅系数影响为线性关系时，将恒温箱温度调到 10℃(或 30℃)。经热平衡后，使信号发生器的调幅指示保持不变，测得调幅系数为 M_1 (或 M_2)。

调幅系数的温度影响系数 α 表示为:

$$\alpha=\frac{M_0-M_1}{10M}\times 100\%/℃ \qquad (25\text{-}47)$$

或 $$\alpha=\frac{M_2-M_0}{10M}\times 100\%/℃ \qquad (25\text{-}48)$$

当温度对调幅系数影响不为线性关系时，应在整个温度工作范围内按适当密度测试，测出调幅系数变动量。

II 交流供电电源电压变化引起的调幅系数变动量

(1) 测试方框图，见图 25-26。

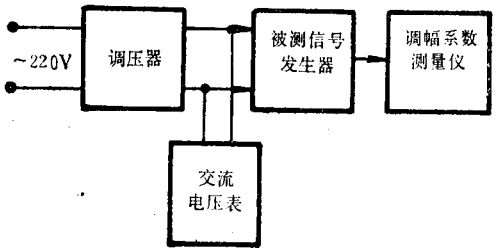


图　25-26

(2) 测试步骤

在基准工作条件下，被测信号发生器置于调幅状态，调幅系数预调值为 M，测量值为 M_0。

将电源电压突然调到 242 V (和 198 V)，读出第 1 分钟内相对于调幅系数 M_0 最大的变化 $\Delta M'_1$ (和 $\Delta M''_1$)，然后测出 15 分钟以后最大变化 $\Delta M'_2$ ($\Delta M''_2$)。

电源电压变化±10%引起的变动量 δ

第 1 分钟内的:

$$\delta=\frac{\Delta M_1}{M}\times 100\%/\text{电源电压变化}\pm 10\% \qquad (25\text{-}49)$$

式中　ΔM_1——$\Delta M'_1$ 和 $\Delta M''_1$ 中较大者。

第 15 分钟后的:

$$\delta=\frac{\Delta M_2}{M}\times 100\%/\text{电源电压变化}\pm 10\% \qquad (25\text{-}50)$$

式中，ΔM_2——$\Delta M'_2$ 和 $\Delta M''_2$ 中较大者。

24. 调幅失真(对于正弦调幅信号)

amplitude modulation distortion (for sinusoidal amplitude modulating signal)

当正弦的幅度调制信号加到信号发生器上获得调幅信号时，接到信号发生器输出端的线性检波器输出波形的失真。

注: ① 有时叫做"包络失真"。
② 当检波器的极性翻转时，失真取二者中较大的。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：

（1）测试方框图，见图 25-27。

图 25-27

（2）测试步骤

调幅系数测量仪应在 3 倍于最高调制频率的范围内保持线性，测试过程中应适当调谐载波频率以避免不需要的已调制载波谐波的影响。

在额定工作条件下，被测信号发生器置于调幅状态，并与调幅系数测量仪的输入端相连接。失真度测量仪接到调幅系数测量仪的低频输出端，由失真度测量仪测得的解调信号的失真即被测信号发生器的调幅失真。

25. 不需要的调频（由于调幅引起）

unwanted frequency modulation (due to amplitude modulation)

由于调幅引起信号发生器输出信号的频偏。

注：此量又称为“附加调频”或“调幅时的调频”。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 25-28

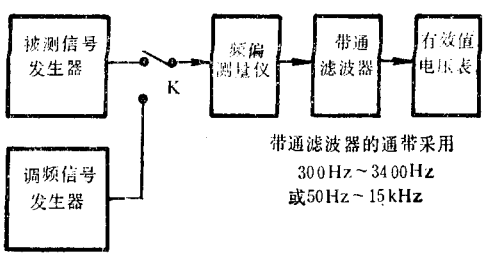


图 25-28

（2）测试步骤

① 在额定工作条件下，选择在测量频偏时对调幅有强抑制能力的频偏测量仪，且其频响应是平坦的。在调幅系数为 0.3 和 0.8 时（小于 0.8 时在最大值上）进行测量。

② 有效值电压表由调频信号发生器提供调制频率为 1000 Hz 的已知频偏 Δf_0 校准，其相应电压为 V_0。

③ 被测信号发生器的 1000 Hz 调幅信号接到频偏测量仪输入端，由电压表测出等效频偏的相应电压 V。

④ 调幅时不需要的调频 Δf_{un} 为：

$$\Delta f_{un} = \frac{V}{V_0} \times \Delta f_0 \qquad (25\text{-}51)$$

注：① 被测信号发生器具有调频性能时，可不使用另外的调频信号发生器。

② 可以直接使用具有符合带宽要求的小频偏测量仪进行测量。

26. 不需要的调频（未调制状态下）

unwanted frequency modulation (in an intentionally unmodulated condition)

信号发生器在未调制状态下，输出信号的频偏。不需要的频偏通常是非正弦的，它等效于正弦频偏在线性鉴频器输出端所产生的相同有效值电压。

注：① 测量时应指明加重或去加重的带宽。

② 此量又称为“剩余调频”或“载波时的调频”。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 25-28。

（2）测试步骤

与上述“不需要的调频（由于调幅引起）”指标中规定的步骤相似，只是将调幅波改成未调制载波，不需要的调频的带宽就是所采用带通滤波器的带宽 300 Hz ～ 3.4 kHz 或 50 Hz～15 kHz。

27. 载波脉冲包络持续时间

carrier pulse envelope duration

已调载波的脉冲包络、起始时间与终了时间之间的持续时间

测试方法：

（1）测试方框图，见图 25-29、25-30、25-31、25-32。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

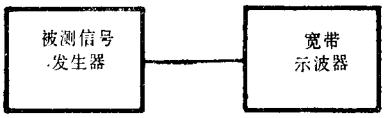


图　25-29

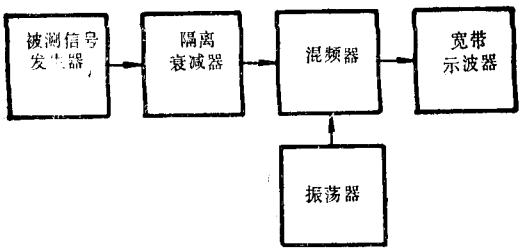


图　25-30

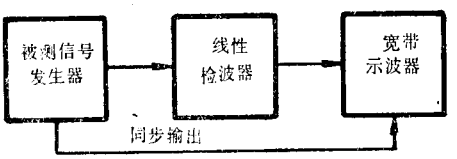


图　25-31

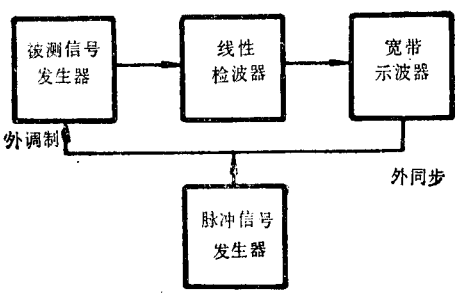


图　25-32

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器工作于脉冲调制状态。载波脉冲包络持续时间的预调值为 τ。

② 宽带示波器频率范围应足够宽（见图 25-29），亦可选用配有振荡器的混频器变频后，再用宽带示波器测量（见图 25-30）。亦可在检波后再用宽带示波器测量（见图 25-31 或 25-32），测量仪器应满足被测信号发生器对负载阻抗的要求。

③ 由宽带示波器测得的脉冲持续时间为 τ_1，则载波脉冲包络持续时间的工作误差 δ 表示为：

$$\delta = \frac{\tau - \tau_1}{\tau} \times 100\% \qquad (25\text{-}52)$$

28. 载波脉冲包络持续时间的稳定度

stability of carrier pulse envelope duration

在其它条件保持不变的情况下，信号发生器载波脉冲包络持续时间，在规定时间内的变动量。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-29～图 25-32。

(2) 测试步骤

① 与上述“载波脉冲包络持续时间”指标测试步骤①、②两项相同。

② 在规定的时间内宽带示波器测得的载波脉冲持续时间晃动的峰-峰值 Δ 表示为：

$$\Delta = \tau_{max} - \tau_{min} \qquad (25\text{-}53)$$

式中　τ_{max} 和 τ_{min}——规定时间内测得的载波脉冲持续时间的最大值和最小值。

29. 载波脉冲包络持续时间的变动量

variation of carrier pulse envelope duration

信号发生器在外部影响量变化时，其载波脉冲包络，持续时间的变动量。

测试方法：

I. 环境温度变化引起的变动量

(1) 测试方框图，见图 25-33。

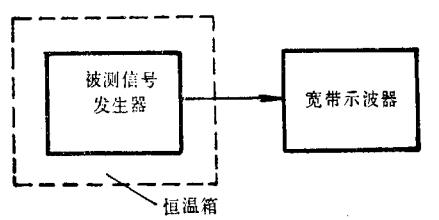


图　25-33

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试步骤

将被测信号发生器置于恒温箱内，工作于脉冲调制状态。在基准工作条件下，载波脉冲包络持续时间预调值 τ，宽带示波器测量值 τ_0。

当温度对载波脉冲包络持续时间的影响为线性关系时，将恒温箱温度调到 10℃(或 30℃)，经热平衡测得载波脉冲包络持续时间为 τ_1(或 τ_2)，则载波脉冲包络持续时间的温度影响系数 α 表示为：

$$\alpha = \frac{(\tau_0 - \tau_1)}{10\tau} \times 100\%/℃ \quad (25\text{-}54)$$

或

$$\alpha = \frac{(\tau_2 - \tau_0)}{10\tau} \times 100\%/℃ \quad (25\text{-}55)$$

当温度对载波脉冲包络持续时间的影响不为线性关系时，应在温度的工作范围内按适当的密度进行测试，测出载波脉冲包络持续时间的变动量。

II. 交流供电电源电压变化引起的变动量

(1) 测试方框图，见图 25-34。

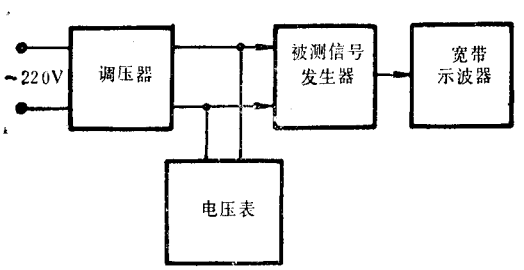


图 25-34

(2) 测试步骤

在基准工作条件下，被测信号发生器置于脉冲调制状态。载波脉冲包络持续时间预调值 τ，宽带示波器上的测量值 τ_0。

将电源电压突然调到 242 V (和 198 V) 读出第 1 分钟内与 τ 相差最大的脉冲持续时间变化量 $\Delta\tau_1'$ (和 $\Delta\tau_1''$)。

随后测出第 15 分钟以后与 τ 相差的最大脉冲持续时间变化量 $\Delta\tau_2'$ (和 $\Delta\tau_2''$)。

电源电压变化引起的载波脉冲包络持续时间的变动量 α

第 1 分钟内：

$$\alpha = \frac{\Delta\tau_1}{\tau} \times 100\%/\text{电源电压变化} \pm 10\% \quad (25\text{-}56)$$

式中 $\Delta\tau_1$——$\Delta\tau_1'$ 的 $\Delta\tau_1''$ 中较大者。

第 15 分钟后：

$$\delta = \frac{\Delta\tau_2}{\tau} \times 100\%/\text{电源电压变化} \pm 10\% \quad (25\text{-}57)$$

式中 $\Delta\tau_2$——$\Delta\tau_2'$ 和 $\Delta\tau_2''$ 中较大者。

30. 载波脉冲的前(后)过渡持续时间

first (last) transition duration of carrier pulse envelope

已调载波脉冲包络前(后)过渡波形的过渡持续时间。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-29～图 25-30。

(2) 测试步骤

① 与指标 27 "载波脉冲包络持续时间"的图 25-29 和图 25-30 测试步骤两项相同。

② 用宽带示波器测出载波脉冲前(后)过渡持续时间。

31. 载波脉冲的脉冲波形失真

carrier pulse envelope waveform distortion

已调载波脉冲波形与基准脉冲波形所有时间对应点上幅度的代数差，通常以峰-峰波形失真表示。

注：当表示已调制的载波脉冲的失真时，基准脉冲波形是指调制脉冲波形。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-35。

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器置于脉冲调制状态。

② 脉冲信号发生器外调制被测信号发生

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

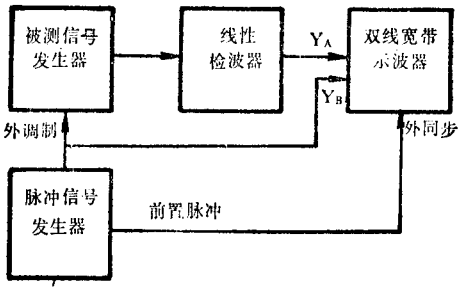


图　25-35

器，并从前置脉冲输出端输出前置脉冲触发示波器的扫描。将调制脉冲(接 Y_B 输入端)和载波脉冲检波后的脉冲(接 Y_A 输入端)波形加以比较(调整 Y_A，Y_B 放大量和光迹位置，使两脉冲波形重合)，在所有时间对应点上，测取两者幅度代数差的波形的峰峰值 ΔV_{p-p}。

③ 载波脉冲失真 δ 表示为：

$$\delta = \frac{\Delta V_{p-p}}{V} \times 100\% \qquad (25\text{-}58)$$

式中　V——示波器显示的调制脉冲幅度。

32. 载波脉冲的延迟

delay of the carrier pulse envelope

信号发生器输出端载波脉冲的前过渡与在触发端或调制输入端观察到的调制脉冲前过渡之间的时间间隔。在幅度的 50%处测量(忽略过冲)。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-36、图 25-37、图 25-38。

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器置

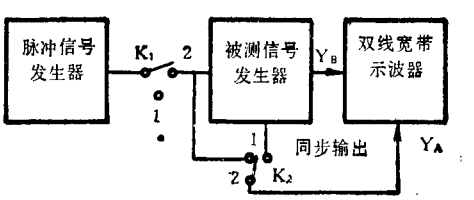


图　25-36

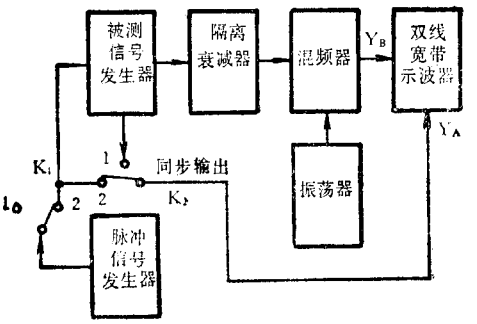


图　25-37

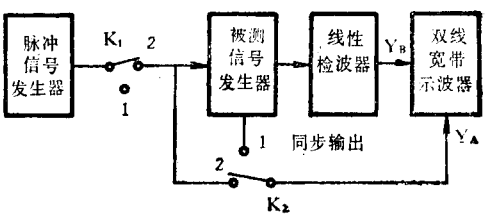


图　25-38

于脉冲调制状态。其射频输出端接到宽带示波器 Y_B 输入端，被测信号发生器的同步输出信号(开关置 1)或外脉冲信号发生器的输出信号(开关置 2)加到示波器 Y_A 端并触发扫描(见图 25-36)。

② 若示波器带宽不够时，可用混频器和振荡器通过变频的方法(见图 25-37)或用检波法(见图 25-38)进行测量。

③ 改变信号发生器载波脉冲延迟时间，用示波器时间测量单元测出载波脉冲延迟时间范围。

④ 载波脉冲延迟时间测量范围内任意点的延迟时间的误差 Δt 表示为：

$$\Delta t = t_0 - t_1 \qquad (25\text{-}59)$$

式中　t_0——载波脉冲延迟时间的预调值；

t_1——载波脉冲延迟时间的实测值。

33. 脉冲展宽

carrier pulse envelope stretching

已调载波脉冲持续时间与基准脉冲持续时间之差。

测试方法：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 测试方框图，见图 25-39 和图 25-40。

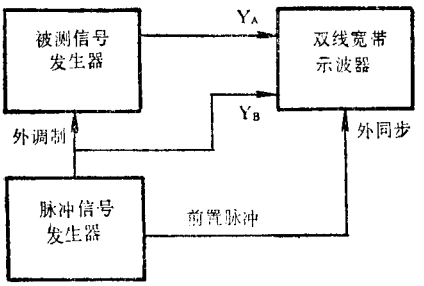


图 25-39

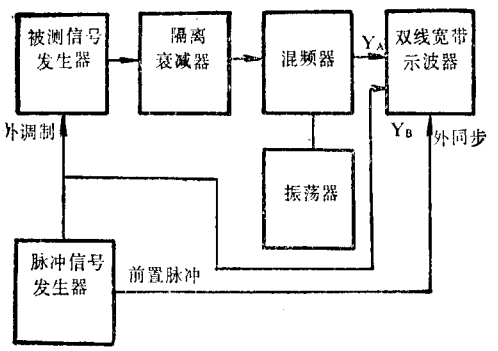


图 25-40

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器置于外脉冲调制状态。被测信号发生器射频输出端接双线宽带示波器的 Y_A 输入端，被测信号发生器外脉冲输入端的调制脉冲波形接到示波器的 Y_B 输入端。由脉冲信号发生器输出的前置脉冲信号加到示波器外同步输入端并触发扫描。(见图 25-39)。

若宽带示波器带宽不够可采用变频法（见图 25-40）或检波法(见图 25-35) 进行测量。

② 在双线示波器上测得调制脉冲的持续时间 τ_1 和载波脉冲持续时间 τ。

③ 脉冲展宽 Δ 表示为:

$$\Delta = \tau - \tau_1 \qquad (25\text{-}60)$$

34. 空度比效应

effect of duty factor

改变已调载波脉冲空度比时，引起载波脉冲幅度的变动量。

注: 空度比: 周期脉冲的脉冲持续时间与脉冲重复周期之比。

测试方法:

(1) 测试方框图，见图 25-29～图 25-32。

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器工作于脉冲调制状态。载波脉冲包络持续时间的预调值为 τ。

② 宽带示波器频率范围应足够宽（见图 25-29)，亦可选用配有振荡器的混频器变频后，再用宽带示波器测量（见图 25-30)。亦可在检波后再用宽带示波器测量（见图 25-31 或 25-32)，测量仪器应满足被测信号发生器对负载阻抗的要求。

③ 被测信号发生器的脉冲重复周期在任何值时，测试由于改变脉冲持续时间引起的载波脉冲幅度的变化。

35. 载波窜通

carrier breakthrough

在载波脉冲间隔期间，信号发生器输出端不需要的载波信号电压有效值或功率值与脉冲持续时间的电压有效值或功率值之比。以分贝表示。

测试方法:

(1) 测试方框图，见图 25-4。

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器置于脉冲调制状态。在每个频段的任意频率点上进行测试。

② 用频谱分析仪显示出脉冲谱，频谱分析仪中频带宽 B_1 尽可能满足 B_1 大于或等于 $1/K\tau$，则其脉冲谱(包络示意图)如图 25-41。

其中 τ——载波脉冲持续时间;

K——经验数据，通常为 1.5。

在载波频率谱线处的脉冲谱幅度为 A_2dB。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

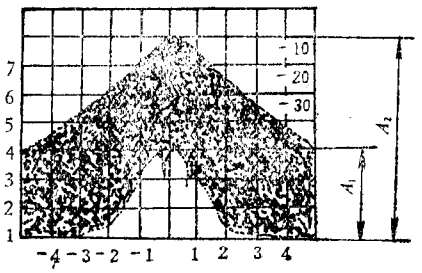


图　25-41

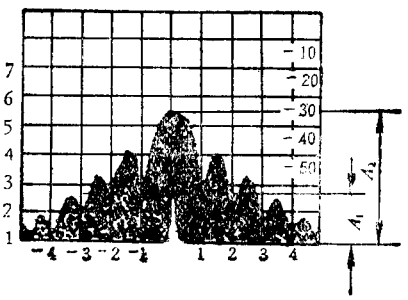


图　25-42

窄通幅度为 A_1dB，则脉冲调制时的载波窄通 Δ 表示为：

$$\Delta = -(A_2 - A_1)\text{dB} \qquad (25\text{-}61)$$

当载波脉冲持续时间变窄，不能满足 B_1 大于或等于 $1/K\tau$ 时，则只有在窄的中频带宽 B_1 的情况下进行测试，其脉冲谱(包络示意图)如图 25-42，则在这种情况下，脉冲调制时的载波窄通 Δ 表示为：

$$\Delta = -[(A_2 - A_1) + |20\lg KB_1\tau|]\text{dB} \qquad (25\text{-}62)$$

36. 频偏工作误差(正弦调制)

frequency deviation operation error (for sinusoidal modulation)

纯正弦调制的一周期内，载波频率总偏移(峰-峰值)的一半称为频偏。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-43。

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器置

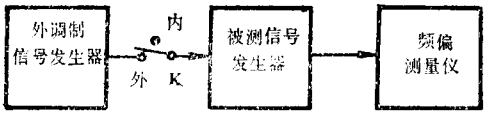


图　25-43

于调频状态(既要测内调制，也要测外调制)。已调载波接到频偏测量仪输入端。

② 被测调频信号的调制失真不大于 5% 时，由频偏测量仪所测得的值可认为有效频偏，否则为频偏测量仪定义的频偏。

③ 在有效调制频率范围内足够多的频率点，以及 1000 Hz 频率点上，测量频偏的工作误差 δ 表示为：

$$\delta = \frac{\Delta f - \Delta f_1}{\Delta f} \times 100\% \qquad (25\text{-}63)$$

式中　Δf——频偏预调值；

Δf_1——频偏测量值（取上或下频偏二者误差较大者）。

或表示为

$$\delta = \frac{\Delta f - \Delta f_1}{\Delta f'} \times 100\% \qquad (25\text{-}64)$$

式中　$\Delta f'$——频偏的规定准值。

④ 从上述测试结果中算出最大频偏时的调制频响。(相对于 1000 Hz 调制频率时的最大频偏)。

37. 频偏的稳定度

stability of frequency deviation

在其它条件保持不变情况下，信号发生器的频偏在规定时间内的变动量。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-43。

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器置于调频状态，频偏预调值为 Δf，用频偏测量仪监测频偏随时间的变化，每隔 1 分钟(或 15 分钟)测量一次，连续测量 1 小时(或 4 小时)找出任何 15 分钟(或 3 小时)时间间隔内频偏的最

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

大变化量 $D_{\Delta f\max}$（和 $D'_{\Delta f\max}$）。

② 频偏稳定度 S 的表示如下：

15 分钟的：

$$S=\frac{D_{\Delta f\max}}{\Delta f}\times 100\% \qquad (25\text{-}65)$$

3 小时的：

$$S=\frac{D'_{\Delta f\max}}{\Delta f}\times 100\% \qquad (25\text{-}66)$$

38. 频偏的变动量

variation of frequency deviation

信号发生器在内部或外部影响量变化时，其频偏的变动量。

测试方法：

I. 环境温度变化引起的频偏的变动量

（1）测试方框图，见图 25-44。

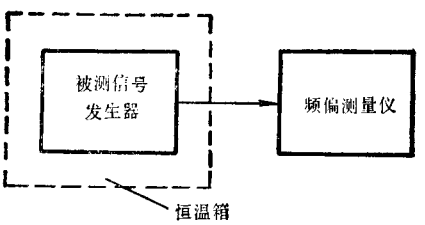


图 25-44

（2）测试步骤

被测信号发生器置于恒温箱内，工作于调频状态，频偏预调值为 Δf，在基准工作条件下，测得频偏为 Δf_0。

当温度对频偏的影响为线性关系时，将恒温箱温度调到 10℃（或 30℃），经热平衡后，保持被测信号发生器的频偏指示值不变。测得频偏为 Δf_1（或 Δf_2）。

温度对频偏的影响系数 α 表示为：

$$\alpha=\frac{\Delta f_0-\Delta f_1}{10\Delta f}\times 100\%/℃ \qquad (25\text{-}67)$$

或

$$\alpha=\frac{\Delta f_2-\Delta f_0}{10\Delta f}\times 100\%/℃ \qquad (25\text{-}68)$$

当温度对频偏的影响不为线性关系时，应在整个温度工作范围内按适当密度测试，测出频偏变动量。

II. 交流供电电源电压变化引起的频偏变动量。

（1）测试方框图，见图 25-45。

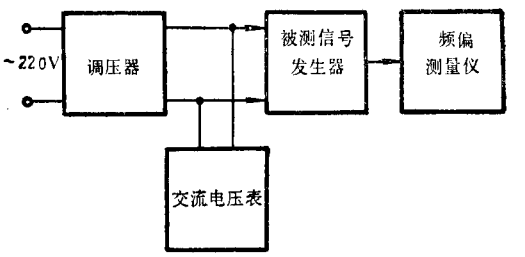


图 25-45

（2）测试步骤

在基准工作条件下，被测信号发生器置于调频状态，频偏的预调值为 Δf，测量值为 Δf_0。

将电源电压突然调到 242 V（和 198 V），读出第 1 分钟内相对于频偏 Δf_0 的最大变化 $D'_{\Delta f_1}$（和 $D''_{\Delta f_1}$）。然后测出第 15 分钟以后的最大变化 $D'_{\Delta f_2}$（和 $D''_{\Delta f_2}$）。

电源电压变化引起频偏的变动量 δ

第 1 分钟内：

$$\delta=\frac{D_{\Delta f_1}}{\Delta f}\times 100\%/\text{电源电压变化}\pm 10\% \qquad (25\text{-}69)$$

式中 $D_{\Delta f_1}$——$D'_{\Delta f_1}$ 和 $D''_{\Delta f_1}$ 中较大者

第 15 分钟后：

$$\delta=\frac{D_{\Delta f_2}}{\Delta f}\times 100\%/\text{电源电压变化}\pm 10\% \qquad (25\text{-}70)$$

式中 $D_{\Delta f_2}$——$D'_{\Delta f_2}$ 和 $D''_{\Delta f_2}$ 中较大者

III. 增量频率引起频偏的变动量

（1）测试方框图，见图 25-43。

（2）测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在基准工作条件下，被测信号发生器置于调频状态，先将增量频率控制置于中心位置（“0”增量频率位置），测出频偏为 Δf_0。再改变增量频率控制，找出频偏变化最大时所对应的频偏 Δf_{max}。

增量频率引起频偏的变动量 $D_{\Delta f}$ 表示为：

$$D_{\Delta f} = \Delta f_{max} - \Delta f_0 \qquad (25\text{-}71)$$

39. 调频失真（正弦调频信号）

frequency modulation distortion (for sinusoidal frequency modulating signal)

当正弦调制信号加到信号发生器而获得调频信号时，接在信号发生器输出端的线性鉴频器输出波形的失真。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 25-46。

图　25-46

（2）测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器工作于调频状态，频偏调到最大额定值，调制频率 1000 Hz，并接到频偏测量仪输入端。

② 失真度测量仪接到频偏仪的低频输出端，由失真度测量仪测出解调信号的失真，即被测信号发生器调频时的调制失真。

注：频偏测量仪应在 3 倍于最高调制频率的范围内保持线性。

40. 不需要的调幅（调频时）

unwanted amplitude modulation (due to frequency modulation)

由于调频引起信号发生器输出信号的调幅系数。

注：这又叫“附加调幅“或”调频时的调幅”。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 25-47。

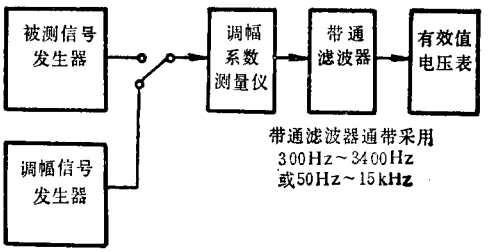


图　25-47

（2）测试步骤

① 用调幅信号发生器提供 1000 Hz 调制的已知调幅系数 M_0 的信号来校准，在有效值电压表上，相应电压读数为 V_0。

② 在额定工作条件下，被测信号发生器工作于调频状态，频偏调到最大额定值，调制频率 1000 Hz，接到调幅系数测量仪输入端，用有效值电压表测出不需要的调幅系数所对应的电压为 V_1。

③ 最大频偏引起的不需要的调幅系数 M_{un}

$$M_{un} = \frac{V_1}{V_0} M_0 \qquad (25\text{-}72)$$

注：① 被测信号发生器具有调幅性能时，可不使用另外的调幅信号发生器。亦可用小调幅度测量仪进行测量。

② 调幅系数测量仪的中频通道必须足够宽而平坦，以便调频频谱通过。它的低频通道必须容许调制频率通过。

41. 不需要的调幅（在未调制状态下）

unwanted amplitude modulation (in an intentionally unmodulated condition)

信号发生器在未调制状态下，输出信号的调幅系数 M_{un}，其值由下式确定：

$$M_{un} = \frac{\sqrt{2}\,U_{meff}}{U_{dc}}$$

式中　U_{meff}——交流分量的有效值；

U_{dc}——信号发生器输出信号经线性检波后输出的直流分量。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

注：① 测量中应规定加重或去加重带宽。
② 该量亦称为"剩余调幅"(在未调制载波上)或"载波时的调幅"。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-47。

(2) 测试步骤

与指标 40"不需要的调幅（由于调频引起)"测试步骤相似，但需将调频波改成未调制载波，不需要的调幅的带宽就是所采用带通滤波器的带宽 300 Hz ～ 3.4 kHz 或 50 Hz ～ 15 kHz。

42. 内调制频率范围

frequency range of internal modulation

测试信号发生器内正弦调制的频率范围及误差；内脉冲调制的频率范围及误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-48。

图 25-48

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器的内调制信号输出端接到频率计。

② 内调制信号频率预调值为 f，频率计测量值为 f_1。

③ 内调制信号频率的工作误差 δ：

$$\delta = \frac{f - f_1}{f} \times 100\% \qquad (25\text{-}73)$$

④ 测出内调制信号频率测量范围的最高端频率 f_{max} 和最低端频率 f_{min}。

43. 内调制信号频率的稳定度

stability of internal modulating frequency

在其它条件保持不变情况下，信号发生器内调制信号频率，在规定时间内的变动量。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-48。

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器内调制信号加到频率计测频，预置频率为 f，监测其频率随时间的变化情况，每隔 5 分钟测量一次，连续测量 2 小时，找出任何 1 小时时间间隔内频率最大变化量 Δf_{max}。

② 频率稳定误差 S 表示为：

$$S = \frac{\Delta f_{max}}{f} \times 100\% \qquad (25\text{-}74)$$

44. 内调制信号频率的变动量

variation of internal modulating frequency

在外部影响量变化时，信号发生器内调制信号频率的变动量。

测试方法：

I. 环境温度变化引起的频率变动量

(1) 测试方框图，见图 25-49。

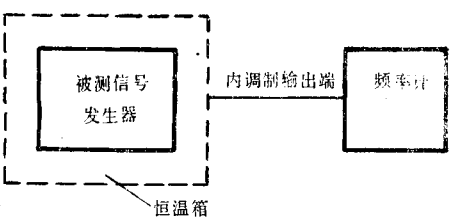


图 25-49

(2) 测试步骤

被测信号发生器置于恒温箱内，将内调制信号输出端与频率计相连接，频率预调值为 f，在基准工作条件下，测得频率为 f_0。

当温度对内调制信号频率的影响为线性关系时，将恒温箱温度调到 10℃(或 30℃)，经热平衡后，测得内调制信号频率为 f_1 (或 f_2)，则其温度影响系数由下式求出：

$$\delta = \frac{f_0 - f_1}{10f} \times 100\%/℃ \qquad (25\text{-}75)$$

或

$$\delta = \frac{f_2 - f_0}{10f} \times 100\%/℃ \qquad (25\text{-}76)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

当温度对内调制信号频率的影响不为线性关系时，应在整个温度工作范围内按适当密度测试，以便测出频率变动量。

II. 交流供电电源电压变化引起的频率变动量

(1) 测试方框图，见图 25-50。

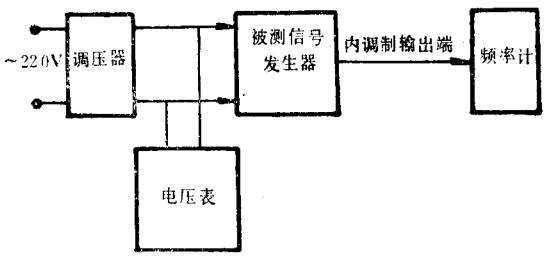


图　25-50

(2) 测试步骤

在基准工作条件下，被测信号发生器的内调制信号输出端接到频率计，频率预调值为 f，测量值为 f_0。

将电源电压突然调到 242 V（和 198 V），读出第 1 分钟内相对于 f_0 的最大频差 $\Delta f_1'$（和 $\Delta f_1''$）。然后测出第 15 分钟以后相对于 f_0 的最大频差 $\Delta f_2'$（和 $\Delta f_2''$）。

电源电压变化 ±10% 引起变动量 δ 为：

第 1 分钟内：

$$\delta = \frac{\Delta f_1}{f} \times 100\% / \text{电源电压变化} \pm 10\% \tag{25-77}$$

式中　Δf_1——$\Delta f_1'$ 和 $\Delta f_1''$ 中较大者。

第 15 分钟后：

$$\delta = \frac{\Delta f_2}{f} \times 100\% / \text{电源电压变化} \pm 10\% \tag{25-78}$$

式中　Δf_2——$\Delta f_2'$ 和 $\Delta f_2''$ 中较大者。

45. 内调制信号的输出电压幅度

output amplitude of internal modulating voltage

测量信号发生器内调制输出端的输出电压。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-51。

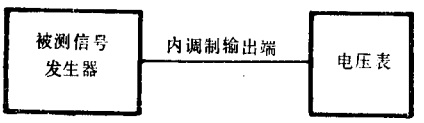


图　25-51

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器的内调制信号输出端接到电压表。

② 由电压表测得输出电压幅度。

46. 内调制输出电压失真

distortion of internal modulating voltage

测量信号发生器的内调制输出电压的失真。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-52。

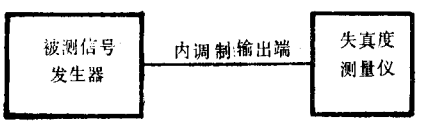


图　25-52

(2) 测试步骤

① 在额定工作条件下，被测信号发生器内调制信号输出端接到失真度测量仪输入端。

② 用失真度测量仪即可测出内调制输出电压失真。

47. 外调制电压输入端的输入阻抗

input impedance at terminal for external modulating voltage

测量信号发生器外调制电压输入端的输入阻抗。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-53。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

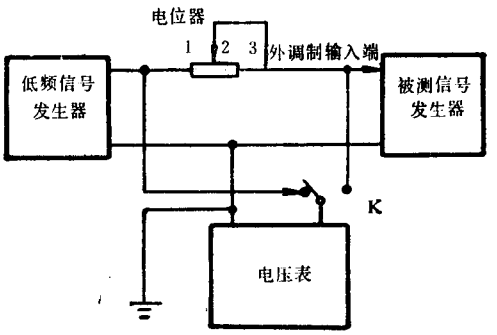


图 25-53

(2) 测试步骤

在额定工作条件下，低频信号发生器输出1000 Hz 信号经电位器接到被测信号发生器外调制输入端。

调节电位器使电位器上的压降等于被测信号发生器外调制输入端所测得的电压（所使用电压表的内阻应足够高），测出电位器1—2端的电阻值就是外调制输入端的输入阻抗（低频时，微小的并联电容的作用忽略不计）。

48. 内调制信号输出端的输出阻抗

output impedance at terminal for internal modulating voltage

测量信号发生器内调制电压输出端的输出阻抗。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 25-54。

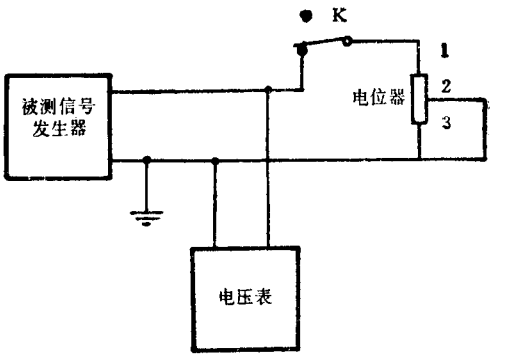


图 25-54

(2) 测试步骤

在额定工作条件下，被测信号发生器内调制信号输出端输出的信号通过开关与电位器相连。

当开关K断开时，用电压表测得输出电压 V_1（即开路电压）。

当开关K接通时，调节电位器使电压表上测得的电压 V_2 等于 $\frac{1}{2}V_1$，测量电位器1—2端电阻即内调制信号输出端的输出阻抗。

注：① 电压表的内阻要足够高，并有明确的阻值。
② 低频时，微小的并联电容的作用可忽略不计。

* * *

本章技术指标和测试方法中所用的主要测试仪器，汇总列表如表 25-5。

表 25-5 主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
数字式频率计	PS44，PS77，PS66，E325 SF-842A，SF-8000C，MF76(日本)HP5342(美 HP 公司)	JJG349-84
频谱分析仪	BP-29，QF4030，YM4031 YH4032，MS-68（日本） TR-4132（日本）	JJG501-87

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续　表

仪器名称	参　考　型　号	检 定 规 程 编 号
电压表	QF2280，DA-1 DA-22， DA-2，DA-36，URV4（西德）	JJG308-83
高纯度 信号发生器	QF1090，HP8663A（美 HP 公司） HP8640B（美 HP 公司）SMDU （德国）MG645B（日本）	JJG（电子）15012-89
音频信号发生器	XFD-7，XD-1 XD-22 QF1020，MG442A（日本） 6011（美 Fluke 公司）	JJG230-80
测试接收机	RS-2，RS-3，DO16， DO-29，ME642（日本） HP8902A（美 HP 公司）	JJG252-81 JJG362-84 JJG（电子）07004-88 JJG（航天）23-87
功率计	GX12M1A、CX2G、 HP436A（美 HP 公司）	JJG（航天）22-87
通用示波器	SR13，SR60，ST21，ST23 SR72，SR37，2465（美 Tek） VP5520C（日本松下）	JJG262-81
测量线	CLX-2，CLX-20A， CLX-20B，ЛИ-3（苏联） ЛИ-4（苏联）	JJG504-87
标准衰减器	TS-14，TO-32，TO-9，TO-8	JJG387-85
调制度测量仪	BE-4，BD-5 QF4131 QF4130 TF2300（英马可尼）HP8901A（美 HP）8200（美 B.T 公司）8210 （美 B.T 公司）	JJG（电子）07001-88 JJG437-89
失真度仪	BS-1，BS-2， HP339A，（美 HP 公司） HP8903B（美 HP 公司）	JJG251-81 JJG（电子）07006-89
相位噪声测试仪	QF4022，HP3048A（美 HP 公司） HP11729（美 HP 公司） HP11740A/S（美 HP 公司）	

www.789pdf.com 789书库网

第 5 节　射频信号发生器量值传递检定系统

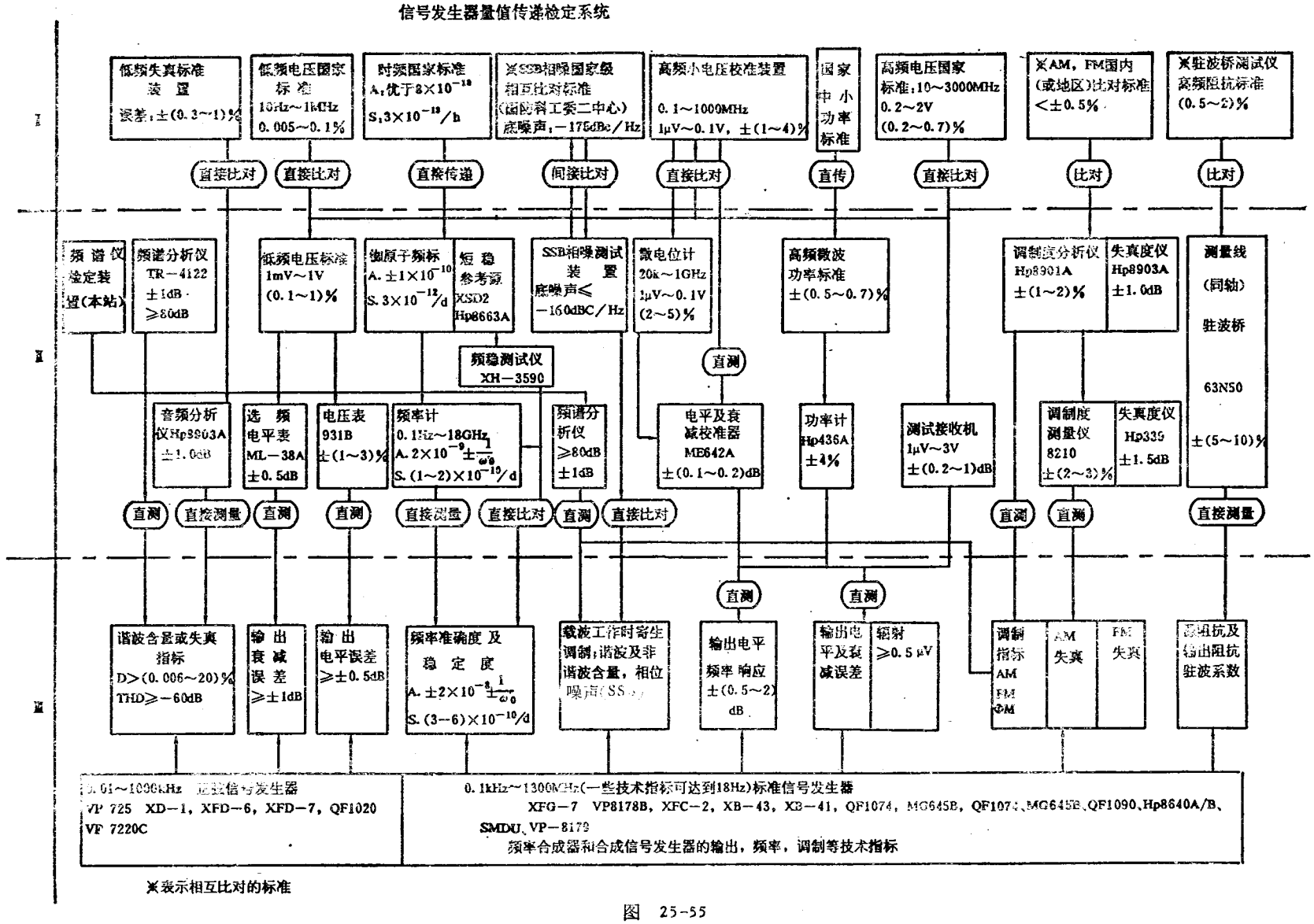


图　25-55

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

附录：合成信号发生器 CAT 系统

1　概述

80 年代以后，带微处理机和接口的合成信号发生器大量涌现。这些信号发生器功能繁多，指标较高，测试工作量很大，按过去传统的手动测试，无论在速度、准确度、可靠性、数据处理等方面都难以胜任。于是，国内已有七六六厂、七一二厂、57 所等单位分别组建了 CAT 系统，较好地解决了合成信号发生器的测试问题，使工效提高 10 倍以上，并且测量结果准确可靠，把信号发生器的计量水平提高到一个崭新的阶段。CAT 系统是计算机自动测试系统的缩写。

今以 57 所的 CAT 系统为例作一简介。

2　CAT 系统的组成

系统以 HP 8902 A 测试接收机为主要标准器，用来检定射频功率电平、调谐电平、调幅、调频、调相、解调失真（400 Hz 和 1000 Hz）等指标；其它指标由频率计数器、频谱分析仪、载波噪声测试仪等作标准器进行检定。各标准器的准确度满足计量的量值传递要求。各标准器和辅助设备通过 IEEE-488 母线与 μP 连接，在 μP 控制下按事先编好的软件运行，实现全部或大部份主要指标的自动测量和数据处理，并由打印机自动打出全部检定数据。软件可根据不同的型号和测量要求适时修改、补充，具有极大的适应性和灵活性。

系统方框图如下：

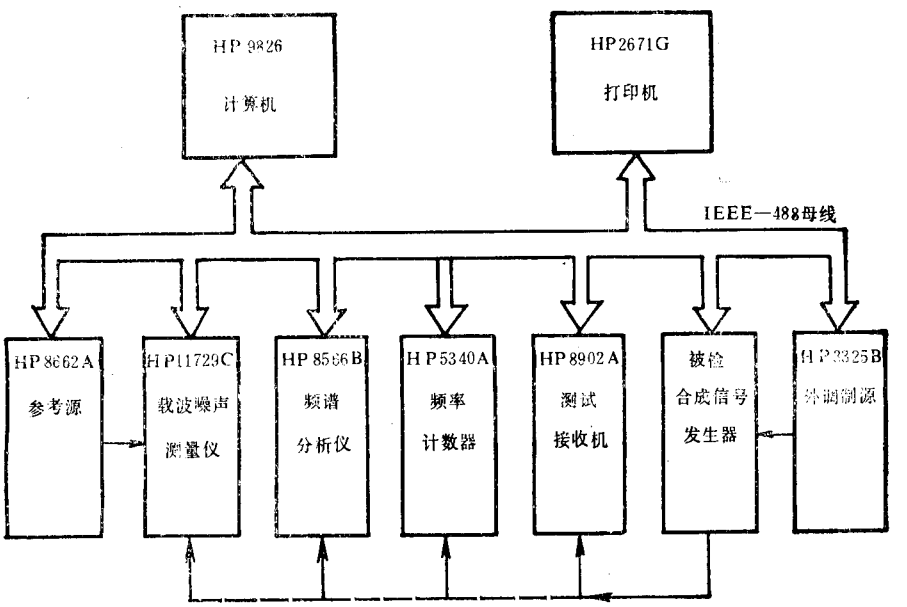


图 25-A1　合成信号发生器 CAT 系统

3　检定内容

根据国内有关检定规程的规定，并参考美国 HP 公司的有关性能测试方法，确定如下检定项目：

(1) 频率准确度检定；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 射频功率和调谐电平检定;

(3) AM、FM 技术性能检定:

① 内 AM、FM 准确度检定;

② 外 AM、FM 准确度检定;

③ 内、外 AM、FM 失真度检定;

(4) PM 检定;

(5) 频谱纯度检定:

① 谐波含量检定;

② 杂散信号检定;

(6) 相位噪声检定;

(7) 频率转换时间测量。

4 结束语

合成信号发生器的 CAT 系统对提高测试水平，促进计量科学发展具有巨大而深远的意义，值得推广运用。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第26章　射频功率信号发生器和功率放大器

第1节　概　　述

射频功率信号发生器和功率放大器(简称"功率源"和"功放器"),是电子测量仪器中的重要组成部份,应用范围比较广泛。它们主要用于中、大功率元器件如功率晶体管、铁氧体、射频开关、耦合器、放大器等的检测;功率计、电压表、衰减器等的计量;军民用天线、电子对抗、宽带通信等的检测和核磁共振、激光、等离子体、放射保健等的研究……。近年来,尤其在电磁兼容(EMC)的配套设备中,它更是关键组成部份之一。电磁兼容中的电磁敏感度(EMS)的测试,就需要提供一个功率信号,模拟外界电磁幅射,在某一规定条件下测出被测件的敏感度(即抗扰度)。

功率源和功放器在电路原理上并不复杂,功能和性能指标较射频信号发生器等少。但是,要获得宽频段、大功率、高质量的输出信号,对科研部门和生产厂家都是一项比较困难的课题,因此,它比其它许多电子测量仪器的发展较为缓慢,型号、数量也不太多。早期主要是走功率源的路子,功放器是后来才发展的。功率源的振荡器一般采用同轴谐振腔和调谐振荡放大两种模式,功放器则以宽带放大为主。

国外较早生产功率源的厂家主要是德国 R/S 公司,早在60～70年代就生产了 SMLR(0.1～30 MHz)、SMLM(30～300 MHz)、SMLD(275～2750 MHz)功率源系列产品,作为该公司生产的射频电压表、衰减器、阻抗图示仪等产品的配套仪器,也广泛用作其它测量。80年代以后,该公司又推出比较新型的 SMLU 型功率源,频段覆盖25～1000 MHz,输出功率最大2 W,功能较多,信号质量也较好,是计量测试中比较理想的宽带功率源,不足之处是输出功率还不够大,限制了它的应用范围。上述产品除 SMLD 属同轴谐振腔振荡模式外,其它属于调谐振荡放大模式。

苏联也较早生产功率源,主要有 ГCC-12、Г6 两种型号,频段覆盖150～1000 MHz,输出功率最大5～10 W,都属同轴谐振腔振荡模式,由大功率的金属陶瓷三极管与谐振腔构成振荡器,板栅腔和栅阴腔通过短路活塞同步调谐,是一种体积庞大、操作不便、性能指标不太高的功率源。因其输出阻抗为75 Ω,主要用于某些军用设施和阻抗为75 Ω 的功率计、衰减器等的测量。

我国功率源的研制、生产起步较晚,品种、型号也较少。为了开发这一门类的仪器,部份厂家和科研所做了大量的工作。杭州无线电三厂较早生产了 XG-22 型,频段覆盖10～150 MHz,输出功率最大2 W。七八四厂生产了 ГCC-12 型,辽宁无线电七厂生产了 XFF-3 型,与苏联同类产品的指标相同。七一二厂生产了 XG-13 型,频段覆盖30～420 MHz,输出1.5～5 V 电压,主要用于 ZKT 阻抗图示仪作推动信号,也可作其它测量用,后来转到八六〇厂生产。上海微波技术研究所和七八四厂分别生产了 XG 26 型和 XG 27 型,指标与 R/S SMLD 基本相同,频段覆盖275～2750 MHz,输出功率最大10～25 W,属同轴谐振腔振荡模式,但板栅腔和栅阴腔短路活塞是利用电动马达带动,分别调谐,以最佳调谐而获得最大功率输出,操作比较方便。此仪器功能较多,可进行内方波及外脉冲调制等,各项性能指标也较好,加上阻抗为常用的50 Ω,成为一种用途比较广泛的功率源。由上可知,无论是国外购进还是国内自产的功率源,在频段、功率、阻抗等主要指标上都比较杂乱,形成不了系列,使用户在选型上往往无所适从。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

与功率源并行不悖的功放器，虽起步稍晚，但发展势头比功率源较为迅速。目前国外的功率源普遍都走功放器的路子。因为功放器的电路和结构都更简单，易于制作，可利用当代射频信号发生器资源作激励器，组合成宽频段、大功率、多功能、高性能和自动测试的功率源。对于具有射频信号发生器的单位，配备一台功放器是比较经济实用的。如前所述，功放器一般都是宽带放大模式，在技术上需要解决的问题主要是线性放大、级间匹配、功率分配、过激励、热过载、反射保护和屏蔽等，还有更重要的是高频大功率器件的性能问题。目前这些问题在国外某些厂家已有较好的突破，因而使功放器的发展有完全取代功率源的可能。

国外生产功放器的厂家主要有美国的 EATON、ENI、AR、PS 等公司，产品频段一般覆盖到 1000 MHz 或 2500 MHz，最大功率由几十瓦到几百瓦，甚至上千瓦，增益达 50 dB 左右，在国内已有一定的用户。传统生产功率源的厂家德国 R/S 公司，大概受到这种趋势的影响，早已停止生产多种功率源，只保留 SMLU 一种型号，但还未见功放器产品问世。

国内功放器的研制和生产，是较晚时期才开始的，但发展步伐也许比当年的功率源要快。七一四厂已试制出频段覆盖 0.1～30 MHz、最大输出功率 50 W 的功放器；潍坊五三厂试制出 WS 386 型，频段覆盖 10～600 MHz，最大输出功率 5 W；七六六厂为填补国家重点开发项目——电磁兼容测试仪器的一项空白，已着手开发一种频率覆盖到 1000 MHz 的功放器产品系列，这种功放器虽然输出功率还不太大（最大 10 W），但性能指标较高，并考虑了热设计及电磁兼容（EMC）的检测等问题，用途将更加广泛。

为使读者对目前国内外射频功率信号发生器和功率放大器技术指标达到的水平有一个比较全面的了解，现将国内、外典型仪器主要技术指标对比列表如下。

功率信号发生器技术指标对比表

序号	型号 / 技术指标	XG-26（同于 R/S SMLD）	R/S SMLU	XFF-3（同于 FCC-12）	XG-13
1	频率范围	275～2750MHz	25～1000MHz	150～1000MHz	30～420MHz
2	频率误差	±2%	±2%	±1%	±1%
3	频率稳定度	1×10^{-4}	100×10^{-6}/10分		
4	最大输出功率	10～25W	1～2W	≥5W	1.5～5W
5	功率指示误差	±1.5dB	±0.5dB		<20%
6	输出衰减器范围	0～70dB	0～−35dB		
7	输出衰减器误差	±(1dB＋0.05dB/1dB)	±0.12dB/5dB		
8	输出阻抗	50Ω	50Ω	75Ω	50Ω
9	输出阻抗 VSWR		≤1.35		
10	载波谐波(失真)	≤−20dB	≤−30dB		<10%
11	内、外调制功能	内方波、外脉冲	内、外调幅、扫频	外脉冲、外方波	内、外调幅
12	遥控功能		TTL 接口		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

功率放大器技术指标对比表

序号	型号 / 技术指标	ENI（美）550L + EW-CO	EATON（美）5001～15110 系列	国产 WS386（潍坊五三厂）	试制中（七六六厂）
1	频率范围	1.5～1000MHz	10kHz～1000MHz	10～600 MHz	1～1000 MHz
2	最大功率	30～50W	20～50W	5W	5～10W
3	增　益	(40～50dB)±1.5dB	(37～47dB)±1.5dB	(20～25dB)±1.5dB	(35～40dB)±2dB
4	输出阻抗	50Ω	50Ω	50Ω	50Ω
5	输出阻抗 VSWR	最大 1.8			
6	载波失真	≤－23dB	≤－25dB		≤－20dB
7	三阶互调	40～59dB	37～47dB		50dB
8	噪声系数	12dB	9～12dB		
9	遥控功能				可带 GP-IB

第 2 节　分　　类

关于功率源的分类问题，在前述中对各种型号的性能和特点已粗具了解，可大致进行如下两种分类法：

（一）按精密型和简易型划分：

（1）精密型：功能较多，稳定度、失真、阻抗等性能指标较好，一般都带比较精密的功率指示表和衰减器，功率输出调节方便并能较准确地读数。这类仪器主要有 XG-26、XG-27、R/S SMLR、SMLD、SMLU 等。

（2）简易型：功能较少，性能指标较差，只作一般的功率源用。这类仪器主要有 XFF-3、ГСС-12、XG-13、XG 22 等。

（二）按振荡器模式划分：

（1）同轴谐振腔振荡模式：频段较高，一般在 150 MHz 以上；输出功率较大，一般在 5 W 以上。这类仪器主要有 XG-26、XG-27、R/S SMLD、XFF-3、ГСС-12 等。

（2）调谐振荡放大模式：除个别外，一般都是频段较低，输出功率较小（最大 2 W 以下）。这类仪器主要有 XG-13、XG-22、R/S SMLU、SMLR 等。

以上分类法以按精密型和简易型划分为好，这样便于进行技术指标的汇总。

关于功放器，由于型号、数量都不多，且相互间技术指标比较接近，主要存在频段高低和功率大小之别，不再分类。

第 3 节　技术指标汇总

根据上述分类法，功率源按精密型和简易型进行技术指标汇总，同时也把功放器的技术指标排列进去，基本能概其全貌。具体指标数字可参看前一节的“国内外典型仪器主要技术指标对

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

比表”。

技术指标汇总表

序号	技术指标 \ 类型	功率信号发生器		功率放大器
		精密型	简易型	
1	频率范围	●	●	●
	频率误差	●	●	
2	频率稳定度	●	○	
3	最大输出功率	●	●	●
4	功率指示表误差	●	○	
5	输出衰减器范围	●		
	输出衰减器误差	●		
6	输出阻抗	●	●	●
	输出阻抗 *VSWR*	●		●
*	输入阻抗 *VSWR*			●
7	载波谐波(失真)	●		●
*	内正弦调制	○	○	
8	内方波调制	○	○	
*	外正弦调制	○	○	
*	外方波调制	○	○	
9	外脉冲调制	○	○	
10	增　益			●
*	扫　频	○		
*	输出稳定度	○	○	○
*	载波寄生 FM	○		
*	载波寄生 AM	○		
11	三阶互调			●
12	噪声系数			●
*	遥控功能	○		○

注：“●”表示有，空白表示无，“○”表示可有可没有。有序号的指标在下一节“技术指标和测试方法”中有介绍，*无介绍。

第 4 节　技术指标和测试方法

功率源与功放器类型不同，差别较大，同一类型在技术指标上也有许多不同之处，主要表现在功能多少和频段覆盖、功率范围等方面。考虑到这些仪器大多数的实际情况和今后发展的趋势，测试方法主要针对 1000 MHz 以下射频频段的仪器进行编写；至于比这更高或更低频段仪器的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试，可参考有关检定规程的方法。

功率源与功放器的测试方法不尽相同，只能分别编写。功率源以精密型为例，择若干主要的、常测的技术指标的测试方法进行编写。

(一)　功率源的测试方法

1. 频率误差

frequency error

一般指载波频率的预调值与实测值之差相对于实测值的百分比。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 26-1。

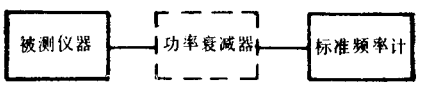


图　26-1

(2) 测试说明和要求

① 被测仪器置于“等幅”输出位。

② 当需要测较大输出功率时的频率误差，应接上功率衰减器；未明确功率大小而本身又具有衰减器进行调节时，可不接功率衰减器。接与不接功率衰减器都应使输出信号满足标准频率计正常工作的灵敏度的要求。

(3) 测试步骤

① 按要求预调被测仪器频率刻度，调节输出功率使标准频率计正常工作，记下实测频率值。

② 频率误差按下式计算：

$$\delta = \frac{f - f_0}{f_0} \times 100\%$$

式中　f 为被测频率预调值；f_0 为实测值。

2. 频率稳定度

frequency stabitily

仪器预热后，载频频率在任意 15 分钟内所产生的最大频率变化(指短期稳定度)。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 26-1。

(2) 测试步骤

① 被测仪器频率置于较高频率点，调节输出功率，使标准频率计正常工作。

② 被测仪器预热 1 小时后，用标准频率计每隔 1 分钟测一次频率，连续测 1 小时，找出任何 15 分钟时间间隔内频率变化的最大值，作为被测频率的稳定度(短期稳定度)。

③频率稳定度按下式计算：

$$S = \frac{\Delta f}{f}$$

式中　f 为被测频率预调值；Δf 为 15 分钟内频率变化的最大值。

3. 最大输出功率　P_{max}

maximum output power

功率源在最佳调谐、最大增益（或最小衰减)情况下馈给额定负载阻抗的输出功率。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 26-2。

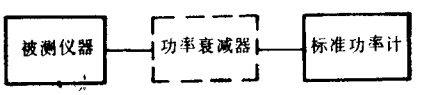


图　26-2

(2) 测试说明和要求

① 被测仪器置于“等幅”输出位。

② 当被测仪器的最大输出功率超过标准功率计的量程时，应接上功率衰减器扩大其量程。功率衰减器必须经过标准的定度。

③ 测量是在匹配下进行。

(3) 测试步骤

① 按要求置定被测仪器频率，调节输出衰减器、输出细调旋钮和功率指示表量程开关，使功率指示表指示最大输出功率。

② 标准功率计置于适当量程，记下最大输出功率的实测值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

③ 对需要测量的频率点都重复上述步骤。

4. 功率指示表误差 P

power meter error

功率指示值与实测值之差相对于实测值的百分比定义为功率指示表的误差（一般包含载波频响误差在内）。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 26-3。

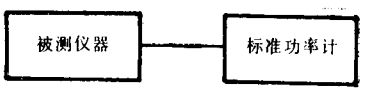


图 26-3

（2）测试说明和要求

① 被测仪器置于“等幅”输出位。

② 测量在匹配下进行。

（3）测试步骤

① 按要求置定被测仪器频率，用下述方法测试功率指示表误差：

对依靠输出衰减器和量程开关改变功率指示的功率源，同时改变输出衰减器和量程开关，置定一指示刻度，用标准功率计测出实际功率值；对依靠输出细调旋钮改变功率指示的功率源，将输出衰减器固定在 0dB（不衰减位置），调节输出细调旋钮，使功率指示表置定一指示刻度，用标准功率计测出实际功率值。

以上测试对多量程表每量程至少测两点，对单量程表至少测三点。

② 功率指示表误差按下式计算：

$$\delta = \frac{P - P_0}{P_0} \times 100\%$$

或

$$\delta = \frac{P - P_0}{P_{max}} \times 100\%$$

式中 P 为指示表刻度值；P_0 为实测值；P_{max} 为指示表满刻度值。

以上误差值可用分贝数表示：

$$\delta_{dB} = 10\lg\delta \ (\text{dB})$$

③ 对需要测量的频率点都重复上述步骤。

5. 输出衰减器误差

output attenuator error

改变输出功率大小时，输出衰减器的指示值（dB）与实测值（dB）之差定义为衰减器误差，一般包含载波频响误差在内。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 26-4。

图 26-4

（2）测试说明和要求

① 被测仪器置于“等幅”输出位。

② 功率衰减器以 30 dB 衰减量为好，这样既保证被测仪器最小衰减（最大输出）时标准衰减器输入端最大功率不超过 0.5 W，又保证被测仪器最大衰减（最小输出）时使测试接收机有足够的电压指示。

③ 测量是在匹配下进行。

（3）测试步骤

① 按要求置定被测仪器频率、输出衰减器置于 0 dB（不衰减位置），如有输出细调旋钮，将功率指示表调到便于观察的刻度上。

② 根据测量范围，将标准衰减器置定在足够的衰减值上；按规定操作，调谐测试接收机，使测试接收机指示在便于观察的读数上。这时被测仪器和标准衰减器的衰减量都认定为“0 dB”。

③ 逐次增大被测仪器衰减量，同时相应减小标准衰减器衰减量，并调节 0.1 dB 步进衰减，使测试接收机仍指示在原来的读数上。

④ 输出衰减器误差按下式计算：

$$\Delta = A - A_0$$

式中 A 为被测仪器输出衰减器各档的衰减量（标称值）；A_0 为标准衰减器相应的衰减量（实测值）。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

⑤ 对需要测量的频率点上重复上述步骤。

6. 输出阻抗 *VSWR*

output impedance VSWR

从功率源输出端往里看所呈现的阻抗的误差，一般以电压驻波比（VSWR）表示。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 26-5。

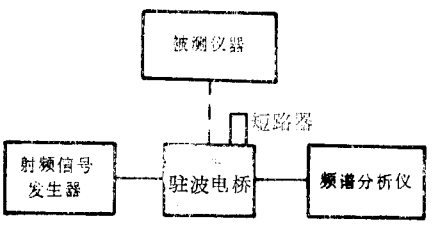


图　26-5

（2）测试说明和要求

① 被测仪器不加电，作为阻抗元件被测试，其输出衰减器置于 0 dB（不衰减位置）。

② 射频信号发生器、驻波电桥和频谱分析仪三者处于匹配情况。

（3）测试步骤

① 按要求置定射频信号发生器频率，驻波电桥测试端接短路器。

② 调节射频信号发生器输出电平，并按规定操作频谱分析仪，使其屏幕中央显示－10 dBm 左右电平的频谱幅值 A_1。

③ 去掉驻波电桥短路器，用双向连接器将驻波电桥直接连上被测仪器输出端，记下同一频率的频谱幅值 A_2。

④ 输出阻抗 *VSWR* 按下式计算：

$$S=\frac{1+\Gamma}{1-\Gamma}$$

式中　Γ 为被测反射系数，即 $\Gamma=10^{\frac{A_2-A_1}{20}}$。

⑤ 对需要测量的频率点都重复上述步骤。

7. 载波谐波（失真）

CW harmonic (distortion)

输出功率信号的谐波有效值与基波有效值之比，常以低于基波电平的分贝数表示。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 26-6。

图　26-6

（2）测试说明和要求

① 被测仪器置于“等幅”输出位。

② 功率衰减器仍以 30 dB 衰减量为好；若被测仪器输出功率较大（例如几十瓦），可接上 10 dB 隔离器，保证频谱分析仪线性工作。

③ 测量在匹配下进行。

（3）测试步骤

① 按要求置定被测仪器频率，输出较大功率。

② 按规定操作频谱分析仪，在屏幕上测量出功率信号的基波幅度 A_1，同时测量出该信号的 2 次、3 次……和 $\frac{1}{2}$ 次、$\frac{1}{3}$ 次……谐波与分谐波分量幅度，分别为 A_2、A_3……和 $A_{\frac{1}{2}}$、$A'_{\frac{1}{3}}$……。

③ 载波谐波（失真）按下式计算：

谐波含量 $\Delta_i=A_1-A_i$ (dB)

分谐波含量 $\Delta'_i=A_1-A'_i$ (dB)

式中　A_i 为第 i 次谐波分量；A'_i 为第 i 次分谐波分量。

④ 对需要测量的频率点都重复上述步骤。

8. 内方波调制测试

internal square modulation

功率信号被内部方波信号调制，将产生一定重复频率、调制度和前后沿升降时间的已调波信号。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 26-7 和图 26-8。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

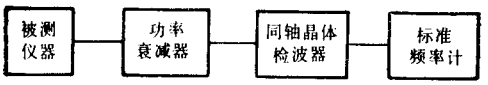


图 26-7

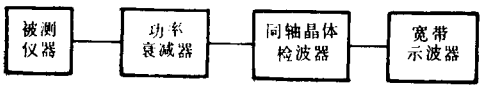


图 26-8

(2) 测试说明和要求

① 被测仪器置"内方波"调制位。

② 图 26-7 为测量内方波调制信号的重复频率，图 26-8 为测量内方波调制信号前、后沿升降时间。

(3) 测试步骤

① 如图 26-7，被测仪器置于较高频率点，调节输出功率，使标准频率计正常工作，读出被测内方波调制信号的重复频率。

② 如图 26-8，按要求置定被测仪器频率，调节输出功率，同时调节宽带示波器，使之稳定显示出幅度为 4 格的方波，记下方波的前、后沿升降时间；对需要测量的频率点都重复上述步骤。

9. 外脉冲调制

external pulse modulation

功率信号被脉冲信号调制，将产生一定重复频率、调制度、脉宽和脉冲前、后沿升降时间的已调波信号。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 26-9。

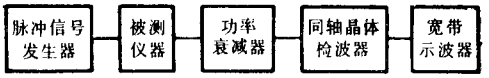


图 26-9

(2) 测试说明和要求

① 被测仪器置于"外脉冲"调制位。

② 脉冲调制信号接入被测仪器外调制输入端。

(3) 测试步骤

① 按要求置定被测仪器频率和脉冲信号发生器的频率、宽度和幅度，调节被测仪器输出功率，同时调节宽带示波器，使之稳定显示出幅度为 4 格的脉冲波，记下脉冲波的前、后沿升降时间。

② 按要求改变功率信号频率和脉冲信号的频率与宽度，保持原来的脉冲幅度，重复上述步骤，测出脉冲波的前、后沿升降时间。

(二) 功放器的测试方法

功放器输入端连上一射频信号发生器，就成为一部功率源，频率和输出由射频信号发生器调节，其部份技术指标如最大输出功率、输入/输出阻抗 VSWR 和载波谐波(失真)等，都与功率源的测试方法相同。这里针对 1000MHz 以下射频频段和 100 瓦以下功率的仪器的指标编写测试方法。

10. 增益 G

gain

表示放大器的放大倍数，一般以分贝数表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 26-10。

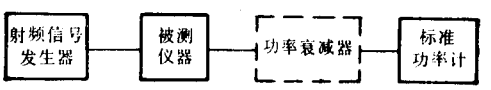


图 26-10

(2) 测试说明和要求

① 射频信号发生器工作在"未调制"位，输出信号接上被测仪器输入端。输出电平必须经过标准校准。

② 当被测仪器的最大输出功率超过标准功率计的量程时，应接上功率衰减器扩大其量程。功率衰减器必须经过标准的定度。

③ 测量是在匹配下进行。

(3) 测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 按要求置定射频信号发生器频率、调节输出电平，直到被测仪器输出最大功率为止，记下标准功率计的读数。

② 功放器增益及其误差按下式计算：

$$G = A_0 - A_i$$

$$\Delta = G_0 - G$$

式中 A_0 为标准功率计读数（dBm）；A_i 为射频信号发生器输出电平（dBm）；G_0 为技术指标增益值。

③ 对需要测量的频率点(频率范围最高与最低频率必测)都重复上述步骤。

11. 三阶互调

3rd order intermodulation

当两信号频率相邻，同时进入放大器等装置，将产生两个三阶互调分量，频率分别等于一个主信号的倍频与另一主信号频率之差。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 26-11。

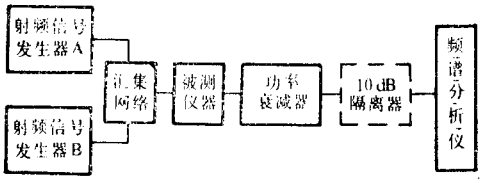


图 26-11

(2) 测试说明和要求

① 射频信号发生器A和B都工作在"未调制"位，两信号通过汇集网络进入被测仪器输入端。

② 功率衰减器仍以 30 dB 衰减量为好；若被测仪器输出功率较大(例如几十瓦)，可接上 10 dB 隔离器，保证频谱分析仪线性工作。

③ 测量在匹配下进行。

(3)测试步骤

① 按要求置定射频信号发生器A和B的频率 f_A 和 f_B，且 $f_B = f_A + \frac{1}{10} f_A$（例如 $f_A = 100\text{MHz}$，$f_B = 110\text{MHz}$）。

② 调节A和B的输出电平，按规定操作频谱分析仪，使屏幕上出现 f_A 和 f_B 的两个频谱幅度，且都等于 A_0；同时也出现频率分别为 $2f_A - f_B$ 和 $2f_B - f_A$ 的两个三阶互调分量，幅度分别为 A_1 和 A_2，如图 26-12。

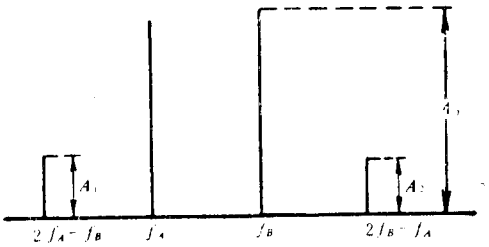


图 26-12

③ 三阶互调按下式计算：

$$D_1 = A_1 - A_0$$

$$D_2 = A_2 - A_0$$

式中 D_1 和 D_2 分别为 $2f_A - f_B$ 和 $2f_B - f_A$ 的互调深度。

④ 对需要测量的频率点都重复上述步骤。

12. 噪声系数 F

noise figure

被测接收放大设备输入级的信噪比与输出级的信噪比之比值，一般以分贝数表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 26-13。

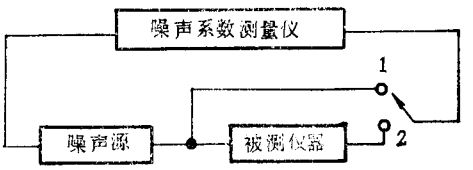


图 26-13

(2) 测试说明和要求

被测仪器输入端与噪声源输出端连接。噪声源输入端与噪声系数测量仪的驱动输出端连接，而被测仪器输出端连上噪声系数测量仪的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

输入端就可测出噪声系数。

(3) 测试步骤

① 根据被测仪器的频率范围，设置噪声系数测量仪的扫频宽度，连上“1”位时，噪声系数测量仪进行自校。

② 换接“2”位时，按规定操作噪声系数测量仪，读出扫频下每个被测频率点的噪声系数。

* * * * * *

本章技术指标和测试方法中所用的主要测试仪器，列表汇总如下。

主要测试仪器汇总表

序号	设备名称	参考型号	检定规程编号
1	标准频率计	MF64A	
2	标准功率计	HP436A + HP8482B	
3	功率衰减器	R/S RBU(100W,30dB)	
4	标准衰减器	TO-32	JJG507-87
5	测试接收机	ME642A	
6	射频信号发生器	MG645B 或 HP8640B	JJG(电子)15012-89
7	定向耦合器	R/S ZRB2	
8	频谱分析仪	HP 8568B	
9	10dB 隔离器	CFA-005	
10	同轴晶体检测器	TJ8-4	
11	宽带示波器	SBM-14	JJG262-81
12	脉冲信号发生器	MFS-2A	JJG263-81
13	汇集网络	QF 11300	
14	噪声系数测量仪	HP8970B	JJG15001-87
15	噪声源	HP346B	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第27章 扫 频 仪

第1节 综 述

扫频仪(或称频率特性测试仪,含扫频信号发生器)是一种借助于频率扫描的振荡器,使信号通过被测网络,以幅频、相频、群时延、阻抗、频率及反射系数等频率特性,显示出二维或三维图形或数据的一种通用仪器。

扫频仪是描绘表征网络传递函数的仪器。它是在静态逐点测量法的基础上发展起来的一种快速、简便、实时、动态、多参数、直观的精密测量工具,广泛地应用于电子工程等领域。

扫频技术的发展,使近代电子工程的测试大大地简化;计算机技术的引入,使人们有可能利用自动网络测试仪(扫频幅相)对拥有数万个元件的复杂网络系统(如相控阵天线)进行测试、调整。可以说,没有扫频技术,近代电子工程的发展是不可思议的。同样,家用电器(如电视机、收录机等)的测试、调整也无一离得开扫频仪。

扫频仪及扫频信号发生器属信号发生器这一门类,专为电视测量的扫频仪等又分属电视测量仪器及有线电测量仪器门类。扫频技术的发展经历了电磁激振(喇叭头式)调容或调感式、电抗管式、RC 移相调容或调阻式、应用变μ的磁调制式、多谐振荡式、变容管式、对时钟信号进行可变分频式、对时钟信号进行计算合成式等等。在微波频段有速调管反射电压调制式、返波管式、电压调谐磁控管式、应用核磁自旋共振的 YIG (钇铁石榴石)式等等。

扫频技术的发展已有五十余年历史,而扫频仪的出现则是在本世纪 40 年代。电视工业的兴起有力地推进了扫频仪技术的进展。二次大战期间雷达技术的广泛应用大大地刺激了扫频技术和扫频仪的发展。50 年代以后,扫频技术与测量技术相互促进,新技术、新元器件的广泛应用,使扫频仪在门类及品种方面获得更大的发展,形成了一项高技术产业。

扫频仪在我国的年销售量约为 12000 台,占全部电子测量仪器销售量的 4% 左右。据不完全统计,我国参加过扫频仪研制、生产的单位近 300 家,产品品种达到 390 种。目前还有主营厂、兼营厂约 20 家,产品相当国际 70 年代末、80 年代初的技术水平,少数产品已进入国际市场。另一方面,每年还需从美国、德国、日本、英国等进口相当数量的中高档扫频仪。也就是说,国内扫频仪的生产,不论从品种、数量及技术上仍无法满足需要,还处于打基础上水平的阶段。

(一) 国外扫频技术的发展水平

随着电子技术的飞速发展,扫频仪应用面急速扩大,其技术进展在国外超过了一般的测量仪器。扫频装置正以更多更新的技术功能、扩展附件,使其逐步地取代其它常用仪表。

目前,国外扫频技术的发展水平大致如下:

(1) 多种参数测试。美国 HP8410 至 HP8510 自动网络测试仪等,都具备 HP-IB 接口,HP8755 至 HP8756 标量网络分析仪,日本芝测公司的扫频群时延测试仪及 HP3711 IF/BB、HP3703B 线路分析仪可测视频及中频群时延,后者可测微分增益及微分相位,且可测大环路系统。R/S 公司的 ZPV 具有网络阻抗圆图的功能,具备 IEC625 接口。扫频频谱仪从 HP8554 附

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

带 8444 跟踪发生器发展到 HP8361、HP8562、HP8583、HP8195、HP71100、HP71210 等众多带跟踪输出的频谱仪，频段从 1250 MHz 发展到 22 GHz。有些型号的扫频仪还具有相位测量功能。驻波比测试仪从马可尼的 TF2361/9694 附带反射电桥 TM9453，发展到高频阻抗分析仪 HP4191A、4192A、4193A、4342A 等。扫频传输测试仪从 WG 公司的 WM-50 发展到西门子公司的 SMP 自动传输测试仪。通用扫频仪从 SWOB1 发展到 SWOB5 及 SWP 扫频信号发生器。所有近期仪器都带有计算机接口，可与计算机组成测试系统。

(2) 测试参数的高精度。从 50 年代马可尼 TF 1009 以差分检波归一化测量视频以来，测量相对误差从 0.1 dB 发展到近期网络分析仪 HP3577A 的 0.02 dB 误差、HP8510 的 0.001 dB 误差。频率准确度及稳定度从原来的剩余调频小于 1%，扫宽下降到 HP8340 (10MHz～26.5 GHz) 的 1～4 Hz 频率稳定度、极低的相位噪声；扫频器/信号发生器 HP3325 (1μHz～21MHz) 具有 1 μHz 进位；可调频振荡器 HP 8642 在 2.1 GHz 下具有 −147 dBc/Hz 单边带相位噪声。典型的扫频振荡器 HP8350 具有 10 MHz～40 GHz 的覆盖范围，最高水平的插件 83525 B，有 10 MHz～8.4GHz 宽带和 −45 dBc 的相对谐波量。早期的 HP8620C 插件 86240 采用 YIG 扫频、阶跃二极管倍频、YIG 同腔异体滤波选频技术，取得了 2～8 GHz 扫宽；而 86290 插件则采用分段扫频以三段合成正扫，完成 2～18.6 GHz 极宽带覆盖。

(3) 新型器件的应用。以微波扫频仪为例，从 50 年代的有源器件速调管、返波管到 60 年代初的电压调谐磁控管，其寿命仅以千小时计，为此在管子上还需附上电化学千小时计时器，重量、尺寸则以公斤、立方公寸计算，耗电近百瓦。60 年代初美国进行隧道二极管的 YIG (钇铁石榴石)自旋谐振的试验，1965 年研制成实用晶体管 YIG 振荡器，1967～1969 年法、英、日、德等国的 70 家公司的该产品品种达 700 多种，为扫频信号发生器的创新提供了崭新的器件。由此出现了 HP8554 频谱仪 (1970 年)、马可尼 6300 A 10MHz～18GHz 固态扫频发生器 (1971 年)、日本岛田理化 7410 1～4 GHz (1971 年)、日本武田理研 TR4100 (1972 年)、法国 GH405、406 扫频仪 (1972 年)。

由于 YIG 自旋特性及磁场的限制，目前调谐范围限于 0.5～21 GHz，更高频段的调谐器件仍需使用返波管，如 CO-05 管子可高到 870 GHz。

变容管振荡器于 1956 年出现以后，最高频率可工作到 150 GHz，Varian 公司的变容管调谐带宽可到 40 GHz。由于变容管的扫频驱动非常方便，体小量轻，在 0.5～18 GHz 范围内，用于较窄扫频范围下与 YIG 调谐器具有竞争性。

PIN 二极管具有开关、变抗作用，又由于它还具备体小量轻、容易控制、可大功率使用、插入损耗小于 1 dB、断路效率高达 60 dB 等优点，可以用于 1.5 MHz～40GHz 的开关及控制，用于 ALC 稳幅可取得很小的电压驻波比，被广泛地用于扫频中并成为关键器件。

肖特基势垒二极管又称热载流子二极管，被广泛用于混频器；零偏置器件用于检波器。

(4) 新工艺的应用。1965 年微波集成电路问世。由于它可靠性高、带宽较宽、动态范围大、体小量轻，代替了用于高频部分的传统的同轴、波导系统，使扫频装置实现了小型化。如 Avatek OUT-1002 放大器，DC～1GHz、40dB 放大量，用于宽带扫频混频放大，大大减小体积。

应用更为广泛的是混合微波集成电路，它具有成本低、较少受工艺条件限制、可安装铁磁材料，如 YIG 等。HP8601 中的 DC～110MHz 放大器就是应用了该工艺。

低频系统在 70 年代以来，广泛使用表面安装技术 (SMT)，它不仅可靠性高、体小量轻，而且

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

便于自动化生产，可以与微波集成电路、混合微波集成电路、平面电路互联。TEK 2710 频谱分析仪采用了 SMT 技术取得了良好效果。

(5) 新技术的应用。扫频仪是一种高技术密集产品，迫切需要采用微处理器以及与机外计算机联成测试系统。1968 年，HP 公司首创 HP-IB 接口电路，率先用于扫频仪 HP8620C。1980 年以后推出 HP8350，关键插件 83592 具有极宽覆盖，达到 0.01～20 GHz；83595 则具有 0.01～26.5 GHz 覆盖；功率插件 HP83545 具有 50 mW 输出，低至 —45 dBc 的谐波输出，覆盖 5.9～12.4 GHz。

R/S 公司 1989 年推出的频谱网络分析仪 FSAS 应用了砷化镓低噪声中频放大器，起止同步的技术解决了频率及幅度的精度，连续可变中放使得在 100 Hz～2 GHz 范围内具有 120 dB 动态范围，线性显示可调范围高达 160 dB，1Hz 的步进精度，多色显示触摸屏敏屏幕，标准 101 键输入控制，成为当代具有较高水平的网络分析仪。

EIP 公司的 931 扫频仪覆盖 10 MHz～18.6GHz，平坦度达 ±0.05 dB，带有 GP-IB 接口，借助屏幕菜单，可实现多种功能，操作十分简便。

Tek 公司以 TR503 扫频插件（100kHz～1.8GHz）插入 2750 频谱仪中完成 110 dB 跟踪扫频显示。2710 频谱仪可用选件 04 完成上述功能。1405 电视边带适配器可以完成 ±8 MHz 频谱边带扫频显示。Tek 公司的函数发生器都具有 1000:1 的扫频宽度。

日本松下公司的数字频标技术专利首先用于 VP 8811 产品（FM/AM IF），以后被许多产品所引用，成为高精度可调频标的典型，具有 10^{-4} 频率精度。日本利达公司生产了近 20 种扫频仪，广泛用于家用电子产品调整。LSW 345、357 各有二、三段扫频，同时显示于一个屏幕上，对调整电调高频头平坦度带来极大方便。356 的跟踪技术为首创。德国西门子公司的 SPM 60 传输测试仪（160 MHz）具有高达 0.01 dB 的分辨率。

近代网络理论的进展，导引出一系列新的测量方法。50 年代的 Z、Y 参数发展到 60 年代的 S 参数矢量电压表及扫频阻抗测试仪，又进一步发展到 70 年代 S 参数扫频网络分析仪。其后发展的六端口测试技术及利用传统的测量线、定向耦合器、功率分配器、反射电桥、各种反射终端、魔T等组成的测量系统，大大地丰富了测量的方法及内容。

利用计算机软件与硬件的巧妙结合，使测量的自动化程度得到提高。示迹运算、数据平均、示迹平滑、电子延迟，以及精度增强等技术措施，提高了扫频仪的性能，增强了灵活性，通过 HP-IB 实现完全的编程控制。

(二) 我国扫频仪的技术发展情况

我国扫频仪的发展经历了进口、仿制、开发三个阶段。

50 年代，我国相继进口了英国马可尼 TF 1009 视频扫频仪、美国 HP 690 微波扫频仪、匈牙利微波扫频仪、东德 RFT 扫频仪、西德 R/S 公司 SWOB 1 扫频仪及苏联 102 И 等。

60 年代初，我国武汉中原无线电厂（710 厂）仿制了苏联 102 И（10～100 MHz）扫频仪，成为国内第一代产品 PTC-3，其后又仿制成 PTC-2（0.2～20MHz）。1958 年南京无线电厂（714 厂）制造了 10 台仿苏电视扫频仪 ПНТ-3。1968 年，南京工学院与南京无线电仪器厂共同研制了 BT2 扫频仪（5～250 MHz），产量达千余台。1964 年，710 厂在法国 Ridit 公司 411 B 扫频仪（1～320 MHz）基础上研制成功 BT3 样机，于 1970 年由南京无线电学校完成 BT3 设计鉴定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

由于电视工业发展的刺激，1980 年 BT3 的产量近 7000 台，至今仍有 7 家维持生产，年产量约 2500 台。1974 年 860 厂承接南京 907 部队仿制的 SWOB 3 样机，于 1978 年研制成功 BT 15 (0.1～1000MHz) 扫频仪。907 部队又独立开发成功 BT20 扫频仪 (300～1000 MHz)。南京无线电仪器厂于 1976 年研制了 XS-14 扫频信号发生器 (5～450MHz) 及 XS-13 (450～900 MHz)，1974 年又研制成仿 SWOB3 显示器的 BT 12 多用显示器。上海无线电 26 厂从微波扫频仪衍生出十余种扫频仪，覆盖了 20 Hz～18000MHz 频段，其中 1978 年、1984 年鉴定的 XSQ-1、YM1350 为典型产品。徐州电子仪器厂研制生产了 TS1260 宽带扫频仪 (2～1000MHz) 等十多种产品。

我国扫频仪技术发展的初期阶段，有源器件以电子管为主，应用磁调制变 μ 技术，分频段扫频的低段应用差频放大技术。BT3 的高频段 III 波段应用了 II 波段的倍频技术，分谐波载漏严重地影响了信号的纯度。BT10 则使用了固定扫频磁场，转鼓式多磁芯置入磁隙方式。频标技术用晶振产生较大参考信号，以减小混频管导通角方式来取得高次谐波，频标平坦度较差，一般使用菱形频标显示。扫频驱动信号采用 50 Hz 移相分相输出，分别驱动扫频及回扫停振。为了解决扫频正弦波的波形失真，个别产品使用了 50 Hz 低通滤波器。显示器的垂直放大器用交流放大驱动显示，对数显示尚不多见。

70 年代以后，随着扫频技术及元器件的进展，新的扫频仪不断涌现。测量结果从定性向定量发展，自动跟踪、同时显示二、三个频道及多 Y 通道、直流放大及对数显示技术已广泛使用。有源器件以使用双极器件为主。返波管逐渐退出历史舞台，但在毫米波段依然有优势。扫频器件广泛使用变容管，一些产品使用了 YIG 振荡器。

频标技术利用超高速器件直接分频参考频率，应用阶跃二极管产生毫微秒脉冲，应用微冲公司 640 高频分析仪频标二次混频技术，脉冲频标技术，以及 R/S 公司 SWOB3 的光栅扫描线频标技术。在微波扫频仪中广泛使用的电压比较、可动频标技术也渗透到低端，大大地丰富了扫频仪的功能。

扫频驱动信号发展到绝大多数使用锯齿波，个别的使用三角波，一般具备扫速调整以满足被测网络对建立时间的要求。屏幕尺寸扩展到 9～12 英寸。各种参数同时显示。带有屏幕字符显示的技术已开始应用。出现了扫频信号发生器与显示器分体化的趋向。

新型附件改变了单纯频率测试的格局，电压驻波比 *VSWR* 电桥使动态阻抗测试成为可能，三个品种网络测试仪的出现使标量测试及网络 *S* 参数的测试大大简化。

表 27-1 国内外扫频仪代表产品主要性能指标对比

指标 \ 产品名称	国外代表产品 HP8340B	国内代表性产品 BT-17
频率范围	10MHz～26.5GHz	0.1～18GHz
频率精度	1～4Hz	1%
插件数	二个	六个
控制功能	带微机 HP-IB	GP-IB
输出功率	+12～−112dBm	5mW
平坦度	≤±0.3dB	≤±0.7dB
工作方式	合成扫频器	返波管方式

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

尽管我国扫频技术取得了长足的进步，但与发达国家的扫频技术相比仍有10多年的差距。主要表现在频段覆盖范围、多倍频程扫频、倍频跟踪滤波技术、计算机技术、自动测试技术等方面。在产品的品种、数量、质量、可靠性等方面也存在着明显的差距。

国内外扫频仪代表性产品的主要性能，列表对比如表27-1。

（三）各类扫频仪简介

（1）微波扫频发生器。

在各个频段中，微波扫频的发展是较早的。起初使用对反射速调管反射极进行调制，由同轴腔进行较宽频率调谐。返波管的应用使调谐范围超过倍频程，功率可达几百毫瓦，工作频率可覆盖0.5～870 GHz。电压调谐磁控管的应用最早见诸于马可尼公司的6600 A，十个插件中的五个应用了该技术。

YIG扫频器件的出现改观了微波扫频器，其可靠性、寿命、寄生调频、体积、重量及供电等大大地改善，使扫频器实现了全固体化。国外20 GHz以内的扫频器几乎都应用YIG，我国覆盖到12.4 GHz。

应用插件拓宽频率覆盖范围，是国外这类仪器普遍采用的手段。HP公司以18种单机及8620系列附带12种插件，8350系列13种宽带插件、7种跨频段插件、13种单频段插件覆盖DC～60GHz。8350应用了四组数码显示指示起止标记频率、五个频标及存储、调用模式设置在9个内存中、与扫描时间、功率等全被程控。

我国首台YIG扫频仪于1977年在上海无线电26厂推出，覆盖1～2 GHz，1986年又推出带GP-IB标准接口的程控固态扫频仪YM 1350系列，频率从0.01 GHz扩展到40 GHz。1409所推出了YIG系列器件产品4种，覆盖0.5～12.4 GHz，成为国内研制者中的佼佼者。

（2）分米波扫频仪。

300～1000MHz频段的扫频仪发展较晚，它起步于60年代分米波电视、移动通信迅猛发展的时期。这个近距离广播通信频道一被开发利用，品种繁多的分米波扫频仪便脱颖而出，成为竞争激烈的市场。

德国R/S公司的SWOB3、SWOB5以完全崭新的技术垄断市场20年。该公司的功率扫频仪SMLU覆盖25～1000 MHz，具有高达33 dBm输出。80年代推出的由接口母线程控的SMP具有0.1～2500 MHz极宽的覆盖。韦夫泰克公司的108系列、2000系列以双变容管反向对扫技术实现了宽扫频，成为性能价格比优良的扫频器。利达公司推出的355、353 VHF扫频仪、356U及357等扫频器成为各国调谐器生产的关键仪器。HP公司共有12种仪器及插件覆盖此频段，成为品种最多、水平最高的厂商。

我国此频段的扫频仪曾推出过BT3、XS14、XS13、BT 20、BT 15、BT 15-2、ZWY 1250、1255、BT24、XSQ-1等。在功率扫频仪方面，潍坊53厂推出仿R/S SMLU的XO7功率扫频仪，覆盖25～1000 MHz，输出2W。在YIG差频扫频仪方面有QF-130-1、DH1331，YH1331，这些产品都具有较高的水平。南京无线电仪器厂的NW1252，覆盖1～1000 MHz，使用了SMT表面安装器件及新型混频器，四种频标组合，成为目前国内性能价格比较优的仪器之一。上无26厂的1350-Y_1程控扫频仪具有10～2000 MHz的扫频范围，是国内较高水平的产品。860厂的QH1261为仿R/S的SWOB5产品，覆盖1～1300 MHz，三种频标显示，是国内最高水平的分

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

米波扫频仪。

(3) 米波扫频仪。

1～300 MHz 频段的扫频仪是开发应用较早的仪器。苏联的 ПНТ-3、102И，日本的 TG515C，英国马可尼的电视扫频仪，东德 RFT 的 SWF，西德 R/S 的 SWOB1 等都是第一代扫频仪，大部分使用变μ磁调制扫频振荡器，这些产品为电视工业的发展创造了有利条件。70 年代后，国外对于米波扫频仪，发展提高精度的通信用扫频仪及电视专用扫频仪。典型的产品有：英国马可尼公司的 TM9692，法国 Felsol 公司的 GH400-2，日本松下公司的 VP8915、VP862、美国韦夫泰克公司的 1062、1067、1080/81、1001A。

我国武汉中原无线电厂（710 厂）60 年代初仿法国 Ridit 公司的 411 B（1～320MHz）做了二台样机，由南京无线电技校改进定型为 BT3，扩点 20 多个厂家生产，成为 20 年来垄断国内市场的长寿产品。张家口无线电一厂仿日本 TG515C，改研成 BT10 等，行销市场 20 年，被电视发送系统广泛应用。南京无线电仪器厂的 BT3C 在 12 个指标上开创新局面，成为国内适销产品。合肥无线电四厂的 1253、1254、1255 进一步提高了指标，赢得了用户。徐州电子仪器厂的 BT3G、BT3W 取得了较佳的性能价格比。860 厂的 BT3B 在改进的基础上，占领市场 15 年。

(4) 视频扫频仪。

数十兆赫的扫频仪是为满足视频技术及中短波通信的需要发展起来的。随着计算机及高分辨率显示器的兴起，视频扫频仪又有了新的发展，而长途干线通信模拟设备的广泛应用又促使开拓高标准视频扫频仪的新门类。

日本在 60 年代推出了十多种视频扫频仪产品，英国马可尼公司的 TF1009 颇受电视中心欢迎。70 年代后，国外的视频测试有二个发展趋向。其一为传统技术再现，即将扫频发生器以单板或部分电路方式集于电视信号发生器中，电路程式多为压控多谐振荡器将其锯齿波或三角波化，再用函数二极管电路形成正弦波，可工作到 5.5～10 MHz。典型产品有飞利浦的 5574。新一代产品有 TSG1050、Tek1730 等。另一趋向为应用各种脉冲波形，如 $\sin^2$ 波的 2T 波及 20T 波等瞬态测试法。

我国有仿苏产品 PTC-2(0.1～20MHz)，仿 R/S 公司 SWOF(10kHz～20 MHz) 扫频频谱仪，以及 BT5、BT8、XSQ-3、XSQ-4、XSQ-14A 和 BTS-1。近期发展了 BT5A 及 1250。

(5) 低频扫频仪。

低频扫频仪区别于视频扫频仪，主要在于前者频率精度及分辨率大大高于后者，主要用于网络系统测试。

HP 公司 80 年代开发了一系列低频扫频仪，如 3312A(0.1Hz～13MHz)、3336(10Hz～21MHz)、3325(1μHz～21MHz)、8165(1mHz～50MHz)、3335(200Hz～80MHz)。还有英国输力强公司的 1250 低频分析仪、日本松下公司的 8913 等都是受用户欢迎的产品。

在我国，以天津中环公司电仪厂为主的一系列低频动态测试系统居国内的主导地位。各厂生产的产品有：HG1310、XSQ-5、BT14、XS21、DF1212A、BT4、1232、BT4B、BTD、1230 及 1311、1312 等。

低频扫频仪的技术进步在于频率精度向振荡器及合成器靠拢，对数显示可达 60～120 dB，应用程控或计算机技术的跳点式扫频和应用计算法的任意波形发生器。

(6) 专用扫频仪。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

扫频仪有一个庞大的应用领域，随着技术的进步，品种纷繁的专用扫频仪不断推出。

① 收音机、收录机用扫频仪。

50年代，随着收音机工业的发展，国内外品种众多的此类扫频仪大量涌现。国外以日本目黑、松下等公司为主。国内则是由各收音机厂自行研制、生产，单台中频及广播、短波扫频仪出现过几代产品，为国内的收音机生产作出过贡献。

70年代以后，市场急剧扩大，单机单调整已不适应需要，国内大量引进了日本、香港等地生产的集中扫频发生器。南京无线电仪器厂研制成 JS 集中信号扫频器和 JJS 数字标记集中信号扫频器，仪器配用每机24台显示器。上海无线电26厂的 XSQ-2 三个单机各向4个工位提供信号。

② 电视专用扫频仪。

属于单台的仪器，国外产品以松下公司为主，VP8913、VP8915、VP8861A、VP862、VP8813、VP8800 等，可满足各种视频扫频用。目黑、通信机公司、利达、飞利浦、马可尼等公司的十几个品种在世界电视工业中起了重要作用。

国内单机电视扫频仪在70年代后期大量涌现，有：BT3 专用频标发生器、DS-1 伴音中频、DSP-1 图像中频扫频仪，GPT-2 VHF 13 波道扫频仪，XT16 电视测试信号发生器的 0.1～10 MHz 插入式扫频插板，NW5312 UHF 高频头用扫频仪、1310 VHF 高频头扫频仪、1320 UHF 双频道扫频仪、1251 表面波滤波器扫频仪、5361 中频及高频扫频仪、XSQ-3 全频道电视扫频仪、XSQ-4 UHF 扫频仪、XSQ-8 图像伴音中频扫频仪、XSQ-13 VHF 扫频仪、TZJS-1 图像中频扫频仪等。它们在我国电视工业的发展过程中起过重要作用。

集中式的电视扫频源，国外有芝测公司的产品，国内只有少数工厂试制。

③ 扫频传输测试仪。

长途干线模拟通信的大发展带来了这类仪器的品种纷繁。此类仪器满足了频率精度、电平精度、阻抗精度、对数显示等高指标，为长途通信创造了便利的测试条件。

扫频传输测试仪国外以德国西门子公司、WG 公司，日本安立公司，美国 HP 公司的产品为代表。国内产品则以邮电部510所的 100 MHz 产品执牛耳，眉山邮电505厂的 100 MHz 程控设备具有 120 dB±0.1dB 及 10^{-8} 精度。

属于大环路传输的测试仪是将 BB 信号调制到70或140 MHz 上，供微波中继测试用。美国的 HP3710/3702 微波线路分析仪及日本安立公司的 MG 411 为代表。国内已有邮电部4所等仿制成功。

④ 其它类扫频仪。

电子产业的发展提出了许多课题，诸如，机械、陶瓷等滤波器的扫频仪，阻抗、驻波比图示仪，标量及矢量网络分析仪，群时延扫频仪，扫频相位噪声测试仪，扫频 DG、DP 测试仪等等，都是用途广泛的扫频仪器。

扫频技术的进一步发展是引入时域测量技术。在时域测量中，利用计算机对时域信号进行快速付里叶计算（FFT），求得频域响应及分析。

利用白噪声(加权平坦型)激励，用频谱仪分析已见诸于测试领域。

扫频仪利用频谱仪的跟踪发生器及极高的灵敏度，向网络分析仪综合化发展，成为多用途的综合测试仪器。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

需要说明，可扫频的函数发生器、可扫频的信号发生器、可扫频的频率合成器等，均有相当的发展，限于篇幅，本文未作介绍。

第2节 分 类

扫频仪可有多种分类方法，本章采用常用的分类，即：

（一）微波扫频信号发生器；

（二）分米波扫频仪；

（三）米波扫频仪；

（四）视频扫频仪；

（五）低频扫频仪；

（六）专用扫频仪。

第3节 扫频仪技术指标汇总

扫频仪或扫频信号发生器所使用的技术依据相同，它们的测量方法也相同，随着应用、分类的条件不同而规定了它的主要技术指标。

扫频仪或扫频信号发生器是对四端网络进行幅度和频率量的测量，由此而衍生一些测量的技术指标。随着仪器门类和应用的发展，功能和技术指标也不断地增加和提高（如自动存储扫频分析仪，智能扫频仪等）。目前仅根据所掌握的资料，按照频率分类，列出最基本指标，如表27-2。

汇总表中有些指标是功能性的，有些指标的测试方法与其它指标的方法类似，有些指标的测

表 27-2 扫频仪技术指标汇总表

序号	技术指标	微波扫频信号发生器	分米波扫频仪	米波扫频仪	视频扫频仪	低频扫频仪	专用扫频仪
1	有效频率范围和频段	●	●	●	●	●	●
2	扫频宽度	●	●	●	●	●	●
*	扫频中心频率	●	●	●	●	●	●
3	单频频率误差	●	●	●			
*	单频频率的重调误差	●	●	●			
*	单频频率短期稳定误差	●	●	●			
*	单频频率长期稳定误差	●	●	●			
*	温度变化引起的单频频率变动量	●	●	●			
*	供电电压变化引起的单频频率变动量	●	●	●			
*	输出电平变化引起的单频频率变动量	●	●	●			
*	负载变化引起的单频频率变动量	●	●	●			
*	起止扫频、标志扫频的端点频率误差	●	●	●	●	●	●
*	窄带扫频或对称扫频中心频率误差	●	●	●			
*	窄带扫频或对称扫频的宽带误差	●	●	●			
4	扫频线性误差	●	●	●	●	●	●
5	匹配输出电压	●	●	●	●	●	●
6	输出功率	●	●	●	●	●	●

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	技术指标	微波扫频信号发生器	分米波扫频仪	米波扫频仪	视频扫频仪	低频扫频仪	专用扫频仪
7	输出电平平坦度	●	●	●	●	●	●
*	稳幅输出电平平坦度及稳幅输出电平可调范围	●	●	●	●	●	●
*	稳幅输出电平误差	●	●	●	●	●	●
*	稳幅输出电平长期稳定误差	●	●	●			
*	温度变化引起的稳幅输出电平变动量	●	●	●			
*	供电电压变化引起的稳幅输出电平变动量	●	●	●			
8	输出阻抗或源电压驻波比	●	●	●	●	●	●
9	输出衰减误差	●	●	●	●	●	●
10	频率标志误差	●	●	●	●	●	●
11	频率标志分辨率	●	●	●	●	●	●
12	载波失真度	●	●	●	●	●	●
13	载波的相对谐波含量	●	●	●			
*	载波的相对分谐波含量	●	●	●	●		
14	载波的相对非谐波含量	●	●	●			
*	不希望的效应	●	●	●	●	●	
*	方波调制时的单频频率偏移	●					
15	单频无调制时的剩余调频	●	●				
16	输出波形对称性误差	●	●	●	●	●	
*	方波重复频率	●	●				
*	方波占空系数	●	●				
*	方波调制通断比	●	●				
*	载频正弦调制系数	●	●	●			
17	线性偏转因数		●	●	●	●	●
18	线性显示带宽		●	●	●	●	●
19	对数显示动态范围		●	●	●	●	●
*	输入衰减		●	●	●	●	●
20	输入阻抗		●	●	●	●	●
21	扫频时间	●	●	●	●	●	●
*	输出衰减器的测量(UHF 检定规程)	●	●	●	●	●	●
*	专用 TV 自动搜索和跟踪灵敏度测量(UHF 检定规程)						●

试很简单，因此第4节中只列出了一览表中有序号的21项指标的测试方法，其余的无序号以“*”表示。

第4节 技术指标及测试方法

若无特殊说明本节所列参数定义及测试方法均引用国家标准《扫频信号发生器通用技术条件》和《扫频信号发生器测试方法》。

被测扫频信号发生器或扫频仪及测试设备均按各自产品标准中规定的预热时间后进行测试。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1. 有效频率范围和频段

effective fregueney range and frequency band

有效频率范围是指：扫频信号发生器产生的载波频率范围。载波频率是连续的，或分成若干频段，或由一系列间断的频率组成，在此频率范围内扫频信号发生器满足所有精度要求。

频段是指：频率范围的一部份，在此整个部分内，频率能连续调节或步进调节。

测试方法：

（1）测试方框图；见图 27-1。

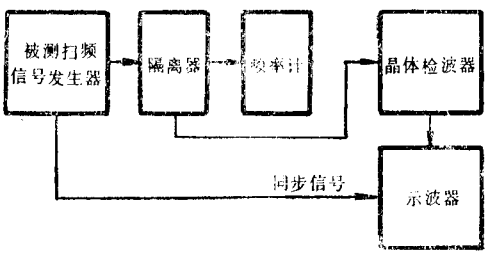


图 27-1

（2）测试步骤

① 被测扫频信号发生器工作于单频和扫频状态，适当调节输出幅度。

② 在规定的每个频段用频率计测量信号发生器连续的频率覆盖范围，记录每个频段和整个频率范围的覆盖量。

③ 对用频标指示扫频频率范围的扫频图示仪，则直接数频标间隔，测得其扫频有效频率范围。

2. 扫频宽度 ΔF

sweep width

扫频所覆盖的频率范围的最高频率与最低频率之差。

注：中小频率可调的扫频信号发生器或扫频图示仪的扫频宽度等于频偏的两倍；起始和终止频率可调的扫频信号发生器或扫频图示仪的扫频宽度等于这两个频率之差。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 27-2。

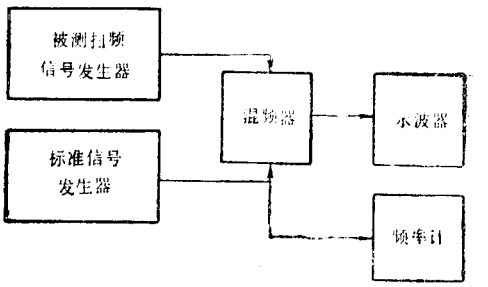


图 27-2

（2）测试步骤

① 被测扫频信号发生器或扫频图示仪工作在扫频状态，适当调节输出幅度。

② 在规定的每个可控频段范围内标准信号发生器或频率计所得的最高频率和最低频率的差值为扫频宽度：$\Delta F = F_{max} - F_{min}$。

③ 对用频标指示扫频频率范围时扫频信号发生器或扫频图示仪，可直接数频标间隔，读出其扫频宽度。

3. 单频频率误差 Δ

CW frequency accuracy

被测仪器工作于单频状态时，频率计测得的频率实测值与标称值之差，即为单频频率绝对误差。绝对误差与标称值之比，即为相对误差。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 27-3。

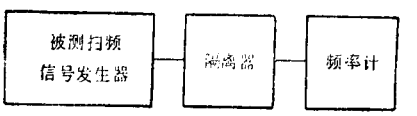


图 27-3

（2）测试步骤

① 被测扫频信号发生器或扫频图示仪工作于单频状态，适当调节扫频信号输出幅度。

② 频率计所测得的频率值，即为扫频信号发生器或扫频图示仪的单频频率。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

单频频率误差 Δ 由下式求得：

$$\Delta = \frac{f_m - f_d}{f_d} \times 100\% \qquad (27\text{-}1)$$

或

$$\Delta = f_m - f_d \qquad (27\text{-}2)$$

式中 Δ——单频频率误差；

f_m——测试点频率，Hz；

f_d——测试点标称值，Hz。

4. 扫频线性误差 Δ

sweep linearity error

在扫频时间内产生的相对于线性扫频的最大频率差 Δf_{max}，如图 27-5。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 27-4。

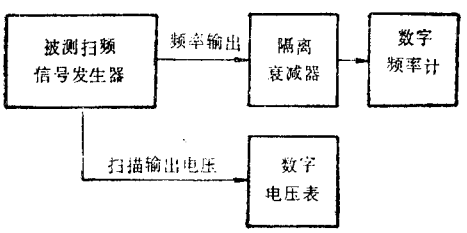
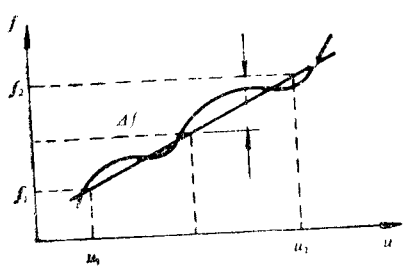


图 27-4

(2) 测试步骤

① 被测扫频信号发生器工作于单频状态，"比例扫描输出"接数字电压表。分别测得有效频率范围的相应起始频率 f_1，终止频率 f_2，相应的扫描输出电压 u_1，u_2，在扫描输出电压为 x 轴，输出频率为 y 轴的坐标内将（f_1、u_1）和（f_2、u_2）两点连接成直线。



（扫描输出电压）

图 27-5

② 按一定的频率间隔测得相应的电压值，找偏离（f_1、u_1），（f_2、u_2）直线最大的 Δf_{max}，见图 27-5。

③ 则扫频线性误差 Δ 由下式求得：

$$\Delta = \frac{\Delta f_{max}}{f_2 - f_1} \times 100\% \qquad (27\text{-}3)$$

式中 Δ——扫频线性误差；

Δf_{max}——偏离上述规定直线的最大频率偏差，Hz；

f_1——起始频率，Hz；

f_2——终止频率，Hz。

④ 对扫频图示仪，扫频线性误差可由梳状频标的间隔比来表示，则线性误差 Δ 为 1:A。A 可由下式求得：

$$A = \frac{d_{max}}{d_{min}} \qquad (27\text{-}4)$$

式中 A——梳状频标间隔比；

d_{max}——扫频宽度内的频标最大间隔，cm；

d_{min}——扫频宽度内的频标最小间隔，cm。

或扫频线性误差 Δ 由下式求得：

$$\Delta = \frac{A - B}{A + B} \times 100\% \qquad (27\text{-}5)$$

式中 Δ——扫频线性误差；

A——相邻两标志的最大距离；

B——相邻两标志的最小距离。

5. 匹配输出电压

mathed output voltage

扫频信号发生器在规定的输出端跨接一个与额定源阻抗相等的负载阻抗时的输出电压(电位差)值，载波工作在未调制状态。该电压值对正弦波用有效值表示，对方波用峰-峰值表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 27-6。

(2) 测试步骤

① 被测扫频信号发生器工作于单频，手动或慢扫频状态，输出电平调至最大。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

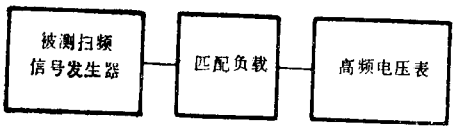


图 27-6

② 被测扫频信号发生器的输出衰减置"0" dB 状态，输出跨接额定匹配负载，所测电压为标称输出电压。

③ 对被测扫频图示仪，工作于扫频状态时，应使扫频宽度置最窄状态。移动中心频率，测得输出电压(为平均值电压)，具体测量计算应参照厂家企业标准。

④ 测得有效频率范围内最小不稳幅或最大不稳幅电压即为不稳幅输出电平。

6. 输出功率 W

output power

扫频信号发生器或扫频图示仪提供额定负载阻抗的功率。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 27-7。

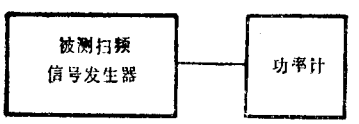


图 27-7

(2) 测试步骤

被测扫频信号发生器或扫频图示仪工作于单频，手动或慢扫频和未调制状态，输出电平调至最大，输出衰减为"0" dB。所得功率即输出功率。

注：① 使用功率计时，应使仪器输出口直接与功率计相接，因需要引用传输电缆或过渡接口时，应使用最小反射的电缆和过渡器件。

② 严格注意仪器与功率计的阻抗匹配

7. 输出电平平坦度 Δ

output flatness

扫频信号发生器在有效扫频范围内，载波(RF)输出端口，电压或功率变化差值，以 dB 或 dBm 表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 27-6 和图 27-7。

(2) 测试步骤

① 被测扫频信号发生器工作于单频，手动或慢扫频状态。

② 测得有效频率范围内最大和最小输出电压或功率：u_{max}、u_{min} 和 P_{max}、P_{min}。

输出电压平坦度 Δ 由下式求得：

$$\Delta = \pm \frac{1}{2}\left(20\lg \frac{u_{max}}{u_{min}}\right) \qquad (27\text{-}6)$$

式中 Δ——输出电压平坦度，dB；

u_{max}——有效频率范围内最大输出电压值，V；

u_{min}——有效频率范围内最小输出电压值，V。

输出功率平坦度 Δ 由下式求得：

$$\Delta = \pm \frac{1}{2}\left(\lg \frac{P_{max}}{P_{min}}\right) \qquad (27\text{-}7)$$

式中 Δ——输出功率平坦度，dB；

P_{max}——有效频率范围内最大输出功率，W；

P_{min}——有效频率范围内最小输出功率，W。

8. 输出阻抗或源电压驻波比

I. 输出阻抗 Z_{out}

output impedance

在输出端向信号发生器或扫频图示仪看去所呈现的阻抗 $(Z + Z_{源})$。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 27-8。

(2) 测试步骤

对于低频扫频信号发生器或扫频图示仪(频率在 1 MHz 以下)：

① 使仪器工作于单频，手动状态，输出幅

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

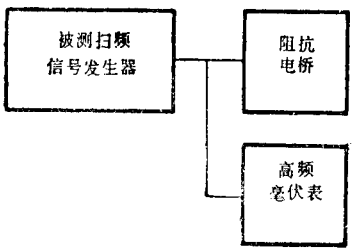


图 27-8

度调至最大，输出衰减为“0 dB”状态。

② 使电桥调整到与扫频信号发生器或扫频图示仪的输出阻抗标称值，测得电压值 u_1。然后移开阻抗电桥测得 u_2，按下式进行计算。

$$\Delta = \pm \left| \frac{u_2 - 2u_1}{2u_1} \times 100\% \right| \qquad (27\text{-}8)$$

式中 Δ——阻抗误差量；

u_1——接入标称阻抗负载时的电平值；

u_2——未接入标称阻抗负载时的电平值。

II. 源电压驻波比 S

source $VSWR$

测试方法：

(1) 测试方框图；见图 27-9。

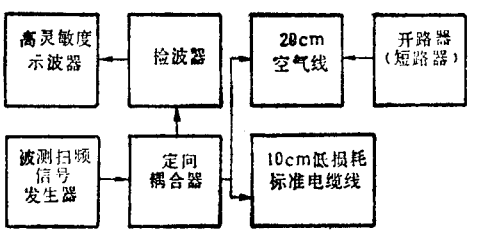


图 27-9

(2) 测试步骤

① 被测扫频信号发生器工作于扫频稳幅状态，输出功率调至最大。

② 如被测扫频信号发生器的频率在1GHz以上，接入 20 cm 空气线和可变短路器，使示波器显示出图 27-10 中的全频段小波纹驻波曲线，检波器应工作于小信号以满足平方律特性。

③ 调节可变短路器旋钮，改变短路长度，

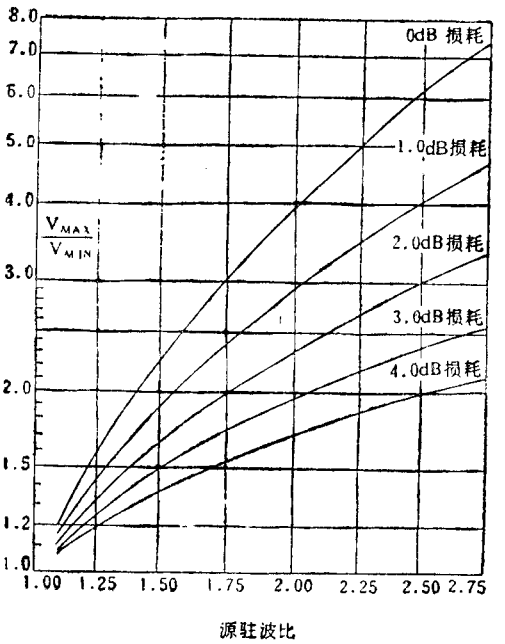


图 27-10 示波器轨迹转化成源匹配驻波比图

此时小波纹驻波曲线也将随之改变。

④ 找出随可变短路器长度变化而变化的所有小波纹驻波曲线中最大的 u_{max} 和最小的 u_{min} 之比，则源驻波比 S 由下式求得：

$$S = \sqrt{\frac{u_{max}}{u_{min}}} \qquad (27\text{-}9)$$

式中 S——源电压驻波比；

u_{max}——按本测试条件下，显示电压最大值，V；

u_{min}——按本测试条件下，显示电压最小值，V。

⑤ 如被测扫频信号发生器的频率在 1GHz 以下，接入 10 cm 低耗电缆线，源电压驻波比由下式求得：

$$S = \frac{-A^2\left(\sqrt{\frac{u_{max}}{u_{min}}} - 1\right) - \left(\sqrt{\frac{u_{max}}{u_{min}}} + 1\right)}{A^2\left(\sqrt{\frac{u_{max}}{u_{min}}} - 1\right) - \left(\sqrt{\frac{u_{max}}{u_{min}}} + 1\right)} \qquad (27\text{-}10)$$

式中 A 由下式确定：

$$20\lg A = L(\text{dB}) \qquad (27\text{-}11)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

L——10m 低损耗电缆的插入损耗 dB 值。

源电压驻波比也可从图 27-10 中查得。

9. 输出衰减误差 Δ

output attenuation accuracy

输出衰减量与标称量之差，以 dB 表示。

测试方法：

(1) 测试方框图：见图 27-11、图 27-12、图 27-13。

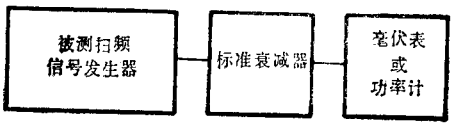


图 27-11

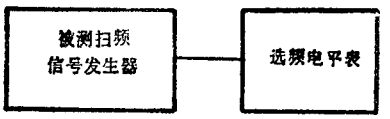


图 27-12

图 27-13

(2) 测试步骤

① 见图 27-11，图 27-12，将扫频信号发生器或扫频图示仪工作于单频，手动状态。

② 在扫频范围内，对于同一个衰减量中，频率由低到高至少选择三个以上频率点。

③ 记录衰减测量值，测量最大误差值应在给定误差范围内，误差 Δ 应按下式进行计算。

$$\Delta = \pm(u_m - u_d) \qquad (27\text{-}12)$$

或

$$\Delta = \pm(P_m - P_d) \qquad (27\text{-}13)$$

式中 Δ——衰减误差；

u_m——测试点衰减值，dB；

u_d——测试点标称值，dB；

P_m——测试点衰减值，dB；

P_d——测试点标称值，dB。

④ 对于高频扫频信号发生器用频谱仪或测试接收机测量时，由于要引入长电缆和加入隔离衰减器（约 3 dB），当频谱仪或测试接收机与被测扫频信号发生器阻抗不匹配时，中间应加阻抗转换器，使其阻抗严格匹配，如图 27-13。测量误差可直接读出。

10. 频率标志误差 Δ

frequency marker accuracy

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 27-1，图 27-2，图 27-3。

(2) 测试步骤

① 被测扫频信号发生器工作于扫频状态，使示波器有明显的频标显示。

② 用图 27-1 方法调节频率计，使吸收峰和频标重合，此频率计读数即频标实际频率 f_A，则频率标志误差 Δ 由下式求得：

$$\Delta = \frac{f_A - f_d}{f_d} \times 100\% \qquad (27\text{-}14)$$

式中 Δ——频率标志误差；

f_A——频标频率实测值，Hz；

f_d——频标频率刻度标称值，Hz。

③ 用图 27-2 方法测量时，调节信号发生器的频率使谱线和频标重合，用数字式频率计测得信号发生器的频率即为 f_A。

④ 若被测扫频信号发生器有晶体频标，可在单频时测试使频率和晶体频标重合，然后用数字式频率计测量频率值即为 f_A。

⑤ 用图 27-3 方法测量时，使扫频仪工作于单频或手动状态，使屏幕上出现标记时，则数字式频率计测量频率值即为 f_A，则频率标志误差 Δ 由下式得出：

$$\Delta = \pm f_A - f_d \qquad (27\text{-}15)$$

式中 Δ——频率标志误差，Hz；

f_A——频标频率实测值，Hz；

f_d——频标频率标称值，Hz。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

注：如果扫频仪本身有计频装置，可直接读出进行判别。

11. 频率标志分辨率　Δ

frequency marker resolution

频率标志的占有频率与频标频率实测值之比。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 27-1。

(2) 测试步骤

① 被测扫频信号发生器工作于窄带扫频状态，使示波器有明显频标显示。

② 选择窄带扫频宽度位于示波器屏幕上有效宽度，测出频标占有的频率 Δf，则频率标志分辨率 Δ 由下式求得：

$$\Delta = \frac{\Delta f}{f_d} \times 100\% \qquad (27\text{-}16)$$

式中　Δ——频率标志分辨率；

Δf——频标占有频率，Hz；

f_d——频标频率实测值，Hz。

12. 载波失真度　Δ

distortion factor

载波波形畸变的程度，用于低频（20 Hz～200kHz）范围。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 27-14。

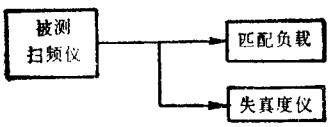


图　27-14

(2) 测试步骤

① 将扫频仪工作于有效扫频范围，使其为单频或手控状态，输出衰减为“0 dB”输出调至最大。

② 在扫频有效范围内（标称频段范围内）应选最低、最高、中间三个以上频率点，如频段多，而各频段也应选三个以上频率点，并测试记录失真度，最大失真度被确定为被测扫频仪的失真度。

13. 载波的相对谐波含量

relative harmonic content

规定的一个谐波输出信号或一组谐波输出信号有效值（或功率值）与载波基波的有效值（或功率值）之比，用百分数或低于载波电平的分贝数表示。

注：一组谐波输出信号有效值的相对谐波含量由下式计算：

$$A = \sqrt{\frac{u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + \cdots}{u_1^2}} \times 100\% \qquad (27\text{-}17)$$

式中　A——相对谐波含量，%；

u_1——基波电压值，V；

u_n——第 n 次谐波电压值，V。

功率的相对谐波含量由下式计算：

$$A = 10\lg \frac{P_2 + P_3 + P_4 + \cdots}{P_1} \qquad (27\text{-}18)$$

式中　A——相对谐波含量，dB；

P_1——基波功率值，W；

P_n——第 n 次谐源功率值，W。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 27-13。

(2) 测试步骤

① 被测扫频仪工作于单频稳幅状态，输出电平调至最大。

② 用频谱仪或接收机测量各次谐波相对于基波功率的分贝数。

14. 载波的相对非谐波含量

relative nonharmonic content

规定的非谐波输出信号的功率值与载波基波的功率值之比，用低于载波电平的分贝数表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 27-13。

(2) 测试步骤

① 被测扫频信号发生器工作于单频稳幅状态，输出电平调到最大。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 用频谱仪或接收机测量各非谐波含量相对于基波功率的分贝数。

15. 剩余调频(无调制条件下)

unwanted frequency modulation in an intentionany unmodulated condition

扫频信号发生器在无调制的条件下，输出信号频率的短期不稳定性或晃动。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 27-13、图 27-15。

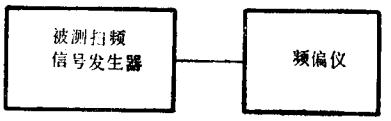


图 27-15

(2) 测试步骤

① 扫频信号发生器工作于单频状态，预置频率为 f_0，输出电平调至最大。

② 按图 27-13 调节频谱仪找到 f_0 谱线，适当调节显示幅度，测得 f_0 时的剩余调频为 Δ。

③ 或按图 27-15 用频偏仪进行测试，测得 f_0 的剩余调频为 Δ。

16. 输出波形对称性误差

output waveform symmetric accuracy

在单频时输出波形的一个周期内，正向和反向宽度之比。

注：低频或函数发生器扫频时，输出为多种波形，例如三角波形，其对称性误差由 Δ 表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 27-16。

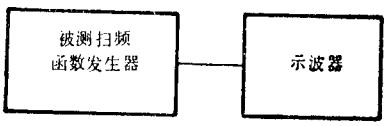


图 27-16

(2) 测试步骤

① 将扫频或函数发生器工作于单频状态，工作方式为三角波或方波。

② 使示波器扫描频率与其单频同步，用示波器 X 轴刻度值进行求得对称性误差，计算方法如下：

$$\Delta = \frac{A_2 - A_1}{A_2 + A_1} \times 100\% \qquad (27\text{-}19)$$

式中 Δ——输出波形对称性误差；

A_1——输出波形正向(或反向)屏幕几何尺寸 (cm)；

A_2——输出波形反向(或正向)屏幕几何尺寸 (cm)。

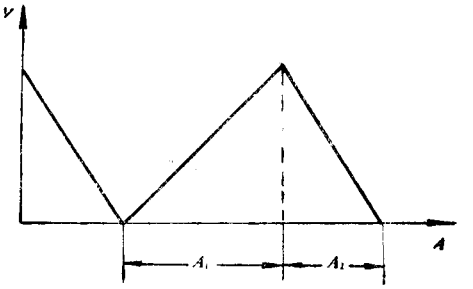


图 27-17

17. 线性偏转因数 S

lineay deflection coefficient

显示器 X 轴或 Y 轴每偏转单距离所需的输入电压成线性增长关系，通常其单位用 mV/cm 或 mV/div 表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 27-18。

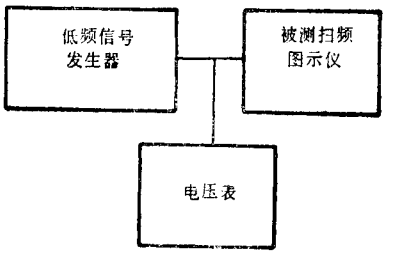


图 27-18

(2) 测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 被测扫频图示仪工作于最灵敏状态，在无特殊规定时，低频信号发生器采用400 Hz或1 kHz频率的正弦波，调节低频信号发生器输出幅度，使显示幅度为检验工作面的高度。

② 测得显示波形的高度H和相应输入信号电压峰-峰值u，则偏转因数S由下式求得：

$$S=\frac{u}{H} \qquad (27\text{-}20)$$

式中 S——偏转因数，V/cm 或 V/div；

u——输入信号电压峰-峰值，V；

H——显示波形的高度，cm 或 div。

18. 线性显示带宽 f_B

linear display bandwidth

保持输入信号源的电压不变，信号发生器的频率增高或降低时，显示波形的高度H下降到0.707H时所指示的频率宽度为显示带宽。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图27-18。

(2) 测试步骤

被测扫频图示仪工作于最灵敏状态，保持输入信号发生器的电压不变，增高和降低频率，直至显示为0.707H时，分别测得频率为f_2和f_1。

显示带宽f_B可由下式求得：

$$f_B=f_2-f_1 \qquad (27\text{-}21)$$

19. 对数显示动态范围 A

logarithmic display dynamic range

显示图形的幅度正比于输入信号电压或功率的最强信号和最弱信号之比。以分贝表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图27-18。

(2) 测试步骤

① 被测扫频图示仪工作于“对数”的最大动态范围。

② 调节信号发生器输出达到产品规定的最大输入信号电平A_1，以使显示幅度为满格。

③ 信号发生器输出信号电平按N_0(dB)减小(如10dB)，显示幅度相应降低N_1(dB)。

④ 继续减小信号发生器的输出信号电平，至显示幅度为一可分辨最小分度，并应满足显示幅度符合规定的误差，这时信号发生器输出信号电平为A_2，则被测扫频图示仪对数动态范围A由下式求得：

$$A=A_1-A_2 \qquad (27\text{-}22)$$

式中 A——对数显示动态范围 dB；

A_1——最大输入信号电平，dB；

A_2——可分辨的最小输入信号电平，dB。

20. 输入阻抗 R

input impedance

扫频仪显示器输入端测得的直流电阻值。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图27-19。

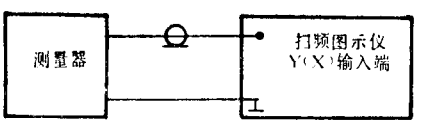


图 27-19

(2) 测试步骤

扫频图示仪或显示器处于工作状态，输入衰减置0 dB 或(×1)档，由直读式电阻表或直流电桥读出电阻值即为输入阻抗。

21. 扫频时间 S

sweep time

完成重复扫频过程的时间，时间单位为s(秒或赫兹)。

测试方法：

(1) 慢扫描用秒表测量一个正程时间，或一个单次所需的时间。

(2) 用示波器测量正弦波或锯齿波一个周期的时间。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

* * * * * *

本章技术指标和测试方法中所用主要测试仪器，汇总列表如下。

表 27-3 主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
超高频毫伏表	DA22，DA1 等	JJG308-83
功率计	GX12M1 GX2B	JJG282-81
数字式频率计	E325 E337 等	JJG349-84
通用示波器	SBR1 CS5100 等	JJG262-81
正弦信号发生器	XD1，XB44 XG2，XB10 等	JJG15002-88
超高频校准接收机	DO16 TO7 等	JJG362-84
失真度测试仪	BS1A	JJG251-81
直流数字电压表	191(美国) 8840(日本)	

第5节 扫频仪按门类量值传递表

1.时间频率量值传递表

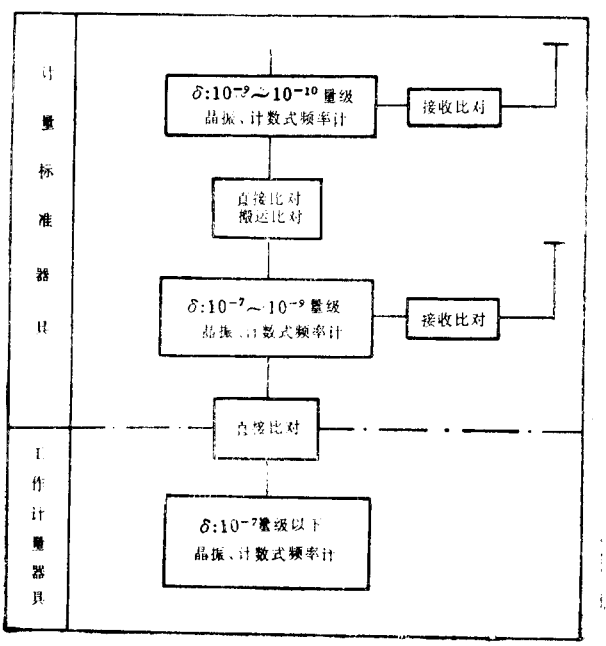


图 27-20

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2.高频阻抗量值传递表

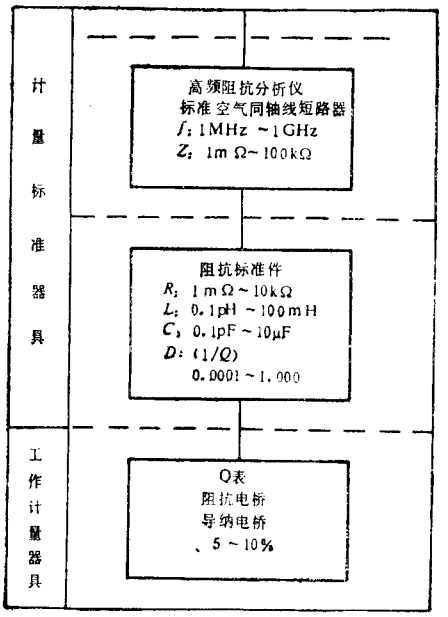


图　27-21

3.射频电压量值传递表

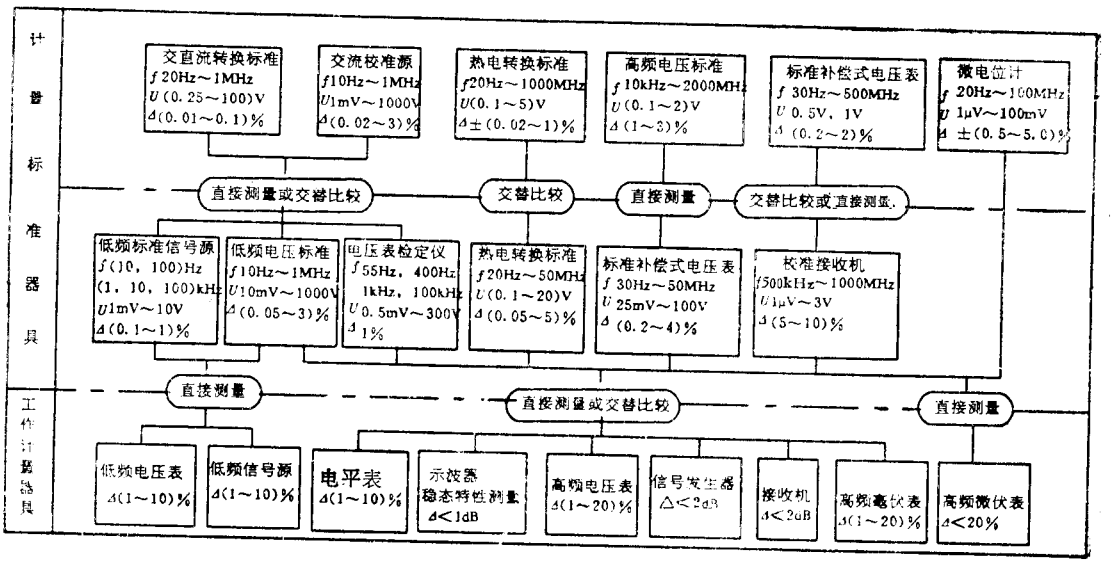


图　27-22

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4.射频与微波功率量值传递表

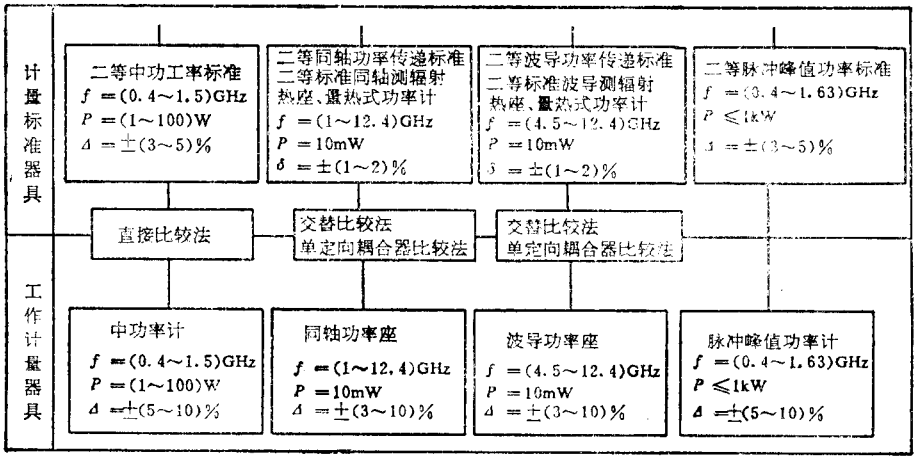


图 27-23

5.射频及微波衰减量值传递表

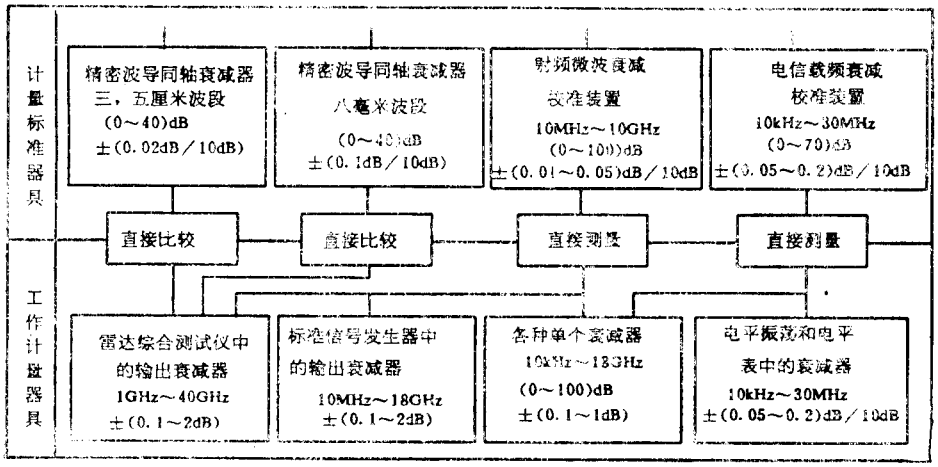


图 27-24

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6.扫频图示仪量值传递表

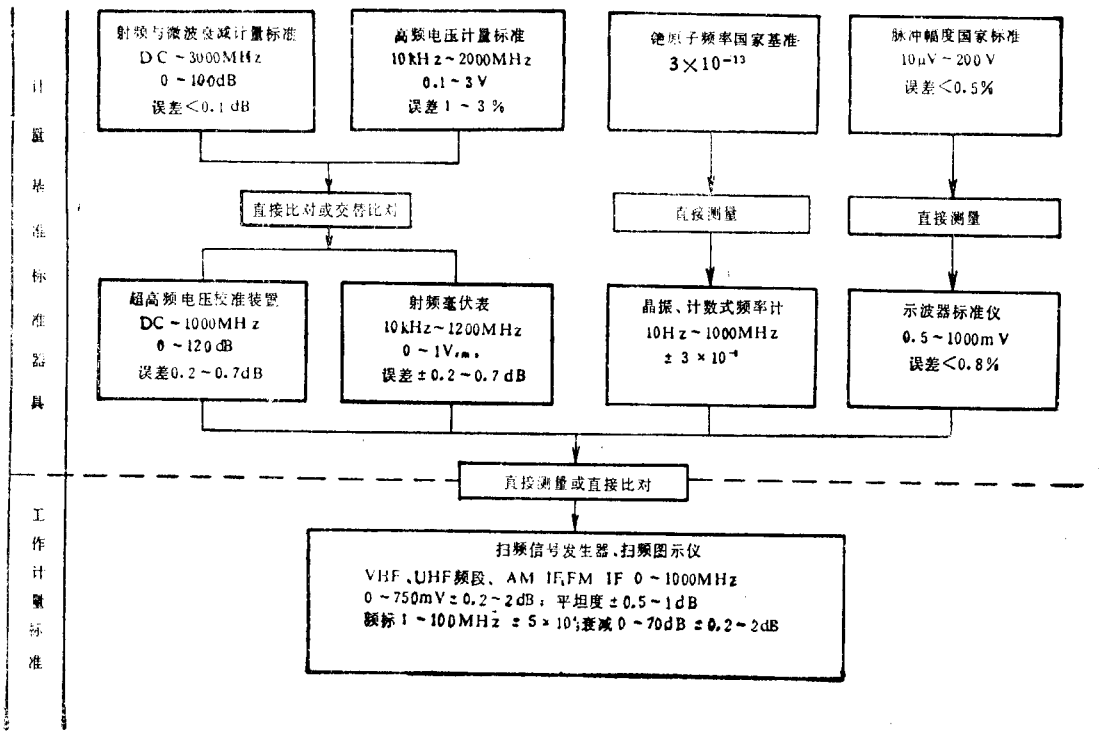


图　27-25

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第28章 数据域仪器

第1节 综 述

数据域仪器是一种产生或观察、测量数字信号的仪器，被广泛应用于数字集成电路测试评价、微处理器系统或数字电路板的研制开发、生产调试及现场维修中，能够解决那些用传统的模拟仪器，如示波器、电压表、频率计等所无法解决的新的测量问题。在电子测量仪器中，数据域仪器是一个崭新的仪器门类。

数据域仪器以二进制数据流“0”和“1”为主要测量对象，一般都有多个输入或输出通道，显示一般是状态、代码或假波形，具有灵活多样的触发功能、显示功能等，这些都是与传统的模拟仪器的重要区别。

数据域仪器的发展紧紧地和集成电路工业、计算机工业以及智能化仪器和工业控制设备的发展联系在一起，大约不过二十几年的历史，但发展的速度是相当快的。以逻辑分析仪为例，自1973年世界上第一台逻辑分析仪问世以来，已经发展了四代，通道数由16个发展到几百个，最大时钟频率由几兆赫发展到几千兆赫，功能也大大加强了，直到现在的第四代逻辑分析仪，采用了超大规模集成电路技术，被称之为单片式、模块化逻辑分析仪。逻辑分析仪的年销售额增长速度也相当快，超过任何其它电子测量仪器，它在数字测试领域中应用的广泛程度和所处的地位，跟模拟测试领域中的示波器一样重要。

“数据域”这个概念，是随着集成电路、微型计算机及数据域仪器本身的逐步发展于70年代末形成的。根据美国 John Markus 编的电子学辞典的解释，所谓“数据域”就是“用数据流、数据格式、设备结构和状态空间概念来表示的数字系统的特性”。按照上述解释，数据域仪器所包含的种类是相当广泛的。像逻辑分析仪、数字信号发生器等属于通用类数据域仪器，此外还有数字集成电路测试仪、PCM 通信测试仪、印制电路板测试仪等各种专用数据域仪器。随着集成电路、微处理器、微计算机技术的发展，数据域仪器在军工、科研以及国民经济的各个领域中得到越来越广泛的应用。本章重点介绍通用类数据域仪器，有关印制电路板测试仪的情况在附录中给出。其它专用数据域仪器，请读者参阅相应章节。

国内从80年代初生产第一台逻辑示波器以来，共有十几个厂家、研究所生产通用类数据域仪器。产品种类有逻辑分析仪、特征分析仪、开发系统、仿真器、微机故障诊断仪等，产品水平不断提高，发展速度也比较快，但与国外同类仪器的技术水平相比，差距还很大。特别是80年代后期，由于国外微电子技术飞速发展，超大规模集成电路（VLSI）和专用集成电路（ASIC）的使用，使我们的差距越来越大。目前，除一些自主设计的简易开发系统，个人仪器式逻辑分析仪，中、小规模IC 测试仪等在国内占有一定市场外，中、高档数据域仪器几乎全部靠进口。

为了发展中、高档数据域仪器，必须解决好 VLSI 和 ASIC 电路的解剖分析、生产替代、降低成本、提高整机质量等问题，使数据域仪器的发展出现新的生机。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

为方便起见，以下将分别叙述几种主要通用数据域仪器的性能特点及发展情况。

(一) 逻辑分析仪

逻辑分析仪是适应数字电路的测试需要，最早发展起来的数据域仪器之一。它用于观测和分析数字电路和系统的逻辑关系，特别是计算机的程序设计、调试和维修。由于输入通道多，所以可以同时观测多个被测点的逻辑关系。按功能可分为状态分析仪和定时分析仪两种，前者显示信息的"0"或"1"状态，适用于观测软件的执行过程；后者显示信息的时间关系，适用于观测数字信号在电路中的传输，发现产生故障的硬件原因。

按性能，逻辑分析仪又可大体上分为高、中、低三档。通道数不大于16个，最大时钟频率20 MHz以下，只有状态分析(或只有定时分析)和简单触发功能的属低档；状态分析20～50 MHz，通道数16～64个，具有反汇编和多种触发能力或同时具备100 MHz以下定时分析能力的属中档；状态分析不低于50 MHz，定时分析大于100 MHz，通道数大于64个，有丰富的反汇编和触发能力的属高档。

逻辑分析仪面世时间不长，但发展速度非常快，其主要发展方向是：数据获取速率越来越高，如TEK公司的DAS 9100和DAS 9200的异步采集速率达2GHz，DAS 9100的同步采集速率达到330 MHz；通道数越来越多，如DAS 9200最大通道数540个，HP 18500最大通道数400个；此外，反汇编、触发功能和显示功能越来越完备。国外逻辑分析仪以每年增长百分之二十到三十的速度发展，售价逐年下降。可以预计，逻辑分析仪有着广阔的发展前途。

早期的逻辑分析仪是在示波器的基础上发展起来的，称为逻辑示波器，70年代初，由美国HP公司率先推出。HP 1601的通道数16个，存储深度64字，最大时钟频率10 MHz，触发功能简单，数据采集和显示分开为两个分机工作。70年代末，高速比较器和高速存储器RAM的出现，使逻辑分析仪的最大时钟频率达到20 MHz通道数32个，存储深度256字～1 K字，一般都有较丰富的触发功能，有些分析仪具备反汇编和助记符号显示能力。这一时期，世界上几乎所有著名的仪器公司都参与了开发生产逻辑分析仪。典型产品有HP公司的HP 1611A、HP 1615A，TEK公司的300系列，7D01、7D02，Philips公司的PM3542、PM3543，日本松下VP3620A等。这就是第二代逻辑分析仪。

80年代初，由于微处理器的普遍应用，逻辑分析仪的发展进入第三代，实现了智能化。在同一台分析仪中，既有状态分析又有定时分析能力，通道数达到32～72个，状态分析达50 MHz，定时分析达到100 MHz，一般都具有毛刺检测能力。仪器可以配接GP-IB接口或RS-232接口，实行自动测试或远地控制。典型产品有：Dolch公司LAM4850、Philips公司PM3551、HP公司HP1630/31、Gould公司K100D、松下公司VP3662A、TEK公司的1240/41等。

80年代中期，逻辑分析仪的发展主要是在智能化的基础上进一步提高性能，使功能更加完善。如TEK公司DAS9100和DAS9200定时分析到2GHz，状态分析到330 MHz，最大1008个通道50 MHz的测试图形发生器，使之成为高性能的数字分析系统，以适应VLSI和ASIC电路发展的测试需要。又如Philips PM3551A，75通道、300 MHz定时分析，近20种8位和16位微处理器反汇编支撑等，也达到了相当高的技术水平。

80年代末，HP公司在逻辑分析仪技术竞争不利的情况下，推出了第四代单片式、模块化逻辑分析仪HP 16500系列。用户根据自己需要，通过选择不同的模块，很容易组成性能不同的分

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

析仪，最大通道数 400 个，最高 1 GHz 定时分析，最多 204 个通道 50 Mbit/s 图形发生器，或者 8 个通道 400 MS/s 取样速率的数字存储示波器。HP 16500 系列从性能/价格比方面大大超过其它公司的产品。此外，Kontron 公司 KLA/2、Gould 公司 K4000，状态分析都达到 96 通道 50 MHz，定时分析分别为 8 通道 2 GHz 和 12 通道 1 GHz。

1981 年，内蒙古电子仪器厂生产出国内第一台逻辑分析仪 SL-3，通道数 8 个，时钟频率 10 MHz，存储容量 256 字，称之为逻辑示波器。1982 年，红华仪器厂和上无 21 厂分别投产 16 通道的逻辑示波器 SL-2 和 SL-4。80 年代中期，南京电讯仪器厂生产出具有定时分析、状态分析、特征分析及反汇编等多种功能的逻辑分析仪 EE 4511，并把时钟频率提高到 20 MHz。红华仪器厂生产的 HH4510T，把通道数提高到 32 个。此时的同类产品还有 HH4510/11/12、NM 4512、BY4511、XJ4530 等。与此同时，国内一些高等学校及研究所开始研制并生产个人仪器式的逻辑分析仪，如清华大学计算机厂的 LA-32、航天部 502 所的 HT 4540、东南大学的 PLSA-1 等，通道数最多达到 40 个，时钟频率最高达到 40 MHz。

80 年代后期，由于进口逻辑分析仪的冲击和技术上的原因，除插件板式或个人仪器式逻辑分析仪因价格便宜，使用方便，而在国内仍占有一定市场外，国产逻辑分析仪发展缓慢，销售状态不佳。

（二）特征分析仪

使用逻辑分析仪测试或维修数字系统，要求操作者对被测产品有详尽的了解，而集成电路的发展和微处理器的使用，使数字系统结构越来越复杂，要做到这一点是很困难的，尤其是现场维修人员更不可能通晓每个产品的详细原理，况且由于逻辑分析仪的使用复杂、价格昂贵，限制了它的普遍应用。为了弥补这个不足，1977 年，HP 公司推出了 HP5004A 特征分析仪。

特征分析仪是把被测产品中某结点的复杂数据流压缩成简明易懂的四位特征码，通过与已知产品中同一结点上的特征码相比较，来判断该结点的好坏，经过故障追踪，把故障定位到元件级。其主要特点是检测错误的准确率相当高，达 99.998%；对操作者的技术水平要求极低，容易使用，体积小，重量轻，便于携带，价格便宜。因此，它非常适用于数字电路和微处理器系统的生产线调试和现场维修。

80 年代初，HP 公司又陆续推出 HP5005A、HP5005B 特征万用表，时钟频率提高到 25 MHz，同时还具备频率计和万用表功能，使现场维修更加方便。HP5005B 还带有 GP-IB 接口，与 HP85 控制计算机相联，配备适当软件，就成为 HP55005S 自动故障诊断系统。特征分析仪典型产品还有 HP5006A、Data I/O 公司的 1310A/1320A 特征校验/激励器、Solatron 公司的 7201 定位仪等。

国内于 1986 年由机电部 41 研究所研制出 AV3621 型特征分析仪及特征分析激励器 AV1691/1692/1693，达到了 HP5005B 的水平。

80 年代末期，特征分析仪在国外没有新的发展，但特征分析技术却被广泛用于 IC、VLSI 及印制电路板的测试中。

（三）母线系统分析仪

在微型计算机发展的带动下，70 年代初出现的 GP-IB 通用接口母线，使多台电子仪器或设

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

备联起来进行程控而组成自动测试系统成为可能。为了方便设计、调试和维修 GP-IB 母线接口系统，70 年代末，HP 公司生产出 HP59401A 母线系统分析仪。该仪器具有讲、听、控三种功能，在面板上装有三线挂钩线和五条数据管理线的工作状态指示灯和控制开关，消息数据也能通过面板上开关编程，数据存储深度 32 字，有快速、慢速和暂停三种运行方式，能够方便地观察到总线运行过程中的各种状态，从而查出故障所在。80 年代中期，国内庆华仪器厂生产出 QH6540 智能母线分析仪，存储深度 256 字。

自 80 年代以来，用大规模集成电路实现的 GP-IB 接口功能的专用芯片得到广泛使用（如 MC68488、Intel 8291、8292、8293），使 GP-IB 接口的设计和调试变得非常容易，母线系统分析仪的使用不那么频繁，因而这类仪器没有新的发展。

（四）数字信号发生器

根据功能的不同，数字信号发生器可分为字发生器、图形发生器和数据发生器，是数字测试领域中的信号源，能由多个输出通道（至少 8 通道）发出符合测试要求的数据流，可以是周期性的，也可以是非周期性的，在这点上与脉冲信号发生器显著不同。

字发生器的主要特点是数据存储深度小，一般不超过 64 字，通道数也不多，但工作速率比较高，一般高于 50 MHz。它适用于测试中小规模集成电路，尤其是高速电路或 ECL 电路的动态参数，也可以作为一般数字信号源或脉冲信号源使用。生产字发生器的主要厂家是 HP 公司，80 年代初期产品有 HP8016A，速率 50 MHz，9 通道，32 字存储深度；HP8080A，速率 300 MHz，64 字存储深度，1～4 个通道。80 年代末又推出 HP8118A，速率 100 Mb/s，2 通道，16 K 字存储深度。字发生器的发展趋势是提高数据速率，加大数据存储深度。

图形发生器主要用于数字集成电路、电路板及数字系统的功能测试。它的特点是通道多，最多达 1008 个；工作速率不高，一般不超过 50 MHz；图形存储深度一般大于 2K。图形发生器在数字 IC 测试仪、VLSI 测试系统、电路板在线功能测试仪中得到广泛应用。

生产独立使用的图形发生器的公司不多，但水平比较高。HP 公司的 HP16500A 的图形发生器，工作速率 50 Mb/s、有 204 个通道。接口技术公司的 RS-670，速率为 40 MHz，有 64 个通道。Doulch、TEK 等公司把图形发生器作为逻辑分析仪的选择件，便于组成数字分析系统。TEK 的 DAS9200，其图形发生的通道数多达 1008 个，工作速率 50 MHz，存储深度达 8 K。图形发生器的发展方向是，继续增加通道数和数据存储深度，提高工作速率，并与逻辑分析仪结合组成数字分析系统，以适应 VLSI 和 ASIC 电路发展的测试要求。

数据发生器是为适应 LSI、VLSI 和 ASIC 交流参数测试而出现的高档数字信号发生器产品。其特点是具有多个时钟通道，时钟的延迟和宽度以及数据通道延迟都能通过编程进行精确的定时调节，有助于极限交流参数的测量。HP 公司 1982 年推出的 HP8180A，HP8181A 数据发生器及扩展器，工作速率 50 MHz，通道数可达 256 个，能输出 10 相时钟，定时分辨力 100 ps，幅度分辨力 10 mV，与 HP 8182 数据分析仪一起组成的 HP81800S，数字电路测试系统，特别适用于数字 IC、电路板和数字系统的性能质量评价。1986 年推出 HP8175A 提供 24 通道 50 MHz 的并行数据发生器，2 通道 100 MHz 串行数据发生器，2 通道任意波形发生器。该仪器把数字和模拟两个测试领域很好地结合起来，可使 A/D、D/A 转换器的测试以及同时含有模拟和数字两种器件的混合 IC 或电路的测试变得更加容易。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

除 HP 公司之外，较少见到其它公司有类似的数据发生器产品，80 年代末期，这种仪器没有新的发展。

总之，数字信号发生器是数字测试领域中的信号源，是数字 IC 电路板和数字系统的设计开发、生产测试和故障维修不可缺少的测试工具。和逻辑分析仪一样，数字信号发生器具有广阔的发展前途。

（五）微机故障诊断仪

微机故障诊断仪是一种专门用于诊断维修微处理器系统故障的仪器。它能像仿真器一样，通过被测系统 CPU 插座向被测系统注入激励信号，同时也能通过 CPU 插座或总线插槽或仪器本身的测试探头读回运行的结果和信息，经过特定算法来判断被测系统的故障所在。因此它既具有开发系统仿真器那样的主动控制能力，又具有特征分析仪一样的简便易行的特点，用于微处理器系统的现场维修，可收到事半功倍的效果。

国外生产微机故障诊断仪器，是从 70 年代末开始的，典型产品有 Fluke 公司的 9000 系列和 9010 系列，这两个系列产品，都能通过配接不同的接口盒，检测 50 种以上使用 8 至 32 位 CPU 芯片的微机系统。

80 年代中期以来，机电部 41 所生产的 AV1691、AV1692、AV1693 特征激励器，可与 AV 3621 或其它特征分析仪一起组成完整的特征分析系统，分别适合 MC6800、Z80、8085 微机系统的故障检测；AV 3622 微机故障诊断仪则把激励器和特征分析仪做在一起，增加了 6502、8088 微机系统的检测能力，成为微机故障故障诊断低价产品；1988 年推出的 AV 3629 型 PC 机故障诊断仪，是专门用于诊断 IBMPC/XT 及其兼容机（包括长城 0520）故障的仪器，在检测速度和检测能力方面，达到或超过了一般在线功能测试仪的水平。

微机故障诊断仪的发展障碍关键是专用 IC 测试图形的产生，如果在这方面有所突破的话，这类仪器将会有更大发展。

（六）开发系统

开发系统或称微处理器开发设备，是开发、检验和调试微处理器系统的专用设备，它与通用微计算机系统的主要区别在于：一是它具有适合开发其它微处理器系统的软件资源（编译、汇编与反汇编、连接、调试等）和硬件资源（仿真器、触发跟踪分析器等）。开发系统可以把软件资源和硬件资源“租借”给待开发的产品，在待开发产品的硬件完成以前就能进行软件调试，来验证软件工作的正确性，也能利用仿真器模拟待开发产品的硬件功能，被仿真模拟的硬件可以是部分的，也可以是全部的。待开发产品在运行中调试，在调试中逐步完善，最后完全脱离开发系统而正常地独立运行。

开发系统可分为单用户、多用户、专用三种。70 年代后期，Intel 公司最先推出的在线仿真器 ICE-80 就是专用开发系统产品。随着微处理器迅速发展，开发系统发展速度也相当惊人，到 80 年代中期，几家著名的大仪器公司都生产出高水平的开发系统，例如 HP 公司的 HP 64000 开发系统，可支持四个用户，带有逻辑分析选择模块；TEK 公司的 8540、8560 开发系统，可分别支持四个和六个用户，控制主机可选择 IBM PC 计算机；Philips 公司的 PM 4422，可以通过增加低成本的终端使用户数扩展到六个。这些开发系统都支持市场上出现的绝大多数微处理器类型，并且

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

随着微处理器市场的演变，各公司都能不断提供支持新型微处理器的仿真器及其相应软件，从8位、16位微处理器直到现在的32位微处理器。

开发系统的发展特点主要是适应迅速变化的微处理器市场，其次是降低价格。为了降低价格，运行在 IBM PC 机上的个人仪器仿真器，成为引人瞩目的发展方向。国内从80年代初研制开发系统，一开始就注重开发个人仪器式的仿真器，取得了很好的效果。到80年代中期，北京三环计算机技术研究所生产的 MDS-55 和机电部 46 所的 MICEII、MICEIII 等都达到了相当高的水平，能支持8位、16位甚至32位微处理器及单片机系统的开发。另外，国内在单片机专用开发系统方面也取得了重要成就，如复旦大学科教仪器厂的 FD-DSG-51、启东计算机厂的 DVCC-51、DVCC-96-I、航天部 502 所的 ECD-51 等，都在国内单片机的推广应用中做出了贡献。微处理器的应用日新月异，开发系统的发展前程似锦。

国内外数据域仪器代表性产品的性能对比，列表如下。

表 28-1 国内、外数据域仪器代表性产品主要性能指标对比

类别	指标	国外代表性产品指标		国内代表性产品指标	
逻辑分析仪	状态分析最大时钟	HP1630D TEK1240	50MHz	EE4511	20MHz
	定时分析采样间隔		10ns		50ns
	建立时间		<12ns		<25ns
	保持时间		<0ns		<0ns
	最小毛刺识别宽度		6ns		
	最大通道数		72		24
	最大存储深度		1K		256
特征分析仪	最大时钟频率	HP5005B	25MHz	AV 3621	25MHz
	建立时间		<10ns		<12ns
	保持时间		<0ns		<0ns
母线系统分析仪	准备时间	HP59401A	<750ns	QH6540	<750ns
	接收时间		<750ns		<750ns
	DAV 驱动高		<700ns		<700ns
	DAV 驱动低		<700ns		<700ns
	ATN 驱动低		<1μs		1μs
	数据改变		>500ns		500ns
数字信号发生器	内部时钟频率	HP8175A	50MHz	/	/
	时钟或数据延迟		20～40ns		
	时钟或数据宽度		20～40ns		
	矢量存储深度		1K		
	最大通道数		两台并行48		
微机故障诊断仪	最大时钟频率	Fluke 9010A	20MHz	AV3622	6MHz
	建立时间				<40ns
	保持时间				<0ns
	微处理器支撑		8～32 位 CPU 48 种		8 位 CPU 4 种
开发系统	微处理器支撑	TEK8550	8、16 位 CPU 26 种	MDS-55	8、16 位 CPU 16 种

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第2节 分 类

数据域仪器的分类可根据需要有不同的分类方法。按功能特点可分为分析仪、发生器和综合系统三大类；按使用范围和发展状况，又可分为通用数据域仪器、数字 IC 测试仪器、PCM 通信测试仪器、印制电路板测试仪等四大类，在每一大类中又可按性能特点分成小类。

本章根据数据域仪器特点、用途及发展现状分类如下，供读者参考。

- 数据域仪器
  - 通用数据域仪器
    - 逻辑分析仪：逻辑示波器、状态分析仪、定时分析仪、逻辑分析仪、个人仪器式逻辑分析仪等。
    - 特征分析仪：特征分析仪、特征万用表等。
    - 母线系统分析仪：母线系统分析仪、智能母线系统分析仪等。
    - 数字信号发生器：字发生器、图形发生器、数据发生器等。
    - 微机故障诊断仪：特征分析系统、微机故障诊断仪、IBM PC/XT 故障诊断系统等。
    - 开发系统：仿真器、单片机开发系统、单用户开发系统、多用户开发系统、个人仪器式开发系统等。
  - 数字 IC 测试仪（详见第30章）
  - PCM 通信测试仪（详见第35章）
  - 印制电路板测试仪（详见本章附录）

第3节 通用数据域仪器技术指标汇总表

通用数据域仪器技术指标是按参数指标和功能指标两大类进行汇总的，如表 28-2，其中参数指标是必测的，而有些功能指标虽然不需要测试，但是在产品鉴定、出厂、检验时必须仔细检查。

数据域仪器的功能指标多而且繁杂，这是数据域仪器的一大特点。由于数据域仪器是正在发展中的新的仪器门类，无论是参数指标还是功能指标都随着新产品的涌现而不断增加。根据目前掌握的资料，只能在汇总表中列出最基本的指标。具体到某个产品，有些指标不一定是必须执行的，要根据该产品的标准要求而定。

第4节 技术指标及测试方法

- 本节所列指标定义及测试方法参考了下列标准及资料：

IEC776（83）《逻辑分析仪性能的表示》

SJ249·1-84《可程控测量仪器的一种接口系统》

GB《逻辑分析仪通用技术条件》（讨论稿）

GB《逻辑分析仪通用测试方法》（讨论稿）

JJG（电子）03005-88《AV 3621 型特征分析仪试行检定规程》。

HP5005A 特征万用表操作与维修手册。

HP59401A 母线系统分析仪操作与维修手册。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 28-2　通用数据域仪器技术指标汇总表

序号	技术指标	逻辑分析仪	特征分析仪	母线系统分析仪	数字信号发生器	微机故障诊断仪	开发系统仿真器
	参数指标						
1	输入阻抗	●	●			●	
2	逻辑门限	●	●			●	
3	最大输入电压	●	●			●	
4	最大时钟速率	●	●			●	
5	最小时钟宽度	●	●			●	
6	建立时间	●	●			●	
7	保持时间	●	●			●	
8	通道时差	●			●		
9	最小脉冲持续时间	●					
10	采样间隔	●					
11	最小毛刺识别宽度	●					
12	灵敏度	●					
13	错误检出精度		●				
14	准备时间			●			
15	接收时间			●			
16	DAV 驱动高			●			
17	DAV 驱动低			●			
18	ATN 驱动低			●			
19	数据改变			●			
20	内部时钟频率	●			●		
21	时钟延迟				●		
22	数据延迟				●		
23	时钟宽度				●		
24	数据宽度				●		
25	高电平				●		
26	低电平				●		
27	转换时间				●		
28	晃动				●		
29	预冲				●		
30	过冲				●		
	功能指标						
31	时钟限定	●					
32	锁定方式	●					
33	锁定方式最小脉宽	●					
34	延迟触发	●					
35	序列触发	●					
36	毛刺触发	●					
37	毛刺滤波	●					

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表 28-2

序号	技术指标	逻辑分析仪	特征分析仪	母线系统分析仪	数字信号发生器	微机故障诊断仪	开发系统仿真器
38	触发限定	●					
39	同步方式	●					
40	异步方式	●					
41	反汇编	●					
42	触发事件	●					
43	字识别	●					
44	无关态	●					
45	真触发	●					
46	假触发	●					
47	预触发	●					
48	后触发	●					
49	毛刺	●					
50	分辨力	●					
51	存储深度	●					
52	定时图	●					
53	状态表	●					
54	映像图	●					
55	比较方式	●					
56	特征		●			●	
57	正常方式		●			●	
58	限定方式		●			●	
59	不稳特征		●			●	
60	总线特征					●	
61	源方挂钩接口功能			●			
62	受方挂钩接口功能			●			
63	讲者接口功能			●			
64	听者接口功能			●			
65	服务请求接口功能			●			
66	远地/本地接口功能			●			
67	并行查询接口功能			●			
68	器件清除接口功能			●			
69	器件触发功能			●			
70	控者接口功能			●			
71	矢量存储器				●		
72	归零数据				●		
73	不归零数据				●		
74	微处理器支撑						●
75	汇编						●
76	宏汇编						●
77	编辑						●
78	伪指令						●
79	连接						●
80	仿真						●

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

HP8180A 数据发生器操作与编程手册。

TEK1240/1241 逻辑分析仪维修手册。

- 被测仪器及测试设备均应在各自产品标准中规定的预热时间后进行测试。

（一）通用数据域仪器的参数指标及测试方法

1. 输入阻抗 R&C

input impedance

在分析仪输入端测得的直流电阻值和并联电容值。

测试方法：

I. 输入电阻的测试

（1）测试方框图，见图 28-1。

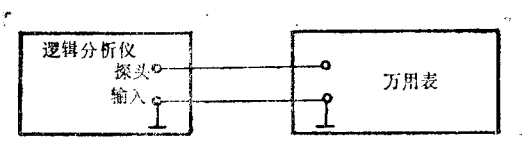


图 28-1

（2）测试步骤

在逻辑分析仪探头盒的各个通道输入端——测出电阻值。

II. 输入电容的测试

（1）测试方框图，见图 28-2。

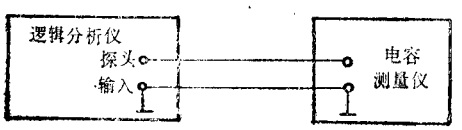


图 28-2

（2）测试步骤

在逻辑分析仪探头盒各个通道输入端——测出电容值。

2. 逻辑门限

logical threshold error

实际输入比较电压与所预置的门限电压之差。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 28-3。

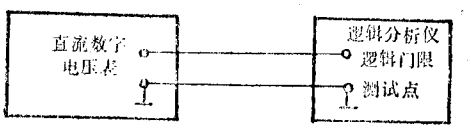


图 28-3

（2）测试说明和要求

① 对输入探头与主机不能分离的仪器，必要时可打开机箱，在门限电压测试点上测试。

② 测得数值有可能需要按探头分压比换算成实际输入比较电压。

③ 当有多种门限值时，应分别测试。

（3）测试方法

适当设置分析仪，在数字电压表上读取电压值。门限误差由下式计算：

$$\frac{V_0 - V}{V} \times 100\% \qquad (28\text{-}1)$$

式中 V_0——门限电压额定值；

V——门限电压实测值。

3. 最大输入电压

maximum input voltage

不降低仪器性能的最大允许输入电压。

4. 最大时钟速率

maximum clock rate

获取数据的最大速率。通常指外部时钟，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

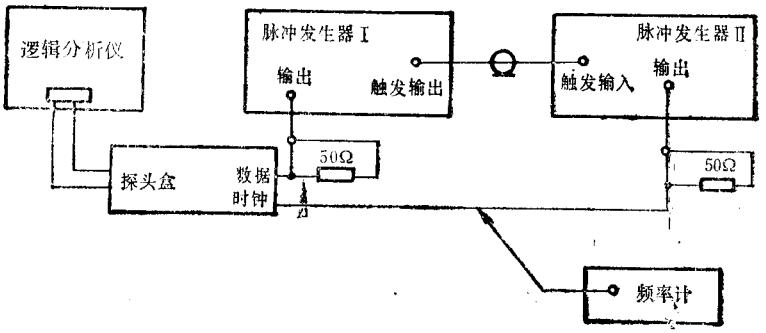


图 28-4

用 Hz 表示。

测试方法一(逻辑分析仪):

(1) 测试方框图,见图 28-4。

(2) 测试说明及要求

① 测试过程中,应保证数据建立时间和保持时间满足产品标准规定的技术要求。

② 必要时可用示波器监视时钟和数据的波形及时间关系。

(3) 测试步骤

适当设置分析仪,调节脉冲发生器,输出适当幅度的方波信号,并使时钟信号相对于数据信号的延迟适当。增加或减小脉冲发生器的输出频率,直到分析仪刚刚能正确可靠地获取数据,此时在频率计上读取频率值,即为最大时钟速率。

测试方法二(特征分析仪):

(1) 测试方框图,见图 28-5。

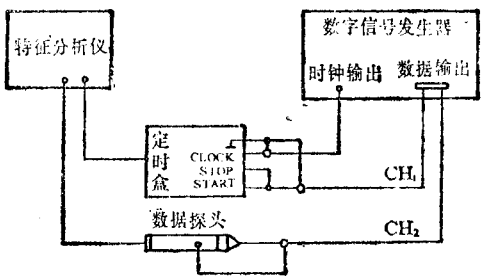


图 28-5

(2) 测试说明及要求

① 测试过程中,应保证数据建立时间和保持时间满足产品标准规定的技术要求。

② 必要时可用示波器监视时钟和数据的波形及时间关系。

(3) 测试步骤

特征分析仪置"正常"方式,"开始"为⊤,"停止"为⊥"时钟"为⊥,逻辑门限适当。设置数字信号发生器,"循环"输出方式,使输出如图 28-6 所示波形,特征分析仪应能正确可靠地显示"0001",慢慢增加数字信号发生器的时钟频率,直至特征分析仪刚刚不能可靠地显示"0001",这时的时钟频率即为特征分析仪的最大时钟速率。

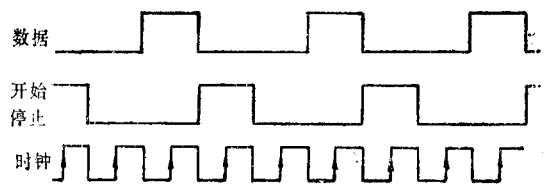


图 28-6

5. 最小时钟宽度

minimum clock width

能够满足分析仪正确可靠地获取数据的最窄时钟脉冲宽度,可以是正脉冲,也可以是负脉冲。

测试方法一(逻辑分析仪):

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

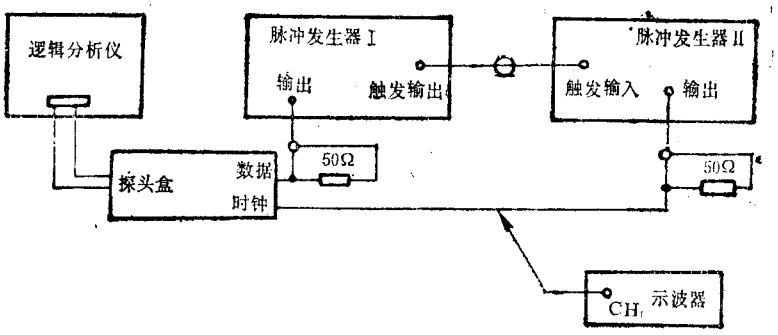


图 28-7

(1) 测试方框图，见图 28-7。

(2) 测试说明和要求

① 测试过程中应保证数据的建立时间和保持时间满足产品标准规定的技术要求。

② 读取时钟宽度值时，应在等于分析仪所预置的门限电平的幅度处读取。

(3) 测试步骤

适当设置分析仪，调节脉冲发生器的输出，使分析仪正确可靠地获取数据。减小时钟信号宽度，直到分析仪不能正确获取数据，然后增加时钟信号宽度，使分析仪刚刚能正确可靠地获取数据，读取时钟脉冲宽度值，即为最小时钟宽度。

测试方法二(特征分析仪):

(1) 测试方框图，同图 28-5。

(2) 测试说明和要求

① 测试过程中应保证数据的建立时间和保持时间满足产品标准规定的技术要求。

② 读取时钟宽度值时，应在等于分析仪所预置的门限电平的幅度处读取。

(3) 测试步骤

特征分析仪置“正常”方式，“开始”为↑，“停止”为↓、“时钟”为↓，逻辑门限适当。设置数字信号发生器、输出方式为“循环”，使输出如图 28-6 所示波形，特征分析仪应能正确可靠地显示“0001”，再慢慢减小时钟脉宽，直至特征分析仪刚刚不能可靠地显示“0001”，此时的时钟脉宽即为最小时钟宽度。

6. 建立时间 t_s

set-up time

在采样时钟有效沿到来之前，数据必须提前出现并稳定下来的时间，以保证数据被正确可靠地获取。

注：建立时间可能有负值。

测试方法一(逻辑分析仪):

(1) 测试方框图，同图 28-4。

(2) 测试说明和要求

① 测试过程中应维持保持时间满足产品标准规定的技术要求。

② 按图 28-8 所示的四种情况分别测试。

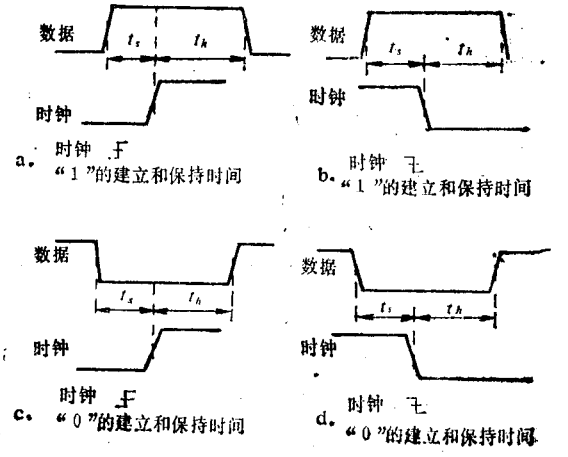


图 28-8

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 测试步骤

适当设置分析仪，调节脉冲发生器输出适当幅度的方波，并获得如图 28-8 所示的信号时间关系波形图，使分析仪能正确可靠地获取数据。调节脉冲发生器，减小延迟，直到分析仪不能正确获取数据。然后增大延迟，使分析仪刚刚能正确可靠地获取数据。读取延迟时间值，即为数据建立时间。

测试方法二(特征分析仪):

(1) 测试方框图，同图 28-5。

(2) 测试说明和要求

① 测试过程中应维持保持时间满足产品标准规定的技术要求。

② 按图 28-8 所示的四种情况分别测试。

(3) 测试步骤

特征分析仪置"正常"方式，"开始"为⊼，"停止"为⊻，"时钟"为⊻，逻辑门限适当。设置数字信号发生器，输出方式置"循环"，使输出如图 28-6 所示波形。减小时钟延迟，使特征分析仪不能稳定显示"0001"。然后慢慢增加时钟延迟，使分析仪刚刚能可靠地显示"0001"。用同样方法测试其它三种情况，取其最大者即为特征分析仪的建立时间 t_s。

7. 保持时间 t_h

hold time

在采样时钟有效沿到来之后，数据必须保持稳定的时间，以保证数据被正确可靠地获取。

注：保持时间可能有负值.

测试方法一(逻辑分析仪):

(1) 测试方框图，同图 28-4。

(2) 测试说明和要求

① 测试过程中应维持建立时间满足产品标准规定的技术要求。

② 按图 28-8 所示的四种情况分别测试。

(3) 测试步骤

适当设置分析仪，调节脉冲发生器，以获得图 28-8 所示的信号波形，使分析仪能正确获取数据。调节脉冲发生器，增加时钟信号对数据信号的延迟，直到分析仪不能正确获取数据。然后减小延迟，使分析仪刚刚能正确可靠地获取数据，读取时钟有效沿与数据撤消跳变沿之间的时间间隔，即为数据保持时间。

测试方法二(特征分析仪):

(1) 测试方框图，见图 28-5。

(2) 测试说明和要求

① 测试过程中应维持建立时间满足产品标准规定的技术要求。

② 按图 28-8 所示的四种情况分别测试。

(3) 测试步骤

特征分析仪置"正常"方式，"开始"为⊼，"停止"为⊻，"时钟"为⊻，逻辑门限适当。设置数字信号发生器，输出方式置"循环"，使输出如图 28-6 所示波形，增加时钟延迟，以减小 t_h 值，使特征分析仪不能稳定显示"0001"。然后，增加 t_h 值，使分析仪能可靠地显示"0001"。用同样方法测出其它三种情况下的 t_h 值，取其最大者即为特征分析仪的保持时间 t_h。

8. 通道时差

skew

指逻辑分析仪各输入通道之间的信号传输时间差。

测试方法一(逻辑分析仪):

(1) 测试方框图，同图 28-4。

(2) 测试说明和要求

① 必要时可用示波器监视时钟和数据的波形和时间关系。

② 信号的幅度可能影响通道时差。

(3) 测试步骤

适当设置逻辑分析仪，调节脉冲发生器，改变时钟对数据的延迟，使逻辑分析仪某一个通

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

道刚好能正确可靠地获取数据"1",记下此时的延迟时间值 T_1。然后增大时钟延迟，刚好使逻辑分析仪所有通道都能正确可靠地获取数据"1"，记下此时的延迟时间值 T_2。通道时差由下式计算：

$$通道时差 = T_2 - T_1 \qquad (28\text{-}2)$$

测试方法二(数字信号发生器)：

(1) 测试方框图，见图 28-9。

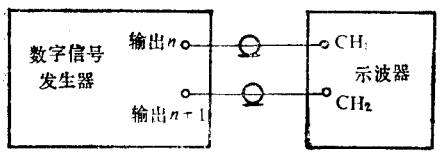


图 28-9

(2) 测试步骤

被测数字信号发生器的所有数据输出通道时间延迟都置为零，输出幅度适当，数据格式置为"0"、"1"相间，不归零，工作方式为循环。

适当设置示波器，读出两个通道数据波形上升沿之间的时间差 Δt_1。同法测试其余通道的两两时间差 Δt_2、Δt_3 ····· Δt_n，取测试结果当中的最大值，即为数字信号发生器的通道时差。

9. 最小脉冲持续时间 *MPD*

minimum pulse duration

指逻辑分析仪异步工作时，确实能够检测到的最窄脉冲。通常由下式给定。

$$MPD = T_0 + k \qquad (28\text{-}3)$$

式中 MPD——最小脉冲持续时间；

T_0——内部时基周期；

k——某一规定的常数。

10. 采样间隔

sample interval

指逻辑分析仪异步工作时，内部时基产生连续两个采样点之间的间隔，或称时基周期。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 28-10。

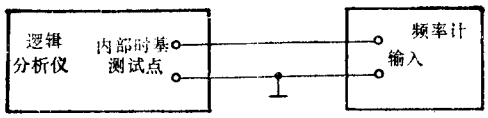


图 28-10

(2) 测试说明和要求

① 对没有内部时基输出端子的逻辑分析仪，必要时可打开机箱在内部时基测试点处测试。

② 当采样间隔有两种以上值时，应分别进行测试。

(3) 测试步骤

适当设置逻辑分析仪，读取频率值，换算成周期，即为采样间隔。采样间隔误差由下式计算：

$$采样间隔误差 = \frac{T_0 - T}{T} \times 100\% \qquad (28\text{-}4)$$

式中 T_0——采样间隔(时基周期)额定值；

T——采样间隔(时基周期)实测值。

11. 最小毛刺识别宽度

minimum glitch recognition width

逻辑分析仪能够检测出的毛刺最窄宽度。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 28-11。

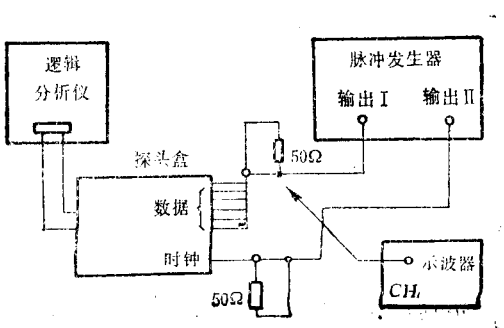


图 28-11

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试步骤

使用合适的信号发生器，以获得与图28-12所示的信号。当减小脉冲持续时间直到受试逻辑分析仪的技术要求时，证明毛刺能够被可靠地获取。该脉冲应该满足脉冲幅度的要求。

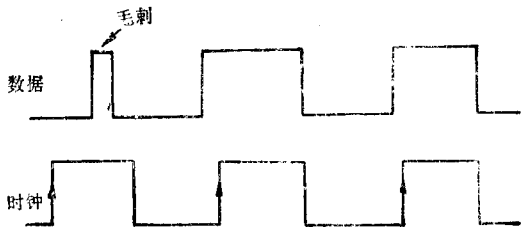


图 28-12

12. 灵敏度

sensitivity

指逻辑分析仪在规定信号持续时间内，对一个可检测信号所要求电压振幅的最小值。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 28-4。

(2) 测试说明和要求

① 测试过程中应维持建立时间和保持时间满足产品标准规定的技术要求。

② 测试过程中，可能有必要改变逻辑分析仪的输入门限电平。

③ 信号的频率可能影响灵敏度。

(3) 测试步骤

适当设置逻辑分析仪，调节脉冲发生器，使逻辑分析仪正确可靠地获取数据。减小或增大脉冲脉发生器的输出信号幅度(峰-峰值)，直到逻辑分析仪刚刚能正确可靠地获取数据，此时读取信号幅度值，即为灵敏度。

13. 错误检出精度

fault detection accuracy

指特征分析仪检出错误数据流的概率，可用下式表达：

$$P = \frac{2^{m-n} - 1}{2^m - 1} \qquad (28\text{-}5)$$

式中 P——错误数据流检出概率；

m——被检数据流长度；

n——特征分析仪内部线性移位寄存器的级数。

14. 准备时间

ready time

指母线系统分析仪处于听方式，为接收数据做准备所需的时间。具体讲，就是从 DAV(数据有效)信号变为“假态”开始，到 NRFD(未准备好接收数据)信号变为“假态”的时间。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 28-13。

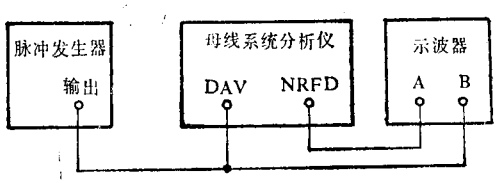


图 28-13

(2) 测试步骤

适当设置母线系统分析仪，调节脉冲发生输出，使示波器上显示如图 28-14 所示波形，读取 t_d 值即为准备时间。

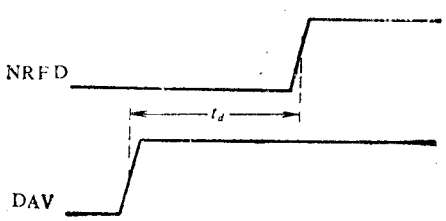


图 28-14 准备时间波形图

15. 接收时间

accept time

指母线系统分析仪处于听方式，接收数据所花的时间。具体讲，就是从 DAV (数据有

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

效)信号变为"真态"开始,到 NDAC(未收到数据)信号变为"假态"的时间。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 28-15。

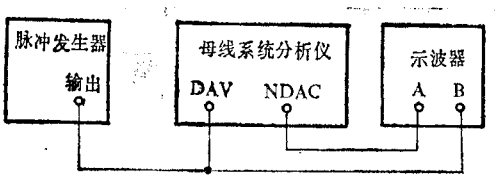


图　28-15

(2) 测试步骤

适当设置母线系统分析仪，调节脉冲发生器,使示波器上显示如图 28-16 所示波形,读取时间差 t_d,即为接收时间。

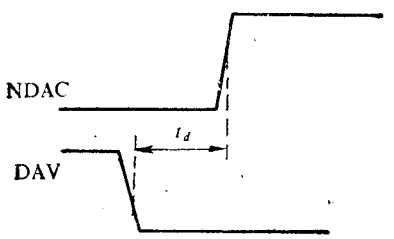


图　28-16

16. DAV 驱动高

DAV driven high

指母线系统分析仪处于讲方式,对 NDAC(未收到数据)信号的响应时间。具体讲，就是从全体听者均已收到数据拜特，NDAC 信号变为"假态",到讲者(受试分析仪)做出反应,把 DAV 线置为"假态",以此向听众说明 DIO 线上的数据不再有效的时间。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 28-17。

(2) 测试步骤

适当设置母线系统分析仪，调节脉冲发生器,使示波器上显示如图 28-18 所示波形,读取时间差值 t_d，即为 DAV 驱动高时间。

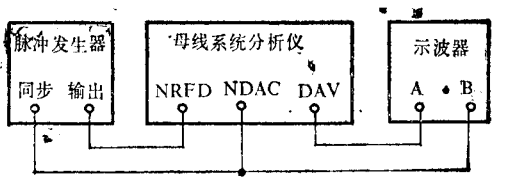


图　28-17

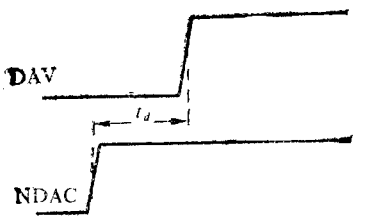


图　28-18

17. DAV 驱动低

DAV driven low

指母线系统分析仪处于讲方式，对 NRFD(未准备好接收数据)信号的响应时间。具体讲，就是从全体听者均已准备好接收数据，NRFD 信号变为"假态"，到讲者(受试分析仪)做出反应，置 DAV 线为"真态"，以表明 DIO 线上载有稳定而有效数据的时间。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 28-19。

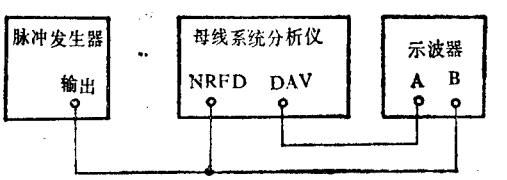


图　28-19

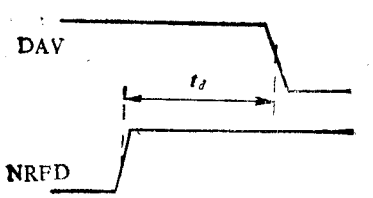


图　28-20

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试步骤

适当设置母线系统分析仪。调节脉冲发生器。使示波器上显示如图 28-20 所示波形，读取时间差值 t_d，即为 DAV 驱动低时间。

18. ATN 驱动低

ATN driven low

指母线系统分析仪处于控者方式，发出数据的延迟时间。具体讲，就是从控者(受试分析仪)发出 ATN (注意)信号为"真态"开始，到 DAV (数据有效)变为"真态"的时间。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 28-21。

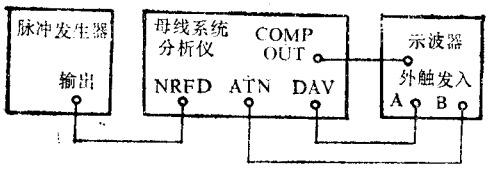


图 28-21

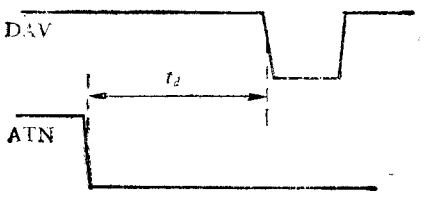


图 28-22

(2) 测试步骤

适当设置母线系统分析仪，使示波器上显示如图 28-22 所示波形。读取时间差值 t_d，即为 ATN 驱动低时间。

19. 数据改变

data changed

指母线系统分析仪处于控者方式，发出的 DAV (数据有效)对数据的延迟时间。具体讲，就是从数据跳变开始，到 DAV 信号变为"真态"的时间。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 28-23。

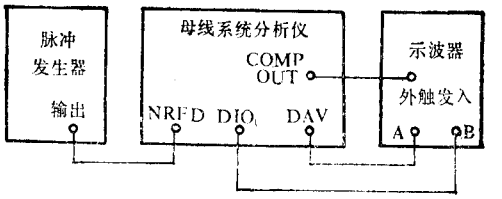


图 28-23

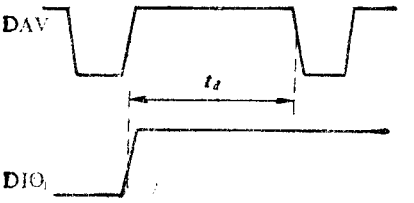


图 28-24

(2) 测试步骤

适当设置母线系统分析仪，使示波器上显示如图 28-24 所示波形。读取时间差值 t_d，即为数据改变时间。

20. 内部时钟频率 f

internal clock frequency

指逻辑分析仪在异步工作时，内部取样时钟的频率，或指数字信号发生器内控制数据输出的时钟频率。

测试方法一(逻辑分析仪)：

同指标 10 "采样间隔"。

$$f = 1/\text{采样间隔}$$

测试方法二(数字信号发生器)：

(1) 测试方框图，见图 28-25。

(2) 测试说明和要求

① 有时钟或选通输出通道的数字信号发

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

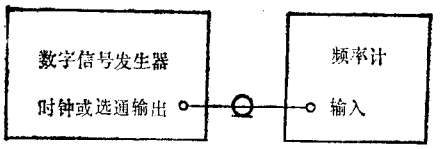


图　28-25

生器，可直接在时钟或选通输出通道上测试，无时钟或选通输出通道的发生器，必要时可打开机箱，在相应的测试点上测试。

② 有多种频率值时，应分别进行测试。

(3) 测试步骤

适当设置数字信号发生器，在频率计上读取频率值。内部时钟频率误差由下式计算：

$$频率误差=\frac{f_0-f}{f}\times 100\% \qquad (28\text{-}6)$$

式中　f_0——内部时钟频率额定值；

f——内部时钟频率实测值。

21. 时钟延迟

clock delay

指数据发生器输出的时钟信号对选通信号的延迟时间。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 28-26。

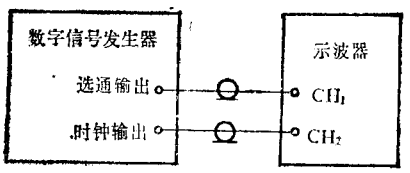


图　28-26

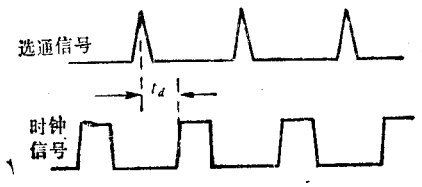


图　28-27

(2) 测试说明和要求

数据发生器有多个时钟通道和延迟可变时，应分别进行测试。

(3) 测试步骤

适当设置数据发生器，使示波器上显示如图 28-27 所示波形。读取延迟时间值 t_d，即为时钟延迟时间。时钟延迟误差由下式计算：

$$延迟误差=\frac{t_{d0}-t_d}{t_d}\times 100\% \qquad (28\text{-}7)$$

式中　t_{d0}——时钟延迟额定值；

t_d——时钟延迟实测值。

22. 数据延迟

data delay

指数据发生器输出的数据信号对选通信号的延迟时间。

测试方法：同指标 21 “时钟延迟”。

23. 时钟宽度

clock width

指数据发生器输出时钟信号正向脉冲宽度值。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 28-28。

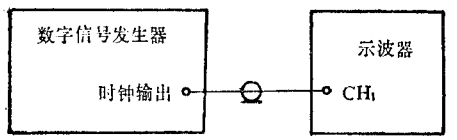


图　28-28

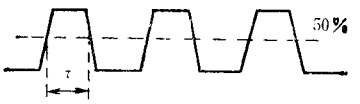


图　28-29

(2) 测试说明和要求

① 测量时钟宽度时，应在脉冲幅度的50%处进行。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 数据发生器有多个时钟通道和宽度可变时，应分别进行测试。

(3) 测试步骤

适当设置数据发生器，使示波器上显示如图 28-29 所示波形。读取脉冲宽度值 τ，即为时钟宽度。时钟宽度误差由下式计算：

$$宽度误差=\frac{\tau_0-\tau}{\tau}\times 100\% \quad (28\text{-}8)$$

式中 τ_0——时钟宽度额定值；

τ——时钟宽度实测值。

24. 数据宽度

data width

指数据发生器输出数据信号正向脉冲幅度 50% 处的宽度值。

25. 高电平 V_H

high level

指数字信号发生器输出的时钟或数据数号高电平电压值。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 28-30。

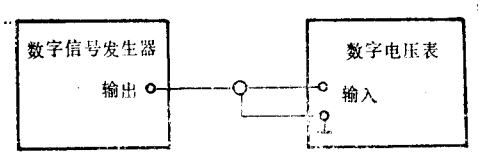


图 28-30

(2) 测试说明和要求

① 有不同输出阻抗时，应分别测试。

② 具有多个通道和输出高电平可变时，应分别测试。

(3) 测试步骤

适当设置数字信号发生器，使所有数据通道全部置“1”，以获得恒定的高电平值，在数字电压表上读取该值。高电平误差由下式计算：

$$高电平误差=\frac{V_{H0}-V_H}{V_H}\times 100\% \quad (28\text{-}9)$$

式中 V_{H0}——高电平额定值；

V_H——高电平实测值。

26. 低电平 V_L

low level

指数字信号发生器输出的时钟或数据信号低电平电压值。

27. 转换时间

transition time

时钟或数据信号由低电平变为高电平或由高电平变为低电平，10%～90% 幅度之间的跳变沿时间。

测试方法：同脉冲参数 t_r 或 t_f。

28. 晃动

jitter

指数据发生器输出的时钟或数据信号相对选通信号的时间不确定性。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 28-31。

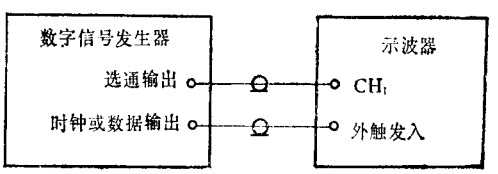


图 28-31

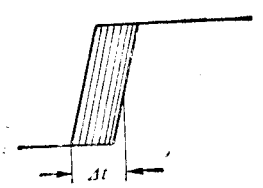


图 28-32

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试说明和要求

① 有必要使用数字化示波器，置于无限长余辉方式，测试时间一般为5分钟。

② 有多个时钟或数据输出通道时，应分别进行测试。

(3) 测试步骤

适当设置数据发生器，在示波器上显示波形如图28-32所示，用光标读取跳变沿积累的宽度，即为时钟或数据的晃动。

29. 预冲

preshoot

定义及测试方法同第20章"脉冲信号发生器"指标9"预冲"。

30. 过冲

overshoot

定义及测试方法同第20章"脉冲信号发生器"指标10"过冲"。

(二) 通用数据域仪器的功能指标及测试方法和名词术语

31. 时钟限定

clock qualifier

若某些外部限制信号在时钟瞬变时为真才出现数据获取的一种方法。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图28-33。

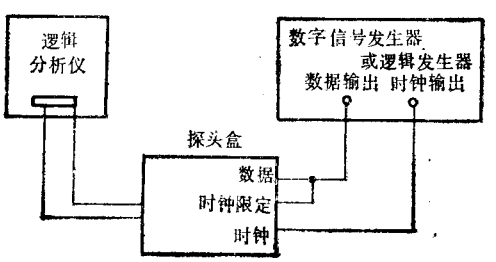


图 28-33

(2) 测试说明和要求

① 测试过程中应维持建立时间和保持时间满足产品标准规定的技术要求。

② 必要时可用示波器监视数据(限定)和时钟的波形和时间关系。

(3) 测试步骤

被测逻辑分析仪置同步方式，触发字置全"1"，时钟置↓，时钟限定置"无关"。

调节数字信号发生器或逻辑信号发生器输出如图28-34所示波形。

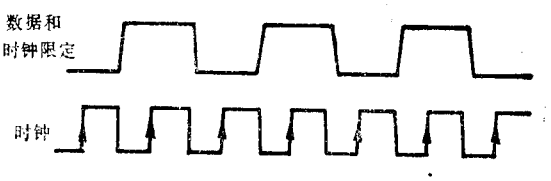


图 28-34

使被测逻辑分析仪获取数据，应完成触发识别，检查逻辑分析仪显示应为交替出现全"1"、全"0"。

将被测逻辑分析仪时钟限定改置"1"。

使被测逻辑分析仪获取数据，应完成触发识别，检查逻辑分析仪显示应为全"1"。

将被测逻辑分析仪触发字改置全"0"，时钟限定改置"0"。使被测逻辑分析仪获取数据，应完成触发识别，检查逻辑分析仪，显示应为全"0"。

32. 锁定方式

latch mode

是一种方式，在此方式下，输入的窄脉冲能够被获取。说明该逻辑分析仪能够检测出毛刺。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图28-35。

(2) 测试步骤

被测逻辑分析仪置同步方式，触发字置

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

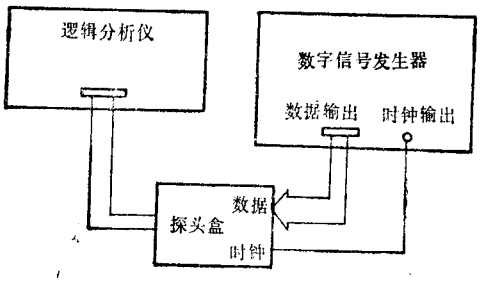


图 28-35

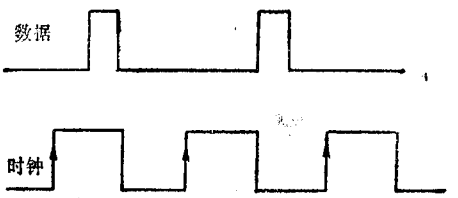


图 28-36

"0"，时钟置f。调节数字信号发生器的输出波形如图 28-36 所示。逻辑分析仪应完成触发识别，检查存储器应为全"0"。

改变逻辑分析仪的取样方式为锁定方式，逻辑分析仪完成触发识别，检查存储器应为交替出现全"0"、全"1"。

33. 锁定方式时的最小脉宽

minimum width in latch mode

在锁定方式下，逻辑分析仪能够检测输入脉冲的最窄宽度。

测试方法：同指标 11"最小毛刺识别宽度"。

34. 延迟触发

delayed triggering

逻辑分析仪在找到触发字后，再经过若干个指定的相同特征字才产生的触发，称为事件延迟；而当逻辑分析仪找到触发字后，再经过若干个指定的时钟数才产生的触发，称为时钟延迟。二者统称为延迟触发。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 28-37。

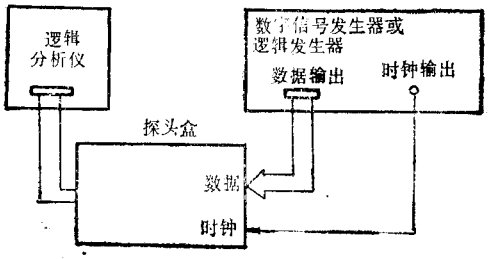


图 28-37

（2）测试说明和要求

测试过程中应维持建立时间和保持时间满足产品标准规定的技术要求。

（3）测试步骤

调节数字信号发生器或逻辑发生器输出数据流，在数据流中设置若干个相同的特征字和唯一的触发字，输出置循环方式。

逻辑分析仪置同步方式，延迟事件数置M，时钟延迟数置 N。

启动逻辑分析仪获取数据，完成触发识别。在触发字位置应显示数据流中触发字后面第$M+1$个特征字的后面第N个字。

35. 序列触发

sequential triggering

指触发事件取决于一序列事件。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 28-37。

（2）测试说明和要求

测试过程中应维持建立时间和保持时间满足产品标准规定的技术要求。

（3）测试步骤

逻辑分析仪置同步方式，依次设置一序列触发字。调整数字信号发生器或逻辑发生器输出的数据流中包含逻辑分析仪所设置的一序列

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

触发字，输出方式为循环方式。

启动逻辑分析仪获取数据，完成触发识别，检查逻辑分析仪在触发字位置应显示所设置的一序列触发字中最后一个字。

36. 毛刺触发

glitch trigger

毛刺出现在一个或多个操作者规定的通道上而产生的触发事件。毛刺触发可以单独使用或与字识别组合使用。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 28-38。

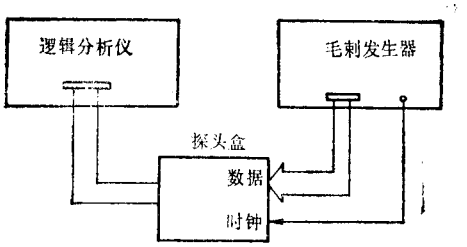


图 28-38

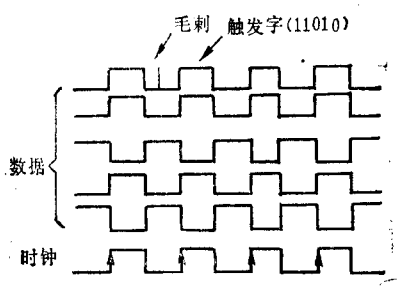


图 28-39

(2) 测试说明和要求

毛刺发生器可以用数字信号发生器来代替。

(3) 测试步骤

调节毛刺发生器输出如图 28-39 所示波形，逻辑分析仪置同步方式，触发字设在毛刺信号之后的第一个字。

启动逻辑分析仪获取数据，应完成触发识别，检查逻辑分析仪在触发字位置应显示毛刺后的第一个数据字。

37. 毛刺滤波

glitch filter

一种避免毛刺触发的方法。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 28-38。

(2) 测试步骤

逻辑分析仪置异步方式，毛刺滤波器置作用态，调整数字信号发生器或脉冲发生器输出脉冲宽度等于毛刺滤波时间。启动逻辑分析仪获取数据，仪器应不能触发识别。毛刺滤波器各档级应分别测试。

38. 触发限定

trigger qualifier

使用带有附加条件的一个或多个输入通道。必须与字识别同时满足该条件才可能触发。这个信号可以被记录和/或显示。

39. 同步方式

synchronous mode

按外部采样信号的相位相关来获取输入逻辑信号的方式。

注：通常称外部采样信号为外时钟。

40. 异步方式

asynchronous mode

输入逻辑信号的捕获不取决于受试系统，而由逻辑分析仪内部时钟进行采样的方式。

41 反汇编

disassembler

把机器语言代码转换为汇编语言代码。

42. 触发事件

trigger event

控制或确定捕获逻辑信号的一个事件或者

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

一序列事件。触发事件可以从内部电路产生(从信号模型内得到)或从外部触发源得到。

43. 字识别

word recognition

识别预置字(数据模型)与由逻辑分析仪所获得的逻辑信号中有无预置字的一致性。如果该字被识别出来,就可以产生一个触发事件。

44 无关态

don't care

是一种状态，该状态是：为了字识别而不考虑某一给定通道上的输入信号。

45 真触发

true trigger

在规定字条件下引起字识别触发。

46 假触发

false trigger

在规定字之外的任意字条件下引起的字识别触发。

注：假触发有时叫做"非"。这是真触发的反面。

47. 预触发

pre-trigger

当触发事件出现时，停止捕捉数据的一种触发方式。

注：触发可以是序列的。

48. 后触发

post-trigger

当触发事件出现时，开始捕捉数据的一种触发方式。

49. 毛刺

glitch

一种脉宽窄于时钟周期的脉冲。

50. 分辨力

resolution

最小可检测的信号跳变之间的间隔。

注：对单通道,分辨力为 ±1 个采样间隔；对两个或多个通道,由于不一致性而增加了不确定度。

51. 存储深度

memory depth

可顺序地储存字的最大数目。

52. 定时图

timing diagram

以伪波形的形式表达所记录数据的状态和定时关系。

53. 状态表

stata table

在每个连续采样下，表示输入数据通道逻辑状态的一种表格形式。

注：该逻辑可以用二进制、八进制、十六进制、十进制、ASCII 码或助记符表示。

54. 映像图

map

表示逻辑状态的一种矩阵格式，以致能用唯一模型来识别用户系统的动作。

注：一个映像图是以分离的点来描绘每个存入的逻辑字,点的垂直位置与字的高半个字节成比例，而水平位置与字的低半个字节成比例。

55. 比较方式

compare mode

是一种方式。在此方式下将新捕获而存入存储器的信号与参考存储器的信号进行比较，以显示或检测两信号之差别。

56. 特征

signature

是一种代码。由适当的硬件或软件按特定

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

算法将一串数据流压缩成四位非标准十六进制码。然后加以显示。通常采用的显示字符是：0～9、A、C、F、H、P、U。

57. 正常方式

NORM mode

是一种方式。在此方式下。进入特征分析仪的数据流，除了受时钟信号、开始信号和停止信号的控制外，没有其它符加条件。

58. 限定方式

QAUL mode

是一种方式。在此方式下，进入特征分析仪的数据流，除了受时钟信号、开始信号和停止信号的控制外，还受符加限定条件的控制。

59. 不稳特征

unstable signature

在相邻两个时间窗口内，特征分析仪测得的两个特征不等。后一次所显示的特征称不稳特征。不稳特征可以由识别器指示。

60. 总线特征

bus signature

是一种方式，在此方式下，微机故障诊断仪可直接测试和显示被测 μP 系统地址总线、数据总线的特征值，而无需借助数据探头一点一点地测试。

61 源方挂钩接口功能（SH）

source handshake

SH 功能赋予器件这样的能力：保证多线消息传递。SH 功能与一个或多个受方挂钩接口功能（其中每一个分别包含在不同的器件之内）之间的连锁挂钩序列，保证了每一多线消息的异步传递。SH 功能控制着一个多线消息拜特传送的开始和结束。SH 功能使用 DAV、RFD 和 DAC 三个消息来实行每一个消息拜特的传递。

62. 受方挂钩接口功能（AH）

accepter handshake

AH 功能能赋予器件这样的能力：保证正确地接收远地多线消息。在一个 SH 功能与一个或多个 AH 功能（其中每一个分别包含在不同的器件中）之间的连锁挂钩序列，保证每一个消息拜特的异步传递。一个 AH 功能可以延迟一个多线消息传递的开始或结束，一直到准备好继续传递过程为止。AH 功能利用 DAV、RFD 及 DAC 消息来实现每一个消息拜特的传递。

63. 讲者接口功能（T）

talker

T 功能赋予器件这样的能力：在接口上把器件数据（包括在串行查询序列期间的状态数据），发送到其它一些器件去。只有当 T 功能受命（被寻址）讲话时，这种能力才存在。

64. 听者接口功能（L）

listener

L 功能赋予器件这样的能力：在接口上接收来自其它器件的器件数据（包括状态数据）。只有当 L 功能已受命听取时，此种能力才存在。

65. 服务请求接口功能（SR）

service request

SR 功能赋予器件这样的能力：以异步方式请求从接口的负责控者得到服务。

此功能还对于串行查询中出现的复合状态拜特的 SRQ 消息内容进行同步，以使得一旦当负责控者收到的 SRQ 消息为真时，SRQ 消息即能从接口上撤掉。

66. 远地/本地接口功能（RL）

remote locat

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

RL 功能赋予器件这样的能力：在输入信息的两种来源之间作出选择。此功能向器件指出应使用来自面板控钮的(本地)消息，或者是应使用来自接口的(远地)信息。

67. 并行查询接口功能（PP）

parallel poll

PP 功能赋予器件这样的能力：在事先未受命讲话的情况下能对负责控者提供一个 PPR 消息。

在并行查询时，DIO_1 至 DIO_8 信号线被用来传递器件状态比特。在进行并行查询之前，必须由控者或由一个本地消息规定一条 DIO 线给一个器件进行组态，以便它用一个 PPR 消息来作出响应，然而通过共用诸 DIO 线则可以应付任何数目的器件。

68. 器件清除接口功能（DC）

device clear

DC 功能赋予器件这样的能力：个别地或者作为一群器件的一部分而被清除（恢复到初始状态），这一群器件可以是在一个系统内受到寻址的一切器件或是其一个子集。

69. 器件触发功能（DT）

device trigger

DT 功能赋予器件这样的能力：使器件的基本操作个别地或作为一群器件的一部分而被启动。这群器件可以是在一个系统内的一切被寻址的器件或其一个子集。

70. 控者接口功能（C）

controller

C 功能赋予器件这样的能力：通过接口向其它器件发送地址、通令和专令。C 功能还提供这样的可能性：领导并行查询以确定哪一些器件要求服务。

只有当 C 功能在接口上发送 ATN 消息时，C 功能才能施行其各种能力。

71. 矢量存储器

arrow memory

指数字信号发生器存储数字信号图型的存储器。

72. 归零数据

RZ data

RZ 数据的比特宽度比时钟周期(一般为选通信号周期)短，并且是可变的。因此，在连续为真的比特之间允许有跳变发生，另外，RZ 通道一般能够相对参考时钟分别地或一起被延迟。

73. 不归零数据

NRZ data

NRZ 数据的比特宽度等于时钟周期。与 NRZ 数据有关的定时信息，仅仅是数据为真或为假的持续期等于多少个时钟周期。

74. 微处理器支撑

microprocessor support

为分析测试某种微处理器系统而配备的硬件装置和/或软件包。更换硬件装置和/或软件包能够适应不同的微处理器系统。

75. 汇编

assembler

是一种过程，该过程把用助记符、符号地址、标号等符号书写的汇编语言源程序翻译成机器能够执行的机器语言——目标程序。

76. 宏汇编

是一种过程，该过程能把使用宏指令、宏调用等的汇编语言程序翻译成目标程序。

77. 编辑

editor

是利用编辑程序输入和修改源程序，准备

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

命令文件、数据文件，建立文件等的一序列过程。

78. 伪指令

pseudo

在用汇编语言程序对汇编语言源程序进行汇编时，还有一些指令（如指定程序或数据存放的起始地址，为一些连续存放的数据确定地址，为中间运算结果保留一部分存储空间等）仅起控制作用，而不产生目标程序，称为伪指令。

79. 连接

link

把几个目标文件组合成一个可装入存储器并可以执行的装入文件的过程。

80. 仿真

emulation

是开发系统部分地或全部地模拟样机的硬件和软件，而控制、分析和调试样机的过程。

* * *

本章技术指标及测试方法中所用的主要测试仪器，汇总列表如下。

主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
脉冲发生器	HP8013B、HP8007B 等	JJG263-81
数字信号发生器	HP8180A、HP8175A 等	
数字式频率计	HP5370B、E312、FC-1000 等	SJ1458-79 《通用计数器测试方法》
示波器	CS-2110、SQ27 HP54100A 等	JJG262-81
直流数字电压表	7150、2650 等	SJ2315-83 《直流数字电压表通用测试方法》

第 5 节　数据域仪器按门类的量值传递表

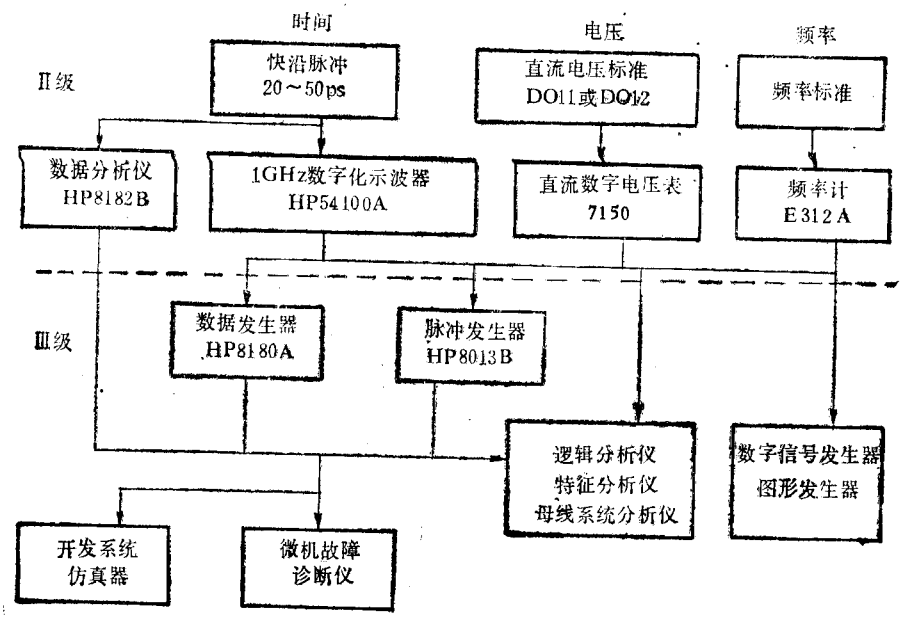


图　28-40

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

附录：印制电路板测试仪

印制电路板测试仪或称印制电路板自动测试设备(或系统)是目前国外自动测试设备（ATE）中占比例最大、发展也最快的自动测试装置之一。这和近年来大规模和超大规模集成电路，尤其是微处理器的迅速发展和广泛应用分不开。为了提高电子产品的质量和可靠性，除对所用的器件进行测试之外，对于电路板也需进行测试，因此印制电路板自动测试设备是电子产品生产线中不可缺少的设备之一。

印制电路板测试设备的种类很多，从功能来分类主要有裸电路板测试设备、已装电路板（loaded PC board）测试设备和现场维修测试仪三大类。其中，已装板测试设备又可分为在线（in-circuit）测试设备、功能（functional）测试设备和在线/功能组合式测试设备。

（一）裸电路板测试设备

随着微电子技术的发展，印制板的复杂程度也越来越高，印制板已从单面、双面板发展到十几层至二十几层板，线宽和间距已缩小至0.005英寸，金属化孔间距缩小到0.05英寸。对于这种裸电

附表1 国内外主要裸电路板测试设备厂家

厂家	型号	最大测试点容量	测试电压	通路电阻	绝缘电阻	针床类型
DIT-MCO（美）	9400	46 080	10V～300V	10Ω～10kΩ	10kΩ～300MΩ	通用
Testronics（美）	101	49 152	0～10V(LV) 5～600V(MV) 20～1500V(HV)	2Ω～100kΩ	10kΩ～10MΩ 10kΩ～600MΩ 10kΩ～1500MΩ	通用
Circuit Line（意）	PCA 4096	64 000	10V 250V 500V			通用
Tecnost（意）	WPV68	50 400	12V(L) 50～200V(H)	100Ω	1MΩ(L) 5MΩ(H)	通用
Mania（德）	MPP3828	28 672	40V 200V	5Ω	10MΩ	通用
ATG（德）	A1000	131 072	10～250V	10Ω～250Ω	10kΩ～10MΩ	通用
Trace（美）	TA-9	64 000	200mV～250V	3Ω	250MΩ	通用
Everett charles（美）	50-311	24 576	10V	1kΩ～100kΩ	10kΩ～100kΩ	专用
北京大华无线电仪器厂	DH804	4096	10V	10Ω～200kΩ	10kΩ～100kΩ	专用
山东乳山无线电厂	RPT-C	4096	12V	600Ω		专用

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

路板，人工已无法测试，必须采用自动测试设备。

裸电路板测试设备一般由微型计算机、测试电路和测试针床组成；测试项目主要有短路测试、开路测试和高压绝缘测试。

测试针床是裸电路板测试设备中的关键部件。早期的这种设备一般采用专用夹具，目前已向网格式通用针床发展。弹簧触针又是测试针床中的关键零件，一般需有 100 克的测量力，50 万次以上的寿命，触头的形状可根据被测板的类型选择三棱形、皇冠形、锯齿形等形状。

国外生产裸电路板测试设备的厂家很多(参看附表 1)，目前这些测试设备都向网格式通用测试针床、高测试点容量、高测试速度、高压绝缘测试及 CAD/CAM 联网能力方向发展。

国内对裸电路板测试设备的研制起步较早。在 70 年代中期，中国科学院计算所和长沙国防科技大学曾研制过裸电路板测试设备，但都未形成生产能力。1985 年北京大华无线电仪器厂与华北计算技术研究所联合研制成 DH804 印制板逻辑通断测试系统，并通过部级技术鉴定。该机采用专用针床方式，测试电压 5V，最大测试点数为 4096。目前有山东乳山无线电厂生产 RPT 系列印制板线路自动检验机，技术指标与 DH804 机相同。

(二) 已装电路板测试设备

已装电路板测试设备主要有在线测试设备、功能测试设备和在线/功能组合式测试设备。

电路板的功能测试通常采用边缘测试法，即把电路板看作一个完整的整体，给电路板加供电电源，从电路板的边缘触点进行测试，其功能故障以及动态故障都传播到边缘触点，但有些功能测试设备也借助于针床，便于诊断故障位置。

电路板的在线测试与功能测试的区别是：在线测试不把电路板看成一个逻辑整体，而是看成由印制导线连接起来的一个个元器件，在线测试就是测量电路板内印制导线连线的正确性和每个元器件的装配及功能的正确性，根据电路板内元器件的类型，在线测试又分为模拟在线测试和数字在线测试。前者是在被测板不加电的情况下，借助于运算放大器对板内的模拟元件进行隔离和测试，它可以测量其装配的正确性和元件的参数值；后者是被测板加电的情况下，用具有过驱动能力的信号源将测试图形强制加到被测数字集成电路的输入端，根据输出端的响应，判断集成电路逻辑功能的正确性。

在线测试系统由于采用针床测试夹具，可以用在线隔离技术来准确测量单个元器件，这样除可精确定位有故障的器件外，同时使测试程序的编制比功能测试简单得多。从 70 年代至今，在线测试技术得到极大的发展。多年来在线测试系统的销售量一直超过功能测试系统，但近年随着 LSI、VLSI 越来越复杂以及表面安装器件 (SMD)、专用集成电路、定制电路的应用越来越广泛，功能测试系统又得到不断发展。

节点阻抗式在线测试系统是一种低成本的在线测试系统。这种系统不具备数字电路在线测试能力，但可以检测出电路板上的短路/开路，元器件的错装、漏装、方向颠倒，元件数值不合格等故障。该类系统的价格约为大型在线测试系统的 1/3～1/7，但故障覆盖率仍可高达 90% 左右。这类测试系统以德国、日本生产厂家最多，如德国 KTS 公司的 KTS-2002 在线测试系统，日本 OKANO 公司的 OIT-510Z 型、TESCON 公司的 POINT-30GX 型、FUSSA 公司的 COBOL 3301 型、TAKAYA 公司的 APT-3200 型、ATEC 公司的 AT-500 型、KIKUSOI 公司的 APC-2000 型等。近年东南亚、台湾、香港等地也开始研制节点阻抗式在线测试系统，如台湾德律

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

科技公司的 TR-518 型，香港保成仪器公司的 LTS-0020 型等。

附表 2 列出国内外节点阻抗式在线测试系统主要性能指标对比。

附表 2 国内外节点阻抗式在线测试系统主要性能指标对比

型号	国别/公司	测试点	测量范围容量	测试速度	自动程序生成能力(APG)	功能测试能力	调整测试能力	显示文种
OIT-510Z	日本 OKANO	max 768	R 1Ω～40MΩ C 10pF～4mF L 10μH～400H 二极管 0.1～40V	短路/开路 约3秒/320针 元件 10～40毫秒/步	有	无	无	英文
POINT-30GX	日本 TESCON	max 2048	R 1Ω～40MΩ C 10pF～25MF L 10μH～400H V0.01～9.99V	短路/开路 2毫秒/针 元件 6～55毫秒/步	有	无	无	英文
COBOL-3301	日本 FUSSA	max 1024	R0.1Ω～10MΩ C 1pF～10mF L 1μH～100H V 0.1V～40V	短路 3秒/320针 元件 15毫秒/步	有	无	无	英文
KTS-2002	西德 KTS	max 960	R 0.8Ω～37MΩ C 3pF～5000μF L 25nH～900H 0～14V	400针 30～40秒	有	有	有	英文
DH3181	北京大华电脑仪器公司	max 960	R 1Ω～37MΩ C 10pF～5000μF L 0.1μH～900H 0～14V	10～30毫秒/步	有	有	有	中文

国外生产已装电路板测试系统的主要厂商有：美国的 Gen Rad、Factron、Teradyne、HP 等公司，意大利有 Tecnost、Spea 等，英国有 Maconi、Wayne Kerr 等。

美国 HP 公司在 3060 系列，3065 系列电路板在线测试系统的基础上，最近又推出了 3070 型电路板测试系统。该系统可对采用表面安装技术的 ASK 电路进行在线测试，共有 2592 个混合测试通道，每个通道可提供 20 MHz 的钟速，系统采用“safeguard In-circuit”分析软件包，可自动对封装类型、电压尖峰、电源耗散等因素进行分析，决定驱动电流的大小和冷却时间。IPG 自动程序产生软件可以自动生成测试程序，大大减轻了测试程序编制的工作量。

美国 Gen Rad 公司在 2272、2275 型在线测试系统的基础上推出 2276 型在线/功能测试系统。该系统具有 1152 个混合测试点，测试速度为 5 MHz，每点具有 8K × 4 位的存储器，对每个测试针具有 CRC 能力，便于对库中没有的数字电路进行测试，用 BUSBUST 软件可以自动进行总线测试。

美国 Factron 公司近年推出 700 系列电路板测试系统，其中 720 型为功能测试系统，730 型为在线测试系统，750 型为在线/功能测试系统。700 系列的 CAPITAL 软件能编制出一个全面的具有保护特性的在线测试程序，并且为“针床”接线提供方案。ANALYST 软件用于采集、分析故障信息及定位之间的关系，然后给出明确的报错信息。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

美国 Teradyne 公司 1988 年将 Zehntel 公司合并后可提供从低档到高档的电路板测试系统，如 Zehntel 1800 型是一种低成本电路板在线测试系统，Zehntel 8000 型是一种组合式测试系统。Zehntel 产品的特点是每种系统采用双处理机结构，这样提高了总的测试速度；另一特点是采用非多路的测试通道，即每一测试点都可独立进行数字或模拟测试，这样使编程和针床制作十分容易。Teradyne 公司近年推出 L210VLSI 电路板测试系统，该系统最大测试点数为 3024，在线测试速度可达 10 MHz，系统采用 MULTIMODE 测试技术，将在线、分区功能和高性能测试

附表 3 国外已装电路板测试设备主要厂家

厂 家	型 号	功能测试	在线测试	组合式测试
ATE system (美)	Beave Major	●		
Factron (美)	720	●		
	730		●	
	750			●
Fluke (美)	3200A		●	
	3050B	●		
Gen Rad (美)	2276			●
HP (美)	3065		●	
	3070			●
Marconi (英)	80X		●	
	Midata 500 系列		●	
Spea (意)	AFL70		●	
	INTEST 100A	●		
Tecnost (意)	TEC 1000		●	
	TEC 2000		●	
	TEC 8000			●
Teradyne (美)	L200		●	
	L210 VLSI			●
	Zehntel 1800		●	
	Zehntel 8000			●
Testsystems (美)	LBA		●	
	LBT		●	
Wayne Kerr (英)	A8000		●	
	WK 930			●

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

三者结合于一个测试系统，可以对带微处理器的超大规模集成电路板进行综合测试，用自动总线周期仿真对总线结构的电路板进行功能测试，用算法图形处理器进行存储器测试，用“电子刀”和探头进行功能诊断。

国内对已装电路板测试设备的研制是从1980年开始的，目前还属于节点阻抗式在线测试设备，1985年电子部第十设计院与上海无线电四厂合作研制成印制板（PCA）自动检测系统，通过技术鉴定，但未形成生产能力。1986年北京大华无线电仪器厂开始研制电路板在线测试系统，1988年完成DH 3181在线测试系统的技术鉴定，1990年完成设计定型，目前已开始批量生产。

附表3是国外已装电路板测试设备的主要厂家。

三、电路板维修测试仪

电路板维修测试仪主要用于对含数字电路、模拟电路的电路板进行维修测试，找出有故障的器件以修复电路板。该类测试仪一般不采用针床结构，而采用“夹子”式的方式。

国外典型产品有美国 Factron 公司 635 型，意大利 Tecnost 公司4000型，意大利 Spea 公司的 disty 型，新加坡 Proteg 公司的 BW4040EX 型等。

美国 Factron 公司635型是3000型（1978年）、3000 A型（1978年）、3500型（1981年）的基础上于1986年推出的夹子式在线测试仪。该机由 IBM PC/AT 微机控制，有40个数字测试通道，8个保护点，每个测试通道有1K × 4位 RAM，能以4 MHz 的图形速率工作，选择模拟测试板后可测量电压、周期、延时等参数。

意大利 Tecnost 公司的 MIT 4000 电路板维修测试系统采用在线夹子方式，具有64条数字通道，24条 Ecl 通道，2个可编程的波形发生器，2个模拟测试通道，MIT 4000 可对电路板上的 SSI、MSI、LSI、VLSI、门阵列、PLA、RAM、ROM、EPROM、运算放大器、电压比较器、光电耦合器、D/A、A/D 器件进行测试，系统内每个通道有一个 1K × 4 位的通道存储器，测试时钟为4MHz，驱动电流可达600 mA，并可对每一条管脚进行特征分析。

意大利 Spea 公司的 Ditsy 数字电路测试系统也是采用在线夹子式，但只对数字电路板进行维修测试，测试对象包括 MSI、LSI、μP、存储器、VLSI 等，系统最大测试速率为10 MHz，最大有64个测试通道，每个测试通道有 4K × 3 位存储器。

新加坡的 Proteg 公司的 BW 4040 EX 型电路板维修测试仪，最大测试通道为40，该仪器具有夹子式在线测试功能，VI 特性测试，连线测试功能。可对74系列和4000系列的数字电路进行在线测试，对模拟电路用 VI 特性法进行测试。

国内对电路板维修测试仪研制单位较少，1985年华北计算技术研究所曾研制成在线夹子式数字电路维修测试仪，但未形成批量生产。北京大华无线电仪器厂1991年引进三种样机，进行电路板维修测试仪的研制。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第29章 半导体分立器件测试仪器

第1节 综 述

1948 年美国贝尔实验室的科学家肖克莱（Shockley）等人发明了点接触型晶体管，由于这种晶体管的电特性及可靠性都不如电子管及其它器件，而没有得到实际应用。1951 年肖克莱发明了 PN 结型晶体管后，使得晶体管的性能得到根本的改善，美国以其雄厚的技术基础形成了晶体管的生产能力。日本紧随其后于 1957 年生产出了晶体管。50 年代末期及 60 年代初期世界上其它许多国家也相继具有了自己的晶体管生产能力。

60 年代是晶体管在众多领域取代电子管的时代，许多半导体器件厂应运而生。伴随着生产和使用的发展，迫切需要对半导体器件的参数定义和测试方法做出统一规定。1963 年国际电工委员会颁发了 IEC147-2 "双极型晶体管测试方法"等一系列半导体器件的测试标准。美国军方于 1964 年颁发了 MIL-STD-750A "美国军用标准半导体器件试验方法"等测试标准。世界各国或者等效采用这些国际通用的标准，或者制定本国的测试标准。我国的半导体分立器件测试标准基本上等效采用上述的 IEC 及 MIL 标准。到 70 年代中期，在国际上形成了一个品种繁多、规格较为齐全，测试范围较宽的半导体分立器件测试仪器的系列，用来对各种二极管、双极型晶体管、场效应晶体管、闸流晶体管及光电子器件等的各种参数进行测试。在 70 年代中期到 80 年代末期，半导体分立器件测试仪器出现了两种发展趋势：一是采用计算机技术的智能化测试仪器及测试系统得到迅速发展，其测试参数以通用的直流参数为主，测试精度高、速度快、并可配置机械手来完成自动分类；二是高频率、大功率、低噪声、高电压及特殊用途的半导体分立器件测试仪器得到了发展，这是因为集成电路迅速发展到今天，它们仍然没能取代这些领域的半导体分立器件。随着电子技术的发展，半导体分立器件还在不断涌现出新的品种。

半导体分立器件测试仪器是伴随着新的器件、新的标准、新的技术不断发展而完善的。

（一）国外发展概况

美国是目前生产半导体分立器件及其测试仪器品种最多、水平最高的国家。美国旧金山南面的"硅谷"地区是生产半导体器件(包括半导体分立器件及集成电路)测试仪器的主要基地。那里的 Tektronix 公司生产的 576 型和 577 型晶体管图示仪、201 A 型半导体分立器件测试系统，AOT 公司生产的 OT-2000 型半导体分立器件测试系统、ILT-200 型电感负载测试仪以及 HP 公司生产的 4145B 型半导体参数分析仪、8970 B 型噪声系数测试仪等都具有较高的水平。美国的其它地区如华盛顿 Eaton 公司生产的 IMPACT-3 型半导体分立器件测试系统，洛杉矶 Morthouic 公司生产的晶体管 SOA 测试仪等，也是目前有代表性的产品。美国近年来生产的半导体分立器件测试仪器中采用计算机控制的智能化仪器和系统较多，并随着器件参数测试项目的增多更新换代较快，一般三至五年即推出一代新的产品。智能化测试系统的另一个特点是采用模块化

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

和插件组合式的结构，每增加一组插件即可相应增加一种或多种参数测试功能。

日本是世界第二大半导体器件生产国，日本九州的硅岛被称为“世界第二硅谷”。在半导体分立器件测试仪器方面，国洋電機工業株式会社、桑野電機工業株式会社、安藤電氣株式会社和武田理研工業株式会社等公司都推出了品种繁多的测试仪器，其优势在于以中小型仪器为主，技术指标往往不是太高，品种也比较齐全。这种状况是与日本半导体器件厂以中小企业为主分不开的，价格昂贵的自动测试系统一般中小企业是没有能力也不需要购买的，而中小型参数测试仪器和自动分选仪器能够占有市场也相应地刺激这类测试仪器的发展。国洋電機工業株式会社是日本代表性的厂家，生产各种晶体管图示仪、晶体管直流参数测试仪、晶体管脉冲 h_{FE} 测试仪、晶体管噪声系数测试仪、晶体管热阻测试仪和二极管参数测试仪等，近年来也开始生产智能化的测试系统，如 SM-1010E 半导体自动测试装置可以对双极型晶体管、二极管、光电器件及闸流晶体管等半导体分立器件的主要直流参数进行自动测试、分类和打印。

世界另一半导体工业比较发达的地区是被称为“欧洲硅谷”的苏格兰。法国、德国和意大利半导体器件的生产也得到了较快的发展。与美国和日本不同，西欧各国并不注重于发展分立半导体器件测试仪器。除了德国 RS 公司生产的 T_YM 型半导体 Y 参数测试仪，英国 Marconi 公司的半导体直流参数测试仪等少量测试仪器外，近年很少看到有新品种的测试仪器推出。这些国家所需要的测试仪器多向美国和日本购买，有些比较简单的测试仪器，有能力的公司往往自己设计制造。

苏联和东欧一些国家也有自己的一些半导体分立器件测试仪器生产。苏联在 60 年代开始生产一些晶体管直流参数测试仪器，到 70 年代中期已经能够生产晶体管参数自动测试系统。波兰是东欧具有代表性的国家，除了能够生产测试仪器，在测试理论的研究和测试技术方面都有较高的水平，波兰学者发表的有关半导体器件测试的文章及书籍，还经常被翻译成俄文在苏联发行。

东南亚各国目前还没有自己的半导体分立器件测试仪器生产。近年来美国的一些测试仪器公司在新加坡、马来西亚和泰国陆续设立了分公司，代为销售及维修美国生产的测试仪器，这也使得这个地区的半导体分立器件的测试能力及测试水平得到相应的提高。

（二）国内发展概况

我国的半导体器件生产厂遍布全国各地，以北京、上海和无锡地区较为集中。国内使用的测试仪器，除少量由日本和美国引进外，以国产测试仪器为主。具有代表性的测试仪器生产厂是上海无线电仪器厂和北京无线电仪器厂。这两个厂生产的半导体分立器件测试仪器的总和，不论在品种种类还是在数量上，目前均达到了这类国产仪器的 70% 以上。上海无线电仪器厂生产的高频晶体管测试仪器有超高频小功率晶体管功率增益（K_P）噪声系数（N_F）测试仪、高频晶体管 K_P、N_F 参数测试仪、高频小功率晶体管 K_P、N_F、AGC 特性测试仪、超高频小功率晶体管 f_T 参数测试仪和高频小功率晶体管 f_T 参数测试仪；场效应晶体管测试仪器有场效应晶体管跨导参数仪、场效应晶体管电容参数测试仪和微波场效应管 K_P、N_F 参数测试仪；此外还有晶体管测试仪及低频晶体管噪声系数测试仪等。北京无线电仪器厂生产的通用参数测试仪器有二极管参数测试仪、晶体三极管参数测试仪、闸流晶体管参数测试仪、场效应管参数测试仪、双基极单结晶体管测试仪和晶体管图示仪等；交流参数测试仪器有晶体管噪声系数测试仪、晶体管 f_T 测试仪和晶体管开关参数测试仪；直流参数测试仪器有晶体管反向截止电流测试仪、晶体管反向击穿电压测

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

试仪和晶体管 h_{FE} 测试仪;极限参数测试仪器有晶体管瞬态热阻测试仪、晶体管正偏二次击穿测试仪、晶体管维持电压测试仪和晶体管直流、脉冲及开关安全工作区测试仪。另一个生产这类测试仪器的主要厂家是北京无线电仪器四厂。主要产品有晶体二极管参数测试仪、二极管正向特性测试仪、二极管反向特性测试仪、晶闸管综合参数测试仪、可控硅参数测试仪、可控硅综合参数测试仪和晶闸管门极限参数测试仪等。国内生产晶体管特性图示仪的厂家较多,除了北京无线电仪器厂外,还有北京电子显示仪器厂、光华无线电仪器厂、邵阳无线电仪器厂、上海无线电二十一厂和宿迁无线电厂等。

我国生产的半导体分立器件测试仪器与日本相类似,以中小型仪器为主,一般测试精度不太高,价格低廉,但更新换代较慢(一种仪器往往可以生产十几年以上)。近年来由于国际交往的增多,通过我国工程技术人员的努力,在某些测试仪器的设计和制造水平方面正在向国外先进水平靠近,基本上能满足国内市场的需要。

目前我国还没有研制和生产半导体分立器件的智能化测试系统。主要原因,一是设计和制造困难,且投资较大;二是有能力购买这类大型测试系统的企业大都已引进了国外的测试系统。

(三) 半导体分立器件测试仪器简介

通常把半导体分立器件分为以下七大类:

(1) 整流二极管

(2) 小功率信号二极管、稳压及基准电压二极管(可具体分为小功率信号二极管、稳压及基准电压二极管、电流调整二极管和双基极二极管)

(3) 微波二极管(可具体分为隧道二极管、变容二极管、阶跃恢复二极管、体效应二极管、PIN二极管、雪崩二极管、混频和检波二极管)

(4) 光电子器件(可具体分为发光器件、光敏器件和光耦合器)

(5) 闸流晶体管

(6) 双极型晶体管

(7) 场效应晶体管

根据目前的统计,按照有关标准所规定的上述各类器件需要测试的参数总和为785个。各式各样的半导体分立器件测试仪器所能测试的器件种类和参数各不相同,有的只能对某类器件的某一项参数进行测试,有的则可对某几类器件的多项参数进行综合性测试。尽管半导体分立器件测试仪器的品种繁多,但可以根据其测试的参数项目分为以下四个大类:

(1) 直流参数测试仪器

这一类测试仪器所测试的参数,主要是各种半导体分立器件的反向击穿电压、反向截止电流、正向电压、饱和电压和直流放大系数(如晶体管的直流电流放大系数 h_{FE} 及场效应晶体管的跨导 g_m)等。这些参数都是半导体器件最基本的参数,也是器件出厂必须检测的参数及器件分类的主要依据。

测试这些直流参数的方法分为直流法和脉冲法两种。直流法是最常用的方法,按照规定的条件给器件施加各种直流电压及直流电流进行参数检测。这种方法的优点是测试电路简单,测试精度高;缺点是对被测器件施加的测试功率较大时,由于器件参数的热漂移而造成较大的测试误差,所以直流法通常适用于中小功率器件的参数测试。测试大功率器件参数时多采用脉冲法,虽然测

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

试时对被测器件施加了较大的功率，由于作用时间(通常小于 300 μs) 极短，不会引起器件参数明显的热漂移，可以大大提高测试精度。当然，采用脉冲法的仪器也同样适用于对中小功率器件的参数测试。脉冲法最初多采用取样保持电路配以数字电压表显示，近年来由于计算机技术的发展，用计算机控制的智能化脉冲法测试仪器以其测试速度快、精度高的优点，越来越广泛地占领着世界市场。

北京无线电仪器四厂生产的 SCRC-2 型可控硅参数测试仪是采用直流法测试可控硅整流元件晶闸管正向和反向伏安特性的仪器，既可以用电表读测，又可由示波器观察伏安特性曲线，仪器还具有反向过流保护电路。该仪器测试正向转折电压及反向峰值电压的范围为 0～500～1000～2000(V) (准确度为 ±2.5%)；测试正向平均漏电流和反向平均漏电流的范围为 0～0.1～0.2～0.5～1～2～5～10～20～50 (mA) (准确度为 ±2.5%)。这类仪器可以用于器件生产厂作为出厂产品的检测和分类，由于价格低廉，在器件使用部门和维修部门也得到广泛的应用，是一种销售数量较大的通用测试仪器。

北京无线电仪器厂近年生产的 BJ 2902 型双极型晶体管 h_{21E}、V_{BEsat}、V_{CEsat} 计量标准仪是一种利用脉冲法进行测试的、用微型计算机控制的测试仪器，I_c 电流由 2μA ～ 1000 mA (分辨率为 5 nA)，准确度为 ±0.5% I_x (给定值) ±0.1% I_M (满度值)；I_B 电流为 200 nA ～ 200 mA (分辨率为 1 nA)，准确度为 ±0.5% I_x±0.1% I_M；V_{CE} 电压为 ±1～±14.9 (V) (分辨率为 5 mV)，准确度为 ±0.5% V_x±0.05% V_M。这类仪器虽然售价较高，但由于测试范围宽和精度较高，经常用于器件质量检测和分类。

采用计算机控制的半导体分立器件脉冲法智能化测试系统近年来得到迅速的发展，不论是测试的种类还是精度，美国目前都处于世界领先的地位。例如美国 Tektronix 公司生产的 201 A 型测试系统，是一种综合性的半导体分立器件测试系统，能对二极管、双极型晶体管、闸流晶体管、固态开关、场效应晶体管、稳压器、光电耦合器及数码管等各种器件进行参数测试，主机可配置 8 个测试终端。该测试系统与美国 Robotronics 公司生产的 8505 型通用分选机联接使用时，可以对各类器件进行批量测试和筛选，测试速度可以高达每小时检测 (7000～14000) 个器件。该测试系统的测试电流为 200 pA (分辨率为 0.1 pA) 至 200 A (准确度为 ±0.5%～±1.0%)，测试电压为 2V (分辨率为 1 mV) 至 2000 V (准确度为 ±0.5%～±1.0%)。这套测试系统 (不包括配用的分选机) 售价为二十余万美元。智能化测试系统的特点是测试精度高、测试参数的种类多、测试范围宽、自动化程度高，但价格昂贵，多用于生产量大的器件生产厂的出厂检测和分类使用。

(2) 晶体管特性图示仪及其校准仪

晶体管特性图示仪是测试各种半导体分立器件直流特性曲线及参数用量最大的一种测试仪器，广泛用于器件生产厂、使用和维修部门。这种仪器不仅可以在示波管上直观显示半导体分立器件的击穿电压、正向压降、直流放大系数等主要直流参数，而且可以显示出其特性曲线，对于器件参数的选配尤为方便。晶体管特性图示仪尽管品种繁多，测试原理却是基本相同的，而测试范围和精度有所差异。北京无线电仪器厂生产的 BJ4830 型图示仪其测试电压 V_{CE} 为 0～1500 V (准确度为 ± 3%)，测试电流 I_C 为 0～20 A (准确度为 ±3%)，I_E 为 1 nA ～ 20 mA (准确度为 1 nA ～ 5 nA：±5%±1 nA；其它各档：±3%±1 nA)。美国 Tektronix 公司生产的 576 型晶体管图示仪是目前国际上水平较高的一种测试仪器，技术指标与上述国产图示仪基本相同。

为了更方便地计量和检定各种图示仪的参数指标，近年来一些图示仪校准仪也相继问世。北

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

京无线电仪器厂生产的 BJ4801 型晶体管特性图示仪校准仪可以提供校准图示仪的各种主要电压及电流(准确度可达 ±0.3%)，指标检定由于采用了阶梯归一化电路，能方便地校准阶梯电压及阶梯电流，受到了用户的欢迎。

(3) 交流参数测试仪器

对于半导体分立器件而言，所谓交流参数，系指各种器件在交流信号作用下所呈现出的各种特性参数。主要是指频率参数(如晶体管的特征频率 f_T，光敏器件的截止频率 f_C 等)，开关参数（如晶体管的延迟时间 t_d、上升时间 t_r、存储时间 t_s、下降时间 t_f，场效应晶体管的开通时间 t_{on}、关断时间 t_{off} 等)，噪声参数（如晶体管的噪声系数 F，场效应晶体管的噪声系数 F 等)，极间电容参数(如晶体管的共基极输出电容 C_{ob}，场效应晶体管的小信号短路输入电容 C_{iss} 等)，高频功率增益参数(如晶体管的高频功率增益 G_P，场效应晶体管的高频功率增益 G_{PS} 等)以及某些交流网络参数(如晶体管的交流 h 参数、y 参数及 s 参数)。

半导体分立器件的交流参数一般都由专门的测试仪器来进行检测。一般的交流参数测试仪器只能测试一两种交流参数，例如上海无线电仪器厂生产的 QC-12 型场效应晶体管电容参数测试仪用于测试输入电容 C_{GS} 和耦合电容 C_{GD}，测试范围为 0.2 pF ～ 10 pF，准确度为 ±4%±0.05 pF；有的交流参数由于需要测试的频带较宽，往往由几种仪器组成系列产品生产，如北京无线电仪器厂生产的 QG21 型～QG25 型高频小功率晶体管 f_T 测试仪所测试的 f_T 范围分别为（20～80）MHz、(60 ～ 240) MHz、(200 ～ 800) MHz、(400 ～ 1600) MHz 和 (800～3200) MHz。

上海无线电仪器厂生产的 QG-7 型超高频小功率晶体管功率增益 (K_P) 噪声系数 (N_F) 测试仪是测量超高频小功率晶体管高频功率增益参数的典型测试仪器，测试频率为 400 MHz、600 MHz 和 1000 Hz 三个点频，功率增益 K_P 的测试范围为 0～20 dB (准确度为 ±2 dB)、噪声系数 N_F 的测试范围为 0～15 dB (准确度为 ±2dB)。

晶体管是半导体分立器件中用量最多的一种有源四端网络器件，在电路设计和进行计算机辅助设计时经常需要测试某些网络参数，相应的测试仪器也应运而生。西德 RS 公司生产的 T_YM 型晶体管 Y 参数测试仪可以在 20 kHz、100 kHz、500 kHz、1.65 MHz、5.5 MHz、10.7 MHz、21.4 MHz 和 36.6 MHz 八个点频上对晶体管的 Y 参数进行测试，这些点频的选择是因为它们是在收音机、电视机及其它电子设备上最实用的频率，在这些点频上所测得的 Y 参数在实际运用中具有更高的准确性。

(4) 极限参数测试仪器

所谓极限参数系指允许使用的最大范围的参数(电流、电压和功率等)，它们对保证器件的安全使用是十分重要的。对于大功率晶体管这些参数尤为重要，通过测试几项极限参数后还可以确定大功率晶体管的安全工作区 (SOA)。对于军用大功率晶体管还需确定直流、脉冲及开关安全工作区，在器件带电感负载工作时亦应同时测试其反偏二次击穿能量 E_{SB}。

这类仪器的特点是测试功率大，而且有的测试点本身就是器件的破坏点，因此对于被测器件的散热和保护就成为一个需要重点考虑的问题。例如北京无线电仪器厂生产的 BJ 2983 型晶体管正偏二次击穿测试仪的测试功率为 0～750 W，为了提高测试精度而采用了丘越法进行测试，这样即可测试到真正的二次击穿点(也就是被测器件的烧毁点)。这种测试方法要求仪器在设计时要保证保护电路有较快的保护速度，以便在出现正偏二次击穿时迅速切断施加给被测器件的功

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

率，以防止其损坏。

（四）展望

目前国际上已形成了较为完整的半导体分立器件测试仪器系列，所以除了配套补齐一些测试仪器外，着重发展智能化参数分析仪器和测试系统。美国和日本近年来不断推出一些高精度的器件参数分析仪器，以便给出计算机辅助设计所需要的器件参数。随着半导体分立器件生产过程的更加自动化，国外几乎每年都推出一些测试精度较高、测试速度较快的智能化测试系统新品种。

随着集成电路的迅速发展，一些小功率的半导体分立器件逐步被取代，使这类测试仪器的发展相应停滞。大功率器件的测试仪器，这几年仍在较迅速地发展。宇航技术和军用电子设备的发展，对大功率器件的参数要求和可靠性要求越来越高，必需测试它们的极限参数，如热阻、二次击穿、安全工作区等。这几年国内外对这类仪器都着重进行了研制，推出了不少新的品种。某些参数的测试，由于存在一些技术问题，国内外均没有商品仪器出售。例如晶体管反偏二次击穿能量 E_{SB} 的测试，至今尚未找到保护被测管在测试过程中不受损坏的有效方法。

伴随着电子工业的发展，一些新型的半导体分立器件也陆续问世。例如大功率 MOS 场效应晶体管就是近几年发展起来的一种新型器件，它具有开关速度快、输入阻抗高、不产生二次击穿等一系列优点，而在开关电源、计算机外围设备、医疗设备及通信设备中得到广泛应用。国内外该器件的品种和产量逐年上升，国外已有相应的测试仪器问世。类似的新型器件还有静电感应型晶体管（SIT）、静电感应型晶闸管（SITH）、绝缘栅双极型晶体管（IGBT）等，这些新型器件的测试仪器也必将是今后研究的课题。

国内外代表性产品的主要性能指标，列表对比如下：

国内外典型产品主要性能对比表

指标 \ 产品	日本国洋公司 SM-2013E 型热电阻仪	北京无线电仪器厂 BJ2984 型瞬态热阻仪
测试功率	0～300W	0～750W
V_{CB} 电压	0～299V	0～300V
I_E 电流	0～10A	0～5A
M 数字表	无	0～－4.00mV/℃（±3%±2 字）
ΔV_{BE} 数字表	0～999mV(±3% + 6mV + 1 字)	0～999mV（±3%±2 字）
脉宽 τ	500μs～9.99s	1ms～5000s

指标 \ 产品	日本高周波公司 MTS-20 型二次击穿仪	北京无线电仪器厂 BJ2983 型二次击穿仪
V_{CE} 电压	30～300V	0～300 V
I_E 电流	0～30A	0～5A
脉宽 τ	2～500ms	10μs～1s
保护时间	≤0.9μs	≤0.5μs

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

指标 \ 产品	日本国洋公司 TCB-12B 直流综合参数	北京无线电仪器厂 BJ2911 综合参数测试仪
h_{FE}	20～2000	20～10^3±3%
V_C	1～25V±1%-5nV	0～30V±2.5%
I_C	200μA～1A ±1%	0～100mA±2.5%
I_{CBO}	0～200nA±1%	0～5～50μA±4%
	2、20、200μA±1%	100μA～500μA～1000
	2、20mA±1%	～5000～10000μA±2.5%

指标 \ 产品	日本国洋公司 THB-2050f_T 测试仪	北京无线电仪器厂 QG25 f_T 测试仪
V_c	0～10～30V±2%	0～20～30V±1.5%
I_e	0～5～15～50mA±2%	0～3～10～30mA±2.5%
f_o	500MHz±0.1%	400MHz±3×10^{-4}
f_T	0.5～5GHz	800MHz～3200MHz±10%

指标 \ 产品	美国 TeK 公司 576 型图示仪	北京无线电仪器厂 BJ4830 型图示仪
I_C	0.1μA～2A/度 ±(2～4)%	主要技术指标同 TeK576，但微电流测试特性优于576。
I_B	1nA～2mA/度	
V_C	5mV～200V/度	
V_B	5mV～2V/度	
V_S	5mV～2V/级±(1～10)%	
I_S	5nA～200mA/级	

第2节　分　　类

通常把半导体分立器件测试仪器分为以下四大类：

1. 直流参数测试仪器；
2. 晶体管特性图示仪及其校准仪；
3. 交流参数测试仪器；
4. 极限参数测试仪器。

我国生产的各种半导体分立器件测试仪器一般均为部颁标准的 II 类测试仪器，其额定使用的环境条件及计量检定的基准环境条件如下表所示：

II 类仪器额定使用及基准环境条件

	额定使用条件	基准条件
环境温度	0～40℃	20±2℃
相对湿度	40℃,20～90%	45～75%
大气压强	86～106kPa	86～106kPa
交流供电电压	220V±10%	220V±2%
交流供电频率	50Hz±2Hz	50Hz±1%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第3节 技术指标汇总表

序 号	技术指标	直流参数	交流参数	极限参数	图示仪校准仪
1.	偏压(源、表): V_{CE}	●	●	●	●
	V_{CB}	●	●	●	●
	V_{EB}	●		●	●
	V_{DS}	●	●		●
	V_{GS}	●	●		●
	V_R	●			●
	V_{BB}	●		●	●
2.	反向(截止)电流: I_{CBO}	●			●
	I_{EBO}	●			●
	I_{CEO}	●			●
	I_{CES}	●			●
	I_{CER}	●			●
	I_{CEX}	●			●
	I_R	●			●
	I_{DSS}	●			●
	I_{FO}	●			●
3.	偏流(源、表): I_C	●	●	●	●
	I_B	●	●	●	●
	I_E	●	●	●	●
	I_F	●		●	●
	I_Z	●	●		●
	I_D	●	●		●
4.	反向击穿电压 $V_{(BR)CBO}$	●			●
	$V_{(BR)EBO}$	●			●
	$V_{(BR)CEO}$	●			●
	$V_{(BR)CES}$	●			●
	$V_{(BR)CER}$	●			●
	$V_{(BR)CEX}$	●			●
	V_{BR}	●			●
	$V_{(BR)DS}$	●			●
	$V_{(BR)GSS}$	●			●
5.	饱和压降 V_{BEsat}	●			●
	V_{CEsat}	●			●
	V_{Esat}	●			●
	正向电压 V_F	●			●
	稳定电压 V_Z	●			●
6.	工作电压 V_{BE}	●			●
7.	电流放大系数 $h_{21E}(H_{FE})$	●			●
8	夹断电压 V_p,阈电压 V_T	●			●
9.	电阻(参数) R_{BB}	●			
10.	校准电压				●
11.	集电极电压 (V/度)				●
12.	基极电压 (V/度)				●

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续　表

序　号	技术指标	直流参数	交流参数	极限参数	图示仪校准仪
13.	集电极电流（A/度）				●
14.	阶梯电压，阶梯电流				●
15.	直流电压源				●
16.	直流电流源				●
17.	阶梯电压，电流归一化				●
18.	偏差表				●
19.	晶体三极管输入阻抗		●		
20.	晶体三极管输入阻抗		●		
21.	晶体三极管输出导纳		●		
22.	晶体三极管输出导纳		●		
23.	晶体三极管电压反馈系数		●		
24.	晶体三极管电压反馈系数		●		
25.	晶体三极管交流放大系数		●		
26.	晶体三极管交流放大系数		●		
27.	音频信号源频率和幅度		●		
28.	晶体三极管 AGC 参数		●		
29.	高频信号源频率		●		
30.	高频信号源幅度		●		
31.	接收机实用灵敏度		●		
32.	稳压二极管动态电阻		●		
33.	频率稳定度		●		
34.	脉冲信号源幅度		●		
35.	脉冲宽度		●		
36.	脉冲上升时间		●		
37.	脉冲下降时间		●		
38.	中频衰减量		●		
39.	测试功率			●	
40.	热敏参数 V_{BE} 温度系数			●	
41.	热敏参数 V_{BE} 变化率			●	
42.	单脉冲信号脉宽			●	
43.	连续脉冲脉宽			●	
44.	脉冲周期			●	
45.	占空比(或空度比)			●	
46.	二次击穿保护时间			●	
47.	集电极电流变化率			●	

第4节　技术指标及测试方法

(一) 半导体分立器件直流参数测试仪器

直流参数是半导体分立器件的主要技术指标，也是决定器件性能优劣的重要参数。直流参数测试设备最为常见，就目前国内实际情况而言，双极型晶体管直流参数测试设备数量最多。品种

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

最全，技术指标最高，测试技术也最为成熟。相比之下，其它各种测试设备，如各种二极管、场效应晶体管、闸流管等参数测试设备就少得多了，有的甚至是空白。本节就以双极型晶体管的十个主要参数为主，同时也尽可能兼顾一些其它常用直流参数的测试。

这十个主要常用参数是：

① 反向(截止)电流：I_{CBO}、I_{EBO}、$I_{CEO(S.R.X)}$；

② 反向击穿电压：$V_{(BR)CBO}$、$V_{(BR)EBO}$、$V_{(BR)CEO(S.R.X)}$；

③ 饱和电压：V_{BEsat}、V_{CEsat}；

④ 工作电压：V_{BE}；

⑤ 共发射极正向电流传输比 h_{21E}（静态值）。

其中，反向击穿电压本属"极限参数"类别，但国内应用、测试极为普遍，其测试设备也多同直流参数测试设备混设在一起，故本节也一并列入，方便用户。

注：$I_{CEO(S.R.X)}$—基极开路(短路、接给定电阻、接给定电路)时，在规定的集电极-发射极电压下，流过集电极-发射极结的反向电流.

1. 偏压(源、表)

bias voltage (force, meter)

符号：V_{CE}、V_{CB}、V_{EB}、V_{DS}、V_R、V_{BB}

定义：

①偏压：即偏置电压，工作(或测试)状态下，加于被测管各极之间的电压值，例如：

V_{CE}——双极型晶体管集电极-发射极(C-E)间的电压；

V_{CB}——双极型晶体管集电极-基极(C-B)间的电压；

V_{EB}——双极型晶体管发射极-基极(E-B)间的电压；

V_{DS}——场效应晶体管漏极-源极(D-S)间的电压；

V_R——二极管极间反向电压；

V_{BB}——双基极二极管基极 B_1-B_2 间的电压。

② 偏压源：为被测管提供偏置电压的电源，通常为电压源。

③ 偏压表：测量被测管偏置电压（极间）值的电压表。

技术水平：偏压通常在 50 V 以下，高的可达 500 V，个别高达 2 kV 甚至 5 kV；其误差一般为±(3～10)%，个别可达 ±0.5%。

测试方法：

(1) 方框图，见图 29-1。

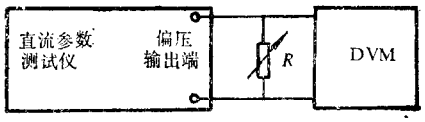


图 29-1

(2) 测试说明及要求

① 用直流标准电压源来检测偏压输出实际值；

② 可外接规定负载电阻（R），也可不接，但均应不影响指标；

③ 负载电阻（R）容量(功率、电流、耐压)应足够。

(3) 测试步骤

① 置仪器于被检偏压量程档级，接直流标准电压表（DVM）于偏压输出端(也可同时接上规定负载电阻 R)；

② 调节(或设定)偏压输出，使被检电压表指示分别为量程（或档级）满度值的 1/3、2/3(或附近)及 1 处(以下简称这三个检测点为"三刻度"点)，其值(即直流标准电压表指示电压实际值)应符合产品技术指标规定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 反向(截止)电流(参数)

reverse (cut-off) current (parameters)

符号: I_{CBO}、I_{EBO}、I_{CEO}、I_{CES}、I_{CER}、I_{CEX}、I_R、I_{DSS}、I_{EO}

定义: 规定偏压条件下，流过被测管极间的反向电流值，例如:

I_{CBO}——E 极开路，C-B 间电压为规定值时，流过集电极的反向电流;

I_{EBO}——C 极开路，E-B 间电压为规定值时，流过发射极的反向电流;

I_{CEO}——B 极开路，C-E 间电压为规定值时，流过集电极的反向电流;

I_{CES}——B-E 短路，C-E 间电压为规定值时，流过集电极的反向电流;

I_{CER}——B-E 外接电阻，C-E 间电压为规定值时，流过集电极的反向电流;

I_{CEX}——B-E 外接给定电路，C-E 间电压为规定值时，流过集电极的反向电流;

I_R——反向电压 (V_R) 为规定值时，流过二极管的反向电流;

I_{DSS}——G-S 短路，D-S 间电压为规定值时，流过漏极的饱和电流;

I_{EO}——基极 B_2 开路，基极 B_1-E 间电压为规定值时，流经基极发射极的反向电流;

技术水平: 通常在 nA～mA 量级; 其误差一般为±(3～10)%，个别可达 ±0.5%。

测试方法:

(1) 方框图，见图 29-2。

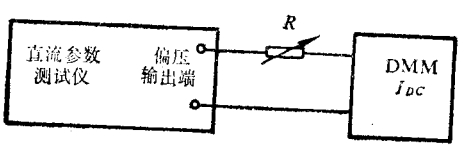


图 29-2

(2) 测试说明及要求

① 用直流标准电流表 (或数字多用表 DMM I_{DC} 档)来检测反向电流参数实际值;

② 允许使用"高精度电阻＋直流标准电压表"来替代电流表;但在电流甚小 (μA 级以下) 情况下，要注意选用高输入阻抗直流数字电压表，以免影响测试结果;

③ 负载电阻 (R) 准确度应足够高; 如果电压较高还要注意负载电阻的耐压和数字表量程的选用。

(3) 测试步骤

① 置仪器于被检参数(反向电流)量程档级，并将负载电阻 (R) 与直流标准电流表串联接于偏压输出端(亦即被测管管脚);

② 调节(或设定)偏压输出，使被检参数电流表指示分别为量程(或档级)满度值的"三刻度"点处，其值(即直流标准电流表指示电流参数实际值)，应符合产品技术指标规定。

3. 偏流(源、表)

bias current (force, meter)

符号: I_C、I_B、I_E、I_F、I_Z、I_D

定义:

① 偏流: 即偏置电流，工作(或测试)状态下，流过被测管电极的电流，例如:

I_C——流过被测管集电极 C 的电流;

I_B——流过被测管基极 B 的电流;

I_E——流过被测管发射极 E 的电流;

I_F——流过二极管的正向电流;

I_Z——稳压二极管的稳定电流;

I_D——流过被测管漏极 D 的电流。

② 偏流源: 为被测管提供偏置电流的电源，通常为电流源。

③ 偏流表: 测量被测管偏置电流值的电流表。

技术水平: 通常在 10 mA 以下，高的可达 100mA，甚至 A(安培)级;其误差一般为±(3～10)%，个别可达 ±0.5%。

测试方法:

(1) 方框图，见图 29-3

(2) 测试说明及要求

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

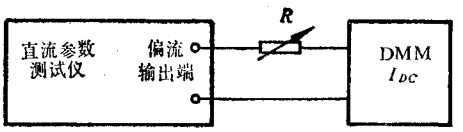


图 29-3

① 用直流标准电流表来检测偏流输出实际值；

② 允许使用"高精度电阻+直流标准电压表来替代电流表；

③ 测试电压较高时，负载电阻（R）的耐压应足够高。

(3) 测试步骤

① 置仪器于被检偏流量程档级，并将负载电阻（R）与直流标准电流表串联接于偏流输出端(亦即被测管管脚)；

② 调节(或设定)偏流输出，使被检电流表指示分别为量程(或档级)满度值的"三刻度"点处，其值(即直流标准电流表指示电流实际值)应符合产品技术指标规定。

4. 反向击穿电压(参数)

reversed breakdown voltage (parameters)

符号：$V_{(BR)CBO}$、$V_{(BR)EBO}$、$V_{(BR)CEO}$、$V_{(BR)CES}$、$V_{(BR)CER}$、$V_{(BR)CEX}$、$V_{(BR)}$、$V_{(BR)DS}$、$V_{(BR)GSS}$

定义：规定偏置电流条件下，被测管极间的电压值，例如：

$V_{(BR)CBO}$——E 极开路，集电极电流 I_C 为规定值时，C-B 间的电压降；

$V_{(BR)EBO}$——C 极开路，发射极电流 I_E 为规定值时，E-B 间的电压降；

$V_{(BR)CEO}$——B 极开路，集电极电流 I_C 为规定值时，C-E 间的电压降；

$V_{(BR)CES}$——B-E 短路，集电极电流 I_C 为规定值时，C-E 间的电压降；

$V_{(BR)CER}$——B-E 间外接电阻，集电极电流 I_C 为规定值时，C-E 间的电压降；

$V_{(BR)CEX}$——B-E 间外接给定电路，集电极电流 I_C 为规定值时，C-E 间的电压降；

$V_{(BR)}$——反向电流（I_R）为规定值时，二极管极间的电压降；

$V_{(BR)DS}$——G-S 电压、漏极电流 I_D 为规定时，D-S 间的电压降；

$V_{(BR)GSS}$——D-S 短路，栅极电流 I_G 为规定值时，G-S 间的电压降。

技术水平：通常在 300V 以下，高的可达 600V，个别可达 2kV；其误差一般为 ±(3～10)%，个别可达 ±0.5%。

测试方法：

(1) 方框图，见图 29-4。

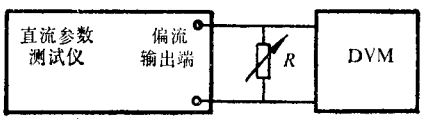


图 29-4

(2) 测试说明及要求

① 用直流标准电压表来检测反向击穿电压参数实际值；

② 负载电阻（R）准确度应足够高；

③ 测试击穿电压较高时，负载电阻（R）耐压应足够。

(3) 测试步骤

① 置仪器于被检参数(击穿电压)量程档级，并将负载电阻（R）与直流标准电压表并联接于偏流输出端(亦即被测管管脚)；

② 调节(或设定)偏流输出，使被检参数电压表分别指示为量程(或档级)满度值的"三刻度"点处，其值(直流标准电压表指示电压参数实际值)应符合产品技术指标规定。

5. 饱和压降、正向电压(参数)

saturation voltage drop, forward voltage (parameter)

符号：V_{BEsat}、V_{CEsat}、V_{Esat}、V_F、V_Z

定义：

V_{BEsat}、V_{CEsat}——饱和工作状态下，被测管 B-E 间、C-E 间的电压降；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

V_{Esat}——B_1-B_2 间电压为规定值，E-B_1 间电流为规定值时，被测管 E-B_1 间的电压降；

V_F——正向电流（I_F）为规定值时，二极管极间的电压值；

V_Z——稳定电流（I_Z）为规定值时，稳压二极管的稳定电压值。

技术水平：通常在5V以下，高的可达10V；其误差一般为±(3～10)%，个别可达±0.5%

测试方法：

(1) 方框图，见图 29-5。

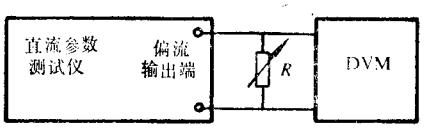


图 29-5

(2) 测试说明及要求

① 用直流标准电压表来检测饱和压降或正向电压参数实际值；

② 负载电阻（R）准确度应足够高；

③ 大电流测试时，负载电阻（R）容量(功率、电流)应足够，其外接线处理应仔细。

(3) 测试步骤

① 置仪器于被检参数(饱和压降或正向电压)量程档级，并将负载电阻（R）与直流标准电压表并联接于偏流输出端（亦即被测管管脚）；

② 调节(或设定)偏流输出，使被检参数电压表指示分别为量程（或档级）满度值的"三刻度"点处，其值(即直流标准电压表指示电压参数实际值)，应符合产品技术指标规定。

6. 工作电压(参数)

operating voltage (parameter)

符号：V_{BE}

定义：放大工作状态下，被测管 B-E 间的电压值。

技术水平：通常在3V以下，高的可达5V；其误差一般为±(3～10)%，个别可达±0.5%

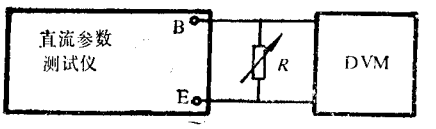


图 29-6

测试方法：

方法一

(1) 方框图，见图 29-6。

(2) 测试说明及要求

① 本方法适用指针式参数测试仪表(如BJ 2911—HQ1B、BJ2950A 等)，其 V_{BE} 参数值可由 V_{BE} 参数电压表刻度指示；

② 负载电阻（R）准确度应足够高；

③ 大电流测试时，负载电阻（R）容量(功率、电流)应足够，其外接线处理应仔细。

(3) 测试步骤

① 置仪器于被检参数 V_{BE} 量程档级，并将负载电阻（R）与直流标准电压表并联接于被测管 B、E 端；

② 调节偏流（I_B）输出，使被检参数电压表指示分别为量程满度值的"三刻度"点处，其值（即直流标准电压表指示电压参数实际值），应符合产品技术指标规定。

方法二

(1) 方框图，见图 29-7。

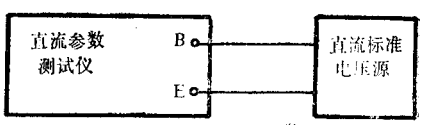


图 29-7

(2) 测试说明及要求

① 本方法适用于数字显示类参数测试仪表(如 BJ2920、BJ2921 等)，其 V_{BE} 参数值可由数字电压表直接显示；

② 直流标准电压源准确度应足够高。

(3) 测试步骤

① 置仪器于被检参数 V_{BE} 量程档级，接直流标准电压源输出于被测管 B、E 端；

② 设定直流标准电压源电压输出为

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

V_{BEmax}，此时被检参数（V_{BE}）电压表指示值应符合产品技术指标规定；

③ 依 5:2:1 规律改置直流标准电压源电压输出值，一直检测到 V_{BEmin}。

7. 共发射极直流电流放大系数（或称共发射极正向电流传输比的静态值）

common emitter DC current amplifcation coefficient (or common emitter forward current transmission ratio)

符号：h_{FE}（或 h_{21E}）

定义：集电极电压（V_{CE}）、电流（I_C）为规定值时，集电极电流、基极电流之比（I_C/I_B）

技术水平：通常在 20～300 之间，高的可达 10～1000，个别高达 10000；其误差一般为 ±(5～10)%，最高可达 ±1%。

测试方法：

方法一

(1) 方框图，见图 29-8

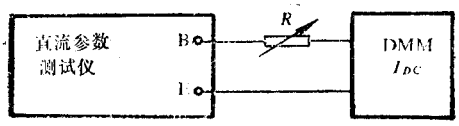


图 29-8

(2) 测试说明及要求

① 本方法适用指针式测试仪表（如 BJ2911—HQ1B、BJ2951A 等）；

② 其 h_{FE} 参数值可由 I_B 偏流表直接指示，因此，h_{FE} 参数表的检测，实际上就是 I_B 偏流表的检测；

③ h_{FE} 参数值由 I_B 偏流表直读的前提条件：即在保证集电极电流 I_C 满度（规定值）条件下实现的，如若 I_C 不满度，则 h_{FE} 就不能直读。

(3) 测试步骤

① 置仪器于被检偏流 I_B（亦即 h_{FE} 参数）量程档级，并将负载电阻（R）与直流标准电流表串联接于被测管 B、E 端；

② 调节偏流 I_B 输出，使被检电流（即参数 h_{FE}）表指示分别为量程满度值的“三刻度”点处，其值（即直流标准电流表指示 I_B 电流实际值，亦即 h_{FE} 参数实际值），应符合产品技术标准规定。

方法二

(1) 方框图，见图 29-9。

(2) 测试说明及要求

① 本方法适用于数字显示类测试仪表（如

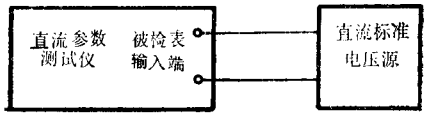


图 29-9

BJ2920、BJ2921 等），其 h_{FE} 参数值由接在被测管基极回路里的电阻 R_B 上的压降决定，并由 V_B 电压表直接显示，因此，h_{FE} 值的检测实际上就是对 V_B 电压表的检测；

② V_B 电压值由产品技术说明书中的 h_{FE} 计算公式决定。

(3) 测试步骤

① 置仪器于被检参数 h_{FE} 量程档级，接直流标准电压源（如 DO11）输出于被检电压表输入端；

② 设定直流标准电压源电压输出值为被检参数 h_{FEmin} 值所对应的 V_{Bmax} 值，此时，被检参数（h_{FE}）表指示值应符合产品技术指标规定；

③ 依 5:2:1 规律改置直流标准电压源电压输出值，一直检测到 h_{FEmax} 为止。

8. 夹断电压、阈电压（参数）

pinch-off voltage

符号：V_p（或 $V_{GS(off)}$）、V_T（或 $V_{GS(on)}$）

定义：V_p——V_{DS} 为规定值，使 I_{DS} 为规定微小电流值时的栅极偏压 V_{GS}，有时也称 G-S 截止电压；

V_T——V_{DS} 为规定值，使 I_{DS} 为规定微

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

小电流值时的最小栅极偏压 V_{GS}，有时也称开启电压。

技术水平： 通常在 15 V 以下，其误差一般为 ±(3～5)%。

测试方法：

(1) 方框图，见图 29-10。

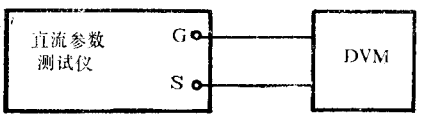


图　29-10

(2) 测试说明及要求

V_p 为耗尽型场效应晶体管的技术指标，而 V_T 为增强型场效应晶体管的技术指标。

(3) 测试步骤

① 置仪器于被检参数（V_p 或 V_T）量程档级，接标准直流电压表于被测管 G、S 端；

② 调节栅极偏压输出，使被检参数电压表指示分别为量程满度值的"三刻度"点处，其值（即直流标准电压表指示电压参数实际值），应符合产品技术指标规定。

9. 电阻(参数)

resistor (parameters)

符号：R_{BB}

定义： 发射极 E 开路时，单结晶体管基极 B_1、B_2 间的电阻值。

技术水平： 通常在 15 kΩ 以下，其误差一般为 ±(5～10)%

测试方法：

(1) 方框图，见图 29-11。

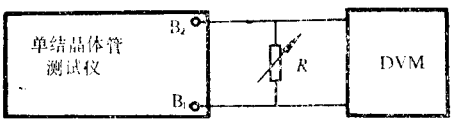


图　29-11

(2) 测试说明及要求

① R_{BB} 电阻参数的检测亦即电阻参数表的检测，其实质仍是 E-B_1 回路电流值的检测，仅以电阻来刻度表示而已；

② 其负载电阻（R）准确度应足够高。

(3) 测试步骤

① 置仪器于被检参数（R_{BB}）量程档级，并将负载电阻（R）与直流标准电压表并联接于被测管 B_2、B_1 端；

② 调节"V_{BB}"电压，使直流标准电压表指示为规定电压值，此时，被检电阻表指示应满度，且应符合产品技术指标规定；

③ 调节电阻箱阻值（增大），检测其余各点（通常是量程满度值的 1/3、2/3 或其附近）。

（二）晶体管特性图示仪及其校准仪

晶体管特性图示仪是利用示波管屏幕显示被测器件特性曲线的专用测试设备，它以其直观和反映全貌见长，在器件性能分析、工艺缺陷寻迹方面具有独特的优点，得到了广泛应用，在同类测试仪器中，其数量之大，应用面之广是其他任何测试仪器所望尘莫及的。近十年来，图示仪整机独立设计能力不断提高，新品种不断问世，早期的电子管式图示仪逐渐淘汰，晶体管式图示仪行将取代，部分集成化的图示仪也已出现，整机性能不断改进、提高。

如今，图示仪不仅用于电子行业，同时也用于机械、化工、钢铁等非电子行业，因此，它的技术指标的检定普遍受到重视，尤其是阶梯信号的检定，一种带有阶梯"归一化"处理功能的校准仪问世，较好地解决了这一难题，受到用户欢迎，同时也把国内图示仪的实际计量、检定水平大大提高一步。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

10. 校准电压

calibration voltage

定义：为晶体管特性图示仪自校而在机内设立的校准电压。

技术水平：通常在 0.1～5 V 以内，其误差一般为±1% 或稍高。

测试方法：

(1) 方框图，见图 29-12。

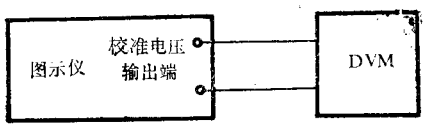


图 29-12

(2) 测试说明及要求

校准电压输出端由产品技术说明书规定。

(3) 测试步骤

置仪器于校准电压输出档级，接直流标准电压表于校准电压输出端，此时，其值(即直流标准电压表指示电压实际值) 应符合产品技术指标规定。

11. 集电极电压(V/度)

collector voltage (V/div)

符号：V_c

定义：被测管集电极-发射极(地)之间的电压，简称 V_c，以(V/度)表示。

技术水平：通常在 500 V 以下，高的可达 1000 V以上，其误差般一为±(3～5)%，高的可达±2%。

测试方法：

(1) 方框图，见图 29-13。

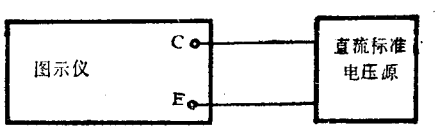


图 29-13

(2) 测试说明及要求

① 整个图示仪检测中，扫描电压调节均应反时针方向旋至 0 (无输出)；

② 该项检测中，集电极电流 (A/度)，功耗限制电阻开关均应置于最大档位；

③ 集电极电压倍率指标，也可归并到该项基本量程档级里一并进行；

④ V_D—二极管(反向)电压，通常在 5 kV 以下，其误差一般为 ±(3～10)%。以二极管“+、—”输出端替换图中“C、E”端，并改置电压量程开关于 V_D 档级，即可进行其指标检测。

(3) 测试方法

① 置图示仪于被检集电极电压 (V/度)量程档级，接直流标准电压源 (或校准仪直流电压)输出端于图示仪 C、E 端；

② 调节 (或设定) 直流标准电压源电压输出，使屏幕光点(水平方向)运行 10 度，其值(即直流标准电压源电压输出值或偏差表指示百分数) 应符合产品技术指标规定。

12. 基极电压(V/度)

base voltage (V/div)

符号：V_B

定义：被测管基极-发射极(地)之间的电压，简称 V_B，以 (V/度)表示。

技术水平：通常在 20 V 以下，其误差一般为±(3～5)% 高的可达 ±2%。

测试方法：

(1)方框图，见图 29-14。

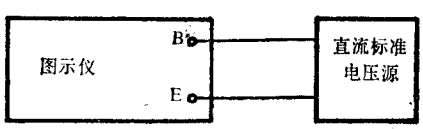


图 29-14

(2) 测试步骤

① 置图示仪于被检基极电压 (V/度)量程档级，接直流标准电压源(或校准仪直流电压)输出于图示仪 B、E 端；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 调节（或设定）直流标准电压源电压输出，使屏幕光点(水平或垂直方向)运行 10 度，其值(即直流标准电压源输出值或偏差表指示百分数)应符合产品技术指标规定。

13.集电极电流（A/度）

collector current (A/div)

符号：I_c

定义：被测管集电极内流过的电流，简称 I_c，以(A/度)表示。

技术水平：通常在 10 A 以下，高的可达 100 A；其误差一般为 ±(3～5)%，高的可达 ±2%。

测试方法：

(1) 方框图，见图 29-15。

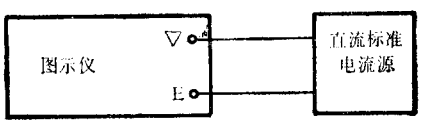


图　29-15

(2) 测试说明及要求

① 图中▽——集电极扫描变压器中心抽头(或称扫描零线)，仅在 I_c、I_D 检测中使用；

② 该项检测中，集电极电压(V/度)、功耗限制电阻开关均应置于最大档位；

③ 集电极电流倍率指标，也可归并到该项基本量程档级里一并进行；

④ I_D——二极管(反向)电流，通常在5mA以下，其误差一般为± (3～10)%。改置电流量程开关于 I_D 档级，即可进行其指标检测。

(3) 测试步骤

① 置图示仪于被检集电极电流(A/度)量程档级，接直流标准电流源（或校准仪直流电流)输出端于图示仪 ▽、E 端；

② 调节（或设定）直流标准电流源电流输出，使屏幕光点(垂直方向)运行 10 度，其值(即直流标准电流源电流输出值或偏差表指示百分数)应符合产品技术指标规定。

14. 阶梯电压　阶梯电流

step voltage, step current

符号：V_s、I_s

定义：

V_s——供给被测管输入端（B、E）的阶梯电压信号，简称 V_s，以（V/级)表示。

I_s——供给被测管输入端（B、E）的阶梯电流信号，简称 I_s，以（mA/级)表示。

技术水平：V_s 通常在 1 V/级以下，高的可达 2 V/级，I_s 通常在 200 mA/级以下，高的可达 1A/级；其误差一般为 ±(3～5)%，高的可达 ±2%。

测试方法：

方法一

(1) 方框图，见图 29-16。

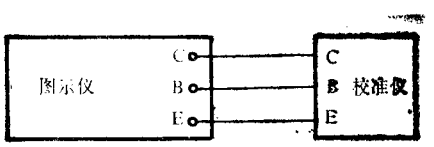


图　29-16

(2) 测试说明及要求

① 本方法适用于通用类图示仪阶梯(电压或电流)幅度误差检测；

② 其误差值可由校准仪偏差表直接读取；也可以由图示仪屏幕显示；还可以由外接差分示波器显示，此时，差分示波器的 A、B 通道分别接于校准仪“A-B”输出端；

③ 检测中，图示仪，校准仪阶梯电压（V/级)或阶梯电流(mA/级)开关转换应同步进行；

④ 阶梯电压、电流较大时(为 2V/级、200 mA/级等）检测动作要快，时间不得超过 1 分钟，否则，因发热而影响检测结果。

⑤ 阶梯(电压、电流)倍率指标，也可归并到该项基本量程档级里一并进行。

(3) 测试步骤

① 将图示仪、校准仪置于阶梯电压(V/级)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

相同量程档级，并将校准仪 C、B、E 输入线分别接于图示仪 C、B、E 端；

② 置图示仪 V_c 开关于 1 V/度，选好阶梯 0 级光点位置，再将图示仪 V_c 开关改置于 0.1 V/度，(此时，0 级光点位置应保持不变)，然后，将校准仪"比较电压"开关顺时针方向转动至 10 位处，此时：

• 光点(现为第 10 级阶梯)距离原 0 级光点的位差，即为被检档级阶梯电压幅度误差值，右偏 1 度，误差为 1%，左偏 1 度，误差为 −1%；

• 如若取用偏差表，则应调节偏差旋钮，使光点(第 10 级阶梯)返回原 0 级光点位置，此时，偏差表指示百分数(%)即为被检档级阶梯电压幅度误差(仅符号相反)；

• 如若使用外接差分示波器检测，其误差值自然应由外接示波器屏幕（垂直方向）上读取，显然，这时校准仪、图示仪间 C 连接线就可不要了。

③ 改置图示仪、校准仪阶梯幅度开关于阶梯电流（mA/级）量程档级，依上述阶梯电压(V/级)相同步骤检测之。

方法二

(1) 方框图，见图 29-17。

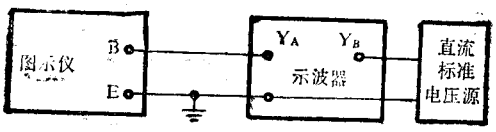


图 29-17

(2) 测试说明及要求

① 本方法适用其他各种图示仪阶梯(电压或电流)幅度误差检测；

② 其误差值由外接示波器屏幕显示。该示波器具有直流（DC～100 kHz)、差分输入端；

③ 阶梯倍率(电压、电流)指标也可归并到该项基本量程档级里一并进行。

(3) 测试步骤

① 置图示仪于阶梯电压（V/级）量程档级，示波器 Y 轴(上线)开关于相同电压量程档级，再将其 A、B 通道输入电缆分别接于图示仪 B、E 及直流标准电压源输出端(此时，直流标准电压源输出电压为 0)；

② 在示波器屏幕上选好 0 级阶梯扫线位置，调节(或设定)直流标准电压源电压输出值(即档位标称电压值)，使第 10 级阶梯扫线位于原 0 级阶梯扫线位置，然后顺时针方向转动 Y 轴开关，将显示灵敏度提高 10 倍，此时：

• 扫线(第 10 级阶梯)距离原 0 级阶梯扫线的位差，即为被检档级阶梯电压误差值，上偏 1 度，误差为 1%；下偏 1 度，误差为 −1%；

• 仔细微调(或设定)直流标准电压源输出值，使第 10 级阶梯扫线返回原 0 级阶梯扫线位置，则直流标准电压源所示电压值即为被检档级阶梯电压幅度实际值，可进一步求出误差百分数(%)；

③ 改置图示仪阶梯幅度开关于阶梯电流(mA/级)量程档级，按图 29-18 联接检测电路。

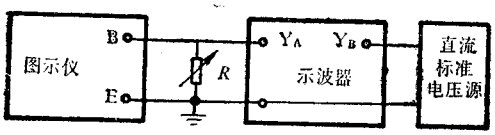


图 29-18

图中外接标准电阻（R——把阶梯电流转换为阶梯电压)参考值如下表：

阶梯电流档级	电阻（R）阻值
1μA/级～50 μA/级	1kΩ
0.1mA/级～1 mA/级	100Ω
2mA/级～10 mA/级	10Ω
20mA/级～200 mA/级	1Ω

然后，依上述阶梯电压（V/级）相同步骤检测之。但此时，直流标准电压源输出电压值应为被检档级阶梯电流（mA/级)×10 级×R，还应注意：

• 当 R 选用 1Ω 电阻时，外接线处理应仔

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

细；

● 当 R 选用 1kΩ 以上电阻时，应考虑示波器输入电阻的分流影响；

15. 直流电压源

DC voltage power supply

符号：V_c（或 V_B）

定义：为图示仪集电极（或基极）电压支路提供电压校准的直流电压源。

技术水平：通常在1000V以下，高的可达 3 kV；其误差一般为 ±(0.3～0.5)%

测试方法：

（1）方框图，见图 29-19。

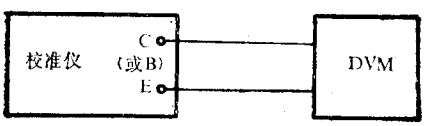


图　29-19

（2）测试说明及要求

当被检电压高于 1 kV 时，不能用直流标准电压表直接检测，需引用适当精度的高阻分压器。

（3）检测步骤

① 置校准仪于直流电压输出量程档位，接直流标准电压表于标准仪 C、E（或 B、E）输出端；

② 此时，直流标准电压表所示电压值即为被检档位电压输出实际值，可进一步算出其误差实际值，应符合产品技术指标规定。

16. 直流电流源

DC current power supply

符号：I_c

定义：为图示仪集电极电流支路提供电流校准的直流电流源。

技术水平：通常在 10 A 以下，其误差一般为 ±(0.3～0.5)%。

测试方法：

（1）方框图，见图 29-20。

（2）测试说明及要求

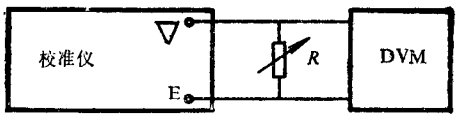


图　29-20

① 条件具备，允许使用直流标准电流表直接检测；

② 电阻（R）容量（功率、电流）、准确度足够，其值较小时，可用四线标准电阻替代；

③ 检测中，电流回路不得开路，否则容易损坏电流源；大电流（如 10 A 档级等）检测时，动作要快，一般不要超过 1 分钟。

（3）测试步骤

① 置校准仪于直流电流输出为 0 的档级（或电流最小档级），并将规定负载电阻（R）与直流标准电压表并联接于校准仪电流输出 ∇、E 端；

② 改置校准仪于直流电流输出档级，此时，直流标准电压表所示电压实际值，即为被检档级电流在负载电阻（R）上的电压值，通过换算（V/R），即可求出其电流实际值，进一步计算出该档电流实际误差，应符合产品技术指标规定。

17. 阶梯电压、阶梯电流归一化

step voltage, step current

符号：V_s、I_s

定义：把不同幅度（或档级）的阶梯（电压、电流）信号统一处理（或变换）成输出幅度相同（10V）的阶梯电压信号。

技术水平：阶梯电压（V_s）通常在 1 V/级以下，高的可达 2V/级；阶梯电流（I_s）通常在 200 mA/级以下；其误差一般为 ±(0.3～0.5)%。

测试方法：

（1）方框图，见图 29-21。

（2）测试说明及要求

检测阶梯时，先改变校准仪阶梯幅度档级，后设定直流标准电压源电压输出值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

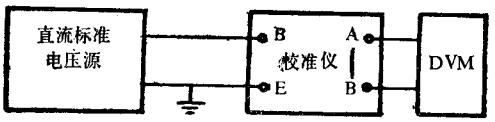


图 29-21

(3) 测试步骤

① 将校准仪阶梯信号输入 B、E 端接直流标准电压源电压输出端，而校准仪"归一化"电压输出"A-B"端接直流标准电压表输入端；

② 置校准仪于阶梯电压（V_s）量程档级，设定直流标准电压源电压输出为该档电压标称值(即 V/级×10 级)，此时，直流标准电压表所示电压即为该档阶梯"归一化"电压输出实际值(理论设计 10 V)，应符合产品技术指标规定。

③ 改置校准仪阶梯幅度开关于阶梯电流(mA/级)量程档级，并用直流标准电流源替代图中直流标准电压源，再以上述阶梯电压（V_s）相同步骤检测阶梯电流（I_s）"归一化"输出电压实际值(理论设计 10 V)。

但应注意，阶梯电流（I_s）"归一化"检测中，电流输出回路不允许开路，特别是大电流(如 200 mA/级等)更应注意，否则，容易损坏电流源。

18. 偏差表

drift-meter

定义：直接指(显)示被测信号误差百分数(%)的电表。

技术水平：通常在 ±10% 以内，其误差一般为±0.5% 左右。

测试方法：

(1) 方框图，见图 29-22。

(2) 测试步骤

① 将直流标准电压表输入端接于校准仪阶梯"归一化"电压输出"A-B"端，比较电压

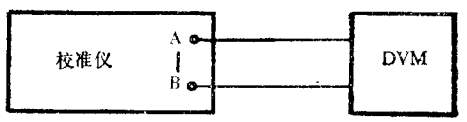


图 29-22

开关置于"10"位处；

② 按下偏差琴键(3% 或 10%)调节偏差旋钮，使偏差表准确指示于"0"刻度处，此时，直流标准电压表所示电压值即为被检刻度处电压实际值(理论设计为 10 V)，应符合产品技术指标规定；

③ 调节偏差旋钮，使偏差表准确指示于满刻度(±3、或 ±10)处，此时，直流标准电压表所示电压值即为满刻度处电压实际值(±10V±3% 或 ±10%)，应符合产品技术指标规定。

(三) 半导体分立器件交流参数测试仪器

半导体分立器件交流参数很多，但是商检参数不多，本节所测参数都是根据目前国内外产品目录所列出的必测参数，按这些参数再结合国内外的测试仪器来收集的。

本节所测参数定义及测试方法均引自 GB4587-84，GB4023-83，GB4024-83 等标准来制订的。

被测仪器及测试设备均应符合各自产品标准中规定的预热时间后进行测试。

19. 晶体三极管输入阻抗

transistor input impedance

符号：h_{ie}

定义：在共发射极电路中，输入端交流开路，输出端交流短路时，输入电压和输入电流之比。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

即：

$$h_{ie}=\left.\frac{u_{be}}{i_b}\right|_{u_{ce}=0}$$

技术水平：一般 ≤5%。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 29-23。

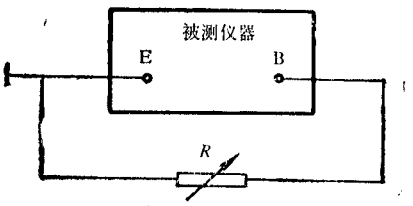


图　29-23

（2）测试说明和要求

可变电阻 R 用高频精密电阻箱，精度为 ±0.1%，电阻箱的量程按被测仪器 h_{ie} 的量程来定。

（3）测试步骤

① 按被测仪器的要求进行预热和校准。

② 将标准电阻箱接入被测仪器晶体管插座 B，E 间，如图 29-23。

③ 将参数拨到 h_{ie} 档。

④ 按被测仪器 h_{ie} 的量程来设定电阻箱，逐档进行测试，其误差：

$$\delta=\frac{h-R}{h_m}\times 100\%$$

式中　h——被测仪器 h 表读数；

R——电阻箱读数；

h_m——被测仪器 h 表满度值。

20. 晶体三极管输入阻抗

transistor input impedance

符号：h_{ib}

定义：在共基极电路中，输入端交流开路，输出端交流短路时，输入电压和输入电流之比。即：

$$h_{ib}=\left.\frac{u_{eb}}{i_e}\right|_{u_{cb}=0}$$

技术水平：一般 ≤5%。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 29-24。

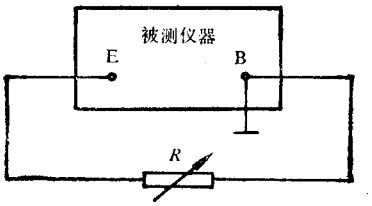


图　29-24

（2）测试说明与要求，和 h_{ie} 测试要求相同。

（3）测试步骤

将参数档拨到 h_{ib}，只要将 B，E 接线交换位置，如图 29-24。按被测仪器技术要求进行测试，其误差：

$$\delta=\frac{h-R}{h_m}\times 100\%$$

式中　h——被测仪器 h 表读数；

R——电阻箱读数；

h_m——被测仪器 h 表满度值。

21. 晶体三极管输出导纳

transistor output admittance

符号：h_{oe}

定义：在共发射极电路中，输入端交流开路时，集电极电流 i_c 和 u_{ce} 电压之比。即：

$$h_{oe}=\left.\frac{i_c}{u_{ce}}\right|_{i_b=0}$$

技术水平：一般 ≤5%。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 29-25。

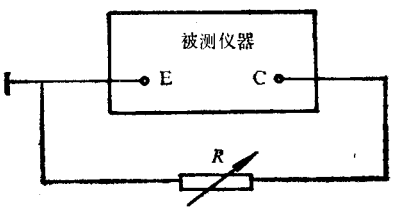


图　29-25

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试说明和要求和 h_{ie} 测试要求相同。

(3) 测试步骤

① 将参数键拨到 h_{oe} 档;

② 将标准电阻箱接入被测仪器晶体管插座 E, C 间,如图 29-25 所示。

③ 按被测仪器的技术要求设定电阻箱阻值逐档进行测试,其误差:

$$\delta = \frac{h - \frac{1}{R}}{h_m} \times 100\%$$

式中 h——被测仪器 h 表指示值;

R——电阻箱指示值;

h_m——被测仪器 h 表满度值。

22. 晶体三极管输出导纳

transistor output admittance

符号: h_{ob}

定义: 在共基极电路中,输入端交流开路,集电极电流 i_c 和 u_{cb} 电压之比。即:

$$h_{ob} = \left.\frac{i_c}{u_{cb}}\right|_{i_e=0}$$

技术水平: 一般≤8%。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 29-26。

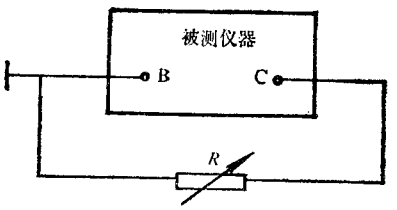


图 29-26

(2) 测试说明和要求,和 h_{ie} 参数相同。

(3) 测试步骤

① 将参数键拨到 h_{ob} 档。

② 将标准电阻箱接入被测仪器晶体管插座 B, C 间,如图 29-26 所示。

③ 按被测仪器技术要求设定电阻箱阻值逐档进行测试,其误差:

$$\delta = \frac{h - \frac{1}{R}}{h_m} \times 100\%$$

式中 h——被测仪器 h 表指示值;

R——电阻箱指示值;

h_m——被测仪器 h 表满度值。

23. 晶体三极管电压反馈系数

transistor voltage feedback coefficient

符号: h_{re}

定义: 在共发射极电路中, 输入端交流开路基极测得的交流电压 u_{be} 与集电极交流电压 u_{ce} 之比,即:

$$h_{re} = \left.\frac{u_{be}}{u_{ce}}\right|_{i_b=0}$$

技术水平: 一般≤8%。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 29-27。

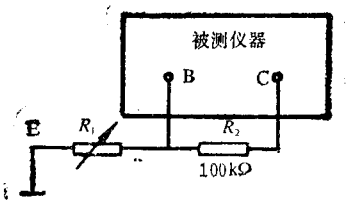


图 29-27

(2) 测试说明和要求

R_1 为标准电阻箱, $R_2 = 100\ k\Omega$ 为晶体管内部 r_e 模拟电阻,精度不需要很高。

(3) 测试步骤

① 将参数键拨到 h_{re} 档。

② 将标准电阻箱 R_1 接入被测仪器晶体管插座 B、E 间,再将 R_2 接入 C、B 间。

③ 按被测仪器的技术要求设定电阻箱阻值,逐档进行测试,其误差:

$$\delta = \frac{h - \frac{R_1}{R_1 + R_2}}{h_m} \times 100\%$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中　h——被测仪器 h 表读数；

R_1——电阻箱读数；

R_2——晶体管内部 r_e 模拟电阻；

h_m——被测仪器 h 表满度值。

24. 晶体三极管电压反馈系数

transistor voltage feedback coefficient

符号：h_{rb}

定义：在共基极电路中，输入端交流开路发射极测得的交流电压 u_{eb} 与集电极交流电压 u_{cb} 之比。即：

$$h_{rb}=\frac{u_{eb}}{u_{cb}}\bigg|_{i_e=0}$$

技术水平：一般 ≤8%。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 29-28。

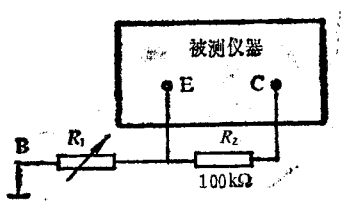


图　29-28

(2) 测试说明和要求，与 h_{re} 要求相同。

(3) 测试步骤

① 将参数键拨到 h_{rb} 档。

② 将标准电阻箱 R_1 接入被测仪器晶体管插座 B，E 间，再将 R_2 接入 C 与 R_1 另一端如图 29-28 所示。

③ 按被测仪器的技术要求设定电阻箱阻值，逐档进行测试。其误差：

$$\delta=\frac{h-\dfrac{R_1}{R_1+R_2}}{h_m}\times 100\%$$

式中　h——被测仪器 h 表指示值；

R_1——电阻箱指示值；

R_2——晶体管内部 r_e 模拟电阻；

h_m——被测仪器 h 表满度值。

25. 晶体三极管交流放大系数

transistor AC amplification coefficient

符号：h_{fe}

定义：在共发射极电路中，输入端交流开路，输出端交流短路，输出电流与输入电流之比。即：

$$h_{fe}=\frac{i_c}{i_b}\bigg|_{u_{ce}=0}$$

技术水平：一般≤10%。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 29-29。

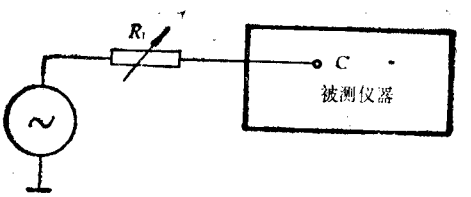


图　29-29

(2) 测试说明和要求

在测试 h_{fe} 参数之前，首先按被测仪器的要求对信号源的工作频率和幅度作正确的校准，否则会带来很大的测试误差。

(3) 测试步骤

① 将参数键拨到 h_{fe} 档。

② 将标准电阻箱 R_1 一端接到被测仪器晶体管插座 C，另一端接到信号源，如图 29-29 所示。

③ 按被测仪器技术要求设定电阻箱阻值，逐档进行测试。其误差：

$$\delta=\frac{h_{fe}-\dfrac{R_b}{R}}{h_{fem}}\times 100\%$$

式中　R_b——基极电阻；

h_{fe}——被测仪器 h 表指示值；

R——电阻箱指示值；

h_{fem}——被测仪器 h 表满度值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

26. 晶体三极管交流放大系数

transistor AC amplification coefficient

符号：$1-\alpha(h_{fb})$

定义：在共基极电路中，输入端交流开路，输出端交流短路，输出电流与输入电流之比。即：

$$h_{fb}=-\alpha=\frac{i_c}{i_e}\bigg|_{u_{cb}=0}$$

技术水平：一般 ≤8%。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 29-30。

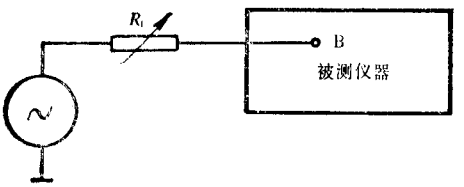


图 29-30

(2) 测试说明和要求，与 h_{fe} 要求相同。

(3) 测试步骤

① 将参数键拨出 $1-\alpha$ 档。

② 将标准电阻箱 R_1一端接到被测仪器晶体管插座B，另一端接交流信号，如图 29-30 所示。

③ 按被测仪器技术要求设定电阻箱阻值，逐档进行测试，其误差：

$$\delta=\frac{h-\frac{1/R}{10}}{(1-\alpha)_m}\times 100\%$$

式中 h——被测仪器 h 表指示值；

R——电阻箱指示值；

$(1-\alpha)_m$——被测仪器 h 表满度值。

27. 音频信号源频率和幅度

1kHz source frequency amplitude

符号：f，u

定义：所谓"频率"，就是周期信号在单位时间(1s) 内变化的次数。信号输出即为幅度。

技术水平：一般≤10%。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 29-31。

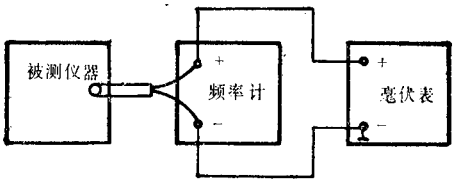


图 29-31

(2) 电路说明和要求

被测仪器按说明书要求进行预热和校准，然后由校准插头把校准信号接到频率计。

(3) 测试步骤

按图 29-31 连接，频率计的指示值即为音频信号源频率，毫伏表指示值即为幅度。

28. 晶体三极管正向自动增益控制电压，正向自动增益控制电流

transistor foward automatic gain control voltage foward automatic gain control curren-

符号：V_{AGC}，I_{AGC}

定义：V_{AGC}—正向自动增益控制晶体管的功率增益随着基极电压的增加而下降，当功率增益开始下降时的基极电压为起控 V_{AGC}；当功率增益下降到规定值时的基极电压为终控 V_{AGC}。

I_{AGC}—正向自动增益控制晶体管的功率增益随着集电极电流的增加而下降，当功率增益开始下降时的集电极电流为起控 I_{AGC}；当功率增益下降到规定值时的集电极电流为终控 I_{AGC}。

技术水平：一般 ≤10%。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 29-32。

(2) 测试说明和要求

G为信号源；

A_{tt} 为射频衰减器；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

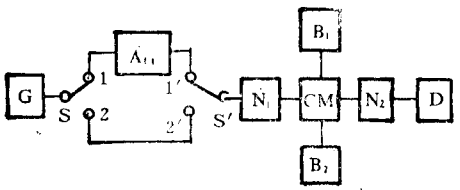


图　29-32

N_1 为输入调配电路；

N_2 为输出调配电路；

CM 为被测晶体管电路；

B_1 为集电极偏置电源；

B_2 为可变 AGC 电源；

D为指示器。

(3) 测试步骤

将开关 S 置 1—1′ 的位置，接入规定的衰减器，接入被测管，加上一定偏置条件，按测试频率要求加信号，测出 G_p 值。

保持输入和输出调配网路的状态不变，把开关置于 2—2′ 的位置，使射频信号直通，调节可变 AGC 电源，逐步加大正向偏置电压，集电极电流随之增加，使指示器的指示仍为原参考值，读出此时的正向偏置电压值或集电极电流值，即为 AGC 电压 (V_{AGC}) 或 AGC 电流 (I_{AGC})。

29. 高频信号源频率

high-frequency source frequency

符号： f

定义： 测量晶体三极管高频参数需用的高频信号的频率。

技术水平： 一般的 $\leqslant 5\times10^{-4}$。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 29-33。

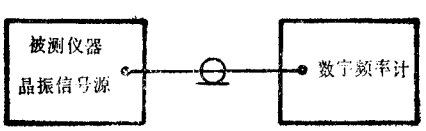


图　29-33

(2) 测试说明和要求

把被测仪器信号源的输出接到频率计上，如果信号源的幅度较大，则必需经过高频电位器衰减以后再输入频率计，频率计测量范围依据被测信号源频率高低来选定。

(3) 测试步骤

把数字频率计的输入与信号源输出相连，如图 29-33 所示。读频率计指示值即为该信号源的频率。其误差：

$$\delta=\frac{f_0-f}{f}$$

式中　f——实际值；

f_0——标称值。

30. 高频信号源幅度

high-frequency source amplitude

符号： u_s

定义： 测量晶体管高频参数需用的高频信号的幅值大小。

技术水平： 按被测仪器的指标规定。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 29-34。

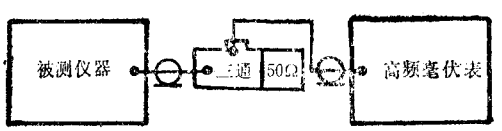


图　29-34

(2) 测试说明和要求

信号源输出由 50 Ω 电缆线连到三通，三通再接一个 50 Ω 的终端负载，然后再由 50 Ω 电缆线接到高频毫伏表。

(3) 测试步骤

按图 29-34 连接仪器，按被测仪器的技术要求，调节高频毫伏表的量程适合测试要求，毫伏表的读数即信号源的输出幅度。

31. 接收机实用灵敏度

receiver utility sensitivity

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

定义：所谓实用灵敏度，在这里指的是当信噪比为 23 dB 时，接收机满度所需输入信号的最小微伏数。

技术水平：一般≤30 μV

测试方法：

（1）测试方框图，见图 29-35。

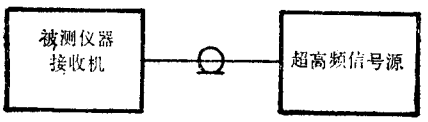


图 29-35

（2）测试说明和要求

超高频信号源的频带范围和输出的幅度应符合被测仪器接收机的要求。

（3）测试步骤

使被测仪器正常工作并校准满度。然后将超高频信号源微伏输出与接收机输入用 50 Ω 同轴电缆线相连，如图 29-35 所示。调节信号源频率，使被测仪器参数表指示最大，调节信号源微伏输出使参数满度，此时信号源输出微伏数即为被测仪器接收机实用灵敏度。

32. 稳压二极管动态电阻

voltage regulator diode dynamic resistance

符号：R_z

定义：稳压二极管在一定的直流偏置上，输入一1 kHz 的小信号，稳压二极管产生一个微分电阻，此阻值叫动态电阻。

技术水平：一般 ≤3%。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 29-36。

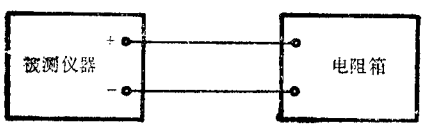


图 29-36

（2）测试说明和要求

不同的测试仪器有不同的校准方法，测试前按仪器说明进行校准。

（3）测试步骤

① 将高阻箱接入二极管插孔“+，−”端，如图 29-36 所示。

② 按测试阻值要求来设置电阻箱阻值，按下 R_2 测量按键，微调电阻箱阻值来达到被测仪器要求的量程，其误差：

$$\delta = \frac{R - R_0}{R_m} \times 100\%$$

式中 R——参数表头指示值；

R_0——电阻箱阻值；

R_m——被测量程满度值。

33. 频率稳定度

frequency stability

定义：在一段时间内频率变化值与频率标称之比称频率稳定度。

技术水平：一般 ≤2×10^{-4}。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 29-37。

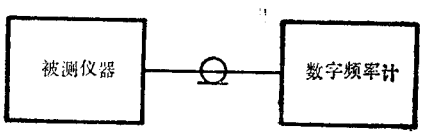


图 29-37

（2）测试步骤

将被测仪器按技术要求进行预热，然后用频率计数器测出一段时间内每隔单位时间内的频率值，依次测得 f_1、f_2……f_n 个频率值，选出 f_{max} 值和 f_{min} 值，频率稳定度按如下公式计算。

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{f_{max} - f_{min}}{f} \times 100\%$$

式中 f_{max}——频率计测得最大值；

f_{min}——频率计测得最小值；

f——频率标称值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

34. 脉冲信号源幅度

pulse source amplitude

符号：u_i

定义：表征脉冲信号源所能提供的最小和最大电平值。

技术水平：一般 ≤5%。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 29-38。

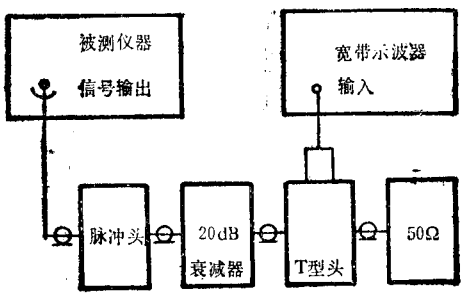


图　29-38

（2）测试说明和要求

严格的按图连接，宽带示波器的指标要符合测量要求。

（3）测试步骤

按图 29-38 连接仪器，脉冲头终端接 20dB 衰减器和 50Ω 负载，通过T型头接宽带示波器，测出脉冲幅度。

35. 脉冲宽度

pulse width

符号：τ

定义：脉冲从上升开始到下降结束所需的时间间隔称脉冲宽度。

技术水平：按被测仪器要求在 0.7～2.5 μs。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 29-39。

（2）电路说明和要求

严格按图 29-39 连接仪器，取样示波器的指标应符合测量要求。

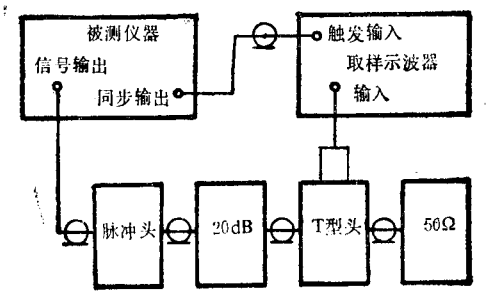


图　29-39

（3）测量步骤

脉冲信号经 20 dB 衰减，再经过T型接头，再连 50Ω 终端负载，然后接到取样示波器去，适当地选择取样示波器的扫速和信号的衰减量，使脉冲波型在屏幕中显示出来，即可读出脉冲宽度。

36. 脉冲上升时间

pulse rise time

符号：t_r

定义：脉冲幅度从 10% 增到 90% 所需时间称为上升时间。

技术水平：一般的 ≤2 ns。

测试方法：与测脉冲宽度相似。

37. 脉冲下降时间

pulse fall time

符号：t_f

定义：负脉冲幅度 10% 增到 90% 所需时间称为下降时间。

技术水平：一般为 ≤2ns。

测试方法：和测脉冲上升时间相同。

38. 中频衰减量

IF-rezection attenuation

定义：分贝（dB）信号的幅度或功率与参考量的比以 10 为底的对数值，称为贝，贝的 1/10 称为分贝。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

技术水平：一般 ≤0.1 dB。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 29-40。

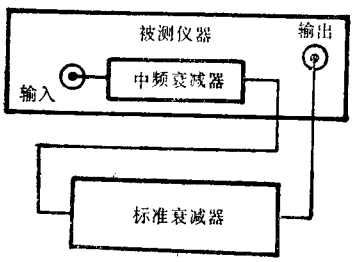


图 29-40

(2) 测试说明和要求

标准衰减器误差小于 3 倍于被测仪器衰减器，用串接法以替代方式来测试衰减器。

(3) 测试步骤

将标准衰减器置 0 dB，被测仪器的衰减量程置某一被测 dB 数(如 3 dB)，然后调节"电平调节"旋钮，使电平表指到"6"定位点，然后去掉已置的被测 dB 数，调节标准衰减器的衰减量，使电平表仍指示为"6"定位置，此时标准衰减器的变化量，即为被测仪器精密衰减器的衰减值。其误差为：

$$\delta = B - A(\mathrm{dB})$$

式中，A——标准衰减器指示值 (dB)；

B——被测仪器精密衰减器标称值 (dB)。

(四) 半导体分立器件极限参数测试仪器

对于半导体分立器件而言，所谓的极限参数，通常系指为防止器件在使用中的损坏而规定的允许使用的参数，例如最大允许工作电流、最大允许使用功率及最大允许工作电压等。由于目前国内外生产的极限参数测试仪器几乎都是用于测试双极性晶体管(以下简称晶体管)的，所以下面仅讨论晶体管的极限参数测试问题。

对于功率晶体管，由于受到正偏二次击穿的限制，随着 V_{CE} 电压的升高，其允许使用的功率将随之下降，通常需要用作图的方法给出其安全工作区。在规定的条件下，通过测试直流状态下的集电极最大允许电流 I_{CM}、热阻 R_{th} 所确定的集电极最大允许耗散功率 P_{CM}、直流二次击穿功率线 P_{SB} 及维持电压 $V_{CEO(sus)}$，在 $\lg I_C$-$\lg V_{CE}$ 双对数坐标平面上作出功率晶体管的直流安全工作区；通过测试脉冲状态下的集电极最大允许脉冲电流 I_{CMP}、瞬态热阻 $Z_{th}(t) = f(t_P)$ (例如单脉冲脉宽 $t_P = 10$ ms、$t_P = 1$ ms···) 所确定的集电极最大允许脉冲耗散功率线 $P_{CMP} = f(t_P)$、脉冲二次击穿功率线 $P_{SBP} = f(t_P)$ (脉宽为 t_P的单脉冲或脉宽为 t_P、占空比 $\delta \leqslant$ 1:16 的连续脉冲) 及维持电压 $V_{CEO(sus)}$，在 $\lg I_C$-$\lg V_{CE}$ 双对数坐标平面上作出功率晶体管的脉冲安全工作区。功率晶体管的直流安全工作区和脉冲安全工作区组成了其安全工作区，如图 29-41所示。

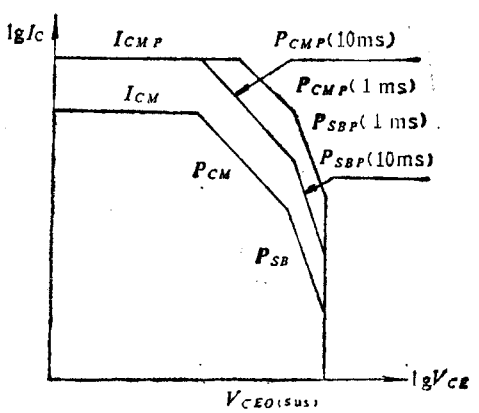


图 29-41 功率晶体管的安全工作区

对于军用功率晶体管，除了给出上述的安全工作区外，还必须按照有关军用标准的规定，测试其直流、脉冲及开关安全工作区的有关参数。对于应用于带有感性负载的功率晶体管，还应测试其反偏二次击穿能量 E_{SB} 及反偏安

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

全工作区。

近年来，晶体管多功能快速筛选仪在我国一些仪器生产厂家陆续投入生产。这种筛选仪的工作原理是对被测器件在短时间(一般为一秒至数秒)内施加较大的电功率使其升温，通过测量升温前后某些热敏参数的变化量 ΔV_{BE}、ΔH_{FE} 和 ΔI_{CEO} 等来判断该器件的性能。这类仪器的主要生产厂家有肖山专用仪器厂、杭州前锋仪器厂，杭州可靠性仪器厂、浙江大学分析测试中心和肖山市戴村镇仪器厂等。

39. 测试功率

measuring power

符号：P_C

定义：被测管集电极的耗散功率，$P_C = V_{CB} \times I_C$。

测试方法：

测试参数时，读出被测管的 V_{CB}（或 V_{CE}）电压及 I_C（或 I_E）电流，用二者的乘积来确定(或近似确定)测试功率 P_C。

40. 热敏参数 V_{BE} 温度系数

thermal parameter V_{BE} temperature coefficient

符号：M

定义：热敏参数 V_{BE} 随温度的变化率，即

$$M = \frac{dV_{BE}}{dT}。$$

测试方法：见指标 41.“热敏参数 V_{BE} 的变化率” ΔV_{BE} 测试方法。

41. 热敏参数 V_{BE} 变化率

thermal parameter V_{BE} change factor

符号：ΔV_{BE}

定义：在室温及晶体管被加热后，分别在基极和发射极间注入小的正向电流并测试其正向压降 V_{BE1} 及 V_{BE2}，二者之差

$$\Delta V_{BE} = V_{BE1} - V_{BE2}$$

定义为热敏参数 V_{BE} 变化率。

测试方法：

该测试方法同时适同于 M 及 ΔV_{BE} 的测试，用于 BJ 2984 型晶体三极管瞬态热阻测试仪的 M 及 ΔV_{BE} 数字电压表的检测。

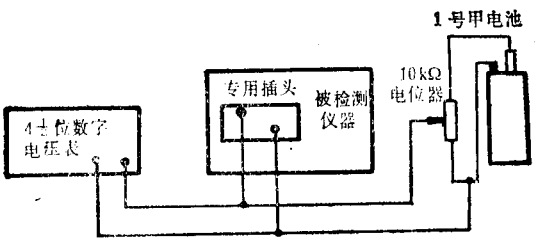


图 29-42　M 及 ΔV_{BE} 数字电压表检定接线图

如图 29-42 连接仪器断开被检仪器电源并拔去测试盒，插入专用 20 线测试插头，自一节 1.5 V 甲电池和分压电位器组成的分压器送入 0～1 V 直流电压至专用 20 线测试插头的 9 和 14 点，并用 4½ 位数字电压表监测此输入电压 V_0。

将被检仪器“校 I_E-测试”开关置于测试端，“I_E 调节”旋钮反时针方向旋到底，“校正-测试”开关置于校正端，“脉宽”开关置于 1s 档。接通被检仪器电源，预热 15 分钟后将被检仪器 M数字电压表校正为 −1.89 mV/℃（此时 T_a 开关应置于 27℃ 档），将 ΔV_{BE} 数字电压表校正为 700 mV。

将“校正-测试”开关置于 Ge 档，调节 10 kΩ 电位器使 V_0 分别为 200 mV 和 400 mV，将“校正-测试”开关置于 Si 档，调节 10 kΩ 电位器使 V_0 分别为 600 mV、800 mV 和 1000 mV。并依次按动“测试触发”按钮，分别记下M数字电压表的读数M和 ΔV_{BE} 数字电压表的读数 V（即 ΔV_{BE} 数字电压表的第一次读数），分别按下式计算误差。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

M数字电压表

Ge档 $$\delta=\frac{|M|-\frac{800\text{mV}-V_0}{300℃}}{\frac{800\text{mV}-V_0}{300℃}}\times 100\%$$

Si档 $$\delta=\frac{|M|-\frac{1267\text{mV}-V_0}{300℃}}{\frac{1267\text{mV}-V_0}{300℃}}\times 100\%$$

式中 V_0——$4\frac{1}{2}$位数字电压表指示值；

M——本仪器M数字电压表指示值。

ΔV_{BE}数字电压表

$$\delta=\frac{V-V_0}{V_0}\times 100\%$$

式中 V_0——$4\frac{1}{2}$位数字电压表指示值；

V——本仪器 ΔV_{BE} 数字电压表第一次指示值。

42. 单脉冲信号脉宽

one-pulse source width

符号：τ

定义：单脉冲信号脉冲宽度。

测试方法：

本方法适用于 BJ 2984 型晶体三极管瞬态热阻测试仪单脉冲信号脉宽的检测。

在 NPN 型晶体管测试盒上插入任一支(10～50) W 的硅 NPN 型晶体管，将 I_E 开关置于 0.1 A 档，"校 I_E-测试"开关置于校 I_E 端，"脉宽"开关置于 10^2 s 档，"脉宽扩展"开关置于 ×1 档。接通被检仪器电源调节 I_E 指示为 0.02 A 左右，将"校 I_E-测试"开关置于测试端，按动"测试触发"按钮，则 I_E 表应指示为 0.02 A 左右，经过 100 s 后电流应自行切断。

在被检仪器后盖板的单脉冲信号输出的高频插座接上高频电缆测试线，用带时间测定器的 E324 型数字频率计检测 τ = 1 ms～1000s 各档脉冲输出脉宽（这时"脉宽"开关应置于相应的测试档并按动"测试触发"按钮），按下式计算误差：

$$\delta=\frac{\tau-\tau_0}{\tau_0}$$

式中 τ——脉冲周期标称值；

τ_0——脉冲周期实际值。

43. 连续脉冲脉宽

continuously pulse width

符号：τ

定义：连续脉冲的脉冲宽度。

测试方法：见指标 44"脉冲周期" T_P 的测试方法。

44. 脉冲周期

pulse period

符号：T_P

定义：连续脉冲的脉冲周期。

测试方法：

本方法适用于 BJ 2983 型晶体三极管正偏二次击穿测试仪的连续脉冲脉宽及脉冲周期的检测。

开启被检仪器电源开关，将"连续脉冲-单脉冲"开关置于连续脉冲端，从后盖板"信号输出"插座外接监测波形电缆至 E 324 数字频率计，测量各档的脉宽，按下式计算误差。

$$\delta=\frac{\tau-\tau_0}{\tau_0}\times 100\%$$

式中 τ——脉冲宽度标称值，

τ_0——脉冲宽度实际值。

脉冲周期 T_P：将"脉宽"开关分别置于 10 μs、100 μs、1ms、10 ms、100 ms 和 1s 档，测量各档的各种空度比脉冲周期，按下式计算误差。

$$\delta=\frac{T_P-T_{P0}}{T_{P0}}\times 100\%$$

式中 T_P——脉冲周期标称值；

T_{P0}——脉冲周期实际值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

45. 占空比

duty factor

符号：η

定义：连续脉冲的脉冲宽度 τ 与脉冲周期 T_P 之比，即 $\eta=\frac{\tau}{T_P}$。

测试方法：

测试连续脉冲的脉冲宽度 τ 和脉冲周期 T_P 后进行计算，以确定占空比 η。

46. 二次击穿保护时间

secondary breakdown protective time

符号：T

定义：自二次击穿信号的前沿(以最大幅度的10% 算起)送入保护电路时开始至被测管发射极电流下降到工作电流的 50% 时止的时间。双踪示波器 A 点的波形即为模拟的二次击穿信号，B 点波形即为电流波形。从示波器上观测 A 点的幅度上升为 10% 的最大幅度时开始至 B 点波形下降到工作电流的 50% 时的时间，即为保护时间 T，如图 29-43 所示(工作电流为 5 A)。

按下列数值检验误差：工作电流为 5 A 时保护时间 $T \leqslant 500$ ns。

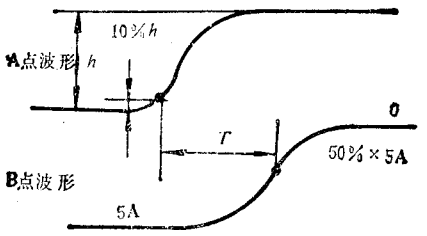


图 29-43　保护时间 T 的测试波形图

测试方法：

本方法适用于 BJ2983 型晶体三极管正偏二次击穿测试仪二次击穿保护时间 T 的检测。

① 打开被检仪器的上盖板，将保护时间监测插头线插入测试电路印制板 (JX11) 上的插座 11 C_{K1} 内，该插头线的引出夹子为测试 A 点。

② 自被检仪器后盖板的“信号输出”插孔接入监测波形电缆线，使其芯线夹子与上述 A 点相连，而其地线夹子与其机壳相联。

③ “电流校准-测试”开关置于测试端。

④ “直流测试-脉冲测试”开关置于直流测试端。

⑤ “脉宽”开关置于 10 μs 档。

⑥ “空度比”开关置于 1:2 档。

⑦ “连续脉冲-单脉冲”开关置于单脉冲端。

⑧ “峰值电流”开关置于 5A 端。

⑨ 用测试盒外接夹子线将测试盒的接线柱“E”与被检仪器的机壳相连。

⑩ 用 50 MHz 双踪示波器测试被检仪器的保护时间，示波器的一组探头芯线与 A 点相联，地线夹子与被检仪器机壳相联，去掉仪器内取样电阻板上的短接线插头，示波器的另一组探头芯线与电流取样电阻和恒流管集电极连接端 B 点相接，地线夹子与 B 相对应的取样电阻的另一端相连。

⑪ 开启示波器和被检仪器的电源开关(若本仪器的“击穿指示”红灯亮时，可按动“击穿复位”按钮使其熄灭)。调节“电流调节”旋钮，使工作电流为 5A，然后将“连续脉冲-单脉冲”开关置于连续脉冲端 (此时“击穿指示”红灯将略发亮，电流表指示值应下降到预调的工作电流值的一半左右)，即可从双踪示波器上观测被检仪器的保护时间。

47. 集电极电流变化率

collector currect change factor

符号：K

定义：晶体管在注入脉宽为 τ 的单次脉冲电流结束前的集电极电流 I_{C2} 与电流初始注入瞬间的集电极电流 I_{C1} 之比，称为集电极电流变化率

www.789pdf.com 789书库网

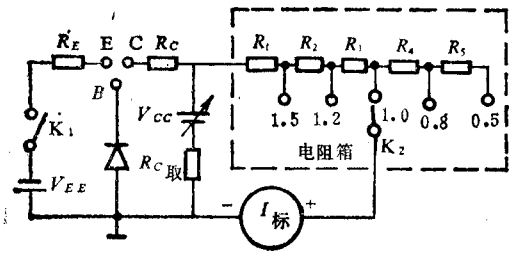
www.789pdf.com 789书库网

K： $K=\frac{I_{C2}}{I_{C1}}$。

测试方法：

本方法适用于 BJ 2986 型晶体管直流、脉冲及开关安全工作区测试仪集电极电流变化率 K 的检测。

K 数字电压表的检定



注：$R_{C取}$ 为 I_C 电流的取样电阻。

图 29-44 K 数字电压表的检定接线图

K 数字电压表检定时可按(图 29-44)所示接线。将自制的电阻箱 R_1 的一端(红色接线柱)与配套电源电压正输出端(配套电源面板下部的红色接线柱)相联，电阻箱的波段开关的主刀(黑色接线柱)与标准直流电流表 $I_{标}$ 的正端相联。$I_{标}$ 的负端与本仪器机壳导电部分(即"地"电位)可靠联结。并将电阻箱的K开关置于"1.0"档。

在本仪器开启及测试盒不接被测管的状态下，将占空比开关置于"单次"档。预置-测试开关置于"测试"端。脉宽开关置于"1s"档，脉宽扩展开关置于"×5"档，I_C 电流开关置于"1A"档。

调节配套电源输出电压 V_{CC}(约为 20 V 左右)，使标准直流电流表的指示值 $I_{标1}=600$ mA。按动测试触发按钮，这时本仪器的 I_C 数字电流表将指示 600 mA 左右，指示 I_C 电流后立即搬动电阻箱的波段开关K置于"0.5"档(该过程应在 I_C 电流显示后的 5 秒钟内完成)，记下此时标准直流电流表指示值 $I_{标2}$ 及本仪器在 I_C 电流显示 5 秒后在K数字电压表上所显示的数值 K_1(该值 K_1 为实际的检测点，与电阻箱预置的K值检测点略有不同，但二者检测点的偏差应≤±5%)。用同样的方法可以检测 $K=0.8$、$K=1.0$(这时不需搬动电阻箱的波段开关 K)、$K=1.2$ 和 $K=1.5$ 时的K数字电压表精度。按下式计算误差。

$$\delta_K=\frac{K_1-K_0}{K_0}\times 100\%$$

式中 K_1——本仪器K数字电压表指示值；

K_0——K 实际值 $K_0=\frac{I_{标2}}{I_{标1}}$。

* * *

本章技术指标和测试方法中所用的主要测试仪器，汇总列表如下。

主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
直流标准电压表	$3^1/_2$～$5^1/_2$位 DVM 或 DMM(V_{DC}) 如 8840A、1905A、248、4410、3020 等	JJG315-83
直流标准电流表	$3^1/_2$～$5^1/_2$位 DMM (I_{DC}) 如 8840A、1905A、248、4410、3020 等	未制定
直流标准电阻箱(或标准电阻)	0.001Ω～100kΩ ～100mΩ 如 BZ3、ZX38、ZX1A、HY2501 等	JJG126-76 (电阻箱) JJG166-84 标准(电阻)
直流标准电压源	0～1kV～5kV 如 DO11、BY2053、PS350 等	JJG494-86

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续　表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
直流标准电流源	0～10A～100A 如 DO11、YJ98、DOS106 等	
图示仪校准仪	V_C: 0～1kV、I_C: 0～10A V_S: 0～20V、I_S:0～2A 如 BJ4801、4801A、GH2050、2051 等	
高灵敏度示波器	DC～100kHz 具有差分输入 如 SBR-1、SR12 等	JJG262-81 (通用)
音频频率计	PS-2 型	
数字频率计	E312 型、21 型 E324 (带时间间隔)型	
真空管毫伏表	GB-9B 型	JJG250-81
高频毫伏表	HFJ-8 型	JJG326-84
超高频信号源	XFC-1、XG14	JJG324-83
宽带示波器	2465 型	JJG411-86
取样示波器	SAS601B	
标准衰减器	WS3701	JJG322-83

第 5 节　半导体分立器件测试仪器按门类的量值传递表

1.晶体管直流参数检定系统

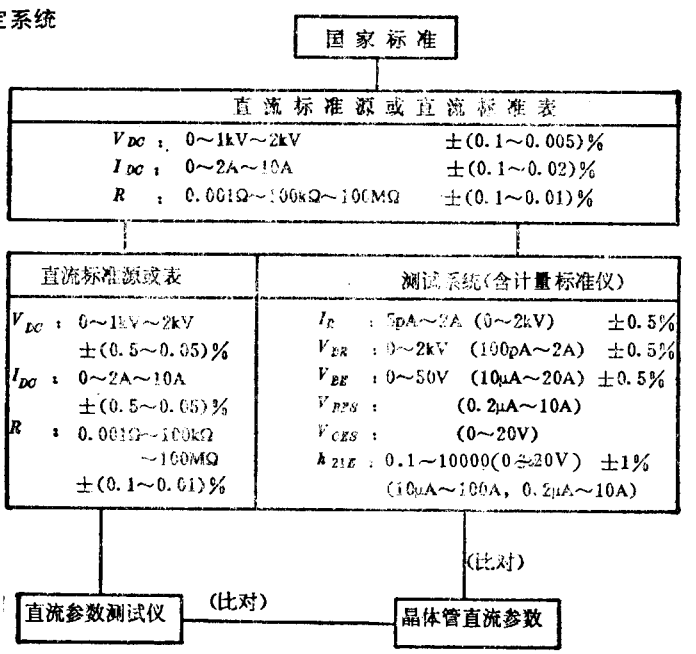


图　29-45

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2.晶体管特性图示仪及其校准仪检定系统

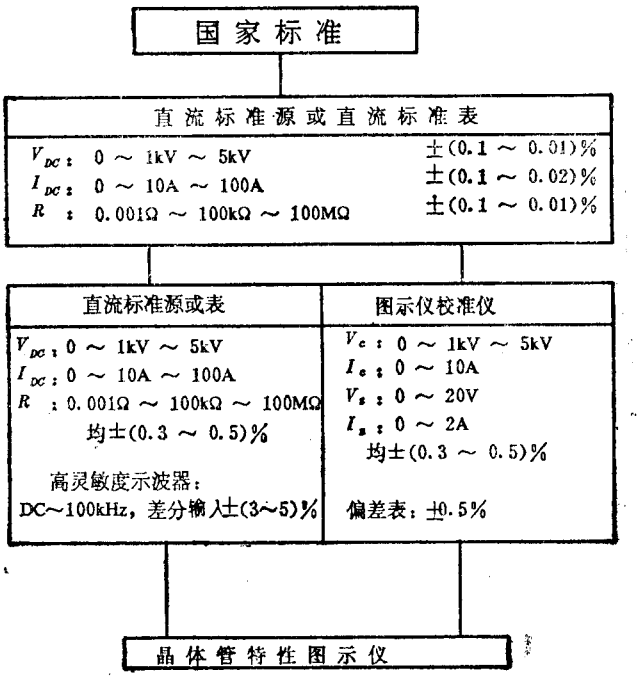


图 29-46

3.晶体管交流参数检定系统

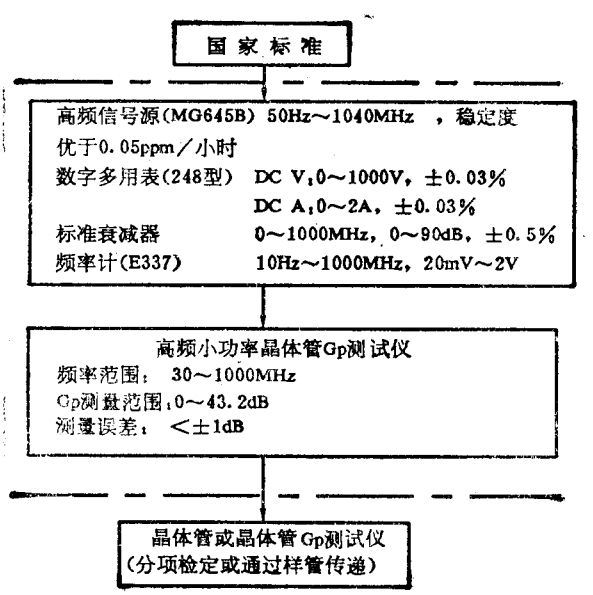


图 29-47

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4.晶体管 f_T 检定系统

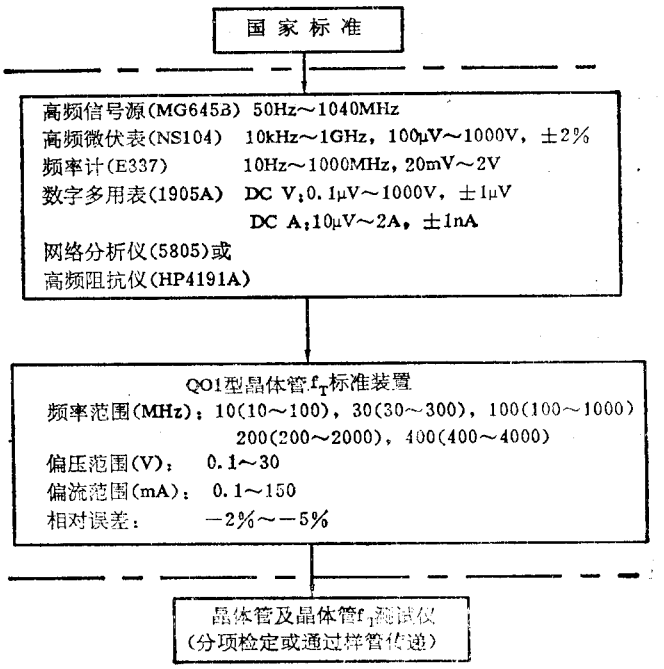


图　29-48

5.晶体管高频噪声系数检定系统

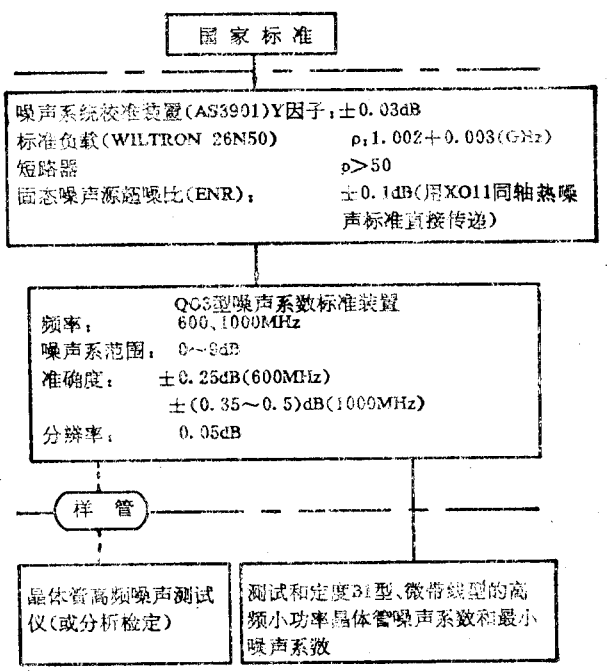


图　29-49

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6.晶体管开关参数检定系统

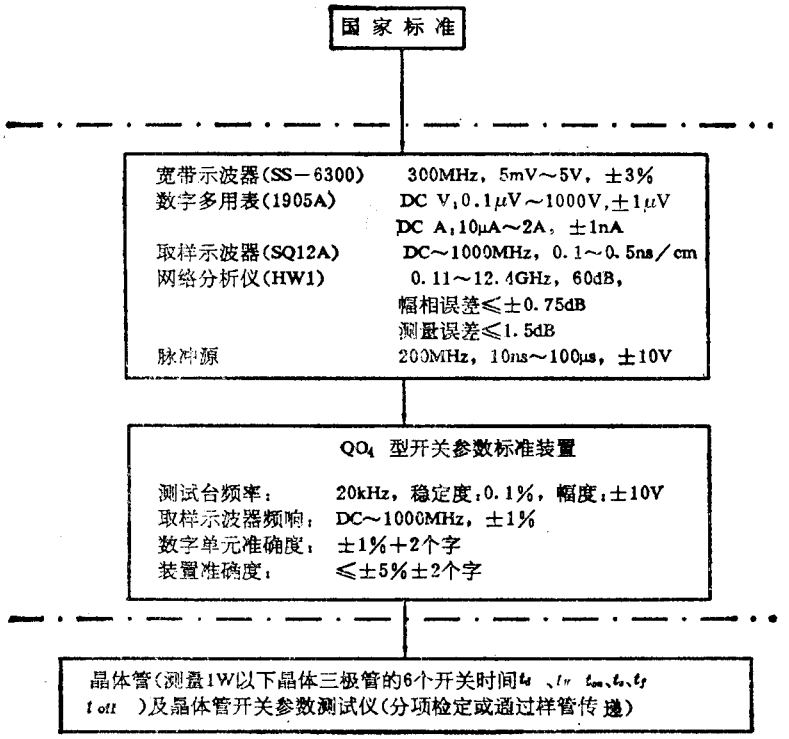


图 29-50

7.晶体管极限参数检定系统

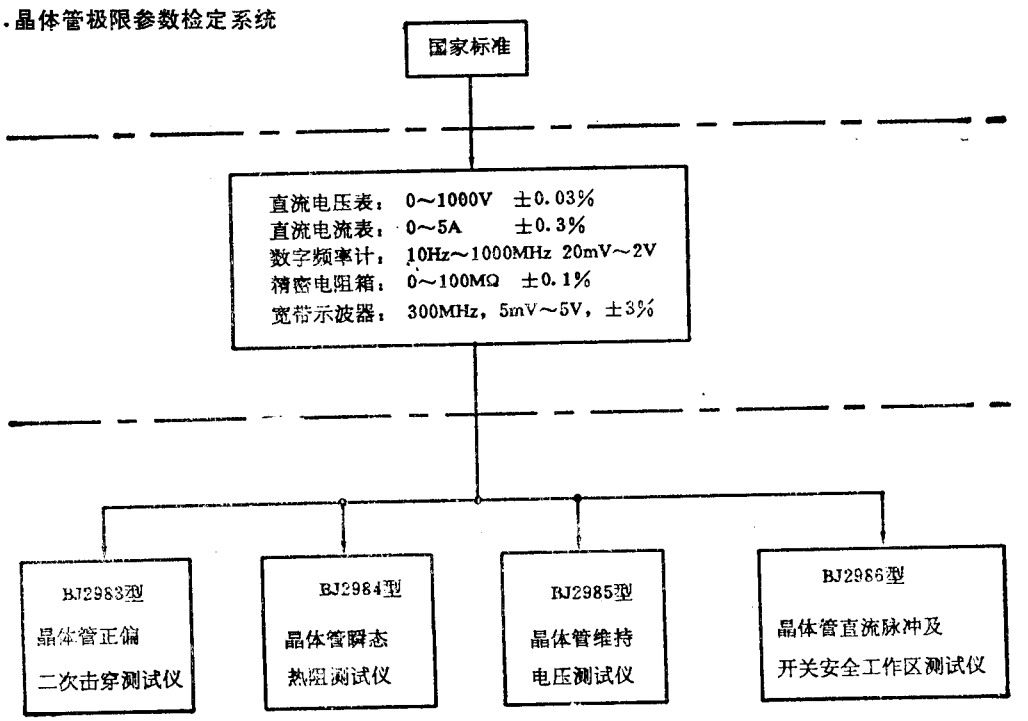


图 29-51

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第30章 集成电路测试仪

第1节 综 述

自从1958年美国德克萨斯仪器公司（TEXAS INSTRUMENTS）推出第一块集成电路(IC)以来，电子工业取得了突破性的进展。集成电路的出现，不仅推动了电子计算机、电子信息技术的发展，而且关系到国民经济、国防建设和人民物质文化生活等各个领域的发展。今天，集成电路是电子行业最重要的基础产品之一，集成电路技术是微电子技术的核心。

集成电路测试是保证其性能、质量与发展的关键手段之一，集成电路测试技术是发展集成电路的三大支撑技术之一。因此，集成电路测试仪(或测试系统，下同)作为一个新兴的测试门类受到工业发达国家的高度重视，并与集成电路同步发展。30年来，集成电路发展到第四代，集成电路测试仪也从最初测试小规模集成电路发展到测试中规模、大规模集成电路，到了80年代，超大规模集成电路测试仪进入全盛时期。

集成电路测试仪是一种测量集成电路直流参数、交流参数或逻辑功能的计量器具，它是由多种单一电学、电子或无线电测量仪器(或单元)组合而成。集成电路测试仪的测量部分由三大部分构成：一是产生被测集成电路工作条件的各种电压、电流源；二是测量所需要的各种信号源；三是各种测量仪表(或单元)。由于集成电路功能复杂、参数众多及其大批量、高效率生产应用测试，迫使集成电路测试仪必须实现自动化。在各类电子仪器中，集成电路测试仪较早也最普遍采用计算机辅助测试（CAT）。现代集成电路测试仪，集电子计算机软件和硬件技术、自动化技术、通信技术、精密电子测量技术于一身，表现出强烈的技术密集性特征，因此，其价格通常较为昂贵。评价集成电路测试仪的技术水平，一般是以功能测试速率、测量通道数、时间测量分辨力、直流测量精度和分辨力、缓冲存储器容量等主要技术指标为依据。

在集成电路发展初期，没有专门的集成电路测试仪。而是由通用电子测量仪器(如电压源、电流源、电压表、电流表、示波器等）围绕着装有集成电路的夹具组成一个测试环境。这样的测量装置和测量方法不但在速度与效率上不可取，而且根本上无法胜任日趋复杂的IC测试。美国仙童(Fairchild）半导体公司首先意识到自动测试设备的重要性，1960年该公司测量设备部应用自动化技术，推出了用编程自动顺序控制的Model 300型半导体测试仪，提高了测试速度，降低了成本。同年成立的泰瑞达（Teradyne）公司，以开发半导体自动测试设备为目的，由此诞生了ATE产业。1964年，仙童公司又开发出Model 4000型第一台半导体集成电路自动测试仪。接着，德克萨斯仪器公司制造出Model 553型集成电路自动测试仪。1967年泰瑞达公司把电子计算机与测试设备结合起来，为ATE开辟了新天地。这是ATE发展史上的一个里程碑。

集成电路测试仪的发展过程可以粗略地分为四个时代。第一代始于1965年，测试对象是小规模集成电路，可测管脚数达16只。用导线连接、拨动开关、按钮插件、数字开关或二极管矩阵等方法，编制自动测试序列，仅仅测量IC外部管脚的直流参数。第二代始于1969年，此时计算机的发展已达到适用于控制测试仪的程度，测试对象扩展到中规模集成电路，可测管脚数24个，不但能测试IC的直流参数，还可以用低速图形测试IC的逻辑功能。这是一个飞跃，众所周知功能测试是集成电路的重要测试项目。测试仪采用计算机控制，测试生成容易，操作灵活，还能对

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试结果进行数据处理。第三代始于1972年，这时的测量对象扩展到大规模集成电路（LSI），可测管脚数达60个，最突出的进步是把功能测试的图形速率提高到10 MHz。前一代测试仪用计算机数据产生集成电路功能测试图形，受到计算机数据传输速率的限制，达不到高速集成电路实际工作速度。用低速图形测试逻辑功能往往不能评价IC在高速工作的状态而使低速功能测试结果失去意义。第三代测试仪用高速暂存器产生测试图形，大大提高了功能测试速率，解决了高速集成电路功能测试问题，推进了集成电路的发展。从1975年开始的发展，有人称为三代半，测试对象为大规模、超大规模集成电路（LSI/VLSI），可测管脚剧增到128个，功能测试图形速率提高到20 MHz。不但能有效地测量CMOS电路，也能有效地测量TTL、ECL电路。此时作为独立发展的半导体自动测试设备，无论其软件、硬件都相当成熟。1980年测试仪进入第四代，测量对象为VLSI，可测管脚数高达256个，功能测试图形速率高达100MHz，测试图形深度可达256K以上。测试仪的智能化水平进一步提高，具备与计算机辅助设计（CAD）连接能力，利用自动生成测试图形向量，并加强了数字系统与模拟系统的融合。有些系统实现了与激光修调设备连机工作，对存储器、A/D、D/A等IC芯片进行修正。从1970年仙童公司形成Sentry系列以来，继而形成系列的还有泰克（Tektronix）公司的3200系列、泰瑞达公司的380系列、A300系列、日本安藤电气（Ando Electron）的8000系列、武田理研的T3100、T320、T3700系列以及美国Megatest公司的Q-11系列，都取得较好的效益。

80年代后期，测试仪的功能测试速率已达200 MHz以上，可测管脚数最多可达512个，甚至1024个。最近一种被称做“ULTIMATE”的VLSI测试仪在日本NTT公司问世。该仪器功能测试速率突破500 MHz、定时精度±55ps，可测管脚数192个。测试仪的发展速度是惊人的。

随着集成电路日趋复杂化，今后将面临着超集成、超高速、多功能和多管脚的测试问题，因此，集成电路测试仪将朝着超高速、高精度、多管脚、数模混合、模块化方向发展，并与CAD、CAM联接。

当前，集成电路测试仪的服务面日益广泛，需求量越来越大。它从当初仅仅为集成电路的科研、生产服务，扩展到为国民经济各个领域服务，特别对电子计算机、通信、自动化、家用电器等方面起着积极的作用。美、日等工业发达国家大量、普遍地使用集成电路测试仪，需求量约以20%年增长率增加。1989年，集成电路测试仪销售额达20多亿美元。

我国在70年代初就开始了集成电路测试仪的研制工作，国产集成电路测试仪的水平，特别是自行设计能力有较大提高，测试理论、测试方法、测试系统的研究试验工作受到国家重视，初步形成一支科研、设计、制造的技术队伍。国内研究或制造集成电路测试仪的研究所与工厂大约20个，工程技术人员约有500名。主要有中国科学院计算技术研究所、半导体所、北京自动测试技术研究所、光华无线电仪器厂(767厂)、北京无线电仪器厂。1986年，科学院计算技术研究所研制成功ICT-2 LSI/VLSI综合测试系统，功能相当于泰瑞达公司的J941，功能测试速率10MHz/20MHz，通道数48(128)，OTA±2ns。1987年北京自动测试技术研究所研制成功BC3170存储器测试系统，功能测试速率20MHz，通道数32个。同年，光华无线电仪器厂推出GH3123型集成电路自动测试仪，北京自动测试技术研究所对美国I-100 TM6仿制成功，这两种采用CAT技术的中小规模集成电路测试系统，标志着国产中小规模集成电路测试仪的技术水平进入新的发展时期和走向实用阶段。同期光华无线电仪器厂还研制成功测试速率30MHz(TTL)、50MHz(ECL)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

功能测试的单机，北京无线电仪器厂推出了集成运放图示仪。不久，光华无线电仪器厂的功能测试速率为10MHz的16M位存储器测试仪，北京无线电仪器厂的仿美GR1732测试仪可望投放市场。

国产集成电路测试仪虽有一定的发展，但与国际水平存在很大差距。市场上60多个型号国产测试仪，中小规模占80%，只有少数采用计算机辅助测试，多数属于手动或组合逻辑控制、功能用"比较法"测试的简易型产品。ICT-2、BC3170类大系统，由于价格、可靠性、实用性等因素导致没有实用化。因此，国内依靠进口解决科研、生产与应用测试。要彻底改变国产集成电路测试仪技术落后的局面，需要国家高度重视，高强度投资，扶植重点企业，制定发展规划，重点发展集成电路测试。根据国内现实情况，解决40MHz，通道数128个的测试系统是必须的，也是完全可能的。

由于集成电路种类繁多，且测试目的、测试项目、应用场合要求也多种多样，适应这种客观需要，发展出了很多类型的集成电路测试仪器。据不完全统计，国外集成电路测试仪器约有近20个门类、60多个品种、500个以上的型号。集成电路本身的复杂化导致了集成电路测试仪器的复杂化。

集成电路的大批量高效率生产和广泛的应用，迫使集成电路测试仪器加速进行测试的自动化。目前，在各类电子测量和测试仪器系统中，集成电路测试仪是较早和最普遍实现半自动和自动测试的门类之一。

电子计算机技术是实现现代自动化的关键之一。集成电路测试仪器系统是最早采用电子计算机的仪器门类。

通信技术是实现现代自动化的另一个关键要素。当前，先进的大规模/超大规模集成电路测试系统已经采用了现代通信技术。

集成电路技术的进步是发展集成电路测试仪器的前提。

现代精密自动电子测量技术、现代电子计算机硬件和软件技术、现代通信技术和现代自动化技术是集成电路测试仪器发展的技术基础。促使集成电路测试仪器以很快的速度不断地更新换代。

由于集成电路测试仪器的技术先进、构成复杂、更新换代快、型号繁多等因素，使我们在选择、操作、维护、修理、检定这类仪器时遇到很多困难。在广泛采用了电子计算机技术、实现了半自动和自动化测量的集成电路测试仪器中怎样进行计量和检定，也是个新问题。

国外的集成电路测试仪器大致可分为四个等级。精密型集成电路测试系统属最高等级。主要是用于研究和开发，这类仪器精密度高、功能强、通常都配有较强的计算机和完善的软件，通过软件和硬件的密切配合，保证系统的高精度。生产型的集成电路测试系统属第二等级。其特点是高效率和高可靠性。第三等级是用于集成电路成品检验、进厂验收测试的集成电路测试仪，多数是用微机控制的台式测试仪器。最低档的是简易型集成电路测试仪，多数用于维修电子设备时对集成电路进行简易测试。日本重视开发和生产高档的两类。美国不仅重视高档的，也相应地发展第三级。简易的则以欧洲居多。

在数字集成电路测试系统中，常以测试速率、测试通道数、缓冲存储器容量、时间测量分辨力、直流测量精度和分辨力等指标来衡量其水平。在通用大规模、超大规模集成电路测试系统方面。1980年日本武田理研公司研制出了T3380型超大规模集成电路测试系统，其测试速率最高为

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

100MHz，测试通道数为 192 路输入输出通道，在使用高速型测试台时，系统的总时间精度可达±500 ps。随后，美国的 GenRad 公司也研制出了测试速度为 120 MHz 的超大规模集成电路测试系统，其系统的总时间精度为 750ps，测试通道数为 288 路输入输出通道。

目前已进入批量生产和实用阶段的是 40～50 MHz 的大规模和超大规模集成电路测试系统。这些系统的测试通道数一般为 144～256 路，其缓冲存储器容量为 32～264 K，系统的总精度为±500～±800 ps。日本武田理研的 T3340 型和安藤电气工业株式会社的 DIC-8035B 型等测试系统，都是目前的主力机型。

在半导体存储器测试方面，目前以日本武田理研工业株式会社的半导体存储器测试系统的水平较高，该公司的 T3370 型存储器测试系统的最高测试速率为 100MHz，系统总时间精度为±500 ps，具有三维地址的算法测试图形发生器（9X，9Y，9Z），可对高速大容量半导体存储器进行快速测试。该公司的 T3331 型存储器测试系统的测试速率为 40MHz，系统总时间精度为±700ps，也具有三维地址算法测试图形发生器，系统可测大于 256K 位地址的大容量半导体存储器，日本港电子株式会社的 9300 M 型存储器测试系统的测试速率为 30MHz，测试通道数为 64 路。

大部分存储器测试系统都是 20MHz 或 25MHz 的，如日本安藤电气公司的 DIC8020B/E，美国 Teradyne 公司的 J385A、J387A、J389 都是 25 MHz 的产品。

模拟集成电路测试系统发展迅速，技术指标提高很快，并向大型化测试系统发展。典型产品有美国 LTX 公司的 LTX77 型，Teradyne 公司的 A 300 系列，Fairchild 公司的 Series80，日本安藤电气公司的 DIC8061，Shibasoku 公司的 WL-8000 系列等。这些模拟集成电路测试系统用于测试各种工业、通信及民用的复杂模拟或数字模拟混合的大规模集成电路。

当前，这类系统的最高指标是：直流参数的最高测试精度为± 0.004%，线性度分辨力可达 0.0004%、低失真度信号源的失真度为 0.005%（美国 Teradyne 公司的 A300 系列）。LTX 公司的 LTX77 系统具有 19 位的模拟-数字变换器。

最近有一种无接触测试系统出现。现有的测试系统采用机械探针（触点），通过连线与管脚对集成电路芯片实际测试。随着 IC 的集成度越来越高，管脚数不断增加，通过有限的测试点已经很难对芯片的各种参数进行测量。为此采用激光束和电子束的非机械接触测试系统。如美国光电子动态公司采用激光束进行测试的 VLSI 测试系统和日本 Advantest 公司采用电子束进行测试的 EI32 型 VLSI 测试系统。另外，席伦伯格公司研制出的 IDS5000 系统，系统用 CAE/CAD 软件与电子扫描显微镜相连，实现对芯片的无接触测试，可测门阵列，M位 DRAM，μp 等，售价 50 万美元。

第2节 集成电路测试仪的分类

集成电路是具有复杂功能、众多参数的微电子电路。

有多种工作机理不同工艺途径来实现同一功能微电子电路的集成。

随着微电子技术的发展，实现了日益增高的集成度，而且电路的工作速率也日益提高。

集成度不同，电路功能不同，电路工艺类型不同，电路工作速率不同，其测试要求也不同。此外，集成电路在研制、设计、开发阶段、生产阶段、使用阶段的测试要求差别也很大。为此，发展了

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表30-1 集成电路测试仪器分类简表

- 集成电路测试仪
  - 数字集成电路测试仪
    - 中小规模数字集成电路测试仪
      - 中小规模数字集成电路直流参数测试仪
      - 中小规模数字集成电路功能测试仪
      - 中小规模数字集成电路动态参数测试仪
      - HTL 中小规模数字集成电路测试仪
      - TTL 中小规模数字集成电路测试仪
      - ECL 中小规模数字集成电路测试仪
      - 双极型中小规模数字集成电路测试仪
      - PMOS 中小规模数字集成电路测试仪
      - NMOS 中小规模数字集成电路测试仪
      - CMOS 中小规模数字集成电路测试仪
      - MOS 中小规模数字集成电路测试仪
      - 中小规模数字集成电路综合测试仪
    - 大/超大规模数字集成电路测试仪
      - 半导体存储器测试仪
        - 只读存储器测试仪
        - RAM 功能测试仪
        - RAM 测试仪
        - ECL RAM测试仪
        - MOS RAM 测试仪
        - 半导体存储器通用测试仪
        - 大规模集成电路存储器测试系统
        - 超大规模集成电路存储器测试系统
      - 逻辑电路测试仪
        - 电子钟、表集成电路测试仪
        - 计算器集成电路测试仪
        - 微处理器及外围电路功能测试仪
        - 门阵列集成电路测试仪
        - 大规模集成逻辑电路测试仪
        - 大规模集成逻辑电路测试系统
        - 超大规模集成逻辑电路测试仪
        - 超大规模集成逻辑电路测试系统
      - 大/超大规模集成电路通用测试仪
        - 大规模集成电路通用测试仪
        - 大规模集成电路通用测试系统
        - 超大规模集成电路通用测试仪
        - 超大规模集成电路通用测试系统
    - 高速超高速集成电路测试仪
      - 超高速集成电路动态参数测试仪
      - 高速集成电路动态参数测试仪
      - 超高速集成电路功能测试仪
      - 高速集成电路测试仪
      - 超高速集成电路测试系统
  - 模拟集成电路测试仪
    - 工业用模拟集成电路测试仪
      - 集成运算放大器测试仪
      - 集成稳压电源测试仪
      - 集成比较器测试仪
      - 集成模拟数字转换器测试仪
      - 集成数字模拟转换器测试仪
    - 音像模拟集成电路测试仪
      - 集成音频放大器测试仪
      - 集成功率放大器测试仪
      - 集成收录机电路测试仪
      - 电视机集成电路测试仪
      - 录像机集成电路测试仪
    - 通信模拟集成电路测试仪
      - 通信模拟集成电路测试仪
    - 模拟集成电路通用测试仪
      - 模拟集成电路通用测试仪
      - 模拟集成电路通用测试系统
    - 其他模拟集成电路测试仪
  - 集成电路综合测试仪
    - 数字模拟集成电路综合测试仪
    - 数字模拟集成电路综合测试系统
  - 其他集成电路测试仪
    - 集成电路直流参数测试系统
    - 集成电路热阻测试仪
    - 集成电路图示仪
    - 集成电路噪声测试仪
    - 专用集成电路测试仪

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

形形色色、种类繁多的集成电路测试仪器。这些仪器大都是按集成电路的测试参数、工艺类型、功能类别、集成度、工作速率以及测试目的和仪器的用途等因素之一项或几项组合来设计的。

按集成度来分，有小规模集成电路测试仪、中规模集成电路测试仪、大规模集成电路测试仪、超大规模集成电路测试仪。

按工艺类型来分，包括双极型集成电路测试仪、单极型集成电路测试仪及集成电路通用测试仪等。双极型电路包括 TTL、LTTL、STTL、LSTTL、HTTL、FTTL、ASTTL、I^2L、RTL、DTL、HTL、ECL 等，相应的有 TTL 集成电路测试仪，ECL 集成电路测试仪等等。单极型的代表是 MOS 集成电路，它又包括 PMOS、NMOS、CMOS、HCMOS 型等。工艺类型不同，集成电路的工作电压、功耗、高低电平数值、工作速率、抗干扰能力等都有差异。

按测试仪器的测试目的和用途来分，有精密集成电路测试系统，生产线用集成电路测试设备，进货验收用集成电路测试仪和集成电路简易测试仪等。

但实践中并不按某种单一因素的分类来设计测试仪器，往往是根据使用目的进行最佳组合设计。例如，中低等集成度中规模集成电路的测试要求与小规模集成电路相似，较高集成度中规模集成电路测试要求与中低集成度的大规模集成电路相近，而较高集成度大规模集成电路的测试要求又与超大规模集成电路相仿，于是又有中小规模集成电路测试仪、中大规模集成电路测试仪、大规模/超大规模集成电路测试仪等。直流参数、逻辑功能这两项是大多数数字集成电路的基本测试项目，而动态参数测试则对高速、超高速集成电路更为必需。故从按参数分类而言，大多数集成电路测试仪都是既测直流参数，又测逻辑功能的组合仪器，且由于动态功能可以较好地反映被测集成电路的实际工作性能，因而是受到人们重视的测试项目。为了扩展集成电路测试仪器的应用范围，多数仪器都具有可测试多种工艺类型集成电路的能力。如既可测 TTL 电路，又可测 MOS 电路等等。

集成电路以很高的速度发展，不论是集成度，还是工作速率、电路功能、工艺技术等都是如此。目前，国外已进入超大规模集成电路时代，与此同时，超高速集成电路也是一个重要的发展方向。此外，模拟集成电路近几年有很大发展，在比重上已超过了数字集成电路。在这种形势下，集成电路测试仪器也不断地更新换代，迅速变化其品种和性能。

综合以上多方面的情况，根据我国集成电路测试的现状和发展的需要，归纳出了集成电路测试仪器分类表，如表 30-1 所示。

表 30-1 中所列的集成电路测试仪器仅用于集成电路参数和性能的测试。不包括集成电路制造工艺流程中的多种化学量、几何量等非电量的测试，也不包括一些工艺性电参数的测试。

第3节 检定项目及典型检定方法

(一) 集成电路测试仪的检定特点

集成电路测试仪的检定实质与一般电子测量仪器或电量发生器的检定一样，是要确认它们组成资源的技术指标是否满足设计规定的技术条件。在此意义上说，集成电路测试仪的检定与一般电子测量仪器及电量发生器的检定无大的区别。不外乎是用高一级的标准仪器(电压表、电流表、电量发生器等)及高一级的电参数模块(标准电阻、电容等)与集成电路测试仪的资源的技术性能

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

进行比较，从而定量地评价集成电路测试仪的技术状态。但集成电路测试仪具有与一般测试仪不同的特殊性，因而对它们的检定也产生如下的一些特点。

1. 集成电路测试仪的检定项目较多。与一般的测量仪器及发生器相比，集成电路测试仪的检定项目要多很多。例如对单测数字电路的数字集成电路测试仪 1732 M 而言，就要检定其机内直流数字电压表的不同量程的精度、线性、分辨率，直流电流表的精度、线性、分辨率，参数测量电路的施加电压及电流的范围、线性、精度、分辨率，电流界限设定的精度，被测器件供电程控电源的精度、分辨率；驱动器驱动电平的范围、精度；输出阻抗、压摆率；读出器感受阈值的精度，时钟的频率精度，控制及选通脉冲沿的设定精度等等，这就使集成电路测试仪的检定需要较多的高一级的标准仪器及标准电参数模块，也使检定需要熟练的操作人员及花费较多的时间。

2. 集成电路测试仪有如上例所举的众多检定项目，每个项目有多个档次，每档次中至少要选上限、中点及下限量值进行检定(为检定线性及分辨率往往要加检测点)。又如对驱动器、读出器及有源负载电流的检定，由于集成电路测试仪的通道很多（24 到 512 个），每个通道的驱动器、读出器、有源负载电流又都需在高电平、低电平下进行检定。还有在现代的 LSI、VLSI 测试仪中，直流测试单元不只一个，随着通道数的增加而增加。诸如此类的因素组合在一起，不难想象，检定点的数量是很可观的。

3. 从以上两条可以想到，集成电路测试仪的检定靠手工操作是很困难甚至是不可行的，费时费工也保证不了可信度，必须是自动的或是半自动的。例如 1732 的检定采用半自动，完整地检定一遍也要用 6～8 小时。

4. 集成电路测试仪的检定除需要外部的标准仪器及电参量模块外，通常还需要测试仪随机器提供的检定板及检定程序，甚至还有些检定辅助器件，这些检定资源可把外部检定设施及内部被检资源联系起来，使有关的线路单独运行。在连续或触发方式下工作，使被检定项目是外部可触及的及可呈现的。在检定程序中有专门的段落对检定所得数据自行处理并给出直观的结果评价。如果想作一个针对某一型号的集成电路测试仪的具有独立控制器的自动检定装置，通过 IEEE-488 接口与测试仪相连，进行全自动检定，在理论上是可能的，在实践中则是困难很多且耗资巨大的。

5. 由于集成电路测试仪的检定通常是自动的或半自动的，并需要自动对检定数据进行处理及判别，因此检定是在计算机控制下程控进行的，检定的项目虽然是硬件的指标，检定的结果却还依赖于检定的正确性及可靠性，即检定的软件本身是合理的、完好的，错误的软件不能真实反映被检硬件的技术性能。

6. 由于集成电路测试仪的检定多数是自体进行的(用自己的计算机控制，用自己的许多资源参入检定)，故任何项目的检定需其它部分也处在正常工作时才能进行，故通常在作检定前需对测试仪本身作全面的操作确认，验证测试仪能全面正常工作后再进行检定。

（二）集成电路测试仪的检定项目

不同型号的集成电路测试仪的检定项目不同，与它们的组成构造密切相关。通常按数字逻辑集成电路测试仪、半导体存储器测试仪、线性集成电路测试仪，以及通用集成电路测试仪来分类讨论检定项目较为合适。这里所说的通用集成电路测试仪是指能包罗测试数字逻辑、存储器及线性集成电路的综合测试仪，这也是集成电路测试仪的发展趋势之一。各类测试仪检定项目见表 30-2。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 30-2 各类测试仪的检定项目

检定项目	逻辑电路测试仪	存储器测试仪	线性集成电路测试仪	通用集成电路测试仪
机内直流数字电压表：测量范围、精度、线性、分辨率	●	●	●	●
机内直流数字电流表：测量范围、精度、线性、分辨率	●	●	●	●
直流参数测试单元：施加电压范围精度、线性、分辨率、负载能力	●	●	●	●
直流参数测试单元：施加电流范围精度、线性、分辨率、负载能力	●	●	●	●
被测器件供电电源：电压范围精度、线性、分辨率、负载能力	●	●	●	●
被测器件供电电源输出电流测试：范围、精度、分辨率	●	●	●	●
驱动器：驱动电压电平范围精度、分辨率、负载能力	●	●		●
驱动器压摆率	●	●		●
驱动器通道时偏	●	●		●
驱动器输出阻抗	●	●		●
读出器：比较阈值设定范围、精度、输入阻抗、通道间时偏、压摆率	●	●		●
动态负载电流源：电流设定范围精度、分辨率	●	●		●
系统主时钟：频率精度	●	●	●	●
定时脉冲：延时、脉宽精度	●	●		●
程控基准电压的量值及其精度	●	●	●	●
直流电压测试信号：量值及精度			●	●
直流电流测试信号：量值及精度			●	●
脉冲电流测试信号：幅值及精度			●	●
音频信号源：频率、幅度及精度失真度			●	●
音频电压表：精度			●	●
中频信号源：频率范围及精度、幅值及精度			●	●
射频信号源：频率范围及精度、幅值及精度			●	●
⋮				

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（三）集成电路测试仪检定项目的典型方法举例

集成电路测试仪的种类很多，组成的资源相差很大，检定项目也很多，方法也不尽相同，同一项目可采用不同的方法检定，各种机器提供的检定板及检定程序都有很大差别，难以一一详述，仅就较通用的一些项目的半自动检定方法举例如下。

1. 机内直流数字电压表的检定（测量范围、精度、线性、分辨率）

（1）检定连接图，如图 30-1。

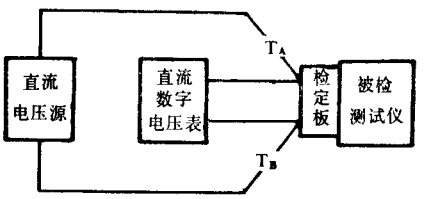


图 30-1

（2）检定方法简介：

直流电压源及直流数字电压表为较高精度的外接仪器。

通过检定板 T_A、T_B 两点与被检测试仪机内数字直流电压表相连。

检定点电压由手动直流电压源设定。

起动检定程序被检表测试检定电压存入存储器。

视读外接数字电压表示值并用键盘输入被检仪。

起动数据处理程序比较二测试值并在CRT上显示二者差值及合格与否的信息。

分辨率的检定可在任二检定点之间设其差值为分辨率而得到，线性的检定可适当多设检定点而得到。检定点一般在 CRT 上由程序提示。

2. 机内直流数字电流表的检定（测量范围、精度、线性、分辨率）

（1）检定连接图，如图 30-2。

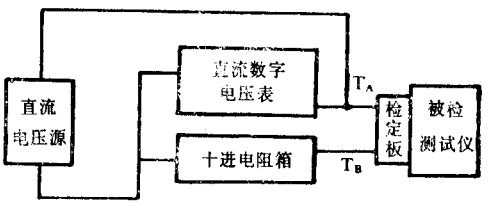


图 30-2

（2）检定方法简介：

由外接直流电压源，直流数字电压表及十进制电阻箱手动设定电流检定值从 T_A、T_B 与被测仪数字电流表相连。

起动检定程序，被检表测试检定电流并存入存储器。

用键盘输入设定值（如程序已规定设定值相应的电压及电阻，则调好电压及电阻即可，此步可省）。

起动数据处理程序，则 CRT 上自动显示检定结果。

分辨率及线性的检定同第 1 项。

检定点及操作过程一般在 CRT 上由程序提示。

注：如果有稳定精密的可调电流源，则连结如图 30-3。此时检定点设定更直接，但检定程序与前种方式应不相同。

3. 直流参数测试单元（施加电压范围、精度、线性、分辨率、负载能力）

（1）检定连接图，如图 30-4。

（2）检定方法简介：

起动被测仪检定施加电压的程序，将被检点电压呈现在检定板。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

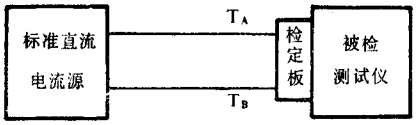


图 30-3

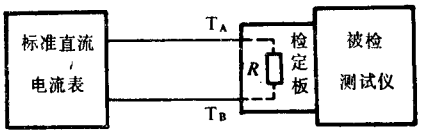


图 30-4

点上检定板上装有适应不同档次检定。

电压负载能力的负载电阻 R 跨接在 T_A、T_B 上。

目视标准表读数并由键盘输入被测仪，起动数据处理程序，下同第 1 项。

注：IC 测试供电电源也同此检定。所有被检定电压必须是持续呈现的，不是脉冲。

4. 直流参数测试单元（施加电压范围、精度、线性、分辨率、负载能力）

（1）检定连接图，如图 30-5。

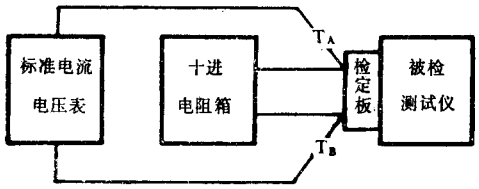


图 30-5

（2）检定方法简介：

起动检定程序，将被检的电流通过 T_A，T_B 经十进电阻箱构成回路。

按照程序提示设定电阻箱的阻值（与电流源负载能力相关），读取并用键盘输入电压表示数，起动数据处理程序，下同第 1 项。

5. 被测器件供电电源输出电流测试（范围、精度、分辨率）

（1）检定连接图，如图 30-6。

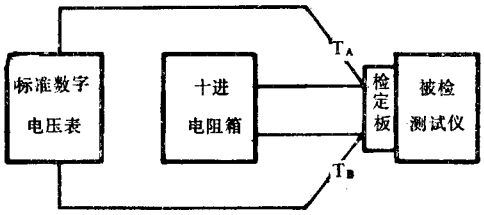


图 30-6

（2）检定方法简介：

集成电路测试仪测试 IC 时要对 IC 提供工作电源：IC 从电源吸收的电流也属 IC 的重要指标之一，因此需对电源供出的电流进行测量。此电流在利用机内电表测量以前，需有取样量程变换，浮地到接地的变换，检定正是针对它们而进行的。在检定中用十进电阻箱的电阻模拟 IC，由标准数字电压表的示数及电阻值可得到真实电流值，将其用键盘输入与被测仪测量值比较，进行数据处理。下同第 1 项。

6. 驱动器的检定（电压电平范围、精度、分辨率、负载能力）

（1）检定连接图，如图 30-7。

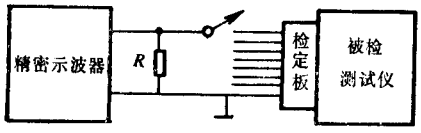


图 30-7

（2）检定方法简介：

由于驱动器的输出是脉冲形式，故需用示波器测量其设定的幅值，电阻 R 根据驱动器的负载能力而选定，各连接线应尽量避免分布电容、电感对波形的影响。

由于驱动器很多，需用开关逐通道依次转换检定，工作量很大很费时的起动检定程序按提示设定标值，用示波器量出实际幅值并用键盘输入被测仪进行数据处理。下同第 1 项。

有些机器，例如 9200 驱动器可由检定程序

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

设定呈直流电平输出，则可用直流数字电压表取代示波器进行测量。

许多机器，例如1732M用全自动方法自动检定此项指标。

用特定的检定板及检定程序，用机内的参数测量单元来模拟负载及测量电平，这就要求参数测量单元的加流及测压精度已经在前些项中得到检定并证实其精度优于驱动器的精度。

7. 读出器的检定(比较阈值设定范围及精度)

(1) 检定连接图，如图30-8。

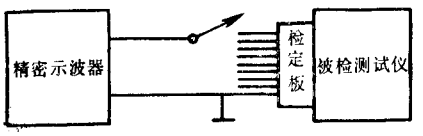


图 30-8

(2) 检定方法简介：

标准直流电压源用来设置比较阈值电平。

用转换开关分别连接各通道。

起动检定程序微调标准电压输出目视被测仪 CRT 显示的 V_0 判别结果。

许多机器例如1732 M 此项测试是由已检定合格的参数测量单元等进行全自动检定，使繁多的工作瞬时完成。

8. 驱动器压摆率的检定

(1) 检定连接图，如图30-9。

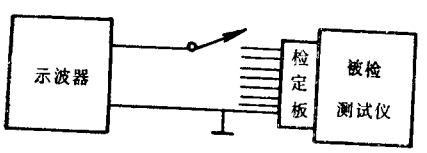


图 30-9

(2) 检定方法简介：

起动测试程序，调整示波器获得稳定波形，如图30-10。

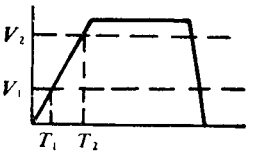


图 30-10

$$压摆率 = \frac{V_2 - V_1}{T_2 - T_1}$$

9. 驱动器通道时偏的检定

(1) 检定连接图，如图30-11。

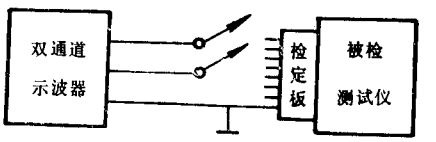


图 30-11

(2) 检定方法简介：

用双通道示波器两通道分别接向不同的驱动器输出起动检定程序，测量波形的起点时差，即为时偏。要测每两个通道的时偏及每个通道在不同波形格式下的时偏，其测量量是很大的。

10. 驱动器输出电阻的检定

(1) 检定连接图，如图30-12。

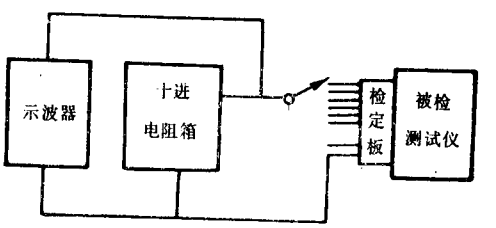


图 30-12

(2) 检定方法简介：

起动检定程序，将驱动器设定在某电平值。

电阻箱设值 R_1，用示波器量出驱动器脉冲幅度 V_1，再将电阻箱设值 R_2，示波器量出幅值 V_2。

则：

$$R_0 = \left|\frac{\Delta V}{\Delta I}\right| \text{ 为输出电阻值。}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中 $\Delta V = V_2 - V_1$; $\Delta I = \frac{V_2}{R_2} - \frac{V_1}{R_1}$。

有些机器如 1732M 此项是用机内已检定资源自动完成的。

11. 动态负载电流的设定范围及精度分辨率检定

(1) 检定连接图，如图 30-13。

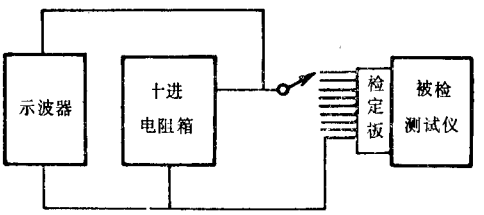


图 30-13

(2) 检定方法简介：

十进电阻箱设定的电阻作为负载电流的流通环路同时也是取样电阻。

检定点程序设定为输出管脚由程序设定，把动态负载电流引出，示波器测量电流幅值在电阻上的压降，即可计算出电流值。

此项的检定连接图与前一项完全一样，但检定原理甚至检定项目却大不相同，充分反映出检定方法强烈依赖于检定程序的设计。对此项目来说如果程序无法控制被测仪中的负载电流，使其与电阻箱成回路，则此检定法是不可实现的。

12. 系统主时钟检定

(1) 检定连接图，如图 30-14。

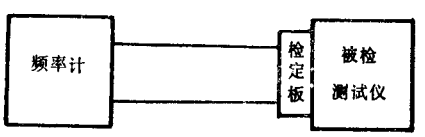


图 30-14

(2) 检定方法简介：

将频率计连接到各时钟测试点，用频率计直读频率与时钟指标相比较。

如果检定板上未引出时钟检测点，除了打开机壳此项检定不可进行。

13. 定时脉冲延时、脉宽的检定

(1) 检定连接图，如图 30-15。

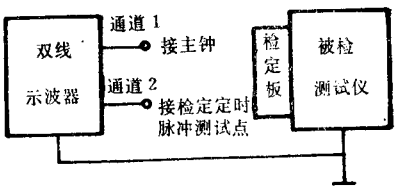


图 30-15

(2) 检定方法简介：

通常被检点不呈现在外，需打开机壳触及。

示波器通道 1 作触发通道。

通道 2 的波形可读出检定值。

14. 程控基准电源的量值及精度检定

同第 3 项。一般不需加电阻负载，通常需打开机壳以触及某些测试点。

15. 其它特殊测试能力的检定

许多机器尤其是线性 IC 测试还开发出一些参数测试指标的检定。例如 1732M 线性 IC 测试仪对运放等 I_b+ I_b-，V_{osso} 等参数测量技术指标的检定。这种检定是检定多个机内资源联合动作甚至包含适配器上附加电路而组成对某 IC 参数的定量测试能力，这种检定需开发特定的程序，配备较多的外接仪器，还要接入被测 IC 构成完整的测试该参数的环路；要由外部设备模拟该参数的增量，检验过程也复杂。但由于它能检定最终测量 IC 实用参数的精度，因此很有实际价值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第4节 集成电路测试仪器的准确度和检定关系

(一) 集成电路测试仪器的准确度

1. 集成电路测试仪器技术指标的表示方法

集成电路的测试项目归结为两类：功能测试和参数测量。

功能测试是数字集成电路的测试项目，从信号表现形式来说，属数域。在集成电路测试中，用测试速率作为表征。

参数测试分为直流参数和交流参数两种。直流参数的内容主要是电流、电压、功率等等。交流参数对数字集成电路而言，系指各项时间参数，如上升时间、下降时间、传输延迟时间等等；对模拟集成电路，则与常规的模拟电子电路一样，如失真度、噪声系数、增益等等。

集成电路测试仪器测量部分的基本构成包括三个方面，一是提供集成电路工作条件的各种电流电压源，二是测量所需的各种信号源，三是各种测量仪表。因此，集成电路测试仪器技术指标大都以测试仪器整机指标和分项指标两种形式同时给出，在复杂的集成电路测试系统中更是如此，甚至还要同时给出系统中许多关键电路的技术指标。

2. 集成电路测试仪器的参数范围

集成电路是微电子技术的典型，低功耗是其一大特点。集成电路的直流测量是低电压、微电流的测量，电压范围通常在 ±20V 以内，分辨率在毫伏级。电流范围通常在±500mA 以内，分辨率为 nA 级和 pA 级。

高速率是数字集成电路的重要特点。目前超高速集成电路的门延迟时间已达 0.3ns，为测量亚纳秒级的时间参数，集成电路测试仪器的时间测量范围为数万 ns，分辨率为 ps 级。

模拟集成电路的交流参数大部分与常规分立器件组成的模拟电路相同。

3. 集成电路测试仪器的准确度

供集成电路研制、分析测试用的精密集成电路测试系统具有较高的准确度，典型值是：时间测量准确度 1%，直流电压准确度 0.05%，直流电流准确度 0.05%。

生产线用的集成电路测试系统，时间测量准确度 3%，直流电压准确度 0.5%，直流电流准确度 0.5%。

交收检验用集成电路测试仪器的时间测量准确度约为 10%，直流电压准确度 1～2%，直流电流准确度 1～2%。

表 30-3 是目前国内外数字集成电路测试仪器的准确度简表。

模拟集成电路测试系统在直流测量方面的准确度通常要比同等级别的数字集成电路测试仪器高 1～2 个数量级。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 30-3 数字集成电路测试仪器准确度简表

项目 / 参数 / 级别	功能测试速率 Mbit/sec	系统总时间精确度 ns	系统时钟		直流电流			直流电压			时间测量		
			时钟范围 MHz	分辨率 ps	范围 mA	分辨率 pA	精确度 %	范围 V	分辨率 μV	精确度 %	范围 ms	分辨率 ps	精确度 %
精密型测试系统	20～100	±0.35～±1.0	20～300	1～125	0～±500	12	0.05%～0.1%	0～±100V	50	0.03%～0.1%	1～0	50	1%
生产型测试系统	10～20	±1.0～±2.6	10～50	125～1250	0～±500	1nA	0.5%	0～±100	1mV	0.5%		125～1250	3%
验收型测试仪	<10	>±10	<10	1ns～10ns	0～±500	5～10nA	0.5%～2%	0～±40	2～10mV	0.5%～2%		1ns～10ns	>10%
简易型试验器					0～±100	>10 nA	>5%	0～±10	>10 mV	>5%			

（二）集成电路测试系统和仪器的检定关系

1. 集成电路测试系统和仪器的检定

集成电路测试仪器是由多种单一电学、电子或无线电测量仪器组合而成，其检定方法与一般单一参量测试仪器不同。原因是集成电路测试仪器的分机、部件指标远多于整机或系统。

目前的集成电路测试仪器或系统，基本都是采用电子计算机的自动测试系统，其检定方法也与常规的测量仪器不同。通常是用高一级的标准仪器，在计算机参与下自动检定集成电路测试系统的各分部指标和个别的系统指标。

2. 集成电路测试系统和仪器的检定关系

从客观统计看出，精密集成电路测试系统、生产线用集成电路测试系统、交收检验用集成电路测试仪器相互之间在直流参数、时间参数等主要方面，存在着准确度的合理差别，且大体符合计量检定的需要。但是，任何一个集成电路测试仪器或系统，都是由多个单元或单机组成，实际上，难于实现通常意义的不同层次间的逐级检定。而且，集成电路测试系统大都是大型设备，不便于移动送检。实用检定方法是逐级用规定等级的单参数标准去检定相应的集成电路测试仪器或系统中的有关部分，给出相应的检定结果。

对于同一层次或不同层次的集成电路测试仪器或系统，可用集成电路参考样管在规定的相对统一的条件下进行总体比对性测试，以验证测试结果的一致性。

图 30-16 给出了集成电路测试仪器检定关系。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

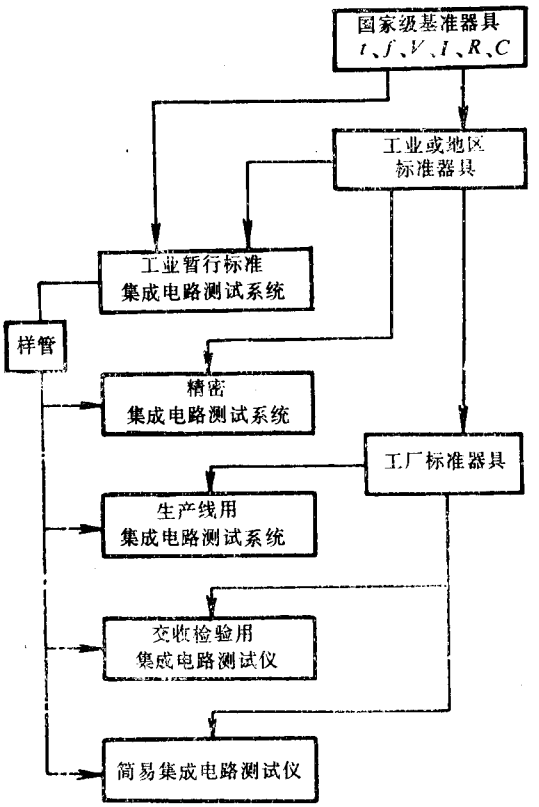


图 30-16 集成电路测试系统和仪器检定关系图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第31章　电声测量仪器

第1节　综　　述

声学是研究声音的产生、传输、接收、吸收、变换、重放和控制的学科。为了测量声学的基本量，人们制订了有关的标准和生产了相应的测量仪器。电声测量仪器是电子测量仪器的一个重要分支，许多电声仪器是从通用电子仪器借用或移植过来的。但电声仪器又有其本身的特点。由于声学是和人类的听觉密切相关的，这就规定了电声测量仪器所具有的特殊技术性能和要求。例如频率范围，一般所说的"声频"是指人类可听到的声音频率范围，即20Hz～20kHz，现在许多电声仪器已扩展到20 Hz以下的次声和20kHz以上的超声。又如涉及到人耳听觉的生理或心理状态而在某些电声仪器中加入了频率计权和时间计权网络。电声仪器测量幅值的动态范围也与人耳听力范围有关，从低于10^{-5}Pa到高于10^{2} Pa，如此大的范围(超过10^{7})，只有采用分贝值来表达参量大小才比较方便，而且这也适合人类听觉特性，因为人体听觉对声信号强弱刺激的反应不是线性的，而是成对数比例关系的。此外，声音传播的干涉性，使某些在声场中使用的电声仪器，如传声器、声级计等仪器的外形需要特殊考虑和设计。许多声学测量还需特殊的声学环境，例如要有专门的消声室、混响室、试听间等。

声学是一门交叉的边缘学科，涉及面广，渗透到各个领域。科学技术尤其是电子技术的发展，使得这种交叉与渗透更为扩大与深化。电声仪器不仅应用于声学范围内，而且广泛应用在工业生产、交通运输、国防科研、医疗卫生、劳动保护、环境保护、建筑、农业、文化教育、广播电视等各个部门。例如：

噪声测量：由于工业的发展，城市噪声日益加剧而成为公害，噪声的测量和监控已越来越受到人们的重视，是劳动、环境保护的一个重要课题。机电产品包括大量的家用电器，噪声是这类产品的一项重要质量指标，必须准确测量。噪声测量的基本仪器就是声级计。

电声测量：各种电声器件和整机的电、声性能都需要用电声仪器测量。电声器件是指各种传声器、扬声器、耳机、送受话器和其它换能器；整机包括测量放大器、声学滤波器、收录机、电唱机、电视机、调音台、混响器、延时器等。这些产品的电、声性能主要的有灵敏度、频率响应，失真度、动态范围、信噪比等。

医疗卫生：声学在这方面的应用，主要是听力的诊断，包括人耳的气导听力、人的骨导听力等，超声波在诊断和治疗方面的应用也是很广泛的。

建筑声学的发展，使得各种剧场、电影院、音乐厅、会议厅、播音室、体育场馆等获得了优良的音响效果。电声仪器的发展也促进了建筑声学的发展，在声场分布、混响时间、吸声、隔声等声学性能的测试和研究中，电声仪器是不可缺少的有力工具。

随着人们物质生活水平的改善，也提高了对精神生活的需求。声学在音乐领域的应用，改善了乐器的音质，最新的电子乐器更丰富了音乐的表现能力。无论乐器音质的改进还是新品种研制都需要使用各种电声仪器进行测量。

超声：它是声学的另一个新的领域，广泛应用在物件清洗、无损探伤、钻孔、切割以及上面提

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

到的医疗卫生等方面。

水声：在二次世界大战中，水声学得到了很大的发展，产生了侦察水下目的物体并能确定其位置的声学系统、声波探测器以及水下通信和其它应用。

声音是由于质点的振动而产生的，声音和振动是同一物理现象。因此，声学测量和振动测量是密切相关的，它们的许多仪器、装置、测量方法都是相同的或共用的。声学测量的应用范围还可以列出许多，而且还在不断扩大。声学测量的内容和任务大致可以概括如下：

（一）幅值测量。许多物理量的大小可称之为幅值，如声音的声压、声强、声功率，振动的加速度，电影机、录音机的抖晃量，放大器、扬声器的谐波失真、互调失真等，这些物理量的单位不一，测量它们要使用各种相应的换能器，以便将这些不同的物理量转换成电学量，而后在其它仪器上进行读数。例如测量声音的换能器有电容传声器，测量水声的水听器，测量振动的加速度计，测量阻抗的阻抗头等。

（二）频率分析与频谱测量。被测信号往往不是单一频率而是含有许多频率成分的复杂信号，我们不仅要测出信号的总的幅度电平，而且还应测出各个频率分量及其幅值。例如，通过分析机器的噪声频谱，可以找出产生噪声的原因从而采取相应措施，以提高产品的质量。

（三）频率响应测量。这是电声测量中很重要的，也是很常用的测量项目之一。我们经常需要掌握被测对象在整个频率域的工作特性，这就需要进行频响测量。

（四）实时分析。有时不仅需要掌握研究对象的频率域的特性，往往还要求进行时间域的测量，以研究其瞬态特性。实时分析是在尽可能短的时间内完成整个分析。它在分析瞬态信号或不确定性的随机信号时特别有用。对复杂的周期信号或确定性的随机信号也能获得快速的分析结果。过去只能借助录音机使瞬态信号变为“稳态信号”进行分析。现在由于数字技术和电子计算机的发展，加上信号检测分析方面的迫切需求，从60年代后期以来，实时分析技术发展很快，成为近代电声测量的一个重要内容。

声学发展的历史可以追溯到数千年以前的古代，然而电声测量仪器只有一百余年的历史。1876年A. G. 贝尔（Bell）和T. 沃森（Watson）发明电话标志着“电声”的诞生。1915年电子管装成的放大器，可以提供足够的声频功率。1917年万特(Wente)制成了当时被认为是成功的电容传声器，可以把声信号转换成电信号。但由于工业水平的限制，在1931年以前，唯一能用的还是贝尔发明的炭粒式传声器，直到1938年才开始使用电容传声器。1925年贝尔电话公司研制了世界上第一台声级计，用于纽约市街道上的噪声测量。以后，美国西电公司的WE640AA型电容传声器，应用互易技术进行耦合腔绝对校准，一直作为美国的声学标准。从30年代到50年代，声学理论和电声技术有了很大的发展，电声仪器日益成熟，形成了独立的门类。美国GE公司，RCA公司、SD公司、NSC公司、GR公司、HP公司等推出了许多技术先进、质量优良的电声仪器和电声产品，在世界上处于技术领先地位。

国际上专门生产电声仪器的厂商，以丹麦B&K公司为代表。该公司的仪器品种齐全，声学测量所需的各种规格型号的仪器几乎都能得到满足，而且自成体系，配套性强，技术先进，更新快，每年都有新产品、新技术问世，在国际上也享有一定的声誉，许多国家都采用该公司的仪器。本章在分析一些典型仪器时，大多以此为参考。

日本的电声仪器，生产数量比较大，技术上也比较先进，如RION公司、小野测器、国际振研、武田理研、松下、SONY等公司，都有大量仪器投入世界市场。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

其它如德国的西门子、R/S 公司，英国的 Peters,荷兰的飞利浦公司等也占有一定的重要地位。

我国电声仪器的研制和生产起步较晚,从 50 年代起，在北京、上海、南京等地的一些工厂、研究所、大专院校开始了电声仪器的试制和研究工作,一些电声产品开始大量生产,也迫切需要使用测量仪器。

北京无线电二厂是成批生产电声仪器较早的厂家之一。到 60 年代,已形成了一定生产规模,生产成系列的电声测量仪器。早期产品有：XFS-9 型差频振荡器，FDC-1 型传声放大器,NL-1 型滤波器，NJ-1 型电平记录仪，SJ-1 型声级计等，以上产品都采用电子管电路，在国内许多单位使用,后来转到北京长城无线电厂(6971 厂)生产。

中国科学院声学所于 60 年代初研制成功 CH 系列电容传声器,并由北京第一无线电器材厂(797 厂)生产，填补了这方面的空白,满足了国内各部门的急需,为我国声学事业作出了贡献。

江西红声器材厂(4380 厂)，从 60 年代以来，大量生产各种型号的声级计，该厂还生产 CH 型、HS 型电容传声器,以及 DSY-70 型电声测试仪，NX-6 型活塞发声器，ND-9 声级校准器等测量仪器。

北京长城无线电厂在北京无线电二厂产品的基础上，于 70 年代进行了更新，开发出新一代电声仪器,如 NF-5 型测量放大器，NX-5 型信号发生器，JS1660 型噪声信号发生器，NL-6A 滤波器，NJ-2 型电平记录仪，JS4072 型 FFT 信号分析仪，JS6270 型声频分析仪等。这些产品采用了晶体管集成电路、数字电路、VCO 技术、FFT 等新技术,技术性能有了较大提高,有的产品达到了 80 年代国际水平。

哈尔滨前卫无线电厂(935 厂)曾于 70 年代投入了很大力量研制当时最新的电声仪器，如低噪声测量放大器、电平记录仪、噪声信号发生器、声级计、传声器等。

中国科学院声学所与天津电子仪器厂于 1978 年合作研制成功 FFT 信号分析仪，达到当时的国际水平。

成都中国测试技术研究院研制成功 1 英寸电容传声器,并与南京大学声学所合作建立了我国自由场互易校准声压基准,填补了声学计量的一项空白。

机电部电视电声研究所(三所)研究试制成的 802 型矩形脉冲和猝发音信号发生器,是计量声级计和测量放大器的不可缺少的仪器。该所还研制了模拟人头振动仪、大功率谐波失真仪、多种专用测试滤波器等。

宁波东风无线电厂成批生产了 DF1212 型扫频信号发生器、DF5990 扬声器 F_0 测试仪，DF 5991 扬声器综合测试仪等产品。

衡阳仪表厂生产了 JS-1 型精密声级计、HY103、HY104、HY105、HY107 型一系列声级计、电容传声器等产品。上海风雷厂、常州计量所也批量生产了电容传声器等。这些单位都为我国声学测量事业作出了贡献,起到了重要作用。

近代电声仪器，由于科学技术的迅速发展，许多新技术得以应用,如微电子技术、数字技术、FFT 变换、激光技术、电子计算机等。产品日新月异,朝着大型化、数字化、自动化、智能化和多功能方向发展,其应用范围必将更为广泛地渗透到各个领域。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第2节 分 类

电声仪器品种繁多，功能复杂。有些仪器虽然和通用电子测量仪器有相同之处，但又有声学的特殊性能，如声频信号发生器、电平记录仪、测量放大器等是声学仪器中不可缺少的基本仪器，必须列入本章内。有些仪器如 FFT 频谱分析仪、X-Y 记录仪、频率特性显示器等与电声测量仪器配套使用，考虑到本手册有专题介绍，为避免重复，只列题目，不再论述。此外，水声与超声测量仪器也不包含在本章之中。以下按功能对电声仪器加以分类，供参考。

(1) 测试电容传声器——测试电容传声器，驻极体测试传声器。

(2) 信号发生器——声频正弦信号发生器，白噪声信号发生器。

(3) 测量放大器——测量放大器、前置放大器、声频功率放大器。

(4) 滤波器——恒比例带宽滤波器及频率分析仪(包括倍频程和 1/3 倍频程滤波器)、恒带宽滤波器及频率分析仪。

(5) 电平记录仪、显示器——电平记录仪、X-Y 记录仪、频率特性显示器。

(6) 声级计——精密声级计、积分式声级计、脉冲声级计、噪声剂量计。

(7)组合电声测量仪及其它仪器——电声测量仪，电唱机、收录机、录音机测量仪，抖晃测量仪，建筑声学测量仪，扬声器专用测量仪，各类模拟人类听觉仪器等。

为了使读者对电声测量仪器有一个全面的了解，因此有必要对电声测量仪器分门别类进一步作较为详细的介绍。

(一) 测量电容传声器

电声测量中最基本的两个物理量是声压和频率。因为其它的一些声学参量如声功率、质点振动速度等与声压、频率有一定的关系，可以由这两个量推导出来；还因为声波的传播规律也是以声压变化的规律为基础来描述的。实际上，现代各种声学测量，主要都是测试声压的变化规律。例如：测量混响时间是通过测出声压随时间的衰减曲线来确定的；测量电声换能器件的频率响应是通过测量声压随频率变化的规律等等。所以，在声学测量中，“声压”占有极重要的地位，是一个基本量。关于频率测量，本手册中有专文介绍，本章不再重复了。

众所周知，声压这一物理量是通过间接的方法来测量的。最早采用瑞利盘法测量，以后又采用过晶体传声器及电动传声器。因为这些方法不方便，或是因容易损坏，或是体积大，性能不稳定等，现在都已不采用了。自本世纪 30 年代初美国研制出电容传声器以来，它已取代了其它测量方法，电容传声器已成为声压测量的最重要的仪器之一。用于声压测量的电容传声器称为测量电容传声器 (Measurement Condenser Microphones)，以区别用于广播、录音等专业用的广播电容传声器。

电容传声器是由绷紧的膜片与一个相距约 20μm 的后极板组成的电容器，该膜片是很薄的(2～6μm，根据型号规格不同而定)金属膜，材料有镍或钛、不锈钢等。在声场中，当声压作用在电容传声器膜片上时，电容量随着声压的变化而变化，声压量转化成为电学量，通过显示仪表读出其声压，从而达到了声、电转换的目的。电容传声器具有体积小、频率范围宽、灵敏度高、性能稳定、频率响应平直、动态范围宽、瞬态响应好、机械振动灵敏度低等优点。现代的各型电容传声器，完全

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

可以满足电声测量的需要：频率范围从 1Hz 以下到 100kHz 以上，测量的动态范围从低于 10dB 到 170 dB 以上，灵敏度达每帕 50 毫伏，最大的可达每帕 100 毫伏以上。经实验推算，长期稳定性达到一千年内变化在 1dB 以内。

目前主要的生产厂家是丹麦 B&K 公司，其它还有美国 GR 公司，日本 RION 公司等。电容传声器的极化电压一般是 200 V，这对于便携式的仪器如声级计，是很不方便的，因而有了低极化电压(如 28 V) 的电容传声器，70 年代出现驻极体式电容传声器如美国 GR 公司的 1961、1962、1963 型，丹麦 B&K 公司的 4129、4155、4176 型等。虽然其频响、稳定性稍差，但不需要电源，性能可以满足精密声级计和一般电声测量的要求，因而产量日益增加。

美国西电公司首先研制出的 WE640AA 型标准电容传声器，一直是作为美国的声压标准。丹麦 B&K 公司用 4132 型，以后用 4144 型作为标准传声器，在国际上进行过比对，受到好评。1976 年，B&K 公司推出 4160 型标准传声器，其结构、外型和性能完全相似于 WE640AA 型。此外，日本 NHK 公司的 MR103 型电容传声器，也是作为声压标准的。英国、德国、法国等在声压标准的研究方面也卓有成效。声压标准不仅依赖于高水平的电容传声器，也与相配套的电子测量仪器有关，B&K 公司于 1975 推出的 4143 型互易校准仪，其校准精度达到 ±0.05 dB，而被取代的老型号 4142 的精度只有 ±0.2 dB。随着电子测量技术的迅速发展，声压校准的准确度必有更大的提高，这也会推动电容传声器性能的不断提高。

电容传声器的研制和生产在我国起步较晚，直到 60 年代，科学院声学研究所研制成功 CH 系列电容传声器，创造了独特的脱胎镀膜法。此后北京第一无线电器材厂成批生产了各种型号规格的电容传声器，基本上满足了工业生产、劳动环境保护、国防科研等多方面的需求。70 年代初，上海同济大学等单位研制了 CRH-1、CSC-5 型电容传声器。成都中国计量测试研究院研制成 1 吋电容传声器，江西红声器材厂(4380 厂)、上海风雷广播器材厂、衡阳仪表厂、常州计量研究所、哈尔滨前卫无线电仪器厂(935 厂)等单位都成批生产了电容传声器。80 年代初，科学院声学研究所又研制成功了驻极体电容传声器，达到了当时的国际先进水平。国内外代表性产品性能指标对比见表 31-1。

表 31-1 国内外测量电容传声器代表性产品主要性能指标对比(以 1 英寸场型传声器为代表)

指　标	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
开路灵敏度	−26dB re.1V/Pa	≥−29 dB re.1V/Pa
频率范围	2.6Hz～18kHz	10Hz～18kHz
频率响应	±2dB	± 2dB
动态范围	11～146dB re.1V/Pa	15～146dB re.1V/Pa
平均温度系数	−0.002dB/℃	−0.02 dB/℃
气压系数	−0.15 dB/Pa	−0.375 dB/Pa
极化电压	200V	200V
电容量	66pF	55pF
长期稳定性	2dB/1000year	—

(二) 信号发生器

信号发生器是电声测量仪器的重要组成部分，它为各种声学测量提供激励信号。由于人耳听觉频率范围大约从 20 Hz 到 20kHz，因此要求信号源能提供频率为 20 Hz 到 20kHz 的信号，有

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

时要求扩展为 2Hz ~ 200kHz。

由于正弦信号的波形不受线性系统的影响，在电声测量中正弦信号应用十分广泛，如测量增益、相位、非线性失真、以及测量系统的频率特性等。和一般通用无线电低频振荡器有所不同的是：电声测量要求的正弦信号能在宽频带内（例如 20Hz 到 20 kHz）和电平记录仪或频率特性显示器同步扫频。其次，还应有压缩电路，其作用是从测试系统中反馈一个控制电压，回到信号发生器的压缩输入端，控制信号发生器的输出电平，从而起到自动调节输出电平的作用。通过这种压缩电路，能在消声室建立一个恒定声场；在振动试验中，则可起到定加速度、定速度和定位移扫频振动作用。在某些建筑声学测量中还要求有频率调制电路，即要求有可以产生“啭音”的电路。

为了得到较宽的频率范围而不换档，振荡器的频率覆盖系数应≥1000。音频正弦信号发生器一般采用差频式振荡器，利用两个高频振荡器（一个固定频率，一个可变频率）进行差频得到所需的频率范围。但是两个高频振荡器的微小频率飘移，差频后对低频信号就显得非常严重，因此差频振荡器的一个重要技术指标是频率稳定度。

电声测量的另一类常用信号源是噪声信号发生器，有白噪声信号和粉红噪声信号两种。所谓白噪声是指音频范围内（2Hz 到 200kHz）噪声信号各等带宽的频带内所含噪声能量相等、幅度分布为高斯分布的随机信号，由于各频率成份的能量分布均匀，类似于光学中白光的形成原理，故借用“白”字，称之为白噪声；所谓粉红噪声是指在音频范围内，该噪声各等比带宽的频带内所含能量相等。由于低频成份的能量分布较多，类似于光学中的粉红色，故借用“粉红”，称为粉红噪声。白噪声信号发生器一般也可输出粉红噪声。

为了对系统或电声器件进行瞬态响应或其它传输特性的研究，有时也需要脉冲信号、猝发音信号等特殊的信号源。

国际上具有代表性的丹麦 B&K 公司的信号源，60 年代末以前为电子管式的，如 1022 型、1013 型、1017 型信号发生器等。70 年代采用晶体管电路，以后又采用集成电路、数字显示技术，正弦信号发生器采用压控技术，淘汰了加工复杂、体积庞大的空气可变电容器，仪器体积缩小了两倍多，性能也有了很大提高。1027 型既有正弦信号，又有白噪声信号，大大方便了使用。

我国从 50 年代开始，生产了电声专用振荡器。北京无线电仪器二厂生产的 XFS-9A 型振荡器以及 FZS-2 型的白噪声信号发生器，满足了国内的需要。70 年代，北京长城无线电厂试制了 NX5 型正弦信号发生器，采用了压控技术和晶体管、集成电路，扩大了频率范围（从 2 Hz 到 200

表 31-2 国内外信号发生器代表性产品主要性能指标对比

指　标	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
频率范围	2Hz～200kHz	20Hz～20kHz
频率稳定度	0.2% + 1.5Hz(预热 1h 后，8h 内)	预热 1h 后，<6Hz/1h
非线性失真度	0.015%	0.5%
频率响应	±0.2dB	±0.5dB
频谱特性	白噪声：±1dB(20Hz～200kHz) 粉红噪声：±1.5 dB(20Hz～200kHz)	白噪声±1dB(20Hz～20kHz) 粉红噪声±1.5dB(20Hz～20kHz)
压缩范围	90dB	65dB
压缩速度	3～1000dB/s	30～1000dB/s

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

kHz)，性能也有了改进。该厂还生产了新型 JS1660 白噪声信号发生器。宁波东风无线电仪器厂生产了 DF1212 型自动扫频的正弦信号发生器，丹阳调速电机厂生产了 DD5530 型正弦信号发生器，这些仪器都在成批生产。国内外代表性产品性能对比见表 31-2。

（三）测量放大器

测量放大器是电声测量中功能多、用途广的重要仪器之一。电声(以及振动、力学等)参量通过相应的换能器转换成电压量后，送到测量放大器指示出来。其频率范围从 1Hz ～ 200kHz，频率响应平坦，测量电压从几微伏到几十伏，本机噪声在几微伏以下。

它和一般通用电子电压表的区别在于：首先是输入电路除了有普通的两端直接输入外，还需要具有供前置放大器专用的七芯插孔，由于电容传声器输出阻抗很高，而且呈电容性，其电容量从几 pF 到 60 pF 以上，低频时容抗达几百兆欧以上，因此必须有一个输入阻抗很大的阻抗变换器与电容传声器匹配。电容传声器接受到的信号经阻抗变换器馈送到测量放大器，这种用于阻抗变换的前置放大器的频率范围从 2Hz 到 200kHz，频响优于 0.2dB，输出阻抗在 100Ω 以下，固有噪声低到几微伏，传输损失很小，国外有低于 0.1dB 的产品。通过七芯插孔，测量放大器还应提供电容传声器所需的极化电压(如200V、或 28 V)。

其次，测量放大器是由输入级和输出级两个独立放大器构成的，并可以在两级之间插入外接滤波器，如果再配上电容传声器和前置放大器，这就是一台实验室 0 型声级计了。测量放大器的技术指标应符合 0 型声级计的要求，具有频率计权网络和带时间计权的检波指示器。所谓频率计权和时间计权是为了模拟人耳听觉特性而加入的电路。频率计权有 A、B、C、D 四种网络，其中 A 计权应用最广泛，D 计权用于测量飞机噪声。国际电工委员会和国家标准对此有专门的规定。时间计权实际上是时间平均特性，常有三种：即“快”(F)、“慢”(S) 和“脉冲”(I)。“快”(F) 检波电路的时间常数为 125 ms，“慢”(S) 检波电路的时间常数为1000 ms。由于人耳对短促脉冲声的响度感觉与对稳态声的响度感觉有差异，“脉冲”(I) 检波器就是用于测量脉冲声的时间计权电路。然而上述频率计权和时间计权是否真正符合人耳特性，到目前为止，还没有充分的论证，国际上的一些规定只是作为“惯例”来考虑的。

测量放大器可以用三种表示值来指示测量信号的幅值，即有效值、平均值和峰值。设被测信号为 $v(t)$，测量时间为 $T = t_2 - t_1$，则有：

峰值 $V_m = V_{\max}(t)$

平均值 $V_{avg} = \frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_2} |v(t)|\, dt$

有效值 $V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_2} v^2(t)\, dt}$

对于不同的值有不同的检波电路。因为有效值与信号的功率有联系，是测试者最感兴趣的，所以用的比较多。从有效值的数学表达式可看出，它就是均方根值。有效值检波电路首先对信号电压进行平方检波，其平方电路的输出电压是与输入信号电压的平方成正比的，这就要求电路具有抛物线响应，通常采用“折线段逼近”法。折线越短越多，近似性越好，有五段折线到八段折线。当然，折线越多线路越复杂。平方后的电压通过 RC 电路进行平均，最后通过反馈在经过校试的电压表上给出平均电压的开方值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测量放大器也可当电子电压表使用。

丹麦 B&K 公司的测量放大器大体上经历了三个发展阶段。50～60 年代是电子管式的2603、2604 型，体积大、功能简单；70 年代是晶体管式的 2606、2607 型，体积只有原来的 1/3 左右，性能有了提高，本机噪声低于 10 微伏，还增加了一些新的功能，2606 的峰值因数达 40，这对于测量随机信号、脉冲信号是很有利的。现代的 2610、2636 型，采用集成电路，性能进一步提高，功能更全，2636 具有 IEC625 接口电路，可以把模拟量转换成数字量，还有遥控功能，能与计算机联接。

我国北京、上海等地的一些工厂，早在 50 年代，就开始试制传声放大器。北京无线电二厂从 60 年代起，批量生产 FDC-2 型传声放大器，基本上满足了国内需要。70 年代，北京长城无线电厂试制了 NF5 型测量放大器，其性能相当于丹麦 B&K 公司的 2606 型，并已批量投入生产。哈尔滨前卫无线电厂也试制成功 QW5810、5811 型低噪声测量放大器，达到了当时的国际先进水平。国内外代表产品性能对比见表 31-3。

表 31-3 国内外测量放大器代表性产品主要性能指标对比

指 标	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
频率范围	1Hz～200kHz	2Hz～200kHz
频率响应不均匀度	1Hz～200kHz<±0.5dB 10Hz～50kHz<±0.2dB	2Hz～200kHz<±0.5dB 20Hz～20kHz<±0.2dB
衰减器精度	10dB 步进±0.05dB	10dB 步进 ±0.15dB
计权网络特性	A,B,C,D 符合 IEC 651对 0 级声级计要求	符合 IEC651 对 0 级声级计要求
有效值检波特性	峰值因数为 10，±0.2 dB	峰值因数为10，±0.5 dB
本机噪声	线性≤5μV，A 计权≤1.5μV	线性≤10μV

（四）滤波器

分析测量信号能量（或功率）分布与频率关系的基本方法是滤波。电声测量用滤波器是带通式滤波器，它只允许在规定频带内的信号通过。频率分析（或频谱分析）滤波器有两类：恒带宽滤波器和恒比例带宽滤波器。恒带宽滤波器是在规定的频率范围内，滤波的通带都是相等的频率间隔，其带宽和所处的频率高低无关；恒比例带宽滤波器是指滤波器的上、下截止频率之比以 2 为底的对数等于某一常数，其数学表达式是：

$$\log_2\frac{f_2}{f_1}=n$$

或

$$\frac{f_2}{f_1}=2^n$$

式中 f_2——滤波器的上截止频率，Hz；

f_1——滤波器的下截止频率，Hz；

$n=1;\frac{1}{2};\frac{1}{3};\frac{1}{10};\frac{1}{12};\cdots\cdots$。

常用的是倍频程（$n=1$）或三分之一$\left(n=\frac{1}{3}\right)$倍频程滤波器，其中心频率是上、下截止频率的几何平均值：

$$f_m=\sqrt{f_2\cdot f_1}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

通带的中心频率应选择国家标准 GB3240-82《声学测量中的常用频率》中规定的频率，1/1 倍频程和 1/3 倍频程滤波器的中心频率和其它指标还应符合国家标准 GB3241-82《声和振动分析用的 1/1 和 1/3 倍频程滤波》第 2、2 条的规定(见 31-4、31-5、31-6)。

确定了上、下截止频率也就确定了滤波器的有效带宽 $B=f_2-f_1$。除用"n 倍频程"表示带宽外，还有用通频带中心频率的百分数来表示的，例如 1/3 倍频程的带宽也就是中心频率的 23%。常用的还有 1%、3%、10% 等百分比。

滤波器通常与测量放大器、电平记录仪联用，可以手动也可以自动扫频分析。

滤波器可与测量放大器结合在一起，称为频谱仪或频率分析仪；频谱仪中的滤波器通常为1/1倍频程和 1/3 倍频程；而频率分析仪有恒百分比带宽(如 1%、3%、10%、23%) 滤波器，或恒带宽(如 3.16、10、31.6、100、316、1000 Hz)滤波器。

还有一种与信号源、测量放大器联合使用的外差式伺服滤波器，如 B&K 公司的 2020 型。它是一种恒带宽 (3,16,10,31.6,100 Hz) 滤波器。

表 31-4 1/1倍频程滤波器的中心频率和截止频率 (Hz)

中心频率 f_m		下限频率 f_1	上限频率 f_2	带 宽 B
标称值	准确值			
2	1.99526	1.41086	2.82173	1.41087
4	3.98107	2.81504	5.63009	2.81505
8	7.94328	5.61675	11.2334	5.61665
16	15.8489	11.2069	22.4138	11.2069
31.5	31.6228	22.3607	44.7214	22.3607
63	63.0957	44.6154	89.2308	44.6154
125	125.893	89.0195	178.039	89.0195
250	251.189	177.617	355.234	177.617
500	501.187	354.393	708.786	354.393
1000	1000.00	707.107	1414.21	707.103
2000	1995.26	1410.86	2821.73	1410.87
4000	3981.07	2815.04	5630.09	2815.05
8000	7943.28	5616.75	11233.4	5616.65
16000	15848.9	11206.9	22413.8	11206.9
31500	31622.8	22360.7	44721.4	22360.7
63000	63095.7	44615.4	89230.8	44615.4
125000	125893	89019.5	178039	89019.5

此外，还有各种专用声学滤波器，例如测量调幅收音机的专用滤波器(符合 GB2846-81)；测量磁带录音机的专用滤波器(符合 GB2018-80)；用于扬声器测量试验专用带通滤波器以及用于各种音响系统的均衡器、计权网络等等。

滤波器的历史比较早，理论也比较成熟。早期电声滤波器是无源的，如 LC 谐振型，B&K 公司 1612，1613 型就是此类的，它们的体积大，技术指标较差，如选择性只有 35dB 左右，而且性能不是很稳定。由于晶体管的应用，很快发展了有源 RC 滤波器，后来又有了数字滤波器，技术性能大大改进，选择性达到 80 dB 以上。具有代表性的有 B&K 公司的 1617，1618 型。频率分析仪则有 2120，2010，2020 型等，数字频率分析仪。FFT 频谱仪有 2131，2032，2031，2034 等。日、美

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表31-5 1/3倍频程滤波器的中心频率和截止频率 (Hz)

中心频率 f_m		下限频率 f_1	上限频率 f_2	带 宽 B
标称值	准确值			
1.6	1.58489	1.41198	1.77898	0.36699
2	1.99526	1.77758	2.23961	0.46203
2.5	2.51189	2.23784	2.81950	0.58166
3.15	3.16228	2.81727	3.54954	0.73227
4	3.98107	3.54673	4.46860	0.92187
5	5.01187	4.46507	5.62564	1.16057
6.3	6.30957	5.62119	7.08226	1.46107
8	7.94328	7.07666	8.91603	1.83937
10	10.0000	8.90899	11.2246	2.31561
12.5	12.5893	11.2158	14.1310	2.91520
16	15.8489	14.1198	17.7898	3.67000
20	19.9526	17.7758	22.3961	4.62030
25	25.1189	22.3784	28.1950	5.81660
31.5	31.6228	28.1727	35.4954	7.32270
40	39.8107	35.4673	44.6860	9.21870
50	50.1187	44.6507	56.2564	11.6057
63	63.0957	56.2119	70.8226	14.6107
80	79.4328	70.7666	89.1603	18.3937
100	100.000	89.0899	112.246	23.1561
125	125.893	112.158	141.310	29.1520
160	158.489	141.198	177.898	36.7000
200	199.526	177.758	223.961	46.2030
250	251.189	223.784	281.950	58.1660
315	316.228	281.727	354.954	73.2270
400	398.107	354.673	446.860	92.1870
500	501.187	446.507	562.564	116.057
630	630.957	562.119	708.226	146.107
800	794.328	707.666	891.603	183.937
1000	1000.00	890.899	1122.46	231.561
1250	1258.93	1121.58	1413.10	291.520
1600	1584.89	1411.98	1778.98	367.000
2000	1995.26	1777.58	2239.61	462.030
2500	2511.89	2237.84	2819.50	581.660
3150	3162.28	2817.27	3549.54	732.270
4000	3981.07	3546.73	4468.60	921.870
5000	5011.87	4465.07	5625.64	1160.57
6300	6309.57	5621.19	7082.26	1461.07
8000	7943.28	7076.66	8916.03	1839.37
10000	10000.0	8908.99	11224.6	2315.61
12500	12589.3	11215.8	14131.0	2915.20
16000	15848.9	14119.8	17789.8	3670.00

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表 31-5

中心频率 f_m		下限频率 f_1	上限频率 f_2	带 宽 B
标称值	准确值			
20000	19952.6	17775.8	22396.1	4620.30
25000	25118.9	22378.4	28195.0	5816.60
31500	31622.8	28172.7	35495.4	7322.70
40000	39810.7	35467.3	44686.0	9218.70
50000	50118.7	44650.7	56256.4	11605.7
63000	63095.7	56211.9	70822.6	14610.7
80000	79432.3	70766.6	89160.3	18393.7
100000	100000	89089.9	112246	23156.1
125000	125893	112158	141310	29152.0
160000	158489	141189	177898	36700.0

表 31-6 1/1 和 1/3 倍频程带通滤波器衰减特性的综合公差

频率范围		衰减 (dB)
1/1 倍频程滤波器	1/3 倍频程滤波器	
从 $f_m/\sqrt[1]{2}\simeq0.840896f_m$ 到 $f_m\sqrt[1]{2}\simeq1.18921f_m$	从 $f_m/\sqrt[12]{2}\simeq0.943874f_m$ 到 $f_m\sqrt[12]{2}\simeq1.05946f_m$	$-0.5\leqslant\Delta\leqslant1$
从 $f_m/\sqrt{2}\simeq0.707107f_m$ 到 $f_m\sqrt{2}\simeq1.41421f_m$	从 $f_m/\sqrt[6]{2}\simeq0.890899f_m$ 到 $f_m\sqrt[6]{2}\simeq1.12246f_m$	$-0.5\leqslant\Delta\leqslant6$
在 $f_m/2$ 和 $2f_m$ 处		$\Delta\geqslant18$
	在 $f_m/\sqrt[3]{2}\simeq0.793700f_m$ 和 $f_m\sqrt[3]{2}\simeq1.25992f_m$ 处	$\Delta\geqslant13$
低于 $f_m/4$ 和高于 $4f_m$		$\Delta\geqslant40$
	低于 $f_m/4$ 和高于 $4f_m$	$\Delta\geqslant50$
低于 $f_m/8$ 和高于 $8f_m$	低于 $f_m/8$ 和高于 $8f_m$	$\Delta\geqslant60$

各国，此类仪器更多。本章只对常规的滤波器进行介绍。关于 FFT、数字滤波器等，手册中另有专文论述，在此不再重复。

我国电声滤波器也在 50 年代开始试制生产。从早期无源的 LC 谐振型（NL1 型)到现代的 NL6 型滤波器。目前，北京长城无线电厂生产的 NL6A 型是在 NL6 型的基础上，加入传动机构，可以和 NJ1 型电平记录仪同步自动扫频。它比老产品有更多的功能，在性能、稳定性和结构上都有一定的改善和提高。该厂还生产 JS5740 型可调谐带通滤波器。此外还有江西红声器材厂、衡阳仪表厂等为声级计配套的 NL2、NL3、NL5 型滤波器等。

国内外代表性产品性能对比见表 31-7。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表31-7 国内外滤波器代表性产品主要性能对比

指 标	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
频率范围	1/3 oct 2Hz～160kHz(50个) 1/1oct 2Hz～20kHz(41个)	1/3oct 2Hz～160kHz(50个) 1/1oct 4Hz～125kHz (16个)
衰减特性	中心频率 f_m 处$\begin{cases}1/3oct:\pm0.5dB\\1/1oct:\pm0.5dB\end{cases}$ $5f_m,\frac{1}{5}f_m$:$\frac{1}{3}$ oct:>75dB $8f_m,\frac{1}{8}f_m$:1/1oct:>60dB	中心频率 f_m 处$\begin{cases}1/3oct\pm0.5dB\\1/1oct\pm1dB\end{cases}$ — —
线 性	1.6Hz～160kHz: 0dB±0.3dB	1.8Hz～200kHz: 0dB±0.2dB
失真度	输入信号 1V: <0.1%	输入信号 1V: <0.5%
噪 声	带通滤波器: <150μV	短路: <300μV
输出阻抗	<50Ω	600Ω

(五) 电平记录仪

电声信号由换能器变换成电信号,经放大、分析、处理后的模拟量图形,可以用电平记录仪或显示器记录、显示,可以很直观迅速地看出信号的特征形状,而且具有较高的精确度。典型的用途是记录、显示频率特性曲线,混响衰减曲线,噪声、振动频谱图,以及极坐标图等。对于考查、分析被测信号是很方便的,因而是声学测量中的常用仪器。

通常是以频率域来记录显示被测信号的,频率范围从 2Hz 到 200kHz,这时电平记录仪或显示器需要与正弦信号发生器的频率同步扫描。

由于本书另有专文介绍 X-Y 记录仪和显示仪器,因此本章只介绍声学专用电平记录仪。

电平记录仪用一个同步电动机来驱动记录纸,当记录频率特性曲线时,记录纸的横坐标就是频率,一般采用对数坐标(也有线性坐标),一个图的纸长为 200mm; 纵坐标为电平,其动态范围有 10、25、50 和 75 dB 四种,由四个可以替代的量程电位器来控制。纵坐标高度为 100mm、50mm 两种。利用伺服原理,由特殊的磁系绕驱动线圈来带动记录笔记录被测信号的有效值、峰值或平均值,也可以记录直流信号。

为了和正弦信号发生器、频谱分析仪、滤波器等仪器在频率刻度上同步,可以利用"软轴"来带动这些仪器,也可以用电信号实现同步。

丹麦 B&K 公司的电平记录仪大致上有三个发展时期。早期的代表型号是 2304, 这是一种老式的电子管仪器,扫描宽度只有 50mm 一种,功能较少,整流器响应只有"有效值"。频率范围 20Hz ～ 20kHz, 下限频率为 20Hz。60 年代后期的 2305 型仪器基本工作原理没有什么变化,也是电子管式的仪器但功能增加了,除可记录信号的有效值外,还可记录信号的峰值,平均值和直流信号,扫描宽度为 50、100mm 两种。频率范围从 20Hz ～ 20kHz 扩展为 2Hz ～ 200kHz, 另外还有遥控功能。下限频率达到 2Hz。80 年代的 2307 型为全晶体管型,仪器耗电从原来的 145VA 降到 40VA, 有效值检波的峰值因数由 5 提高到 10, 此外还可以用外加信号电压来驱动 X 轴,这就是一个 X-Y 记录仪了。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

我国60年代北京、上海等地试制成功电平记录仪，北京无线电二厂成批生产了NJ-1型电平记录仪，后来转到北京长城无线电厂(6971厂)生产。

江西红声器材厂(4380厂)生产了NJ-3型电平记录仪，这是一种便携式轻型仪器，约7.5 kg。

80年代初，哈尔滨前卫无线电仪器厂(935厂)试制成功QW4710型电平记录仪，北京长城无线电厂(6971厂)试制成功并生产了JS4710型(NJ-2型)电平记录仪，其性能与B&K公司2307型相似，基本上满足了国内需要。

国内外代表性产品性能指标对比见表31-8。

表31-8 国内外电平记录仪代表性产品主要性能指标对比

指　标	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
频率范围	2Hz～200kHz	2Hz～200kHz
频响不均匀度	±0.5dB	±1.0dB
灵敏度	5mV	5mV
动态范围	对数四种：10、25、50、75 dB	50dB
分辨率	±0.5mm(纸宽100 mm)	±0.25dB(50dB 量程)
记录速度	15档	11档
输入衰减器	±0.25dB	±0.25dB
整流器响应	rms：±0.5dB，Average：±0.5dB Peak：±1dB	rms：±0.5dB

(六) 声级计

声级计是电声测量中应用得最广泛、最基本的仪器之一，是用于测量声音的声压级或声级的仪器。声级计大量应用在环境保护的噪声测量中；机电产品的噪声也需要用声级计来测量，这是一项重要的质量指标；其它如体育场馆、音乐厅、会堂和剧场等公共场所的音响效果的测量，以及交通运输、医疗卫生、国防科研等部门都离不开声级计。

一般声级计是由传声器、放大器、计权网络、检波指示器和电源几部分组成的，它是一种组合仪器。在测量声音时，电容传声器将接受到的声信号变成电信号，电信号经前置放大器送到输入放大器，频率计权网络对信号进行频率滤波，使声级计的整机频率响应符合规定的频率计权特性，最后，信号经输出放大器送到带时间计权的检波指示器指示出来。

计权特性是声级计的重要特性，频率计权和时间计权是为了模拟人耳的某些特性，以期声级计作为一种主观性测量仪器来反映客观量。通过计权网络测得的声压级，已不再是客观物理量的声压级(线性声压级)，而称为计权声压级，或简称为“声级”。

然而国际上认为，这两种计权模拟人耳特性的论证不足，因而只能作为“惯例”考虑。现在常常使用A计权来评价声音，而不再依照声音的声级大小来选择使用哪种频率计权；同样，I时间计权(过去称为脉冲计权)特性并不意味已明确地确定了脉冲声的响度或听力损伤危险性和声音的物理特性之间的关系。然而对于测量短持续期的声音这些特性是必需的，脉冲声级计必须具有宽动态范围，过载指示和高峰值因数容量。

近代，随着电子技术的迅速发展，声级计朝着小型化、数字化、多功能、快速测量方向发展，出

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

现了脉冲声级计、数字声级计、积分声级计、噪声剂量计，以及带微处理器的智能声级计。脉冲声级计具有一般声级计的全部功能，同时还有一些用于测量脉冲声的功能，如 I（脉冲）时间计权特性，高峰值因数容量，输入和输出过载指示等，它所指示的是信号短时间有效值的最大值，所谓脉冲声是指不连续的噪声，如枪炮声、冲压机床、打桩机、老式打字机等的噪声，这种脉冲噪声持续时间很短，重复出现的间隔时间可能很长。因而脉冲声级计还具有"脉冲保持"功能。为了测量脉冲声（尤其是单个脉冲声）的最大峰值，往往还有"峰值保持"功能，以便于读数观察。

数字声级计是采用数字显示测量结果的声级计，它读数准确，还可通过 BCD 编码输出，配合其它分析处理仪器与计算机进行信号处理，一般有 $3\frac{1}{2}$ 到 4 位数字显示，其分辨率不低于 0.1dB。

积分声级计是为了测量非稳定的噪声，需要测出所谓"等效连续声级 Leq"，表明以长期的低噪声来等效持续时间短的不稳定的高噪声，Leq 的表达式为：

$$Leq = 10\lg\frac{1}{T}\int_0^T\left(\frac{P_A(t)}{P_0}\right)^2 dt$$

式中　$P_A(t)$ 为 A 计权瞬时声压，Pa；

$P_0 = 2\times10^{-5}$Pa（参考声压）；

T 为总测量时间，h。

一般声级计是不能测量等效连续声级的，只有通过测量不同 A 声级下的暴露时间，经放大、检波、对数变换、积分、计数等电路，最后由微处理器计算并显示出 Leq 值来。

噪声暴露计，又称噪声剂量计。噪声暴露量 E 的定义是：噪声的 A 计权声压值平方的时间积分：即

$$E = \int_0^T [P_A(t)]^2 dt$$

式中　T 是测量时间，h；

$P_A(t)$ 是瞬时 A 计权声压，Pa；

E 的单位为 $Pa^2\cdot h$，（帕^2·小时）。

$1Pa^2\cdot h$ 相当于 84.95≈85dB 声级暴露了 8 小时（h）。我国《工业企业噪声卫生标准》（试行草案）中规定每个工人每天工作 8 小时，噪声级不得超过 85dB，相应的噪声暴露量为 $1Pa^2\cdot h$，如果工人工作在 88dB 的噪声环境下，（比 85dB 高 3 dB），允许工作 4 小时，则噪声暴露量仍保持 $1Pa^2\cdot h$。

噪声暴露计通常由传声器、具有 A 频率计权的放大器、平方电路、保持上限指示器、低声级检测器、积分器和指示器等部分组成。当加在输入端的 A 计权声级低于低声级检测器的阀值（例如75 dB）时，因为低声级对读数影响很小，低声级检测器阻止信号进入积分器；反之，如果太高的声级也是不允许的，如我国《工业企业噪声卫生标准》（试行草案）中规定最高不得超过 115dB，因此有保持上限指示器，以发出警告指示。

世界上第一台声级计是 1925 年由美国贝尔电话公司制造的，采用动圈传声器和电子管，体积庞大，功能简单。此后，随着科学技术的发展以及人们物质文化水平的提高，对声级计的需求越来越多，而声级计的性能指标也有很大的提高。世界各国许多厂家制造了大量各种型号的声级

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

计。为了统一标准，避免混乱，国际电工委员会于1961年、1965年和1973年连续制订了有关声级计的三个标准(即IEC123，IEC179和IEC179A)，1979年又重新制订了IEC651，取代了以上三个标准。国际标准把品种繁多的声级计按测试精度分为四类：0、1、2、3型，并规定了相应的技术特性。我国贯彻了国际标准，也制定了相应的标准：《声级计的电声性能和测试方法》(GB3785-83)。

目前，国际上大量生产声级计的几个具有代表性的厂商是美国 Gen Rad 公司、英国 Peters 公司、日本 RION 公司以及丹麦 B&K 公司等，尤其是 B&K 公司的声级计，品种齐全，上述几种类型的声级计都有，全部都是数字显示，具有较高的水平。我国自60年代以来，有多家工厂和研究所先后研制生产出各种型号的声级计。长城无线电厂(6971厂)生产了 SJ1、SJ2 型普通声级计。江西红声器材厂(4380厂)生产的 ND10、ND12 型普通声级计，ND2 型、HS5650型精密声级计，ND6 精密声级计，HS5630 型积分脉冲声级计，HS5910 噪声剂量计等，品种比较齐全。湖南衡阳仪表厂生产 JS-1 精密声级计、HY103A 型声级计、HY104/104A 型数字声级计、HY105 型积分声级计，以及 HY107 型脉冲精密声级计。南京前卫电子所生产 NH-1 数字积分声级计。浙江盘安生产 PAS-5633 型数字声级计，等等。这些产品满足了国内各方面的需求，对声学测量、噪声监控起到了重要作用。

国内外代表性产品性能指标对比见表31-9。

表31-9 国内外精密声级计代表性产品主要性能指标对比

指　标	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
频率范围	10Hz～18kHz	20Hz～18kHz
测量范围 dB(A)	24～150	25～140
频率计权	A. C lin	A、B、C. 线性
时间计权	F. S	F.S
检波特性	rms	rms
峰值因数	13dB	4
极化电压	200V	200V
显示器	4digits	电表(模拟式)，$3\frac{1}{2}$ digits

(七) 组合电声仪器

前面介绍的是应用最多也是最基本的电声仪器，由这些基本仪器可以组合为各种成套测试系统，能够完成各种电声测试项目。例如电声器件(扬声器、传声器、等换能器)的电、声性能测试系统，可以由以下仪器组合配套：声频信号发生器(正弦信号及白噪声信号)，测量放大器，测试电容传声器，滤波器，电平记录仪(或频率特性显示器)等。建筑物声性能测量系统可以选用正弦和白噪声信号发生器，滤波器，测量电容传声器，测量放大器，电平记录仪等。

组合式仪器是当前仪器的一种发展趋势，它具有功能多，使用方便等优点，而且许多仪器配上计算机，可以实现智能化、自动化、遥控测试。

丹麦 B&K 公司的组合仪器发展较早也较多，如3356型电声电话传输测试系统，9596、9598、9620型换能器测试系统，3360型声强分析系统，4418型建筑声学分析仪等。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

我国江西红声器材厂生产的 DSY-70 型电声测量仪是用于测量电话机及其它换能器的组合仪，它包含振荡器、放大器、显示器等部件。北京长城无线电厂生产的 JS6110，北京无线电二厂生产的 ZN5990，都可以用于测量录音机、电唱机、收音机等整机的电、声性能，如频响、增益、失真、抖晃、信噪比等。

第3节 电声仪器技术指标汇总表

电声仪器品种较多，技术性能也各不相同，由于不少电声仪器和某些通用电子仪器有相同的技术指标，而这些通用电子仪器在本手册中有详细介绍，因此本章汇总表所列的技术性能只是主要的特性。考虑到电声组合仪器的技术性能与被组合的单个仪器的技术性能是一样的，汇总表中没有列入电声组合仪器。

汇总表中不同类的仪器的某些技术指标有相同的名称，但其含义有所不同，例如"频率响应"，对于信号发生器和测量放大器，其定义不一样，测量方法也不相同。因此，本章的技术指标汇总表中分别将它们单独列出。汇总表中无序号有＊号的指标，没有列出测试方法。

表 31-10 电声仪器技术指标汇总表

序号	技术指标	电容传声器	信号发生器	测量放大器	滤波器	电平记录仪	声级计
1	开路声压灵敏度	●					
2	声压频率响应	●					
3	自由场频率响应	●					●
4	动态范围	●					
5	气压系数	●					
6	平均温度系数	●					
＊	极化电压	●					
＊	极头电容	●					
＊	长期稳定性	●					
7	频率响应		●		●		
8	频率准确度		●				
9	频率稳定度		●				
10	压缩		●				
11	非线性失真		●				
12	频谱特性		●				
13	频率响应			●			●
14	频率计权特性			●			●
15	时间计权特性			●			●
16	衰减器精度			●			●
17	有效值检波特性			●			
18	本机噪声			●	●		
19	有效带宽				●		
20	通带内的衰减				●		
21	通带外的衰减				●		
22	非线性失真					●	
23	频率响应					●	●
24	灵敏度						

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表 31-10

序号	技术指标	电容传声器	信号发生器	测量放大器	滤波器	电平记录仪	声级计
25	动态范围					●	
26	分辨率					●	
27	记录速度					●	
28	输入衰减器精度					●	
29	整流器响应					●	
*	指向特性						●

第 4 节 电声测量仪器技术指标及测试方法

(一) 测试电容传声器的技术指标及测试方法

● 本节所列参数定义及测试方法参考了以下标准和规程:

GB3661-83《测试电容传声器技术条件》

GB3662-83《测试电容传声器电声性能的测量方法》

JJG175-84《测试电容传声器检定规程》

JJG481-87《电容传声器(自由场比较法)检定规程》

● 被测传声器及测试设备均应按规定时间预热。

● 环境噪声: 测试时间内, 环境噪声至少低于传声器所接收的电压级 30dB, 隔声装置内部背景噪声对传声器等效噪声级测量的影响应不大于 1dB。

1. 开路声压灵敏度(级) $M_p(L_p)$

open circuit sound pressure sensitivity (level)

在某一指定频率传声器的开路电压与作用在膜片上的声压之比。单位为 mV/Pa。若以分贝 (dB dBre. 1V/Pa) 为单位,则称为声压灵敏度级。

测试方法:

I. 耦合腔替代法

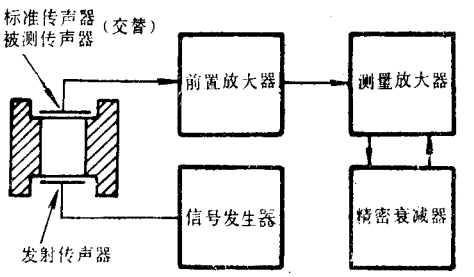


图 31-1

(1) 测试方框图,如图 31-1。

(2) 测试步骤

将信号发生器调到所需频率, 调节馈给发射传声器的电压, 使标准传声器的输出在测量放大器上有适当读数,记下该读数,而后将标准传声器换成被检传声器, 保持信号发生器输出不变,调节衰减器,使测量放大器指示也保持不变。则被测传声器的灵敏度级 L_{px}: 为

$$L_{px} = L_{p0} + \Delta L \qquad (31\text{-}1)$$

式中 L_{px}——被测传声器的开路声压灵敏度级, dB;

L_{p0}——标准传声器的开路声压灵敏度级, dB;

ΔL——衰减器的变化量, dB。

II. 活塞发声器法

(1) 测试方框图,如图 31-2。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

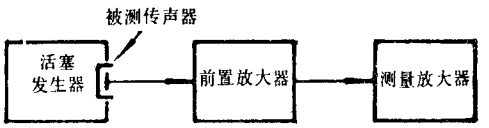


图 31-2

(2) 测试步骤

在正常工作条件下，将被测传声器与活塞发声器紧密耦合，启动活塞发声器，读取测量放大器指示的声压级 SPL (Sound Pressure Level)，并作记录，而后把传声器从活塞发声器腔内取出，改变二者的相对位置并重新耦合，重复上述操作，如此反复 3～4 次，各次读数最大差值应在 0.2 dB 之内，最后求得声压级读数的平均值 $\overline{SPL}$。传声器的开路声压灵敏度级 L_{px} 为：

$$L_{px} = -26 - (SPL_0 + \Delta K + \Delta P - \overline{SPL}) + \Delta\beta \qquad (31\text{-}2)$$

式中 L_{px}——被测传声器的开路灵敏度级，dB re. 1V/Pa；

SPL_0——活塞发声器声压级校准值，dB re. 20μPa；

$\overline{SPL}$——测得的声压级平均值，dB re. 20μPa；

ΔK——活塞发声器的气压修正值，dB (注 1)；

$\Delta\beta$——前置放大器的传输损失，dB (注 2)；

ΔP——腔体积修正值 dB (注 3)。

注 1 活塞发声器的气压修正

活塞发声器声压的校准值为基准条件下的数值，使用时应根据实际气压进行修正，气压修正值 ΔK 可由式(31-3)给出：

$$\Delta K = 20\lg\frac{P}{P_0} \qquad (31\text{-}3)$$

式中 P——检定时的大气压，kPa；

P_0——基准大气压 (101.3kPa)。

注 2 前置放大器的传输损失

① 前置放大器的传输损失 $\Delta\beta$ 可查产品说明书；

② 前置放大器的传输损失 $\Delta\beta$ 还可按图 31-3 所示方法测出：

测试步骤如下：将开关 K_1 与 K_2 同时置 A 或 B 位置，改变精密衰减器的衰减量，使测量放大器表头指示保持不变，则衰减器的变化量即为前置放大器的传输损失.

注 3 活塞发声器的腔体积修正

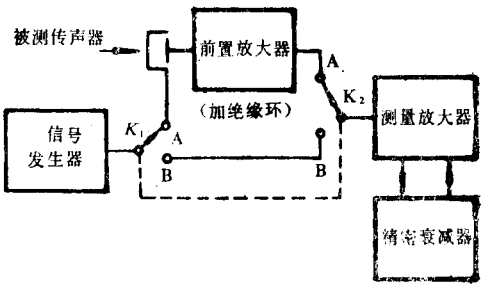


图 31-3

活塞发声器所产生的声压级与耦合腔体积有关，当耦合腔体积与给定的标准体积不符时应按式 (31-4)进行修正：

$$\Delta P = 20\lg\frac{V}{V + \Delta V} \qquad (31\text{-}4)$$

式中 ΔP——腔体积修正值，dB；

V——标准腔体积，(cm^3)；

ΔV——腔体积变化量，(cm^3)。

B&K4220 型活塞发声器的标准腔体积为：19.733cm^3，用它检定不同型号的传声器时，应加上不同的修正值，表 31-11 列出部份传声器耦合时的修正值：

表 31-11

传声器型号	不带保护罩	带保护罩
WE640AA	+0.3	+0.42
MR103	+0.3	+0.42
B&K4131,4132	+0.3(带 DB0111 环)	0
B&K4144,4145	+0.3(带 DB0111 环)	0
B&K4160	+0.3	+0.42

2. 声压频率响应

sound pressure frequency-response

传声器声压灵敏度与频率之间的关系，称为声压频率响应，简称声压响应。

测试方法：

I. 静电激发器法

(1) 测试方框图，如图 31-4 所示。

(2) 测试步骤

在正常工作条件下，电平记录仪的“量程电位器”和记录纸都选用 25 dB 的，隔直电容 $C = 10$nF (耐压>1000 V)。调节信号发生器的输出电压和测量放大器、电平记录仪的控制

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

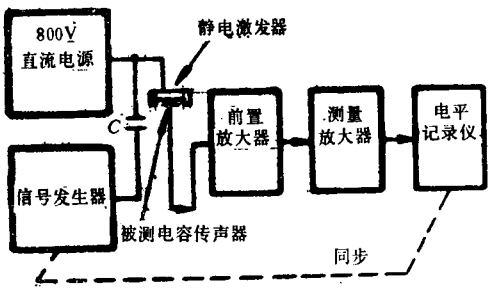


图 31-4

旋钮，使电平记录仪指示在 20 dB 处，并使电平记录仪与信号发生器的频率同步，启动电平记录仪记录，画出传声器的频响曲线。也可以不用记录仪，直接用测量放大器测出各频率点的声压频率响应。

II. 耦合腔替代法

采用测声压灵敏度的方法(如前所述)，逐个频率点测出传声器的声压频率响应。

3. 自由场频率响应

free-field frequency responce

传声器自由场灵敏度与频率之间的关系，称为自由场频率响应，简称声场响应，除非另有规定，一般声场响应是指传声器平面自由场频率响应。

测试方法：

I. 替代法

(1) 测试方框图，如图 31-5。

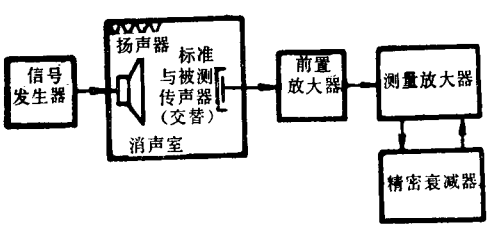


图 31-5

(2) 测试步骤

在消声室中将被测传声器和标准传声器交替放在自由声场中同一位置保持声场不变，调节衰减器，使测量放大器读数前后相同。

按式(31-5)求出被测传声器的自由场灵敏度级 L_{fx}：

$$L_{fx} = L_{f0} + \Delta L \qquad (31\text{-}5)$$

式中 L_{fx}——被测传声器的自由场灵敏度级。dB，re. 1V/Pa；

L_{f0}——标准传声器的自由场灵敏度级，dB，re. 1V/Pa；

ΔL——精密衰减器的变化量，dB。

按此方法，逐点测出各频率点的自由场灵敏度级，即为自由场频率响应，通常从 1000 Hz 开始测量。

II. 叠加法

在被测传声器声压灵敏度级上，逐个频率叠加上该型号典型自由场修正值，即可得到自由场频率响应。

4. 动态范围 D_R

dynamic range

传声器所能接收的声音的大小，其上限受失真的限制，其下限受固有噪声的限制，以传声器的最高声压级减去等效噪声级，就是该传声器的动态范围。

测试方法：

I. 等效噪声级

在正常工作条件下，将被测传声器放入环境噪声很低的空间中，在测量放大器上读出传声器的A计权输出电压（必要时也可用“线性”读数），再根据被测传声器的灵敏度换算成声级，此即等效噪声级，也就是动态范围下限。

II. 最高声压级

方法一：高压耦合器法

(1) 测试方框图，如图 31-6。

(2) 测试步骤

在正常工作条件下，将被测传声器装在高压传声器校准仪的高压耦合腔上，信号频率为

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

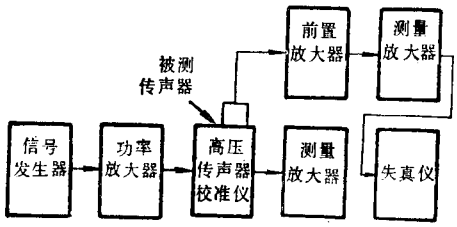


图　31-6

95Hz，逐渐增大腔内声压，在失真度测量仪上读出传声器的失真度，当失真度达到规定值(4%)，根据测量放大器读数算出腔内的声压级，此即最高声压级，也就是动态范围上限。

方法二：同时比较法

(1) 测试方框图，如图 31-7。

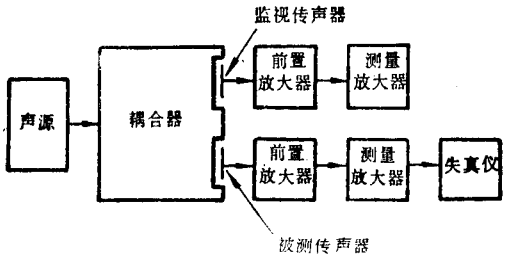


图　31-7

(2) 测试步骤

在正常工作条件下，将被测传声器、监视传声器和声源同时耦合到一小腔上，声源频率为95Hz，逐渐增大腔内的声压，当被测传声器输出的失真度达到规定值（例如 4%)时，读出监视传声器测得的腔内声压级，即最高声压级，也就是动态范围上限，监视传声器和声场的失真度应小于 0.5%。

5. 气压系数　α_p

ambient pressure coefficient

在一给定的频率下，传声器气压系数是它的灵敏度级的变化量除以使之产生变化的气压变化量。单位：dB/Pa。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 31-8。

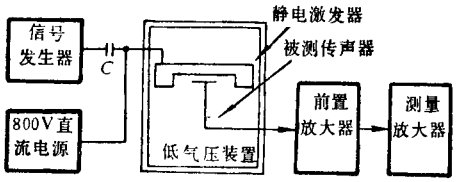


图　31-8

(2) 测试说明和要求

① 低气压装置的气压，应能从正常大气压(101.3kPa) 下降 13.3 kPa。

② C 为隔直电容，电容 $C=0.1\mu F$，耐压>1000 V。

(3) 测试步骤

首先在正常大气压条件下调节信号发生器频率为 250Hz 时，被测传声器的灵敏度级为 L_{p1}，而后将低气压装置内的气压降低 13.3kPa，并测出此时(频率仍是 250 Hz) 被测传声器的灵敏度级 L_{p2}，于是气压系数 α_p 按式(31-6)求出：

$$\alpha_p=\frac{L_{p1}-L_{p2}}{13300}\ \text{dB/Pa} \qquad (31\text{-}6)$$

式中　L_{p1}——正常大气压条件下传声器灵敏度级，dB；

L_{p2}——低气压条件下传声器灵敏度级，dB。

6. 平均温度系数　c_t

mean temperature coefficient

在一给定频率下(通常是 250 Hz)，传声器的温度系数是它的灵敏度级的变化量除以使之产生变化的环境温度的变化量。单位：dB/℃

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 31-9。

(2) 测试说明和要求

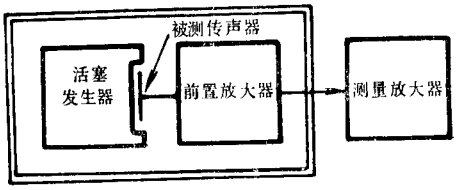
温度试验箱的变化范围为－10～＋55℃。

(3) 测试步骤

在－10～＋55℃的范围内，温度每变化 10℃，保温十分钟测量传声器的灵敏度级，平均

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



温度试验箱

图 31-9

温度系数 α_t 按式(31-7)计算：

$$\alpha_t = \frac{L_{p\max} - L_{p\min}}{65} \quad \text{dB/℃} \qquad (31\text{-}7)$$

式中 $L_{p\max}$——各次测量中的灵敏度级最大值，dB；

$L_{p\min}$——各次测量中的灵敏度级最小值，dB。

表 31-12 测试电容传声器主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
音频信号发生器	XFS-9A，NX5，B&K1023	JJG(电子)18002-88
测量放大器	FDC-2，NF5，B&K2610	JJG (电子)02001-88
精密衰减器	SHK-15	
标准电容传声器	B&K4160	JJG482-87
活塞发声器	B&K4220	JJG176-84
失真度测量仪	BS1A	
电平记录仪	B&K2307	JJG (电子)18002-87
前置放大器	B&K2627，2639	JJG(电子) 02007-89

(二) 信号发生器的技术指标及测试方法

● 本节所列测试方法，参考了以下检定规程：

JJG(电子)15002-88， 1023型正弦信号发生器试行检定规程

JJG 声频信号发生器检定规程(报批稿)

JJG (电子) UZ3 型白噪声信号发生器检定规程(报批稿)

● 被测信号发生器及测试设备均应按规定时间预热。

7. 频率响应

frequency responce

在信号源的有效频率范围内，调节频率时，输出电平的变化，也就是输出电平的平坦度，一般是以 1 kHz 时的输出电平为参考。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 31-10。

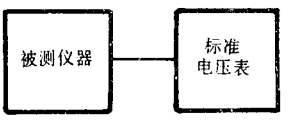


图 31-10

(2) 测试步骤

把信号发生器的频率调到 1000Hz，输出电压 V_0，标准电压表上的读数为 1 V，保持信号发生器输出电压不变，改变信号发生器的频率，并逐点读出标准电压表的读数 V_x。

频率响应由式(31-8)计算：

$$\Delta_v = 20 \lg \frac{V_x}{V_0} \qquad (31\text{-}8)$$

式中 Δ_v——频率响应，dB；

V_0——信号发生器频率为 1kHz 时的电压，V；

V_x——信号发生器其它频率点的电压，V。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

8. 频率准确度

frequency accuracy

频率准确度是指信号源的频率实际值与其标称值的相对偏差。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 31-11。

图 31-11

(2) 测试步骤

将正弦信号发生的频率调到被测值并调节输出电压，使频率计有稳定的显示，频率准确度由式(31-9)计算：

$$频率准确度=\frac{f_x-f_0}{f_0}\times 100\% \qquad (31\text{-}9)$$

式中 f_x——被测频率标称值；

f_0——频率计读数。

9. 频率稳定度

frequency stability

频率稳定度是指在一定的时间间隔内，信号源的频率准确度的变化，所以实际上是频率不稳定度，它表征信号源维持其工作于恒定频率上的工作能力。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 31-11。

(2) 测试步骤

按规定的时间间隔读取频率，当信号发生器连续工作到规定的时间后，按式(31-10)计算频率稳定度：

$$频率稳定度=\frac{f_{max}-f_{min}}{f}\times 100\% \qquad (31\text{-}10)$$

式中 f_{max}——在规定的工作时间内测得的最大值，Hz；

f_{min}——在规定的工作时间内测得的最小值，Hz；

f——信号发生器的标称频率。

10. 压缩

compress

当输入一定的压缩电压后，信号发生器的输出电平的变化量，dB。

测试方法一：

(1) 测试方框图，见图 31-12。

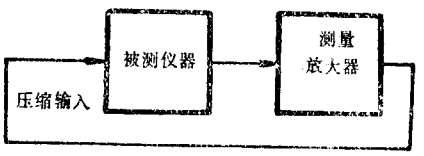


图 31-12

(2) 测试步骤

① 被测仪器控制器位置如下：

频率 1kHz

压缩速度 1000dB/s。

压缩电压 最小(电位器反钟向旋到底)。

② 将被测仪器的输出电压调到最大，由测量放大器读出其信号电平 L_{v1}，(dB)。

③ 将被测仪器"压缩电压"旋到最大位置，测量放大器读数迅速下降，变动其衰减器，以读出信号电平 L_{v2}，(dB)。

④ 被测仪器的压缩范围$=L_{v1}-L_{v2}$(dB)。

测试方法二：

(1) 测试方框图，见图 31-13。

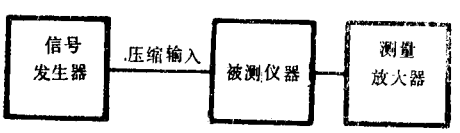


图 31-13

(2) 测试步骤

① 被测仪器控制器位置：

频率 1000Hz

压缩速度 1000dB/s

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

压缩输入 最大

② 调节被测仪器输出电压到最大，由测量放大器读出其信号电平 L_{v1}，(dB)。

③ 调节信号发生器频率为 1000Hz，逐渐增大输出电压到 1V，被测仪器输出信号迅速下降，由测量放大器读出其信号电平 L_{v2}，(dB)。

④ 被测仪器的压缩范围 $= L_{v2} - L_{v1}$(dB)。

11. 非线性失真 k

non-linear distortion

非线性失真系数简称为失真度，它是表征信号波形失真大小的无量纲参量。其定义是：全部谐波能量与基波能量之比的均方根值。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 31-14。

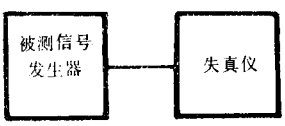


图 31-14

(2) 测试步骤

用失真仪测出信号发生器在主要频率点(包括上，下限)、一定输出电压(或功率)下的失真度。

12. 频谱特性

frequency spectrum characteristic

在有效频率范围内，各频率点的噪声平均幅度值的均匀度。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 31-15。

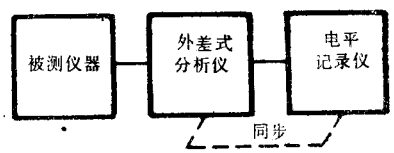


图 31-15

(2) 测试步骤

白噪声信号输出经外差式分析仪的“3.16” Hz 恒带宽分析器，调节外差式分析仪的分析频率，并读出在有效频率范围内各分析频率点的噪声信号幅度，或者由电平记录仪分别绘出白噪声信号和粉红色信号的频谱特性。该频谱特性在规定的频率范围内，信号输出幅度应符合产品标准的规定。

注：7～11 条为正弦信号发生器的技术指标，12 条为白噪声信号发生器的技术指标。

表 31-13 信号发生器主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
差分电压表	931B	JJG446-86
频率计	E312A	JJG349-84
失真度测量仪	BS1A，MK6541B	JJG
电平记录仪	B&K2307	JJG(电子)18002-87
外差式分析仪	B&K2010	JJG(电子) (报批稿)
测量放大器	B&K2610，2636，FDC-2A	JJG (电子) 02001-88
信号发生器	B&K1023，1027，XFS-9C	JJG (电子)15002-88

(三) 测量放大器的技术指标及测试方法

● 本节所列测试方法参考了以下标准和检定规程：

GB3785-83 声级计的电、声性能及测试方法

JJG (电子) 02001-88 2610 型测量放大

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

器试行检定规程

JJG 188-84 声级计检定规程

JJG（电子）02007-89 2627型前置放大器试行检定规程(已批准)

• 被测仪器和测试设备均应按规定时间预热。

13. 频率响应

frequency response

在规定的频率范围内，测量放大器输入不同频率的等幅正弦信号时，指示器对应于基准频率的幅度指示值的变化量。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 31-16。

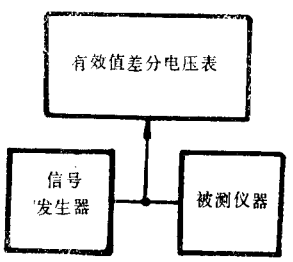


图 31-16

(2) 测试步骤

① 被测仪器各控制器位置如下：

输入衰减器 0.1V

输出衰减器 ×1

频率响应 线性

输入选择 直接

整流特性 有效值；快档

② 调节信号源的频率为 1kHz，并调节其输出幅度，使被测仪器指示在 18dB，调节有效值差分电压表的基准电压，使指示器指零。

③ 根据被测仪器的频率范围，改变信号源的频率，并调节输出幅度，使被测仪器指示保持在 18dB，记下各频率点差分电压表的偏差 δ_i。频率响应可按下式计算：

$$频率响应=20\lg(1+\delta_i)$$

14. 频率计权特性

frequency weighting characteristic

在电路中加入的一种听觉校正。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 31-17。

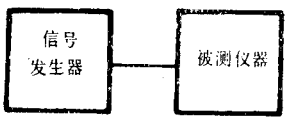


图 31-17

(2) 测试步骤

① 被测仪器各控制器位置如下：

输入选择 直接

输入衰减器 1V(0dB)

输出衰减器 ×1(0dB)

频率响应 A计权

② 调节信号发生器频率为 1kHz，并调节其输出幅度，使被测仪器指示在 18dB，并以此为参考点，根据A计权的有关规定(注)改变信号源的频率，保持信号源输出幅度恒定。由被测仪器的指示器读出相对于 1kHz 各频率点衰减量。该衰减量应符合A计权特性的规定。

注：A、B、C、D 计权特性应符合 GB3780-83《声级计的电声性能及测试方法》第 3.3.1 条的规定要求(见表 31-14、表 31-15)。

③ 按上述步骤分别测出 B、C、D 计权网络的频率特性，并应符合规定的技术指标的要求。

15. 时间计权特性

time weighting characteristic

在电路中加入的一种听觉校正。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 31-18。

(2) "峰值时间计权特性"测试步骤

首先将 10ms 宽度的单个矩形脉冲加给被

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 31-14 频率计权特性 (dB)

标称频率① Hz	准确频率② Hz	A计权	B计权	C计权	D计权
10	10.00	−70.4	−38.2	−14.3	−26.6
12.5	12.59	−63.4	−33.2	−11.2	−24.6
16	15.85	−56.7	−28.5	−8.5	−22.6
20	19.95	−50.5	−24.2	−6.2	−20.6
25	25.12	−44.7	−20.4	−4.4	−18.7
31.5	31.62	−39.4	−17.1	−3.0	−16.7
40	39.81	−34.6	−14.2	−2.0	−14.7
50	50.12	−30.2	−11.6	−1.3	−12.8
63	63.10	−26.2	−9.3	−0.8	−10.9
80	79.43	−22.5	−7.4	−0.5	−9.0
100	100.0	−19.1	−5.6	−0.3	−7.2
125	125.9	−16.1	−4.2	−0.2	−5.5
160	158.5	−13.4	−3.0	−0.1	−4.0
200	199.5	−10.9	−2.0	−0.0	−2.0
250	251.2	−8.6	−1.3	−0.0	−1.0
315	316.2	−6.6	−0.8	−0.0	−0.8
400	398.1	−4.8	−0.5	−0.0	−0.4
500	501.2	−3.2	−0.3	−0.0	−0.3
630	631.0	−1.9	−0.1	−0.0	−0.5
800	794.3	−0.8	−0.0	−0.0	−0.6
1000	1000	0	0	0	0
1250	1259	+0.6	−0.0	−0.0	+2
1600	1585	+1.0	−0.0	−0.1	+4.9
2000	1995	+1.2	−0.1	−0.2	+7.9
2500	2512	+1.3	−0.2	−0.3	+10.4
3150	3162	+1.2	−0.4	−0.5	+11.6
4000	3981	+1.0	−0.7	−0.8	+11.1
5000	5012	+0.5	−1.2	−1.3	+9.6
6300	6310	−0.1	−1.9	−2.0	+7.6
8000	7943	−1.1	−2.9	−3.0	+5.5
10000	10000	−2.5	−4.3	−4.4	+3.4
12500	12590	−4.3	−6.1	−6.2	+1.4
16000	15850	−6.6	−8.4	−8.5	−0.7
20000	19950	−9.3	−11.1	−11.2	−2.7

注：① 标称频率与ISO266 标准相同.

② 准确频率以 4 位有效数字给出并等于 $1000\times10^{\frac{n}{10}}$，这里 n 是正整数或负整数。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表31-15 各型声级计频率计权特性的公差① (dB)

标称频率 Hz	0型	1型	2型	3型
10	+2,−∞	+3,−∞	+5,−∞	+5,−∞
12.5	+2,−∞	+3,−∞	+5,−∞	+5,−∞
16	+2,−∞	+3,−∞	+5,−∞	+5,−∞
20	±2	±3	±3	+5,−∞
25	±1.5	±2	±3	+5,−∞
31.5	±1	±1.5	±3	±4
40	±1	±1.5	±2	±4
50	±1	±1.5	±2	±3
63	±1	±1.5	±2	±3
80	±1	±1.5	±2	±3
100	±0.7	±1	±1.5	±3
125	±0.7	±1	±1.5	±2
160	±0.7	±1	±1.5	±2
200	±0.7	±1	±1.5	±2
250	±0.7	±1	±1.5	±2
315	±0.7	±1	±1.5	±2
400	±0.7	±1	±1.5	±2
500	±0.7	±1	±1.5	±2
630	±0.7	±1	±1.5	±2
800	±0.7	±1	±1.5	±2
1000	±0.7	±1	±1.5	±2
1250	±0.7	±1	±1.5	±2.5
1600	±0.7	±1	±2	±3
2000	±0.7	±1	±2	±3
2500	±0.7	±1	±2.5	±4
3150	±0.7	±1	±2.5	±4.5
4000	±0.7	±1	±3	±5
5000	±1	±1.5	±3.5	±6
6300	+1,−1.5	+1.5,−2	±4.5	±6
8000	+1,−2	+1.5,−3	±5	±6
10000	+2,−3	+2,−4	+5,−∞	+6,−∞
12500	+2,−3	+3,−6	+5,−∞	+6,−∞
16000	+2,−3	+3,−∞	+5,−∞	+6,−∞
20000	+2,−3	+3,−∞	+5,−∞	+6,−∞

注① 对所有计权特性的公差是一样的，并以参考频率上的读数为参考。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

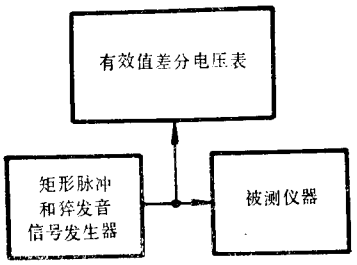


图 31-18

检仪器，调节脉冲幅度，使被测仪器指示在18dB处，以此为参考。保持输出脉冲幅度不变，调节脉冲宽度为 50μs，检查被测仪器指示值的变化，与参考值相差应小于 2dB。

(3) "快"时间计权特性测试步骤

调节猝发音信号发生器，输出 1000Hz 正弦信号，调节输出幅度，使被测仪器指示在 18dB 处，记下有效值差分电压表的读数 u_0，并以此为参考。调节猝发音信号发生器，输出宽度为 200ms 的 1000Hz 单个猝发音信号，保持有效值差分电压表读数 u_0 不变，检查被测仪器的指示与 18 dB 的差值，即为"快"时间计权特性。

(4) "慢"时间计权特性测试步骤

调节猝发音信号发生器，输出 1000Hz 正弦信号，调节输出幅度，使被测仪器指示在 18dB 处，记下有效值差分电压表的读数 u_0，并以此为参考。调节猝发音信号发生器，输出宽度为 500 ms 的 1000Hz 单个猝发音信号，保持有效值差分电压表读数 u_0 不变，检查被测仪器的指示与参考值的差值，即为"慢"时间计权特性。

16. 衰减器精度

attenuators accuracy

衰减器又称量程控制器，相对于参考档位置，所有其它档位引入的误差应符合技术指标的规定。

测试方法：

I 输入衰减器

(1) 测试方框图，如图 31-19。

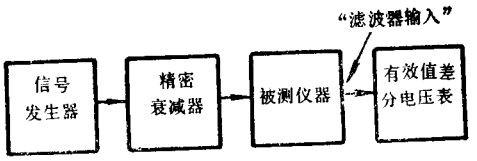


图 31-19

(2) 测试步骤

将被测仪器"输入选择"置"直接"，"输入衰减器"量程为"1伏"(0dB)，"滤波器"置"外接"。将差分电压表的基准电压调到"0.9 伏"，调节信号发生器频率为 1kHz，并调节其输出幅度，使差分电压表的指示为 0dB。逐档每 10dB 改变被测仪器的"输入衰减器"，同时每 10dB 改变精密衰减器的衰减量，并微调精密衰减器使差分电压表指示为 0，精密衰减器的微调量即"输入衰减器"的精度，应符合规定的技术指标。

II 输出衰减器

(1) 测试方框图，如图 31-20。

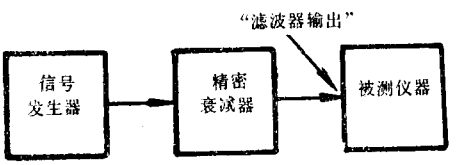


图 31-20

(2) 测试步骤

被测仪器"输入选择"置"直接"，"输出衰减器"置×1 档，滤波器置"外接"，调节信号发生器频率为 1kHz，并调节输出幅度，使被测仪器指示在 18dB，按每 10dB 变化精密衰减器，同时相应按每 10dB 改变"输出衰减器"的档位，微调精密衰减器，使被测仪器指示保持在 18dB，精密衰减器的微调量就是被测仪器"输出衰减器"的精度，应符合规定的技术指标。

17. 有效值检波特性

rms. rectify characteristic

检波电路对交流信号进行平方律检波，在

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

指示器上以有效值表示信号的幅值大小。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图31-21。

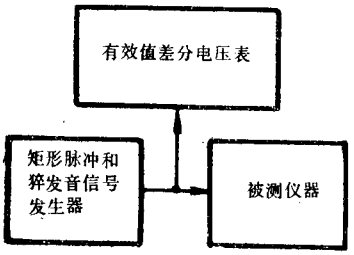


图 31-21

(2) 测试步骤

① 被测仪器控制器位置：

输入选择　直接

输入衰减器　1 V

输出衰减器　×1

检波器　rms

② 调节矩形脉冲和猝发音信号发生器的输出为1kHz正弦信号，并使被测仪器指示在18dB，调节有效值差分电压表基准电压使其指示为0。

③ 按表31-16调节矩形脉冲和猝发音信号发生器，输出所需峰值因数的猝发音信号，并调节信号的幅度，使有效值差分电压表指示为0，读出被测仪器的示值与18dB之差，即为有效值检波特性。

表31-16 不同峰值因数信号的周期 T 和持续时间 t 的关系

峰值因素	矩形脉冲 $t=200$ms		猝发音 $f=40$Hz ($T=25$ms)	
	T/t	T(ms)	T/t	t(ms)
3	10	20	4.5	5.56
5	26	5.2	12.5	2.00
10	101	20.2	50.0	0.50

18. 本机噪声

noise

仪器的输入端短路，放大量最大时，指示器的读数。

测试方法：

将短路插头插入"直接"输入端，分别测出被测仪器处于"线性"和"A计权"状态的噪声，即本机噪声。

表31-17 测量放大器的主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
正弦信号发生器	B&K 1027，2010，1023	JJG(电子)15002-88
有效值差分电压表	931 B	JJG 446-86
精密衰减器	SHK-15	
矩形脉冲和猝发音信号发生器	802A	

(四) 滤波器的技术指标及测试方法

● 本节所列参数定义及测试方法参考了下列标准和规程：

GB 3241-82《声和振动分析用的1/1和1/3倍频程滤波器》

JJG 449-86《1/1和1/3倍频程滤波器检定规程》

● 被测滤波器及测试设备，均应在各自产品标准中规定的预热时间后进行测试。

19. 有效带宽 B

effective bandwidth

传输系统的有效带宽是理想系统的带宽。理想系统有如下特性：(a) 在通带内传输均匀，且与原系统的最大值相等，通带外(阻带)传

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

输为零。(b) 当传输能量按频率均匀分布的信号(白噪声)时，传输的总功率与原系统输出的总功率相等。

生产厂应给出有效带宽。若滤波器的频响在给定的公差内，则按上述定义的有效带宽就在其标称通带（1/1 或 1/3 倍频程）的± 10%以内。通带内的最小插入损失（相当于最大传输)应作为计算有效带宽的标准。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 31-22。

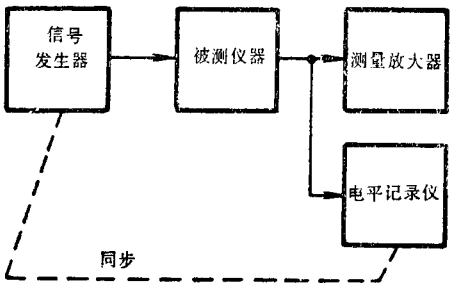


图 31-22

(2) 测试步骤

将信号发生器的输出信号频率调到与被测滤波器组所在档位相同的中心频率上，调节信号发生器的输出电压，达到被测滤波器所规定的最大允许输入电压，记下此时测量放大器所指示的分贝数，并以此为基准，逐渐增加信号发生器的频率，并保持输出信号不变，观察测量放大器的指示下降 3dB 时，此时信号发生器的频率，即为滤波器的上截止频率 f_2；而后逐渐降低信号发生器的频率，测量放大器的指示回到原来的基准点后，逐渐又下降了 3dB，此时信号发生器的频率即为滤波器的下截止频率 f_1。于是，有效带宽 $B = f_2 - f_1$。

按上述步骤，变动滤波器组的档位，依次测量各档位的带宽。亦可以用电平记录仪与信号发生器同步画出滤波器组各档位的频响曲线，从曲线上求出滤波器的带宽。

注：以上测试出来的带宽，严格讲是所谓"半功率带宽，"这是为了便于测量，适合分析确定性信号，当然它是本节关于"有效带宽"定义的一种近似。检定规程JJG 449-86 中对此未作规定。

20. 通带内的衰减 Δ_i

attenuation in pass band

通带内的衰减即通带的插入损失，通常由制造厂按频率点给出。

测试方法：

(1)测试方框图，同图 31-22。

(2) 测试步骤

将信号发生器的输出信号频率调节到与被测滤波器组所在档位相同的中心频率上，调节信号发生器的输出电压，达到被测滤波器所规定的最大允许输入电压，用测量放大器分别测出滤波器中心频率处与滤波器线性档输出电压的分贝值，其差值即为该滤波器的插入损失，也就是其衰减 Δ_i。

21. 通带外的衰减 Δ_o

attenuation outside pass band

通带外的衰减，即通带外的插入损失，由制造厂按频率点给出。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 31-22。

(2) 测试步骤

将信号发生器输出信号频率调节到与被测滤波器组所在档位相同的中心频率上，调节信号发生器的输出电压达到被测滤波器所规定的最大允许输入电压，用测量放大器读出滤波器线性档的输出电压的分贝值，而后按规定的滤波器通带外的频率点调节信号发生器的频率，并保持信号发生器输出电压不变，用测量放大器读出其衰减值。

22. 非线性失真

non-linear distortion

当滤波器的输入电压在规定的最大允许电

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

压范围内变化时，在中心频率处测量的衰减量 Δ_m 应为常数，其变化应不大于±0.5 dB。

测试方法：

（1）测试方框图，同图 31-22。

（2）测试步骤

将信号发生器的输出信号频率调节到与被测滤波器组所在档位相同的中心频率上，调节信号发生器的输出电压达到被测滤波器所规定的最大允许输入电压，记下测量放大器的读数。调节信号发生器的输出信号，使被测滤波器的输入信号逐渐减小 40dB。在测量放大器上读出的衰减量 Δ_m 应为常数，其变化量应不大于±0.5dB。依次变换滤波组其余各档，重复上述步骤。

表 31-18 滤波器的主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
信号发生器	B&K 1027，2010，1023	JJG(电子)15002-88
测量放大器	B&K 2636，2610，FDC-2A	JJG(电子)02001-88
电平记录仪	B&K 2307	JJG(电子)18002-87

（五）电平记录仪的技术指标及测试方法

● 本节所列参数定义及测试方法参考了 JJG（电子）18002-87《2307 型电平记录仪试行检定规程》

● 被测仪器及测试设备均应按规定时间预热。

23. 频率响应 Δ_f

frequency response

当电平记录仪输入不同频率的等幅正弦信号时，记录图纸上对应于基准频率（通常为 1kHz）所描绘幅度随频率的变化量。

测试方法：

（1）测试方框图，如图 31-23。

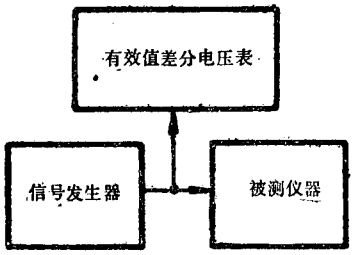


图 31-23

（2）测试步骤

① 被测仪器各控制器位置如下：

输入衰减器：0dB

输入电位器：10dB

量程电位器：50dB

整流响应：rms

下限频率：2Hz

笔速：50mm/s

记录纸：100mm

② 调节信号发生器频率为 1kHz，并调节其输出幅度，使被测仪器记录笔指示在 20dB 处，调节有效值差分电压表的基准电压，使指示器指零。

③ 根据被测仪器的频率范围，改变信号源的频率，并调节输出幅度，使被测仪器的记录笔保持在 20dB 处，记下各频率点差分电压表的偏差 δ_i，频率响应可按式(31-11)计算：

$$\Delta_f = 20\lg(1+\delta_i) \qquad (31\text{-}11)$$

24. 灵敏度 S

sensitivity

电平记录仪记录笔指示在 0dB 位置时的最小输入信号电压值，mV。

测试方法：

(1)测试方框图，同图 31-23。

（2）测试步骤

① 被测仪器各控制器位置如下：

输入衰减器：0dB

输入电位器：10dB

量程电位器：50dB

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

整流响应：rms
下限频率：200Hz
笔速：50mm/s
记录纸：100mm

② 调节信号发生器的频率为1kHz，并调节其输出信号幅度使被测仪器的记录笔指示在0dB处，读取有效值差分电压表的指示 u_1，即被测仪器的灵敏度 S。

25. 动态范围 D

dynamic range

在一定的量程范围内，记录仪最大输入信号电压与最小输入信号电压的分贝差。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图31-23。

(2) 测试步骤

① 重复"灵敏度"测试步骤。

② 增加信号发生器输出电压，使被测仪器记录笔指示在50dB处，由有效值差分电压表读取被测仪器的输入电压 u_2，被测仪器的动态范围 D 由式(31-12)计算：

$$D = 20\lg\frac{u_2}{u_1} \qquad (31\text{-}12)$$

式中 u_1——记录笔在0dB处的输入信号电压，V；

u_2——记录笔在50dB处的输入信号电压，V。

26. 分辨率 Δ_R

resolution

电平记录仪记录笔偏离原指示位置输入信号最小变化量，dB。

测试方法：

(1)测试方框图，同图31-23。

(2) 测试步骤

① 被测仪器控制器位置如下：

输入衰减器：10dB
输入电位器：10dB
量程电位器：50dB
整流响应：rms
下限频率：200Hz
笔速：31.5mm/s
记录纸：100mm

② 调节信号发生器的频率为1kHz，并调节其输出信号幅度，使被测仪器记录笔指示在20dB处，调节有效值差分电压表基准电压，使其指示为0。

③ 增加或减小输入信号幅度，使被测仪器记录笔刚偏离20dB位置，由有效值差分电压表，读取偏差值 δ，则分辨率 Δ_R 按式(31-13)计算：

$$\Delta_R = 20\lg(1+\delta) \qquad (31\text{-}13)$$

27. 记录速度

writing speed

电平记录仪记录笔在信号驱动下单位时间内移动的距离，mm/s。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图31-24。

图 31-24

(2) 测试步骤

① 被测仪器控制器位置如下：

输入电位器 10dB
输入衰减器 0dB
低限频率 200Hz
整流响应 rms
电位器量程 50dB
纸速 10mm/s
记录纸 100mm
记录速度 16mm/s

② 调节信号发生器的频率为1kHz，输出信号为4V，使被测仪器的记录笔位于50dB以

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

上，启动被测仪器开始记录，切断信号源，记录笔逐渐降到0dB以下，再次接通4V输入信号，记录笔又逐渐回升到50dB以上位置。

③ 用直尺分别量出记录纸上从50dB降到0dB和0dB上升到50dB之间的水平距离 L，这两个距离应该相等。

④记录速度误差按式(31-14)计算：

$$\delta_V = \frac{L_0 - L}{L} \times 100\% \quad (31\text{-}14)$$

式中 L_0——当记录笔从50dB降到0dB或由0dB上升到50dB时记录纸应走的长度。

$$L_0 = 10\text{mm/s} \times \frac{100\text{mm}}{16\text{mm/s}} = 62.5\text{mm}$$

L——当记录笔从50dB降到0dB或由0dB上升到50dB时记录纸所走的实际长度。

28. 输入衰减器精度

input attenuators accuracy

输入衰减器的各档相对于参考档位置引入的误差。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图30-25。

图 31-25

(2) 测试步骤

① 被测仪器控制器置如下位置：

输入衰减器 0dB
输入电位器 10dB
记录速度 31.5mm/s
下限频率 200Hz
电位器量程 50dB
整流响应 rms
记录纸宽 100mm

② 调节信号发生器的频率为1kHz，并调节其输出幅度，使被测仪器记录笔指示在20dB处。

③ 逐档每10dB改变被测仪器的"输入衰减器"档位，同时每10dB改变精密衰减器的衰减量，并微调精密衰减器，使被测仪器的记录笔保持在20dB位置不变。精密衰减器的微调量，即"输入电位器的精度"。

29. 整流器响应

rectifier response

电平记录仪以有效值或平均值、峰值来记录输入信号。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图31-26。

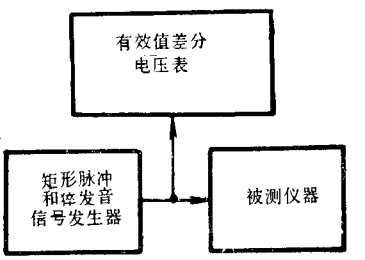


图 31-26

(2) 测试步骤

① 被测仪器控制器置如下位置：

输入电位器 10
输入衰减器 0dB
整流响应 rms

② 调节矩形脉冲和猝发音信号发生器1000Hz正弦信号幅度，使被测仪器的记录笔指示在30dB处，调节有效值差分电压表的基准电压，使其指示为0。调节矩形脉冲和猝发音发生器，输出所需峰值因数的矩形脉冲，调节其输出信号幅度，参看指标17"有效值检波特性"中的表31-16。使有效值差分电压表指0，这时被测仪器记录笔指示值与30dB之差就是被测仪器"有效值检波响应"的误差。

③ 调节1000Hz正弦信号幅度，使被测仪

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

器记录笔指示在 20dB，而后，将整流响应开关转到“Average”，记录笔示值与 19.1dB 之差就是“平均值响应”的误差；再将整流响应开关转到“peak”记录笔示值与 23dB 之差就是“峰值响应”误差。

注：对于正弦信号 $V(t)=V_m\sin\omega t$ 其有效值 V_{rms} 与峰值 $V_{peak}=V_m$ 的关系为：

$$V_{peak}=V_m=\sqrt{2}V_{rms}\approx1.414V_{rms}$$

有效值与平均值（$V_{average}$）的关系为：

$$V_{average}=\frac{2\sqrt{2}}{\pi}V_{rms}\approx0.90018V_{rms}$$

或 $$V_{rms}=1.11V_{average}$$

故，当设 $V_{rms}=20\text{dB}$，则有：

$$V_{peak}=23\text{dB},\ V_{average}=19.1\text{dB}。$$

表 31-19 电平记录仪的主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
正弦信号发生器	B&K 1023、1027、2010	JJG(电子)15002-88
有效值差分电压表	931B	
精密衰减器	SHK-15	
矩形脉冲和猝发音信号发生器	802A	

声级计的技术指标及测试方法，请参看测量放大器和电容传声器等的有关内容。

组合电声仪器的技术指标及测试方法一般都可按各组合单元分解，可按这些单元仪器分别找到相应的内容。

第 5 节 声压量值传递表

1. 传声器量值传递表

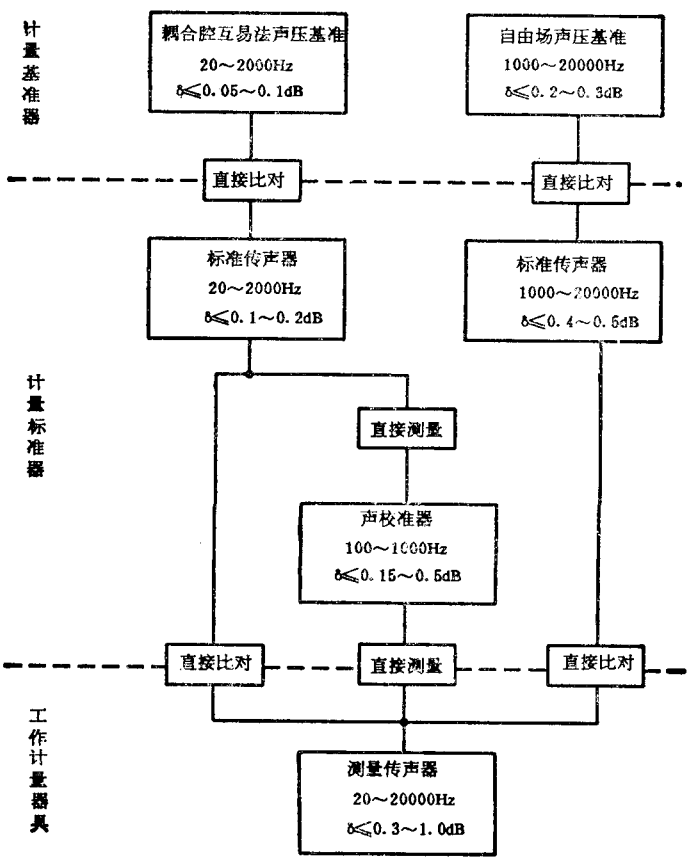


图 31-27

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2.信号发生器

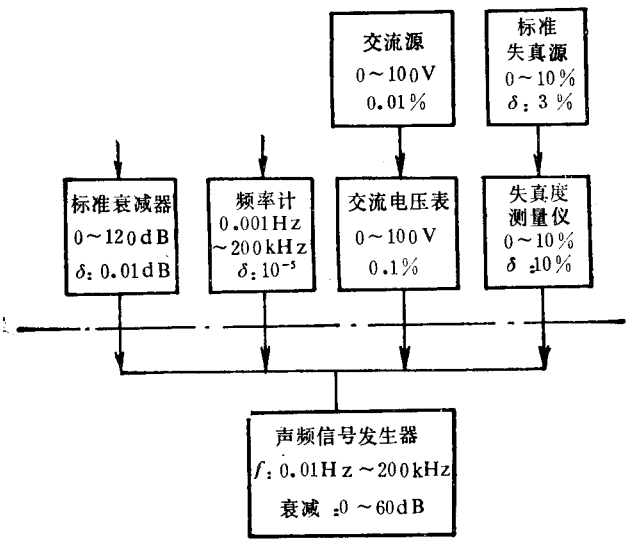


图　31-28

3.滤波器量值传递表

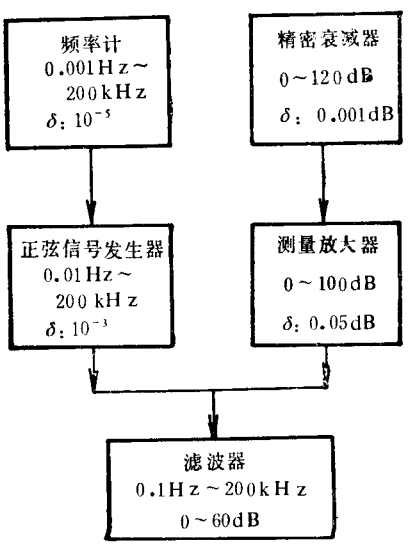


图　31-29

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第32章　广播音响测量仪器

第1节　综　　述

随着通信、广播事业的发展，广播音响测量仪器便异军突起，逐渐形成电子测量仪器的一个门类。它包括立体声信号发生器，调频立体声信号发生器，调幅立体声信号发生器，从低频到高频的扫频信号发生器，双通道交流毫伏表，抖晃测量仪，自动频率响应检测仪，电压比较仪，立体声解调器，双通道分离度计，立体声示波器，各种广播频段的扫频仪，收音机、录音机、电视机等测量用滤波器等等。

广播音响测量仪器作为一个门类出现是进入80年代以来的事。将音响仪器作为一个单独的门类，最早见于日本芝测（SHIBASOKU）电子公司1982年的产品介绍中。当时列出的产品有：声频分析仪、失真度测量仪、自动失真度测量仪、数字失真仪、可程控振荡器、抖晃测量仪等。其次是日本利达（LEADER）电子公司，在1983年的产品介绍中，也将音响仪器作为一个门类单独列出。当时列出的仪器有：抖晃测量仪、抖晃分析仪、自动频率响应检测仪、频率响应记录仪、声器分析仪、均衡放大器、微音器放大器、声频响应示踪器、自动失真度测量仪、声频点频振荡器、双通道交流毫伏表、自动双通道交流毫伏表、双通道dB电平表、对数交流毫伏表、电压比较仪等。日本菊水（KIKUSUI）电子公司也在1983年产品介绍中同样将音响仪器专辟一类。当时仅列出了几种抖晃测量仪和自动失真度测量仪。其它公司和厂商虽然都有类似仪器，但都没有将这些仪器另辟一个门类，而是附属于其它门类仪器之中。

在我国，原天津市无线电一厂（现天津市中环科学仪器公司）于1982年专门成立了音响测试仪器研制室，专攻音响类仪器。这个研制室成立前，于1981年已经推出了SX-1(HG1310)低频扫频信号发生器。研制室成立后，研制工作全面展开。1982年一年时间先后设计定型了HG1610型调频立体声信号发生器，HG2170型双通道交流毫伏表，HG5980型电压比较仪，HG1690型自动频率响应检测仪和HG4110型两点频自动失真度测量仪。随后，1983年又设计定型了HG1620型立体声信号发生器，HG1210型中波扫频仪，HG1230型中频扫频仪，HG1240型短波扫频仪，HG4111型三点频自动失真仪。1984年以后又陆续推出了HG4121型双通道三点频自动失真仪，HG5991型双通道自动频率响应检测仪，HG1611和HG1611A型调频立体声信号发生器，HG2180型自动双通道交流毫伏表，HG5970型抖晃测量仪，HG4240型立体声示波器。还有其它音响应用产品，如彩电延迟线，陶瓷滤波器测试用扫频仪，双联电位器同步测试仪等等。

在我国，生产以上类似仪器的有不下十个厂家。主要有北京无线电仪器二厂，上海无线电二十六厂，上海无线电仪器厂，苏州电讯仪器厂，浙江无线电厂，上海无线电二十一，厂天津市第二电子仪器厂，南京无线电仪器厂，北京显示仪器厂等等。

北京无线电仪器二厂从1981年起先后推出了XT24型立体声信号发生器，BS4、BS5二点频自动失真仪，ZN4110、ZN4111双通道二点频自动失真仪，ZN3991型双通道分离度计，ZN3992型立体声解调器，ZN5970型抖晃测量仪，还有ZN2190型双通道电压表等产品。上海无线电二十六厂于1982年以后投产了XDQ-1型立体声调制信号发生器，DAQ-1型自动立

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

体声双通道电压表，DAQ-3 型立体声双通道电压表，XSQ-2 型 MW/SW 扫频信号发生器，XSQ-5 型音频扫频信号发生器，XSQ-6 型调幅中频扫频信号发生器，XSQ-7 型调频中频扫频信号发生器，还有 XSQ-8 型 FM 扫频信号发生器。1983 年以后，苏州电讯仪器厂投产了几种双通道交流毫伏表；上海无线电仪器厂先后推出了 S104 型调频立体声信号发生器，AS 2292 型双输入交流电压表；浙江无线电厂投产了 RF-1 型收音机测量用滤波器，CF-1 型录音机测量用滤波器，ZW 3765 型调频广播接收机测量滤波器，还有 ZW1611 型 FM 立体声信号发生器，ZW 1612 型 FM 立体声信号发生器，ZW 2170 型双通道交流毫伏表。南京无线电仪器厂的低频频率响应检测仪在 1981 年投入了生产。上海无线电二十一厂和北京显示仪器厂都投产了立体声示波器。北京长城无线电厂投产了抖晃仪。

近年来，广播音响测试仪器正在向高性能、数字化、自动化、程控化、智能化方向发展。现在就几种主要仪器简述如下：

（一）立体声信号发生器

(1) 立体声信号发生器主要指标有：立体声信号的分离度、失真、信噪比和副载波抑制。国际上这类产品在 30Hz～15kHz 频率范围内，立体声分离度已超过了 66dB；失真已经小于 0.005%；信噪比在 100% 调制时大于 90dB；副载波抑制在 100% 输出电平时超过了 66dB。现在，还在向更高性能方向发展。

(2) 向可编程立体声信号发生器方向发展。例如：丹麦 RE 公司的 RE 501，RE 501-02 可编程立体声信号发生器；日本松下公司的 VP-7633A 和 VP-7634A 可编程立体声调制器。

(3) 广泛使用调频立体声广播体制，并开始试行调幅立体声广播体制。1983 年日本松下公司已经做出了 VP-8252A 调幅立体声信号发生器，频率范围为 100.00kHz ～ 1999.99kHz，六位数字显示，分辨率为 10Hz；输出电平为－20dB～132dB (CW)；－20dB～128dB (在 AM100%)，三位数字显示，1dB 步进；提供多种调幅立体声信号，有四种调幅立体声体制 (AM-PM，ISB，C-QU AM，CPM)，为调幅立体声收音机的分离度和保真度的测量提供了手段；采用了随机存储器 (RAM)，使测量变得程序化，自动化。

在我国，还没有调幅立体声广播体制，所以还没有这方面的产品问世。但是，一些科研和教学单位，在这方面，已经做了大量的工作。这对我国调幅立体声信号发生器的开发是非常有益的。

（二）双通道交流毫伏表

双通道交流毫伏表有手动量程换档，自动量程换档，或两者兼而有之。这种电压表是适应立体声系统而发展的，由于它的经济性、方便性、灵活性的缘故，它的使用已经远远超出了这个范围，有可能成为一种通用测试仪器。

双通道交流毫伏表一般精度不高，这是由于被测对象往往不要求太高精度所致。日本利达公司的 LMV-189AR (BR) 双通道交流毫伏表精度已经做到满刻度的 ±2%，频率响应误差在 20 Hz～100kHz 范围内，做到了±2%。我国，除了个别生产厂家外，还普遍存在着差距。

另外，这种交流电压表目前最低量程满刻度为 300μV。由于这种表使用面很广，需要有更低的量程。现在，有的生产厂家正在开发最低满刻度量程为 100μV 的双通道交流毫伏表，不久即可面世。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（三）抖晃测量仪

抖晃测量仪被广泛用来测量电影机、磁带录音机、电唱机录音和放声时，由于机械振动引起的频率调制即所谓抖、晃。

目前，抖晃测量仪正在向数字化、遥控、计算机接口方面发展。1982 年，日本芝测公司推出 703A 抖晃测量仪，具有抖晃测量的四位数字显示，使用存储测量，峰值保持，SIGMA 存储，具有计算机接口功能。遥控输入信号有指示、功能、量程、存储、数字、抖-晃、重复、启动、SIGMA、峰值保持、频率、输入电平、本地/遥控等。输出信号为数据输出，抖-晃数据、带速数据、量程输出数据等等。输入与输出信号用光电耦合器隔离。能与 CPU 一起构成一个自动测试系统。

（四）失真度测量仪

传统的失真度测量仪靠波段开关来转换量程，并由指针指示测量结果，其滤波电路的调谐、调相亦全靠人工操作，操作缓慢、指示不精确。现在总的趋势是向数字化、可编程、自动失真度测量

国内外广播音响测量仪器代表性产品重要性能指标对比表

产品名称	指标名称	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
立体声信号发生器	程控 分离度 (dB) 失真度(%)	RE501; VP 7633A 可程控 MSG 211G1 30Hz～15kHz ≥66 MSG 211G1 30Hz～15kHz≤0.005	无 程 控 XT 24 100Hz～4kHz≥60 HG 1620 50Hz～15kHz≤0.05
调频立体声信号发生器	主载频 分离度 (dB)	MSG 2161 数字显示 MSG 2161 400Hz～1kHz≥55	HG 1611A 刻度指示 HG 1611A 1kHz≥50
低频扫频信号发生器	失真度(%)	MAS-413A 优于 0.5	HG 1310 优于 1
高频扫频信号发生器	频标 频标精度	480 系列数字指轮开关设置 480 系列 0.1%以内	XSQ 系列频率刻度 XSQ 系列 0.2%以内
双通道交流毫伏表	测量精度	LMV-186AR 满度的±2%	HG 2180 满度的±2%
	噪声	LMV-186AR 最小量程的±2%	HG 2180 最小量程的±2%
立体声解调器	分离度 (dB)	MDA 456A 100Hz～10kHz≥72	ZN 3992 100Hz～10kHz≥72
	失真度(%)	MDA 456A 50Hz～10kHz≤0.005	ZN 3992 50Hz～10kHz≤0.01
抖晃测量仪	抖晃显示	703A 4 位数字显示	JS 5973 3 位数字显示
	输 出	703A 带接口可程控	JS 5973 编码输出无接口
自动频率响应检测仪	测量范围	LAT4012 ±15dB	HG 5991 ±15dB
	测量精度	LAT4012 ±1dB	HG 5991 ±1dB
电压比较仪	比较范围	LVC 94 ±46dB	HG 5980 ±46dB
	测量精度	LVC 94 1mV～5V ≤1.5dB	HG 5980 2mV～5V ≤1.5dB
扫频仪	标频精度	VP-8911A 0.01%	HG 1230 0.05%
	输出电平	VP-8900A 系列 100dB±1dB	HG 1200 系列 100dB±1dB

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

仪方向发展。例如：TEK AA 5001，芝测725都是可编程失真度测量仪。

（五）自动测试系统

除以上介绍的立体声信号发生器，抖晃测量仪，失真度测量仪外，还有带计算机接口的FM/AM信号发生器，如HP公司，TEK公司，马可尼公司，松下公司，罗德-施瓦茨公司，目黑公司等等都有不少这种产品。可编程低频信号发生器，如TEK SG 5010可程控振荡器，松下VP-7212可编程RC振荡器，芝测590R可编程振荡器等等。可编程声频分析仪有松下的VP-7720 A和VP-7721A。可编程衰减器，如芝测的528等等。

这些带有计算机接口的仪器组合起来，很容易实现自动化测试。

1984年日本松下公司就有了FM/AM收音机自动测试系统。这个系统由立体声调制器（VP-7633A或VP-7634A）、FM/AM信号发生器（VP-8179B10），还有VP-7610A系统处理装置，VQ-071M指示器组成，另外还可以加上可编程交流电平表VP-2803B或者可编程失真仪等等，进行任意组合。

同样，利用不同的仪器组合，也可以组装成磁带录音机自动测试系统。

广播音响测试仪器和其它测量仪器一样，目前都在向数字化、程控化、智能化方向发展。在这方面，广播音响类测试仪器显得更为突出，因为广播音响设备生产量大，劳动强度大，迫切需要这种变革。

第2节 分 类

广播音响测试仪器是新形成的一个仪器门类，它有其独有的测试仪器，也包括一些通用仪器，还有介乎通用和专用之间的仪器，大致分为如下几类：

1. 信号发生器：立体声信号发生器，调频立体声信号发生器，低频扫频信号发生器，高频扫频信号发生器
2. 双通道交流毫伏表
3. 立体声解调器
4. 抖晃测量仪
5. 自动频率响应检测仪
6. 电压比较仪
7. 扫频仪：中频扫频仪，中波扫频仪，短波扫频仪，调频扫频仪，视频扫频仪
8. 双通道分离度计
9. 测量滤波器
10. 失真度测量仪
11. 其它：综合测量仪，声频分析仪，立体声示波器等

第3节 术语、定义

（一）信号发生器

Signal generator

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1. 立体声信号发生器

stereo signal generator

(1) 导频制

pilot system

导频制是采用导频、抑制副载波的立体声调频广播的一种制式。利用左（L）和右（R）两个声道信号的和与差，使和信号具有分布在声音频带内的频率分量，包括左、右两个声道信号的全部信息，形成主信道信号（M）；而用差信号以调幅的方式平衡调制 38kHz 副载波，抑制副载波输出，形成副信道信号（S）。主信道信号、副信道信号和 19kHz 导频信号叠加，组成所谓立体声复合信号，对主载波进行频率调制，然后由发射机发射出去，这就是导频制立体声调频广播。

(2) 导频制立体声复合信号

pilot system stereo composition signal

导频制立体声复合信号简称立体声复合信号，由主信道信号、副信道信号和 19kHz 导频信号叠加而成。

(3) 导频信号相位差

pilot signal phase difference

在立体声复合信号中，导频信号正斜率和时间轴相交时，副载波信号同时也以正斜率和时间轴相交。以副载波信号与时间轴相交点为基准，导频信号的交点与此交点相对于导频信号一周为 360 度的相位差，即为导频信号相位差。它是由于导频信号与副载波信号传输过程不一致而引起的。由于导频信号相位差的存在，会影响立体声分离度指标，严重时，其直接效果是声像混淆，甚至声像颠倒，所以必须使导频信号相位差控制到最小。

(4) 分离度

separation

分离度是指形成立体声复合信号过程中，左、右声道信号在信道相互之间漏泄的程度。分离度通常用分贝来表示。它是这样定义的：左(或右)声道有信号输入，而右(或左)声道为零信号输入，通过解调后，左(或右)通道的输出信号为 $(u_L)_L$ [或 $(u_R)_R$]；反过来，左(或右)声道为零信号输入，而右(或左)声道有信号输入，通过解调后，左(或右)通道的输出信号为 $(u_L)_R$ [或 $(u_R)_L$]，两输出信号之比用 dB 表示，就叫分离度。其数学表达式为：

$$S_L = 20\lg\frac{(u_L)_L}{(u_L)_R}$$
$$S_R = 20\lg\frac{(u_R)_R}{(u_R)_L} \tag{32-1}$$

式中 S_L——左声道的分离度（dB）；

S_R——右声道的分离度（dB）；

$(u_L)_L$——左声道输入额定音频电压而右声道为零信号，解调器左通道的输出电压值（V）；

$(u_L)_R$——右声道输入额定音频电压而左声道为零信号，解调器左通道的输出电压值（V）；

$(u_R)_R$——右声道输入额定音频电压而左声道为零信号，解调器右通道的输出电压值（V）；

$(u_R)_L$——左声道输入额定音频电压而右声道为零信号，解调器右通道的输出电压值（V）。

(5) 通道串音

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

crosstalk between channels

串音是指左、右声道信号在形成立体声复合信号过程中，信号在信道之间相互串扰的程度，通常也用分贝表示。它是这样定义的：左(或右)声道有信号输入，而右(或左)声道为零信号输入，左(或右)声道的信号串入了右(或左)信道，使右(或左)信道输出了与左（或右）信道内容相同的信号。通过解调后，左(或右)通道的输出信号与右(或左)通道的输出信号之比，用 dB 表示，就叫通道串音。其数学表达式为：

$$C_L = 20\lg\frac{(u_L)_L}{(u_R)_L}$$
$$C_R = 20\lg\frac{(u_R)_R}{(u_L)_R} \qquad (32\text{-}2)$$

式中　C_L——左到右的串音（dB）；

C_R——右到左的串音（dB）；

$(u_L)_L$、$(u_R)_L$、$(u_R)_R$、$(u_L)_R$ 的定义与分离度中的定义相同。

串音也可以用示波器显示波形峰-峰值 A 与谷-谷值 B 之比，用 dB 表示，如图 32-1。

根据平衡调制器的原理，如果峰值为左声道信号，那么谷值则为右声道信号；反之，如果峰值为右声道信号，那么谷值则为左声道信号。这时串音的数学表达式为：

$$C = 20\lg\frac{A}{B} \qquad (32\text{-}3)$$

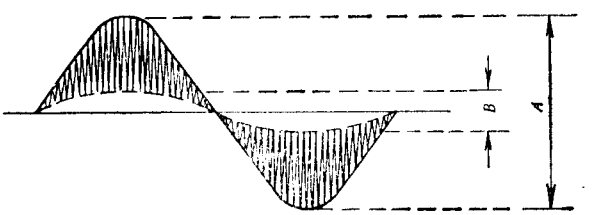


图　32-1

式中　C——左到右(或右到左)的串音(dB)；

A——左声道（或右声道）有信号，而右声道(或左声道)为零信号，无导频调制信号，复合信号输出显示波形的峰-峰值（V）；

B——上述显示波形的谷-谷值（V）。

串音和分离度的定义及测试方法都不一样，但是测试指标结果是一致的。所以，有的产品给出分离度指标。有的却给出串音指标。我国统一给出分离度指标。而在国外有的公司企业只给出串音指标。例如德国的罗德-施瓦茨公司就是如此。在没有立体声解调器的场合，用示波器测试串音来代替分离度的测试是等效的。例如日本的目黑公司和利达公司等在其产品说明书中介绍的都是用示波器法来测试分离度指标。

(6) 测试信号

test signal

对立体声系统进行测量所需要的四种特定的立体声复合信号。

① 左测试信号(左复合信号或左立体声信号)：由立体声信号发生器左通道插孔输入正弦波信号，而右通道无输入信号时，所形成的立体声复合信号。其信号组成为：

导频信号成份　10%；

主信道信号成份　45%；

副信道信号成份　45%；

② 右测试信号(右复合信号或右立体声信号)：由立体声信号发生器右通道输入正弦波信号，而左通道无输入信号时，所形成的立体声复合信号。其信号组成为：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

导频信号成份　10%；

主信道信号成份　45%；

副信道信号成份　45%。

③ 主测试信号：由立体声信号发生器左、右通道同时输入同相等幅的正弦波信号时，所形成的立体声复合信号。其信号组成为：

导频信号成份　10%；

主信道信号成份　90%；

副信道信号成份　0%。

④ 副测试信号：由立体声信号发生器左、右通道同时输入反相等幅的正弦波信号时，所形成的立体声复合信号。其信号组成为：

导频信号成份　10%；

主信道信号成份　0%；

副信道信号成份　90%。

(7) 额定输出电平幅度

rated output levev amplitude

额定输出电平幅度是指立体声信号发生器的立体声复合信号中，导频信号的调制度为10%，左(或右、或主、或副)信号的调制度为90%，复合信号电平旋钮顺时钟方向旋到底的最大可能输出电平幅度。

每一种立体声信号发生器都有自己规定的额定输出电平幅度。

(8) 左、右(或主、副)信号相位差

left、right (or main、sub) signal phase difference

由于左、右(或主、副)信号形成立体声复合信号时传输路径不一致所引起的相位差。

2. 调频立体声信号发生器

FM stereo signal generator

(1) 调频立体声信号

FM stereo signal

用立体声复合信号作为调制信号，对调频广播工作频率范围中任一频率进行频率调制，这种被立体声复合信号调频的信号称为调频立体声信号。

(2) 调频立体声信号发生器

FM stereo signal generator

调频立体声信号发生器是集载频信号发生器与立体声信号发生器于一体的一种信号发生器。载频信号发生器的频率应与调频广播工作频率范围相对应。

调频广播工作频率范围为64.5～108MHz。不同国家和地区使用频段不一致，我国使用87～108MHz作为调频广播的工作频率范围。

(3) 主载波频率

main carrier frequency

调频立体声信号发生器可以在调频广播的工作频率范围内任选一个点频或几个点频作为主载波频率，也可以是一个连续可调的频段，或者两者兼而有之。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3. 低频扫频信号发生器

low frequency sweep signal generator

(1) 扫频信号发生器

sweep signal generator

输出信号的频率随着时间在一定范围内反复扫描的信号发生器称为扫频信号发生器，国外一般称为扫频振荡器 (sweep generator)。利用扫频信号发生器能够快速地测量元器件和系统的频率特性、动态特性，进行信号频谱分析等。

(2) 扫频方式

sweep modes

由扫频信号发生器内扫描电压按给定的方式所实现的扫频。

低频扫频信号发生器可分为单次扫频、连续(或自动)扫频、手控扫频和外控扫频。在连续扫频中还可以有起止扫频。

(3) 单次扫频

single sweep

由单次按钮启动一次扫描电压而实现仅一次的扫频方式。

(4) 自动扫频

automatic sweep

由周期性扫描电压控制的扫频方式。扫描电压可以是锯齿波、三角波、正弦波。

(5) 手动扫频

manual sweep

由手动旋钮控制扫描电压而实现的扫频方式。

(6) 外控扫频

external sweep

由外部信号电压控制扫频信号发生器而实现扫频的方式。

(7) 起止扫频

start-stop sweep

扫频宽度由起始和终止频率旋钮控制的扫频方式。

4. 高频扫频信号发生器

high frequency sweep signal generator

(1) 扫频图示仪

sweep display

一种具有显示装置的扫频信号发生器。

(2) 细调频率范围

fine tune frequency range

粗调频率旋钮调定时，细调频率旋钮所调节的高于和低于调定频率值的频带宽度。

(3) 扫频中心频率

sweep center frequency

窄带扫频或对称扫频时，扫频宽度为零的载波频率。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(4) 单频

single frequency

由固定的直流电压控制的固定载波频率输出方式。

(5) 触发扫频

trigger sweep

由触发脉冲信号启动扫描电压而实现的扫频方式。

(6) 对数扫频

logarithmic sweep

扫频的频率在线性扫描坐标轴上以对数的刻度表示。

(7) 标志扫频

mark sweep

扫频宽度由两个频率标志旋钮控制的扫频输出。

(8) 窄带扫频

narrow band sweep

对称于中心频率的窄频带扫频。

(9) 频率标志

frequency marker

用以表示扫频信号频率的标志信号。标志的形式可以是脉冲标志、线状标志、菱形标志等。

(10) 消隐信号

blanking signal

用以消除扫频回程扫迹的脉冲信号。

(11) 提笔信号

pen lift signal

在扫频回扫期间用以提起 X-Y 记录仪描笔的脉冲信号。

(12) 内稳幅

internally levelled

由扫频信号发生器机内实现的稳幅。

(13) 外稳幅

externally levelled

扫频信号发生器借助于机外辅助设备实现的稳幅。

(二) 双通道交流毫伏表

dual channel AC millivoltmeter

1. 电子电压表

electronic voltmeter

凡利用电子线路构成的电压表，都可称为电子电压表，但通常这是指模拟式电压表而言，不包括数字式电压表。

相对于电工仪表，电子电压表的优点是输入阻抗高、量程广、频率范围宽、过载能力强。而相

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

对于数字式电压表，则电路结构简单、维修方便、造价低廉。其缺点是精度不高。

2. 双通道交流毫伏表

dual channel AC millivoltmeter

双通道交流毫伏表是随着广播音响设备的发展而新产生的一种电子电压表。它具有两个独立的通道、两个独立的指针指示系统，能同时测量两个分离负载不同点的电压，量程控制可以两个通道各自独立控制，也可以由一个量程控制同时控制两个通道的量程，这样的交流毫伏表称为双通道交流毫伏表。

3. 自动双通道交流毫伏表

automatic dual channel AC millivoltmeter

具有量程自动转换的双通道交流毫伏表。这种表由于很宽的量程范围，使用方便，操作简单，获得了越来越广泛的应用。

4. 噪声电压

noise voltage

在输入端良好短路时，在最小量程档，毫伏表指针的偏转指示值称为噪声电压。

（三）立体声解调器

stereo signal demodulator

1. 立体声解调器

从立体声复合信号中将调制信号还原(解调)出来的一种仪器。

立体声解调器的分离度（或通道串音）指标至少要比立体声信号分离度指标高 6dB，同时要求尽量少的给还原出来的调制信号带来附加非线性失真。

2. 去加重

deemphasis

去加重亦称频率响应去矫。在调频广播中，它指的是在接收机中去掉加重的调制信号中的高频分量，还原调制信号的本来面目。其过程与预加重相反，去加重网络是设在解调以后的电路中。

去加重网络通常也是由简单的阻容电路组成，其时间常数与预加重时间常数相对应，一般为 25μs、50μs、75μs。

（四）抖晃测量仪

wow flutter meter

1. 抖晃率

wow and flutter

抖晃率又称抖动率或称失调率，是录音机的一项主要指标。

抖晃率是指录音机运转时，由于传动机构的配合不精以及运行中因张力、摩擦、振动等原因引起磁带运行速度变动，造成放音时音调周期性的变动现象。这种速度变动是一个复合变量，影响较大的是 0.2～200Hz。通常将 10Hz 以上的变动叫做抖动（flutter），10 Hz 以下的变动叫做晃动（wow）。抖动反映在听觉上是音质不清，晃动反映在听觉上是音调变动。一般 0.2Hz 以下的缓慢变动则叫做漂移。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

抖晃率以速度变动的百分比率来表示。其数学表达式为：

$$抖晃率=\frac{V_0-V}{V}\times 100\% \tag{32-4}$$

式中 V——平均速度或额定速度；

V_0——瞬时速度。

放音信号频率是磁带速度的函数，因此录音放音速度变化率也可用频率变化率来表示：

$$频率变化率=\frac{f_0-f}{f}\times 100\% \tag{32-5}$$

式中 f——中心频率；

f_0——瞬时频率。

换句话说，抖晃与中心频率为 f，频偏为 f_0-f 的频率调制是一样的。抖晃率表示频率调制的程度。

2. 磁带速度

tape speed

磁带速度是指录音机在单位时间内传送磁带的长度，简称“带速”。

3. 带速误差

tape speed error

带速误差是指录音机实际走带速度与标称磁带速度之间的差别，用示值(标称值)相对误差来表示。

4. 抖晃的计权曲线

weighted curve for wowand flutter

由于人耳对音调波动频率有不同的灵敏度，因此在计测录音和重放设备的抖晃时，应使测量仪器（抖晃仪）对抖晃频率的灵敏度具有与人耳相似的特性。这时仪器指示出的抖晃数字就是抖晃的计权值。将抖晃的计权值按其频率描绘成的曲线称为抖晃计权曲线。它与人们的主观感觉应是一致的。

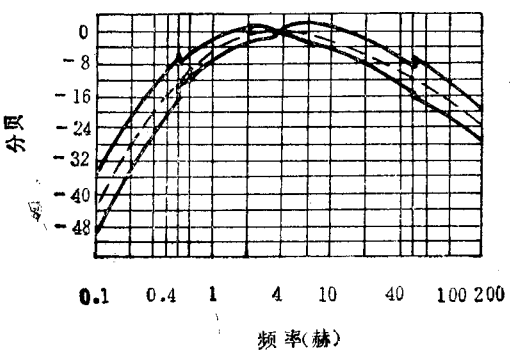


图 32-2

国际无线电咨询委员会规定的矫正曲线如图32-2所示。

（五）自动频率响应检测仪

automatic frequency response checker

1. 输出选择

output select

自动频率响应检测仪可以选择的几种输出信号。他们有 1kHz 参考输出，选择低频输出，选择高频输出，以及前三者的混合信号输出。

2. 功能选择

function select

自动频率响应检测仪可以选择的几种功能。可以选择平衡，上限定值，下限定值，以及测量。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3. 上限定值

upper limit constant value

频率响应特性低端频率和高端频率处上限响应可预先设置的一定值。频率响应检测仪可以在±15dB 范围内任意设置。

4. 下限定值

lower limit constant value

频率响应特性低端频率和高端频率处下限响应可预先设置的一定值。自动频率响应检测仪可以在±15dB 范围内任意设置。

5. 越限指示

over limit indication

频率响应特性超过上限定值或下限定值时，越限指示灯点亮。自动频率响应检测仪有低频上限、下限和高频上限、下限四种越限指示。

（六）电压比较仪

voltage comparator

对两路信号电压进行比较，将比较结果用 dB 刻度的形式由指针指示出来的一种仪器。

（七）扫频仪

sweemar scope

1. 扫频仪

(1) 中频扫频仪

intermediate frequency sweemar scope

是指适合调幅/调频广播收音机中频特性测试的扫频仪。其频标点为固定五点频标。

调幅中频五频标点为：

465（或 455）kHz；

465（或 455）kHz±5kHz；

465（或 455）kHz±10kHz。

调频中频五频标点为：

10.7 MHz；

10.7 MHz±75kHz；

10.7MHz±150kHz。

(2) 中波扫频仪

medium wave sweemar scope

是指适合调幅广播收音机中波波段频率范围的扫频仪。其五个频标点由数字指轮开关，频率按低到高任意设置，频标点最小步进为 1kHz。

(3) 短波扫频仪

short wave sweemar scope

是指适合调幅广播收音机短波波段频率范围的扫频仪。其五个频标点由数字指轮开关，频率

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

按低到高任意设置，频标点最小步进为 1kHz。

(4) 综合扫频仪

integrated sweemar scope

是指适合调幅广播收音机从长波波段到短波波段频率范围内的扫频仪。这种扫频仪五个频标点也是由数字指轮开关，频率按低到高任意设置，但有一波段和五波段之分。一波段扫频仪所有频率范围频标点设置只有一组指轮开关控制；而五波段扫频仪在频率范围内的频标点可由五组指轮开关设置，五组指轮开关控制的频段由使用者自由安排。例如：第一组指轮开关设置长波波段的频标点，第二组指轮开关设置中波波段的频标点，第三、第四、第五组指轮开关可以分别设置为短波 1、短波 2、短波 3 的频标点；或者作滤波器频标点的设置都可以。

(5) 调频扫频仪

frequency modulation sweemar scope

是指适合调频广播收音机频率范围的扫频仪。其五个频标点同样由数字指轮开关，频率从低到高任意设置，频标点最小步进为 10kHz。

2. 线性显示

linear display

显示图形的幅度正比于输入信号电压。

3. 对数显示

logarithmic display

显示图形的幅度正比于输入信号电压的对数值。

4. 频率标志预置

preset frequency marker

频率标志可以由操作者按规定随意预先设置。广播频段扫频仪除了固定频标外一般都由数字指轮开关预置频标。

5. 固定频率标志

fixed frequency marker

扫频仪机内设置的，操作者不能改变的频率标志。

(八) 双通道分离度计

dual channel separation meter

对调频立体声接收机及类似装置的分离度调整测试的一种仪器。

(九) 测量滤波器

measuring filter

1. 滤波器 filter

(1) 选频滤波器

frequency-selective filter

选频滤波器是一种频率选择部件。它可以通过某些频率的信号，抑制或衰减另外一些频率的信号。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 低通滤波器

low pass filter

低通滤波器是选频滤波器的一种，通过低于某一截止频率的低频频率信号，抑制或衰减高于该截止频率的高频频率信号。

(3) 高通滤波器

high pass filter

高通滤波器是选频滤波器的一种，通过高于某一截止频率的高频频率信号，抑制或衰减低于该截止频率的低频频率信号。

(4) 带通滤波器

band pass filter

带通滤波器是选频滤波器的一种，通过以某一中心频率为几何中心，具有一定通带宽度的频带信号，抑制高于和低于这一频带的频率信号。通带宽度为低端截止频率和高端截止频率之间的频带宽度。

(5) 带阻滤波器

band elimination filter

带阻滤波器是选频滤波器的一种，又称之为陷波器，它抑制某一中心频率为几何中心的某一频带信号，而通过其他频率的信号。

(6) 全通滤波器

all-pass filter

让所有频率信号都一样通过，但输出信号对输入信号的相移值是频率的函数，这种滤波器称为全通滤波器，也称为相移滤波器。

(7) 测量滤波器

measuring filter

用于某种测量目的而特别设计的一种选频滤波器或多种选频滤波器相组合，组成一种测试仪器，称之为测量滤波器。

(8) 无源滤波器

passive filter

由电阻、电感和电容无源元件组成的滤波器，称之为无源滤波器。

(9) 有源滤波器

active filter

由电阻、电容、有源器件及相应的独立电源组成的滤波器，称之为有源滤波器。

2. 截止频率

cut-off frequency.

作为通带与阻带分界点的频率称为截止频率，简称“截频”。

3. 通带

pass band

一个滤波器，对于单位输入信号，输出幅度大于某一规定值的频率范围，称为通带。

4. 阻带

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

stop band

一个滤波器，对于单位输入信号，其输出幅度小于某一规定值的频率范围，称为阻带。

5. 过渡带

transition band

一个滤波器，对于单位输入信号，从通带到阻带输出幅度逐渐减小的这个频率区间；或从阻带到通带输出幅度逐渐增大的这个频率区间，称为过渡带。

6. 计权网络

weighting network

声级的测量需要模拟人耳的等响特性，所以声级计的总频率响应应与人耳的等响曲线相适应。为此，一般在声级计中装有三个其频响曲线分别为40方、70方及100方三条等响曲线相对应的滤波器，它们分别叫做A、B、C计权网络，如图32-3所示。测量时可根据不同的声级及测量要求选择其中一个。目前倾向于A计权。

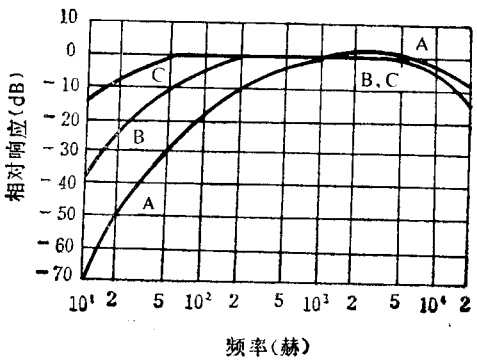


图 32-3

(十) 失真度测量仪

distortion meter

见第22章失真度测量仪。

(十一) 其它

第4节 技术指标汇总表

由于广播音响测量仪器种类繁多，指标各异，因此汇总表采用仪器分类列出、统一序号的编排方式。有些仪器的指标在通用仪器中已经讲到，这里不再重复，读者可参阅相应的章节。

技术指标汇总表

类　别	技 术 指 标
(一) 立体声信号发生器	1. 通电预测功能 2. 内调制器频率 3. 内调制器频率误差 4. 内调制器输出电压 5. 内调制信号失真度 6. 输入阻抗 7. 输入电平 8. 预加重特性 9. 频率特性 10. 输出电平幅度 11. 输出阻抗 12. 分离度

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

类 别	技 术 指 标
	13. 通道串音 14. 谐波失真度 15. 信噪比 16. 副载波抑制 17. 副载波漏泄 18. 导频频率误差 19. 导频频率稳定度
(二) 调频立体声信号发生器	20. 载波频率误差 21. 载波输出电平误差 22. 衰减误差 23. 频偏及误差 24. 调频失真 25. 预加重特性 26. 调频立体声信号分离度
(三) 低频扫频信号发生器	27. 扫频频率范围 28. 频率误差 29. 频率重调误差 30. 扫描时间 31. 频率响应 32. 振幅偏差 33. 输出波形 34. 输出指示误差 35. 输出电平误差 36. 输出阻抗
(四) 高频扫频信号发生器	37. 有效频率范围 38. 起止扫频,标志扫频的端点频率误差 39. 窄带扫频或对称扫频中心频率误差 40. 窄带扫频或对称扫频的带宽误差 41. 频率标志误差 42. 频率标志分辨率 43. 扫频线性误差 44. 固定扫描输出电压 45. 比例扫描输出电压 46. 不稳幅输出电平 47. 不稳幅输出电平平坦度

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

类 别	技 术 指 标
	48. 稳幅输出电平 49. 稳幅输出电平平坦度及稳幅输出电平可调范围 50. 源电压驻波比 51. 载波的相对谐波含量 52. 载波的相对分谐波含量 53. 载波的相对非谐波含量 54. 方波重复频率 55. 方波占空系数 56. 方波调制通断比
（五）双通道交流毫伏表	57. 工作正常性测试 58. 误差：电压测量误差和频率响应误差 59. 噪声电压 60. 输入电阻 61. 输入电容 62. 输入阻抗 63. 开路输出电压 64. 输出带宽 65. 输出频率响应 66. 输出阻抗
（六）立体声解调器	67. 单声频率特性 68. 立体声频率特性 69. 分离度误差 70. 单声谐波失真 71. 立体声谐波失真 72. 去加重 73. 信噪比 74. 输入阻抗 75. 输出阻抗
（七）抖晃测量仪	76. 工作正常性测试 77. 抖晃测量误差 78. 计权曲线 79. 滤波器特性 80. 脉冲动态特性 81. 抗调幅特性 82. 中心频率适用范围

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续　表

类　别	技　术　指　标
	83. 灵敏度 84. 频率计 85. 输出信号 86. 漂移输出 87. 到示波器输出 88. 到记录仪输出
（八）自动频率响应检测仪	89. 工作正常性测试 90. 频率误差 91. 输出信号失真度 92. 输出频率响应特性 93. 输出衰减误差 94. 1kHz 窄带滤波器特性 95. 高频带通滤波器特性 96. 低频带通滤波器特性 97. 高频频率响应测量误差 98. 低频频率响应测量误差
（九）电压比较仪	99. 调零 100. 比较范围和测量误差 101. 频率响应
（十）扫频仪	102. 工作正常性检查 103. 标志频率及误差 104. 扫频频率范围 105. 扫频中心频率范围 106. 扫频宽度 107. 扫频输出电平 108. 扫频非线性系数 109. 垂直灵敏度
（十一）双通道分离度计	110. 左、右通道频率 111. 输入电压范围 112. 自动电平控制范围 113. 分离度误差
（十二）测量滤波器指标	114. 通带宽度 115. 通带内波动

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

类 别	技 术 指 标
	116. 通带外衰减 117. 中心频率可调范围 118. 中心频率衰减 119. 阻带 120. A计权响应误差 121. 放大系数与误差

第5节 技术指标及测试方法

(一) 立体声信号发生器技术性能测试方法

立体声信号发生器有的亦称为立体声调制器或立体声编码器，包括精密型、普通型和调频立体声型。

立体声信号发生器的技术指标和测试方法，在国际上还无统一的标准。根据国际无线电咨询委员会 CCIR 450 号建议书和我国国家标准《GB4311.2-84 调频广播立体声》，以及国际上惯用的技术指标和测试方法，1989 年由北京市无线电仪器二厂起草并完成了《立体声信号发生器通用技术条件》和《立体声信号发生器通用测试方法》国家标准代号分别为 GB3089 和 GB3090。

这部分技术性能测试方法基本上是依据以上标准，同时根据一些实际情况，也列出了某种其它的测量方法。

1. 通电预测功能

为了保证一系列电气性能特性的测试能顺利地进行，在正式测试前应对被测立体声信号发生器进行功能预测。

(1) 预热：应按产品标准规定的预热时间进行。

(2) 导频相位校正：应按产品规定进行。通常，导频信号与副载波信号相位校正，按图 32-4 连接示波器和被测立体声信号发生器。

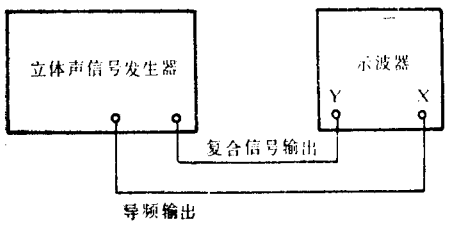


图 32-4

因为导频相位校正使用的仪器是示波器，所以必须使示波器垂直与水平输入保持同相位条件，这就引出了立体声信号发生器的示波器定相，其定相过程如下：立体声信号发生器功能开关置外调制，导频调制开关置通，复合电平输出置最小，适当调节示波器 X、Y 轴输入量程，并调节立体声信号发生器的示波器定相控制器，使示波器显示的波形为一条接近 45° 的斜线，如图 32-5 (b)所示。

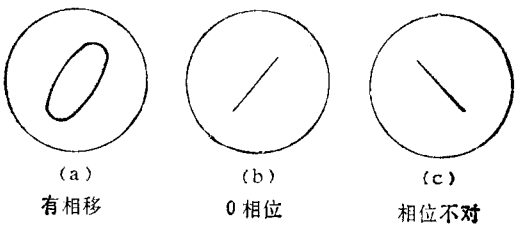


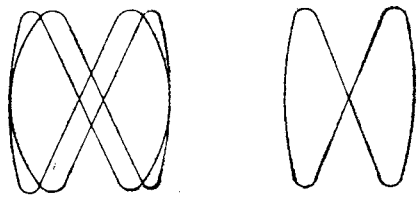
图 32-5

随后，立体声信号发生器的功能开关置副(L-R)，导频调制开关置断，适当调节复合电平输出，并调节立体声信号发生器导频相位控

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

制器，使示波器显示的波形为图 32-6(b) 所示李沙育图形。



(a) 导频信号有相移　　(b) 导频信号无相移

图　32-6

注：校正后，如果变动示波器量程（包括变动增益旋钮），必须在此档重新校正，因示波器在不同档时，分布电容不同，会引起相位变化，故必须重新校正。

(3) 测试信号的示波器检测

① 测试仪器连接如图 32-7。

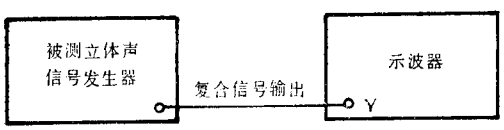


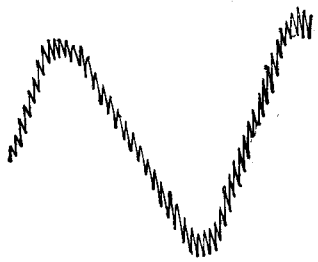
图　32-7

② 测试方法

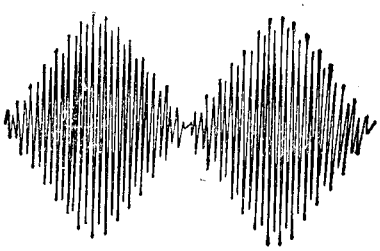
被测立体声信号发生器复合信号输出置最大，调制频率为 1kHz，分别选择主、副、左、右四种测试信号进行观察；

适当改变示波器量程，示波器应分别显示图 32-8(a)、32-8(b)、32-8(c)、32-8(d) 四种图形。

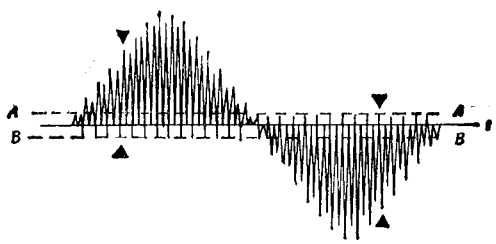
左、右测试信号的识别：在观察左、右测试信号时，从示波器上可以看出水平轴上有两条明显的较亮线，如图 32-8(c)、32-8(d)中标为 A-A 线、B-B 线，称之为基线。观察波形的正半周时，以 B-B 线为基底；而观察波形的负半周时，则以 A-A 线为基底。从基底的任意一个波谷处顺着时间轴往后看，看到其波峰(图中用黑三角标出的波谷-波峰)，如果这个波峰比两旁的两个波峰都高，则观察的波形为左测试信号；如果这个波峰比两旁的两个波峰都低，则观察的波形为右测试信号。



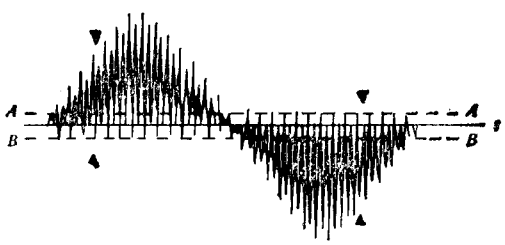
(a) 主测试信号波形图



(b) 副测试信号波形图



(c) 左测试信号波形图



(d) 右测试信号波形图

图　32-8

2. 内调制器频率　*F*

int modulator frequency

立体声信号发生器内部产生的调制 38kHz

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

副载波的信号频率。它可以是一个频率点，也可以是多个频率点，还可以是一个频率范围。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-9。

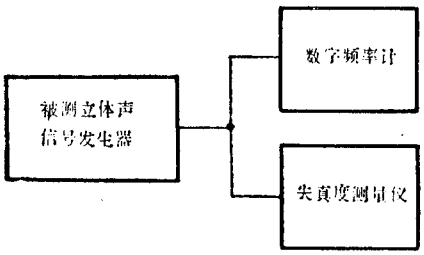


图 32-9

(2) 测试步骤

① 数字频率计接被测立体声信号发生器内调制信号输出插孔；

② 改变内调制器的频率，读记数字频率计的指示值，即为测试点的频率值。

(3) 技术要求

若被测立体声信号发生器内调制采用点频方式时，每一个频率点都应进行测试；若采用一个频率范围，可选择两个端点频率和一个中间频率进行测量。

3. 内调制器频率误差 δ_F

int modulator frequency error

测量的频率与标称频率的差别。内调制器频率误差用百分比表示的相对误差来表示。

相对误差分为实际相对误差和示值（标称值）相对误差。这里采用实际相对误差。

频率误差按公式(32-6)计算：

$$\delta_F = \frac{F - F_0}{F_0} \times 100\% \qquad (32\text{-}6)$$

式中 δ_F——频率误差(百分值)；

F——内调制器频率标称值（Hz）；

F_0——频率实测值（Hz）。

技术要求：内调制器频率误差应优于±5%。

4. 内调制器输出电压 V_F

int modulator output voltage

内调制器输出信号的电压幅度大小。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-9。

(2) 测试步骤

① 失真度测量仪接被测立体声信号发生器内调制信号输出插孔，置电压测量；

② 改变内调制器的频率，读记失真度测量仪的电压指示值，即为该频率点的输出电压值。

(3) 技术要求

若被测立体声信号发生器内调制采用点频方式时，每一个频率点都应进行测试；若采用一个频率范围，可选择两个端点频率和一个中间频率进行测量。

5. 内调制信号失真度

int modulation signal distortion

这里所指失真度系指不包括基波分量的正弦失真信号的有效值与整个正弦失真信号的有效值之比，用百分数表示。此正弦失真信号包括有关的谐波分量、电源纹波和有关非谐波分量，称为总失真度。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-9。

(2) 测试步骤

① 失真度测量仪置失真测量，接被测立体声信号发生器内调制信号输出插孔；

② 改变内调制器的频率，测量其输出信号的失真度，读记失真仪所测得的失真度值，即为测试点频率信号的失真值。

(3) 技术要求

精密型立体声信号发生器的失真度应优于0.05%；

普通型和调频型立体声信号发生器的失真度应优于0.1%；

测试频率同内调制器频率测量。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6. 输入阻抗及误差　R_i　δ_i

input impedance and error

这里系指从外调制输入端向信号发生器看进去所呈现的阻抗。

测试方法：

（1）测试仪器连接如图 32-10。

（2）测试步骤

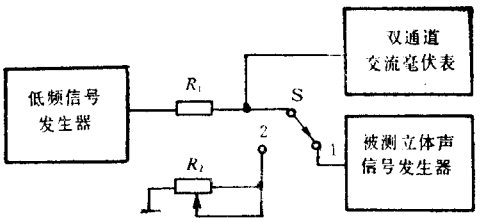


图　32-10

① 被测立体声信号发生器功能开关置外调制，复合电平输出置最大，将 1 接被测立体声信号发生器外调制左(或右)输入插孔；

② 将开关 S 置于 1 位置；

③ 低频信号发生器输出 1 kHz 信号，调节信号幅度，使被测立体声信号发生器输出为最大额定值，读记交流毫伏表指示值 V；

④ 将开关 S 置于 2 位置；

⑤ 改变电阻箱阻值，使交流毫伏表指示值仍为 V，读记可变电阻箱阻值 R_i。其值 R_i 即为外调制左(或右)的输入阻抗；

⑥ 输入阻抗误差按公式(32-7)计算

$$\delta_r = \frac{R - R_i}{R_i} \times 100\% \qquad (32\text{-}7)$$

式中　δ_r——输入阻抗误差(百分值)；

R——输入阻抗标称值 (Ω)；

R_i——输入阻抗实测值 (Ω)。

注：选择 R_1 使其值与低频信号发生器输出阻抗之和为被测立体声信号发生器输入阻抗标称值；交流毫伏表输入阻抗应高于被测立体声信号发生器输入阻抗近二个数量级.

（3）技术要求

平衡输入阻抗应优先采用 600 Ω，不平衡输入阻抗优先采用 10kΩ。

7. 输入电平

input level

这里系指外调制输入电平。它是立体声信号发生器复合电平旋钮顺时针旋到底，立体声信号为额定输出值所需要的输入电平。

测试方法：

（1）测试仪器连接如图 32-11。

（2）测试步骤

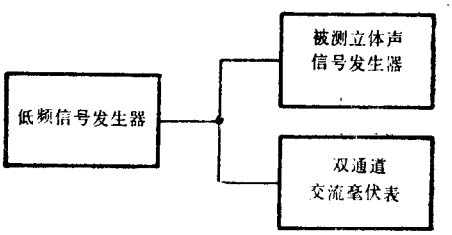


图　32-11

① 被测立体声信号发生器功能开关置外调制，复合电平输出置最大，将低频信号发生器输出接被测立体声信号发生器外调制左(或右)输入插孔；

② 低频信号发生器输出 1 kHz 信号，调节信号幅度，使被测立体声信号发生器输出为最大额定值；

③ 读记交流毫伏表指示值，即为被测立体声信号发生器外调制左(或右)的输入电平。

（3）技术要求

平衡输入电平应优先采用 0dBm＝0.775V；不平衡输入电平应优先采用 0 dBv ＝ 1V。

8. 预加重特性　K_W

pre-emphasis characteristic

预加重亦称频率响应预矫。在调频广播中，它指的是预先加重调制信号中的高频分量，以便对所有的音频都能获得近似相同的调制指数，从而提高整个音频通带的信噪比。

预加重网络通常由简单的阻容电路组成，用其时间常数表示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-12。

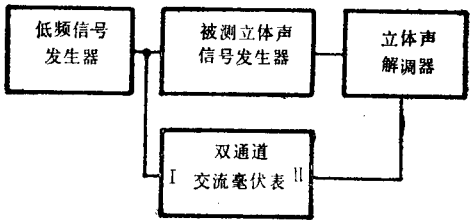


图 32-12

(2) 测试步骤

① 被测立体声信号发生器功能开关置外调制，复合电平输出置最大，预加重置 50μs (或 75μs，或 25μs)；低频信号发生器输出置 15kHz 信号，接被测立体声信号发生器外调制左(或右)输入插孔，调节低频信号发生器的输出幅度，使被测立体声信号发生器的左（或右）信号的调制度为 90%；被测立体声信号发生器导频开关置通；立体声解调器置左(或右)输出位置，去加重置断。读记双通道交流毫伏表 I 通道电压值 V_0；

② 改变低频信号发生器的频率为 400Hz，调节其输出幅度，使毫伏表 I 通道电压值仍为 V_0，读记毫伏表 II 通道电压值为 V_1；

③ 改变低频信号发生器的频率分别为 30Hz、100Hz、1kHz、10kHz、15kHz，使毫伏表 I 通道电压值仍为 V_0，分别读记毫伏表 II 通道电压值为 V_2；

④ 预加重频率特性按公式(32-8)计算：

$$K_W = 20\lg\frac{V_2}{V_1} \qquad (32\text{-}8)$$

式中 K_W——预加重频率特性 (dB)；

V_1——400Hz 时毫伏表 II 通道指示值 (V)；

V_2——不同频率时，II 通道指示值 (V)。

50μs 时间常数标准预加重曲线如图 32-13；75μs 时间常数标准预加重曲线如图 32-14。

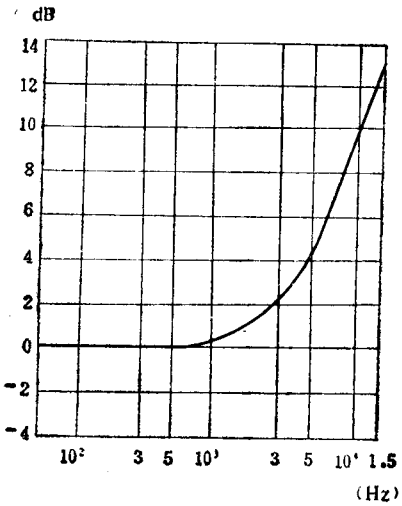


图 32-13

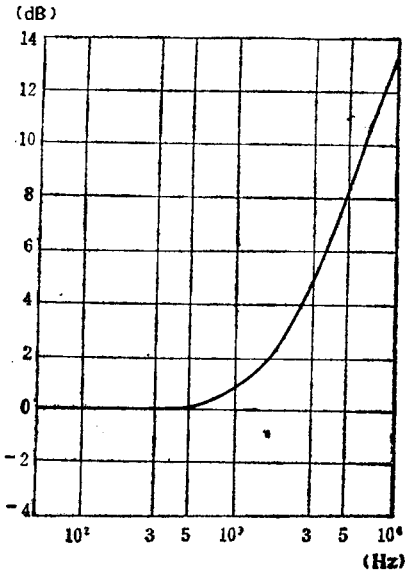


图 32-14

9. 频率特性 K_f

frequency flatness

立体声信号发生器所规定的外调制频率范围内的输入信号为恒定幅度，输出的立体声复合信号的平坦度，称之为立体声信号发生器的输出频率特性。通常用分贝表示。

测试方法一：

(1) 测试仪器连接同图 32-12。

(2) 测试步骤

① 被测立体声信号发生器：功能开关置

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

外调制，预加重置断，复合电平输出置最大，导频调制开关置断；

低频信号发生器频率置 1kHz；

立体声解调器去加重置断；

② 将低频信号发生器的输出接被测立体声信号发生器的外调制左(或右)输入插孔，调节低频信号发生器的输出幅度，使被测立体声信号发生器的左(或右)信号的调制度为 90%；然后，导频调制开关置通，导频信号的调制度为 10%；读记交流毫伏表 I 通道电压指示值为 V_0，II 通道电压指示值为 V_{ref}；

③ 改变低频信号发生器的频率(至少应包括被测立体声信号发生器外调制频率范围的两个端点频率和 100Hz、1kHz 和 10kHz)，调节其输出幅度，使交流毫伏表 I 通道电压指示值保持为 V_0，分别读记交流毫伏表 II 通道电压指示值为 V；

④ 从读记的交流毫伏表 II 通道电压指示值 V 中选出其最大值 V_{max} 和最小值 V_{min}；

⑤ 频率特性按公式(32-9)计算：

$$K_f = 20\lg\frac{V_{max}}{V_{ref}}$$
$$K_f = 20\lg\frac{V_{min}}{V_{ref}} \qquad (32\text{-}9)$$

式中　K_f——频率特性 (dB)；

V_{max}——在所有测试频率信号中，输出幅度最大的电压值 (V)；

V_{min}——在所有测试频率信号中；输出幅度最小的电压值 (V)；

V_{ref}——立体声信号发生器所规定的参考频率输入同样幅度信号时，其输出幅度电压值 (V)。

测试方法二：

(1) 测试仪器连接如图 32-15。

(2) 测试步骤

① 被测立体声信号发生器的功能开关置外调制，预加重开关置断，复合电平输出置最大，导频调制开关置断；

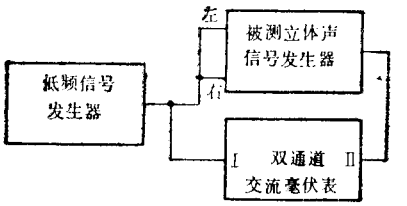


图　32-15

低频信号发生器的频率置 1kHz；

② 将低频信号发生器的输出接被测立体声信号发生器的外调制左和右输入插孔，调节低频信号发生器的输出幅度，使被测立体声信号发生器的调制度为 90%，读记交流毫伏表 I 通道电压指示值为 V_0，II 通道电压指示值为 V_{ref}；

③ 同测试方法一的③。

④ 同测试方法一的④。

⑤ 同测试方法一的⑤。

(3) 技术要求

立体声信号发生器的外调制频率特性，不同的产品有不同的指标，一般应优于 ±0.5dB。

10. 输出电平幅度

output level amplitude

(1) 峰-峰值指标定义：输出电平幅度是指立体声信号发生器的立体声复合信号中，保持导频信号的调制度为 10%，左(或右、或主、或副)信号的调制度为 90%，复合信号电平旋钮顺时钟方向旋到底没有导频信号的最大可能输出电平幅度。

(2) 有效值指标定义：输出电平幅度是指立体声信号发生器的复合信号电平旋钮顺时钟方向旋到底，导频调制开关置断，主信号的调制度为 100%的输出电平幅度。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-4。

(2) 测试步骤

① 被测立体声信号发生器的复合电平输出置最大，内调制频率置 1kHz，导频调制开关

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

置断；

② 分别切换主、副、左、右四种测试信号，调节内调制信号电平，使测试信号的调制度为90%，读记示波器所示立体声复合信号的最大输出指示峰-峰值，即为立体声信号发生器的输出电平幅度；

③ 如果输出电平幅度为有效值指标，则用交流毫伏表代替图32-4中的示波器来测试主信号的调制度为100%的输出电平幅度即可。

(3) 技术要求

不同的产品有不同的指标。

11. 输出阻抗

output impedance

从立体声信号发生器输出端向立体声信号发生器看去所呈现的阻抗。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图32-16。

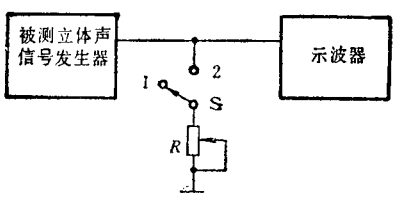


图 32-16

(2) 测试步骤

① 被测立体声信号发生器的内调制器频率置1kHz，任意选择一种测试信号，复合电平输出置最大，导频信号的调制度为10%，测试信号的调制度为90%；

② 开关S置于1的位置，适当改变示波器的量程选择开关，读记示波器指示峰-峰值 A；

③ 开关S置于2的位置，适当改变电阻箱 R 的阻值，使示波器指示峰-峰值为 A/2，读记电阻箱 R 的阻值，即为输出阻抗。

(3) 技术要求

立体声信号发生器的输出阻抗优先采用600Ω。

12. 分离度 S_L 或 S_R

separation

指标定义见本章第3节1之(4)。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图32-17。

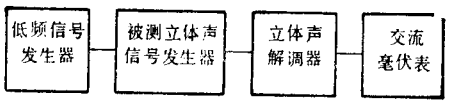


图 32-17

(2) 测试步骤

① 被测立体声信号发生器置音频内调制，内调制频率置1kHz（或用低频信号发生器接被测立体声信号发生器音频输入端输入1kHz信号），选择左(或右)测试信号，复合电平输出置最大，导频信号调制度为10%，左(或右)信号调制度为90%；

② 立体声解调器置左(或右)输出位置，读记交流毫伏表指示值为 $(u_L)_L$ 或 $(u_R)_R$；

③ 改变被测立体声信号发生器左（或右）测试信号为右(或左)测试信号，其余都保持原先的工作状态，读记交流毫伏表指示值为 $(u_L)_R$ 或 $(u_R)_L$；

④ 左到右（或右到左）的分离度按本章第3节公式(32-1)计算。

⑤ 按产品标准的规定分别改变内调制器(或低频信号发生器)的频率，重复①、②、③项测试，按④项计算，则可测得不同频率音频内调时的分离度值；

⑥ 被测立体声信号发生器由音频内调改为外调制，低频信号发生器改接至被测立体声信号发生器的外调制左(或右)输入插孔，重复①、②、③、④项测试和计算，则可测得不同频率外调制时左（或右）的分离度值。测试频率至少应包括外调制频率范围的两个端点频率和100Hz、1kHz和10kHz。或者为产品分离度指标的界限频率。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 技术要求

精密型立体声信号发生器的分离度指标应优于 45dB,其中 100Hz～10kHz 频率范围内,分离度指标应优于 55dB;

普通型立体声信号发生器的分离度指标应优于 36dB, 其中 200 Hz～6.3 kHz 频率范围内,分离度指标应优于 40dB;

调频立体声信号发生器中, 其立体声信号发生器部分,在 315Hz～3kHz 频率范围内,分离度指标应优于 40dB。

13. 通道串音 C_L 或 C_R

crosstalk between channels

指标定义见本章第 3 节中"通道串音"。

测试方法一:

(1) 测试仪器连接同图 32-17。

(2) 测试步骤

① 同分离度测试步骤的①、②两项;

② 立体声解调器置右(或左)输出位置,读记交流毫伏表指示值为 $(u_R)_L$ [或 $(u_L)_R$];

③ 左到右(或右到左)的通道串音按本章第 3 节公式(32-2)计算。

④ 按产品标准的规定分别改变内调制器(或低频信号发生器)的频率, 重复①、②、③项测试和计算, 则可测得不同频率音频内调时的通道串音;

⑤ 被测立体声信号发生器由音频内调改为外调制, 低频信号发生器改接至被测立体声信号发生器的外调制左(或右)输入插孔, 重复①、②、③、④项测试和计算,则可测得不同频率外调制时通道串音。测试频率至少应包括外调制频率范围的两个端点频率和 100 Hz、1 kHz、10kHz。或者为产品通道串音指标的分界频率。

测试方法二:

(1) 测试仪器连接如图 32-18。

(2) 测试步骤

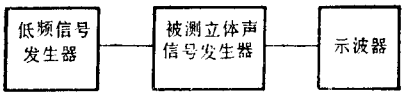


图 32-18

① 被测立体声信号发生器置音频内调,内调制频率置 1kHz (或用低频信号发生器接被测立体声信号发生器音频输入插孔输入 1kHz)信号,选择左(或右)测试信号,复合电平输出置最大或 30%;导频开关置断;

② 调节示波器时基因数,使示波器显示两个稳定完整的波形;

③ 示波器显示的一个完整波形如图 (32-1)。

④ 通道串音按公式(32-10)计算:

$$C_L\ (\text{或}\ C_R) = 20\lg\frac{A}{B} \qquad (32\text{-}10)$$

式中 C_L (或 C_R)——左到右(或右到左)的通道串音 (dB);

A——左声道(或右声道)有信号, 而右声道(或左声道)为零信号输入, 无导频调制信号,复合信号输出显示波形的峰-峰值 (V);

B——上述显示波形的谷-谷值 (V)。

⑤ 同测试方法一的④、⑤两项。

14. 谐波失真度

harmonic distortion

这里的谐波失真度是指左、右信号通过立体声信号发生器进行编码, 形成立体声复合信号时产生非线性失真的程度。左、右立体声复合信号的谐波失真度, 通常利用标准立体声解调器进行解调, 用解调还原后形成的左、右信号,由失真度测量仪测得的失真度来表示;而主信道信号则可以用不加导频信号的复合信号输出,直接由失真度测量仪来测量其谐波失真度。

测试方法一:

(1) 测试仪器连接如图 32-19

(2) 测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

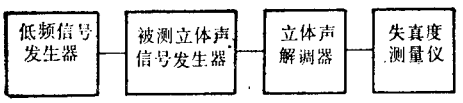


图 32-19

① 被测立体声信号发生器置音频内调，内调制频率置 1kHz(或用低频信号发生器接被测立体声信号发生器的音频输入插孔输入 1kHz)信号，复合电平输出置最大，选择左(或右)测试信号，导频开关置通，导频信号调制度为 10%，左(或右)信号调制度为 90%；

② 立体声解调器置左(或右)输出位置，由失真度测量仪直接测得左(或右)输出信号的谐波失真度；

③ 按产品标准的规定，分别改变内调制器(或低频信号发生器)的频率，重复①、②项步骤，则可测得音频内调不同频率的左(或右)测试信号的谐波失真度值；

④ 被测立体声信号发生器由音频内调改为外调制，低频信号发生器改接至被测立体声信号发生器的外调制左(或右)输入插孔，重复①、②、③项步骤，则可测得不同频率外调制信号的左(或右)测试信号的谐波失真度值。测试频率至少应包括外调制频率范围的两个端点频率和 100Hz、1kHz 和 10kHz。或者谐波失真度指标的分界频率。

测试方法二：

(1) 测试仪器连接如图 32-20。

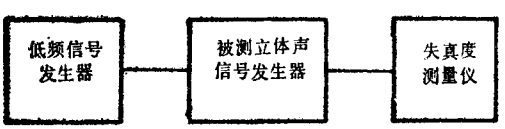


图 32-20

(2) 测试步骤

① 被测立体声信号发生器置音频内调，复合电平输出置最大，选择主信号，调制度为 90%，导频调制开关置断，内调制频率置 1kHz (或用低频信号发生器接音频输入插孔输入 1kHz) 信号；失真度测量仪直接接被测立体声信号发生器的复合信号输出，则可测得音频内调 1kHz 信号的主信号谐波失真度值；

② 切换内调制器的各种频率(或改变低频信号发生器的频率，谐波失真指标的界限频率)，其余控制状态不变，则可由失真度测量仪直接测得不同频率音频内调主信号的谐波失真；

③ 被测立体声信号发生器由音频内调改为外调制，低频信号发生器改接至被测立体声信号发生器的外调制左和右输入插孔，改变低频信号发生器的频率，维持调制度为 90% 不变，则可由失真度测量仪直接测得不同频率外调制时主信号的谐波失真度。测试频率至少应包括外调制频率范围的两个端点频率和 100 Hz、1kHz、10kHz。或者谐波失真度指标的分界频率。

(3) 技术要求

立体声信号发生器谐波失真度可以按不同频段给出失真度指标，也可以按不同温度范围给出失真度指标。

精密型立体声信号发生器的谐波失真度应优于 0.1%；

普通型立体声信号发生器的谐波失真度应优于 0.5%；

调频立体声信号发生器中，其立体声信号发生器的谐波失真度应优于 1%。

15. 信噪比 S/N

signal-to-noise ratio (S/N ratio)

这里信噪比系指左、右信号通过立体声信号发生器进行编码，形成立体声复合信号时，左、右信道信号与噪声的比，用分贝表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-19。

(2) 测试步骤

① 被测立体声信号发生器置音频内调，内

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

调制频率置 1kHz，选择左(或右)测试信号，导频调制开关置通，导频信号调制度为 10%，复合电平输出置最大，左（或右）信号调制度为 90%；

失真度测量仪置电压测量；

② 立体声解调器置左（或右）输出位置，读记失真度测量仪电压指示值 V_1；

③ 内调制置断，读记失真度测量仪电压指示值 V_2；

④ 左（或右）测试信号的信噪比按公式(32-11)计算：

$$S/N = 20\lg\frac{V_1}{V_2} \qquad (32\text{-}11)$$

式中　S/N——左(或右)测试信号通道的信噪比（dB）；

V_1——仅有左(或右)测试信号，在解调器左(或右)通道产生的输出电压（V）；

V_2——无测试信号输出，解调器在被测立体声信号发生器复合电平输出端测得的输出电压（V）。

(3) 技术要求

精密型立体声信号发生器的信噪比应优于 75dB；

普通型立体声信号发生器和调频立体声信号发生器中的立体声信号发生器的信噪比应优于 60dB。

16. 副载波抑制　S_r

subcarrier rejection

表示立体声复合信号中副载波成份残留的程度。副载波抑制通常用分贝表示。

测试方法一：

(1) 测试仪器连接如图 32-21。

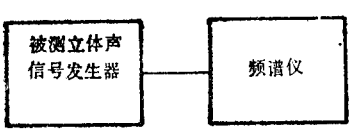


图　32-21

(2) 测试步骤

① 被测立体声信号发生器置音频内调，内调制频率置 1kHz，选择主测试信号，复合电平输出置最大，复合信号输出为额定值；

② 从频谱仪上读记主信号的幅值为 A_1(dB)，读记 38kHz 副载波信号的幅值为 A_2(dB)；

③ 副载波抑制度按公式(32-12)计算

$$S_r = A_1 - A_2 \qquad (32\text{-}12)$$

式中　S_r——副载波抑制度（dB）；

A_1——主信号的幅值（dB）；

A_2——38kHz 副载波信号的幅值(dB)。

测试方法二：

(1) 测试仪器连接如图 32-22

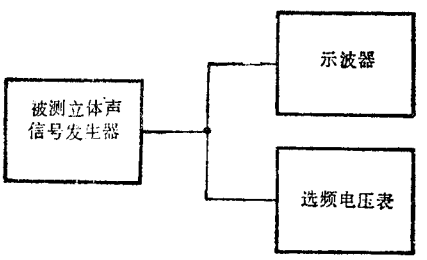


图　32-22

(2) 测试步骤

① 被测立体声信号发生器置音频内调，内调制频率置 1 kHz，复合信号电平输出为额定值；

② 分别切换主、副、左、右四种测试信号，读记示波器所示立体声复合信号输出指示峰-峰值为 V_1；

③ 保持被测立体声信号发生器工作状态不变，调谐选频电压表，使 38kHz 副载波信号指示最大，并读记幅值(峰-峰值)为 V_2；

④ 副载波抑制度按公式(32-13)计算；

$$S_r = 20\lg\frac{V_1}{V_2} \qquad (32\text{-}13)$$

式中　S_r——副载波抑制度（dB）；

V_1——立体声复合信号输出额定峰-峰

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

值（V）；

V_2——38 kHz 副载波信号的峰-峰值（V）。

测试方法三：

（1）测试仪器连接如图 32-23。

图 32-23

（2）测试步骤

① 被测立体声信号发生器置音频内调，内调制频率置 1kHz，选择主测试信号，使复合信号电平输出为额定值；

② 测量滤波器置直通，并将其面板上的电位器顺时针旋至底，其输入接被测立体声信号发生器的复合电平输出插孔，其输出接毫伏表，读记毫伏表上的电平 dB 值，记作 A_1；

③ 按下测量滤波器的 38kHz 键，读记此时毫伏表上指示的电平 dB 值，记作 A_2；

④ 副载波抑制实测值按公式（32-12）计算。

⑤ 技术要求

精密型立体声信号发生器的副载波抑制应优于 60dB；

普通型立体声信号发生器的副载波抑制应优于 50dB；

调频立体声信号发生器中的立体声信号发生器部分的副载波抑制应优于 40dB。

17. 副载波漏泄 S_l

subcarrier leakage

副载波漏泄是指立体声信号发生器在形成立体声复合信号过程中，副载波漏泄的程度。副载波漏泄通常用分贝表示。

此项指标与副载波抑制相对应。有的产品给出副载波抑制指标，有的产品给出副载波漏泄指标。它们的测试方法一样，就是计算方法不一样。副载波抑制是 +dB 数，而副载波漏泄是−dB 数。

（1）对于指标 16“副载波抑制”的测试方法一和测试方法三，副载波漏泄按公式（32-14）计算：

$$S_l = A_2 - A_1 \qquad (32\text{-}14)$$

（2）对于指标 16“副载波抑制”的测试方法二，副载波漏泄按公式(32-15)计算：

$$S_l = 20\lg\frac{V_2}{V_1} \qquad (32\text{-}15)$$

（3）技术要求

精密型立体声信号发生器的副载波漏泄应优于−60dB；

普通型立体声信号发生器的副载波漏泄应优于−50dB；

调频立体声信号发生器中的立体声信号发生器，其副载波漏泄应优于−40dB。

18. 导频频率误差 Δf

pilot frequency error

实测导频频率与标称导频频率之间的绝对误差。

测试方法：

（1）测试仪器连接如图 32-24。

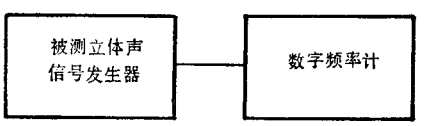


图 32-24

（2）测试步骤

① 数字频率计连接被测立体声信号发生器的导频输出插孔，由频率计直接读取导频信号的频率，记为 f_0。

② 导频频率误差按公式(32-16)计算：

$$\Delta f = 19000.0(\text{Hz}) - f_0(\text{Hz}) \qquad (32\text{-}16)$$

式中 Δf——导频频率误差（Hz）；

f_0——实测导频频率（Hz）；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

19000.0(Hz)——导频标称频率(Hz)。

(3) 技术要求

精密型立体声信号发生器的导频频率误差应在±1Hz 以内;

普通型立体声信号发生器及调频立体声信号发生器的导频频率误差应在±2Hz 以内。

19. 导频频率稳定度 S_f

pilot frequency stability

导频频率稳定度系指导频频率在某一段时间的频率漂移的示值(标称值)相对误差。具体地说,就是连续测量导频频率 1 小时,每分钟记录一次,找出连续 15 分钟频率偏差最大的一组数据,取其最大值和最小值,按示值相对误差来计算,所得结果即为导频频率稳定度。

测试方法:

(1)测试仪器连接同图 32-24。

(2) 测试步骤

① 数字频率计连接被测立体声信号发生器的导频输出插孔,闸门时间置 10s;

② 连续测量导频频率 1 小时,每分钟记录一次数字频率计所显示的数值。

③ 在记录结果中找出连续 15 分钟频率偏差最大的一组数据,取其最高频率记为 f_H,再取其最低频率记为 f_L,则导频频率稳定度按公式(32-17)计算:

$$S_f = \frac{f_H - f_L}{f} \times 100\% \qquad (32\text{-}17)$$

式中　S_f——导频频率稳定度(百分值);

f——导频频率标称值 (19000.0Hz);

f_H——测量数据中, 所选组频率数据的最高频率值 (Hz);

f_L——测量数据中,所选组频率数据的最低频率值 (Hz)。

(二) 调频立体声信号发生器技术性能测试方法

调频立体声信号发生器是由调频信号发生器和立体声信号发生器两大部分组成,是一种典型的一机多用型仪器。

本技术性能测试方法参照了国家标准《GB4311.1-84　调频广播单声》、《GB 4311.2-84　调频广播立体声》、《GB4311.3-84　调频广播立体声带附加信道》和《GB 4312.1-84 调频广播发射机技术参数和测量方法·单声和立体声》; 也参考了机械电子部计量器具检定规程《JJG (电子) 12009-87 MSG2161 调频立体声/调频-调幅信号发生器试行检定规程》;并参考了国家标准《高频信号发生器技术条件》审定稿和《高频信号发生器测试方法》审定稿, 还参考了有关企业标准: 天津市中环科学仪器公司的《津 Q/JDX 3095-89　HG 1610 型调频立体声信号发生器》、《津 Q/JDX3084-89　HG1611A 型调频立体声信号发生器》; 上海无线电仪器厂的《沪 Q/YXC006-85 S104 型 FM 立体声信号发生器》;浙江无线电厂的《Q/AQA-1-85　ZW1611 型 FM 立体声信号发生器》和《Q/AQA-4-86　ZW1612 型 FM 立体声信号发生器》产品标准。

本技术性能测试方法是根据以上标准和规程而编写的。立体声信号发生器部分已在上面(一)中有详细的介绍,调频信号发生器部分在高频信号发生器一章也有介绍, 这里仅编写了调频立体声信号发生器所特有的技术性能测试方法。对于在这里没有述及的技术性能测试方法请查阅有关立体声信号发生器部分和高频信号发生器部分。

① 通电预测功能

按指标 1 "通电预测功能"测试后, 备一台调频立体声收音机。被测调频立体声信号发生器的载频置通,载频频率置 98MHz, 导频调制

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

开关置通，功能开关置 L＋R，射频输出置最大，射频输出插孔接一根短导线(作为天线)，调谐收音机，立体声灯应亮，左、右电平和扬声器都应有指示和单频声音信号；功能开关置左(L)，则左电平应有指示，而右电平应指示甚微，左扬声器有单音信号，而右扬声器则无声音信号；功能开关置右（R），则电平指示与扬声器发声应相反；导频调制开关置断，立体声灯应灭。以上测试正常后进入正式性能测试。

20. 载波频率误差 δ_f

carrier frequency error

载波频率误差系指实测载波频率与标称载波频率的差别，用百分比相对误差来表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-25。

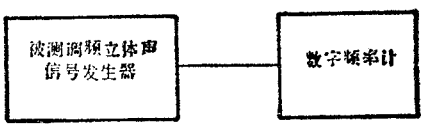


图 32-25

(2) 测试步骤

① 将数字频率计接被测调频立体声信号发生器的射频输出插孔，频率计选择较短的闸门时间；

② 调节被测调频立体声信号发生器的射频输出电平，使数字频率计正常计数。如果被测调频立体声信号发生器的载波频率是点频式的，则每个点频都必须测量；如果载波频率是一个频率范围，则至少选取频率范围的两个端点频率和一个中间频率进行测量，读记数字频率计指示值 f_0；

③ 载波频率误差按公式(32-18)计算：

$$\delta_f = \frac{f - f_0}{f_0} \times 100\% \qquad (32\text{-}18)$$

式中 δ_f——被测载波频率点误差（百分值）；

f——被测频率点标称值（MHz）；

f_0——被测频率点实测值（MHz）。

(3) 技术要求

载波频率误差一般应优于±1%。

21. 射频输出电平误差 ΔL

RF output level error

射频输出电平误差系指实测射频输出电平与标称射频输出电平的差别，用绝对误差表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-26。

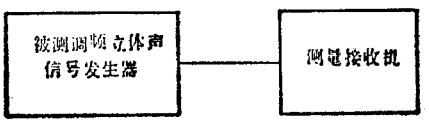


图 32-26

(2) 测试步骤

① 将被测调频立体声信号发生器的射频输出电平置最大，立体声信号发生器部分的复合信号电平输出置最小；

② 按载波频率误差测试选取的频率点，用测量接收机测试各频率点的电平值；

③ 读记各电平值 L_0，按公式(32-19)计算射频输出电平误差：

$$\Delta L = L - L_0 \qquad (32\text{-}19)$$

式中 ΔL——射频输出电平误差（dB）；

L——射频输出电平标称值（dB）；

L_0——射频输出电平实测值（dB）。

(3) 技术要求

不同的产品，射频输出电平误差指标不尽相同。

22. 衰减误差 ΔA

attenuation error

衰减误差这里系指射频输出衰减（不论是步进衰减还是固定衰减）其衰减实测值与衰减标称值之间的差别，用绝对误差来表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-26。

(2) 测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 本项测试接射频输出电平测试，按载波频率误差测试选取频率点，被测调频立体声信号发生器每衰减一档，测量接收机测量一次；

② 读记衰减值 A_0，按公式(32-20)计算衰减误差：

$$\Delta A = A - A_0 \qquad (32\text{-}20)$$

式中　ΔA——衰减误差 (dB)；

A——衰减标称值 (dB)；

A_0——衰减实测值 (dB)。

(3) 技术要求

由产品给定。

23. 频偏及误差　$\Delta f, \delta_{f\cdot d}$

frequency deviation and error

频偏是指调频波的瞬时频率与载波频率的最大偏移，这个最大偏移称之为频偏。常用符号 Δf 表示。由于调频波的瞬时频率可能高于或低于载波频率，且可能不对称，故又分为上频偏 $\Delta f_{上}$ 及下频偏 $\Delta f_{下}$。对于正弦对称调频信号，上、下频偏相同：

$$\Delta f = \Delta f_{上} = \Delta f_{下} = (\Delta f_{上} + \Delta f_{下})/2 = \Delta f_{总}/2$$

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-27。

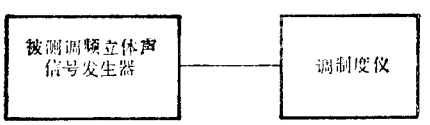


图　32-27

(2) 测试步骤

① 按载波频率误差测量选取频率点，被测调频立体声信号发生器的功能开关置 L＋R (或 M)，调节复合信号电平使被测调频立体声信号发生器的调制度为 100% (即 75 kHz 频偏)，导频调制开关置断，读记调制度测量仪的频偏数(上频偏和下频偏)，再按公式(32-21)计算频偏误差：

$$\delta_{f\cdot d} = \frac{\Delta f - \Delta f_0}{\Delta f_0} \times 100\% \qquad (32\text{-}21)$$

式中　$\delta_{f\cdot d}$——最大频偏误差(百分值)；

Δf——被测最大频偏的标称值 (kHz)；

Δf_0——被测最大频偏的实测值 (kHz)。

② 调节被测立体声信号发生器的复合信号电平，使调制度分别为 90%、45%、30%，分别读记调制度测量仪的频偏数，再按公式 (32-21) 计算各调制度的频偏误差。这时计算公式的符号定义也要跟着改变：

式中　$\delta_{f\cdot d}$——各调制度频偏误差(百分值)

Δf——各调制度频偏标称值 (kHz)；

Δf_0——各调制度频偏实测值 (kHz)。

③ 被测调频立体声信号发生器功能开关置 67kHz，复合信号电平置最大，导频调制开关置断。读记调制度测量仪的频偏数，同样按公式(32-21)计算 67 kHz 调制的频偏误差，这时，

式中　$\delta_{f\cdot d}$——67 kHz 调制的频偏误差(百分值)；

Δf——67 kHz 调制的频偏标称值 (kHz)；

Δf_0——67 kHz 调制的频偏实测值 (kHz)。

随着复合信号电平的减小，频偏也应相应减少。

④ 被测调频立体声信号发生器的功能开关置外调制，复合信号电平置最小，导频调制开关置通，外调制输入为零信号输入，读记调制度测量仪的频偏数，同样按公式(32-21)计算导频信号调制的频偏误差，这时，

式中　$\delta_{f\cdot d}$——导频信号调制的频偏误差(百分值)；

Δf——导频信号调制的频偏标称值 (kHz)；

Δf_0——导频信号调制的频偏实测值 (kHz)。

(3) 技术要求

调频立体声信号发生器的主信号为 100% 调制度时为最大频偏，其频偏为 75kHz；90% 调制度时，其频偏为 67.5 kHz；导频信号为 10%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

调制度，其频偏为 7.5kHz；67 kHz 信号 10% 调制时，其频偏为 7.5 kHz。

频偏误差应优于最大频偏的±10%。

24. 调频失真

frequency modulation distortion

当正弦调制信号调制载波而获得调制信号时，接在信号发生器输出端线性鉴频器输出波形的失真，称为调频失真。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-28。

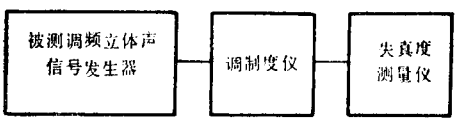


图 32-28

(2) 测试步骤

① 被测调频立体声信号发生器的功能开关置 L＋R（或 M），内调制频率为 1kHz，复合信号电平置最大为 100% 调制 75 kHz 频偏，导频调制开关置断，载波频率选择一个中间频率和两个端点频率；

② 由调制度测量仪解调出来的音频信号，送失真度测量仪直接测量失真。读记失真仪的失真值，即为调频失真。

(3) 技术要求

调频立体声信号的调频失真应优于±2%。

25. 预加重特性

pre-emphasis characteristic

预加重特性这里系指调频立体声信号发生器的调制信号经过预加重电路以后，产生的调频立体声信号经过调制度测量仪解调后，调制度测量仪输出信号的响应特性。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-29。

(2) 测试步骤

① 低频信号发生器输出接被测调频立体声信号发生器的外调制左和右输入插孔，被测调频立体声信号发生器置外调制，复合信号电平置最大，预加重置 50μs，导频调制开关置断；调频射频信号送调制度测量仪解调后，送至双通道交流毫伏表输入端 I；

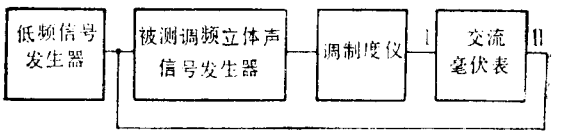


图 32-29

② 低频信号发生器的频率置 1 kHz，调节其输出幅度，使交流毫伏表 I 通道测量值为 0dB，记录交流毫伏表 II 通道所测低频信号发生器的输出电压值 V_0；

③ 改变低频信号发生器的频率，并保持其输出幅度 V_0 不变。按表 32-1 选取频率点，由交流毫伏表 I 通道测出各对应频率点的 dB 值，按公式(32-22)计算误差：

$$\Delta K = K - K_0 \qquad (32\text{-}22)$$

式中 ΔK——各频率点预加重误差（dB）；

K——各频率点预加重标称值（dB）；

K_0——各频率点预加重实测值（dB）。

④ 被测调频立体声信号发生器的预加重由 50μs 改置 75μs，参考频率由 1 kHz 改为 630Hz，重复以上过程，可得 75μs 预加重各频率点预加重误差，

⑤ 如果被测调频立体声信号发生器有 25μs 预加重，那么将参考频率改为 2 kHz，重复以上过程，同样可得 25μs 预加重各频率点的预加重误差。

26. 调频立体声信号分离度

FM stereo signal separation

调频立体声信号分离度系指左、右声道信号，通过编码形成立体声复合信号，再调制主载频的整个过程中，在信道相互之间漏泄的程度。通常用分贝表示。它是这样定义的：调频立体声信号发生器左(或右)声道有信号输入，而右

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表　32-1

预加重常数	频率(Hz) / K	50	100	200	400	630	800	1000	2000	4000	6300	8000	10000	15000
25 μs	标称值	−0.4	−0.4	−0.4	−0.38	−0.36	−0.33	−0.3	0	1.04	2.56	3.71	4.99	7.75
	实测值													
	误　差													
50 μs	标称值	−0.4	−0.38	−0.38	−0.33	−0.23	−0.13	0	1.05	3.71	6.52	8.24	9.96	13.26
	实测值													
	误　差													
75 μs	标称值	−0.4	−0.4	−0.36	−0.25	0	+0.17	+0.37	2.36	6.18	9.51	11.42	13.25	16.67
	实测值													
	误　差													

(或左)声道为零信号输入，所形成的调频立体声信号经调制度测量仪解调还原成立体声复合信号，再经过立体声解调器解调，在解调器左(或右)通道的输出信号，与调频立体声信号发生器的左(或右)为零信号输入，而右(或左)有相同幅度信号输入，在解调器左(或右)通道的输出信号，这两个输出信号之比，用 dB 表示，就是调频立体声信号的分离度。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-30。

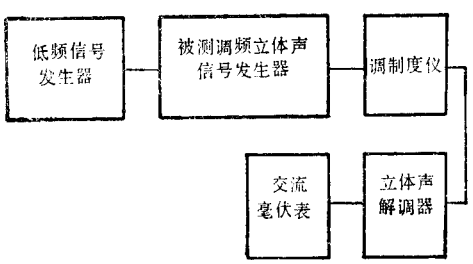


图　32-30

(2) 测试步骤

① 被测调频立体声信号发生器的功能开关置外调制，复合信号电平置最大；低频信号发生器的信号输出送被测调频立体声信号发生器的外调置左(或右)输入插孔，调节低频信号发生器的电压输出，使被测调频立体声信号发生器的左(或右)信号调制度为 90%；导频调制开关置通，导频信号调制度为 10%；载频开关置通，按载波频率误差测量选择频率；

② 被测调频立体声信号发生器的射频输出接调制度测量仪，射频输出电平置最大；调制度测量仪解调出来的立体声信号送立体声解调器，立体声解调器置左(或右)输出位置，读记交流毫伏表的指示值为 V_1；

③ 将低频信号发生器改接至被测调频立体声信号发生器的右（或左）输入插孔，其余仍保持原工作状态，读记交流毫伏表指示值为 V_2；

④ 调频立体声信号发生器的左到右(或右到左)的分离度按公式(32-23)计算：

$$S_L\ (\text{或}\ S_R) = 20\lg\frac{V_1}{V_2} \qquad (32\text{-}23)$$

式中　S_L（或 S_R）——左到右(或右到左)的分离度（dB）；

V_1——左（或右）声道输入额定音频电压，而右(或左)声道为零信号输入，在解调器的左(或右)通道输出的电压（V）；

V_2——右（或左）声道输入相同音频电

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

压，而左(或右)声道为零信号输入，在解调器的左(或右)通道输出的电压(V)。

⑤ 按立体声信号发生器测试分离度给定的频率，改变低频信号发生器的频率，重复以上步骤，则可测得不同频率时的分离度；

⑥ 改变载波频率，重复①、②、③、④、⑤项步骤，则可测得不同载波频率，不同调制频率的分离度。

(三) 低频扫频信号发生器技术性能测试方法

低频扫频信号发生器在低频频率响应测试、低频滤波器特性测试，以及扬声器、微音器、耳机等测试中得到了越来越广泛的应用。

本技术性能测试方法是根据机械电子工业部计量器具检定规程《JJG(电子)12005-87 4001A型音频扫频信号发生器试行检定规程》以及有关企业标准：天津市中环科学仪器公司的《津Q/JD3209-90 HG1310低频扫频信号发生器》产品标准，上海无线电二十六厂的《沪Q/YXC 011-82 XSQ-5音频扫频信号发生器》产品标准等编写的。

有关函数发生器部分的技术性能测试方法，如三角波的线性，方波的前沿、后沿等，请见第24章"低频信号发生器"有关函数发生器部分。

27. 扫频频率范围

sweep frequency range

扫频所覆盖的频率范围称为扫频频率范围。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图32-31。

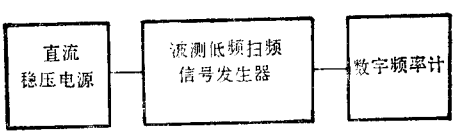


图 32-31

(2) 测试步骤

① 手控扫频方式

扫描方式开关置手控，功能选择开关置正弦，输出衰减 dBm (或 dB) 开关置 0dBm(或0dB)，细调输出控制使输出电平指示在 0dBm(或 0dB)，顺时钟旋动手动频率度盘到底，读记数字频率计指示值为 f_L，再逆时旋动手动频率度盘到底，读记数字频率计的指示值为 f_H，则手控扫频频率范围为 $f_L \sim f_H$；

② 连续扫频方式

扫频方式开关置连续；功能选择开关置正弦；起、止频率度盘(或频率界限度盘)的起(下限)度盘置最低频率值，止(上限)度盘置最高频率值；输出控制同①项，扫描时间置产品标准所规定的时间(一般选时间长一些较适宜)；测试扫频下限频率时，数字频率计的闸门时间置1s，读记数字频率计所测扫频时的下限频率值，连续测量三次，取其平均值，即为连续扫频频率范围的低端频率值 f_L；测试扫频上限频率时，数字频率计的闸门时间置 10 ms，读记数字频率计所测扫频时的上限频率值，连续测量三次，取其平均值，即为连续扫频频率范围的高端频率值 f_H，则连续扫频方式的扫频频率范围为 $f_L \sim f_H$；

③ 单次扫频方式

单次扫频方式的扫频频率范围与连续扫频方式的扫频频率范围相同；

④ 外控扫频方式

扫频方式开关置外控，其余控制设置同①项。直流稳压电源接外控扫频的输入端子，调整直流稳压电源的粗调与细调输出，分别读记数字频率计的低端极限频率 f_L 及高端极限频

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

率 f_H，其外控扫频频率范围为 $f_L \sim f_H$，可以超出连续扫频与手控扫频的频率范围。

28. 频率误差　δ_f

frequency error

频率误差在这里是指低频扫频信号发生器在手控扫频方式时，手控频率度盘的频率标称值与实测频率的差别，用实际相对误差来表示。

测试方法：

（1）测试仪器连接同图 32-31。

（2）测试步骤

① 被测低频扫频信号发生器各控制开关设置同指标 27“扫频频率范围”测试步骤的①项，调节手控频率度盘分别置下限频率、上限频率，中间频率任取三点，手控频率度盘均按顺时钟方向旋动；由数字频率计读取其频率，每点重复测量三次，取其平均值，记为 f_0；

② 频率误差按公式（32-24）计算：

$$\delta_f = \frac{f - f_0}{f_0} \times 100\% \qquad (32\text{-}24)$$

式中　δ_f——频率误差（百分值）；

f——频率度盘标称频率值（Hz）；

f_0——相应于频率度盘标称频率处所实测的频率值（Hz）。

29. 频率重调误差　Δf

frequency resetting error

频率重调误差在这里是指低频扫频信号发生器在手控扫频方式时，手控频率度盘的某一频率位置处，顺时钟方向反复测量其频率，取其平均值，与逆时钟方向反复测量该位置处的频率，取其平均值，二者之差的一半用标称值相对误差来表示。

测试方法：

（1）测试仪器连接同图 32-31。

（2）测试步骤

① 被测低频扫频信号发生器各控制开关的设置同指标 27“扫频频率范围”测试的①项，频率选择点与指标 28“频率误差”测试相同；

② 对每一频率点顺时钟方向反复测量三次以上，由数字频率计读取频率显示值，求其平均值，记为 f_1；

③ 对每一频率点逆时钟方向反复测量三次以上，由数字频率计读取频率显示值，求其平均值，记为 f_2；

④ 频率重调误差按公式(32-25)计算：

$$\Delta f = \frac{\frac{1}{2}|f_2 - f_1|}{f} \times 100\% \qquad (32\text{-}25)$$

式中　Δf——每一频率点的频率重调误差（百分值）；

f_2——逆时钟方向测量每一频率点的平均频率值（Hz）；

f_1——顺时钟方向测量每一频率点的平均频率值（Hz）；

f——每一频率点的频率标称值(Hz)。

⑤ 从所有求得的 Δf 数据中取其最大值作为被测低频扫频信号发生器的频率重调误差指标。

30. 扫描时间

sweep time

扫描时间一般定义为扫描信号的一个周期。如果扫描信号是一个锯齿波，则称锯齿波正程为扫描时间。扫描时间也可以这样定义：扫频信号发生器的输出信号从最低频率到最高频率的时间间隔。

测试方法：

（1）测试仪器连接如图 32-32。

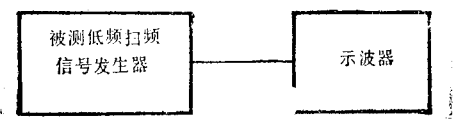


图　32-32

（2）测试步骤

① 1 ～ 3s 时间的测试

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

被测低频扫频信号发生器的扫频方式开关置连续，起、止频率度盘分别置最低频率和最高频率；示波器接被测低频扫频信号发生器的同步信号输出(如无同步信号输出，示波器则接扫频信号输出，功能选择开关置正弦)，用示波器扫描时间因数来观测同步信号正程的时间(或用示波器扫描时间因数来观测扫频输出信号扫频一次的时间)，重复测量三次，取其算术平均值；

② 3s 以上的扫描时间测试

被测低频扫频信号发生器扫频方式开关置单次，示波器接被测低频扫频信号发生器的同步信号输出(或扫频信号输出)，起、止频率度盘分别置最低频率和最高频率，用计时器计扫描时间。与启动扫频的同时也启动计时器，观察到示波器信号扫频停止时，也同时停止计时器计时，连续测量三次，取其算术平均值，所测得时间即为扫描时间。

31. 频率响应 K_f

frequency response

频率响应这里是指低频扫频信号发生器扫频输出信号的平坦度，通常用分贝表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-33。

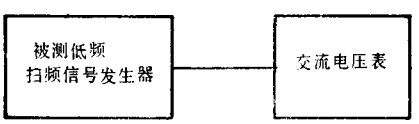


图 32-33

(2) 测试步骤

① 在被测低频扫频信号发生器的输出端并接一匹配负载；其扫频方式开关置手控扫频方式，功能选择开关置正弦，输出电平置最大，手控频率度盘依次置频率范围的低端频率，1kHz，和其他任选两个中间频率，以及频率范围的高端频率；

② 分别读记交流电压表各频率的输出电压值；从这些数据中找出最大值 V_{max}、最小值 V_{min}，和 1kHz 频率的输出电压值 V；

③ 频率响应特性按公式(32-26)计算：

$$\left.\begin{aligned} K_f &= 20\lg\frac{V_{max}}{V} \\ K_f &= 20\lg\frac{V_{min}}{V} \end{aligned}\right\} \quad (32\text{-}26)$$

式中 K_f——频率响应特性 (dB)；

V_{max}——最大输出电压值 (V)；

V_{min}——最小输出电压值 (V)；

V——1kHz 输出信号的电压值 (V)。

32. 振幅偏差 r

amplitude offset error

振幅偏差在这里是指低频扫频信号发生器扫频输出信号的最大输出电平与最小输出电平之间的差别，通常用分贝表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-34。

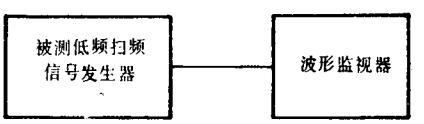


图 32-34

(2) 测试步骤

① 被测低频扫频信号发生器的扫描时间置 10s，停扫时间置 1s，输出电平置 0 dBm，起、止频率度盘分别置最低频率和最高频率，扫频方式开关置连续扫频方式；

调整波形监视器的扫描时间因数，使被测低频扫频信号发生器的输出波形从扫频频率范围的低端频率到高端频率连续显示在波形监视器的显示屏上；

② 测出整个扫频范围内的最大电平值 A、最小电平值 B；

③ 振幅偏差按公式(32-27)计算：

$$r = \pm 20\lg\left(1 + \frac{A-B}{A+B}\right) \quad (32\text{-}27)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中　r——振幅偏差（dB）；

A——最大电平值（V）；

B——最小电平值（V）。

33. 输出波形

output waveform

输出波形在这里主要是指正弦波的非线性失真度。

测试方法：

（1）测试仪器连接如图 32-35。

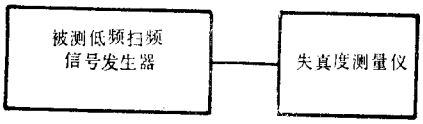


图　32-35

（2）测试步骤

① 被测低频扫频信号发生器的扫频方式开关置手控，功能选择开关置正弦，输出衰减 dBm 开关置 0dBm，细调输出使表头指针指在 0dBm，在被测低频扫频信号发生器的输出端并接一个匹配电阻；

② 旋动被测低频扫频信号发生器的手控频率度盘，改变输出信号的频率（至少应包括频率范围的两个端点频率和 1kHz 信号），由失真度测量仪分别进行失真度测量，其测量结果应符合产品标准要求；

③ 三角波和方波的测试请见第 24 章“低频信号发生器”的函数发生器部分。

34. 输出指示误差

output indication error

输出指示误差这里是指低频扫频信号发生器的输出电压指示表头指针指示值与实测值的差别，用满刻度相对误差表示。

测试方法：

（1）测试仪器连接如图 32-36。

（2）测试步骤

① 正弦波测试

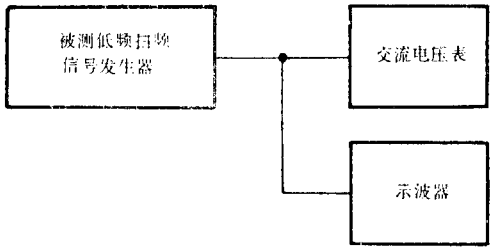


图　32-36

被测低频扫频信号发生器的输出端并接一个匹配负载，其扫频方式开关置手控，手控频率度盘置 1kHz 位置，功能选择开关置正弦，输出电平置最大，调节细调控制旋钮使指示表头分别为满刻度以及三分之一、三分之二满刻度，用交流电压表测出输出电压值为 V_0；

正弦指示刻度误差按公式(32-28)计算，

$$\delta_V = \frac{V - V_0}{V_{f\cdot s}} \times 100\% \qquad (32\text{-}28)$$

式中　δ_V——正弦波指示刻度误差（百分值）；

V——指示刻度标称值（V）；

V_0——对应刻度实测值（V）；

$V_{f\cdot s}$——满刻度值（V）。

② 三角波和方波测试

被测低频扫频信号发生器的扫频方式开关置手控，频率度盘置 1 kHz，功能选择开关分别置三角波和方波，输出电平置最大，调节细调控制旋钮使指示表头的指针分别指示满刻度和三分之一、三分之二满刻度，用示波器分别测量三角波和方波的峰-峰值为 V_{op-p}；

三角波和方波指示刻度误差按公式(32-29)计算：

$$\delta_{V_{p-p}} = \frac{V_{p-p} - V_{op-p}}{V_{f\cdot s}} \times 100\% \qquad (32\text{-}29)$$

式中　$\delta_{V_{p-p}}$——三角波或方波的指示刻度误差（百分值）；

V_{p-p}——指示刻度标称峰-峰值（V）；

V_{op-p}——对应刻度实测峰-峰值（V）；

$V_{f\cdot s}$——满刻度峰-峰值（V）。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

35. 输出电平误差 ΔL

output level error

输出电平误差这里是指低频扫频信号发生器的输出电平实测值与标称值的差别，用绝对误差表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-33。

(2) 测试步骤

① 被测低频扫频信号发生器的扫频方式开关置手控，频率度盘置 1kHz，功能选择开关置正弦，输出衰减 dBm 开关置 0dBm，调节细调控制旋钮使指示表针指示在 0 dBm 刻度，在其输出端并接一个匹配电阻；用交流电压表的 dBm 刻度来测量低频扫频信号发生器的输出电平；

② 每 5dBm 测量一次，读记交流电压表的指示值为 L_0；

③ 输出电平误差按公式(32-30)计算：

$$\Delta L = L - L_0 \qquad (32\text{-}30)$$

式中 ΔL——输出电平误差 (dBm)；

L——输出电平标称值 (dBm)；

L_0——输出电平实测值 (dBm)。

36. 输出阻抗

output impedance

输出阻抗这里是指从低频扫频信号发生器的输出端向低频扫频信号发生器方向看去所呈现的阻抗。

测试方法：

I. 平衡输出阻抗测试

(1) 测试仪器连接如图 32-37。

(2) 测试步骤

① 测试仪器连接前，分别把阻抗电桥的接地点及被测低频扫频信号发生器输出端接地点与地线相连；

② 被测低频扫频信号发生器通电预热后，

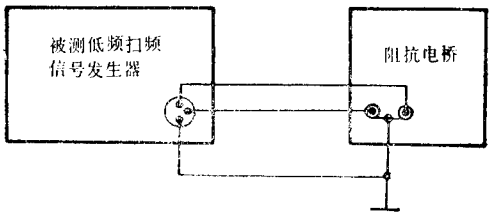


图 32-37

调节输出电平控制，使输出电平指示为 0 (即信号输出幅度为 0)，然后按图连接仪器；

③ 阻抗电桥置阻抗测量功能，测试频率分别为 100Hz、1kHz、10kHz，分别测出三个输出端的输出阻抗为 Z_0；

④ 输出阻抗误差按公式(32-31)计算：

$$\delta_z = \frac{Z - Z_0}{Z_0} \times 100\% \qquad (32\text{-}31)$$

式中 δ_z——输出阻抗误差(百分值)；

Z——输出阻抗标称值 (Ω)；

Z_0——输出阻抗实测值 (Ω)。

II. 不平衡输出阻抗测试

(1) 测试仪器连接如图 32-38。

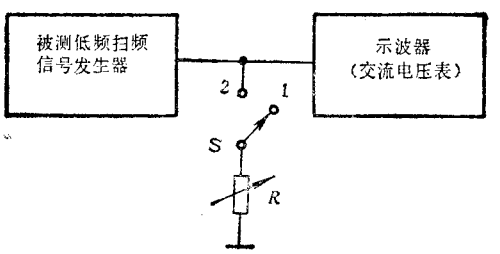


图 32-38

(2) 测试步骤

① 被测低频扫频信号发生器的扫频方式开关置手控，频率度盘置 1kHz，输出电平幅度置最大，功能选择开关任选；

② 当开关 S 置 1 时，用示波器测量被测低频扫频信号发生器的输出信号幅度，调节被测低频扫频信号发生器的输出细调旋钮，使输出幅度适当；

③ 读记示波器的指示值为 A；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

④ 当开关 S 置 2 时，改变可变电阻箱的电阻值，使示波器显示的波形幅度为原来的一半，即 $A/2$；

⑤ 读记可变电阻箱的电阻值，即为低频扫频信号发生器的输出阻抗 Z_0；

⑥ 如果被测低频扫频信号发生器的功能开关置正弦，则可用交流电压表来代替示波器进行测量，测试方法相同。

（四）高频扫频信号发生器技术性能测试方法

这里所指的高频扫频信号发生器主要是指无线电广播频段范围的主要用于收录机的试制和生产的系列扫频信号发生器。由于技术性能测试方法的基本一致性，当然也可以扩展到其它频段，如甚高频和微波等。

高频扫频信号发生器被广泛应用于频谱分析仪、跟踪接收机以及收音机、电视机等行业的生产调试和性能测试等过程中。八十年代以后，由于广播音响的发展，广播频段的扫频信号发生器便应运而生，并得到了广泛的应用和充分的发展。

本技术性能测试方法是根据中华人民共和国国家标准《扫频信号发生器技术条件》和《扫频信号发生器测试方法》征求意见稿，以及部分企业标准：上海无线电二十六厂的《沪 Q/YXC116-83 XSQ-2 MW/SW 扫频信号发生器》、《沪 Q/YXC041-83 XSQ-6 调幅中频扫频信号发生器》、《沪 Q/YXC040-83 XSQ-7 调频中频扫频信号发生器》和《沪 Q/YXC010-82 XSQ-8 FM 扫频信号发生器》等产品标准而编写的。

有关与高频信号发生器一致的技术性能测试方法没有编进这个内容之中，如单频的频率误差、重调误差、短期稳定度、长期稳定度、温度变化引起的频率变动量，供电电压变化引起的频率变动量、输出电平变化引起的频率变动量、负载变化引起的频率变动量等，只要将高频扫频信号发生器置单频工作状态，就可以参照高频信号发生器的有关测试方法进行测试。再如有关功率稳定度、输出电平稳定度，温度变化、供电电压变化引起的输出电平变动量和有关不希望效应等都可以参照高频信号发生器的有关内容进行测试。

有关与低频扫频信号发生器一致的技术性能测试方法也没有编进这个内容之中，如扫描时间等的测量，可以参照低频扫频信号发生器的有关测试方法进行测试。

有关与示波器一致的技术性能测试方法也没有编进这个内容之中，如偏转因数、显示器动态范围等都可以参照第 19 章示波器的有关内容进行测试。

37. 有效频率范围

effective frequency range

有效频率范围在这里是指高频扫频信号发生器的载波扫频信号所覆盖的频率范围。载波频率或者是连续的，或者分成若干个频段，或者由一系列间断频率组成，在此频率范围内高频扫频信号发生器满足所有精度要求。

测试方法：

（1）测试仪器连接如图 32-39。

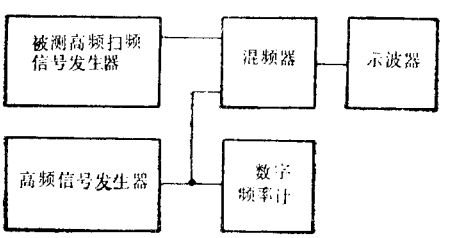


图　32-39

（2）测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 被测高频扫频信号发生器工作于扫频状态，适当调节输出幅度；

② 在规定的全频段和每个频段的两个端点频率处，用数字频率计测量高频信号发生器与被测高频扫频信号发生器的零差拍频率，读记数字频率计的显示值，即可得出被测高频扫频信号发生器的全频段扫频覆盖范围和每个频段的扫频频率范围；

③ 对用频标指示扫频频率范围的扫频图示仪，则直接数频标间隔，测得其扫频的有效频率范围。

38. 起止扫频，标志扫频的端点频率误差 δ_f

end frequency error for start-stop sweep and mark sweep

起止扫频，标志扫频的端点频率误差是指高频扫频信号发生器的起止扫频的起点频率和终止频率和标志扫频的起点频率和终止频率的实测值与标称值之间的差别，用实际相对误差表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-39。

(2) 测试步骤

① 具有起止扫频功能和标志扫频功能的高频扫频信号发生器置扫频工作状态，起点频率置最低频率，终止频率置最高频率，标志频率分别置扫频频率范围的两个端点频率，适当调节扫频输出信号幅度；

② 用数字频率计测量被测高频扫频信号发生器的起止频率调节的最低频率和最高频率以及标志频率与高频信号发生器的零差拍信号的频率，读记数字频率计的显示值为 f_0；

③ 起止扫频，标志扫频的端点频率误差按公式(32-32)计算：

$$\delta_f = \frac{f - f_0}{f_0} \times 100\% \qquad (32\text{-}32)$$

式中 δ_f——起止扫频，标志扫频的端点频率误差(百分值)；

f——端点频率的标称值 (Hz)；

f_0——端点频率的实测值 (Hz)。

39. 窄带扫频或对称扫频中心频率误差 δ_f

center frequency error for narrow band sweep or cymmetrical sweep

窄带扫频或对称扫频中心频率误差是指高频扫频信号发生器工作在窄带扫频或对称扫频状态，其中心频率的实测频率与标称频率之间的差别，用实际相对误差表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-39。

(2) 测试步骤

① 被测高频扫频信号发生器工作于窄带扫频或对称扫频状态，适当调节输出幅度；

② 窄带或对称扫频带宽旋钮置于零；

③ 用数字频率计测量高频信号发生器与被测高频扫频信号发生器的中心频率零差拍信号频率，读记数字频率计的显示值为 f_0；

④ 窄带扫频或对称扫频的中心频率误差按公式(32-33)计算：

$$\delta_f = \frac{f - f_0}{f_0} \times 100\% \qquad (32\text{-}33)$$

式中 δ_f——窄带扫频或对称扫频的中心频率误差(百分值)；

f——中心频率标称值 (Hz)；

f_0——中心频率实测值 (Hz)。

40. 窄带扫频或对称扫频的带宽误差 δ_{bw}

band width error for narrow band sweep or symmetrical sweep

窄带扫频或对称扫频的带宽误差是指高频扫频信号发生器工作于窄带扫频或对称扫频状态，带宽实测值与标称值之间的差别，用示值相对误差表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-39 和图 32-40。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

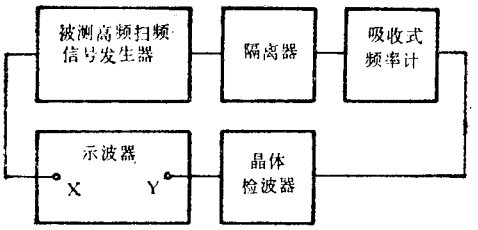


图 32-40

(2) 测试步骤

① 被测高频扫频信号发生器工作于窄带扫频或对称扫频状态，适当调节输出幅度；

② 窄带扫频或对称扫频的带宽旋钮置于预调位置，由吸收式频率计测量示波器显示的扫频波形两端的频率为 f_H 和 f_L；

③ 窄带扫频或对称扫频的带宽误差按公式(32-34)计算：

$$\delta_{bw}=\frac{f_H-f_L}{BW}\times 100\% \qquad (32\text{-}34)$$

式中 δ_{bw}——窄带扫频或对称扫频的带宽误差(百分值)；

f_H——带宽高端频率实测值 (Hz)；

f_L——带宽低端频率实测值 (Hz)；

BW——窄带扫频或对称扫频带宽标称值 (Hz)。

41. 频率标志误差 δ_m

frequency marker error

频率标志误差在这里是指高频扫频信号发生器工作于扫频状态的频率标志频率的实测值与标称值之间的差别，用实际相对误差来表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-41。

(2) 测试步骤

① 被测高频扫频信号发生器工作于扫频状态，使示波器有明显的频标显示；

② 调节高频信号发生器使与被测高频扫频信号发生器的频率标志点产生零差拍，读记数字频率计的显示值 f_0 即为该频标点实测频率；

③ 频率标志误差按公式(32-35)计算：

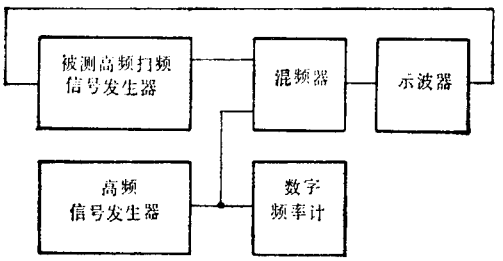


图 32-41

$$\delta_m=\frac{f-f_0}{f_0}\times 100\% \qquad (32\text{-}35)$$

式中 δ_m——频率标志误差(百分值)；

f——频标频率标称值 (Hz)；

f_0——频标频率实测值 (Hz)。

④ 若被测高频扫频信号发生器有晶体频标，可在单频时测试使频率和晶体频标重合，然后用数字式频率计测量频率值即为 f_0。

42. 频率标志分辨率 Δ

frequency marker resolution

频率标志分辨率这里是指高频扫频信号发生器的频率标志，在规定的误差极限内，可以获得或重复产生的频率最小增量。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-41。

(2) 测试步骤

① 被测高频扫频信号发生器工作于窄带扫频状态，使示波器有明显频标显示；

② 选择窄带扫频宽度在示波器显示屏上占有 10 格宽度，从这 10 格宽度中测出频标占有的频率 f；

③ 用数字频率计测量高频信号发生器与被测高频扫频信号发生器的频率标志出现零差拍的频率 f_0；

④ 频率标志分辨率按公式(32-36)计算：

$$\Delta=\frac{f}{f_0}\times 100\% \qquad (32\text{-}36)$$

式中 Δ——频率标志分辨率(百分值)；

f——频标占有频率 (Hz)；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

f_0——频标频率实测值(Hz)。

43. 扫频线性误差 δ_l

sweep linearity error

扫频线性误差这里是指高频扫频信号发生器在扫描时间内产生的相对于线性扫频的最大频率误差，用线性相对误差表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-42。

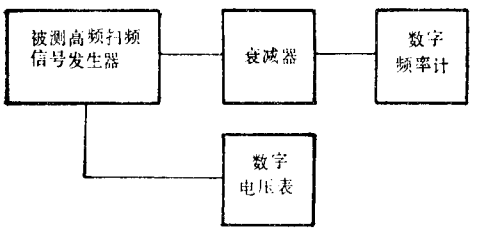


图 32-42

(2) 测试步骤

① 被测高频扫频信号发生器工作于单频状态，“比例扫描输出”接数字电压表。由数字频率计分别测得有效频率范围的相应起始频率 f_1，终止频率 f_2；用数字电压表相应测出对应的扫描输出电压 V_1、V_2；

② 在以扫描输出电压为X轴，输出频率为Y轴的坐标内将 $(f_1、V_1)$ 和 $(f_2、V_2)$ 两点连接成直线(见图 32-43)；

③ 按一定的频率间隔测得相应的电压值，找得偏离 $(f_1、V_1)$、$(f_2、V_2)$ 直线最大的 Δf，并找出相应的 f_i；

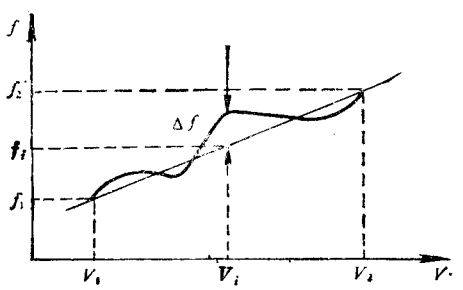


图 32-43

④ 扫频线性误差按公式(32-37)计算：

$$\delta_l = \frac{\Delta f}{f_i} \times 100\% \qquad (32\text{-}37)$$

式中 δ_l——扫频线性误差(百分值)；

Δf——偏离上述规定直线的最大频率偏差(Hz)；

f_i——相应于最大频率偏差的线性频率(Hz)。

44. 固定扫描输出电压

constant sweep output voltage

固定扫描输出电压这里是指高频扫频信号发生器工作于“自动扫频”状态，与输出信号的扫频宽度无关的扫描输出电压，可作为示波器X轴偏转的扫描。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-44。

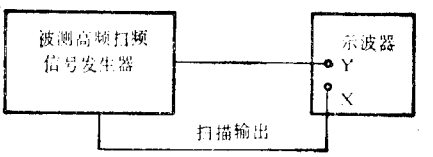


图 32-44

(2) 测试步骤

① 被测高频扫频信号发生器工作于“自动扫频”状态，“固定扫描输出”接示波器Y轴；

② 在示波器显示的波形上测得固定扫描输出电压的数值即可。

45. 比例扫描输出电压

proportional sweep output voltage

比例扫描输出电压这里是指高频扫频信号发生器工作于“自动扫频”状态与输出信号的扫频宽度成比例的扫描输出电压。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-44。

(2) 测试步骤

① 被测高频扫频信号发生器工作于“自动扫频”状态，“比例扫描输出”接示波器Y轴；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 在示波器显示的波形上测得被测扫频宽度相应的比例扫描输出电压数值即可。

46. 不稳幅输出电平

unlevelled output level

不稳幅输出电平这里是指高频扫频信号发生器不稳幅时的输出电平。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-45 或图 32-46。

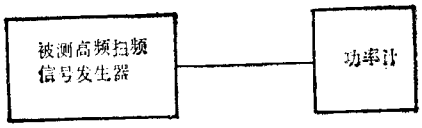


图　32-45

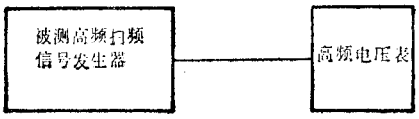


图　32-46

(2) 测试步骤

① 被测高频扫频信号发生器工作于单频、手动或扫频状态，输出电平调至最大；

② 测得有效频率范围内最小不稳幅输出功率或输出电压，即为不稳幅输出电平。

47. 不稳幅输出电平平坦度　K_p 或 K_v

unlevelled output flatness

不稳幅输出电平平坦度是指高频扫频信号发生器不稳幅时输出电平的频率响应特性，即输出电平随着扫频输出频率变化而起伏变化的程度，通常用分贝表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-45 或图 32-46。

(2) 测试步骤

① 被测高频扫频信号发生器工作于单频、手动或扫频状态，输出电平调至最大；

② 测得有效频率范围内最大和最小不稳幅输出功率分别为 P_{max}、P_{min}，或不稳幅输出电压分别为 V_{max}、V_{min}；

③ 不稳幅功率平坦度按公式 (32-38) 计算：

$$K_p = \pm\frac{1}{2}\left(10\lg\frac{P_{max}}{P_{min}}\right) \quad (32\text{-}38)$$

式中　K_p——不稳幅功率平坦度 (dB)；

P_{max}——有效频率范围内最大不稳幅输出功率 (W)；

P_{min}——有效频率范围内最小不稳幅输出功率 (W)。

④ 不稳幅电压平坦度按公式 (32-39) 计算：

$$K_v = \pm\frac{1}{2}\left(20\lg\frac{V_{max}}{V_{min}}\right) \quad (32\text{-}39)$$

式中　K_v——不稳幅电压平坦度 (dB)；

V_{max}——有效频率范围内最大不稳幅输出电压 (V)；

V_{min}——有效频率范围内最小不稳幅输出电压 (V)。

48. 稳幅输出电平

levelled output level

稳幅输出电平是指高频扫频信号发生器工作于稳幅状态，使其恒定的输出电平的大小。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-45 或图 32-46。

(2) 测试步骤

① 被测高频扫频信号发生器工作于稳幅状态，在符合输出电平平坦度的要求情况下，使输出电平调至最大；

② 测得有效频率范围的最小稳幅输出功率或最小稳幅输出电压，即为稳幅输出电平。

49. 稳幅输出电平平坦度及稳幅输出电平可调范围　K_p 或 K_v，

levelled output flatness and levelled output

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

adjustable range

稳幅输出电平平坦度是指高频扫频信号发生器工作于稳幅状态，其输出电平随着频率变化而起伏的程度，通常用分贝表示。稳幅输出电平可调范围是指高频扫频信号发生器在全频段内可以获得稳幅输出的最大值与最小值（平坦度不超过规定范围）的可调节范围，通常也用分贝表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-45 或图32-46。

(2) 测试步骤

① 被测高频扫频信号发生器工作于稳幅状态，在符合输出电平平坦度要求的情况下，使输出电平调至最大；

② 测得有效频率范围内最大和最小稳幅输出功率分别为 P_{max}、P_{min}，或稳幅输出电压分别为 V_{max}、V_{min}；

③ 稳幅输出功率平坦度按公式(32-40)计算：

$$K_p = \pm\frac{1}{2}\left(10\lg\frac{P_{max}}{P_{min}}\right) \qquad (32\text{-}40)$$

式中 K_p——稳幅输出功率平坦度（dB）；

P_{max}——有效频率范围内的最大稳幅输出功率（W）；

P_{min}——有效频率范围内的最小稳幅输出功率（W）。

④ 稳幅输出电压平坦度按公式(32-41)计算：

$$K_v = \pm\frac{1}{2}\left(20\lg\frac{V_{max}}{V_{min}}\right) \qquad (32\text{-}41)$$

式中 K_v——稳幅输出电压平坦度（dB）；

V_{max}——有效频率范围内的最大稳幅输出电压（V）；

V_{min}——有效频率范围内的最小稳幅输出电压（V）。

⑤ 在满足稳幅输出电平平坦度的条件下，将稳幅输出电平调到最小值，在此情况下测得最小稳幅输出功率 P'_{min} 和最小稳幅输出电压 V'_{min}；

⑥ 稳幅输出电平可调范围按公式(32-42)计算：

$$\left.\begin{aligned} K_a &= 10\lg\frac{P_{min}}{P'_{min}} \\ K_a &= 20\lg\frac{V_{min}}{V'_{min}} \end{aligned}\right\} \qquad (32\text{-}42)$$

式中 K_a——稳幅输出电平可调范围（dB）；

P_{min}——最大稳幅输出电平条件下的最小输出功率（W）；

P'_{min}——最小稳幅输出电平条件下的最小输出功率（W）；

V_{min}——最大稳幅输出电平条件下的最小输出电压（V）；

V'_{min}——最小稳幅输出电平条件下的最小输出电压（V）。

50. 源电压驻波比 S

generator voltage standing wave ratio

源电压驻波比这里是指高频扫频信号发生器源输出的最大电压值 V_{max} 与最小电压值 V_{min} 之比。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-47。

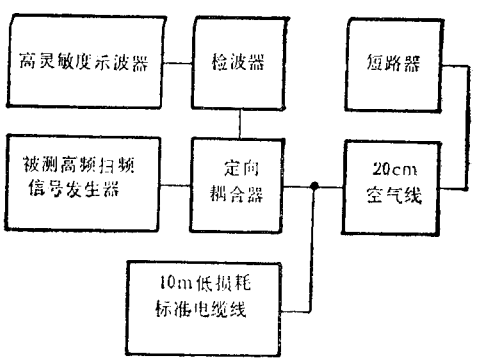


图 32-47

(2) 测试步骤

① 被测高频扫频信号发生器工作于扫频稳幅状态，输出功率调至最大；

② 接入 20 cm 空气线或 10 m 低损耗标

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

准电缆线和可变短路器，使示波器显示屏上显示出图 32-48 中的全频段小波纹驻波曲线；

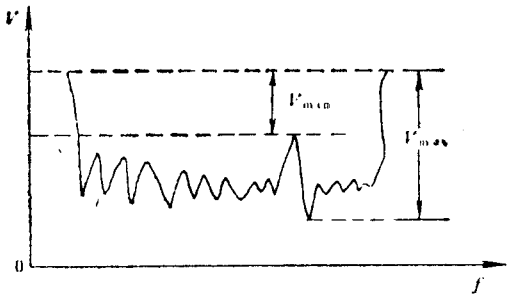


图　32-48

③ 调节可变短路器旋钮，改变短路长度，此时小波纹驻波曲线也将随之改变；

④ 找出随可变短路器长度变化而变化的所有小波纹驻波曲线中最大的 V_{max} 和最小的 V_{min}；

⑤ 源电压驻波比按公式(32-43)计算：

$$S=\sqrt{\frac{V_{max}}{V_{min}}} \qquad (32\text{-}43)$$

式中　S——源电压驻波比；

V_{max}——所有小波纹驻波曲线中的最大电压值 (V)；

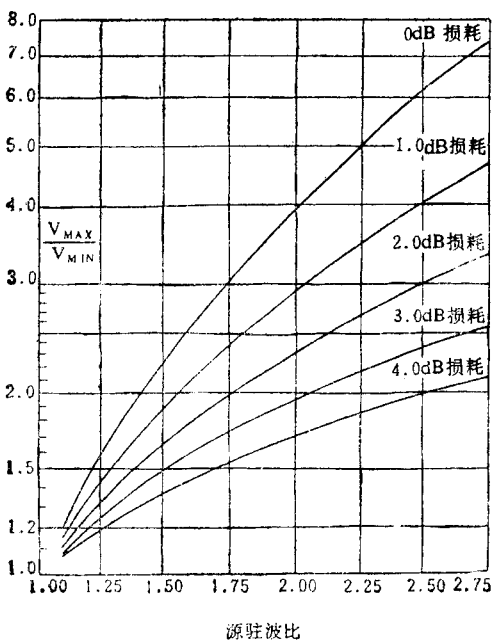


图 32-49　示波器轨迹转化成源匹配驻波比图

V_{min}——所有小波纹驻波曲线中的最小电压值 (V)。

注：(1) 20 cm 空气线或 10 m 低损耗标准电缆线的插入损耗忽略不计；

(2) 被测高频扫频信号发生器的频率在 1GHz 以下接入 10m 低损耗标准电缆线，1GHz 以上用 20cm 空气线；

(3) 检波器工作于小信号以满足平方律特性，否则应计入检波器的影响；

(4) 当 10m 低损耗标准电缆线的插入损耗不能忽略时，源电压驻波比按公式(32-44)修正：

$$S=\frac{-A^2\left(\sqrt{\frac{V_{max}}{V_{min}}}-1\right)-\left(\sqrt{\frac{V_{max}}{V_{min}}}+1\right)}{A^2\left(\sqrt{\frac{V_{max}}{V_{min}}}-1\right)-\left(\sqrt{\frac{V_{max}}{V_{min}}}+1\right)} \qquad (32\text{-}44)$$

式中 A 按公式(32-45)确定：

$$20\lg A=L(\text{dB}) \qquad (32\text{-}45)$$

L 为 10m 低损耗标准电缆线的插入损耗 dB 值。

源电压驻波比也可以从图 32-49 中查得。

51. 载波的相对谐波含量　A_h

relative harmonic content for carrier wave

载波的相对谐波含量在这里是指高频扫频信号发生器在单频稳幅状态，规定的一个谐波输出信号或一组谐波输出信号有效值（或功率值）与载波基波的有效值(或功率值)之比，用百分数或低于载波电平的分贝数表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-50。

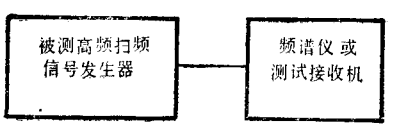


图　32-50

(2) 测试步骤

① 被测高频扫频信号发生器工作于单频稳幅状态，输出电平调至最大；

② 用频谱仪或测试接收机测得各次谐波的功率或电压，以及基波的功率或电压；

③ 载波的相对谐波含量按公式(32-46)和公式(32-47)计算：

$$A_h=10\lg\left(\frac{P_2+P_3+\cdots+P_n}{P_1}\right) \qquad (32\text{-}46)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$A_h = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \cdots + V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad (32\text{-}47)$$

式中 A_h——载波的相对谐波含量（dB 或百分值）；

P_n——n 次谐波的功率（W）$n = 2,3,\cdots$；

P_1——基波功率（W）；

V_n——n 次谐波电压有效值（V）$n = 2,3,\cdots$；

V_1——基波电压有效值（V）。

52. 载波的相对分谐波含量 A_s

relative subharmonic content for carrier wave

载波的相对分谐波含量在这里是指高频扫频信号发生器工作于单频稳幅状态，规定的分谐波输出信号的功率值与载波基波功率值之比，用低于载波电平的分贝数表示。

测试方法：

（1）测试仪器连接同图 32-50。

（2）测试步骤

① 被测高频扫频信号发生器工作于单频稳幅状态，输出电平调至最大；

② 用频谱仪或接收机测量出基波功率为 P_1；

③ 测得该频率的 1/2 次、1/3 次、……、1/n 次谐波功率分别为 P_2、P_3、$\cdots$、P_n；

④ 载波的相对分谐波含量按公式(32-48)计算：

$$A_s = 10\lg\frac{P_2 + P_3 + \cdots + P_n}{P_1} \quad (32\text{-}48)$$

式中 A_s——载波的相对分谐波含量（dB）；

P_n——1/n 次分谐波功率（W）$n = 2,3,\cdots$，

P_1——基波功率（W）。

53. 载波的相对非谐波含量 A_n

relative non-harmonic content for carrier wave

载波的相对非谐波含量这里是指高频扫频信号发生器工作于单频稳幅状态，规定的非谐波输出信号的功率值与载波的基波功率值之比，用低于载波电平的分贝数表示。

测试方法：

（1）测试仪器连接同图 32-50。

（2）测试步骤

① 被测高频扫频信号发生器工作于单频稳幅状态，输出电平调至最大；

② 用频谱仪或接收机测得基波功率 P_1；

③ 在被测频率的 1/3 次到 3 倍频频带内，测出非谐波含量 P_2、P_3、$\cdots$、P_n；

④ 载波的相对非谐波含量按公式(32-49)计算：

$$A_n = 10\lg\frac{P_2 + P_3 + \cdots + P_n}{P_1} \quad (32\text{-}49)$$

式中 A_n——载波的相对非谐波含量（dB）；

P_n——第 n 个非谐波功率（W）$n = 2,3,\cdots$，

P_1——基波功率（W）。

54. 方波重复频率

repetitive frequency of square wave

方波重复频率这里是指高频扫频信号发生器工作于方波调制状态，其方波的重复频率。

测试方法：

（1）测试仪器连接如图 32-51。

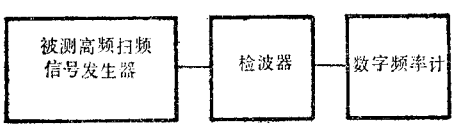


图 32-51

（2）测试步骤

① 被测高频扫频信号发生器工作于单频方波调制状态，适当调节输出电平幅度；

② 由数字频率计测量检波后的频率，即为方波重复频率。

55. 方波占空系数 C

duty factor of square wave

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

方波占空系数是指方波波形的持续时间与方波重复周期之比。一般占空系数为 0.5 的脉冲称之为方波。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-52。

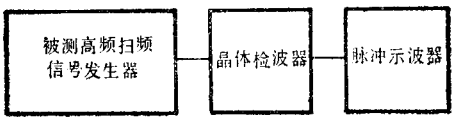


图　32-52

(2) 测试步骤

① 被测高频扫频信号发生器工作于单频方波调制状态；

② 在示波器上测得方波宽度为 τ_0；方波周期为 T；

③ 方波占空系数按公式(32-50)计算：

$$C = \frac{\tau_0}{T} \qquad (32\text{-}50)$$

式中　C——方波占空系数；

τ_0——方波持续时间 (s)；

T——方波重复时间 (s)。

56. 方波调制通断比 R

RF on/off ratio due to square wave modulation

方波调制通断比这里是指高频扫频信号发生器采用方波调制时，在载波脉冲间隔期间，高频扫频信号发生器输出的剩余载波信号的功率或电压的有效值与脉冲期内输出的载波信号功率或电压的有效值之比，通常用分贝表示。

测试方法一：

(1) 测试仪器连接同图 32-50。

(2) 测试步骤

① 被测扫频信号发生器工作于单频无调制状态，输出功率调至最大；

② 在频谱仪上测得无调制时的功率谱线幅度 A_0；

③ 测得方波调制时的载波穿透功率谱线 A_1；

④ 方波调制通断比按公式(32-51)计算：

$$R = 10\lg\frac{A_0}{A_1} \qquad (32\text{-}51)$$

式中　R——方波调制通断比 (dB)；

A_0——无调制时的载波输出功率 (W)；

A_1——方波调制时的载波穿透功率 (W)。

测试方法二：

(1) 测试仪器连接如图 32-53。

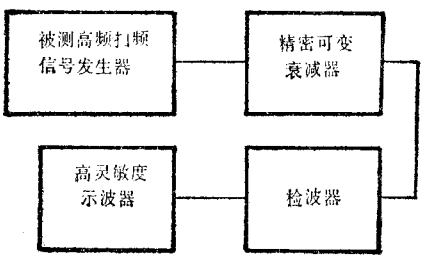


图　32-53

(2) 测试步骤

① 被测高频扫频信号发生器工作于单频方波调制状态，输出幅度调至最大；

② 可变衰减器的衰减量置于零位，调节高灵敏度示波器的灵敏度，使方波关断期间的信号电平于示波器显示出一定的幅度 A；

③ 增加可变衰减器的衰减量，使方波持续时间的信号电平于示波器上显示幅度等于方波关断期间的显示幅度 A；

④ 此时精密可变衰减器增加的衰减值，即为方波调制通断比。

(五) 双通道交流毫伏表技术性能测试方法

双通道交流毫伏表可在宽的频率范围，宽的电压量程，进行交流电压的测量。有手动量程换档，自动量程换档和遥控量程等。在测量中，一块表具有两个独立的指针指示，两个通道可以各自

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

作为独立的毫伏表使用，能够同时测量两个分离负载不同点的电压。两路被测电压在 10dB 范围内，能很方便地比较它们的大小。由于具有 dB 和 dBm 刻度，能进行分贝测量，因此，对立体声收录机的分离度，通道平衡度、串音等测量十分方便。所以被广泛应用在收录机生产调试线上。同时，由于它由两个独立的通道组成，两通道没有相互影响，其他领域能方便地用来作两路信号的测量和分析。例如：对一个电路进行增益测量，对双联电位器的两联同步测量等。

本技术指标和测试方法是根据中华人民共和国计量器具检定规程《JJG 250-81 电子电压表检定规程》，以及部分企业标准：天津市中环科学仪器公司的《津 Q/JD3096-89 HG2170 双通道交流毫伏表》产品标准、《津 Q/JD3212-90 HG2180 自动双通道交流毫伏表》产品标准；上海无线电仪器厂的《沪 Q/YXC245-86 AS2292 双输入交流电压表》产品标准；浙江无线电厂的《Q/AQA13-90 ZW2170 双通道交流毫伏表》产品标准；苏州电讯仪器厂的《SX2290 A 型双通道交流电压表》产品说明书而编写的。

57. 工作正常性测试

(1) 测试仪器连接如图 32-54。

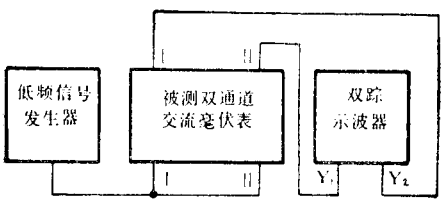


图 32-54

(2) 测试步骤

① 低频信号发生器的频率置 1kHz，输出电压置 1 V，接被测双通道交流毫伏表的两个通道输入端；

② 被测双通道交流毫伏表置手动控制，两个通道量程开关分别置 1V（如果被测双通道交流毫伏表的量程开关具有分、合控制，置分时各自控制自己的量程；置合时，两个通道的量程只由合量程开关控制），两个指针都应指示为 1V 满度；

③ 示波器两个垂直轴输入端分别接被测双通道交流毫伏表的放大器两个输出端，示波器应显示约 $2.8V_{p-p}$ 值波形；

④ 如果被测双通道交流毫伏表具有量程自动转换功能，则在上述测试后，置自动；改变低频信号发生器的输出电压大小，被测双通道交流毫伏表应能自动换量程。

58. 误差

error

电压指示值与真值电压的差别，用满度相对误差来表示。这里误差分固有误差（fixed error）和工作误差（operation error），这两种误差中又分为电压测量误差（voltage measurement error）和频率响应误差（frequency response error）。固有误差中的电压测量误差是指双通道交流毫伏表在基准条件下，以 1kHz 为基准的满刻度相对误差；而其频率响应误差也是指双通道交流毫伏表在规定的基准条件下，以 1 kHz 为基准的频率响应误差，用实际相对误差来表示。同样，工作误差中的电压测量误差和频率响应误差是指双通道交流毫伏表在 0℃～+40℃ 温度范围内，湿度≤80%，电源电压为 220V±10%，电源频率为 50 Hz±5% 时，以 1kHz 为基准的满刻度相对误差，和以 1kHz 为基准的频率响应实际相对误差。

测试方法：

I. 电压测量误差测试方法一

(1) 测试仪器连接如图 32-55。

(2) 测试步骤

① 被测双通道交流毫伏表通电前，先进行表头机械零点调整，使表头指针指零。然后通

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

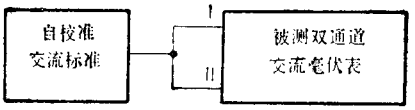


图　32-55

电预热，进行正式测试；

② 被测双通道交流毫伏表置手动控制，量程置最大量程；

③ 自校准交流标准的频率置 1kHz，其输出有效值电压分别为被测双通道交流毫伏表的最大量程满度值，以及三分之一、三分之二满刻度值，此交流标准电压值记为 V_1，分别读记被测双通道交流毫伏表两个通道相对应的指示值为 V_2；

④ 顺序改变被测双通道交流毫伏表的量程，相应改变自校准交流标准的电压输出为被测双通道交流毫伏表各相应量程的满刻度值，以及三分之一、三分之二满刻度值，直至最小量程；同时，分别读记自校准交流标准电压各相应的 V_1 值，以及被测双通道交流毫伏表各相应的指示值 V_2；

⑤ 被测双通道交流毫伏表满刻度相对误差和三分之一、三分之二满刻度相对误差按公式(32-52)计算：

$$\delta_{f\cdot s}=\frac{V_2-V_1}{V}\times 100\% \quad (32\text{-}52)$$

式中　$\delta_{f\cdot s}$——满刻度和三分之一、三分之二满刻度相对误差(百分值)；

V——各量程满刻度标称值 (V)；

V_1——对应于各量程满刻度及三分之一、三分之二满刻度的自校准交流电压值 (V)；

V_2——对应于各量程满刻度、及三分之一、三分之二满刻度被测双通道交流毫伏表指示值 (V)。

注 ①：对应于被测双通道交流毫伏表各量程满度值的自校准交流标准电压可为各量程的 0.9～0.95 满刻度标称值；

②：被测双通道交流毫伏表两个通道同时测量；

③：如果不具备自校准交流标准，可以用别的交流标准源代替；如果没有交流标准源，可以用低频信号发生器和数字繁用表来替代，按下面的测试方法二进行。

II. 电压测量误差测试方法二

(1) 测试仪器连接如图 32-56。

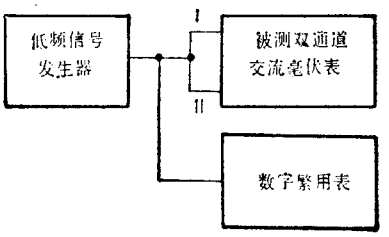


图　32-56

(2) 测试步骤

① 被测双通道交流毫伏表通电前进行机械调零后预热；然后置最大量程；

② 低频信号发生器的频率置 1kHz，其输出电压为被测双通道交流毫伏表的最大量程的满刻度值，以及三分之一、三分之二满刻度值，由数字繁用表测量低频信号发生器的电压，记为 V_1；读记被测双通道交流毫伏表各相应指示值为 V_2；

③ 顺序改变被测双通道交流毫伏表的量程，相应改变低频信号发生器的电压输出为被测双通道交流毫伏表各相应量程的满刻度值，和三分之一、三分之二满刻度值，直至最小量程；同时，分别读记数字繁用表各相对应的显示值，以及被测双通道交流毫伏表各相对应的指示值 V_2；

④ 被测双通道交流毫伏表满刻度相对误差，以及三分之一、三分之二满刻度相对误差按公式(32-52)计算。

各符号定义除 V_1 为数字繁用表所测得低频信号发生器输出电压值外，其余都与测试方法一相同。

III. 频率响应误差测试方法

(1) 测试仪器连接同图 32-55。

(2) 测试步骤

① 自校准交流电压标准的频率置 1kHz，其输出电压为被测双通道交流毫伏表各量程的 0.9～0.95 满刻度的一个定值，分别读记被测双通道交流毫伏表两个通道各量程的指示值为

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

V_1；

② 保持自校准交流标准的输出电压不变，按产品标准规定的频率范围选择频率点（其频率点应不少于五点，其中应包括频率范围的两个端点频率，在频率响应误差指标明显改变处，可以适当增加测试频率点），分别读记被测双通道交流毫伏表两个通道各相对应频率点，各相应量程的指示值 V_2；

③ 频率响应实际相对误差按公式(32-53)计算：

$$\delta_f = \frac{V_1 - V_2}{V_2} \times 100\% \qquad (32\text{-}53)$$

式中 δ_f——频率响应误差(百分值)；

V_1——自校准交流标准 1kHz 输出的各量程的定值（V）；

V_2——被测表各相应频率点和相应量程的指示值（V）。

④ 被测表的频率响应特性按公式(32-54)计算：

$$K_f = 20\lg\frac{V_2}{V_1} \qquad (32\text{-}54)$$

式中 K_f——频率响应特性（dB）。

⑤ 若采用改变自校准交流标准的输出电压而维持被测双通道交流毫伏表各量程指示值为定值的方法进行测试时，其频率响应实际相对误差按公式(32-55)计算：

$$\delta_f = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100\% \qquad (32\text{-}55)$$

式中 V_1——各测试频率相应各量程，自校准交流标准输出的不同电压值(V)；

V_2——1 kHz 信号时被测双通道交流毫伏表各相应量程的定值（V）。

注：① 如果不具备交流标准源，可以用低频信号发生器和数字繁用表来替代，测试方法参照电压测量误差测试方法二。

② 各种产品都有固有误差和工作误差指标，都分电压测量误差和频率响应误差，测量时应分别在基准条件下测试和工作环境条件下测试。

59. 噪声电压

noise voltage

在输入端良好接地时，被测双通道交流毫伏表在最小量程档，毫伏表指针的偏转指示值，称为双通道交流毫伏表的噪声电压。

测试方法：

将短路插座接入被测双通道交流毫伏表的两个通道输入端，两个通道的量程均置最小量程，读记两个指针的指示电压值，即为被测双通道交流毫伏表两个通道的噪声电压值。

60. 输入电阻 R_i

input resistance

从输入端向双通道交流毫伏表看进去所呈现的电阻，称为输入电阻。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-57。

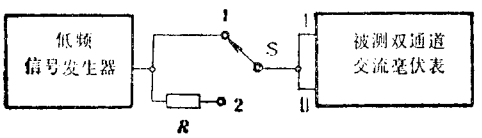


图 32-57

(2) 测试步骤

① 低频信号发生器的频率置 1kHz，其输出电压为被测双通道交流毫伏表相对应量程满刻度值；

② 开关 S 置于 1 位置，读记被测双通道交流毫伏表两个通道的指示值 V_1；

③ 开关 S 置于 2 位置，读记此时双通道交流毫伏表两个通道的电压指示值 V_2；

④ 输入电阻按公式(32-56)计算

$$R_i = \frac{V_2}{V_1 - V_2} R \qquad (32\text{-}56)$$

式中 R_i——输入电阻值（MΩ）；

R——标准电阻器的阻值（MΩ）；

V_1——未接标准电阻器时被测表的电压指示值（V）；

V_2——接入标准电阻器后被测表的电压指示值（V）。

注：① R 为规定的标准电阻器，其阻值应接近于但不大

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

于被测表产品标准规定的输入电阻标称值。

② 读记一个通道的 V_1（或 V_2）时，另一个通道的输入应断开。

61. 输入电容　C_i

input capacitance

从输入端向双通道交流毫伏表看进去所呈现的电容称为输入电容。

测试方法：

（1）测试仪器连接如图 32-58。

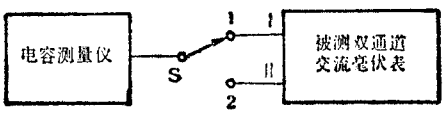


图　32-58

（2）测试步骤

① 电容测量仪接测试电缆，读记此时电容测量仪的电容值为 C_1；

② 被测双通道交流毫伏表不接通电源，将电容测量仪的测试电缆与被测双通道交流毫伏表 I（或 II）通道输入端相接，被测双通道交流毫伏表量程开关置输入电容指标的相应量程，读记此时电容测量仪的电容值为 C_2；

③ 输入电容按公式(32-57)计算：

$$C_i = C_2 - C_1 \qquad (32\text{-}57)$$

式中　C_i——输入电容（pF）；

C_1——测试电缆的电容（pF）；

C_2——电容测量仪带测试电缆测得的被测双通道交流毫伏表 I（或 II）通道相应量程的电容（pF）。

（3）技术要求

不同产品有不同的输入电容指标，并且输入电容指标也按不同量程分段给出，必须按产品标准测试。

62. 输入阻抗　Z_i

input impedance

从输入端向双通道交流毫伏表看进去所呈现的阻抗。

测试方法：

（1）测试仪器连接如图 32-59。

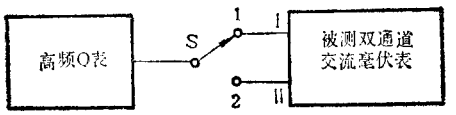


图　32-59

（2）测试步骤

① 高频Q表的振荡频率置被测双通道交流毫伏表频率范围的高端频率，插入适当的标准电感 L，并接入测试电缆，但不接被测双通道交流毫伏表的输入端子，调节高频Q表的调谐电容，使电路谐振，读记高频Q表的 Q 值为 Q_1，调谐电容器的电容值为 C_1；

② 将测试电缆与被测双通道交流毫伏表输入端子 I（或 II）相连，并接通电源，重新调节高频Q表的调谐电容器，使电路谐振，读记此时高频Q表的 Q 值为 Q_2，调谐电容器的电容值为 C_2；

③ 输入电阻分量按公式(32-58)计算：

$$R_i = \frac{1.59 \times 10^3 Q_1 Q_2}{f C_1 (Q_1 - Q_2)} \qquad (32\text{-}58)$$

式中　R_i——输入阻抗的输入电阻分量（Ω）；

Q_1——未接被测双通道交流毫伏表的 Q 值；

Q_2——接被测双通道交流毫伏表的 Q 值；

f——高频Q表振荡器频率（MHz）；

C_1——未接被测双通道交流毫伏表时高频Q表的调谐电容值（pF）。

④ 输入电容按公式(32-59)计算：

$$C_i = C_1 - C_2 \qquad (32\text{-}59)$$

式中　C_i——输入阻抗的输入电容分量（pF）；

C_2——接被测双通道交流毫伏表时高频Q表的调谐电容值（pF）。

⑤ 输入阻抗为 $Z_i = R_i /\!/ C_i$。

注：此处是高频端测得的数据，与低频有明显不同。

63. 开路输出电压和失真度

output voltage and distortion at open end

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

这里的开路输出电压系指 1kHz 输入信号时，双通道交流毫伏表在 1V 量程档，电压表指针指示满刻度时，双通道交流毫伏表的放大器的开路输出电压和输出信号的失真度。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-60。

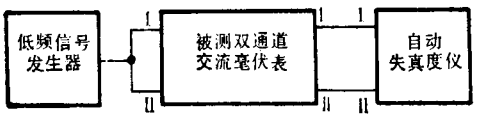


图 32-60

(2) 测试步骤

① 被测双通道交流毫伏表量程开关置 1V；

② 低频信号发生器的频率置 1kHz，调节其输出电压，使被测双通道交流毫伏表两个通道指示满度；

③ 双通道自动失真仪接被测双通道交流毫伏表后面板的放大器输出 I 和 II，读记双通道自动失真仪的电压指示值 V_1 和失真指示值 D；

④ 开路输出电压即为 V_1 值；

放大器输出信号的失真度即为 D 值。

(3) 技术要求

双通道交流毫伏表的开路输出电压一般都为 $1V_{rms}$；1kHz 输出信号的失真≤5%，产品不同，指标不尽相同，有的产品优于 1%。

64. 输出带宽 BW

output bandwidth

输出带宽这里系指双通道交流毫伏表的放大器输出信号的 3dB 频带宽度。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-60。

(2) 测试步骤

① 同指标 63 "开路输出电压"测试步骤的①、②、③项；

② 保持低频信号发生器输出电压不变，降低低频信号发生器的频率直至双通道自动失真仪电平指示下降 3dB 为止，读记此时低频信号发生器的频率为 f_1；然后增加低频信号发生器的频率直至双通道自动失真仪的电平指示下降 3dB 为止，读记此时低频信号发生器的频率为 f_2；

③ 输出带宽按公式(32-60)计算：

$$BW = f_2 - f_1 \qquad (32\text{-}60)$$

式中 BW——输出带宽；

f_1——带宽的低端频率；

f_2——带宽的高端频率。

(3) 技术要求

双通道自动失真仪的电压表电平表应是经过修正的。

产品不同，其输出带宽不尽相同。

65. 输出频率响应 K_f

output frequency response

输出频率响应这里是指双通道交流毫伏表放大器输出信号在恒定输入情况下的平坦度，通常用分贝表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-60。

(2) 测试步骤

① 同指标 63 "开路输出电压"测试的①、②、③项；

② 保持低频信号发生器的输出电压不变，按产品标准规定的响应频率范围改变频率（应不少于五个频率点，其中应包括频率范围的两个端点频率，在频率响应指标改变处，可适当增加测试频率点），分别读记双通道自动失真仪所测得的放大器 I 和 II 的输出电压值 V_2；

③ 输出频率响应特性按公式 (32-61) 计算：

$$K_f = 20\lg\frac{V_2}{V_1} \qquad (32\text{-}61)$$

式中 K_f——输出频率响应特性 (dB)；

V_1——1 kHz 信号时放大器的输出电压

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(V);

V_2——不同频率信号时放大器的输出电压(V)。

(3) 技术要求

根据产品不同，有的产品给出频率响应特性指标，不给带宽指标；有的产品则与此相反，只给带宽指标，不给频率响应特性指标，该两项指标可以根据不同产品而选择测试。

66. 输出阻抗

output impedance

从双通道交流毫伏表放大器输出端向双通道交流毫伏表看去所呈现的阻抗，称为双通道交流毫伏表的输出阻抗。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-61。

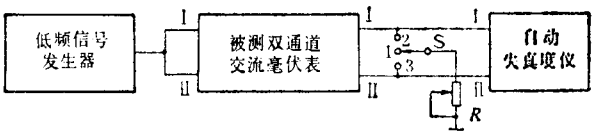


图　32-61

(2) 测试步骤

① 被测双通道交流毫伏表量程开关置 1V；

② 低频信号发生器的频率置 1kHz，调节其输出电压使被测双通道交流毫伏表指示满度；

③ 开关 S 置于 1 位置，读记自动失真仪两个通道测得的放大器 I 和 II 的输出电压 V；

④ 开关 S 置于 2 位置，其余工作状态都不变，调节可变电阻箱的电阻值，使自动失真仪 I 通道的电压值为 $V/2$，此时电阻箱所示电阻值即为双通道交流毫伏表的 I 通道放大器的输出阻抗；

⑤ 开关 S 置于 3 位置，其余工作状态都不变，调节可变电阻箱的电阻值，使自动失真仪 II 通道的电压值为 $V/2$，此时电阻箱所示电阻值即为双通道交流毫伏表的 II 通道放大器的输出阻抗。

(六) 立体声解调器的技术性能测试方法

立体声解调器是一种用于解调立体声复合信号的精密解调器，用于立体声信号的测量。应具有低失真，高信噪比和高分离度等特点。

本技术指标和测试方法是根据机械电子部计量器具检定规程《JJG(电子)12014-87　MDA-456 型立体声解调器试行检定规程》而编写的。

67. 单声频率特性　ΔL

mono frequency flatness

单声频率特性是指立体声解调器在单声工作状态，在输入恒定幅度信号情况下，其输出信号相对于 1kHz 参考频率信号的平坦度。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-62。

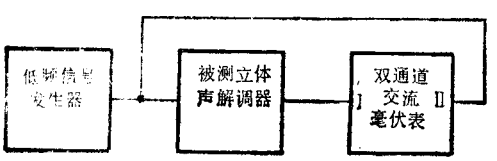


图　32-62

(2) 测试步骤

① 低频信号发生器的频率置 1kHz，输出

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

信号幅度适当，由双通道交流毫伏表的通道 II 进行监示；

② 被测立体声解调器置单声（MONO），读记双通道交流毫伏表通道 I 所测立体声解调器输出端的电平作为基准电平，记为 L；

③ 改变低频信号发生器的频率点，至少应包括被测立体声解调器单声频率范围的两个端点频率和一个中间频率点，并保持低频信号发生器的输出信号幅度不变，读记双通道交流毫伏表的通道 I 所测立体声解调器各频率点的输出电平；

④ 从测试数据中找出最大输出电平 L_{max} 值和最小输出电平值 L_{min}；

⑤ 单声频率特性按公式(32-62)计算：

$$\left.\begin{aligned}\Delta L &= L_{max} - L\\ \Delta L &= L - L_{min}\end{aligned}\right\} \qquad (32\text{-}62)$$

式中 ΔL——单声频率特性（dB）；

L_{max}——所测频率点的输出电平最大值（dB）；

L_{min}——所测频率点的输出电平最小值（dB）；

L——1kHz 频率点的输出电平值(dB)。

68. 立体声频率特性 ΔL

stereo frequency flatness

立体声频率特性系指立体声解调器在输入恒定幅度的立体声复合信号的情况下，解调出来的调制信号的输出信号相对于 1kHz 调制信号的平坦度。

测试方法：

（1）测试仪器连接如图 32-63。

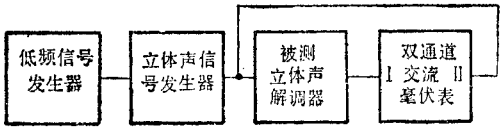


图 32-63

（2）测试步骤

① 立体声信号发生器置外调制，导频调制开关置断，复合信号电平置最大，预加重置断；

低频信号发生器的频率置 1kHz，接立体声信号发生器的外调制左和右输入插孔；调节低频信号发生器的输出信号幅度，使立体声信号发生器输出的 L＋R 信号的调制度为 90%，读记双通道交流毫伏表的 II 通道的电压指示值为 V_0；

② 低频信号发生器的输出只接立体声信号发生器的左(或右)输入插孔，并维持其输出幅度不变；

立体声信号发生器的导频调制开关置通，导频信号调制度为 10%；

③ 被测立体声解调器置立体声(STEREO)，调整其衰减（ATT）和电平（LEVEL）旋钮，使得导频信号在表头的指示值为 10%，左、右通道信号输出电平指示值为 100%，去加重置断；

④ 被测立体声解调器置左（或右）输出位置；立体声信号发生器的输出端子与被测立体声解调器的输入插孔相连接，由双通道交流毫伏表的 I 通道测量被测立体声解调器的左（或右)通道的输出电平，定为基准电平 L；

⑤ 改变低频信号发生器的频率(其频率点的选择与单声频率特性频率选择一致)，重复①项步骤，维持双通道交流毫伏表的 II 通道指示值不变，即恒为 V_0；再重复②、③、④项步骤，读记由双通道交流毫伏表的 I 通道所测立体声解调器的左(或右)通道各频率点的输出电平值；

⑥ 从读记的立体声解调器的左（或右）各频率点的输出电平数据中，找出其最大输出电平 L_{max} 和最小输出电平 L_{min}；

⑦ 立体声频率特性按公式（32-62）计算，式中 ΔL——立体声频率特性（dB）。

69. 分离度误差 ΔS

separation error

分离度误差系指立体声解调器测得的立体声信号的分离度指标与标准立体声信号的分离

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

度指标的差别。用绝对误差来表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-64。

图　32-64

(2) 测试步骤

① 标准立体声信号发生器置左(或右)，输出幅度为额定输出电平幅度：左(或右)信号调制度为 90%，导频信号调制度为 10%，调制频率分别为被测立体声解调器分离度指标划分的频段，每个频率段的端点频率，并可适当选取中间频率；标准立体声分离度可以等于或略低于被测立体声解调器分离度指标；

② 被测立体声解调器置立体声(STEREO)，调整其衰减（ATT）和电平（LEVEL）旋钮，使得导频信号在表头上的指示值为 10%，左、右通道信号输出电平指示为 100%，去加重置断；置左(或右)输出位置；

③ 低失真度测量仪置 S/N；

④ 标准立体声信号发生器输出与被测立体声解调器相连接；低失真度测量仪接被测立体声解调器的左(或右)输出插孔，测得电平为 L_1；然后，标准立体声信号发生器由置左（或右)，改为置右(或左)，用低失真度测量仪来测量被测立体声解调器的左(或右)输出信号，测得电平为 L_2；

⑤ 立体声解调器测得的分离度按公式(32-63)计算：

$$S_0 = L_1 - L_2 \qquad (32\text{-}63)$$

式中　S_0——被测立体声解调器测得的标准立体声信号发生器的分离度值（dB）；

L_1——标准立体声信号发生器输出左(或右)信号，被测立体声解调器输出的左（或右)信号电平（dB）；

L_2——标准立体声信号发生器输出同样幅度的右(或左)信号，被测立体声解调器输出的左(或右)信号电平（dB）。

⑥ 分离度误差按公式(32-64)计算：

$$\Delta S = S - S_0 \qquad (32\text{-}64)$$

式中　ΔS——分离度误差（dB）；

S——标准立体声信号发生器输出信号的标准分离度值（dB）。

70. 单声谐波失真

mono harmonic distortion

这里的单声谐波失真是指立体声解调器在单声工作状态，输入单声信号，立体声解调器输出信号的谐波失真与输入信号的谐波失真的差别，也可以称为附加谐波失真。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-65。

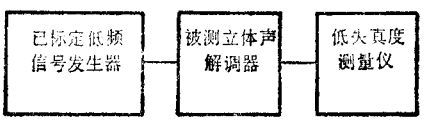


图　32-65

(2) 测试步骤

① 已标定的低频信号发生器的频率置 1kHz，输出幅度适当；

② 被测立体声解调器置单声(MONO)，接已标定低频信号发生器的输出；

③ 低失真度测量仪接被测立体声解调器输出，测量其输出信号的失真，读记为 D_0

④ 改变低频信号发生器的频率(至少应包括单声谐波失真指标频率范围的两个端点频率和一个中间频率点)，用同样方法测得各频率点的失真，读记为 D_1；

⑤ 从读记的 D_0 和所有 D_1 数据中找出其最大值 D_{max}；

⑥ 被测立体声解调器单声谐波失真按公式(32-65)计算：

$$\Delta D = D_{max} - D \qquad (32\text{-}65)$$

式中　ΔD——单声谐波失真(百分值)；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

D_{max}——所测频率点的谐波失真数据中最大的谐波失真值(百分值);

D——已标定低频信号发生器相应于 D_{max} 的频率输出信号的谐波失真值(百分值)。

71. 立体声谐波失真

stereo harmonic distortion

立体声谐波失真这里是指立体声解调器在立体声工作状态,输入标准立体声复合信号,经过立体声解调器解调后,输出解调出来的调制信号的谐波失真度与标定的立体声信号谐波失真度的差别,也可以称之为附加立体声谐波失真。

测试方法:

(1) 测试仪器连接如图 32-66。

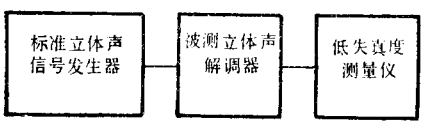


图 32-66

(2) 测试步骤

① 标准立体声信号发生器置左(或右),输出幅度为额定输出幅度:左(或右)信号调制度为 90%,导频信号调制度为 10%,调制频率分别为被测立体声解调器立体声谐波失真指标划分频段每个频段的端点频率,并可适当选取中间频率;

② 被测立体声解调器置立体声(STEREO),调整其衰减(ATT)和电平(LEVEL)旋钮,使得导频信号在表头上的指示为 10%,左、右通道信号输出电平指示为 100%,去加重置断,置左(或右)输出位置;然后与标准立体声信号发生器复合信号输出相接;

③ 低失真度测量仪接被测立体声解调器的左(或右)输出插孔,测量各输出频率信号的谐波失真度,记为 D_0;

④ 谐波失真误差按公式(32-66)计算:

$$\Delta D = D - D_0 \qquad (32\text{-}66)$$

式中 ΔD——所测各频率点的谐波失真误差(百分值);

D——标准立体声信号发生器各频率点已标定的谐波失真(百分值);

D_0——由立体声解调器解调出来的信号各频率点的谐波失真(百分值);

⑤ 从计算的各频率点的谐波失真误差中选出最大数据的谐波失真误差作为立体声解调器的立体声谐波失真。

72. 去加重

deemphasis

去加重亦称频率响应去矫。在调频广播中,它指的是在接收机中去掉在发射机中已经加重的调制信号中的高频分量。立体声信号发生器应用于调频立体声广播中,对调制信号进行预加重处理;立体声解调器则应用在接收机鉴频器以后,将解调出来的立体声复合信号再解调出调制信号,这时的调制信号是已加重的调制信号,为了恢复调制信号的本来面目,必须进行去加重。这里是要测试去加重电路的频率响应特性。

测试方法:

(1) 测试仪器连接同图 32-63。

(2) 测试步骤

① 立体声信号发生器置外调制,导频调制开关置断,复合信号电平置最大,预加重置断;

低频信号发生器的频率置 15kHz,接立体声信号发生器的外调制左和右输入插孔;调节低频信号发生器的输出信号幅度,使立体声信号发生输出的 L + R 信号的调制度为 90%,读记双通道交流毫伏表的 II 通道电压值为 V_0;

② 低频信号发生器的输出只接立体声信号发生器的左(或右)输入插孔,但维持其输出幅度不变;

立体声信号发生器的导频调制开关置通,导频信号的调制度为 10%;

③ 被测立体声解调器置立体声(STEREO),

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

调整其衰减（ATT）和电平（LEVEL）旋钮，使导频信号在表头的指示值为 10%，左、右通道信号输出电平指示值为 100%，去加重置 50 μs；

④ 被测立体声解调器置左（或右）输出位置；立体声信号发生器的输出端子与被测立体声解调器的输入插孔相连接，由双通道交流毫伏表的 I 通道测量被测立体声解调器的左（或右）通道的输出电压，记为 V_2；

⑤ 低频信号发生器的频率改为 1kHz，重复①项，维持 L＋R 输出信号幅度为 V_0；再重复②项，然后重复④项，读记双通道交流毫伏表 I 通道的电压指示值为 V_1，并以此为基准；

⑥ 改变低频信号发生器的频率分别为 10、8、6.3、4、2kHz、800、630、400、200、100、50Hz，重复①项，维持 L＋R 输出信号幅度为 V_0，重复②、④两项，读记双通道交流毫伏表 I 通道测量被测立体声解调器的左(或右)通道输出的各对应频率点输出电压，记为 V_2；

⑦ 立体声解调器去加重特性按公式（32-67）计算：

$$K_0 = 20\lg\frac{V_2}{V_1} \qquad (32\text{-}67)$$

式中　K_0——去加重特性实测值（dB）；

V_2——立体声解调器在恒定幅度输入信号情况下，解调器输出的各对应频率的输出电压；

V_1——立体声解调器在恒定幅度输入 1kHz 信号情况下，解调器输出的 1kHz 信号输出电压。

⑧ 立体声解调器去加重特性偏差按公式(32-68)计算：

$$\delta_K = K - K_0 \qquad (32\text{-}68)$$

式中　δ_K——去加重偏差（dB）；

K——去加重理论计算值（dB）。

去加重理论计算值按公式（32-69）计算：

$$K = -[10\lg(1+\omega^2\tau^2) - 0.4] \qquad (32\text{-}69)$$

式中　ω——角频率；$\omega = 2\pi f$；

f——各测试频率值；

τ——去加重网络时间常数。

⑨ 其它去加重时间常数，按同样方法测量，重复以上步骤，只是被测立体声解调器分别置不同去加重时间常数以不同频率作参考即可。

⑩ 去加重理论计算值如表 32-2。

表 32-2　去加重网络理论计算值

频率 (Hz)	理论计算值 (dB)		
	25μs	50μs	75μs
50	0.4	0.4	0.4
100	0.4	0.4	0.39
200	0.4	0.38	0.36
400	0.38	0.33	0.25
630	0.36	0.23	0
800	0.33	0.13	−0.18
1000	0.30	0	−0.47
2000	0	−1.05	−2.36
4000	−1.04	−3.71	−6.18
6300	−2.56	−6.52	−9.52
8000	−3.71	−8.24	−11.42
10000	−4.99	−9.96	−13.26
15000	−7.75	−13.26	−16.67

73. 信噪比　S/N

signal to noise ratio S/N

立体声解调器的信噪比是指立体声解调器在有信号输入的情况，输出它的额定输出电压与无信号输入情况下输出电压之比，用分贝表示。

测试方法：

（1）测试仪器连接同图 32-64。

（2）测试步骤

① 标准立体声信号发生器置左(或右)，调制频率置 1kHz，输出幅度为额定电平输出幅度：左(或右)信号调制度为 90%，导频信号调

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

制度为 10%；

② 被测立体声解调器置立体声(STEREO)，调整其衰减（ATT）和电平（LEVEL）旋钮，使得导频信号在表头上的指示值为 10%，左、右通道信号输出指示为 100%，去加重置断，置左(或右)输出位置；

③ 低失真度测量仪置“S/N”；测量被测立体声解调器的左(或右)输出信号，记为 V_1；

④ 被测立体声解调器不接信号，将输入端良好短路；

⑤ 低失真度测量仪测量被测立体声解调器的左(或右)输出电压，记为 V_2；

⑥ 信噪比按公式(32-70)计算：

$$S/N = 20\lg\frac{V_1}{V_2} \qquad (32\text{-}70)$$

式中 S/N——立体声解调器的信噪比（dB）；

V_1——有信号输入时，立体声解调器的输出电压（V）；

V_2——输入端短路时，立体声解调器的输出电压（V）。

74. 输入阻抗 Z_i

input impedance

从立体声解调器的输入端向立体声解调器看进去所呈现的阻抗，称为立体声解调器的输入阻抗。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-67。

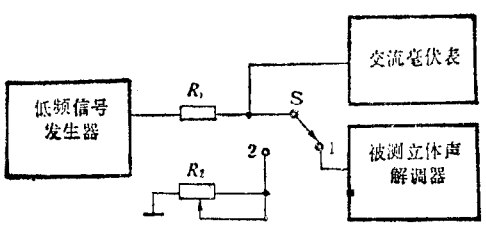


图 32-67

(2) 测试步骤

① 被测立体声解调器置单声(MONO)，将 1 接被测立体声解调器的输入插孔；

② 将开关 S 置于 1 的位置；

③ 低频信号发生器的频率置 1kHz，调节输出信号幅度，使被测立体声解调器输出额定输出电平，读记交流毫伏表的指示值 V；

④ 将开关 S 置于 2 位置；

⑤ 改变电阻箱的电阻值，使交流毫伏表指示值仍为 V，读记可变电阻箱的阻值为 R_i，其 R_i 值即为立体声解调器的输入阻抗值 Z_i。

75. 输出阻抗 Z_o

output impedance

从立体声解调器的输出端向立体声解调器方向看去所呈现的阻抗，即为立体声解调器的输出阻抗。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-68。

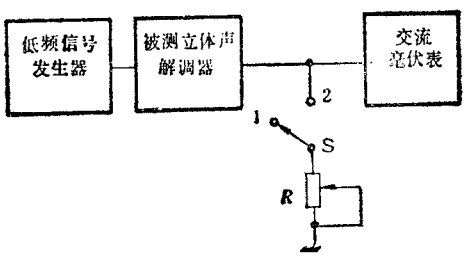


图 32-68

(2) 测试步骤

① 被测立体声解调器置单声(MONO)；低频信号发生器的频率置 1 kHz；开关 S 置于 1 的位置；

② 低频信号发生器的输出接被测立体声解调器，调节低频信号发生器的输出信号幅度，使被测立体声解调器输出为额定输出电平，读记交流毫伏表的指示值为 V；

③ 开关 S 置于 2 的位置，低频信号发生器以及被测立体声解调器的工作状态维持不变，适当改变电阻箱 R 的电阻值，使交流毫伏表指示值降为 $V/2$ 为止，读记电阻箱 R 的阻值为 R_o，此 R_o 值即为立体声解调器的输出阻抗值 Z_o。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（七）抖晃测量仪的技术性能测试方法

抖晃测量仪主要用来测量磁带录音机、录像机、电影机、电唱机、磁带记录仪等的抖晃率及带速。其性能指标均应符合国际电工委员会 IEC386 文件的规定。

本技术指标和测试方法是根据国家计量局抖晃仪检定规程，机电部计量器具检定规程《JJG（电子）12013-87　ZN5970 抖晃测量仪试行检定规程》与《MK 668E 抖晃测量仪试行检定规程》以及天津中环科学仪器公司《津 Q/JD3212-90　HG5970 抖晃测量仪产品标准》而编写的。

76. 工作正常性测试

① 被测抖晃测量仪通电前，先进行指示表头机械零点调整；无表头指示则免去此项。

② 被测抖晃仪通电预热后，在未加入信号时，表头指示（或数字显示）及频率指示均应为 0。加入信号后应有显示，有表头指示的，表针不应有卡针现象。

77. 抖晃测量误差　δ_w

wow fluter measurement error

抖晃测量误差系指抖晃测量仪指示抖晃率与标准抖晃率的差别，用满刻度相对误差来表示。

测试方法：

（1）测试仪器连接如图 32-69。

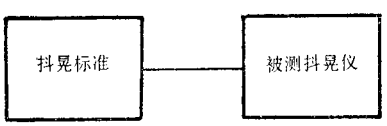


图　32-69

（2）测试步骤

I. DIN 标准制式的测试

① 抖晃标准：置 DIN；
中心频率置 3150Hz；
输出电压置 1V；
抖晃率置 1%；
调制波形置正弦；
调制频率置 4Hz；
调幅键置退出；

② 被测抖晃仪：计数器置“W/F”
“FIM”及“HPF”置“OFF”
标准制式置“DIN”；
滤波器制式置“WTD”；
表头量程置“1%”

③ 此时被测抖晃仪表头指针应指为 1%，否则应调节被测抖晃仪“DIN”微调，直至表头指示为 1%；

④ 抖晃标准按照被测抖晃仪每个量程的满刻度和三分之一、三分之二满刻度给出三个抖晃标准，读记被测抖晃仪抖晃率指示值为 W_0；

⑤ 抖晃测量误差按公式(32-71)计算：

$$\delta_w = \frac{W - W_0}{W_{f\cdot s}} \times 100\% \qquad (32\text{-}71)$$

式中　δ_w——抖晃测量误差（百分值）；
W_0——被测抖晃仪抖晃指示值；
W——抖晃标准设置值；
$W_{f\cdot s}$——被测抖晃仪测试量程的满刻度值。

II. JIS 标准制式的测试

① 抖晃标准：标准制式置“JIS”；
中心频率置 3000Hz；
其余与“DIN”制式测试相同；

② 被测抖晃仪：标准制式置“JIS”；
其余与“DIN”制式测试相同；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

③ 校准步骤与“DIN”制式测试相同，调节时则应调节“JIS”微调，直至使被测抖晃仪表头指针指示为1%；

④ 同“DIN”制式测试的④项和⑤项。

78. 计权曲线

weighted curve

加权是对信号进行变换的一种方法。它的基本思想是突出信号中的某些部分，抑制信号中的另一部分。具体实现的方法就是将信号中的不同部分乘以不同的比例因子。例如滤波器就是一种加权，其作用是突出信号中的一些频率成分，抑制另一些频率成分。

由于人耳对音调波动(即抖晃)频率有不同的灵敏度，因此在计测录音和重放设备的抖动时，应使测量仪(抖晃仪)对抖晃频率的灵敏度具有与人耳相似的特性。这时仪器指示出的抖晃数字就是抖晃的计权值。

表 32-3 计权曲线频响及合格范围

调制频率(Hz)	频响	合格范围
0.2	0.0296	0.0186～0.0933
0.315	0.103	0.0653～0.164
0.4	0.178	0.112～0.282
0.63	0.380	0.302～0.479
0.8	0.500	0.398～0.631
1	0.617	0.490～0.776
1.6	0.812	0.646～1.02
2	0.9	0.716～1.135
4	1.00	1
6.3	0.9	0.716～1.135
10	0.788	0.624～0.989
20	0.508	0.403～0.638
40	0.301	0.240～0.380
63	0.195	0.123～0.309
100	0.137	0.0861～0.216
200	0.0705	0.0446～0.112

将抖晃的计权值按其频率描绘成的曲线称为抖晃计权曲线。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-69。

(2) 测试步骤

① 抖晃标准的调制频率按表 32-3 的调制频率栏的频率顺序设置，其余均与“DIN”标准制式测试的①项同；

② 被测抖晃仪的设置和校准均与“DIN”标准制式测试的②、③项相同；

③ 对于每个调制频率，适当改变被测抖晃仪的量程，读记相应的表头指示值，然后按表 32-3 进行判定；

④ 也可以根据图 32-2 提供的曲线查对。这只要将表头的指示值换算成分贝值即可。

79. 滤波器特性

filter flatness

这里滤波器特性系指“WTD”加权、“WOW”低通、“FLUTTER”高通和“UNWTD”线性几种形式的频率响应特性，它们的调制频率随着滤波器特性不同而不同。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-69。

(2) 测试步骤

① 抖晃标准的设置状态与“DIN”标准制式测试的①项相同，但调制频率应顺序置 4、1、30Hz；

② 被测抖晃仪工作状态设置与“DIN”标准制式测试的②项相同，与调制频率相应，滤波器分别设置为：

“WTD”(加权)　调制频率为 4Hz；
“WOW”(低通)　调制频率为 1 Hz；
“FLUTTER”(高通)　调制频率为 30Hz；
“UNWTD”(线性)　调制频率为 30Hz。

③ 读记表头指示值，读数应在(1±0.05%)范围以内。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

80. 脉冲动态特性

pulse dynamic characteristic

脉冲动态特性这里是对"CCIR"标准制式和"DIN"标准制式而言的，这两种标准制式为峰值指示，用几种脉冲宽度来检查表针偏转的峰值是否符合要求。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-69。

(2) 测试步骤

① 抖晃标准工作状态的设置：

标准制式　置"PULSE"；

中心频率　"DIN"标准时置 3150Hz；
"CCIR"标准时置 3000Hz；

抖晃率　置 1%；

脉冲宽度　依次置"100ms"、"60ms"、"30ms"、"10ms"；

② 被测抖晃仪工作状态的设置：

标准制式：当中心频率为 3150 Hz 时置"DIN"，当中心频率为 3000Hz 时置"CCIR"

其余都与"DIN"标准制式测试的②项相同。

③ 对应每个脉冲宽度，读记被测抖晃测量仪指示表针相应偏转的峰值；对 100ms 的脉冲宽度，并应记下表针下降时的谷值，谷值在 36～44 范围内为合格；峰值偏转应符合表 32-4 要求。

表 32-4

脉冲宽度 ms	100	60	30	10
指示值的合格范围	100±4	90±6	62±6	21±3

81. 抗调幅特性

anti amplitude modulation characteristic

抗调幅特性系指抖晃测量仪测量带调幅的抖晃信号时，测量抖晃率的准确程度。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-69。

(2) 测试步骤

① 抖晃标准工作状态设置：

抖晃率置 0.15%，其余设置与"DIN"标准制式测试的①项同；

② 被测抖晃仪工作状态设置：

抖晃率量程置 0.3%，其余设置均与"DIN"标准制式测试的②项同；

③ 抖晃标准：置调幅，此时被测抖晃仪读数应在公式(32-72)计算范围内：

$$W=\left(0.15\pm0.3\times\frac{15}{100}\right)\% \quad (32\text{-}72)$$

82. 中心频率适用范围

centre frequency applicability

中心频率适用范围是指抖晃测量仪对测量信号中心频率变化的适用范围，在这个频率范围内，测量抖晃误差应不超过规定值。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-69。

(2) 测试步骤

① 抖晃标准的工作状态设置与"DIN"标准制式测试的①项同；

② 被测抖晃仪的工作状态设置与"DIN"标准制式测试的②项同；

③ 先后改变抖晃标准的中心频率±10%，如果被测抖晃测量仪无此项指标，则按 IEC386 规定，抖晃标准的中心频率改变±5%即可(设置值允许±10%)；

④ 读记被测抖晃仪表头指示值，应在(1±0.05)%范围内。

83. 灵敏度

sensitivity

灵敏度在这里是指抖晃测量仪维持正常抖晃测量，误差不超过一定值的最小输入电压值。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-69。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试步骤

① 抖晃标准的工作状态设置与"DIN"标准制式测试的①项同；

② 被测抖晃仪工作状态的设置与"DIN"标准制式测试的②项同；

③ 从小至大改变抖晃标准的输出电压值，直至被测抖晃仪能正常工作且指示误差小于±5%，此时抖晃标准的输出电压值即为被测抖晃仪的灵敏度。

84. 频率计

frequency counter

频率计这里系指抖晃测量仪具有频率计数功能，有一定的计数频率范围和测量准确度。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-69。

(2) 测试步骤

① 抖晃标准的抖晃率置"0%"，其余与"DIN"标准制式测试的①项相同；

② 被测抖晃仪按计数按钮，使计数器工作型式选为只测频率；

③ 根据 3150Hz±10%的频率值设置抖晃标准的中心频率，被测抖晃仪频率计读数应符合产品标准要求；再将抖晃标准的中心频率调为被测抖晃仪频率计频率范围的两个端点频率，频率计显示值应符合产品标准要求。

85. 输出信号

output signal

这里的输出信号系指抖晃测量仪振荡输出，可以作为录音信号源，对于 JIS 输出频率为 3000Hz，对于 DIN 输出频率为 3150Hz；同时要求输出一定幅度的电压和小于一定值的失真度。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-70。

(2) 测试步骤

① 数字电压表置交流电压测量，被测抖晃

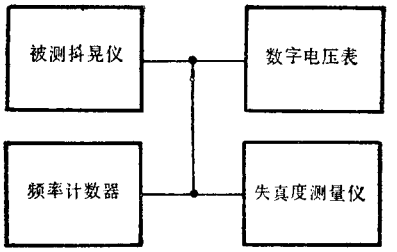


图 32-70

仪分别置"DIN"；"JIS"，读记电压表指示值，应符合产品标准要求；

② 频率计数器置周期测量，被测抖晃仪分别置"DIN"；"JIS"，频率误差按公式(32-73)计算：

$$\delta_f = \frac{f - f_0}{f_0} \times 100\% = \left(\frac{T_0}{T} - 1\right) \times 100\% \tag{32-73}$$

式中 δ_f——频率误差(百分值)；

f——输出信号频率标称值 (Hz)；

f_0——输出信号频率实测值 (Hz)；

T——输出信号周期标称值 (μs)；

T_0——输出信号周期实测值 (μs)。

③ 被测抖晃仪分别置"DIN"，"JIS"，由失真度测量仪测量输出信号的失真度，应符合产品标准要求。

86. 漂移输出

drift output

磁带速度的缓慢变动叫做漂移。由于放音信号频率是磁带速度的函数，抖晃测量仪的漂移输出用改变抖晃标准的中心频率来观察。

测试方法：

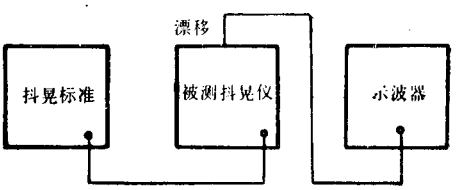


图 32-71

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 测试仪器连接如图 32-71。

(2) 测试步骤

① 抖晃标准的工作状态设置:

中心频率　置 3000Hz

抖晃率　置"0%";

标准制式　置"JIS";

② 被测抖晃仪工作状态设置:

标准制式　置"JIS"(有效值);

抖晃率　置"1%";

③ 用示波器接漂移输出,此时示波器显示为 0V;

④ 改变抖晃标准的中心频率,在 3000 Hz±30Hz 时分别读记示波器上的显示值,即为漂移输出。

87. 到示波器输出

to scope output

到示波器输出这里是指抖晃测量仪的抖晃交流输出,接到示波器观察波形或者进行频率分析。

测试方法:

(1) 测试仪器连接如图 32-72。

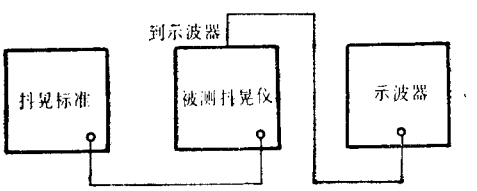


图　32-72

(2) 测试步骤

① 抖晃标准的工作状态设置:

调制频率　置 30Hz;

中心频率　置 3000Hz;

调制波形　置正弦

抖晃率　置"1%"

标准制式　置"JIS"

② 被测抖晃仪工作状态设置:

标准制式　置"JIS"(有效值)

工作选择　置线性

抖晃率　置"1%"

③ 示波器置 AC 测量,接被测抖晃仪的到示波器输出插孔,读记示波器显示波形的电压,即为被测抖晃仪到示波器输出电压。

88. 到记录仪输出

to recorder output

到记录仪输出是指抖晃测量仪与指示电表相应的直流输出电压,用来记录抖晃值。

测试方法:

(1) 测试仪器连接如图 32-73。

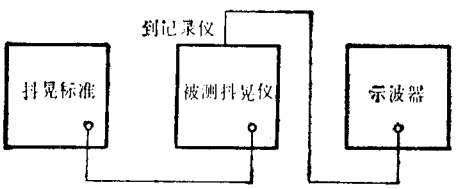


图　32-73

(2) 测试步骤

① 抖晃标准的工作状态设置与指标 87 "到示波器输出"测试的①项相同;

② 被测抖晃仪的工作状态设置与指标 87 "到示波器输出"测试的②项相同;

③ 示波器接被测抖晃仪的到记录仪输出插孔,示波器置 DC 测量,读记示波器的显示电压值,即为到记录仪输出电压值。

(八) 自动频率响应检测仪的技术性能测试方法

自动频率响应检测仪分为单通道自动频率响应检测仪和双通道自动频率响应检测仪,是快速测量各种音频电路频率响应特性的一种仪器。特别适用于各种磁带录音机、录音座、收音机、扩音机、电唱机等各种低频放大电路的频率响应特性测试,是一种适合大批量生产的整机或单板的试

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

验仪器，它不同于低频扫频信号发生器带监示器的那种频率响应特性曲线测试仪。

本技术性能测试方法是根据部分企业标准：天津市中环科学仪器公司的《津 Q/JDJ70-82 HG1690 型自动频率响应检测仪》、《津 Q/JDX554-86 HG5991 型双通道自动频率响应检测仪》产品标准而编写的。

89. 工作正常性检查

① 通电前表头指针应能进行机械零点调整；

② 通电预热后，功能开关置平衡，表针应指零，否则调整平衡电位器指零，几个绿指示灯亮；功能开关置上限(或下限)，调整上限（或下限)设置至一定值，然后功能开关置平衡，再调整相应平衡电位器，当超过上限(或下限)设置值时，相应绿灯灭而红灯亮；检测完毕后方可进行正式测试。

90. 频率误差 δ_f

frequency error

频率误差这里是指自动频率响应检测仪输出信号的频率与其频率标称值的差别。用实际相对误差来表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-74。

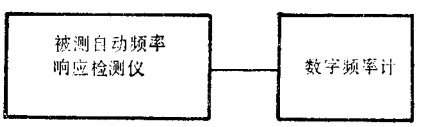


图 32-74

(2) 测试步骤

① 功能开关为不置测量的其他任何功能位置；

② 平衡/测量开关置平衡；

③ 输出选择开关分别置高、低、1 kHz 位置；

④ 数字频率计分别接高、低、1 kHz 输出插孔；

⑤ 分别改变高频、低频的输出频率选择开关，依次读记各频率测量值，记为 f_0；

⑥ 所测各频率的频率误差按公式(32-74)计算：

$$\delta_f = \frac{f - f_0}{f_0} \times 100\% \qquad (32\text{-}74)$$

式中 δ_f——各频率的误差(百分值)；

f——各频率的标称值 (Hz)；

f_0——各频率的实测值 (Hz)。

91. 输出信号失真度

output signal distortion

输出信号失真度这里是指自动频率响应检测仪各单频信号的谐波失真度。用百分值表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-75。

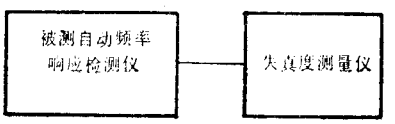


图 32-75

(2) 测试步骤

① 各控制开关设置同频率误差测量，只是由失真度测量仪来分别测量各输出频率信号的谐波失真度；

② 读记失真度测量仪各频率信号的失真度值，应符合产品标准要求。

92. 输出频率响应特性 K_f

output frequency response flatness

输出频率响应特性这里是指自动频率响应检测仪各单频输出信号的平坦度。通常用分贝表示。

测试方法：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 测试仪器连接如图32-76。

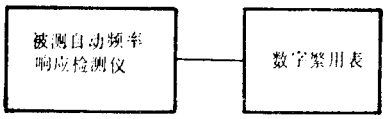


图 32-76

(2) 测试步骤

① 各控制开关设置同频率误差测试，只是由数字繁用表分别测量各输出频率信号的电压值；

② 读记数字繁用表各频率信号的电压指示值；

③ 输出频率响应特性按公式(32-75)计算：

$$\left.\begin{aligned} K_f &= 20\lg\frac{V_{max}}{V} \\ K_f &= 20\lg\frac{V_{min}}{V} \end{aligned}\right\} \qquad (32\text{-}75)$$

式中 K_f——输出频率响应特性(dB)；

V_{max}——所测各输出频率信号电压中的最大指示值(V)；

V_{min}——所测各输出频率信号电压中的最小指示值(V)；

V——1kHz 频率信号时，数字繁用表所指示的值(V)。

93. 输出衰减误差

output attenuation error

输出衰减误差这里是指自动频率响应检测仪输出衰减的实测值与标称值之间的差别。用其绝对误差来表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图32-76。

(2) 测试步骤

① 功能开关置测量；

② 输出选择置 1kHz；

③ 数字繁用表接被测自动频率响应检测仪的输出端子；

④ 改变被测自动频率响应检测仪的粗调、细调衰减开关，读记数字繁用表各次衰减的电压值；

⑤ 各次衰减按公式(32-76)计算：

$$A_0 = 20\lg\frac{V_n}{V_{n+1}} \qquad (32\text{-}76)$$

式中 A_0——各次衰减的衰减实际值(dB)；

V_n——第 n 次测量的电压值(V)；

V_{n+1}——第 $n+1$ 次测量的电压值(V)；

$n = 0,1,2,\cdots n$；

n 从0开始，这时输出无衰减，一直到衰减最大。

⑥ 各次衰减的误差按公式(32-77)计算：

$$\Delta A = A - A_0 \qquad (32\text{-}77)$$

式中 ΔA——各次衰减的衰减误差(dB)；

A——各次衰减的标称值(dB)；

A_0——各次衰减的实测值(dB)。

94. 1kHz 窄带滤波器特性

1kHz narrow band filter flatness

1kHz 窄带滤波器特性是指自动频率响应检测仪的 1kHz 窄带滤波器的频率响应特性。950Hz～1050Hz 范围内不平坦度优于±0.5dB；通带外衰减优于 30dB/倍频程。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图32-77。

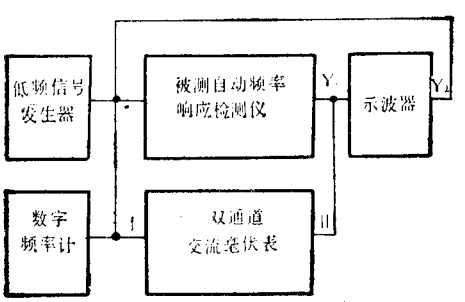


图 32-77

(2) 测试步骤

① 被测自动频率响应检测仪置测量；低频信号发生器输出接被测自动频率响应检测仪的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

输入端子（I 或 II），其输出频率置 1kHz，而输出信号幅度由双通道交流毫伏表的 I 通道监示；双通道交流毫伏表的 II 通道输入分别接被测自动频率响应检测仪的各滤波器输出；由数字频率计测量低频信号发生器的频率，由示波器监示波形，示波器显示的波形应无明显失真；

② 调节低频信号发生器的输出幅度，使 1kHz 滤波器输出为 0dB(=1V)，由双通道交流毫伏表的 II 通道测得；然后，由双通道交流毫伏表的 II 通道分别测得高频带通滤波器和低频带通滤波器的输出指示值，分别记为 L_{HF}、L_{LF}，高频带通滤波器和低频带通滤波器对 1kHz 信号的衰减即分别为 L_{HF} 和 L_{LF} 的绝对值。

③ 改变低频信号发生器的频率分别为 500、950、1050、2000Hz，其输出电压维持不变，分别测得 1kHz 窄带滤波器输出的电平值；950 Hz 和 1050Hz 所测得的电平即为 1kHz 窄带滤波器的通带平坦度；而 500Hz 和 2000Hz 所测得的电平绝对值则为 1kHz 窄带滤波器每倍频程的衰减量。

95. 高频带通滤波器特性

high frequency band pass filter flatness

高频带通滤波器特性这里是指自动频率响应检测仪在其规定的高频频率范围 4kHz～16 kHz 内及其通带外的频率响应特性。

测试方法：

（1）测试仪器连接同图 32-77。

（2）测试步骤

① 被测自动频率响应检测仪置测量；低频信号发生器的输出接被测自动频率响应检测仪的输入端子（I 或 II），其输出信号频率置 10 kHz，其频率由数字频率计进行监示；其输出信号幅度由双通道交流毫伏表的 I 通道进行测量；由示波器监示其波形，波形应无明显失真；调节低频信号发生器的信号输出幅度，使高频带通滤波器的输出为 0dB(=1V)，由双通道交流毫伏表的 II 通道测得；再由双通道交流毫伏表的 II 通道分别改测 1kHz 窄带滤波器和低频带通滤波器的输出电平，分别记为 L 和 L_L；1kHz 窄带滤波器和低频带通滤波器对高频信号的衰减分别为 L 和 L_L 的绝对值。即：

$|L|$——1 kHz 窄带滤波器对高频信号的衰减；

$|L_L|$——低频带通滤波器对高频信号的衰减。

② 改变低频信号发生器的频率分别为 2、4、6、8、12、14、16、32kHz，其输出信号电压均维持不变；在高频带通滤波器的输出端子由双通道交流毫伏表的 II 通道分别测得各频率值的输出电平值，则 2kHz 和 32kHz 所测得的电平绝对值为高频带通滤波器每倍频程的衰减量；而其余频率所测得的电平最大值与最小值之差即为高频带通滤波器的通带平坦度。

96. 低频带通滤波器特性

low frequency band pass filter flatness

低频带通滤波器特性这里是指自动频率响应检测仪在其规定的低频频率范围（30 Hz～400Hz）内及其通带外的频率响应特性。

测试方法：

（1）测试仪器连接同图 32-77。

（2）测试步骤

与指标 95“高频带通滤波器特性”测试步骤一样，所不同者为：

① 低频信号发生器的频率首先置 125 Hz 信号，测量 1kHz 窄带滤波器和高频带通滤波器对低频信号的衰减分别记为 L 和 L_H；

$|L|$——1 kHz 窄带滤波器对低频信号的衰减；

$|L_H|$——高频带通滤波器对低频信号的衰减。

② 改变低频信号发生器的频率依次为 15、30、60、80、100、150、250、315、400、800Hz，在低频带通滤波器的输出端依次测得各频率值

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的输出电平值；由 15Hz 和 800Hz 所测得的电平绝对值为低频带通滤波器每倍频程的衰减量；而其余频率所测得的电平最大值与最小值之差即为低频带通滤波器的通带平坦度。

97. 高频频率响应测量误差 ΔK_H

measurement error for high frequency response

高频频率响应测量误差在这里是指自动频率响应检测仪的高频端频率响应实测值与标称值之间的差别，用绝对误差表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-78。

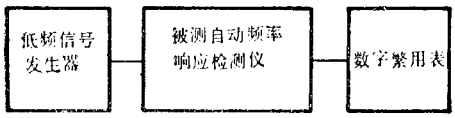


图 32-78

(2) 测试步骤

① 被测自动频率响应检测仪的功能选择开关置平衡，输出选择开关置混合，高频内/外选择开关置外，低频内/外选择开关置内，测量选择开关置高频（双通道自动频率响应检测仪因采用双指针电压表头故无此选择开关）；

② 低频信号发生器接被测自动频率响应检测仪的高频外接输入端子，其频率置 1kHz；

数字繁用表接被测自动频率响应检测仪的 1kHz 窄带滤波器输出；

调节低频信号发生器的信号输出幅度，使数字繁用表的读数为 0.6Vrms，记为 V_{ref}；

③ 改变低频信号发生器的频率为 4～16 kHz 中的任一频率；

数字繁用表改接在被测自动频率响应检测仪的高频带通滤波器的输出端子；

调节低频信号发生器的输出信号幅度，使数字繁用表的读数为 0.6Vrms；

调节被测自动频率响应检测仪的高频平衡电位器，使 dB 表指“0dB”；

④ 改变低频信号发生器的输出信号幅度，使 dB 表的指示分别为+5、+10、+15、−5、−10、−15dB，并分别读记数字繁用表的指示值 V_0；

⑤ 实际 dB 值按公式(32-78)计算：

$$K_{H0} = 20\lg\frac{V_{ref}}{V_0} \qquad (32\text{-}78)$$

式中 K_{H0}——高频端频率响应实际值（dB）；

V_{ref}——高频带通滤波器以 1kHz 为参考的基准电压值（V）；

V_0——高频端频率响应各相应 dB 值所测频率响应电压值（V）。

⑥ 高频端频率响应测量误差按公式（32-79)计算：

$$\Delta K_H = K_H - K_{H0} \qquad (32\text{-}79)$$

式中 ΔK_H——高频端频率响应测量误差（dB）；

K_H——高频端频率响应标称值（dB）；

K_{H0}——高频端频率响应实际值（dB）。

98. 低频频率响应测量误差 ΔK_L

measurement error for low frequency response

低频频率响应测量误差在这里是指自动频率响应检测仪的低频端频率响应实际值与标称值之间的差别，用绝对误差表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-78。

(2) 测试步骤

① 被测自动频率响应检测仪的高频内/外选择开关置内，低频内/外选择开关置外，测量选择开关置低频，功能选择开关置平衡，输出选择开关置混合；

② 低频信号发生器接被测自动频率响应检测仪的低频外接输入端子，其频率置 1kHz；

数字繁用表接被测自动频率响应检测仪的 1kHz 窄带滤波器输出端子；

调节低频信号发生器的输出信号幅度，使数字繁用表显示 0.6Vrms，记为 V_{ref}；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

③ 改变低频信号发生器的频率为30～400Hz 中的任一频率；

数字繁用表改接在被测自动频率响应检测仪的低频带通滤波器输出端子；

调节低频信号发生器输出幅度，使数字繁用表的读数为 0.6Vrms

调节被测自动频率响应检测仪的低频平衡电位器，使 dB 表指“0dB”；

④ 改变低频信号发生器的输出信号幅度，使 dB 表的指示分别为+5、+10、+15、−5、−10、−15dB，并分别读记数字繁用表的指示值 V_0；

⑤ 实际 dB 值按公式(32-80)计算：

$$K_{L0} = 20\lg\frac{V_{ref}}{V_0} \qquad (32\text{-}80)$$

式中 K_{L0}——低频端频率响应实际值（dB）；

V_{ref}——低频带通滤波器以 1kHz 信号为参考的基准电压值（V）；

V_0——低频端频率响应各相应 dB 值所测频率响应电压值（V）。

⑥ 低频端频率响应测量误差按公式（32-81)计算：

$$\Delta K_L = K_L - K_{L0} \qquad (32\text{-}81)$$

式中 ΔK_L——低频端频率响应测量误差(dB)；

K_L——低频端频率响应标称值（dB）；

K_{L0}——低频端频率响应实际值（dB）。

（九）电压比较仪的技术性能测试方法

电压比较仪是用来测量立体声电路两通道电压信号比的一种仪器。具有中心指零表头，表头指示两个电压比的 dB 值。可以用来高效率测量收、录音机立体声分离度、串音等，还可以用来测量低频放大器的增益。

本技术指标和测试方法是根据部分企业标准津 Q/JD J83-82 HG 5980 型电压比较仪等产品标准编写的。

99. 调零

zero set

调零这里是指电压比较仪通电后的零点调整。

测试方法：

① 被测电压比较仪的功能选择开关置平衡，表针可能会无规则地偏转，大约三秒钟后，即趋于稳定；

② 经过产品规定的预热时间后，调节平衡电位器，使表针精确指零。

100. 比较范围和测量误差

comparison range and measurement error

比较范围这里是指电压比较仪两个通道输入电压在一定范围内，两个电压比以分贝表示的分贝值范围。

测试方法：

（1）测试仪器连接如图 32-79。

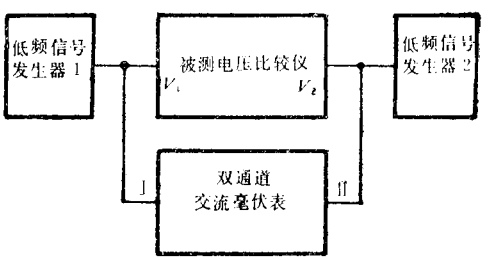


图 32-79

（2）测试步骤

① 被测电压比较仪的功能选择开关置测量 V_1（或测量 V_2），两台低频信号发生器分别接被测电压比较仪的输入端子 V_1 和 V_2，其输出电压由双通道交流毫伏表的两个通道分别测

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

试;低频信号发生器的频率置 1kHz;

② 调节低频信号发生器 1(或低频信号发生器 2)的输出信号电压,使 V_1(或 V_2)为被测电压比较仪比较电压范围的上限值;调节低频信号发生器 2(或低频信号发生器 1),使表头分别指示 0dB、10dB、20dB、30dB、40dB,以及最大 dB 值,分别读记 V_2(或 V_1)双通道交流毫伏表的电压指示值;

③ 两输入信号电压比较的实际值按公式(32-82)计算:

$$K_0 = 20\lg\frac{V_1}{V_2} \qquad (32\text{-}82)$$

式中 K_0——两信号电压比较 dB 实际值(dB);

V_1——加在电压比较仪输入端 V_1 上的信号电压(V);

V_2——加在电压比较仪输入端 V_2 上的信号电压(V);

④ 测量误差按公式(32-83)计算:

$$\Delta K = K - K_0 \qquad (32\text{-}83)$$

式中 ΔK——测量误差(dB);

K——两信号电压比较表头指示 dB 的标称值(dB)。

⑤ 分别将 V_2(或 V_1)输入信号改为被测电压比较仪比较电压范围的下限值,调整 V_1(或 V_2)输入信号,使表头指针指示 20dB(或其它值),同样用公式(32-82)和公式(32-83)计算 V_2 为输入信号电压下限时,两信号电压比较的 dB 实测值和测量误差。

注 1:以上测量为 $V_1>V_2$ 时的测试步骤,对于 $V_1<V_2$ 时,其测试方法一样,只是将 V_2 固定在被测电压比较仪电压测量范围的上限值,调节输入信号 V_1,重复以上过程,并且最后将 V_1 输入信号固定在电压测量范围的下限值,而调节输入信号 V_2 重复以上过程即可;

注 2:被测电压比较仪的功能开关置测量 V_2(或测量 V_1)的测试方法与上述测试步骤一样。

101. 频率响应 K_f

frequency response

频率响应这里是指电压比较仪的两个输入信号进行电压比较,以 dB 表示的比较结果,随着比较信号的频率变化而信号幅度不变,最后显示的 dB 变化的程度。

测试方法:

(1) 测试仪器连接同图 32-79。

(2) 测试步骤

① 被测电压比较仪的功能选择开关置测量 V_1(或测量 V_2),两台低频信号发生器分别接被测电压比较仪的两个输入端子 V_1 和 V_2,其输出信号电压由双通道交流毫伏来测试,低频信号发生器的频率置 1kHz;

② 调节低频信号发生器 1(或低频信号发生器 2)的输出信号电压,使 V_1(或 V_2)为被测电压比较仪电压测量范围的上限电压值,调节低频信号发生器 2(或低频信号发生器 1)的输出信号电压,使表头指示为 0dB,读记 V_2(或 V_1)双通道交流毫伏的 II 通道(或 I 通道)的电压指示值,记为 V_{2ref}(或 V_{1ref});

③ 改变低频信号发生器的频率为被测电压比较仪的测试频率范围的两个端点频率和几个中间频率,维持双通道交流毫伏表 I 通道(或 II 通道)所测量的低频信号发生器 1(或低频信号发生器 2)的输出信号电压 V_1(或 V_2)不变,调节低频信号发生器 2(或低频信号发生器 1)的输出信号幅度,维持被测电压比较仪的表头指示为 0dB,读记双通道交流毫伏表 II 通道(或 I 通道)的电压 V_2(或 V_1);

④ 0dB 的频率响应特性按公式(32-84)计算:

$$\left.\begin{aligned} K_f &= 20\lg\frac{V_{2max}\ (\text{或}\ V_{1max})}{V_{2ref}\ (\text{或}\ V_{1ref})} \\ K_f &= 20\lg\frac{V_{2min}\ (\text{或}\ V_{1min})}{V_{2ref}\ (\text{或}\ V_{1ref})} \end{aligned}\right\} \qquad (32\text{-}84)$$

式中 K_f——0dB 频率响应特性(dB);

V_{2ref}(或 V_{1ref})——1 kHz 输入信号时,电压比较仪 V_1(或 V_2)输入端输入固定电压,使电压比较仪表头指示 0dB 的电压比较仪输入端 V_2(或 V_1)的电压值;

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

V_{2max}（或 V_{1max}）——电压比较仪的表头指示 0dB，电压比较仪 V_2（或 V_1）输入端，在不同频率时的最大电压值（V）；

V_{2min}（或 V_{1min}）——电压比较仪的表头指示 0dB，电压比较仪的 V_2（或 V_1）输入端，在不同频率时的最小电压值（V）。

⑤ 低频信号发生器的频率置 1kHz，维持电压比较仪 V_1（或 V_2）输入端为被测电压比较仪电压测量范围的上限电压不变，调节低频信号发生器 2（或低频信号发生器 1）的输出信号电压，使被测电压比较仪的表头指示依次为 10dB、20dB、30dB、40dB，直至最大 dB 值，每改变一次 dB 值，读记一次双通道交流毫伏表的 II 通道（或 I 通道）的电压指示值 V_{2ref}（或 V_{1ref}）；随后，改变低频信号发生器的频率为电压比较仪测量频率范围的两个端点频率和几个中间频率，调节低频信号发生器 2（或低频信号发生器 1）的输出信号电压，均应依次维持被测电压比较仪的表头指示为 10dB、20dB、30dB、40dB 以及最大 dB 值，分别依次读记每一次双通道交流毫伏表的 II 通道（或 I 通道）的电压指示值 V_2（或 V_1），分别从每一组 dB 测试数据 V_2 中找出每一组的 V_{2max} 和 V_{2min}（或 V_{1max} 和 V_{1min}）；

⑥ 按公式(32-84)分别计算各 dB 指示值的频率响应特性；

⑦ 被测电压比较仪的功能开关置测量 V_2（或测量 V_1）按照以上同样步骤进行。

（十）扫频仪的技术性能测试方法

这里所讲的扫频仪是指在无线电广播频段范围主要用于调试收录机的扫频仪。这种扫频仪把扫频信号发生器，频率标志发生器和显示器显示合于一体。它是一种频率高精度，频率标志高稳定，显示视野宽广清晰，直观的扫频仪。频率标志由数字指轮开关控制，最小步进为 0.01kHz、0.1kHz、1kHz、10kHz 不等。为收录机高效率生产提供了方便。

本技术指标和测试方法参考了国内外同类扫频仪的技术指标和测试方法；根据机械电子部计量器具检定规程《JJG（电子）07002-88 MSW-721E 型中频扫频仪试行检定规程》以及《JJG（电子）07003-88 MSW-7124 型调频调幅扫频仪试行检定规程》；吸收了部分企业标准《津 Q/JD 3208-90 HG 1210 型中波扫频仪产品标准》、《津 Q/JD 3097-89 HG 1230 型中频扫频仪产品标准》以及《津 Q/JD 3089-89 HG 1240 型短波扫频仪产品标准》，而编写的。

102. 工作正常性检查

① 被测扫频仪的电源开关置通后，电源指示灯应亮；

② 经过产品规定的预热时间后，各控制旋钮放在中间位置，五个频标点应基本上在显示屏的中间位置；

③ 调节垂直位移旋钮，扫描线应能达到显示屏的上限和下限；顺时钟调节扫频宽度旋钮，频率标志点互相之间应变宽；顺时钟调节中心频率调节旋钮，频率标志点应向右方向（测试者面对被测扫频仪，测试者的右手方向）移动；顺时钟调节亮度旋钮时，扫描线变亮；

④ 经过以上检查正常后进行正式测试。

103. 标志频率及误差 f_0 和 δ_f

marker frequency and error

标志频率在这里是指扫频仪在显示器上以加亮形式出现的频率标志点的频率。标志频率误差是指实测的频率标志点的频率与频率标志点的标称频率之间的差别，用实际相对误差来表示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-80。

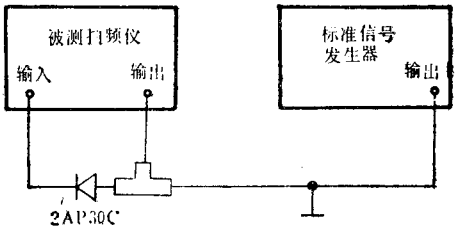


图 32-80

(2) 技术要求

图中标准信号发生器为带数字频率显示的标准信号发生器。如果不具备带数字显示频率的标准信号发生器，那么，就需要加一台数字频率计，连接在标准信号发生器的输出端，以监测标准信号发生器的频率。

(3) 测试步骤

① 调节被测扫频仪的垂直位移旋钮，使扫描线位于显示屏的中央，垂直增益旋钮置于适当位置，扫频输出电平置 80dB；标准信号发生器的输出电平置 90dBμv；

② 适当调节被测扫频仪的扫频宽度和中心频率调节旋钮，使五个频标点均匀显示在显示屏上；

③ 按频标预置点（对于固定式频标扫频仪，如中频扫频仪的调幅中频和调频中频，都为五个固定频率标志点，则无频标预置；而对于有数字指轮开关预置频率标志点的扫频仪，可根据产品标准要求，显示屏显示的五个频标点从左至右，频率从低到高任意设置）的频率，从低到高改变标准信号发生器的频率，与被测扫频仪的频标点频率相应。当频标点出现零差拍（如图 32-81 最左边频率标志点）时，标准信号发生器所显示的频率，连续测量三次，取其平均值作为该频率标志点的频率实测值，记为 f_0；

④ 该频率标志点的频率误差按公式（32-85）计算：

$$\delta_f = \frac{f - f_0}{f_0} \times 100\% \qquad (32\text{-}85)$$

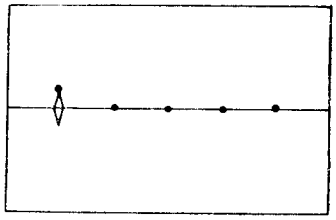


图 32-81

式中 δ_f——频率标志点的频率误差（百分值）；

f——频率标志点的频率标称值（kHz）；

f_0——频率标志点的频率实测值（kHz）；

⑤ 按同样方法可以测量出其他四个频标点的频率误差；如果是中频扫频仪，那么调幅中频和调频中频各频率标志点都应进行测试。

104. 扫频频率范围 $f_L \sim f_H$

sweep frequency range

扫频频率范围这里是指扫频仪扫频所覆盖的频率范围。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-80。

(2) 测试步骤

① 同指标103“标志频率及误差”测试的①项；

② 将被测扫频仪的中心频率调节旋钮顺时针方向旋到底，使频率标志点靠显示屏的右面，适当调节扫频宽度旋钮（对于可预置频率标志点的扫频仪，还要相应调节最低位频率标志点的数字指轮开关，即相应降低最低位频率标志点的频率值），直至能使最低位频率标志点稳定为止*；

③ 调节标准信号发生器的频率，使该频率标志点处出现零差拍，读记此时标准信号发生器的频率显示值，连续测量三次，取其平均值，即为该扫频仪相应频段频率范围的低端频率值，记为 f_L；

④ 将被测扫频仪的中心频率调节旋钮逆时钟方向旋到底，使频率标志点靠显示屏的左

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

面，适当调节扫频宽度旋钮(对于可预置频率标志点的扫频仪，还要相应调节最高位频率标志点的数字指轮开关，即相应增高最高位频率标志的频率值)，直至能使最高位频率标志点稳定为止；*

⑤ 调节标准信号发生器的频率，使该频率标志点处出现零差拍，读记此时标准信号发生器的频率显示值，连续测量三次，取其平均值，即为该扫频仪相应频段频率范围的高端频率值，记为 f_H；

⑥ 被测扫频仪扫频频率范围为 $f_L \sim f_H$。

* 对于固定式频标扫频仪，应记下此位置，并将扫频宽度旋钮逆时钟方向旋到底。

105. 扫频中心频率范围 $f_{C\cdot L} \sim f_{C\cdot H}$

sweep centre frequency range

扫频中心频率范围对于中频扫频仪是这样定义的；当扫频宽度旋钮在中间位置时，调节中心频率调节旋钮，在扫频仪显示屏的中央的频率的最大调节范围；对于频率标志点可预置的扫频仪则是这样定义的：当中心频率调节旋钮顺时方向旋到底，使最低位频率标志点能稳定在扫频仪显示屏的正中央的极限频率值，和中心频率调节旋钮逆时钟方向旋到底，使最高位频率标志点能稳定在扫频仪显示屏的正中央的极限频率；这两个极限频率之间的频率范围，称之为扫频中心频率范围。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-80。

(2) 测试步骤

①同指标 103 “标志频率及误差”测试步骤的①项；

② 对于中频扫频仪：扫频宽度旋钮置中间位置，中心频率调节旋钮顺时钟方向旋到底，改变标准信号发生器的频率，使扫频仪显示屏的正中央出现零差拍，此时标准信号发生器所显示的频率即为该频段中心频率范围的低端频率值，记为 $f_{C\cdot L}$；再将中心频率调节旋钮逆时钟方向旋到底，改变标准信号发生器的频率，使零差拍出现于扫频仪显示屏的正中央，此时标准信号发生器所显示的频率即为该频段中心频率范围的高端频率值，记为 $f_{C\cdot H}$；

中频扫频仪有调幅中频和调频中频，两个频段分别测量，分别读记 $f_{C\cdot L}$ 和 $f_{C\cdot H}$ 值。这两组频率之间的范围即分别为调幅中频和调频中频的中心频率范围；

③ 对于频率标志点可预置的扫频仪：中心频率调节旋钮顺时钟方向旋到底，使频率标志点靠显示屏的右面，适当调节扫频宽度旋钮，相应调节最低位频率标志点的数字指轮开关，使最低位频率标志点能稳定在显示屏的正中央的极限频率为止，然后改变标准信号发生器的频率，使该频率标志点出现零差拍，读记此时标准信号发生器的频率显示值，连续测量三次，取其平均值，记为 $f_{C\cdot L}$，即为该扫频仪相应频段的中心频率范围的低端频率值；随后将被测扫频仪的中心频率调节旋钮逆时钟方向旋到底，使频率标志点出现在显示屏的左面，适当调节扫频宽度旋钮，相应调节最高位频率标志点的数字指轮开关，使最高位频率标志点能稳定在显示屏的正中央的极限频率为止；然后改变标准信号发生器的频率，使该频率标志点出现零差拍，读记此时标准信号发生器的频率显示值，连续测量三次，取其平均值，记为 $f_{C\cdot H}$，即为该扫频仪相应频段的中心频率范围的高端频率值；$f_{C\cdot L}$ 与 $f_{C\cdot H}$ 之间的频率范围，即为被测扫频仪相应频段的中心频率范围。

106. 扫频宽度

sweep width

扫频宽度分为窄带扫频宽度和宽带扫频宽度。

对于中频扫频仪，宽带扫频宽度是这样定义的：逆时钟方向将扫频宽度旋钮旋到底，频率标志点之间的距离变得最窄，维持中心频率标志点在扫频仪显示屏的正中央，频率标志点的最低位和最高位仍能稳定的两个极限频率之

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

间的宽度称为中频扫频仪的宽带扫频宽度。窄带扫频宽度是这样定义的：顺时钟方向将扫频宽度旋钮旋到底，频率标志点之间的距离变得最宽，维持中心频率标志点在扫频仪显示屏的正中央，频率标志点的最低位和最高位仍能稳定的两个极限频率之间的宽度称为中频扫频仪的窄带扫频宽度。

对于频率标志点可预置的扫频仪，宽带扫频宽度是这样定义的：扫频宽度旋钮逆时钟方向旋到底，中心频率调节旋钮在中间位置，频率标志点的最低位和最高位仍能稳定的两个极限频率之间的宽度称为宽带扫频宽度。窄带扫频宽度是这样定义的：扫频宽度旋钮顺时钟方向旋到底，扫频宽度最窄，中心频率调节旋钮在中间位置，频率标志点的最低位和最高位仍能稳定的两个极限频率之间宽度，称为窄带扫频宽度。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-80。

(2) 测试步骤

① 同指标 103“标志频率及误差”测试的①项；

② 对于中频扫频仪：逆时钟方向将扫频宽度旋钮旋到底，调整中心频率调节旋钮使频标点靠扫频仪显示屏的左面，并使最低位频率标志点在扫描线最左边仍能稳定为止，记下此位置；然后再调整中心频率调节旋钮，使中心频率标志点移到扫频仪显示屏的正中央；改变标准信号发生器的频率，使在扫描线左端所记位置出现零差拍，此时标准信号发生器显示的频率即为宽带扫频宽度的低端频率值，记为 $f_{W\cdot L}$。再调整中心频率调节旋钮，使频率标志点靠扫频仪显示屏的右面，并使最高位频率标志点在扫描线最右边仍能稳定为止，记下此位置；然后调整中心频率调节旋钮，使中心频率标志点移到扫频仪显示屏的正中央；改变标准信号发生器的频率，使在扫描线右端所记位置出现零差拍，此时标准信号发生器所显示的频率即为宽带扫频宽度的高端频率值，记为 $f_{W\cdot H}$；宽带扫频宽度为 $f_{W\cdot H}-f_{W\cdot L}$。顺时钟方向将扫频宽度旋钮旋到底，重复以上过程，可以测出窄带扫频宽度的高端频率值，记为 $f_{N\cdot L}$；也可以测出窄带扫频宽度的高端频率值，记为 $f_{N\cdot H}$。则窄带扫频宽度为 $f_{N\cdot H}-f_{N\cdot L}$。

③ 对于频率标志点可预置的扫频仪：扫频宽度旋钮逆时钟方向旋到底，使扫频宽度最宽，中心频率调节旋钮置中间位置，调节最低位频率标志点的数字指轮开关，使最低位频率标志点移至扫描线最左边仍有频率标志点显示为止的极限频率；改变标准信号发生器的频率，使该频率标志点出现零差拍，读记此时标准信号发生器的频率显示值，连续测量三次，取其平均值，即为相应频段宽带扫频宽度的低端频率值，记为 $f_{W\cdot L}$。调节最高位频率标志点的数字指轮开关，使最高位频率标志点移至扫描线最右边仍有频率标志点显示为止的极限频率；改变标准信号发生器的频率，使该频率标志点出现零差拍，读记此时标准信号发生器的频率显示值，连续测量三次，取其平均值，即为相应频段宽带扫频宽度的高端频率值，记为 $f_{W\cdot H}$。宽带扫频宽度为 $f_{W\cdot H}-f_{W\cdot L}$。

扫频宽度旋钮顺时钟方向旋到底，使扫频宽度最窄，中心频率调节旋钮置中间位置，调节最低位频率标志预置点数字指轮开关，使最低位频率标志点移至扫描线最左面仍有频率标志点显示为止的极限频率；改变标准信号发生器的频率，使该频率标志点出现零差拍，读记此时标准信号发生器的频率显示值，连续测量三次，取其平均值，即为相应频段窄带扫频宽度的低端频率值，记为 $f_{N\cdot L}$。调节最高位频率标志预置点的数字指轮开关，使最高位频率标志点移至扫描线最右面仍有频率标志点显示为止的极限频率；改变标准信号发生器的频率，使该频率标志点出现零差拍，读记此时标准信号发生器所显示的频率值，连续测量三次，取其平均值，即为相应频段窄带扫频宽度的高端频率值，记

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

为 $f_{N\cdot Ho}$ 窄带扫频宽度为 $f_{N\cdot H}-f_{N\cdot Lo}$

107. 扫频输出电平 V_{rms}

sweep output level

扫频输出电平这里是指扫频仪在宽带扫频宽度的情况下，射频输出的最大输出电平，用峰-峰值测得，然后换算成有效值。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-82。

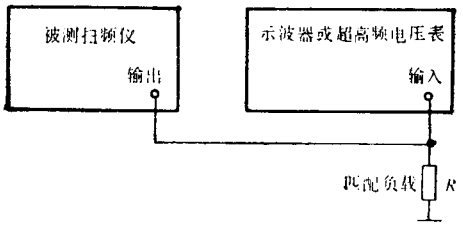


图 32-82

(2) 测试步骤

① 被测扫频仪的中心频率调节旋钮置于中间位置，扫频宽度旋钮逆时钟方向旋到底，扫频输出电平置最大位置；

② 示波器的Y轴偏转灵敏度（V/div）旋钮置 0.05V/div，与被测扫频仪射频输出相接，适当调节示波器的时基因数，水平及垂直位移旋钮，使扫频信号的清晰波形位于示波器显示屏的中央，如图 32-83 所示，读记显示波形中心频率值 f_C 的电压峰-峰值，记为 V_{p-p}；

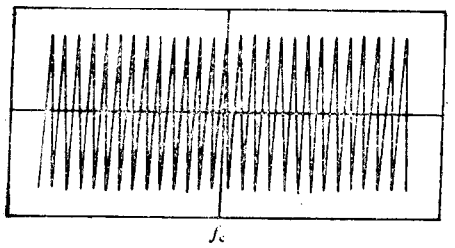


图 32-83

③ 按公式(32-86)计算扫频仪相应频段的扫频输出电平：

$$V_{rms}=\frac{V_{p-p}}{2\sqrt{2}} \qquad (32\text{-}86)$$

式中 V_{rms}——扫频输出电平（V）；

V_{p-p}——示波器显示屏显示的扫频输出信号中间频率 f_C 处的峰-峰值电压（V）。

如果扫频仪的扫频输出电平指标为开路输出电平，则扫频仪扫频输出电平为上述计算值的二倍。

④ 如果被测扫频仪具有单频输出，那么可以用超高频电压表代替示波器直接测得该单频的输出电平，作为扫频仪的扫频输出电平；如果扫频仪输出电平指标为开路输出电平，扫频仪输出电平则为上述测量值的二倍。

108. 扫频非线性系数 E

sweep non-linear coefficient

扫频非线性系数这里是指扫频仪的显示器显示频率坐标(水平轴坐标)是否与频率严格地成比例的程度，也就是扫频输出频率的变化与水平偏转系统的位移成比例的程度，通常以百分数表示。

测试方法：

(1) 测试仪器为被测仪器本身。

(2) 测试步骤

① 对于中频扫频仪：调节中心频率调节旋钮，使中间频率标志点移至扫频仪显示屏的正中央，适当调节扫频宽度旋钮，使中间频率标志点的左面邻近频率标志点移在距显示屏的正中央—2div 处，其尺寸记为 A，如图 32-84 所示；中间频率标志点的右面邻近频率标志点距显示屏正中央的距离尺寸记为 B；

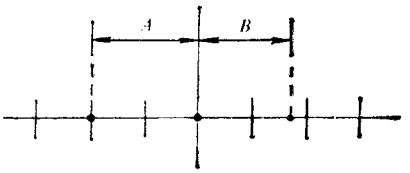


图 32-84

扫频非线性系数按公式(32-89)计算：

$$E=\left|\frac{A-B}{A+B}\right|\times 100\% \qquad (32\text{-}87)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中 E——扫频非线性系数(百分值);

A——中间频率标志点与其左边邻近频率标志点的距离(mm);

B——中间频率标志点与其右边邻近频率标志点的距离(mm);

② 对于频率标志点可预置的扫频仪: 五个频率标志点的频率通过数字指轮开关均匀设置。中间三个频率标志点的设置为: 长波扫频仪优先采用 200kHz, 200kHz±50kHz; 中波扫频仪优先采用 1000 kHz, 1000 kHz±250 kHz; 短波扫频仪优先采用 14MHz, 14MHz±4MHz; 调频段扫频仪则优先采用 98 MHz, 98MHz±5MHz。调整中心频率调节旋钮使中间频率标志点移至扫频仪显示屏的正中央, 调整扫频宽度旋钮使中间频率标志点的左面邻近频率标志点距显示屏正中央—2 div, 其尺寸记为 A; 将中间频率标志点的右面邻近频率标志点的距离尺寸记为 B, 如图 32-84 所示。

扫频仪非线性系数按公式(32-87)计算。

109. 垂直灵敏度

vertical sensitivity

垂直灵敏度这里是指扫频仪显示器在垂直轴方向显示信号一个 div 所需要的最小输入电压。

测试方法:

(1) 测试仪器连接如图 32-85。

(2) 测试步骤

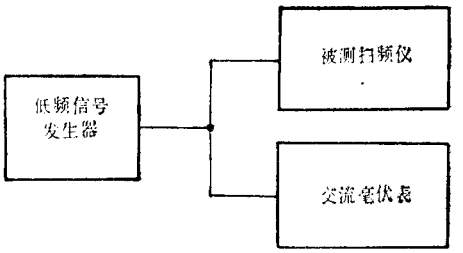


图 32-85

① 被测扫频仪的增益旋钮旋至增益最大; 低频信号发生器的频率置 1 kHz, 其输出信号电压为 1mV, 由交流毫伏表测得; 低频信号发生器的输出接被测扫频仪的输入插孔, 调节被测扫频仪的垂直位移旋钮, 使 1 kHz 信号位于扫频仪显示屏的中央, 读记该信号在显示屏的波形幅度 L(div);

② 扫频仪垂直灵敏度按公式 (32-88) 计算:

$$K = \frac{D}{L} \qquad (32\text{-}88)$$

式中 K——被测扫频仪垂直灵敏度 (mV_{p-p}/div);

D——低频信号发生器的输出电压峰-峰值(由交流毫伏表测得值再乘 $2\sqrt{2}$);

L——扫频信号发生器的 1kHz D 幅度信号, 在扫频仪显示屏上的幅度 (div)。

如果扫频仪的垂直轴每 div 为 1cm, 那么 L 的单位为 cm, 这时被测扫频仪的垂直灵敏度以 mV_{p-p}/cm 为单位。

(十一) 双通道分离度计的技术性能测试方法

双通道分离度计是测试立体声调频接收机的仪器。主要用于立体声调频接收机及类似装置的分离度的调整和测量。

本技术性能测试方法是根据机械电子工业部电子计量器具检定规程《JJG (电子) 12018-88 ZN3991 型双通道分离度计试行检定规程》编写的。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

110. 左、右通道频率

left and right channel frequency

左、右通道频率在这里是指双通道分离度计的左(或右)通道在输入信号幅度恒定的情况下,输出幅度最大的频率。

测试方法:

(1) 测试仪器连接如图 32-86。

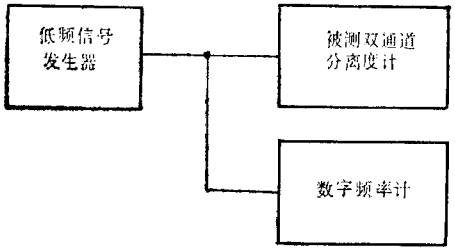


图 32-86

(2) 测试步骤

① 被测双通道分离度计置分离度,低频信号发生器的频率约置 1210 Hz,输出信号电压 1V,与被测双通道分离度计左通道相接,微调低频信号发生器的频率,使被测双通道分离度计左表头指示最大,此时数字频率计的指示值即为左通道频率;

② 将低频信号发生器改接至被测双通道分离度计的右通道,输出信号幅度维持不变,改变其频率在 790Hz 附近,进行频率微调,使被测双通道分离度计的右表头指示最大,此时数字频率计的指示值即为右通道频率。

(3) 技术要求

双通道分离度计左通道频率为 1210 Hz;右通道频率为 790Hz。

111. 输入电压范围

input voltage range

输入电压范围在这里是指双通道分离度计的左(或右)通道输入 1kHz 信号时,左(或右)表头指示符合一定要求的输入电压范围。

测试方法:

(1) 测试仪器连接如图 32-87。

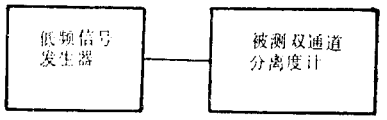


图 32-87

(2) 测试步骤

① 被测双通道分离度计置电压;低频信号发生器的频率置 1kHz,与被测双通道分离度计的左通道相接,低频信号发生器的输出电压在被测双通道分离度计所规定的输入电压范围内变化时,观察被测双通道分离度计的左表头指示是否符合规定范围;

② 将低频信号发生器改接至被测双通道分离度计的右通道,使其输出电压在被测双通道分离度计所规定的输入电压范围内变化时,观察被测双通道分离度计的右表头指示是否符合规定范围。

(3) 技术要求

双通道分离度计的输入电压范围为 0.4～10V。

112. 自动电平控制范围

automatic level control range

自动电平控制范围在这里是指双通道分离度计置分离度时,左(或右)输入监视端的输出信号电压保持在一定值时,左(或右)输入端输入左(或右)通道信号频率的输入电压变化范围。

测试方法:

(1) 测试仪器连接如图 32-88。

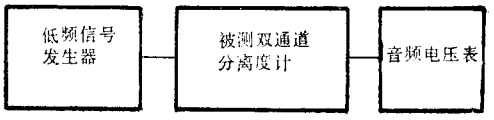


图 32-88

(2) 测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 被测双通道分离度计置分离度，其后面板"左"输入监视端接音频电压表输入端；将低频信号发生器的频率置 1210 Hz，接被测双通道分离度计的左通道，改变低频信号发生器的输出电压由小逐渐变大，观察音频电压表的指示值，直至音频电压表的指示值到达规定值为止，读记此时低频信号发生器的输出信号电压为 V_L；然后再继续增大低频信号发生器的输出信号电压，直至音频电压表的指示值离开规定值为止，读记此时低频信号发生器的输出信号电压为 V_H；

左通道的自动电平控制范围为 $V_L \sim V_H$。

② 被测双通道分离度计的后面板"右"输入监视端接音频电压表输入端；将低频信号发生器的频率置 790Hz，接被测双通道分离度计的右通道，进行①项同样的测试，读记音频电压表指示值到达规定值的最低电压 V_L 和最高电压 V_H；

右通道的自动电平控制范围为 $V_L \sim V_H$。

113. 分离度误差 ΔS

separation error

分离度误差在这里是指双通道分离度计的分离度实测值与标称值的差别，用它们的绝对误差来表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 32-89。

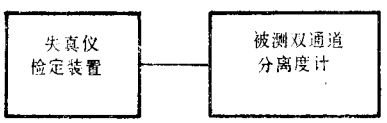


图 32-89

(2) 测试步骤

① 左通道分离度误差测试

失真仪检定装置的基波振荡器的频率调到 790 Hz，谐波振荡器的频率调到 1210 Hz。按照失真仪检定装置输出标准失真信号的步骤，调整好失真仪检定装置。将失真仪检定装置的合成信号接至被测双通道分离度计的左通道；被测双通道分离度计置分离度；调整失真仪检定装置的失真度三个旋钮，使得被测双通道分离度计的左通道表头指针指在被测分离度点上，读记失度仪检定装置的三个失真度指示数；

分离度的实测值按公式(32-89)计算：

$$S_0 = 20\lg(A + A \times B)\% \quad (32\text{-}89)$$

式中 S_0——分离度的实测值 (dB)；

A——失真仪检定装置上的失真度 10% 度盘指示数

B——失真仪检定装置的 1% 与 0.1% 两个旋钮指示百分数之和。(%)。

分离度误差按公式(32-90)计算：

$$\Delta S = S - S_0 \quad (32\text{-}90)$$

式中 ΔS——分离度误差 (dB)；

S——分离度的标称值 (dB)。

例：检定 ZN3991 左通道表头 10dB 点，失真仪检定装置上的 10%失真度盘数 $A = 30$，1%与 0.1% 失真数 $B = 2.4\%$，按公式(32-89)和(32-90)计算 10dB 点实际值及误差分别为：

$S_0 = 20\lg(30 + 30 \times 2.4\%)\% = 20\lg 0.3072 = -10.25\text{dB}$

$\Delta S = S - S_0 = -10 - (-10.25) = -10 + 10.25 = +0.25\text{dB}$

② 右通道分离度误差测试

失真仪检定装置的基波频率改为 1210Hz，谐波频率改为 790Hz，经校准后的合成信号送被测双通道分离度计的右通道，按照①项测试的同样步骤，可以测量出右通道分离度的实测值 S_0，按公式 (32-89) 计算；同样按公式(32-90)可以计算出右通道分离度误差。

(十二) 测量滤波器的技术性能测试方法

这里所指的测量滤波器主要是收音机、录音机、电视机测量用滤波器。它们主要用于测量调频调幅收音机的灵敏度、信噪比、选择性、通频带、调制交流声、单信号啸叫和录音机的通道信噪比、

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

谐波失真、串音、通道隔离以及消音效果与电视机伴音通道调幅抑制比、天线输入端不平衡抑制比等性能。

本技术性能测试方法是根据机械电子工业部计量器具检定规程《JJG（电子）12015-87 811B型电视机测量滤波器试行检定规程》、《JJG（电子）12016-87 843 型收音机、录音机测量滤波器试行检定规程》与部标《SJ147-83 RF-1 型收音机测量用滤波器》、《SJ148-83 CF-1 型录音机测量用滤波器》和部分企业标准：浙江无线电厂的《AQA2-837-004 ZW 3765 型调频广播接收机测量滤波器》产品标准编写的。

本技术性能测试方法也适用于其他同类测量滤波器的测量。

114. 通带宽度 *BW*

pass band width

这里所指的通带宽度系指带通滤波器的频率响应特性下降 3dB 的频带宽度。带通滤波器的理想幅频特性曲线和实际幅频特性曲线如图 32-90 所示。其中 f_L 和 f_H 分别为低端截止频率和高端截止频率，它们共同决定带通滤波器的通带宽度：

$$BW = f_H - f_L$$

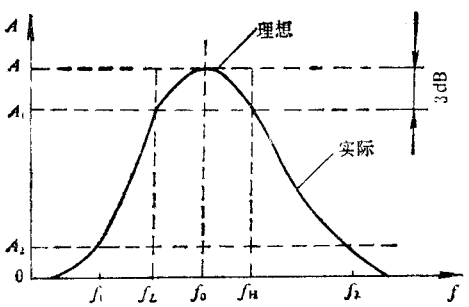


图 32-90

测试方法：

（1）测试仪器连接如图 32-91。

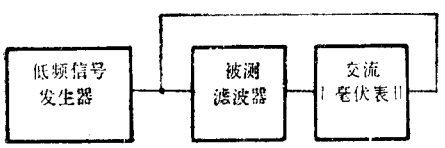


图 32-91

（2）测试步骤

① 被测滤波器置所需测试的带通滤波器；

② 调节低频信号发生器的频率至被测滤波器的中心频率 f_0（如图 32-90 中的 f_0 所示，对于宽带带通滤波器按产品标准指定频率作 f_0），调节其输出信号电压，使交流毫伏表 I 通道指示 0dB 作为参考，而由交流毫伏表的 II 通道来测试低频信号发生器的输出信号电压；

③ 维持低频信号发生器的输出信号电压不变，降低其频率，直至交流毫伏表 I 通道所示电平比 0dB 参考点下降 3 dB，读记此时低频信号发生器的频率值为 f_L；

④ 维持低频信号发生器的输出信号电压不变，增高其频率，直至交流毫伏表 I 通道所示电平再一次比 0dB 参考点下降 3 dB，读记此时低频信号发生器的频率值为 f_H；

⑤ 被测带通滤波器的通带宽度按公式(32-91)计算：

$$BW_0 = f_H - f_L \qquad (32\text{-}91)$$

式中 BW_0——通带宽度实测值；

f_L——带通滤波器的低端截止频率；

f_H——带通滤波器的高端截止频率。

⑥ 带宽误差按公式(32-92)计算：

$$\Delta B = BW - BW_0 \qquad (32\text{-}92)$$

式中 ΔB——带宽误差；

BW——带宽标称值；

BW_0——带宽实测值。

（3）技术要求

① 电视机测量滤波器：

宽带带通滤波器带宽为 720 Hz(±5%)～7.5kHz(±5%)；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

400Hz　带通滤波器带宽为 (32±12)Hz;

600Hz　带通滤波器带宽为 (48±18)Hz;

1000Hz 带通滤波器带宽为 (80±30)Hz;

1400Hz 带通滤波器带宽为(112±42)Hz。

② 收音机录音机测量滤波器:

宽带带通滤波器 1 带宽为 22.4 Hz～15 kHz;

宽带带通滤波器 2 带宽为 200(或 300) Hz～15kHz;

200Hz　窄带滤波器带宽为 (44±6)Hz;

315Hz　窄带滤波器带宽为 (70±10)Hz;

400Hz　窄带滤波器带宽为(100±10)Hz;

1000Hz 窄带滤波器带宽为(220±30)Hz;

19kHz　窄带滤波器带宽为(2±0.5)kHz;

38kHz 窄带滤波器带宽为(3.5±1.5)kHz。

115. 通带内波动　A_r

within pass-band ripple

滤波器在恒定幅度输入情况下，在通带内随着频率变化，其输出幅度起伏的程度，称为通带内波动。通常用分贝表示。如图 32-92 中 A～A_1 部分所示。

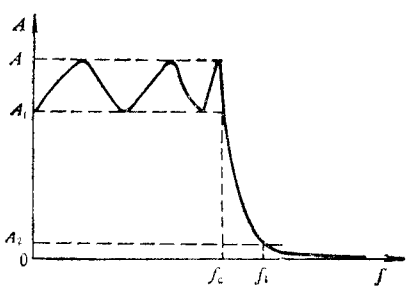


图　32-92

测试方法:

(1) 测试仪器连接如图 32-93。

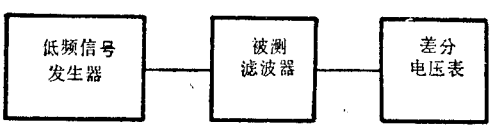


图　32-93

(2) 测试步骤

① 被测滤波器的工作选择开关置于所测滤波器位置，低频信号发生器的频率置参考频率(宽带带通滤波器和高通滤波器以 1kHz 为参考频率，低通以 100 Hz 为参考频率)，调节其输出信号幅度，使差分电压表指示为 1V;

② 维持低频信号发生器的输出电压不变，调节低频信号发生器的频率使其在被测滤波器的通带的频率范围内变化，由差分电压表读出正、负两个方向的最大相对变化 $\delta_{\pm max}$;

③ 通带内波动按公式(32-93)计算:

$$A_r = 20\lg(1+\delta_{\pm max}) \qquad (32\text{-}93)$$

式中　A_r——滤波器通带内波动 (dB);

$\delta_{\pm max}$——正、负两个方向的最大相对变化量。

(3) 技术要求

① 电视机测量滤波器:

宽带带通滤波器　$A_r < \pm 0.3$ dB，(900～6500)Hz;

② 收音机录音机测量滤波器:

宽带带通滤波器 1　$A_r < \pm 0.3$dB (50Hz～10kHz);

宽带带通滤波器 2　$A_r < \pm 0.3$ dB(或±0.5 dB) 270Hz (或 450Hz)～10kHz;

高通滤波器　$A_r \leqslant \pm 0.5$ dB (315 Hz～20 kHz);

低通滤波器　$A_r \leqslant \pm 0.5$ dB (50 Hz～320 Hz)。

116. 通带外衰减

without pass-band attenuation

滤波器在恒定输入幅度情况下，在通带外随着频率的变化，其输出幅度相对于通带内某一参考频率衰减的程度，称为通带外衰减。通常用 dB 表示。

测试方法:

(1) 测试仪器连接同图 32-91。

(2) 测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 被测滤波器的工作选择开关置于所测滤波器的位置；低频信号发生器的频率置被测滤波器的参考频率（宽带带通滤波器和高通滤波器以 1kHz 为参考频率，低通滤波器以 100 Hz 为参考频率，窄带滤波器的参考频率即为其中心频率本身），调节其输出信号幅度，使交流毫伏表的 I 通道指示 0dB 作为参考，由交流毫伏表的 II 通道测试低频信号发生器的输出信号电压；

② 维持低频信号发生器的输出信号幅度不变，依据被测滤波器的衰减频率点，改变低频信号发生器的频率，由交流毫伏表的 I 通道测得滤波器在该频率点的衰减量。

(3) 技术要求

① 电视机测量滤波器

宽带带通滤波器 800Hz 衰减：≤0.6dB；
360Hz 衰减：≥50 dB；
15625Hz 衰减：≥50dB。

400Hz 窄带滤波器 200Hz 衰减≥50dB；
800Hz 衰减≥50dB；
600Hz 衰减≥20dB。

600Hz 窄带滤波器 400Hz 衰减≥60dB；
800Hz 衰减≥50dB。

1000Hz 窄带滤波器 500Hz 衰减≥50dB；
2000Hz 衰减≥50dB；
800 Hz 衰减≥20dB；
1200Hz 衰减≥20dB。

1400Hz 窄带滤波器 1200Hz 衰减≥20dB；
1600Hz 衰减≥20dB。

② 收音机录音机测量滤波器

宽带带通滤波器 1 (22.4Hz～15kHz)
10Hz 衰减≥30dB；
19kHz 衰减≥48dB。

宽带带通滤波器 2 (200Hz～15kHz)
100Hz 衰减≥48dB；
19kHz 衰减≥48 dB。
(或 300Hz～15kHz)
250Hz 衰减≥15dB；
150Hz 衰减≥50dB；
20000Hz 衰减≥15 dB；
30000Hz 衰减≥50dB。

高通滤波器(截止频率为 200Hz)
100Hz 衰减≥50dB。

低通滤波器(截止频率为 400Hz)
800Hz 衰减≥50dB。

200Hz 窄带滤波器
100Hz 衰减≥50dB；400Hz 衰减≥50dB。

315Hz 窄带滤波器
250Hz 衰减≥20dB；400Hz 衰减≥20dB。

400Hz 窄带滤波器
325Hz 衰减≥20dB；500Hz 衰减≥20dB；
220Hz 衰减≥50dB；580Hz 衰减≥50dB。

1000Hz 窄带滤波器
800Hz 衰减≥20dB；1250Hz 衰减≥20dB；
500Hz 衰减≥50dB；2000Hz 衰减≥50dB。

19kHz 窄带滤波器 15kHz 衰减≥20dB；
23.75kHz 衰减≥20dB。

38kHz 窄带滤波器 30kHz 衰减≥20dB；
47.5kHz 衰减≥20dB。

117. 中心频率可调范围

centre frequency adjustable range

这里是指带阻滤波器和带通滤波器的中心频率可调整的范围。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-91。

(2) 测试步骤

① 被测滤波器的工作选择开关置所测滤波器位置，低频信号发生器的输出电压约 1V；

② 被测滤波器的中心频率“调节范围”旋钮逆时钟方向旋到底；保持低频信号发生器的输出电压不变，改变低频信号发生器的频率，使电压表指示最小，读记此时低频信号发生器的频率为 f_1；

③ 被测滤波器的中心频率“调节范围”旋钮顺时钟方向旋到底，保持低频信号发生器的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

输出信号电压不变，改变低频信号发生器的频率，再次使电压表指示最小，读记此时低频信号发生器的频率为 f_2；

④ 被测滤波器的中心频率可调范围为 f_1 至 f_2。

(3) 技术要求

1000 Hz 带阻滤波器的中心频率可调范围为：

950Hz～1050Hz

118. 中心频率衰减

center frequency attenuation

这里是指滤波器在 0dB 输入情况下，在规定的中心频率处的衰减量。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-91。

(2) 测试步骤

① 被测滤波器的工作选择开关置所测滤波器位置，中心频率旋钮置中间位置；

② 低频信号发生器的输出幅度为 0dB，由双通道交流毫伏表的 II 通道监视，依据所测滤波器的中心频率来改变低频信号发生器的频率，并进行频率细调，对于窄带滤波器使电压表指示最大，对于带阻滤波器则使电压表指示最小，读记交流毫伏表的 I 通道所示 dB 值，即为中心频率衰减。

(3) 技术要求

1000 Hz 带阻滤波器的中心频率衰减≥60 dB。

119. 阻带

stop band

带阻滤波器在恒定输入幅度情况下，其幅频响应特性相对于中心频率，低端频率响应提升 3dB 的频率 f_1 和高端频率响应提升 3dB 的频率 f_2，f_1～f_2 之间的频率范围称为阻带。如图 32-94 所示。

测试方法：

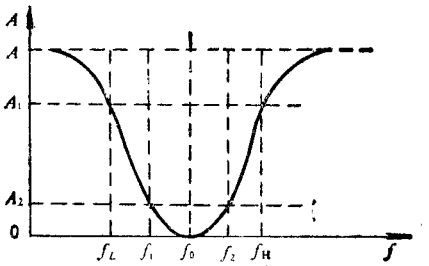


图　32-94

(1) 测试仪器连接同图 32-91。

(2) 测试步骤

① 被测滤波器的工作选择开关置所测滤波器位置，中心频率旋钮置中间位置；

② 调节低频信号发生器的输出电压为 1V，其频率调节至被测滤波器的中心频率 f_0，并进行频率细调，使交流毫伏表的 I 通道指示值最小；

③ 保持低频信号发生器的输出幅度不变，降低其输出信号频率至交流毫伏表的 I 通道指示值提升 3dB，读记此时低频信号发生器的频率指示值为 f_1；

④ 保持低频信号发生器的输出电压不变，增高其输出信号的频率至交流毫伏表的 I 通道指示值再一次提升 3dB，读记此时低频信号发生器的频率指示值为 f_2；

⑤ 阻带即为 f_1 至 f_2 之间的频率范围。

120. A 计权响应误差　Δr

response error for A weighting

A 计权响应误差是指 A 计权响应实测值与其标称值的差别，用绝对误差来表示。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-91。

(2) 测试步骤

① 被测滤波器置“A 计权”；

② 低频信号发生器的频率置 1kHz，调节其输出信号电压使交流毫伏表的 I 通道指示 0dB 作为参考；

③ 按照表 32-5 A 计权频率响应数据表改

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

变低频信号发生器的频率，保持其输出信号电压不变，由交流毫伏表的 I 通道分别测出各频率点的响应 dB 值；计为 r_0。

④ A计权响应误差按公式(32-96)计算：

$$\Delta r = r - r_0 \qquad (32\text{-}96)$$

式中 Δr——A 计权响应误差 (dB)；

r——A 计权响应标称值 (dB)；

r_0'——A 计权响应实测值 (dB)。

表 32-5 A 计权响应

频率 (Hz)	响应标称值 (dB)	频率 (Hz)	响应标称值 (dB)
10	−70.4	500	−3.2
12.5	−63.4	630	−1.9
16	−56.7	800	−0.8
20	−50.5	1000	0
25	−44.7	1250	0.6
31.5	−39.4	1600	1.0
40	−34.6	2000	1.2
50	−30.2	2500	1.3
63	−26.2	3150	1.2
80	−22.5	4000	1.0
100	−19.1	5000	0.5
125	−16.1	6300	0.1
160	−13.4	8000	−1.1
200	−10.9	10000	−2.5
250	−8.6	12500	−4.3
315	−6.6	16000	−6.6
400	−4.8	20000	−9.3

121. 放大系数与误差 K_0 和 ΔK

amplification factor and error

滤波器放大系数即滤波器增益，对于不同的滤波器其定义不尽相同。对于低通滤波器和带阻滤波器的放大系数定义为：当频率 f 趋于 0 时，单位输入电压所得到的输出电压值；对于高通滤波器的放大系数定义为：当频率 f 趋于∞时，单位输入电压所得到的输出电压值；对于带通滤波器的放大系数则定义为：在中心频率处，单位输入电压所得到的输出电压值。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 32-93。

(2) 测试步骤

① 被测滤波器的工作选择开关置所测滤波器位置，“中心频率”旋钮置中间位置；

② 调节低频信号发生器的频率和电压(对带通滤波器、高通滤波器、A计权，频率为 1 kHz；对低通滤波器频率为 100 Hz；各窄带滤波器为各中心频率；对上述情况输出电压置 1V；而对 19kHz 和 38kHz 窄带滤波器其频率分别为 19kHz 和 38kHz，输出电压为 100 mV)。由差分电压表读取各滤波器输出电压对输入电压的相对偏差 δ。

③ 放大系数按公式(32-95)计算：

$$K_0 = 1 + \delta \qquad (32\text{-}95)$$

式中 K_0——放大系数实测值；

δ——以输入信号为 1 由差分电压表读取的相对于输入的输出偏差值，可正可负；

④ 放大系数误差按公式(32-96)计算：

$$\Delta K = 20\lg(1 + \delta) \qquad (32\text{-}96)$$

式中 ΔK——放大系数误差 (dB)。

图 32-91 所示为一般低频信号发生器的连接图。如果有 SG 5010 或同类型信号发生器，由于其信号输出恒定，不必进行测量，这时双通道交流毫伏表则用 MK 6541 B 电压表代替。

(十三) 失真度测量仪

失真度测量仪是用来测量和调整低频电路所产生的非线性失真的仪器。

失真度测量仪通常都采用基波抑制法来测量失真度。其基本过程是：首先用滤波器将信号的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

基波滤除，然后测出总谐波信号电压的有效值，计算出此值与总信号电压有效值之比，并取其百分数即求得失真度。

失真度测量仪有连续频率范围的，有点频的，有单通道的，有双通道的，有半自动的，有全自动的，有指针式的，有数显示的，也有可编程的等等，总的趋势在向全自动和可编程方向发展。

失真度测量仪的技术性能和测试方法请见第 22 章失真度测量仪。

（十四）其它

其它广播音响类测量仪器，如各种综合测量仪、声频分析仪等等，都是由以下部分组装在一起的仪器：

低频信号发生器部分

交流毫伏表部分

失真度测量部分

抖晃测量部分

电平比、电平差部分

相位比、相位差部分

信噪比部分

频率计数器部分

由以上任何几个部分组在一起，他们的技术性能和测试方法，都可以在相应的部分找到其测试方法，在此不予重述。

另外还有立体声示波器，这部分内容在示波器一章中已经作了详细介绍，有关立体声示波器的技术性能和测试方法请参照第 19 章“示波器”的有关内容。

*　*　*　　*　*　*

本章技术指标和测试方法中所用主要测试仪器，汇总列表如下。

主要测试仪器汇总表

被测仪器名称	仪器名称	参考型号	检定规程编号	被测仪器名称	仪器名称	参考型号	检定规程编号
立体声信号发生器	低频信号发生器	HG1010；SG5010		FM立体声信号发生器	数字频率计	8000B	
	失真度测量仪	6900A；MK6541B；			测量接收机	HP8902A；HFV；ME-642A	
	双通道 AC 毫伏表	HG2170；HG2180；LMV-186AR			调制度测量仪	HP8901A；HP8902A；FAM	
	数字频率计	E312A；HG3310A；5340A			失真度测量仪	6900A；MK-6541B；AA501A	
	示波器	SR8；COS6100A			立体声解调器	MDA456A；MSDC2	
	立体声解调器	MDA456A；MSDC2			双通道 AC 毫伏表	HG2170；HG2180；LMV-186AR	
	频谱分析仪	PFG-2			低频信号发生器	HG1010；MCR4021	
	测量滤波器	ZW3765A					

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

被测仪器名称	仪器名称	参考型号	检定规程编号
低频扫频信号发生器	示波器	SR8	
	交流电压表	HG1943；BS1A	
	数字频率计	E312A；HG3310A	
	波形监示器	TEK528	
	失真度测量仪	BS1A	
	直流稳压电源	PAB18-1.8；JWY-30B	
	阻抗电桥	B905	
	计时器	有计时功能的计算器	
高频扫频信号发生器	高频信号发生器	XFG-7；XFC-6；XB16	
	数字频率计	8000B	
	宽带示波器	COS6100A	
	高灵敏度示波器	SBR-1	
	脉冲示波器	SBM-14	
	数字电压表	HG1943	
	功率计	GZ2	
	超高频毫伏表	PA22；SX2261	
	频谱分析仪	QF4020；BP12A；2371；8557A	
	测试接收机	8902A；HFV；ME-642A	
双通道交流毫伏表	交流标准电压源	4200；5200A	
	低频信号发生器	XD-1；QX-1	
	数字繁用表	1061A	
	示波器	SR8	

被测仪器名称	仪器名称	参考型号	检定规程编号
双通道交流毫伏表	自动失真仪	HG4121	
	高频Q表	QBG-3	
	电容测量仪	CM8601；YY2614	
立体声解调器	低频信号发生器	SG5010；VP7720C；MCR4021	
	立体声信号源	VP7633A；MSG211G-1	
	标准立体声源		
	失真度测量仪	AA501A；AA5001；MK6541B	
	标准电压表	931B	
	双通道 AC 毫伏表	LMV-186AR；HG2180	
抖晃测量仪	抖晃标准	WFS-1；MWS-672	
	频率周期计数器	E312A；HG3310A	
	数字繁用表	HG1943	
	失真度测量仪	BS1A	
	示波器	CS1022	
自动频响检测仪	数字频率计	E312A；HG3310A	
	失真度测量仪	BS1A	
	数字繁用表	8840A	
	低频信号发生器	QX-1	
	双通道 AC 毫伏表	HG2170；HG2180；LMV-186AR	
	示波器	SR8	
电压比较仪	低频信号发生器	QX-1（2 台）	
	双通道 AC 毫伏表	LMV-186AR；HG2170；HG2180	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

被测仪器名称	仪器名称	参考型号	检定规程编号	被测仪器名称	仪器名称	参考型号	检定规程编号
扫频仪	示波器	COS6100A		双通道分离度计	失真仪检定装置	WX-115；BO-5	
	低频信号发生器	QX-1；HG1910			波形分析仪	2010	
	标准信号发生器	VP8179B10			音频电压表	GB-9	
	超高频毫伏表	经修正的 DA1；DW3		测量滤波器	低频信号发生器	SG5010	
	交流毫伏表	HG2170；DA16			差分电压表	931B	
	检波二极管	2AP30C			电压表	MK6541B	
双通道分离度计	低频信号发生器	1022；XFS-9B			双通道 AC 毫伏表	HG2170；HG2180；LMV-186AR	
	数字频率计	E312A					

第6节 广播音响测量仪器按门类量值传递表

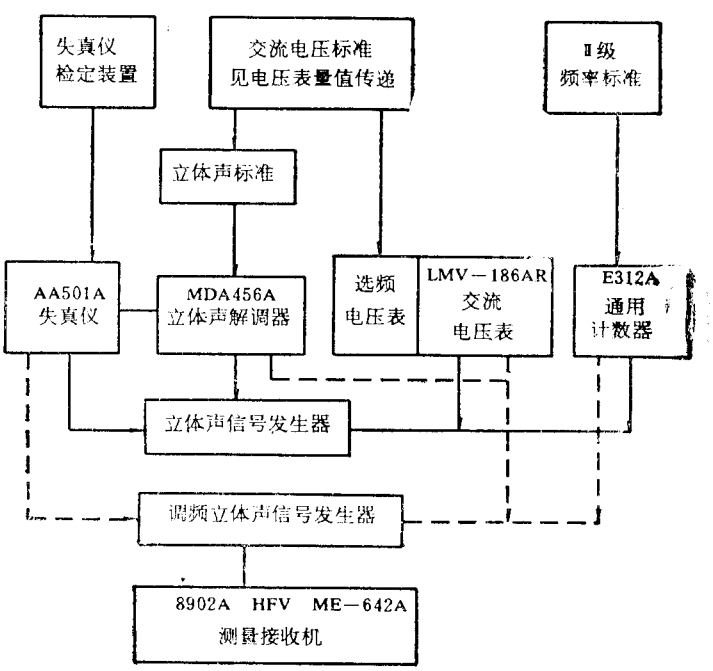


图 32-95

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

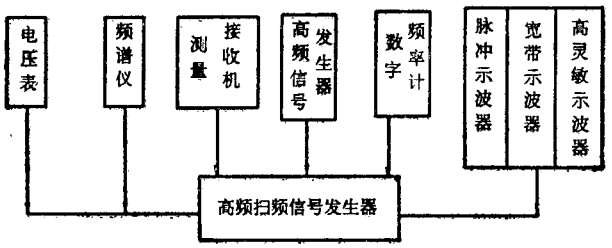


图 32-96

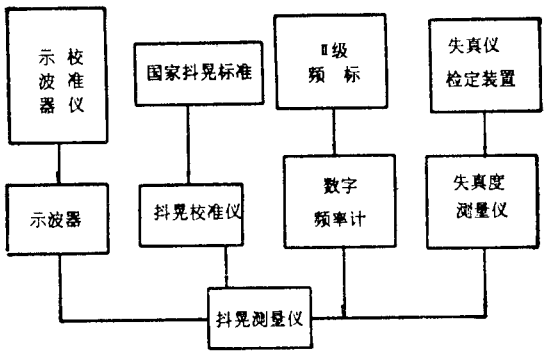


图 32-97

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第33章　电视测量仪器

第1节　综　　述

电视工程测量技术是检验电视设备性能好坏的一门技术。在电视工程测量中大量沿用了电学、光学和声学的测量技术。并对电视工程测量主要研究课题——电视图像传输失真测量技术——提出了各种各样的评价和测量方法，从而形成电子测量仪器的新门类——电视测量仪器。

二次世界大战前后，电视出现的早期，采用光学图像检测法检验电视设备的传输失真。它是用电视摄像机直接摄取景物，由观察者直接比较重现图像与原始景物的差异来判断失真大小。为了便于比较和判断各类失真的大小，选取最能反映各类失真的特殊图像或综合图案作为原始景物。它直观简便，能够判断电视传输系统的总效果，但不易区分摄像，显像和电路传输各个部分的失真。

电子图像检测法的出现，能够直接判断图像监视器、电视接收机等显像部分的设备失真。它是利用现代电子技术产生各种标准图案信号，通过被测电视设备后重现的这种图案与标准图案的偏离程度来判断被测设备的失真。综合光学图像检测法和电子图像检测法形成的图像检测技术目前仍然是检验光电转换失真的常用方法。但其测试结果受主观效应的影响，会因人因时而异，不能满足高精度的测量要求。电视图像信号发生器和电视图像监视器是这种检测方法的主要仪器。

50年代形成的波形检测法，能客观地评定电信号传输失真，是一种高精度的测试方法。它利用标准测试波形通过被测传输网络，由输出波形畸变程度来判断失真大小，输出波形畸变程度由波形参数的变化来判断，波形参数由专门设计的波形参数测试仪器来测量。这种方法得到的测量结果不受主观效应的影响，适用于从电视摄像管电极到显像管电极间各种电信号处理和传输设备的传输失真的检测。但这种测试必须在电视节目播出停止期间进行。波形检测法主要测试仪器有电视非线性失真测试仪、彩色增益和延迟测试仪、视频噪声测试仪、视频数字电平表、波形监视器、矢量示波器和电视测试信号发生器等。

为了把视频高精度测量仪器扩展到射频应用，通常还采用标准电视频道信号发生器和标准电视解调器。标准光调制器和标准光解调器的采用把视频测量仪器扩展到光波段。

70年代，为了适应在电视节目播出期间对电视设备动态运行进行自动监测，发展了插入测试行检测技术。它是将测试波形插入场消隐期间某一行。与电视节目同时传送，在监测点用选行装置将测试信号选出进行测量。这种检测技术为电视广播传输系统动态运行自动监测和自动校正开辟了广泛前景。

80年代，电子计算机技术和电视测量技术相结合使电视测量仪器发生了根本变革。利用存储器、D/A转换器和微处理机控制来产生标准测试信号或图像信号；利用A/D转换器把模拟视频测试信号变为数码信号，由计算机进行各种信号失真参数处理。完成多参数快速自动测量。这是新一代的高稳定性、高可靠性、智能化自动电视测量仪器。这类仪器目前有数字式电视测试信号发生器、视频自动测试仪等。

目前数字化、集成化、高可靠、多功能的智能仪器是国外各大仪器公司的主要研究方向。可编程逻辑阵列器件和表面贴片技术等的应用将使电视测量仪器向小型化、高可靠、多参数、快测速方

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

向发展。

我国电视测量仪器工业起步于60年代。各生产厂在分析美国 TEK 公司，西德 R/S 公司，荷兰飞利浦公司，英国马可尼公司，日本芝测株式会社等国外产品的基础上，制定了我国电视测量仪器型谱系列。经过近二十年的努力，目前我国已能成套提供高精度的电视视频传输失真测试仪器，电视接收机生产线用彩色集中信号源，电视接收机调试仪器，检验仪器和维修仪器。

我国电视测量仪器生产厂，早期以兼作厂为主，现已形成专业生产厂和兼作厂相结合的布局。天津712厂、北京无线电仪器二厂、上海无线电仪器厂、成都766厂、重庆无线电测试仪器厂、合肥无线电三厂等都为我国电视测量仪器工业发展做出了自己的贡献，电视接收机维修仪器生产已遍布各省、市。

1982年9月在上海召开的全国电视视频通道测试方法国家标准审定会上，重庆无线电测试仪器厂提供的六种视频传输失真测量仪器：VS15 型彩色增益和延迟测试仪。VS16 型视频数字电平表、VS21 型视频噪声测试仪、VS22 型电视非线性失真测试仪、XT16 型电视测试信号发生器和波形监视器，合肥无线电三厂提供的 DC5360 同步锁相电视信号发生器和 CC5430 型矢量示波器，同国外同类仪器对比测试，证明其准确度已能替代国外同类仪器。跟踪国外先进技术，把计算机技术引入电视测量仪器，1989年重庆无线电测试仪器厂研制了 CC5331X 型视频自动测试仪。

为贯彻我国彩色电视接收机测试方法标准，重庆无线电测试仪器厂研制了能产生90种测试图案信号的 CC5361 型数字电视信号发生器和立体声双伴音多制式的 CC5461 X 型彩色集中信号源，766厂研制了电视标准信号发生器，为更好地贯彻国家标准创造了条件。

我国电视测量仪器工业已具有新产品研制开发能力，能够承担国内所需要的电视测量系统的设计、研制、生产、安装、调试和维修任务，并正在跟踪国外先进技术，逐步缩小同国外先进水平的差距。

以下简介电视测量仪器主要发展方向：

(1) 电视传输特性测试仪

利用波形检测技术发展起来的模拟电视传输特性测试仪器是比较成熟的，这套仪器可测参数多，测试精度高。但测试操作费时。

目前，国外主要发展传输失真自动测试。实现快速多参数自动测量。它是把带有失真信息的测试波形经 A/D 转换器转换为数字信号，输入计算机进行数据分析处理，其结果打印显示和波形显示。视频自动测试仪关键部件是 A/D 转换器。由于受 A/D 转换器速度的限制，目前，色度-亮度时延差测量准确度还不如模拟测试仪器。随着电子技术的发展，视频自动测试仪准确度和功能将日臻完善。它与标准解调器配合，可用于测试各波段电视发射机技术指标。

(2) 电视显示仪器

波形监视器和矢量示波器是电视专用显示仪器。国外早期产品是波形和矢量显示仪器各自独立，而后出现波形与矢量合而为一的仪器。新一代产品是把波形参数测试、波形显示、矢量显示和数据显示融为一体，成为多功能测试分析和显示仪器。

(3) 电视视频信号发生器

电视视频信号发生器通常有电视测试信号发生器和电视图像信号发生器。

电视测试信号发生器用于产生波形检测法所需的标准测试波形。电视图像信号发生器用于

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

产生标准图案信号。要求电视信号发生器输出足够多种类的测试波形和图案信号，并且标准性和稳定性要好。

早期电视信号发生器是模拟式的单信号或多信号的电视信号发生器，其可靠性和稳定性不高。

随着电子计算机技术、微处理机和存储技术的应用，新一代电视信号发生器是用数字存储法产生电视测试信号和图像信号，由微处理机控制，读出存储的数字信号，经 D/A 转换器转换为模拟测试信号和图像信号。这种方法存储和输出的测试信号和图像信号的标准性和稳定性好。只

表 33-1　国内外电视测量仪器代表性产品主要性能对比

序号	仪器与指标名称	国外代表产品与指标	国内代表产品与指标
1	视频数字电平表	PM5548	VS16
	测量范围	−600～+1400mV	−500～+1200mV
	准确度	±0.1%±1mV	±0.2%±1mV
2	视频噪声测试仪	UPSF	VS21
	测量范围	0.3mVrms～0.3Vrms	0.3mVrms～0.3Vrms
	指示误差	±5%	±5%
3	电视非线性失真测试仪	TF2910	VS22
	DG 测量范围	0～11%	0～11%
	误差	±5%	±5%
	DP 测量范围	0～11°	0～11°
	误差	±5%	±5%
4	彩色增益和延迟测试仪	TF2904	VS15
	色度-亮度增益差测量范围	−3dB～+3dB	−5.5dB～+5.5dB
	误差	±0.1dB	±0.1dB
	色度-亮度时延差测量范围	−110ns～+110ns	−110ns～+110ns
	误差	±2ns～±3ns	±2ns～±3ns
5	视频自动测试仪	TVT8420	CC5331
	DG 测量误差	±0.3%	±1%
	DP 测量误差	±0.4°	±1°
	亮度非线性测量误差	±0.4%	±0.5%
	色度-亮度增益差测量误差	±0.5%	±1%
	色度-亮度时延差测量误差	±5ns	±10ns
	信噪比测量误差	±0.5dB	±1dB
	行同步幅度测量误差	±0.3%	±0.3%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

要存储器容量大，即可存储多达百种以上的信号，而且可以很方便地改变存储内容来改变信号种类。

目前，国外仪器公司已采用可编程的逻辑阵列器件来存储和产生电视测试信号和电视图像信号，使这类仪器向着多信号、高可靠、小型化方向发展。

(4) 电视频道信号发生器

电视频道信号发生器产生射频电视信号，用于测试电视接收机。

供电视接收机、录像机生产线上用的也称为电视集中信号源，它要有一定的功率，目前使用较多的是 1W～10W。

供电视接收机检验用的也称为电视测试发射机，它的输出功率很小，而非线性失真等技术指标要求高，输出幅度能定量，频率连续可调。

目前电视频道信号发生器多采用残留边带中频调制，射频变频方案。国外已采用频率合成技术和声表面波滤波技术，获得较高的技术指标，实现程控，简化操作。

(5) 录像机测试仪器

录像机的图像传输特性测量是一种视频传输特性测量，正由模拟测量向视频自动测量方向发展。

录像机由于自身的特点，需要测量走带速度和视频抖动，以及磁带信号失落。为此，发展了专用录像机测量仪器、磁带录像机抖动测量仪和磁带录像机信号失落计数器等。

(6) 新技术动向

目前，国外正在大力研制高清晰度电视和数字电视，利用卫星和光缆进行远距离电视传输，从而促使相应测试仪器的发展，这是值得重视和跟踪的方向。

表 33-1 列出了目前国内外电视测量仪器代表性产品的主要技术指标，从对比中可以大致了解目前电视测量仪器的发展水平。

第 2 节 电视测量仪器工作原理简介

(一) 卫星电视接收机信号发生器

卫星电视接收机信号发生器用来产生测试和维修卫星电视接收机用的测试信号。

重庆无线电测试仪器厂生产的 CC5363 型卫星电视接收机信号发生器方框图如图 33-1。

CC5363 输出 1170MHz、－30dBm 和 140MHz、0dBm 调频电视信号，调频频偏为 16.8MHz 或 30MHz。图像信号有 EBU 彩条和阶梯波，并可外加视频信号。伴音除内门铃音乐外，还具有外伴音信号输入端。仪器还可输出视频行同步信号、场同步信号、EBU 彩条、阶梯信号。

CC5363 是将视频信号和伴音信号加到调频控制器，经预加重、放大，加到 140MHz 调频发生器，产生 140MHz 调频信号，加到变频器产生 1170MHz 调频电视信号输出。8.750MHz 晶振输出经 8 分频产生锁相基准信号与 140MHz 信号发生器经 128 分频的信号进行鉴相产生误差信号，送去控制 140MHz 调制振荡器中心频率，140MHz 调频信号经 AGC 电路保证输出幅度稳定。图像、伴音信号幅度可改变，保证实现 16.8MHz 或 30MHz 频偏。调制频偏有校正和可变档，能适应不同卫星电视接收机的需要。

CC5363 的 1170MHz 调频电视信号输出接至卫星电视接收机，解调出来的视频信号和音频

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

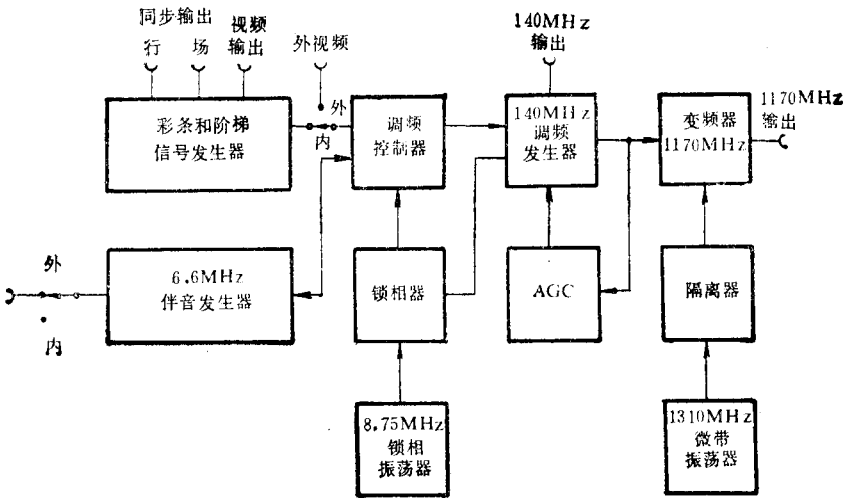


图 33-1

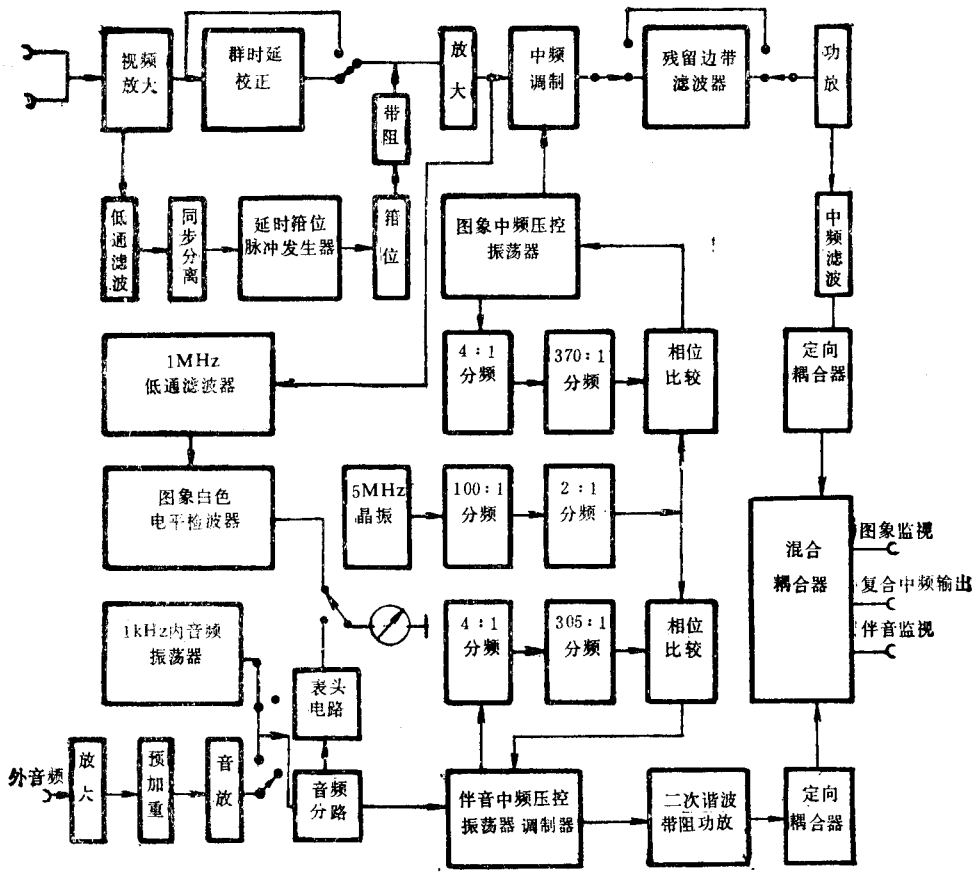


图 33-2

信号送入监视器观察图像和听伴音，视频信号也可接至矢量示波器观察矢量图，或接至波形监视器测量幅度；CC5363 的 140MHz 调频电视信号输出可用于检测卫星电视接收机的中频之后的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

性能；CC5363 加一个变频器，可用于检测卫星电视接收高频头。

（二）电视频道信号发生器

电视频道信号发生器能产生 VHF 频段和 UHF 频段各频道射频电视信号，用于检验、调试、维修电视接收机和录象机等。

标准电视频道信号发生器采用残留边带中频调制、群时延校正、射频变频方案。重庆无线电测试仪器厂的 VS17 型中频调制器和 CC5310 VHF 电视频道信号发生器组成 VHF 电视发射机，VS17 中频调制器和 CC5311 UHF 电视频道发生器组成 UHF 电视发射机，就是采用了这个方案。

VS17 中频调制器组成方框图如图 33-2。视频输入信号经视频群时延校正，经图像中频调制器产生已调制信号，通过残留边带滤波器、功率放大(带有图像电平控制)，在混合耦合器与伴音中频混合输出。1kHz 内音频信号或经预加重外音频信号送至伴音中频压控振荡器和调制器，然后经功放、二次谐波带阻滤波器，加到混合耦合器。图像中频压控振荡器和伴音中频压控振荡器均受 5MHz 晶体振荡器输出分频而得 25kHz 信号控制，保证图像中频和伴音中频差为 6.5MHz。

VS17 中频调制器输出的图像中频和伴音中频加到 CC5310 VHF 电视频道发生器能产生 1

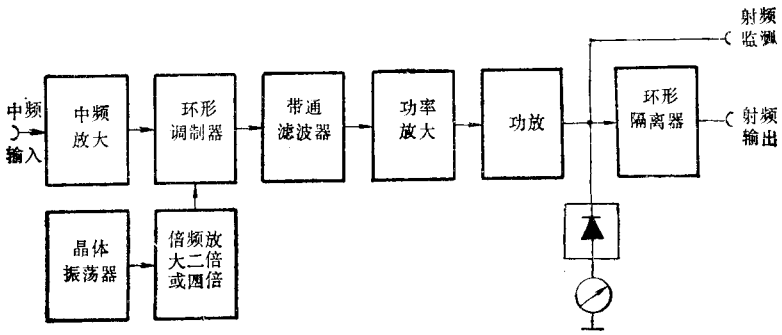


图 33-3

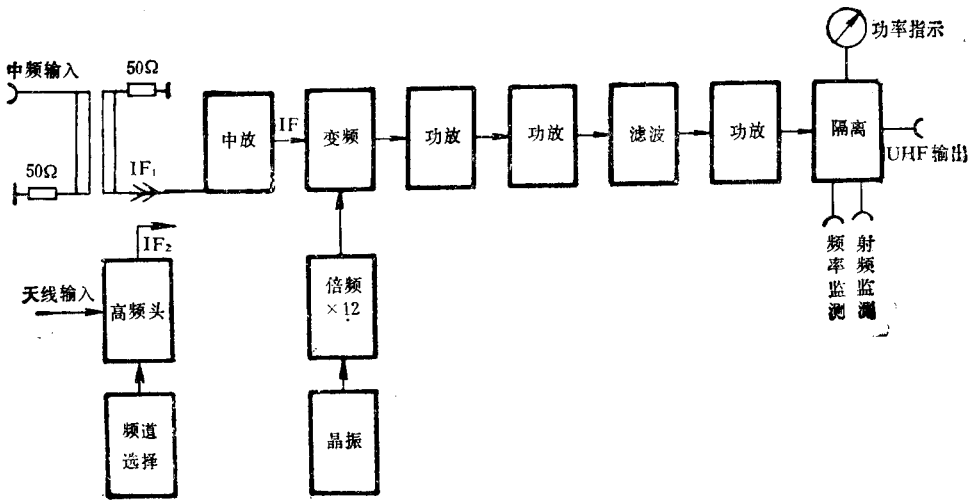


图 33-4

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

瓦以上 VHF 射频电视信号。CC5310 VHF 电视频道信号发生器方框图如图 33-3。

VS17 中频调制器输出中频电视信号加到 CC5311 UHF 电视频道信号发生器能产生 50mW 以上 UHF 射频电视信号。CC5311 UHF 电视频道信号发生器组成方框图如图 33-4。

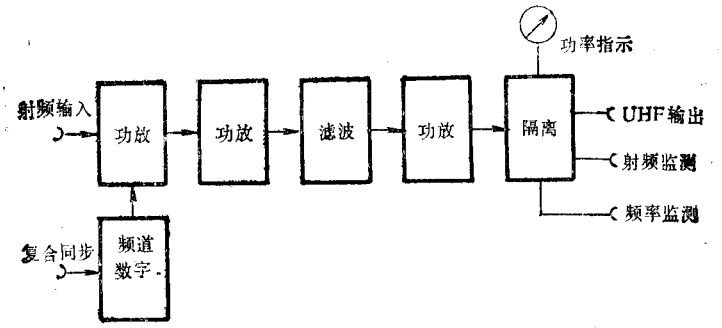


图 33-5

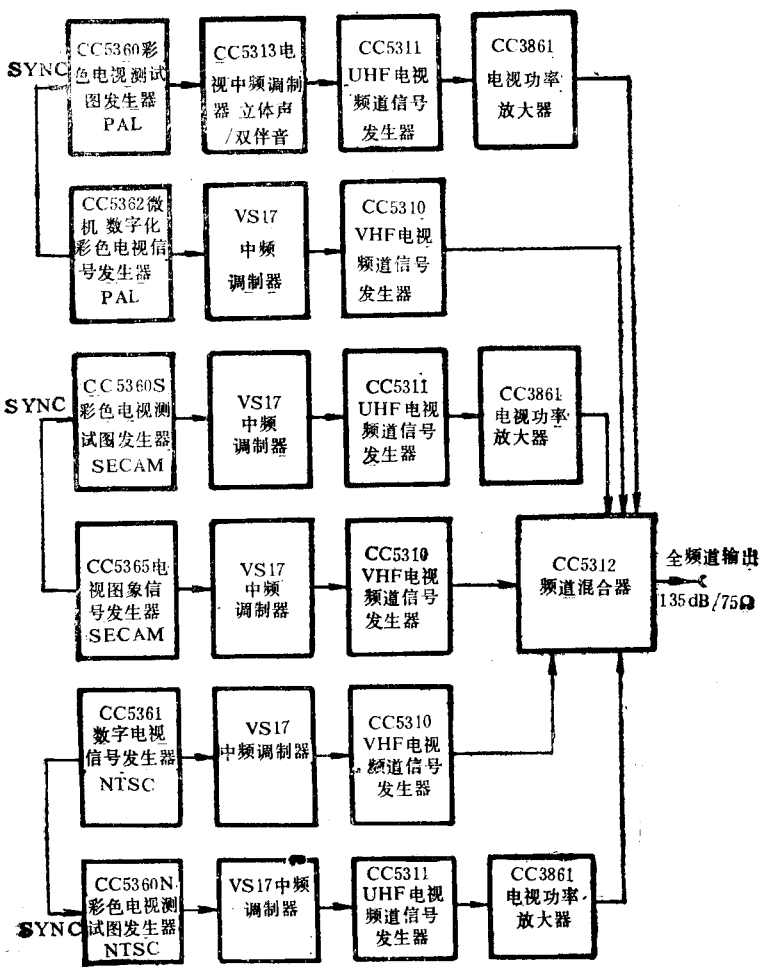


图 33-6

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

CC5311 既可中频输入，又可由天线输入经高频头差转为中频构成差转电视发射机。CC5311 再加 CC3861 电视功率放大器可使 UHF 射频输出功率达到 1 瓦以上。CC3861 电视功率放大器组成方框图如图 33-5。

CC5315 UHF 电视频道信号发生器仅一个机箱能完成 CC5311 加 CC3861 的功能。

CC5462 X 多制式彩色电视集中信号源能提供 PAL、NTSC、SECAM、立体声/双伴音、B、G、D、K、M 等多制式射频全电视信号。CC5462 X 组成方框图如图 33-6，推荐射频频道为 1、5、6、12、13、30、57 频道，各频道射频电视信号通过 CC5312 频道混合器以闭路或开路形式提供给生产线使用，PAL、SECAM、NTSC 视频图像信号由各个频道发出。

（三）电视解调器

电视解调器能将射频电视信号解调还原为视频信号和音频信号，用于测试电视发射机、差转机等。

1450-2 电视解调器组成方框图如图 33-7。

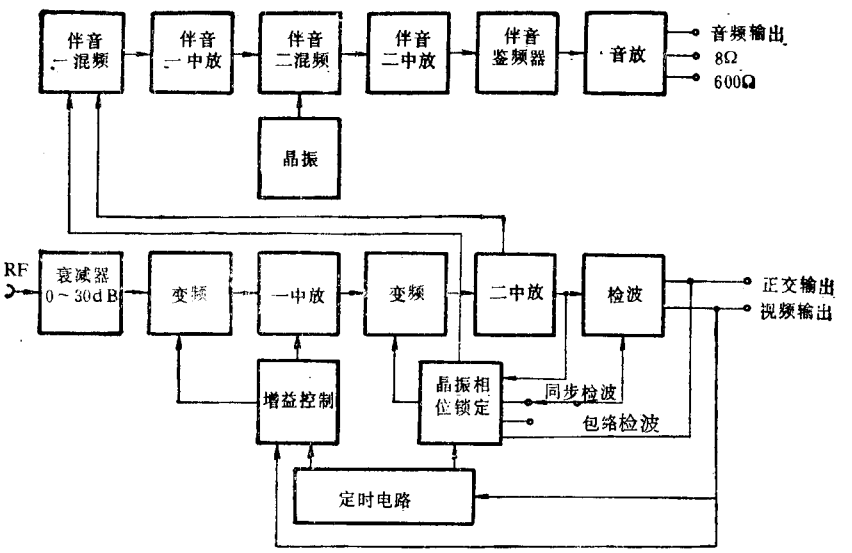


图 33-7

测试电视发射机时，是将视频测试信号和音频测试信号送至电视发射机，电视发射机输出射频电视信号，加到电视解调器射频输入端，经变频器变为第一中频进行放大，再第二次变频变为第二中频，放大后送检波器检波，检波器有包络检波和同步检波供选择，然后放大输出视频信号接至视频测试仪器测量各种失真。伴音信号从第一中频输出加到第一伴音混频器和第二伴音混频器后送到伴音鉴频器，鉴频输出经音频放大器放大输出，供音频测试用。

电视发射机有很多指标是通过电视解调器将已调信号解调后测量视频或音频参数来完成的，解调器性能好坏影响测量结果。一般图像解调器有双边带和残留边带两种工作方式。伴音解调有频率直线解调和内载波解调等。

图像解调器的检波电路有包络检波和同步检波，包络检波本身存在正交分量失真，调制度大时失真大。同步检波没有正交分量失真问题，但其微分相位特性比较复杂，使用时应予注意。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（四）中频三信号发生器

中频三信号发生器能产生幅度可调的图像中频、伴音中频和副载波中频信号，用于测量电视发射机、差转机等互调失真。

VS23中频三信号发生器组成方框图如图33-8。VS23能单独输出图像中频、伴音中频、副载波中频信号；能同时输出三个中频信号，接50Ω负载时图像中频输出电平44～110dBμ，输出频率37MHz或38MHz，伴音中频输出电平42～108dBμ，输出频率30.5MHz或31.5MHz，副载波中频输出电平35～101dBμ，输出频率32.57MHz或者33.57MHz；还能同时输出二个中频（副载波中频、伴音中频信号）。

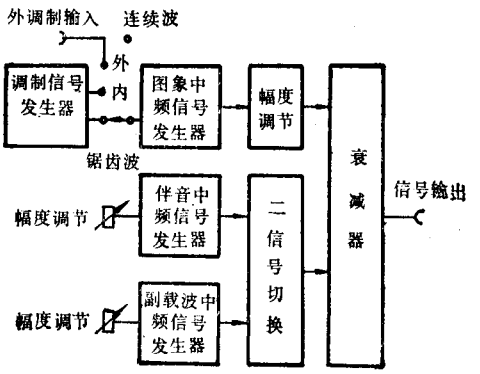


图 33-8

（五）视频自动测试仪

视频自动测试仪是用来自动测量电视传输信号的线性失真、非线性失真、噪声、同步信号幅度和时间关系等的仪器。

新一代的视频自动测试仪采用的测试原理是将带失真信息的视频测试信号经A/D转换器转换为数码信号，送到计算机进行数据处理，由显示器显示或打印机打印出测试结果。

CC5331视频自动测试仪方框图如图33-9。CC5331的主要功能就是在应用程序的控制下完成对视频信号A/D转换，主要由视频通道及A/D转换电路、同步分离及定时脉冲产生电路、采样地址参量控制电路等组成。8路视频输入可任选1路或多路巡回检测，由*A*口数据线控制的寄存器状态决定输入电路和滤波器选择，取样保持、A/D转换、数据寄存器等电路，在行、点比较器输出的共同控制下，完成对取样点视频信号的A/D转换任务。A/D转换输出加到2个8位寄存器，分别寄存高8位、低4位共12位数据，并由CA1联络线通知计算机分别到两个寄存器取走数据。全电视信号经过同步分离和帧检波器产生行、帧同步信号，帧同步信号用于行计数器复位，行同步信号则用来锁定32MHz振荡器，以32MHz信号为基准，送到点计数器和行计数器，完成对视频信号时间位置的确定。由计算机软件控制采样全过程，B口传送寄存器地址，通过译码器分别选择不同的寄存器有效，A口分别把各种采样参量（行数、点数、输入通道、滤波器等）由计算机传送给各寄存器，并把采样所得的数据回传给计算机。联络线CA1、CA2、CB1负责计算机和仪器间联络工作，整个工作过程计算机都采用查询工作方式，配有CC73000和CC73000 A(B)两种

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

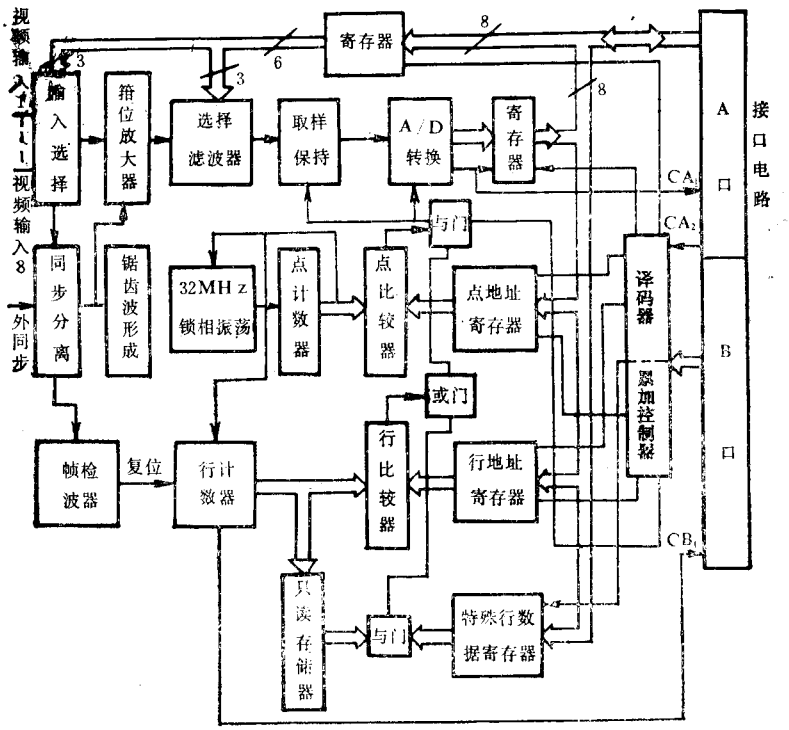


图 33-9 CC5331视频自动测试仪组成方框图

专用应用软件，对应于 APPLE-II 和 GW0520 两类机型。CC73000A 软件为英文版，存储在一张软盘中，CC73000B 软件为中文版，存储在两张软盘中。

CC5331 有 7 路 75Ω 不平衡输入，1 路高阻输入（1MΩ）、一个外同步输入（75Ω）和一个被测视频信号监视输出（75Ω）。可用全场或选行方式对测试信号进行取样和测试。测量所得数据和测试波形均可选择由打印机输出或由屏幕显示输出。当按用户要求设置基准值、容差值后，系统可自动超差报警，它具有重复测试，设置时间间隔等功能。

该系统主要测量项目、测量范围、测量准确度如下：

测量项目	测量范围	准确度
1. 消隐电平		±0.5%
2. 同步幅度	600mV 以内	±0.5%
3. 同步宽度		±5ns
4. 条幅度	2V 以内	±0.5%
5. 条倾斜		±0.2%
6. 条上升时间	100～800ns	±5ns
7. 条下降时间	100～800ns	±5ns
8 亮度非线性		±0.5%
9. 2*T*/条幅比	2V 以内	±0.5%
10. 2*T* 宽度	100～800ns	±5ns

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

11. K系数		±0.5%
12. 色同步幅度	1V以内	±1%
13. 微分增益	$400mV_{p-p}$	±1%
14. 微分相位		±1°
15. 色/亮交调	亮度幅度<1V	±0.5%
16. 色/亮增益差		±0.5%
17. 色/亮时延差	<500ns	±3ns
18. 多波群基准		±0.5%
19. 多波群幅度		±1%
20. 信噪比		±1dB(65dB)
		±1.5dB(72dB)
21. 行消隐宽度		±5ns
22. 同步上升时间		±5ns
23. 前肩宽度		±5ns
24. 同步开始至消隐结束		±5ns

(六) 电视测试信号发生器

电视测试信号发生器用来产生电视视频测试信号，有阶梯波信号、阶梯波叠加副载波、色度三电平、正弦平方脉冲和条、副载波填充正弦平方脉冲和条、多波群信号、方波等，用于测量电视传输非线性失真、线性失真、噪声等。

电视测试信号发生器通常由同步信号发生器、脉冲信号发生器、正弦波信号发生器和视频复合部分组成。

XT16A 电视测试信号发生器组成方框图如图 33-10。

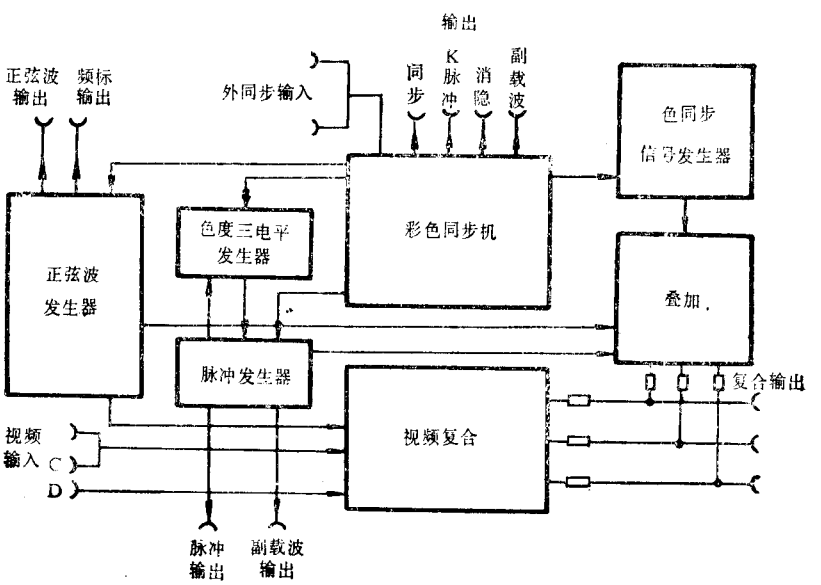


图 33-10

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

XT16A 彩色同步机是由同步信号发生器和副载波锁相电路两部分组成，能锁相标准同步信号，副载波频率 4.43361875MHz±5Hz。复合同步、复合消隐信号中场信号可以用"帧断"关掉。由外同步输入复合视频或复合同步信号，仪器内部的行、场、副载波频率能锁定于外信号源。

脉冲信号发生器可产生 0.2Hz、50Hz、15kHz、250kHz 方波，行重复阶梯波，1 行阶梯波 3 行白色信号，1 行阶梯波 3 行黑色信号，1 行阶梯波 9 行白色信号，1 行阶梯波 9 行黑色信号，锯齿波，T 脉冲和条，$2T$ 脉冲和条，$2T+10T$ 脉冲和条，填充副载波 $10T$ 脉冲，色度＋亮度，色度三电平等信号。

正弦波发生器产生 100kHz～10MHz 扫频信号，0.1、1、2、3、4、5、6、7、8、9、和 10MHz 正弦波信号，1、2、3、4、5、和 6MHz 多波群信号等。

视频复合部分将同步信号、脉冲信号和正弦波信号复合为电视测试信号。

（七）电视图像信号发生器

电视图像信号发生器用来产生各种电视图像信号。有各种彩条信号，解码测试信号，白场、红场、蓝场、绿场信号，点格信号，棋盘，圆、三白两黑、半白半黑、黑场、灰度、清晰线信号，综合黑白测试卡，彩色测试卡图案信号等。这些信号用于调试、检验和维修电视接收机。

产生这些图像信号的方法有模拟方法和数字方法。新一代图像信号发生器是采用数字方法，将图像信号信息以数码形式存于存储器，由控制地址码来取出数码信号，经 D/A 转换器变为模拟图像信号。

CC5361 数字电视信号发生器组成方框图如图 33-11。

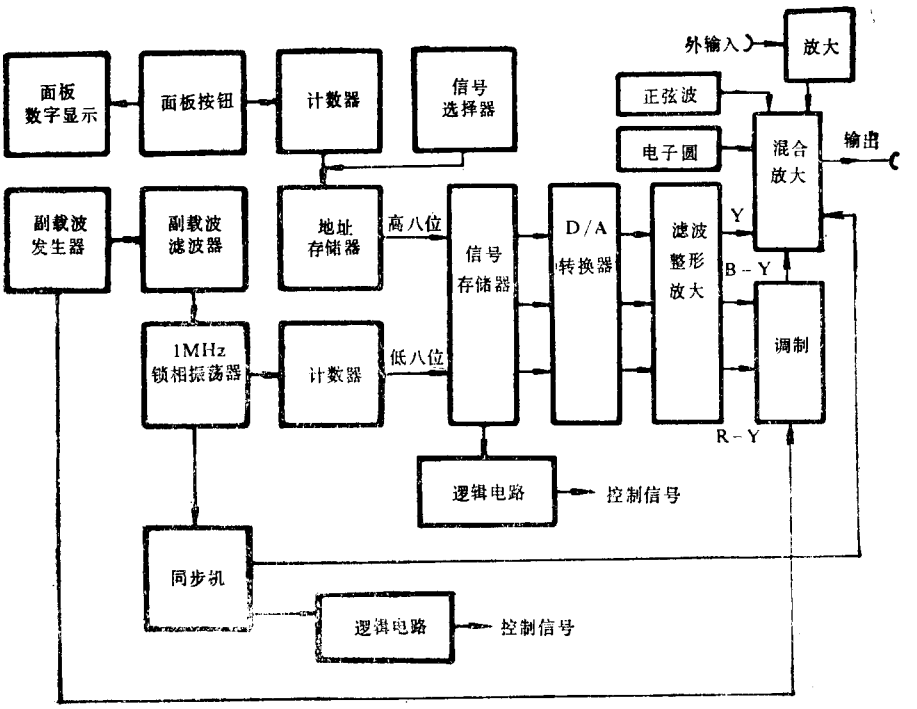


图 33-11

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

CC5361 能产生 100/0/75/0 标准彩条、标准彩条断色度、隔行彩条、隔行彩条断 R-Y、隔行彩条断 B-Y、色同步有或断、彩色副载波相位连续可调、三基色及其补色的 3 行 5 阶梯加 9 行白或黑、1 行 5 阶梯加 3 行白或黑、10 阶梯、5 阶梯、3 阶梯亮度（0、350、700mV）、三白两黑、棋盘、黑底白格、R、G、B 色底黑格、黑底白格和大小同心圆组合图案、全白、全黑、50% 灰度、黑底白窗（70mV～700mV）、有基准黑电平的全白、全白 R、全白 G、全白 B、75% 红场、2T 脉冲和条、复合副载波 2T_c 脉冲和条、亮度 2T_c 脉冲和条、RGB2T_c 脉冲和条、调制 RGB2T_c 脉冲和条、50Hz 场频方波、50Hz 三基色场频方波、15kHz 方波、15kHz 三基色方波、叠加在 50% 电平上正弦波及 50% 灰电平上叠加 8 个色度幅度相等，相位为 0°、45°、90°、135°、180°、225°、270°、315° 的色度信号等 90 种信号，是贯彻国家标准 GB9372-88《电视广播接收机测量方法》的标准测试信号源，适合于质量检测和科研等部门使用。

CC5362 微机数字化彩色电视信号发生器方框图如图 33-12。它是按数字化原理 EPROM 存储信号用微处理器控制进行设计的。

CC5362 具有下列功能：(1)同步断；(2) Y 断；(3) R-Y 断；(4)B-Y 断；(5)色同步断；(6)外同步锁相；(7)副载波移相 360°，副载波频率为 4.43361875MHz±5Hz；⑧在 21 行、22 行、334 行、335 行中插入彩条信号；(9) 色同步消隐，在第一场至四场中下列行不送色同步信号：623-6（I 场）、310-318（II 场）、622-5（III 场）、311-319（IV 场）；(10)彩色场识别：在第一场第 7 行输出一个负脉冲；(11) PAL 识别：行频/2 方波，矢量为正时色同步为正。这些功能适合矢量示波器测试用。

CC5362 能产生 91 种图像信号：100% 彩条：75%彩条；EBU 彩条；BBC 彩条；编码器测试信号；接收机测试图；反 PAL 信号；白/红/白/红；R-Y/B-Y/G-Y 75%；黄/红/黄 75%；三

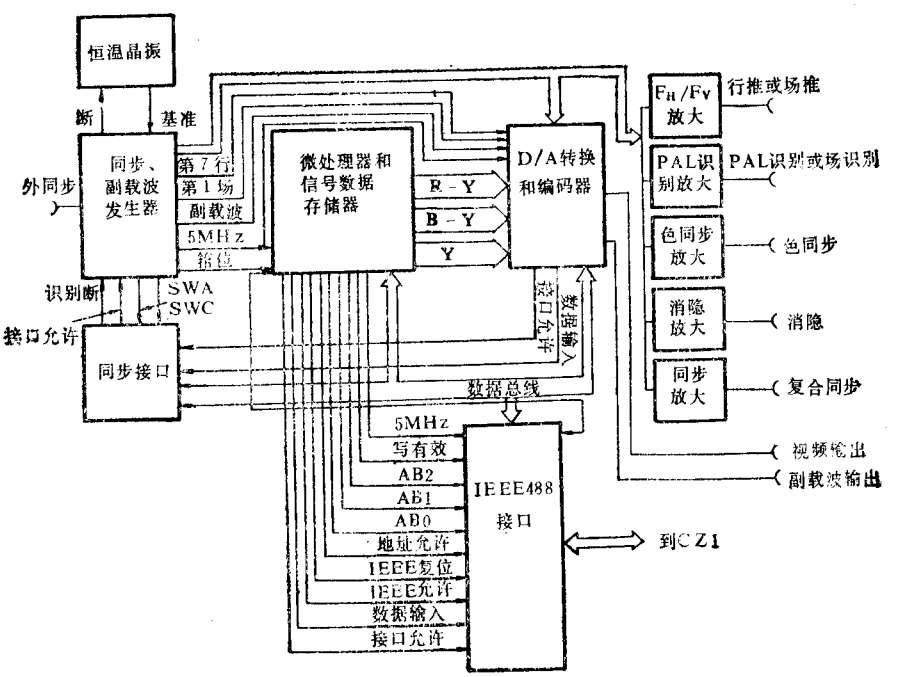


图　33-12

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

基色与补色 75%；监视器测试信号；检查显像管高压的 EHT 信号；黑底白针和白底黑针反射信号；灰度信号；锯齿波＋色度、锯齿波；棋盘；50Hz、15.625kHz、250kHz 方波；平场窗口信号；格；点子；带灰度等级的 PLUGE 信号等。

（八）波形监视器

电视波形监视器是一种波形分析仪器，用于测量电视视频波形的幅度和时间，电视设备线性失真 K 系数等。

电视波形监视器内备有滤波器阵列供选用："平坦"；"低通"；"亮度"；" 4.43MHz 带通"，用于测量微分增益；"微分网络"，对阶梯波进行微分，用于测量亮度非线性失真。具有对标准的四场 PAL 彩色电视信号进行选场选行测量，有"单场"、"两场"、"全场"方式，能对全场 625 行中任意一行或两行波形上任意点进行折叠比较，有助于诸如脉冲和条之比的测量。典型仪器有 CC5440 波形监视器，DC5440 波形监视器、1481 波形监视器等。

电视波形监视器组成方框图如图 33-13。

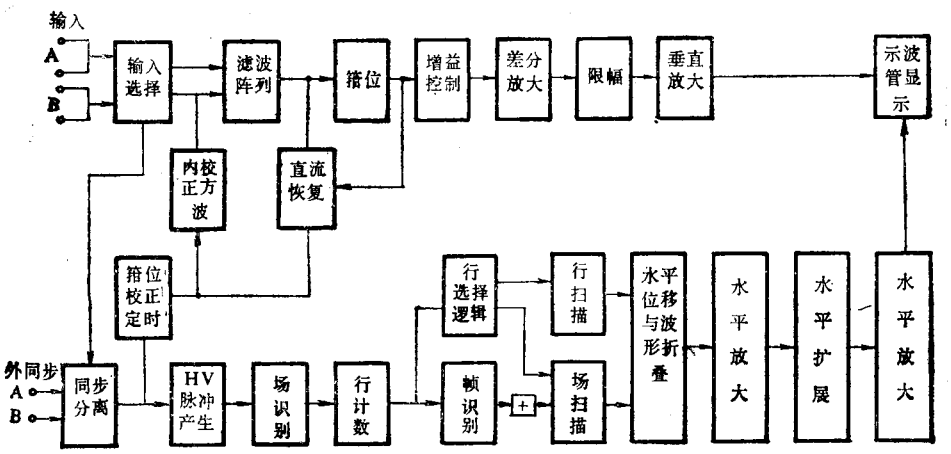


图 33-13

（九）矢量示波器

矢量示波器用于测量彩条等信号的亮度、色度分量幅度和相位，显示矢量图和亮度分量、基色信号、色度信号的波形等。

矢量示波器是一个标准彩色解码器，主要由副载波发生器、移相器、视频放大器、解码器、选行控制器、校准信号发生器、扫描发生器、显示等单元组成，组成方框图如图 33-14。

测试圆用来校准两个通道的相位和增益，当两个通道之间相移不为 90° 时显示屏出现一对有相反偏心度的重叠椭圆，当相移精确地为 90° 时，两个椭圆重合成一个单一的椭圆。使两个通道的增益相等，一对重合椭圆变成一对重合圆。

有全场测量和选行测量，能选择插测行信号进行测量，可用来测量微分相位和微分增益，但测量小微分相位和微分增益时误差较大。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

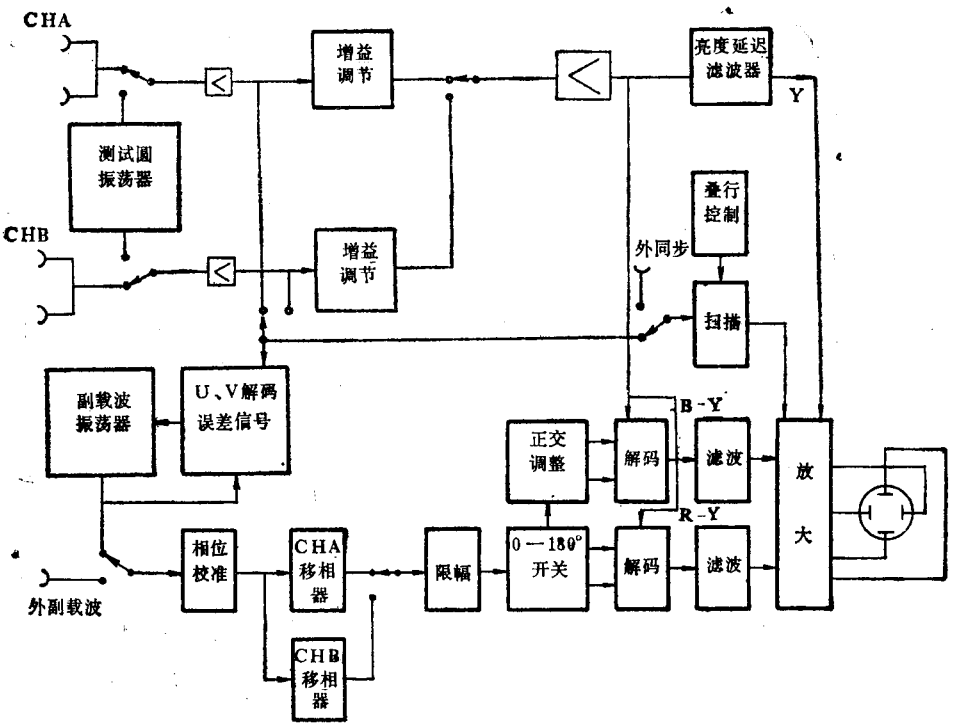


图 33-14

(十) 彩色增益和延迟测试仪

彩色增益和延迟测试仪用来测量色度-亮度增益差和时延差。

电视传输网络对彩色电视信号的亮度信号和色度信号增益不相等，将产生色饱和度失真。色度增益大于亮度增益时传输网络的色度-亮度增益差定义为正值，色度增益小于亮度增益时色度-亮度增益差定义为负值。

电视传输网络对彩色电视信号的亮度信号和色度信号的时延相差较大时，将使图像的水平方向出现彩色镶边。色度时延大于亮度时延时传输网络的色度-亮度时延差定义为正值；色度时延

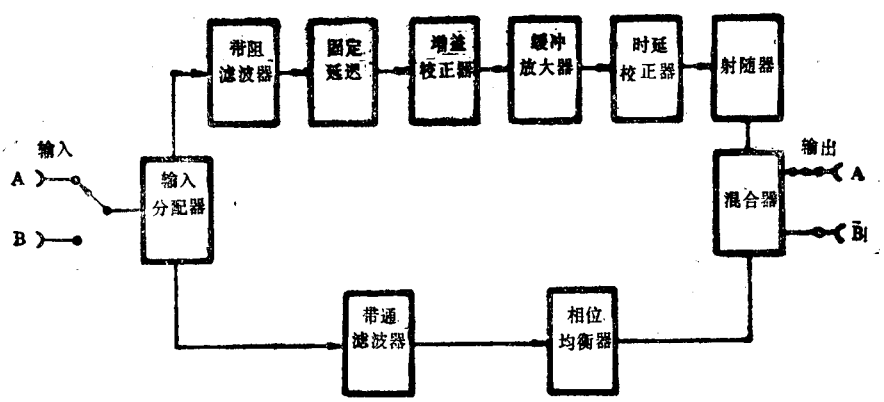


图 33-15

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

小于亮度时延时传输网络的色度-亮度时延差定义为负值。

GB3659-83 电视视频通道测试方法国家标准中规定测量色度-亮度增益差和时延差采用副载波填充的 10T 和条脉冲作为测试信号。底部平坦的副载波填充的 10T 和条脉冲信号通过被测设备，输出的信号带有失真信息，底部呈现不平，反映了色度-亮度增益差和时延差不为零。

增益差和时延差读数方法通常有两种：

(1) 示波器读数法。用示波器读出不平度电压，由计算公式算出色度-亮度增益差和时延差，此方法准确度不高，受示波器的分辨率和视差限制。

(2) 补偿法。用增益校正器和时延校正器使底部不平的副载波填充的 10T 和条脉冲信号重新达到平坦，增益校正器的调节量即为色度亮度增益差，时延校正器调节量即为色度亮度时延差。彩色增益和延迟测试仪采用补偿法原理。

VS15 彩色增益和延迟测试仪组成方框图如图 33-15。它是由色亮分离器、校正器和混合器组成的。VS15 色度-亮度时延差测量范围-110ns～+110ns，误差 ±2ns～±3ns；色度-亮度增益差测量范围−5.5dB～+5.5dB，误差 ±0.1dB；与附件 1501 回波损耗测试探头配合可测量视频输入端和输出端回波损耗；与附件 1502 差分测试器配合可测量时延差。

（十一）电视非线性失真测试仪

电视非线性失真测试仪主要用于测量电视传输通道的微分增益、微分相位和亮度非线性失真等，能全场测量和选行测量，具有取样测量电路，减少噪声对测量的影响。

微分增益和微分相位测量方法有两类：

(1) 矢量和波形显示法；

(2) 专用微分增益和微分相位测试仪法。

矢量和波形显示法测试分辨率低，误差较大，只适合大失真测量。小失真测量用微分增益和微分相位测试仪法较合适。

专用电视非线性失真测试仪测量微分相位的原理是：用叠加副载波的阶梯波或锯齿波作为测试信号，通过被测设备，其输出信号带有失真信息，送到专用电视非线性失真测试仪，仪器内用带通滤波器从带失真信息的测试信号中选出副载波，送到鉴相器与基准副载波鉴相，鉴相输出的电压表示微分相位的大小，由读数装置读出微分相位值。读数方法有两种：

(1) 示波器读数法。将标准相移经鉴相输出给示波器定标，然后由示波器显示微分相位最大鉴相输出电压，读出微分相位值。此方法读数视差大。

(2) 比较读数法。在鉴相器输出信号的行消隐期间插入基准电平，同时显示在示波器上，调整基准电平使之与微分相位鉴相输出相等，基准电平值就代表微分相位值，基准脉冲值经计量标定即可直接读出微分相位值。这种方法视差影响减小，还能采用取样降噪技术，减少噪声对测量的影响。TF2910 和 VS22 电视非线性失真测试仪就采用了这种方法。

测量微分增益的原理是：仪器用带通滤波器从带失真信息的测试信号中取出副载波，由读数装置读出微分增益值。读数方法有三种：

(1) 示波器读数法。由示波器显示屏直接读出不同亮度电平上副载波幅度，按微分增益定义计算出微分增益值，其测量精度受视差和分辨率限制。

(2) 检波读数法。将带通滤波器取出的副载波，经检波放大后再送到示波器显示，这样提高

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

了测试分辨率，但视差的影响仍较大。

（3）比较读数法。在检波后输出信号的行消隐期间插入基准电平，调整它使之与微分增益检波输出电压相等，基准电平值就代表了微分增益值，基准脉冲值经计量标定即可直接读出微分增益值。TF2910 和 VS22 采用这种方法，减少了视差影响，还可采用取样降噪技术，进一步减少噪声对测量的影响。

亮度非线性失真测量方法有三种：

（1）锯齿波叠加正弦波法。

（2）阶梯波微分法。将经被测设备的阶梯波信号经过微分网络变为尖脉冲串，由示波器读出尖脉冲串中的最大和最小幅度，代入定义公式计算亮度非线性失真，VS22、TF2910 均采用这种方法；

（3）视频电平表法。用视频电平表读出带失真信息的阶梯信号幅度，按定义公式计算亮度非线性失真，这种方法测量准确度较高。

VS22 电视非线性失真测试仪组成方框图如图 33-16。

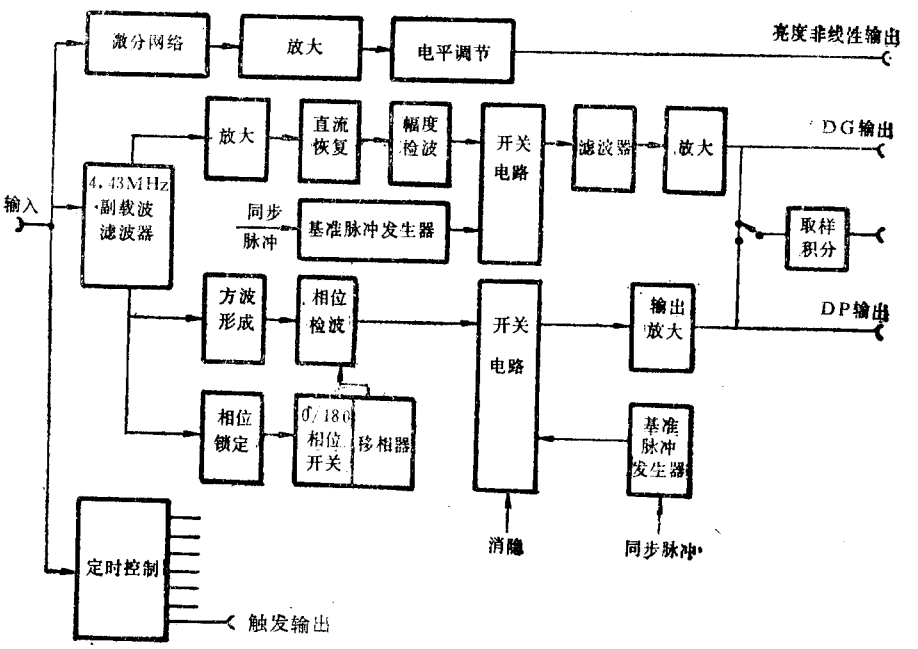


图　33-16

VS22 电视非线性失真测试仪微分增益测量范围 0～11%，指示误差 ±5%，测量范围可扩展到 20%。微分相位测量范围 0～11°，指示误差 ±5%，测量范围可扩展到 40°。

（十二）视频噪声测试仪

视频噪声测试仪主要用于测量电视通道的随机噪声，能测量有视频带宽限制的不加权随机噪声信噪比和加权随机噪声信噪比，不加任何滤波器相当于视频毫伏表。有色度噪声测试功能的彩色视频噪声测试仪，还能测量色度频带的 AM 噪声和 PM 噪声。

用视频噪声测试仪测试视频通道随机噪声信噪比时，当被测通道有箝位电路时，输入端要加

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

一平场信号；当被测通道无箝位电路时，则无需加任何信号。

测试黑白电视通道时，要用 10kHz 高通滤波器限制频带下限，以排除交流干扰和微音效应的影响；要用视频通道标称带宽的低通滤波器限定频带上限，以排除视频频带之外的噪声。测试彩色电视通道时，为了从随机噪声中消除副载波成份，除高通、低通外，还应接入副载波陷波器。测试加权信噪比时，要接入统一加权网络。

VS21 视频噪声测试仪组成方框图如图 33-17。VS21 随机噪声电压有效值测量范围 0.3mVrms～0.3Vrms，指示误差±5%；40Hz～10MHz 频响 ±0.2dB（参考点 200kHz）；10Hz～17MHz 频响 +0.2dB～−3dB。

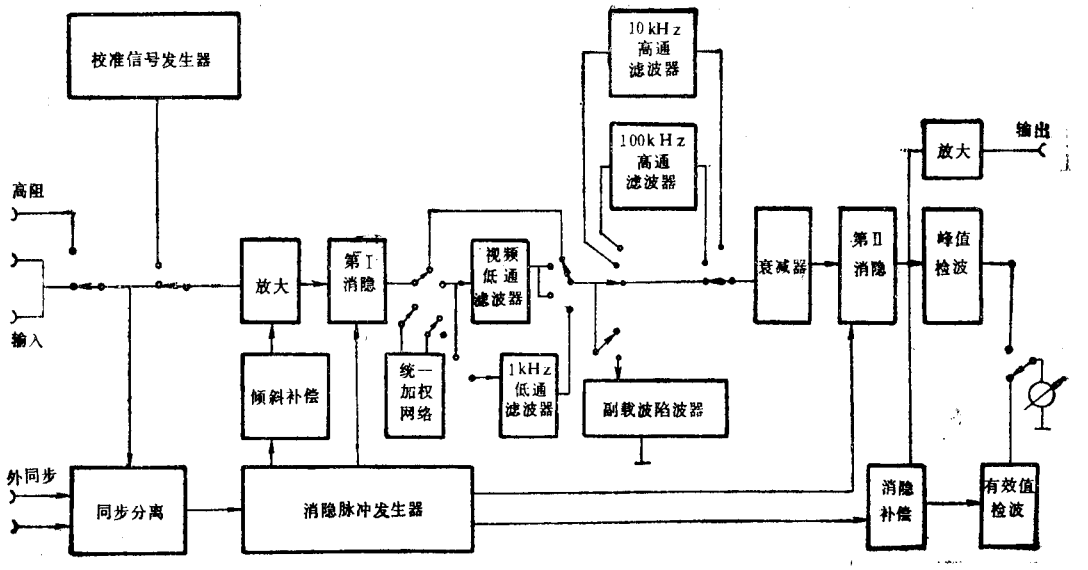


图 33-17

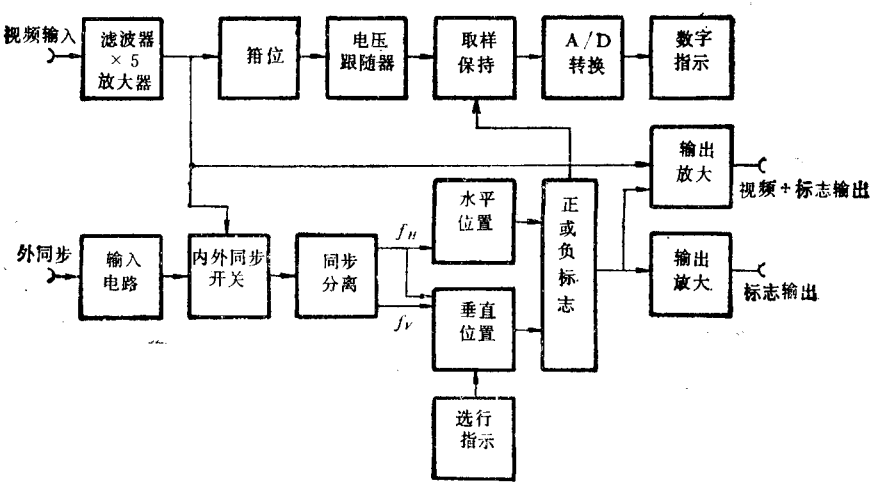


图 33-18

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（十三）视频数字电平表

视频数字电平表是高精度的电视视频瞬时电平分析仪器，能够测量电视场中任何一行中的任何一点的瞬时电平，适合测量白电平、灰电平、阶梯电平、条脉冲幅度、行同步脉冲幅度、场同步脉冲幅度，行倾斜，场倾斜等。

VS16 视频数字电平表组成方框图如图 33-18。VS16 是由滤波放大、箝位、取样保持、A/D 转换、数字指示、选行控制等部分组成。

VS16 视频数字电平表选行开关可预置开始取样的行数为第 1 行到第 625 行；高度旋钮控制场的取样范围 1 行到 50 行；延迟旋钮控制行的延迟，从同步脉冲前沿开始到取样点滞后 1～64μs；宽度旋钮控制行取样范围，取样宽度 0.3～5μs 连续可调；零位校准将消隐电平调至零电平；数字显示是以消隐电平为参考，按毫伏数直接读数；“视频＋标志”输出，可接监视器或示波器，观察取样点位置和大小。

第3节　分　　类

由于电视测量中大量沿用了光学、电学和声学测量技术，因此，幅频特性、群时延特性测量仪、场强仪等无线电测量仪器和电学、光学、声学等的通用仪器不归本章范围。

根据目前电视仪器的发展情况，就主要电视测试仪器列出分类简表如表 33-2。

表 33-2　电视测量仪器分类

电视测量仪器	电视射频信号发生器	① 电视测试发射机	⑤ 电视三信号发生器
		② 电视标准信号发生器	⑥ 电视双伴音(立体声)调制器
		③ 电视频道信号发生器	⑦ 卫星电视信号发生器
		④ 电视中频调制器	
	电视视频信号发生器	① 电视测试信号发生器	⑥ 黑白测试图发生器
		② 电视图像信号发生器	⑦ 插入测试信号发生器
		③ 彩色编码器	⑧ 同步测试信号发生器
		④ 彩色测试图发生器	⑨ 卫星电视基带信号发生器
		⑤ 数字式测试图发生器	
	电视测试分析仪器	① 电视非线性失真测试仪	⑦ 包络时延测试仪
		② 电视视频噪声测试仪	⑧ 视频扫频信号发生器
		③ 彩色增益和时延测试仪	⑨ 电视双伴音(立体声)解调器
		④ 电视视频电平表	⑩ 电视解调器
		⑤ 电视视频自动分析仪	⑪ 电视差转机测试仪
		⑥ 群时延测试仪	
	电视用显示仪器	① 矢量示波器	④ 电视扫频仪
		② 波形监视器	⑤ 电视视频扫频仪
		③ 图像监视器	
	电视光色仪器	① 白平衡仪	④ 亮度计
		② 白平衡信号发生器	⑤ 色度计
		③ 彩色电视白场仪	⑥ 彩色分析仪
	电视干扰、抗扰度测试仪	① 干扰测试接收机	③ 电磁干扰频谱分析仪
		② 干扰场强测试仪	
	录像机测试仪器	① 录像机抖动测试仪	③ 录像机磁头试验信号发生器
		② 录像机信号失落计数器	④ 录像机自动测试分析仪

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

本章将重点介绍实际应用较为广泛的11类电视测量仪器的主要技术指标及测试方法。

1. 视频数字电平表
2. 视频噪声测试仪
3. 电视非线性失真测试仪
4. 彩色增益和延迟测试仪
5. 波形监视器
6. 矢量示波器
7. 电视测试信号发生器
8. 电视图像信号发生器
9. 视频自动测试仪
10. 中频三信号发生器
11. 电视频道信号发生器

第4节 技术指标汇总表

表33-3 电视测量仪器技术指标汇总表

序号	技术指标 \ 仪器类别	视频电平数字表	视频噪声测试仪	电视非线性失真测试仪	彩色增益和延迟测试仪	波形监视器	矢量示波器	电视测试信号发生器	电视图像信号发生器	视频自动测试仪	中频三信号发生器	电视频道信号发生器
1	视频电平指示误差	●								●		
2	取样脉冲	●										
3	视频噪声有效值指示误差		●							●		
4	衰减误差		●									
5	振幅-频率特性		●							●		
6	回波损耗		●	●	●	●	●	●	●	●		●
7	微分增益指示误差			●						●		
8	微分相位指示误差			●						●		
9	色度-亮度增益差指示误差				●					●		
10	色度-亮度时延差指示误差				●					●		
11	垂直电压指示误差					●						
12	共模抑制比					●						
13	振幅频率特性					●						
14	扫描时间指示误差					●						
15	扫描线性误差					●						
16	矢量相位准确度						●					
17	矢量增量准确度						●					

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续　表

序号	技术指标 \ 仪器类别	视频数字电压表	视频噪声测试仪	电视非线性失真测试仪	彩色增益和延迟测试仪	波形监视器	矢量波示器	电视测试信号发生器	电视图像信号发生器	视频自动测试仪	中频三信号发生器	电视频道信号发生器
18	校准相位准确度						●					
19	正交相位调整范围						●					
20	色度带宽						●					
21	R、G、B 彩色解码准确度						●					
22	亮度通道振幅频率特性						●					
23	亮度增益误差						●					
24	阶梯波非线性失真							●	●			
25	色度三电平幅度准确度							●	●			
26	正弦平方脉冲和条脉冲宽度 行场同步脉冲宽度							●	●			
27	多波群幅度							●	●			
28	多波群频率							●	●			
29	场方波倾斜							●	●			
30	250kHz 方波过冲							●	●			
31	平场信号幅度							●	●			
32	行同步频率							●	●			
*	行同步宽度							●	●			
33	行、场同步脉冲幅度							●	●			
*	场同步频率							●	●			
34	色同步幅度							●	●			
35	色同步相位							●	●			
36	彩色色度相位和色同步相位								●			
37	灰度电平幅度								●			
38	清晰度线信号幅度和频率								●			
39	行倾斜							●	●			
40	副载波频率							●	●			
41	信噪比							●	●			
42	中频三信号发生器输出频率										●	
43	中频三信号发生器输出电平										●	
44	互调										●	
45	输出频率											●

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	技术指标 \ 仪器类别	视频数字电压表	视频噪声测试仪	电视非线性失真测试仪	彩色增益和延迟测试仪	波形监视器	矢量示波器	电视测试信号发生器	电视图像信号发生器	视频自动测试仪	中频三信号发生器	电视频道信号发生器
46	输出功率											●
47	微分增益							●				●
48	微分相位							●				●
49	互调											●
50	信噪比											●
51	振幅频率特性											●
52	群时延频率特性											●
53	K系数					●		●				●
54	伴音非线性失真											●
55	交叉调幅											●
56	伴音振幅频率特性											●

第5节 技术指标和测试方法

总则

- 这部分指标定义、技术指标和测试方法的撰写，主要参考资料是：

(1) GB3659-83 电视视频通道测试方法。

(2) SJ2938-88 电视图像信号发生器通用技术条件。

SJ2939-88 电视图像信号发生器测试方法。

(3) JJG03001-87 521A 矢量示波器检定规程。

(4) 电视视频传输特性测试仪技术条件电视视频传输特性测试仪测量方法 GB×××× 送审稿。

(5) 重庆无线电测试仪器厂企业标准。

- 测试仪器视频连接，一般输入输出阻抗为 75Ω。

1. 视频电平指示误差 δ_1

vedio level

视频数字电平表测量电视场内各行信号电平的指示误差。

技术水平：国内达到 ±0.2%±1mV。

测试方法：

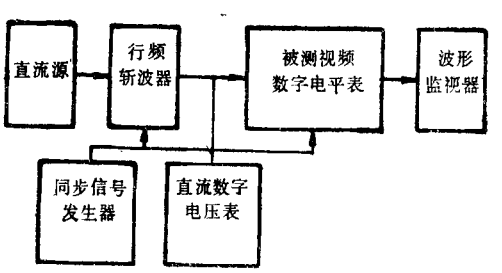


图 33-19

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 测试仪器按图 33-19 连接。

(2) 预热 30 分钟以上，视频数字电平表校零。

(3) 将行频斩波器置于接通稳态，直流源输出高稳定度直流电压，直接加到被测件，直流数字电压表指示此时直流电压值，记下其读数值 V_2。

(4) 将行频斩波器置于短地稳态，斩波器输出为极小的直流电压，直流数字电压表指示其值，记其读数值 V_1。

(5) 将行频斩波器置于交替状态，其行频斩波器输出脉冲幅度设为 V_0，直接加到被测视频数字电平表，视频数字电平表数字显示读数设为 V，则视频数字电平表显示误差计算公式如下式：

$$\delta_1 = \frac{V - V_0}{V_0} \times 100\%$$

式中 δ_1——视频数字电平表电平显示误差。

V——被测视频数字电平表指示值，mV。

V_0——视频斩波器输出脉冲幅度值 $V_0 = V_2 - V_1$(mV)。

(6) 用视频数字电平表测量行频脉冲幅度时应注意下列几点：

① 视频数字电平表同步开关置于“外同步”位置。由外同步插座输入标准隔行扫描的复合同步脉冲信号。

② 选择取样位置和大小，由正或负标志（白色标志块或黑色标志块）来识别位置和大小。调整指轮开关选择一行测量，高度旋钮调节到行数最少位置，宽度旋钮调节到较小的取样宽度。

③ 零位校准

调“延迟”旋钮使取样点移至消隐电平上，被测视频数字电平表应指示 0000mV。若偏离此值，调节“零点调整”直到指示值为 0000mV，行频斩波器处于接地稳态，相当于消隐电平。

④ 调延迟旋钮使取样点移至脉冲信号的中部进行脉冲幅度读数，这是以消隐电平为基准直接读的毫伏数。当为负值时，能自动显示负极性。

2. 取样脉冲

sampling pulse

视频数字电平表采用取样测量方法，其取样用的脉冲。

技术水平：

(1) 选行起始从 1 行到 625 行，高度从 1 行到 50 行；

(2) 延迟滞后于同步脉冲前沿 2.5～64μs；

(3) 取样宽度 0.3～5μs 连续可调。

测试方法：

(1) 由电视测试信号发生器输出带标准同步信号的测试信号加到被测视频数字电平表，用波形监视器观察其视频＋标志输出，用拨动开关选行，与波形监视器所选行数相同时，拨动开关指示值应与显示行数一致。

(2) 用波形监视器观察取样脉冲延时范围和位置脉冲宽度，应符合指标要求。

3. 视频噪声有效值指示误差 δ_2

video noise rms-value

用视频噪声测试仪测量视频带宽限制后的随机噪声幅度有效值的指示误差。

技术水平：视频噪声有效值测量范围 $0.3mV_{rms}$～$0.3V_{rms}$。指示误差±5%。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 33-20。

(2) 视频噪声发生器输出噪声电压经 6MHz 低通滤波器送至微电位计。再加到被测视频噪声测试仪，设视频噪声测试仪指示噪声有效值为 V，记住此时微电位计热电偶输出指示值为 A。测试时，被测视频噪声测试仪的视频低通滤波器应接通。

(3) 用热电有效值比较法，由直流源输出稳定直流电压代替噪声电压输入微电位计，当

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

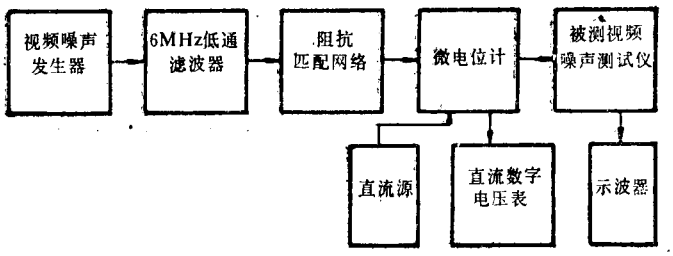


图 33-20

微电位计热电偶输出指示值也为A时，由直流数字电压表读出此时直流电压值V_{rms}，即为视频噪声电压有效值。

（4）视频噪声测试仪噪声有效值指示误差计算公式如下：

$$\delta_2 = \frac{V - V_{rms}}{V_{rms}} \times 100\%$$

式中 δ_2——视频噪声有效值指示误差，

V——视频噪声有效值指示值，mV；

V_{rms}——视频噪声电压有效值实测值，mV。

4. 衰减误差 ΔA

attenuation

视频噪声测试仪改变量程用的衰减器的衰减量的误差。

技术水平：±0.2dB/10dB

测试方法：

（1）测试仪器连接如图33-21。

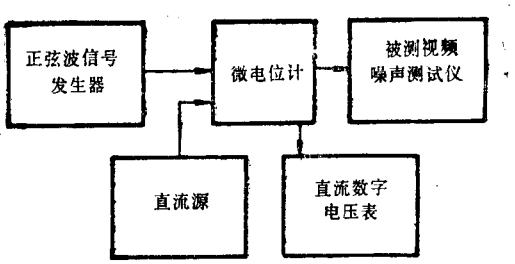


图 33-21

（2）被测视频噪声测试仪“倾斜补偿”置关闭位置，各滤波器置关位置，按下“V_{rms}”键，75Ω环通输入端，一个插座接75Ω终端，另一插座接输入信号。

（3）被测视频噪声测试仪范围选择开关置于A_1档，正弦波信号发生器输出测量频率的正弦波，经微电位计加到被测视频噪声测试仪，改变正弦波信号发生器输出电压，使被测视频噪声测试仪表头指示0dB，此时微电位计热偶输出指示值为U，切断正弦波，接通直流源输出的直流电压，使微电位计热电偶输出指示也为U，由直流数字电压表读出此时直流电压值，即为加入被测视频噪声测试仪输入端正弦波的有效值V_1。

（4）将被测视频噪声测试仪衰减器置于A_2档，改变正弦波信号发生器输出正弦波电压，使被测视频噪声测试仪指示又为0dB，同样用直流替代法读出加入被测视频噪声测试仪输入端正弦波电压有效值V_2。

（5）被测视频噪声测试仪衰减器衰减量计算公式如下：

$$A = 20\lg\frac{V_2}{V_1}\ (\text{dB})$$

$$\Delta A = A_{标} - A$$

式中 ΔA——衰减器衰减误差（dB）；

$A_{标}$——所测衰减标称值（dB）；

A——所测衰减实测值（dB）。

5. 振幅-频率特性 F_r

amplitude-frequency characteristic

视频噪声测试仪输入不同频率等幅正弦波时，表头上指示对应基准频率显示幅度随频率

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

变化值。

技术水平：40Hz～10MHz±0.2dB

10Hz～17MHz＋0.2dB～－3dB

测试方法：

（1）测试仪器连接同图 33-21。

（2）被测仪器"范围选择"开关置 －30dB。由正弦波信号发生器输出频率为振幅频率特性测量参考频率（200kHz）正弦波，经微电位计输出加到被测视频噪声测试仪，设指示值为 A，用直流有效值替代法读出此时微电位计输出正弦波有效值，设为 V_0。

（3）改变正弦波发生器输出频率为 f_1，调整正弦波发生器输出电压，直至被测视频噪声测试仪指示值也为 A，用直流有效值替代法，读出此时微电位计输出正弦波有效值，设为 V_1。f_1 为不同值对应有不同 V_1 值，则为振幅-频率特性。

（4）视频噪声测试仪振幅频率特性计算公式如下：

$$F_r = 20\lg\frac{V_0 - V}{V_0}\ (\mathrm{dB})$$

式中　F_r——视频振幅频率特性波动值，dB；

V_0——参考频率（200kHz）时输入电压有效值，mV；

V——测量频率时输入电压有效值，mV。

（5）接通滤波器，测试分别接入各滤波器时，振幅频率特性。

6. 回波损耗　ρ

return loss

仪器输入阻抗偏离 75Ω 的程度，

$$\rho = 20\lg\left|\frac{A_1}{A_2}\right|\mathrm{dB}$$

式中：A_1——入射信号幅度的峰-峰值；

A_2——反射信号幅度的峰-峰值。

技术水平：≥40dB（6MHz 内）

测试方法：

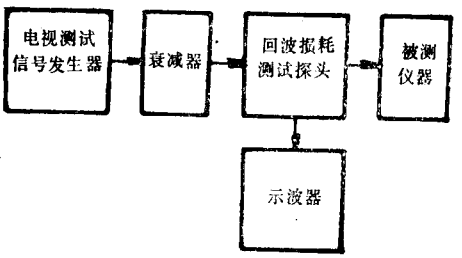


图　33-22

（1）测试仪器连接如图 33-22。

（2）电视测试信号发生器输出多波群或扫频波，标准衰减器置于 0dB。回波损耗测试探头置于"标准 75Ω"，调平衡旋钮至示波器显示电压最小。

（3）将回波损耗测试探头置于"测试"位置，记住此时示波器显示测试频率范围最大电压点电压值 V。

（4）将回波损耗测试探头置于"读数"位置，改变标准衰减量直至示波器显示电压值又为 V，标准衰减器衰减量改变值即为被测仪器输入端回波损耗。

7. 微分增益指示误差　δ_A

differential gain

用电视非线性失真测试仪测试电视通道微分增益时，仪器度盘的指示误差。

技术水平：测量范围 0～11%，±5%。

测试方法：

（1）测试仪器连接如图 33-23。

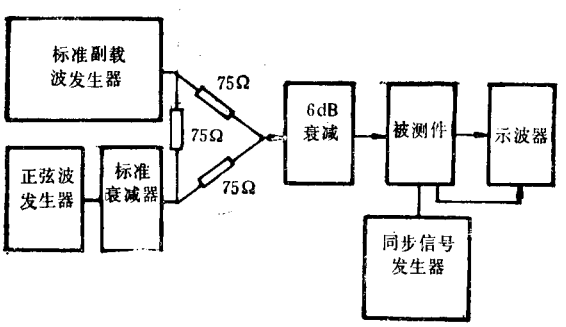


图　33-23

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

采用基准脉冲比较法进行读数的电视非线性失真测试仪微分增益按图 33-23 连接测试。

(2) 标准副载波发生器输出频率为 4.433619MHz 电压为 1 伏峰-峰值的正弦波。频率可调的正弦波发生器输出频率为 4.463 MHz，电压为 1 伏峰-峰值的正弦波，经标准衰减器在混合网络上与标准副载波信号混合，经 6dB 衰减器送到被测电视非线性失真测试仪。这样形成了两个频率相差不大、幅度比值为定值(即标准衰减器衰减量 X) 的叠加信号，以叠加后幅度波动值所占比值作为标准测试信号的标准值来校准被测电视非线性失真测试仪的微分增益基准脉冲。这个叠加信号送到被测电视非线性失真测试仪，经仪器内放大和箝位，使底部箝制到一定电平，由幅度检波器检波，经开关电路与加到行消隐期间的基准脉冲进行比较，两个信号经放大器放大输出，此输出端接示波器，由示波器可同时观察两个比较信号，当两个信号幅度一样，已知叠加信号的幅度波动值所占比值定义为微分增益基准脉冲所代表的微分增益值。

微分增益基准脉冲校准计算公式如下：

$$DG = \frac{2}{\text{anti lg}\dfrac{X}{20} - 1} \times 100\%$$

式中 DG——微分增益值

X——叠加后两个不同正弦波幅度比值的分贝数 (dB)，即标准衰减器衰减量。

(3) 校准时，两个正弦波发生器输出幅度要一样，被测电视非线性失真测试仪要按下“微分增益”按键，适当调节微分增益“幅度”旋钮使波形不失真，调节微分增益“基准位置”旋钮，使信号包络线底部与基准脉冲基线一致时，适当增加或减少标准衰减器衰减量即为公式中 X，由公式计算出的 DG 值即为基准脉冲所代表的 DG 值实测值 ΔA_0，DG 基准脉冲标称值 ΔA 在面板度盘上标出。

(4) 被测电视非线性失真测试仪微分增益指示误差计算公式为：

$$\delta_A = \frac{\Delta A - \Delta A_0}{\Delta A_0} \times 100\%$$

式中 δ_A——微分增益指示误差；

ΔA——微分增益标称值；

ΔA_0——微分增益实测值。

(5) 面板微分增益度盘置于不同的标称值，用上述方法测出各档的误差值。

8. 微分相位指示误差 δ_φ

differential phase

用电视非线性失真测试仪测试电视通道的微分相位时，其度盘指示微分相位值的误差。

技术水平： 测量范围 0～11°，±5%。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 33-23。

采用基准脉冲比较法进行读数的电视非线性失真测试仪微分相位指示误差采用这种方法测试。

(2) 标准副载波发生器输出频率为 4.433619MHz，电压为 1 伏峰-峰值的正弦波，可调频率的正弦波发生器输出频率为 4.463 MHz 电压为 1 伏峰-峰值的正弦波，经标准衰减器在混合网络上两信号混合，经 6dB 衰减器，形成了两个频率相差不大，幅度比为定值 (即为标准衰减器衰减量 X)的叠加信号，此信号的相位变化最大值为定值，作为校准被测电视非线性失真测试仪的微分相位基准脉冲的校准信号，送到被测电视非线性失真测试仪，此标准信号送到被测仪器内相位检波器与锁定于该信号的标准副载波上副载波进行比相检波，相位检波器输出的检波电平比例于相位差，此检波电平经开关电路与叠加在消隐期间微分相位基准脉冲进行比较，这两个信号经放大器放大输出，接到示波器，观察这两个信号电平是否一样，若两个信号电平一样，已知的叠加信号相位的最大值定义为基准脉冲所代表的微分相位值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

微分相位基准脉冲校准计算公式：

$$\Delta\varphi = 2\arcsin\frac{1}{\text{anti}\lg\frac{X}{20}}$$

式中 $\Delta\varphi$——微分相位值；

X——叠加后两个不同频率正弦波幅度比值的分贝数(dB)即标准衰减器衰减量。

(3) 校准时，两个正弦波发生器输出幅度要一样，被测电视非线性失真测试仪要按下"微分相位"按键和"同步锁定"按键，适当调节"微分相位"幅度旋钮，使幅度不失真、调节"基准位置"旋钮使相位检波后的波形包络零点与基准脉冲基线一致。

当基准脉冲的幅度与波形包络线不一致时，适当增加或减少标准衰减器的衰减量，使其幅度一致，此时标准衰减器的衰减量即为公式中X值。由公式计算出的$\Delta\varphi$值即为基准脉冲所代表的DP值的实测值φ_0，微分相位基准脉冲所代表微分相位标称值在面板度盘上标出。

被测电视非线性失真测试仪微分相位指示误差计算公式为：

$$\delta_\varphi = \frac{\varphi - \varphi_0}{\varphi_0} \times 100\%$$

式中 δ_φ——微分相位指示误差；

φ——微分相位标称值；

φ_0——微分相位实测值。

(4) 被测仪器微分相位度盘置于不同标称值，可测出各档位置的指示误差值。

9. 色度-亮度增益差指示误差 Δ_1

chrominance-luminance gain inequality

用彩色增益和延迟测试仪测试电视通道的色度-亮度增益差时，其度盘指示色度-亮度增益差的误差。

技术水平：测量范围−5.5dB～+5.5dB，±0.1dB。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图33-24。

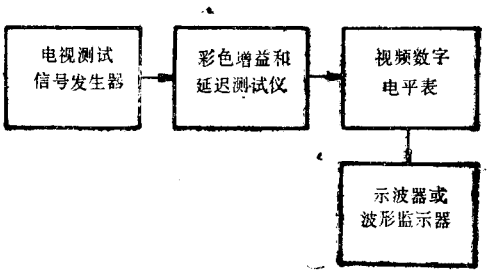


图 33-24

(2) 电视测试信号发生器输出正弦平方脉冲和条脉冲信号，被测彩色增益和延迟测试仪的彩色增益粗调和细调置于0dB档，由视频数字电平表读出条脉冲中部电平值U_0。

(3) 将彩色增益调节开关置于ΔK档，由视频数字电平表读出条脉冲中部电平值U，色度-亮度增益差实测值

$$\Delta K_0 = 20\lg\frac{U}{U_0}\ (\text{dB})$$

(4) 色度-亮度增益差的指示误差计算公式如下：

$$\Delta_1 = \Delta K - \Delta K_0\ (\text{dB})$$

式中 Δ_1——色度-亮度增益差的指示误差(dB)；

ΔK——彩色增益度盘标称值(dB)；

ΔK_0——色度-亮度增益差实测值(dB)。

(5) 测试时，先测彩色增益细调各档，ΔK从−0.5dB～+0.5dB，以0.1dB步进，然后，测试彩色增益粗调各档ΔK从−5dB到+5dB，以1dB步进。

10. 色度-亮度时延差指示误差 Δ_2

crominance-luminance delay inequality

用彩色增益和延迟测试仪测试电视通道的色度-亮度时延差时，其度盘的指示误差。

技术水平：测量范围−110ns～+110ns，±2～3ns。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图33-25。

(2) 由正弦波信号发生器输出频率为

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

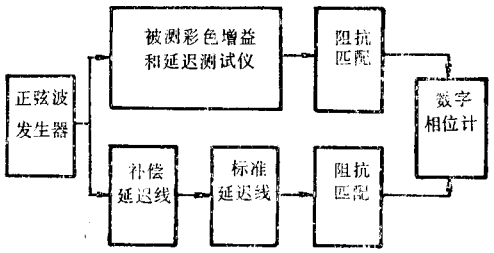


图 33-25

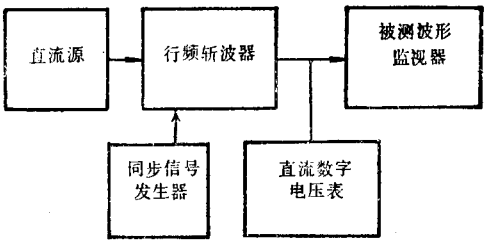


图 33-26

500kHz 电压为 1 伏峰-峰值正弦波。被测彩色增益和延迟测试仪彩色粗调置于 0ns 档，标准延迟线置于 0ns 档，调节补偿延迟线的时延量使两通道时延一致，数字相位计指示为 0。

(3) 将被测彩色增益和延迟测试仪的彩色延迟开关置标称值为 $\Delta\tau$ 档，此时数字相位计指示不为 0，改变标准延迟线的时延量，直至数字相位计指示为 0，读出标准延迟线时延改变量为 $\Delta\tau_0$，$\Delta\tau_0$ 即为色度-亮度时延差的实测值。

(4) 此档色度-亮度时延差的指示误差计算公式为：

$$\Delta_2 = \Delta\tau - \Delta\tau_0$$

式中 Δ_2——色度-亮度时延差的指示误差(ns)；

$\Delta\tau$——色度-亮度时延差标称值(ns)；

$\Delta\tau_0$——色度-亮度时延差实测值(ns)。

(5) 测试时，先测彩色延迟粗调各档，$\Delta\tau$ 从 +110ns～−110ns 以 20ns 步进，然后测试彩色延迟细调，$\Delta\tau$ 从 −10ns～+10ns，连续可调。

11. 垂直电压指示误差 δ_3

vertical voltage

波形监视器测试标准电压时电压指示的误差。

技术水平：±1%。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 33-26。

(2) 被测电视波形监视器电压满显示开关置于 1.0，用仪器内校正信号 1.000V 进行垂直系统增益校正，调整“增益校正”使波形幅度达到 1.000V 显示刻度线。

(3) 行频斩波器置于交替状态，直流源输出高稳定直流电压经过行频斩波器输出脉冲信号加到被测波形监视器，若在电视波形监视器上显示与满度显示刻度线重合，则脉冲幅度 V_0 为满度显示实测值。

(4) 将行频斩波器置于接通稳态，直流数字电压表指示为 V_1，将行频斩波器置于接地稳态直流数字电压表指示为 V_2，则被测波形监视器输入端脉冲幅度为：

$$V_0 = V_1 - V_2$$

被测波形监视器满显示垂直电压幅度误差计算公式：

$$\delta_3 = \frac{V - V_0}{V_0} \times 100\%$$

式中 δ_3——被测波形监视器垂直满显电压幅度误差；

V_0——满显示幅度实测值；

V——满显示幅度标称值。

(5) 用同样方法测试满显示为 500mV 和 200mV 档。

(6) 测试方法二，采用示波器校准仪来测试。

12. 共模抑制比 Δ_3

common-mode rejection ratio

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

把同样电压加入输入端A和B，屏幕显示值与A-B时屏幕显示值之比。

技术水平：100kHz以下，至少 46dB。

测试方法：

（1）测试仪器连接如图33-27。

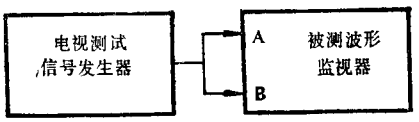


图 33-27

（2）被测波形监视器输入选择开关置A-B，AC耦合，电压满显示开关置0.2，电视测试信号发生器输出多波群信号，电压为U_1（峰-峰值1伏），检查波形监视器屏幕显示的幅度值U_2，共模抑制比计算公式：

$$\Delta_3 = 20\lg\frac{U_1}{U_2}$$

式中 Δ_3——共模抑制比

U_1——输入电压值

U_2——显示电压值

13. 振幅-频率特性 Δ_4

amplitude-frequency characteristic

输入端幅度不变，改变频率时，波形监视器显示幅度的变化特性。

技术水平：±2% 50Hz～6MHz

测试方法：

（1）测试仪器连接如图33-28。

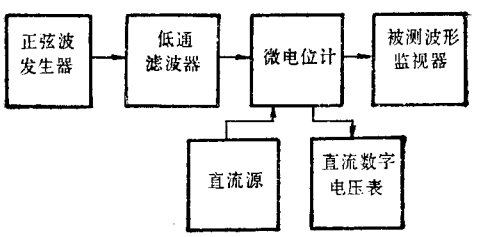


图 33-28

（2）被测波形监视器输入选择开关调到A（或B），电压满显示选择开关调到0.5，频响选择开关调到"宽带"。

（3）正弦波发生器输出频响测试基准频率f_0（100kHz）正弦波，经微电位计加到被测波形监视器，调正弦波发生器输出电压使波形监视器显示波形达到满显示刻度线上，记住此时微电位计热电输出电压值U，然后用直流源输出直流电压代替正弦波发生器输入到微电位计，当微电位计热电输出电压值也为U时，由直流数字电压表读这时直流源输出直流电压值设为V_0，即为输入到被测波形监视器输入端正弦波有效值。

（4）正弦波发生器输出频率改为频响测试点频率f_1，调正弦波发生器输出电压，使被测波形监视器显示高度达到满显示刻度线上，用前述同样有效值比较法读出加到被测波形监视器输入端正弦波电压有效值，设为V_1。

（5）振幅频率特性计算公式为：

$$\Delta_4 = 20\lg\frac{V_0 - V_1}{V_0}\ (\text{dB})$$

式中 Δ_4——测试点振幅频率特性波动值，dB；

V_0——基准频率点输入电压值，mV；

V_1——测试频率点输入电压值，mV。

14. 扫描时间指示误差

sweep time

波形监视器测试标准时间信号时，时间指示的误差。

技术水平：±2%。

测试方法：

（1）测试仪器连接如图33-29。

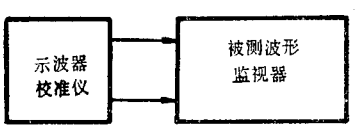


图 33-29

（2）被测波形监视器扫描扩展置×1，同步置"外"，扫描时间置10μs/格，示波器校准仪置

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

10μs，调节被测波形监视器“水平位移”和示波器校准仪“T 偏差”旋钮，使波形两端分别与水平刻度的左右两端重合，此时示波器校准仪“偏差”表头的指示值即为扫描时间误差。

（3）用同样方法测试 5μs/格的扫描时间误差。

15. 扫描线性误差

scanning linearity

波形监视器水平扫描偏离线性扫描的程度。

技术水平：±2%。

测试方法：

（1）测试仪器连接同图 33-29。

（2）使被测波形监视器显示 11 个波峰，读出第 2 个波峰至第 10 个波峰在水平刻度线上的实际宽度 e，并分别读出首尾两个波形的宽度 b 和 c，则：

$$扫描线性误差=\frac{e-8b}{e}\times 100\%$$

$$或\quad =\frac{e-8c}{e}\times 100\%$$

式中 e——第 2 至第 10 波峰间的实际宽度；

b——第 1、2 波峰间实际宽度；

c——第 10、11 波峰间实际宽度。

16. 矢量相位准确度 ΔP_1

vector phase

矢量示波器测试色度相位的准确度。

技术水平：≤1°

测试方法：

（1）测试仪器连接如图 33-30。

（2）被测矢量示波器相位基准开关置于“外”，副载波信号发生器输出的副载波，一路作相位基准，另一路经移相器、衰减器加到被测矢量示波器 A 通道。调整移相器使相位计读数为零。调整衰减器使被测矢量示波器显示屏上亮点与刻度盘圆形线重合。转动被测矢量示波器

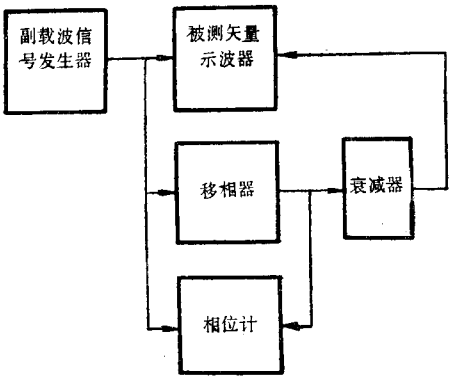


图 33-30

A 通道相位旋钮使亮点与刻度盘上零刻度点相重合。

（3）调整移相器使亮点依次与刻度盘上标称值 P(10°,20°,···,360°) 相重合，用相位计测量相应各点的相位值，此为相位实测值 P_0。

（4）重新校正零点坐标，调整移相器和衰减器使亮点依次与刻度盖上标称值 P(b12.9°; MG60.7°; cy76.5°; R103.5°; g119.3°; 100% 135.0°; YL167.1°; yl 192.9°; 100% 225.0°; G 240.7°; r256.5°; CY 283.5°; mg 299.3°; B347.1°) 相重合。用相位计分别测量相应各点相位实测值 P_0。

（5）矢量相位误差计算公式：

$$\Delta P_1 = P - P_0$$

式中 ΔP_1——矢量相位误差；

P——相位标称值；

P_0——相位实测值。

（6）在 B 通道重复上述测量。

17. 矢量增量准确度 ΔP_2

vector incremental accuracy

矢量示波器刻度盘上 b、B、mg、MG、cy、CY、r、R、g、G、yl、YL 各点正负增量刻度线指示准确度。

技术水平：±0.5°。

测试方法：

（1）测试仪器连接同图 33-30。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 调整移相器使相位计读数为零。

(3) 调整衰减器转动A通道相位旋钮使被测矢量示波器显示屏幕上亮点与刻度盘b点相重合。

(4) 增大移相器相位，使亮点与刻度盘上相位增量刻度线相重合，用相位计读出对应正增量值的相位实测值 P_0。

(5) 减小移相器相位，使亮点与刻度盘上相位增量另一刻度线相重合。用相位计读出对应负增量值的相位实测值 P_0。

(6) 矢量增量准确度计算公式：

$$\Delta P_2 = P - P_0$$

式中 ΔP_2——矢量增量准确度；

P——相位增量标称值；

P_0——相位增量实测值。

(7) 按上述方法测出 B、mg、MG、cy、CY、Cr、r、R、g、G、yl、YL 各点矢量增量准确度。

18. 校准相位准确度 ΔP_3

calibrated phase accuracy

矢量示波器的校准相位指示度盘指示的准确度。

测试方法：

(1) 测试仪器连接同图 33-30。

(2) 调整移相器使相位计读数为零。

(3) 调整衰减器使被测矢量示波器显示屏上亮点与刻度盘上圆形线相重合。

(4) 将被测矢量示波器校准相位度盘置于零。

(5) 转动被测矢量示波器A通道相位旋钮使亮点与刻度盘上零刻度点重合。

(6) 将被测矢量示波器校准相位度盘置于2°(P)，调整移相器使亮点与刻度盘上零刻度点重合，记下相位计的读数 P_0，为实测值。

(7) 校准相位准确度计算公式：

$$\Delta P_3 = P - P_0$$

式中 ΔP_3——校准相位准确度；

P——校准相位标称值；

P_0——校准相位实测值。

(8) 校准相位依次置于4°、6°、8°、10°、12°、14°、−2°、−4°、−6°、−8°、−10°、−12°、−14°按上述方法测出各点校准相位准确度。

19. 正交相位调整范围

quadrature phase ajustment range

矢量示波器正交相位调整电位器能够调整正交相位的最大范围。

测试方法

(1) 测试仪器连接如图 33-31。

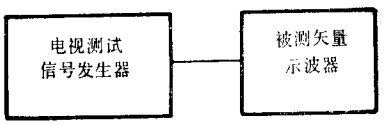


图 33-31

(2) 将电视测试信号发生器输出标准彩条信号送到被测矢量示波器A输入端。

(3) 压下被测矢量示波器通道 A 及 PAL 矢量按键，并将校准相位度盘置零。

(4) 抑制彩条信号U分量，转动通道A相位旋钮使g对应的亮点与V轴重合。

(5) 恢复彩条信号U分量，抑制V分量，调整正交相位电位器，使g对应的亮度与U轴重合。

(6) 顺时针调整正交相位电位器到底，并调整校准相位电位器使亮点重新与U轴重合，记下对应的校准相位度盘的指示值 P_1。然后，逆时针调整正交相位电位器到底按同样方法测出 P_2，则 $P_1 - P_2$ 即为正交相位调整范围。

20. 色度带宽

subcarrier bandwidth

矢量示波器通道A或B以副载波4·43361875MHz为中心频率，频率增大至幅度下降3dB的频率为色度带宽上限频率值，频率减少至幅度下降3dB的频率为色度带宽下限

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

频率值。

测试方法

(1) 测试仪器连接如图 33-32。

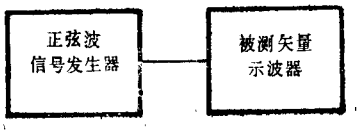


图 33-32

(2) 将正弦波信号发生器输出4·43361875 MHz 信号接入被测矢量示波器通道 A 输入端，并压下通道 A 的按键。

(3) 调整正弦波信号发生器输出电平，使被测矢量示波器显示屏上的亮线(点)与刻度盘圆形线相重合。

(4) 将正弦波信号发生器的输出增加 3dB，并减少其频率，使亮线与圆形线重新重合，记下此时正弦波发生器的频率值 f_{10}。然后增加正弦波信号发生器频率，使亮线与圆形线再次重合，记下此时正弦波信号发生器的频率值 f_{20}。

上限频率误差 $\Delta f = f_2' - f_2$

下限频率误差 $\Delta f = f_1' - f_1$

式中 f_2'——上限频率标称值；

f_2——上限频率实际值；

f_1'——下限频率标称值；

f_1——下限频率实际值。

21. R、G、B 彩色解码准确度 δ_R、δ_G、δ_B

R、G、B colour decoding accuracy

矢量示波器对色度信号进行彩色解码，当 R、G、B 在屏幕上显示为规定值时，输入端色度信号幅度相对标称值的偏差。

技术水平：≤±3%。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 33-33。

(2) 电视测试信号发生器输出 R 彩色编码信号(色度幅度可调，Y = 0)加入被测矢量示波器通道 A 输入端，通道 A 的另一环通输入端经 75Ω 与示波器输入端相连，压下通道 A 与 R 按键，调整通道 A 的相位旋钮，以得到最佳解码。

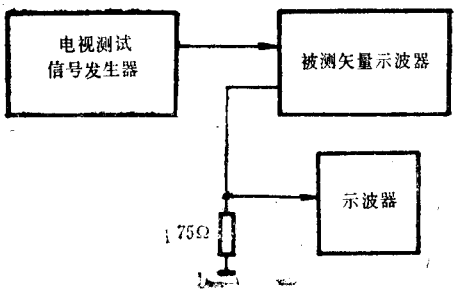


图 33-33

(3) 改变电视测试信号发生器输出色度信号幅度，并调整被测矢量示波器垂直位置电位器，使被测矢量示波器显示屏上显示的 R 解调信号与刻度盘上“75% 条”的底线和顶线分别重合，用示波器测出此时被测矢量示波器输入端的色度信号峰-峰值 r(mV)，按下式计算 R 彩色解码的幅度误差：

$$\delta_R = \frac{r_0 - r}{r} \times 100\%$$

式中 δ_R——R 彩色解码的幅度误差；

r——R 解码输出信号为 525mV 时，色度信号幅度实际值，mV；

r_0——色度信号幅度的标称值，947mV。

(4) 用同样方法测量 B 彩色解码的幅度误差，由示波器测出此时被测矢量示波器输入端的色度信号峰-峰值 b(mV)，按下式计算 B 彩色解码的幅度误差：

$$\delta_B = \frac{b_0 - b}{b} \times 100\%$$

式中 δ_B——B 彩色解码幅度误差；

b——B 解码输出信号为 525mV 时，色度信号幅度的实际值，mV。

b_0——色度信号幅度的标称值，531mV。

(5) 对 G 彩色解码的幅度误差进行测量时，应使被测矢量示波器显示屏幕上显示的 G 解码信号幅度为 3 格，记下此时用示波器测得

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

被测矢量示波器输入端的G色度信号峰-峰值g(mV)，由下式计算G彩色解码的幅度误差：

$$\delta_G = \frac{g_0 - g}{g} \times 100\%$$

式中 δ_G——G彩色解码幅度误差；

g——G解码输出信号为300mV时，色度信号幅度的实际值，mV；

g_0——色度信号幅度的标称值，857mV。

(6) 在通道B重复上述测量

22. 亮度通道振幅频率特性

luminance amplitude-frequency characteristic

矢量示波器输入端正弦波幅度维持不变，改变频率时，矢量示波器亮度通道显示的幅度变化特性。

测试方法

(1) 测试仪器连接同图33-33。

(2) 电视测试信号发生器输出叠加有100kHz正弦波的全电视信号，加入被测矢量示波器通道A输入端，压下被测矢量示波器的通道A、Y按键，改变其亮度增益和垂直位置，使被测矢量示波器显示屏上显示正弦波峰-峰幅度为n_0格(如7格)。

(3) 由示波器监视，改变正弦波频率为1MHz，读取此时被测矢量示波器显示屏上正弦波峰-峰值幅度为n格，由下式计算亮度通道在1MHz的振幅频率特性误差A_r：

$$A_r = 20\lg\frac{n}{n_0}\ (\mathrm{dB})$$

(4) 在通道B重复上述测试。

23. 亮度增益误差 r

luminance gain

矢量示波器亮度通道屏幕刻度盘指示规定值时，矢量示波器输入端亮度信号幅度与标称值的误差。

测试方法

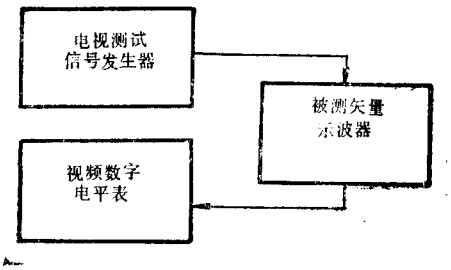


图 33-34

(1) 测试仪器连接如图33-34。

(2) 电视测试信号发生器输出全白信号(电平可调)加入被测矢量示波器通道A输入端。通道A的另一环通输入端与视频数字电平表连接，压下被测矢量示波器的通道A、Y按键，调整其垂直位置电位器使显示的同步顶线与刻度盘上标有"0"的刻度相重合。

(3) 调整电视测试信号发生器的全白信号电平使Y信号的顶部亮线与刻度盘上标有"100"的刻度线重合。由视频电平表测试此时视频信号的同步信号电平与白信号电平之和d(mV)。亮度增益误差计算公式如下式：

$$r = \frac{d_0 - d}{d} \times 100\%$$

式中 r——亮度增益误差；

d_0——亮度信号幅度标称值，1000mV；

d——亮度幅度实际值。

(4) 在通道B重复上述测量。

24. 阶梯波非线性失真 ΔA_1

staircase non-linear distortion

电视测试信号发生器输出阶梯波自身的非线性失真。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图33-35。

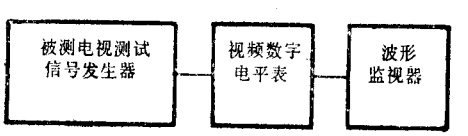


图 33-35

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 被测电视信号发生器输出行频阶梯波，送到视频数字电平表用波形监视器观察测试位置标志。

(3) 视频数字电平表选行测试，改变“延迟”旋钮，使测试位置标志在阶梯波各阶的中部，读出各阶的电平，并算出各台阶幅度值设最大值为 A_{max}，最小值为 A_{min}。

(4) 阶梯波非线性失真 ΔA_1 计算公式：

$$\Delta A_1 = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max}} \times 100\%$$

25. 色度三电平幅度准确度 L

three-level chrominance bar

电视测试信号发生器输出色度三电平信号幅度的准确度。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 33-36。

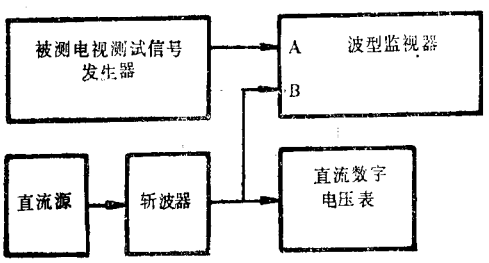


图 33-36

(2) 被测电视信号发生器输出行重复色度三电平信号送到波形监视器 A 输入，波形监视器置外同步。输入端置于 DC 耦合 A-B 位置，频响置于平坦位置，满显示置 1.0 位置。直流源高稳定直流电压经处于交替状态的斩波器形成方波送到波形监视器 B 输入，调节垂直位移、水平位移，在波形监视器屏幕上显示清晰稳定的两个色度三电平波形。

(3) 将波形监视器满显示开关置于 0.2 位置，调节斩波器输出电压使两个色度三电平信号最大电平段上一个信号底部与另一个信号顶部相重合，这时波形监视器 B 输入端方波幅度视为色度三电平最大色度电平的峰峰值，用同样方法可测试另外二个色度电平值。

(4) 方波幅度读取方法

将斩波器置于接通稳态，直流数字电压表读数为 V_1，将斩波器置于“接地”稳态，直流数字电压表读数为 V_2，则方波幅度 $V_0 = V_1 - V_2$。

(5) 色度三电平信号幅度准确度计算公式为：

$$L = \frac{V - V_0}{V_0} \times 100\%$$

式中 L——色度三电平信号幅度准确度；

V——色度三电平中一电平标称值，mV；

V_0——色度三电平中一电平实测值，mV。

26. 正弦平方脉冲和条脉冲宽度行场同步脉冲宽度

sine squared pulse and bar width、line sync pulse width、field sync pulse width

电视测试信号输出正弦平方脉冲和条脉冲、行场同步脉冲的半幅度宽度。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 33-37。

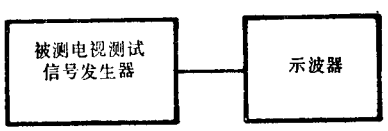


图 33-37

(2) 被测电视信号发生器输出正弦平方脉冲和条脉冲信号，送到示波器，由示波器读出正弦平方脉冲和条脉冲半幅宽度和及场同步脉冲半幅宽度。

27. 多波群幅度

multiburst signal amplitude

电视测试信号发生器输出多波群信号的幅度。

测试方法：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

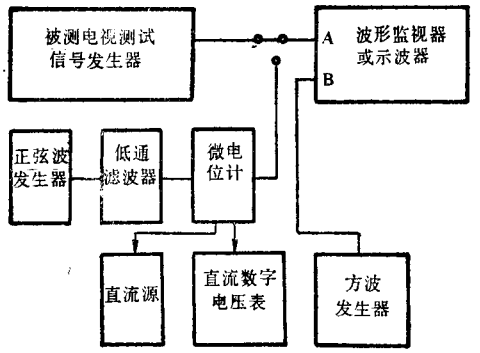


图　33-38

(1) 测试仪器连接如图 33-38。

(2) 被测电视测试信号发生器输出多波群信号，送到波形监视器 A 输入，波形监视器置于外同步，输入端置于 DC 耦合，"*A-B*"位置，频响置平坦位置，满显示开关置于 0.2 位置。

方波发生器脉冲送到波形监视器 B 输入；调节方波发生器脉冲幅度直至两个多波群信号待测频率段一个顶部与另一个底部重合。

然后，把波形监视器 A 输入端改接到微电位计的输出端，正弦波信号发生器输出待测频率的正弦波经低通滤波器微电位计送到波形监视器 A 输入，改变正弦波发生器输出电压直至波形监视器两个正弦波一个底部与另一个顶部重合。这时微电位计输出正弦波峰-峰值就等于待测频率多波群的峰-峰值。记下此时微电位计热电输出电压值 E，用直流源输出直流电压代替正弦波发生器输出的正弦波加到微电位计，调整直流电压直至微电位计热电输出电压值也为 E，由直流数字电压表读出此时直流电压值，即为正弦波电压有效值，按正弦波有效值与峰-峰值换算关系，可求得正弦波峰-峰值，即为多波群待测频率的峰-峰值。

(3) 用同样方法可测出多波群各频率的峰-峰值。

28. 多波群频率

multiburst signal frequency

电视测试信号发生器输出多波群信号各段的频率。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 33-39。

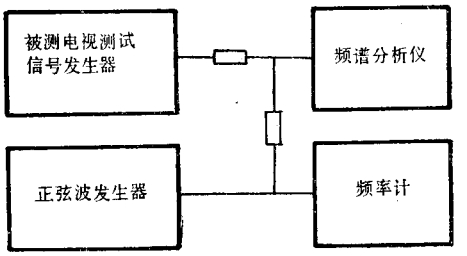


图　33-39

(2) 被测电视信号发生器输出多波群信号加到频谱分析仪显示出多波群的频谱谱线，正弦波发生器输出正弦波也加到频谱分析仪，改变正弦波频率，使之在频谱分析仪上显示谱线与待测多波群频率谱线相重合，由频率计读出此时正弦波发生器输出正弦波的频率，即为多波群待测频率值。

29. 场方波倾斜　ΔL

field square wave tilt

电视测试信号发生器输出场方波信号的顶部跌落。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 33-40。

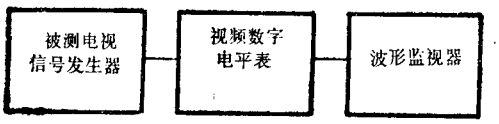


图　33-40

(2) 被测电视信号发生器输出 50Hz 方波，加到视频数字电平表，其视频监示输出加到示波器观察标志位置，调整视频数字电平表行选择器和延迟旋钮，直到标志在场方波起始点之后 250μs（第四行内）由视频数字电平表读出此时电平值 L_{10}

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 将标志移置场方波中点，由视频数字电平表读出场方波中点电平值 L。

(4) 将标志移置场方波终点之前250μs(约四行)，读出此时电平值 L_2。

(5) 场方波倾斜计算公式为：

$$\Delta L = \frac{L_1 - L}{L} \times 100\%$$

或

$$\Delta L = \frac{L - L_2}{L} \times 100\%$$

30. 250kHz 方波过冲

250kHz square wave overshoot

电视测试信号发生器输出的250kHz方波的过冲。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图33-37。

(2) 被测电视测试信号发生器输出250kHz方波，由示波器读出方波中部幅度 L，预冲 a_1，上冲 a_2，下冲 a_3，则：

$$过冲失真 = \frac{a}{L} \times 100\%$$

式中 a——a_1、a_2、a_3 中最大值；

L——方波幅度。

31. 平场信号幅度

field signal amplitude

电视测试信号发生器输出平场信号的幅度。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图33-40。

(2) 用视频数字电平测试平场信号中部幅度。

32. 行同步频率

line sync frequency

电视测试信号发生器输出行同步脉冲的频率。

测试方法：用频率计测试行同步频率。

33. 行、场同步脉冲幅度

line sync pulse amplitude

field sync pulse amplitude

电视测试信号发生器输出行同步脉冲和场同步脉冲的幅度。

测试方法

(1) 按图33-40连接测试仪器。

(2) 用视频数字电平表测试行、场同步脉冲中部幅度。

34. 色同步幅度

colour burst amplitude

电视测试信号发生器输出的色同步信号的幅度。

测试方法：

(1) 按图33-36连接测试仪器。

(2) 按测试色度三电平幅度的方法测试色同步幅度。

35. 色同步相位

colour burst phase

电视测试信号发生器输出的色同步信号的相位。

测试方法：

(1) 按图33-41连接测试仪器。

(2) 由矢量示波器测试电视测试信号发生器 N 行或 P 行色同步矢量的误差。

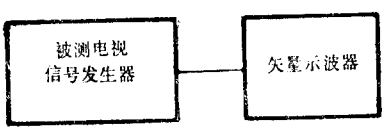


图 33-41

36. 彩色色度相位和色同步相位

chrominance phase and colour burst phase

彩色色度相位是电视图像信号发生器输出彩色信号的色度信号的相位。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

色同步相位是电视图像信号发生器输出色同步信号的相位。

测试方法：

(1) 测试仪器按图 33-41 连接。

(2) 被测电视图像信号发生器输出彩条信号，用矢量示波器进行测试。

(3) 色同步相位测量以 U 分量为基准，在矢量示波器矢量图上读出 N 行或 P 行相应的相位值。

若无 U 分量输出，将色同步矢量调到对称于矢量示波器 U 轴，然后在矢量示波器矢量图上读出 N 行或 P 行相应的相位值。

(4) 将彩色信号加到矢量示波器在矢量示波器矢量图上读出相应的相位值。

37. 灰度电平幅度

grey level amplitude

电视图像信号发生器输出灰度电平的幅度。

测试方法：

(1) 测试仪器按图 33-40 连接。

(2) 被测电视图像信号发生器输出灰度电平，加到视频数字电平表进行测量，测试灰度条中部电平值，由波形监视器屏幕上标志观察测试点位置。

38. 清晰度线信号幅度和频率

definition signal amplitude definition signal frequency

电视图像信号发生器输出清晰度线信号的幅度和频率。

测试方法：

(1) 将示波器高阻输入端接一75Ω 终端再接至被测电视图像信号发生器。

(2) 被测电视图像信号发生器输出水平清晰度线信号，用示波器进行直接测量幅度和周期 T。

(3) 清晰度线各波群频率误差计算公式：

$$\Delta f = \left(\frac{f_{标}}{f_0} - 1\right) \times 100\%$$

式中：Δf——清晰度线频率误差，%；

$f_{标}$——清晰度线频率标称值，MHz；

f_0——清晰度线频率实测值，

$$f_0 = \frac{1}{T}\ \text{MHz}。$$

(4) 清晰度线各波群幅度误差计算公式：

$$\Delta U_1 = \left(\frac{U_{max}}{U_0} - 1\right) \times 100\%$$

$$\Delta U_2 = \left(\frac{U_{min}}{U_0} - 1\right) \times 100\%$$

式中 ΔU_1——幅度的正误差；

ΔU_2——幅度的负误差；

U_{max}——波群最大幅值，mV；

U_{min}——波群最小幅值，mV；

U_0——波群幅度标准值，U_0=700mV。

39. 行倾斜

line tilt

电视图像信号发生器输出白信号顶部形状的变化。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图 33-40。

(2) 用视频数字电平表测试电视图像信号发生器输出的白信号在有效行期间脉冲中部幅度 L，离前沿 1μs 处幅度 L_1 和离后沿 1μs 处幅度 L_2。

(3) 设 $b_1 = L_1 - L$，$b_2 = L - L_2$，行倾斜 Δb 计算公式为：

$$\Delta b = \frac{b}{L} \times 100\%$$

式中 b——是 b_1、b_2 中较大值，mV；

L——脉冲中部电平，mV；

Δb——行倾斜。

40. 副载波频率

subcarrier frequency

电视信号发生器输出的副载波频率。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：

(1) 频率计直接接到电视信号发生器副载波输出端。

(2) 由频率计直接读出副载波频率。

41. 信噪比(电视图像信号发生器)

signal-to-noise ratio

亮度信号幅度标称值与带宽限制后测得的随机噪声幅度有效值之比。

测试方法：

(1) 用视频噪声测试仪直接接到被测电视信号发生器的输出端。

(2) 被测电视信号发生器输出全白、全黑或50%灰色信号进行测量。

(3) 测试时，视频噪声测试仪置"内消隐""有效值"位置，加上视频低通滤波器。由视频噪声测试仪直接读出不加权随机噪声信噪比dB值。

42. 中频三信号发生器输出频率 f_V、f_A、f_S

three IF signal generator output frequency

中频三信号发生器输出的图像中频频率、伴音中频频率和副载波中频频率。

测试方法：

(1) 将被测中频三信号发生器输出直接接到数字频率计。

(2) 被测中频三信号发生器"调制"旋钮置于"连续波"，由数字频率计分别测出图像中频 f_V，伴音中频 f_A 和副载波中频 f_S 的频率。

43. 中频三信号发生器输出电平 δ_V

three IF signal generator output level.

中频三信号发生器输出的图象中频的幅度，伴音中频的幅度和副载波中频的幅度。

测试方法：

(1) 测试仪器连接如图33-42。

(2) 采用比较法测量中频三信号输出电平。

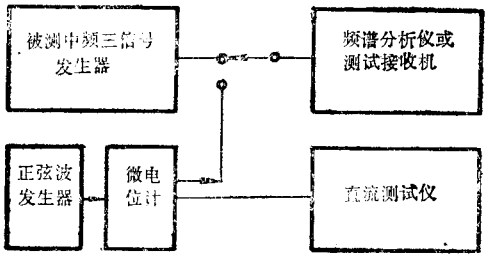


图 33-42

被测中频三信号发生器输出送到频谱分析仪(或测量接收机)，其调制开关置"连续波"，"二信号"置空档，衰减器全部置0，转动表头指示开关于"F_V"，调节对应的输出幅度，使表头指针指在"CW"位置。此时，用频谱分析仪(或测量接收机)测试图像中频输出电平有一指示值 E，然后，将正弦波发生器输出正弦波经微电位计加到频谱分析仪(或测量接收机)，调正弦波发生器输出频率跟图像中频频率一样，改变正弦波发生器输出电压。使频谱分析仪(或测量接收机)指示电平也为 E，记下此时微电位计热电势值 U，用交直流替代法。读出微电位计输出图像中频电压值 V_N。

中频三信号发生器图像中频输出电平误差计算公式如下，

$$\delta_V = 20\lg \frac{V_0 - V_N}{V_N}$$

式中 δ_V——图像中频输出电平误差，dB；

V_0——图像中频输出电平标称值，mV；

V_N——图像中频输出电平实测值，mV。

用同样方法测试衰减器处于不同位置时，图像中频输出电平误差。

(3) 按上述方法，测出伴音中频和副载波中频输出电平误差。

44. 互调(电视中频三信号发生器)

intermodulation

中频三信号发生器输出信号中除图像中频、伴音中频和副载波中频三个分量外，其它频率分量大小与图像中频分量之比值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：

(1) 将被测中频三信号发生器输出接到频谱分析仪输入端(50Ω 输入阻抗)。

(2) 被测中频三信号发生器调制旋钮置"连续波"，衰减器置 0，"二信号"开关置空档，转动表头指示开关于"F_V"、"F_A"、"F_S"，分别调节对应的输出幅度，使表头指针指在 CW 位置，这时直接由频谱分析仪萤光屏上读出除了图像中频、伴音中频和副载波中频三个分量以外的互调分量。

45. 输出频率　δ_f

output frequency

电视频道信号发生器输出频道频率。

测试方法：

(1) 将数字频率计接至被测电视频道信号发生器频道输出端。

(2) 由数字频率计读出被测电视频道信号发生器实测频率值 f_0。

(3) 输出频率准确度计算公式：

$$\delta_f = \frac{f - f_0}{f_0}$$

式中　δ_f——待测频率准确度；

f——待测频率标称值；

f_0——待测频率实测值。

(4) 电视频道信号发生器需要测试输出频率为：

① VHF 频道频率 1～12 频道。

② UHF 频道频率 13～57 频道。

③ 中频调制器图像中频和伴音中频频率。

46. 输出功率

output power

电视频道信号发生器输出的同步顶功率。

测试方法：

(1) 测试仪器按图 33-43 连接。

(2) 电视测试信号发生器输出 1V 全白视频信号，中频调制器输出电平 $1V_{rms}$，调制度

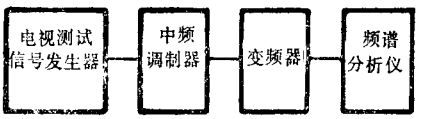


图　33-43

87.5%，群时延预校置断，伴音中频置断，边带选择置"残留边带"，变频器输出频道信号加到频谱分析仪。由显示屏可读出同步顶功率分贝值。

47. 微分增益　DG

differential gain

将恒定小幅度的彩色副载波叠加在不同电平的亮度信号上，并加至被测电视频道信号发生器视频输入端，当亮度信号从消隐电平到白电平，而平均图像信号电平保持在某一特定值时，由电视解调器将电视射频信号进行解调。输出端副载波幅度相对于消隐电平上副载波幅度的变化值称为微分增益。

测试方法：

(1) 测试仪器按图 33-44 连接。

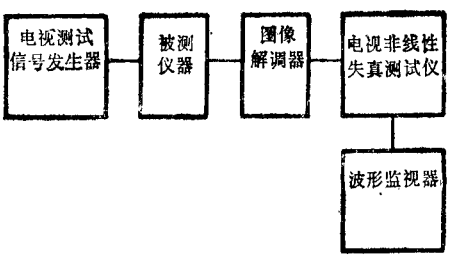


图　33-44

(2) 电视测试信号发生器输出叠加副载波阶梯波信号送到被测电视频道信号发生器，经标准解调器输出，由电视非线性失真测试仪直接读出微分增益值。

48. 微分相位　DP

differential phase

将未经相位调制的恒定小幅度彩色副载波叠加在亮度信号上，并加到被测电视频道信号

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

发生器视频输入端，当亮度信号从消隐电平变到白电平，而平均图像电平保持在某一特定值时，经标准图像解调器解调，输出端副载波的相位相对于消隐电平上副载波相位变化值称为微分相位。

测试方法：

（1）测试仪器按图 33-44 连接。

（2）电视测试信号发生器输出叠加副载波阶梯波信号送到被测电视频道信号发生器。经标准解调器解调输出，送到电视非线性失真测试仪直接读出微分相位值。

49. 互调(电视频道信号发生器)

intermodulation

当图像峰值功率与伴音载波功率之比为10:1时，以图像峰值功率为参考电平。f_V、f_S、f_{SC} 三音信号按比例 $P_V=-8$dB，$P_S=-10$dB、$P_{SC}=-16$dB 送入，带内互调分量与图像峰值功率之比。

测试方法：

（1）测试仪器按图 33-45 连接。

图 33-45

（2）电视频道信号发生器的变频器产生的互调失真。用中频三信号发生器输出图像中频、伴音中频和副载波中频信号送到变频器。变频器输出送频谱分析仪，由频谱分析仪测出互调失真。

50. 信噪比(电视频道信号发生器) S/N

signal-to-noise ratio

随机噪声信噪比为亮度信号幅度与带宽限制后随机噪声幅度有效值之比。用 dB 表示。

其计算公式：

$$S/N=20\lg\frac{\text{亮度信号幅度的标称值}}{\text{随机噪声幅度的有效值}}\text{dB}$$

测试方法：

（1）测试仪器按图 33-46 连接。

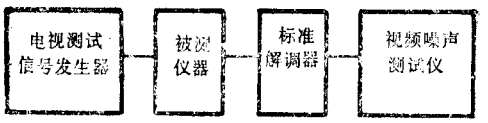


图 33-46

（2）电视测试信号发生器输出全白信号(1V)送至被测电视频道信号发生器，其输出经标准解调器解调，由视频噪声测试仪测试视频噪声。测试时，视频噪声测试仪工作方式置于“V_{rms}”，滤波器置于“10kHz 高通”，视频—f_s 低通，副载波陷波器置于“开”，调节“倾斜补偿”使读数最小。

51. 振幅频率特性(电视频道信号发生器)

amplitude-frequency characteristic

电视频道信号发生器视频输入加入不同频率相同幅度正弦波时，射频输出电压振幅随频率的变化。

测试方法：

（1）测试仪器按图 33-47 连接。

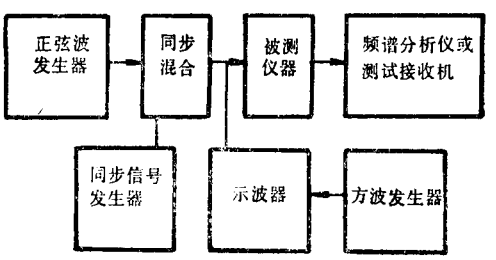


图 33-47

（2）正弦波发生器输出基准频率 f_0 正弦波，通过同步混合器叠加同步信号，送到被测电视频道信号发生器，被测电视频道信号发生器输出加到频谱分析仪(或测试接收机)，由频谱分析仪(或测试接收机)读出对应的读数 dB 数

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

A_0。此时示波器上显示两个正弦波波形，调整方波发生器输出幅度使上一个正弦波底部与下一个正弦波顶部相重合。改变正弦波发生器输出频率为 f_1，并调整其输出正弦波电压直至示波器显示的两个正弦波上底部与下顶部重合，由频谱分析仪或测试接收机读出对应的 dB 数 A_1。振幅频率特性频率 f_1 相对于基准频率 f_0 振幅改变值为 $(A_1 - A_0)$dB。

52. 群时延频率特性

group delay-frequency characteristic

电视频道信号发生器在规定的频带范围内，不同频率的时延相对于基准频率的时延变化。

测试方法：

（1）测试仪器按图 33-48 连接。

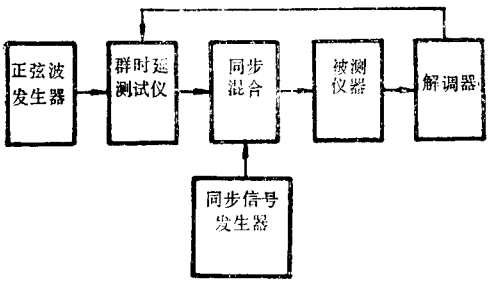


图 33-48

（2）正弦波发生器输出基准频率 f_0 正弦波，经群时延测试仪进行裂频调制后输出，至同步混合器叠加同步信号后，送至被测电视频道信号发生器视频输入端，被测电视频道信号发生器射频调制输出信号送至标准图像解调器，经解调还原为裂频调制的基准频率 f_0。送回群时延测试仪，经群时延测试仪内解调还原为裂频与基准裂频鉴相，由指示器指示被测电视频道发生器时延 τ_0。在频带范围内，改变正弦波发生器输出频率 f_1，同理，可测得对应时延 τ_1。f_1 相对于基准频率 f_0 的时延变化值为 $\tau_1 - \tau_0$。

53. K系数

K rating factor

K系数是度量各种线性失真引起图像主观损伤程度的系数。

K_{50}——场时间波形失真。

K_b——行时间波形失真。

K_{pb}——$2T$ 正弦平方脉冲与条脉冲幅度比。

K_p——$2T$ 正弦平方脉冲失真。

测试方法：

（1）测试仪器按图 33-49 连接。

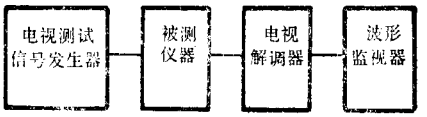


图 33-49

（2）电视测试信号发生器输出 $2T$ 正弦平方脉冲和条信号，加到被测电视频道信号发生器视频输入端，被测电视频道信号发生器射频输出经电视解调器解调。其视频输出加到电视波形监视器，用波形监视器K系数刻度板读出 K_b、K_{pb}、K_p 值。

（3）电视测试信号发生器输出 50Hz 场方波，同样由波形监视器K系数刻度板读出 K_{50} 值。

54. 伴音非线性失真

sound nonlinearity distertion

电视频道信号发生器造成的音频非线性失真称为伴音非线性失真。

测试方法：

图 33-50

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 测试仪器按图 33-50 连接。

(2) 音频信号发生器输出测试频率 f_A，加到被测电视频道信号发生器音频输入端，被测电视频道信号发生器伴音中频置"—10dB"音频置"外"，预加重置"断"，保持其频偏为 50kHz。被测电视频道信号发生器射频输出接伴音解调器，还原为音频信号送入失真度测试仪，读出非线性失真值。测试音频范围内各频率的非线性失真，取最大值。

55. 交叉调幅 *M*

cross modulation

由图像信号引起的伴音载波调幅大小。

测试方法：

(1) 测试仪器按图 33-51 连接。

图 33-51

(2) 电视测试信号发生器输出 50Hz 方波，送到被测频道信号发生器，被测电视频道信号发生器的伴音中频置"—10dB"，音频置"内"，调频偏为 50kHz，其射频输出送到频谱分析仪。

(3) 频谱分析仪调至伴音载频处，记下伴音谱线最大值 a。

(4) 置频谱分析仪分辨率为"零"，扫描频率为 50Hz，记下显示屏上交流波形幅度峰峰值 b，则交叉调幅 M 计算公式如下：

$$M = \frac{b}{a} \times 100\%$$

56. 伴音振幅-频率特性

sound amplitude-frequency charaecteristic

电视频道信号发生器保持音频范围内不同频率伴音输出幅度相同时，伴音输入振幅相对于基准频率的振幅变化。

测试方法：

(1) 测试仪器按图 33-52 连接。

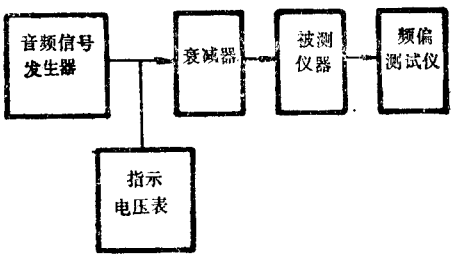


图 33-52

(2) 音频信号发生器输出基准频率 f_0(400 Hz) 正弦波，经衰减器送到被测电视频道信号发生器伴音输入端，被测电视频道信号发生器伴音中频置"—10dB"，音频置"外"，预加重置"断"，并使被测电视频道信号发生器输出接到频偏测试仪指示 50kHz 频偏，记住指示交流电压表指示值 U_0 和衰减器衰减值。

(3) 改变音频信号发生器输出频率为 f_A，并使电压表指示值也为 U_0，改变衰减器衰减量使频偏测试仪仍然指示 50kHz 频偏，此时由衰减器衰减量改变值读出伴音振幅-频率特性相应点分贝值。

(4) 将预加重置通，测试预加重特性，测试方法同上，预加重特性要求如下：

频率	400Hz	1kHz	5kHz	10kHz	15kHz
频响(dB)	0	+0.4	+5.4	+10.3	+13.6
允差(dB)	0	±1	±1	±1	±1

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

*　*　*　　*　*　*

本章技术指标及测试方法中所用的主要测试仪器，汇总列表如下。

主要测试仪器汇总表

序号	仪器名称	参考型号	检定规程编号
1	电视非线性失真测试仪	VS22	
2	彩色增益和延迟测试仪	VS15	
3	视频噪声测试仪	VS21	
4	视频数字电平表	VS16	
5	电视测试信号发生器	XT16A	
6	电视波形监视器	CC5440	
7	微电位计	WD-2	
8	直流测试仪	WDC-3	
9	噪声信号发生器	SUF2	
10	精密稳压电源	WYD-1B	
11	数字电压表	8502	
12	频率合成器	8656B	
13	高频信号发生器	XFC-7	JJG174-85
14	延时线	20A1	
15	数字相位计	BX21	
16	微机化彩色电视信号发生器	CC5362	
17	衰减器	SH-3	JJG09001-87
18	矢量示波器	521A	JJG03001-87
19	频谱分析仪	QF4030	
20	频率计	E324 E312 E327	
21	失真度测量仪	SZ-3	JJG361-84
22	真空管电压表	GB-9B	JJG250-81
23	调制度测量仪	BD-5	
24	电视解调器	AFM21450	
25	中频三信号发生器	VS23	
26	群时延测试仪	UY5、LFM、LFM2	
27	音频信号发生器	XFS-8	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第6节 电视测量仪器按门类量值传递表

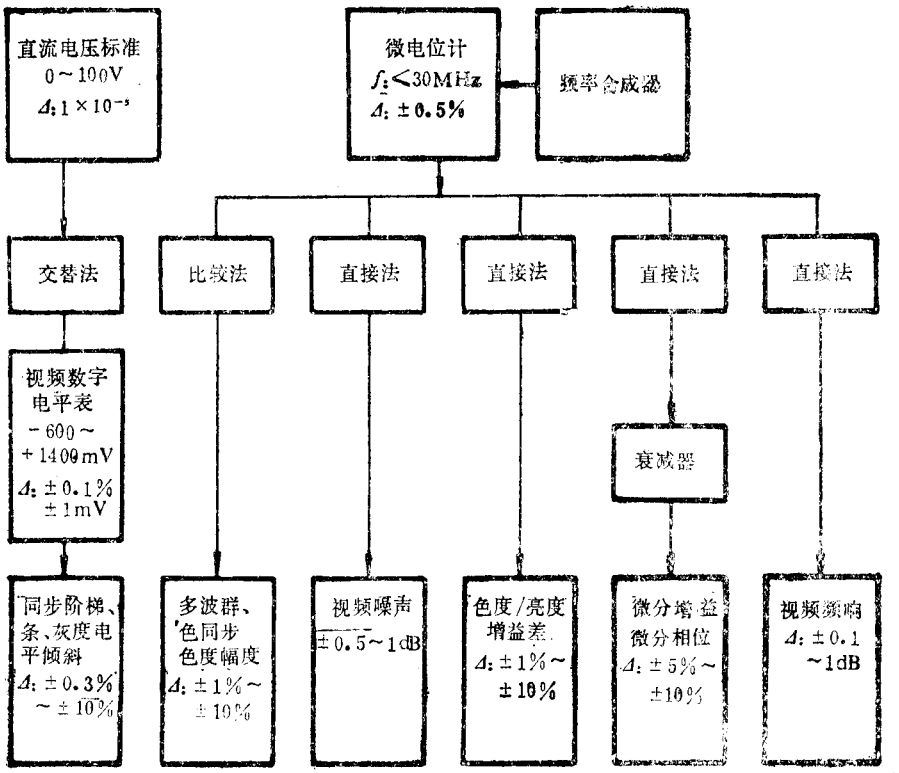


图 33-53

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第34章　载波通信仪表

第1节　综　　述

随着科学技术的发展，尤其是微电子技术的迅速发展，光导纤维、电子计算机、微处理器的应用，以及脉码调制技术（PCM）、激光技术、H码插入技术等新技术的出现，有线通信已形成了模拟载波通信（以下简称载波通信），光纤通信，数字通信（PCM）和数据通信等多种通信类型。载波通信即频分调制（FDM）载波通信，其传输话路已由过去的12路发展到10800路，传输带宽由162kHz发展到60MHz。载波通信要求用于其研制、生产，监测及维护的载波通信仪表能测量下述主要参数：系统频响、传输常数（增益和衰减）、阻抗（回波损耗）、阻抗频率特性、串音衰减、失真、振幅特性、干扰、噪声、信号平衡比等。这些指标均是电压、电流、功率及频率的函数，常以被测量对同一单位的标准量的对数量表示，即用"电平值"表示。电平有电压电平、功率电平之分，视标准量而定，标准量是电压用电压电平，标准量是功率用功率电平。电压电平与功率电平可相互转换。常用的载波通信仪表有：电平振荡器（信号源）、电平表、选频电平表、杂音仪、各种阻抗的平衡及不平衡式衰减器、传输测量仪、电平图示仪，以及其它附加设备，如平衡电桥，反射桥等。

各种类型的载波通信装置是按通话路数即频段划分的：

12路	12kHz～162kHz
60路	12kHz～252kHz
120路	12kHz～552kHz
300路	60kHz～1.3MHz
960路	60kHz～4.028MHz
1800路	314kHz～8MHz
2700路	314kHz～12.4MHz
3600路	314kHz～18MHz
10800路	4.332MHz～59.684MHz。

由于载波通信装置按话路数划分，且各个通信线路不能重叠使用，为了配合线路及设备的测试需要，及考虑到经济性等，载波通信测量仪器按频段做成各类不同的测试仪器，如620kHz电平振荡器、选频电平表适用于120路以下通信设备的测试；1.7MHz、1.62MHz电平振荡器、选频电平表适用于300路以下通信设备的测试；18.6MHz的电平振荡器、选频电平表可用于3600路以下通信设备的测试等等。又由于载波通信系统中，无论是研制或生产部门，都用正弦信号来确定有源或无源网络的线性或非线性特性，故作为信号源的电平振荡器输出的是正弦信号。考虑到阻抗匹配及平衡线路，有多种内阻，如0Ω，75Ω，150Ω，600Ω等，以及平衡、不平衡（同轴）输出，为了使其能在多个通信系统中使用，电平振荡器的输出频率范围较宽，一般为十个倍频程，并在一定的频率范围内可以连续调节，有较高的频率稳定度与准确度。而对于作为指示器用的选频电平表，要对复合信号进行频谱分析，精确测量交叉调制、导频、载漏、振幅特性、传输常数、失真等等，必须要有宽的电平测量范围、高灵敏度、准确度、低噪声、低失真、高平衡度和多种输入阻抗（如高阻抗、

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

600Ω、150Ω、124Ω、75Ω 等)，并用选频窄通带(其带宽一般为：48kHz、3.1kHz、1.74kHz、400Hz、20Hz 等)进行测量。杂音仪则是用于测量载波通信及广播线路、设备的各种干扰杂音，频率范围15Hz～20kHz，根据 CCITT 建议，采用了电话线路及广播线路加权网络。载波通信仪表中的可变衰减器，有平衡式与不平衡式之分，考虑到阻抗匹配，亦有多种不同阻抗，如 75Ω 不平衡式可变衰减器，150Ω、600Ω 平衡式可变衰减器等。另外，电平图示仪、平衡电桥、反射电桥等均有其独特的特点和作用。

我国载波通信仪表的发展道路是不平坦的。从 50 年代中期开始，南京有线电厂和上海邮电器材厂试制了不平衡式载频振荡器、电平表和衰减器，解决了载波通信仪表的有无问题。自 60 年代初以来，当时的四机部、邮电部相继建立了若干个生产载波通信仪表的专业厂，如建华仪器厂、合肥无线电一厂、柳州无线电厂、眉山通信设备厂、武汉通信工程仪表厂等。载波通信仪表也从载频电平振荡器、电平表、衰减器等扩展到选频电平表、杂音仪、校正电平表、平衡式衰减器等，频率范围从 620kHz 扩展到 36MHz，晶体管代替了电子管。十年动乱，使载波通信仪表研制和生产停滞不前。70 年代以后，由于锁相技术及频率合成技术的应用，提高了电平振荡器的频率稳定度和准确度，达 1×10^{-5} 以上，并且使用了大规模集成电路计数器代替了昂贵的、加工精度要求高的机械齿轮驱动装置和软片刻度盘，不但提高了分辨率，缩小了体积，减轻了重量，又降低了成本，简化了操作。目前我国生产的载波通信仪表，其频率范围为15Hz～100MHz，电平范围为－140～＋40 dB，频率稳定度可达 5×10^{-8}，零电平误差 0.02dB(10kHz 以下)及 0.07dB(30MHz 以下)，但与国际先进水平还有不小的差距，如德国 WG 公司生产的载波通信仪表的频率稳定度是 1×10^{-7}/年，零电平误差只有 0.015dB(25MHz 以下)。随着集成电路技术、数字显示技术、多相调制技术、表面安装技术等先进技术的不断发展，大规模集成电路、微处理器在仪表中的应用，载波通信仪表正向着智能化、自动化、数字化、多功能方向发展，带微处理器 (μP) 和标准接口(GP-IB、IEC625) 的智能通信仪表不断增多(如 PS-19 电平振荡器、SPM-19 选频电平表、W2108K/D2108K 载频电平测量仪等)，这些智能仪表具有自动校准、自动测试、自动处理数据等一系列功能，使载波通信仪表的测量精度、速度、可靠性大大提高，形成了一套完整的品种系列。近年来，使用专用集成电路，表面安装技术等先进技术的小型化、便携式仪表，如 K1099 便携式传输测量装置、SPM34 选频电平表，PM20 数字电平表等，体积 98 × 164 × 54(mm)，重量只有 0.5kg，且功能齐全，使用简便，非常便利于通信线路的监测与维护。总之，载波通信仪表正向着智能化、多功能、高精度、小型化、低价格方向迅速发展。

载波通信仪表的计量标准主要有三种：电平标准、衰减标准和频率标准。

(一) 电平标准： 德国 WG 公司生产的 EPM-1 标准零电平表(又称毫瓦功率计)是世界公认的电平标准。除德国 WG 公司、西门子公司外，美国 HP 公司、日本安立公司等生产载波通信仪表的主要厂家，都是以它作为电平标准，其频率范围是 0～300MHz，精度 0.015dB(25MHz 以下)。我国目前也是以 EPM-1 标准零电平表作为电平标准，因国产的标准零电平表有的使用繁琐，返修率较高(如北京专利新技术研究所的 KL201 电压电平校准仪，100MHz 以下精度为 ±0.035dB)，有的频段范围较窄(如南京有线电厂的 YX5001 型 1.7MHz 校正电平表，精度 ±0.05dB)，只能作为 300 路以下通信设备和测量仪表的零电平标准。另外，柳州无线电厂的 UO6 和 UO7 标准电平表，精度 ±0.02dB(10kHz 以下)，尚未稳定批量生产，故电平标准非常缺乏，影响电平参数的量值传递和提高通信设备、仪表的质量。故研制高精度、宽频带、高稳定度、简便灵活的标准零电平表是

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

当务之急。

（二）衰减标准：载频衰减标准有平衡式、不平衡式及各种不同阻抗之分，如75Ω不平衡式，150Ω、600Ω平衡式等等。75Ω不平衡式衰减标准以德国西门子（Siemens）公司生产的D120型精密可变衰减器为代表，其频率范围为0～100MHz，最高精度±0.003dB。由于D120的生产工艺和精度要求高，成本贵，现西门子公司已改产D2053型75Ω不平衡式精密可变衰减器，其频率范围为0～200MHz，最高精度±0.01dB。以上均为75Ω不平衡式衰减标准。而该公司生产的D110型600Ω平衡式可变衰减器（0～1MHz）、D112型150Ω平衡式可变衰减器（0～2MHz），均为相应阻抗平衡式衰减标准。我国南京无线电仪器厂、南京有线电厂、合肥无线电一厂、建华仪器厂和眉山通信设备厂等均生产精密可变衰减器系列，最高衰减精度±0.02dB，也可作为厂矿企事业单位的传递标准。但国产衰减器普遍存在开关接触不良、可靠性较差等问题，必须进一步提高产品质量。

（三）频率标准：为确保载波通信质量，载波通信仪表对频率稳定度的要求较高，目前为1×10^{-7}/年，需建立相应的频率标准，铷原子频率标准即可满足要求。

第2节 分 类

根据载波通信仪表的特点，可分为以下几大类：

（一）电平振荡器 Level Generator

低频电平振荡器、音频电平振荡器、载频电平振荡器、数字式电平振荡器、便携式电平振荡器、简易电平振荡器等。

（二）选频电平表 Selective Level Meter

低频选频电平表、音频选频电平表、载频选频电平表、数字式选频电平表、便携式选频电平表等。

（三）电平表 Level Meter

校正电平表、标准零电平表、低频电平表、载频电平表、数字式电平表、便携式电平表、简易电平表等。

（四）传输测试仪 Transmission Measuring Set

载波传输测试仪、载频电平测试仪、电平测试仪、电子传输测试仪、载波机综合测试仪、低频电平测试仪、便携式传输测试仪、载波群路特性测试仪、话路特性测试仪等。

（五）杂音测试仪 Psophometer

杂音仪、杂音计、数字式杂音计、噪声仪、噪声计、数字式噪声计等。

（六）可变衰减器 Variable Attenuator

可变衰耗器、精密可变衰耗器、电信载频衰减器、75Ω不平衡式可变衰减器、150Ω平衡式可变衰减器、600Ω平衡式可变衰减器等。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第3节 载波通信仪表技术指标汇总表

序号	技术指标 \ 分类	电平振荡器	选频电平表	电平表	传输测量仪	杂音仪	衰减器
1	电平范围	●	●	●	●	●	
2	电平误差	●	●	●	●	●	
3	频率范围	●	●	●	●	●	●
4	频率误差	●	●		●		
5	频率特性	●	●	●	●	●	●
6	阻抗(回波损耗)	●	●	●	●	●	●
7	谐波失真	●	●	●	●		
8	镜频和中频抑制		●				
9	选择性		●				
10	信号平衡比	●	●	●	●	●	●
11	杂音电平		●	●	●	●	
12	衰减误差	●	●	●	●	●	●
13	衰减范围	●	●	●	●	●	●
14	寄生信号抑制	●			●		
15	动态特性					●	
16	直线性					●	

第4节 技术指标及测试方法

1. 电平范围

level range

电平有电压电平与功率电平。

电压电平 $L_V = 20\lg\frac{U_x}{U_0}$ dB

功率电平 $L_P = 10\lg\frac{P_x}{P_0}$ dBm

电平范围指仪表的电平值从最小值到最大值的整个范围。

2. 电平误差

level error

电平误差 ΔL，是仪表电平指示值 L 减去被测量的(约定)真值 L_0

$$\Delta L = L - L_0$$

电平误差包括：零电平误差，电表刻度误差和电平分档误差。

测试方法：

1. 零电平误差

(1) 测试方框图

①电平振荡器测试方框图如图 34-1。

图 34-1

② 选频电平表等测试方框图如图 34-2。

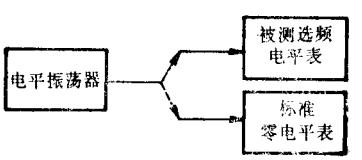


图 34-2

(2) 测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 电平振荡器零电平误差测试步骤

被测电平振荡器输出 0dB 电平(标称值)，标准零电平表示值即为零电平实测值，按式(34-1)计算零电平误差 ΔL：

$$\Delta L = L_x - L_0 \qquad (34\text{-}1)$$

式中　L_X——标称值；

L_0——实测值。

② 选频电平表等电平指示仪（如电平表、杂音仪等）零电平误差测试步骤。

先将电平振荡器与被测选频表等匹配连接，调节电平振荡器输出，使被测选频表准确指示在 0dB。然后取下被测选频表，匹配连接标准零电平表，则标准零电平表示值即为零电平实测值。按(34-1)式计算零电平误差。

II. 电表刻度误差

(1) 测试方框图

① 电平振荡器测试方框图如图 34-3。

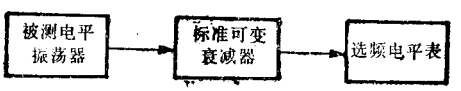


图　34-3

② 选频电平表等测试方框图如图 34-4。

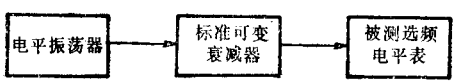


图　34-4

(2) 测试步骤

① 电平振荡器电表刻度误差测试步骤

正刻度测试：被测电平振荡器输出电平置 0dB，标准可变衰减器置零位，使选频电平表准确指示在 0dB 刻度线上，然后将被测电平振荡器电表刻度置正刻度值(标称值)，改变标准可变衰减器衰减值，使选频电平表仍准确指示在 0dB 刻度线上，则标准可变衰减器的衰减值即为该刻度的实测值，按(34-1)式计算电表刻度误差。

负刻度测试：被测电平振荡器输出电平置 0dB，标准可变衰减器置电表被测值，使选频电平表准确指示在 0dB 刻度线上。然后将被测电平振荡器电表刻度置负刻度值(标称值)，改变标准可变衰减器衰减值，使选频电平表仍准确指示在 0dB 刻度线上。则标准可变衰减器的衰减变化值即为该刻度的实测值。按(34-1)式计算电表刻度误差。

② 选频电平表电表刻度误差测试步骤

正刻度测试：先将标准可变衰减器置被测刻度值，调节电平振荡器输出电平，使被测选频表的电表刻度指示在 0dB。然后将标准可变衰减器置零位附近，使被测选频表电表刻度指示在被测刻度值上(标称值)，则可变衰减器的变化值，即为被测刻度的实测值。按(34-1)式计算电表刻度误差。

负刻度测试：先将标准可变衰减器置零位，调节电平振荡器输出电平，使被测选频表的电表刻度指示在 0dB。然后改变可变衰减器的衰减值，使被测选频表电表刻度指示在被测刻度值(标称值)，则可变衰减器的衰减值即为被测刻度的实测值。按(34-1)式计算电表刻度误差。

III. 电平分档误差

(1) 测试方框图：同电表刻度误差测试方框图。

(2) 测试步骤

① 电平振荡器输出电平分档误差测试步骤。

正负电平分档误差的测试步骤均与电表刻度误差测试步骤相同，此时的标称值分别为正、负电平分档值。

② 选频电平表电平分档误差测试步骤

同电表刻度误差测试步骤，此时的标称值为电平分档值。

3. 频率范围

frequency range

仪表频率从最低值到最高值的整个范围。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4. 频率误差

error limits of frequency

仪表频率标称值减去实测值(真值)与实测值之比。

$$A = -\frac{f_x - f_0}{f_0} \times 100\%。\quad (34\text{-}2)$$

式中 f_0——频率实测值;

f_X——频率标称值。

测试方法:

(1) 测试方框图

① 电平振荡器频率误差测试方框图如图34-5。

图 34-5

② 选频电平表频率误差测试方框图如图34-6。

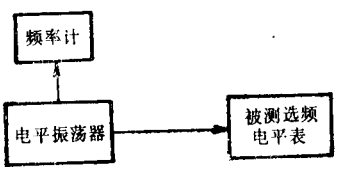


图 34-6

(2) 测试步骤

① 电平振荡器频率误差测试步骤

频率计置测频,被测电平振荡器输出电平0dB,经零频校正后分别调至各测试频率(标称值),此时,频率计示值即为该测试点的频率实测值,按(34-2)式计算频率误差 A。

② 选频电平表频率误差测试步骤

频率计置测频,电平振荡器输出电平0dB,被测选频电平表置窄带0dB,经零频校正后分别置各被测频率(标称值),微调电平振荡器频率,使被测选频电平表指示最大,此时频率计示值即为该被测频率的实测值,按(34-2)式计算频率误差。

5. 频率特性

frequency characteristic

各测试频率上零电平的实测值与基准(或参考)频率上零电平实测值的差值。

$$\Delta P = P_X - P_0 \quad (34\text{-}3)$$

式中 P_X——各测试频率上零电平实测值;

P_0——基准(或参考)频率上零电平实测值。

测试方法:

(1) 测试方框图:同零电平误差。

(2) 测试步骤:在基准(或参考)频率上校正好零电平后,按照零电平误差的测试方法,测出各测试频率上的零电平实测值,按(34-3)式计算频率特性。

6. 回波损耗

return loss

回波损耗又称反射衰耗、反射衰减,是阻抗匹配程度的指标,其定义为:

回波损耗: $\alpha_r = 20\lg\left|\frac{X+N}{X-N}\right|$ dB

式中 X——被测阻抗;

N——标准阻抗。

回波损耗 α_r 与反射系数 ρ 间的关系为:

$$\rho = 10^{-\frac{\alpha_r}{20}} \quad 或 \quad \alpha_r = 20\lg\frac{1}{\rho}。$$

测试方法:用反射电桥进行测试。

回波损耗

$$\alpha_r = \text{反射桥被测端开路时的电平} - \text{接上被测阻抗后的电平} \quad (34\text{-}4)$$

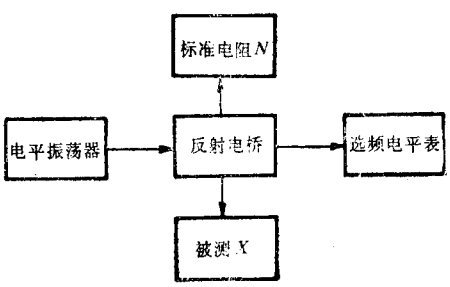


图 34-7

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 测试方框图如图 34-7。

(2) 测试步骤

① 在未接上被测X（选频表、振荡器等）时，从选频表上读出反射电桥开路时的电平值。

② 接上被测X（选频表、振荡器均开机，振荡器输出电平调至最小或将输出断开）再读取选频电平表上的电平值。

按(34-4)式计算回波损耗值。

7. 谐波失真

harmonic distortion

当输出与输入呈非线性关系时，该系统要产生非线性失真。输出信号 $e_0(t)$ 是输入信号 $e_i(t)$ 的函数

$$e_0(t) = a_1e_1(t) + a_2e_2^2(t) + a_3e_3^3(t) + \cdots$$

当输入信号为正弦波时，输出如产生二次和三次谐波等，此非线性项称为"谐波失真"。

测试方法：

(1) 测试方框图

① 电平振荡器谐波失真测试方框图如图 34-8。

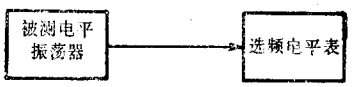


图　34-8

② 选频电平表谐波失真测试方框图如图 34-9。

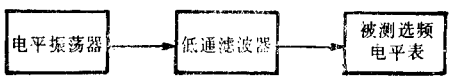


图　34-9

(2) 测试步骤

①电平振荡器谐波失真测试步骤

被测电平振荡器置基波频率，选频电平表置窄带，分别选测出基波电平 L_{a1}，二次谐波电平 L_{a2} 和三次谐波电平 L_{a3}，按下式计算二次、三次谐波失真衰减 a_2、a_3：

$$a_2 = L_{a1} - L_{a2}$$

$$a_3 = L_{a1} - L_{a3} \qquad (34\text{-}5)$$

② 选频电平表谐波失真测试步骤

电平振荡器置基波频率，被测选频电平表置窄带，自校准至基波电平 L_{a1} 后，分别选取二次和三次谐波电平 L_{a2}、L_{a3}。按(34-5)式计算二次、三次谐波失真衰减 a_2、a_3。

8. 镜频和中频抑制

image frequency and IF suppression

已知中频 $f_{中i}(i = 1, 2, 3\cdots)$，则测量频率 f_m 的镜像频率为 $f_m + 2f_{中i}$。

测试方法：

(1) 测试方框图如图 34-10。

图　34-10

(2) 测试步骤

电平振荡器输出电平 0dB，频率分别置被测选频电平表各中频 $f_{中i}$ 和镜频，被测选频电平表在其整个选频频段范围内选频，并逐步提高灵敏度使指示最大。则被测选频电平表所示电平值分别为各个中频衰减值和镜频衰减值。

9. 选择性

selectivity

选频电平表的频率选择性包括：通频带宽度和阻带衰减两部分。

测试方法：

(1) 测试方框图如图 34-11。

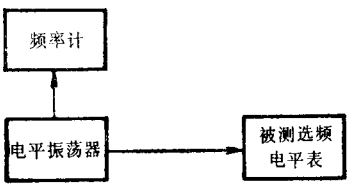


图　34-11

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试步骤

① 电平振荡器置测试频率，输出电平0dB，被测选频电平表分别置各种带宽并校正至0dB。

② 分别在各个带宽增加和降低电平振荡器频率，使被测选频电平表电平指示下降0.5 dB或3dB，同时从频率计上读取相应增、减频率值。高低两频率值之差即为所测的通带宽度。

③ 按技术条件阻带要求，分别增加和降低电平振荡器频率，并提高被测选频电平表灵敏度，则被测选频电平表之电平示值即为所测带宽的阻带衰减值。

10. 信号平衡比

signal balance ratio

信号平衡比是衡量仪表平衡特性(平衡度)的指标。

用 CCITT O.121 建议所推荐的信号平衡比测量电桥进行测量，其测量原理图如图 34-12。

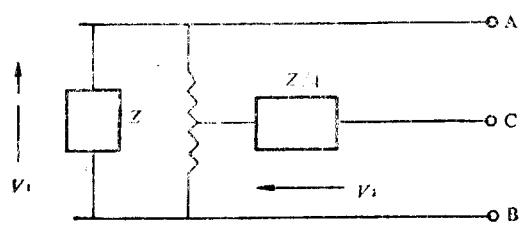


图 34-12

它是由两个阻抗分别为 Z 和 $Z/4$ 的电阻箱和一个具有准确中心抽头的铁芯电感线圈组成，信号平衡比为：

$$B = 20\lg \frac{V_1}{V_2}\,\text{dB}$$

测试方法：

(1) 测试方框图

① 电平振荡器信号平衡比测试方框图如图 34-13。

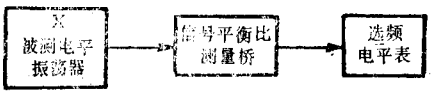


图 34-13

② 选频电平表信号平衡比测试方框图如图 34-14。

图 34-14

(2) 测试步骤

按信号平衡比测量电桥的测试方法进行。

先测出未接上被测 X(被测选频电平表或被测电平振荡器等)时的电平(即被测端开路时的电平) L_0，再测出接上被测 X 后的电平 L_a

则　　信号平衡比 $B_r = L_0 - L_a$　　(34-6)

11. 杂音电平

noise level

杂音电平即机内固有杂音。

测试方法：

(1) 测试方框图如图 34-15。

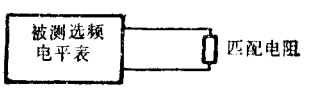


图 34-15

(2) 测试步骤

被测选频电平表自校后，在输入端接一个与输入阻抗相等的匹配电阻(高阻抗输入时，输入端短路)，并置测量电平于最高灵敏度档。此时的电平指示即为被测选频电平表的杂音电平。

12. 衰减误差

attenuation accuracy

衰减误差即衰减准确度，是指衰减器衰减值 A_X(标称值)减去该衰减量的(约定)真值 A_a

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

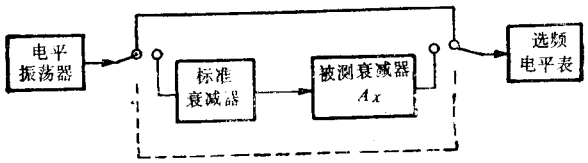


图 34-16

(实测值):

$$\Delta A = A_X - A_n \qquad (34\text{-}7)$$

测试方法：衰减误差的测试方法有两种。串联比对法与并联比对法。

(1) 测试方框图

① 串联比对法测试方框图如图 34-16。

② 并联比对法测试方框图如图 34-17。

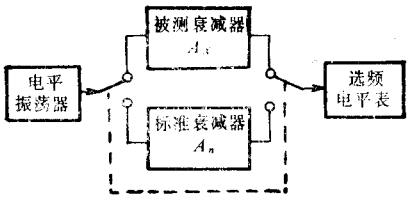


图 34-17

(2) 串联比对法测试步骤

① 电平振荡器内阻 Z_i、选频电平表输入阻抗 Z_0 均置衰减器特性阻抗 Z (即: $Z_i = Z_0 = Z$)，将电平振荡器与选频电平表直接连接，校正测量系统。

② 被测衰减器置被测值 A_X (标称值)，标准衰减器置零位，串联连接后接入电平振荡器、选频电平表，调节电平振荡器输出电平，使选频电平表指示于 0dB 刻度。

③ 被测衰减器置零位，调节标准衰减器衰减值，使选频电平表仍指示于 0dB 刻度，则标准衰减器衰减值 A_n 即为实测值。按(34-7)式计算衰减误差 ΔA。

(3) 并联比对法测试步骤

① 同串联比对法测试步骤①。

②被测衰减器、标准衰减器均置被测值 A_X (标称值)，用转换开关先将被测衰减器接入电平振荡器，选频电平表并调节电平振荡器输出电平，使选频电平表指示于 0dB 刻度。

③ 用转换开关断开被测衰减器，接入标准衰减器，调节标准衰减器衰减值，使选频电平表仍指示于 0dB 刻度，则标准衰减器衰减值 A_n 即为实测值，按(34-7)式计算衰减误差 ΔA。

* * *

本章技术指标和测试方法中所用的主要测试仪器，汇总列表如下。

主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
标准零电平表	EPM-1, KL201, YX5001, U06, U07, QLD01	JJG420-86
电平振荡器	W2008,W2100,W2108,PS15,PS16,PS20,UX-15,UX22,UX23,UX25,UX40,YX5061,YX5071,QZD06	JJG (电子)11002-88 JJG (电子)11004-88 JJG (电子)11005-88
选频电平表	D2008,D2100,D2108,SPM15,SPM16,SPM30,UD19,UD27,UD33,UD40,YX5011,YX5012,UD25,QXD06	JJG (电子)11003-88 JJG (电子)11006-88 JJG (电子)11007-88
杂音仪	YX5151A,HF5150,ND10,QP670	JJG (电子)1101-88
衰减器	D120,D110,D112,D2053,YX3711,YX3714 HF5144,HF5145,SHK-15,JSHK-21,JH5140,JH5141	JJG419-86

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第5节 载波通信仪表按门类的量值传递

电平计量器具检定系统框图

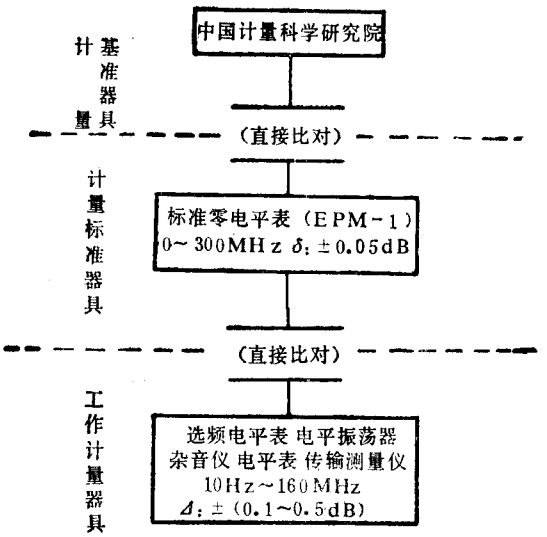


图 34-18

注：衰减计量器具检定系统附参阅第11章衰减器。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第35章 PCM 数字通信测量仪器

第1节 综 述

(一) PCM 通信简介

有线通信具有良好的保密性能，很强的抗干扰能力，较高的可靠性，受气候影响也较小，因此有线通信往往成为一个国家通信网的骨干通信系统，是国民经济的神经网络。

现代有线通信技术非常复杂，发展也非常迅速。从业务内容看，已从传统的、单纯的听觉信息的传输和交换开始向视觉、听觉和文字信息并重的综合业务宽带信息传输、交换、储存和处理方向发展；从信号的调制方式看，已从模拟方式向数字方式发展；从信号传输介质看，已从传统的明线、对称电缆、同轴电缆向传输频带很宽、传输衰耗很小、中继间距大，抗干扰性强、受气候影响很小和线径细、重量轻的光纤方向发展；从组网功能看，由于光纤的采用，已从过去话音、非话音和图像等单一功能通信网，向宽带综合业务传输系统方向发展，也就是说，在一根光纤上通过时分、频分和波分复用技术同时传输话音、数据、广播节目、传真、电报、电视等综合成的宽带综合业务信息。

纵观美、日、苏和西欧等各发达国家的有线通信系统，在80年代之前基本上是同轴电缆模拟载波通信，在50年代到70年代初相继研制成功了300路、960路、2700路、3600路和10800路同轴电缆模拟多路载波通信系统。由于同轴电缆传输频谱极限(小同轴20MHz，中同轴60MHz)的限制，到70年代研制成10800路模拟载波系统以后，都已停止了研制更大容量的模拟多路载波通信系统。随着科学技术飞速发展，从70年代中期到80年代中期，数字通信系统进入了一个突飞猛进的发展时期。

数字通信在50年代末60年代初业已问世。它比模拟载波通信具有较多的优点。首先，数字通信系统的抗干扰能力要比模拟载波通信系统高得多；其次，数字通信系统的杂音全程不累积，数字通信保证传输质量的信噪比要求比模拟载波通信系统低得多。所以数字通信一问世就受到多方面的关注。但由于当时电子管做成的数字通信设备体积十分庞大，而且可靠性低，从而使数字通信的发展受到了限制。随着半导体技术的进步，大规模集成电路的研制成功，给数字通信发展注入了新的活力。特别是70年代光纤通信技术的异军突起，更使数字通信的发展有了真正的春天。多路复用的光纤通信系统，通常采用数字方式，因为这种方式对光电器件的非线性要求低，同时由于光纤的传输频带很宽，正好满足数据信道的宽带要求。所以数字通信在光纤通信中占有重要地位，数字通信伴随光纤通信也得到迅猛发展。

同轴电缆模拟载波通信系统采用频分制多路复用技术(FDM——Frequency Division Multiplex)，而数字通信系统则采用时分多路技术(TDM——Time Division Multiplex)。在各种时分多路复用系统中，脉码调制系统(PCM——Pulse Code Modution)是目前最广泛使用的一种。因为PCM不仅能传输话音，而且能以综合的方式传输数据信号、图像信号，而适用于将来的综合业务数字网(ISDN——Integrated Services Digital Network)或信息网(INS——Information Network)的建设。

典型的PCM通信系统如图35-1，它是将若干电话、数据、传真、电视等信号转换为一个规定的比特率的单一的数字信号，然后通过对称电缆、同轴电缆、无线电微波或光缆进行传输，而在另

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

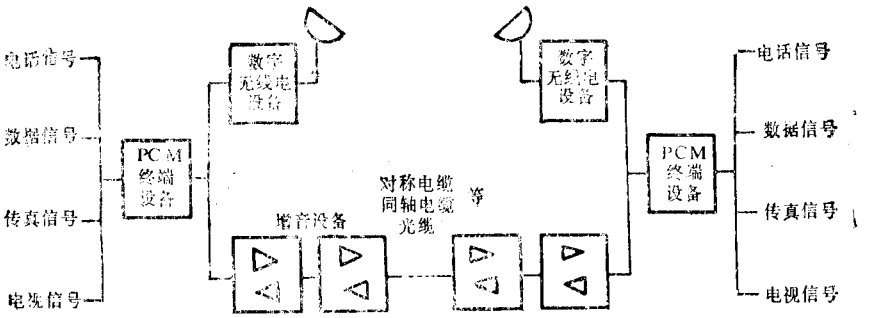


图 35-1 典型的 PCM 通信系统示意图

表 35-1 美、日、西欧、北美各国数字通信制式

地区	基群 Mb/s	二次群 Mb/s	三次群 Mb/s	四次群 Mb/s	五次群 Mb/s	六次群 Gb/s
西欧、美、中	2.048 (30路)	×4 → 8.448 (120路)	×4 → 34.368 (480路)	×4 → 139.264 (1920路)	×4 → 564.992 (7680路)	×2 → 1.13 (15360路) ×4 → 2.4 (30720路)
日本	1.544 (24路)	×4 → 6.312 (96路)	×5 → 32.064 (480路)	×3 → 97.728 (1440路)	×4 → 397.20 (5760路)	×4 → 1.5888 (23040路)
北美	1.544 (24路)	×4 → 6.312 (96路)	×7 → 44.736 (672路)	×6 → 274.176 (4032路)		
				×9 → 43.200 (6048路)	×2 → 1.13Gb/s (16128路)	
				×12 → 564.992 (8064路)	×4 → 2.4Gb/s (32256路)	

表 35-2 CCITT 建议的数字系列等级

数字系列等级		1	2	3	4	5
A律 (PCM-30)	比特率 (kb/s)	2048	8448	34368	139264	564992
	标称比特率 (Mb/s)	2	8	34	140	560
	电话路数	30	120	480	1920	7680
μ律 (PCM-24)	比特率 (kb/s)	1544	6312	32064	97728	397200
	标称比特率 (Mb/s)	1.5	6	32	100	400
	电话路数	24	96	480	1440	5760

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

一终端，再将信号解调分解。

就长途有线通信而言，目前通常采用的制式有两种：即μ律数字通信(即以 PCM-24 路为基础)和A律数字通信(即以 PCM-30 路为基础)。表 35-1 列出了美、日、西欧等国采用的通信制式。国际电报电话咨询委员会（CCITT）对两种通信制式都在建议中进行了推荐(见表 35-2)。

我国都采用A律(以 PCM-30 为基础)制式。

(二) PCM 数字通信测量仪器发展概况

随着数字通信的发展，数字通信测量仪器也在飞速发展。在 70 年代末期，世界上从事通信仪器生产的厂家，德国的西门子公司、温德尔·哥特曼公司；英国的马可尼公司；日本的安立公司等，先后推出了一批数字通信测量仪器。80 年代初期，随着微处理器的广泛应用，数字通信测量仪器开始智能化，功能越来越全面。1984 年国际电报电话咨询委员会（CCITT）第八次全体会议发表的红皮书，几乎将全部数字通信测量仪器的技术规程都推荐了出来，使得各厂家生产的 PCM 数字通信测量仪器更加标准化、系列化。

我国 70 年代开始研制数字通信设备，因此相继引进了一些 PCM 数字通信测量仪器。80 年代初期开始，一些仪器生产厂家开始研制 PCM 数字通信测量仪器，但到目前为止，仍然数量少，水平也较低，特别是光纤数字通信、微波数字通信的发展较快，目前这类仪器还远不能满足国内需要，很大一部分还需要进口，这有待仪器研制和生产单位迎头赶上。

(三) PCM 数字通信测量仪器的原理及功能介绍

根据 CCITT 有关建议以及仪器所具有的功能，PCM 数字通信测量仪器主要有三类，它们是：

(1) 测量 PCM 编码器和解码器性能的仪器——PCM 终端分析仪；

(2) 测量数字系统误码性能的仪器——误码性能分析仪；

(3) 测量数字设备相位抖动的仪器——抖动分析仪。

当然，某个具体厂家生产的仪器，不一定按照这三类来分。例如，PCM 终端分析仪就可能根据 A-A（模拟-模拟）、A-D（模拟-数字）、D-A（数字-模拟）等不同测量方式分成几种仪器，而误码性能分析仪和抖动分析仪也有的厂家合为一种仪器，叫做数字传输分析仪(Digital Transmission Analyzer)。

为了便于后面各节的阅读和理解，现在将这三大类仪器的基本工作原理和功能作一简单介绍。

I. PCM 终端分析仪工作原理和主要功能

PCM 终端分析仪（PCM Terminal Analyzer）是用来测量 PCM 编码器和解码器性能的仪器。

PCM 终端分析仪一般由下列四部分组成：

模拟信号发生器，将音频测试信号加到被测设备的模拟输入端口。

模拟信号分析器，处理从被测设备模拟输出端收到的音频信号。

数字信号发生器，将数字测试信号加到被测设备的数字输入端口。

数字信号分析器，处理从被测设备数字输出端收到的数字信号。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

上述四部分由仪器控制部分进行控制，可以对 PCM 终端设备和线路进行 A-A (Analog-Analog)、A-D (Analog-Digital)、D-A (Digital-Analog)、D-D (Digital-Digital) 等方面的多种参数进行测量。如果仪器使用计算机控制，加上通路转换开关（1～30 路）可使各种测量实现自动化，测量原理方框图见图 35-2、图 35-3 和图 35-4（以 PCM-30 为例）。

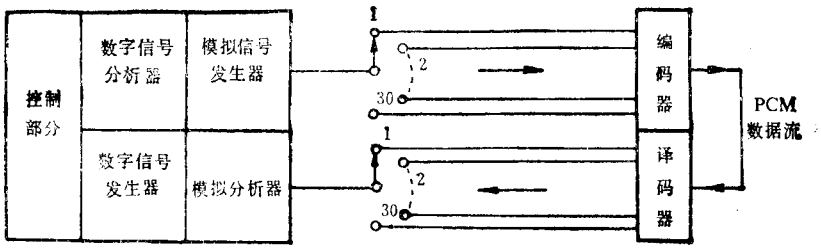


图 35-2 A-A 测量原理方框图

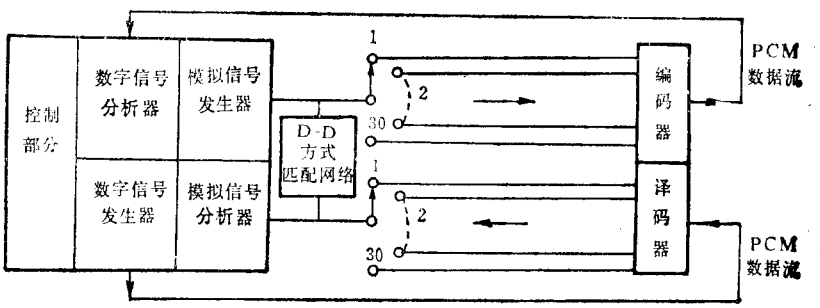


图 35-3 A-D、D-A 测量原理方框图

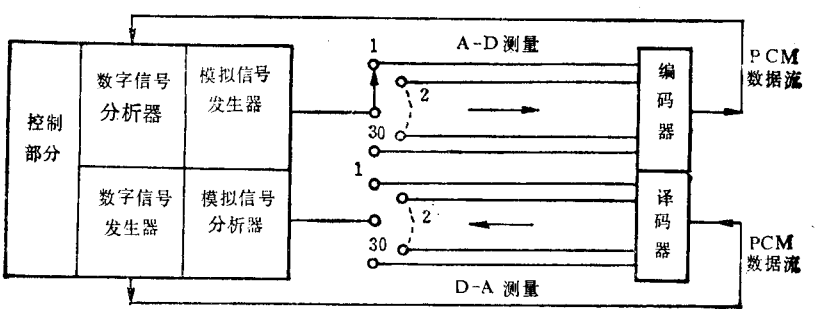


图 35-4 D-D 测量原理方框图

PCM 终端分析仪测量的主要参数一般如表 35-3 所列。

目前国内使用的 PCM 终端分析仪以进口为主，主要有美国 HP 公司的 3779/3776、德国 WG 公司 PCM-4 等。国内也有少数厂家如邮电部北京仪表研究所生产的 QHT04 BPCM 综合测试仪，也有一些厂家生产由模拟信号发生器和模拟信号分析器两部分组成的话路特性测量仪，进行 A-A 方式的测量。

II. 数字传输系统误码性能分析仪工作原理和主要功能

误码性能分析仪 (Error Bit Performance Analyzer) 是用来测量和分析传输系统误码性能

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 35-3　PCM 终端分析仪的功能

测　量　参　数	测量方式			
	A-A	A-D	D-A	D-D
增益（Gain）	✓	✓	✓	
增益随频率的变化（Gains Vs frequency）	✓	✓	✓	
增益随输入电平的变化（Gains Vs input level）	✓	✓	✓	
空闲信道噪声（Idle channel noise）	✓	✓	✓	
量化失真（Quantizing distortion）	✓	✓	✓	
互调（Intermodulation）	✓	✓	✓	
带外输入信号鉴别（Discrimination against out-of-band input）	✓			
带外杂散信号输出（Spurious out-of-band output）	✓			
带内杂散信号输出（Spurious in-of-band output）	✓	✓	✓	
回波损耗（Return loss）	✓			
纵向变换损耗（LCL）	✓			
串音(可懂) [Crosstalk (intelligible)]	✓	✓	✓	✓

表 35-4　CCITT 建议中对比特率、码型、代码等的规定

比特率（kbit）	比特率容差	测试码型	线　路　代　码
64	$\pm 100\times10^{-6}$	$2^{11}-1$	符合 G703.1 要求
1544	$\pm 50\times10^{-6}$	$2^{15}-1$	AMI 或 B82S
2048	$\pm 50\times10^{-6}$	$2^{15}-1$	HDB3
6312	$\pm 30\times10^{-6}$	$2^{15}-1$	B62S 或 B82S
8448	$\pm 30\times10^{-6}$	$2^{15}-1$	HDB3
32064	$\pm 10\times10^{-6}$	$2^{15}-1$	经过扰码的 AMI
34368	$\pm 20\times10^{-6}$	$2^{23}-1$	HDB3
44736	$\pm 20\times10^{-6}$	$2^{15}-1$	B32S
139264	$\pm 15\times10^{-6}$	$2^{23}-1$	CMI

的仪器。误码率（Bit Error Ratio）是数字传输系统重要的技术指标，所谓误码率就是在特定的一段时间内所接收到的比特误差数与在同一时期内所接收到的比特总数之比。

误码性能分析仪一般由两部分组成，即发送器部分和接收器部分。发送器部分产生一个伪随机系列的测试码发送到被测系统，通过被测系统的数字信号再送到接收器，并在接收器中与本地产生的相同码直接进行比较，从而测出被测系统的误码参数。

发生器一般包括时钟、代码变换、输出等电路。时钟电路产生一定比特率的时钟脉冲，时钟脉冲在码型变换电路中变换为 CCITT 建议规定的伪随机码型和一定字长的固定码型，这些测试码型在代码变换电路中变换为规定的线路代码，并在输出电路中输出。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

CCITT 建议 G700 系列中规定的比特率、码型、代码等列于表 35-4。

接收器一般由本地码型产生、输入、鉴相、帧同步、误码检测等电路组成。本地码产生电路产生本地码型，电路同发送器中的一样，只是为了保持与输入信号的同步，时钟电路和码型产生电路分别由鉴相电路和帧同步电路控制。完全同步的数字信号和本地码在误码检测电路中进行比较，检测出误码并进行误码分析。

误码性能分析仪一般具备下列误码测量和分析功能。

(1) 误码率 (Bit Errro Ratio)

在选择的门周期内产生的误码数与时钟数之比。

(2) 误码计数 (Error Count)

在选择的门周期内累计误码数。

(3) 误码秒 (Error Seconds)

在选择的门周期内累计的至少包含一个误码的秒数。

(4) 无误码秒 (Error Free Seconds)

在选择的门周期内累计的未发生 1 个误码的秒数。

(5) 误码秒百分数 (% Errored Seconds)

在一个测量周期中可用时间内产生误码秒与总的可用时间秒数的百分比。

(6) 严重误码秒百分数 (% Severely Errored Seconds)

在一个测量周期中可用时间内产生严重误码秒（一秒时间间隔内比特误码率劣于 1×10^{-3}）个数与总的可用时间秒数的百分比。

(7) 劣化分百分数 (% Degraded Minuts)

在一分钟时间间隔内，比特误码率劣于 1×10^{-6}，这一分钟时间间隔称之为劣化分，劣化分百分数是在一个测量周期中，劣化分的个数与总的可用时间分数的百分比。

(8) 不可利用率百分数 (% Unavailablity)

不可利用率百分数是在一个测量周期中，当系统被认为不可利用时间的秒数和总秒数的百分比。

根据 CCITT 建议 G821 附件 A 规定，可用时间和不可用时间这样定义：在 10 个连续秒的一段时间内，每一秒钟的比特误码率都比 1×10^{-3} 更坏，不可用时间的时期就开始，这 10 秒钟便认为是不可用时间。而在 10 连续秒的一段时间内，每一秒钟的比特误码率都比 1×10^{-3} 更好时，不可用时间的时期就终止，这 10 秒钟便认为是可用时间。

这项功能有些厂家使用可利用率百分数(% Availability)。显而易见，不可利用率百分数 = 100% − 可利用率百分数。

III. 数字传输设备定时抖动分析仪工作原理和主要功能

定时抖动分析仪是用来测量数字传输设备定时抖动的仪器。数字传输设备的定时抖动 (Timing Jitter) 是传输设备的一项主要技术指标。它是这样定义的：定时抖动是数字信号的各个有效瞬间在时间上对其理想位置之短期的非积累性的偏离。

定时抖动分析仪（也简称为抖动仪）一般由测试信号源和抖动测量接收器两部分组成。CCITT 建议 O.171 给出了定时抖动测量仪的主要技术要求。

图 35-5 所示就是测量定时抖动的原理方框图。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

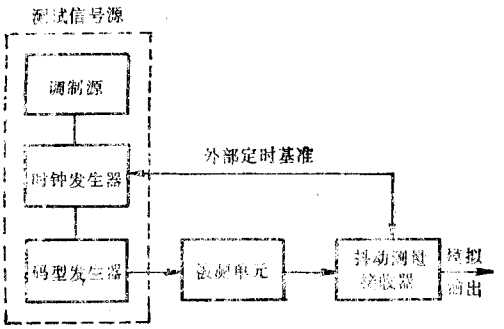


图 35-5　定时抖动分析仪原理方框图

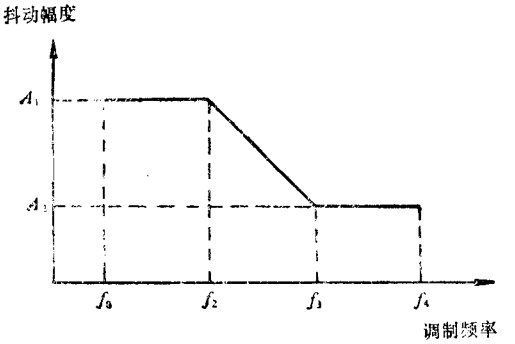


图 35-6　产生的抖动幅度对调制频率的关系

测试信号源一般由调制源、时钟发生器和码型发生器三部分组成。调制源是一个正弦信号源。时钟发生器产生不同速率的时钟脉冲，并由调制信号源进行相位调制，并能指示被调制后的信号相位偏离的峰-峰值。根据 CCITT 建议 O.171，所产生的峰-峰的抖动和调制频率应满足图 35-6 的要求。

图中 A_1、A_2、f_0、f_2、f_3、f_4 的值分别如表 35-5 所示。

表　35-5

比特率 (kbit/s)	A_1 (UI)	f_0 (Hz)	f_2 (Hz)	A_2 (UI)	f_3 (kHz)	f_4 (kHz)
2048	10	2	2400	0.5	45	100
8448	10	2	400	0.5	8.5	400
34368	10	2	1000	0.5	20	800
139264	10	2	500	0.5	10	3500

抖动幅度用单位间隔（UI）表示，一个单位间隔就是传输 1 比特信息所分配的时间。

$$1\text{UI} = 1/\text{比特率}$$

码型发生器产生测试用的伪随机码型和相应的线路编码，其原理与数字传输系统误码性能分析仪一样。

抖动测量接收器主要由鉴相器、限制各种比特下被测抖动带宽的滤波器及抖动测量电路等组成。一般它能够测量峰-峰值的抖动，也能对定时抖动进行分析。抖动测量电路的抖动幅度对抖动频率(即调制频率)的响应都能满足图 35-6 的要求。

定时抖动测量仪一般可以对以下参数进行测量和分析：

(1) 峰-峰值抖动 (Peak-to-Peak Jitter)

峰-峰值抖动是一个抖动比特的时间位置对于这个比特不抖动时位置的最大偏离。

(2) 正峰值或负峰值抖动 (Positive or Negative Peak Jitter)

正峰值或负峰值抖动是一个抖动比特的时间位置对这个比特长时间平均位置的最大超前或滞后偏离。

(3) 抖动事件计数 (Jitter Hit Count)

抖动事件就是抖动幅度超过规定阈值的抖动。抖动事件计数就是累计这些超出规定阈值的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

抖动个数。

(4) 抖动事件秒 (Jitter Hit Seconds)

一秒钟内,发生一件或多件抖动事件,这一秒就称之为抖动事件秒。定时抖动分析仪可以累计抖动事件秒的数目。

(5) 无抖动事件秒 (Jitter Hit-free Seconds)

一秒钟内,未发生一件抖动事件,这一秒就称之为无抖动事件秒。定时抖动分析仪可以累计无抖动事件秒的数目。

(四) 国内外 PCM 数字通信测量仪器产品性能对比

表 35-6 国内外 PCM 数字通信测量仪器代表性产品重要性能指标对比

性能指标名称	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
A-A 测量	具备	具备
D-A 测量	具备	不具备
A-D 测量	具备	不具备
D-D 测量	具备	不具备
比特率	139Mbit/s	34Mbit/s
误码测量	具备	具备
误码分析	具备	具备
抖动测量	具备	具备
抖动分析	具备	具备

第2节 分 类

根据 CCITT 建议,PCM 数字通信测量仪器主要分为三大类:

(1) 测量 PCM 编码器和解码器性能的仪器,如 PCM 终端分析仪。它必须满足 CCITT 建议 O.133《测量 PCM 编码器和解码器性能仪器的技术规程》。

(2) 测量数字系统误码性能的仪器,如误码性能分析仪。它必须满足 CCITT 建议O.151《测量数字系统误码性能仪器的技术规程》。

(3) 测量数字设备定时抖动的仪器,如定时抖动分析仪。它必须满足 CCITT 建议O.171《测量数字设备定时抖动仪器的技术规程》。

第3节 技术指标汇总表

PCM 数字通信测量仪器的技术指标基本上按三大类汇总。由于 PCM 终端分析仪是用来测量 PCM 编码器和译码器性能的,它的技术指标既有模拟部分,也有数字部分,模拟部分指标及其测试方法与载波测量仪器相似,而数字部分指标及其测试方法又与误码性能分析仪和定时抖动分析仪类似,因此技术指标汇总表中及下面的测试方法中均没有写进去。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

误码性能分析仪和定时抖动分析仪某些常规技术指标，如输入输出阻抗等与常规测试方法一样，因此也没有写入。

表 35-7 技术指标汇总表

序号	技术指标 \ 分类	误码性能分析仪	定时抖动分析仪
1	内时钟比特率准确度	●	●
	内时钟比特率可调偏置	●	●
2	测试码型中伪随机码码长	●	●
3	测试码型中字符码码长	●	●
4	发生器数据输出参数	●	●
5	误码插入	●	
6	接收器再生时钟速率准确度	●	●
	接收器再生时钟曳引范围	●	●
7	误码率测量准确度	●	
	误码分析	●	
8	发生器内调制产生的抖动幅度显示准确度		●
9	发生器内调制产生的抖动频率显示准确度		●
10	抖动幅度测量范围和显示准确度		●

第 4 节 技术指标及测试方法

1. 内时钟比特率准确度及可调偏置

internal clock bit rate accuracy and settable offsets

比特率就是每秒钟产生的码元数（即脉冲个数），内时钟比特率的准确度就是内时钟每秒产生的脉冲个数的准确度。可调偏置是指在固定比特率附近微调范围。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 35-7。

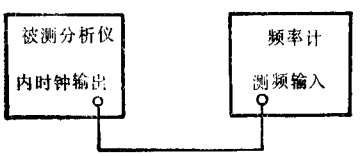


图 35-7

（2）测试步骤

① 将被测分析仪分别置发生器内时钟各比特率点上，读取频率计的实测值，计算出比特率误差。

② 在每个比特率点上，分别调节偏置，使比特率到最大、最小值，读取频率计的读数，计算出比特可调偏置范围。

2. 伪随机码码长

PRBS pattern length

伪随机二进制系列码型的长度，即一个码型系列中含有的比特数。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 35-8。

（2）将被测分析仪码型触发输出接到频率

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

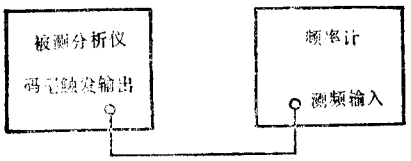


图 35-8

计测频输入端，分别置被测分析仪到各比特率点，并置码型到相应码型，分别读取频率计显示。按下式计算码长：

比特率÷频率计读数＝码长

以比特率 2048kbit/s 为例，码型应为 $2^{15}-1$，即码长为 $2^{15}-1$bit。此时频率显示值应为 62.5。

3. 字符码码长

word pattern length

字符码的长度，一般可以人工调节，这里指的是可调节的最大长度。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 35-9。

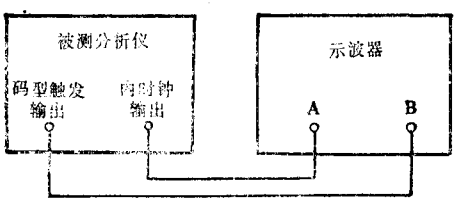


图 35-9

（2）测试步骤

① 将被测分析仪的内时钟输出和码型触发输出分别接入示波器 A、B 两个通道，注意阻抗匹配，若阻抗不匹配，应加匹配网络。

② 被测分析仪代码置单极性 NRZ 码，并分别置不同速率。

③ 被测分析仪置字符码型，并使“0”、“1”交替，调节示波器，读取两个码型触发脉冲间的比特数，这个比特数即为字符码的码长。

4. 数据输出参数

parameter of data output

发生器输出 NRZ、RZ、HDB3、CMI 等线路代码时的脉冲波形参数：幅度、脉宽、占空比、预冲、上冲和上升时间等。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 35-10。

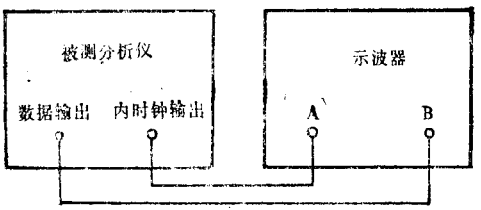


图 35-10

（2）测试步骤

① 将被测分析仪内时钟输出和数据输出分别接入示波器 A、B 两个通道，并使之阻抗匹配。

② 被测分析仪分别置 NRZ、RZ 码，码型置字符码型，并使之处于“0”、“1”交替状态。调节示波器，对照 A、B 两个通道的波形观察 NRZ、RZ 码格式是否正确，并细调示波器读取数据输出的幅度、脉宽占空比、预冲、上冲和上升时间等脉冲波形参数。

③ 被测分析仪置 HDB3 码，码型置字符码型，并使之处于全“1”状态，内时钟比特率分别置 2048kbit/s、8448kbit/s 和 34368kbit/s，调节示波器，观察不同比特率下 HDB3 码格式是否正确，并读取数据输出的脉冲波形参数。

④ 被测分析仪置 CMI 码，码型置字符码型，并使之处于全“0”状态，内时钟比特率置于 139.264Mbit/s，调节示波器，观察 CMI 码格式是否正确，并读取数据输出的脉冲波形参数。

5. 误码插入

error injection

为了测试需要，在发生器产生比特率过程中，插入一定数量的误码或一个固定的误码率，这就叫误码插入。

测试方法：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

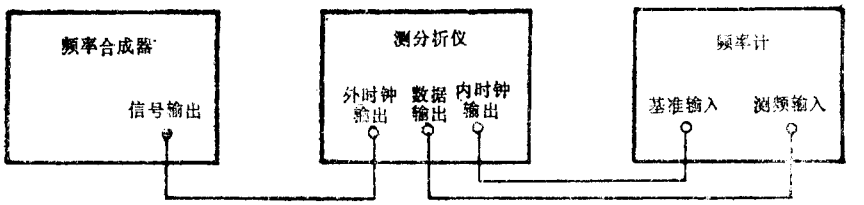


图 35-11

(1) 测试方框图，如图 35-11。

(2) 测试步骤

① 频率合成器输出频率为 10MHz，幅度达到被测分析仪外时钟输入的要求，被测分析仪置外时钟位置，代码置 NRZ 码，码型置字符码型，并使之处于"0"、"1"交替状态。频率合成器、被测分析仪、频率计连接端口阻抗必须匹配。

② 读取频率计示值，应该为 5Mbit/s。

③ 被检分析仪置不同的误码插入，再读取频率计示值，此时示值应为 5Mbit/s 减去插入的误码数。若技术指标给出的是误码率，可以折算为误码率。

6. 接收器内时钟再生速率准确度和曳引范围

internal clock recovery rate accuracy and pulling range of receiver

接收器接收数据以后，内时钟再生电路产生再生时钟的速率的准确度和同步范围。

测试方法：

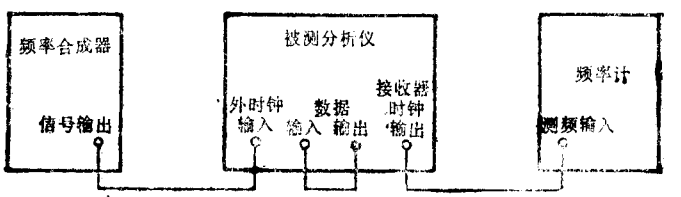


图 35-12

(1) 测试方框图，如图 35-12。

(2) 测试步骤

① 被测分析仪置伪随机码码型，误码率测试方式，代码分别置 CMI、HDB3 码，频率合成器频率分别对应于 CMI、HDB3 码相对应的比特率。

② 在频率计上读取再生时钟的速率，计算再生时钟速率准确度。

③ 将频率合成器在上述频率附近拉偏，从频率计上读取同步范围。

7. 误码率及误码分析

bit error ratio and error analysis

所谓误码率，就是在特定的一段时间内所接收到的比特误差数，与同一时期内所接收到的比特总数之比。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 35-13。

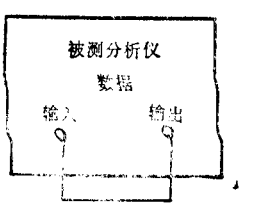


图 35-13

(2) 测试步骤

① 被测分析仪置伪随机码型，分别置 CMI、HDB3 代码，码长、内时钟比特率与 CMI、

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

HDB3 代码对应选择。

② 被测分析仪置误码率测量方式，并分别置一定的误码插入，被测分析仪误码率显示应显示相应的误码率。

③ 被测分析仪分别置该误码分析的某一测量方式，并使用单个误码插入，根据定义，观察该误码分析显示，应显示相应的值。

8. 产生的抖动幅度显示准确度

generated jitter amplitude display accuracy

由定时抖动分析仪发生器内调制产生的抖动，其幅度显示的准确度。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 35-14。

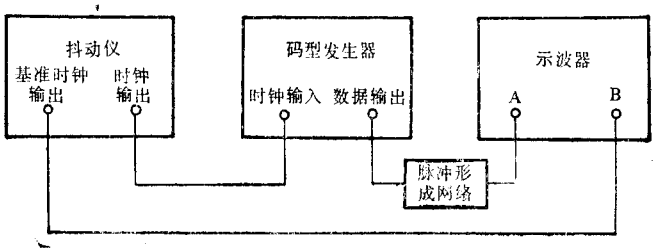


图 35-14

(2) 测试说明

将抖动仪的时钟输出加到码型发生器时钟输入，抖动仪基准时钟(不抖动)输出加到示波器 B 通道，用基准时钟的周期作为单位间隔(UI)标准，在示波器 A 通道上观察到的数据字抖动幅度值和发生器抖动幅度显示值作比较，得出抖动仪抖动显示的准确度。可调的脉冲形成网络(见图 35-15)用来使数据字脉冲上升沿变坏，以便增加观察数据脉冲波形的亮度。

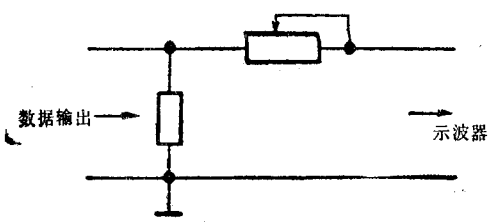


图 35-15 脉冲形成网

(3) 测试步骤

① 根据不同的比特率，分别调节抖动仪抖动幅度为 $0.2UI_{p-p}$、$0.5UI_{p-p}$、$1UI_{p-p}$、$2UI_{p-p}$、$4UI_{p-p}$、$8UI_{p-p}$ 和 $10UI_{p-p}$，并在不同的抖动频率上读取相应示波器上的显示值。

②按照不同的抖动幅度，为了便于观察和读出抖动幅度，码型发生器的字符码状态应分别选择 1111、1010、1000 等。

③ 同样，按照不同的抖动幅度，分别调节示波器 X 轴 10 格显示 1 个、2 个、4 个、8 个、10 个基准时钟周期，此时 X 轴 1 格分别表示 $0.1UI_{p-p}$、$0.2UI_{p-p}$、$0.4UI_{p-p}$、$0.8UI_{p-p}$、$1UI_{p-p}$。

④ 测试波形如图 35-16 的①～⑪。

9. 产生抖动频率范围和显示准确度

generated jitter frequency range and display accuracy

定时抖动分析仪发生器内调制产生的抖动，其抖动频率范围和显示的准确度。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 35-17。

(2) 测试说明

将抖动仪发生器抖动的时钟输出加到接收机的时钟输入。将发生器基准时钟输出加到接收机基准时钟输入。发生器抖动的时钟输出经接收机解调以后，从解调输出加到频率计数器上。将频率计数器上的实测值和抖动发生器上的显示值相比较，计算出频率的准确度。

(3) 测试步骤

① 在不同速率下，按 CCITT 建议 O.171

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的规定，调节调制频率到最大、最小值，并在中间各频率点上逐点测量。

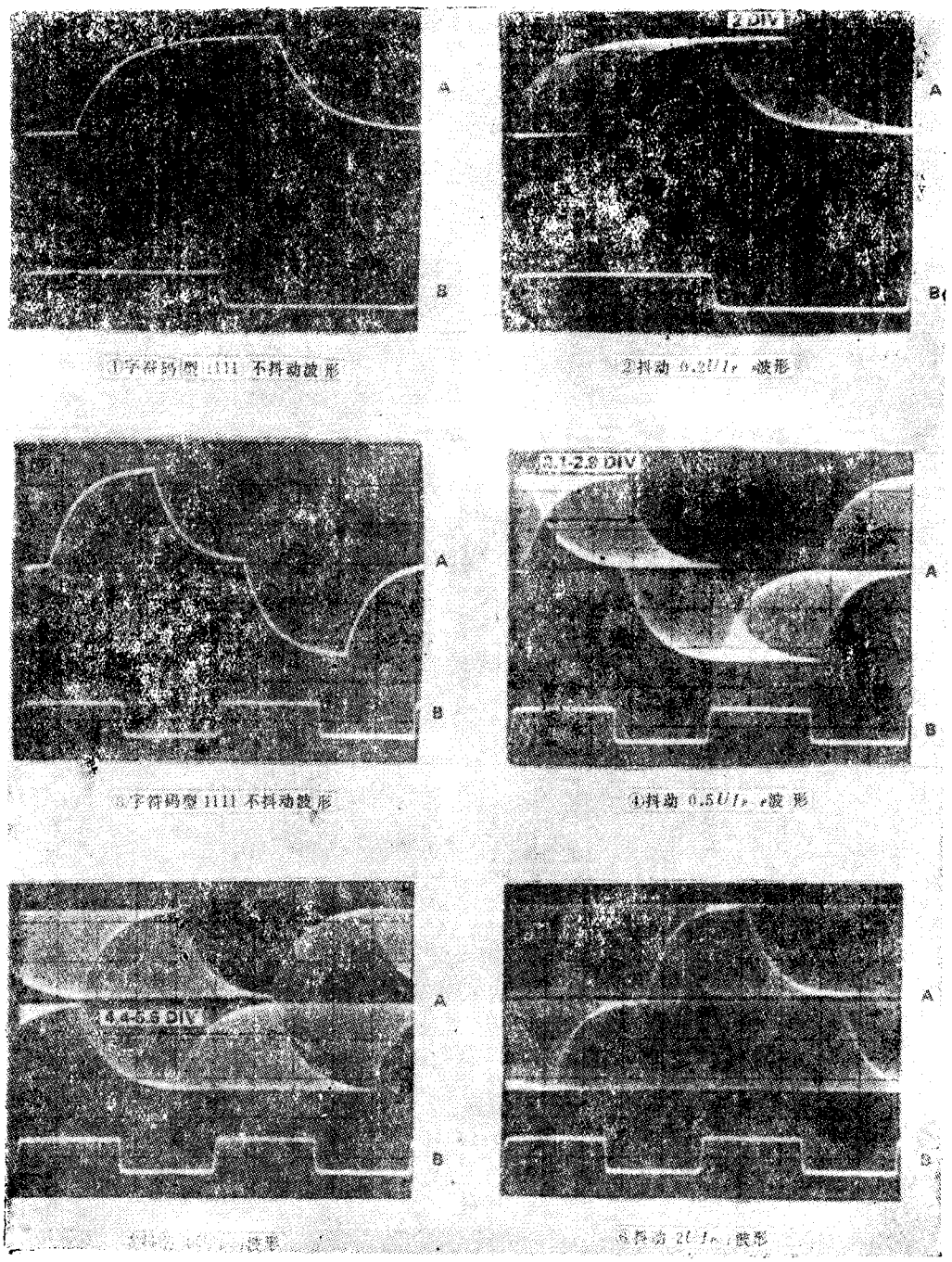
② 在每一个频率点上，选取恰当的抖动幅度，使接收机显示稳定，然后进行频率测量，以便测量得准确。

③ 对低于 5kHz 以下的频率，可以用测周期的方式进行测量，使数据更加准确可靠。

10. 抖动幅度测量范围和准确度

jitter amplitude measurement range and accuracy

定时抖动分析仪接收器测量数据信号抖动



①字符码型 1111 不抖动波形

②抖动 0.2UI$_{p-p}$ 波形

③字符码型 1111 不抖动波形

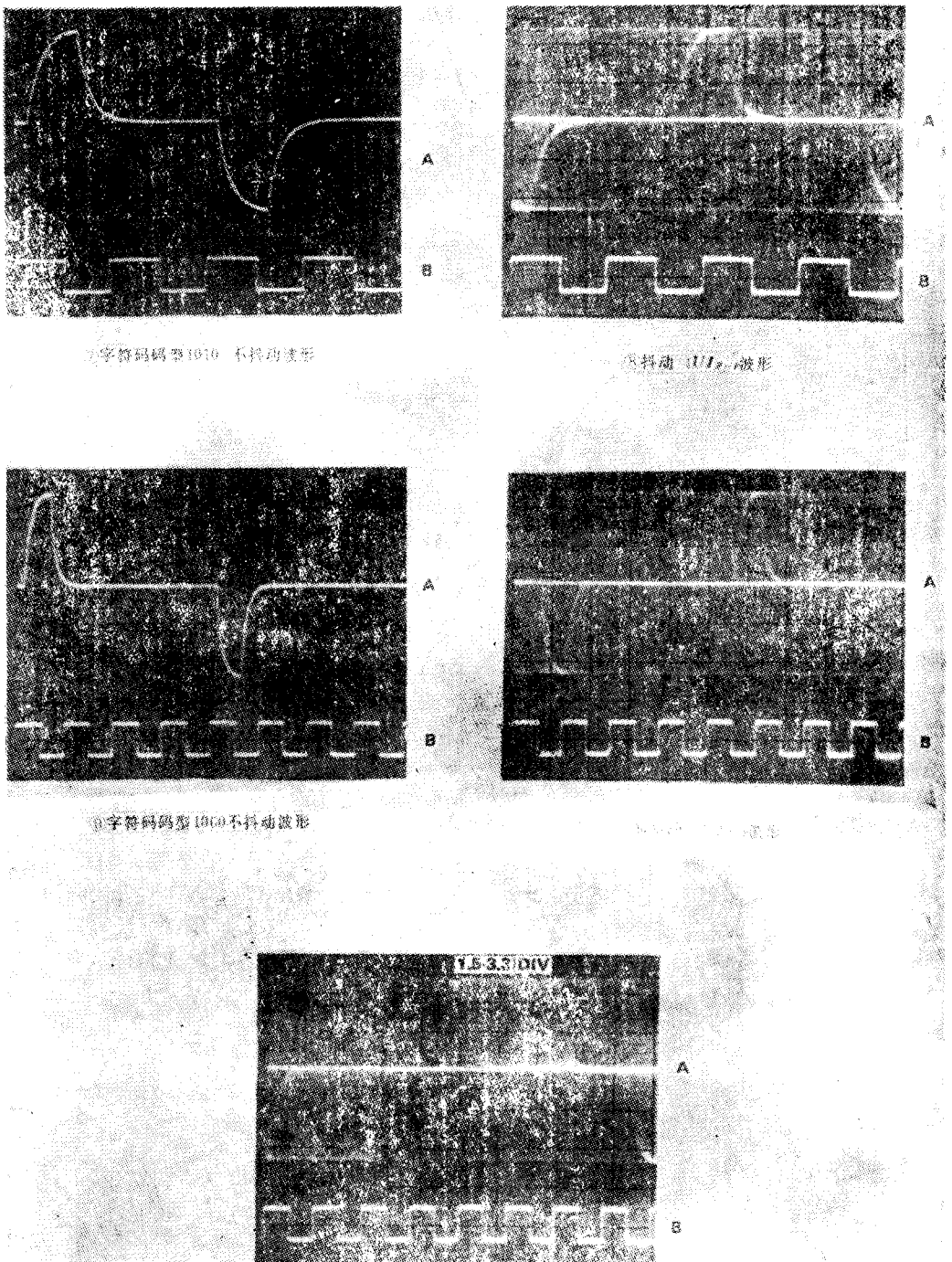
④抖动 0.5UI$_{p-p}$ 波形

⑤抖动 1UI$_{p-p}$ 波形

⑥抖动 2UI$_{p-p}$ 波形

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



字符码码型1010 不抖动波形

抖动 $10U_{p-p}$ 波形

字符码码型1000不抖动波形

抖动 $10U_{p-p}$ 波形

图 35-16

幅度的范围和准确度。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 35-18。

(2) 测试说明

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

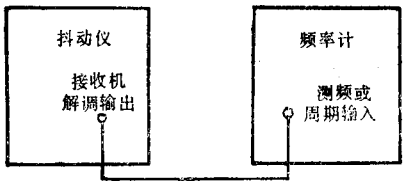


图 35-17

抖动仪提供抖动的时钟，加到码型发生器外时钟输入。码型发生器的抖动数据字一路通过脉冲形成网络加到示波器A通道，将抖动幅度和B通道基准时钟周期进行比较，测出抖动幅度；另一路通过延迟输出端口加到抖动仪数据输入，由抖动仪接收机测量抖动幅度。将示波器抖动幅度实测值与抖动仪显示值作比较，测出抖动幅度的测量准确度。

(3) 测试步骤

与抖动仪的抖动幅度显示准确度的测试步骤相同。

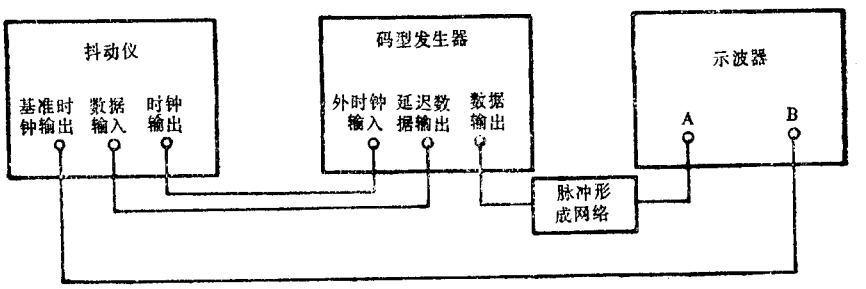


图 35-18

* * *　　* * *

本章技术指标和测试方法中所用的主要测试仪器，列表汇总如下。

表 35-8 主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
频率计	E325 等	JJG349-84
示波器	Tek 2465	JJG411-86
频率合成器	MG 545A	JJG502-87

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第36章　纤维光学测量仪器

第1节　综　　述

(一)纤维光学技术及其测量仪器

纤维光学技术包括了激光技术、光波导技术、光电探测接收技术及各种光波元器件、光纤传感技术等，它是一项具有重大突破意义的崭新的科学技术。它的出现不仅是通信技术的一次革命，而且为科学技术的许多方面提供了前所未有的应用方向。几乎所有的传感器种类均有光纤传感器出现，致使光纤在航空、航天、舰船、兵器、化工、发电、计算机、气象等各个科学技术领域的应用均已出现了令人震惊的科学进步。例如自聚焦透镜、光纤成像、光纤陀螺、光纤扫雷器、光纤水听器、光纤夜视通信以及利用光纤光栅进行的激光脉冲压缩技术等均是显著的例子。

众所周知，光纤通信具有通信容量大，保密性强，抗干扰能力强等优点。传统的同轴通信系统通信容量一般为 0.2 Gbit·km，而光纤通信已达到 200 Gbit·km。因此，光纤通信无论是在长距离干线还是在市内电话网、计算机网等方面均有取代明线、同轴线、波导等通信方式的趋势。

我国光纤通信的研究开发始于70年代。1978年全国第一次科学大会便将光纤通信作为新兴技术列为国家重点攻关项目。仅十年的时间便攻下了短波长多模光纤通信系统及长波长多模和长波长单模光纤通信系统，光电接收、发射器件、光纤光缆、光通信端机、光纤仪器仪表均在一定程度上实现了国产化、实用化，并形成了一支研究、开发、生产及施工的科学技术队伍。我国光纤传感器和光纤在国防、公安、交通、发电、环保、大气监测以及工矿企业各个方面的应用均已取得了很多重大进展。

著名科学家门捷列夫曾说过“没有测量就没有科学”。测量技术和仪器是科学技术中信息获取、处理和度量的重要手段。任何科学实验都少不了测量仪器。同样，光纤及光通信测量仪器是光通信技术及光纤在各个科学领域应用中进行科学研究、新产品试制和开发以及生产和维护保养运转中不可缺少的测试手段和工具，也是这些科学技术和应用研究的重要基础。一切重要的光纤传感器及光纤在通信及国民经济和国防工程中的科研项目都离不开纤维光学测量技术和测量仪器的支持。同时，光纤、光纤传感器、光通信工程的需求牵引更是推动纤维光学科学技术与测量仪器发展的动力。纤维光学测量仪器直接或间接地为纤维光学技术服务。它不仅是纤维光学技术各种科学研究、新产品开发、生产调试、维护修理的重要手段和工具，而且仪器本身往往便是光纤通信及光纤应用工程系统中的重要组成部分。

纤维光学测量仪器是伴随着纤维光学技术的应用发展而发展起来的。纤维光学是一门多种科学技术结合生成的新兴学科。单就光纤通信来说便包括了激光理论和技术，光波导理论和技术，*光电探测器理论和技术，高速电光调制理论和技术，计算机技术，通信发送、接收技术等多学科多*种新技术的结合。它的重大突破性进展一般都是包括物理学家、电气工程师以及材料方面的科学家和工程师们在内的多学科共同努力的成果。纤维光学技术的开始研究仅限于在高等学校及科研单位的研究室内进行。在该阶段所用的测量仪器一般是借用光学、电子学、材料学及几何测量等

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

多学科的测量仪器组合并配置一些必要的元件或专用设备构成的较为简易的测量系统。随着纤维光学技术的迅速发展，特别是各种测量理论和方法的不断发展和完善，随着国际及各国纤维光学标准的制定，纤维光学测量仪器逐步实现了专用化、商品化及系列化。

我国纤维光学测量仪器研究与发达国家相比起步较晚，因此我国纤维光学测量仪器主要走过了引进、消化、吸收并逐步朝着国产化、系列化、标准化的方向发展。目前国内纤维光学测量仪器行业已经形成，且正在迅速地发展着。在纤维光学测量仪器的研究开发中，机电部第四十一所、三十四所、二十三所、四十四所、七六七厂、邮电部武汉通信仪表厂、邮电通信工程仪表厂、武汉邮电科学院、邮电部北京仪表研究所等单位均做出了突出贡献。机电部第四十一研究所在纤维光学测量仪器的研究开发中做出了令人鼓舞的成绩，该所研制的纤维光学测量仪器已经实现了自动化、智能化，并已达到了国际80年代中期水平。

如前所述，由于纤维光学是半导体电子学、光学、材料学等多学科结合形成的一个蓬勃发展的边缘学科，因此纤维光学测量仪器技术一般也包括了这些学科的测量理论和技术及计算机技术等。因此大部分纤维光学测量仪器都是这些测量技术的综合和集成，并进一步发展的合成体。因此技术密集、资金密集是纤维光学测量仪器的重要特点之一。

纤维光学的高技术性及其与武器装备和军事工程有着紧密的联系是它的第二个特点。也正是由于这一点，比较先进的新型纤维光学测量仪器，发达国家对我国实行封锁和禁运。

（二）纤维光学测量仪器的国内外水平及现状

1. 国外水平及现状

目前国外纤维光学测量仪器主要有各种光源系列，各种光功率计系列，各种光衰减器系列，光谱分析仪系列，光纤带宽测量仪器系列，光纤波长色散测量仪系列，光时域反射计，光波元件分析仪，光波信号分析仪，光纤特性综合分析仪，激光二极管参数综合自动测试系统等。

国外纤维光学测量仪器有如下几个重要特点：

① 多功能、宽波长范围、宽调制频率范围、高准确度、大动态范围。

如美国 HP 公司的 8702A 光波元件分析仪具有可对整个光通信系统（含发射机、传输光缆、接收机）、电/光变换元器件及整机（如电/光变换器，光信号发生器、光发送机、光源等）、光传输元件（如光纤光缆、光衰减器、光分路器、光定向耦合器、光开关等）、光接收器件及整机（如光/电变换器、光接收机等）的诸如调制传递函数、调制带宽、响应度、功率压缩、功率饱和、反射响应、反射系数、光纤光缆长度、光纤故障点定位以及器件的损耗、增益等多种参量进行测量。其调制频率可高达 20GHz，反射点测量分辨率 1mm。HP 公司的 71400A 光波信号分析仪可在 100kHz～22GHz 的频率范围内分析光纤通信系统的高速调制信号，并可测量噪声光功率电平及平均光功率等参量，进而分析表征与该通信系统有关的诸如半导体激光器，激光发射机、光调制器、光探测器及其它光波元器件的特性。

日本安立公司的激光二极管自动测试系统，可测电流-光功率（I-L），电流-LD 正向电压（I-V），电流-PD 监视电流（I-I_m），电流-量子微效率（I-η_d），LD 反向偏压-LD 漏电流（V_r-I），LD 正向偏压-LD 漏电流（V_f-I），PD 反向偏压-PD 漏电流（V_{mf}-I），PD 正向偏压-PD 漏电流（V_{fm}-I），PD 暗电流（I_{md}），光谱远场图等几乎激光二极管的所有参量。

美国 HP 公司的光时域反射计的后向散射单程损耗动态范围高达 28dB，而菲涅尔反射单程

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

损耗动态范围则高达 42dB。

② 充分利用当前最先进的科学研究及生产技术并与先进的电子测量技术相结合。

如美国 HP 公司的 8145A 光时域反射计采用了雷达技术中的扩频技术，既改进了仪器的信噪比，又扩大了动态范围，也不降低其响应分辨率，从而使光时域反射计的性能水平大大地提高了一步。

美国 HP 公司的 8703A 光波元件分析仪采用了高达 20 GHz 的高速电光调制及高速光电解调技术以及矢量网络分析仪技术及光外差干涉技术等。

HP 公司的 71400A 光波信号分析仪也采用了高达 22 GHz 的高速解调技术及最先进的高灵敏度微波频谱分析技术。

日本安立公司的 MS 9003 A/B 光谱分析仪采用了法布里干涉技术及 PZT（压电器件）微位移调整技术，从而使其波长分辨率达 0.01nm，波长精度达 ±1nm。

③ 智能化、微机化、自动化。

与其它电子测量仪器一样，随着微处理器及计算机应用的日益普及，纤维光学测量仪器大都实现了当代最高水平的仪器智能化、微机化、自动化。

智能仪器是仪器与微处理器的结合，充分利用微处理器的计算能力和逻辑判断功能，大大提高了仪器的性能。

微机仪器是仪器模块与个人计算机的结合，充分利用了个人计算机的软件及硬件资源，大大提高了仪器的功能，也大大提高了其性能价格比。

自动测试系统是可程控仪器与计算机的结合，其关键是 GP-IB 标准接口。自动测试系统具有高精度、高速度及自动测试等优点。

④ 具有高的可靠性。

国外纤维光学测量仪器研究开发生产均特别重视仪器的可靠性，将仪器的可靠性视为仪器的生命。因此进行了可靠性论证、可靠性设计、可靠性实验，产品设计、元器件筛选、生产工艺、质量检验等各个环节都根据可靠性要求严格执行，因此其仪器平均无故障时间均较长。

⑤ 重视仪器技术指标的溯源和量传。

目前发达国家（如美国、德国、日本等）均已建立了从国家级一直到生产产品的各级纤维光学计量标准和量传制度，从而保证了其仪器产品的准确度。也进一步保证了其整个纤维光学技术领域的测量数据的准确可靠。

⑥ 新的测量原理、新的测量系统不断出现。

如光纤色散测量方法及测量系统已出现了基带特性比较法、脉冲延迟法、相移法、干涉法、模场直径随波长变化测量法及其它多种测量原理、方法以及测量系统。再如模场直径的远场法、近场法、刀棱法、横向位移法等多种测量原理、方法和系统。

2. 国内水平及现状

随着我国光纤通信事业的发展及纤维光学在国民经济及国防工程中的应用发展，我国纤维光学测量仪器也有较大的发展，特别是改革开放政策给纤维光学测量仪器的发展带来了巨大的生机和活力。主要表现在如下几个方面：

① 纤维光学测量仪器行业已初步形成。

目前我国已初步形成了一支纤维光学测量仪器产业队伍（包括科学研究、开发、生产及计量测

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

试等)，初步形成了以大专院校、科研单位的研究开发为先导，工厂企业的工业化生产为后盾，军工武器型号为牵引，工程公司开拓市场为先锋的格局。目前直接从事纤维光学测量仪器研究、开发、生产的大专院校、科研单位、工厂企业的主要单位已有十余家，集中了一大批科学研究和技术工程人材。

② 建立了国防光电子计量一级站。

1987 年我国在机电部四十一所定点建立了国防光电子计量一级站。目前该站已建立了光功率、光衰减、光纤测长、光谱响应、光谱、带宽及单模光纤色散等计量标准，并开展了量值传递，为我国纤维光学测量仪器的准确度提供了可靠保证，也为我国纤维光学技术打下了一个坚实的基础。

③ 技术研究取得了很大成绩。

我国纤维光学测量仪器行业虽然起步较晚，但发展十分迅速，除少数世界最新产品外，大多数纤维光学测量仪器国内已有生产，有些已经达到了 80 年代中期的世界水平。

如机电部第四十一所的 AV 3628 光时域反射计，无论在产品的技术指标还是可靠性及智能化、自动化等方面均已达到了日本安藤公司的 AQ-1720 B 型光时域反射计的水平。

机电部四十一所自行设计的 AV 38117 自动单模光纤熔接机采用了本地注入检测技术、电致伸缩及弹性铰链微位移技术、开关电源技术、GP-IB 接口自动控制技术等一系列先进技术，从而实现了快速自动高水平的单模光纤熔接。在产品性能及自动化等方面已接近 80 年代中期国际水平。

机电部第四十一所研制的 AV 2494 智能光功率计在仪器的准确度、测量动态范围、功能及智能化、自动化等方面也均达到了世界同期水平。

其它单位如机电部第三十四所、邮电部武汉通信仪表厂、通信工程仪表厂、邮电仪表研究所等单位也均研究开发了一些具有较高水平的纤维光学测量仪器。

④ 纤维光学测量仪器面临着严峻的挑战。

近几年，我国光纤通信事业及纤维光学在国民经济及军事工程中的应用发展十分迅速，据不完全统计，到 1987 年底已经和正在建设的公用网通信线路 3000 公里；专用网中，铁路通信线路 2000 公里，电力通信线路 270 公里，国际、公安、交通、工矿企业通信线路 970 公里。近一两年发展更为迅速，粗略估计又有多倍增长。但总的说来，我国纤维光学测量仪器还不够齐全，有些还依靠进口，而目前高档纤维光学测量仪表国外对我国实行禁运。因此，自力更生，奋发图强，组织科技攻关，是目前纤维光学测量仪器行业的一项十分光荣而又艰巨的任务。

(三) 纤维光学测量仪器的未来

纤维光学是电子学、光学发展的崭新的阶段，二者的结合是信息技术的生长点，它将成为新技术革命和信息社会的重要支柱。纤维光学技术已经并将继续渗入到工业、交通、通信、地质矿产勘探、大气监测、环境保护、计算机网络及军事侦察、跟踪制导、指挥等国民经济和国防科学技术的各个方面。纤维光学测量仪器既是纤维光学科学技术的重要组成部分，又是纤维光学科学技术的重要技术基础，它也必将同步地渗入到这些领域，并对其发展发挥巨大的推动作用。随着这些科学技术发展的需求牵引与推动，纤维光学测量仪器必将向着更高水平进一步发展和完善。

现在纤维光学测量仪器已经成为电子测量仪器的一个重要分支，无论技术发展速度还是所占

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

市场比例的增加速度，在整个仪器行业之中都是比较快的，其地位也将越来越突出。

由于光导纤维的传输损耗越来越低，波长色散越来越小，通信容量越来越大，调制频率越来越高，目前调制频率范围已经达到微波频段，并正向着更高的频率范围发展，因此，纤维光学测量仪器与微波测量仪器(如网络分析仪、频谱分析仪等)的结合及集成已经出现并将继续发展。

目前国内诸如光纤色散、模场直径、端面折射率、截止波长等参数的测量，一般均采用大型专用组合测量系统，其系统较为复杂。随着纤维光学在国民经济及国防武器型号研制需求牵引的推动下，这些参量的测量仪器将朝着多功能、高准确度、小型轻便的方向发展。

随着微处理器及计算机应用、大规模集成电路技术的进一步发展，纤维光学测量仪器也将朝着更高水平的智能化、微机化及自动化的方向发展。

(四) 纤维光学测量仪器简介

1. 光功率计

光功率计是纤维光学技术应用十分广泛的测量仪器。在纤维光学技术的科研、生产、实验、使用的各个部门及各个环节中均需要使用光功率计。

由于光功率计内部及外部的原因，光功率计的测量准确度远低于电子测量仪器的测量准确度。

光功率计主要分为平均光功率计及脉冲光功率计两种。平均光功率计又分为通用光功率计(主要是光电二极管探测器)及标准光功率计(分为自校准光电二极管光功率标准，热释电光功率标准，热电偶光功率标准)两种。脉冲光功率计则主要用于数字系统中测量高低光电平及门限光电平等。

目前我国平均光功率计已有多家研究生产，有的已经达到国际同期水平。如机电部第四十一所的 AV 2494 平均光功率计在波长范围、功率范围、校准准确度及智能化、自动化等多方面均已达到了国际同期水平。

2. 光源

光源几乎是所有纤维光学测量中必不可少的测量仪器，而且随着测量项目和目的要求不同，对光源的要求也不同，因此在纤维光学测量仪器中光源种类最为繁多。

目前光源产品主要有稳定光源、可变波长光源、光信号源、波长校准标准源、外差光扫频器、可见光源等。

① 稳定光源一般为激光光源，要求有较大的光功率输出，特别要求高稳定度的输出光功率电平，并且要求准确稳定的波长和窄的光谱。稳定光源主要用于各种精密计量测试。

② 可变波长光源一般为白光源与单色仪的组合。可变波长光源主要用于各种纤维光学元器件(有源或无源)的光谱响应特性测试。可变波长光源一般要求具有较宽的波长输出范围，要求具有高的波长分辨率、波长重复性及波长准确度，要求输出光谱宽度准确可调。

③ 光信号源是输出光电平可准确调整的光源。主要用于光纤及纤维光学元器件的损耗测量及光电探测器的线性校准、光纤系统的误码率测试等。光信号源要求具有较大的光功率动态范围、准确的光功率电平调整及稳定的光功率电平输出、准确稳定的光波长、窄的光谱宽度以及调制频率宽度和调制信号幅度平坦等。

④ 波长校准标准源主要用于对光谱分析仪及单色仪进行波长校准。其主要技术指标为输出

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

谱线波长准确度，输出光电平大小及谱线数目。

⑤ 光外差扫频器是一种利用新型原理形成的极宽扫频宽度的扫频光强度调制信号源。它是用具有极高相关特性、波长差可准确控制的两个光束结合而形成的强度调制信号，通过改变两光束波长差改变调制信号频率。随着高速大容量光通信系统的发展，高速光接收器件技术的发展十分迅速。如果仍用过去采用的直接扫频调制法所形成的强度调制扫频信号来进行高速光接收器件的频率响应特性测试，这样的光信号调制带宽有一定的限度，难以做得太高，而且传输器件的调制带宽特性影响必须予以考虑。而外差光扫频器已经做到100GHz的扫频带宽，且具有很高的调制扫频信号平坦度。外差光扫频器的主要技术指标为：输出光波长准确度、输出光电平、隔离度、扫频范围、输出调制光信号平坦度、频率稳定度、扫描时间等。

⑥ 可见光源是由He-Ne气体激光器所构成的光源。主要用于光纤端面折射率分布测量、观察法光纤故障定位、光路准直等方面，其主要特性指标为输出电平及其稳定度、输出波长及其准确度。

3. 光衰减器

光衰减器广泛应用于光纤系统及纤维光学技术测量中的光功率电平调整，如光功率计及光电探测器的线性、光通信系统的误码率测试等均需要采用光衰减器进行准确的光功率电平调整。

光衰减器主要分为固定光衰减器及可变光衰减器两大类。

4. 光谱分析仪

光谱分析仪是纤维光学技术中最基本的测量仪器。光纤光缆及几乎所有光波元器件（含发射、传输、接收器件）的性能评定均需要进行光谱分析。

5. 光时域反射计

光时域反射计是测量光纤衰减常数、光纤接头损耗、光纤故障点定位、光纤长度等参数的重要仪器。在光纤长度精确已知的条件下，它又能测量光纤的折射率。光时域反射计广泛应用于光纤生产及科研领域的许多方面。特别在光通信工程施工及维修中，它更是必不可少的重要仪器。

日本安藤、安立等公司率先推出了多种光时域反射计产品，且具有良好的性能。美国HP公司于80年代后期由于采用先进的相关技术，使其生产的光时域反射计各项性能均得到了大幅度的提高。如对1300nm单模光纤的动态范围单程损耗高达28dB。

6. 光波元件分析仪

光波元件分析仪是一种功能很多、性能极佳（如反射点定位分辨率可优于1mm）的新型纤维光学测量仪器。它一出现，便受到了极大的重视。

一般说来，一个光波系统是由信息源、信号调制部分、线性激励放大器、光发送器、光缆、光接收器（信号解调部分）和信息接收器等组成。随着调制频率的提高，各功能组件之间的相互作用都可能影响系统的性能。如光反射回激光器能影响其调制带宽等特性，连接器和接头等的插入损耗会减少传输光功率，各个元器件的调制带宽累加起来会限制整个系统的带宽。随着光波系统的调制速率提高到了微波频率，表征各种光波元器件在微波调制频率下的工作特性就变得越来越重要了。

光波元件分析仪就是测量各种光波元器件高频调制下工作性能的。其主要功能如下表：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

器件类型	被 测 参 量	典型器件举例
电/电器件测量	衰减、增益 失真 电长度 阻抗匹配 相位	光波系统 滤波器(微波) 传输线(微波) 各种微波接头及无源器件
光/电器件测量	光电器件响应度 光电器件的饱和功率 光电器件的调制频率响应 光电器件的反射特性 光电器件的调制相位	光电探测器 光接收机
电/光器件测量	电光器件的响应度 电光器件的功率压缩 电光器件的调制频率响应 电光器件的调制相位响应 电光器件的反射响应	各种 LED 管及各种 LED 光源 各种 LD 管及各种 LD 光源 各种 E/O 变换器及光发射机
光/光器件测量	光纤、光缆等光器件的频域带宽测量 光纤、光缆等各种光器件的时域测量 光纤、光缆长度测量及其故障点定位 光器件的衰减测量 光反射测量	光纤、光缆、光调制器光开关、光分路器、光定向耦合器、光衰减器、光中继器等。

光波元件分析仪系统主要由以下几个部分组成：光波元件分析仪主机校准光源、校准光接收机、光波定向耦合器、S 参量测试组件及其它标准件和附件。

可见，光波元件分析仪是在射频矢量网络分析仪的基础上发展起来的，其主要测试项目的工作原理如下：

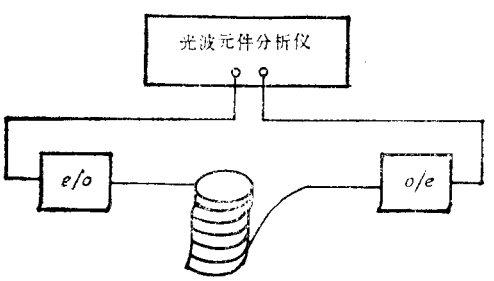


图 36-1 光波元件分析仪测量原理方框图

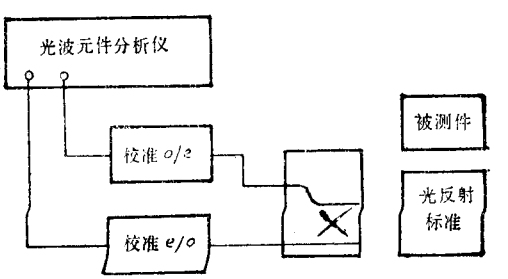


图 36-2 光波元件分析仪进行器件反射特性测量原理方框图

如图 36-1 所示，光波元件分析仪对含被测器件（电/光、光/电、光/光）系统的输入端加了 300kHz～6GHz(最高可达 20GHz)的扫频正弦调制信号，则在输出端得到一个幅度和相位均发生了变化的扫频正弦输出信号。从输入输出信号的幅度和相位关系即可确定被测系统在宽频率范围内的调制传递函数，其实际测量过程是测量系统均先采用校准标准进行一次校准，得到一个归一化校准数据，再用被测件(被测件可以是电/光器件，光/光器件，光/电器件等)取代其相应的校

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

准件，并求出其经过校准的扫频调制传递函数，亦即得到了被测件（或被测系统）的诸如 3dB 调制带宽等频域信息，再经过付里叶逆变换，即可得到诸如脉冲色散等的时域信息。

光波元器件的反射特性测量如图36-2所示。

测量时定向耦合器的通臂先接全反射（或已知反射系数）标准件对系统进行反射系数测量校准，再改接被测件，即可直接测出并显示被测件的反射系数。

电/光器件（含光源、光发射机等）的反射响应是指电光器件特性参数受反射回来的调制光信号影响的程度。其测量原理如图 36-3。

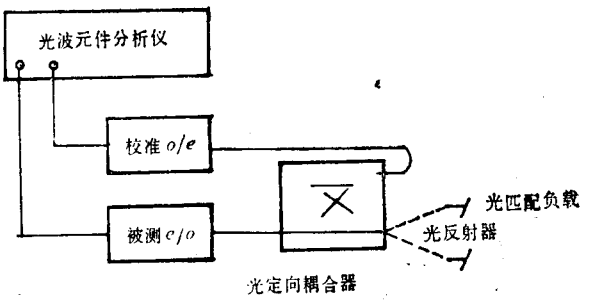


图 36-3　光波元件分析仪进行发光器件反射响应特性测量原理方框图

其测量过程为在光定向耦合器的通臂分别接以光匹配负载及光反射器的两种情况下测量光源特性。

光波元件分析仪测量光纤长度及光纤故障点定位的测量原理方框图如图 36-4 所示。

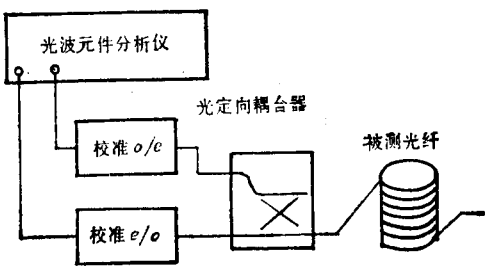
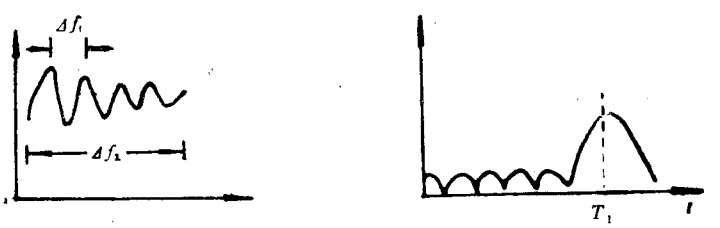


图 36-4　光纤长度及光纤故障点定位测量方框图

图 36-4 中光波元件分析仪所接收到的光信号是由两部分合成的。一部分是定向耦合器的输入信号，直接进入耦合臂再进入仪器信号接收端；另一部分是由光纤、光纤故障点、光纤终端的反射信号进入耦合臂再进入接收端，仪器输入端输入的是足够宽的扫频幅度调制光信号，仪器接收端收到的合成信号将形成一个相位变化波动图。波动图在频域内测量。频域信息经付里叶逆变换后产生距离（或时间）信息（如图 36-5）。

Δf_1 是由光定向耦合器直接进入接收部位的光信号与由光纤末端反射回来的光信号之间的相位差为一个周期（2π）时所需的扫频频带间隔，因此它包含了光纤长度的信息。

Δf_2 为光波元件分析仪信号输出端所输出的扫频信号的扫频宽度。Δf_2 越宽，所获得的两反射点距离分辨率越高。



（a）频域　　（b）时域

图36-5　光波元件分析仪测量光纤长度时的图形显示

7. 光波信号分析仪

光波信号分析仪是由高灵敏度、宽带光接收组件与高性能的频谱分析仪相结合生成的最新一

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

种调制光信号测量仪器。它可以用于测量光通信系统及光波元器件的调制特性、光信号噪声及平均光功率等参量，也可给出校准显示及数据。与干涉仪组合还可测量分布反馈激光二极管和其它单纵模激光器的线宽和频率调制。

光信号分析仪的代表产品为美国 HP 的 71400C。其主要技术指标为：

调制带宽　100kHz～22GHz

波长范围　1200nm～1600nm

输入反射损耗　>27dB

最大输入平均功率　+30dBm

平均光功率准确度　±0.65dB

调制光功率准确度　±1.0dB（在 100 MHz）

频响　±1dB

光波信号分析仪国内尚无产品。

8. 激光二极管自动测试系统

激光二极管自动测试系统是能在温度控制下自动测试半导体激光二极管及内装监视用光电二极管的各种特性的综合测试仪器系统。

其主要测试项目如下：

- 电流对光功率
- 电流对监视电流
- 电流对 LD 正向电压
- 光谱
- 远场图
- LD 漏电流
- PD 漏电流

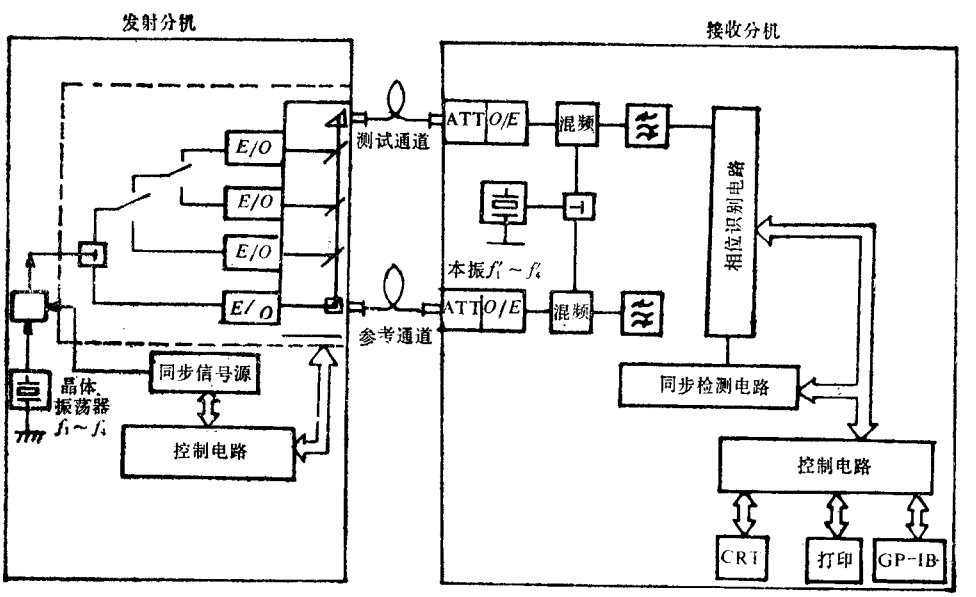


图 36-6　基带相移比较法单模光纤色散测量原理与方框图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

9. 单模光纤色散测量装置

单模光纤色散是表征单模光纤通信容量大小的重要参量。

目前单模光纤色散测量仪器主要是采用不同波长激光二极管基带相移比较法的工作原理，如图 36-6 所示。

单模光纤色散仪器的主要技术指标有：测量波长范围，允许光纤损耗(动态范围)，色散测量分辨率，色散测量准确度等。

单模光纤色散测量仪器的代表产品是日本安立的 ME 9301 A 单模光纤色散测量仪，其主要技术指标为：

测量波长范围　1.25～1.55μm；1.5～1.6μm

可测光纤损耗　≥30dB

色散测量分辨率　0.01 ps/nm・km

色散测量准确度　±0.3 ps/nm・km

10. 光纤综合参数自动测量系统

光纤综合参数自动测量系统可以在计算机控制下对多模、单模光纤的主要参量进行自动测量。其主要测试参量有光纤几何尺寸(外径、芯径、椭圆度、同心度等)，光纤长度，光纤故障点定位，光纤损耗，光纤谱损耗特性，光纤传输带宽，单模光纤模场直径，光纤数值孔径，光纤端面折射率分布，光纤有效截止波长等。因此该仪器广泛应用于光纤的研制生产过程中。该仪器的主要代表产品是英国 YORK 公司的 Fcm 1000 型。

国内外纤维光学测量仪器代表性产品主要性能指标对比如下。

(1) 光功率计

指　标	国外代表产品指标	国内代表产品指标
波长范围	0.38～1.7μm	0.38～1.7μm
功率范围	+10～−100dBm	+10～−90dBm
校准准确度	±2.5%	±5%
线性	±0.015dB±0.3pW	±0.5dB

(2) 光源

指　标		国外代表产品指标	国内代表产品指标
可变波长光源	波长范围	0.6～1.6μm	
	输出光功率	>−45dBm	
	波长分辨率	1nm	
	波长准确度	±5nm	
稳定光源	输出光功率	>−4dBm	
	光谱宽度	<2.5nm、<4nm	
	稳定度	±0.003 dB/15 min	<±0.003 dB/5 min
		±0.03 dB/12h	<±0.03 dB/5h
	波长准确度	±30nm	±30nm

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（3）光衰减器

指　　标	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
波长范围	600～1600nm	国内产品情况不详
动态范围	64dB	
衰减准确度	多模：±0.2dB 单模：±0.4dB	
重复性	±0.04dB	

（4）光谱分析仪

指　　标	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
波长范围	0.6～1.75μm	纤维光学用光谱分析仪国内产品情况不详
电平测量范围	−70～+10dBm	
测量电平准确度	±2dB	
波长分辨率	2pm	
波长准确度	±1nm ±0.5nm	

（5）光时域反射计

指　　标	国外代表产品	国内代表产品
输出光波长带	0.85μm 1.3μm 1.55μm	0.85μm 1.3μm
输出光脉冲峰值功率	7mW	7mW
后向散射单程动态范围	28dB	23dB
菲涅尔反射单程动态范围	42dB	33dB
响应分辨率	26m	
最高距离分辨率	1m	1m
幅度灵敏度	0.01dB	
线性度	0.05dB/dB	

（6）光波元件分析仪

指　　标	国外代表产品指标	国内代表产品指标
调制带宽	300kHz～20GHz	无产品
工作波长	850nm 1300nm 1550nm	无产品

（7）光波信号分析仪

指　　标	国外代表产品指标	国内代表产品指标
波长范围	1200nm～1600nm	无产品
输入反射损耗	>27dB	
频率范围	100kHz～22GHz	
最大输出平均光功率	+30dBm	
调制功率	+15dBm	
平均功率准确度	±0.65dB	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(8) 激光二极管自动测试系统

指 标	国外代表产品指标	国内代表产品指标
LD 驱动电流	DC: 0～500mA 分辨率: 0.1mA 脉冲: 0～800mA 分辨率: 0.1mA	无产品
LD 电压测量	0～10V 分辨率: 0.1mV	
光功率测量	0～100mW 分辨率: 10μW 0～10mW 分辨率: 1μW 0～1mW 分辨率: 0.1μW	
光谱测量	波长范围: 0.6～1.6μm 波长分辨率: 0.1nm	
暗电流测量	测量范围: 0～200μA 最高分辨率: 0.1nA	

(9) 单模光纤色散测量仪

指 标	国外代表产品指标	国内代表产品指标
测量波长范围	1.25～1.55μm; 1.5～1.6μm	无产品
允许光功率损耗	≥30dB	
测量分辨率	0.01ps/nm · km	
测量准确度	±0.3ps/nm · km	

(10) 光纤综合参数自动测量系统

指 标	国外代表产品指标	国内代表产品指标
几何参量测量分辨率	<500nm	无产品
几何参量测量重复性	包层直径: 1.0μm; 包层不圆度: 1% 芯直径: 0.5μm; 芯不圆度: 2% 不同芯度: 2.0μm; 数值孔径: 0.03	
谱损耗波长范围	800nm～1600nm	
谱损耗测量范围	>43dB(MMF); >31dB(SMF)	
谱损耗测量重复性	<0.1dB	
带宽测量范围	2GHz	
带宽测量重复性	<5% (<1GHz)	
OTDR 脉冲宽度	200ns, 400ns, 750ns, 1000ns	
OTDR 输出波长带	1300nm, 850nm 36dB(MMF)	
OTDR 动态范围	瑞利: 23dB(MMF) 20dB(SMF) 菲涅尔: 36dB(SMF)	
模场直径测量分辨率	0.01μm	
模场直径测量重复性	1%	
光纤端面折射率分布测量空间分辨率	<500nm	
光纤端面折射系数测量分辨率	*0.0001*	
端面折射率测量重复性	0.001	

第2节 纤维光学测量仪器分类

纤维光学测量仪器按功能分为光功率计、光源、光衰减器、光谱分析仪、光时域反射计、光波元

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

件分析仪、光波信号分析仪、LD自动测试系统、单模光纤色散测量仪、光纤综合参数自动测量系统等，上述每一大类仪器按其特点及使用范围又可细分成小类。

本章根据纤维光学测量仪器的特点、用途及发展现状分类如下：

- 纤维光学测量仪器
  - 光功率计
    - 平均光功率计
      - 标准光功率计
      - 通用光功率计
    - 脉冲光功率计
  - 光源
    - 稳定光源
    - 可变波长光源
    - 光信号源
    - 波长校准标准源
    - 外差光扫频器
    - 可见光源
    - 调制光源
  - 光衰减器(可变光衰减器)
  - 光谱分析仪
  - 光时域反射计
  - 光波元件分析仪
  - 光波信号分析仪
  - 激光二极管自动测试系统
  - 单模光纤色散测量仪
  - 光纤综合参数自动测量系统

第3节 纤维光学测量仪器技术指标汇总表

纤维光学测量仪器技术指标是按仪器种类分别予以汇总的，其中仅汇总了必测的参数指标。由于纤维光学测量仪器是近年来刚兴起的测量仪器分支，无论是仪器的种类还是仪器的技术指标，几乎年年都有很大的发展和变化，特别是随着仪器的智能化、自动化发展，其功能指标十分繁杂，因此这里未作汇总。即便是仪器的种类和必测参数，这里也是根据目前掌握的资料，仅列出了最基本的仪器种类和技术指标。具体到某个产品应执行哪些指标，还应根据产品的要求而定。

由于不同仪器相同名称的指标定义和测试方法并不一定相同，为了叙述的方便和系统性，本章在介绍测试方法时是按照仪器分类逐项指标介绍的。汇总表中的有些指标限于条件，目前尚不具备测试方法，因此第4节只介绍28个指标的定义和测试方法(由于有重复，实际上是汇总表中的前22个指标)，具体情况如下：

(一) 光功率计

1. 波长范围
2. 功率范围
3. 校准准确度

(二) 光源

(1) 可变波长光源

4. 输出光功率
5. 波长准确度

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

纤维光学测量仪器技术指标汇总表

序号	技术指标	光功率计	光源	光衰减器	光谱分析仪	光时域反射计	光波元件分析仪	光波信号分析仪	LD 自动测试系统	单模光纤色散测量仪	光纤综合参数自动测量系统
1	波长范围	●	●	●	●			●	●	●	●
2	功率范围	●			●				●		
3	光功率校准准确度	●			●						
4	输出光功率		●								
5	波长准确度		●		●				●		
6	输出光功率稳定度		●								
7	光谱宽度		●				●				
8	插入损耗			●							
9	衰减准确度			●							
10	衰减重复性			●							
11	衰减器动态范围			●							
12	输出光波长带					●					●
13	输出光脉冲幅度					●					●
14	输出光脉冲半值宽					●					●
15	输出光脉冲周期					●					●
16	菲涅尔反射单程动态范围					●					●
17	后向散射动态范围					●					●
18	距离分辨率					●	●				●
19	最大测量时间					●					●
20	响应分辨率					●	●				●
21	幅度灵敏度					●					●
22	线性度					●					●
23	调制带宽测量不确定度（o/o 器件）						●				
24	插入损耗测量不确定度						●				
25	反射灵敏度（e/o）						●				
26	反射测量不确定度（o/o，o/e）						●				
27	响应度测量不确定度（o/e）						●				
28	调制带宽测量不确定度（o/E）						●				
29	响应度测量不确定度（e/o）						●				
30	调制带宽测量不确定度（e/o）						●				
31	反射测量不确定度（e/e 单端口）						●				
32	反射测量不确定度（e/e 双端口）						●				
33	插入损耗测量不确定度（e/e）						●				
34	传输损耗测量不确定度（e/e）						●				
35	调制带宽测量不确定度（e/e）						●				
36	光纤测长准确度						●				
37	光纤故障点定位准确度						●				
38	调制频率范围						●	●			●
39	平均光功率准确度							●			
40	调制光功率准确度							●			
41	频率响应							●			
42	LD 电压测量范围（I-V）								●		
43	LD 漏电流测量范围								●		
44	PD 监视电流测量范围								●		
45	PD 暗电流测量范围								●		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	技术指标	光功率计	光源	光衰减器	光谱分析仪	光时域反射计	光波元件分析仪	光波信号分析仪	LD 自动测试系统	单模光纤色散测量仪	光纤综合参数自动测量系统
46	允许光功率损耗									●	
47	色散测量分辨率									●	
48	色散测量准确度									●	
49	光纤几何尺寸测量分辨率										●
50	光纤几何尺寸测量重复性										●
51	光纤几何尺寸测量准确度										●
52	光纤谱损耗测量范围										●
53	光纤谱损耗测量灵敏度										●
54	光纤谱损耗测量重复性										●
55	光纤带宽测量重复性										●
56	模场直径测量分辨率										●
57	模场直径测量重复性										●
58	光纤有效截止波长测量分辨率										●
59	光纤有效截止波长测量重复性										●
60	光纤折射率分布测量空间分辨率										●
61	光纤折射率分布折射系数测量分辨率										●
62	光纤折射率分布测量重复性										●
63	光纤数值孔径测量重复性										●

(II) 稳定光源

6. 输出光功率稳定度

7. 波长准确度

8. 光谱宽度

(三) 光衰减器

9. 插入损耗

10. 衰减准确度

11. 衰减器的重复性

12. 波长范围

13. 衰减动态范围

(四) 光谱分析仪

14. 测量光功率电平准确度

15. 光电平测量范围

16. 波长范围

17. 波长测量准确度

(五) 光时域反射计

18. 输出波长带

19. 输出光脉冲幅度

20. 输出光脉冲半值宽

21. 输出光脉冲周期

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

22. 菲涅尔反射单程动态范围
23. 后向散射动态范围
24. 距离分辨率
25. 最大测量时间
26. 响应分辨率
27. 幅度灵敏阀
28. 线性度

第 4 节　技术指标及测试方法

- 本节所列技术指标定义及测试方法参考了下列资料。

《光功率计通用技术条件》及《光功率计测试方法》征求意见稿。
《JJG-1001-82 常用计量名词术语及定义》
《AQ 4034 可程控光源技术说明书》
《程控光衰减器检定规程》(机电部第 41 所自编)
《日本安立产品样本》
《AQ 1720 B 光时域反射计技术说明书》
《AQ 1720 B 光时域反射计检定规程》(机电部第 41 所自编)
《光时域反射计中的新技术》(HP 公司文集)
《HP 8145 A 型光时域反射计介绍》
《光波元件分析仪》(HP 公司论文集)
《光波信号分析仪介绍》(HP 公司)
《AV 38117 稳定光源检定规程》(机电部第 41 所自编)
《HP 8158 B 程控光衰减器技术说明书》

- 被测仪器及测试设备均应在各自产品标准中规定的预热时间后进行测试。
- 各被测仪器均应在各自产品标准规定的测试点上进行测试。

(一) 光功率计

1. 波长范围

wavelength range

响应度 Re(λ) [A/W] 随波长变化的曲线中，相对于光功率计所配探测器定标波长点 Re 标的 10% (−10dB) 所对应的波长范围。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 36-7。

(2) 测试步骤

① 按图 36-7 连接各仪器，并按各仪器规定预热及调整。

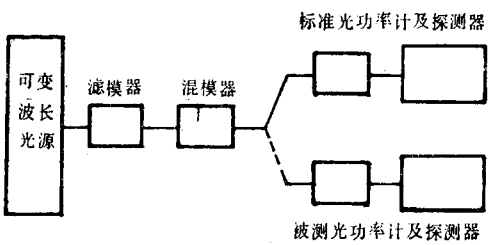


图 36-7　光功率计波长范围测量方框图

② 将可变波长光源分辨率置于 5nm，调节光源的输出波长，从被测光功率计所配探测器波长范围的最短波长至最长波长，每隔 10nm 波长点读取并记录标准光功率计（波长响应已

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

修正)的功率读数 $P_s(\lambda_1)$

③ 将光源输出改接到被测光功率计。测试方法同步骤②。

④ 当上述测试用"W"显示时，被测功率计所配探测器相对于定标波长点的相对响应度 $\alpha(\lambda_i)$ 用下式计算：

$$\alpha(\lambda_i)=\frac{\beta(\lambda_i)}{\beta(\lambda_0)}\times 100\%$$

式中 $\beta(\lambda_i)=\frac{P_t(\lambda_i)}{P_s(\lambda_i)}$；$\beta(\lambda_0)=\frac{P_t(\lambda_0)}{P_s(\lambda_0)}$；

$\alpha(\lambda_i)$——被测功率计所配探测器相对于定标波长 (λ_0) 的相对响应度；

$P_t(\lambda_0)$、$P_s(\lambda_0)$——分别在定标波长点(λ_0)上被测光功率计和标准光功率计上的功率读数；

$P_t(\lambda_i)$、$P_s(\lambda_i)$——分别为在定标波长点以外的波长点 λ_i 上被测及标准光功率计读数。

设 $\alpha(\lambda_1)=\alpha(\lambda_2)=10\%$

则被测光功率计的波长范围为 $\lambda_1\sim\lambda_2$。

2. 功率范围

power measuring range

按产品规定的最低测量准确度所允许输入的光功率范围。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 36-8。

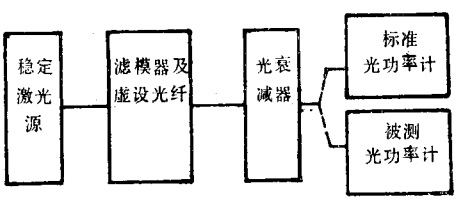


图 36-8 功率范围测量方框图

(2) 测试说明和要求

① 所用光源及光衰减器标准光功率计的校准波长均应与被测光功率计所配探测器的校准波长一致。

② 可变光衰减器的动态范围应大于被测光功率计的动态范围。

(3) 测试步骤

① 按图 36-8 连接各仪器。

② 调节可变衰减器使标准光功率计指示为被测光功率计校准工作电平 P_0(dBm)。

③ 将同一光功率送至被测光功率计上。记下显示值 $P_{被测}$ (dBm)

④ 被测光功率计校准点测量误差 ΔdB $=(P_{被测}-P_0)$。

⑤ 调整光衰减器，使输出光电平依次递增或递减衰减值。直至被测光功率计的上限及下限值。并依次将输出接至标准光功率计及被测光功率计。按步骤④计算被测光功率计在各相应电平点上的误差 Δ_idB 应优于测量功率范围内的最低准确度。

3. 校准准确度

accuracy

产品在基准工作条件下，在规定波长点和功率电平上测量结果与真值的一致程度。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 36-8。

(2) 测试说明和要求

校准基准条件为：

波长：0.85μm、1.3μm、1.55μm

功率电平：100μW(−10dBm)

(3) 测试步骤

① 按图 36-8 连接各仪器，并按各仪器规定时间预热。

② 调节光衰减器，使其输出为 100μW(标准光功率计读数为 100μW)。

③ 将光输出改接至被检光功率计上并读数。

④ 按下式计算被测光功率计与标准光功率计的示值误差。

$$\Sigma=\frac{P_{被}-P_{标}}{P_{标}}\times 100\%$$

⑤ 重复上述测量三次，算出其平均示值

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

误差

$$\Sigma = \frac{1}{3}(\Sigma_1 + \Sigma_2 + \Sigma_3)$$

⑥ 校准准确度 $= \Sigma +$ 标准光功率计准确度。

脉冲光功率计除上述技术指标外还有光脉冲幅度测量范围、消光比、响应带宽、瞬态特性、幅度扰动特性等。脉冲光功率计技术指标、符号、技术指标定义、测试方法均从略。

（二）光源

（I）可变波长光源

4. 输出光功率　$P(\lambda)$

optic output power

在额定的工作条件及规定的输出波长分辨率条件下，整个波长范围内的输出光功率电平。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 36-9。

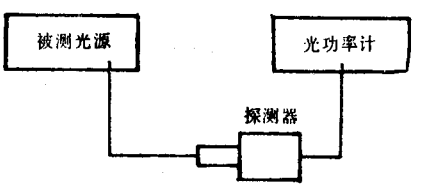


图 36-9　可变波长光源输出光功率测试方框图

（2）测试说明及要求

① 光功率计的波长范围应能覆盖可变波长光源的波长范围。

② 测试用光纤软线传输模式应与被测光源一致。

（3）测试步骤

① 按图 36-9 连接各测量仪器 。

② 调节可变波长光源的输出光谱宽度至产品标准规定值。

③ 置可变波长光源于连续光输出方式。

④ 置可变波长光源于输出波长范围的低端，并相应置光功率计的工作波长于该值。

⑤ 记录光功率读数

⑥ 以 20 nm 间隔改变光源的输出波长及光功率计的工作波长，重复步骤④，直至被测光源的波长上限值。

5. 波长准确度

wavelength accuracy

光源输出波长示值与其输出波长真值的一致程度。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 36-10。

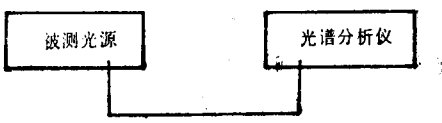


图 36-10　光源输出波长准确度测试方框图

（2）测试说明及要求

① 光谱分析仪的波长范围应能覆盖被测光源的波长范围。

② 光谱分析仪的波长误差应小于或等于被测光源波长准确度值的 $\frac{1}{3}$。

③ 连接用光纤软线传输模式应与被测光源一致。

（3）测试步骤

① 按图 36-10 连接各测量仪器。

② 置可变波长光源输出光波长为波长范围的最低端，置波长分辨率为最高（最窄光谱宽度）。

③ 设光源输出波长标称值为 λ_i，光谱分析仪测得值为 λ_s，则被测光源在该波长点的波长准确度为：$\lambda_i - \lambda_s$。

④ 以 20nm 间隔改变被测光源输出光波长并重复步骤③。

（II）稳定光源

6. 输出光功率稳定度　S

optical power stability

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在规定的输出光电平下及规定的时间内(长期稳定度为5小时,短期稳定度为15分钟)输出光电平保持稳定不变的程度。其定义为:

$$S=\frac{P_{最大}-P_{最小}}{P_{最大}+P_{最小}}\times 100\%$$

测试方法:

(1) 测试方框图,见图36-11。

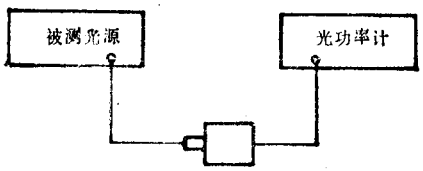


图36-11 光源输出光功率稳定度测量方框图

(2) 测试说明及要求

① 光功率计的稳定度误差应小于或等于光源稳定度误差的$\frac{1}{3}$。

② 连接用光纤软线的传输模式应与被测光源一致。测量过程中连接光纤软线应固定不动。

(3) 测试步骤

① 调节光源的输出为产品标准规定值。

② 置光功率计的工作波长与被测光源输出波长一致。

③ 每隔1分钟记录1次光功率计读数共记录16次(15分钟)。

④ 任意取5个连续数据中的功率计读数最大值和最小值。并按下式计算5分钟短期稳定度。

$$S_{5分钟}=\pm\frac{P_{最大}-P_{最小}}{P_{最大}+P_{最小}}\times 100\%$$

⑤ 重复上述步骤①~④,但改为每隔10分钟记录1次光功率计读数。连续记录8小时。取任意连续5小时内的数据中的最大值和最小值。并按下式计算每5小时的长期稳定度:

$$S_{5小时}=\pm\frac{P_{最大}-P_{最小}}{P_{最大}+P_{最小}}\times 100\%$$

7. 波长准确度

wavelength accuracy

光源输出峰值波长示值与光源输出峰值波长真值一致的程度。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图36-12。

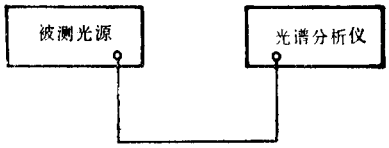


图36-12 光源波长准确度测量方框图

(2) 测试说明和要求

① 光谱分析仪的波长测量准确度值应小于被测光源输出波长准确度值的$\frac{1}{3}$。

② 测量用连接光纤软线的传输模式应与被测的光源输出模式一致。

(3) 测试步骤

① 按图36-12连接测量各仪器

② 读取光谱分析仪的峰值波长读数。

③ 设光源输出波长标称值为λ_i,光谱分析仪读数为λ_r,则光源输出波长准确度为$\lambda_i-\lambda_r$。

8. 光谱宽度

spectral bandwidth

光谱辐射强度大于或等于最大值的一半时的波长间隔。

测试方法:

(1) 测量方框图,见图36-12。

(2) 测试步骤

① 按图36-12连接各测量仪器。

②在光谱分析仪上读取被测光源输出光谱宽度。

光信号源、波长校准标准源、外差光扫频器、可见光源等其它光源的技术指标名称、符号、定义及测试方法从略。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（三）光衰减器

9. 插入损耗　L

insertion loss

由光衰减器（如果是可变光衰减器使其衰减量置于最小值）插入引入的输出功率变化量。其定义式为：

$$L = 10\lg\frac{P_1}{P_2}$$

式中　P_1——光衰减器插入前输出光功率；

P_2——光衰减器插入后输出光功率。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 36-13。

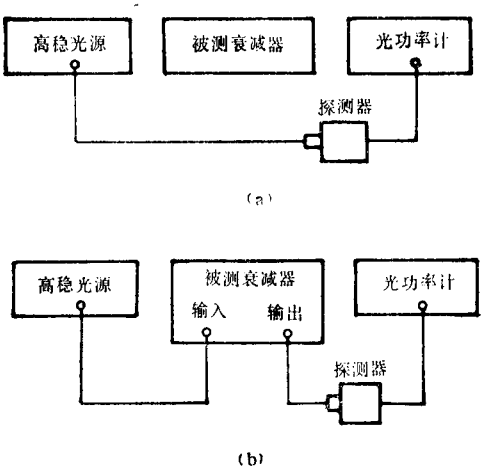


图 36-13　光衰减器插入损耗测量方框图

（2）测试说明及要求

① 稳定光源、光功率计的波长均应与被测衰减器一致。

② 所用光纤软线接头与被测光衰减器接头应有良好的匹配。光纤软线传输模式应与被测光衰减器一致

（3）测试步骤

① 按图 36-13(a) 连接测量仪器。

② 置平均光功率计于自动量程（dB）

③ 置显示于参考 REF。

④ 按图 36-13(b) 连接测量仪器。

⑤ 记录光功率计读数以 dB 为单位，该读数即为光衰减器的插入损耗。

10. 衰减准确度

attenuation accuracy

光衰减器的示值与其衰减量真值之差。

测试方法一：

（1）测试原理方框图，见图 36-14。

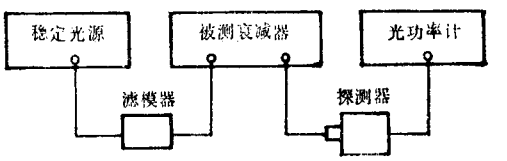


图 36-14　衰减准确度测量方框图

（2）测试说明及要求

① 光源、光功率计的校准波长必须与被测光衰减器的校准波长一致。

② 光源及光纤软线的传输模式必须与被测衰减器一致。

③ 标准光功率计的动态范围必须大于或等于被测衰减器的动态范围。标准光功率计的线性误差必须小于或等于被测光衰减器误差的 $\frac{1}{3}$。

（3）测试步骤

① 如图 36-14 所示连接测量各仪器。

② 光衰减器、光功率计的工作模式、波长，均置于所要求的测量状态。衰减量置于零。

③ 置光功率计为 0.00dB 参考电平，并按下述顺序改变光衰减器的值，并记录光功率计的相应读数。设衰减器示值与相应光功率计读数差为 ΔA，则 ΔA 为该衰减器在该衰减值上的衰减准确度。

1dB	5dB	9dB	13dB	44dB
2dB	6dB	10dB	14dB	54dB
3dB	7dB	11dB	24dB	
4dB	8dB	12dB	34dB	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法二：

（1）测试方框图，见图 36-15。

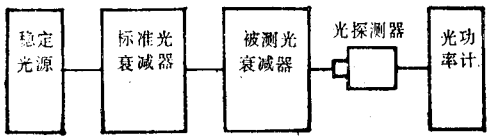


图 36-15 衰减准确度测量方法二测量方框图

（2）测试说明及要求

① 光源、标准光衰减器、光功率计的校准波长必须与被测光衰减器的校准波长一致。

② 光源、光纤软线、标准光衰减器的工作模式必须与被测光衰减器的工作模式一致。

③ 标准光衰减器的动态范围必须大于或等于被测光衰减器的动态范围。标准光衰减器的误差必须小于或等于被测光衰减器误差的 $\frac{1}{3}$。

（3）测试步骤

① 如图 36-15 连接测量各仪器。

② 标准光衰减器、被测光衰减器、光功率计的工作模式、工作波长均置于所要求的测量状态。

③ 置被测光衰减器的示值为 0dB。

④ 置标准衰减器的示值为被测衰减器的最大衰减值，置光功率计为“参考 dB”工作方式。

⑤ 按下述顺序依次改变被测光衰减器的示值，并对应地依次减少标准衰减器的示值，（标准衰减器的减少量＝被测衰减器的增加量），依次读取光功率计的示值。

1dB	5dB	9dB	13dB	44dB
2dB	6dB	10dB	14dB	54dB
3dB	7dB	11dB	24dB	60dB
4dB	8dB	12dB	34dB	

⑥ 光功率计所有读数均应小于被测衰减器误差。

11. 衰减器的重复性

attenuation repeatability

光衰减器从其任一衰减值位置改变到其它任意衰减值位置再回到原衰减值位置后，原衰减值的变化程度。

测试方法：

（1）测试方框图，如图 36-14 所示。

（2）测试步骤

① 光衰减器的传输模式及工作波长应与测量要求相一致。

② 置光衰减器的衰减量为 0.00dB，置光功率计 0.00dB 参考电平工作方式。

③ 置光衰减器的衰减量为任意值，然后再返回原值，记录光功率计的读数变化。设该变化值为 ΔA，则被测衰减器在该衰减值上的重复性即为 ΔA。

④ 将光衰减器的起始衰减值依次置于

1dB	10dB	30dB	50dB
2dB	15dB	35dB	55dB
3dB	20dB	40dB	60dB
4dB	25dB	45dB	
5dB			

等位置，并重复步骤③。所有光功率计记录值均应小于或等于被测光衰减器的重复性值。

12. 波长范围

wavelength range

光衰减器能够满足其衰减准确度的波长范围。

测试方法：

（1）测试方框图，如图 36-16。

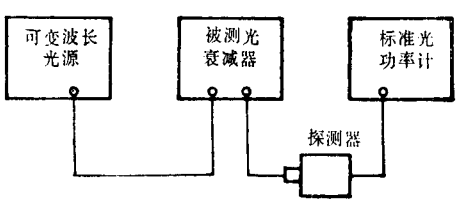


图 36-16 光衰减器波长范围测量方框图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试说明及要求

① 可变波长光源、光功率计的波长范围应与被测光衰减器的波长范围相适应。可变波长光源的输出应足够大，标准光功率计的动态范围应大于或等于被测光衰减器的动态范围。

② 光功率计的线性误差应小于或等于光衰减器的误差的 $\frac{1}{3}$。

③ 光源、测量用光纤软线的工作模式应与被测光衰减器的工作模式相同。

(3) 测试步骤

① 按图 36-16 连接测量各仪器。

② 可变波长光源，被测光衰减器，光功率计的工作波长均置于被测光衰减器波长范围的下限值。

③ 置被测光衰减器的工作模式为被测模式。

④ 按光衰减器准确度测量中的步骤③操作。

⑤ 被测光衰减器，可变波长光源，光功率计的工作波长均增加 50nm，重复步骤④；直至达到被测光衰减器波长范围的上限值。所有测得的衰减误差均应小于被测衰减器的最低测量准确度。

13. 衰减动态范围

attenuation dynamic range

满足波长范围及光功率电平测量范围最低准确度的光功率测量范围。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 36-16。

(2) 测试步骤同指标 12“波长范围”。

(四) 光谱分析仪

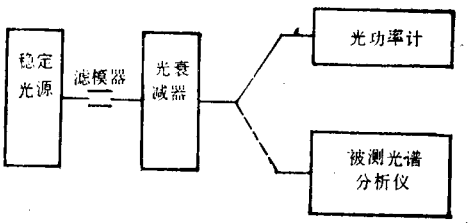
14. 测量光功率电平准确度

measuring optical power level accuracy

在规定的波长点，规定的光功率动态范围内(或规定的光功率电平点上)光功率电平测量准确度。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 36-17。



注：稳定光源为可变波长光源或单纵模窄线宽标准波长光源

图 36-17　光谱分析仪光功率电平测量准确度和波长范围测试方框图

(2) 测试说明及要求

① 光源、光衰减器、光功率计的工作波长均需与被测波长点一致。光源发射光谱应小于光谱分析仪波长测量分辨率。

② 光源输出功率应足够大、光衰减器的动态范围应能覆盖被测光谱分析仪的测量光功率电平动态范围。

③ 光衰减器及光功率计的准确度值均应小于或等于被测光谱分析仪准确度值的 1/6。

④ 连接用光纤软线的接头形式应与被测光谱分析仪、光衰减器、光源的接头形式相适应。

⑤ 连接用光纤软线的传输模式应与光源、光衰减器的工作模式相一致。

(3) 测试步骤

① 按图 36-17 连接光源、光衰减器、光功率计。

② 以适当的步进值逐步改变光衰减器的示值；直至光谱分析仪动态范围的最大、最小值；并依次记录与光衰减值相对应的光功率计的各个读数。

③ 取下光功率计，换接被测光谱分析仪，在整个动态范围内读取与步进光衰减器各相应位置上的光谱线光功率电平读数。其与光功率计对应值之差均应小于被测光谱分析仪的测量光功率电平准确度值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

设光谱分析仪的光功率读数为 P_1，光功率计读数为 P_2，则被测光谱分析仪在该波长点该功率电平上的功率准确度为 $P_1 - P_2$。

④ 改变光源波长，依次在其它校准波长点重复步骤①、②、③。

15. 光电平测量范围

optical level measuring range

光谱分析仪的光功率电平测量范围是表征其在整个波长范围内满足最低光功率电平测量准确度的可测光功率电平范围。

测试方法：

(1) 测量方框图，同图 36-17。

(2) 测试步骤：同指标 14“测量光功率电平准确度”。

16. 波长范围

wavelength range

满足规定的波长测量准确度、光功率电平测量最低准确度及测量范围的最大工作波长范围。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 36-17。

(2) 测试说明及要求：同指标 14“测量光功率电平准确度”。光源输出波长准确度值应小于被测光谱分析仪波长准确度值的 1/3。

(3) 测试步骤

① 按图 36-17 连接光源、光衰减器、光功率计。

② 置光源、光衰减器、光功率计的工作波长为被测光谱分析仪的起始波长。

③ 按“测量光功率电平准确度”测试步骤的②、③两步操作。

④ 逐步改变可变波长光源、光衰减器、光功率计的工作波长，并重复步骤②、③直至被测光谱分析仪的波长范围的最大波长值。

17. 波长测量准确度

wavelength measurement accuracy

光谱分析仪的波长测量值与波长真值的一致程度。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 36-18。

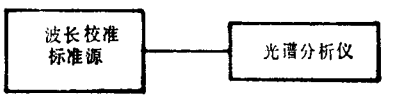


图 36-18 光谱分析仪的波长测量准确度测试方框图

(2) 测试说明及要求

波长校准标准源的标准谱线数目应能较多地覆盖被测光谱分析仪的波长范围。

(3) 测试步骤

① 按图 36-18 连接测量仪器。

② 读取光谱分析仪每根谱线的波长示值，其与标准波长值之差即为被测光谱分析仪的波长准确度。

(五) 光时域反射计

18. 输出波长带

output wavelength band

输出波长带是指探测光源输出峰值波长及光谱辐射强度等于光谱峰值的一半时的波长间隔 ($\lambda_2 \sim \lambda_1$)。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 36-19。

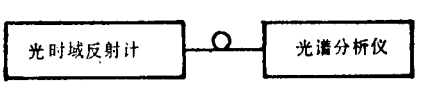


图 36-19 光时域反射计输出波长带测试方框图

(2) 测试步骤

① 按图 36-19 连接各测量仪器（使用与探测光源波长、模式一致的光纤接头及光纤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

软线)。

② 读取光谱分析仪测得的峰值波长及光波长带的宽度。

19. 输出光脉冲幅度

output optical pulse amplitude

输出光脉冲的幅度值。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 36-20。

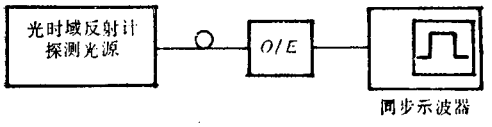


图 36-20　光时域反射计输出光脉冲幅度的测试方框图

(2) 测试步骤

① 按图 36-20连接各测量仪器。

② 所使用的光电变换器的响应度必须经过校准。

③ 由同步示波器的波形显示及 O/E 的响应度确定光脉冲输出幅度。

$$W = \frac{V}{R \cdot R_e}$$

式中　W: 光脉冲峰值功率幅度;

V: 示波器脉冲电压幅度读数;

R: 示波器的输入阻抗;

R_e: 光电探测器的响应度。

20. 输出光脉冲半值宽

optical output pulse half-value width

光脉冲半值宽指脉冲幅度 50% 的两点之间的时间。

测试方法:

(1) 测试方框图,同图 36-20。

(2) 测试步骤: 由同步示波器读取输出光脉冲半值宽。

21. 输出光脉冲周期

output optical pulse period

光输出脉冲波形上的任意一点到相邻脉冲波形上的对应点之间的时间间隔。

测试方法:

(1) 测试方框图,同图 36-20。

(2) 测试步骤: 与指标 19"输出光脉冲幅度"同。在同步示波器上读取输出光脉冲周期。

22. 菲涅尔反射单程动态范围

dynamic range of one way fresnel reflection

光时域反射计利用断点菲涅尔反射可测最大长度光纤的损耗值。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 36-21。

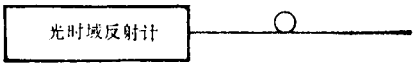


图 36-21　光时域反射计单程菲涅尔反射动态范围测试方框图

(2) 测试步骤

① 如图 36-21 连接测量系统。长光纤远端切成理想端面。

② 对各光脉冲宽度选择适当的长光纤(由理论分析结合插入法或剪断法给出,始终保持长光纤远端为理想端面),确定光时域反射计在相应脉冲宽度下能检测到断点菲涅尔反射的最大光纤长度。

③ 用稳定光源及标准光功率计用插入法(或剪断法)测量在步骤②中所确定光纤长度的损耗值。该值即为光时域反射计菲涅尔反射单程动态范围。

23. 后向散射动态范围

backscatter dynamic range

后向散射动态范围是能有效地进行后向散射脉冲响应测量的光功率电平范围的一个量

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

度。

• 由于初始后向散射电平取决于探测光脉冲宽度和光纤的散射系数，因此，在规定动态范围时应对这些参数加以说明。

• 在动态范围的低端必须说明信号达到噪声电平哪一点的指标，最常用的是峰值噪声电平和有效值噪声电平。

• 动态范围分双程动态范围和单程动态范围。双程动态范围是仪器的实际动态范围，它对应于初始后向散射光功率电平与噪声光功率电平之差。单程动态范围，其值是双程动态范围的一半，它主要用于直接确定光时域反射计可测光纤长度(后向散射)。

$$可测光纤长度=\frac{单程动态范围}{光纤损耗/km}$$

测试方法：

(1) 测试原理示意图，如图 36-22。

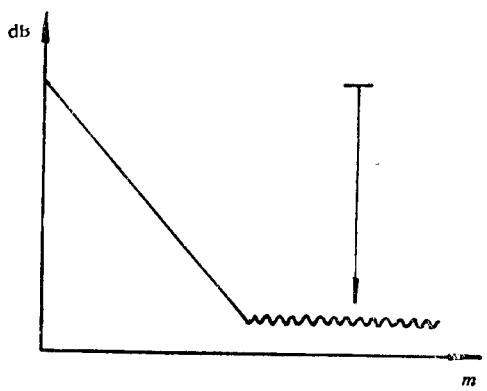


图 36-22 光时域反射计后向散射动态范围测试原理示意图

(2) 测试步骤

按图 36-22 显示读取光时域反射计的后向散射动态范围（相应探测光脉冲宽度、相应光纤)。

24. 距离分辨率

distance resolution

使用光时域反射计测量光纤长度时，光时域反射计示值所能分辨的最小光纤长度变化量。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 36-23。

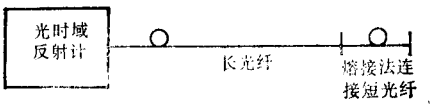


图 36-23 距离分辨率测试方框图

(2) 测试步骤

① 按图 36-23 连接仪器及长光纤段。

② 记录光时域反射计测量光纤长度值。

③ 在长光纤终端熔接一段短光纤(近似等于光时域反射计在该量程上的最高分辨率)。

④ 光时域反射计示值应能分辨光纤长度变化。

25. 最大测量时间 T_{max}

maximum measurement time

为达到规定的动态范围从测量开始到结束所用的时间。

测试方法：测量从按起始键到整个测量波形稳定显示的时间。

26. 响应分辨率

response resolution

响应分辨率(亦即两点分辨率)是仪器能够分辨光纤上两点距离的最小值。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 36-24。

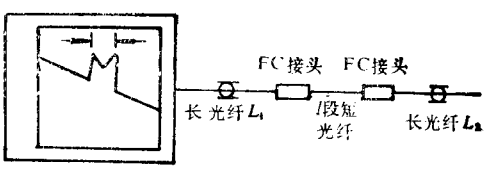


图 36-24 光时域反射计响应分辨率测试方框图

(2) 测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 按图 36-24 连接光时域反射计及各段光纤。

② 逐步减小 l 段光纤的长度。光时域反射计显示图形将按照图 36-25 的次序逐步变化。直到找到两个峰值特性之间的谷值为峰值的 −3dB 为止。这时短光纤段的长度即为该时域反射计的响应分辨率（在工作探测光脉冲宽度下）。

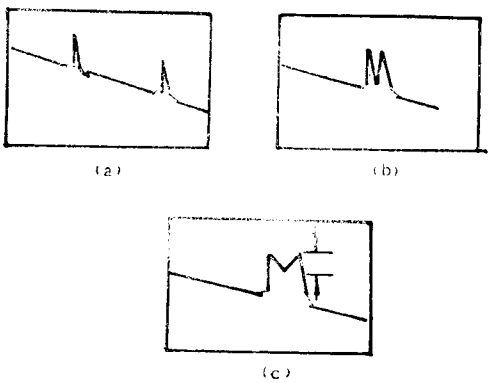


图 36-25　短光纤段长度依次减小时光时域反射计显示图形变化.

27. 幅度灵敏阈

sensitivity threshold of amplitude

幅度灵敏阈表示在测得的信号某一位置上能检测到的最小幅度变化。

测试方法

(1) 测试方框图，如图 36-26。

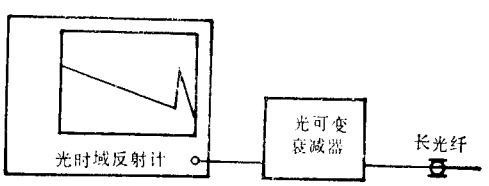


图 36-26　光时域反射计幅度灵敏阈测试方框图

(2) 测试步骤

① 按图 36-26 连接测量各仪器及被测光纤。

② 预置光衰减器的衰减量为某一预定值（确定测量光功率电平）。

③ 观察能引起显示幅度变化的最小光衰减器步进变化量。其幅度灵敏阈为该变化量的二分之一。

28. 线性度

linearity

当测试光纤呈理想指数衰减时，测量的线性度用幅度灵敏度曲线偏离直线的程度表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 36-27。

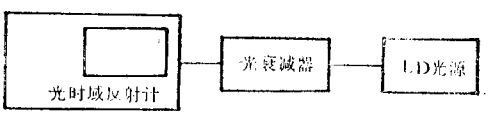


图 36-27　光时域反射计线性度测试方框图

(2) 测试步骤

① 按图 36-27 连接各测量仪器。

② 断开光时域反射计内部激光源。

③ 调节光衰减器。使光时域反射计的幅度为最大值（但不能进入饱和状态）。

④ 逐步增加光衰减器的衰减量 A_1、A_2、A_3·····A_i；并依次读取光时域反射计的幅度衰减值 A'_1、A'_2、A'_3·····A'_i。直到信号幅度＝光时域反射计的噪声电平。

按下式计算：

$$S_i = \frac{A'_i - A_i}{A_i}$$

S_i 的最大偏差即为光时域反射计的线性度。

*　*　*

本章技术指标和测试方法中所用的主要测试仪器，汇总列表如下。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

光功率计主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
可变波长光源	AQ4304	
LD 光源	AV38117/38118 AV38119/38120	
可变光衰减器	HP8158B/8157A	
标准光功率计	AQ1112B	

光源主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
光功率计	ML910A、ML93B、AV2494	
光谱分析仪	MS9001B1	

光衰减器主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
稳定光源	AV38117、38118、38119 AV38120	
可变波长光源	AQ4304	
标准光功率计	HP8152A/81520A/81521B/81522A。	

光谱分析仪主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
可变波长光源	AQ4304	
光功率计	ML910A、ML93B	
波长校准标准源	MG9601A	

光时域反射计主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
光谱分析仪	MS9001B1、MS9002A/C(日本)	
O/E	MI118A	
示波器	HP54100A	
光功率计	ML910A、AV2494	
稳定光源	AV38117、AV38118、AV38119 AV38120	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第5节　按门类的量值传递表

1.光功率计

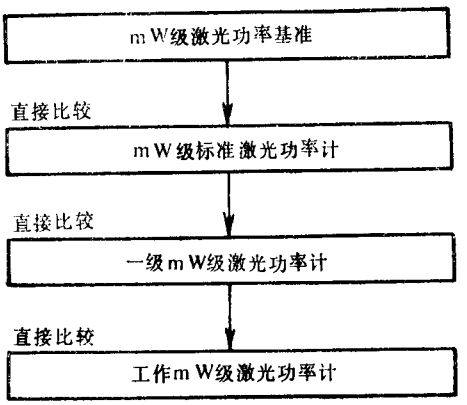


图　36-28

2.光源

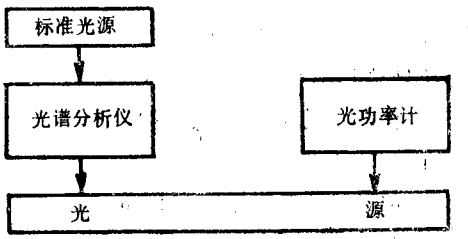


图　36-29

3.光衰减器

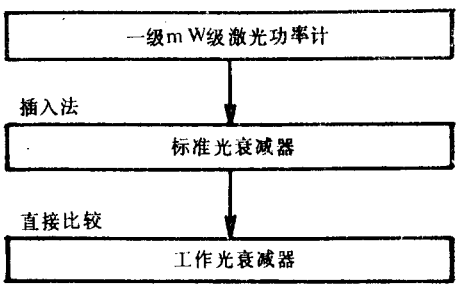


图　36-30

4.光谱分析仪

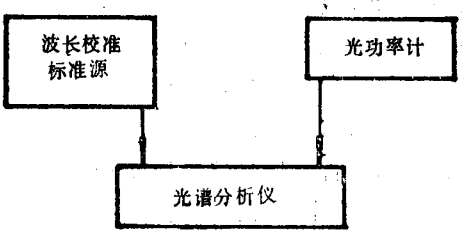


图　36-31

5.光时域反射计

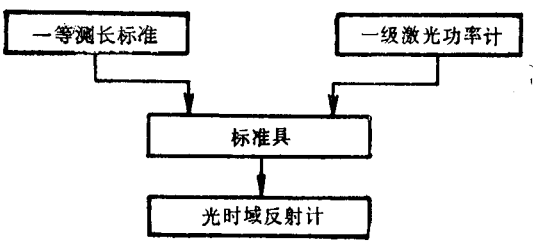


图　36-32

6.光波元件分析仪

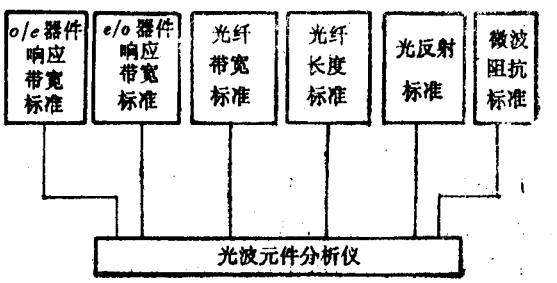


图　36-33

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第37章　移动通信设备综合测试仪

第1节　综　　述

随着电子、微电子技术的飞跃发展，通信技术也得到突飞猛进的发展，通信设备日趋小型化、智能化，并且价格低廉。目前，通信技术在国民经济各个领域得到越来越广泛的应用。

移动通信是整个通信体系的重要组成部分，采用短波单边带和 VHF/UHF 调频(调相)等多种制式。由于它的高度机动灵活性，适应了当代社会生活快节奏的要求，近几年发展很快，在世界市场上，移动通信设备年销售量以 8～15% 的速率稳步增长。

移动通信设备的研制、生产和维修，需要射频信号发生器、音频振荡器、调制度测量仪、失真仪、信纳计、功率计、频谱仪、示波器、频率计、电压表等十多种、甚至二十多种电子测量仪器。这些仪器足可堆满一张很大的工作台，错综复杂的电缆连接和操作控制，往往令使用者不胜其烦。而且，要全面配备这些仪器对许多单位并非易事，且价格昂贵。但移动通信设备综合测试仪(简称"综合测试仪")的出现，彻底改变了这一状况。

综合测试仪将检测移动通信设备收、发性能指标所需的主要仪器功能甚至全部仪器功能纳入一台单机之中。但它不是对这些仪器进行简单的拼凑，而是在整个线路和结构上进行了最经济有效的考虑，凡是该共用的尽量共用，大大简化了线路和结构，成为一种体积小、重量轻、操作方便、价格较低的多功能仪器，深受移动通信设备研制部门、生产厂家和广大用户的欢迎。由于它具有上述的强大优势，令许多国外仪器厂家竞相开发研制，产品由早期较为简易的只包含几种仪器功能发展到包含多达二十余种仪器功能，主要性能指标达到或接近高、中档单机仪器的水平，完全能满足一般的生产、检测和维修的需要，甚至用于科研单位和实验室。新近出现的综合测试仪多采用微处理器技术，具有较强的智能，在软件控制下使本身形成一个自动测试系统。自动测试可由外部计算机远控，也可自编程序实现半自动或自动测试，并具有自校、自诊断、测量精度高等优点，这方面的典型产品有：R/S CMT 系列，施伦伯杰 4031、4040 和 HP 8920A 等。目前世界上共有十多家公司生产约二十种型号的综合测试仪，而新的产品还在不断出现。

我国移动通信事业起步虽晚，但发展很快，对综合测试仪的需求与日俱增，有的仪器厂家也大力开发和生产这类仪器。苏北电子仪器厂较早生产了调频电台综合测试仪系列，频段覆盖 0.1～175MHz (分四个频段产品)，近期生产了 SD4924 型，频段覆盖 0.1～510MHz；同时，前锋无线电仪器厂也生产了 QF4290C 型，频段覆盖 25～520MHz。如果对早期产品暂且不论，后期的这两个产品按国外水平看，仍属低档型。目前这两个厂家正在开发频率直达 1000MHz 的新品，可望使国产综合测试仪的水平进入中档型行列。

上面所提到的所有综合测试仪，在工作原理上都是模拟式移动通信设备测试仪，这是因为现有的移动通信设备都是模拟式的。可以预见，目前正在研制的新一代数字式移动通信设备大量生产和使用时，一定会出现相应的数字式综合测试仪。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第2节　分　　类

如前所述，由于综合测试仪是一种包含了多种仪器功能的单机，各种型号按其功能种数多少和性能指标高低进行档次分类比较恰当，因而可分为低档、中档和高档三种类型。

低档型：如国产 SD4924 型、QF4290C 型、日本AHO-5403C 型等，频率最高 500MHz 左右。它们具有 10 种以下仪器功能，一般是表头指示，手动操作，各项性能指标接近中档单机仪器的水平。

中档型：如国内开发中的 1000MHz 综合测试仪、马可尼 2955 型、R/S CMS 等，它们具有 11～16 种仪器功能，全部电键操作，数字显示，各项性能指标达到中档单机仪器的水平，具有一定的智能，可在机内微处理器控制下完成若干自动测试。

高档型：最高频率 1000MHz 左右，如 R/S CMT 系列，施伦伯杰 4031、4040 和 HP 8920 A 等，仪器功能多达 20 种左右，各项性能指标接近高档单机仪器的水平，具有较强的智能，在机内微处理器控制下，配合丰富的软件，可方便而快捷地完成几乎全部测试项目。

其实，上述低、中、高档之间并无严格的界限，这种分类只是目前习惯的分类法。

第3节　综合测试仪功能/性能指标汇总

根据上述分类，其功能和性能指标也按低、中、高档进行汇总。汇总表中只标示各档的功能种数和主要性能指标是否给出，这是各档之间主要差别所在。汇总表无论对仪器厂家开发新品制订指标，或对用户选型都有一定的参考价值。

表 37-1　综合测试仪功能/性能指标汇总表

功　能	序　号	性能指标 \ 档　型	低档型	中档型	高档型
RF 信号发生器	1	频率范围	●	●	●
		频率精度	●	●	●
	2	频率稳定度	●	●	●
	3	输出电平范围	●	●	●
		输出电平精度	●	●	●
	4	输入/输出阻抗 *VSWR*	●	●	●
	5	谐波含量	●	●	●
	6	SSB 相位噪声		●	●
	7	频偏范围、精度、失真	●	●	●
		调幅范围、精度、失真		●	●
		调相范围、精度、失真		○	○
	8	剩余调频		●	●

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

功 能	序 号	性能指标 \ 档 型	低档型	中档型	高档型
RF 功率计	9	测量范围、精度	●	●	●
调制度仪	10	FM范围、精度、解调失真	●	●	●
		AM 范围、精度、解调失真		●	●
		ΦM 范围、精度、解调失真		○	○
RF 频率计	11	测量范围、精度、稳定度	●	●	●
音频信号源	12	频率范围、精度	●	●	●
		输出电平范围	●	●	●
		失真度	●	●	●
音频电平表	13	测量范围、精度	●	●	●
失真表	14	测量范围		●	●
		精度	●	●	●
GP-IB 程控 μP 控制自动测试	15			●	●
信纳计	(16)	测量范围、精度		●	●
音频频率计	(17)	测量范围、精度		●	●
RF 毫伏表	(18)	频率和电压范围			●
音频示波器	(19)			●	●
RF 频谱仪	(20)				○
选呼编码/解码器	(21)			○	●
双工调制测量仪(选件)	(22)			○	●
邻道功率计(选件)	(23)				○
边带测试(选件)	(24)				○
频差计数器(选件)	(25)				●
杂散调制测量仪	(26)				○
DC 电流表	(27)				●
DC 电压表	(28)				●
VSWR 表	(29)				●
自校、自诊断	(30)			●	●
蜂房式设备测量	(31)			●	●

注：①表中“●”为有此项指标，“○”为有的有、有的没有此项指标，空白为没有此项指标。
②表中序号带括号的指标，本章没有给出测试方法。

为了使读者对综合测试仪的指标有一个大致数量的概念，现将国内外典型产品的主要性能指标，列表对比如下。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 37-2　综合测试仪国内外典型产品性能对比表

性能指标 \ 型号、厂家		QF4290C（前锋无线电仪器厂）	2955（马可尼）	4031（施伦伯杰）
RF 信号发生器	频率范围	25～520MHz	0.4～1000MHz	0.4～1000MHz
	频率稳定度	1×10^{-7}	1×10^{-7}	1×10^{-7}
	输出电平	0.3μV～10mV ±2dB	0.0224μV～22.4mV 及 0.224μV～224mV ±2dB	0.018μV～35mV 及 0.18μV～350mV ±1.8dB
	剩余调频	未给出	30～60Hz	4～8Hz
RF 频率计		0.01～520MHz ±0.5×10^{-6}	1～1000MHz 精度同于内标准	2～1000MHz 精度同于内标准
RF 功率计		0～30W　±15%	0～50W　±10～±20%	0～50W　±10%
调制度测量仪	FM	0～20kHz ±10%	0～25kHz　±6%	0～25kHz±　5%
	AM	无	0～90%　±6%	0～100%±10%
	PM	无	0～10rad　±6%	0～6rad　±6%
高频信号源		0.05～3kHz 最大 5dBm（0dBm＝1V）	0.05～15kHz 最大 2.55V	0.02～30kHz 最大　4V
音频电压表		−50～＋20dBm ±1dB	0～100V　±3%	0～30V　±3%
失真表		±15%	0～30%　±5%	0～100%　±5%
信纳计		无	0～50dB　±1dB	0～46dB　±0.8dB
音频示波器		无	有	有
RF 频谱仪		无	无	有
程控与自动测试		无	有	有

第 4 节　技术指标及测试方法

根据上述技术指标汇总，理应对全部指标逐个编写测试方法，但由于各部分仪器功能在同类单机仪器上已有比较成熟的测试方法，故不再逐条重复编写。然而，综合测试仪仍有一些与众不同的特点，例如在“收”方式时射频输出信号较小，在“发”方式时又需要较大的射频输入信号，这就注定了在测试方法、仪器配置上与同类单机仪器不尽相同，因此有必要针对自身特点，选择某些比较重要而必测的项目，编写出切实可行而又具有一定先进性的测试方法，供生产厂家和用户参考。

测试项目主要针对某些指标的精度；精度的测试也包含了频率范围和指标范围的测试，故汇总表里列举的频率范围、调制度范围、功率范围、电平范围、失真范围，等等，都没有列项编写。

对于频率精度和频率稳定度的测试，只编写了射频信号发生器和射频频率计的，而音频信号源、音频频率计等各项指标的测试方法基本相同，故不再编写。

射频信号发生器和调制度测量仪的各项调制指标的测试方法相同，只以频偏测试为例进行编写，其它略去。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

信纳计的测试方法与失真表相同，也略去。

射频毫伏表、音频示波器、射频频谱仪等功能的测试方法，都有同类单机仪器的方法作参考，亦不再列项编写。

另外，还有一些带选件的功能和某些特殊性的测试功能，只在少数高档型产品中才具有。对这些功能的测试，在现阶段还是比较新的课题，有待于生产厂家、科研计量部门和广大用户共同探讨后，才能编写出切实可行的测试方法。

还需要说明一点，下面编写的测试方法是提示性的，比较简略，仅作参考。

1. 载波频率精度 f

CW frequency accuracy

所谓载波频率精度，是指频率预调值与实测值之差，相对于实测值的百分比。

测试方法

(1) 测试方框图，见图 37-1。

图 37-1

(2) 测试说明和要求

① 被测仪器工作在“收”方式的信号发生器载波工作状态，由输入/输出端口输出信号到标准频率计。

② 当被测仪器输出电平达不到标准频率计灵敏度的要求时，应接上射频放大器。

(3) 测试步骤

① 被测仪器预热后，按要求置定频率，调节输出电平，使标准频率计正常工作，记下标准频率计读数。

② 频率精度按下式计算：

$$\delta = \frac{f - f_0}{f_0} \times 100\%$$

式中 f 为被测频率预调值；f_0 为实测值。

③ 在整个频段内，最高和最低频率必测。

2. 载波频率稳定度

CW frequency stability

信号源预热后，载波频率在任意 15 分钟内所产生的最大频率变化(指短期稳定度)。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 37-1。

(2) 测试说明和要求

同“载波频率精度”。

(3) 测试步骤

被测仪器按要求预热后，置定一较高频率，用标准频率计测量，每分钟读取一次测量值，连续 1 小时，找出任何 15 分钟时间间隔内频率变化的最大值作为载波频率稳定度。(如有10MHz晶振输出，测晶振频率稳定度也一样。)

3. 输出电平精度

output level accuracy

电平是以分贝表示的电压幅度；误差为标称值与衰减器在任意组合下的实测值之差，一般也用分贝表示。

测试方法

(1) 测试方框图，见图 37-2。

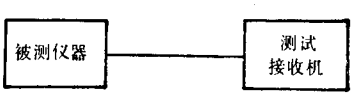


图 37-2

(2) 测试说明和要求

① 被测仪器工作在“收”方式的信号发生器载波工作状态，由输入/输出端口输出信号到测试接收机。

② 测量输出电平应在被测仪器输入/输出

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

端口测量；如不得不用电缆线与测试接收机连接时，应选损耗小且 *VSWR* 符合要求的电缆线。

③ 有"双工"工作的，也应测试另一端口的输出电平。

(3) 测试步骤

① 按要求置定载波频率，调节输出电平至某一标称值，用测试接收机测出实际电平。

② 输出电平精度按下式计算：

$$\Delta = u - u_0(\mathrm{dB})$$

式中　u 为输出电平标称值；u_0 为实测值。

4. 输入/输出阻抗　*VSWR*

input/output impedance *VSWR*

从信号源（或功率计）的输出端（或输入端）往里看呈现的阻抗误差，通常用电压驻波比（*VSWR*）表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 37-3。

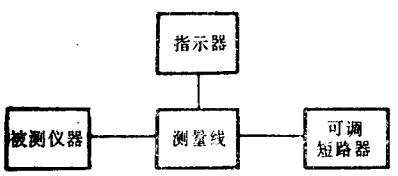


图　37-3

(2) 测试说明和要求

① 被测仪器工作在"收"方式的信号发生器载波工作状态。由输入/输出端口输出信号到测量线。

② 被测仪器输出电平按规定调到某一位置，若无规定则调到最大(即衰减最小)位置。

(3) 测试步骤

① 被测仪器频率任选，一般置于较高频率，测量线按测量 *VSWR* 的方法进行操作，读取指示器上最大和最小测量值 a_{max} 和 a_{min}。

② 输入/输出阻抗 *VSWR* 按下式计算：

$$S = S_0\sqrt{a_{max}/a_{min}} = 1/S_0 = \sqrt{a_{max}/a_{min}}$$

式中　S_0 为短路器的 *VSWR*。

5. 谐波

harmonics

谐波输出信号与载频基波信号有效值之比，一般包括相对谐波含量和相对分谐波含量，常用分贝表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 37-4。

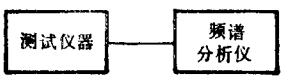


图　37-4

(2) 测试说明和要求

被测仪器工作在"收"方式的信号发生器载波工作状态，由输入/输出端口输出最大信号到频谱分析仪。

(3) 测试步骤

① 被测仪器调到需要的频率上，频谱分析仪按规定操作，测量出基波幅度 V_1 和该频率的 2 次、3 次……谐波分量 V_i 和 $\frac{1}{2}$ 次、$\frac{1}{3}$ 次……分谐波分量 V'_i。

② 谐波含量按下式计算：

相对谐波含量　$\Delta_i = \frac{V_i}{V_1} \times 100\%$

(或用 dB 表示)。

相对分谐波含量　$\Delta'_i = \frac{V'_i}{V_1} \times 100\%$

(或用 dB 表示)。

6. SSB 相位噪声　$\mathscr{L}(f)$

SSB phase niose

偏离载波频率 f 处，单个调制边带 1Hz 带宽里的噪声功率与总的信号功率之比。通常用分贝表示，单位为 dBc/Hz。

测试方法：常用正交鉴相法。

(1) 测试方框图，见图 37-5。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

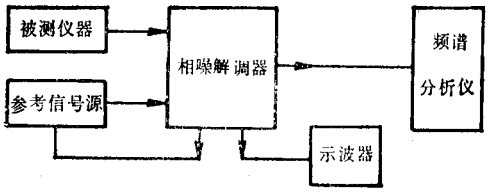


图 37-5

(2) 测试说明和要求

① 被测仪器工作在"收"方式的信号发生器载波工作状态，使用"双工"工作的大信号输出。

② 被测仪器与参考信号源的信号分别加到相噪解调器的测试端和参考输入端；相噪解调器包括双平衡混频器(作鉴相器用)、低通滤波器和低噪声放大器等，它的 DC FM 输出端连上参考信号源的 DC FM 输入端，正交监视输出端连上示波器，频谱输出端连上频谱分析仪。

③ 参考信号源的剩余相位噪声应优于被测仪器一个数量级。

(3) 测试步骤

① 校准：按要求置定两信号源的输出电平，并调节频率相等后，偏离其中一源，产生一拍频信号，在频谱仪上读出此信号的校准电平值 (dBm)。

② 正交和测量：校准后，恢复两信号源同频，调节相位达到正交(由示波器监视)，从频谱分析仪上读出偏离载波频率 f 处的噪声谱功率值 (dBm)。

③ SSB 相位噪声按下式计算：

$$\mathscr{L}(f)=(P_m-P_b-6-P_B-P_A+2.5)\ \mathrm{dBc/Hz}。$$

式中 P_m 为频谱仪测得的 1Hz 带宽的噪声谱功率值；

P_b 为拍频的校准电平值；

6 为转换常数；

P_B 为频谱仪带宽折合系数

$$P_B=10\lg(1.2\times B_{3dB})$$

P_A 为不使低噪声放大器和频谱仪过载，在校准时对被测仪器加的衰减值（或降低输出电平的分贝数)。

2.5 为频谱仪因峰值检波和对数模式读数使测量值偏低而给予的修正系数。

7. 输出频偏精度和失真 Δf 和 γ

output FM accuracy and distortion。

正弦调制一周期内的载频偏移称频偏，用 kHz 表示；调频信号在线性鉴频器输出端的波形失真称调频失真，用百分比表示。

测试方法：(以 1kHz 调制频率时的基本误差为例)

(1) 测试方框图，见图 37-6。

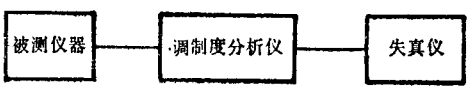


图 37-6

(2) 测试说明和要求

① 被测仪器工作在"收"方式的信号发生器内调频工作状态。

② 调制度分析仪的低频（解调）输出端接上失真仪。它的解调输出失真<0.1%。

(3) 测试步骤

① 被测仪器载波频率任选，输出最大信号，内调制频率置 1kHz，按要求调节频偏到一名义值。

② 调制度分析仪按规定操作，测出实际频偏值(正峰值和负峰值)。

③ 若被测仪器最大输出信号仍不能推动调制度分析仪正常工作，就利用调制度分析仪的"跟踪功能"，即先设置调谐频率，然后再按下"8.3 SPCL"键，就能正常工作和测试。

④ 输出频偏精度按下式计算（正、负峰值分别计算)：

$$\delta=\frac{\Delta f-\Delta f_0}{\Delta f_0}\times 100\%$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

或　$$\delta = \frac{\Delta f - \Delta f_0}{\text{满刻度值}} \times 100\%$$

式中　Δf 为频偏标称值；Δf_0 为实测值。

⑤ 按指标要求，在某一频偏测量上，同时用失真仪测出频偏失真度 γ。（注意滤波器带宽设置要求。）

8. 剩余调频

residual FM

在未调制状态下，不需要的调制引起的载频频率的偏移，一般用 Hz 表示。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 37-7。

图　37-7

（2）测试说明和要求

被测仪器工作在"收"方式的信号发生器载波工作状态。

（3）测试步骤

① 被测仪器载波频率按要求置定，输出最大信号。

② 调制度分析仪置于"FM"及"AVG"工作方式，并按规定设置滤波器带宽，测出剩余调频平均值 Δf_{AVG}。

③ 若被测仪器输出信号太小不能推动调制度分析仪正常工作，按指标7"输出频偏精度和失真"的测试步骤③进行。

④ 剩余调频（有效值）按下式计算。

$$\Delta f_{rms} = \frac{\Delta f_{AVG}}{0.9}\,(\text{Hz})$$

9. 射频功率精度　P

RF power accuracy

信号源入射到功率计的射频功率，在匹配无反射（或反射很小）时等于功率计获得的净功率，一般用 W或 dBm 表示。

测试方法：

（1）测试方框图，见图 37-8。

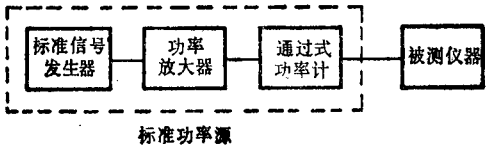


图　37-8

（2）电路说明和要求

① 被测仪器工作在"发"方式的功率测量状态，功率信号从输入/输出端口输入。

② 标准功率源的输出由精度较高的标准校准，按校准值用。

③ 通过式功率计的定向耦合器应直接连在被测仪器输入/输出端口测量。

（3）测试步骤

① 按要求调节标准功率源的频率和输出功率，在通过式功率计上读出入射功率 P_i 和反射功率 P_r，同时记下被测仪器的功率读数 P。

② 射频功率精度按下式计算

$$\delta = \frac{P - (P_i - P_r)}{P_i - P_r} \times 100\%$$

或　$$\delta = \frac{P - (P_i - P_r)}{\text{满刻度值}} \times 100\%$$

式中　$(P_i - P_r)$ 为功率计获得的净功率。在反射很小的情况下，一般 P_r 可不计入式中。

10. 调制度仪频偏精度和失真　Δf 和 γ

modulation meter FM accuracy and distortion

指标的定义同于"输出频偏精度和失真"。

测试方法：（以 1 kHz 调制频率时的基本误差为例）

（1）测试方框图，见图 37-9。

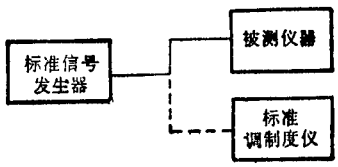


图　37-9

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试说明和要求

① 被测仪器工作在"发"方式的调频测量状态，调频信号从输入/输出端口输入。滤波器带宽设置在"300Hz ~ 3kHz"。

② 调制度分析仪的滤波器带宽也设置在"300Hz ~ 3kHz"。

③ 标准信号发生器最大输出 ≥ 1V，且在 1kHz 调制频率时的调频失真 < 0.3%。

(3) 测试步骤

① 标准信号发生器按要求置定载波频率，输出最大电平，工作方式在"内调频"，调制频率为 1kHz。

② 被测仪器一般应能自动调谐到标准信号发生器的载波频率上；若不能自动调谐，就需要"设置"频率，达到调谐目的。

③ 调节标准信号发生器频偏大小，使被测仪器频偏指示在一标称值上（分别读出正峰值和负峰值）。

④ 将标准信号发生器输出换接到调制度分析仪输入端，调制度分析仪按规定操作，测出实际频偏值(分别读出正峰值和负峰值)。

⑤ 调制度仪频偏精度按下式计算（正、负峰值各相对应进行计算）：

$$\delta = \frac{\Delta f - \Delta f_0}{\Delta f_0} \times 100\%$$

或

$$\delta = \frac{\Delta f - \Delta f_0}{\text{满刻度值}} \times 100\%$$

式中 Δf 为被测频偏标称值；Δf_0 为实测值。

⑥ 被测仪器由调频测量状态转到解调失真测量状态，根据指标要求，在某一频偏测量上同时测出频偏解调失真。

11. 射频频率计精度和稳定度 f

RF frequncy meter accuracy and stability

指标定义同指标 1"载波频率精度"和指标 2"载波频率稳定度"。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 37-10。

图 37-10

(2) 测试说明和要求

① 被测仪器工作在"发"方式的 RF 频率测量状态，标准频率信号从输入/输出端口或专门的 RF 频率计端口输入。

② 标准频率源输出最大信号，其频率精度和稳定度优于 1×10^{-9}。

(3) 测试步骤

① 标准频率源与被测仪器按要求预热后，调节标准频率源频率，使被测仪器指示在一标称值上，同时记下标准频率源实测值。

② 频率精度按下式计算：

$$\delta = \frac{f - f_0}{f_0} \times 100\%$$

式中 f 为被测频率标称值；f_0 为实测值。

③ 在整个频段内，最高和最低频率必测。

④ 标准频率源与被测仪器按测量频率稳定度的要求预热后，在一较高频率进行测量，固定标准频率读数，每分钟读取一次被测仪器读数，连续 1 小时，找出任何 15 分钟时间间隔内的频率变化的最大值，作为被测 RF 频率计的频率稳定度。

12. 音频信号源最大输出电平和失真 V_{max} 和 γ

audio generators V_{max} and distortion

音频源能输出的最大电平及其谐波失真，电平可用分贝或电压表示，失真用百分比表示。

测试方法：（以 1kHz 频率时的最大输出电平和失真为例）

(1) 测试方框图，见图 37-11。

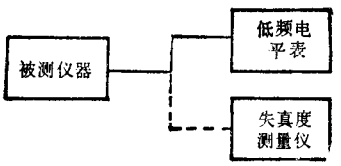


图 37-11

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试说明和要求

被测仪器工作在“发”方式的音频输出状态，由音频信号输出端口输出信号到低频电平表或失真度测量仪。低频电平表阻抗为 600Ω。

(3) 测试步骤

① 被测仪器频率置 1kHz，输出电平调到最大，由低频电平表记下被测电平值 V_{max}。

② 被测仪器输出电平调至 1V 左右，换接到失真仪上，失真仪按规定操作，测出被测信号失真度 γ。

13. 音频电平表精度

audio levelmeter accuracy

表示音频信号的大小，精度为标称值与实测值之差，相对于实测值或满度值的百分比，也可用分贝表示。

测试方法：(以 1kHz 频率时的基本误差为例)

(1) 测试方框图，见图 37-12。

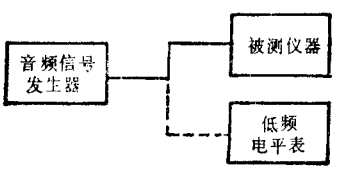


图　37-12

(2) 测试说明和要求

被测仪器工作在“收”方式的音频电平表状态，音频带宽置“30Hz ～ 3kHz”，阻抗为 600Ω，由音频输入端口与音频信号发生器连接。

(3) 测试步骤

① 音频信号发生器频率置 1kHz，调节输出电平，使被测仪器电平表指示在一标称值 V 上。

② 将音频信号换接在音频电平表上，测量出实际电平值 V_0。

③ 电平精度按下式计算：

$$\delta = \frac{V - V_0}{V_0} \times 100\%$$

或

$$\delta = \frac{V - V_0}{\text{满刻度值}} \times 100\%$$

用分贝表示：

$$\Delta_{dB} = (V_{dB} - V_{0dB})\text{dB}$$

14. 失真表精度　γ

distortion meter accuracy

表示被测信号中各次谐波的总有效值电压与被测信号有效值电压的比值，常用百分数表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 37-13。

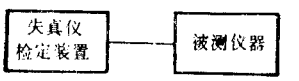


图　37-13

(2) 测试说明和要求

被测仪器工作在“收”方式的失真表测量状态。由音频输入端口与失真仪检定装置连接。

(3) 测试步骤

① 失真仪检定装置基波频率置 1kHz，谐波频率置 2kHz。输出一标准失真信号 γ_0。

② 被测仪器按规定操作，记下被测的失真度 γ。

③ 失真表精度按下式计算

$$\delta = \frac{\gamma - \gamma_0}{\gamma_0} \times 100\%$$

或

$$\delta = \frac{\gamma - \gamma_0}{\text{满刻度值}} \times 100\%$$

15. 程控与远控功能检查

(1) 根据说明书提供的编程，选出一例或几例来存、调仪器状态，检查在不用外接控制器(计算机)的情况下能否进行半自动或自动测试。

(2) 用 IEEE-488 电缆连接被测仪器接口和控制器(计算机)，输入一定程序，检查控制器(计算机)对被测仪器的远控功能。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

* * *　　* * *

本章技术指标和测试方法中所用主要测试仪器，汇总列表如下。

表 37-3 主要测试仪器汇总表

序号	仪器名称	参考型号	检定规程编号
1	标准频率计	MF64A	
2	射频放大器	MH648A	
3	测试接收机	ME642A 或 HP8902A	
4	测量线		
5	频谱分析仪	TR4122 或 HP8568B	JJG501-87
6	参考信号源及标准频率源	HP8662A	
7	相噪解调器	HP "K01" 选件	
8	示波器	LBO-523	JJG262-81
9	标准信号发生器(含合成信号发生器)	HP8640B 或 Fluke 6071A	JJG（电子）15012-89
10	调制度分析仪	HP8901A/B	
11	失真仪	SZ-3 或 BS1，BS2	JJG251-81
12	功率放大器	550L 和 EW-CO	
13	通过式功率计	R/S NAUS4	
14	低频电平表	7065	
15	音频信号发生器	HP339 或 XFD-7	JJG230-80
16	失真仪检定装置	BO5 或 BO13	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第38章 激光功率、能量测试仪

第1节 综 述

激光，是本世纪继原子能和半导体之后，在60年代初迅速发展起来的又一项重大的新技术。1958年，美国的 Schawlow 和 Townes 首先从理论上阐明了利用原子的受激辐射实现光频相干电磁辐射的可能性及技术途径。1960年，美国的 Maiman 首先在实验室中用红宝石晶体获得了激光输出，从而使光源在单色亮度上产生了一个飞跃，使古老的光学焕发了青春。此后，激光器件和技术获得了突飞猛进的发展，相继发明了各种固体激光器、气体激光器、半导体激光器、染料激光器、化学激光器及自由电子激光器等各种类型的器件。激光波长遍及紫外、可见、红外光谱范围。由于器件的工作方式不同，输出激光可以是连续波、长脉冲、调Q脉冲（脉冲宽度在数个至数十纳秒范围内）、锁模脉冲（脉宽在 1×10^{-10} 秒以下）等。输出激光的功率从微瓦至数千瓦以上，每个激光脉冲的能量从微焦耳至数十万焦耳等。

激光的应用已遍及工业、农业、国防及医疗卫生等各行各业，在国内已逐步建立起一个激光行业，激光这个高技术产业必将在我国现代化建设中发挥重要作用。

在激光应用中，一般必须检测激光器输出的功率或能量。激光功率/能量测试仪已遍及从紫外至远红外的各种激光及其它光辐射强度的测量；激光医学、激光防护、激光加工、激光测距、激光动植物生理反应等要求高稳定、高精度、高灵敏度的辐射强度测量。

随着激光应用面的扩大，研制生产激光功率计和能量计的单位日益增多，性能和质量也不断提高。据1989年统计，我国生产商用产品的单位有12个，品种多达38种。在国外产品中，美国的功率计和能量计水平较高，例如 RJ7200 和 RJ7600 激光能量比例计，分别配有热释电型和光电型两种探头和热释电型、光电型、热电堆型三种探头，测量光谱范围从紫外到红外，测量激光能量的范围为 10^{-12}J～2J 及 10^{-12}J～100J。美国生产的 RK5200 和 RK5700 激光功率计，其可测光谱范围也是从紫外到红外，功率测量的范围分别从 10^{-7}W～1W 和 10^{-11}W～10^{3}W。在国产激光功率计和能量计中，重庆市光学机械研究所研制的 LER-II 型智能化多功能激光能量比率计，具有热释电型、光电型和光压电型三种探头，测量光谱范围从紫外到红外，测量激光能量的范围从

表38-1 国内外激光功率、能量测试仪主要性能指标对比表

指 标	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
能量分辨率	1pJ	1pJ
测量上限	100J	20J
测量精度	5%	3.9%
最高重复频率	40Hz	60Hz
配用探头类型	热释电型	热释电型
	光电型	光电型
	热电堆型	光压电型
光谱响应范围	紫外～红外	0.25～16μm

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

10^{-12}J～20J。中国科学院物理所研制的 LPE 型激光功率/能量计具有同时可测激光能量和激光功率的双重功能的特点，光谱响应范围为 0.25μm～25μm，分辨率为 1μW/1μJ。这些仪器均达到了 80 年代的国际先进水平。

现将国内外激光功率、能量测试仪的代表性产品的主要性能指标，对比列表如表 38-1：

第2节 分 类

测量激光的功率和能量的方法有若干种，按激光束在接收元件上所产生的物理效应主要可分为：光热法、光电法及光压法等三种：

（一）光热法测量激光能量或功率

光热法已广泛用于激光能量或功率的测量中，已经发展了多种光热法测量仪（卡计），例如平面盘状卡计、锥形斗状卡计、鼠巢式量热器、液体量热器等。其中平面盘状卡计获得了最广泛的应用。

平面盘状型激光功率/能量测试仪结构框图如图 38-1 所示。

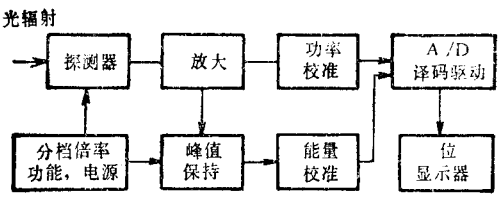


图 38-1

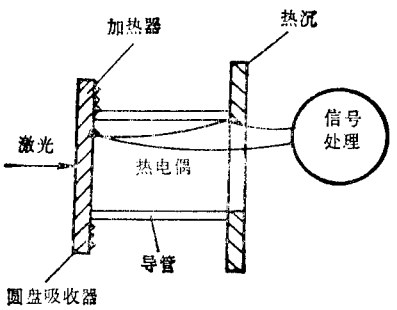


图 38-2

其核心部件——探测器的典型结构如图 38-2 所示，当一束脉冲激光入射到吸收器上去后，入射光能转化为热能。设入射激光的能量为 E，吸收器转换所得的热量为 ΔQ，设转换效率为 η，则有

$$\Delta Q = 0.24\eta E \tag{38-1}$$

式中，E 为入射激光能量，单位为焦耳；ΔQ 的单位为卡。热量 ΔQ 中的绝大部分（设为 ΔQ_1）将促使吸收器本身产生温升，另有很小一部分能量（ΔQ_2）则因辐射、对流和传导等原因耗散掉，因此有关系式

$$\Delta Q = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 \tag{38-2}$$

吸收器的温升 $\Delta T = T - T_0$，可根据热力学定律求得：

$$\Delta T = \frac{\Delta Q_1}{c \cdot m} \tag{38-3}$$

式中 T_0 为吸收体的初始温度；m 为吸收体的质量；c 为吸收体材料的比热容。

如采用热电转换元件将 ΔT 转化为相应的电信号，并用灵敏的显示器将电信号指示出来，便

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

可获得电信号指示值与激光能量(或功率)之间的对应关系。

由以上三式,可以导出卡计的平衡方程式:

$$P=\frac{C\cdot m}{0.24\eta}\frac{d(T-T_0)}{dt}+g(T-T_0) \tag{38-4}$$

式中 $P=\frac{dE}{dt}$; g 为卡计导管的热传导系数。一台平盘状卡计既可用于测量脉冲激光能量,也可用来测量脉冲激光的平均功率或连续输出的激光功率,关键在于如何选择其结构形式、参数和信号处理方法。

(二) 光电法测量激光功率或能量

常用光电池或热释电探测器等光电转换元件来测量激光功率或能量,热释电探测器获得了较广泛的应用,热释电激光功率计如图38-3所示。热释电探测器是一种极性晶体,在无外电场的条件下,这种晶体就有自发极化的现象,而且可通过外电场或温度来改变它的自发极化强度,如将这种晶体磨成薄片,并在两端面上镀一层导电材料作为电极,则当晶体受到辐射而产生温升时,自发极化强度降低,导致电极表面上感应电荷减少,或者说"释放"了一部分电荷,称此现象为热释电效应。主要的热释电晶体有:硫酸三甘肽(TGS)、钽酸锂(LiTaO)、铌酸锶钡(SBN)等。

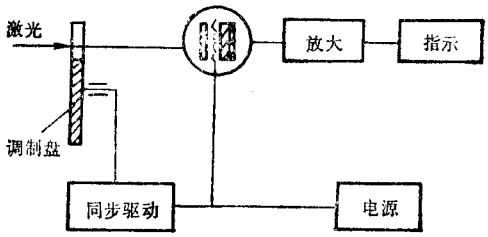


图 38-3

(三) 光压法测量激光能量

当激光辐射投射到一块不透明物质的表面时,就能给此表面施加一个压力。因此,我们可以建立激光能量与机械压力之间的函数关系。例如将激光打在由很细的石英丝悬挂的全反射镜上时,可以使此小反射镜旋转,于是,若能精确测定小镜转角的量值,便可算出对小镜的光压,继之可求出入射激光的能量。

这种测量方法适用于测量大能量的激光。

根据使用范围和特点也可以把此类仪器分为四类:

(1) 激光功率/能量计——该仪器兼有测量激光功率与激光脉冲能量的双重功能。

(2) 激光功率计——仅用于测量各种连续输出激光器的输出功率,并再可分为高功率、中功率、小功率及微功率等四种类型的功率计。

(3) 激光能量计——用以检测脉冲激光的能量,也可分为大能量、中能量和小能量。

(4) 激光能量比率计——可同时测得两路激光能量及其比率。

第3节 技术指标汇总表

激光能量计和功率计的技术指标基本上可按门类进行汇总,但对有些正在发展的门类来说,随着发展,它们的技术指标也在不断地增加和提高。在此,仅根据目前掌握的情况,列出其主要技

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

术指标汇总表如表 38-2。

表 38-2 激光功率计、能量计主要技术指标汇总表

序号	技术指标	激光能量比率计	激光能量计	激光功率计	能量-功率计
1	光谱响应范围	●	●	●	●
2	能量计灵敏度	●	●		●
3	功率计灵敏度			●	●
4	仪器测量的不确定度	●	●	●	●
5	修正系数	●	●	●	●
6	能量分辨率	●	●		●
7	功率分辨率			●	●
8	重复频率范围	●	●		●
9	能量的测量上限	●	●		●
	功率的测量上限			●	●
10	面响应的不均匀性	●	●	●	●
11	响应时间	●	●		●
12	探测器可承受的峰值功率密度	●	●	●	●
13	温度漂移	●	●	●	●

第 4 节 技术指标及其测试方法

- 本节所列参数定义及测试方法主要引自 JJG 312-83 和 JJG 249-81
- 被测激光功率计或能量计及测试设备均应在各自产品标准中规定的预热时间后进行测试。
- 由于"探测器可承受的峰值功率"属破坏性试验，一般不进行测试；"温度漂移"问题测试比较简单，故从略；因此本节仅列出 11 项指标的测试方法。

1. 光谱响应范围

spectral response range

激光能量计或功率计可测的激光波长区域。

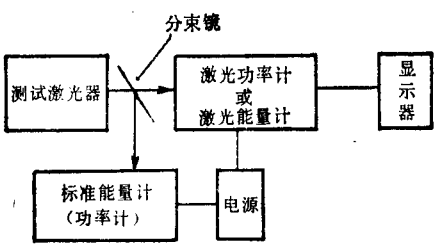


图 38-4

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 38-4。

(2) 测试步骤

用不同激射波长的典型激光器作光源，例如：氦-氖（He-Ne）激光器，其激光波长为 0.6328μm，钇铝石榴石（Nd^{3+}：YAG）激光器的发射激光波长为 1.06μm，二氧化碳（CO_2）激光器的波长为 10.6μm。用被检激光能量计或功率计依次去接收不同波长(从紫外到红外)的激光，调整激光器和分束镜及能量计的相对位置，并使激光垂直入射至能量计(功率计)探头中心，从显示器上读取所测激光能量值（功率值)，检测是否与标准能量计(功率计)所测值相等。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

技术要求：在整个光谱范围内，能量(功率)示值的偏差应在 ±5% 范围内。

2. 能量计灵敏度 S_e

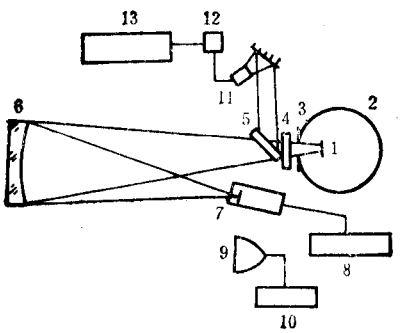
sensitivity of energy meter

激光能量计测量入射脉冲激光能量时，单位入射激光能量所对应的能量计信号称为能量计灵敏度。

测试方法：

I. 白炽灯作辐射光源

(1) 测试装置示意图，见图 38-5。



1－灯；
2－水冷屏幕；
3－光阑；
4－快门；
5－分束片；
6－聚光镜；
7－标准接收器；
8－电测仪器；
9－被测能量计；
10－指示器；
11－光电管；
12－光电前置放大器；
13－数字频率计

图 38-5

(2) 测试步骤

根据所需检定的能量(功率)级别和光斑尺寸，选取水冷光阑尺寸，调节灯丝和光阑的距离或插入适当的滤光片，调到确定的灯电流。

再用标准能量计或功率计测出模拟光束的辐射功率：

$$\phi = u_{Q_0}/S_{Q_0}t \qquad (38\text{-}5)$$

$$\phi = u_{\phi_0}/S_{\phi_0} \qquad (38\text{-}6)$$

式中 u_{Q_0} 和 u_{ϕ_0} 为标准能量计和功率计的净响应。净响应是探测器接收能量后输出的信号净值，或某一与输入能量成正比的计算值；S_{Q_0} 和 S_{ϕ_0} 为标准能量计和功率计的灵敏度；t 为标准能量计所接收的脉冲光束的持续时间。

测量数次，得到光束的平均辐射功率。

然后借助弱光束调准被检查能量计，并按使用者的需要调节投于接收面上的光斑大小。

再借助精密快门产生光脉冲，同时读取能量计的净响应或示值 u，计时系统测得的脉冲持续时间 t，计算该脉冲光束的能量：

$$Q = \Phi t \qquad (38\text{-}7)$$

被检能量计的灵敏度

$$S_e = \frac{u}{Q} \qquad (38\text{-}8)$$

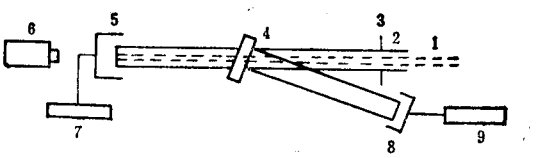
重复测量数次，取其平均值。

II. 脉冲激光器为辐射源

(1) 测试装置示意图，见图 38-6。

(2) 测试步骤

借助 He-Ne 激光器，将标准能量计对准脉冲激光。



1－氦氖激光
2－脉冲激光
3－光阑
4－楔形分束器
5－标准或被标量能计
6－内调焦望远镜
7－电测仪器
8－监视能量计
9－电测仪器

图 38-6

在脉冲激光器的一定放电电压下，用标准能量计接收脉冲激光，若它和监视能量计的净响应分别为 u_0 和 u_0'，则计算得该脉冲激光的能量：

$$Q_0 = u_0/S_{Q_0} \qquad (38\text{-}9)$$

相应的监视比为

$$R = Q_0/u_0' \qquad (38\text{-}10)$$

测量数次，取平均监视比 $\bar{R}_0$

再将被检能量计通过 He-Ne 激光，调准到脉冲激光的光轴上。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在与上述相同的放电电压下触发激光，同时读取被检能量计和监视能量计的净响应 u 和 u'，则被测能量计的灵敏度：

$$S_e = u/u'\bar{R} \qquad (38\text{-}11)$$

测量数次，取平均值。

技术要求：

（1）灵敏度示值的短期稳定性，即连续测量的重复性：±3%。

（2）零点漂移（10 分钟内）：±5%。

（3）校准的不确定度：±10%，能量计的测定不确定度，以总的绝对误差和方和根偏差来表示。如果能量测量结果 Q 与其它量 X_i（X_1，X_2，…，X_m）的测量或控制有关，即

$$Q = F(X_1, X_2, \cdots, X_m) \qquad (38\text{-}12)$$

那么，总的绝对误差按下式计算：

$$\Delta Q = \left|\frac{\partial F}{\partial X_1}\Delta X_1\right| + \left|\frac{\partial F}{\partial X_2}\Delta X_2\right| + \cdots + \left|\frac{\partial F}{\partial X_m}\Delta X_m\right| \qquad (38\text{-}13)$$

方和根偏差（它是总的标准误差），按各标准偏差的合成公式计算：

$$S_Q = \sqrt{\left[\frac{\partial F}{\partial X_1}\right]^2 S_1^2 + \left[\frac{\partial F}{\partial X_2}\right]^2 S_2^2 + \cdots + \left[\frac{\partial F}{\partial X_m}\right]^2 S_m^2} \qquad (38\text{-}14)$$

3. 功率计灵敏度 S_P

sensitivity of power meter

单位入射激光功率所对应的激光功率计输出信号称为激光功率计灵敏度。

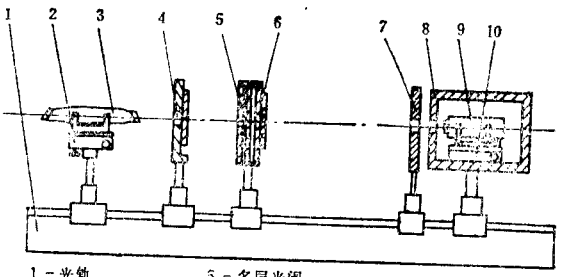
测试方法：（以激光小功率计检定规程为例）

（1）测试原理图，采用激光作光源时，测试功率计的灵敏度示意装置示于图 38-7。

（2）测试步骤

按图 38-7 调整工作标准功率计和被检功率计的接收面，使光束垂直入射于接收面，继而安排和连接好各测试部件。

首先用一种自校准型的绝对辐射计（称作

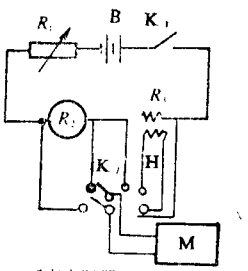


1－光轨
2－激光器支座微调架
3－激光器
4－快门
5－多层光阑
6－衰减器
7－光阑
8－屏蔽箱
9－工作标准或被检功率计
10－功率计支座微调架

图 38-7

工作标准激光小功率计）来测定激光的功率，步骤如下：

① 遮断光束，测背景电势 u_0；打开快门测热电堆输出电势 u_{0r}（测量电路如图 38-8 所示）；又遮断光束，测背景电势 u_0，用 u_{0r} 减去前后两个 u_0 的平均值为一个测量值 u_r，连续测量三次以上，求平均值 $\bar{u}_r$。



R_1－可变电阻器；
B－电加热电源；
K_1－开关；
R_2－标准电阻；
R_3－电加热器；
H－热电堆；
K_2－多点双极无热电势开关；
M－电测仪器

图 38-8

②遮断光束，测背景电势 u_0，接通电加热开关，使加热器通以电流，调节加热回路上的可变电阻，使 $u_{0e} \approx u_{0r}$，断开加热开关，测量背景电势 u_0，用 u_{0e} 减去前后两个 u_0 的平均值为一个测量值 u_e，测三次以上，求平均值 $\bar{u}_e$。

③测量加热器上的加热电流 I 和 V，求平均值 $\bar{I}$、$\bar{V}$。由此可求得工作标准激光功率计所

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测得的功率值 P_r

$$P_r = C\overline{IV}\frac{\bar{u}_r}{u_e}\ (\mathrm{mW}) \qquad (38\text{-}15)$$

式中 C 为由上一级对它检定时给出的修正系数。

然后，使光束全部入射到被检激光小功率计接收面上，测得激光束的净信号电势 u_r，测三次以上，求平均值 $\bar{u}_r$；按式

$$S_P = \frac{\bar{u}_r}{P_r}\ (\mu\mathrm{V/mW}) \qquad (38\text{-}16)$$

可求得被检激光小功率计的灵敏度。

4. 仪器测量的不确定度

measurement uncertainty

激光功率计或能量计的测量正确度。

测试方法：

（1）测试的原理方框图，见图 38-9。

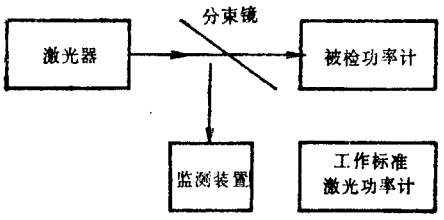


图 38-9

（2）测试步骤

用工作标准激光功率计测得激光光源的功率值 P_r；将被检激光功率计替换工作标准激光功率计，使该激光束全部入射到被检功率计接收面上，测得其功率值 P_m；在一个量程内检定两点到三点，如果激光光源输出波动，则由监测装置测定其变化量，并用以修正测量结果。由式

$$A_P = \frac{P_m - P_r}{P_r}\ (\%) \qquad (38\text{-}17)$$

可求出被检功率计与标准功率计相比的测量示值误差相对值 A_P。

技术要求：要求 A_P 值小于±5%。

5. 修正系数 C_m

modified factor

对于同一激光光源，工作标准功率计测得的功率值与被检激光功率计测得的功率值之比，称作修正系数 C_m。

测试方法：

（1）测试原理图，同图 38-7。

（2）测试步骤

按功率计灵敏度测试方法，首先用工作标准功率计测得 P_r；其次，用同一光源，测量被检功率计的功率指示值 P_m，则

$$C_m = \frac{P_r}{P_m} \qquad (38\text{-}18)$$

C_m 即为被检激光功率计的修正系数，用被检激光功率计进行测量时，测得的功率乘以此系数即得所测激光功率值。

6. 能量分辨率

energy resolution

激光能量计所能测量的最小激光能量。

测试方法：

（1）测试原理图，见图 38-10。

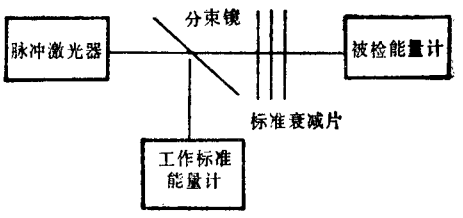


图 38-10

（2）测试步骤

按图 38-10 所示组合和调整测试设备，使激光器发出的脉冲激光光斑正好落在被检能量计探头的中心位置。

在激光光源和被检能量计之间插入经国家计量部门标定过的标准衰减片，则由工作标准能量计可测得脉冲激光器输出的激光能量的正

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

确值 E_0，到达被检能量计的激光能量 E_m 为：

$$E_m = E_0/2\beta \qquad (38\text{-}19)$$

式中，β 为标准衰减片的能量衰减倍数，不断增大 β 值，直至被检能量计不能测出正确的值为止，此时所对应的 E_m 即为能量计的分辨率。

技术要求：应该满足该种被检激光能量计的标称值。

7. 功率分辨率

power resolution

激光功率计所能测量的最小激光功率。

测试方法：

（1）测试原理图，见图 38-11。

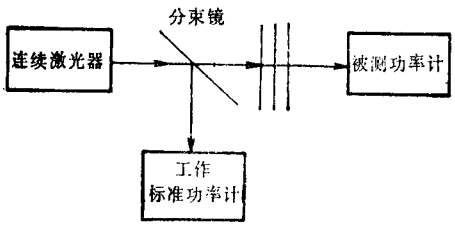


图 38-11

（2）测试步骤

按图 38-11 调整仪器设备，使激光光斑落在被检功率计探头的中心位置。

连续输出的激光光源经分束后一路达于工作标准功率计，一路投向被检功率计，设分束比为 50%（半透型）。衰减倍数为 β，连续激光器的输出功率为 P_0，则被检激光功率计所接收到的功率值为

$$P_m = P_0/2\beta \qquad (38\text{-}20)$$

技术要求：P_m 值应与被测激光功率计的功率分辨值相符。

8. 重复频率范围 n

measurement range of pulse rate

能量计所能检测的脉冲激光器的重复频率变化范围。

测试方法：

（1）测试原理图，见图 38-12。

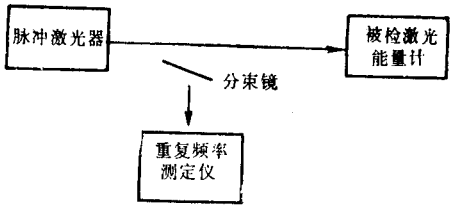


图 38-12

（2）测试步骤

调整脉冲激光光源与被检激光能量计的相对位置，使脉冲激光居中射入能量计探头，将小分束镜置入光路一角，使之截获少量激光至重复频率测定仪，以便测量脉冲激光器的工作频率。

调节脉冲激光器的重复频率，由低至高地变化，检查被测激光能量计的读数是否正确，例如若重复频率 $n = 20\text{Hz}$，则在 1 秒钟内测得 20 个脉冲能量值，若这些能量值与标称值相符，说明该能量计能检测 $n = 20\text{Hz}$ 工作的脉冲激光器，继之增大 n 值，直至不能正确测量。

技术要求：脉冲能量测量值在要求误差范围内所对应的 n 值应与能量计标称值相符。

9. 能量（或功率）的测量上限

maximum energy (or power) measured

激光能量计（或功率计）所能检测的最高能量（或功率）值

测试方法：

（1）测试原理图，同图 38-10 和图 38-11。

（2）测试步骤

选择一台经过定标的激光器，使其输出的脉冲能量（或功率）恰与激光能量计（或功率计）的能量（或功率）测量上限（最大值）相符。调整此激光器与被检能量计（或功率计）的相对位置，使激光射入能量计（或功率计）探头中心，检查能量计（或功率计）读数是否正确或是否损坏等。

技术要求：能量计（或功率计）所能正确测

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

量的最高激光能量（或功率）应与仪器的额定值相符。

10. 面响应的不均匀性

inhomogeneous characteristic of surface response

被测激光光斑入射于能量计（或功率计）探头的不同敏感表面部位时，测量值的相对误差。

测试方法：

（1）测量原理图，同图38-6。

（2）测试步骤

控制脉冲激光器输出的光斑直径，使之仅为能量计探头接收面直径之1/5，但光斑直径至少为1mm，在接收面的2/3中心面积内，照射其中心和上下左右，观察能量计对于单位能量的响应 S_0，按下式估计面响应不均匀性：

$$\Delta_S = (S_n - S_0)/S_0 \qquad (38\text{-}21)$$

式中 S_0——接收面中心的相对响应；

S_n——接收面上下左右各部位的相对响应。

11. 响应时间 τ

response time

能量计对激光脉冲的响应时间。

测试方法：

（1）测试原理图，同图38-6。

（2）测试步骤

根据测量的需要和方便可选择下列任何一种方法测算一般能量计的时间常数。

① 半峰法：把光能或电能输入能量计内，注意观察能量计响应的变化，并在响应升到最大值时，启动秒表计时，待响应下降到最大值的一半时，秒表停。若秒表记下的时间为 $t_{\frac{1}{2}}$，则时间常数可按下式估算：

$$\tau = 1.44 t_{\frac{1}{2}} \qquad (38\text{-}22)$$

② 三分之一读数法：与①相同，若能量计响应升到最大值时，按动秒表计时，待响应下降到最大值的三分之一时，停止秒表，若秒表记下的时间为 $t_{\frac{1}{3}}$，则时间常数为：

$$\tau = 0.91 t_{\frac{1}{3}} \qquad (38\text{-}23)$$

③ 一般步骤：在能量计冷却复原期间，记下时刻 t_1 的净响应 u_1，再记下时刻 t_2 的净响应 u_2，时间常数即可按下式得出

$$\tau = (t_2 - t_1)/\ln \frac{u_1}{u_2} \qquad (38\text{-}24)$$

* * *　　* * *

本章技术指标和测试方法中所用的主要测试仪器汇总列表如下。

表38-3 测试能量计时，主要测试仪器汇总表

序号	品名	用途	精度	数量	备注
1	内调焦望远镜	调整	10″	1	
2	直流数字电压表	测试	多量程0.03%±2字	2	
3	直流放大器	测试	分辨率0.1μV	1～2	
4	标准电阻（1Ω，10Ω）	测量电校准	0.01级	各1	
5	标准功率计	对比测试	2级	1	
6	直流稳压电源	电校准	0～50V 大于2A	1	
7	交流稳压器	电源	1KVA 220V	1	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表38-4 测试功率计时，主要测试仪器汇总表

序号	品名	用途	精度	数量
1	激光器	辐射源	不稳定性<1%	1
2	模拟激光光源	辐射源	不稳定性<1%	1
3	电源	供灯用	<0.1%	1
4	电测仪器及其附件	监测模拟激光源电流	<0.1%	1
5	电测仪器	测电势及电参量	<0.1%	1
6	标准电阻（10Ω或100Ω）	电校准	0.01级	1
7	可变电阻器（10^{-1}～10^{4}Ω）	电校准		1
8	加热电源	电校准	0.1%	1
9	无热电势开关	测量		2

第5节 激光能量、功率计按门类的量值传递表

激光能量计根据测量精度可分为国家标准、工作标准以及用于测试的激光能量计三大类，用于测试的能量计还可根据测量误差的大小分为：

2级：总的绝对误差不超过4%，方和根偏差不大于1.6%，自配有自校准器。

5级：总的绝对误差不超过10%，方和根偏差不大于4%。

10级：总的绝对误差不超过20%，方和根偏差不大于8%

……。

1.能量计按门类的量值传递表

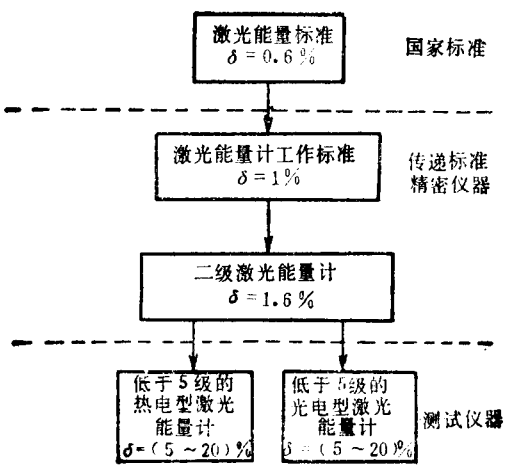


图 38-13

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2.激光功率计的量值传递系统

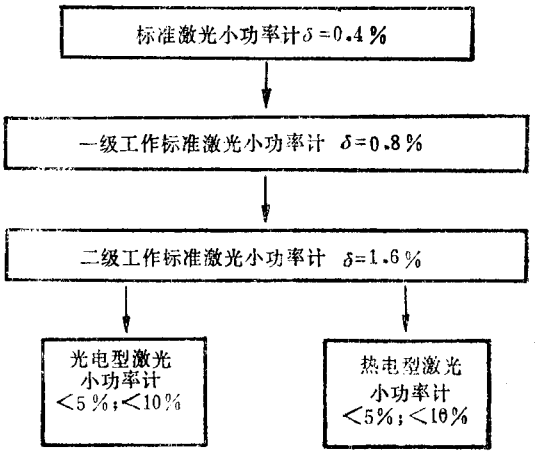


图 38-14

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第39章 红外测试仪器

第1节 综 述

红外线覆盖了 0.78～1000μm 的宽广电磁波范围，许多物理、化学、生物、天文及其它科学技术中的现象均在此波段范围内有着明显的特征。例如，红外辐射光谱分布、红外吸收光谱分布、红外辐射强度分布、温度分布、红外传输特性及红外响应特性等均分别与物质成分、结构、物体特性、物体状态等有关。所以长期以来，红外光谱分析成为物质成分分析的主要手段，红外温度测量成为冶炼工艺的不可少的方法。而今，红外测量仪器品种繁多，数量庞大，已广泛应用于工业、农业、生物医学、军事工业和科学事业的各个领域。

限于篇幅，本章仅汇集几类主要红外测量仪器的发展情况和性能指标测试方法。

（一）红外辐射的标准

在红外测量中，首先要解决的问题是红外辐射的标准问题，要用它去标定或校准红外仪器。

红外线辐射是赫赛尔（Hershel）于1800年发现的。19世纪中叶，基尔霍夫（Kirchoff）和斯蒂瓦特（Stewart）提出了黑体概念。1900年普朗克导出了著名的黑体辐射光谱分布公式。从此，黑体便成了一种理想辐射源。本世纪初还制出了黑体炉，当作实用的标准辐射源。

根据实际需要，在可见光和近红外区域，国际照明委员会（CIE）还在70年代推荐了 A、B、C、D四种标准发光物体。A标准发光体的辐射光谱分布相当于 2856K（1968年国际实用温标）黑体的辐射光谱分布；B标准发光体的辐射光谱分布相当于色温为 4874K 中的中午直射阳光的光谱分布；C标准发光体的辐射光谱分布相当于 6774K 的平均阴天天空光的光谱分布；D标准发光体规定色温在 4000～25000K 之间。对辐射光谱分布也作了规定。上述四种发光体只是共同规定的标准发光体，而不是真实光源，不过 CIE 都推荐了近似实现方法。有的标准发光体可用一种光源实现，有的却要用几种光源共同发光才能实现，或者要用一组标准滤光器对一种光源进行滤光才能实现。

理论上的最高辐射标准是黑体，它的辐射参数均按理论公式计算得来。但这只是一个理论上的概念，实际黑体是黑体炉，发射率(比辐射率)接近于1。偏离理想黑体的误差主要来源是发射率小于1、炉腔温度不均匀、炉腔温度测量误差和辐射面积的测量误差。依据上述误差大小不同，实际标准黑体分三级。

一级标准黑体是用纯度高于99.999%的金属制成的倒置锥形腔，并且使金属处于凝固点温度上。采用纯金属制作腔体，可使腔体各部温度均匀；规定工作在金属凝固点，可确知黑体腔的温度。这种黑体的发射率可达0.9999。适用作黑体的金属及其凝固点温度如下：

金属	凝固点(℃)
黄金	1064.43
银	961.93
锌	419.58

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

锡　　231.9681

铅　　327.502

一级标准黑体的缺点是只能在一种温度下使用，而且因为适用金属有限，只能得到有限个不连续的温度；同时，只能在有限时间里凝固，因而必须反复进行熔化/凝固，使用不便，所以通常只用作最高的实际辐射标准。

二级标准黑体是用石墨制成的倒锥形腔，工作温度 2～3300K，腔体温度均匀，发射率也接近于1；腔体温度用经过标定的热电偶测量，温度测量精度为 1%；温度均匀性控制在几分之一度内。二级标准黑体要用一级标准黑体标定。

工作标准黑体可用不锈钢、铝等材料制作，腔体是一种简单的锥形腔，而不是倒置锥形腔体，也可以制成球形或柱形腔体。腔体温度精度在 1K 内。工作标准黑体要用一级或二级标准标定。世界上销售的工作黑体达 500 多种，温度覆盖了 4～3300K 范围，腔体开孔在 1～100mm 之间。这些黑体大致可按表 39-1 分类。

表 39-1　工作黑体的类型

类　别	温度范围	特　点
通用型	室温～1400K	锥形腔，在空气中工作
高速类	室温～1000K	锥形腔，升温、降温非常快
航空类	100～1300K	航天器和火箭中用，尺寸很小。
卫星类	40～1300K	用于空间，功耗低，在低温、高真空条件下工作，寿命长
生产类	室温～1300K	温度和孔径可遥控
低温源类	40～1500K	在空气和高真空中工作
高真空类	10～1300K	低温、高真空下工作
高温源类	1000～3300K	空气中工作、无窗口
高温扩散面源类	室温～1073K	面积在 1/2 吋²至 2 呎²间

黑体作为标准光源在质量上是无可非议的，但结构复杂，价格昂贵，使用不便，所以也采用一些低一级的、但性能也能满足要求的红外辐射光源，例如能斯脱灯、硅碳棒和钨带灯等，就可用作低级标准红外辐射源。

能斯脱灯是由锆、钇、钍、铍和其它氧化物混合烧结成的，常制成圆柱体，质地很脆，低温不导电。当用火焰或附加的钨丝加热到 400℃ 时，开始导电，接近 800℃ 时，电阻急剧减小，1000℃ 时呈白炽状态。在空气中正常工作温度为 1700～1800K，加热电流 0.25～1A。辐射光谱很宽，但在 2μm 处有一主峰，在 5.5μm 处有一次峰，波长超过 6μm 后，光谱特性接近于黑体辐射光谱，发射率约为 0.66。

硅碳棒的典型尺寸为长 5～10cm，直径 0.5cm；电源电压 50V，电流 3～5A；可以直接通电加热，但需加镇流器。碳化硅分解的上限温度为 1500K，正常工作温度为 980～1100℃。硅碳棒的发射率约为 0.8，辐射光谱分布在 40μm 以内变化不大。

钨灯早在 1914 年就曾被定为标准光辐射源，这种情况一直沿用至今，原因是价格低廉、使用方便。钨灯有真空钨丝灯、充气钨丝灯和各种卤钨灯，工作温度在 2400～3000K 之间。因为钨灯有玻璃壳，不透中、远红外辐射，所以只能用作小于 3μm 的近红外标准辐射源。钨发光体常制成带状，可得到更均匀的辐射亮度标准；而制成螺旋状，在一定距离上，可以得到稳定的光谱辐照

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

度标准。

作为红外标准辐射源，必须稳定工作，所以应当做到：

(1) 加热功率稳定，对于高压小电流加热，应当稳压；而对于低压大电流加热，应当稳流。

(2) 需要进行老化处理，老化时间几小时至 24 小时。

(3) 使用时应进行预热。

(4) 有的光源为非朗伯辐射体，使用时要进行定向。

(5) 要进行标定，标定参数主要是发射率、全辐射功率和光谱辐射功率。

上述辐射源均可当作辐射标准。这种标准是直接的，易为人们接收。但是，也有另一种做法，即采用标准辐射计去标定各种辐射源，也就是说，标准辐射计成了辐射的标准。实际的标准辐射计是绝对辐射计，它无选择性地接收各种波长的辐射，将它转变成热量，再通过热敏元件变成电量；另一方面，注入电功率也能产生与接收光辐射带来的同样效果。因此，只要精确测出注入的电功率，通过比较方法，就能精确测定入射辐射的功率。

用作绝对辐射计的主要是电热堆和测辐射热计两种，此外，也有用热释电探测器当作绝对辐射计的。

热电堆是由许多热电偶串接而成的。热电偶是 1830 年问世的，但直到 1935 年才制出热电堆。热电偶是基于塞贝克效应工作的，常用的热电偶材料有锑-铋、碲-铋、半导体材料 Ge(p)-Ge(n) 等。在标准热电堆中，有工作区和参考区。工作区接收红外辐射，参考区用于接收电功率加热。热电堆的典型参数为：响应率 $5V \cdot W^{-1}$，时间常数 10～30ms；入射功率在 6×10^{-10}～$6 \times 10^{-8}W$ 之间，线性误差小于 0.1%。

测辐射热计也早在 1880 年便出现了，至今仍用作红外探测器，其中参数合适、性能稳定的可用作标准红外探测器。测辐射热计的内阻很高，吸收红外辐射后温度升高，内阻减小。在采用偏置电压后，可将内阻的改变转换成电流和电压改变信号。测辐射热计用金属(如铂、铱、铑)、金属氧化物(如锰、钴和镍的氧化物)或半导体材料(如锗、锑化铟)材料制成。标准测辐射热计有两个相同的热敏薄片，均封装在真空壳内，其中一个接收红外辐射，另一个用电加温作温度补偿。一般金属测辐射热计的典型温度系数为 $(3 \sim 6) \times 10^{-3}K^{-1}$，锰钴镍氧化物测辐射热计的典型温度系数为 $(-4) \times 10^{-2}K^{-1}$。

热释电探测器是近 20 年来发展十分迅速的一种红外探测器，它是利用晶体的热释电效应制成的。常用的材料有硫酸三甘肽（简称 TGS)、铌酸锶钡（简称 SBN)、钽酸锂(简称 LT)、钛酸铅（简称 PT）和锆钛酸铅（简称 PZT）等。标准热释电探测器也由两片组成，一个接收红外辐射，另一个用电加热。几种热释电探测器的两个主要参数如下表所示。

材料	TGS	SBN	LT	PZT	PT
$D^*(cm \cdot Hz^{1/2} \cdot W^{-1})$	1×10^9	1×10^9	7.5×10^8	2.6×10^8	1×10^8
S_v (V/W)	6000	800	1600	1000	800

至于时间常数 τ 取决于负载电阻 R_L，当 $R_L = 2 \times 10^2 \sim 1 \times 10^{11}\Omega$ 时，$\tau = 10^{-6} \sim 0.3s$。

热电堆和测辐射热计既可用作二级标准，也可用作工作标准。而热释电探测器因为不能直流工作，所以不用作标定响应度的标准。这类标准的误差主要是辐射加热和电加热原理不同，出现原理误差；还有辐射吸收体吸收系数小于 1 的误差及吸收系数的测定误差、吸收面积测定误差和电力功率测量误差。由于这些误差存在，要用标准黑体进行标定，才能用作计量辐射的标准。标

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

定的主要参数是积分响应率、光谱响应率和线性度。

（二）红外光谱仪

红外光谱仪是分析物质成分的通用仪器，也可用于其它光谱分析。

1665年牛顿发现了光的色散现象，他用一块棱镜将白光分成了多色光。1860年出现了第一台棱镜分光光谱仪，直到60年代以前，这种光谱仪一直占主要地位。但是，这种光谱仪的色散不均匀，光谱吸收有选择性，分辨率也低，难于满足更高要求。

30年代，美国博士伦公司和英国赫尔格厂生产出光栅，用它分光可以得到质量更高的光谱，用它构成的光栅分光光谱仪性能优于棱镜分光光谱仪。60年代以来，光栅光谱仪产量愈来愈大，尤其是70年代出现了全息光栅，光栅尺寸、密度和分辨力均有很大提高，工艺却较简单了，因而得到更大发展。现在已能制造面积为 $400 \times 600mm^2$，密度在0.8～3600线/mm 间，闪耀角为1～85°，分辨率超过 10^7，鬼线强度小于 10^{-4} 的光栅；同时，还出现了双闪耀光栅和变间距光栅。光栅分光光谱仪性能有很大提高，品种也多样化了。

上述色散型光谱仪从1860年算起，经历了一百多年，仪器原理没有改变，但不断采用新元件、新技术和计算机，实现了自动化，应用范围也不断扩大。但是，这种光谱仪也有一些缺点，主要是灵敏度不够高、信噪比较低和分辨率不够高等。50年代出现、70年代得到迅速发展的付里叶变换光谱仪弥补了色散型光谱仪的不足，成为当前最先进的光谱仪。

付里叶变换光谱分析的概念来源久远。早在1892年，瑞利通过付里叶变换运算，将干涉图与通过干涉仪的辐射光谱联系起来。1902年迈克尔逊根据干涉谱，正确地推断了氢原子光谱的红巴尔末（Balmer）线不是单线而是双线。1949年，英国天文物理学家费尔杰特（Fellgett）首先把干涉图经过数学处理——付里叶变换计算成光谱。1954年，法国天文学家杰基诺特（Jacquinot）阐明了用干涉分光法的光通量要比色散分光法的大得多，可以解决弱光光谱测量问题。这些工作为付里叶变换光谱仪的出现打下了基础。1955年美国 Grubb Parsons 公司便制出第一台付里叶变换光谱仪。

70年代计算机迅速发展，为快速计算付里叶变换创造了条件，这种光谱仪也迅速发展起来。975年前已制出从近红外至25μm 波段的付里叶变换光谱仪，1976年将波段延至50～100μm 的远红外范围。当前正在研制波段扩展到亚毫米波的付里叶变换光谱仪。

付里叶变换光谱仪已成为举世公认的先进的光谱仪，有必要对其优点及特殊的滤波方法进行简单说明。

付里叶变换光谱仪的特点是：

（1）多通道检测（或称 Fellgett 优点）

干涉仪同时检测 M 条光谱信号，比狭缝式光谱仪节省了（$M-1$）倍检测时间。

（2）辐射通量大（或称 Jacquinot 优点）

付里叶变换光谱仪不存在入射和出射狭缝，辐射通量只取决于干涉仪平面镜的大小，所以辐射通量要比狭缝式光谱仪的大得多，仪器的信噪比高得多，有利于弱光谱的测量工作，因而可以分析出 10^{-9} 克量级的微量元素，比狭缝式光谱仪高100～1000倍。

（3）波数示数精度高

法国物理学家康内斯（Connes）首先将激光双频干涉仪引入迈克尔逊干涉仪，用激光干涉条

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

纹准确测定光程差，波数精度可达 $0.01cm^{-1}$。

(4) 杂光少

由于动镜产生调制作用，所以某波长光通过杂散方式叠加到另一波长的光上的可能性很小，因此，杂散光系数都低于 0.01～0.03%，一般可以忽略不计。

(5) 很宽的光谱范围

一台付里叶光谱仪的光谱范围可达 $10000\sim10cm^{-1}$。

(6) 分辨力高

分辨力易于达到 $0.1\sim0.005cm^{-1}$ 的水平。

除去上述优点外，理想的付里叶变换要求积分限在 (−60,60) 间，但实际的付里叶变换光谱仪中的干涉仪动镜的行程是有限的，由此便会带来原理误差，所以需要采用特殊的滤波方法来减小这种误差。

从谱分析观点看来，若付里叶积分限是有限的，那么付里叶变换谱就要乘上形状为 $\sin c$ 函数的谱。因为 $\sin c$ 函数具有明显的旁瓣，会给光谱分析带来很大误差，所以常采用所谓的切趾函数去削弱这种影响。即用渐变的加权函数(切趾函数)与接收到的干涉图函数相乘，以缓和在边界上的不连续程度。目前常用的性能较好的切趾函数是 Happ 和 Genzel 提出的 H-G 函数

$$A(x,L)=a+(1-a)\cos\left(\frac{\pi x}{2L}\right),\ (0\leqslant a\leqslant 1)$$

式中 $2L$ 是干涉仪动镜的移动范围。这一切趾函数可以较大地减小因干涉仪动镜移动范围有限而引起的原理误差，同时还不明显降低仪器的分辨率；函数形式也比较简单，易于计算。许多作者对切趾函数进行了研究，因而出现了一些其它类型的切趾函数，性能也较好。

除上述两大类型光谱仪外，近年来还出现了激光光谱仪、光声光谱仪、多道光谱分析仪等，限于篇幅。本书不作介绍。

对于一般光谱仪，需要测试的主要参数是：波数准确度和波数重复性、透过率准确度及其重复性、分辨率等；对于付里叶变换光谱仪，主要是 MTF 精度、空间频率准确度和空间频率分辨率等。

(三) 红外测温仪

红外测温仪是一种非接触、快速测量物体温度的仪器。它利用光学系统接收被测物体发出的红外辐射，又用光电探测器将它变换为电信号，再经过放大和线性化处理，在数字表上显示出被测物体的温度。这种测温仪是60年代出现的，现已逐渐取代光学高温计。

红外测温仪一般按使用波段进行分类，有单色辐射测温仪、双色辐射测温仪、多色辐射测温仪和全辐射测温仪等四类。

单色红外测温仪是根据物体的单色红外辐射功率来测量物体的温度的，常用的工作波长是 0.9μm 和 0.65μm。校正时采用金属凝固点腔构成的黑体。这种测温仪常用作标准红外测温仪。

双色和多色红外测温仪是根据物体两个或多个波长的红外辐射功率的相对比值来测定物体的温度的。这种方法受物体发射率的影响最小，所以应用越来越广泛。不过由它测出的物体色温可以高于或低于物体的真实温度，所以必须用黑体进行校正。

全辐射测温仪是根据物体的全部辐射功率测定物体的温度的，是最早成为商品的红外测温

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

仪，目前仍然应用很广。它的缺点是测温精度受物体的发射率影响很大，必须根据物体的材料和表面状态进行温度校正。现在已可采用某种附加装置，自动校正发射率改变带来的误差。

红外测温仪的应用很广。钢铁工业是红外测温仪的最大用户，主要用于监测轧钢生产线上的钢坯温度；此外，也用于测量钢水的温度、热处理盐液的温度、真空冶炼炉的温度和焦化炉的温度。玻璃工业也是红外测温仪的大用户，玻璃溶液、平板玻璃、镜面蒸镀、光纤拉制、灯泡和显像管焊封等都大量应用红外测温仪。半导体工业、建材工业、造纸工业、纺织工业、铁路运输业、电力工业、农业和军事工业也大量应用红外测温仪。

对于红外测温仪需要测定的主要参数有：测温精度、温度分辨率和温度重复性。

（四）红外光学传递函数（OTF）测量仪

在光领域中最重要的进展之一，是实现了把光学系统的成像过程当作线性过程来处理，因此可以应用一般的线性系统理论来分析和评定光学系统的质量。这就引出了光学传递函数的概念。

应该指出，当光学系统有像差（那怕是小像差）时，传统的几何光学分析方法甚至在定性方面也是欠正确的，因为没有考虑衍射效应。星点图评价法虽然考虑了衍射效应，但它只是一个笼统的概念，和使用要求还不能很好地联系起来。后来采用“分辨本领”来评价光学系统的成像质量，然而又发现光学系统对高对比目标的分辨本领与系统存在的像差等缺陷关系不大，而主要取决于相对孔径。于是有人提出用低对比测试图，甚至用光强正弦变化的测试图，来测试分辨本领。1946年法国的杜费尔（Duffieux, P. M）使用付里叶分析来处理光学成像问题，得出重要结论：一个非相干光学成像系统可以看作一个低通线性滤波器。给它输入一个光强正弦变化的空间信号，输出仍然是同一频率的光强正弦变化的空间信号，只不过对比度降低和位相发生移动；而且对比度降低和位相移动大小是空间频率的函数，被称为光学系统的调制传递函数（MTF）和位相传递函数（PTF）。1949年美国无线电公司（RCA公司）的赛德（Schade, O. H.）第一次实际应用光学传递函数来评定电视摄像系统的成像质量，但光学传递函数的意义及重要性是H. H. Hopkins进行理论说明及Lindberg于1955年完成的测量之后，才被光学界真正认识到的。50年代，开始制造各种类型的OTF测量装置，60年代用于实际，70年代致力于将测量OTF标准化，即建立标准镜头用于鉴定OTF测量仪的精度。现在OTF测量仪已经成为评价光学系统质量的公认方法。

测量光学传递函数的方法有对比度测量法、付里叶变换法、光瞳函数自相关法和物与像的互相关法等。

对比度测量法是用平行线图案作样板，被测光学系统对其成像，光学传递函数测量仪对此像进行对比度定量测量，从而测得光学传递函数的绝对值。而测量对比度可以采用照相法、狭缝扫描法和电视测量法。

付里叶变换法是把狭缝当物，被测光学系统对狭缝成像于平行线图案板上，平行线图案板又对狭缝像进行扫描，得到狭缝像的付里叶积分。若平行线图案板是正弦板（一种线条频率由低到高连续变化的且每一线条的透过率作正弦变化的图案板），则上述付里积分即为光学传递函数；若平行线图案板是矩形板（与正弦板不同的是线条透过率作矩形变化），则要经过电学滤波，滤去高次谐波才能得到光学传递函数。

光瞳函数的自相关法（干涉法）是将光学系统的光瞳分布进行剪切干涉，并且连续平移其中一

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

个光瞳分布，二者重合部分的光强将按余弦规律变化，此余弦波的振幅即为未归一化的光学传递函数。

物与像的互相关法是将两个相同的图案板放在被测光学系统的成像共轭面上，其中一个为物，另一个放在像面上；同时，将像面上的图案板相对像作连续侧向扫描运动，就得到物与像的互相关函数，对其进行付里叶变换，便求得光学传递函数。

国内外红外测试仪器性能指标对比表

指标名称	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
一、黑体		
腔口直径（mm）	1～100	80
工作温度（K）	300～1500	700～1000
比辐射率	0.999	0.99
精度%	1	±1
二、电热堆		
响应率（V/W）	280	10～35
探测率（$cmHz^{1/2}W^{-1}$）	3.6×10^{8}	10^{8}
最大输入（Wcm^{-2}）	0.1	0.1
响应时间（s）	1×10^{-2}	$(2\sim6)\times10^{-2}$
三、测热辐射计		
响应率（V/W）	5.5×10^{4}	1.3×10^{4}
探测率（$cmHz^{1/2}W^{-1}$）	3.9×10^{9}	3.5×10^{8}
时间常数（s）	5×10^{-3}	2×10^{-3}
四、色散型红外光谱仪		
波数范围（cm^{-1}）	5000～180	4000～400
波数准确度（cm^{-1}）	±1～±3	±2～±8
波数重复性（cm^{-1}）	0.005	2～8
透过率准确度（%T）	0.1	±1.5～±2
透过率重复性（%T）	0.1	1～2
分辨率（cm^{-1}）	0.5～10	
杂光（%T）	0.1～1	2～3
噪声（%T）		1
I_0 线平直度（%T）	<±0.5	±2
笔响时间（s）		9～31分/全程
五、付里叶变换红外光谱仪		
波数范围（cm^{-1}）	7800～350	4000～400
波数准确度（cm^{-1}）	0.01	0.01
波数重复性（cm^{-1}）	0.005	
透过率准确度(%T)	0.1	0.1
透过率重复性（%T）	±0.01	
分辨率（cm^{-1}）	2～64	2
扫描时间（cm/s）	4	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续　表

指　标　名　称	国外代表性产品指标	国内代表性产品指标
六、红外测温仪		
光谱范围（μm）	0.9～14(分 6 段)	1～3
测温范围（℃）	30～3600	100～1200
测温精度（%）	1	<1
测温距离（m）		0.3～3
视场		
响应时间（s）	10ms	1.5
七、红外传递函数测量仪		
光谱范围（μm）	3～5，8～12	2～13
MTF 精度（%）	±5	
PTF 精度（%）	±10	
重复性（%）	±2	
空间频率范围(线对/mm)	0～56	30
测量透镜直径（mm）	200	250
测量时间（s）	75	

第2节　分　类

红外测试仪器一般按使用功能分类，而在相同功能的每一类中又按特点分成若干类。主要分类情况如下：

（1）红外辐射标准

有一级标准黑体、二级标准黑体、工作标准黑体；标准能斯脱灯、标准硅碳棒、标准钨灯；标准电热堆、标准测辐射热计等。

（2）红外光谱仪

有棱镜分光红外光谱仪、光栅分光红外光谱仪和付里叶变换红外光谱仪。

（3）红外测温仪

有单色红外测温仪、双色及多色红外测温仪和全辐射红外测温仪。

（4）红外传递函数测试仪

有对比度测量法红外 OTF 测量仪、付里叶变换法红外 OTF 测量仪、光瞳函数自相关法红外 OTF 测量仪、和物与像互相关法红外 OTF 测量仪等。

（5）红外分析仪

包括红外水分分析仪、红外气体分析仪及其它红外分析仪，限于篇幅，本书不予介绍。

第3节　红外测量仪技术指标汇总表

目前，我国只对部分红外测量仪有国家标准，还没有完整的各种红外测量仪的国家标准。本节汇总的技术指标既有来自国家标准的，也有来自厂家产品说明书的。因为不同红外测量仪技术指标相差很大，所以技术指标是按仪器类型汇总的，而且仅汇总了有关整机性能的主要技术指标。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

需要注意的是，随着技术的发展，红外测量仪的技术指标也会有所改变；同一类红外测量仪因为使用对象不同，结构上有差异，技术指标也会不同；不同产品说明书中采用了同一指标名称，但实际含义也不尽相同。如重复性指标，在红外辐射标准和红外测温中，是指温度重复性；而在红外传递函数测量仪中，则指 MTF 或 PTF 的重复性。

红外测量仪技术指标汇总表

序号	指标名称	黑体	标准光源	绝对辐射计	光谱仪	测温仪	OTF 测量仪
1	发射率(比辐射率)	●					
*	工作温度 (K)	●					
*	温度均匀性(%)	●					
*	腔口直径 (mm)	●					
2	红外辐射通量(功率) (W)		●				
3	红外光谱辐射通量(功率) (W/μm)		●				
4	探测器积分响应率 (V/W)			●			
5	探测器光谱响应率 (V/W·μm)			●			
6	线性度(%)			●			
7	波长范围 (μm) 或波数范围 (cm^{-1})				●	●	
8	波数准确度 (cm^{-1})				●		
9	波数重复性 (cm^{-1})				●		
10	透过率准确度 (%T)				●		
11	透过率重复性 (%T)				●		
12	波数分辨率 (cm^{-1})				●		
13	杂光系数 (%T)				●		
14	I_0 线平直度 (%T)				●		
15	噪声 (%T)				●		
16	笔响时间 (s)				●		
17	温度测量精度(℃)					●	
18	温度重复性(℃)					●	
19	测温范围(℃)					●	
20	温度分辨力(℃)					●	
21	视场(度)					●	
22	距离系数					●	
23	工作距离 (m)					●	
24	响应时间 (s)					●	
25	环境温度漂移					●	
26	MTF 精度 (%)						●
27	PTF 精度 (%)						●
28	重复性						●
29	最高响应频率						●

第 4 节 技术指标及测试方法

(一) 红外辐射的标准

1. 发射率(比辐射率) ε_a

emissivity

物体的辐出射出度(radiant exitomce)与具有同一温度的黑体的辐出射出度的比值。

测试方法：

(1) 测试原理图，见图 39-1。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

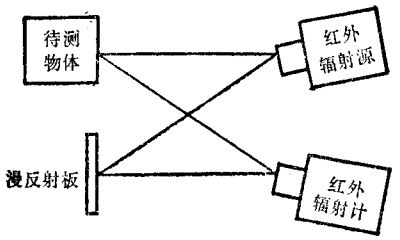


图 39-1 发射率测试原理图

(2) 测试原理说明

因为被测物体均为不透明体，所以本处采用比较法测量物体的反射率 ρ，进而计算出

$$\varepsilon_c = 1 - \rho_o$$

漫反射板的反射率要经过标定。

各光学部件的相对位置对测量结果的影响很大，所以要测准布置的几何参数。

为了消除红外辐射计的面积效应，要使红外辐射源在物体上的照射光斑与在漫反射板上的照射光斑尺寸相等。在测量黑体的发射率时，还应使光斑尺寸与黑体腔口尺寸相等。

(3) 测试步骤

① 按图 39-1 布置设备，进行预热。

② 将红外辐射源及红外辐射计对准待测物体，读得红外辐射计的输出为 V。

③ 将红外辐射源及红外辐射计对准漫反射板，读得红外辐射计的输出为 V_{Ro}

④ 按下式计算出待测物体的发射率

$$\varepsilon_c = 1 - a\frac{V}{V_R}$$

式中 a 是由几何关系引入的修正因子；V_R 是已知量。

(4) 技术要求

红外辐射源的辐射功率稳定度误差小于1%；红外辐射计最好是单色型的，也可用单色红外测温仪代，测量误差应小于1%。

标准漫反射板的漫反射不均匀性及反射率标定误差均应小于1%。

各级黑体的发射率要求如下：

黑体级别	一级	二级	工作级
ε_c	0.9999	0.999～0.9999	0.99～0.999

2. 红外辐射通量(功率) P

infrared radiant flux (power)

以红外辐射的形式发射的通量(功率)，用W表示。

测试方法：

I. 用标准红外辐射源进行测量的方法

(1) 测试原理图，见图 39-2。

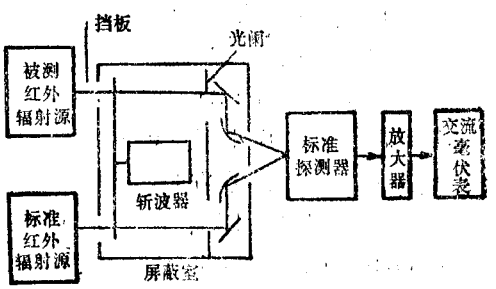


图 39-2 红外辐射通量测试原理图 (I)

(2) 原理图说明

旋转扇形斩波器(调制盘)的对角扇形应为透明与不透明的组合，以便轮流让标准红外辐射源和待测红外辐射源的辐射通过，因而旋转扇形斩波器应有奇数个透明区和奇数个不透明区，如图 39-3 所示。

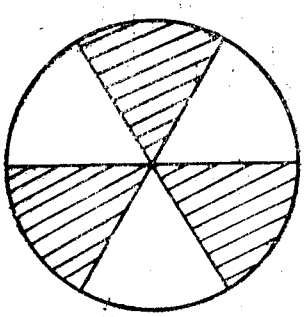


图 39-3 斩波器

(3) 测试步骤

① 按图 39-2 布置设备，进行预热。

② 用挡板挡住被测红外辐射源的辐射。

③ 启动旋转扇形斩波器，调整放大倍数，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

使交流数字毫伏表读数为 1000mV。

④ 移开挡板，重新读出交流数字毫伏表读数 V。

⑤ 按下式计算出待测红外辐射源的辐射通量(功率)：

$$P=\left|\frac{1000-V}{1000}\right|P_R$$

式中 P_R 是标准红外辐射源的红外辐射通量，是已知量。

(4) 技术要求

标准红外辐射源的精度由被测红外辐射源的精度要求决定，前者应是高一级的。

被测红外辐射源的出射孔径由限制光阑决定，孔径的测量误差应小于±0.005mm；此光阑应冷却，光阑的温度误差为±5K；要防止杂光。

扇形斩波器的调制频率一般为 10Hz、12.5Hz 或 60Hz；此斩波器的温度误差为±5K。

标准探测器和放大器的线性度误差要小于 0.5%；放大器的等效噪声应很小。

II. 用标准绝对辐射计进行测试的方法

(1) 测试原理图，见图 39-4。

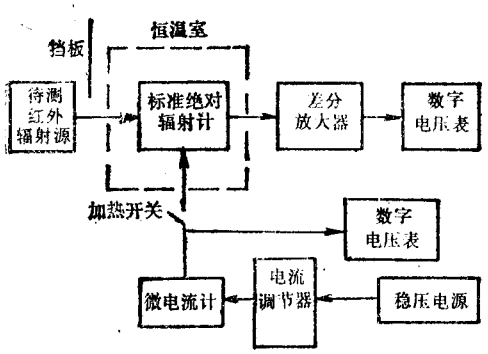


图 39-4 红外辐射通量测试原理图 (II)

(2) 测试原理图说明：

绝对辐射计应安置于恒温室内，以减小环境温度波动的影响。

加热电功率要稳定。

(3) 测试步骤

① 按图 39-4 布置设备，进行预热。

② 用挡板挡住被测红外辐射源的输出口，断开加热开关，调节差分放大器，使其平衡，数字电压表的指示为零。

③ 移开挡板，合上加热开关，调节绝对辐射计的加热电流，直至差分放大器的输出为零停止。

④ 精确测量加热电流 i 和电压 u，计算出加热功率 $P=iu$，此即为待测红外辐射源的红外辐射通量(功率)。

(4) 技术要求

标准绝对辐射计的精度级别应高于待测红外辐射源的精度级别。

稳压电源电压稳定度误差小于十万分之一；电流计量程为 $10^{-13}\sim10^{-7}$A，精度 0.2%；数字电压表量程为 $10^{-3}\sim10^{2}$ 伏，精度 0.2%；放大器等效输入噪声小于 1×10^{-5}V·Hz$^{1/2}$。

恒温室温度 20°±0.1℃。

3. 红外光谱辐射通量(功率) P_λ

infrared spectral radiant flux (power)

单位波长间隔内的红外辐射通量(功率)，用 W.μm^{-1} 表示。

测试方法：

I. 用标准红外辐射源进行测试的方法

(1) 测试原理图，见图 39-5。

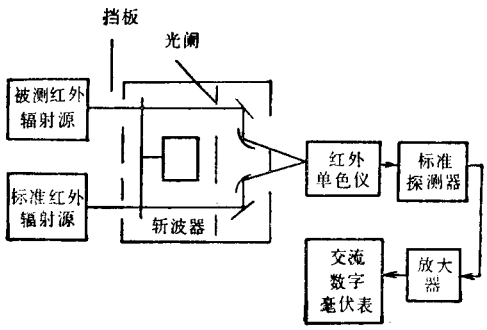


图 39-5 红外光谱辐射通量测试原理图 (I)

(2) 测试步骤

① 按图 39-5 布置设备，进行预热。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 将红外单色仪的入射和出射狭缝宽度调整为 0.5mm，工作波长为待测光谱范围的一端。

③ 用挡板挡住被测红外辐射源的辐射。

④ 启动旋转扇形斩波器，调整放大器的放大倍数，使交流数字毫伏表指示为 1000mV。

⑤ 移开挡板，重新读出数字毫伏表电压读数 $V_{\lambda 0}$。

⑥ 按下式计算出待测红外辐射源的红外光谱辐射通量

$$P_\lambda = \left|\frac{1000 - V_\lambda}{1000}\right| P_{R\lambda}$$

式中 $P_{R\lambda}$ 是标准红外辐射源的红外光谱辐射通量，是已知量。

(3) 技术要求

技术要求应满足前述测量红外辐射通量指标的技术要求；此外，红外单色仪的波长准确度及杂光系数要满足测量精度要求。

II. 用标准绝对辐射计进行测试的方法

(1) 测试原理图，见图 39-6。

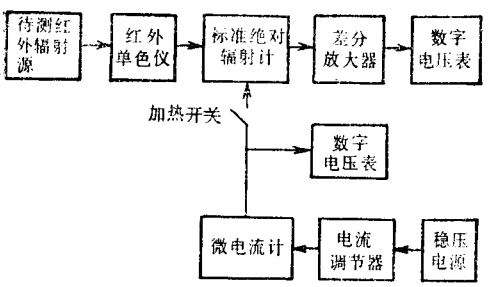


图 39-6　红外光谱辐射通量测试原理图 (II)

(2) 测试步骤

① 按图 39-6 安装设备，进行预热。

② 用挡板挡住待测红外辐射源的输出口，断开加热开关，调节差分放大器的平衡状态，使其输出为零。

③ 将红外单色仪的入射和出射狭缝宽度均调整为 0.5mm，工作波长为待测光谱范围的一端。

④ 移开挡板，合上加热开关，调节绝对辐射计的加热电流，直至差分放大器的输出为零停止。

⑤ 精确测量加热电流 i_λ 和电压 V_λ，计算出加热功率 $P_\lambda = i_\lambda V_\lambda$，此即为待测红外辐射源的红外光谱辐射通量(功率)。

⑥ 改变单色仪工作波长，重复步骤 ④ 和 ⑤，直至单色仪的工作波长为待测光谱范围的另一端为止。

⑦ 作出红外光谱辐射通量与波长的关系曲线。

(3) 技术要求

应满足前述测量红外辐射通量指标的方法 II 的要求；此外，红外单色仪的波长准确度及杂光系数要满足测量精度要求。

4. 探测器积分响应率

integrating responsibility of detector

入射光通量 ϕ 垂直于灵敏面积时，电压响应率(R_V)、电流响应率 (R_i) 是其开路输出的基频电压的均方根值 V_s 或短路输出的基频电流的均方根值 i_s 与入射辐射通量的均方根值 P 之比，即：

$$R_v = \frac{V_s}{P}\,(\mathrm{V/W})$$

$$R_i = \frac{i_s}{P}\,(\mathrm{A/W})$$

测试方法：(R_V)

(1) 测试原理图，见图 39-7。

图中 D_1 为标准红外探测器，D_2 为待测的红外探测器。

(2) 测试原理图说明

全部光学装置应放在屏蔽室内，以防杂光干扰。

(3) 测试步骤

① 按图 39-7 安装设备，进行预热。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

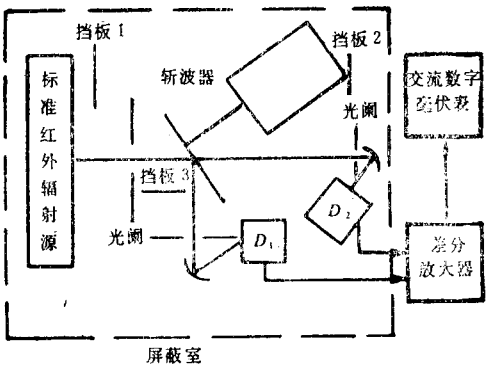


图 39-7 探测器积分电压响应率测试原理图

② 用挡板 1 挡住标准红外辐射源的辐射，启动旋转扇形斩波器。

③ 调节差分放大器的平衡，使其输出为零。

④ 移开挡板 1，而将挡板 2 移入光路，挡住被测试的探测器。

⑤ 调整差分放大器的放大倍数，使交流数字毫伏表的指示为 1000mV。

⑥ 移开挡板 2，将挡板 3 移入光路挡住标准探测器，重新读出交流数字毫伏表电压 V。

⑦ 按下式计算出被测探测器的电压响应率

$$R_V = \frac{V}{1000} R_{RV}$$

式中 R_{RV} 是标准探测器的积分电压响应率，是已知量。

(4) 技术要求

标准红外辐射源的精度等级应高于被测探测器的精度等级。此辐射源的出射孔径由限制光栏决定，孔径的测量误差应小于±0.005mm。光栏应冷却，以消除标准红外辐射源对其加热的影响。光栏温度的测量误差应在±5K 间。

标准探测器的精度等级应高于被测探测器的精度等级。

差分放大器的非线性度误差应小于 0.5%

5. 探测器光谱响应率

spectral responsibility of detector

入射光谱通量 P_λ 垂直投射于灵敏面积时，探测器光谱电压响应率 ($R_{\lambda V}$) 或探测器光谱电流响应率 ($R_{\lambda V}$) 是其开路输出的基频电压的均方根值 V_λ 或短路输出的基频电流的均方根值 i_λ 与入射的光谱辐射通量的均方根值 P_λ 之比，即：

$$R_{\lambda V} = \frac{V_\lambda}{P_\lambda} (\mathrm{V/W \cdot \mu m})$$

$$R_{\lambda v} = \frac{i_\lambda}{P_\lambda} (\mathrm{A/W \cdot \mu m})$$

测试方法：

(1) 测试原理图，见图 39-8。

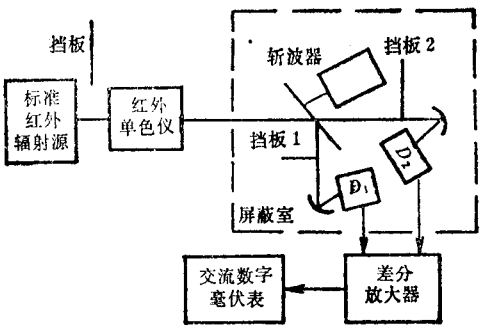


图 39-8 探测器光谱电压响应率测试原理图

(2) 测试原理图说明

图 39-8 中 D_1 为标准探测器，D_2 为被测探测器。对于全部光路，要注意防杂光。

(3) 测试步骤

① 按图 39-8 布置设备，进行预热。

② 用挡板 1 挡住标准红外辐射源的辐射，启动旋转扇形斩波器。

③ 调节差分放大器，使之平衡，输出为零。

④ 调红外单色仪的工作波长位于测试的光谱范围的一端，调节入射和出射狭缝宽度为 0.5mm。

⑤ 移开挡板 1，而将挡板 2 移入光路，挡住被测试的探测器。

⑥ 调整差分放大器的放大倍数，使交流数字毫伏表的指示为 1000mV。

⑦ 移开挡板 2，将挡板 3 移入光路挡住标

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

准探测器，重新读出交流数字毫伏表电压 $V_{\lambda c}$。

⑧ 按下式计算出被测探测器的光谱电压响应率

$$R_{\lambda V}=\frac{V_{\lambda}}{1000}R_{R\lambda V}$$

式中 $R_{R\lambda V}$ 是标准探测器的光谱电压响应率，是已知量。

⑨ 改变单色仪波长，重复步骤⑤、⑥、⑦和⑧，直至单色仪的工作波长为待测光谱范围的另一端为止。

⑩ 作出探测器的光谱电压响应率曲线。

(4) 技术要求

满足前述积分响应率指标测试方法的技术要求；此外，红外单色仪的波长准确度及杂光系数要满足测量精度要求。

6. 线性度

linearity

当输入红外功率在探测器工作的动态范围内变化时，探测器输出量偏离直线的程度，用百分比表示。

测试方法：

可以采用多辐射源法或多孔径法。前者需要稳定的多辐射源，后者较易实现。本处仅介绍双孔径法测量探测器或其它辐射计的线性度的方法。

(1) 测试原理图，见图 39-9。

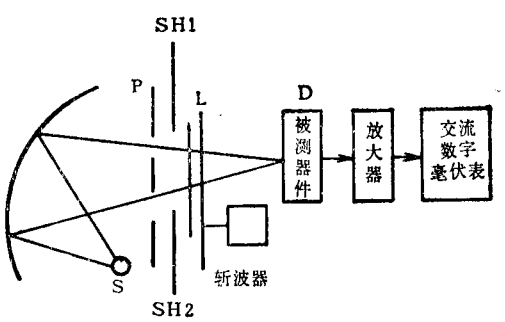


图 39-9 探测器线性度测试原理图

(2) 测试原理图说明

图 39-9 中 S 为红外辐射源，P 为双孔径光阑，L 为可变衰减片，SH_1 和 SH_2 为活动挡板，D 为待测定探测器或其它红外仪器。

红外辐射源通过两孔光阑的辐射通量 ϕ_0 应不小于探测器工作的最大通量 ϕ_{max}，而可变衰减器的最大衰减系数应不小于 $\phi_{max}/2\phi_{min}$，此处 ϕ_{min} 是探测器工作的最小通量。

(3) 测试步骤

① 按图 39-9 精确调整光路，使红外辐射均匀照射在两孔径光阑上，并聚焦在被测探测器上。

② 启动旋转斩光器。

③ 将 SH2 移入光路，挡住下部透光孔，读出交流数字毫伏表读数 V_{1a}。

④ 将 SH2 移出光路，而将 SH1 移入光路，挡住上部透光孔，读出电压 V_{1b}。

⑤ 将 SH1 移出光路，读出电压 V_{1ab}。

⑥ 按下式计算出非线性误差

$$\sigma_1(\phi_0)=\frac{V_{1ab}}{V_{1a}+V_{1b}}-1$$

⑦ 将 $[1+\sigma_1(\phi)]$ 当作校正因子去校正探测器的非线性。

⑧ 加入衰减片，使交流数字毫伏表的读数为 $[1+\sigma_1(\phi_0)]V_{1ab}/2$。

⑨ 重复步骤②至⑤，可求得非线性误差：

$$\sigma_2\left(\frac{\phi_0}{2}\right)=\frac{V_{2ab}}{V_{2a}+V_{2b}}-1$$

⑩ 依此类推，可测得各级非线性误差为：

$$\sigma_n\left(\frac{\phi_0}{2^n}\right)=\frac{V_{nab}}{V_{na}+V_{nb}}-1,$$

$$(n=0,1,\cdots,N)$$

(4) 技术要求

要采用前述测试红外辐射通量指标的方法，校正透过两孔的红外辐射通量。

可变衰减片的衰减准确度误差应不大于1%，透过波长范围满足测试要求。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（二）红外光谱仪

● 我国已制订了色散型分光光度计(光谱仪)的国家专业标准，但却无付里叶变换红外光谱仪的国家专业标准，故本节将参考前者同时给出付里叶变换光谱仪的性能指标测试方法。若有特殊情况，将给于说明。

● 本节所列指标要求和测试方法均引自中华人民共和国专业标准 ZB Y218-84《红外分光光度计》。

● 被测仪器均应在产品标准中规定的预热时间后进行测试。

● 五种规格的色散型红外分光光度计分别以 A、B、C、D、E 标准表示。A、B 为中等精度仪器，C、D、E 为中高等精度仪器。表 39-2 至 39-9 列出了对各指标的要求 。

表 39-2 各等级仪器的基本参数

序号	项目	要求				
		A	B	C	D	E
1	波数范围 cm^{-1}	4000～650	4000～400	4000～650	4000～400	4000～200
2	透过率范围	0～100%		0～100%		
3	吸光度范围	—		0～2A		
4	横坐标分度比	—		每格宽度不小于 2mm。2000cm^{-1} 以上，每一格值为 20cm^{-1}。2000cm^{-1} 以下，每一格值为 10cm^{-1}		
5	纵横坐标刻尺倍率	—		必需具备扩大和缩小倍率		

表 39-3 波数准确度与波数重复性

项目	波数范围 cm^{-1}	要求				
		A	B	C	D	E
波数准确度 cm^{-1}	4000～2000	±8	±8	±4	±4	±4
	2000以下	±4	±2	±2	±2	±2
波数重复性 cm^{-1}	4000～2000	8	8	2	2	2
	2000以下	4	2	1	1	1

表 39-4 透过率准确度与透过率重复性

项目	要求				
	A	B	C	D	E
透过率准确度 %T	±1(20%～90%T) 其余±1.5		±1	±1	±1
透过率重复性%T	1		0.75	0.75	0.75

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 39-5　波数分辨率（在 1000cm⁻¹ 处）

项　目	分辨率要求 cm⁻¹				
	A	B	C	D	E
常用缝宽	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
窄缝宽	—	—	1.5	1.5	1.5

表 39-6　杂光系数

波数范围 cm^{-1}	杂光系数（%）				
	A	B	C	D	E
4000～680	<1	<1	<0.5	<0.5	<0.5
680～650	<2	<1	<1	<0.5	<0.5
650～400	—	<2		<1	<1
400～300	—	—	—	—	<2
300～200	—	—	—	—	<3

表 39-7　I_0 线平直度

波数范围 cm^{-1}	I_0 线平直度（%）				
	A	B	C	D	E
4000～650	4	—	±2	—	—
4000～400	—	4	—	±2	±2
400～200	—	—	—	—	±3

表39-8　噪声（在 1000 cm⁻¹ 处）

项　目	要求				
	A	B	C	D	E
噪声（%T）	<1	<1	<0.75	<0.75	<0.75

表 39-9　笔响时间（在正常增益和常用缝宽条件下，1000cm⁻¹ 处）

项　目	要求（s）				
	A	B	C	D	E
笔响时间	≤1.5	≤1	≤1	≤1	≤1

7. 波数范围

wave number range

红外光谱仪能够进行准确光谱分析的波数范围，用波数表示。

测试方法：

（1）测试原理图，见图 39-10。

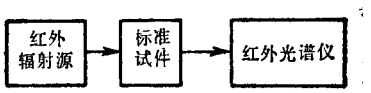


图 39-10　波数范围测试原理图

（2）测试原理图说明

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

标准试件应根据被测试红外光谱仪的工作波数范围选择，它在此范围的上下界处或附近有明显吸收峰。

(3) 测试步骤

① 将标准试件放入试件池。

② 仪器扫描全波段，记录全部光谱。

③ 判断标准试件在仪器工作波数范围边界或附近的吸收峰是否准确出现。

(4) 技术要求：标准试件应是光谱纯的。

8. 波数准确度

wave number accuracy

红外光谱仪的波数指示数与真实波数值的一致程度，用二者间的波数误差表示。

测试方法：

(1) 测试原理图，见图 39-11

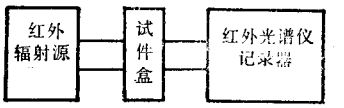


图 39-11 波数准确度测试原理图

(2) 测试原理图说明

对于色散型红外光谱仪，仪器处于正常增益和常用缝宽条件下，而对于付里叶变换红外光谱仪，仪器处于正常工作条件下，分别利用厚 0.04mm 聚苯乙烯薄膜和厚 0.025mm 茚液体池，在全波数范围内连续测试三次，每次记录表 39-10 和表 39-11 的 20 个吸收峰的波数值。对于色散型红外光谱仪，每个吸收峰的波数值应符合表 39-3 要求。

表 39-10 聚苯乙烯吸收峰

序号	波数 cm^{-1}	序号	波数 cm^{-1}	序号	波数 cm^{-1}
1	3027.1	4	1801.6	7	1154.3
2	2850.7	5	1601.4	8	1028.0
3	1944.0	6	1583.1	9	906.7

表 39-11 茚吸收峰

序号	波数 cm^{-1}	序号	波数 cm^{-1}	序号	波数 cm^{-1}	序号	波数 cm^{-1}
1	3926.5	4	1915.0	7	1205.2	10	590.8
2	3139.5	5	1553.3	8	1018.6	11	381.4
3	2771.0	6	1361.3	9	830.5		

(3) 测试步骤

① 将聚苯乙烯薄膜置于试件盒内。

② 在全波数范围内扫描三次，记录吸收峰的波数值。

③ 更换试件，将茚液体池放入试件盒，重复以上测试。

④ 核查聚苯乙烯和茚的上述 20 个吸收峰的波数准确度是否符合表 39-3 的要求。

(4) 技术要求

聚苯乙烯薄膜和茚液体应是光谱纯的。

如因记录纸误差而引起的超差，则可重新作分段扫描检查。

9. 波数重复性

wave number repeatability

红外光谱仪重复测试同一试件时的吸收峰波数值的一致性，用误差波数值表示。

测试方法：

本指标测试方法与波数准确度测试方法相同，而且是同时测出的。只是在核查波数重复

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

性指标时，应计算三次读数的最大差值，作为本仪器的波数重复性指标。对于色散型红外光谱仪，它应符合表 39-3 要求。

10. 透过率准确度 T

transmission accuracy

在特定波数下，红外光谱仪测量物体的光学透过率与真实透过率的一致程度，误差用透过率的百分比表示。

测试方法：

(1) 测试原理图，见图 39-12。

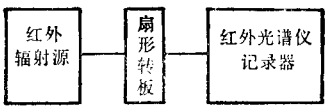


图 39-12　透过率准确度测试原理图

(2) 测试原理图说明

扇形转板为一套，分别具有不同的透过率。

(3) 测试步骤

① 将工作波数调整至 1000cm^{-1} 处。

② 测量各扇形转板的透过率。

③ 计算测量值与各扇形转板的检定值之差。对于色散型红外光谱仪，这些差值应符合表 39-4 的要求。

(4) 技术要求

扇形转板的规格见中华人民共和国专业标准 ZB Y218-84 的附录 A。

11. 透过率重复性

transmission repeatability

红外光谱仪重复测量同一试件时，测出的透过率的一致性，误差用透过率的百分比表示。

测试方法：

(1) 测试原理图，见图 39-13。

(2) 测试原理图说明

聚苯乙烯薄膜厚 0.04mm。

在 400cm^{-1} ～ 200cm^{-1} 波数范围内，应充以干燥气体。

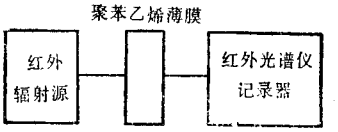


图 39-13　透过率重复性测试原理图

(3) 测试步骤

① 将聚苯乙烯薄膜放入试件盒。

② 连续扫描全波数范围三次，记录光谱。

③ 计算各波峰和波谷的透过率值，对于色散型红外光谱仪，上述各最大差值应符合表 39-4 要求。

(4) 技术要求

聚苯乙烯材料应是光谱纯的。

在聚苯乙烯薄膜的干涉条纹区，可以不符合表 39-4 要求。

12. 波数分辨力

wave number resolution

红外光谱仪能够分辨标准试件两吸收峰的最小波数间隔，用波数表示。

测试方法：

(1) 测试原理图，见图 39-14。

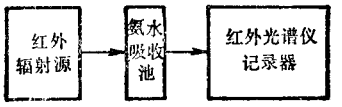


图 39-14　波数分辨率测试原理图

(2) 测试步骤

①将氨水灌入 10mm 气体池，使氨气压力维持在 50 毫米汞柱左右。

② 以慢扫描速度测量氨气吸收峰。

③ 核查氨气在 900～1100cm^{-1} 范围内的吸收峰，要求能分开与表 39-5 分辨率要求对应的一对谱线。

(3) 技术要求：氨水应是光谱纯的。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

13. 杂光系数

stray light coefficient

杂辐射与主辐射之比，用百分比表示。

测试方法：

（1）测试原理图，见图 39-15。

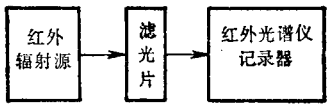


图 39-15 杂光系数测试原理图

（2）测试原理图说明

滤光片一套共六片，分别由熔石英，氟化锂、氟化钙、氟化钠、氯化钠和溴化钾制成。各滤光片的使用波段如表 39-12 所示。

表 39-12 cm^{-1}

滤光片材料	熔石英	氟化锂	氟化钙
使用波段	2050～1200	1140～800	760～600
滤光片材料	氟化钠	氯化钠	溴化钾
使用波段	630～400	410～250	240～200

（3）测试步骤

① 将表 39-12 中的 6 种滤光片依次放入试件盒。

② 依次进行表 39-12 规定的波段扫描。

③ 读出各对应波段的透过率即为色散型红外光谱仪的透过率。

（4）技术要求

各滤光片材料应是光谱纯的。

各滤光光片的尺寸如表 39-13 所示

表 39-13

滤光片材料	熔石英	氟化锂	氟化钙
尺寸（mm）	30×20×2	30×20×6	30×20×6
滤光片材料	氟化钠	氯化钠	溴化钾
尺寸（mm）	30×20×6	30×20×6	30×20×6

14. I_0 线平直度

flatness

无试件时，扫描全波段，记录笔移动偏离水平线的程度，误差用透过率的百分比表示。

测试方法：

（1）测试原理

对整机进行测试。

（2）测试步骤

① 将记录笔调到 95% 位置。

② 取常用缝宽和正常扫描速度，作全波段扫描。

③ 检查 4000～650cm^{-1}，4000～400cm^{-1} 和 400～200cm^{-1} 波段的 I_0 线最高点与最低点之差值。对于色散型红外光谱仪，应符合表 39-7 要求。

15. 噪声

noise

无试件时，由红外光谱仪本身的随机误差产生的记录笔相对 I_0 线的随机移动量，用透过率的百分比表示。

测试方法：

（1）测试原理

对整机进行测试。

（2）测试步骤

① 将缝宽调至正常用值。

② 将增益调至正常值。

③ 将波数调到 1000cm^{-1} 处。若仪器没有定波长测量，则按连续扫描观测。

④ 将记录笔调到 95% 处。

⑤ 连续测量 5 分钟，检查定波长记录噪声峰-峰值或 I_0 线上噪声峰-峰值，要求小于表 39-8 关于噪声规定范围。但在二氧化碳和水气的吸收区除外。

16. 笔响时间

pen response time

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在阶跃透光的情况下，红外光谱仪记录笔由透过率为零的位置移动至 98% 透过率位置所经历的时间，用秒表示。

测试方法：

(1) 测试原理

对整机用秒表进行测试。

(2) 测试步骤

① 将缝宽调到常用缝宽值。

② 将增益调到正常值。

③ 将波数调到 $1000cm^{-1}$ 处；若无定波长工作，则按正常扫描测试。

④ 将记录笔调至 100% 处。

⑤ 按下秒表并同时挡住光束，记录笔向 0% 方向移动。当笔移到接近 0% 时，立即恢复全透光，使笔向 100% 方向移动。在笔移动到接近 98% 时，再次挡光。如此重复 5 个往返，立即停住秒表。

⑥ 将秒表的走时除以 10，即得记录笔走一个满程时所需的时间，它应满足表 39-9 关于笔响时间的要求。

(三) 红外测温仪

17. 温度测量精度

temperature measurment accuracy

红外测温仪对物体温度的测量值与真实值之间的误差，用摄氏度表示。

测试方法：

(1) 测试原理图，见图 39-16。

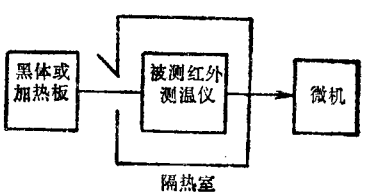


图 39-16　温度测量精度的测试原理图

(2) 测试原理图说明

黑体温度可调，调节范围满足红外测温仪的温度工作范围的要求。

隔温室用于减小环境温度变化的影响。

黑体腔口尺寸及设备布置的几何关系应满足红外测温仪的工作视场要求。

若无大腔口黑体，满足不了红外测温仪的视场要求，则用加热板取代，加热板的温度要经过精确测量。

(3) 测试步骤

① 将红外测温仪的测温范围分成 9 等分，调节黑体或加热板的温度至最低工作温度。

② 稳定后，测量黑体或加热板的温度，同时读出红外测温仪的温度指示值。

③ 连续测量 10 次，计算出红外测温仪的测温误差的均方根值 ε_1。

④ 将黑体或加热板温度升高一等分温度，重复步骤②和③，测得测温误差的均方根值 ε_2。如此逐步升高黑体或加热板的温度，可测得 10 个温度上的测温误差的均方根值。

⑤ 按下式计算得红外测温仪的测温误差：

$$\varepsilon = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} \varepsilon_i^2}$$

(4) 技术要求：黑体或加热板的温度控制精度为 ± 0.2℃。

18. 测温重复性

measurment temperature repeatability

红外测温仪重复测试同一物体时的温度值的一致性，误差用摄氏度表示。

测试方法：

测试方法与上述测温精度的测试方法相同，而且从前述测量数据中，可以同时计算出红外测温仪的测温重复性误差。

核查红外测温仪对工作范围的中点温度的 10 个测量数据，取其中的最大差值为红外测温仪的重复性误差。

19. 测温范围

measurment temperature range

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

红外测温仪能够准确测定物体温度的温度范围，用摄氏度表示。

测试方法：

测试方法也与前述测试测温准确度指标的方法相同，而且也可从前述测量数据中，计算出红外测温仪的测温范围。

核查红外测温仪对温度工作范围内的10个温度的测量数据。如果每个温度下的测量误差的均方根值都满足要求，则红外测温仪的测温范围满足要求。

20. 温度分辨力

temperature resolution

红外测温仪能够分辨的物体温度变化的最小间隔，用摄氏度表示。

测试方法：

(1) 测试原理图，见图39-17。

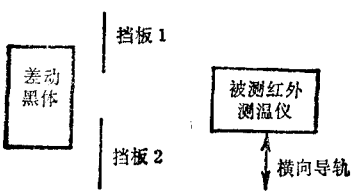


图39-17 温度分辨力测试原理图

(2) 测试原理图说明

差动黑体的两个腔口直径及与测温仪的距离要满足该仪器的视场要求。可以用温差靶板代替温差黑体，但温度精度及均匀性要满足测量技术要求。

(3) 测试步骤

① 调节差动黑体温度，使其中二黑体的温度均为测温仪的中点测温温度。

② 测温仪分别测量 T_1 和 T_2，重复10次，核查 $|T_1-T_2|$ 的平均值 δT 是否超过测温仪的精度要求；否则，需要重新调节布置的几何关系。

③ 调节差动黑体的温差为0.2℃，重复10次测量 T_1 和 T_2，计算出平均温差 ΔT。若 $\Delta T=0.2-\delta T\pm0.05$℃，则该测温仪的温度分辨率为0.2℃；否则，增大差动黑体的温差 ΔT_B，直至 $\Delta T=\Delta T_B-\delta T\pm0.05$℃ 为止，其温度分辨率即为 ΔT_B。

(4) 技术要求

差动黑体或温差靶板的可调温差为0.2℃，温度精度为0.05℃，温差靶板的温度均匀性误差小于0.05℃。

21. 视场角 2ω

field angle

尺寸为 d 的被测物体的像全部充满红外测温仪的探测器敏感面时，尺寸 d 对应的张角。

测试方法：

(1) 测试原理图，见图39-18。

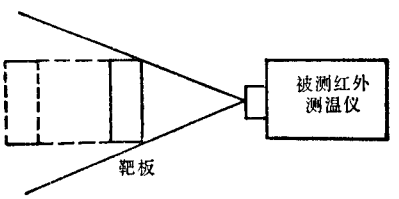


图39-18 视场角测试原理图

(2) 测试原理图说明

标准靶板的温度为红外测温仪的中间工作温度 T_m。标准靶板呈圆盘形，安置于可移动导轨上，靶面与红外测温仪的光轴垂直，导轨与光轴平行。

(3) 测试步骤

① 将靶板加热至温度 T_m。

② 将红外测温仪由远移近标准靶板，红外测温仪的温度指示值不断增大。当进一步移近标准靶板时，从某一距离开始，温度指示不再变化。

③ 在红外测温仪温度指示值开始不再变化的位置附近，前后移动红外测温仪，精确确定温度指示值开始不再变化的位置。

④ 测量红外测温仪接收孔径至靶板的距离 L_0

⑤ 按下式计算出红外测温仪的视场角：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$2\omega = \text{arctg}\ \frac{d}{L}$$

(4) 技术要求

标准靶板的控温误差小于 1%，直径测量误差小于±0.1mm。

对距离 L 的测量误差小于 1mm。

22. 距离系数　K_L

distance coefficient

尺寸为 d 的被测物体恰好充满红外测温仪视场时所对应的目标距离 L 与 d 之比，即

$$K_L = L/d。$$

测试方法：

测试方法与视场角指标的测试方法相同，只是对于测试数据 d 和 L，用下式计算出距离系数

$$K_L = \frac{L}{d}$$

23. 工作距离

operating range

改变物体距离，红外测温仪仍然能够精确测量物体温度的距离范围，用公尺表示。

测试方法：

红外测温仪的最小工作距离主要是考虑仪器的安全；而最大工作距离则取决于仪器的距离系数 K_L 和背景干扰。

为了扩大红外测温仪的最大工作距离，常采用两种方法：对于固定距离系数的仪器来说，采用距离修正方法；对于可变距离系数(带有调焦镜头)的仪器来说，利用调整仪器的焦距，可以适应不同距离工作。至于测温仪的实际工作距离范围，应当通过现场测试来检定。

24. 响应时间

response time

红外测温仪从接收到红外辐射开始至显示出物体温度数值为止所经历的时间，用秒表示。

测试方法：

(1) 测试原理图，见图 39-19。

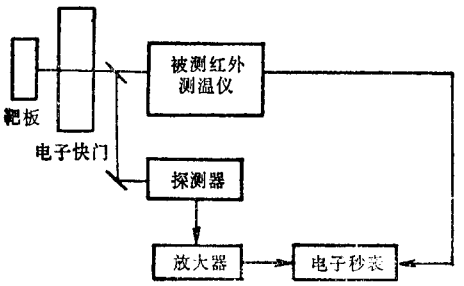


图 39-19　响应时间测量原理图

(2) 测试步骤

① 启动电子快门，电子秒表自动显示出红外测温仪的响应时间。

② 连续测量 10 次，取其平均值为红外测温仪的响应时间。

(3) 技术要求

电子快门的开启时间为 1/500s，通光口径为 30mm。

电子秒表读数精度为±0.01s。

25. 环境温度漂移

environment temperature drift

由环境温度改变引起红外测温仪对同一物体温度的测温读数的改变，用摄氏度表示。

测试方法：

(1) 测试原理图，见图 39-20。

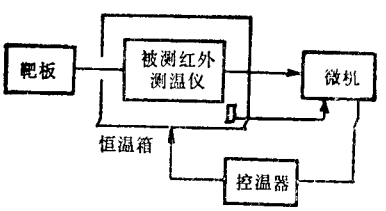


图 39-20　环境温度漂移测试原理图

(2) 测试步骤

以下分步说明测试方法，但实际测试过程均由微机控制，并进行数据处理和打印结果。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 调节靶板温度为红外测温仪的中点工作温度。

② 将红外测温仪的环境温度范围分为9等分，调节恒温箱的温度为最低环境温度。

③ 红外测温仪对靶板测温，连续测量10次，计算出测量误差的均方根值。

④ 按上述1个环境温度范围等分间隔，步步升高恒温箱温度，重复步骤③，可测得10个环境温度下红外测温仪的测量误差的均方根值。

⑤ 作出环境温度漂移曲线（测量温度误差的均方根值对环境温度的曲线），此曲线的平均斜率即为环境温度漂移系数。

(3) 技术要求

靶板尺寸及位置满足红外测温仪的距离系数要求，靶板温度测量误差小于±0.2℃。

恒温箱控温误差小于±1℃。

(四) 红外光学传递函数测量仪

• 由于我国尚无红外 OTF 测量仪的国家标准，所以本节所列测试要求和方法均参考中华人民共和国国家标准 GB 4315.1-84，GB 4315.2-88 及有关标准的待定稿（光学传递函数测量装置检定规程和其它标准）。所有这些标准均适用于可见光 OTF 测量仪。

• 被测仪器应放在不受气流、机械振动和电磁干扰影响的环境中。装置和室内的空气应保持无灰尘、腐蚀性气体和烟雾。所有光学零件表面应完好无损，表面无指印。

• 室内无杂光干扰。

• 测试的光学系统布置分为以下三种情形：

(1) 物和像均处于有限远，采用图 39-21 布置。

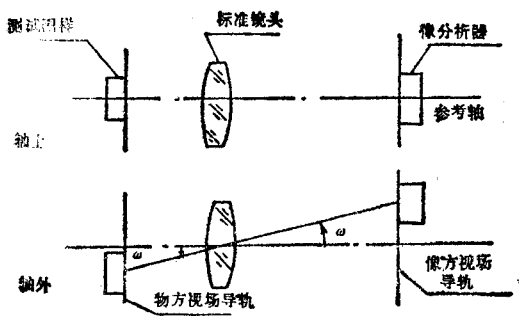


图 39-21 OTF 测量仪检定布局 1

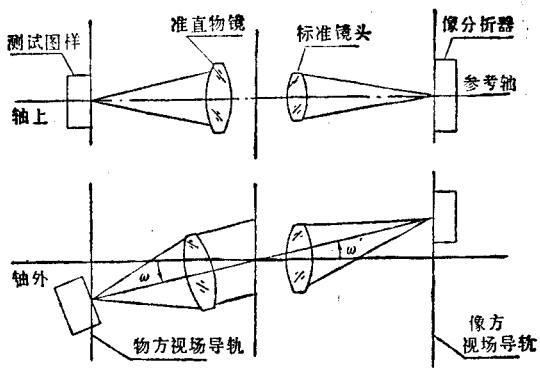


图 39-22 OTF 测量仪检定布局 2

标准镜头被固定后，目标发生器和像分析器沿着两个相互平行而与参考轴相互垂直的导轨移动，进行轴外测量。

(2) 物处于无限远，像处于有限距离，采用图 39-22 布局。

当进行轴外测量时，准直物镜连同测试图样一起可绕标准透镜的入瞳中心且垂直于子午面的轴线旋转 ω 角。

反之，也可将准直物镜固定，而使标准透镜与像分析器一起绕入瞳中心旋转。在这种情况下，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

标准透镜的夹持器和像分析器导轨必须是刚性固定在同一个转台上。

如果不放置准直物镜，而是将目标发生器放在有限距离代替有限远目标时，则应视标准透镜的相对孔径来决定物方距离。推荐距离应在 50 倍标准透镜的焦距以上。

(3) 物和像均处于无限远，采用图 39-23 布局。

当进行轴外测量时，物方准直物镜必须同目标发生器一起围绕一个既通过标准透镜的入瞳中心，又垂直于子午面的轴线旋转 ω 角。像方准直物镜连同像分析器需围绕一个既通过出瞳，又垂直于子午面的轴线旋转 ω' 角(像方视场角)。

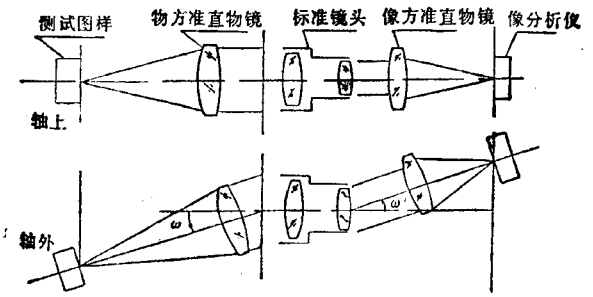


图 39-23　OTF 测量仪检定布局 3

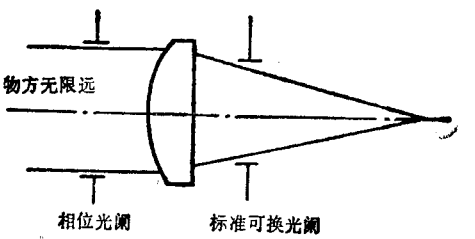


图 39-24　标准镜头的结构

● 关于标准镜头的技术要求

(1) 标准镜头结构如图 39-24 所示。

(2) 平凸型标准透镜的直径为 30mm，焦距为 50mm。

(3) 标准光栏的光栏面在透镜后方 1.0±0.1mm 处。

(4) 标准可换光栏的尺寸为

$F/4$　直径为 10.60±0.1mm

$F/5.6$　直径为 7.58±0.025mm

$F/8$　直径为 5.30±0.05mm

$F/11$　直径为 3.85±0.05mm

(4) 平凸标准透镜的相位光栏的光栏面在透镜前方 12.5±0.2mm 处，直径为 6.25±0.025 mm。

(4) 平凸标准镜头带有理论计算数据和实测平均值两套数据。其 MTF 计算不确定度为 0.02，实测均值的偏差不大于±0.05。在使用中，实测均值即为标准镜头的标准值。

(6) 标准镜头可以是望远镜型的；也可以制成反射镜型式。

● 关于辅助设备的技术要求

(1) 为了能在不同的参考面进行测量，标准镜头应能相对于目标发生器绕参考轴旋转，标准镜头与光轴的垂直度、平行度以及同心度必须检验。不垂直度误差小于 3×10^{-5}rad。

(2) 当进行轴外测量时，如果测试图样是位于准直物镜焦平面上的一个光栅，则应对空间频率 r 进行修正，修正公式如下：

子午方位　$r=r_0\cos^2\omega$

弧矢方位　$r=r_0\cos\omega$

式中　r_0 为轴上空间频率 (1/mm)，ω 为物方视场角。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 平凸标准镜头的凸面应指向无限远一方。镜头的安装需配内径为 M50 × 1 的接口，但对安装方位无特殊要求。

(4) 基准像面定义在 $F/8$ 轴上、空间频率为 OTF 测量仪的像方空间频率范围的中点频率处、靠近标准镜头一头、弧矢方位的 MTF 峰值响应的 50% 处。

如果由于 OTF 测量仪本身条件所限，无法将基准像面选在像方空间频率范围的中点频率处，需按事先约定的空间频率进行检测。

26. MTF 精度

the accuracy of modulation transfer function

OTF 测量仪测量镜头的调制传递函数与镜头的真实调制传递函数的一致程度，用误差的百分比表示。

测试方法：

(1) 测试原理图

物方位于无限远，采用图 39-22 和 39-23 的布置，物方和像方位于有限远，采用图 39-21 布置。

(2) 测试步骤

① 调整为 $F/8$、轴上、弧矢方位、空间频率为 OTF 测量仪工作空间频率的中点频率状态，调焦找到 MTF 峰值响应对应的基准像面。

② 测出弧矢方位的 MTF 曲线。

③ 测出子午方位的 MTF 曲线。

④ 核查弧矢方位和子午方位的 MTF 曲线，二者不应有差别，否则要重新调整测试光路。

⑤ 调整为 $F/8$ 及 $\pm 3°$，进行轴外弧矢方位和子午方位的 MTF 测量。

⑥ 调整为 $F/5.6$、轴上、基准像面状态，进行弧矢方位和子矢方位的 MTF 测量。

⑦ 调整为 $F/5.6$、$\pm 3°$、基准像面状态，进行轴外弧矢方位和子午方位的 MTF 测量。

⑧ 调整回到 $F/8$、轴上、基准像面的初始状态，重复测量弧矢方位和子午方位的 MTF 测量，其结果与②、③的测量结果的差别应在 ±0.02 以内，否则上述测量失效，需在重新定下正确的像面之后，再重复上述测量。

⑨ 核查各测量结果是否超出仪器规定的精度范围。

27. PTF 精度

the accuracy of phase transfer function

OTF 测量仪测量镜头的相位传递函数与镜头的真实相位传递函数的一致程度，用误差的百分比表示。

测试方法：

(1) 测试原理图

物方位于无限远，采用图 39-22 和 39-23 的布置；物方和像方位于有限远，采用图 39-21 布置。

(2) 测试步骤

① 将 $F/8$ 相位光栏置于镜头之前。

② 调整为 $F/8$、轴上、弧矢方位、空间频率为仪器工作的空间频率范围的中点频率状态，调焦，找到 MTF 峰值响应对应的基准像面。

③ 测出弧矢方位的 PTF 曲线。

④ 测出子午方位的 PTF 曲线。

⑤ 核查弧矢方位和子午方位的 PTF 曲线。二者不应有差别，否则要重新调整测试光路。

⑥ 调整为 $F/8$、$3°$、子午方位、基准像面状态，测量 PTF 曲线。

⑦ 调整为 $F/8$、$4°$、子午方位、基准像面状态，测量 PTF 曲线。

⑧ 调整回到 $F/8$、轴上、基准像面的初始状态，重复测量子午方位的 PTF 曲线，其结果

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

与④测出的结果的差别应在±0.02 以内，否则上述测试无效，需在重新定下正确的像面之后，再重复上述测量。

⑨ 核查各测量结果是否超出仪器规定的精度范围。

28. 重复性

repeatability

OTF 测量仪重复测量同一镜头的 MTF 和 PTF 曲线的一致性，误差用百分比表示。

测试方法：

测试方法与前述测试 MTF 和 PTF 精度的方法相同。但只要求在 $F/8$、轴上、弧矢方位、空间频率为仪器工作的中间频率、基准像面等状态下，进行重复 3 次测量，计算 3 次测量曲线的最大差值，作为本仪器重复性指标，它应满足 OTF 测量仪规定的指标要求。

29. 最高响应频率

highest response frequency

OTF 测量仪能够准确测量镜头 OTF 曲线的最高频率，用线对/mm 表示。

测试方法：

测试方法与前述测试 MTF 和 PTF 精度的方法相同，而且从测出的数据中，可以直接判断出 OTF 仪器规定的最高响应频率处的测量精度是否满足要求。

* * *　　* * *

本节技术指标和测试方法中所用的主要测试仪器，汇总列表如下。

主要测试仪器汇总表

仪器名称	参考型号	检定规程编号
黑　体	RCN300，RCN600 (法 HGH 公司)	JJG309-83
差动黑体	SR-81X (以色列 CI 公司)	
热电堆	1M、2M (美 Dexter 公司)	
红外辐射计	JR-130 系列 (日东京ジルユ公司)	
红外单色仪	WFD-3，WDS-1， 44W	
红外标准镜头		
标准灯	BDT-1，BDT-2 BDT-3	JJG213-80 JJG246-81 JJG247-81

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第五节 红外测试仪器按门类的量值传递表

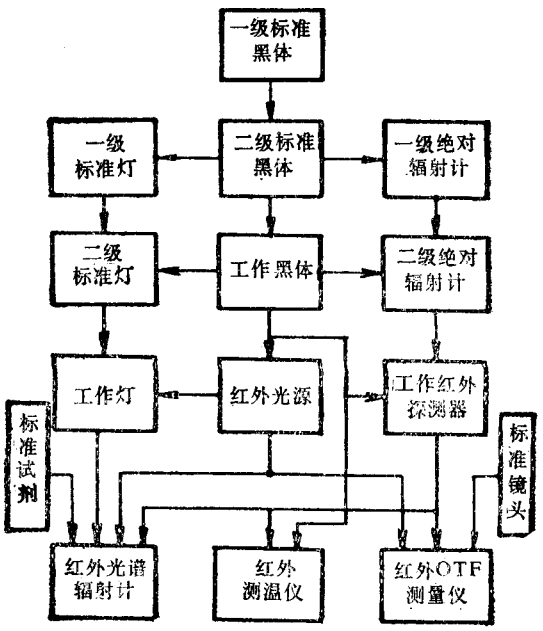


图 39-25

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第40章 雷达综合测试仪

第1节 综 述

(一) 概况

雷达综合测试仪是测量雷达性能的便携式综合性测量仪器，它的发展是与雷达设备本身的发展分不开的。因此，要了解雷达综合测试仪的发展现状，有必要概括地了解一下当代雷达产品现状。

雷达在现代战争中所能发挥的作用已广为人知。在最近的海湾战争中，美国及多国部队发起对伊拉克军事进攻，首先就是从摧毁伊拉克的雷达及通信设施开始的。现代战争中战略战术对雷达设备提出的特殊要求，大大推动了雷达产品的现代化。从功能上看，已有远程警戒雷达、近程炮瞄及火炮控制雷达、航空航海导航定位雷达、导弹制导及自动寻的雷达、低空飞行物截获雷达、气象预报雷达等。从雷达工作频段来看，已有L波段（1～2GHz）、S波段（2～4GHz）、C波段（4～8GHz）、X波段（8.2～12.4GHz）、K_u波段（26.5～40GHz）、W波段（75～110GHz）、MM波段（110～300GHz）。有的雷达接收机系统，已做到了宽频带性能，如美军装备的AN/ALR75(V)全固态电子战监视接收系统的频率范围为0.01～40GHz。

在现代战争中，电子战已成为取得战争胜利的重要因素之一。电子对抗ECM（Electronic Counter Measure）和电子反对抗ECCM（Electronic Counter-Counter Measures）以及隐形飞机的出现，又使军用雷达产品面临严峻的考验，同时也对现役的雷达设备提出了新的挑战。为适应现代战争中特种战略及战术的要求，军用雷达产品在性能、工作方式、工作原理上也发生了巨大的变化。除了常规单脉冲雷达外，有多卜勒雷达、相控阵雷达、三坐标比相测高雷达、捷变频雷达、脉冲压缩技术雷达。在新一代的雷达系统中，已将毫米波雷达与红外电光装置结合成完整的武器系统，这种毫米波雷达和红外电光装置、声学传感器结合的武器系统，可用于目标识别、搜索、筛选和预分类，以及改善在黑夜和恶劣气候条件下火炮控制能力，其性能又大大优于单用毫米波雷达系统所能达到的性能。新型的雷达系统是C^3I（Command, Control, Communication, Intelligence）系统中的重要组成部分。这样，雷达系统与通信系统、指挥系统、控制系统的接口功能大大增强了。

军用雷达综合测试仪(又称微波万用表 Microwave Universal Meter)，正是为了解决上述雷达产品的性能测试及系统故障诊断孕育而生的。雷达设备的现代化，雷达性能不断完善和复杂化，使得雷达综合测试仪及雷达测量系统的功能在不断的扩展，工作频段在提高，可测量的参数也在增多。各种不同的雷达综合测试仪及雷达测试设备又要和被测试的对象——雷达在工作频段、工作方式、工作原理、性能指标方面的要求相适应，这也造成了雷达综合测试仪的很强的专用性。

正因为雷达综合测试仪及其相应的测试设备主要用于军方，从实战要求出发，这些测量仪器除了要符合通用电子仪器的技术标准外，还要适应现代战争中各种恶劣环境的要求，仪器应能在热带丛林地区、海洋高盐雾地区、高温沙漠地区正常工作。也要符合现代战争中ECM电子对抗提出EMC电磁兼容等方面的要求。在美国军方使用的雷达综合测试还要符合美军军标MIL

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

std. 的要求，在西欧军方使用的装置还需符合 NATO (North Atlantic Treaty organization) 北大西洋公约组织规定的标准，并给予产品 NATO——的特殊编号。

正是因为未来的战争很可能是在核大战环境下进行的，美军使用的军用电子装置，其中也包括雷达测试系统，在这些设备中所选用的电子元器件是经过精心设计，并通过了较严格的测试，以使它们能承受中子流、电子流、α 射线、β 射线、γ 射线等核辐射影响，美军在使电子装置抗核辐射方面所投入的研制经费也是十分惊人的。

(二) 国外雷达综合测试仪的现状及发展趋势

便携式雷达综合测试仪在二次世界大战中首先被美军使用，但这种综合性的雷达测试仪器在50年代及60年代却被广泛应用于苏军的雷达站、军械维修所，以及各种舰艇上。苏联早期的综合雷达测试仪还是仿制美军的产品，这种仪器可以测量雷达侦察接收机的灵敏度、雷达发射机的输出功率、测量雷达发射机的工作频率、发射机调制部分的脉冲调制能力、雷达测距校准。雷达综合测试还可以模拟产生各种调制的雷达信号，以考核雷达接收系统其中包括无线扫描在内的系统跟踪性能。由于雷达综合测试仪内部有微波信号发生器、微波功率计、微波波长表、脉冲调制器等多种仪器功能单元，因此雷达检修人员可以利用这些功能单元构成简易的测试系统，对雷达系统中一些微波元器件进行测量，以求达到准确快速诊断出有故障的元器件之目的。雷达综合测试仪确实起到了灵活方便的微波万用表的作用。苏联早期生产的 PT-10; PT-10A 雷达综合测量仪的工作频率范围为 2700MHz ～ 3100MHz 基本是属于S波段同轴系统的雷达综合测试仪，同轴输出输入端的特性阻抗为 50Ω，外导体内径为 16mm，内导体外径为 6.95mm (苏式大 50Ω系统)。苏联生产的 31ИМ 雷达综合测量仪其工作频率范围为 8600MHz ～ 9600MHz 是属于X波段波导型雷达测量仪，其波导口径尺寸为 10 × 23mm。以后苏联还生产过X波段带简易频谱仪的雷达测试仪，这种仪器可测量发射机微波信号的频谱分量、速调管电子调谐特性等。

美国虽然是最早使用雷达综合测试仪的国家，但是随着雷达设备进一步复杂化现代化，单脉冲固定点频的雷达装备在美军中已趋淘汰。相控阵雷达、捷变频雷达、线性调频脉冲压缩技术雷达系统 (Chirp Pulse Radar System) 等适应电子战 EW (Electronic Warfare) 要求的雷达系统已被广泛应用，这些雷达在工作原理、工作频段，以及技术性能和战术要求方面均有很大的差别，生产将诸多的测量功能融于一体的雷达测试仪，用来检测雷达系统的性能已显得十分困难，很多场合是使用雷达车 (Radar Service Supporting Van)，将各种测试系统及仪器放在雷达维修车辆上，来适应战术机动性的要求。但对一些特定的雷达系统，雷达综合测试仪仍被广泛应用着，现列举一些美军使用的雷达综合测试仪来表征一下当代雷达综合测试仪的发展现状。

1. AN/UPM-145 便携式雷达测试仪

AN/UPM-145 是一种先进的计算机控制的便携式雷达测试仪 (Computer-Controlled Portable Radar test Set)。这种雷达综合测试仪广泛用于美国空军 (USAF)，已可替代大批老式雷达测试系统，如 AN/UPM-10、AN/UPM-11、TS-147，和 AN/GPM-25 等系统。本雷达测试仪可将微波功率计、微波频率计数器、微波信号发生器、微波信号应答器、调制波形发生器、数字延时发生器汇于一体。AN/UPM-145 综合雷达测试的性能大大优于被替代的4种老的雷达测试系统，这种新的测试仪的工作频率范围为 8.4～10GHz，它可直接连到被测雷达，或通过定向耦合器，或通过喇叭无线空间耦合取得被测信号。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

作为一个独立的单元，AN/UPM-145 能校准雷达的频率，雷达发射机的功率，脉冲调制的重复频率，并可模拟仿真 820～131.200 英尺（250～40.000米）距离范围内的目标信号，它可以模拟仿真各种逐渐接近或逐渐远离雷达站的动目标，动目标的速度可高达 2000Kt。它可测量最小可分辨信号与脉冲宽度之间的敏感性（Minimum discernible Signal/Pulse Width），雷达接收机的频带宽度，接收机的中心频率等。通过快速故障诊断及故障定位，可望缩小由于提高雷达实用性带来的不断增涨需求测试设备的发展趋势。本雷达综合测试仪还具有自动进行自测试校准能力，常规的测试校准所需的时间为 24 小时，本仪器 1 秒钟就可完成自校准。

2. AN/FLM-5 雷达测试仪

AN/FLM-5 雷达测试仪是用来测试及校准 ECCM 电子反对抗设施性能的仪器，其主要组成部分是主信号发生器及辅助信号发生器。此雷达测试仪可通过这两个不同作用的信号源发出各种信号，产生出雷达实际运行状况下的电磁场环境，其中也包括产生一个调制的信号来模拟天线扫描等。这种雷达测试仪被设计成和雷达设备共时工作的模式，测试仪带有一双极性天线以保证信号的辐射。

3. AN/USM-469 雷达测试系统

第一代 AN/USM-469 自动雷达测试系统（Automated Radar Test System）是于 1983 年安装在拉摩尔海军航空站（Lemoore Naval Air station），此测试系统是由休斯航空公司雷达系统组（Hughes Aircraft's Radar System Group）担任设计的，主要是将休斯公司现成的商品化的电子产品，通过适当组合建成的测试系统，这种系统可应用于海外的航空母舰、航空站，或安装在移动的雷达车上。测试系统均由计算机来完成程控，由生产单位开发的软件以确保工厂与使用现场标准的一致，另外本测试系统还有辅助程控测试单元以提供必要接口功能，完成AN/APG-65 雷达的全部 5 个模拟及数字单元的测试，它的很重要的一个特点是本系统有自诊断功能以确保测试系统可靠的工作。

4. MRC-6500 雷达及微波中继测试仪

MRC-6500 是美国 Systron Donner 公司生产的微波中继及雷达测试仪，它可将微波信号源、微波功率计及微波频率计数器于一体，其信号发生器是采用模块化设计，其频率范围为 1.7～18GHz，采用 4 位数字显示，YIG（Yttrium Iron Garnet）电调振荡器产生低噪声、宽频带、高频率稳定性的微波信号，定向检波器频响误差，系统插入损耗，以及输出接头造成输出射频功率的变化均由每台仪器内部数据修正表自动修正，并可得到最高 1GHz 的电调频宽度。微波计数式频率计的可测频率范围为 10Hz ～ 20GHz，并以 11 位数码管显示被测频率。微波功率计可以测量 100kHz ～ 18GHz 频率范围内的射频功率，并以 4 位数码管显示，这是一种综合性、便携式、数字化的测试仪器。

5. 线性调频脉冲雷达（脉冲压缩技术雷达）Chirp Pulse Radar（Pulse Compression Techniques Radar）测试系统

为了有效地测量现代化的 Chirp Pulse Radar 线性调频脉冲雷达（脉冲压缩技术雷达）和 Electronic Warfare Receiver 电子战接收机的性能，常需要模拟日益增涨的各种复杂的非线性的或非连续的宽带调频脉冲，以及在脉冲方面进行任意的调制 UMOP（Unintentional Modulation on Pulse），其中包括来自脉冲形状变化的幅度 UMOP，和来自相位变化的相位 UMOP。当今的雷达可以利用数字综合技术可灵活地变化脉冲特性，如脉冲宽度、线性调频宽度 Chirp

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

deviation、线性调频脉冲的形状 Chirp Shape 等。HP 公司开发的任意波形综合器及向量信号发生器是测量这类雷达系统的有力手段。其系统组成如图 40-1 所示。该系统称为任意波形综合向量系统 VAWS (Vector Arbitrary Waveform Synthesis)。

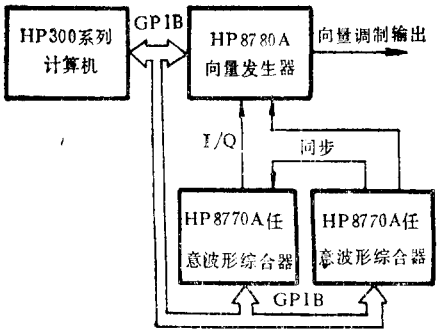


图 40-1 HP 公司 VAWS 系统

HP 公司的 VAWS 系统由 2 台HP8770A 任意波形综合器，一台 HP8780A 向量信号发生器和一套 300/200 系统的计算机组成，该计算机使用了 HP11776A 波形产生语言软件 WGL. (Waveform Generation Language Soft-Ware)，用户利用该系统可以产生 Chirp 脉冲，利用数字综合技术可获得 10MHz ～ 3GHz 调频所需的 I/Q 调制的信号，和 UMOP 脉冲。利用 HP5371A 频率时间间隔分析仪和一台频谱仪，可以检测被测雷达信号。

我们知道要提高雷达作用范围必须提高雷达发射机的脉冲发射功率，而要提高雷达测距精度以及对目标的分辨率，又要缩短脉冲调制的宽度，这又降低了发射机的脉冲功率，从而降低了雷达作用范围，这一矛盾可以通过线性地提高脉冲的调制频率的方法 (to Chirp the Pulse) 得到解决，由于线性地增高的调频 RF 脉冲信号（假设为雷达探测目标的反射信号)将通过雷达接收机中的一个滤波器，该滤波器对信号的延时将随着脉冲调制频率的提高而降低，先后接收到的反射信号因为脉冲调制的载频不同而被叠加（或称脉冲压缩)，可以检测到一个宽度极小幅值极大的脉冲，因此提高检测时间，可不需加大发射机脉冲功率就能解决上述矛盾。

产生 Chirp 脉冲最一般的方法是采用与接收机中“压缩滤波器”相匹配的 SAW 声表面波器件的频率色散特性来完成，但 VAWS 系统利用数字综合技术得到 Chirp 脉冲所需的 I 同相信号分量 (In-phase Component) 和正交相位信号分量 Q(Quadrature-phase Component)，通过 I 和 Q 分量的频域、时域、相域特性可以综合成任意 Chirp 脉冲。其工作原理图如图 40-2。

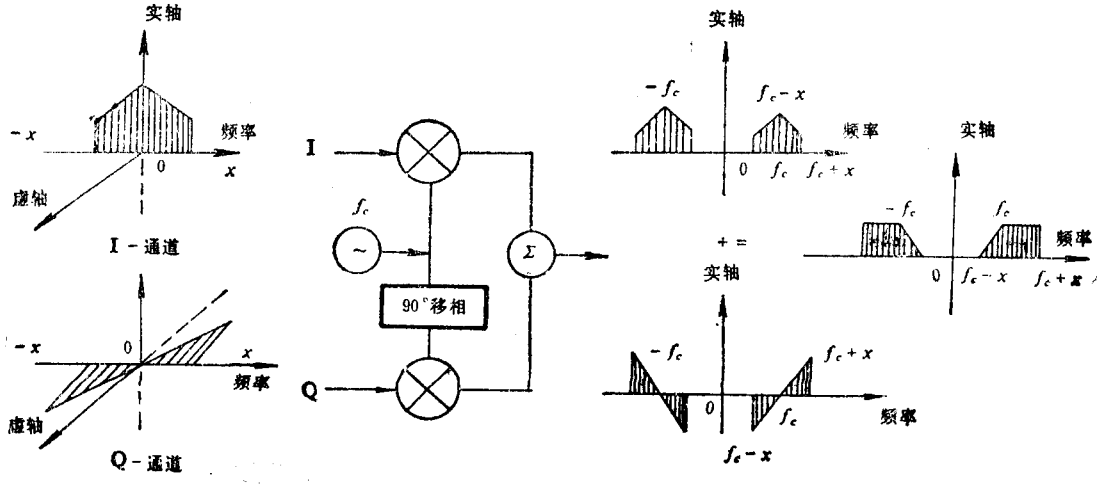


图 40-2 VAWS 系统的工作原理图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

图 40-2 是 VAWS 系统的工作原理图，从图中可知 I 和 Q 调制输入将定义了输出信号相位 $F(t)$ 及信号幅度 $M(t)$ 的时间函数与载波频率的关系，例如一个载波频率为 2GHz，并使它的频率由 1.95GHz 变到 2.05GHz 会产生 100MHz Chirp 与 Chirp 调制有关的 I 和 Q 分量，我们可以考虑是决定在相位平面的直角坐标系统中，载波的相位和幅度，因此 Chirp 频率调制需要知道载波的相位关系，从下式中可由频率对时间的积分求得。

$$\frac{d\phi_{(t)}}{dt} = 2\pi f_{(t)} \text{ 或 } \phi_{(t)} = 2\pi f_{(t)}\, dt$$

因此要得到随时间成线性变化的频率，则要求随时间成平方律变化的相位。一旦相位与时间关系确定后，所需的脉冲幅度于时间的关系可决定所需的 I 和 Q 信号，其表示式如下式。

$$I_{(t)} \cdot M_{(t)} \cdot \cos\phi_{(t)} \cdot Q_{(t)} = M_{(t)} \cdot \sin\phi_{(t)}$$

这样 VAWS 系统可以产生多种多样信号及电磁场环境，以考验现代雷达系统的性能。

6. 捷变频雷达及 Chirp 雷达的载波频率的测试设备

为了检测捷变频雷达及 Chirp 雷达的载波频率，决定雷达信号的脉冲调制的重复频率，以及脉冲宽度的有关指标，国外也开发了性能优良的特种微波计数器。过去我们测量雷达脉冲调制信号，是将 RF 脉冲信号通过微波检波器检波后得到的视频信号，然后用示波器来测量的。这种测试方法有一系列缺点，① 不是直观测量，② 被检出的视频信号并不能真实反映实际脉冲调制信号，如被检信号的脉冲前沿、后沿、脉冲宽度等参数会受到检波器寄生参数及负载的影响。日本 ADVANTEST 公司生产的 R5372P 及 R5373P 微波计数器可以克服上述缺点，并可精确测量雷达脉冲调制信号，其测量方框图如图 40-3。

R5372P 及 R5373P 微波数字式频率计有 12 位数码显示，测量载波频率范围分别为10mHz～18GHz 及 10mHz ～ 26GHz，利用这种频率计可以测量调制脉冲的重复频率、脉冲宽度，由A通道输入端，采用可逆计数器技术，达到 10mHz ～ 10MHz 脉冲重复频率测量，及脉冲宽度测量的分辨率为 10ns 的能力。B 通道输入端可完成脉冲调制中载波频率的测量，通过延时闸门时间的

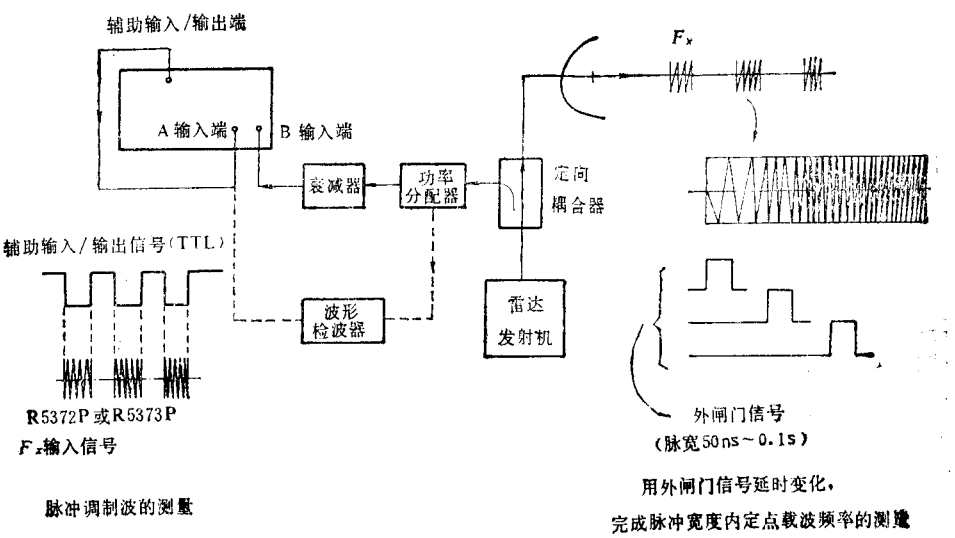


图 40-3　R5372P/R5373P 微波计数器测量方框图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

方法，可以定点测量脉冲中不同部分的载波频率，以及诸如捷变频和 Chirp 脉冲的载波频率的测量。

美国 HP 公司生产的 HP5355A 自动频率变换器/HP5345A 计数器，并采用 HP5356A、5356B、5356C、及 5356D 频率变换头，可以分别完成 18GHz、26.5GHz、40GHz 最高到达 110GHz 脉冲及等幅的微波频率测量，其最高可测频偏达 80MHz，可测脉冲宽度为 7.5ns～20ms。

HP 公司还生产了调制域测量仪器 HP5371A 所谓调制域（Modulation Domain）即信号的频率、相角、时间间隔是时间的函数。该测量仪可将信号的调制域特性用直方图直观地表示出来（Histogram），它的直接测量的频率范围为 DC～500MHz，采用 HP5364 微波混频器/检波器，可实现分析 2GHz～18GHz 频段内的捷变频（Agile Carry Frequency）和 Chirp 脉冲雷达信号的测量，以及相控阵雷达信号的测量。

7. 模块化仪器结构及 VXI 总线仪器

美国空军 1976 年就开始了一项模块化自动测试设备计划 MATE（Modular Automatic Test Equipment）。MATE 计划的目的是为自动测试设备的设计建立一种研制生产和使用自动测试设备的协调方式。它包括标准软件、计算机语言和接口设备，以便采用通用的硬件模块组成测试系统。根据 MATE 计划所发展的测试系统包括斯佩里公司 A-10 强击机惯性导航测试系统，埃默森公司生产的航空站自动测试系统，它增强了模拟能力、数字化能力、射频和微波能力，并在 30 多个 B-1B 轰炸机航空站内使用。今后根据 MATE 计划还要为低空导航，目标红外夜视系统，以及 AN/ALR-74 电子战系统等航空电子设备研制测试系统。未来模块化自动测试设备与超高速集成电路相结合，可以制成手提式便携式试验站。1986 年 11 月美空军决定建立 MATE 计划管理中心，以加强对模块化自动测试系统结构的控制。

1987 年 9 月由美国 HP 公司、Fluke 公司、Wave Tek 公司、Tektronix 公司等共同倡议推广 VXI 新一代总线模块式仪器。这种新型总线结构、可使用 32 位计算机作为控者、32 位数据处理能力，这种模块式仪器新型结构又具有多 CPU 相互通信能力，并对仪器尺寸大小、电源要求、接口功能、电磁干扰等诸多方面都有统一的严格要求。近年来这种模块化测试仪器发展很快，模块化的微波仪器已有微波功率计、微波计数式频率计等。利用 VXI 总线仪器很容易构成自动测试系统以及 C^3I 系统，而且特别符合军方对提高机动性、灵活性、测量多样性等方面的要求，因此模块化自动测试系统在雷达测试中广泛应用的这一发展趋势，也是值得我们注意的。

（三）国内雷达综合测量仪发展情况及现状

我国对雷达综合测量仪的研制工作始于 50 年代末 60 年代初。以后，电子部 14 所、768 厂、720 厂、上海无线电 26 厂、4542 厂、苏北电子仪器厂等，都先后开发生产过综合性与非综合性的雷达测试仪。但是由于军方对雷达测量仪在微波信号泄漏方面的要求越来越高，工作频段越来越宽，工作频率越来越高，并且对雷达测量仪的质量越来越严，另一方面军方对雷达产品的需要量也逐年减少等诸多方面的影响，很多生产单位均停止了雷达综合测量仪的生产。少数研究所在开发新型雷达品种的同时，自行研制了一些专用雷达测试仪器。又进一步压缩了雷达综合测试仪的市场。目前唯一仍坚持开发并能批量生产各部雷达综合测量仪的厂家是机电部 768 厂，现将其生产的主要产品的性能指标列举如下：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1. ZCL-10B 雷达综合测试仪

主要功能：可测量 S 波段雷达发射机的频率、功率、雷达接收机的本振频率，以及其输出功率、接收机灵敏度、收发天线开关恢复时间、模拟单脉冲雷达各种脉冲调制信号等。

信号发生器的频率范围：2.7～3.1GHz

输出载波频率精度：±0.5%

输出功率范围：$1\times10^{-13}\sim1\times10^{-4}$W

输出功率误差：±1.65dB

调制方式：等幅，方波调制，脉冲调制，(可变延时)，正负极性脉冲外触发调制

泄漏功率：小于－80dBm

功率测量范围：1～200mW（平均功率）

功率测量误差：±1.92dB

外载波测频精度：±0.05%

输入输出接头：同轴 L27

2. HL18 雷达综合测试仪

主要功能：同 ZCL-10B 雷达综合测试仪。

信号发生器频率范围：2.5～3.5GHz

频率稳定度：±0.05%

输出功率范围：$1\times10^{-14}\sim1\times10^{-4}$W

输出功率误差：±2dB

调制方式：连续波，方波调制，脉冲调制，外脉冲同步。

泄漏功率：≤－90dBm

功率测量范围：1～100mW（平均功率）

功率测量误差：±1.5dB

频率测量误差：±0.05%

输入输出形式：L16 同轴（N 型）

3. HL6 雷达综合测试仪

主要功能：可测量C波段单脉冲雷达的发射机功率、频率、接收机灵敏度等。

频率范围：3.95～5.85GHz

频率稳定度：$\pm2\times10^{-4}$

输出功率：大功率：730mW

小功率：$1\times10^{-15}\sim1\times10^{-4}$W±2dB

工作方式：等幅，方波调制，脉冲调制，外同步

泄漏功率：≤－90dBm

功率测量范围：1～100mW

功率测量误差：±1.5dB±0.2mW

频率测量误差：±0.1%

输入输出形式：L16 同轴（N 型）

4. HL2/ZCL-11 雷达综合测试仪

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

主要功能：除了可测量X波段单脉冲雷达的主要性能指标外，还可模拟雷达信号，其中包括静止目标及移动目标信号。

频率范围：HL2：7.5 ～ 8.5GHz

ZCL-11：8.6 ～ 9.6GHz

频率稳定度：±5MHz

输出功率：$1 \times 10^{-13} \sim 5 \times 10^{-3}$W

输出功率误差：±2dB

工作方式：等幅，方波调制，脉冲调制，可变延时调制(动目标模拟)，锯齿波调频，外调制等

泄漏功率：<－85dBm

频率测量误差：≤±5MHz

输入输出方式：10 × 23mm 波导

5. DH4981 数字式雷达综合测试仪

主要功能：可测量X波段单脉冲雷达的主要性能指标。

频率范围：8.2～12.4GHz

频率指示误差：$\pm 1\% \left(3\frac{1}{2}\text{数字显示}\right)$

频率稳定度：$\pm 5 \times 10^{-4}$

输出功率：$1 \times 10^{-14} \sim 1 \times 10^{-4}$W

输出功率误差：±2dB

输出功率指示分辨率：$\pm 0.1\text{dB}\left(3\frac{1}{2}\text{数字显示}\right)$

工作方式：等幅，方波调制，脉冲调制

功率测量范围：0.1～200mW

功率测量误差：±1dB

频率测量误差：±0.5%

输入输出方式：L16 同轴

6. 程控综合雷达测试仪

为适应新一代用于海军系统的导弹制导雷达的发展，768厂又研制了程控式雷达综合测试仪。在过去生产的雷达综合测试仪中，振荡器均采用灯塔管，或是反射速调管等电真空器件，对大动态的衰减要求，是采用截止式微波衰减器或吸收膜片式衰减器来满足的。这些微波器件元件，机械加工复杂，装配工序多，调试难度大。信号发生器调制方式陈旧落后，测频手段是采用微波谐振式波长表，无论是测频、测衰减均要查找各种曲线表。测量均手工操作，测量精度低，也难实现测量的程控化、自动化、高速化、自动校准、自动故障诊断、数字化等功能，最致命的弱点是无法通过各种接口与计算机和通信指挥系统连成网络（C^3I 系统）。

768厂在新一代程控雷达综合测试仪中，大量采用了 SSD 固态器件（Solid State Device），如振荡器采用场效应管微波介质振荡器，或是 YIG 电调振荡器；衰减器则采用 PIN 管阵列衰减器；调制器则采用 PIN 管调制器；电路上采用了多位快速 A/D、D/A 变换器，集成电路运算放大器；测频方式则采用微波数字式频率计。这样各种被测参数均可数字显示，测量自动化，仪器内带微处理器进行误差修正，GP-1B 接口可与计算机连接。仪器操作键盘化。这种新型程控综合

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

雷达测试仪的性能如下：

主要功能：除了具有上述雷达综合测量仪的主要功能外，还可作数字式频率计、扫频信号发生器、捷变频雷达信号模拟器、静止或移动目标信号模拟器等。

频率范围：8.6～9.6GHz，最小步进 0.1MHz

频率精度：1×10^{-5}（数显）

输出功率：10^{-3}W ～ 10^{-13}W 最小步进 0.1dB

工作方式：等幅，脉冲调制，脉冲调频，扫频

脉冲调制宽度：0.4μs、0.5μs、0.75μs、1μs 或 0.4～2μs

调频宽度：最小步进 0.1MHz ～ 全程扫频

动目标模拟：2μs/s ～ 10μs/s（脉冲延时变化）

接口：GP-IB（IEEE-488，IEC625）

输入输出形式：10.16 × 22.86mm 波导

随着雷达工作方式的不同，如相控阵雷达、捷变频雷达、脉冲压缩技术雷达的技术参数测量还

国内外同类产品主要性能对比

主要性能	国外产品 MRC-6500 (SYSTRON/DONNER)	国内产品 HL18（大华无线电仪器厂）
信号源部分： 频率范围	1.7～18GHz：（3 个模块化单元插件）	2.5～3.5GHz
显示方式	4 位 LED 数显振荡频率	机械刻度
输出电平	0dBm～－100dBm	－10dBm～－110dBm
显示方式	4 位 LED 数显衰减量，0.1dB 分辨率	机械刻度，查曲线表。
输出电平误差	±1.5dB	±2dB
输出阻抗	50Ω（N 型）	50Ω（N 型）
振荡器形式	固态源 Y.I.G 振荡器	电真空器件速调管
输出功率稳定性	带温度补偿及功率波动补偿＋15°～＋35℃ 功率变化±0.3dB	不带补偿电路
测频部分： 测频手段	11 位 LED 数显被测频率	谐振式波长表
测频范围：	10Hz～20GHz（三通道）	2.5～3.5GHz
测频精度：	优于1×10^{-8}	$\pm5\times10^{-4}$
灵敏度	－25dBm～－30dBm	－10dBm
功率计部分： 频率范围：	100kHz～18GHz	2.5～3.5GHz
功率范围	－60～＋20dBm	0dBm～20dBm
测量误差：	±0.3dB	±1.5dB
显示方式	4位 LED 数显，dBm. dBr 等分辨率 0.01dB	电表显示

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

需要一些专用的测量技术及专门的测试系统，单使用便携式雷达综合测量仪是很难胜任的，如767厂生产的微波相位测量仪、微波网络分析仪，机电部29所研制的捷变频测量仪，机电部1441所生产的标量网络分析仪均可解决上述雷达部分参数的测量。

第2节 单脉冲雷达综合测试仪技术指标汇总表

（1）由于单脉冲雷达综合测试仪主要用于军方，MIL-T-28800D 是美军军用电子及电气测试设备总技术条件，此标准是1986年9月30日宣布执行的，标准涉及了仪器的电气，机械，及工作环境要求等各个方面，无疑是可以参照的技术标准。

（2）若无特殊说明本节所列参数定义及测试方法均引自部标准 SJ2525-84《微波信号发生器技术条件》和《微波信号发生器测试方法》。

（3）测试所用的仪器必须经过计量，并符合部标准 SJ943-82《电子测量仪器误差一般规定》。

（4）被测雷达综合测试仪及测试使用的仪器均应按各自的产品标准的要求进行预热，并在达到规定的预热时间后方可进行测试。

（5）工作特性测试的项目和测试点位置的确定，可参照部标准 SJ2524-84《微波信号发生器技术条件》的有关规定，或军方、用户提出的特殊要求进行测试。

（6）除非测试有另外的要求，被测仪器的信号源部分应始终接额定负载阻抗。

（7）检定环境条件应按部标准 SJ945-82《电子测量仪器质量检验规则》和 SJ2075-82《电子测量仪器环境试验总纲》中的有关规定。

（8）被测仪器与测试设备的连接应合理可靠。

单脉冲雷达综合测试仪技术指标汇总如下：

（一）信号发生器部分

1. 工作频率范围
2. 振荡器的频率误差
3. 信号源频率的稳定性
4. 交流供电电压波动对载波频率的影响
5. 振荡器输出最大功率
6. 零分贝功率电平
7. 信号发生器频谱纯度
8. 精密衰减器衰减误差
9. 输出功率的稳定性
10. 信号发生器输出端的电压驻波比
11. 射频功率泄漏
12. 方波调制的占空系数
13. 方波调制的频率
14. 脉冲调制的重复频率
15. 脉冲调制的脉冲宽度

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

16. 脉冲调制信号的延时
17. 外部脉冲调制(或外脉冲触发)
18. 脉冲调制深度
19. 调制状态变化造成载波频率的变化
(二) 功率计部分
20. 功率计的工作频段
21. 功率测量误差
22. 功率计输入端的电压驻波比
(三) 频率计部分
23. 频率计的频率范围
24. 频率测量误差
25. 频率计测频灵敏度
26. 脉冲调制 RF 信号频率测量的灵敏度

第3节 技术指标及测试方法

(一) 信号发生器部分

1. 工作频率范围 *f*

operating frequency range

信号发生器振荡频率的有效范围。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图40-4。

图40-4 测频方框图

(2) 测试步骤

① 按产品技术条件规定的要求预热被测仪器,及微波数字式频率计,将振荡器置于等幅工作状态。

② 调节信号源输出功率,以保证计数器正常计数,同时也要防止输出功率过大,烧毁计数器,环行器及隔离器是防止负载对振荡频率的影响。

③ 从振荡频率的低端,连续测到频率的高端,观察频率有无突跳,及信号源停振现象,被测频率由计数器或波长计读出,测得的频率范围不得低于雷达综合测量仪规定的工作频率范围。

(3)技术要求:测量其频率有效范围,应在全频段内连续测量,不应只测高端及低端。

2. 振荡器的频率误差

frequency error of oscillator

根据雷达综合测试仪技术指标的规定,可用绝对频率误差(Absolute Frequency Error)及相对频率误差(Relative Frequency Error)表示。并可分别由下述(40-1)式及(40-2)式表示。

测试方法

(1) 测试方框图,同图40-4测频方框图。

(2) 测试步骤

① 被测雷达综合测试仪置于等幅工作状态,并将信号源调到频率低端,调节输出功率电平,将被测仪器输出端接到微波计数器的输入端。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 记下信号源频率刻度或数显刻度值 f_1，用频率计测得的信号频率值为 f_2。

③ 信号发生器频率的相对误差由(40-1)式求得：

$$\frac{\Delta f}{f_1}=\frac{|f_1-f_2|}{f_1}\times 100\% \qquad (40\text{-}1)$$

④ 信号发生器频率的绝对误差由(40-2)式求得：

$$\Delta f=|f_1-f_2| \qquad (40\text{-}2)$$

⑤ 在工作频段内每隔 100MHz，重复①、②、③、④，总的测试点不得少于5点。其相对频率误差，及频率的绝对误差都不得大于雷达综合测试仪的指标要求。

3. 信号源频率的稳定性

frequency stability of oscillator

雷达综合测试仪预热后，载波频率在任何15分钟内所产生的最大频率相对变化量。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图40-4。

(2) 测试步骤

① 被测雷达测试仪置于等幅工作状态，调节振荡器输出功率电平，以保证计数器获得正常读数，并将振荡器频率调到频段中心位置，记下计数器测得值 f_0。

② 每隔15分钟测频率读数一次，连续测量1小时，并找出频率最大变化量。如图40-5所示。

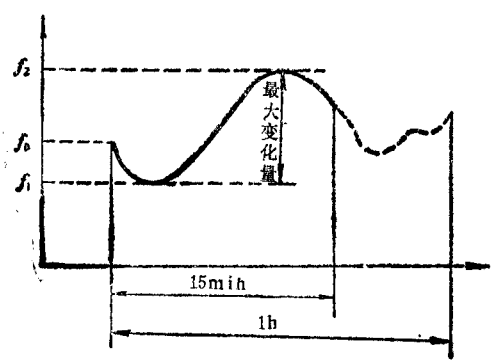


图40-5 振荡器频率变化图示

③ 信号源频率稳定性由(40-3)式求得：

$$\frac{\Delta f}{f_0}=\frac{(f_2-f_1)}{f_0} \qquad (40\text{-}3)$$

式中 f_0 为预调频率的初始值；

f_2-f_1 为15分钟间隔内频率最大变化量。

(3) 技术要求：预调频率后，面板上所有的旋钮不得变动，不允许有瞬时断电现象，并避免剧烈冲击和振动。

4. 交流供电电压波动对载波频率的影响

carry frequency changing due to voltage variation of AC power supply

交流供电电源电压变化 220V±10% 而引起的频率变化，并计算相对变化量。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图40-6。

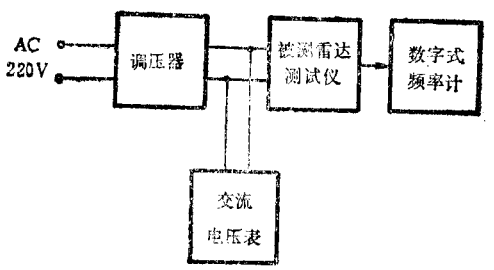


图40-6 交流电源电压波动对载波频率影响测试方框图

(2) 测试步骤

① 被测雷达综合测试仪置于等幅工作状态，用调压器调节电源输出电压，使交流电压表读数为220V。并使被测仪器预热（按指标要求）。

② 将振荡器频率调到工作频段的中间位置，调节射频功率电平，以保证计数器正常计数，记下频率计读数 f_0。

③ 调节调压器，使电源输出电压突然调到242伏(或198伏)，测得频率 $f_1'(f_1'')$。

④ 然后再测15分钟，记下频率最大值或最小值 $f_2'(f_2'')$。

⑤ 供电电源电压变化对振荡频率影响系

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

数由(40-4)式和(40-5)式求出。

$$\frac{\Delta f_1}{f_0}=\frac{f_0-f_1}{f_0}(\text{电源电压变化}\pm10\%)\quad(40\text{-}4)$$

$$\frac{\Delta f_2}{f_0}=\frac{f_0-f_2}{f_0}(\text{电源电压变化}\pm10\%)\quad(40\text{-}5)$$

式中　f_1 和 f_2 均代表 f_1' 和 f_2'，以及 f_1'' 和 f_2'' 数值中与 f_0 差值最大者。

5. 振荡器输出最大功率　P_{max}

maximum output power of oscillator

信号发生器能稳定输出给匹配负载的最大射频功率。对于同轴输出端口的雷达综合测试仪，应在配有专用同轴电缆的情况下达到此项指标。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 40-7。

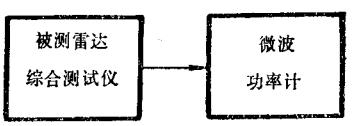


图 40-7　振荡器最大输出功率测试方框图

(2) 测试步骤

① 被测仪器预热，信号发生器置于等幅工作状态，频率调到工作频段的最低端，调节功率输出电平以得到最大输出值。

② 在信号发生器有效工作频段内连续进行测试，并记下微波功率计的最大功率读数。所有功率读数均不得小于雷达综合测试仪指标规定的数值。

(3) 技术要求

① 所采用的功率计的功率头的电压驻波比必须足够小，否则应考虑失配引起的功率测量误差，参看本手册第 11 章“衰减器”有关内容进行修正。

② 雷达综合测试仪如是同轴输出端口，应带专用同轴电缆的情况下测试。

6. 零分贝功率电平

0dB output power

信号发生器的输出精密衰减器置于 0dB 时，功率输出电平调到雷达综合测试仪标定功率输出电平时(一般为 1 毫瓦，或 100 微瓦作为零分贝功率输出电平)，振荡器输出的功率。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 40-7。

(2) 测试步骤

① 被测雷达综合测试仪置于等幅工作状态，将信号源频率调到工作频段的低端（或雷达测试仪技术说明书指定的频率点)。

② 将雷达测试仪的输出精密衰减器置于 0dB，调节电平输出，使雷达测试仪的功率输出指示器指到规定的刻度上，读出微波功率计读数 P。

③ 调信号发生器频率到工作频段中另一点频上(或雷达综合测试仪规定的频率点)，重复步骤②，直到工作频段的高端，全频段测试点应保持频率间隔均匀，测试点数不得少于 5 点。

④ 零分贝电平功率输出误差按(40-6)式计算。其值不得超出雷达综合测试仪指标规定。

$$\Delta_{dB}=10\lg\frac{P}{P_0}(\text{dB})\quad(40\text{-}6)$$

式中　P_0 为雷达测试仪标定 0dB 功率电平(1mW 或 100μW)。

7. 信号发生器频谱纯度

spectral purity of oscillator

信号发生器在等幅工作状态，输出功率在零分贝功率电平时，输出信号的频谱纯度。其中包括谐波分量及非谐波分量均不应大于指标规定数值。

测试方法：

(1) 测试方框图，如图 40-8。

(2) 技术说明：目前国内雷达综合测试仪

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

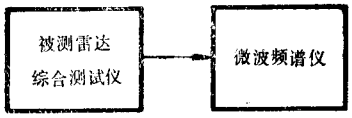


图 40-8 频谱分量测量方框图。

对此项指标均未引起足够的重视。这项指标在国外仪器中是重要技术指标之一。在国内的雷达测试仪中，大量程定标衰减器不少是使用微波截止式衰减器，当在测量雷达接收机灵敏度时，则需要将精密衰减器置于大衰减量位置，截止式衰减器对信号的基波主信号产生很大衰减，而对谐波分量或高次谐波分量衰减量很小或不衰减。这样，输出的信号的假信号分量所占的成份，会比零分贝功率电平情况下的假信号分量大得多。另一方面有的雷达测试仪的零分贝电平指示是用检波的方法完成的，失真的载波信号由于波形系数在不同频率点不同，会造成检波数值突跳。无法准确功率定标。故笔者认为应增加该项指标的测试。

(3) 测试步骤

① 被测雷达测试仪按规定预热时间预热后，将其置于等幅工作状态，将频率调到信号发生器工作的低端，(同零分贝电平测试点频率)将功率电平调到零分贝输出电平。

② 将雷达测试仪零分贝功率电平输出给微波频谱仪，如果频谱仪的输入信号不允许大于 1mW，可以加用一个吸收式固定衰减器(不能用截止式衰减器)，减小输入电平，以保证频谱仪正常工作。

③ 将频谱分析仪的频率调到被测点频率，使用窄带扫描，测量主频信号幅度，并记下测量电平值 P_c(dBm)

④ 将频谱仪置于全程扫描，扫频宽度应不小于 3 倍被测载频，并观察被测信号频谱成份，在载频的 2 次谐波点及 3 次谐波点，以及非谐波杂波信号点上，减小扫频宽度精确测量其信号电平，并记下 P_2 (dBm)；P_3 (dBm)，及 P_{non} (dBm)。

⑤ 按 (40-7) 式 (40-8) 式 (40-9) 式计算杂波信号电平与载频之间的比值。

$$P_2(\text{dBm}) - P_c(\text{dBm}) \leqslant -30\text{dBC} \quad (40\text{-}7)$$

$$P_3(\text{dBm}) - P_c(\text{dBm}) \leqslant -30\text{dBC} \quad (40\text{-}8)$$

$$P_{non}(\text{dBm}) - P_c(\text{dBm}) \leqslant -60\text{dBC} \quad (40\text{-}9)$$

注：dBC 为杂波信号电平与载波信号电平之比，并以分贝表示。

⑥ 在各零分贝电平频率点，重复③④⑤各测量步骤。

(4) 技术要求：可用测试接收机代替频谱仪，测试步骤同上。被测信号电平不能过高，否则接收机的混频器由于输入信号过大而造成交叉混频产生较大测量误差。

8. 精密衰减器衰减误差

attenuation error of precision attenuator

在零分贝功率电平各定标频率点，以及雷达综合测试仪精密衰减器有效衰减量程范围内，精密衰减器衰减量的误差，并以 dB 值表示。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 40-9。

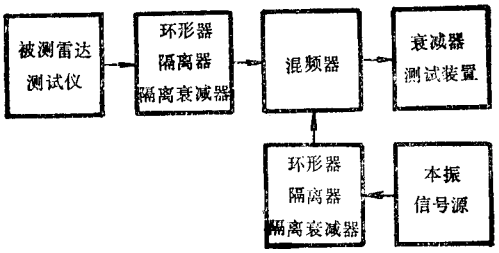


图 40-9 衰减器测试方框图

(2) 测试步骤

① 分别在零分贝电平定标频率点上测量精密衰减器衰减量，衰减器起始段每 2dB 测一点，10dB 以上段，以每 10dB 测一点，直到衰减器全量程。

② 衰减测量的具体步骤见本手册第 11 章“衰减器”的有关内容。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

③ 衰减测量完成后，找出最大衰减量误差值，并不得大于雷达综合测试仪指标规定值。

(3) 技术要求：由于是大衰减量测量，微波传输系统必须连接可靠以防止微波功率泄漏，造成测量数值不稳定。根据雷达测试仪给出定标功率方法不同(有的是分两项指标给出，即零分贝功率电平误差，及精密衰减器衰减量误差，有的是给出绝对功率电平误差)，也可用测试接收机测量雷达测试仪的功率电平的绝对误差。

9. 输出功率的稳定性

stability of RF output power

被测雷达综合测试仪在预热后，射频功率在任何 15 分钟时间间隔内所产生的最大功率变化。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 40-10。

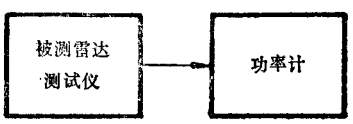


图　40-10

(2) 测试步骤

① 被测雷达测试仪工作于等幅状态，调到输出功率到零分贝输出电平，精密衰减器置零 dB，功率计测得输出功率值为 P_0。

② RF 输出功率的稳定性测试

连续测试 1h，找出任何 15min 时间间隔内功率的最大变化量，如图 40-11 所示。

③ RF 输出功率的稳定性由式 (40-10) 式求得：

$$\Delta_{dB} = 10\lg\frac{P_2 - P_1}{P_0}\,(\mathrm{dB}) \qquad (40\text{-}10)$$

式中　P_0 为零分贝功率电平值；

$P_2 - P_1$ 为在 15 分钟时间间隔内，输出 RF 功率变化的最大值。

(3) 技术要求：RF 输出功率的稳定性测试点频率，应选振荡器工作频段内高，中，低三个点频上(同零分贝功率电平定标频率点)。

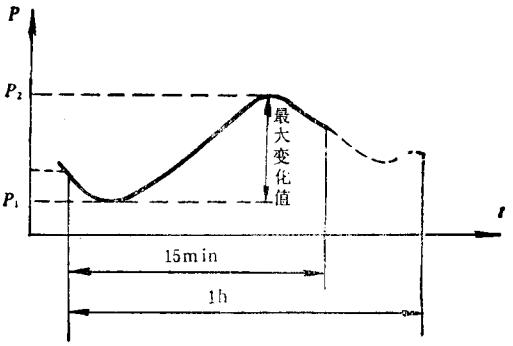


图 40-11　RF 输出功率变化示意图

10. 信号发生器输出端的电压驻波比

VSWR of RF output terminal

向信号发生器输出端看，信号源的电压驻波比反射系数。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 4-12。

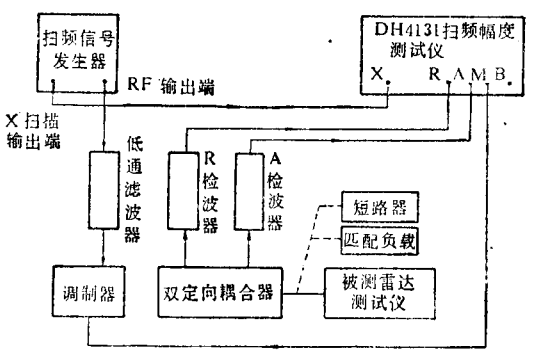


图 40-12　雷达测试仪 RF 输出端(或带输出同轴电缆) *VSWR* 测量方框图

(2) 测试步骤

① 按图 40-12 方框图连接好系统，被测雷达测试仪置于关机状态，将扫频信号发生器起始扫描频率置于雷达测试仪工作频段最低端频率，终止扫描频率置于雷达测试仪最高端频率，调节扫频 RF 输功率电平以保证测量的精度。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 双定向耦合器输出端接短路器，则造成全反射情况，然后接匹配负载造成全匹配情况，分别测量两种情况的反射系数的 dB 数值，以便判断系统连接是否可靠，以及测量数据的可信度。

③ A 检波器是检测反射信号，R 检波器是检测扫频输入信号，A/R 则响应被测雷达测试仪反射系数的分贝数。

④ 参照本手册第 11 章"衰减器"中有关内容，可由反射系数的分贝数计算反射系数及电压驻波比 $VSWR$。

(3) 技术要求

根据雷达综合测试仪规定的指标要求，如带专用 RF 射频电缆，应考虑输出端接有电缆的情况测量，输出端电压驻波比测量时，精密衰减器置于零分贝，及 10dB 点均应测量。

11. 射频功率泄漏

leakage of RF power

由于被测雷达综合测试仪内部微波器件结构及连接方面的缺陷，电源馈电线滤波或微波吸收材料性能的不完善，以及机箱通风孔设计上的问题等造成微波功率泄漏电平。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 40-13。

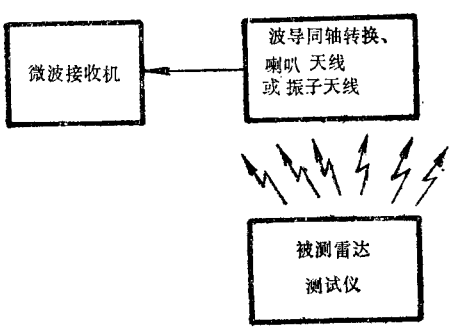


图 40-13 RF 漏泄信号测试方框图

(2) 测试步骤

① 被测雷达测试仪置于等幅工作状态，调信号发生器振荡频率到工作频率的低端。

② 调信号发生器零分贝功率电平，并通过射频输出端辐射到空间，通过射频电缆接波导同轴转换或喇叭天线接收空间辐射射频信号，调谐微波接收机取得最大指示信号。

③ 将精密衰减器置于最大衰减量，离被测雷达测试仪 0.5 米距离的任何空间位置上用喇叭天线或波导同轴转换测量空间辐射功率，测得量不得大于雷达测试仪规定 dBm 数值。

④ 将雷达测试仪振荡信号频率调到中频及最高频率；重复步骤②及③。

(3) 技术说明

由于雷达综合测试仪的射频功率泄漏测量是近区场电磁能量测量，目前没有较合理的测量方法，对于喇叭天线的增益系数，或有效天线面积无法在测量中加以考虑，各制造厂根据用户要求及实用效果，采用自定的相对测量法，其泄漏射频功率电平数值无法作定量考核。

(4) 技术要求：要求测试空间没有杂散其他微波信号，必要时应在屏蔽室内进行该项指标的测量。

12. 方波调制的占空系数

duty cycle of square wave modulation

在方波调制的周期内，调制信号宽度(检波后的正半周信号宽度)与停振期宽度(检波器输出零信号宽度)之比，理想的方波调取信号，这两个信号宽度为 1:1，占空系数为 0.5。

测试方法：

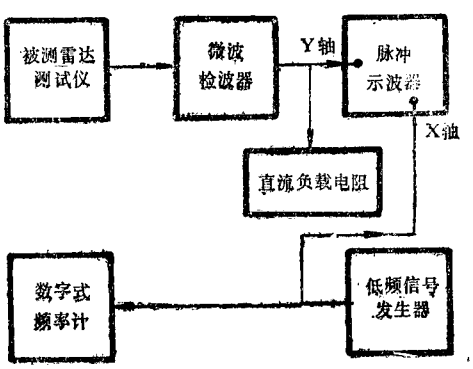


图 40-14 幅度调制测试的方框图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 测试方框图，见方框图 40-14。

(2) 测试步骤

① 被测雷达测试仪置于等幅工作状态，频率调到信号发生器的低端，调节信号发生器输出功率电平达到零分贝功率电平。

② 将被测雷达测试仪置于方波工作状态，并将微波信号输给微波检波器，检波器输出端接一小阻值电阻(提供直流通路，以保证输出有足够检波信号幅度及检波波形不失真为原则)。

③ 脉冲示波器置于内触发扫描状态，扫速略大于方波调制的周期，调节触发电平观察到稳定的方波调制信号，示波器Y输入端置于直流输入状态，测量检波信号正半周方波宽度为 T_+，测量零检波信号(负半周方波宽度)为 T_-。其方波调制的不对称性由(40-11)式表示，占空系数由(40-12)式表示。

$$\frac{\Delta T}{T/2}=\frac{2|T_+-T_-|}{T_++T_-}\times 100\% \quad (4\text{-}11)$$

$$D_S=\frac{T_\pm}{T} \quad (40\text{-}12)$$

式中 T 为方波信号的周期；D_S 为方波信号的占空度比。

④ 将被测仪器调到中频以及信号发生器最高频，重复上述测量过程，所测结果不得大于雷达综合测试仪规定的指标。

13. 方波调制的频率

frequency of square wave modulation

方波调制的频率是指雷达测试仪在方波调制的情况下，方波调制信号的重复频率。

测试方法：

(1) 测试方框图，同方框图 40-14。

(2) 测试步骤

① 同指标 12“方波调制的占空系数”中测试步骤①、②，脉冲示波器置于外扫描状态，音频信号发生器振荡频率调到接近方波调制频率值，并将信号输到示波器X端。

② 细调低频信号发生器的频率，在示波器上得到稳定的李沙育图形，由频率计数器测得低频信号发生器的频率值 f_1。

③ 方波调制的重复频率的相对误差由40-13式计算。

$$\frac{\Delta f}{f}=\frac{f_0-f_1}{f_0}\times 100\% \quad (40\text{-}13)$$

式中 f_0 为雷达测试仪方波调制频率的标称值。

④ 在雷达综合测试仪 RF 振荡器的中频及高频点重复步骤①、②、③。

14. 脉冲调制的重复频率

repetition frequency of pulse modulation

被测雷达测试仪在脉冲调制工作状态时，脉冲调制载波信号包络脉冲的重复频率。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 40-14。

(2) 测试步骤

① 雷达测试仪信号发生器频率调到工作频段的中频点(同零分贝功率电平定标频率)，等幅工作状态并调节功率电平为零分贝功率电平输出，将雷达测试仪置于脉冲调制状态，调制宽度置于最大值。

② 将 RF 信号输给微波检波器，检波输出加到脉冲示波器的Y轴，示波器置于内触发状态，调节示波器扫速观察到稳定的脉冲波形。

③ 连续调节脉冲调制的重复频率，由重复频率的低端变化到脉冲重复频率的高端，由人眼观察示波器信号有无抖动，消失等现象，以确定脉冲调制器在全频段内可靠工作。

④将示波器置于外扫描工作状态，将脉冲调制的重复频率调到最低端，并将一定幅度的音频信号发生器的输出加到示波器的X轴，调节音频信号发生器的振荡频率，以获得稳定李沙育图形，记下频率计数器的读数 f_1。

⑤ 脉冲调制的重复频率的相对误差由(40-14)式确定。

$$\frac{\Delta f}{f}=\frac{f_1-f_0}{f_0}\times 100\% \quad (40\text{-}14)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中 f_0 是脉冲重复频率刻度盘的示值；f_1 是频率计数器测得的值。

⑥ 在脉冲调制频率范围内再测4点，其中包括调制频率的最高频率。

⑦ 按(40-14)式计算结果中，脉冲重复频率的指标，及频率的相对误差都不得超过雷达测试仪的规定指标范围。

(3) 技术要求：经过上述测量过程，一般可以保证雷达测试仪技术指标，如果严格要求，应在雷达测试仪的载波频率的低频及高频上重复上述测量过程。

15. 脉冲调制的脉冲宽度 τ

pulse width of pulse modulation

射频脉冲包络的峰值的50%电平之间的时间间隔称为脉冲调制的脉冲宽度。

测试方法：

(1) 测试方框图，见方框图40-15。

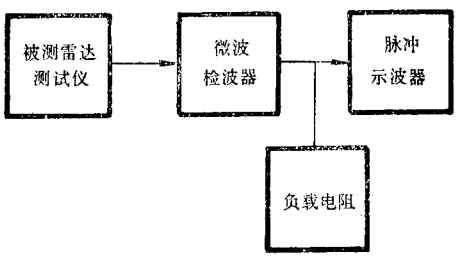


图40-15 脉冲宽度测试方框图

(2) 测试步骤

① 被测雷达测试仪置于等幅状态，射频频率调到工作频段的中点（同零分贝电平功率定标频率），调功率电平到零分贝功率电平，然后将雷达综合测试仪置于脉冲调制状态，脉冲重复频率置于最高工作频率。

② 将脉冲调制的射频信号输给微波检波器，将脉冲宽度置于最小脉冲宽度或给定的脉冲宽度（有的雷达综合测试仪的脉冲宽度由波段开关置定，一般为 0.5μs、0.75μs、1μs、1.25μs、1.5μs、1.75μs，2μs 等几档）。

③ 将示波器置于内触发状态，示波器扫速置于略大于脉宽的数值，调节同步及触发电平等使示波器观察到稳定完整的脉冲波形，测得脉宽值为 τ_1。

④ 脉冲宽度的相对误差由(40-15)式计算出。

$$\frac{\Delta\tau}{\tau}=\frac{\tau_0-\tau_1}{\tau_0}\times 100\% \qquad (40\text{-}15)$$

式中 τ_0 是被置脉冲宽度；τ_1 是示波器的读数。

⑤ 严格要求，应在载波低频及高频重复上述测量过程，以及脉冲重复频率的中频及低频重复上述测试过程。

(3) 技术要求：脉冲示波器的频带宽度应与被测脉冲的上升前沿指标相适应，一般要求示波器频带宽度

$$B \geqslant 3\frac{1}{\tau_R},$$

τ_R 为脉冲前沿指标。

16. 脉冲调制信号的延时

delay time of modulated pulse signal

雷达综合测试仪工作于内调制状态，它输出的射频脉冲调制信号与内视频同步脉冲之间的延时时间；或雷达综合测试仪工作于外脉冲调制状态，其射频脉冲调制信号与外触发同步视频信号之间的延时时间。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图40-16。

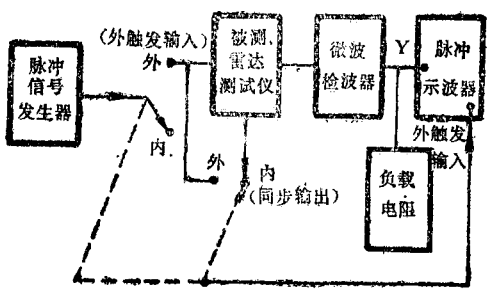


图40-16 延时时间测量方框图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试步骤

① 被测雷达测试仪置等幅工作状态，工作频率置中频(同零分贝功率电平定标频率)，并调输出功率为零分贝功率电平，工作状态转置脉冲调制状态，脉冲宽度置脉宽中间值，内同步输出（或外触发脉冲）加到示波器外触发输入端。

② 检波器输出加到脉冲示波器 X 输入端，脉冲示波器置于外触发工作状态。

③ 雷达测试仪脉冲重复频率置最大值(内脉冲调制状态)脉冲延时置最小值 t_1，调节示波器触发电平，使示波器只工作于外信号触发工作状态，并防止示波器自激扫描，并调节示波器扫速，以显示延时的射频脉冲信号，并由示波器测得延时间隔为 t_0。

④ 延时时间的绝对误差由(40-16)式表示

$$\Delta t = t_0 - t_1 \qquad (40\text{-}16)$$

⑤ 并在雷达测试仪延时范围内，另均匀选 4 点，重复上述测量步骤，并从(40-16)式计算之，其延时绝对误差不得超过指标规定的范围。

⑥ 严格要求应在雷达测试仪载频的低端及高端上重复上述测量步骤。

⑦ 有的雷达测试仪有可变延时指标(即具有模拟动目标功能)，则还要使用秒表测量可变延时指标，首先用秒表计下测量时间 t，并用示波器测出最大延时 t_{max}。并由(40-17)式计算出可变延时速度 t_S

$$t_S = \frac{t_{max}}{t} \ (\mu s/s) \qquad (40\text{-}17)$$

(3) 技术要求：限于测量手段的限制，可变延时的速度只能定义为平均延时扫速（平均动目标速度），无法测量绝对延时扫速。

17. 外部脉冲调制或外脉冲触发

external pulse modulation or external pulse trigging

被测雷达综合测试仪在外脉冲触发状况，以确定保证被测仪器可靠工作所需外触发脉冲的极性，重复频率，脉冲宽度及脉冲幅度等指标要求。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 40-17。

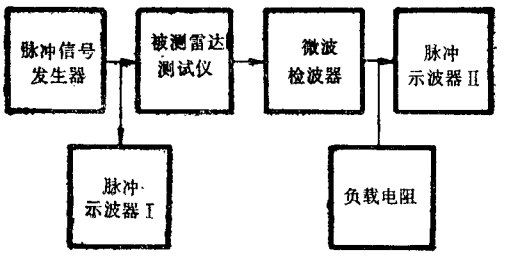


图 40-17　外脉冲调制触发测量方框图

(2) 测试步骤

① 雷达测试仪置等幅工作状态，载波频率为中频，输出为零分贝功率电平。

② 被测雷达测试仪置于外触发工作状态，雷达测试仪置于最大脉宽。测量用的脉冲信号发生器输出脉冲极性为正(或负)，脉宽置雷达测试要求脉宽的最小值，脉冲重复频率置要求的最低值。

③ 调脉冲信号发生器的输出触发脉冲的幅度，直到脉冲示波器 II 观察到稳定的射频脉冲包络信号，用脉冲示波器 I 测出触发脉冲幅度值应小于等于雷达测试仪指标规定值。

④ 将测量用的脉冲信号发生器的脉冲重复频率置于被测仪器要求的最高值，输出脉冲幅度由零逐渐增加脉冲输出幅度，直到脉冲示波器 II 观察到稳定的射频包络脉冲，用脉冲示波器 I 测量触发脉冲幅度值，此值应小于或等于被测仪器所要求的触发电平值。

⑤ 调测量用的脉冲信号发生器的脉冲重复频率由最低值变化到最高值，观察示波器 II 的脉冲信号有无消化或抖动，以确认外触发的工作可靠性。

18. 脉冲调制深度

pulse modulation depth

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

雷达综合测试仪方波调制及脉冲调制时，幅度调制的深度。

测试方法：

(1) 测试方框图，同图 40-15。

(2) 技术说明：先进的雷达综合测试仪的方波调制或脉冲调制已不用电子开关，而是采用 PIN 管外微波调制器进行幅度调制，这可以克服微波振荡器由等幅工作状态转为幅度调制状态时，载波频率变化等缺点，但由于 PIN 管调制深度受器件性能的影响，很难达到100%调制度。根据用户要求，应提出调制深度的指标。

(3) 测试步骤

① 将雷达测试仪置等幅工作状态，载波频率置工作频段的低端，输出功率置于最大，然后置内脉冲调制状态，脉宽最宽，脉冲重复频率最高。

② 调脉冲示波器内触发灵敏度及扫速，以获得稳定射频脉冲的包络信号，示波器置于直流输入（Y 轴），示波器 Y 输入灵敏度置于最高，以尽量观察到脉冲信号的底部为准，雷达综合测试仪的精密衰减器置于零分贝，记下脉冲信号底部在示波器上的显示幅度，改变微波精密衰减器衰减量，使得脉冲信号的顶部缩小到原脉冲底部的显示幅度，并记下精密衰减器的衰减量 dB 数。此分贝数应大于或等于雷达测试仪指标规定数值。

③ 将雷达测试仪的载波频率调到中频及高频端，重复上述测量过程。

19. 调制状态变化造成载波频率的变化

carry frequency changing due to the change of modulation status

雷达综合测试仪由等幅工作状态转换到脉冲工作状况或方波工作状态，载波频率的变化。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 40-18。

(2) 测试步骤

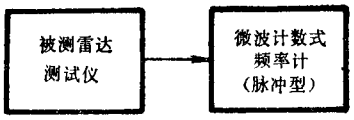


图 40-18 幅度调制引起载波频率变化测试方框图

① 雷达测试仪在充分加电预热后，雷达测试仪置于等幅工作状态，调节输出功率电平以保证脉冲微波计数器正常计数，并记下载波频率为 f_C。

② 雷达测试仪由等幅工作状态转换到方波工作状态，由脉冲微波计数式频率计测得载波频率为 f_R，由方波工作状态转换到脉冲调制状态的载波频率为 f_P。

③ 雷达测试仪由等幅工作状态变化到方波工作状态的载波频率变化由(40-18)式计算，由等幅工作状态变化到脉冲调制工作状态下的载波频率变化由(40-19)式计算，并不得大于规定指标要求。

$$\Delta f_{CR} = f_C - f_R \qquad (40\text{-}18)$$

$$\Delta f_{CP} = f_C - f_P \qquad (40\text{-}19)$$

(3) 技术要求：因为要测量方波调制或脉冲调制下的微波载波频率，故微波计数器必须具有测量脉冲调制信号中载频信号的功能，或采用微波外差式频率计来测量。

(二) 功率计部分

20. 功率计的工作频段

operating frequency range of power meter

是指雷达综合测试仪功率计测量微波信号功率所能覆盖的频率范围。即在此频带内，功率计能准确测量微波信号的功率。

21. 功率测量误差

the error of power measurement

由雷达测试仪功率计测量匹配信号源的输出功率所得测量值，与标准功率计测量此同一输出功率所得测量值之差异(以分贝数表示)称为功率测量误差。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

测试方法：

（1）测试方框图，见图 40-19。

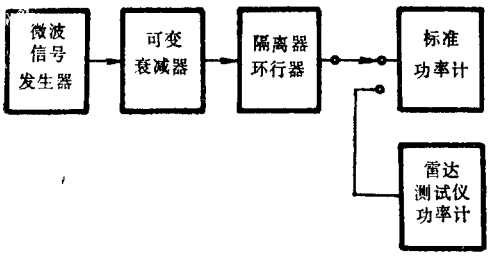


图 40-19　功率测量误差测试方框图

（2）测试步骤

① 微波信号发生器及被测雷达测试仪充分预热，将微波信号置于等幅工作状态，将信号源频率调到功率计工作频段的低端，将可变衰减器的衰减量置于最大衰减量，将标准微波功率计的功率头接到隔离器的输出端。

② 逐渐减小可变衰减器的衰减量，在标准功率计上读得一雷达测试仪可测的最大功率 P_0（功率测量范围内的最大值），然后将标准功率计取下，转接雷达测试仪，测此同一功率电平，记下功率读数 P'_1。

③ 重复测量步骤②，二次测试前均很仔细调节标准功率计及雷达测试仪功率计的零点，测得功率值 P''_1 及 P'''_1，求出 P_1 的算术平均值。

④ 功率测量的误差由（40-20）式表示：

$$\text{功率测量误差}_{(dB)} = 10\lg\frac{P_1}{P_0}(\text{dB})\quad(40\text{-}20)$$

⑤ 将可变衰减器衰减量增加 10dB，重复步骤②、③、④，直到雷达综合测试仪可测功率最小值（功率量程最低功率值，一般为 10μW）。

⑥ 将微波信号发生器的频率调到功率计工作频段的中值，重复步骤 ①、②、③、④、⑤。

⑦ 将微波信号发生器的振荡频率调到功率计工作频段的最高值，重复步骤 ①、②、③、④、⑤。按（40-20）式计算的测量误差，不得超过测试仪规定的±分贝数。

（3）技术要求：测试功率测量误差时，要尽量保证微波信号源是匹配的信号源，因此隔离器的输出端的电压驻波比应在 1.1 以下，隔离度 20dB 左右。如果隔离器输出端的电压驻波比太大，则在隔离器的后面应加调配器，将信号源的电压驻波比调到 1.05 以下。可参看本手册第 11 章“衰减器”中有关内容中阐述的失配误差对衰减测量的影响。

22. 功率计输入端的电压驻波比

VSWR of power meter input terminal

向雷达测试仪功率计输入端看，输入端的电压驻波比。

测试方法：见指标 10“信号发生器输出端的电压驻波比”。

* 功率测量的技术说明：一般雷达测试仪的功率计只能测量微波信号的平均功率，雷达信号的脉冲峰值功率是由测得的平均功率，通过脉冲信号的脉宽及脉冲信号的周期按（40-21）式换算取得。

$$P_P = P_A \cdot \frac{T}{\tau}\qquad(40\text{-}21)$$

式中　P_P 为脉冲调制的微波信号的功率；P_A 是功率计测得的平均功率；τ 为脉冲调制信号的脉宽；T 为脉冲调制信号的周期。

（三）频率计部分

23. 频率计的频率范围

frequency range of frequency meter

指雷达综合测试仪的数字频率计或谐振式波长表可以精确地测量微波信号的频率范围。

测试方法：见指标 24“频率测定的误差”。

24. 频率测量的误差

the error of frequency measuring

指雷达综合测试仪的频率计或是波长表测量外微波信号频率的相对误差

测试方法：

（1）测试方框图，见图 4-20。

（2）测试步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

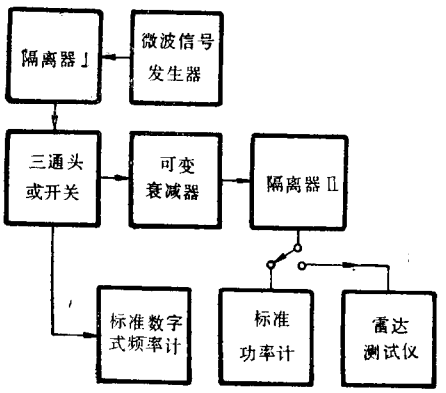


图 40-20 频率计灵敏度及测频误差测试方框图

① 将微波信号发生器置于等幅工作状态，工作频率置于雷达测试仪频率计工作频段的最低端，调节信号发生器输出功率以使标准频率计正常计数。

② 调节可变衰减器的衰减量，由最大向最小衰减量方向缓慢变化，直到雷达测试仪频率计出现稳定正确的读数，记下标准数字式频率计的读数 f_0 及雷达测试仪的测得值 f_1，将隔离器 II 的输出转接到标准功率计上，读得功率值 P_{min}。

③ 调微波信号发生器的振荡频率，每隔 100MHz，重复测量步骤①、②，直到测频最高端。

④ 测得频率测量的相对误差按(40-22)式计算

$$\Delta f/f_0 = \frac{f_0 - f_1}{f_0} \times 100\% \qquad (40\text{-}22)$$

P_{min} 值不应大于测频灵敏度值。

25. 频率计测频灵敏度（等幅工作状态）

sensitivity of frequency measurement

指雷达测试仪保证测频精度所需最小输入功率(等幅工作状态)。即指标 24“频率测量的误差”中测得的 P_{min} 值。

测试方法：见指标 24“频率测量的误差”。

26. 脉冲调制 RF 信号频率测量的灵敏度（脉冲调制状态）

frequency measurement sensitivity for pulse modulated RF signal

指雷达测试仪测量脉冲调制 RF 信号时，在保证测频精度时，所需的最小峰值载波功率。

说明：一些雷达测试仪使用谐振式波长表作为测频手段的测试仪，脉冲调制信号的检波输出，通过脉冲包络信号放大器放大后，二次检波后作测频信号指示，可适应脉冲调制信号载频测试。其测频灵敏度与等幅信号测频灵敏度不同，在保证测频精度的情况下，脉冲调制信号的峰值载波功率可低于等幅信号测频时所需的功率电平。

测试方法：

① 按方框图 40-17 连接测量系统，将微波信号发生器的振荡频率置于雷达测试仪可测频率范围的低端，并将信号发生器置于脉冲调制工作状态。脉冲调制的重复频率置于雷达测试仪可测脉冲信号的重复频率范围的低端，脉冲宽度置于可测脉宽的最低值，调输出功率电平使标准数字式频率计（有脉冲调制信号测频功能)正常计数，调可变衰减器由最大衰减量向最小衰减量方向变化，直到雷达测试仪达到精确测频状态。此时将微波信号发生器转置等幅工作状态，由微波功率计测得功率值即为脉冲调制信号的峰值功率（脉冲调制信号测频灵敏度)。

② 将微波信号发生器脉冲调制频率置于可测范围的最高端，重复①步骤。然后将脉冲宽度置于可测脉宽的最大值，重复①步骤。

③将微波信号发生器的振荡频率置于可测载波频率范围的中端及最低端，重复 ①、② 步骤。

由于目前还没有厂家生产诸如相控阵雷达综合测试仪，捷变频雷达综合测试仪，或是脉冲压缩技术雷达综合测试仪，因此本章只涉及单脉冲雷达综合测试仪的测试。

* * *

本章技术指标和测试方法中所用主要测试仪器汇总列表如下。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

主要测试仪器汇总表

仪器名称	参　考　型　号	备　注
扫频信号发生器	HP 8620C、HP 86290B (RF)、DH 1332、DH 1333	JJG (电子) 15011-89
微波信号发生器	XX 19A、XX 20、XX 29、XX 6B、XFL-2A	JJG (电子) 15014-91 JJG (电子) 15016-91
微波扫频幅度测试仪	DH 4131	
低频信号发生器	XD7、QF 1022	JJG 230-80
脉冲信号发生器	MF-6	JJG 490-87
微波接收机	RS4、RS18 136 (美)	
频率计数器	DH 3381、DH 3382 HP 5345A、R5373P	
功率计	DH 4861、GX 12M1	
脉冲示波器	SS-5710、XJ 4361、WC 4270	
衰减器检定装置	TO-7A、Д1-2.	JJG 424-86
数字式电压表	DYJ-2	JJG 315-83
可变衰减器	DH 3501、DH 13502/A、BD-5/019	
短路器	DH 13801 TTD-1～3	
调制器	HP 11665B	
检波器	HP 11664A、BD-5/023	
双定向耦合器	HP 778D、HP 11692D	
低通滤波器	TT 14	
波导同轴转换器	TD 10	
同轴转接器	DH 641	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第41章　安全耐压试验仪器

第1节　综　　述

随着当代科学技术的迅速发展，各种电器、电子设备全面进入社会生活各个领域，成为社会文明进步的重要标志。电子、电气产品的普及，首先产生了使用安全性这一重要问题，使安全性在决定产品质量的各要素中跃居首要地位，安全标准成为最重要的技术标准之一。

防触电是所有安全标准中最基本也是最重要的内容，通常列为产品安全总要求的首项。基本电性能安全试验包括：耐电压试验、泄漏电流试验、绝缘电阻试验。自70年代末期始，专用于各类电子、电气产品基本安全试验的仪器迅速发展，形成了一个崭新的电子仪器门类。

电子安全试验仪器的发展是贯彻国际国内安全标准的必然结果。自IEC65号公告《电网电源供电的家用和类似一般用途的电子及有关设备的安全要求》于1952年首次颁布并经五版、七次修订以来，在全球范围内已形成了IEC安全标准与美国UL安全标准两大体系。我国自70年代末期开始制定各类安全标准，80年代迅速形成了采用或等效采用IEC安全标准的国家安全标准体系。电性能安全试验在电子测量仪器、广播收音机、电视接收机、各种音频、视频设备及家电产品、低压电器等电子、电气产品的设计、制造、检验、定型、质量认证、创优以及进出口等各项工作中，首先成为必须、大量、经常进行的重要项目，随之产生的对专用测试仪器的需求，使得电子安全试验仪器具有深厚的发展基础和广阔的市场。

安全耐压试验仪(以下简称耐压仪)是基本电性能安全试验仪器的总称，它可以直观、准确、快速、可靠地测试各种被测对象的耐受电压、击穿电压、泄漏电流、绝缘电阻等电性能安全指标，并能在IEC或国家安全标准规定的测试条件下，进行工频、直流、电涌、标准冲击波等不同形式的介电性能试验。在国内外，此类仪器还有：耐压测试仪、介质击穿装置、绝缘强度测试仪、高压试验仪、高压击穿装置、耐压试验器、电涌绝缘测试仪、绝缘耐压测试仪等各种不同的名称。

耐压仪的技术指标完全取决于安全标准的要求和规定，测试对象除各类电子产品外，遍及一切电网电源供电或由指定的额定交、直流供电的低压电器或设备，这是电子安全试验仪器区别于所有各类电子测量仪器的特点。由此产生的必然结果是：低水平的技术指标不会无限上升，仪器先进性基本与技术指标无关，仪器的发展依赖于安全标准的发展。因此，在国外各大公司的产品中，耐压仪很少占据重要地位。

耐压仪一般由高压发生器、定时控制器、耐压判定电流预置电路、泄漏电流或绝缘电阻检测电路、保护电路、报警电路及指示器组成。基本工作原理是：将被测件在仪器输出的试验高压下产生的泄漏电流与预置的判定电流值比较，当检出的泄漏电流大于判定值时，试验高压瞬时切断并发出报警信号，从而确定被测件的耐压值或击穿电压值。部分耐压仪兼有绝缘电阻或泄漏电流测试功能。

耐压仪的雏形——高压试验器的历史可以追溯到很久以前，但真正形成专门的基本安全试验仪器门类则是70年代后期世界范围内大力推行安全标准之后。50年代中期，初具定时控制及漏电流测试功能的典型产品如苏联УПУ-1型介质击穿试验器，为全电子管电路且量程单一，主要

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

用于测试电工绝缘材料的抗电强度。70年代末期随着IEC65号公告第四版的发布，日本菊水(KIKUSUI)公司发展了TOS 8000系列耐压试验仪，采用晶体管及集成电路，技术文件明确表明其产品以满足IEC、JIS、UL等安全标准规定为目的。80年代初，IEC664(1980)号公告首次颁布进行标准脉冲波耐压试验的新规定，瑞士HAEFELY公司立即发展了P12型脉冲耐压测试仪。由此可见，基本安全试验仪器的发展阶段与安全标准的发展同步且不可分割。

我国安全耐压试验仪器的研制始于50年代末，自国营七一五厂率先试制成功JCJZ-1型高压击穿装置并开始小批量生产之后，在全国范围内形成了初创、仿制生产、自主开发三个发展阶段。

整个60年代是我国耐压仪的初创时期。由于受技术、工艺、元器件等各种因素的限制，产品品种少，精度低，自身安全性能差，从厂家自我装备用以进行产品或零部件耐压试验的简易试验器起步，少数品种经进一步完善后形成了商品。在此阶段，在全国范围内仅有两个生产厂家、五种型号产品，1961～1967年生产总量约1493台。代表性产品是常州电子仪器厂1964年开始研制的仿苏JC-4型介质击穿装置，与原型机相比，该产品有较大改进，技术水平与国外同期先进水平相当，1970年转产山东及江苏两家工厂生产。但70年代耐压仪的研制和生产一直停滞不前，1970年JC-4成为市场上唯一的型号。

我国耐压仪转入大批量生产进而形成安全耐压试验仪器新门类的第二阶段始于80年代初。在各类国家安全标准全面制定并强制执行的大背景下，耐压仪市场需求的突然增大立即刺激生产厂家从获利出发迅速推出大批型号各异的新产品。其发展表现在：新厂家不断出现，老厂家新产品不断增加，产品以仿制为主，产品类别和指标设置具有相当的盲目性。据不完全统计，1980年后投放市场的耐压仪一度达到三十余厂家、四十多个品种，其中工频耐压仪约占55%，直流耐压仪约占1.7%，兼容工频交流、直流两用型耐压仪约占35%，电涌及冲击耐压仪占8.3%，而非工频交流耐压仪则为零。在厂家最多时，三十多个厂家中除少部分是电子部系统测量仪器专业工厂外，相当部分是不具备生产条件的乡镇或街道企业，使电子安全试验仪器门类在形成伊始就面临着标准、安全、质量等方面问题。

在第二阶段的发展过程中，企业管理严格、技术力量雄厚、产品水平较高的常州电子仪器厂、南京长江无线电厂、南通电子仪器厂、德州无线电三厂、成都无线电一厂、常州电机电器总厂等单位作出了自己的贡献。在此时期，南京长江无线电厂研制的CJ2670型至CJ2677型系列产品，常州电子仪器厂研制的CY2671至CY2674型系列产品，以其满足IEC标准及国家安全标准的技术指标及较强的测试功能而具有一定的代表性。上海电动工具研究所于1984年研制的BC-12型标准波冲击耐压试验仪则填补了我国贯彻IEC664-80及GB1497-85安全标准中试验仪器的空白。我国业已形成的安全耐压试验仪器门类的技术指标基本和国外相当。

以自主开发为标志的第三发展阶段始于80年代末。其具体表现是：随着各类专业标准的深化与细化，通用型耐压仪的市场趋于稳定，而专用型耐压仪的市场不断扩大，以满足如：多频率、雷击脉冲叠加、瞬变电涌冲击、匝间脉冲耐压等各类特定耐压测试要求或特殊参数测试要求的电子安全试验仪器亟待发展。因受国内元器件的制约，单纯仿制已无法满足新型仪器发展需要，立足研制、自主开发势在必行。鉴于电子安全试验仪器门类的前述特点，预计在本世纪末，我国此门类仪器将得到新的充实和扩大。

国内外安全耐压试验仪器发展水平见表41-1：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 41-1 国内外安全耐压试验仪器发展水平

类型及技术指标 \ 国别		中国	日本	瑞士
单纯工频交流	输出电压范围及误差	CJ 2670 0～1.5/0～5kV ±3%	TOS 8650 0～1.5/0～5kV ±3%	NSG 509 0～5kV
	判定电流范围及误差	CJ 2672 0.5～100mA ±5%	TOS 8650 0.5～100mA ±5%	NSG 509 1～100mA
	最大输出功率	CJ 2672 500VA	TOS 8651 500VA	NSG 509 500VA
交直流兼容	输出电压范围及误差	CY 2662 0～5/0～10kV ±3%	TOS 8700 0～3/0～10kV ±3%	NSG 510 DC:200V～12kV AC:100V～6kV
	判定电流范围及误差	CY 2662 AC、DC:0.5～200mA ±5%	TOS 8750 DC:0.5～10mA AC:0.5～100mA ±5%	KET 0～5mA
	最大输出功率		TOS 8750 DC:125W AC:500VA	
综合参数	绝缘电阻测量范围及误差	CY 2672 1～100MΩ±10% 100～1000MΩ±20%	MS-5B 0.2～250MΩ±5% 0.5～500MΩ±10%	
	泄漏电流测量范围及误差	CY 2674 0～20mA ±5%		
1.2/50 μs 标准波冲击	型号	BC-12		P12
	最大充电能量	14J		10J
	冲击波波形	1.2/50μs		1.2/50μs
	峰值电压及误差	0.3～10kV ±5%		0.3～8.5kV ±5%
	触发控制	单次 3、5、10 重复		单次、重复
	重量	40kg		15kg
	显示	数字式		指针式

根据 IEC 及国家安全标准，我国安全耐压试验仪器的现有产品可以区分为工频交流耐压仪、直流耐压仪、冲击耐压仪三类，现分别就其现状与发展趋势简述如下：

（一）工频交流耐压仪是以工频交流耐压测试为主、部分品种兼容直流耐压测试的一类仪器。根据 IEC65(1985) 号公告的规定，“主要承受交流电压的绝缘应用频率为电网电源频率的交流电压进行试验。”由于绝大部分受试对象都必须以工频交流电压进行基本试验，此类仪器在门类中占有很大比例。

部分品种兼容直流耐压测试的原因是：在同一标准中又规定“如有电晕、电离、充电效应或类似情况发生，则推荐改用直流电压试验。”显然，在我国，兼容型仪器比单纯交流型仪器具有更大的使用方便性。据不完全统计，我国兼容型仪器约占工频交流耐压仪的 40%，但国外兼容型仪器

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

较少。

单纯工频交流耐压仪的优点是：专用性强、价格低、使用方便。因无故障率较高的直流高压电路，可靠性也较高。在进行各种试验时因易于组成不同测试系统或测量装置，适用性也较兼容型为高。在国外，单纯型仪器占此类仪器的大部分。

直流耐压仪适用于直流耐压测试或工频交流耐压的替代测试。由于不受介质损耗的影响，对某些难以发现的绝缘缺陷有良好的检出效果。在我国由于直流型仪器被兼容型仪器取代，此类仪器品种不多。

国内外工频交流及直流两类耐压仪的典型指标是：输出高压最大 30kV，通常有 1.5、2.5、3、5、10kV 等档次，电压误差约±(3～5)%；耐压判定电流范围最小 0.5mA，最大 100mA，电流误差±(5～10)%；定时范围最大通常为 120s；输出容量在 30VA 至 750VA 之间，部分品种兼有绝缘电阻或交、直流泄漏电流综合测试功能，绝缘电阻测量范围最大为 1000MΩ，误差为±10%；泄漏电流测量范围一般为 20mA，误差为±10%。

现阶段国内外仪器的先进水平着重体现在自身安全性与测试功能两方面。国外产品工艺水平较高，高压变压器等高压组件体积小，绝缘性能较国内产品为高。国内产品工艺水平较差，高压组件体积、重量均较大。在结构及电路设计方面，先进产品一般通过高、低压区严格隔离，高压安全门限位控制等方式提高自身安全性。我国 KQ-2 型抗电强度测试仪及日本 MS-5B 型绝缘耐压测试仪还设计了过零切换电子开关，使输出高压在电网电压零电平处切换，以避免输出瞬变带来的破坏。不少新产品还具有误操作自动切断输出高压或高压自动回零等功能，使仪器操作安全性较老产品为高。

先进产品较强的测试功能有：人机脱离式测试功能；泄漏电流、绝缘电阻、起始放电电压、熄灭电压等多参数综合测试功能；被测件热态测试功能；脉冲式自动重复加压功能；程序式操作及合格/不合格自动判定功能；数字预置和数字显示功能及多种输出接口等等。预计更进一步的发展是：智能化程控式多参数自动测试仪器及高可靠性专用型仪器将逐步取代现有品种，以满足不同层次的需要；为贯彻 IEC601-1 及 GB9706.1-88 有关多种频率交流耐压试验的规定，交流耐压仪将向多种频率发展。

（二）冲击耐压仪是以单脉冲或脉冲群模拟雷电或其它非正常过电压瞬时冲击对产品绝缘性能伤害程度进行试验的一类仪器。为使试验结果具有可比性，不同的安全标准对冲击波形的标准型式有着不同规定。

1.2/50μs 标准波冲击耐压仪是在 1980 年 IEC664（1980）号公告规定进行 1.2μs/50μs 的标准波冲击耐压试验后，国外在 80 年代初发展的一类新型耐压仪。在 GB3924-83、GB1497-85、GB6829-87 国家标准制定后，此类仪器的需要量较大并促使我国这一类仪器发展。

我国第一种产品 BC-12 型标准波冲击耐压仪主要技术指标与瑞士 HAEFELY 公司 P12 型仪器水平相当，直流高压精度高于 P12，即 BC-12 为±1% P12 为±2.5%，充电能量 BC-12 为 14 焦耳，P12 为 10 焦耳；最高冲击电压输出 BC-12 可达 10kV；而 P12 仅为 8.5kV；BC-12 还增设 3、5、10 次多触发控制并有自动高压切除及数字显示功能，但由于国内元器件尺寸较大，仪器的体积和重量均比 P12 型大。

为执行 IEC65 号公告及 GB8898-88(SJ2484-84) 有关电涌-绝缘电阻试验的有关规定，国内 80 年代中期生产的电涌试验仪是冲击耐压仪的特例。此类仪器一般以峰值电压 10kV、每分

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

钟 12 次共 50 次的电涌冲击为主要技术指标，大部分兼有绝缘电阻测试功能，但对输出冲击波的标准型式无严格规定。由于 IEC664 号公告认为用冲击电压试验受试品的绝缘性能时，对受试品考核的严酷程度不仅取决于冲击电压的幅值，更与波形陡度有关，部分国家安全标准已就冲击波形的标准型式作出规定，因而电涌试验仪的应用领域极窄且市场较小，预计随着安全标准的发展，国内现有的电涌试验仪可能被专门设计的标准波仪器取代。

标准波冲击耐压仪是新兴的一类电子安全试验仪器，预计更进一步的发展是：不同波形参数及冲击电压 20kV 及 30kV 等级和 6kV 等级的产品将形成系列；产生标准冲击波新型元器件的研制和应用将使仪器体积、重量、可靠性等指标得到提高；采用新型集成器件的电路设计将使仪器具有更强的测试功能。此外，适用于彩电高压元件、低压电器及高压电器执行机构如电磁线圈等安全试验的脉冲耐压试验仪器、匝间耐压测试仪器等产品的不断研制将使此类仪器的范围不断扩大。

第 2 节 分 类

安全耐压试验仪器的现有产品以 IEC 标准及国家标准中关于试验电压的性质分类，即为：

1. 工频交流安全耐压试验仪
2. 直流安全耐压试验仪
3. 冲击安全耐压试验仪

由于我国电子仪器分类中单一功能的绝缘电阻测试仪已归入元件参数测试仪器类，泄漏电流或接地电阻测试仪等已归入通用电工仪器或特种电工仪器类，具有绝缘电阻及泄漏电流测试功能的综合参数电子安全试验仪器按试验电压的性质归入上述分类中而不单独立类。

随着我国电子安全试验仪器的不断发展，本门类及上述分类将会不断补充或修改。

第 3 节 安全耐压试验仪器技术指标汇总表

因无国家通用技术标准，安全耐压试验仪器的技术指标及参数定义参照 IEC 标准、UL 标准、各类国家安全标准及部分国外标准中有关对家用电器、电子测量仪器、医疗电器、广播电视产品、低压电器及电工材料进行绝缘耐压试验的技术要求，并参考部分耐压仪的产品标准提出。

安全耐压试验仪器的技术指标按分类汇总，从表 41-2 中可以看出：直流耐压仪和交流耐压仪的技术指标基本相同，而冲击耐压仪的技术指标则自成体系。

汇总表中列出指标较为齐全，以○号者表示综合参数试验仪器可能具有的指标。

第 4 节 技术指标及测试方法

- 因无通用标准参照，本节所列试验方法参照上海市计量检定规程 JJF（沪）25-89《交流耐压试验仪》及部分产品标准给出。
- 被测耐压仪及标准测试设备均应按各自产品标准中规定的预热时间充分预热后进行测试。
- 在测试中必须严格执行安全防护的有关规定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 41-2　安全耐压试验仪器技术指标汇总表

序　号	技　术　指　标	工频交流耐压仪	直流耐压仪	冲击耐压仪
1	输出电压范围	●	●	
2	输出电压误差	●	●	
3	输出直流电压纹波含量		●	
4	输出交流电压波形畸变因数	●		
5	耐压判定电流范围	●	●	
6	耐压判定电流误差	●	●	
7	耐压试验持续时间范围	●	●	
8	耐压试验持续时间误差	●	●	
9	泄漏电流测量范围	○	○	
10	泄漏电流测量误差	○	○	
11	绝缘电阻测量范围	○	○	○
12	绝缘电阻测量误差	○	○	○
13	最大输出功率	●	●	
14	标准冲击波峰值电压范围			●
15	标准冲击波峰值电压误差			●
16	标准冲击波波前时间误差			●
17	标准冲击波半峰值时间误差			●

● 不同量程或不同范围的同一技术指标项，按其测试方法重复测试步骤。

注：测试时每半分钟电源电压波动引起的误差应小于被检仪器允许误差的 1/10。

1. 输出电压范围

voltage range

被测耐压仪有效工作的输出电压区间。

2. 输出电压误差

voltage accuracy

指针式电压表输出电压误差（γ_U）——被测耐压仪输出电压指示值与标准仪器实测值之差除以被测耐压仪指示值上限所得商的百分数。

数字式电压表输出电压误差（δ_U）——被测耐压仪输出电压指示值与标准仪器实测值相对偏差的百分数。

测试方法：

I. 直接测量法（适用于交流及直流耐压仪）

（1）测试方框图，见图 41-1。

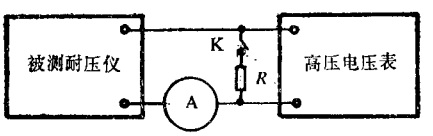


图　41-1

（2）测试说明和要求

① 标准电压表必须是高压电压表（数字高压表或高压静电电压表），其输入电压范围及测量误差应能满足测试要求。

② 负载电阻 R 的阻值由下式确定：

$$R=\frac{\text{最大输出电压}}{\text{最大输出电流}}$$

（3）规定条件：时间控制方式置于“手控”。

（4）测试步骤

① 不接负载（即断开开关 K），被测耐压仪处于工作状态，校正其电压表零位。手动调节，使输出电压缓缓升高，在检定点处测量（指针式电压表凡有数字标记处均为检定点，数字

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式电压表各量程档检定点应不少于三个)。输出电压误差由下两式确定:

$$\gamma_U = \frac{U - U_S}{U_m} \cdot 100\% \qquad (41\text{-}1)$$

$$\delta_U = \frac{U - U_S}{U_S} \cdot 100\% \qquad (41\text{-}2)$$

式中 U——被测耐压仪电压表指示值;

U_S——标准仪器实测值;

U_m——被测耐压仪电压表指示值上限。

② 接通开关K,手动调节,使输出电压升至最大值,此时电流表的指示值应为被测耐压仪的标称功率在最高输出电压下的电流值。读取高压电压表的实测值。误差计算仍按式(41-1)或(41-2)计算。

(5) 技术要求:误差一般为±3%;±5%。

II. 间接测量法(仅适用于交流耐压仪)

(1) 测试方框图,见图41-2。

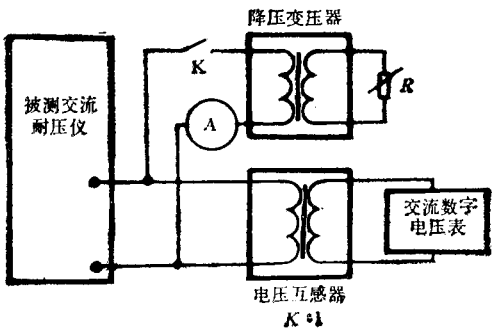


图 41-2

(2) 测试说明和要求

① 电压互感器的误差应不大于被测仪器允许误差的1/10。电压互感器的初级电压必须满足下式的规定:

$$0.8U_{max} \leqslant U_{Sm} \leqslant 1.2U_{max} \qquad (41\text{-}3)$$

$$U_{min} \geqslant 0.2U_{Sm} \qquad (41\text{-}4)$$

式中 U_{Sm}——电压互感器初级标称电压;

U_{min}——被测耐压仪最低测试电压;

U_{max}——被测耐压仪最高测试电压。

② 交流数字电压表误差应不大于被测仪器允许误差的1/4。

③ 交流数字电压表与电压互感器次级配用时必须满足下式:

$$0.8 \leqslant m < 1 \qquad (41\text{-}5)$$

$$m = \frac{U_{max}}{KU_{AC-DVMmax}} \qquad (41\text{-}6)$$

式中 K——电压互感器变比;

$U_{AC-DVMmax}$——交流数字电压表测量上限值。

(3) 规定条件:时间控制置于"手控"位置。

(4) 测试步骤

① 断开开关K,校正被测耐压仪电压表零位。手动调节,使输出电压缓缓升高,在检定点(见测试方法I)处测试。误差计算同式(41-1)、(41-2),但输出电压实测值为:

$$U_S = K \cdot U_{AC-DVM} \qquad (41\text{-}7)$$

式中 K——电压互感器变比;

V_{AC-DVM}——交流数字电压表指示值。

② 接通开关K,手动调节,使输出电压达额定最大电压,同时调节负载电阻 R,使电流表指示值为被测耐压仪的标称功率在最大电压下的电流值,此时迅速读取交流数字电压表上的电压指示值。误差计算同步骤①。

(5)技术要求:同测试方法I。

3. 输出直流电压纹波含量

ripple contant

输出电压中交流分量的均方根值与直流分量的绝对值之比。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图(41-3)。

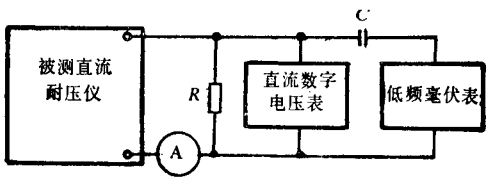


图 41-3

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 测试说明和要求

负载电阻 R 的值由产品标准中规定的测试电压和电流值确定。电容 C 为隔直电容，根据低频毫伏表使用要求确定。

(3) 测试步骤

将被测耐压仪输出电压升高至规定值（用电流表监视输出电流是否达到规定值）。读出直流数字电压表和低频毫伏表的测量值。纹波含量由下式确定：

$$纹波含量=\frac{U_{AC}}{U_{DC}}\cdot 100\% \qquad (41\text{-}8)$$

式中　U_{DC}——直流数字电压表的实测值；

U_{AC}——低频毫伏表的实测值。

(4) 技术要求：一般为 10%。

4. 输出交流电压波形畸变因数

distortion factor

输出电压中谐波含量的均方根值与交流变量均方根值之比。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 41-4。

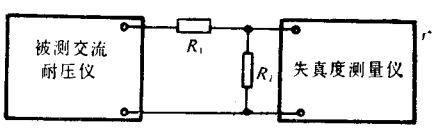


图　41-4

(2) 电路说明和要求

分压电阻 R_1、R_2 分压比由被测耐压仪的最高输出电压和失真度测量仪的输入电压范围确定。

(3) 规定条件

被测耐压仪时间控制方式置于“手控”位置。

(4) 测试步骤

手动调节，使被测耐压仪输出电压升至额定最大电压。失真度测量仪的实测值即输出交流电压的波形畸变因数。

(5) 技术要求：一般小于 5%。

5. 耐压判定电流范围　I_P

critical current range

使耐压仪开始报警并自动切断高压输出的电流值的范围。

6. 耐压判定电流误差　δ_{IP}

critical current accuracy

被测耐压仪的耐压判定电流标称值对标准仪器实测值相对偏差的百分数。

测试方法：

I. 可变负载法(仅适用于交流耐压仪)

(1) 测试方框图，见图 41-5。

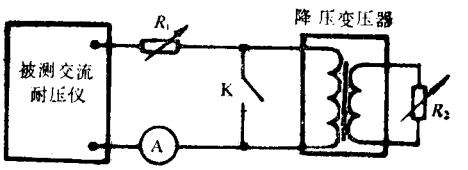


图 41-5

(2) 电路说明和要求

电阻 R_1 的值按下式计算：

$$R_1=\frac{100\text{V}}{I_P(\text{mA})}(\text{k}\Omega) \qquad (41\text{-}9)$$

式中　I_P——欲测判定电流的标称值。

(3) 规定条件：被测耐压仪时间控制置于“手控”。

(4) 测试步骤

① 将开关K接通，使负载电阻 R_2 短路。R_1 置于最大值。手动调节，使输出电压升至100V。逐渐减小 R_1 的阻值，同时观察电流表指示值。当被测仪器发出报警信号时迅速读取外接电流表的实测值。耐压判定电流误差由下式确定：

$$\delta_{IP}=\frac{I_P-I_S}{I_S}\cdot 100\% \qquad (41\text{-}10)$$

式中　I_P——判定电流标称值；

I_S——判定电流实测值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

对每个耐压判定电流标称值应重复测量三次，每次测量结果均应符合规定。

② 断开开关 K，对判定电流标称最大值再次测试。负载电阻 R_2 置于较大值。手动调节，使输出电压升至标称最大电压。逐渐减少 R_1 或 R_2 的阻值。当被测耐压仪发出报警信号时，迅速读取电流表实测值。误差计算同公式(41-10)。重复测量三次，均应符合规定要求。

(5) 技术要求：判定电流误差一般为5%；10%。

II. 固定负载法

(1) 测试方框图，见图 41-6 及图 41-7。

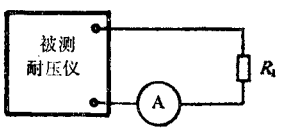


图 41-6

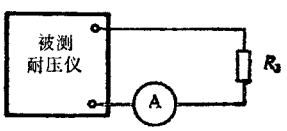


图 41-7

(2) 电路说明和要求

负载电阻 R_1 和 R_2 的值由下两式确定：

$$R_1 = \frac{100\text{V}}{I_P(\text{mA})}(\text{k}\Omega) \qquad (41\text{-}11)$$

$$R_2 = \frac{U_{\max}}{I_{P\max}} \qquad (41\text{-}12)$$

式中 I_P——欲测判定电流的标称值；

$I_{P\max}$——判定电流的最大标称值；

$U_{\max}$——额定最大输出电压。

(3) 规定条件：时间控制置于“手控”。

(4) 测试步骤

① 连接如图 41-6，将输出电压缓缓升至 100V 左右，当被测耐压仪发出报警信号时，迅速读取电流表实测值。重复测试三次。误差计算同测试方法 I。

② 连接如图 41-7。将输出电压缓缓升至最大电压。当被测耐压仪发出报警信号时，迅速读取电流表的实测值。重复测量三次。误差计算同测试方法 I。

(5) 技术要求：判定电流误差一般为5%；10%。

7. 耐压试验持续时间范围

last time range

耐压试验时耐压仪输出电压升至额定高压起到自动切断高压止的持续时间的区间。

8. 耐压试验持续时间误差 δ_T

last time accuracy

被测耐压仪耐压试验持续时间标称值和标准仪器的实测值相对偏差的百分数。

测试方法：

(1) 规定条件：时间控制方式置于“自动”。

(2) 测试步骤

将被测耐压仪输出电压升至额定值时，同步按下“计时”按钮及秒表开始计时，当高压输出指示灯熄灭时再次按下秒表。秒表指示值即为持续时间的实测值。电压试验持续时间误差由下式确定：

$$\delta_T = \frac{T - T_S}{T_S} \cdot 100\% \qquad (41\text{-}13)$$

式中 T——持续时间标称值；

T_S——持续时间实测值。

重复测量三次，每次测量结果均应符合规定。

(3) 技术要求：电压试验持续时间误差有以下几种：±1%；±2%；±5%；±10%；±20%；±50%。其中±20%和±50%仅适用于电压试验持续时间小于或等于1秒的情况。

9. 泄漏电流测量范围

test range of leakage current

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

被测耐压仪对泄漏电流的有效测量区间。

10. 泄漏电流测量误差

test accuracy of leakage current

指针式电流表泄漏电流测量误差(γ_I)——被测耐压仪泄漏电流指示值与标准仪器实测值的差除以被测仪器指示值上限所得商的百分数。

数字式电流表泄漏电流测量误差(δ_I)——被测耐压仪泄漏电流指示值与标准仪器实测值相对偏差的百分数。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 41-8。

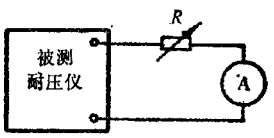


图　41-8

(2) 测试说明及要求

负载电阻 R 的阻值由规定的测试电压及欲测泄漏电流确定。

(3) 规定条件:时间控制方式置于"手控"。

(4) 测试步骤

将被测耐压仪输出电压升至规定电压,减小可变负载电阻 R 的阻值,在各电流检定点上同时记下被测耐压仪内电流表的指示值和外接电流表的实测值。泄漏电流测量误差由下两式确定:

$$\gamma_I = \frac{I - I_S}{I_m} \cdot 100\% \qquad (41\text{-}14)$$

$$\delta_I = \frac{I - I_S}{I_S} \cdot 100\% \qquad (41\text{-}15)$$

式中　I——被测耐压仪泄漏电流的指示值;

I_S——标准测量电流表的实测值;

I_m——被测耐压仪泄漏电流指示值上限。

(5) 技术要求:　泄漏电流测量误差一般为:±5%;±10%。

11. 绝缘电阻测量范围

test range of insulation resistance

被测耐压仪对绝缘电阻的有效测量区间。

12. 绝缘电阻测量误差　δ_R

test accuracy of insulation resistance

被测耐压仪测量绝缘电阻时指示值与标准电阻标称值相对偏差的百分数。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 41-9。

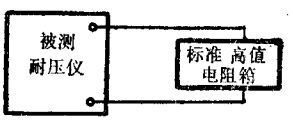


图　41-9

(2) 规定条件

被测耐压仪工作选择置于"绝缘电阻测量",时间控制置于"手控"。

(3) 测试步骤

按产品标准规定的检定点调整标准高值电阻箱示值,读出被测耐压仪绝缘电阻指示值。绝缘电阻测量误差由下式确定:

$$\delta_R = \frac{R - R_S}{R_S} \cdot 100\% \qquad (41\text{-}16)$$

式中　R——被测耐压仪测量绝缘电阻时的指示值;

R_S——外接标准高值电阻箱的示值。

(4) 技术要求:绝缘电阻测量误差一般为 5%;10%。

13. 最大输出功率

the maximum output power

耐压仪正常工作时所能输出的最大功率,等于最大输出电压与最大输出电流的乘积。(与高压变压器容量不能混淆。)

测试方法:

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

I. 可变负载法(仅适用于交流耐压仪)

(1) 测试方框图,同图 41-2。

(2) 规定条件: 时间控制置于"手控"。

(3) 测试步骤

将开关K断开，被测耐压仪输出电压升至最大值,此时输出电压实际值为:

$$U_m = K \cdot U_{AC-DVM} \qquad (41-17)$$

被测耐压仪"输出电压调节"保持不变，接通开关 K，调节负载电阻 R，使电流表的指示值为被测耐压仪标称功率在最大电压下的电流值，此时迅速读取交流数字电压表的指示值 U'_{AC-DVM}。按下式计算电压跌落相对值:

$$|\delta| = \frac{U_{AC-DVM} - U'_{AC-DVM}}{U'_{AC-DVM}} \cdot 100\% \qquad (41-18)$$

式中 U_{AC-DVM}——空载时交流数字电压表的指示值;

U'_{AC-DVM}——最大输出电流时交流数字电压表的指示值。

(4) 技术要求

① $|\delta|$ 应不大于 10%，即实际输出功率不低于标称功率的 90%。

② 被测耐压仪在最大输出功率状态下正常工作时间应不少于 10 分钟。

II. 固定负载法（适用于交流及直流耐压仪）

(1) 测试方框图,同图 41-1。

(2) 规定条件: 时间控制置于"手控"。

(3) 测试步骤

将开关K断开，被测耐压仪输出电压调至最大值。将开关K接通，记下准标电压表和电流表的指示值。被测耐压仪输出实际功率由下式确定:

$$N = V \cdot A \qquad (41-19)$$

式中 V——加负载后标准电压表的指示值;

A——加负载后标准电流表的指示值。

(4) 技术要求

① 实际功率应不低于标称功率的 90%。

② 被测耐压仪在最大功率状态下正常工作时间应不少于 10 分钟。

14. 标准冲击波峰值电压范围 U_P

peak voltage range

被测耐压仪输出标准冲击波峰值电压的区间。

15. 标准冲击波峰值电压误差 δ_{UP}

peak voltage accuracy

被测耐压仪输出标准冲击波峰值电压指示值与标准仪器的实测值相对偏差的百分数。

测试方法:

(1) 测试方框图,见图 41-10。

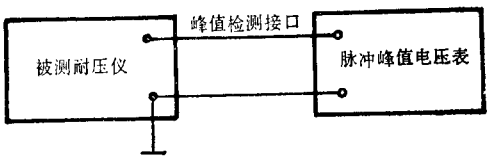


图 41-10

(2) 测试说明和要求

若测试信号从被测耐压仪的脉冲高压输出接口引出,则需加接一级电阻分压器,该分压器的要求为: 方波响应时间小 200ns; 分压比的误差小于± 1%; 输入阻抗大于 3kΩ。

(3) 规定条件:冲击次数选择置于"重复"。

(4) 测试步骤

对被测耐压仪的峰值电压表进行调零及峰值校正,调节其高压调节器,使直流高压升至所需值。调节球隙间距，至直流高压在不触发时不放电为止。按下高压启动键，被测耐压仪输出连续冲击波。读出被测耐压仪的峰值电压表指示值及标准脉冲峰值电压表的实测值。峰值电压误差由下式确定:

$$\delta_{UP} = \frac{U_P - U_{PS}}{U_{PS}} \cdot 100\% \qquad (41-20)$$

式中 U_P——被测耐压仪峰值电压表指示值;

U_{PS}——标准峰值电压表实测值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(5) 技术要求：峰值电压误差一般为±5%。

16. 标准冲击波波前时间误差　δ_{T1}

accuracy of time to crest

被测耐压仪输出脉冲波波前时间的实测值与标准值（1.2μs）相对偏差的百分数。

17. 标准冲击波半峰值时间误差　δ_{T2}

accuracy of time half value

被测耐压仪输出脉冲波半峰值时间实测值与标准值（50μs）相对偏差的百分数。

测试方法：

(1) 测试方框图，见图 41-11。

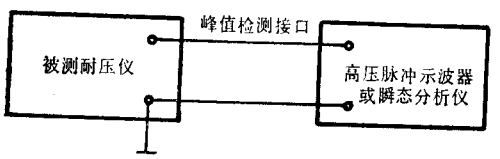


图　41-11

(2) 测试说明和要求

若使用高压脉冲示波器需另加摄影装置。

(3) 测试步骤

如图 41-11 连接，测试结果从所摄照片或打印输出上取得。波形误差由下两式确定：

$$\delta_{T1}=\left[\frac{T_1(\mu s)}{1.2}-1\right]\cdot 100\% \quad (41\text{-}21)$$

$$\delta_{T2}=\left[\frac{T_2(\mu s)}{50}-1\right]\cdot 100\% \quad (41\text{-}22)$$

式中　T_1——波前时间实际测量值；

T_2——半峰值时间实际测量值。

(4) 技术要求：波前时间为 1.2μs，误差为±30%。

半峰值时间为 50μs，误差为±20%。

注：①冲击耐压仪的冲击速率、冲击次数、触发控制等均为检查项目。

②当标准波的波前时间、半峰值时间为其它标准型式时，应将其参数代入(41-21)、(41-22)式计算波形误差。

③电源电压及误差的测试方法参照标准冲击波峰值电压范围、误差的测试方法进行，测试步骤中操作顺序按仪器说明书要求，数字式仪器误差计算同(41-20)式，指针式仪器误差计算按下式：

$$\gamma_{UP}=\frac{U_P-U_{PS}}{U_m} \quad (41\text{-}23)$$

式中　U_P——被测耐压仪峰值电压表指示值；

U_{PS}——标准峰值电压表实测值；

U_m——被测耐压仪峰值电压表满度值。

*　*　*　　*　*　*

本章技术指标和测试方法中所用主要测试仪器，汇总列表如下。

表 41-3　主要测试仪器汇总表

仪器名称	参　考　型　号	检定规程编号
高压静电电压表	Q2-V、Q3-V	JJG494-87
高压数字电压表	149-10A、149-30A、GY-30kV	
数字电压表	PZ7、DYJ-2A	JJG315-83
测量用电压互感器	HJ13、HJ16	JJG314-83
数字万用表	DT830、DT831	
失真度测量仪	BS-2、SZ-3、BS1	JJG251-81
低频毫伏表	DA-16、SX2172	
秒表	J9-1	JJG237-81
标准高值电阻箱	HM16501	
高压脉冲示波器	SSBG1302、SSBG8601	
瞬态分析仪	DD9500	
脉冲峰值电压表	64M	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第5节 安全耐压试验仪器按门类量值传递系统

1.标准波击安全耐压试验仪量值传递系统

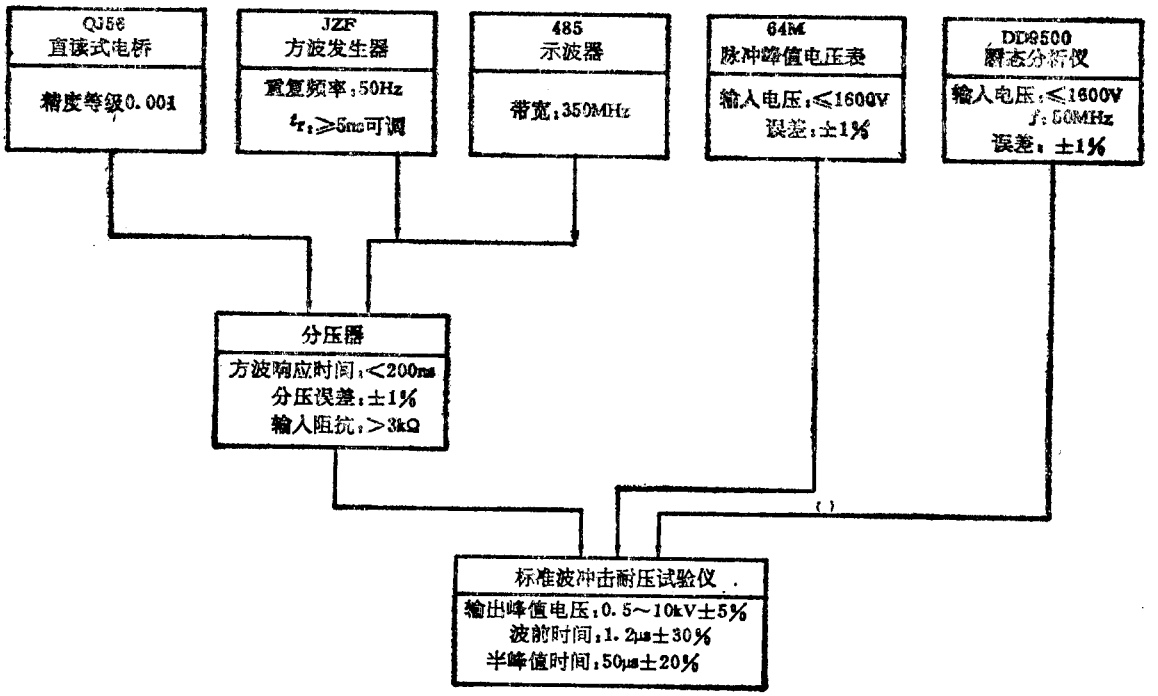


图 41-12

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 工频交流、直流安全耐压量试验仪值传递系统

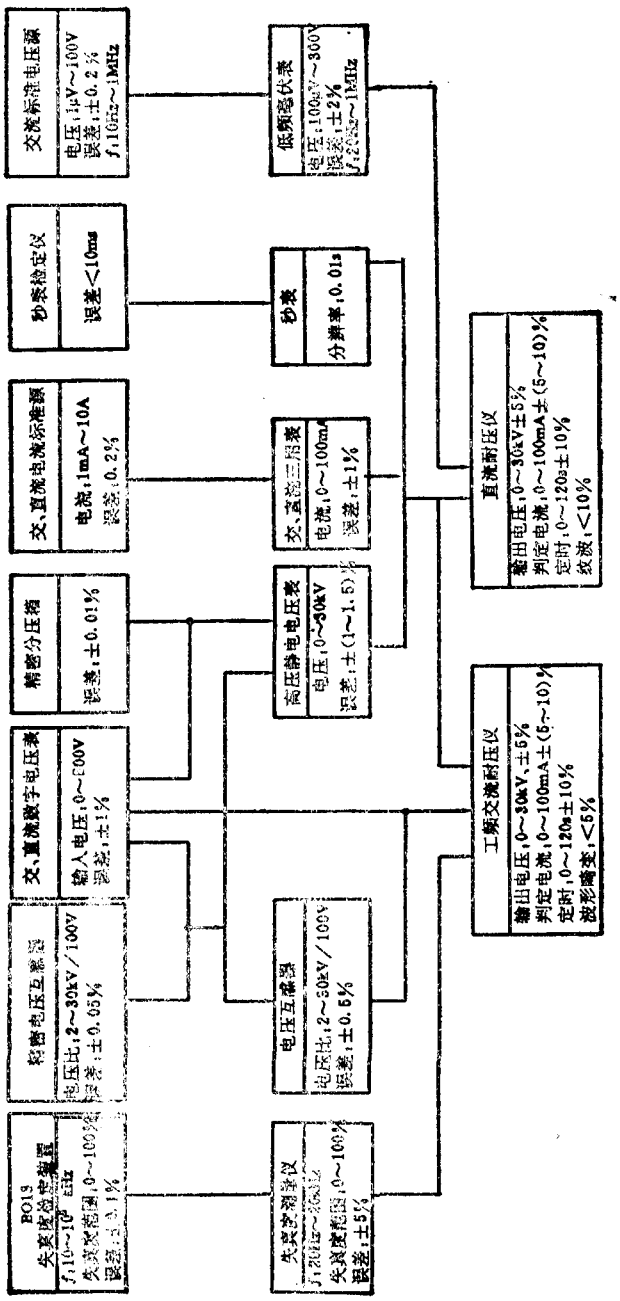


图　41-13

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

附　录

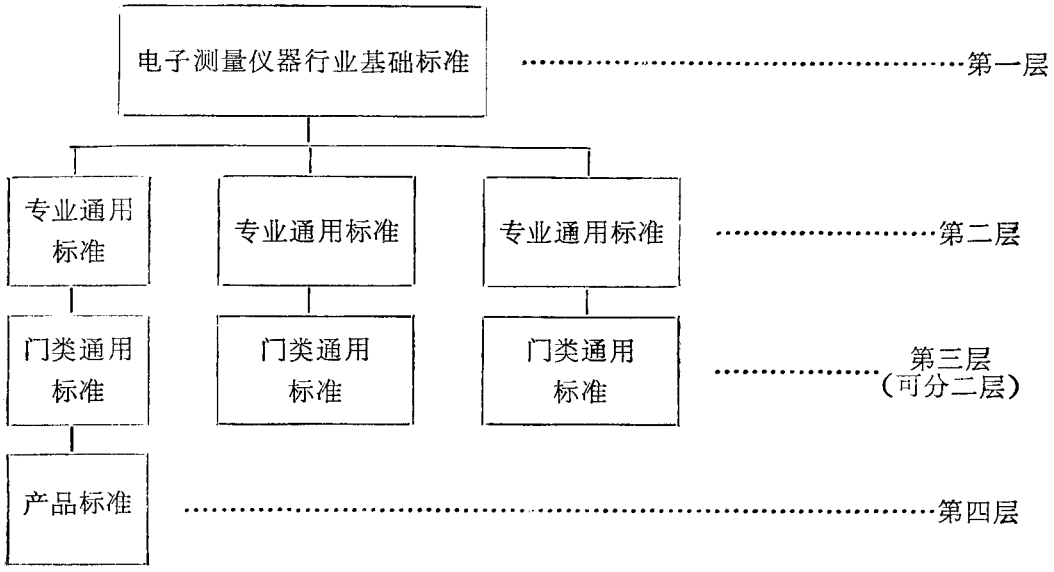
附录一　电子测量仪器标准体系及标准索引

一、电子测量仪器标准体系

标准体系表是一种指导性技术文件，是编制标准制、修订规划和计划的基础，是促进一定标准化工作范围内的标准化组成达到科学合理化的有效途径，是一种包括现有、应有和预计发展的标准和表明标准全面科学组成的文件，并将随着科学技术的发展而不断地得到更新和充实。

电子测量仪器标准体系表是电子仪器体系范围内所需标准的科学反映，又是编制标准化规划和计划的依据。

体系表的组成单元是标准而不是产品，因此不同于产品的分类，但也有一定的联系。体系表将根据产品的个性和共性要求来划分标准的层次。根据国家技术监督局关于标准体系表编制原则和要求，电子测量仪器行业按其共性和个性要求将标准分成四个层次，如下：



电子测量仪器行业基础标准为第一层，包括产品型号、文件、环境条件、电磁兼容、安全性、可靠性、可维修性、质量保证、包装贮存运输等综合性要求和试验方法，是科研、生产、鉴定、验收、使用、校验等环节中重要组成部分。适用于全行业范围内的通用电子测量仪器。并将根据国家经济、科学技术的发展，以及电子技术领域中的需要，力求成套、系统。现有的基础标准已基本成套，共有二十二个(见下表)。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电子测量仪器行业基础标准明细表(第一层)

序号	标准名称	标准号	采用国际和国外标准程度	相应的国际和国外标准号	备注
1	电子测量仪器环境试验总纲	GB6587.1	参照	HP 公司标准 IEC68	
2	电子测量仪器温度试验	GB6587.2	参照	HP 公司标准 IEC68	
3	电子测量仪器湿度试验	GB6587.3	参照	HP 公司标准 IEC68	
4	电子测量仪器振动试验	GB6587.4	参照	HP 公司标准 IEC68	
5	电子测量仪器冲击试验	GB6587.5	参照	HP 公司标准 IEC68	
6	电子测量仪器运输试验	GB6587.6	参照	HP 公司标准 IEC68	
7	电子测量仪器基本安全试验	GB6587.7	参照	HP 公司标准 IEC348	
8	电子测量仪器电源频率和电压试验	GB6587.8	参照	HP 公司标准	
9	电子测量仪器误差的一般规定	GB6592	等效	IEC350	
10	电子测量仪器质量检验规则	GB6593	参照	MIL-STD-105D MIL-T28800	Fluke 公司等
11	电子测量仪器可靠性试验	GB11463		IEC605、 MIL-STD-781C	
12	电子测量仪器热分布图	GB11465		HP 公司标准 MIL-T-23103	
13	电子测量仪器电气、机械结构基本要求	SJ946-83			
14	电子测量仪器电磁兼容性试验规范	GB6833.1～10	参照	HP 公司标准 MIL-STD-461 MIL-STD-462	
15	电子测量仪器安全要求	GB4793-84	等效	IEC348	正根据 IEC 新标准制订
16	电子测量仪器随机技术文件的编制	SJ2259-82	参照	IEC278	IEC 正在修改
17	电子测量仪器名词术语	GB11464	参照	IEC301、303	
18	电子测量仪器余量设计与模拟误用试验	GB/T13166-91		HP 公司标准	
19	电子测量仪器可维修性试验				
20	可程控电子测量仪器的一种接口系统	GBn249.1～249.2	参照	IEC625	
21	电子测量仪器运输、包装要求			ГОСТ25978-83	
22	电子测量仪器型号命名方法	SJ2089-82			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第二层为便于行业管理以产品为中心的专业分类和通用标准，暂分为以下二十五大类。

电子测量仪器专业分类和通用标准(第二层)

255 1	信号发生器
255 2	脉冲测量仪器和脉信冲号发生器
255 3	频率时间测量仪器
255 4	电压电流测量仪器
255 5	示波器
255 6	元件参数测量仪器
255 7	器件参数测量仪器(含电子管参数测量仪器)
255 8	集成电路测量仪器
255 9	信号分析仪器
255 10	功率测量仪器
255 11	网络分析仪器
255 12	相位测量仪器
255 13	衰减放大器测量仪器
255 14	微波综合测量仪器
255 15	电磁兼容测量仪器（E、M、C）
255 16	光电参数测量仪器
255 17	声振分析仪器
255 18	数据域测量仪器
255 19	通信测量仪器
255 20	电视录像测量仪器
255 21	广播、录像、音响测量仪器
255 22	稳定电源

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

255 23	记录显示仪器
255 24	安全参数测量仪器
255 25	测量辅助装置仪器

第三层为各专业范围内的门类通用标准。主要根据测量仪器的功能、测量参数和测量的对象来确定，对于同一类产品在其适用范围内将其共有的特性和通用的要求按排在该层次上。

第四层为产品标准。

二、电子测量仪器标准索引

（按本书章节排列为序）

标 准 名 称	类别或级别	编号或制定情况	采用国际标准情况
铷原子频标通用技术条件	国标	GB12498-90	
铷原子频标测试方法	国标	GB/T12499-90	
低速、中速型通用电子计数器通用技术条件	部标	SJ1457-	
低速、中速型通用电子计数器测试方法	部标	SJ1458-	
E312A 型电子计数器	部标	SJ/T·10109-91	
频率计数器通用技术条件	国标	报批稿	
频率计数器测试方法	国标	报批稿	
数字多用表通用技术条件	国标	正在制定	ANSIC39.6
数字多用表测试方法	国标	正在制定	
直流数字电压表通用技术条件	部标	SJ2314-83	IEC485
直流数字电压表测试方法	部标	SJ2315-83	IEC485
交流数字电压表通用技术条件	部标	SJ2943-88	ANSIC39.6
交流数字电压表测试方法	部标	SJ2944-88	
模拟电子电压表通用技术条件	国标	GB12116-89	ANSIC·36·
模拟电子电压表测试方法	国标	GB12117-89	
通用直流稳压电源术语、定义性能与额定值	部标	SJ2811.1-88	参照 IEC478
通用直流稳压电源测试方法	部标	SJ2811.2-88	参照 IEC478
交流输出稳定电源	国标	报批稿	
不间断电源设备	国标	GB7260-87	
磁放大式电子交流稳压器	国标	ZBN25001-87	
中功率计技术条件	部标	SJ2936-88	
中功率计测试方法	部标	SJ2937-88	
GX12 型功率计及同轴热敏电阻座	行标	SJ/T10103-91	
噪声发生器通用技术条件	国标	GB12179-89	
噪声发生器测试方法	国标	GB12180-89	
低温噪声源通用技术条件	部标	SJ3257-89	
同轴和波导可变衰减器总规范	国军标	GJB677-89	
电容参数测量仪通用技术条件	国标	报批稿	
电容参数测量仪测试方法	国标	报批稿	
L、C、R 测量仪通用技术条件	国标	报批稿	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

标 准 名 称	类别或级别	编号或制定情况	采用国际标准情况
L、C、R 测量仪测试方法	国标	报批稿	
ED2810 型 R、L、C 自动测量仪	行标	报批稿	
标准电感器通用技术条件		正在制定	
标准电感器测试方法		正在制定	
自动网络仪比对方法		正在制定	
短期频率稳定度测试方法	国军标	报批稿	
附加相位噪声测试方法	国军标	报批稿	
硬波导(含矩形、扁矩形、圆形、方波导)	国标	GB11450	
法兰盘	国标	GB11449	
单脊和双脊波导总规范	国军标	GJB679-89	
脊型波导(含单极、双极)	部标	SJ2114～SJ2118	
波导组件	部标	SJ2337～2345	
阶梯扭波导	部标	SJ2513-84	
切角弯波导	部标	SJ2514-84	
混频器总规范	国标	报批稿	
波导开关总规范		报批稿	
波导同轴转换器	国军标	报批稿	
射频环形器总规范	国军标	GJB676	
同轴连结器转换器总规范	国军标	GJB 680-89	
射频同轴连结器	国军标	GJB 681-89	
同轴假负载	国标	报批稿	
同轴开关	国标	报批稿	
场强干扰测量仪	国标	GB6113-85	
阴极射线示波器通用技术条件	国标	GB6586-86	IEC351-1
阴极射线示波器测试方法	国标	GB6585-86	IEC351-1
取样示波通用技术条件	国标	报批稿	IEC548
取样示波器测试方法	国标	报批稿	IEC548
数字存储示波器通用技术条件	国标	正在制定	IEC351-2
数字存储示波器测试方法	国标	正在制定	IEC351-2
ST-16 型通用示波器	行标	报批稿	
SR-8 型双踪示波器	行标	报批稿	
脉冲信号发生器技术条件	国标	GB9317-88	IEC624
脉冲信号发生器测试方法	国标	GB9318-88	IEC624
NF1535 型脉冲信号发生器	行标	SJ/T10108-91	
频谱分析仪通用技术条件	国标	GB11461-89	IEC714
频谱分析仪测试方法	国标	GB11462-89	IEC714
QF4031 型频谱分析仪	行标	报批稿	
失真度测量仪通用技术条件	国标	报批稿	
失真度测量仪测试方法	国标	报批稿	
ZN4112 型超低频失真度测量仪	行标	报批稿	
低频信号发生器通用技术条件	国标	GB12180-89	IEC716
低频信号发生器测试方法	国标	GB12181-89	IEC716
XD-1 型低频信号发生器	行标	报批稿	
高频信号发生器通用技术条件	国标	GB12114-89	IEC716
高频信号发生器测试方法	国标	GB12115-89	IEC716
QF1076 型标准信号发生器	行标	报批稿	IEC716

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

标 准 名 称	类别或级别	编号或制定情况	采用国际标准情况
XFG-7 型高频信号发生器	行标	报批稿	IEC716
QF1052 型信号发生器	行标	报批稿	IEC716
扫频信号发生器通用技术条件	国标	GB	IEC716
扫频信号发生器测试方法	国标	GB	IEC716
QH1350 型可程控扫频信号发生器	行标	SJ/T10110-91	
逻辑分析仪通用技术条件	国标	正在制定	IEC776
逻辑分析仪测试方法	国标	正在制定	IEC776
特征分析仪通用技术条件	国标	正在制定	
特征分析仪测试方法	国标	正在制定	
半导体特性图示仪通用技术条件	行标	SJ2388-83	已报国标
半导体特性图示仪测试方法	行标	SJ2389-83	已报国标
QT_2 型半导体特性图示仪技术条件	国标	GB11466	
QT_2 型半导体特性图示仪测试方法	国标	GB11467	
XJ4810 型半导体特性图示仪	行标	报批稿	
半导体管综合参数测试仪通用技术条件和测试方法	国标	报批稿	
中、小规模集成电路(静态)参数测试仪通用技术条件	国标	报批稿	
中、小规模集成电路(静态)参数测试仪测试方法	国标	报批稿	
GH3121 集成电路自动测试仪	行标	SJ/T10111-91	
声级计、电、声性能及测试方法	国标	GB3785-83	IEC651
HS5633 型数字声级计	行标	SJ/T10114	
声级计通用技术条件及测试方法	国标	正在制定	
声和振动分析仪用 1/1 和 1/3 倍频滤波器技术条件	行标	正在制定	
加速度计校准仪技术条件	行标	正在制定	
立体声信号发生器通用技术条件	国标	报批稿	
立体声信号发生器测试方法	国标	报批稿	
XT-24 型立体声信号发生器	行标	报批稿	
电视图象信号发生器通用技术条件	行标	SJ2938-88	
电视图象信号发生器测试方法	行标	SJ2939-88	
电视频道信号发生器通用技术条件和测试方法	行标	正在制定	
电视视频传输测量仪技术条件	国标	报批稿	
电视视频传输测量仪测试方法	国标		
电视波形监视器通用技术条件和测试方法	行标	正在制定	
视频杂波测试仪检定系统技术规范	国标	报批稿	
电平振荡器通用技术条件	行标	SJ2941-88	CCITT
电平振荡器测试方法	行标	SJ2942-88	
电平表通用技术条件	行标	SJ3210-88	
电平表测试方法	行标	SJ3211-88	
10kHz～18.6MHz 传输测试仪技术条件	国标	GB9039-88	
10kHz～100MHz 传输测试仪技术条件	国标	报批稿	
YX5071 型电平振荡器	行标	SJ/T10104-91	
YX5021 型电平表	行标	SJ/T10105-91	
通路传输自动测试设备技术条件	国标	报批稿	
群路自动监测系统技术条件	国标	报批稿	
微波中频综合测试仪技术条件	行标	报批稿	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

标 准 名 称	类别或级别	编号或制定情况	采用国际标准情况
杂音计技术条件	行标	报批稿	
139264kbit/s 相位抖动测试仪技术条件	国标	报批稿	
64.2048.8448.34368kbit/s 相位抖动测试仪技术条件	国标	报批稿	
2048.8448.34368.139264kbit/s 相位抖动分析仪技术条件	国标	报批稿	
2048.8448.34368.139264kbit/s 数字传输测试仪技术条件	国标	报批稿	
2048.8448.34368.179264kbit/s 数字传输分析仪技术条件	国标	报批稿	
34368kbit/s 误码测试仪技术条件	国标	报批稿	
34368kbit/s 误码分析仪技术条件	国标	报批稿	
139264kbit/s 误码分析仪技术条件	国标	报批稿	
139264kbit/s 误码仪测试仪技术条件	国标	报批稿	
564992kbit/s 误码测试仪技术条件	国标	报批稿	
564992kbit/s 误码分析仪技术条件	国标	报批稿	
五次群相位抖动测试仪技术条件	国标	报批稿	
五次群相位抖动分析仪技术条件	国标	报批稿	
五次群传输分析仪技术条件	国标	报批稿	
数据通信规程分析仪技术条件	国标	报批稿	
PCM 话路特性测试仪技术条件	国标	报批稿	
短波长光时域反射测试仪技术条件	国标	报批稿	
光纤色散测试仪技术条件	国标	报批稿	
光功率计技术条件和测试方法	国标	报批稿	
多模光纤频域带宽测试仪技术条件	国标	报批稿	
光测试器(暂定名)	行标	正在制定	
激光小功率计性能测试方法	国标	GB11153-89	
空气质量红外分析仪性能表示方法	推荐标准	SJ/Z9126-87	IEC528

附录二 电子计量器具检定规程索引

规程号 JJG 是国家电子计量器具检定规程

规程号 JJG (电子)是机械电子工业部电子计量器具检定规程

规程号 JJG (航天)是航空航天工业部电子计量器具检定规程

规 程 号	检定规程名称	规 程 号	检定规程名称
JJG 64—90	超低频信号发生器检定规程	JJG 136—86	CJS-2、3、4 型电容器介质损耗测量仪试行检定规程
JJG 66—90	高频电容损耗标准试行检定规程		
JJG 69—90	高频Q标准线圈试行检定规程	JJG 137—86	CC-6 型小电容测量仪检定规程
JJG 120—90	波形监视器检定规程	JJG 138—86	CCJ-1C 型精密电容测量仪检定规程
JJG 121—90	视频杂波测试仪检定规程	JJG 173—86	XFC-6A 型标准信号发生器检定规程
JJG 122—86	DO6 型精密有效值电压表检定规程		
JJG 127—86	HP4191A 型高频阻抗分析仪试行检定规程	JJG 174—85	XFG-7 型高频信号发生器检定规程

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

规程号	检定规程名称
JJG 197—79	LCCG-1 型高频电感电容测量仪试行检定规程
JJG 230—80	XFD-7A 型低频信号发生器试行检定规程
JJG 250—90	电子电压表检定规程
JJG 251—81	失真度测量仪检定规程
JJG 252—81	RS-2 及 RS-3 型校准接收机检定规程
JJG 253—81	用 Д1-2 型衰减标准装置检定衰减器检定规程
JJG 254—90	补偿式电压表检定规程
JJG 255—81	三厘米波导热敏电阻座检定规程
JJG 256—81	DYB-2 型电子管电压表检定仪检定规程
JJG 262—81	通用示波器试行检定规程
JJG 263—81	MFS-2A 型双脉冲信号发生器检定规程
JJG 278—81	示波器校准仪检定规程
JJG 279—81	WFG-1B 型高频微伏表检定规程
JJG 280—81	M4-1 型标准热敏电阻电桥检定规程
JJG 281—81	波导测量线检定规程
JJG 282—81	同轴热电薄膜功率座检定规程
JJG 303—82	频偏测量仪检定规程
JJG 308—83	超高频毫伏表检定规程
JJG 318—83	DO-2 型高频电压校准装置检定规程
JJG 319—83	超高频微伏表检定规程
JJG 320—83	波导噪声发生器检定规程
JJG 321—83	串联高频替代法检定衰减器检定规程
JJG 322—83	回转衰减器检定规程
JJG 323—83	波导型标准移相器检定规程
JJG 324—83	XG26 型超高频功率信号发生器检定规程
JJG 325—83	XFC-1 型超高频标准信号发生器检定规程
JJG 338—83	普通电荷放大器检定规程
JJG 339—83	XB33 型微波信号发生器检定规程
JJG 357—84	6460 型热电薄膜功率计试行检定规程
JJG 358—84	RR-2A 型干扰场强测量仪试行检定规程
JJG 359—84	300MHz 频率特性测试仪试行检定规程
JJG 360—84	同轴测量线检定规程
JJG 361—84	DO15 型标准脉冲电压表检定规程
JJG 362—84	DO16 型超高频微伏电压校准装置试行检定规程
JJG 381—86	BX-21 型低频数字相位计检定规程
JJG 382—85	QBG-1A 及 QBG-1B 型高频Q表试行检定规程
JJG 387—85	10MHz～18GHz 频段衰减器试行检定规程
JJG 409—86	射频同轴热电转换标准检定规程
JJG 410—86	精密交流电压校准源检定规程
JJG 411—86	300MHz 宽带示波器检定规程
JJG 418—86	HL18 型雷达综合测试仪检定规程
JJG 419—86	电信载频可变衰减器检定规程
JJG 420—86	高频标准零电平表检定规程
JJG 421—86	CJ-2 型高频介质损耗测量仪检定规程
JJG 422—86	WD-1 型微电位计检定规程
JJG 423—86	RR7 型干扰场强测量仪检定规程
JJG 424—86	TO7(TO7A)型衰减校准装置检定规程
JJG 435—86	同轴衰减型中功率座检定规程
JJG 437—86	调制度测量仪检定规程
JJG 438—86	XG-2 型标准信号发生器检定规程
JJG 439—86	中频精密截止式衰减器检定规程
JJG 442—86	UHF 电视扫频仪试行检定规程
JJG 446—86	931B 型有效值差分电压表检定规程
JJG 447—86	1103-(1～4)型同轴功率传递标准座试行检定规程
JJG 490—87	XC-14A 型脉冲信号发生器检定规程
JJG 491—87	1GHz 取样示波器检定规程
JJG 501—87	射频频谱分析仪检定规程
JJG 504—87	CLX-2 型和 CLX-20A/20B 型大接头平板型同轴测量线检定规程
JJG 507—87	精密步进电阻式衰减器检定规程
JJG 508—87	四探针电阻率测试仪检定规程
JJG 516—87	BJ2920(HQ2) 型数字式晶体三极管综合(直流)参数测试仪检定规程
JJG 530—88	低频移相器试行检定规程
JJG 532—88	三厘米波导标准负载检定规程
JJG 534—88	"1107-1～1107-5"系列波导射频功率传递标准检定规程

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

规程号	检定规程名称
JJG 542—88	慢扫描示波器检定规程
JJG 561—88	RJ-3 型近区电场测量仪试行检定规程
JJG 562—88	DCHY-801 型近区电场测量仪试行检定规程
JJG 599—89	低失真信号发生器检定规程
JJG 600—89	存贮示波器检定规程
JJG 611—89	RR3A 型干扰场强测量仪检定规程
JJG 106—81	指针式精密时钟检定规程
JJG 107—83	机械式秒表试行检定规程
JJG 180—78	电子计数器内石英晶体振荡器试行检定规程
JJG 181—89	高稳定石英晶体振荡器检定规程
JJG 200—80	外差式频率计检定规程
JJG 237—81	电秒表试行检定规程
JJG 238—81	410 型电子毫秒仪试行检定规程
JJG 292—82	铷原子频率标准检定规程
JJG 348—84	谐振式波长计检定规程
JJG 349—84	通用电子计数器检定规程
JJG 433—86	比相仪检定规程
JJG 434—86	彩色电视副载频校频仪检定规程
JJG 488—87	打点记录式校表仪试行检定规程
JJG 489—87	电子表校表仪试行检定规程
JJG 492—87	铯束原子频率标准检定规程
JJG 496—87	数字式石英电子秒表试行检定规程
JJG 502—87	频率合成器检定规程
JJG 503—87	PB-2 型十进频率仪检定规程
JJG 509—87	PP27 数字工频频率计试行检定规程
JJG 545—88	频标比对器检定规程
JJG 601—89	电子毫秒仪检定仪和秒表检定仪试行检定规程
JJG 602—89	数字式毫秒仪试行检定规程
JJG 603—89	指针式频率表试行检定规程
JJG (电子)01001-87	SCP-2 型时碍测频器试行检定规程
JJG (电子)03001-87	521A 型 PAL 矢量示波器试行检定规程
JJG (电子)04001-87	JS-2C 型晶体管反向截止电流测试仪试行检定规程
JJG (电子)04002-87	BJ3030 型高频小功率晶体管 $C_c \cdot r_{bb}$ 乘积测试仪试行检定规程
JJG (电子)04003-87	BJ2952A(JS-3A) 型晶体管反向击穿电压测试仪试行检定规程
JJG (电子)04004-87	BJ2911(HQ-1B) 型晶体管综合参数测试仪试行检定规程
JJG (电子)04005-87	JSS-4A 型晶体管低频H参数测试仪试行检定规程
JJG (电子)04006—87	BJ2913 型场效应管参数测试仪试行检定规程
JJG (电子)04007—87	BJ2950A(JS-4A)型晶体管工作电压测试仪试行检定规程
JJG (电子)04008—87	QE1A 型双基极半导体管测试仪试行检定规程
JJG (电子)04009—87	BJ2983 型晶体三极管正偏二次击穿测试仪试行检定规程
JJG (电子)04010—87	BJ2961 型晶体管集成电路动态参数测试仪试行检定规程
JJG (电子)04011—87	QG21-QG25 型高频小功率晶体管 F_t 测试仪试行检定规程
JJG (电子)04012—87	BJ3022(QJ30) 型低频大功率晶体管 F_t 测试仪试行检定规程
JJG (电子)05002—87	RCJ-3 型绝缘电阻测试仪试行检定规程
JJG (电子)05003—87	GY2610 型漏电流测试仪试行检定规程
JJG (电子)05004—87	LCD-1 型大电感测量仪试行检定规程
JJG (电子)05005—87	B-102 型钽电解电容器漏电流测试仪试行检定规程
JJG (电子)05006—87	1620 型电容测量装置试行检定规程
JJG (电子)05007—87	HP4192A 型低频阻抗分析仪试行检定规程
JJG (电子)09001—87	SH-3、SH-2 型标准衰减器试行检定规程
JJG (电子)09002—87	WILRON6409 型射频分析仪试行检定规程
JJG (电子)12001—87	VS14 型电视图像发生器试行检定规程
JJG (电子)12002—87	216/2 型彩条发生器试行检定规程
JJG (电子)12003—87	XT-1A 型视频图像信号发生器试行检定规程
JJG (电子)12004—87	363 型电视频道信号发生器试行检定规程
JJG (电子)12005—87	4001A 型音频扫频信号发生器试行检定规程
JJG (电子)12006—87	S305 型全频道彩色信号发生器试行检定规程
JJG (电子)12007—87	XT-13 型同步编码信号发生器试行检定规程
JJG (电子)12008—87	3080B 型 1 kHz 振荡器试行检定规程

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

规程号	检定规程名称
JJG（电子）12009-87	MSG-2161型调频立体声/调频、调幅信号发生器试行检定规程
JJG（电子）12010-87	XT-1B 型视频图象信号发生器试行检定规程
JJG（电子）12011-87	XT-24 型立体声信号发生器试行检定规程
JJG（电子）12012-87	SBUF 型电视测试发射机试行检定规程
JJG（电子）12013-87	ZN5970 型抖晃测量仪试行检定规程
JJG（电子）12014-87	MDA-456 型立体声解调器试行检定规程
JJG（电子）12015-87	811B 型电视机测量滤波器试行检定规程
JJG（电子）12016-87	843 型收音机录音机测量滤波器试行检定规程
JJG（电子）14001-87	HL-6 型雷达综合测试仪试行检定规程
JJG（电子）14002-87	HL-12A 型雷达综合测试仪试行检定规程
JJG（电子）15001-87	HP8970A 型噪声系数仪试行检定规程
JJG（电子）18001-87	CY2671 型万能击穿装置试行检定规程
JJG（电子）18002-87	2307 型电平记录仪试行检定规程
JJG（电子）02001-88	2610 型测量放大器试行检定规程
JJG（电子）02003-88	DO30-C型数学式三用表校验仪试行检定规程
JJG（电子）02004-88	用 DO40 型高频标准电压表检定 DO2 型高频电压校准装置试行检定规程
JJG（电子）02005-88	QF2010 型射频电压校准装置试行检定规程
JJG（电子）02006-88	262 型低热电势直流分压器试行检定规程
JJG（电子）03002-88	TEK1240/1241逻辑分析仪试行检定规程
JJG（电子）03003-88	特征分析仪激励器试行检定规程
JJG（电子）03004-88	AV3621 型特征分析仪试行检定规程
JJG（电子）03005-88	SQ-27 型取样示波器试行检定规程
JJG（电子）04013-88	BJ2912(QE7) 型稳压二极管测试仪试行检定规程
JJG（电子）04014-88	晶体管特性图示仪试行检定规程
JJG（电子）04015-88	QZ3、QZ4 型高频小功率晶体管 N_F 测试仪试行检定规程
JJG（电子）04016-88	BJ2984(QR-3) 型晶体三极管瞬态热阻测试仪试行检定规程
JJG（电子）04017-88	BJ2900 型双极型晶体管反向截止电流计量标准仪器试行检定规程
JJG（电子）04018-88	BJ2901 型双极型晶体管反向击穿电压标准仪器试行检定规程
JJG（电子）04019-88	BJ2902 型双极型晶体管管 H_{21E}、$V_{BE(sat)}$、$V_{CE(sat)}$ 计量标准仪器试行检定规程
JJG（电子）05008-88	I-0202 型不连续时间测试仪试行检定规程
JJG（电子）05009-88	TS-109 型电解电容器半自动分选仪试行检定规程
JJG（电子）05010-88	RT150/RT160 型继电器测试仪器试行检定规程
JJG（电子）05011-88	WZC-1A 型电位器综合测试仪试行检定规程
JJG（电子）05012-88	4165-1344 型接触电阻数字欧姆表试行检定规程
JJG（电子）05013-88	AV2551 型电位器动态接触电阻变化测量仪试行检定规程
JJG（电子）05014-88	HP4274A、HP4275A 多频 LCR 表试行检定规程
JJG（电子）05015-88	HP4342A 型Q表试行检定规程
JJG（电子）05016-88	HL2801 型数字式自动Q表试行检定规程
JJG（电子）05017-88	HP4276A、HP4277A 型 LCZ 表试行检定规程
JJG（电子）05018-88	HM2672型绝缘电阻测量仪试行检定规程
JJG（电子）05019-88	HM16501 型旋转式高电阻箱试行检定规程
JJG（电子）05020-88	GR1658 型 RLC 数字电桥试行检定规程
JJG（电子）05021-88	WQJ-1A 型精密万用电桥试行检定规程
JJG（电子）07001-88	HP8901A 型调制度分析仪试行检定规程
JJG（电子）07002-88	MSW-721E 型中频扫频仪试行检定规程
JJG（电子）07003-88	MSW-7124 型调频调幅扫频仪试行检定规程
JJG（电子）07004-88	DO29 型校准接收机试行检定规程
JJG（电子）07005-88	QF4021 型高频频谱分析仪试行检定规程
JJG（电子）09003-88	560A 型标量网络分析仪试行检定规程

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

规 程 号	检定规程名称
JJG (电子)09004-88	AV3611 型自动标量网络分析仪试行检定规程
JJG (电子)09005-88	QF11501 型系列步进衰减器试行检定规程
JJG (电子)10001-88	激光功率计试行检定规程
JJG (电子)11001-88	杂音仪试行检定规程
JJG (电子)11002-88	620kHz 以下低频电平振荡器试行检定规程
JJG (电子)11003-88	18.6MHz 及其以上频段选频电平表试行检定规程
JJG (电子)11004-88	620kHz～18.6MHz 电平振荡器试行检定规程
JJG (电子)11005-88	18.6MHz 及其以上频段电子振荡器试行检定规程
JJG (电子)11006-88	620kHz 以下低频选频电平表试行检定规程
JJG (电子)11007-88	620kHz～18.6MHz 选频电平表试行检定规程
JJG (电子)12017-88	MK-688E 型抖晃测量仪试行检定规程
JJG (电子)12010-88	ZN3991 型双通道分离度计试行检定规程
JJG (电子)15002-88	1023 型正弦信号发生器试行检定规程
JJG (电子)15003-88	3280 型射频晶体标志信号发生器试行检定规程
JJG (电子)15004-88	XFC-2 标准信号发生器试行检定规程
JJG (电子)15005-88	AILTECH7514 型精密自动噪声系数指示器试行检定规程
JJG (电子)15006-88	XB11 型标准信号发生器试行检定规程
JJG (电子)15007-88	XFK-1 型宽频带信号发生器试行检定规程
JJG (电子)18003-88	261 型微微安电流源试行检定规程
JJG (电子)01002-89	QF16101GAJF 5MHz 压控晶体振荡器试行检定规程
JJG (电子)01003-89	AD5121 型数字群时延测量仪试行检定规程
JJG (电子)01004-89	AD5122 型微波群时延测量仪试行检定规程
JJG (电子)02007-89	2627 型前置放大器试行检定规程
JJG (电子)03006-89	XJ4245 型立体声示波器试行检定规程
JJG (电子)03007-89	SL 型逻辑示波器试行检定规程
JJG (电子)03008-89	TEK7904 型 500MHz 宽带示波器试行检定规程
JJG (电子)04020-89	高频中小功率晶体三极管噪声系数计量专用样管试行检定规程
JJG (电子)04021-89	BJ3110 型 MOS 集成电路测试仪试行检定规程
JJG (电子)04022-89	Q01 型高频小功率晶体三极管 F_t 计量标准装置试行检定规程
JJG (电子)04023-89	BJ2970 型大功率半导体三极管 t_f 测试仪试行检定规程
JJG (电子)04024-89	BJ4801 型图示仪校准仪试行检定规程
JJG (电子)04025-89	Q04 型中小功率晶体三极管开关参数计量标准装置试行检定规程
JJG (电子)04026-89	BJ2985 型晶体三极管维持电压测试仪试行检定规程
JJG (电子)04027-89	1600 型集成电路直流参数测试系统试行检定规程
JJG (电子)04028-89	BJ3190 型集成运算放大器测试仪试行检定规程
JJG (电子)04029-89	J273B 型线性集成电路测试系统试行检定规程
JJG (电子)04030-89	SERLES-10 型 LSI 测试系统试行检定规程
JJG (电子)04031-89	9200 型大规模集成电路测试系统试行检定规程
JJG (电子)04032-89	BJ3122(QL11)型逻辑集成电路测试仪试行检定规程
JJG (电子)04033-69	BJ3123 型双极型逻辑集成电路测试仪试行检定规程
JJG (电子)04034-89	GR1731M 型模拟集成电路测试系统试行检定规程
JJG (电子)04035-89	GR1732M 型数字集成电路测试系统试行检定规程
JJG (电子)04036-89	GR1734 型存储器测试系统试行检定规程
JJG (电子)04037-89	HP5045A/5046A 型数字集成电路测试仪试行检定规程
JJG (电子)04038-89	100/TM-6 型数字集成电路测试仪试行检定规程
JJG (电子)05022-89	6000R 型继电器自动测试系统试行检定规程
JJG (电子)05023-89	6043 便携式 LC 表试行检定规程
JJG (电子)05024-89	QS-31 型电容分选电桥试行检定规程
JJG (电子)05025-89	315B 型电阻噪声测量仪试行检定规程

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

规 程 号	检定规程名称	规 程 号	检定规程名称
JJG (电子)05026-89	CD-3 型小电感电桥试行检定规程	JJG (电子)12026-89	MK-611A VTR 抖动测量仪试行检定规程
JJG (电子)05027-89	CD16 型磁性参数测量仪试行检定规程	JJG (电子)12027-89	VH01CZ 失落计数器试行检定规程
JJG (电子)05028-89	CD-19 型标准电感组试行检定规程	JJG (电子)12028-89	4143 型互易校准仪试行检定规程
JJG (电子)05029-89	ED2611 型电容器阻抗频率特性测试仪试行检定规程	JJG (电子)12029-89	VS23 型中频三音信号发生器试行检定规程
JJG (电子)05030-89	CCZ-1 型直读式电容测量仪试行检定规程	JJG (电子)12030-89	VS22 型电视非线性失真测试仪试行检定规程
JJG (电子)05031-89	YY2811 型 LCR 自动测量仪试行检定规程	JJG (电子)12031-89	TG92A2 电视测试信号发生器和 CC904B 彩色编码器试行检定规程
JJG (电子)05032-89	TF868A 型万用电桥试行检定规程	JJG (电子)12032-89	148 型电视插入测试信号发生器试行检定规程
JJG (电子)05033-89	RX7/0 型十进式电容箱试行检定规程	JJG (电子)12033-89	电视视频电平标准装置试行检定规程
JJG (电子)05034-89	HM2644 型电容器容量损耗分选仪试行检定规程	JJG (电子)15008-89	HP8672A 型合成信号发生器试行检定规程
JJG (电子)05035-89	S/A4210 温箱型电容温度系数测试系统试行检定规程	JJG (电子)15009-89	QF1050 型标准信号发生器试行检定规程
JJG (电子)05036-89	HM2642 型电容器容量损耗分选仪试行检定规程	JJG (电子)15010-89	WIL TRON6647A 型程控扫频信号发生器试行检定规程
JJG (电子)07006-89	HP8903A 音频分析仪试行检定规程	JJG (电子)15011-89	HP8620C/HP86290A 型扫频信号发生器试行检定规程
JJG (电子)07007-89	141T/8554B/8552B 型频谱分析仪试行检定规程	JJG (电子)15012-89	HP8640B 型信号发生器试行检定规程
JJG (电子)08001-89	DB-1 型电场标准装置试行检定规程	JJG (电子)18004-89	HP4140B 型微微安电流表/直流电压源试行检定规程
JJG (电子)09006-89	WILRON640 型射频分析仪试行检定规程	JJG (电子)01005-91	XW-7 型微波稳频器试行检定规程
JJG (电子)09007-89	八毫米精密回转衰减器试行检定规程	JJG (电子)01006-91	PO20 型校频定时接收机试行检定规程
JJG (电子)09008-89	FW3 型微波功率放大器试行检定规程	JJG (电子)03009-91	SO-20 型取样示波器试行检定规程
JJG (电子)11008-89	HP3764A 型数字传输分析仪试行检定规程	JJG (电子)03010-91	SG-1 型二线高灵敏度示波器试行检定规程
JJG (电子)11009-89	SPM-19 型智能选频电平表试行检定规程	JJG (电子)04039-91	GH3112 型集成电路动态逻辑功能检测仪试行检定规程
JJG (电子)12019-89	ZW3765A 型调频广播接收机和录音机测量滤波器试行检定规程	JJG (电子)04040-91	GH3181 型运算放大器测试仪试行检定规程
JJG (电子)12020-89	电视视频电平表试行检定规程	JJG (电子)04041-91	BJ3192 型集成运算放大器自动测试仪试行检定规程
JJG (电子)12021-89	1481 型电视波形监视器试行检定规程	JJG (电子)04042-91	GH3111/311G 型集成电路测试仪试行检定规程
JJG (电子)12022-89	VS13 型黑白电视电子测试卡发生器试行检定规程	JJG (电子)04043-91	TCG-1 型高频 C-V 特性测试仪试行检定规程
JJG (电子)12023-89	MDA-453 型调频线性解调器试行检定规程	JJG (电子)04044-91	YWS2988A 型整流二极管 I_{FSM} 和
JJG (电子)12024-89	ZN5310 型电视幅度调制器试行检定规程		
JJG (电子)12025-89	TA03BD 型电视多伴音信号发生器试行检定规程		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

规 程 号	检定规程名称	规 程 号	检定规程名称
	I^2t 测试仪试行检定规程	JJG (电子)15013-91	5200A 型函数发生器试行检定规程
JJG (电子)05037-91	HY2501 型精密电阻电桥试行检定规程	JJG (电子)15014-91	1～2GHz 微波信号发生器试行检定规程
JJG (电子)05038-91	715 型电位器线性示波器试行检定规程	JJG (电子)15015-91	1～2GHz 微波标准信号发生器试行检定规程
JJG (电子)05039-91	YY2781 型 RLC 三用表试行检定规程	JJG (电子)15016-91	2～4GHz 微波信号发生器试行检定规程
JJG (电子)05040-91	YY2511 型数字直流低阻表试行检定规程	JJG (电子)15017-91	2～4GHz 微波标准信号发生器试行检定规程
JJG (电子)05041-91	CJ2780 型三用误差分选仪试行检定规程	JJG (电子)15018-91	XB-31 型标准信号发生器试行检定规程
JJG (电子)05042-91	CD-22 型偏差电桥试行检定规程	JJG (电子)15019-91	XT-22 型梳状频率发生器试行检定规程
JJG (电子)05043-91	HP4272A 型 1MHz 预置容量表试行检定规程	JJG (电子)15020-91	XB-39 型厘米波稳幅标准信号发生器试行检定规程
JJG (电子)05044-91	HP4273A 型 1MHz 预置容量表试行检定规程	JJG (电子)15021-91	QF1020 型低失真低频信号发生器试行检定规程
JJG (电子)05045-91	HP4273 型 1KHz 预置容量表试行检定规程	JJG (电子)15022-91	通用脉冲信号发生器试行检定规程
JJG (电子)05046-91	GR1687 型数字多用表试行检定规程	JJG (电子)18005-91	工作用热偶真空计试行检定规程
		JJG (电子)18006-91	电阻真空计试行检定规程
JJG (电子)05047-91	CD9A 型精密万用电桥试行检定规程	JJG (电子)18007-91	QF1160 低通滤波器试行检定规程
		JJG (航天)2-82	5200A/5215A(5205A)交流校准器检定规程
JJG (电子)05048-91	DA-1 型电气安全参数测试仪试行检定规程	JJG (航天)3-82	931B 有效值差分电压表检定规程
JJG (电子)05049-91	J01/J02 型高频电容损耗标准试行检定规程	JJG (航天)4-84	YY10 型热电比较仪检定规程
		JJG (航天)5-84	直流标准电源检定规程
JJG (电子)07008-91	SWOF 型视频扫频频谱分析仪试行检定规程	JJG (航天)6-84	直流稳压电源检定规程
		JJG (航天)7-85	测量放大器检定规程
JJG (电子)07009-91	HP3577A 型网络分析仪试行检定规程	JJG (航天)8-85	拍频振荡器检定规程
		JJG (航天)9-85	2107 频谱分析仪检定规程
JJG (电子)07010-91	YH4032 型全景频谱分析仪试行检定规程	JJG (航天)10-85	2112 频谱分析仪检定规程
		JJG (航天)13-85	1172 频率响应分析仪检定规程
JJG (电子)10002-91	射频通过式中功率计试行检定规程	JJG (航天)14-85	JM1600 传递函数分析仪检定规程
JJG (电子)10003-91	射频终端式中功率计试行检定规程	JJG (航天)15-85	LZ3 系列函数记录仪检定规程
JJG (电子)12034-91	1617 型带通滤波器试行检定规程	JJG (航天)16-85	高频电子电压表及毫伏表检定规程
JJG (电子)12035-91	2010 型外差式分析仪试行检定规程	JJG (航天)17-85	低频中频电子电压表检定规程
JJG (电子)12036-91	HY6060 型驻极体传声器测试仪试行检定规程	JJG (航天)18-85	VM-3 标准检定装置衰减器检定规程
JJG (电子)12037-91	DF5990A 型扬声器谐振频率测量仪试行检定规程	JJG (航天)19-85	311 型相角标准检定低频相位计检定规程
JJG (电子)12038-91	MSW672 型抖晃校准仪试行检定规程	JJG (航天)20-85	312 型相角标准检定低频相位计检定规程
JJG (电子)12039-91	UZ-3 型白噪声信号发生器试行检定规程	JJG (航天)22-87	436A 型功率计检定规程
		JJG (航天)23-87	ME642A 电平和衰减校准装置检定规程
JJG (电子)12040-91	XJ5440 型波形监视示波器试行检定规程	JJG (航天)24-87	频差倍增器(频标比对器)检定规程

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

规 程 号	检定规程名称	规 程 号	检定规程名称
JJG（航天）25-87	XD-40 型电秒表校验仪检定规程	JJG（航天）42-87	高阻计检定规程
JJG（航天）26-87	射频频谱仪检定规程	JJG（航天）44-87	低真空膨胀式标准校准真空计检定规程
JJG（航天）27-87	调制度测量仪检定规程		
JJG（航天）28-87	JHF 型电视定时校频仪检定规程	JJG（航天）45-87	比对法校准真空计检定规程
JJG（航天）29-87	高稳定度标准频率源短期频率稳定度检定规程	JJG（航天）46-87	BO-7 型超低频相位计检定规程
		JJG（航天）47-87	789 型超低频精密移相器检定规程
JJG（航天）30-87	直流纳秒数字电压表检定规程	JJG（航天）48-87	CDB-2 型大电容标准检定规程
JJG（航天）34-87	交流数字电压表检定规程	JJG（航天）51-88	交流标准电流源检定规程
JJG（航天）35-87	交流数字电流表检定规程	JJG（航天）52-88	精密热电式直流电压转换装置检定规程
JJG（航天）36-87	直流数字电流表检定规程		
JJG（航天）37-87	直流数字欧姆表检定规程	JJG（航天）54-89	GLCD-1 型大功率计检定规程
JJG（航天）38-87	直流标准电流源检定规程	JJG（航天）58-89	SMS 信号发生器检定规程
JJG（航天）39-87	可携式兆欧表检定规程	JJG（航天）59-90	HP8662A 合成信号发生器检定规程
JJG（航天）40-87	峰值数字电压表检定规程	JJG（航天）61-91	CG5001 示波器校准仪检定规程
JJG（航天）41-87	微欧计检定规程	JJG（航天）62-91	频率响应分析仪检定规程

附录三 电子测量仪器产品一览表

本附录以介绍国产仪器为主，凡国内尚属缺项的，列入了部分有代表性的国外产品，供参考。

1. 频率标准

生产厂家	频标类型	型 号	技术指标	
			准确度	稳定度
大华无线电仪器厂	铷频标	PO-1A	1×10^{-10}	$1\times10^{-11}/s$
	铷频标	PO-1B	1×10^{-10}	$3\times10^{-11}/s$
	铷频标	PO-1 优	$<1\times10^{-10}$	$4\times10^{-12}/s$
星华无线电仪器厂	铷频标	PO1D	$<1\times10^{-10}$	$3\times10^{-11}/s$
	铷频标	H201	1×10^{-10}	$3\times10^{-11}/s$
	石英频标	XH3302	$5\times10^{-10}/d$	$3\times10^{-11}/s$
		PO16M		
南京电讯仪器厂	铷频标	PO30A	1×10^{-10}	$3\times10^{-11}/s$
	石英频标	EE1610A	$5\times10^{-10}/d$	$1\times10^{-11}/s$
	石英频标	EE1610C	$1\times10^{-10}/d$	$5\times10^{-12}/s$
上海市计量局	氢频标	SJH	10^{-12}	$5\times10^{-13}/s$
上海天文台	氢频标	SHAO-HM	10^{-12}	$2\times10^{-13}/s$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 频率(时间)计数器

(1) 频率计数器和微波计数器

生产厂家	型号	技术指标
石家庄市无线电四厂	SS3372	测频范围：0.1Hz～1GHz 测周范围：10ns～10s分辨率：7位/秒
	CN3165	同上
	SS3370A	测频范围：10Hz～600MHz 分辨率：0.1Hz/10s $f<10MHz$；1Hz/10s 10MHz$<f<$100MHz；10Hz/10s 100MHz$<f<$600MHz
	SS3341A	测频范围：10Hz～80MHz 分辨率：同上
	SS3340B	测频范围：10Hz～100MHz 分辨率：1Hz/s 晶振：1×10^{-8}/日
	SS3310	测频范围：1Hz～100kHz 分辨率：1Hz/s 1kHz 以下提高 1000 倍
浙江电子仪器厂	FC-1000L	测频范围：10Hz～1GHz 测周范围：0.4μs～0.1s 计数：10MHz
	CN3165	测频范围：A：0.1Hz～80MHz B:50MHz～1GHz 灵敏度：35mV 测周范围：10ns～10s 晶振：5×10^{-7}/日
宁波东风无线电厂	DF3321	测频范围：10Hz～40MHz 灵敏度：100mV 8位显示
	DF3322	测频范围：1Hz～10MHz 测周范围：0.4μs～10s 灵敏度：30mV
	DF3360	测频范围：10Hz～500MHz 灵敏度：100mV 8位显示
建华仪器厂	JH3320	测频范围：30Hz～25MHz 灵敏度：50mV
	JH3320	测频范围：15Hz～10MHz 灵敏度：50mV
景德镇市无线电厂	JW3372	测频范围：10Hz～1GHz 灵敏度：30～50mV
	PB-2C	测频范围：1Hz～10MHz 灵敏度：100mV 测脉宽范围：1μs～1s
合肥无线电三厂	DC3341	测频范围：5Hz～100MHz 灵敏度：80mV
	DC3313G	测频范围：10Hz～1kHz 分辨率：0.01Hz 电压范围：3V～300V
深峰电子仪器有限公司	SF-842A	测频范围：2Hz～100MHz 灵敏度：30mV 分辨率：1Hz/s 9 位显示
	SF-8610B	测频范围：2Hz～600MHz 其它同上
	SF-8000C	测频范围：2Hz～1GHz 其它同上
	SF-8500B	测频范围：2Hz～1.5GHz 灵敏度：(1～1.5GHz)175mV 其它同上
	SF6669	测频范围：1mHz～1GHz 灵敏度：100mV 等精度 6～8 位显示
南京电讯仪器厂	E432B	测频范围：10Hz～10MHz
	E434B	测频范围：10Hz～100MHz
	E436B	测频范围：10Hz～500MHz
	EE3373B	测频范围：10Hz～1000MHz
	E3313G	测频范围：10.000Hz～1000.00Hz
	EE3313	测频范围：10Hz～1MHz
	8000C	测频范围：10Hz～1000MHz
	EE434C	测频范围：10Hz～100MHz
	EE3373C	测频范围：10Hz～1000MHz
	E3251	扩展范围：0.3GHz～2GHz
	E3252	扩展范围：2GHz～8GHz
	E3253	扩展范围：8GHz～18GHz
	E3254	扩展范围：18GHz～26GHz
	E3255	扩展范围：26GHz～40GHz
	E3256	扩展范围：40GHz～60GHz

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

生产厂家	型 号	技 术 指 标
南京电讯仪器厂	EE3382	测频范围：10Hz～8.6GHz
	EE3384	测频范围：10Hz～18GHz 带GP-IB 接口 灵敏度：25mV(10Hz～500MHz)；10μW(0.5～18GHz)
	EE3383	测频范围：10Hz～12.4GHz 带GP-IB 接口 灵敏度：同上
北京大华无线电仪器厂	DH3381	测频范围：20Hz～7GHz 灵敏度：100mV 10位显示
	DH3382	测频范围：0.45～18GHz 分辨率：1Hz～100kHz 分六挡 灵敏度：20μW(0.45～6GHz)50μW(6～12.4GHz)150μW(12.4～18GHz)
	PW-10	测频范围：2.5～18GHz 灵敏度：10μW
成都前锋无线电厂	QF3360	测频范围：10Hz～500MHz
	QF3370	测频范围：10Hz～1000MHz
华东电子测量仪器研究所	PS60	测频范围：10Hz～2GHz
邮电部505仪表厂	QPL01	测频范围：10Hz～2MHz 灵敏度：100mV
邢台电子仪器厂	ZBS-PR	测频范围：20Hz～10kHz
上海无线电仪器厂	AS3321	测频范围：10Hz～10MHz 灵敏度：20mV
	S801	测频范围：10Hz～100MHz 灵敏度：100mV
	S803	测频范围：10Hz～300MHz 灵敏度：100mV
	S805	测频范围：10Hz～500MHz 灵敏度：100mV
	S807	测频范围：10Hz～700MHz 灵敏度：100mV
	S102	测频范围：0.4～250MHz 灵敏度：100mV
	PS-44	测频范围：10Hz～300MHz 灵敏度：100mV
星华仪器厂	XH3321	测频范围：0.01Hz～20MHz；灵敏度：100mV；具有频稳测试功能
	XH3343	测频范围：1Hz～100MHz；灵敏度：50mV
	XH3373	测频范围：1Hz～1GHz；灵敏度：50mV
	XH3591	测频范围：0.1Hz～100MHz；具有频稳测试功能

(2) 通用计数器和时间计数器

生产厂家	型 号	技 术 指 标
上海无线电仪器厂	AS3341	测频范围：10Hz～100MHz 测周：10ns～10s 测时：100ns～10s 灵敏度：50mV(50MHz 以下) 100mV(50MHz 以上) 晶振：1×10^{-8}/d
	AS3371	测频范围：10Hz～1000MHz 测周范围：0.5μs～10s 8位显示
	9515	测频范围：0～1.25GHz 分辨率：1Hz/s 测周范围：10ns～10s 测时范围：10ns～10^4s 带 GP-IB 接口
	S810	测频范围 10Hz～1000MHz 灵敏度：100mV 分辨率：10Hz/s 测周范围：1μs～10s 显示10位 晶振 5×10^{-9}/日
	S815	测频范围：0～500MHz 测周、测时范围：0.1μs～10s 灵敏度：100mV 晶振：5×10^{-9}/日
	PS-45A	测频范围：1Hz～500MHz 测周范围：0.1μs～10s 灵敏度：100mV 测时范围：0.1μs～10^4s 晶振：3×10^{-9}/日
	PS-43	测频：10Hz～100MHz；测周：10μs～10s；晶振：2×10^{-8}/日

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

生产厂家	型 号	技 术 指 标
石家庄市无线电四厂	1991 型	测频范围：DC～160MHz 分辨率：9位/s 测时范围：0～8×10^{3}s 测周范围：6.25ns～1.7×10^{3}s 可测相位、峰值电压
	1992 型	测频范围：DC～1.3GHz 其它同上
	SS7201 型	测频范围：0.001Hz～200MHz 测周范围：62.5ns～10^{3}s 测时范围：100ns～10^{3}s 分辨率：7位/s 晶振：5×10^{-9}/日
	SC-7201	指标同上 该机为日本岩崎公司引进组装
	SS3320A	测频范围：1Hz～10MHz 分辨率：1Hz/s(10MHz 以下) 测周、测时范围：0.5μs～10s
	SS3340A	测频范围：1Hz～100MHz 其它同上
长沙电子仪器厂	CF3321W	测频范围：10Hz～10MHz 测周范围：0.1μs～0.1s 晶振：3×10^{-8}/日 测时范围：1μs～16200s 带微处理器8位显示
南通电子仪器厂	NF3571B	时间间隔测量范围：10μs～1000s 测频范围：10Hz～1MHz 灵敏度：300mV 晶振：1MHz，5×10^{-6}/天
合肥无线电三厂	DC3321	测频范围：1Hz～10MHz 测周范围：0.4μs～10s 测时范围：0.25μs～10s 灵敏度：30mV 晶振：1×10^{-8}/日
景德镇无线电厂	E312C	测频范围：10Hz～30MHz 测周范围：1μs～1s 测时：1μs～10s 灵敏度：测频 60mV；测周 200mV；测时 500mV 晶振：5×10^{-8}/d
	E312C-1	扩展插件测量范围：5～200MHz 灵敏度：20mV
	E312C-2	扩展插件测量范围：30～500MHz 灵敏度：100mV
	JW3371	测频范围：10Hz～1GHz 测周：1μs～1s 测时：1μs～10s 灵敏度：50mV(测频)；200mV(测周)；500mV(测时)晶振：1×10^{-8}/日
	JW3381	测频范围：10Hz～1.1GHz 其它同上
深峰电子仪器有限公司	SF881A	测频范围：2Hz～100MHz 测周：0.5μs～0.1s 测时：$(0.01\sim2\times10^{6})$s
	SF882A	测频范围：A：2Hz～100MHz B：50～600MHz 其它同上
	SF883A	测频范围：A：2Hz～100MHz B：50～1000MHz 其它同上
	SF884A	测频范围：A：2Hz～100MHz B：80～1500GHz 其它同上
	SF6666A	测频范围：1mHz～100MHz 测周范围：10ns～100s 显示6～8位 灵敏度：100mV(1～10mHz)；10mV(0.01Hz～100MHz)
	SF6871A	测频范围：1mHz～600MHz 灵敏度：30mV(100～600MHz) 带 GP-IB 接口 其它同上
	SF6872A	测频范围：1mHz～1GHz 灵敏度：30mV(100～1000MHz) 带 GP-IB 接口 其它同上
	SF6873A	测频范围：1mHz～1.5GHz 灵敏度：100mV(1～1.2GHz)； 175mV(1.2～1.5GHz)
星华仪器厂	XH3371	测频范围：0.1Hz～100MHz；晶振：1×10^{-8}/日；微机控制测量
	PS75	测频：10Hz～100MHz；测周：1μs～10s；频率比：1/1～$(10^{9}-1)$/1
	PS74A	测频：1Hz～10MHz；配插件到1000MHz；测时：0.1μs～10s
	PS74B	测频：1Hz～10MHz；测周：0.1μs～10s
哈尔滨无线电七厂	TG3310W1	测频范围：20～99999Hz 灵敏度：500mV

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

生产厂家	型 号	技 术 指 标
南京电讯仪器厂	E312A	测频范围：1Hz～10MHz 测周、测时范围：0.4μs～10s 灵敏度：30mV 晶振：1×10^{-8}/日
	E3121A	频率扩展范围：5～105MHz
	E3122A	频率扩展范围：100～500MHz 灵敏度：50mV
	E3123A	频率扩展范围：100～1000MHz
	E3124A	低频精度倍增器频率范围：5～1000Hz 精度提高1000倍
	E324A	测频范围：10Hz～100MHz 测周、测时范围：0.1μs～10s 灵敏度：50mV 晶振：5×10^{-9}/日
	E325A	测频范围：10Hz～500MHz晶振：3×10^{-9}/日 其它同上
	E327A	测频范围：10Hz～1000GHz 灵敏度：20mV(100～1000MHz) 其它同上
	E3341	测时范围：0.1μs～10s
	NFC-100	测频范围：0.1Hz～100MHz 测周范围：0.4μs～10s 灵敏度：25mV
	NFC-1000	测频范围：0.1Hz～1GHz 灵敏度：50mV(100MHz 以上)其它同上
	NFC-1500	测频范围：0.1Hz～1.5GHz 其它同上
	NFC-3000	测频范围：0.1Hz～3GHz 其它同上
	E323A	测频范围：10Hz～50MHz 测周范围：1μs～10s 灵敏度：100mV
	E324	测频范围：10Hz～100MHz 其它同上
	E3241	测时范围：0.1μs～10s 分辨率：10ns
	EE3364	测频范围：0.005Hz～120MHz 测时范围：50ns～200s 带 GP-IB 接口 晶振：5×10^{-9}/日 十位 LED 显示
	EE3376	测频范围：10μHz～1.5GHz 测时范围：10ns～10^2s 带 GP-IB 接口 晶振：1×10^{-8}/日 八位 LED 显示
	EE3301	测频范围：0.01Hz～640MHz 测时范围：0～±100s 分辨率：1ns 灵敏度：100mV(10MHz 以下);50mV(以上)带微处理器可计算
	EE3366	测频范围：50μHz～500MHz 测周、测时范围：2ns～20000s 带 GP-IB 接口 11位 LED 显示 测量精度：1×10^{-9}
	EE3570	测时范围：1ns～10s 测时精度：1ns
	EE3571	测时范围：1μs～1000s 分辨率：1μs 可测多路信号

(3) 特种计数器

生产厂家	型 号	主 要 技 术 指 标
南京电讯仪器厂	EE3530	程控可逆多重预置计数器
浙江永康仪表厂	YK3532	10Hz～1MHz,可逆切换时间<1ns,可逆计数容量：1～10+18
	YK3533	预置范围：0.1～(10+1)ms;分辨力：$\pm5\times10^{-6}\pm1$
星华仪器厂	XH3310	微机控制工频测量仪,精度：十万分之五
	XH3589	测量继电器吸合、释放、过度时间的毫秒计;输入电压：1.5～60V
	H611	光电耦合累加计数器,计数容量：0～9999999;能对999组计数

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3. 频率比对器

生产、厂家	型　号	名　称	比对测量精度
大华无线电仪器厂	DH3242	有源校频比相仪	$2\times10^{-12}/30min$
石家庄无线电四厂	PO7 PO7A PO7B	频标比对器 频标比对器 频标比对器	$3\times10^{-12}/1s$ $1\times10^{-12}/1s$ $1\times10^{-13}/100s$
南京电讯仪器厂	EE3591 EE3301 EE3364	频标比对器 计算计数器 可程控计数器	$1\times10^{-11}/1s$ 1ns 10ns
星华仪器厂	XH3591 XH3590 XH3593 H30312	频稳测试仪 频稳测试仪 比相仪 电视定时校频仪	$3\times10^{-11}/1s$ $1\times10^{-13}/100s$ $1.2\times10^{-12}/1h$ $1\times10^{-11}/15min$
广州市计量所	CPB-3	彩色电视副载 波校频仪	$5\times10^{-12}/30min$ $3\times10^{-11}/10s$
烟台无线电三厂	XJ-2	线性相位记录仪	$1.2\times10^{-12}/h$
航天部 203 所	JP-4 DPF-1	彩电副载波校频仪 短期频率稳定度比对器	$1\times10^{-12}/30min$ $1\times10^{-14}/40s$ $5\times10^{-13}/\tau$ $10^{-11}\cdot f^{-1}+10^{-15}dBc/Hz$

4. 群时延测量仪

生产厂家	型　号	频率范围	量　程	分辨力	准确度	阻　抗	备注
西德W/G公司	LD-1	0.1～14MHz	±15ns～+15μs		+3%±3ns	75Ω 150Ω 600Ω 10kΩ	
	LD-2	200Hz～600kHz	±1μs～±20ms	±1μs	±3%±1.5μs		
	LD-4	50kHz～100MHz	10ns～20μs		±10%	75Ω	
	LD-30	20Hz～20kHz	±50μs～15ms	10μs		600Ω	
	DLM-4	200Hz～20kHz	0～10ms	10μs	±3%±15μs	150Ω 600Ω 高阻	
	DLA-5	200Hz～4kHz	0～10ms	10μs	±3%±20μs	600Ω 1000Ω 80kΩ	
	RM-5	35±5MHz 70±30MHz 140±50MHz	0.8ns～1600ns	0.2ns/div			
	SNA-2	100Hz～180MHz	0～2S	1ns/div	±2.5%		
西德R/S公司	LFM-2	0.1～60MHz		1ns	±10%±1ns	50Ω	
	ZPV	10Hz～2000MHz	1ns～1ms	1ns～100ns	±3%±3ns		
日本芝测公司	201/1 或 201/2	200kHz～10MHz	+100ns −400ns	10ns	±10%	70Ω	电视测量用
日本安立公司	ME453	70±25MHz	0～400ns	0.1ns/div	0.5ns/±25MHz		
安立公司	ME538	70±25MHz	0～400ns	0.1ns/div	0.5ns/±25MHz		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

生产厂家	型 号	频率范围	量 程	分辨力	准确度	阻 抗	备注
安立公司	ME646A	140±30MHz 4、5、6GHz	0～400ns	0.5ns	1ns/±30MHz ±0.8ns/±30MHz ±1.5ns/600MHz		
美国 HP 公司	8505A	500k～1300MHz	0～800ns	1ns～100ns	±3%	50Ω	
	4192A	5Hz～13MHz	0.1～19s				
	3577A	5Hz～200MHz	19s～20000s	0.01ns/div			
机电部十所	AD5121	3～120MHz	0～3000ns	0.1ns	±0.8ns	50Ω	
		4～6GHz	0～300ns +100ns	0.1ns	±1ns	50Ω	
		0.2～10MHz	−400ns	0.1ns	±10%	75Ω	
机电部十所	AD5120系列群时延标准	20Hz～9600 MHz			0.1%	50Ω 600Ω	

5. 数字式电压、电流、电阻测量仪器

(1) 数字多用表

位数	生产厂家	型 号	主 要 特 点	备 注
$7\frac{1}{2}$	北京无线电技术研究所	BY1970	具有 DCV、ACV、DCI、ACI、Ω五项测量功能，带微处理器和 IEEE-488 接口，最高准确度 2×10^{-6}.	
$6\frac{1}{2}$	天津中环科学仪器公司	HG1965A	具有 DCV、ACV、Ω 三项测量功能，带微处理器和 IEEE-488 接口，最高准确度 23×10^{-6}	Datron 1065A 国产化产品
	上海电表厂	PF49	具有 DCV、ACV、DCI、ACI、Ω五项测量功能，带微处理器和 IEEE-488 接口，基本误差 80×10^{-6}	Solartron 7151 国产化产品
	哈尔滨无线电七厂	DO26	具有 DCV、ACV 测量功能，基本误差 50×10^{-6}	
$5\frac{1}{2}$	北京无线电技术研究所	BY1955	具有 DCV、ACV、Ω 三项测量功能，带微处理器和 IEEE-488 接口，有 400 点存储，最高采样率 520次/秒，基本误差 20×10^{-6}.	Fluke 8520A 国产化产品
		BY1953	具有 DCV、ACV、DCI、ACI、Ω 五项测量功能，带微处理器和 IEEE-488 接口，基本误差 30×10^{-6}	Fluke 8840A 国产化产品
	上海电表厂	PZ115	DCV 测量功能，最高采样率 50 次/秒带微机和 IEEE-488 及 Centronic 接口，基本误差 0.01%	
		PZ62	DCV 测量功能，带微机和 BCD 码输出，基本误差 40×10^{-6}	
	哈尔滨无线电七厂	TG1951	具有 DCV、ACV、Ω 三项测量功能，带微处理器，基本误差 50×10^{-6}	
$4\frac{1}{2}$	北京无线电技术研究所	BY1941A BY1943	具有 DCV、ACV、DCI、ACI、Ω 五项测量功能，最高准确度 0.05% BY1941A 带内藏微型打印机	
		BY1942	具有 DCV、ACV、DCI、ACI、Ω、分贝、电导七项测量功能，交流为真有效值变换，最高准确度 0.05%	Fluke 8050A 国产化产品
	天津中环科学仪器公司	HG1941A	具有 DCV、Ω 两项测量功能，BCD 码输出，工作误差 0.03%	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

位数	生产厂家	型 号	主 要 特 点	备 注
$4\frac{1}{2}$	天津中环科学仪器公司	HG1942A	具有 DCV、Ω 两项测量功能，Ω 上限至 2000MΩ，工作误差 0.05%	
		HG1943	具有 DCV、ACV、DCI、ACI、Ω 五项测量功能，BCD 码输出，工作误差 0.05%	
		HG1944	具有 DCV、ACV 测量功能，交流为真有效值变换，工作误差 0.05%	
		HG1946	具有 DCV、ACV、DCI、Ω 四项测量功能，带微处理器及 IEEE-488、BCD 两种接口，工作误差 0.05%	
	上海电表厂	P28	DCV 测量功能，带 BCD 码输出，准确度 0.04%	
		P212a	DCV 测量功能，带 BCD 码输出，准确度 0.03%	
		PF3	DCV 测量功能，具有 20 路测量通道，准确度 0.05%	
	哈尔滨无线电七厂	TG1840	DCV 测量功能，带 BCD 输出，准确度 0.1%	
	北京瑞普电子仪器厂	Hz1941	DCV 测量功能，输入阻抗达 $10^{14}\Omega$，准确度 0.2%	
		Hz1942	具有 DCV、ACV、DCI、ACI、Ω 五项测量功能，准确度 0.04%	
		Hz1943	具有 DCV、ACV、DCI、ACI、Ω 五项测量功能，准确度 0.05%	

(2) 校准器

生产厂家	型 号	主 要 特 点
北京无线电技术研究所	BY2052	微处理器控制，带有 IEEE-488 接口的直流电压/电流校准器，直流电压输出范围 1μV～1099.999V，直流电流输出范围 1nA～109.9999mA，均可双极性工作，工作误差 0.004%(90d，20±5℃)
	BY2053	直流电压输出范围 1μV～1099.999V，直流电流输出范围 1nA～109.9999 mA，工作误差 0.004%(90d，20±5℃)
	BY2071	为直流电压、交流电压、电阻多功能定点校准器，准确度达 0.002% (90d，2.0±5℃)
	BY2072	为直流电压、电流、交流电压、电流、电阻五功能校准器，功能多，输出量程宽，准确度达 0.01%(90d，20±2℃)，适于 $4\frac{1}{2}$位及 $3\frac{1}{2}$位数字多用表和指针表的校准，也可作精密交流或直流恒压、恒流源使用
上海仪器仪表研究所	NJ-1	直流电压输出范围 1μV～±1111.1110V，工作误差 0.001%(30d) 最大输出电流 50mA
	YS40	交流电压输出范围 1～1000V，频率范围 40Hz～4kHz，输出电压准确度 0.05%
	YJ-93	可程控直流电压输出范围 0.1μV～1200V，输出电压准确度 ±0.005%，带 IEEE-488 接口
	YS66	可程控交流电压输出范围，1μV～1111.11V，频率范围为 10Hz～100kHz，准确度 0.04%，带 IEEE-488 接口
	HZ2050	为精密直流电流源，电流稳定度 5×10^{-6}/10min

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 直流电压参考标准

生产厂家	型 号	主 要 特 点
北京无线电技术研究所	BY2015	具有 10V、1V 定点输出，ΔE(000～999μV)，1.018V + ΔE，1.019V + ΔE 可调输出，传递误差 3×10^{-6}，稳定误差 15×10^{-6} (90d) 可电池供电，是 Fluke 731B 国产化产品

(4) 热传递标准

生产厂家	型 号	主 要 特 点
北京无线电技术研究所	BY2011	工作范围 0.25～1000V，分 14 个量程，AC/DC 传输比为 1:1，固有误差 0.02%，带宽 10Hz～1MHz

6. 模拟电子电压表

(1) 低频电压表

生产厂家	型 号	电压量程	频率范围	固有误差	频响误差
上海无线电仪器厂	DA-16	1mV～300V	20Hz～1MHz	±3%	±3～5%
	AS2291	双通道 1mV～100V	20Hz～500kHz	±3～5%	±3～5%
苏州电讯仪器厂	SX2172	1mV～300V	5Hz～2MHz	±2～10%	±2%
	SX2290A	双通道 1mV～300V	10Hz～1MHz	±3%	±3～5%
上海无线电仪器厂	S401	1mV～1V 分压器 1:100	20Hz～10MHz	±3%	±4～7%
苏州电讯仪器厂	SX2222	1mV～300V	20Hz～12MHz	±2%	

(2) 真有效值电压表

生产厂家	型 号	电压量程	频率范围	固有误差	频响误差
中原无线电厂	DA 24	1mV～300V	10Hz～10MHz	±2%	±1～5%
苏州电讯仪器厂	DA 30	1mV～300V	10Hz～10MHz	±2%	±3～7%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 射频毫伏表

生产厂家	型 号	电压量程	频率范围	固有误差	频响误差	驻波系数
前锋无线电仪器厂	DA36	1mV～10V	10kHz～1000MHz	±3%	±4～15%	≤1.3
中原无线电厂	HW2281	1mV～3V	10kHz～1000MHz	±3%	±3～15%	≤1.3
上海无线电仪器厂	AS2271	1mV～3V	10kHz～1000MHz	±3%	±3～15%	≤1.3
苏州电讯仪器厂	DA22	1mV～3V	5kHz～300MHz	±3%	±5%	≤1.3
上海无线电 26 厂	DAQ-2	1mV～3V	50kHz～1000MHz	±3%	±3～15%	≤1.3

7. 测试接收机

生产厂家	型 号	频率范围	电平测试范围	备 注
日本安立公司	ME642A	0.1～1200MHz	−15～130dBμ	
美国 HP 公司	HP8902A	2.5～1300MHz	−127dBm～0dBm	GP-IB
西德 R/S 公司	ESH3 ESVP	9kHz～30MHz 20～1300MHz	−17dBμ～137dBμ −5dBμ～137dBμ	GP-IB GP-IB
北京无线电二厂	DO-16	30～1000MHz	0～120dBμ	
前锋无线电仪器厂	DO29	450～1000MHz	1μV～3V	
大华无线电仪器厂	RS-17 RS-18	0.5～12.4GHz 0.5～12.4GHz	相对测量 60dB 相对测量 60dB	
永华无线电仪器厂	RS-12 RS-13B	10MHz～12.4GHz 2～12.4GHz	相对测量 70dB	
华东电子测量仪器研究所	AV3921	1～18GHz		

www.789pdf.com 789书库网

8. 稳定电源

(1) 直流输出

厂家	产品 名称	产品 型号	输出电压	源效应 CV (CC)	负载效应 CV (CC)	纹波 CVmV (CCmA)	备注 (具有功能)
北京大华无线电仪器厂 (北京大华新电源公司)	多路精密稳压电源	WD8A/B	5～6V/12～15 30V/18～24	5×10^{-5}	5×10^{-5}	1p-p	各路可串联
	双路稳压稳流电源	DH1715	0～18,24,32V 0～4,3,2,1A	$1\times10^{-5}+1mV$ (2mA)	$1\times10^{-5}+2mV$ (10mA)	0.5 rms (5 rms)	数显、遥控、串并联、双路
	稳压稳流电源	DH1716	0～12,18,35,60,100V 0～50,30,20,10,5A	$5\times10^{-5}+1mV$ ($5\times10^{-5}+10mA$)	$1\times10^{-5}+2mV$ ($5\times10^{-3}+10mA$)	1 rms (20 rms)	数显、过压保护、串并联、源开关保护
	双路跟踪稳压稳流	DH1718	0～20,32,60V 0～1,2,3A	$1\times10^{-4}+1mV$ ($1\times10^{-4}+5mA$)	$1\times10^{-4}+2mV$ ($1\times10^{-4}+20mA$)	0.5 rms (5 rms)	主从跟路、双路、可串并联
	单路稳压稳流	DH1719	0～18,24,32,55,100V 0～1,2,3,4,5A	$1\times10^{-5}+1mV$ (2mA)	$1\times10^{-5}+2mV$ (10mA)	0.5 rms (5 rms)	数显、遥控、可串、并、主从
	单路稳压稳流	DH1720	0～20,32,55,70,100V 0～2,3,4,6,10A	$1\times10^{-4}+1mV$ ($1\times10^{-4}+5mA$)	$1\times10^{-4}+2mV$ ($1\times10^{-4}+10mA$)	2 rms (5 rms)	串并、廉价
	中高压稳压稳流	DH1722	0～70,110,160,250 330,1000,1600V 0～5,3,2,1.2,0.8,0.3	$1\times10^{-5}+3mV$ ($1\times10^{-5}+5mA$)	$1\times10^{-5}+5mV$ ($1\times10^{-5}+5mA$)	3 rms (10 rms)	双稳
			0.1A 0～3000V 0～0.03A	$1\times10^{-5}+3mV$ ($1\times10^{-5}+5mA$)	$1\times10^{-5}+5mV$ ($1\times10^{-5}+5mA$)	3 rms (10 rms)	双稳
	中压中功率稳压稳流	DH1724	10～200V, 15～250V 0～2.5A, 0～2A	5×10^{-4} ($1\times10^{-3}+5mA$)	5×10^{-4} ($5\times10^{-3}+10mA$)	10 rms (5 rms)	并联、过压保护
			20～330V, 25～500V 0～1.5A, 0～1A	5×10^{-4} ($1\times10^{-3}+5mA$)	5×10^{-4} ($5\times10^{-3}+10mA$)	10 rms (5 rms)	并联、过压保护
			30～600V 0～1A	5×10^{-4} ($1\times10^{-3}+5mA$)	5×10^{-4} ($5\times10^{-3}+10mA$)	10 rms (5 rms)	并联、过压保护
	单路稳压稳流电源	DH1780	0～20,32,50,70 100V 0～3,2,1.2,1,0.6A	$1\times10^{-4}+2mV$ ($1\times10^{-4}+5mA$)	$1\times10^{-5}+5mV$ ($1\times10^{-4}+20mA$)	0.5 rms (5 rms)	数显、串并联
	多路中压电源	DH1722-T_1	90～110V 0.5A 120～220V 1A	1×10^{-3}	1×10^{-3}	0.01%	可串联、短路保护国标 III 组

www.789pdf.com 789书库网

续表

厂家	产品 名称	产品 型号	输出电压	源效应 CV (CC)	负载效应 CV (CC)	纹波 CVmV (CCmA)	备注 (具有功能)
			135～165V 0.5A 270～330V 1A	1×10^{-3}	1×10^{-3}	0.01%	可串联、短路保护、国标 III 组
	灯丝及高压电源	DH1722-T_2	+1.5～2.0kV 5mA				
			−1.5～2.0kV 5mA				
			直6.3V/3A 6.3V/5A, 6.3V/20A 交5V/4A 2～3V/1A				国标 III 组
北京大华无线电仪器厂 （北京大华新电源公司）	可控硅中功率电源	WD12	1～15V 35A 2～30V20A	15V 以下 150mV	1% + 50mV 1% + 100mV	300mV 600mV	输出功率大、具有过压、过流报警
			4～50V 10A 5～100V 5A	15V 以上 1%	1% + 50mV 1% + 100mV	500mV 1V	保护点可调
	电解电容日可靠性	DH1721	0～250V/1A	0.1%	0.1% + 10mV	0.1% + 10mV	过压过流报警、保护点可调
	试验电源						备有泄放电阻
	交直流电解电容器试验电源	DH1761	0～250V/1A 3台	0.1%	0.1% + 10mV	0.1% + 10mV	可长时间连续工作、过压过流报警
			交流 0～10V, 0～30V 30A 3台				符合电容器标准考核要求
		DH1718 A-3路 B-2路 C-1路	1A 0—30V, 2A 5A	1×10^{-4} + 2mV	1×10^{-4} + 2mV 2×10^{-4} + 2mV 3×10^{-4} + 2mV	1 rms	步进分10档、自动截流保护
	双路稳压电源	DH1729	0—32V 0—2A 双路	1×10^{-4} + 2mV	1×10^{-4} + 2mV	0.8 rms	可跟踪误差 5×10^{-3} +2mV
	直流通信电源	DH1781 A B C	6A 13.8V 10A 13A	5×10^{-4} 1×10^{-3}	1×10^{-3} 2×10^{-3}	1 rms	
	带充电用直流通信电源	DH1782 A B C	6 13.8V 10A 13	5×10^{-4} 1×10^{-3}	1×10^{-3} 2×10^{-3}	1 rms	
	开关电源	DH1792	5V5A	1×10^{-3}	1×10^{-2}	100 p-p	

www.789pdf.com 789书库网
www.789pdf.com 789书库网

北京大华无线电仪器厂	开关电源	DH1762	±5V ±12V 200W	5×10^{-3}	1×10^{-2}	100 p-p	效率 75% 保持 20ms
	开关电源	DH1797	±5V ±12V 150W	5×10^{-3}	1×10^{-2}	100 p-p	效率 75% 保持 20ms
	开关电源	DH17200	+5V 20A −5V 0.5A +12V 7A	5×10^{-3}	1×10^{-2}	100 p-p	效率 75%
			−12V 0.5A				
	高压电源	DH1731	0～3000V 50mA	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	
	高压电源	DH1732	0～1000V 200 μA	5×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-3}	
	速调管电源	WY-19	240～400V 25～50mA	5×10^{-4}	5×10^{-4}	10mV	
			0～600V 0.3mA	5×10^{-4}	5×10^{-4}	10mV	
			灯丝 6.3V/0.55～0.85A				
			内调制 0～100V 方波 1000Hz				
			锯齿 300Hz 0～100V				
	高压速调管电源	WYG10A/B	300～2200V/3000V 0～60mA	1×10^{-3}	1×10^{-3}	100mV	
			−20～−900V	5×10^{-4}	5×10^{-4}	30mV	
			−100～+150V/ −250～+140V	1×10^{-3}	1×10^{-3}	50mV	
			内调制 0～75V				
			方波 1000Hz 锯齿 300Hz				

www.789pdf.com 789书库网
www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	产 品		输出电压	源效应	负载效应	纹 波	备 注（具有功能）
	名 称	型 号		CV（CC）	CV（CC）	CVmV（CCmA）	
广东顺德县无线电一厂	直流稳压电源	DVD1722	0～30V 0～2A	1×10^{-3}	1×10^{-3}	5 p-p	
	充电稳压电源	DVD1731	13.6V 0～10A	5×10^{-4}	1×10^{-3}	10 p-p	
江苏连云港无线电厂	双路直流稳压	GD1722W301	0～30V 1A	1×10^{-3}	5×10^{-3}	5	串、并联
	双路直流稳压	GD1721W303	0～30V 3A	1×10^{-3}	5×10^{-3}	5 p-p	
国营前锋无线电仪器厂	直流稳压	QF1712	0～30V 0～3A	3×10^{-4}	3×10^{-3}	0.4 rms	
	直流稳压	QF1721M	0～15V 0～5A	3×10^{-4}	3×10^{-3}		
温州精密电子仪器厂	稳压稳流	WYJ30V10A	0～30,150,350V 1,2,3,5,10A	$5\times10^{-4}+2.5$mV	$1\times10^{-3}+2.5$mV	1	
国营红华仪器厂	双路稳压稳流	HH1710	0～32V 0～2A，0～1A	$1\times10^{-5}+1$mV（2mA）	$1\times10^{-5}+2$mV（10mA）	0.5 rms（1 rms）	数显
	稳压稳流	HH1711	0～32V 0～2A	$1\times10^{-5}+1$mV（2mA）	$1\times10^{-5}+2$mV（10mA）	0.5 rms（1 rms）	数显
国营星华仪器厂	小型直流稳压	XH1711	0～30V 0～2A	输出电阻 0.05Ω（漂移 5×10^{-4}）	温度系数 5×10^{-4}/℃	A档 1rms B档 0.5rms	
	直流稳压	XH1710	0～30V 0～3A	输出电阻 0.05Ω（漂移 5×10^{-4}）	温度系数 5×10^{-4}/℃	1 rms	
邗江无线电仪器厂	直流稳压稳流	WYL-610	0～6V 10A				
	直流稳压稳流	WYL-620	0～6V 20A				
	直流稳压稳流双路	JWY-24	1～24V 3A				
	串联开关稳压		0～6,24,30,40V 10,20,30,40,50A				

www.789pdf.com 789书库网
www.789pdf.com 789书库网

温州电器厂	直流稳压	WYJ-305	0.5～30V 0～5A				
		WYJ-3010	0.5～30V 0～10A				
石家庄市无线电四厂	直流稳压电源	JWY-30C	0～30V 3A，1A	输出电阻 3mΩ，5mΩ	温度系数 3×10^{-4}/℃		
温州市电子器材厂	双路稳压电源	WYJ-3B	0～30，45V 3A	1×10^{-3}	3×10^{-3}	1 rms	
	稳压电源	WYJ-3A	0～30,60V 3A	1×10^{-3}	3×10^{-3}	1 rms	
北京无线电仪器厂	8 路直流稳压	BJ1730	4～36V 四档 0～1A	5×10^{-3}	1×10^{-2} 额定输出		
	直流稳压	BJ1731	0～30V 0～20A	5×10^{-4}	3×10^{-3}	5	
北京计算机配件四厂	直流稳压	ML1732	25.8±0.5% 1～10A	5×10^{-3}	5×10^{-3}		停电 30ms 输出 10ms 停电信号
	直流稳压	WY30A-1	1～30V 0～30A	5×10^{-3}	5×10^{-3}	1.5 rms	
天津无线电元件三厂	直流稳压	WYJ-15	0～15V 5A				
	直流稳压	WYJ-30-3	0～30V/3A				
建华仪器厂	直流稳压	JWY-30D	0～30V 1A,2A	1×10^{-2}	1×10^{-2}		
	直流稳压电源	JH1711	0～50V 0～2A	0.1%	0.1%		
庆华仪器厂	直流稳压电源	QWQ-1	±3V～±12V/0.5A ±12V～±25V/0.5A				
永华无线电仪器厂	直流稳压电源	YH1710	0～45V 0～2A 二路				

www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	产品 名称	产品 型号	输出电压	源效应 CV (CC)	负载效应 CV (CC)	纹波 CVmV (CCmA)	备注 具有功能
上海无线电 26 厂	双路直流稳压电源	WQQ-1	0.5～25V 1A			5 p-p	
泰兴电子仪器厂	直流稳压电源	WYJ-151	1～15V 0～1V				
	直流稳压电源	WYJ-153	1～15V 0～3A				
沈阳市无线电十六厂	直流稳压电源	WYJ-5	±0.5～±30V 1A,3A	1×10^{-3}	1×10^{-2}	5	短路,过载自动保护
兰州市国营红卫机器厂	高压电源	SJX-2 (QL1711)	0～3kV 1mA	5×10^{-4}		15	过载保护
	多功能实验仪	DSY-1	1.00000～1.10000V 2mA	0.00005V			可输出矩形波 200～6000Hz ≥20V
			1.5～6.0V 0～1500mA	1×10^{-3}		1	宽度可调 前后沿<1μs
			−1.2～−6.0V 0～1500mA	1×10^{-3}		1	锯齿波 200～6000Hz ≥10V
			+12～+15V 0～1000mA	5×10^{-3}		1	正弦波 5、50、200、400、1k,3k,10k,20kHz
			−12～−15V 0～1000mA	5×10^{-3}		1	误差±10% 幅度≥10V
中科院半导体所	开关直流恒功率		6V 20V 50W	功率变化 (0.5%/小时)	负载电阻 15 倍变化, 2～8A 变化 2%	10p-p	工作频率 20kHz
中船公司 724 所	开关恒功率,压、流		10～3000V 110W	1×10^{-2} (2～200mA 2×10^{-2})			

www.789pdf.com 789书库网
www.789pdf.com 789书库网

(2) 交流输出

厂　家	产品名称	产品型号	输入电压	输入频率	输出电压功率	稳定性	失真度或总谐波含量	恢复时间或响应速度	效率%
北京大华无线电仪器厂	数控补偿型	DH1740A-1	185～250V	50Hz	220V 1kVA	3.3%	同电网	60～90ms	92%
北京大华新电源公司	交流稳压电源	DH1740A-3	185～250V	50Hz	220V 3kVA	3.3%	同电网	60～90ms	92%
		DH1740A-5	185～250V	50Hz	220V 5kVA	3.3%	同电网	60～90ms	92%
	开关式补偿精密交流稳压电源	DH1741	185～250V	50Hz	220V 1kVA	0.5%	同电网		93%
国营卫华仪器厂	高精度快响应电源调节器	WH17900	198～242V	50Hz	210～230V 2kVA	0.1% 1%	尖锋吸收 50J	完全矫正时间：下陷1圈浪涌3周	97%
	单相交流电源调节器	WH1790	170～248V	50Hz	202～233V 1kVA		尖锋抑制 33dB	完全矫正时间 20±10ms，	94%
	单相交流电源调节器	WH17900B	186～257V	50Hz	205～235V 1kVA			完全矫正时间 20±10ms，	96%
	单相交流电源调节器	WH17900A	187～256V	50Hz	220V 1kVA	7%	附加失真 0.5%	完全矫正时间 10—30ms	96%
	参数稳压器	WH35000	220V±20%	50Hz	220V 500VA	3%	对称波失真 6%		
	单相超隔离变压器	WH38000	220V±15%	50Hz	220 50VA～10kVA	15%	共模噪声衰减 120dB		

www.789pdf.com 789书库网
www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	产品名称	产品型号	输入电压	输入频率	输出电压功率	稳定性	失真度或总谐波含量	恢复时应或响应速度	效率%
国营卫华仪器厂	三相超隔离变压器	WH48000	220/380V±15%	50Hz	220/380V 3kVA～30kVA	15%	共模噪声衰减 120dB		
温州市精密电子仪器厂	CVT 磁共振交流稳压器	JJA	176～250V	50Hz 60Hz	220V 0.25～10kVA	2% 3%	3.5%	共模抑制 65dB	85%
	单相大功率高精度电子交流稳压器	DJA	160～260V	50Hz	220V 0.5～50kVA	0.5%	5%	应变时间 0.2s	
	三相大功率电力稳压器	SJA	380V±20%	50Hz	380V 可调±10%	2%	无附加失真		98%
华东电子仪器厂	磁放大式电子交流稳压	614	195～240V	50Hz	210～230	0.5%	7%	0.5s	
国营前锋无线电仪器厂	数控交流稳压	QF1743	180～250V	50Hz	220V 3kVA	1.5%	0.5%	应变时间 50ms	95%
扬州市通信电子仪器厂	交流伺服控制	WY855	175～240V 165～250V	50Hz	220V 15A 22A	1.5% 5%	同输入	1s	95%
温州电子器材厂，上海科艺光学仪器厂，长沙人民无线电厂，邗江无线电厂，温州电器厂，江西新余电子仪器厂，泰兴电子仪器厂，天津无线电元件三厂，淮阴仪器仪表厂，苏州电工仪器厂	可控硅调感式	JW872	180～242V	50Hz	220V	0.2%	4%	50ms	95%
	微机变抽头	DW-1	175～245	50Hz	220V	2%	0.5%	30ms	88%
	磁放大式电子交流	614-A	185～245V	50Hz	210～230V 1kVA	0.2%	5%	0.5s	
	稳压器	614-B	185～245V	50Hz	210～230V 3kVA	0.2%	5%	0.5s	
		614-C	185～245V	50Hz	210～230V 5kVA	0.2%	5%	0.5s	

www.789pdf.com 789书库网
www.789pdf.com 789书库网

(3) 不间断电源

厂家	产品		输入电压	输入频率	输出电压	稳定性	蓄电池		失真度	输出波形	转换时间
	名称	型号					电压	安时			
国营卫华仪器厂	不间断电源	WH17500				2%	96V ±10%	36Ah	8%	正弦方波	10ms
温州精密电子仪器厂	不间断电源	GJA-II-300VA	220V $^{+10}_{-15}$%	50Hz±2%	220V	1.5～3%			5%		0
		0.3kVA～3kVA	直流 48V								
国营星华仪器厂	应急电源	XH1790	220V±10%	50Hz	24V±0.5V 2A			7～8Ah	纹波 1mV		
					18V 2A	0.5%		7～8Ah	1mV		
					12V 2A	0.5%		15Ah	1mV		
					5V 2A	0.5%		24Ah	1mV		
浙江省温州电子器材厂	不间断电源	2QW			24V 3A,5A,10A						
哈尔滨电工学院	不间断电源		220V $^{+15}_{-10}$%			2%			8%	正弦	5ms

www.789pdf.com 789书库网

(4) 程控电源

厂家	产品		输出电压	输出电流	源效应	负载效应	程控分辨率	
	名称	型号			CV (CC)	CV (CC)	电压	电流
北京大华无线电仪器厂（北京大华新电源公司）	程控线性电源	DH1717	0～40V	0～2A	1×10^{-4}	1×10^{-4}	10mV	10mA
泰兴电子仪器厂	程控直流	NT85 $\frac{1}{2}$	0～100V	30mA	1×10^{-4}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	
上海仪器仪表所	程控交流标准电压源	YS66	0～1111.11V（输出功率：40W）	频率 10～10kHz	0.04%设定值 +0.01%量程（波形失真 0.05%）	频率准确度 0.02%		
	可程控直流标准电压源	YJ93	0～1200V		0.005%设定值			

(5) 脉冲电源

厂家	产品		输入电压	输出电流	输出频率	通断比	叠加直流成份	输出波形
	名称	型号						
中国科学院	脉冲电源	MWP-1	220V±10%	0～30A	50～5000 周/秒	无级调整	0～10A	各种

www.789pdf.com 789书库网
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

9. 功率计

(1) 微波小功率计

厂 家	型 号	测量范围	频率范围	指示器误差
上海无线电二十六厂	YM2431 (GP-IB)	0.1mW～300mW	50MHz～18GHz	±1.5%满度值(FS) ±1 个字 (digit)
	GX2B	1μW～300mW	0.05GHz～18GHz	≤±6%±0.2μW
	GC1	10mW～200mW	900MHz～3000MHz	≤1.5%dB±2mW
	GX2C	1μW～30mW	50MHz～18GHz	≤±1.5%±1 个字
苏北电子仪器厂	SD2412	10μW～10mW	10MHz～12.4GHz	指示器≤4% 功率座≤±6%
	SD2413	10μW～20mW	10MHz～12.4GHz	指示器±1.5≤FS ±1digit 功率座≤±6%
	SD2416 (GP-IB)	0.1mW～3W	10MHz～18GHz	≤1.5%FS±1digit
光华无线电仪器厂	GX12M1A	1μW～10mW	10MHz～40GHz	<±0.5%±0.1μW (+15℃～+25℃)
				<±1.5%±0.1μW (−10℃～+40℃)
	GX12M1B (IEEE-488)	1μW～10mW	10MHz～40GHz	<±0.5%±0.1μW (+15℃～+25℃)
				<±1.5%±0.1μW (−10℃～+50℃)
	GX12MI	1μW～10mW	10MHz～40GHz	≤±1.5%±0.10μW (+10℃～+35℃)
				≤±2.0%±0.10μW (−10℃～+50℃)
	GLX-11BC	1μW～10mW	10MHz～16.8GHz(B) 10MHz～12.4GHz(C)	<5%±0.2μW
	GH2441	1μW～10W	10MHz～4GHz	10μW～10mW±5% 10mW～10W±10%
中国科学院电子所	RS-28-6	100μW～1W	26.5～170GHz	

(2) 微波中、大功率计

厂 家	型 号	测量范围	频率范围	精 度
苏北电子仪器厂	SD2460	5～2000W	2.6GHz～3.95GHz 频率可扩展至 37.2GHz	≤±7%
	GD9	500W～10kW	1.82GHz～2.61GHz 频率可扩展至 8.19GHz	≤±7%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	型 号	测量范围	频率范围	精 度
苏北电子仪器厂	GD11	1kW～30kW	1.14GHz～1.73GHz 频率可扩展至8.19GHz	≤±10%
	SD2469	0～500W	8.2GHz～12.4GHz	≤±10%±1个 字
	SD2469A	0～60W	8.2GHz～12.4GHz	≤±5%
	SD2466	5～500W (同轴)	1.0GHz～3.0GHz	≤±7%
上海无线电二十六厂	GZ2	0～10W	0～12.4GHz	≤±8%
	GZ3	100mW～10W	DC～12.4GHz	≤±8%
	GLZ1	0～100W	0～1GHz	≤±10%±0.2%/℃
	GZT1	0～100W	DC～4GHz	≤±6%±0.2%/℃

(3) 通过式功率计

厂 家	型 号	测量范围	频率范围	误 差
苏北电子仪器厂	SD2461	$\bar{P}$:1kW $\hat{P}$:200kW	(25Ω) 80MHz～300MHz	≤±10%rdg±2digit
	SD2461A	$\bar{P}$:1kW $\hat{P}$:200kW	8MHz～300MHz (50Ω)	≤±10%rdg±2digit
	SD2464	$\bar{P}$:250W $\hat{P}$:250kW	2580MHz～2980MHz	≤±10%rdg±1digit
	SD2465	$\bar{P}$:250W $\hat{P}$:250kW	9170MHz～9570MHz (三公分波导)	≤±10%rdg±1digit
	SD2467A	3～1000W	80MHz～1000MHz (L16-50K)	≤±7%
	SD2467B	3～1000W	80MHz～1000MHz (L27-50K)	≤±7%
	SD2467D	$\bar{P}$:3W $\hat{P}$:3kW	500MHz～1000MHz	≤±7%
	SD2468	0～50W	80MHz～600MHz	≤±7%
	SD2470	0～200W	1.6MHz～525MHz	≤±10%
	SD2460A	20W～2kW	2.6GHz～3.95GHz	≤±10%rdg±1digti
	SD2460B	150W～15kW	2.6GHz～3.95GHz	≤±10%rdg±1digit
上海无线电二十六厂	YM2461	0.1W～100W	25MHz～1000MHz	±1dB

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	型 号	测量范围	频率范围	误 差
上海微波技术研究所	2441A	10mW～500mW	0.3GHz～1GHz	≤±5%
	2441B	300mW～1W	0.3GHz～1GHz	≤±5%
	2441C	1～3W	0.3GHz～1GHz	≤±5%
	2441D	3～10W	0.3GHz～1GHz	≤±5%
	2461	0～30W	25MHz～100MHz	≤±10%
	2462	1～30W	1GHz～2GHz	≤±8%
	2465A	5～50W	80MH～500MHz	≤±8%
	2465B	10～100W	80MHz～500MHz	≤±8%

10. 噪声发生器

(1) 饱和二极管噪声发生器

① XO40 饱和二极管噪声源　　上海无线电仪器厂

工作频率：100kHz～400MHz，600MHz

800MHz，1000MHz

噪声输出范围：0～15dB 分三档

噪声输出指示刻度误差：±1.5%(满度值)±1%(读数值)

$VSWR$：< 1.3

② DH455 数字噪声发生器　　北京大华无线电仪器厂

频率范围：0.1～1000MHz

噪声输出：0～15dB(数显)

精度：±0.5dB

$VSWR$：≤ 1.3

③ BJ1661 噪声发生器　　北京无线电仪器厂

频率范围：10～1000MHz

噪声输出：0～15dB

④ AS1661 噪声发生器　　上海无线电仪器厂

频率范围：机内头：0.1～400MHz

机外头：400～600MHz，600～800MHz，800～1000MHz

输出范围：连续可调、数显

0～15dB(50Ω)，0～17dB(75Ω)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

误差：≤理论计算值的±0.2dB。

VSWR：≤1.5

⑤ ZF-1、ZF-1B 噪声信号发生器　　苏北电子仪器厂

频率范围：680～2000MHz

测量范围噪声系数：0～22dB

噪声输出功率：18±0.7dB

(2) 气体放电噪声发生器　　北京大华无线电仪器厂

型号＼指标	频率或波长范围	输出功率超噪比(dB)	精度(dB)	工作电流(mA)	热态电压驻波比	冷态电压驻波比	热衰耗(dB)	冷衰耗(dB)	输出型式
XZ22	1～3.5 GHz	17.8	±0.5	135	≤1.5	≤1.7	≥17	≤2	L16
XZ32	2.5～4.5 GHz	17.8	±0.5	135	≤1.5	≤1.7	≥20	≤2.5	L16
XZ1	2.6～3.95 GHz	18	±0.5	200	≤1.3	≤1.3	≥20	≤0.5	BJ-32
XZ4	3.95～5.85 GHz	17.8	±0.3	150	≤1.2	≤1.2	≥17	≤0.5	BJ-48
XZ24	4.64～7.05 GHz	17.9	±0.4	150	≤1.3	≤1.3	≥20	≤0.5	BJ-58
XZ23	5.38～8.17 GHz	17.9	±0.4	150	≤1.2	≤1.2	≥20	≤0.5	BJ-70
XZ3	8.2～12.4 GHz	17.9	±0.5	130	≤1.3	≤1.3	≥24	≤0.5	BJ-100
XZ2	12.4～18 GHz	17.9	±0.5	140	≤1.3	≤1.3	≥20	≤0.5	BJ-140
DH1671	18～26.5 GHz	18	±0.6	130	≤1.6	≤1.6	≥20	≤0.8	BJ-220
XZ8	8.2～8.8 mm	18	±0.5	130	≤1.3	≤1.7	≥20	1	BJ-320

(3) 固态噪声发生器　　南京电子器件研究所

型号	频率范围(GHz)	超噪比 *ENR*(dB)	平坦度(dB)	稳定度(dB)	温度系数(dB/℃)	电压驻波比 *VSWR*	功率要求 电压(V)	功率要求 电流(mA)	接口
WAB0*	0.1～8.2	≥30			0.01		20～28	20	L16-50J
	8.2～18	≥25			0.01				Q9-50K
WAB01	0.6～12.4	15～17	≤±0.5	±0.2	≤0.01	≤1.3			L8,L16
WAB51	3.7～4.2		±8%		1.5K/℃	≤1.08			FD-40 Q9-50K

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

型 号	频率范围 (GHz)	超噪比 ENR(dB)	平坦度 (dB)	稳定度 (dB)	温度系数 (dB/℃)	电压驻波比 VSWR	功率要求		接 口
							电压(V)	电流(mA)	
WAB53	8.2～12.4	8～13	±0.5		≤0.01	≤1.15	20～28	20	FD-100 Q9-50K
WAB50	18～26.5	25	±1.0 ±1.5(max)	≤0.02	≤0.01				BJ-220 L8
WAB801	26.5～40	≥23	±3						FC-320 L6-50KFD
WAB8041	29.7～30.3	≥23	±0.6						FC-320 L6-50KFD
WAB8042	31.2～31.8								
WAB8043	34.7～35.3								

(4) 冷/热噪声发生器

① XZ-25 冷热负载标准噪声发生器　　北京大华无线电仪器厂

频率范围：0～7GHz

终端温度：373.2 + 1.8K

77.3 + 1.0K

$VSWR$：≤ 1.15

② 冷标准噪声发生器 DH1662　　北京大华无线电仪器厂

频率范围：34～36GHz

终端温度：77.3 + 0.2K

噪声输出：液氮温度+2.5K±1K

$VSWR$：≤ 1.2

③ DH1663 冷标准噪声发生器　　北京大华无线电仪器厂、机电部十六所

频率范围：8.2～15GHz

噪声输出：80.5±1 K

$VSWR$：≤ 1.3

④ 1.25cm 冷标准噪声发生器　　北京大华无线电仪器厂

频率范围：18～26.5GHz

噪声输出：80.1±1K

$VSWR$：≤ 1.15

⑤ 7.5cm 冷噪声发生器　　中国计量科学研究院、航天部二院计量站

频率范围：3.7～4.2GHz

噪声输出：液氮温度+1.7K±1K

$VSWR$：≤ 1.10

⑥ 5cm 冷噪声发生器　　中国计量科学研究院

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

频率范围：3.95～5.85GHz

噪声输出：液氮温度＋1.8K±1K

VSWR：≤1.10

(5) 国外部份噪声发生器

① 饱和二极管噪声源

(美国) HP343A 频率范围：10～600MHz

输出超噪比：10～30MHz 5.2±0.2dB

100MHz 5.5±0.25dB

200MHz 5.8±0.3dB

300MHz 6.05±0.3dB

400MHz 6.3±0.5dB

500MHz 6.5±0.5dB

600MHz 6.6±0.5dB

阻抗：50Ω

VSWR：10～400MHz ≤1.2

400～600MHz ≤1.3

(美国) HP 345B 30或60MHz

输出超噪比：5.2dB

阻抗：50、100、200和400Ω±4%

(英国) Marconi TF1106 噪声发生器

频率范围：1～200MHz 噪声输出：0～14dB

输出阻抗：52和71Ω

(美国) PRD 904 型甚高频/超高频噪声发生器

频率范围：30～1000MHz

噪声范围：0～20dB

VSWR：≤1.3

输出型式：N型50Ω

(西德) R/S 公司 SKTU

BN4151/2/50，BN4151/2/60，BN4151/2/75

频率范围：3～1000MHz

噪声范围：0～15dB

输出阻抗：50,60,75Ω

(美国) KEC (Kay Electric Co)

240 B 频率范围：5～220MHz *ENR*：23.8dB

输出阻抗：300Ω

780 频率范围：：1MHz～3GHz *ENR*：0～28dB

精度：±0.25～1.5dB

(瑞典) Magnetic AB

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

123A 频率范围：5～250MHz 另有 123C 频率范围为 30 和 60MHz

ENR：5.2±0.1～±0.4dB *VSWR*：< 1.12

输出阻抗：123A(50Ω)，123B(390Ω)

② 气体放电噪声发生器

日本岛田理化

型 号	频率范围 (GHz)	输出 *ENR* (dB)	*VSWR*	放电管型号	备 注
7N001	1.2～1.4	15.2±0.2	1.3	TD-21	
7N100	2.6～3.95	15.2±0.2	1.2	TD-12	
7N151	3.3～4.9	15.3±0.2	1.2	TD-24	
7N201	3.95～5.85	15.2±0.2	1.2	TD-10	
7N251	4.9～7.05	15.6±0.2	1.2	TD-10	
7N301	5.85～8.2	15.6±0.2	1.2	TD-10	
7N351	8.2～12.4	15.6±0.2	1.2	TD-11	
7N450	12.4～18.0	15.8±0.2	1.2	TD-18	
7N500	18.0～26.5	15.9±0.2	1.3	TD-13	
7N550	26.5～40.0	16.25±0.5	2.0	TD-76	
7N900	0.1～2.6	15.6±0.5	1.5	TD-11	同轴型

日本安立电气株式会社（Anritsu Electric Co）

型 号	频率范围 (GHz)	输出 *ENR* (dB)	*VSWR*	输出型号	放电管型号
MP61B	0.2～2.6	15.6±0.25	2.0	N	TD-72
MP62A	2～2.7	15.7±0.5	2.0	N	FL15W
MP64A	3.4～4.9	15.7±0.5	1.3	BRJ-4	FL10W
MP64B	3.4～4.9	15.2±0.25	1.3	BRJ-4	TD-39
MP65A	4.8～7.0	15.7±0.5	1.3	BRJ-6	FL8W
MP65B	4.8～7.0	15.2±0.25	1.3	BRJ-6	TD-39
MP66A	5.4～8.2	15.7±0.5	1.3	BRJ-7	FL8W
MP66B	5.4～8.2	15.2±0.25	1.3	BRJ-7	TD-39
MP71A	8.2～12.4	15.6±0.25	1.3	BRJ-10	TD-72
MP73A	12.4～18.0	15.9±0.25	1.5	BRJ-140	TD-41
MP78A	15.0～21.0	16.0±0.25	1.5	BRJ-18	TD-42

美国 AILTECH

型 号	频率范围 (GHz)	输出 *ENR* (dB)	阳极电流 (mA)	*VSWR*	输出型式	放电管型号
07010	0.2～2.6	15.65±0.25	175		N	
07012	2～5	15.75±0.25	175		N	
07048	2.6～3.95	15.35±0.5	200	1.3	UG-53/U	TD-34
07049	3.95～5.85	15.6±0.5	175	1.3	UG-149/U	TD-48
07050	5.85～8.2	15.65±0.5	175	1.3	UG-344/U	TD-23
07051	7.05～10.0	15.75±0.5	175	1.3	UG-51/U	TD-54
07052	8.2～12.4	15.75±0.5	175	1.3	UG-39/U	TD-54
07091	12.4～18.0	16.15±0.5	150	1.3	UG-419/U	TD-50
07053	18.0～26.5	16.15±0.5	150	1.35	UG-595U	TD-50
07096	26.5～40.0	16.3±0.5	100	1.3	UG-599/U	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（美国）HP 公司

型　号	频率范围 (GHz)	输出 *ENR* (dB)	工作电流 (mA)	放电管型号
349A	0.4～4.0		150	HP1971-0011
S347A	2.6～3.95	15.2	250	HP1971-0002
G347A	3.95～5.85	15.2	250	HP1971-0004
J347A	5.3～8.2	15.2	250	HP1971-0004
H347A	7.05～10.0	15.2	150	HP1971-0011
X347A	8.2～12.4	15.2	200	HP1971-0001
P347A	12.4～18.0	15.2	200	HP1971-0003

（英国）Marconi

TF1301

频率范围：200～1700MHz *ENR*：15.5dB

输出阻抗：50Ω

TF1237

频率范围：1700～2300MHz *ENR*：15.25dB

输出阻抗：50Ω

（西德）R/S 公司

SKTD BN4152/50，BN4152/60

频率范围：475～3000MHz *ENR*：18.4±4dB

输出阻抗：50Ω(BN4152/50Ω)，60Ω(BN4152/60)

URG-1（BN116）

频率范围：300～1000MHz *ENR*：19.5dB

输出阻抗：60Ω，50Ω

URG-2（BN117）

频率范围：800～2200MHz *ENR*：19.5dB

输出阻抗：60Ω，50Ω

③ 固态噪声发生器

型　号	频率范围 (GHz)	*ENR* (dB)	平坦度 (dB)	*VSWR*	输出型式	电源	国　别
AIL7615	0.01～1.5	15.5	±0.5	1.2	N	+28V 20mA	美　国
AIL7616	1～12.4	15.5	±0.5	1.2	N	+28V 20mA	
AIL7617	12.4～18	15.5	±1	1.3	SMA	+28V 20mA	
AIL7618	1～18	15.0	±1	1.3	SMA	+28V 20mA	
AIL7618E	0.01～18	15.0	±1	1.3		+28V 20mA	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

型 号	频率范围 (GHz)	*ENR* (dB)	平坦度 (dB)	*VSWR*	输出型式	电源	国 别
AIL7626	0.01～26.5	15(0.01～12.4 GHz) 14(12.4～26.5 GHz)	±1.0 ±1.5			+28V 20mA	美国 MSC
HP346B	0.01～18	15.2	±0.3	1.3	SMA 或 APC3.5	+28V	
HP346A	0.01～18	4.5～6.5		1.3	N	+28V	
HP346C	0.01～26.5	13.3～16.3		1.35	N	+28V	
MC200	1～500MHz	42	±1.5			+24V 1mA	
MC201	1～500MHz	42	±1.5			+12V 1mA	
MC1000	10MHz～1.5GHz	35	±0.5		SMA	+28V 10mA	
MC1100	10MHz～1.5GHz	15.5	±0.5		N	+28V 10mA	
MC1040	10MHz～4GHz	25.5	±0.5		N	+28V 15mA	
MC5112	1～12.4	25	±0.5		N	+28V 15mA	
MC5118	1～18	25	±0.5		SMA	+28V 15mA	
MC50018	5MHz～18GHz	25.5	±0.75		SMA	+28V 15mA	
MC5012	1～2	30	±0.5		N或 SMA	+28V 15mA	
MC5024	2～4	30	±0.5		N、SMA	+28V 15mA	
MC5048	4～8	30	±0.5		N、SMA	+28V 15mA	
MC5812	8～12.4	30	±0.5		N、SMA	+28V 15mA	
MC51218	12.4～18	28	±0.5		SMA	+28V 15mA	
MC5046W	3.95～5.85	15.5	±0.5		UG149CA/U	+28V 15mA	
MC5068W	5.85～8.2	15.5	±0.5		UG344/U	+28V 15mA	
MC5812W	8.2～12.4	15.5	±0.5		UG-39/U	+28V 15mA	
MC5818W	12.4～18	15.0	±0.5		UG419/U	+28V 20mA	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

型 号	频率范围 (GHz)	*ENR* (dB)	平坦度 (dB)	*VSWR*	输出型式	电源	国 别
MC5826W	18～26.5	15.0	±0.75		UG-425/U	+28V 20mA	美 国 MSC
MC52640W	26.5～40	15.0	±0.75		UG-599/U	+28V 20mA	

④ 热/冷噪声发生器

(美国) AILTECH 7009 型

频率范围：0～9GHz

终端温度：373.2±1K

77.3±1，−0K

输出噪声温度：终端温度±频率修正

VSWR：≤1.15 (7GHz 以下≤1.10)

输出接头：14mm 精密接头(或 GR-900BT)

(美国) NBS

液氮波导冷噪声标准源

系列化按标准波导 S,G,H,X波段

输出噪声温度：76.33±0.13K

(日本) KDD

液氮冷噪声标准源

频率：4GHz

输出噪声温度：80±1K (WRJ-4)

$79.09^{+0.61}_{-0.38}$K (WR-229)

78.0～78.5K (WRJ-4)

(美国) JPL

液氮冷噪声标准源

频率：2295MHz (WR-430)

输出噪声温度：78.09±0.12K

(美国) MAURY MT7118A

频率范围：DC～18GHz

VSWR：≤1.15 12～18GHz

≤1.10 4～12GHz

≤1.06 DC～4GHz

终端温度：77.36K

校准精度：±0.7K 3.95GHz

±1.0K 7.5GHz

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

±1.2K　　12.4GHz

±1.5K　　18.0GHz

输出接头：APC-7

11. 衰减器

(1) 波导衰减器

生产厂	型号	频率 (GHz)	衰减范围及精度	驻波比	起始衰减 (dB)	最大平均功率 (W)	衰减形式
卫华仪器厂	BD-22	12.4～18	10±1dB	1.1			固定
	BD-22	12.4～18	0～30dB±0.5dB	1.1	0.5		可变
	BD-22	12.4～18	0～40dB±(0.02+0.002A)	1.1	0.5		可变
大华仪器厂	DH13501	8.2～12.4	0～30dB±(0.3dB + 3%A)	1.1	0.5	0.5	可变
	TS5	8.6～9.6	0～40dB±0.3dB	1.05	0.2	0.5	可变
	DH13502	8.2～12.4	0～30dB±(0.3 + 1%A)	1.1	0.5	0.5	可变
	BD-1 /020 /021 /022	8.6～9.6	10±1dB; 30±1.5dB 50dB±2.5dB	1.25		10	定向耦合
	BD-5/21	3.95～5.85	10±1dB	1.1			固定
	DH13504	26.5～40.0	10±1.5dB	1.2			固定
	DH13507	75～110	0～30dB	1.5			可变式
	DH13506	26.5～40	0～30dB±0.6dB	1.15			可变式
上无26厂	BD-14-3	26.5～40	0～30dB±(0.5 + 5%A)	1.2	0.5		可变式
	BD-18-2	12.4～18	0～30dB±(0.5 + 5%A)	1.2			可变式
	BD-12-2	40～54	0～30dB±(1±5%A)	1.15			可变
	BD-21-2	3.95～5.85	0～30dB±(0.5 + 5%A)	1.2			可变
	BD-16-2	18～26.5	0～30dB±(0.5 + 5%A)	1.2			可变
光华仪器厂	GH13515	12.4～18	0～40dB				
	GH13513	8.2～12.4	0～30dB				
	GH13511	3.95～5.85	0～30dB				

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 迴转式衰减器(旋转叶片式衰减器)

生产厂	型号	频率(GHz)	衰减范围及准确度	驻波比	起始衰减(dB)	最大功率(W)	读数形式
庆华仪器厂	QH3713	2.6～3.95	0～50dB; 0～10±0.2dB; 10～50dB±2%	1.2	0.5		直读
	TS-15A	3.3～4.9	0～50dB; 0～10±0.2dB; 10～50dB±2%		0.5		直读
	TS-18	3.95～5.85	0～50dB; 0～10±0.2dB; 10～50dB±2%		0.5		直读
	TS-19	4.90～7.05	0～50dB; 0～10±0.2dB; 10～50dB±2%		0.5		直读
	TS-16A	5.85～8.2	0～50dB; 0～10±0.2dB; 10～50dB±2%		0.5		直读
	TS-20	7.05～10.0	0～50dB; 0～10±0.2dB; 10～50dB±2%		0.5		直读
	TS-21	8.2～12.4	0～50dB; 0～10±0.2dB; 10～50dB±2%		0.5		直读
	TS-22	10～15	0～50dB; 0～10±0.2dB; 10～50dB±2%		0.5		直读
	TS-24	12.4～18	0～50dB; 0～10±0.2dB, 10～50dB±2%		0.5		直读
上无26厂	TS-9	12.4～18	0～50dB; 0～10±0.2dB; 10～50dB±2%	1.2	1	1	直读
	TS-7	8.2～12.4	0～50dB; 0～10±0.2dB, 10～50dB±2%	1.25	1	1	直读
	YM3721	18～26.5	0～50dB; 0～10±0.2dB, 10～50dB±2%	1.25	1	0.5	直读
上海计量所工厂	S_5-1	3.95～5.85	0～50dB; ±0.02/10dB	1.1	0.5	1	读角
	S_3-1	8.2～12.4	0～50dB; ±0.02/10dB	1.1	0.5	1	读角
	S_2-1	12.4～18	0～50dB; ±0.02/10dB				读角
卫华仪器厂	TS17	12.4～18	0～50dB, 0～10±0.3dB 10～50dB±2%	1.1	0.5		直读
50所	WJ3710	26.5～40	0～50dB, 0～10±0.05; 10～50dB±1%	1.15	1	0.5	读角
大华仪器厂	DH 13505	26.5～40	0～50dB, ±0.5%	1.15	1	0.5	读角
光华仪器厂	GM 13521	26.5～40	0～50dB ±2%				

(3) 同轴步进衰减器

生产厂	型号	频率(GHz)	衰减范围(dB)	准确度	驻波比	起始衰减(dB)	最大功率(W)	接头形式
潍坊53厂	CS9A	DC～1.0	60	1～10±0.3dB; ～60dB±0.6dB	1.2		0.4	L16
	CS9B	DC～1.0	60	1～60±(0.15dB + 0.5%A)	1.2		0.4	L16
		1.0～2.0		1～60±(0.25dB + 0.5%A)	1.3			
	CS10	DC～1.0	111	1～111±(0.15dB + 0.5%A)	1.2		0.4	L16
		1.0～2.0		1～111±(0.25dB + 0.5%A)	1.3			
	CS11	DC～1.0	11	1～11±0.2dB	1.3		0.4	L16
	TO5	DC～1.0	99	1～9±0.2dB,≤50±0.4dB ≥60±0.8dB	1.15		0.4	L16
	TO8	DC～1.0	99	1～9±0.2dB, 10～99dB±0.4～0.8dB	1.15		0.4	L16
		1.0～2.0		1～9±0.3dB, 10～99dB±0.6～1.5dB	1.3			
	WS3701	DC～0.03	90	0.1～0.9 +(0.15dB + 0.3%A) −(0.05dB + 0.3%A)	1.2	0.1	1	L16
		0.03～0.5			1.2	0.3		
		0.5～1.0		1～100±(0.15dB + 0.3%A)	1.2	0.5		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

生产厂	型号	频率 (GHz)	衰减范围 (dB)	准确度	驻波比	起始衰减 (dB)	最大功率 (W)	接头形式
前锋仪器厂	QF11501	DC～2.0	70	1～30±0.3dB，40～60±0.5dB	1.3		1	L8
	QF11502	DC～2.0	10	1～10±0.3dB	1.3	0.3	1	L8
	QF11501C	DC～1.3	100	±0.3～1dB	1.3		1	L8
	QF11501D	DC～2.0	120	±0.3～1.5dB	1.3		1	L8
	QF11501E	DC～2.0	140	±0.3～2dB	1.3		1	L8
	QF11502A	DC～2.0	60	±0.3	1.2		1	
	QF11502C	DC～1.3	80	±0.5～0.8dB	1.2		1	
	TS-14	DC～1	110	±0.3～1dB	1.2			
	TO32	DC～2	101	±0.1～1.5dB	1.5		0.4	L16
	QF3710	DC～2	70	±(0.2＋0.6%A)	1.4	0.5	1	L16
	QF3712	DC～2	110	±(0.4～1.5)dB	1.5		0.4	L16
	SH-2	DC～0.3	100	±(0.4～1)dB	1.2		0.4	L16
上无26厂	TTS-9	DC～12.4	50	10～50±(1dB＋5%A)	1.8	2.5		L16
光华仪器厂	GH3711	DC～8.2			1.7	2	1	L16

(4) 同轴固定衰减器

生产厂	型号	频率 (GHz)	衰减量及准确度 (dB)	驻波比	最大功率 (W)	接头形式
光华仪器厂	GH11503 系列	DC～12.4	3/6±0.5;10/20±0.7;30±1.0	1.3		SMA
		12.4～18		1.5		
	TS23M1	DC～12.4	3/6±0.3,10/15/20±0.5 30±1.0 40/50±1.5;60±2.0	1.3	2	L16
	TS23M2	DC～12.4	3/6±0.3;10/15/20±0.5 30±1.0 40/50±1.5;60±2.0	1.25	2	PJ7
	TS23M1A/1B/1C	DC～4	30±1.0	1.3	10 20 25	L16
上无26厂	SGE 12/13/14/15	DC～4	10/15/20/30±2.0	1.5	1	L16
	TTS 1/2/3/4	DC～8	10/15±1.0;20/30±1.5	1.3		L16
		8.2～12.4		1.5		
	TTS 5/6/7/8	DC～8	10/15±1.0,20/30±1.5	1.3		PJ7
		8～12.4		1.5		
	SGZ 17/18	4～18	$10\pm2,6^{+2}_{-1}$	1.5	1	L16

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

生产厂	型 号	频 率 (GHz)	衰减量及准确度 (dB)	驻波比	最大功率 (W)	接头形式
卫华仪器厂	WH115 01/02/03/05	DC～12.4	6/10±1.0;15±1.5;20±2.0	1.5	1	L16
	WH115 10/11/12/13	DC～12.4	6/10±1.0,20±2.0;30±3.0	1.5	1	PJ7

12. 相位计

厂 家	型 号	频率范围	量 程	分辨力	准确度	阻 抗	备 注
[美] DRANETZ	305C	2Hz～700kHz 1Hz～11MHz	0～360° -188/180°	0.01°	±0.05°	1MΩ//40pF	10mV/度
HP 公司	3575A	1Hz～13MHz	±180°	0.1°	±0.3°	1MΩ//30pF	10mV/度
	4194A	10Hz～100MHz	±180°	0.01°	±0.5°	0.1MΩ	
	8405A	1～1000MHz	±180°	0.1°	±1.5°	100kΩ//2.5pF	
	8508A	0.1～1000MHz 0.3～2GHz	±180°	0.1°	±1°		
	8510B	45MHz～40GHz	0～360°	0.01°	±0.5°	50Ω	
935 厂	BX28	100Hz～1MHz	0～360° 180°/－180°		±0.2°		
	BX31	20Hz～1MHz	0～360° 180/－180°		±0.1°		
天津中环科学仪器公司	BX21A	10Hz～1MHz	0～360° 180°/－180°		±0.2°		
	BX27	1MHz～1000MHz	180°/－180°	0.1°	±1.5°		
	BO17	20Hz～200kHz	180°/－180°	0.01°	±0.05°		
	HG4180	1mHz～1MHz	180°/－180°	0.01°	±0.1°		
[美]AD-YU 公司	20B1	30MHz～1500MHz	0～48ns	1ps	1%	50Ω	高频相位标准
HP 公司	8740A	(移相器)					高频相位标准
扬州无线电仪器厂	YWY4109	5mHz～100kHz	0～360°	0.001°	±0.005°～±0.01°		低频相位标准
[美]DYTRNICS	311/312	30Hz～100kHz	0～360°		±0.015°～±0.06°		低频相位标准
NARDA	3753B	1～18GHz	0～360°		±0.2°～±0.5°		微波相位标准
计量院	10cm 同轴相位标准	2.7～3.2GHz	0～360°		±0.3°～±0.5°		微波相位标准

13. 元件参数测量仪

(1) LCR 测量仪

厂 家	型 号	测试频率	误 差	测量速度 (测量时间)
南通无线电仪器厂	CD24	100Hz,1.6kHz	±2%	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	型 号	测试频率	误 差	测量速度（测量时间）
		16kHz,160kHz,1.6MHz		
	FJ2811	1MHz	±0.2%	
	FJ2812	100Hz, 1kHz	±0.35%	
	FJ2816	100Hz～20kHz 801 个点频	±0.1%	35ms
天津市无线电六厂	YY2810	100Hz, 1kHz	±0.25%	
	YY2811	100Hz, 1kHz, 10kHz	±0.25%	650ms
	YY2812	100Hz, 1kHz, 10kHz	±0.1%	650ms
	YY2813	1MHz	±0.1%	
	YY2814	100Hz, 1kHz, 10kHz	±0.25%	650ms
	YY2781	100Hz, 1.6kHz 16kHz,160kHz, 1.6MHz	±3%	
	WQJ-1A	1kHz, 10kHz	±0.2%	
	CD9A	1kHz	±0.1%	
	CD50	1kHz	±1%	
常州电子仪器厂	CY2693	100Hz, 1kHz	±0.1%	1～5 次/秒
	CY2693A	100Hz, 1kHz	±0.1%	1～5 次/秒
天津市第二电子仪器厂	CD22			
	ED2811	100Hz, 1kHz	±0.3%	1～3 次/秒
	ED2814	100Hz, 1kHz	±0.2%	1～4 次/秒
	ED2815	100Hz, 1kHz	±0.1%	1～4 次/秒
泉州电子仪器厂	QE2781	100Hz, 1kHz	±0.3%	
	CF7	1kHz, 10kHz		
	CF8	0.1,1, 10kHz		
北京无线电仪器三厂	HZ2790	100Hz, 1kHz	±0.25%	
	HZ2791			
郑州无线电仪器厂	8501	100Hz,1kHz	±0.25%	
	8501A			
	8501B			
	ZWY-2811	1,1,10kHz		
南京长江无线电厂	CJ2780			
上海仪器仪表所	ZL5	12Hz—100kHz 501 个点	±0.05%	1～12 次/秒

(2) 高频阻抗(导纳)电桥

厂 家	型 号	测量范围	测试频率	误 差
南通无线电仪器厂	CD4C	1～100MHz	G: 0～100ms C:±(0～230)pF	±5%
	CD5	60kHz～30MHz	$Z=R\pm j\omega L$ $=0.5\sim32\Omega$ $Y=G\pm j\omega C$ $=0.5\sim32$ms	±1%～±10%
	CD6	300kHz～1.5MHz	G:1μs～100ms B:±20μs～±100ms	±20%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	型 号	测量范围	测试频率	误 差
	CD14	50～250MHz	G:0～100ms C:±(0～75)pF	±50%
	CZ11	5Hz～500kHz	$\|Z\|$:1Ω～10MΩ θ:0～±90°	±5% ±6°

(3) 电容参数测量仪

厂 家	型 号	测量范围	误 差	测试频率
常州电子仪器厂	CY2611	0.01pF～0.1F D:0.0001～9.999	±(0.1% + 0.3pF)	100Hz, 1kHz
	CY2611A	同上	同上	同上
	CY2631	1pF～199.9μF D:0.001～1.999	±(0.5～1)%±2%	1kHz
	CY2632	0.001pF～1000pF	±(0.2%+7 字)	1MHz
	CJ-2	<200pF D:0.1～10^{-4} s:1～10	±1% ±5%	50kHz～100MHz 可调
	CX6A	1～10000pF α:0～±2000 × 10^{-6}/℃	±0.5% ±10%	1kHz
南通无线电仪器厂	FJ2612	0～9999μF D:0～99.9	±0.1% +1 字	100Hz,1kHz
	CC15	0.1～10000pF	±2%	
	CC16	2000pF～10μF		
天津市无线电六厂	CC14	1000pF～10000μF	±(3～5)%	
	YY2614	0.1pF～2000μF	±(0.5～1)%	8,80,800Hz
	YY2615			
天津市第二电子仪器厂	ED2610	0.02pF～1000pF	±2% + 0.1pF	1MHz
	CC14			
北京无线电仪器三厂	HZ2610	10pF～10000μF	1～2%+1 字	3kHz,30kHz,3MHz
	HZ2630	0.1～11000μF	±3%	100Hz
	HZ2631	0.1～11000μF	±3%	100Hz
	HZ2632	10μF～1.1F	±(3～10)%	100Hz
	HZ2620	0.5nA～100mA	±5%	
	HZ2675	R:10^2～10^{12}Ω I:10^{-11}～10^{-1}A	±(5～10)%	
	CC8	0.1pF～10000pF	±(3～10)%	1kHz,100kHz
泉州电子仪器厂	CQ-4	0.1～11000μF D:1%～200%	±(1～20)% ±2%	100Hz～10kHz
	D24-4	0.05～5000μF D:0～100%	±2% + 0.1μF	50Hz 外接 50～1000Hz
	CC10A	10^3～10^6μF D:0～500%	±3% ±(10～20)%	100Hz
	QE2621	0～100mA	±5	
	CC9-2	0.1～1000pF	(0.7～4)%	10kHz
	CFD-1	0.1～11000μF		100Hz

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	型 号	测量范围	误 差	测试频率
		D:0～80% I: 0～500mA		
	CF-103	0.1～1100μF D:0～50%		100Hz
	CF-104	1～11000μF D:0～80%		100Hz
七九七厂	HY2640	0.1～10000μF D:0～60%	±(3～10)% ±(4～12)%	100Hz
机电部 401 站	HM2642	0.1～1100μF D:2×10^{-4}～5×10^{-2}	±(0.2～0.5)%	50Hz
	HM2645-2	10～100pF D:0.1×10^{-4}～80×10^{-4}		1MHz
	HM2645-3	100pF～1000pF D:0.1×10^{-4}～80×10^{-4}		1MHz
广州电子仪器厂	GY2610	0.2μA～5mA	±3%	
	GY2611	0.1μA～30mA	±2%	
	GY2612	0.1μA～30mA	±2%	
常德无线电三厂	CJS-1	1～100pF D:$(0.5\sim25)\cdot10^{-4}$		1MHz
	CJS-2B	10～100pF D: $(0.5\sim60)\cdot10^{-4}$		1MHz
	CJS-3B	100～1000pF D:$(0.5\sim60)\cdot10^{-4}$		1MHz
	CJS-4	1000～10000pF D:$(0.5\sim25)\cdot10^{-4}$		300kHz
	CJS-5	500pF～10μF D:$(2\sim50)\cdot10^{-3}$		1kHz
	CGS-2	10pF～10μF D:$(0.5\sim25)\cdot10^{-4}$		1kHz

(4) 电感参数测量仪

厂 家	型 号	测量范围	误 差	测试频率
南通无线电仪器厂	FJ2814	1μH～2H	±(2～5)%	1kHz
	LCCG-1	0.05μH～100mH	±1.5%	11kHz～1.5MHz
	FJ2771	1μH～11.11H Q:1～250	±(0.2～1)% ±10%	
天津市无线电六厂	YY2771	0.002～1999mH	±1.5%	25,250,2500Hz 25kHz, 1MHz
	YY2782 YY2783	1μH～20H	±5%	100Hz,1kHz
	LC6043	1μH～20H	±5%	100Hz,1kHz
天津市第二电子仪器厂	ED2770	0.01μH～200mH	±0.5%	10kHz
常州电子仪器厂	CY2771	0.1μH～9999.9H Q:0.01～999.9	±0.2%	100Hz,1kHz

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	型 号	测量范围	误 差	测试频率
广州七五〇厂	CY2772	0.1μH～2H	±0.5%	400Hz,1kHz
	CD2	0.1μH～100H	±0.1%	
	LCD-1	1mH～100H	±1%	

(5) 电阻参数测量仪

厂 家	型 号	测量范围	误 差	分辨力
北京无线电仪器三厂	HZ2510	1.999×10^{5}～1×10^{14}Ω	±(0.5～5)%	
	HZ2511	10^{6}～10^{14}Ω	±(3～10)%	
	HZ2513	10^{5}～10^{17}Ω	±(5～15)%	
	HZ2514	10^{7}～10^{12}Ω	±5%	
	HZ2520	1μΩ～2kΩ	±5%+5 字	$3\frac{1}{2}$
	HZ2521	0.1mΩ～2kΩ	±0.5%+2字	
	HZ2522	0.1μΩ～2kΩ	±0.5%+2字	$3\frac{1}{2}$
天津市无线电六厂	CR51	0.2mΩ～10Ω	±(2～3%)	
	YY2510	10μΩ～2kΩ	±1%	10μΩ
	YY2511	10μΩ～199.99Ω	±0.25%	10μΩ
	YY2512	10μΩ～199.99Ω	±0.2%	10μΩ
天津市第二电子仪器厂	ED2510	0.1～200mΩ	±2%	0.1mΩ
	ED2511	0.01Ω～20MΩ	±(0.5～1)%	
天津市无线电一厂	CR1A	0.01Ω～200MΩ	±(0.03～3)%	
	QR1A	0.1～100Ω	±2%	0.1Ω
	QR2A	0.01～200Ω	±(0.1～0.3)%	0.01Ω
	HG1941A	0.001Ω～20kΩ	±0.05%	
	HG1942A	200mΩ～2000MΩ		10μΩ
	QZ	0～10^{5}MΩ		
广州电子仪器厂	CZ-12	1μΩ～1999mΩ		1μΩ
	GY2510	0.2mΩ～20MΩ	±(0.1～0.5)%	$3\frac{1}{2}$
	GY2670	10^{4}～10^{13}Ω	±(10～20)%	
	GY2671	10^{6}～10^{13}Ω		
常州电子仪器厂	CY2541	1Ω～1kΩ	±0.5%	
	CY2679	10^{6}～10^{13}Ω	±(5～20)%	
南通电子仪器厂	RCJ-3	10^{6}～10^{15}Ω	±(10～20)%	
泉州电子仪器厂	QE2521	1mΩ,3mΩ,30mΩ	±5%	0.02mΩ
西安交大无线电厂	RZC-1A	100Ω～22MΩ		
		−20dB～+60dB	±1dB	
机电部401站	HM2672A	10^{6}～10^{14}Ω	±(5～20)%	

(6) 电位器参数测量仪

厂 家	型 号	名 称	测量范围	误 差
机电部41所	AV2551	接触电阻变化测试仪	100Ω～4.7MΩ	±2%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	型 号	名 称	测量范围	误 差
	AV2552	CRV 自动测量仪	CRV1～100kΩ 100Ω～4.7MΩ CRV≤170kΩ	±2%
	AV2553	动噪声测试仪	0～100mV	±1%＋2mV
广州电子仪器厂	WD-70B	电参数测试仪	200Ω～1MΩ	
机电部 401 站	HM2564	参数检查仪	100Ω～2.2MΩ	±(2～3)%
西安交大无线电厂	WCRV-1	接触电阻变化测试仪	100Ω～10MΩ	±20%
	WDZ-1	动噪声测量仪		
宝鸡无线电厂	WZC-1A	综合测试仪	100Ω～6.8MΩ	±1%

(7) Q 值测量仪

Q 表

厂 家	型号	频 段	Q 量程	Q 误差	回路总残感	备 注
南京长江无线电厂	QBG-1B	50kHz～50MHz	10～500	±(5～7)%	<10nH	QBG-1A 改进型
	CJ2850	1kHz～300kHz	10～600	±8%		
	CJ2851	22kHz～100MHz	10～600	±(7～15)%	<10nH	
南通无线电仪器厂	FJ2851	22kHz～70MHz	5～1000	±(7～20)%	<10nH	
上海无线电仪器厂	AS2851	50kHz～50MHz	10～600	±(7～10)%		QBG-3 改进型
肇庆无线电厂	QBG-3	50kHz～50MHz	10～600	±10Q	<70nH	

数字式Q表

厂 家	型号	频 段	有效 Q_e 量程	有效 Q_e 误差	自动参量转换	备 注
黑龙江省电子技术研究所	HL2801	50kHz～30MHz	10～1000	±(4～15)%	有效 阻抗 分布、导纳	综合机型

Q 值测量装置

厂 家	型 号	频 段	有效 Q_e 量程	有效 Q_e 误差	tgδ 误差
中国计量科学研究院 南京长江无线电厂	HQM-1	22kHz～300MHz	100～5000	±(1～10)%	$\pm 1\times 10^{-4}$

Q 标准量具

厂 家	型 号	频 段	有效 Q_e 范围	有效 Q_e 误差	量具个数
南京长江无线电厂	CJ16700	22kHz～2MHz	30～300	36±(1～3)%	10
	CJ16701	1MHz～100MHz	30～300	36±(2～5)%	10

(8) 高频介质标准样品

厂 家	型 号	频 段	ε_r 误差	tgδ 误差	样品件数
中国计量科学研究院	LZP-1	0.1MHz～100MHz	±(1～2)%	$\pm(0.5\times 10^{-4}\sim 1\times 10^{-3})$	6

高频介质损耗测试仪器

厂 家	型 号	频 段	相对介电常数 ε_r		损耗角正切 tgδ	
			范围	误差	范 围	误 差
南京长江无线电厂	CJ39000	1kHz～70MHz	1～10	±5%	$(0.1\sim 1)\times 10^{-4}$	$\pm(10\%\pm 1\times 10^{-4})$
	CJ39001	1kHz～70MHz	1～10	±5%	$(0.1\sim)\times 10^{-4}$	$\pm(10\%\pm 1\times 10^{-4})$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(9) 磁性参数测量仪

厂　家	型　号	测量范围	误　差	工作频率
南通无线电仪器厂	CD16	L: 0～100mH	±2%	1kHz～1.5MHz
		I:0.2～100mA		
	CD21	$Z=0.5$～30Ω	L:±(1～5)%	100kHz～30MHz
			R:±(2～10)%	
	CD25	C: 10pF～1μF		5～50kHz
		G:0.1μs～10ms	±2%	
		V:2～100V	±2%	
	FJ1771	0～120mA	±1%	
		0～3A	±(0.5～1)%	
	FJ1772	0～200mA	±1%	
		0～5A	±(0.5～1)%	
天津市无线电六厂	FJ1771	0～3A	±(1±2)%±4 字	

(10) 电阻、电容、电感标准器

厂　家	型　号	标准范围	误　差	工作频率
常州电子仪器厂	CY16602	0.1μF～1F	±(0.5～2)%	100Hz
	CY16801	D:1×10^{-5}～1	±(0.2～0.5)%	1kHz
	CY16802	D:1×10^{-4}～1	±(0.2～0.5)%	1kHz
南通无线电仪器厂	FJ16601	100～5000pF 14 个	±0.1%	
常德无线三厂	CS16802	D:(1～47)·10^{-5} 24 个		1MHz
机电部 401 站	HM16604	100pF～100μF	±0.1%	100Hz,1kHz
		1000pF～1000μF		
	HM16601-B	10p～100pF 12 个	±0.5%＋0.5pF	
南京长江无线电厂	CJ16600	1,10,100,1000pF 4 只	±(0.01～0.1)%	1kHz～13MHz
机电部 401 站	HM16601-C	100～1000pF 12 个	±(0.5%＋0.5pF)	
	HM16601-D	1000～10000pF	±(0.5%＋0.5pF)	
	CO12	10pF,100pF	±0.01%	1kHz
		D:$<1\times10^{-5}$		
南通无线电仪器厂	FJ16701	1μH～100mH	≤±0.5%	
南京长江无线电厂	CJ16702	1μH～100mH	≤±0.5%	
广州七五〇厂	CO-18	1H～1000H	≤±0.1%	
机电部 401 站	HM16501A	10^6～10^{12}Ω	±(0.5～5)%	
	HM16501B	1MΩ～2000MΩ	±(0.5～5)%	
	HM1650b	10Ω～9.99999MΩ	±(0.1～0.5)%	
	HM16506-90	1Ω～9.99999MΩ	±(0.1～0.5)%	
南通电子仪器厂	NF16501			
常德无线电三厂	CS16501	10^6～10^{12}Ω	±(0.5～5)%	

(11) 其它

厂　家	型　号	名　称
天津市第二电子仪器厂	CY3A	元件线性度测试仪
	ED2611	电容器阻抗频率特性测试仪

www.789pdf.com 789书库网

14. 标量网络分析仪

制造厂家	型　号	频率范围	动态范围	幅度精度	分辨率	检波器频率响应	电桥方向性
机电部第41研究所	AV3611	10MHz～40GHz	+16～−55dB	在−50dBm时±1.2Bd 在−10dBm时±0.55dB	0.01dB	±0.5dB	40dB
	AV3613X	10MHz～2000MHz	+16～−55dBm	在−50dBm时±1.2dB 在−10dBm时±0.4dB	0.003dB	±0.5dB	40dB
庆华仪器厂	QH3610	10MHz～18GHz	+10～−50dBm	在−50 dBm时±1.9dB	0.1dB	±0.5dB	
	BT15A	0.5MHz～1300MHz	5V～5mV	±1.5dB	0.1dB	±1dB	35dB
	QH1261	1MHz～1300MHz	1V～170μV	±1.5dB	0.1dB	±1dB	40dB
大华仪器厂	DH4131	10MHz～18GHz	+10～−50dBm	在−50 dBm时±2dB	0.05dB	±0.5dB	26dB 定向耦合器
HP 公司	HP8755C	10MHz～40GHz	+10～−50dBm	在−50 dBm时±1.1dB	0.01dB	±0.5dB	40dB
	HP8756A	10MHz～60GHz	+10～−50dBm	在−50dBm时±1.2dB 在−10dBm时±0.4dB	0.01dB	±0.5dB	40dB
	HP8757A	10MHz～100GHz	+16～−60dBm	在−60dBm时±1.2dB 在−10dBm时±0.4dB	0.01dB	±0.5dB	40dB
	6500	10MHz～40GHz	+16～−55dBm	在−50dBm时±1.2dB 在−10dBm时±0.55dB	0.01dB	±0.5dB	40dB

www.789pdf.com 789书库网

续 表

制造厂家	型　号	频率范围	动态范围	幅度精度	分辨率	检波器频率响应	电桥方向性
MARCONI 公司	6501	10MHz～26.5GHz	+20～−70dBm	+20～−50dBm 范围为: ±0.04dB	0.01dB	EEPROM 自动校准	40dB
WPM 公司	1038-N10	0.1MHz～26.5GHz	+16～−60dBm	在−50dBm 时±0.75dB 在−10dBm 时±0.5dB	0.04dB	+0.5～−1.0dB	
	1038-N20	10MHz～40GHz	+16～−60dBm	在−50dBm 时±0.7dB 在−10dBm 时±0.2dB	0.04dB	+0.5～−1.0dB	
	WMI8003	10MHz～40GHz	+20～−70dBm	+20～−70dBm 范围为 ±0.04dB	0.01dB	EEPROM 自动校准	
WILTRON 公司	560A	10MHz～40GHz	+16～−55dBm	在−50dBm 时±1.0dB 在−10dBm 时±0.4dB	0.01dB	±0.5dB	40dB
	562	10MHz～40GHz	+16～−55dBm	在−50dBm 时±1.0dB 在−10dBm 时±0.4dB	0.005dB	±0.5dB	40dB
	6407	1MHz～1000MHz	+16～−55dBm	在−50dBm 时±1.2dB 在−10dBm 时±0.4dB	0.003dB	±0.2dB	40/46dB
	6409	10MHz～2000MHz	+16～−55dBm	在−50dBm 时±1.2dB 在−10dBm 时±0.4dB	0.003dB	±0.5dB	40/46dB
R/S 公司	ZAS	0.1MHz～2500MHz	+13～−63dBm	±0.5dB	0.01dB	±1dB	40/46dB

www.789pdf.com 789书库网
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

15. 矢量网络分析仪

生产厂家	型 号 名 称	频率范围 (GHz)
上海市测试所	SITT-1 同轴双六端口自动网络分析仪	0.1～1
机电部 50 所	未定	26.5～40
767 厂	HW1 微波网络分析仪	0.11～12.4
766 厂	QF3610T1 网络分析仪	0.11～12.4
上无 26 厂	BO11 微波网络分析仪	0.11～12.4

16. 动态分析仪

(1) FRA 动态分析仪

生产厂家	产品型号及名称	代表性的若干技术指标	
天津电子仪器厂	BT6 型 超低频频率特性测试仪	频率范围：10μHz～159.9Hz 精度：0.05%	正弦、三角、方波
	BT6A 型 超低频频率特性测试仪	频率范围：10μHz～479.9Hz 精度：0.05%	同上
	BT13 型 超低频频率特性测试仪	频率范围：0.01Hz～30kHz 精度：2%	同上
	BT13A 型 超低频频率特性测试仪	频率范围：0.01Hz～30kHz 精度：2%	同上
	TD1250 型 频率响应分析仪	10μH～65.535kHz 精度：0.01%	同上
	TD4010 型 频率响应分析仪	10μH～999.9Hz 精度：0.05%	同上
	TD4020 型 宽频带响应分析仪	频率范围：1mHz～30kHz 精度 0.05%	同上

(2) FFT 动态分析仪

生产厂家	产品型号名称	主要技术指标
天津电子仪器厂	HA1FFT 实时信号分析仪	双通道 20kHz A/D 12 位 1024 点 38ms
	HA2FFT 实时信号分析仪	双通道 10 kHz A/D 12 位 256 点
	TD4072 FFT 快速迭代处理器	1024 点 38ms
	TD4073 FFT 双通道信号分析仪	双通道 20kHz A/D 8 位 512 点
	SD375 信号分析仪	双通道 40kHz A/D12 位 外设齐
	SD380 信号分析仪	四通道 100kHz A/D12 位 外设齐
	YT4071 双通道 FFT 动态分析仪	双通道 20kHz A/D 12 位
	YT4072 FFT 动态分析仪	双通道 20kHz A/D12 位 有细化
天津中环仪器公司研究所	YT4074 双通道 FFT 动态分析仪	双通道 20kHz A/D12 位有细化
宁波东风无线电厂	DF4074 多通道 FFT 信号分析仪	双通道 20kHz A/D12 位有细化

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

17. 计量测试用波导与同轴元件

(1) 大华无线电仪器厂

型　号	名　称	频率范围(GHz)	类型、规格	备　注
BD-I	三厘米波导元件	8.6～9.6	BJ-100	共33种
BD-5	五厘米波导元件	3.95～5.85	BJ-48	共24种
	三厘米宽带波导元件	8.2～12.4	BJ-100	共22种
	1.25 厘米波导元件	18～26.5	BJ-220	共25种
	八毫米波导元件	26.5～40	BJ-320	共33种
	五毫米波导元件	40～60	BJ-550	共24种
	四毫米波导元件	60～90	BJ-740	共24种
	三毫米波导元件	75～110	BJ-900	共24种
	二毫米波导元件	110～170	R-1400	
CLX-11	五厘米测量线	3.95～5.85	BJ-48	
DH3630	三毫米测量线	75～110	BJ-900	
DH3631	八毫米测量线	26.5～40	BJ-320	
TD37	精密移相器	8.2～12.4	BJ-100	
TS5	精密衰减器	8.6～9.6	BJ-100	
DH13505	极化衰减器	26.5～40	BJ-320	
TD35B	定向耦合器	8.2～12.4	BJ-100	
TD36A	晶体检波器	8.2～12.4	BJ-100	
DH640	精密平面接头	0～18	PJ-7	共7种
DH641	同轴转换器	0.5～4	L16,L7 等	共13种
	宽带同轴元件	0～18	SMA AAPC7 等	共33种
PX-6	宽带同轴波长表	3.9～11	L16	
DH674	同轴波长表	2.5～3.5	L16	
TD28	晶体检波器	3.95～5.85	L16	
DH12613	定向耦合器	0.4～0.8(10dB)	L16	
DH12614	定向耦合器	0.4～0.8(20dB)	L16	

(2) 庆华无线电仪器厂

型　号	名　称	频率范围(GHz)	类型规格	备　注
TC	测量线	3.6～18	BJ-40,BJ-48 BJ-58,BJ-84 BJ-120、BJ-140	共六个波段
TS	极化衰减器	3.3～18	BJ-40,BJ-48 BJ-58,BJ-70 BJ-84,BJ-100 BJ-120、BJ-140	共八个波段
TD	波导元件	3.3～18	BJ-40,BJ-58 BJ-70,BJ-84 BJ-120,BJ-140	共六个波段
BD1	波导元件	8.6～9.6	BJ-100	30 种
TD	扫频元件	3.3～75	BJ-40,BJ-48 BJ-58,BJ-70 BJ-84,BJ-100 BJ-120,BJ-140	共八个波段,每波段有11～12个元件

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 上海无线电26厂

型 号	名 称	频率范围 (GHz)	类型规格	备 注
TC	波导测量线	3.95～54	BJ-48,BJ-100 BJ-140,BJ-220 BJ-320,BJ-500	共六个波段
BD21	波导元件	3.95～5.85	BJ-48	共11件
BD20	波导元件	8.2～12.4	BJ-100	共18件
BD13	波导元件	12.4～18	BJ-140	共18种
BD16	波导元件	18～26.5	BJ-220	共10种
BD14	波导元件	26.5～40	BJ-320	共18种
BD12	波导元件	46～54	BJ-500	共12种
BD22	波导元件	65～75	BJ-620	共10种
	同轴元件	0～18		分多个波段 产品约30余种
TL	低通滤波器	0.5,1,4	L16	共4种
TC21A	同轴测量线	4～18	PJ7 L16G	$VSWR \leqslant 1.05$ $VSWR \leqslant 1.09$
TC8D	同轴测量线	0.5～5	L6	$VSWR \leqslant 1.04$

(4) 前锋无线电仪器厂

型 号	名 称	频率范围 (GHz)	备 注
QF40003/40004	双定向耦合器	0.11～2	
QF40005	双定向耦合器	2～12.4	20±1dB
SH3	标准衰减器	0.～0.03	0～130dB
SH2	标准衰减器	0～0.3	0～100dB
TS	标准衰减器	0～1	1～110dB,1dB 步进
QF3710～3712	标准衰减器	0～2	0～70dB/1dB 步进 0～110dB/0.1dB 步进 0～110dB 最小按 1dB 步进
TO32	标准衰减器	0～2	0～101dB 最小按 0.1dB 步进
QF3110A/B	步进衰减器	0～1	0～70dB
QF11501	步进衰减器	0～2 0～1.3(B,C)	衰减范围及步进量不同分为 ABCDEF6 种
QF11502	步进衰减器	0.～2 0～1.3(C,D)	衰减范围及步进量不同 分为 ABCDEF 6种
QF-25	低通滤波器	0.025～1.1	
QF1600	低通滤波器	0～0.04	

(5) 潍坊计算机公司仪器厂(潍坊五三厂)

型 号	名 称	频率范围(GHz)	备 注
TC35	同轴测量线	2～18	
WS3701	超高频标准衰减器	DC～1	109.9/0.1dB
CS9	同上	DC～2	60/1dB
CS10	同上	DC～2	111/1dB
CS11	同上	DC～1	11/1dB

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

18. 无线电干扰场强测量仪

(1) 干扰/场强测量仪

制造厂家	型号及名称	频率范围	准确度	备注
北京无线电仪器二厂	RR7 干扰测量仪	9～150kHz	±2dB	准峰值、平均值
	RR 2B 干扰测量仪	0.15～30MHz	±2dB	准峰值、平均值
	RR 3A 干扰测量仪	28～500MHz	±2dB	准峰值、平均值
	RR8 干扰测量仪	450～1000MHz	±2dB	准峰值、平均值
	RC 11B 场强测量仪	0.5～30MHz	±3dB	平均值
	ZN 3970 电视场强计	VHF	±3dB	平均值
	ZN 3971 电视场强计	VHF、UHF	±3dB	平均值
	ZN3960 干扰频谱分析仪	0.1～1000MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
	ZN 3930 测试接收机	9kHz～30MHz	±1dB	准峰、峰、平均值
前锋无线电仪器厂	TS 5331 电视场强计	VHF、UHF	±4dB	平均值
深峰电子仪器公司	RS 944D 电视场强计	VHF、UHF	±3dB	平均值
永华无线电仪器厂	RS-12E 电视场强计	2～7.5GHz	—	平均值
	RS-12B 电视场强计	10～12400MHz	—	平均值
	YH 3910 电视场强计	VHF、UHF	±4dB	平均值
徐州电子仪器厂	TS 5311 电视场强计	VHF	±3dB	平均值
	F 944D 电视场强计	UHF	±4dB	平均值
Anritsu	M 262F 场强计	0.15～10MHz	±2dB	平均值
	M262E 场强计	0.5～30MHz	±2dB	平均值
	ML521 场强计	25～300MHz	±2dB	平均值
	ML518A 干扰测量仪	25～520MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
	MH650A 干扰测量仪	520～1700MHz	±3dB	准峰、峰、平均值

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

制造厂家	型号及名称	频率范围	准确度	备注
	MH649 干扰测量仪	25～1000MHz	±3dB	准峰、峰、平均值
	ML428B 干扰测量仪	9kHz～30MHz	±3dB	准峰、峰、平均值
Advantest	T541 干扰测量仪	10kHz～1000MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
	T452 干扰测量仪	10kHz～1000MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
Eaton	NM7A 干扰测量仪	20Hz～50kHz	±3dB	峰值、平均值
	NM17/27ASL 干扰测量仪	0.01～32MHz	±3dB	峰值、平均值
	NM37/57A-SL干扰测量仪	30～1000MHz	±3dB	峰值、平均值
	NM67 干扰测量仪	1～18GHz	±3dB	峰值、平均值
	FC67 干扰测量仪	18～40GHz	±3dB	峰值、平均值
	3018 干扰测量仪	9kHz～30MHz	±1dB	准峰、峰、平均值
	3038 干扰测量仪	25～1000MHz	±1.5dB	准峰、峰、平均值
Fujisoru Electric	DM35A 场强计	335～370MHz	—	平均值
	DM15B 场强计	142～163.99MHz	—	平均值
	DM45A 场强计	450～465.99MHz	—	平均值
HP	85650A/B 频谱仪	10kHz～1000MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
	85685A/B 频谱仪	10kHz～1000MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
Koyritsu	KNM203C 干扰测量仪	10kHz～150kHz	±2dB	准峰值、平均值
	KNM402C 干扰测量仪	0.15～30MHz	±2dB	准峰值、平均值
	KNM504C 干扰测量仪	25～500MHz	±2dB	准峰值、平均值
	KNM604C 干扰测量仪	5000～1500MHz	±2dB	准峰值、平均值
	KPN201 干扰测量仪	10kHz～150kHz	±2dB	准峰、峰、平均值
	KPN401 干扰测量仪	0.15～30MHz	±2dB	准峰、峰、平均值

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

制造厂家	型号及名称	频率范围	准确度	备注
Koyritsu	KPN601 干扰测量仪	25～1000MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
	KTV604 场强计	1305～1335MHz	±3dB	平均值
	KFI5602 场强计	73～90MHz 1～62ch	±2dB	平均值
	KFI4002 场强计	0.5～30MHz	±2dB	平均值
	KTV630 场强计	470～770 1035～1335MHz	±3dB	平均值
	KNM2401 干扰测量仪	9kHz～30MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
	KNM5001 干扰测量仪	25～500MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
Leader	LFC944A 场强计	1～12 13～62 ch	±4dB	平均值
	EFC945 场强计	40～300 470～890 MHz	±2dB	平均值
	LFC947 场强计	1.241～1.318 GHz	—	平均值
	LGC962A7 场强计	1～12 13～62 ch	—	平均值
Matsubo Equipment	LFR-1000 干扰测量仪	9～180kHz	±2dB	准峰、峰、平均值
	LFR-2000 干扰测量仪	0.15～30MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
	LFR-4000 干扰测量仪	25～1000MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
R/S	ESH3 测试接收机	9kHz～30MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
	ESH2 测试接收机	9kHz～30MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
	ESVP 测试接收机	20～1300MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
	ESV 测试接收机	20～1000MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
	ESU2 测试接收机	25～1000MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
	HFV 测试接收机	25～300MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
Takeda Riken	TR4123 频谱仪	100kHz～1000MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
Toyo Tennical	HFH2 干扰测量仪	9kHz～30MHz	±2dB	准峰、峰、平均值

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

制造厂家	型号及名称	频率范围	准确度	备注
	HUF 干扰测量仪	20～1000MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
YHP	8574A 频谱仪	10kHz～1000MHz	±2dB	准峰、峰、平均值
Electro metrics	EMC-11 干扰测量仪	16Hz～50kHz	—	准峰、峰、平均、均方
	EMC-30 干扰测量仪	9kHz～1000MHz	±2dB	准峰、峰、平均、均方
	EMC-60 干扰测量仪	0.5～18/40GHz	±2dB	准峰、峰、平均、均方
	CCS-30 干扰测量仪	9kHz～1000MHz	±2dB	准峰、峰、平均、均方
	CCS-130 干扰测量仪	16Hz～1000MHz	±2dB	准峰、峰、平均、均方
	CCS-760 干扰测量仪	16Hz～18GHz	±2dB	准峰、峰、平均、均方
	CCS-780 干扰测量仪	16Hz～40GHz	±2dB	准峰、峰、平均、均方

(2) 近区场强计

制造厂家	型号及名称	频率范围	测量范围	准确度
Matsubo Equipment	EFS 系列	10kHz～220MHz	1～300V/m	
	RHM 系列	10kHz～220MHz	1～300V/m	
Kyoritsu	KF1651A/B	2450MHz	0.1～10mW/cm²	±3dB
Amplifier research	13RV1001-1	4～500MHz	10V/m	±0.5dB
	14RV1001-1	1.5～500MHz	100V/m	±0.5dB
	15RV1001-1	2～100MHz	1000V/m	±0.5dB
	16RV1001-1	2～100MHz	10A/m	±0.5dB
	17RV1001-1	5kHz～2.5MHz	10～1000V/m	±0.5dB
	19RV1001-2	5kHz～2.5MHz	1～100V/m	±0.5dB
	19RV1001-3	20Hz～10kHz	10～1000V/m	±0.5dB
	19RV1001-4	20Hz～10kHz	100～10000V/m	±0.5dB

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

制造厂家	型号及名称	频率范围	测量范围	准确度
General microwave	RAHAM-1	0.3～18GHz	0.2～200mW/cm²	
	RAHAM-2	0.01～3GHz	0.2～200mW/cm²	
	RAHAM-3	0.3～18GHz	0.2～200mW/cm²	
	RAHAM-4	200kHz～26GHz	1μW/cm²～20mW/cm²	
Holaday Industries	HI 3001	0.5～6GHz	(10～10⁷)V²/m²	±2dB
	HI3002	0.5～6GHz	(10⁴～10⁷)V²/m²	±2dB
	HI 3001A	0.5～6GHz	(10～3000)V/m	±2dB
Holaday Industries	HI3002	5～300MHz	0.1～100A²/m²	±2dB
	HI3003	0.5～6GHz	10～10⁷V²/m²	±2dB
	HI3003	5～300MHz	0.01～100A/m	±2dB
	HI3004	0.5～3GHz	0～30V/m	±2dB
	HI3005	300kHz～10MHz	1～1000A²/m²	±2dB
	HI3006	300kHz～10MHz	0.1～1000A²/m²	±1dB
	HI1501	2450MHz	0～100mW/cm²	±1dB
	HI1510	2450MHz	0～10mW/cm²	±1dB
	HI1600	2450MHz	0～10mW/cm²	±1dB
	HI1600	915MHz	0～20mW/cm²	±1dB
	HI1700	2450MHz	0～2mW/cm²	±1dB
	HI1800	2450±50MHz	0～10mW/cm²	±1dB
Narda	8661	300kHz～1GHz	2～200mW/cm²	±2dB
	8662B	300kHz～1GHz	800～8 × 10⁷W²/m²	±2dB
	8621D	300kHz～10MHz	2～200mW/cm²	±1.25dB

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

制造厂家	型号及名称	频率范围	测量范围	准确度
Narda	8623D	300kHz～10MHz	800～8 × $10^7 V^2/m^2$	−3dB
	8652	300kHz～10MHz	0.05～5A^2/m^2	±0.5dB
	8631	10～300MHz	0.2～20mW/cm^2	±0.5dB
	8633	10～300MHz	0.26～2.6A^2/m^2	±0.5dB
	8682	0.3～1500MHz	1～100mW/cm^2	±2dB
	8716	300kHz～40GHz	0.2～20mW/cm^2	±2dB
	8722	300kHz～40GHz	0.3～30mW/cm^2	±2dB
	8512	10～40MHz	5～50mW/cm^2	±0.5dB
Signal	173-15	10kHz～300MHz	1～3000V/m	±2dB
	173-15	10kHz～30MHz	0.5～500A/m	±3dB
	173-16	10kHz～300MHz	1～3000V/m	±2dB
	173-16	10kHz～30MHz	0.5～16A/m	±3dB
	173-17	10kHz～300MHz	1～3000V/m	±2dB
	173-17	10kHz～30MHz	0.5～500A/m	±3dB
机电部41所	AV3941	1MHz～18GHz	0.2～200mW/cm^2	±2dB
北京无线电仪器厂	HB3941	500kHz～1GHz	0.02～2mW/cm^2	±3dB

(3) 辅助设备

制造厂家	型号及名称	频率范围	准确度
北京无线电仪器二厂	RRF001 电感探头	10kHz～10MHz	±3dB
	RRF002 电感探头	0.15～30MHz	±3dB
	RRF003 电容探头	0.15～1000MHz	—
	ZN23101 电流探头	0.1～30MHz	±1dB

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

制造厂家	型号及名称	频率范围	准确度
北京无线电仪器二厂	ZN23102 电流探头	30～300MHz	±2.5dB
	ZN23201 吸收式功率钳	30～1000MHz	±3dB
	ZN30100 偶极子天线	30～300MHz	±1dB
	ZN30101 偶极子天线	28～500MHz	±1dB
	ZN30200 双锥天线	20～200MHz	±1dB
	ZN30300 对数周期天线	450～1000MHz	±1dB
	ZN30400 环状天线	0.1～30MHz	—
	ZN 杆状天线	10kHz～30MHz	±1dB
	ZN30301 对数周期天线	80～1000MHz	±1dB
	ZN30102 偶极子天线	20～80MHz	±1dB
	ZN30401 环状天线	10～150kHz	±1dB
	ZN30402 环状天线	0.15～30MHz	±1dB
Eaton	94455-1 双锥天线	20～200MHz	
	96005 对数周期天线	200～1000MHz	
Eaton	94607 杆状天线	10kHz～32MHz	
	94641 电流探头	20Hz～1000MHz	
	93490-1 锥形对数螺旋天线	200～1000MHz	
	93491-2 锥形对数螺旋天线	1～10GHz	
	95100-1 折叠环状天线	0.15～32MHz	
	95010-1 有源宽带杆状天线	10kHz～40MHz	
	96000 双脊波导喇叭天线	200～2000MHz	
	96001 双脊波导喇叭天线	1～18GHz	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

制造厂家	型号及名称	频率范围	准确度
Eaton	96003 Parallel Element	10kHz～30MHz	
	96002 强场双锥天线	20～300MHz	
Kyoritsu	KBA-2402 杆状天线	9kHz～30MHz	
	KBA-501 宽带偶极子天线	27～80MHz	
	KBA-601 对数周期天线	80～1000MHz	
	KBA-603 对数周期天线	300～1000MHz	
	KBA-511 偶极子天线	25～500MHz	
	KBA-611 偶极子天线	500～1000MHz	
	KBA-612 偶极子天线	500～1500MHz	
R/S	HL-0231A1 对数周期天线	80～1000MHz	
	HUF-Z1 宽带偶极子天线	20～80MHz	
	HFH2-Z2 环状天线	9kHz～30MHz	
	HFH2-Z3环状天线	9kHz～1MHz	
	HFH2-Z4电感探头	100kHz～30MHz	
	ESH2-Z1 电流探头	9kHz～30MHz	
	MDS-Z1 吸收式功率钳	30～1000MHz	
	HUF-Z2 双锥天线	20～200MHz	
	HUF-Z3 对数周期天线	200～1000MHz	
	HUF-Z4 锥形对数螺旋天线	200～1000MHz	
	ESV-Z1 电流探头	20～300MHz	
	HFH2-Z1 杆状天线	9kHz～30MHz	
	HL023A1 对数周期天线	80～1300MHz	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

制造厂家	型号及名称	频率范围	准确度
EMCO	3101 锥形对数螺旋天线	200MHz～1GHz	
	3102 锥形对数螺旋天线	1～10GHz	
	3103 锥形对数螺旋天线	100MHz～1GHz	
	3104 双锥天线	20～300MHz	
	3108 强场双锥天线	30～300MHz	
	3109 强场双锥天线	20～300MHz	
	3115 双脊波导喇叭天线	1～18GHz	
	3116 双脊波导喇叭天线	18～40GHz	
	3106 双脊波导喇叭天线	200MHz～2GHz	
	3121 可调偶极子天线	28～1000MHz	
	3145 对数周期天线	100MHz～1.1GHz	
	3146 可调偶极子天线	200～1000MHz	
	3146A 可调偶极子天线	300～1000MHz	
	330LB 有源杆状天线	30Hz～50MHz	
	3303 无源杆状天线	1kHz～30MHz	
	6502 有源环状天线	10kHz～30MHz	
	6507 有源环状天线	1kHz～30MHz	
	6509 无源环状天线	0.001～30MHz，分四段	
	7603 电感探头	20Hz～50kHz	
	7604 电感探头	20Hz～50kHz	

19. 示波器

(1) 通用示波器

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

厂 家	型 号	带 宽 (Hz)	最高灵敏度	最大时基速度	通道数
北京电子显示仪器厂	BS4370	100M	10mV/cm	5ns/cm	2
	BS4331	60M	5mV/cm	5ns/cm	2
	BS4330	50M	5mV/cm	10ns/cm	2
	BS4340	35M	2mV/div	20ns/div	2
	BS4280	15M	5mV/div	0.1μs/div	
	BS4320	20M	5mV/div	0.2μs/div	2
	BS4220	5M	2mV/cm	0.1μs/cm	2
	ST-75A	7M	20mVp-p/div	50ms/cm	
	BS4862	10k	10mV/cm		
	BS4875	10k	1mV/div		
哈尔滨电子仪器厂	HD4320	30M	10mV/div	10ns/div	2
	HD4251	10M	10mV/div	0.1s/div	1
	SE171A	30M	10mV/div	10ns/div	2
	HD4253	10M	10mV/div	0.1s/div	1
	HD4286	15M	10mV/div	20μs/div	2
杭州无线电五厂	SJ8002	10M	10mV/cm	50ns/cm	1
	SJ8001	7M	10mV/cm	0.1μs/cm	1
	ST-16A	7M	20mV/cm	0.1μs/div	1
	WC4631	5M	10mV/cm	0.2μs/div 慢扫描	
	QW4361	100M	0.01V/cm	0.005μs/cm	2
	SR69	100M	5mV/cm	5ns/div	2
	SBM-3A	15M	10mV/div	0.1μs/cm	
	QW4270 (SB8B)	15M	5mV/cm	10ns/cm	2
	QW4310 (SR-37)	30M	5mV/cm	10ns/cm	2
	QW4241 (SBT-5)	10M	5mV/cm		
	QW4210 (SB14)	100k	50mV/cm		
	SB-2A	500k	0.5mV/cm		
庆华仪器厂	QH4272	15M	2mV/div	10ns/div	2
	ST16W	5M	20mV/div		
汕头电子仪器厂	XT-20A	10M	5mV/div	0.1s/div	
	SBR-1	1M	200μV/div	1μs/cm	2
	SBM-10B	30M	10mV/cm	0.05μs/cm	1
	ST4621	1M	20μV/div	0.1μs/cm	2
	SR-19	15M	10mV/cm	1μs/cm	2
	SR76	1M	50μV/cm	100ns/cm	
上海无线电二十一厂	XJ4315	20M	10mV/div	20ns/div(单扫)	2
	XJ4362	100M	5mV/cm	5ns/cm(双扫)	2
	XJ4361	100M	10mV/mc	5ns/cm(单扫)	2
	GN4321A	7M	20mV/div		
	GN4231B	3M	25mV/div		
	SBT-5	10M	25mVp-p/cm	20ns/cm	
	GN4233	3M	25mV/div		
南华仪器厂	NH4270	15M	5mV/cm	20ns/cm	2
内蒙古电子仪器厂	SR60	200M	5mV/div	2ns/cm	2
	SS-5711	100M	5mV/cm	2ns/cm	4

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	型 号	带 宽 (Hz)	最高灵敏度	最大时基速度	通道数
	SS-5705	40M	5mV/cm	10ns/cm	3
	SR-68	60M	5mV/cm	5ns/cm	2
	SS-5702	20M	5mV/div	0.1μs/cm	2
	SR62	15M	2mV/cm	0.1μs/cm	2
	SZ2	15M	10mV/cm	0.1μs/cm	
	SR67	30M	5mV/cm	0.01μs/div	2
	SXM-1	1.5M	50mV/cm	100kHz	
	NM4242	5M	10mV/div	0.5μs/cm	2
	NM4241	2.5M	20mVp-p/cm	100kHz	2
	SR2	200k	20mV/cm	300s/cm	4
宁波东风无线电厂	DF4631	1M	2mV/cm	0.5μs/cm	
	SR54	1M	200μV/cm	2μs/cm	
前卫无线电仪器厂	SB-63	100M	0.01V/cm		
	YB4246	5M	20mV/div	10μs/div	L&R
	YB4243	10M	2mV/div	0.1μs/div	1
	SR071B	7M	5mV/div	0.1μs/div	2
	YB4242 (SR071C)	7M	5mV/div	0.1μs/div	2
	YB4246	7M	5mV/div	0.2μs/div	2
	YB4272	15M	5mV/div	20ns/div	2
	YB4312	30M	5mV/div	20ns/div	2
	YB4331	40M	1mV/div	10ns/div	3
	YB4324	20M	5mV/div 扩展后: 1mV/div	0.1μs/div 20ns/div	2
辽宁无线电二厂	SR48	100M	5mV/cm	5ns/cm	2
	SR-13B	300M	10mV/cm	10ns/cm	2
	DL4330	50M	5mV/cm	5ns/cm	2
	DL-4310	20M			2
	SZ-11A	20M	2mV/cm	20ns/cm	2
	DL-4240	7.5M	10mV/cm	0.2μs/cm	2
	DL-4210	5M	10mV/cm	0.5μs/cm	2
	DL-4211	5M	10mV/cm	0.5μs/cm	2
南海电子仪器厂	GN4261	15M	10mV/div	0.1μs/div	
	ST-24	15M	10mV/div	100ns/div	
	GN4231C	5M	10mV/div		
	WC4260	7M	10mV/cm	50ns/div	2
	WC4270	15M	10mV/cm	20ns/div	2
	WC4261	10M	10mV/cm	50ns/div	2
	WC4310	20M	10mV/cm	20ns/div	2
	WC4271	15M	10mV/cm	20ns/div	2
合肥无线电三厂	SR37	100M	10mV/cm	2ns/cm	2
	SBT-5R	10M	10mV/cm	50ns/cm	2
	SBT-5J	10M	10mV/cm	50ns/cm	
	ST16J	5M	20mV/div	100ns/div	
红华仪器厂	ST-23	200M	10mV/div	2ns/div	2
	ST21	300M	5mV/cm	1ns/cm	2

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	型 号	带 宽 (Hz)	最高灵敏度	最大时基速度	通道数
	ST-22	150M	5mV/div	5ns/cm	2
	ST-19	60M	10mV/div	5ns/cm	2
	HH4320	30M	5mV/div	5ns/cm	2
	SR8-A	15M	10mV/piv	20ns/cm	
	SBT-5X(A)	10M	25mVp-p/cm	1μs/cm	
	ST16H	7M	20mV/div	0.1μs/div	1
江苏扬中电子仪器厂	SR071A	5M	5mV/div	0.1μs/div	2
	ST16	5M	20mV/div	0.1μs/div	1
	YB4210	5M	20mV/div	100kHz	1
	SR13A	300M	10mV/cm	1ns/cm (双扫)	2
	SR37A	100M	10mV/cm	5ns/cm(双扫)	2
	SR72	200M	10mV/cm	2ns/cm(双扫)	2
	XJ-4330	40M	1mV/div(×5)	20ns/div(双扫)	2
	XJ4310	30M	10mV/div	20ns/div(单扫)	2
	SR75	15M	10mV/div	20ns/div	2
	SR8	15M	10mV/div	20ns/div	2
	XJ4312	20M	1mV/div(×5)	20ns/div (单扫)	2
	XJ17	10M	10mV/div	50ns/div	1
	XJ4241	10M	10mV/div	40ns/div	2
	XJ4210	5M	10mV/div	100ns/div	1
	ST-16	5M	20mV/div	100ns/div	1
	SR46	1M	50μV/div 高灵敏	0.1μs/div	2 线
	XJ4245	10M	10mV/div	40ns/div (立体声功能)	2
	XJ18	1M	10mV/div	最慢扫速 50s/div	1
	SG1	1M	10μV/div 高灵敏	0.1μs/div	2 线
	SR12A	1M	100μV/div高灵敏	0.1μs/div	2 线
	XJ19	1M	100μV/div	0.1μs/div	1 线
泰兴电子仪器厂	SR-8	15M	10mV/div	20ns/div	
	ST-10	15M	10mV/div	40ns/div	
	ST12	2M	20mVp-p/div		
天津市电子仪器厂	TD4651	1M	1mV/div	1μs/div	2
	SZ7	1k	2Vp-p/10div		4
	TD4653	20M	500μV/div	0.2μs/div	2
	TD4652	10M	1mV/idv	0.5μs/div	2
扬中电子仪器厂	YB4361	100M	500μV/cm	5ns/cm	2
	SR151	150M	10mV/cm	20ns/cm	2
	SR8	15M	10mV/div	20ns/div	2
	YB4322	20M	5mV/div	20ns/div	2

(2) 取样示波器

厂 家	型 号	取样频宽 (Hz)	灵 敏 度	通 道 数	其 它
红华仪器厂	SQ27	1G	2mV/div	双踪/单扫	50Ω 低阻输入
前卫无线电仪器厂	SQ4	1G	10mV/div		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	型 号	取样频宽 (Hz)	灵敏度	通道数	其 它
上海无线电二十一厂	SQ20	12.4G	5mV/div	双踪/双扫	50Ω 低阻输入
	SQ10	1G	1mV/div	双踪/双扫	50Ω 低阻输入
	SQ12A	1G	5mV/div	双踪/单扫	高阻 100kΩ 输入

(3) 记忆示波器

厂 家	型 号	存储书写速度	存储方式	带 宽 (Hz)	最高灵敏度	通道数
合肥无线电三厂	SJ3	1div/μs		15M	10mV/div	2
	DC4460	1div/μs		10M	10mV/div	1
南华仪器厂	NH4461	300div/μs		60M	10mV/div	2
上海无线电 21 厂	SJ6	2div/μs	可变余辉	30M	10mV/div	2

(4) 数字存储示波器

厂 家	型 号	通道数	存储容量/通道(字)	字 长	取样率 (Hz)	前触发
北京微电子技术应用研究所	MEC43004	2	250	8bit	40K	可变
	MEC43000	2	1024	8bit	20K	可变
上海无线电二十一厂	SS1	2	1024	8bit	0.5M	可变
天津市电子仪器厂	TD4440	2	1K(记录时 4K)	8bit	1M	±0.0～9.9div

(5) 电视示波器

厂 家	型号名称	主要性能指标
重庆无线电测试仪器厂	CC5440 型 电视波形监视器	频带宽度：50Hz～10MHz 显示方式：外、1 行、2 行、场 选行方式：数字、连续、15 行 选场方式：单场、两场、全场 同步方式：内、外、直接、AFC
合肥无线电三厂	DC5440 型 波形监视器	带宽：DC～20MHz 扫描方式：5μs/div、10μs/div、2 场、外接 选场：全场、奇场、偶场或 1、2、3、4 单场 选行：数字选行 9～22 行(322～335 行)、15 行、连续行
扬中电子仪器厂	VS1 型 波形监视器	频带宽度：50Hz～8MHz 工作方式：平直、低通、带通 扫描时间：2 场、2 行、1 行、10μs/cm、5μs/cm 扫描工作方式：常态、选场、选行、选帧 同步方式：连续、触发
合肥无线电三厂	VS-19 型 双踪电视示波器	带宽：DC～60MHz 触发信号：全电视信号 625/50、选场、I 场、II 场 选行：全场连续任选

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	型 号 名 称	主要性能指标
上海无线电二十一厂	XJ-5440 型 波形监视示波器	带宽：25Hz～5MHz 微分增益：同“色度”时频响相同，增益为3～5.5倍 扫描：2H(2行)1μs/div、2V(2场)
辽宁无线电二厂	DL-4330 型 电视选行及通用示波器	带宽：DC～50MHz 扫描方式：单次、正常、电视、X-Y 扫描时间：0.05μs/cm～0.5s/cm、行场电视定场、连续、行控选行 电视延迟选行时间：0～22ms
辽宁无线电二厂	SZ-11A 型 电视选行及通用示波器	带宽：DC～20MHz 扫描方式：单次、正常、电视、X-Y 选场：任选奇、偶场 选行：连续延时、行控延时、不延时 电视延迟选行时间：0～22ms
扬中电子仪器厂	YB4681 型 电视数字选行示波器	频带宽度：30MHz 扫描方式：单次、常态、电视 数字选行范围：1～625行中任一行 电视触发灵敏度：内1cm、外0.5Vp-p
上海无线电二十一厂	XJ5431 型 选行/矢量示波器	具有选行、波形、矢量示波器功能 矢量相位：<1.2° 正交相位：<1° 固有微分增益：<0.5% 固有微分相位：<0.5° 选行垂直满度“1”“0.5”±2% Y轴带宽：100kHz～6MHz 扫描速度：10μs/div、5μs/div、扩展×5、×10、×20、×25、×50 固定选行14～22行 连续选行1～625行可变
合肥无线电三厂	DC5430 型 双通道矢量示波器	外副载波输入幅度：1.5～2.5Vp-p 外副载波输入频率：4.43361875MHz Y、R、G、B、U、V显示幅度误差：≤±5% 矢量显示：幅度误差≤±5%，相位误差≤±1.2° 精密测相器：测相范围−15°～+15°，分辨率0.1° 插入测试行范围：I、III场11～22行，II、IV场324～335行
上海无线电二十一厂	XJ5430 型 双通道矢量示波器	副载波振荡频率：4.43361875MHz 矢量精度：≤1.5° 正交相位：<1° 固有微分增益：1% 固有微分相位：1°

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

20. 脉冲信号发生器

(1) 脉冲信号发生器

生产厂家	型号	技术指标			
		输出脉冲频率/周期	输出脉冲宽度	输出脉冲延迟	输出脉冲幅度
南通电子仪器厂	MF-1A	1Hz～10kHz	0.2～10μs	1μs～0.1s	1kΩ负载下≥130V 75Ω/50pF负载下≥20V
	NF1518	1μs～1s	0.1μs～10ms	/	±(200mV～10V)
	NF1511A (XC13A)	100Hz～10MHz	30ns～3000μs	30ns～3000μs	200mV～5V
	NF1515A (XC46A)	300Hz～30MHz	15ns～1000μs	15ns～1000μs	2～16V
	NF1513A (XC19A)	300Hz～30MHz	15ns～1000μs	15ns～1000μs	200mV～5V
	NF1512A (XC14A)	1kHz～50MHz	10ns～1000μs	10ns～500μs	200mV～5V
	NF1531A (XC15A)	1kHz～100MHz	5ns～300μs	5ns～300μs	150mV～5V
	NF1532A (XC20A)	3kHz～200MHz	2.5ns～100μs	2.5ns～100μs	200mV～5V
	NF1533A (XC35A)	30kHz～300MHz	1.5ns～15μs	1.5ns～15μs	0.8～2V
	NF1534 (XC37)	100kHz～500MHz	3ns～10μs	3ns～10μs	0.2～2V
	NF1552	1Hz～100kHz	1ns～100ns	0～150ns	160mV～50V
935厂	XC32	10Hz～100kHz	≥260ns	0～300ns	5～10V
	MFS-2B	0.1Hz～1MHz	0.1μs～1s	0.2μs～2s	8mV～50V
	XC48A	1Hz～1MHz	正方波	0～300ns	>200mV
	XC48B	1Hz～1MHz	负方波	0～300ns	≥200mV
	XC39	1Hz～1MHz	正方波	0～300ns	>400mV
	XC33	1kHz～30MHz	15ns～10μs	5ns～10μs	1～5V
	XC2C	1kHz～30MHz	15ns～100μs	50ns～100μs	150mV～5V
	XC17	50kHz～100MHz	5ns～5μs	2.5ns～5μs	150mV～5V

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 双脉冲信号发生器

生产厂家	型 号	技术指标			
		输出脉冲频率/周期	输出脉冲宽度	输出脉冲延迟	输出脉冲幅度
南通电子仪器厂	NF1521A (XC16A)	/1μs～100ms	0.1μs～1000μs	0.3μs～3000μs	150mV～20V
	NF1522A (XC34A)	100Hz～10MHz	30ns～3000μs	50ns～3000μs	150mV～10V
	NF1523	/20ns～10ms	10ns～5ms	10ns～5ms	500mV～10V
	NF1535	3kHz～100MHz	5ns～100μs	5ns～100μs	0.2～5V
935 厂	QW1525	0.1Hz～2MHz	0.1μs～1s	0.2μs～2s	300mV～20V
	QW1520	100Hz～10MHz	30ns～3ms	50ns～3ms	4～16V
	XC36	1kHz～30MHz	15ns～30μs	50ns～100μs	1～5V
	XC42	1kHz～50MHz	10ns～300μs	50ns～300μs	150mV～5V
金华市无线电厂	ZJW1521	10Hz～1MHz	0.1μs～100μs	0.3μs～3000μs	20mV～20V

(3) 其它

生产厂家	名 称	技术指标				
		输出脉冲频率/周期	输出脉冲宽度	输出脉冲延迟	输出脉冲幅度	群脉冲
南通电子仪器厂	NF1517 群脉冲信号发生器	/1μs～1s	0.1μs～0.1s	0.3μs～0.3s	±(150mV～20V)	2～99 任选 群间隔: 正常:0.3μs～0.3s 外触发,最大∞
	NF1524 智能脉冲信号发生器	0.01Hz～999.9 kHz 精度:优于±0.1%	100ns～999ms 精度: ±3%±20ns	300ns～999ms 精度: ±3%±20ns	±0.1～±9.9V	2～9999 任选最小步进: 1 个群间隔 6～9999 个最小步进 1 个

生产厂家	名 称	技术指标		
		脉冲幅度的测量范围	测量精度	电平选测的额定调整范围
南通电子仪器厂	NF2144 脉冲幅度测量仪	±100μV～±200V	±100μV～±100mV: 优于 0.1%±30μV ±100mV～±10V: 优于 0.05%±30μV ±10V～200V: 优于 0.1%	−10～+10V +10～+200V −10～−200V

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

生产厂家	名　称	技术指标			
		输出幅度	输出幅度准确度	内触发重复频率	外触发输入阻抗：5kΩ
935 厂	XO13 脉冲幅度标准	100mV～200V	0.1%～0.3%	10Hz～10kHz	对信号源的要求： 空度比：约50%负脉冲 幅度：2～5V 频率：10Hz～10kHz

生产厂家	产品名称	代表性的若干技术指标
南通电子仪器厂	NF1581 (XC44) 精密延迟 脉冲信号发生器	延迟时间：0～999 999 999ns，最小步进 1ns 精度：±0.2ns (1～9ns) ±0.5ns(10～99ns) ±0.5ns±晶振稳定度×T(大于100ns) 内部晶振稳定度：优于 2×10^{-8}/天
	NF1583 时间综合器	延迟时间：0～9 999 999 999ns，最小步进 1ns 周期时间：100～9 999 999 950ns，最小步进 50ns "脉宽时间"输出：5～9 999 999 999ns，最小步进 1ns
	NF1592 (XC38) 距离刻度校准仪	晶振频率 74.955kHz，精度和稳定度不劣于 1×10^{-4}。 距离刻度校准脉冲特性。 频率：74.955、14.991、2.998kHz 精度和稳定度不劣于 1×10^{-4} 分别代表：2km、10km、50km 标志。 ×1 复式刻度：细刻度 2km，粗刻度 10km 单式刻度：10km ×5 复式刻度：细刻度 10km、粗刻度 50km 单式刻度：50km

www.789pdf.com 789书库网

21. 频谱分析仪

(1) 扫描调谐型——低频频谱仪

厂家	型号	频率范围	频谱宽度	分辨带宽		灵敏度	频响	显示动态范围
				min	max			
天津第二电子仪器厂	BP28A	5Hz～20kHz		4Hz	150Hz	3μV(满度)		100dB
	ED4010	1Hz～5kHz		1Hz				80dB
	ED4011	20Hz～20kHz						60dB
北京长城无线电厂	JS4072	DC～20kHz						>70dB
前锋无线电仪器厂	QF4021	3kHz～30MHz	0.2～30kHz 连续调	6Hz	150Hz	1～15mV(满度)	≤±3dB	60dB
南京无线电仪器厂	PFG-2	3～30MHz	0.4～20kHz 连续调	50Hz	100Hz	1～32mV(满度)		60dB
重庆无线电测试仪器厂	VS18	10kHz～20MHz		2kHz	20kHz			50dB
永华无线电仪器厂	YH4020	1kHz～110MHz	零扫+200Hz～100Hz 分档	10Hz	300kHz	−130dBm	≤±1dB	70dB
Hewlett Packard	3580A	5Hz～50kHz	零扫+50Hz～50kHz 分档	1Hz	300Hz	100nV(满度)	≤±0.5dB	80dB
	8556A	20Hz～300kHz	零扫+0.2～200kHz 分档	10Hz	10kHz	−142dBm	≤±0.2dB	70dB
	3588A	10Hz～150MHz	10Hz～150MHz 分档	1.14Hz	18.6kHz	−132dBm		112dB
	3585B	20Hz～40MHz	20Hz～40MHz 分档	3Hz	30kHz	−137dBm		95dB
	8553B	1kHz～110MHz	零扫+200Hz～100MHz 分档	10Hz	300kHz	−140dBm		
	4195A	10Hz～500MHz		3Hz	300kHz	−137dBm		100dB
Rohde & Schwarz	EZM	1kHz～2MHz		0.03Hz	10kHz	−28dBμV		100dB
	EZF	6kHz～130MHz		50Hz	300kHz	0dBμV	≤±1dB	80dB
Takeda Riken	TR4120	100Hz～30MHz	500Hz～20MHz 分档	10Hz	100kHz	−135dBm	≤±0.5dB	80dB
	TR4110/4114	50Hz～120MHz	零扫+500Hz～120MHz 分档	10Hz	300kHz	−135dBm	≤1.5dB	80dB
	TR4171	10Hz～120MHz		3Hz	100kHz	−150dBm		100dB
Morconi	ZL5	10kHz～5MHz		10Hz*	30kHz*	−148dBV	≤±0.5dB	80dB
	TF2370	30Hz～110MHz	200Hz～100MHz 分档	5Hz	50kHz	−159dBm	≤±1dB	100dB
	TF2382	100Hz～400MHz	零扫+100Hz～100MHz 分档	3Hz	1MHz	−150dBm	≤±0.4dB	100dB
Signal	CK4-56	10Hz～300MHz		3Hz				90dB
	CK4-59	10kHz～110MHz		100Hz				70dB
	CK4-74	300Hz～300MHz		3Hz				70dB
Wandee & Goltemann	SNA-1	100Hz～180MHz	零扫+100Hz～180MHz 分档	3Hz	300kHz	−130dBm	±0.6～±2.5dB	100dB
Anritsu	MS620B/K	10Hz～30MHz		3Hz		−130dBm		
	MS560J	100Hz～300MHz		3Hz		−130dBm		

www.789pdf.com 789书库网

(2) 扫描调谐型——RF 及微波频谱仪

厂家	型号	频率范围	频谱宽度	分辨带宽 min	分辨带宽 max	灵敏度	频响	显示动态范围	备注
前锋无线电仪器厂	BP29A	100kHz～1.5GHz	零扫+20kHz～1.5GHz分档	600Hz	300kHz	−107dBm	±1.5～±3dB	70dB	
	QF4030	100kHz～1GHz	零扫+1～1000MHz 分档	10kHz	1.5MHz	<7dBμ	≤±1.5dB	80dB	
	QF4031	50Hz～1.7GHz	零扫+200Hz～1.7GHz 分档	30Hz	300kHz	≤−122dBm	±0.5～1.25dB	72dB	
永华无线电仪器厂	BP30A	10.1MHz～40GHz	零扫+100kHz～2GHz 分档	1kHz	1MHz	−100～−50dBm		60dB	
	BP-9	10MHz～40GHz	6～60kHz 连续调			−90dBm		60dB	
	YH4033/Y1	10MHz～21GHz	100kHz～2GHz 分档	1kHz	3MHz	−111dBm	±1～±3dB	70dB	
	YH4032	10.1MHz～40GHz	30kHz～2GHz 分档,连续	1kHz	1MHz	−90dBm		60dB	
上海无线电二十六厂	BP12A	10.1MHz～40GHz		1kHz	1MHz	−90dBm		60dB	
	YM4031	10MHz～40GHz	零扫+20kHz～2GHz 分档	100Hz	300kHz	−105dBm		70dB	
	XSQ-1	10MHz～1GHz	零扫+10MHz～1GHz 分档			−90dBm		60dB	
天津第二电子仪器厂	ED4030	20MHz～18GHz	全扫	1kHz		−100～−70dBm	≤±2dB	60dB	
Hewlett Packard	8554B	100kHz～1.25GHz		100Hz	300kHz	−122dBm	≤±1dB	70dB	
	8567A	10kHz～1.5GHz	零扫+100Hz～1.5GHz 分档	1kHz	3MHz	−115dBm	≤±1dB	90dB	○
	8568B	100Hz～1.5GHz	零扫+100Hz～1.5GHz 分档	10Hz	3MHz	−135dBm	≤±1.5dB	90dB	○
	8590A	10kHz～1.5GHz	零扫+50kHz～1.5GHz 分档	1kHz	3MHz	−115dBm	≤±1dB	80dB	○
	8590B	9kHz～1.8GHz	零扫+50kHz～1.8GHz 分档	1kHz	5MHz	−115dBm	≤±1dB	70dB	○
	8591A	9kHz～1.8GHz	零扫+10kHz～1.8GHz 分档	1kHz	5MHz	−115dBm	≤±1dB	70dB	○
	8560A	50Hz～2.9GHz	零扫+100Hz～2.9GHz 分档	10Hz	2MHz	−130dBm	≤1dB	100dB	○

www.789pdf.com 789书库网
www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	型 号	频率范围	频谱宽度	分辨带宽 min	分辨带宽 max	灵敏度	频 响	显示动态范围	备注
	71100A	100Hz～2.9GHz	零扫+1Hz～2.9GHz 分档	10Hz	3MHz	−134dBm	±1～±1.5dB	70dB	○
	71100C	100Hz～2.9GHz	零扫+1Hz～2.9GHz 分档	10Hz	3MHz	−133dBm	≤±1.5dB	70dB	○
	8561B	50Hz～6.5GHz	零扫+100Hz～6.5GHz 分档	10Hz	2MHz	−130dBm	≤1.5dB	100dB	○
	8559A	10MHz～21GHz	零扫+100kHz～2GHz 分档	1kHz	3MHz	−110dBm	±1～±3dB	80dB	○
	8570A	10MHz～22GHz		1kHz	3MHz	−110dBm			○
	8592B	9kHz～22GHz	零扫+(50×N)kHz～19.5GHz	1kHz	5MHz	−102dBm	±1.5～±2dB	70dB	○
	8593A	9kHz～22GHz	零扫+(50×N)kHz～19.25GHz	1kHz	5MHz	−102dBm	±1.5～2dB	70dB	○
	8563A	9kHz～22GHz	零扫+(100Hz×N)～19.25GHz	10Hz	2MHz	−120dBm	±1～3dB	100dB	○
	71210A	100Hz～22GHz		10Hz	3MHz	−130dBm			○
	71201A	50kHz～22GHz		10Hz	3MHz	−130dBm			○
	71200C	50kHz～26.5GHz		10Hz	3MHz	−132dBm			○
	8555A	10MHz～40GHz**	零扫+20kHz～2GHz+全扫	100Hz	300kHz	−127dBm	±1～±2dB	70dB	
	8569B	10MHz～115GHz**		100Hz	3MHz	−123dBm			○
	8562A/B	9kHz～325GHz**	零扫+(2.5×N)kHz～23.75GHz	100Hz	2MHz	−110dBm	±1～±3dB	90dB	○
	8566B	100Hz～325GHz**		10Hz	3MHz	−134dBm	±0.6～±3dB	90dB	○
	71300A	18～325GHz		10Hz	3MHz	−130dBm			○
Tektronix	7L12	100kHz～1.8GHz	零扫+5kHz～1.8GHz 分档	300Hz*	3MHz*	−115dBm	±1.7dB	70dB	
	7L14	10kHz～1.8GHz	零扫+2kHz～1.8GHz 分档	30Hz	3MHz	−130dBm	±1.5dB	70dB	

www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	型 号	频率范围	频谱宽度	分辨带宽 min	分辨带宽 max	灵敏度	频 响	显示动态范围	备注
	495/495P	100Hz～1.8GHz	零扫+100Hz～1.7GHz 分档	100Hz*	1MHz*	−131dBm	±1dB	90dB	△/○
	2710	100kHz～1.8GHz	零扫+100kHz～1.8GHz 分档	3kHz*	5MHz*	−129dBm	±1.5dB	80dB	
	496/496P	1kHz～1.8GHz	零扫+500Hz～1.8GHz 分档	30Hz*	1MHz*	−126dBm	±1.5dB	80dB	△/○
	2753P	100Hz～1.8GHz	零扫+100Hz～1.8GHz 分档	10Hz*	3MHz*	−130dBm	±1dB	90dB	○
	2754/2754P	50kHz～21GHz	零扫+200Hz～1GHz 分档	1kHz*	1MHz*	−115dBm	±1.5～±3.5dB	80dB	△/○
	TL18	15～60GHz	零扫+2kHz～5GHz 分档	30Hz*	3MHz*	−110dBm	±1.8～±4dB	70dB	
	492A/492AP	50kHz～325GHz**	零扫+200Hz～10GHz+全扫	100Hz*	1MHz*	−125dBm	±1.5～±3dB	80dB	△/○
	2755/2755P	50kHz～325GHz**	零扫+200Hz～15GHz+全扫	100Hz*	1MHz*	−125dBm	±1.5～±3dB	80dB	△/○
	2756P	10kHz～325GHz**	零扫+100Hz～100GHz+全扫	10Hz*	3MHz*	−134dBm	±1.5～±3dB	90dB	○
	494A/494AP	10kHz～325GHz**	零扫+100Hz～100GHz+全扫	10Hz*	3MHz*	−134dBm	±1.5～±3dB	90dB	△/○
Marconi	TF2383	100Hz～4.2GHz	零扫+100Hz～4.2GHz 分档	3Hz	1MHz	−150dBm	±0.5～±1dB	100dB	○
Rohde & Schwarz	FSA	100kHz～1.8GHz		6Hz	3MHz	−145dBm	±0.6～±1dB	100dB	○
	632C-1	100Hz～2GHz		300Hz	1MHz	−120dBm	≤±1.5dB	80dB	
	EIF+EZFU	30MHz～2.7GHz		50Hz	300kHz	−122dBm	±1～±2dB	80dB	
Takeda Riken	TR4132/4132N	100kHz～1GHz	零扫+1MHz～1GHz 分档	10kHz	1.5MHz	5dBμ	≤±1dB	80dB	
	TR4122B	100kHz～1.5GHz	零扫+20kHz～1GHz 分档	500Hz	3MHz	−115dBm	≤±1dB	90dB	
	TR4110/4113A	100kHz～1.7GHz	零扫+2kHz～2GHz 分档	30Hz	300kHz	−115dBm	±1～±1.5dB	80dB	
	TR4172	50Hz～1.8GHz		10Hz	1MHz	−150dBm		90dB	

www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	型 号	频率范围	频谱宽度	分辨带宽 min	分辨带宽 max	灵敏度	频 响	显示动态范围	备注
	TR4131A	10kHz～3.5GHz		1kHz	1MHz	−116dBm	±1～±3.5dB	80dB	○
	TR4131B	10kHz～3.5GHz		1kHz	1MHz	−116dBm	±1～±2dB	80dB	○
	TR4135	10kHz～3.6GHz		30Hz	1MHz	−131dBm		80dB	○
	TR4110/4111	100kHz～4.5GHz	零扫+2kHz～2GHz 分档	10Hz	300kHz	−120dBm	≤±1dB	80dB	
	TR4173/E	100Hz～5GHz	100Hz～3.2GHz 分档	10Hz	1MHz	−135dBm	±1～±1.5dB	95dB	○
	TR4110/4112	10GHz～20GHz	零扫+20kHz～4GHz 分档	100Hz	300kHz	−115dBm		80dB	
	TR4133A	100kHz～20GHz**	零扫+20kHz～4GHz 全扫	100Hz	1MHz	−118dBm	±1～±3dB	80dB	○
	TR4136	500Hz～23GHz		30Hz	1MHz	−131dBm		80dB	△
	TR4133B	100kHz～60GHz**	零扫+20kHz～4GHz+全扫	100Hz	1MHz	−118dBm	±1～±4dB	80dB	○
Anritsu	MS62A/B	10kHz～1.7GHz	零扫+10kHz～1.1GHz 分档	100Hz	300kHz	−122dBm	≤2dB	72dB	普通示波管
	MS62A3/B3	20kHz～1.7GHz	零扫+10kHz～1.7GHz 分档	100Hz	300kHz	−9dBμ	≤2dB	72dB	记忆示波管
	MS62C/D	50Hz～1.7GHz	零扫+10kHz～1.7GHz 分档	30Hz	300kHz	−130dBm	≤2dB	72dB	
	MS62C3/D3	50Hz～1.7GHz	零扫+10kHz～1.7GHz 分档	30Hz	300kHz	−17dBμ	≤2dB	72dB	
	MS611A/J	50Hz～2GHz	零扫+100Hz～2GHz 分档	10Hz*	3MHz*	−135dBm	±1.5～±3dB	90dB	○
	MS2601A/J	10kHz～2.2GHz	零扫+1kHz～2.2GHz 分档	30Hz	1MHz	−120dBm/−114dBm	≤±0.5dB	80dB	
	MS68A/B	10kHz～4.4GHz	零扫+10kHz～1GHz	100Hz	300kHz	−122dBm	≤2.5dB	72dB	
	MS68A3/B3	10kHz～4.4GHz	零扫+10kHz～1GHz+波段	100Hz	300kHz	−7dBμ	≤2.5dB	72dB	
	MS612A	50Hz～5.5GHz	零扫+100Hz～3.8GHz 分档	10Hz*	3MHz*	−135dBm	±0.5～±2.2dB	90dB	○
	MS710C/D.E.F	10kHz～23GHz	零扫+10kHz～2GHz 分档	100Hz*	3MHz*	−115dBm	±0.5～±4dB	80dB	○

注：*——−6dB 分辨带宽。**——加外部混频器。○——完全 GP/IB 功能。△——可程控

www.789pdf.com 789书库网

(3) 实时频谱分析仪

厂　家	型号	频率范围	分辨力	显示动态范围	幅度范围	窗-函数	通道数	备　注
南京无线电仪器厂	NM6270	0.8Hz～26kHz	8mHz～260Hz	60dB		平顶、汉宁		FFT
天津第二电子仪器厂	ED4070		200线/通道	60dB			2	FFT
永华无线电仪器厂	RE201	20Hz～25kHz	1Hz	70dB			2	FFT
Hewlett Parkard	3582A	0.02Hz～25.5kHz	0.02Hz～363Hz	70dB	−120～+30dBm	平顶、汉宁、均匀	2	FFT
	3561A	125μHz～100kHz	23μHz～900Hz	80dB	−120～27dBV	平顶、汉宁、均匀、力型	2	FFT
	3562A	64μHz～100kHz	12μHz～450Hz	80dB	−116～27dBV	平顶、汉宁、均匀、力型	2	FFT
	35660A	244μHz～102.4kHz	频宽/400	85dB	−140～27dBV	平顶、汉宁、均匀、力型、指数	2	FFT
Brüel & Kjær	2031	10kHz～100kHz	400线	80dB	160dB			
	2032	1.95mHz～25.6kHz	801线	80dB	160dB			
	2033	1mHz～20kHz	4K线	80dB	160dB			
	2034	1.95mHz～25.6kHz	801线	80dB	160dB			
Spectray Danamic	SD345	DC～100kHz	0.05Hz					
	SD380/2	1Hz～40kHz	800线	80dB				
Takeda Riken	TR9305	2.5mHz～100kHz	2mHz		−120～30dBV			
	TR9405	DC～100kHz	2mHz		−120～30dBV			
	TR9304	1Hz～100kHz	频宽/400	65dB	−120～35dBV		1	
	TR9402	DC～100kHz		78dB	−120～30dBV		2	
	TR9403	DC～100kHz	800线/通道	140dB	−120～30dBV		2	FFT

www.789pdf.com 789书库网
www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	型号	频率范围	分 辨 力	显示动态范围	幅度范围	窗 函 数	通道数	备 注
		1Hz～1MHz	12bit	70dB	−120～30dBV		1	FFT
	TR9408A/B	1Hz～10MHz	12bit		−120−20dBV		1/2	FFT
Solartron	1510	0.1Hz～25.6kHz	256 线		30μV～10V	平顶 汉宁		
岩 崎	SM2100	DC～100kHz	0.2mHz		0.1～200V			
小 野	CF400	1mHz～20kHz	1mHz		0.1～20V			
Wavetek Rockland	5809A	2.5mHz～100kHz	400 线	数字显示				
	5810A	2.5mHz～100kHz	400 线	数字显示				
Scientific	5820B	0.01Hz～50kHz	400 线	数字显示				
	5830A	5mHz～100kHz	400 线	数字显示				
	446B	2.5mHz～100kHz	400 线	数字显示				
	512/S	0.4mHz～100kHz	400 线	数字显示				
	541A	0.4mHz～100kHz	400 线	数字显示				
	660B	0.2mHz～100kHz	800 线	数字显示				
	804A	2.5mHz～40kHz	400 线	数字显示				
Matsushita	VS-3310P	DC～40kHz	400 点		60dB			
Rohde & Scwarz	FAR+FARZ	2Hz～40kHz		60dB	0～140dBV			
Signal	CK4-58	0.4～600kHz	100Hz	70dB				
	CK4-72	0.05～20kHz		60dB				

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

22. 失真度测量仪

生产厂家	通用失真度测量仪	自动点频失真度测量仪	全自动失真度测量仪	低失真度测量仪
北京无线电仪器二厂	SZ-3 型 BS1 型 BS1A 型	BS4 型 BS5 型 ZN4110 型 ZN4111 型	ZN4121 型	ZN4112 型
浙江电子仪器厂	S2-3 型		ZN4121 型	ZQ4120 型
宁波东风无线电厂				BS6 型 DF4120 型
国营前锋无线电仪器厂	QF4110			QF4111 型
成都无线电一厂	BS2 型			
江西赣东北无线电厂	BS1 型	DZS-801 DZS-802 GW4110 GW4111		
上海无线电仪器厂		S907 S908		
无锡表牌厂	BS1 型			
广东东莞无线电厂	SZ-1A 型 SZ-1B 型			
哈尔滨无线电四厂	SZ-3 型			
吉林龙井有线电厂	SZ-3 型			
安徽马鞍山元件厂	BS1 型			
河南鹤壁无线电一厂	BS1 型			

23. 调制度测量仪

生产厂家	型号	测量范围				备注
		功能	载波频率 (MHz)	调制频率 (Hz)	量程 (%)/(kHz)	
北京无线电二厂	ZN4140	AM	0.5～30	30～10k	100	
前锋无线电仪器厂	BD-5	AM	4～520	30～50k	30、100	
		FM	4～1000	30～200k	1.5～500	
	QF4130	AM	4～520	30～100k	10～100	
		FM	4～1200	30～200k	1.5～500	
	QF4131	AM	9～520	50～9k	10～100	自动调谐
		FM	9～1000	50～9k	1.5～150	自动调电平
	QF4132	AM	0.1～30	50～10k	30,100	自动调谐
		FM	0.1～30	50～10k	5～150	自动调电平
美国 HP 公司	HP8901A(B)	AM FM PM	0.15～1300 0.15～1300 10～1300	20～100k 20～200k 200～20k	最大 100 最大 400 最大 400rad	全自动,可程控,调制准确度:1%具有测量射频频率、电平等多种功能

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

24. 低频信号(函数)发生器

生产厂家	产品名称	主要指标
宁波东风无线电厂	XO10 精密信号发生器	0.001Hz～110kHz 失真 0.01%，稳幅 0.01%/h 输出 10V
天津电子仪器厂	TD1010 低失真信号发生器	0.001Hz～110kHz 失真 0.01%，稳幅0.01%/h 输出 10V
前锋无线电厂	QF1020 低失真低频信号发生器	10Hz～109.9kHz 失真 0.0056% 输出 3V
北京长城无线电厂	XFS-9C 型信号发生器	20Hz～20kHz 可连续扫频失真 0.5% 输出 10W
四平电子仪器厂	XFD-7A 低频信号发生器	20Hz～200kHz，失真 <3% 最大输出 5W
天津市无线电一厂	HG1010 精密低频信号发生器	0.001Hz～110kHz 失真 0.01%，稳幅 0.01%/h 输出 10V
	XFD-6 型低频信号发生器	20Hz～200kHz 失真 1% 输出 $20V_{rms}$
阜阳无线电厂	XD-7S 型低频信号发生器	20Hz～200kHz 失真 <0.3% 输出 >4W
上海无线电二十六厂	XD7型低频信号发生器	20Hz～200kHz 失真 <0.2% 输出 >4W
北京无线电仪器二厂	XD22型低频信号发生器	1Hz～1MHz 失真 < 0.1% 正弦输出 6V，脉冲输出 $10V_{p-p}$ TTL 输出
	ZN1040 型低频功率信号发生器	1Hz～1MHz 失真 0.1% 功率输出 5W，电压输出 $5V_{rms}$ 方波输出 $20V_{p-p}$，TTL 输出
天津市无线电一厂	XD1A 信号发生器	1Hz～1MHz 失真 0.1% 功率输出 5W 电压输出 $5V_{rms}$ 有内部电压表
	XD2A 低频信号发生器	1Hz～1MHz 电压输出 >5V 失真 0.1% 功率输出 50Ω 0.5W
洪泽电子设备厂	SG1021 型低频信号发生器	1Hz～1MHz 失真 1% 输出 50Ω $15V_{p-p}$ 有TTL 输出 有内部频率计
	XD-11 型多用信号发生器	1Hz～1MHz 失真 0.1% 有正弦波、正负方脉冲、正负尖脉冲，锯齿波
四平电子仪器厂	XD1型信号发生器	1Hz～1MHz 失真 1.0% 电压输出 5V. 功率输出 4W
	XD2型信号发生器	1Hz～1MHz 失真 0.1% 电压输出 $5V_{rms}$
阜阳无线电厂	XD1A、10 型精密信号发生器	1Hz～1MHz 失真 < 0.01% 电压输出 >5V 功率 >4W 稳幅 $<5\times10^{-4}/10$ 分钟
	XD1.2 型信号发生器	1Hz～1MHz 失真 0.1% 电压 >5V 功率 >4W(XD1)
景德镇市无线电厂	JW1022 型低频信号发生器	1Hz～1MHz 失真 0.1% 电压输出 5V，功率输出 4W 带内部频率计
天津无线电一厂	HG102D(QX-1) 型信号发生器	10Hz～1MHz 失真 0.05% 频响 0.01dB. 稳幅 0.05%/30 分 输出 $10V_{rms}$(600Ω)
浙江电子仪器厂	ZQ1025 型低失真信号发生器	10Hz～109kHz 失真 0.005% 输出 3V

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

生 产 厂 家	产 品 名 称	主 要 指 标
宁波东风无线电厂	BX29 型超低频双相信号发生器	0.000001Hz～100kHz，双路输出正弦波、三角波、方波。$10V_{p-p}$ 输出 0～360° 相位可调，相差 ±2°
	XD20 超低频信号发生器	0.000001Hz～100kHz 正弦波失真 1%，三角波、方波、输出 $10V_{p-p}$
天津市电子仪器厂	XD24 超低频函数发生器	0.01Hz～100kHz 正弦波失真 1%，三角波、方波，最大输出 $20V_{p-p}$
	XT25 型超低频信号发生器	0.01Hz～100kHz 正弦波、三角波、方波，可程控扫频频率数字显示
阜阳无线电厂	XD11B 型多用信号发生器	10Hz～20kHz 正弦失真 <0.1% 正弦，三角、方波、尖脉冲，锯齿，正弦输出 $>5V_{rms}$，其他 $10V_{p-p}$
天津无线电六厂	YY1021 型猝发信号发生器	2.5Hz～250kHz 正弦、三角、锯齿波和方波、内含数字频率计和 $3^1/_2$ 位 RMS 电压表
宁波东风无线电厂	XD17，17C 型宽带函数发生器	0.0001Hz～1MHz 正弦波、三角波、方波、输出 (600Ω)$20V_{p-p}$
上海无线电仪器厂	S101 型函数发生器	1Hz～1MHz，正弦波、三角波、方波、输出 $10V_{p-p}$ (600Ω)
四平电子仪器厂	XDD1 型多功能信号发生器	10Hz～1MHz 正弦波失真 0.1% 正负矩形脉冲，内含直流稳压电源、示波器
南通电子仪器厂	NF1632 型函数发生器	1Hz～1MHz 正弦波、三角波、方波，单双脉冲输出 $20V_{p-p}$ (600Ω)
天津市无线电一厂	宽带多波形数字信号发生器	0.1Hz～1MHz 正弦失真 0.1% 正负方波，TTL 脉冲数码管频率指示
北京长城无线电厂	JS-5550 型综合信号发生器	1Hz～1MHz 正弦波失真 0.1% 方波，TTL 信号，白噪声正弦波输出 $5V_{rms}$
阜阳无线电厂	XD11，12 型多用信号发生器	1Hz～1MHz 正弦失真 0.1% 正弦波、正负矩形脉冲、尖脉冲锯齿波、单次波形
南京无线电仪器厂	NW1630 型扫频/函数发生器	0.02Hz～2MHz 正弦波、方波、三角波，TTL，可变脉冲、锯齿波，$20V_{p-p}$，
宁波东风无线电厂	XD19 型函数发生器	0.001Hz～10MHz. 正弦、三角、方波、锯齿、触发、猝发、调频、调幅、扫频
南通电子仪器厂	NF1641 型函数脉冲发生器	0.1Hz～13MHz 正弦、方波、三角波、斜波、调频、调幅、扫频、触发、选通
徐州电子仪器厂	TS1213 型低频多用信号发生器	1Hz～1MHz，正弦波、三角波、方波、可外控扫频，内含 6 位数字频率计
北京电子显示仪器厂	BS1631/30 型函数发生器	0.2Hz～2MHz，正弦波、三角波、方波、TTL波、锯齿波，可扫频、门控，输出 $20V_{p-p}$，
景德镇市无线电厂	JW1631 型函数发生器	0.2Hz～2MHz，正弦波、三角波、方波、锯齿波，输出 $20V_{p-p}$，可外扫频含 6 位数字频率计。
郑州无线电仪器厂	SXF8502 函数信号发生器	1Hz～30kHz. 频率精度 5×10^{-6} 正弦波、锯齿波、三角波、方波，内含微电脑，可产生任意波形。
南通电子仪器厂	NF1633 型脉冲函数发生器	0.0001Hz～20MHz，输出正弦、三角、方波，脉冲波(单，双)，TTL，ECL 脉冲，可单次触发、门控、外扫频。
天津市无线电一厂	HG1630 型函数发生器	0.004Hz～4MHz. 正弦、三角、方波、TTL 脉冲，可单次触发，门控外扫频、正弦失真 0.5%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

生产厂家	产品名称	主要指标
天津市无线电一厂	HG1630A 型函数发生器	0.004Hz～4MHz，正弦、三角、方波、锯齿波，可单次触发、门控、可内扫频，内含4位数字频率计
	XD1B 低频信号发生器	1Hz～1MHz，有正弦波、方波输出，电压输出5V，失真0.05%，功率5W，失真0.1%，内含电压表及4位10MHz频率计，稳幅0.1%/30分。
宁波东风无线电厂	DF1691 型多功能任意波形发生器	10^{-6}Hz～10kHz 频率精度0.5%。除正弦、三角、方波以外，可产生任意波形，可输出两路相移波形，有数字显示频率幅值、相移等。
前锋无线电仪器厂	QF1021 型任意波形信号发生器/微计算机	0.1Hz～20kHz，正弦波、阶梯波、三角波、矩形波，内含TP801单板机。波形可修正，可调幅、调相，并输出任意波形
宁波东风无线电厂	DF1699-APPLEII 多功能任意波形发生器	0.00001Hz～20kHz 正弦波、三角、方波及任意波形，有二路输出，可扫频、移相、调幅、波形群，调频同时内含 APPLE-II 计算机
	PZ15 型 FM/AM 频率合成器	0.001Hz～1MHz 波形失真0.5%分辨力0.1%，幅度稳定度 5×10^{-4}/15分可调频、调幅
	DF1412 型频率合成器	0.1Hz～2MHz 谐波 −45dB，可调幅、调相，频率分辨力0.1Hz
前锋无线电仪器厂	PO17 型频率合成器	0.1Hz～50MHz，分辨率 0.1Hz，频率稳定度 5×10^{-9}/天，信号频谱纯度 −60dB，可程控
上海仪器仪表研究所	YS40 型交流标准电压发生器	40Hz～4kHz 输出 1～1000V，输出电压精度0.05%。波形失真0.1%
	YS66 可程控交流标准电压源	10Hz～100kHz 0～1000V，最小步进 1μA，最大电流 100mA，基本电压精度0.04%。失真0.05%
	YJ98 可程控交直流标准电流源	直流 1mA—10A 精度0.025% 交流 1mA～10A 40Hz～1kHz 典型精度0.07%

25. 射频信号发生器

(1) 调谐信号发生器

厂家	型号	频率范围	频率稳定度或频率误差	输出电平范围	调制功能
北京无线电仪器二厂	XB44	5kHz～35MHz	<±1% 1×10^{-4}/15分钟	0.1μV～1V	AM
	XB46	100kHz～35MHz	<±2% 2×10^{-4}/15 分钟	1μV～1V	AM
杭州无线电三厂	XG22A	10～150MHz	<±2%		AM
	XFC-6	4～300MHz	≤±1%	0.1μV～0.1V	AM.FM.
南海电子仪器厂	XFG-7	100kHz～30MHz	≤±1%	0.1μV～1V	AM
庆华仪器厂	XG-13	30～420MHz	≤1%	>1.5～2V	AM

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	型 号	频率范围	频率稳定度或频率误差	输出电平范围	调制功能
山东潍坊计算机公司仪器厂	WS-1071	10～520MHz	≤±3% 56×10^{-6}/15分钟	1μV～1V	AM. FM
	XG-2	15Hz～510MHz	≤0.5% 1×10^{-4}/15 分钟	0.03μV～1.5V	AM. FM
	XB45	470～1000MHz	≤±1% 1×10^{-4}/15 分钟	0.063μV～0.2V	AM. PM
	WS-1051	0.1～30MHz 85～130MHz	—	1μV～1V	AM. FM
上海无线电26厂	XFG-7	100kHz～30MHz	≤±1%	0.1μV～1V	AM
	XB16	5～500MHz	≤±1%	>100mW	AM. FM
上海无线电仪器厂	XG25	0.4～130MHz	±2%		AM
成都前锋无线电仪器厂	S102	0.4～250MHz	0.1%±1个字		FM. AM
	XG-2	15Hz～510MHz	≤±0.5%	>0.75～1.25V	FM. AM
	QF1074	10～520MHz	1×10^{-4}/15 分钟 6 位数字显示	−20dBμ～ +126dBμ	FM.AM.PM.
	QF1076	10～520MHz 加倍频后1040	6 位数字显示 5×10^{-5}/15 分钟	0.3μV～0.3V	AM. FM
	XB48	470MHz～960MHz	<±1% 5×10^{-5}/15 分钟	>0.3～0.5V	AM. FM 视频调制
	QF5360	4～300MHz	≤±1%	0.1μV～100mV	AM.FM, 视频调制
苏北电子仪器厂	XB37	57～310MzH		0.5μV～100mV	

(2) 锁相信号发生器

厂家	型 号	频率范围	频率精确度	频率稳定度	输出电平范围	调制功能	单边带相位噪声或寄生调频	程控能力
前锋无线电仪器厂	QF1050	0.3～30MHz 75～110MHz	6位数字显示 分辨率: 100Hz～1kHz	±5×10⁻⁶/ 15分钟	−19dB$_\mu$～ +99dB$_\mu$	AM.FM	<25Hz	频率、电平调制可以预置
	QF1052	0.3～ 175MHz	6位数字显示 分辨率: 100Hz～1kHz	±5×10⁻⁶/ 15分钟	−19dB$_\mu$～ +99dB$_\mu$	AM.FM	<20～25Hz	频率、电平调制可以预置
	QF1054	0.3～ 175MHz	6位数字显示 分辨率: 100Hz～1kHz	±5×10⁻⁶/ 15分钟	−19dB$_\mu$～ +99dB$_\mu$	AM.FM	<25Hz	频率、电平调制可程控
	QF1090	50kHz～ 1040MHz	8位数字显示 时基±1个字	5×10^{-8}/小时	−30dB$_\mu$～ +130dB$_\mu$	AM.FM	−124～ −133dB$_C$/Hz	
上无26厂	VP8177A	100kHz～ 110MHz	6位数字显示 ±5×10⁻⁵±1个字		−19dB$_\mu$～ +99dB$_\mu$	AM.FM	<7.5Hz	频率、电平调制可以预置
前锋无线电仪器厂	MG645B	50kHz～ 1040MHz	8位数字显示 时基 ±1 个字	5×10^{-8}/小时	−30dB$_\mu$～ +130dB$_\mu$	AM.FM	−127～ −133dB$_C$/Hz	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 合成信号发生器

厂 家	型号	频率范围	频率精确度	频率稳定度	输出电平范围	调制功能	单边带相位噪声或寄生调频	程控能力
北京无线电仪器二厂	ZN1480	10kHz～110MHz 加插件后 1Hz～1200MHz	8位数字显示	2×10^{-8}/天	$+13dB_m$～$-119dB_m$	AM. FM	$-100dB_C/Hz$	频率、电平调制可以程控
前锋无线电仪器厂	QF1480	10kHz～1050MHz	$8\frac{1}{2}$位数字显示	$\pm5\times10^{-7}$/月	$+13dB_m$～$-127dB_m$	AM. FM	10Hz～20Hz	频率电平调制可程控、能自诊断自校准自检测
	6071A	200kHz～1040MHz	$9\frac{1}{2}$位数字显示	$\pm5\times10^{-7}$/月	$+19dB_m$～$-140dB_m$	AM.FM.ϕM	$-140dB_C/Hz$	前面板的功能都可程控并能自诊断自校准自检测
	6060B	10kHz～1050MHz	$8\frac{1}{2}$位数字显示	$\pm5\times10^{-7}$/月	$-13dB_m$～$-127dB_m$	AM. FM	10Hz～20Hz	频率、电平、调制可程控并能自诊断、自校准自检测
山东潍坊计算机公司仪器厂	SSG520	10～520MHz	7 位数字显示	1×10^{-6}/年	$0dB_m$～$-119dB_m$	AM. FM	$-117dB_C/Hz$	频率、电平调制可程控
	SSG1000	10Hz～1000MHz	8 位数字显示	3×10^{-9}/天	$+13dB_m$～$-137dB_m$	AM.FM.ϕM	$-130dB_C/Hz$	频率、电平调制可程控

26. 功率信号发生器、功率放大器

(1) 功率信号发生器

厂 家	型 号	频 率 范 围	最 大 功 率
上海微波技术研究所	XG-26	275～2750MHz	10～25W
七八四厂	XG-27	同上	10～25W
西德 R/S 公司	SMLD	同上	10～25W
	SMLR	0.1～30MHz	10V～20V
	SMLU	25～1000MHz	1～2W
辽宁无线电七厂	XFF-3	150～1000MHz	≥5W
七八四厂(仿苏)	ГСС-12	同上	≥5W
七一二厂 八六〇厂	XG13	30～420MHz	1.5～5V

(2) 功率放大器

厂 家	型 号	频 率 范 围	最大功率
杭州无线电三厂	XG22	10～150MHz	2W
美 ENI 公司	550L + EW-CO	1.5～1000MHz	30～50W
美 EATON 公司	5001～15110 系列	10kHz～1000MHz	20～50W
美 PST 公司	AM1658～AM1929 系列	1～2000MHz	10～50W
美 AR 公司	50A15～50W1000 系列	20kHz～1000MHz	10～50W
七一四厂	试制中	0.1～30MHz	50W
潍坊五三厂	WS386	10～600MHz	5W
七六六厂	试制中	1～1000MHz	5～10W

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

27. 扫频仪

生产厂	型号	频率范围（Hz）	扫宽	输出	平坦度	频标	显示
上海无线电26厂	XS11	1～12G	～全扫	10mW	±0.75dB	可动	—
	YM1350	0.01～12G	～全扫	10mW	±0.75dB	可动	—
	YM6002	0.02～2M	0.2～$2f_0$	$20V_{p-p}$			—
	YM1341-5	1.7～8.7G	～全扫	5mW	±0.5dB	可动	—
41所	AV1333	2～4G	～全扫	10mW	±0.5dB	可动	—
	AV1332	8～12G	～全扫	10mW	±0.5dB	可动	—
	AV1331	3.6～4.3G	～全扫	10mW	±0.4dB	可动	—
	AV1334	4～8G	～全扫	10mW	±0.5dB	可动	
860厂	BT15B	0.5～1500M	6 波段	0.4V	<1dB	50/10/1	160×100
	BT3B	1～300M	±7.5MHz	>0.1V	<±5%	10/1	5″
	BT22A	285～970M	30MHz	0.2V	<7%	50/10/1	5″
	QH4861	450～950M	10～500 MHz	0.5V	1dB	50/10	9″
	BT17	0.1～18G		5mW	±0.7dB	可动	9″
	QH1261	1～1300M	～全扫	1V	±0.5dB	100/10/1	9″
	QH1251	450～960M		0.4V	±0.5dB	100/10/1	9″
徐州电子仪器厂	BT3G	2～300M	～100M	0.3V	±0.5dB	50/10/1	100×80
	TS1230	20Hz～2M	～$0.5f_0$	3.2V	≤7%	可动	9″
	BT3W	1～300M	～全扫	0.1V	≤7%	50/10/1	48×60
	BT24A	450～950M	～全扫	0.3V	≤0.7%	50/10/1	100×80
	TS1260	2～1000M	～全扫	0.32V	≤±1dB	50/10/1	100×80
	TS1214	1Hz～500k	计算式	3V	1dB	6针形	70dB
总参谋部第63研究所	TS1250	0.2～50M	～全扫	1V	±0.5dB	5/0.5	100×80
	TX1250	2～300M	40MHz	0.15V	±0.5dB	10/1	5″
	BT20	300～1000M	四波段	0.4V	±0.5dB	50/10/1	1mV/DIV
	TX1311	2～300M	～100MHz	0.3V	±0.5dB	50/10/1	
	TX5361	IF、1～12Ch	30MHz	0.15V	±0.5dB		
张家口无线电一厂	BT10-III	1～260M	30MHz	0.5V	≤1dB	50/10/1	9″
	ZWY1250	450～950M	80MHz	0.5V	≤1dB	50/10/1	9″
	ZWY1255	V及U	30～80M	0.5V	≤1dB	50/10/1	9″
合肥无线电四厂	1254	0～300M	1～320m	0.15V	≤10%	50/10/1	9″
	1255	1～300M	1～300M	0.1V	≤20%	10/1	5″
	SYP	0.45～1G	550M	0.25V	±0.75dB	50/10/1	5″
景德镇无线电厂	JW1221	500Hz～1M	～400kHz	1.4V	±0.3dB	浅标	9″
	JW1252	0.1～120M	～4MHz	1.4V	±0.5dB	浅标	9″
宁波东风厂	BT14	20Hz～1M					9″
	XS21	0.2Hz～1M	1000:1	20V			
	DF1212	20Hz～20k	1000:1	10V			
南京无线电仪器厂	BT3C	1～300M	30MHz	1V	±0.5dB	50/10/1	5″
	BT3C UHF	450～950M	～全扫	0.5V	±1dB	50/10/1	5″
	NW1232	20Hz～2M	～全扫	3V	5%		
	NW5312	450～950M	～全扫	0.5V	±0.75dB	电视专用	9″
	NW1252	1～1000M	～全扫	1V	±0.5dB	100/10/1	5″
	BT5A	0.1～50M	～全扫	0.5V	±0.5dB	10/1	5″
	NW1233	0.1～30M	～全扫	0.5V	±0.5dB	数字式	5″
	NW1320	450～950M	～全扫	0.5V	±1dB	电视双频	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

生产厂家	型 号	频率范围（Hz）	扫宽	输 出	平 坦 度	频标	显示
大华无线电仪器厂	DH1332	0.1～2.4G	～全扫	10mW	±1dB	程控	
	DH1331	0.1～2G	～全扫	10mW	±1dB		
永华无线电仪器厂	YH1330	1～4.2G	～全扫	10dB$_m$	±0.8dB		
前锋无线电仪器厂	QF1320	0.01～2G	～全扫				

28. 通用数据域仪器

(1) 逻辑分析仪

厂 家	型 号	最大时钟频率	通 道 数	存储深度
上海无线电 21 厂	XJ4530	20MHz	32	252
红华仪器厂	HH4510/11	20MHz	32	16
红华仪器厂	HH4510T	20MHz	32	16
南京电讯仪器厂	EE4511	20MHz	24	252
内蒙古电子仪器厂	NM4512	20MHz	16	256
红华仪器厂	HH4512	20MHz	16	16
扬中电子仪器厂	YB4511	20MHz	8	256
南京电讯仪器厂	EE4510	20MHz	8	
内蒙古电子仪器厂	SL-3	10MHz	8	256
上海无线电 21 厂	SL-4	5MHz	16	
红华仪器厂	SL-2	4MHz	16	16

(2) 特征分析仪和微机故障诊断仪

厂 家	型 号	名 称	最大时钟频率	微处理器支撑
机电部 41 所	AV3621	特征分析仪	25MHz	通用
北京无线电研究所	9010A	微系统诊断仪		40 种 8、16 位 CPU
机电部 41 所	AV3629	PC 机故障诊断仪	8MHz	IBM PC/XT 及兼容机
	AV3622	微机故障诊断仪		8085、Z-80 6502、8088
	AV1691	特征激励器	1MHz	6800
	AV1692	特征激励器	4MHz	Z-80
	AV1693	特征激励器	4MHz	8085

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 母线系统分析仪

厂　　家	型　　号	主 要 性 能
庆华仪器厂	QH6540	讲、听、控存储 256 字
星华仪器厂	XH4540	讲、听、控功能

(4) 开发系统

厂　　家	型　　号	微 处 理 器 支 撑
北京三环计算技术所	MDS-55	8、16 位 CPU12 种(系列)
机电部 46 所	MICE-3	8、16 位 CPU 10 种
复旦大学教学仪器厂	FD-SICE-3	MCS-48、51、96 系列单片机
北京理化技术研究所	LH-SICE	单片机通用
天津纺织工学院	TF-ICE-2	8、16 位单片机
复旦大学教学仪器厂	FD-ICE	Z-80、8085、6800
启东计算机厂	DVcc	MCS-51、96 系列单片机
航天部 502 所	ECD-51	MCS-51 系列单片机
北京通用技术所	ICD-96	MCS-96 系列单片机
复旦大学教学仪器厂	FD-MDT	MCS-48 系列单片机
启东计算机厂	DPT35-2	MCS-48 系列单片机
上海无线电仪器厂	S916	Z-80
天津纺织工学院	TF-Z8	Z8 单片机

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

29. 半导体分立器件测试

生产厂家	产品名称	主要技术指标
北京无线电仪器厂	JS2C 型晶体管反向截止电流测试仪	I_{CBO}. I_{EBO}. $I_{CEO(S.R.X)}$. I_R: 0～30μA ±8% 0.1～100mA ±2.5% 偏压: 0～3～10～50V ±2.5%
	BJ2900 型双极型晶体管反向截止电流计量标准仪	I_{CBO}. I_{EBO}. $I_{CEO(S.R.X)}$. I_R: 10pA～10mA ±(0.5%I_X + 0.1%I_M) 偏压: 0.1～10～200～300V ±0.06%±3个字
	BJ2952A (JS3A) 型反向击穿电压测试仪	$V_{(BR)CBO}$. $V_{(BR)EBO}$. $V_{(BR)CEO(S.R.X)}$. V_{BR}: 0～10～50～100～250～350V ±3% 偏流: 0～10mA ±3%
	BJ2901 型双极型晶体管反向击穿电压计量标准仪	$V_{(BR)CBO}$. $V_{(BR)EBO}$. $V_{(BR)CEO(S.R.X)}$、V_{BR}: 10mV～50～200～400～600V ±(0.1%V_X + 0.06%V_M) 偏流: 1μA～10mA ±0.5%
	BJ2950A(JS4A) 晶体管工作电压测试仪	V_{BE}. V_{BEsat}. V_{CEsat}: 0～0.5～1～3V ±4% 偏压 V_{CE}: 0～10V ±4% 偏流 I_C: 0～1A ±3% I_B: 0～300mA ±3%
	BJ2951A (JS5A) 型晶体管 h_{FE} 测试仪	h_{FE}: 20～∞ ±7% 偏压 V_{CE}: 0～15V ±3% 偏流 I_C: 0～1A ±3% I_B: 0～50mA ±2%
	BJ2902 型双极型晶体管 h_{21E} V_{BEsat}、V_{CEsat} V_{BE} 计量标准仪	h_{21E}: 10～50～200～5000 ±(1.5%h_X + 0.25%h_M) V_{BE}.V_{BEsat}.V_{CEsat}: ±1.5%V_X±3 个字 偏压 V_{CE}: 1～14.9V ±(0.5%V_X + 0.05%V_M) 偏流 I_C: 2μA～1A ±(0.5%I_X + 0.1%I_M) I_B: 0.2μA～0.2A ±(0.5%I_X + 0.1%I_M) 偏流 I_C: 0～110mA ±4% I_B: 0～11mA ±4% h_{FE}: 10～100～1000 ±4% 偏压 V_{CE}: 0～11V ±3% 偏流 I_C: 0～110mA ±4%
	BJ2921 型数字式晶体三极管综合参数测试仪	I_{CBO}. I_{EBO}. $I_{CEO(S.R.X)}$: 0～0.1～1～10～100μA～1～10mA ±4% 偏压: 0～300V ±1% $V_{(BR)CBO}$. $V_{(BR)EBO}$. $V_{(BR)CEO(S.R.X)}$: 0～10～50～100～200～300～400V ±3% 偏流: 0～9mA ±3%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

生产厂家	产品名称	主要技术指标
北京无线电仪器厂	BJ2921 型数字式晶体三极管综合参数测试仪	V_{BE}. V_{BEsat}. V_{CEsat}: 0～0.1～1～5V ±3% 偏流 I_C: 0～500mA ±1.5% I_B: 0～50mA ±1.5% h_{FE}: 20～1000 ±3% 偏压 V_{CE}: 0～10V ±1.5% 偏流 I_C: 0～1A ±1.5%
	BJ2910 (QH$_2$) 型晶体管通用测试仪	I_{CBO}.I_{CEO}: 0～1mA ±10% h_{FE}: 20～220 ±10% V_{BE}.V_{CEsat}: 0～1.5V ±5% h_{ie}: 0～15kΩ ±10% β: 0～300 ±10% g_m: 0～3000μs ±10% I_{DSS}: 0～30mA ±5% c_{ob}: 0～5Pf(5MHz) ±10% f_T: 10～300MHz (10、30MHz) ±15% 偏压: 3.6.9.12V ±5% 偏流: 0～30mA ±5%
	BJ2911 (HQ1B) 型晶体管综合参数测试仪	电压表: 0～10～30V ±2.5% 电流表: 0～100mA ±2.5% I_{CBO}. I_{EBO}. $I_{CEO(S\cdot R)}(I_R)$: 0～5μA～50～100～500μA ～1～5～10mA ±(2.5～4)% 偏压: 0～30V(500V) $V_{(BR)CBO}$. $V_{(BR)EBO}$. $V_{(BR)CEO}$: 0～10～30～100～300V～1kV～2kV ±6% 偏流: 50μA～30mA $V_{BE}(\bar{V}_F)$: 0～1～3V ±3% 偏置: 0～30V. 0～100mA(1A) $h_{FE}(I_B)$: 20～∞ ±3% 偏置: 0～30V、0～100mA h_{ie}: 0～500Ω～1kΩ～2.5kΩ～5kΩ ±5% h_{fe}: 0～50～100～250～500 ±8% 偏置: 0～30V、0～100mA $\tilde{V}_f$: 0～1～3V ±3% $\tilde{I}_f$: 0～1A ±2.5% I_R: 0～5～50～100～500μA ～1～5～10mA ±(2.5～4)% R_Z: 0～10～20～50～100Ω ±5%
	BJ2912 (QE7) 型稳压二极管测试仪	V_Z: 0～2～5～10～50V ±3% V_F: 0～2V ±3% $I_Z(I_F)$: 0.1μA～850mA ±(4～6)% R_Z: 0～10～20～50～100 ～200～500Ω～1kΩ ±(4～6%) (1kHz, 50μA 恒流)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

生产厂家	产品名称	主要技术指标
北京无线电仪器厂	BJ2912C 型晶体二极管参数测试仪	V_{BR}: 0～2kV ±2%±2个字 偏流: 0～100μA ±3%±2个字
	BJ2913 型场效应管参数测试仪	V_P: 0～1～3～10V ±4% g_m: 0～1000～3000～10000μs (1kHz) ±8% I_{DSS}: 0～5～10～50～100～500μA～1～5～10mA ±4% V_{DS}: 0～30V ±4% I_{DS}: 0～10mA ±4%
	QE1A 型双基极二极管测试仪	R_{BB}: 2.5kΩ～7.5kΩ 5kΩ～15kΩ ±7% V_{BE}: 0～30V ±4% $V_{E,sat}$: 0～3～10V ±6% I_{ES}: 0～5μA ±7%
上海无线电仪器厂 郑州无线电仪器厂	JS7B、C 型晶体管测试仪	I_{CBO}. I_{CEC}: 0～10μA ±15% h_{11}: 0～300Ω～1kΩ～3kΩ～10kΩ ±15% $h_{21}(\beta)$: 0～30～100～300 ±15% $F(N_F)$: 0～30dB ±4dB 偏置: 1～12V、0～300mA ±3%
北京无线电仪器四厂	JE2b 型晶体二极管参数测试仪	V_F: 0～1.5V ±5% I_F: 0～1.5A ±5% V_Z: 0～10～30V ±5% I_Z: 0～100mA ±5% I_R: 0～30～100～300nA～1～10μA ±10% V_R: 0～200V ±5% V_{BR}: 0～10～30～100～300V～1.5kV ±10% $\tilde{V}_R$: 0～10～30～100～300V～1.5kV ±10% 偏流: 0～3mA ±100% $\tilde{V}_F$: 0～1.5V ±5% $\tilde{I}_F$: 0～1.5A ±5% R_Z: 0～10～20～50～100Ω ±10%
	XH2038 型晶体二极管正向特性测试仪	V_F: 0～1～1.5V ±3% (其中 0.8～1.2V 可扩展) I_F: 0～1A ±3%
	XH2039 型晶体二极管反向特性测试仪	V_{BR}: 0～30～100～300V ±2.5% 偏流: 0～400μA ±(5～10)% I_R: 0～0.01～0.03～1～3～10～30～100～300μA～1mA ±(5～15)% V_R: 0～300V ±2.5%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

生产厂家	产品名称	主要技术指标
上海无线电21厂 北京电子显示仪器厂	JT1 型晶体管特性图示仪	I_C: 10μA～1A/度 ±3% V_C: 10mV～20V/度 V_B: 10mV～0.5V/度 V_S: 10mV～0.2V/级 ±5% I_S: 1μA～200mA/级
邵阳无线电仪器厂 宿迁无线电厂	JT1A 型晶体管特性图示仪	V_C: 10mV～50V/度 其余同 JT1.
邵阳无线电仪器厂	JT1C 型晶体管特性图示仪	V_D: 100～500V/度 ±5% I_D: 1nA～2μA/度 可测双基极二极管，其余同 JT1.
	JT1D 型晶体管特性图示仪	V_C: 10mV～200V/度(实为 1kV) V_S: 20mV～1V/级 其余同 JT1
邵阳无线电仪器厂 光华无线电仪器厂 北京电子显示仪器厂 宿迁无线电厂	JT1G 型晶体管特性图示仪	容性电流: 0.6μA/200V、2μA/500V 或0.6μA/200V 6μA/500V 其余同 JT1
光华无线电仪器厂	JT1H 型晶体管特性图示仪	容性电流: 0.5μA/200V、5μA/500V 其余同 JT1.
光华无线电仪器厂	JT1GH 型晶体管特性图示仪	具有异极性对管选配功能，其余同 JT1A
上海无线电 21 厂	JT3 型大功率晶体管特性图示仪	I_C: 5mA～20A/度 ±3% V_C: 0.1～50V/度 V_B: 0.1～2V/度 V_S: 0.02～1V/级 ±5% I_S: 1mA～1A/级 * 需与 JT1 配套使用
北京无线电仪器厂	BJ4820(QT11)型大功率晶体管特性图示仪	V_C: 0.1～200V/度 其余同 JT3 * 独立整机
上海无线电 21 厂 大华无线电仪器厂	QT2 型晶体管特性图示仪	I_C: 1μA～5A/度 V_D: 100～500V/度(实为3kV) ±10% I_D: 1μA～500μA/度 ±3% V_B: 10mV～1V/度 V_S: 0.05～1V/级(备有脉冲阶梯) 其余同 JT1A.
大华无线电仪器厂	QT2A 型晶体管特性图示仪	具有交替显示功能其余同QT2
北京电子显示仪器厂	QT14 型晶体管特性图示仪	I_C: 1μA～2A/度 V_D: 100～500V/度 (5kV) 其余同 QT2

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

生 产 厂 家	产 品 名 称	主 要 技 术 指 标
上海无线电 21 厂	XJ4810 型晶体管特性图示仪	I_C: 10μA～0.5A/度 ±3% I_D: 0.2μA～5μA/度 V_C: 0.05～50V/度 V_B: 0.05～1V/度 V_S: 0.05～1V/级 ±5% I_S: 0.2μA～50mA/级
北京无线电仪器厂	BJ4811 (QT1A) 型晶体管特性图示仪	I_C: 1μA～1A/度 ±3% V_C: 0.05～100V/度 V_B: 0.05～1V/度 V_S: 0.05～1V/级 ±5% I_S: 0.2μA～100mA/级
	BJ4812 型晶体管特性图示仪	I_C: 1μA～0.5A/度 ±3% V_C: 0.05～200V/度 V_B: 0.05～2V/度 V_S: 0.05～2V/级 ±5% I_S: 1μA～200mA/级 容性电流: 2μA/20V. 3μA/100V. 5μA/1kV (备有 300μs 脉冲阶梯)
	BJ4830(QT16)型精密晶体管特性图示仪	I_C: 0.1μA～2A/度 ±(2～4)% I_B: 1nA～2mA/度 V_C: 5mV～200V/度 V_B: 5mV～2V/度 V_S: 5mV～2V/级 ±(1～10)% I_S: 5nA～200mA/级 备有300μs、1ms脉冲阶梯及精密测量手段(含偏移)
北京电子显示仪器厂	BS4810 型 h 参数图示仪	I_C: 1μA～0.2A/度 ±3% V_C: 10mV～50V/度 V_B: 10mV～1V/度 V_S: 10mV～1V/级 ±5% I_S: 0.1μA～20mA/级
邵阳无线电仪器厂	DW4811 型晶体管特性图示仪	V_D: 1～100V/度 ±3% I_D: 0.5μA～50mA/度
大华无线电仪器厂	DH4811 型晶体管特性图示仪	I_C: 1μA～5A/度 ±3% V_C: 10mV～50V/度 V_B: 10mV～1V/度 V_D: 100～500V/度 ±5% V_S: 0.05～1V/级 ±5% I_S: 0.5μA～50mA/级
邵阳无线电仪器厂	DW4821 型晶体管特性图示仪	I_C: 0.5μA～2A/度 ±3% V_C: 10mV～50V/度 V_D: 100～500V/度 ±5% I_D: 0.5μA～50μA/度 V_S: 0.05～1V/级 ±5% I_S: 0.5μA～200mA/级

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

生产厂家	产品名称	主要技术指标
光华无线电仪器厂	GH4821 型晶体管特性图示仪	V_D：可达 3kV. 容性电流：2μA/10V 其余同 JT1A
	GH2050 型 JT1 校准仪	V_C：100mV～200V ±0.5% I_C：100μA～10A R_S：1Ω～10kΩ ±0.5%
	GH2051 型图示仪校准仪	V_C：1mV～500V ±0.5% I_C：1μA～10A V_D：1kV、2kV、3kV ±3%
北京无线电仪器厂	BJ4801(A) 型图示仪标准仪	V_C：100mV～1kV ±0.3% I_C：10μA～10A V_S：10mV～2V/级 ±0.3% I_S：1μA～200mA/级 偏差表：±(3.10)%两档 ±0.5%
	JSS4A型晶体管低频 h 参数测试仪	I_{CBO}.I_{CEO}：0～10～50～100～500μA ±(2.5～4)% 偏置：0～30V、0～20mA ±2.5% h_{ib}：10Ω～1kΩ ±5% h_{ie}：100Ω～10kΩ h_{rb}：10^{-4}～10^{-2} ±8% h_{re}：10^{-4}～0.3 h_{ob}：0.1～10μs ±5% h_{oe}：10～200μs $1-\alpha$：0.02～0.2 ±8% β：15～300
	QG21～25 型高频小功率晶体三极管 f_T 测试仪	测试频率：10、30、100、200 400MHz 测量范围：20～80MHz ±7% 60～240MHz 200～800MHz ±10% 400～1500MHz 800～3200MHz
上海无线电仪器厂	QG6. QG16 型高频小功率晶体三极管 f_T 测试仪	测试频率：10、30、100、400MHz 测量范围：10～1000MHz ±17% 0.4～3.2GHz ±18%
北京无线电仪器厂	BJ3022 型低频大功率晶体管 f_T 测试仪	测试频率：0.3、1、3、10MHz 接收机灵敏度：≤150μV 测量误差： ±10%
	QZ_3. QZ_4 型高频小功率晶体三极管 F 测试仪	测试频率：30MHz ±10% 100MHz ±4% 200MHz ±3% 400MHz ±2.5% 600MHz ±3.3%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

生产厂家	产品名称	主要技术指标
北京无线电仪器厂	$QZ_3 \cdot QZ_4$ 型高频小功率晶体三极管 F 测试仪	800MHz ±3% 1000MHz 测量范围：0～10dB ≤±1dB
上海无线电仪器厂	QG17 型高频晶体三极管 G_P、F 参数测试仪	测试频率：30MHz±1MHz 100MHz±1.5MHz 测量范围：G_P：20dB±2dB F：5dB±1dB
	QG7 型超高频晶体三极管 G_P、F 参数测试仪	测试频率：400MHz ±1% 600MHz ±1% 1000MHz ±1% 测量范围：G_P：0～20dB ±2dB F：0～15dB ±2dB
	QG29 型高频晶体三极管 G_P、F、AGC 特性测试仪	测试频率：50MHz ±1MHz 200MHz ±1.5MHz 测量范围：G_P：20dB ±1.5dB 或 ±2dB F： ±1.5dB AGC：30dB±5%（或±1.5dB）
北京无线电仪器厂	QG30 型高频小功率晶体三极管 G_P、AGC 测试仪	测试频率：30、50MHz ±5% 100MHz ±4% 200、400、600 800、1000MHz ±2% 测量范围：G_P：0～43.2dB ±1dB V_{AGC}：0～10V I_{AGC}：15mA
	BJ2961 型晶体管集成电路动态参数测试仪	脉冲信号源 f：20kHz ±5% 脉宽：0.7～2.5μs 正脉冲上升时间 t_r：≤2ns 负脉冲下降时间 t_f：≤2ns 脉冲幅度：10V ±5% 取样单元扫速：100ns/cm～2ns/cm ±4%
	BJ3030 型高频小功率晶体三极管 $C_c r_{bb}$ 乘积测试仪	测试频率：31.8MHz ±1.5% 测量误差：10、50、 100、500ps ±10%
上海无线电仪器厂	QC10 型高频场效应管 G_P、F 参数测试仪	测试频率：10MHz ±1MHz 100MHz ±1.5MHz 测量范围：G_P：20dB ±1.5dB 或 ±2dB F： ±1dB
	QC12 型场效应管电容参数测试仪	测试频率：1MHz 测量范围：0.2～10pF 测量误差：±4%±0.005pF

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

生产厂家	产品名称	主要技术指标
上海无线电仪器厂	QC13 型场效应管跨导参数测试仪	g_m: 0.06～30ms ±5% 测试频率: 1kHz ±5% 幅度 u_i: 100mV ±20%
	QC14 型场效应管、晶体管低频 F 参数测试仪	F: 0～40dB ±2.5dB g_m: 0.1～40ms ±10% h_{fe}: ±10%
北京无线电仪器厂	BJ2983 型晶体管正偏二次击穿测试仪	P_C: 0～750W V_{CE}: 0～300V ±3% I_C: 0～5A ±3% τ: 10μs～1s ±0.5%～±5% η: 1:2～1:64 ±0.1% T: ≤500ns
	BJ2984 型晶体管瞬态热阻测试仪	P_C: 0～750W V_{CE}: 0～300V ±3% I_C: 0～5A ±3% M: 0～−4.00mV/℃ ±3%±2字 ΔV_{BE}: 0～999mV ±3%±2字 τ: 1ms～5000s ±0.1%
	BJ2985 型晶体管维持电压测试仪	V_{CE}: 0～2000V ±3% I_C: 0～500mA ±3% I_B: 0～200mA ±5%
	BJ2986 型晶体管直流、脉冲及开关安全工作区测试仪	P_C: 0～500W V_{CE}: 0～200V I_C: 0～5A K: 0.500～1.500 τ: 1ms～5ms η: 1:2～1:64 V_{BB}: 0～6V $V_{CBO(sus)}$: 0～2000V R_C: 2Ω～1kΩ l: 0.2mH～100mH.
杭州前锋仪器厂	HQY-96型晶体管自动测试仪	V_{BE}: 100mV～999mV ±2.5%±2字 (I_B = 0.1mA～99.9mA) I_{CBO}、I_{CEO}: 0.1μA～9999μA (10V～525V) ±5%±2字 $V_{(BR)CBO}$、$V_{(BR)CEO}$: 10V～525V (1μA～9999μA) ±5%±2字 $V_{(BR)EBO}$: 2.0V～10.0V ±5%±2字 (10μA～9999μA) $V_{CE(sat)}$、$V_{BE(sat)}$: 0.10V～3.00V (I_b = 1mA～500mA) ±5%±2字 (I_C = 10mA～4.5A)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

生 产 厂 家	产 品 名 称	主 要 技 术 指 标
杭州前锋仪器厂	HQY-96 型晶体管自动测试仪	H_{FE}: 8～999 ±10%±2字 (V_{CE} = 2V～24V, I_C = 0.1mA～4.5A) (V_{CE} = 50V, I_C = 1mA～1A)
杭州可靠性仪器厂	ELE-B 型晶体管多功能快速筛选仪	加温电源: 30V/1A 内接 300V/2A 外接 100V/5A 外接 加温时间: 1ms～999s I_{CBO}: 0.1μA～10mA (V_{CE} 10V～299V) V_{BE}: 100mV～900mV (I_f = 1mA～50mA) H_{FE}: 10～500 (V_{CE} = 3V、5V、10V)
肖山专用仪器厂	PTQ-2 型晶体管快速筛选仪	加温时间: 1～99.9 秒 H_{FE}: 8～999 (4V～30V, 10mA～3A) I_{CEO}: 0.1μA～3mA (5V～250V) V_{BE}: 0～999 (I_b: 0～10mA)
浙江大学分析测试中心 肖山市戴村镇仪器厂	DY-2990 型多功能晶体管筛选仪	V_{BE}: 100mV～999mV (I_B = 0.1mA～99.9mA) V_{BC}: 100mV～2800mV (I_B = 1mA～500mA) I_{CBO}: 0.1μA～9.99mA (V_{CB} = 5V～500V) I_{CEO}: 0.1μA～9.99mA) (V_{CE} = 5V～500V) I_{EBO}: 0.1μA～9.99mA (V_{EB} = 2V～35V) $V_{(BR)CBO}$: 5V～500V (I_C = 10μA～9.99mA) $V_{CE(sat)}$: 0.10V～3.00V (I_C = 10mA～4.5A) (I_b = 1mA～450mA) H_{FE}: 8～300 (V_{CE} = 2V～24V, I_C = 1mA～4.5A) (V_{CE} = 50V, I_C = 1mA～1A) 加温时间: 0.30s～99.99s

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

30. 集成电路测试仪

(1) 中小规模数字集成电路测试仪器

序号	生产厂家	名称型号	主要技术特性
1	美国 Tektronix 公司	集成电路测试系统 (S-3225)	测试对象: AS-TTL、HCMOS 集成电路 测试项目: 动态功能、交流直流参数 系统指标: 1.计算机 PDP-11 2.软件 操作系统 RSX-11M 测试语言 TEKTEST 3.测试通道: 64 路 (I/O)
2	美国 Tektronix 公司	集成电路测试系统 (S-3220)	测试对象: TTL、LS-TTL、MOS 型 (SSI、MSI) 测试项目: 动态功能、直流参数、交流参数。 系统指标: 1.计算机 PDP11 2.软件: 操作系统 RSX-11M 测试语言 TEKTEST 111 3.测试通道: 64 路 (I/O)
3	日本武田理研公司	大规模集成电路测试系统 (T3126)	测试对象: SSI, MSI, LSI 测试项目: 动态功能,直流参数 系统指标: 1.计算机 TP-2 16 位机 2.软件 操作系统 MOSPL-1V/G 测试语言 FORTRAN 3.测试通道: 48 路 (I/O)
4	日本安藤电气公司	中小规模集成电路测试系统 (DIC-8010B)	测试对象: HCMOS 型 (SSI, MSI) AS-TTL 测试项目: 直流参数,逻辑功能 系统指标: 1.计算机 S-120/LA 2.软件 操作系统 MRDOS 测试语言 BASIC 3.测试通道 48 路 (I/O)
5	美国 Teradyne 公司	中规模数字集成电路测试系统 (J325)	测试对象: ECL、TTL、CMOS 型 MSI 测试项目: 直流参数、低速功能 测试通道: 最大 48 路 (I/O)
6	美国 PTS 公司	数字集成电路测试系统 (I100/TM-6)	测试对象: TTL、ECL、PMOS、NMOS CMOS 型 (SSI、MSI) 测试项目: 直流参数,逻辑功能 系统指标: 1.计算机 8085、8088 2.测试语言 BASIC 3.测试通道 24 路

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	生产厂家	名称型号	主 要 技 术 特 性
7	美国 HP 公司 (HP5045A)	数字集成电路测试系统	测试对象：ECL、TTL、RTL、HTL、CMOS 型 SSI/MSI 数字 IC 测试项目：直流参数功能 系统指标： 1.计算机：HP9826S 2.测试通道：24 路
8	浙江余姚无线电厂	数字集成电路功能测试仪（ZYW3131 型）	1.测试对象：14、16、18、20、22、24 管脚 TTL、ECL、HTL、PMOS 和 CMOS 的中、小规模数字集成电路 2.测试项目：直流参数、逻辑功能 3.测试速度：约 250μs/项
9	国营光华无线电仪器厂	集成电路测试仪（GH311 型）	1.测试对象： TTL、HTL、ECL、CMOS、PMOS 24 管脚以下的数字电路 2.测试项目：逻辑功能 TTL 的直流参数
10	国营光华无线电仪器厂	集成电路测试仪（GH3111G 型）	1.测试对象：TTL、HTL、ECL、CMOS、PMOS 集成电路 2.测试项目：静态逻辑功能，TTL 静态直流参数，I_{CCL}、I_{IL}、I_{IH}、V_{OH}、V_{OL}、I_Z、I_i、I_{OS}、I_{OH}
11	北京无线电仪器厂	双极型逻辑集成电路测试仪（BJ3123）	1.测试对象：24 脚内的 DTL、TTL、HTL 型集成电路 2.测试项目：直流参数和逻辑功能
12	南昌无线电仪器厂	集成电路测试仪（NY3121 型）	1.测试对象：中、小规模数字集成电路 2.测试项目：直流参数和逻辑功能
13	南昌无线电仪器厂	集成电路测试仪（NY3122 型）	1.测试对象：中、小规模 TTL、HTL、ECL、CMOS、PMOS 数字集成电路 2.测试项目：直流参数和静态逻辑功能
14	国营光华无线电仪器厂	集成电路测试仪（GH3123 型）	1.测试对象： TTL、HTL、CMOS 2.测试项目 功能 直流参数
15	上海半导体器件研究所	CMOS 集成电路测试仪（SY571）	1.测试对象： CMOS 2.测试项目： 功能 直流参数 3.测试通道 40路
16	北京无线电仪器厂	MOS 电路测试仪（BJ3110）	1.测试对象： PMOS、CMOS、NMOS 型中小规模集成电路 2.测试项目： 直流参数和低速功能

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	生产厂家	名称型号	主 要 技 术 特 性
17	浙江余姚无线电厂	MOS 集成电路直流参数测试仪（QL20 型）	1.测试对象：18 脚以内的中、小规模 PMOS、CMOS 集成电路 2.测试项目：输出高、低电平、噪声容限(定值测试)和功耗电流等
18	北京控制工程研究所	CMOS电路自动测试仪（ZCY-1 型）	测试对象： 14 和 16（可扩展)管脚电路。 测试项目：噪声容限、负载能力、输出高低电平、静态功耗、输入端漏电流。
19	上海华阳电子仪器厂	CMOS、PMOS 数字集成电路测试仪(HDC-1)	1.电源：－4V～－24V 2.功能测试
20	北京无线电仪器厂	HTL 数字集成电路测试仪（QL18）	1.测试对象： HTL 型中、小规模数字集成电路 2.测试项目： V_{OL}、V_{OH}、V_K、V_{IL}、I_{IH}、I_{OS}、I_{CC}
21	北京无线电仪器厂	集成电路测试仪(QL1)	1.测试对象： DTL、TTL、HTL 集成电路 2.试测项目： V_{OH}、V_{OL}、I_{IL}、I_{IH}、I_{OS}、I_{OH}、I_{CC}
22	浙江余姚无线电厂	数字集成电路直流参数测试仪（QL-10A）	1.测试对象：TTL 数字集成电路，对 TO60、TO63、TO65、TO72、TO76、TO78 等品种的集成电路均可测量。
23	北京无线电仪器厂	逻辑集成电路测试仪（QL11）	1.测试对象： DTL、TTL 型中小规模集成电路 2.测试项目： 直流参数及静态功能
24	国营光华无线电仪器厂	TTL 直流参数自动测试仪（GH3124 型）	1.测试对象： 24管脚内，中小规模 TTL 数字集成电路 2.测试项目： 直流参数
25	浙江余姚无线电厂	数字集成电路功能测试仪（ZYW-3111 型）	1.测试对象：14、16 或 18 脚 TTL、ECL、HTL、PMOS、CMOS 中、小规模数字集成电路 2.测试项目：逻辑功能
26	国营光华无线电仪器厂	集成电路动态逻辑功能检测仪(GH3112 型)	1.测试对象： 24 管脚内、双列直插式 54/74、54s/74s、54Ls/74Ls TTL 系列的数字电路 2.测试项目： 功能
27	国营光华无线电仪器厂	智能逻辑功能测试仪（GH3121 型）	1.测试对象： TTL，CMOS，EPROM 写入

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	生产厂家	名称型号	主 要 技 术 特 性
27	国营光华无线电仪器厂	智能逻辑功能测试仪(GH3121 型)	2.测试项目: 功能 电源电压拉偏功能测试,EPROM写入
28	国营大华无线电仪器厂	TTL, CMOS 集成电路功能测试仪(参数 TIT-666 型)	测试对象: 管脚数为 8、14、16、18、20 的 74/54, 55/75 系列 TTL 电路、4000、1800 系列 CMOS 电路
29	国营光华无线电仪器厂	ECL 逻辑功能测试仪(GH3113)	测试对象: ECL 10K 系列门电路、计数器、译码器、触发器
30	北京无线电仪器厂(引进 IST 公司产品)	数字集成电路测试仪(IST370A)	1.测试对象: TTL、DTL、CMOS 集成电路 2.测试项目: 逻辑功能 3.采用签名法判别好坏
31	北京无线电仪器厂(引进 IST 公司产品)	IC 逻辑比较器(IST-150)	1.测试对象: TTL 和 CMOS 数字集成电路 2.测试项目: 逻辑功能比较 3.测试范围: 20 脚以内集成电路在线测试。
32	北京无线电仪器厂(引进 IST 公司)	逻辑在线测试仪(IST5700C)	1.测试对象: TTL、DTL、HTL、CMOS 集成电路 2.测试项目: (1) 静态和动态数字故障电平 (2) 采集窄脉冲和高速计数 (3) 真值表 3.测试范围: 20 脚以内集成电路在线工作状态
33	上海华阳电子仪器厂	PMOS、CMOS 数字集成电路测试仪(HDC-1 型)	1.测试对象: 门电路、触发器、数据选择器、译码器、算术元件、计数器、移位选择器等 2.测试项目: 功能和输入电平测试
34	上海华阳电子仪器厂	TTL、MOS 数字集成电路综合测试仪(HDC-670 型)	1.测试对象: TTL、CMOS、PMOS、NMOS 数字集成电路 2.测试项目: 功能测试、输入电平和输出电平测试
35	上海半导体器件研究所	集成电路群控测试仪(XJC-1A)	1.测试对象: TTL 中小规模数字集成电路 18 脚以下 2.测试项目: 功能 直流参数
36	日本亚细亚制作所	集成电路直流参数自动测试仪(1600 型)	1.测试对象: 各类中、小规模集成电路 2.测试项目: 直流参数 3.管脚数: 24
37	上海无线电二十一厂	XJ3110 型运算放大器测试仪	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 大规模/超大规模集成逻辑电路测试仪器

序号	生产厂家	名称型号	主要技术特性
1	美国 Megatest 公司	超大规模集成电路测试系统 (Mega One)	测试对象：超高速 VLSI 逻辑电路 测试项目：动态功能，直流参数 系统指标： 1.计算机 68010 2.软件： 操作系统 Unix4.2BSD 测试语言 PASCAL 3.测试通道：256 路 (I/O)
2	日本安藤电器公司	超大规模集成电路测试系统 (DIC8035B)	测试对象：VLSI 逻辑电路如 32 位微处理器、门阵列电路等 测试项目：动态功能，直流参数 系统指标： 1.计算机 NOVA 4/LA 2.软件：操作系统 MRDOS 测试语言 BASIC 3.测试通道：256 路 (I/O)
3	美国 Teradyne 公司	超大规模集成电路测试系统 (J941)	1.测试对象： MOS 型，双极型 VLSI 电路包括微处理器微控制器及外围电路 2.测试项目： 动态功能，直流参数，交流参数 3.系统性能： 计算机 M365MX 测试语言 PASCAL-T 测试通道：24，48，72，96 路
4	美国仙童公司	大规模集成电路测试系统 (S-21)	测试对象：LSI/VLSI 逻辑电路、微处理器等 测试项目：动态功能，直流参数 系统指标： 1.计算机 FST-II 2.软件 操作系统 M3 测试语言 FACTOR 3.测试通道 Model 60：数据通道 56 路 时钟通道 4 路 Model 120：数据通道 116 路 时钟通道 4 路
5	美国 Tektronix 公司	大规模集成电路测试系统 (S-3270)	测试对象：TTL，MOS 型 LSI 测试项目：动态功能，直流参数，交流参数 系统指标： 1.计算机：PDP11 2.软件：操作系统 测试语言 TEKTEST111 3.测试通道：64 路 (I/O)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	生产厂家	名称型号	主 要 技 术 特 性
6	日本安藤电气公司	超大规模集成电路测试系统（DIC8034）	测试对象：8,16,32位微处理器及逻辑电路等 测试项目：动态功能,直流参数 系统指标： 1.计算机 NOVA 4/LA 2.软件：操作系统 MRDOS 测试语言 BASIC 3.测试通道：256路（I/O） 4.系统总时间准确度 ±2.4 ns
7	日本武田理研公司	超大规模集成电路测试系统（T3320）	测试对象：高速 VLSI 逻辑电路，微处理器，门阵列 测试项目：动态功能,直流参数 系统指标： 1.计算机 TP-1 32 位机 2.软件 操作系统 MOST-XII 测试语言 FORTRAN(ATL) 3.测试通道数：256路（I/O）
8	美国仙童公司	超大规模集成电路测试系统（S-15）	测试对象：VLSI 逻辑电路、微处理器、门阵列 测试项目：动态功能,直流参数 系统指标： 1.计算机 DEC μPDP11/73 2.软件 操作系统 RSX-11MPLUS 测试语言 PASCAL15 3.测试通道：64、128、256路（I/O）
9	日本安藤电气公司	大规模集成电路测试系统（DIC-8033）	测试对象：4,8,16位微处理器，LSI门阵电路等 测试项目：动态功能,直流参数 系统指标： 1.计算机 NOVA 4/LA 2.软件：操作系统 MRDOS 测试语言 BASIC 3.测试通道：128路（I/O）
10	日本武田理研公司	大规模集成电路测试系统（T310/23A）	测试对象：LSI 逻辑电路、微处理器 测试项目：动态功能、直流参数 系统指标： 1.计算机 TP-2 16 位机 2.软件 操作系统 MOSPL-IV/G 测试语言 FORTRAN（ATL）
11	美国仙童公司	大规模集成电路测试系统（Series 10）	测试对象：LSI 逻辑电路、微处理器等 测试项目：动态功能、直流参数 系统指标： 1.计算机 FST-II

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	生产厂家	名称型号	主 要 技 术 特 性
11	美国仙童公司	大规模集成电路测试系统（Series 10）	2.软件 操作系统 M3 测试语言 FACTOR 3.测试通道：44、60、120路
12	美国 Megatest 公司	逻辑集成电路测试仪（Q2/62）	测试对象：MSI/LSI 逻辑集成电路 测试项目：动态功能 直流参数 功能测试： 1.测试速率：10MHz 2.本机存储器 4K × 96 位 3.时钟路数 24 路 4.测试通道 40 路（I/O） 计算机：PDP11/23
13	美国 GenRad 公司	数字集成电路测试系统（GR1731）	测试对象：TTL、LSTTL、MOS 型 SSI、MSI 测试项目：逻辑功能、直流参数 系统指标： 1.微处理器：Z80、6502 2.测试通道：24、48
14	上海半导体器件研究所	中大规模集成电路测试仪（ZJC-1A）	1.测试对象： TTL，HTL，PMOS，NMOS，CMOS 数字集成电路 2.测试项目： 逻辑功能 直流参数
15	国营光华无线电仪器厂	大规模集成电路测试仪（GH3151）	1.测试对象 Z-80，I8080，I8085，M6800，M6502，M6509 等六种 CPU 2.测试项目： CPU 逻辑功能
16	华东电子测量仪器研究所	Z80-LSI 自动功能测试仪（AV3141 型）	1.测试对象：Z80CPU、PIO、CTC、RAM2114、RAM6116、EPROM2716 2.测试结果：合格/出错显示，Z80CPU 测试，有 61 种出错号码显示（一个号码代表一种或几种指令组合）
17	华东电子测量仪器研究所	8085激励器（AV1691 型）	1.测试对象：配 AV3621 特征分析仪可测 6800 微处理器，在线检测被测系统中的 RAM，ROM、I/O 口、系统总线和随机逻辑电路 2.最高时钟频率：1.5MHz 3.对以 6800 微处理器为基础的微机系统进行特征激励
18	华东电子测量仪器研究所	Z80 激励器（AV1692 型）	1.测试对象：配 AV3621 特征分析仪可测微处理器在线检测被测系统中的 RAM、ROM、I/O 口、系统总线和随机逻辑电路

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	生产厂家	名称型号	主 要 技 术 特 性
18	华东电子测量仪器研究所	Z80 激励器(AV1692型)	2.最高时钟频率：3.125MHz 3.对以 Z80 微处理器为基础的微系统进行特征激励
19	华东电子测量仪器研究所	8085激励器(AV1693型)	1.测试对象：配 AV3621 特征分析仪能测 8085 微处理器，在线检测被测系统中的 RAM、ROM、I/O 口、系统总线和随机逻辑电路 2.最高时钟频率：3.125MHz 3.对以 8085 微处理器为基础的微系统进行特征激励
20	华东电子测量仪器研究所	Z80 系列芯片和微系统电路测试仪(AV3622型)	1.测试对象：在线或单独测试 Z80CPU、RAM、ROM、程控并行口、CTC 和模拟电路 2.诊断以 Z80微处理器为基础的微系统电路故障 3.具有盒式磁带输入输出能力，能调试程序
21	华东电子测量仪器研究所	6502系列芯片和微系统电路测试仪(AV3623型)	1.测试对象：在线或单独测试 6502 微处理器、RAM、ROM、程控并行口、CTC 和模拟电路 2.诊断以 6502 微处理器为基础的微系统电路故障 3.具有盒式磁带输入输出能力，能调试程序
22	华东电子测量仪器研究所	8085系列芯片和微系统电路测试仪(AV3624型)	1.测试对象：在线或单独测试 8085 微处理器、RAM、ROM、程控并行口和模拟电路 2.诊断以 8085 微处理器为基础的微系统电路故障 3.具有盒式磁带输入输出能力，能调试程序
23	华东电子测量仪器研究所	8088系列芯片和微系统电路测试仪(AV3625型)	1.测试对象：在线或单独测试 8088 微处理器、RAM、ROM、程控并行口和模拟电路 2.诊断以8088微处理器为基础的微系统电路故障 3.具有盒式磁带输入输出能力，能调试程序
24	华东电子测量仪器研究所	80286 系列芯片和微系统电路测试仪(AV3626型)	1.测试对象：在线或单独测试 80286 微处理器及其系列电路、ROM、RAM 及程控并行口和模拟电路 2.诊断以 80286 微处理器为基础的微系统电路故障 3.具有盒式磁带输入输出能力，能调试程序
25	华东电子测量仪器研究所	68000 系列芯片和微系统电路测试仪(AV3627型)	1.测试对象：在线或单独测试 68000 微处理器及其系列电路、ROM、RAM 及程控并行口和模拟电路 2.诊断以 68000 微处理器为基础的微系统电路故障 3.具有盒式磁带输入输出能力，能调试程序

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 大规模/超大规模集成电路存储器测试仪器

序号	生产厂家	名称型号	主 要 技 术 特 性
1	日本武田理研公司	超大规模电路存储器测试系统（T3370）	测试对象：超高速 VLSI 存储器 试测项目：动态功能、直流参数 系统指标： 1.计算机 TP-1 32 位机 2.软件 操作系统 MOST-X 测试语言 FORTRAN(ATL) 3.测试通道：64 路（I/O）
2	日本安藤电气公司	超大规模电路存储器测试系统（DIC-8044）	测试对象：ECL、HCMOS 型高速VLSI存储器 测试项目：动态功能、直流参数 系统指标： 1.计算机 S120/LA 2.软件 操作系统 MRDOS 测试语言 BASIC 3.测试通道：48 路（I/O） 4.系统可带 2 个测试台，4 个被测存储器可并测
3	日本武田理研公司	半导体存储器测试系统（T3331B）	测试对象：高速 VLSI 存储器，冗余存储器，1Mbit 存储器 测试项目：动态功能直流参数 系统指标： 1.计算机 TP-1，32 位机 2.软件 操作系统 MOST-XIB 测试语言 FORTRAN(ATL) 3.测试通道 48 路
4	日本安藤电气公司	超大规模电路存储器测试系统（DIC-8042）	测试对象：ECL、HCMOS 型高速 VLSI 存储器 测试项目：动态功能，直流参数 系统指标： 1.计算机 S120/LA 2.软件 操作系统 MRDOS 测试语言 BASIC 3.测试通道 A 型：196 路 B 型：256 路
5	日本港电子公司	半导体存储器测试系统（9300M）	测试对象：大容量半导体存储器 测试项目：动态功能，直流参数 系统指标： 1.计算机 LSI-11/02 2.软件 操作系统 RX-11PLUS 测试语言 PASCAL 3.测试通道 16～32 路

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	生产厂家	名称型号	主 要 技 术 特 性
6	日本武田理研公司	半导体存储器测试系统（T3332）	测试对象：大容量存储器 冗余存储器 分段式存储器 测试项目：动态功能，直流参数 系统指标： 1.计算机 TP-1 32 位机 2.软件 操作系统：MOST-XIE 测试语言：FORTRAN(ATL) 3.测试通道：256 路
7	日本武电子公司	半导体存储器测试系统(9400)	测试对象：DRAM、SRAM、ROM 测试项目：动态功能、直流参数 系统指标： 1.计算机 DEC LSI11/23 2.软件 操作系统 RSX-11M 测试语言 PASCAL 3.测试通道： 每测试头 64(I) 18(O)
8	日本安藤电气公司	半导体存储器测试系统（DIC-8020B/E）	测试对象：64K、256K 大容器 DRAM、ROM、PROM 测试项目：动态功能，直流参数 系统指标： 1.计算机 S120/LA 2.软件 操作系统 MRDOS 测试语言 BASIC 3.测试通道 A型：32 路；D型：68 路 E型：168 路 4.最多可并测 16 个被测存储器
9	日本港电子公司	LSI 存储器测试系统（9200）	测试对象：LSI 半导体存储器、微处理器 测试项目：直流参数、动态功能 系统性能： 计算机PDP11/23
10	国营光华无线电仪器厂	大规模集成电路测试仪（GH3153）	1.测试对象： 4K，16K，32K，64K，128K，256K，RAM 2.测试项目： RAM 功能
11	美国通用无线电公司	半导体存储器测试系统（GR1734）	1.测试对象：中、大规模集成存储器 2.测试项目：直流参数、时间参数和功能测试

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	生产厂家	名称型号	主 要 技 术 特 性
12	北京无线电仪器厂	RAM 功能测试仪 (BL300)	1.测试对象: 半导体随机存储器 2.测试项目: 读写功能、I_{DD}、I_{CC}、I_{bb}
13	北京无线电仪器厂 (引进 IST 公司)	RAM 存储器测试仪 (IST6400)	1.测试对象: 动态和静态 RAM 半导体存储器 2.测试项目: (1) RAM 读写功能 (2) 存取时间 (3) 功耗电流
14	北京无线电仪器厂	半导体存储器测试仪 (QL13)	1.测试对象: 双极型、MOS 型半导体存储器 2.测试项目: N、N^2、$N^{3/2}$ 次图案和静态输入电流，功耗电流，输出电压。
15	北京无线电仪器厂	半导体存储器中间测试仪 (QL12)	1.测试对象: 双极型、PMOS 型、NMOS 型半导体存储器 2.测试项目: 全 0、全 1、块图、下雨图型及直流功耗电流

(4) 大规模/超大规模集成电路通用测试仪器

序号	生产厂家	名称型号	主 要 技 术 特 性
1	美国 GenRad 公司	超大规模集成电路测试系统 (GR180)	测试对象: VLSI 逻辑电路，门阵列 测试项目: 动态功能、直流参数 系统指标: 1.计算机 PDP-11 2.测试语言 PASCAL 3.测试通道 288 路 (I/O)
2	日本武田理研公司	超大规模集成电路通用测试系统 (T3380)	测试对象: 超高速逻辑 VLSI、超高速 VLSI存储器 测试项目: 动态功能、直流参数 系统指标: 1.计算机 TP-1 32 位机 2.软件 操作系统 MOST-X 测试语言 FORTRAN(ATL) 3.测试通道 192 路 (I/O)
3	美国仙童公司	超大规模集成电路测试系统 (S-50)	测试对象: 超高速 VLSI 电路 测试项目: 动态功能、直流参数 系统指标: 1.计算机 VAX11/730 2.软件 操作系统 VAX/VMS 测试语言 PASCAL50 3.测试通道 64～256 路 (I/O)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	生产厂家	名称型号	主 要 技 术 特 性
4	日本武田理研公司	超大规模集成电路测试系统（T3340）	测试对象：高速 VLSI 逻辑电路、微处理器、门阵列 测试项目：动态功能，直流参数 系统指标： 1.计算机 TP-1 32 位机 2.软件 操作系统 MOST-X11 测试语言 FORTRAN(ATL) 3.测试通道 256 路（I/O）
5	美国 Trillium 公司	超大规模集成电路测试系统（Trillium）系统	1.测试对象： CMOS 型 VLSI 2.测试项目 动态功能、直流参数、交流参数 3.系统性能： 计算机 Apollo DSP80A 32 位机 测试语言 PASCAL 测试通道 256 路(I/O)
6	美国 Tektronix 公司	超大规模集成电路测试系统（S-3295）	测试对象：各种 TTL、CMOS 型逻辑电路、存储器、ECL 型 10K、10KH 系列电路 测试项目：动态功能、直流参数、交流参数 系统指标： 1.控制机 PDP11/44 2.软件 操作系统 RSX-11M 测试语言 TEKTEST V 3.测试通道 128 路（I/O） 4.系统总时间准确度 ±0.7ns
7	美国仙童公司	LSI 通用测试系统（Sentry VII）	1.测试对象：VLSI/LSI 及 MSI/SSI、TTL、数字集成电路、包括微处理器、接口电路、随机逻辑电路，RAM，ROM，门阵列等。 2.测试项目：直流参数、时间参数和动态功能。 3.测试通道：60 路（I/O）
8	上海半导体器件研究所	大规模集成电路测试仪（DJC-1）	1.测试对象： DTL、TTL、HTL、PMOS、NMOS、CMOS 数字集成电路 2.测试项目： 逻辑功能 直流参数

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(5) 高速、超高速集成电路测试仪器

序号	生产厂家	名称型号	主要技术特性
1	美国 Tektronix 公司	超高速集成电路测试系统 (S-3280)	测试对象：ECL 型10K、10KH、100K 系列电路 测试项目：动态功能、交流参数、直流参数 系统指标： 1.计算机 PDP11 2.测试语言 TEKTEST III。 3.测试通道 64 路 (I/O)
2	北京无线电仪器厂	微机化集成电路动态参数测试系统 (BJ3124)	1.测试对象： TTL 型、ECL 型中高速集成电路 2.测试项目： t_r、t_f、t_{PLH}、t_{PHL}、t_W、T、t_{setup}、t_{noise}、f_m 等
3	北京数据处理研究所	开关参数测试系统 (KS-2 型)	1.测试对象： 24 引线以下 TTL .测试项目： 交流参数
4	匈牙利 EMG	动态参数测试系统 (TR-5550)	测试对象： TTL、CMOS、ECL-10K 系统的中、小规模集成电路 测试项目： 动态参数
5	北京无线电仪器厂	集成电路、晶体管动态参数测试仪 (BJ2961)	1.测试对象： TTL 型集成电路和 1W 以下开关晶体管 2.测试项目： 晶体管：T_d、T_r、T_{on}、T_s、T_f、T_{off} 集成电路：T_{pd}
6	北京无线电仪器厂	集成电路 T_{pd} 测试仪 (QL2)	1.测试对象： 集成电路门电路和触发器 2.测试项目： 平均延迟时间 T_{pd}
7	国营大华无线电仪器厂	TTL 电路动态参数测试仪	1.测试对象：24 管脚以下的 TTL 电路 2.测试参数：T_{PLH}、T_{PHL}、T_r、T_f、T_{L2}、T_{H2}、T_{2L}、T_{2H}、F_M、T_W

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(6) 模拟集成电路测试仪器

序号	生产厂家	名称型号	主 要 技 术 特 性
1	日本安藤电气公司	模拟集成电路测试系统 (DIC-8060)	测试对象：模拟，模拟-数字集成电路 测试项目：直流参数，功能，交流参数 系统指标： 1.计算机 S120/LA 2.测试通道：最多64路
2	美国 SENTRY 公司	模拟集成电路测试系统 (Series80)	1.测试对象： 各种模拟集成电路 ADC、DAC、通信用模拟集成电路 2.测试项目： 直流参数、交流参数，逻辑功能 3.系统性能： 计算机 S140 操作系统 ATOS 测试语言 FACTOR
3	日本武田理研公司	模拟集成电路测试系统 (T3700 系列) T3710 T3720 T3740	1.测试对象： DAC、ADC、CODEC、彩电电路、MOS TTL 模拟、数字混合 LSI 2.测试项目： 直流参数、交流参数 3.系统性能 计算机 TP-1 型32位机 操作系统 MOS T70
4	美国 Teradyne 公司	模拟大规模集成电路测试系统 (A360 型)	1.测试对象： 各种工业、民用、通信用模拟 LSI 电路 2.测试项目： 直流参数、交流参数、逻辑功能 3.系统性能： 计算机 M365 操作系统：PASCAL/STEPS
5	日本芝测公司	线性大规模集成电路测试系统 (WL8000 系列)	1.测试对象： 音频、视频、声像集成电路、通信集成电路 2.测试项目： 直流参数、交流参数 3.系统性能： 计算机 DEC LSI-11/73.23 操作系统 RT-11 RSX-11M 测试语言 BASIC

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	生产厂家	名称型号	主 要 技 术 特 性
6	日本芝测公司	线性集成电路测试仪(WL12)	测试对象: 各类线性集成电路和数字线性集成电路 系统指标: 1. Z80B CPU, 256KB DRAM 的控制器 2.固定字长形式的测试程序 3.最多可接4个含自动处理机的测试头 4. F.D数据处理单元可同时对2台 WL_{12} 进行管理
7	美国 TERADYNE 公司	线性集成电路测试系统(J-273B)	1.测试对象: 线性集成电路 2.测试项目: 直流参数、交流参数
8	美国 Gen Rad 公司	线性集成电路测试系统(GR1731)	测试对象: 运算放大器、模数转换器、数模转换器、稳压器、比较器、模拟开关等 测试项目: 直流参数、交流参数
9	美国 PRAGMATIC TEST SYSTEM 公司	线性集成电路测试仪(I100/TM7)	测试对象: 线性集成电路、运算放大器、稳压器、ADC、DAC 等等 测试项目: 直流参数、交流参数
10	日本国洋电机公司	线性电路测试仪(SM-3006B)	1.开环电压增益: 60～120dB±1.5dB 2.共模抑制比: 60～120dB±2dB 3.失调电压: 1.5～150mV±2% 4.失调电流: 1.5nA～15μA±3%
11	北京无线电仪器厂	运算放大器测试仪(BJ3190)	1.测试对象: 集成运算放大器 2.测试项目: I_{PC}、V_{OP}、V_{OS}、I_{OS}、I_{ib}、G_{OL}、CMRR
12	北京无线电仪器厂	运算放大器自动测试仪(BJ3192)	1.测试对象: 通用集成运放、高速集成运放、双运放、四运放等 2.试测项目: I_{PC}、$\pm V_{OP}$、$\pm V_{im}$、V_{OS}、I_{OS}、I_{ib}、G_{OL}、CMRR 等
13	南昌无线电仪器厂	线性集成电路测试仪(NY3181 型)	1.开环增益: 52～112dB±4dB 2.共模抑制比: 52～112dB±4dB 3.输入失调电压: 0～30mV ±10% 4.电源电流 0～10mA±5%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	生产厂家	名称型号	主 要 技 术 特 性
13	南昌无线电仪器厂	线性集成电路测试仪（NY 3181 型）	5.输入基极电流： 0～10μA±10% 6.输入失调电流 0～10μA±15%
14	江苏镇江电子仪器厂	可配打印机线性集成电路自动测试仪（KZ3181）	1.测试对象：集成运算放大器和电压比较器 2.测试项目：同 JX-1 型线性集成电路自动测试仪 3.配上打印机能自动打印 12 项参数测试结果
15	江苏镇江电子仪器厂	线性集成电路自动测试仪（JX-1 型）	1.测试对象：集成运算放大器和电压比较器 2.测试项目： I_O:0～100mA $\pm V_{OP}$: 0～±30V $\pm V_{om}$: 0～±30V V_{OS}: 0～100mV I_{SO}: 0～10μA I_b: 0～10μA A_{od}:40～120dB CMRR:40～120dB LPSRR:40～100dB
16	国营光华无线电仪器厂	运算放大器测试仪（GH3181 型）（正在研制）	1.测试对象：运放，比较器 2.测试项目：共十三项参数 3.测量误差：电压、电流 ±2% 满度值 ±1 个字，增益、比值、±2% 满度值 ±1dB
17	广东肇庆电子仪器厂	集成运算放大器测试仪（YFC-II 型）	1.输入失调电压： 0～±20mV 3%±0.05mV 2.输入失调电流： 0～±2μA 3%±22nA 3.输入偏置电流： 0～±10μA 3%±10nA 4.开环电压增益： 60～130dB 2%±1dB 5.最大输出幅度： ±18V 6.静态功耗电流： 0～10mA 5% 7.共模抑制比： 60～130dB 2%±1dB 8.电源电压抑制比： 与输入失调电压相适应
18	上海华阳电子仪器厂	运算放大器测试仪（TOC-2）	I_{CC}: 0～10mA ±5% V_{OS}: 0～50mV ±5% I_{OS}: 0～2.5μA±5% I_b^+, I_b^-: 0～2.5μA±5% GOL: 74～100dB±2dB CMRR: 94～120dB±2dB

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

序号	生产厂家	名称型号	主 要 技 术 特 性
18	上海华阳电子仪器厂	运算放大器测试仪 (TOC-2)	CMV: 0～±12V ±5% V_{p-p}: 0～±12V ±5% P_O: 0～480mW ±5%
19	北京无线电仪器厂	功放集成电路测试仪 (BJ3191)	1.测试对象: 音频集成电路 2.测试项目: 音频前置放大器、功率放大器的直流参数和交流参数
20	国营大华无线电仪器厂	集成稳压电源电路测试仪	测试项目:(集成稳压电源直流参数) 输入电压 V_I 输出电压 V_O 电压调整率 ΔV 电流调整率 ΔV_O 纹波抑制比 $S_{r.p}$

(7) 集成电路综合测试仪器

序号	生产厂家	名称型号	主 要 技 术 特 性
1	美国 LTX 公司	集成电路综合测试系统 (LTX-77)	测试对象: 1.模拟集成电路 2.模拟数字混合集成电路 3.数字集成电路 测试项目: 直流参数、交流参数、逻辑功能 系统性能: 计算机 NOVA3D 测试语言 LTXBASIC
2	美国 Sentry 公司	集成电路综合测试系统 (T240)	测试对象: TTL、TTL-S、ECL、CMOS、NMOS型大、中、小规模集成电路 测试项目: 直流参数、动态参数、逻辑功能 系统指标: 1.测试通道 30/64 2.数字 IC 测试
3	美国 AD 公司	半导体器件电路综合测试仪 (LTS-2020)	测试对象: 1. TTL、CMOS 数字 SSI、MSI 模拟开关 2.模拟集成电路: 运算放大器、比较器、稳压器 DAC、ADC 3.分立半导体器件: 二极管、三极管、场效应管 测试项目: 直流参数、交流参数、功能
4	美国 Gen Rad 公司	半导体元器件集成电路综合测试系统 (GR1735)	1.测试对象: 模拟集成电路、数字集成电路 模拟数字混合集成电路 分立半导体器件 2.测试项目: 直流参数、交流参数、逻辑功能 3.系统性能 计算机: Z80, 6502, 软件: 宏汇编

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(8) 其它集成电路测试仪器

序号	生产厂家	名称型号	主 要 技 术 特 性
1	日本安藤电气公司	集成电路直流参数测试系统（DIC-8050）	测试对象：各种数字 IC、模拟 IC 测试项目：直流参数 系统指标： 1.计算机：S-120/LA 2.测试通道最多 64 路 3.可用12个直流测量仪同时测试
2	美国 QUANTECH 公司	集成电路噪声分析仪（2173-C/2283）	噪声测试频率：10Hz～100kHz 电压源：0～±30V ±5% ±12V ±0.5V 噪声量程：3、10、30、100、300、1000、3000nV 准确度：+1dB
3	江苏镇江电子仪器厂	线性集成电路图示仪（RZ-4810A）	1.测试对象：集成运算放大器和电压比较器。 2.特性曲线： 输入电压-输出电压 K、V_{os}、$\pm V_{om}$ 输入电压-共模电压 CMRR $\pm V_{cm}$ 输入电压-正电源电压 +PSRP、$V_{oc,max}$、$V_{oc,min}$ 输入电压-负电源电压 −PSRR、V_{ZZmax}、V_{ZZmin} 输入电流-失调电压 I_{b+}、I_{b-}、I_{OS}、I_b 正电源电流-正电源电压 I_{CC} 负电源电流-负电源电压 I_{ZZ}
4	北京无线电仪器厂	线性集成电路图示仪（BJ4840）	1.测试对象： 集成运算放大器、集成三端电源 2.用图示法测试 3.测试误差 ≤ ±3%
5	江西新余电子仪器厂	集成电路图示仪（JXD-311 型）	1.测试对象：中小规模的 TTL、HTL、CMOS、PMOS 等集成电路 2.测试项目：直流参数及逻辑功能 3.误差：<5%
6	美国 SAGE 公司	集成电路热性能测试系统（THETA400B）	1.用途：用于数字或模拟集成电路热性能测试，在 1～1900 秒量程内自动采集数据 2.采用 MIL-STD883C，1012 号方法 3.非破坏性测试

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

31. 电声测量仪器

(1) 测量电容传声器

厂 家	型号	直径 mm	极化电压V	开路灵敏度 dB (re 1V/pa)	频率响应 (±2dB)	动 态 范 围 dB (re 2×10^{-5}pa)
797厂	CH21	24	200	≥−29	10Hz～18kHz	15～146
	CH22	24	200	≥−29	10Hz～7kHz	15～146
	CH13	12	200	≥−45	20Hz～40kHz	32～160
	CH14	12	200	≥−45	20Hz～20kHz	32～160
	CH16	6	200	≥−65	30Hz～70kHz	44～170
	CH18	3	200	≥−75	40Hz～140kHz	74～176
	CH61A	24	28	≥−36	20Hz～10kHz	20～140
	CH61B	23.77	28	≥−36	20Hz～10kHz	20～140
4380厂	CH11	24	200	−26±3	20Hz～18kHz	15～140
	CH12	24	200	−26±3	20Hz～7kHz	15～140
	CH33	12.7	28	≥−46	20Hz～12.5kHz	15～140
	HS14401	23.77	200	−26±3	20Hz～18kHz	15～140
	HS14402	23.77	200	−26±3	20Hz～7kHz	15～140
衡阳仪表厂	CH-11	24	200	−26	2Hz～18kHz	15～144
	CHZ-13	12	0	−26	7Hz～12.5kHz	18～146
	HY-203	23.77	200	−26	2Hz～18kHz	15～144
	HY-205	12.7	0	−26	4Hz～16kHz	18～146
丹麦 B&K	4138	1/8	200	−60	6.5Hz～140kHz	56～168
	4135	1/4	200	−48	4Hz～100kHz	39～164
	4136	1/4	200	−56	4Hz～70kHz	47～172
	4129	1/2	0	−26	6.5Hz～8kHz	15～142
	4130	1/2	28	−40	6.5Hz～8kHz	26～142
	4133,4149	1/2	200	−38	4Hz～40kHz	22～160
	4134	1/2	200	−38	4Hz～20kHz	21～160
	4147	1/2	28	−56	0.4Hz～18kHz	38～160
	4155	1/2	0	−26	4Hz～16kHz	15～146
	4165	1/2	200	−26	2.6Hz～20kHz	15～146
	4166	1/2	200	−26	2.6Hz～10kHz	15～146
	4176	1/2	0	−26	6.5Hz～12.5kHz	14～142
	4180	1/2	200	−38	4Hz～20kHz	21～160
	4144	1	200	−26	2.6Hz～8kHz	10～146
	4145	1	200	−26	26.Hz～18kHz	11～146
	4160	1	200	−26.5	4Hz～8kHz	10～146
	4179	1	200	−20	10Hz～10kHz	−2.5～102
美国 G.R	1961	1	0	−38	15Hz～7kHz	～160
	1962	1/2	0	−40	15Hz～12kHz	～170
		(英寸)			(±3dB)	
日本 RION	uc-27	1	200	−26	5Hz～12.5kHz	～149
	uc-26	1/2	60	−32	10Hz～14kHz	～142
	uc-28	1/2	60	−36	10Hz～18kHz	～150
	uc-30	1/2	200	−27	10Hz～20kHz	～155
	uc-31	1/2	200	−36	10Hz～30kHz	～155
	uc-29	1/4	200	−47	20Hz～70kHz	～164

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 正弦信号发生器

厂 家	型 号	频 率 范 围	频率响应	非线性失真	信 噪 比
6971 厂	XFS-9c	20Hz～20kHz	±0.2dB	<0.5%	≥70dB
宁波东风	DF1212	20Hz～20kHz	±0.26dB	<1.5%	
丹阳调速	DD5530	20Hz～20kHz	±0.3dB	<0.5%	≥70dB
阳光(台湾)	7116Ak	20Hz～20kHz	±0.25dB	<0.15%	
B&K	1023	10Hz～20kHz	±0.2dB	<0.1%	≥70dB
B&K	1027	2Hz～200kHz	±0.2dB	<0.015%	≥70dB

(3) 噪声信号发生器

厂 家	型 号	频率范围	频 谱 特 性	信 噪 比
(丹麦) B&K	1405	20Hz～100kHz	白噪 ±1dB(20Hz～20kHz) 粉噪 ±1dB(20Hz～50kHz)	>90dB
	1027			>90dB
6971厂	UZ-3	20Hz～20kHz	白噪 ±1dB(20Hz～20kHz) 粉噪 ±1.5dB(20Hz～20kHz)	>60dB
	JS1660	20Hz～100kHz	白噪 ±1dB(20Hz～20kHz) 粉噪 ±1.5dB(20Hz～50kHz)	>85dB >70dB
(美国) G.R	1381	2Hz～50kHz	白噪 ±1dB(2Hz～50kHz)	
	1382	20Hz～25kHz	白噪 ±1dB(20Hz～25kHz) 粉噪 ±1dB(20Hz～20kHz)	

(4) 测量放大器

厂 家	型 号	频率范围	频率响应	衰减器精度	峰值因数能力	本机噪声
6971厂	NF5	2Hz～200kHz	≤±0.5dB	±0.15dB	10≤±0.5dB	≤10μV
	FDC-2A	2Hz～200kHz	≤±0.7dB	±0.1dB	5≤±0.5dB	≤10μV
935厂	QW5810	2H～200kHz	≤±0.5dB			≤7μV
B&K	2636	1Hz～200kHz	≤±0.5dB	±0.05dB	10<±0.2dB	≤5μV
	2610	2Hz～200kHz	≤±0.5dB	±0.05dB	10<±0.2dB	≤5μV

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(5) 带通滤波器

厂 家	型 号	中心频率(滤波器带宽) Hz	失 真 度	噪 声
6971厂	NL6A	4Hz～125kHz (1/1 oct, 16 组)	<0.5%	<300μV
		2Hz～160kHz (1/3 oct 50 组)		
	JSS740	0.2Hz～20kHz (3%, 23% 可调)	<1%	<10mV
	NL851	L. P. 六档 H. P. 十档 可组合		<1mV
	JSS710	400Hz, 1000Hz 1/3oct	<0.5%	<180μV
	JSS711	315Hz, 1000Hz 1/3 oct	<0.5%	<180μV
4380厂	NL2	20Hz～40kHz (1/3 oct, 34 组)		
	NL3	22Hz～22kHz (1/1 oct, 10 组)		
衡阳仪表厂	HY303	31.5Hz～16kHz (1/1 oct, 10 组)		
	LB-2	20Hz～40kHz (1/3 oct, 34 组)		≤300μV
	NL-5	31.5Hz～16kHz (1/1 oct, 10 组)		<1mV
丹麦 B&K	1624	22Hz～22kHz (1/1 oct, 10 组)		<150μV
	1625	18Hz～22kHz (1/1 oct10组,1/3 oct31组)		<150μV
	1617	2Hz～160kHz (1/3 oct, 50 组)	<0.1%	<150μV
		2Hz～20kHz (1/1 oct, 41 组)	<0.1%	<150μV
	1618	2Hz～20kHz (1/3 oct, 41 组)	<0.1%	<150μV
		2Hz～20kHz (1/1 oct, 41 组)	<0.1%	<150μV
	2020	20～20kHz(3.16, 10, 31.6, 100Hz, 可调)	<0.1%	<300μV
	2120	2Hz～20kHz (1%, 3%, 10%, 23% 可调)	<0.1%	<25μV
	2010	2Hz～200kHz (3.16～1000Hz 六档可调)	<0.01%	<1.2μV
美 G. R	1952	4Hz～60kHz (低通、高通、带通、带阻可调)	<0.25%	<100μV

(6) 电平记录仪

厂 家	型 号	频率范围	频 响	灵 敏 度	衰减器精度	分 辨 率
6971厂	NJ1	2Hz～200kHz	≤1dB	5mV		0.25dB
	NJ2	2Hz～200kHz	±1dB	5mV	±0.25dB	0.25dB
935 厂	QW4710	2Hz～200kHz	±1dB	5mV		<0.5mm
4380厂	NJ3	20Hz～20kHz		<5mV		
B&K	2307	2Hz～200kHz	±0.5dB	5mV	±0.25dB	<±0.5mm

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(7) 声级计

厂 家	型 号	测量范围 dB(A)	频率范围 (Hz)	f 计权	T 计权	检波特性	峰值因数	备注
红声器材厂	ND2	25～140	20～18k	A、B、C、l	F、S	rms	4	极化电压 200V
(4380厂)	ND6	20～140	10～4k	A、B、C、D、l	F、S、I	rms，峰	10	200V
	ND10	40～130	31.5～8k	A、C	F、S	最大保持	3	28V
	ND12	43～130	31.5～8k	A、C	F、S	rms	3	28V
	ND15	55～130	31.5～8k	A、C	F、S	rms	3	28V
	HS5630	50～140	31.5～8k	A	F、S	rms	5	28V
	HS5650	26～140	20～18k	A、C	F、S	rms	5	200V
6971 厂	SJ2	36～130	20～8k	A、B、C	F、S	rms		
衡阳仪表厂	JS-1	25～140		A、B、C、l	F、S	rms	3	200V
	HY104	35～130		A	F、S	rms		$3\frac{1}{2}$数显
浙江盘安	PAS-5633	40～130	31.5～8k	A	F、S	rms		$3\frac{1}{2}$数显
南京前卫	NH-1	35～130	31.5～8k	A	F		3	$3\frac{1}{2}$数显
衡阳仪表厂	HY105	30～120		A、C	A、S			Leq，SEL
	HY107	20～144		A、l	F、S、I	rms		精密、脉冲
丹麦 B&K	2232	34～130	k	A	F、S	rms	10dB	精密，轻型
	2225	25～140	10～15k	A	F、S 最大保持峰值	rms，Peak	20dB	积分，
	2226	25～140	10～15k	A	I、F、S	rms	20dB	积分，脉冲
	222 1/2	25～145	10～15k	A lin	F/S 峰值保持	peak	1.4	积分
	2235	24～130	5～20k*	A、C、lin	F、S、I	rms，peak	3dB	精密
	2230	24～150	2～70k*	A、C、lin	F、S、I	rms，peak	13dB	精密，积分
	2231	30～130	2～70k*	A、C、lin	F、S、I	rms，peak	13dB	精密，积分
	2234	24～150	2～70k*	A、C lin	F、S、I	rms，peak	13dB	精密，积分
	2233	24～150	2～70k* (*不带传声器)	A、C lin	F、S、I	rms，peak		精密，积分
美国 GR	1982	30～130	31.5～16k	A、B、C lin	F、S、I	rms，peak	10	
	1981-B	30～120		A	F、S	rms	5	
	1565-B	40～140		A、B、C	F、S	rms		
	1983	70～120		A	F、S	rms		
日本 RION	NL-10	32～140		A、C lin	F、S			
	NL-11	32～140		A、C lin	F、S、I	rms peak		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(8) 成套组合声学仪器

厂　家	产品型号、名称	主要组合仪器	主要功能及技术指标
4380 厂	DSY-70	振荡器、显示器、仿真耳、仿真嘴	测量电话机及其它换能器，灵敏度、频率特性、阻抗等 频率范围 200～4000Hz 测量范围 −35～40dB 整机测试误差 <1dB
4380嘉兴分厂	HS6110	同　上	同　上
宁波东风无线电厂	DF5991 扬声器综合测试仪		用于生产线上快速测量扬声器的阻抗、极性及绝缘电阻
北无二厂	ZN5990	振荡器、滤波器电压表、抖晃仪失真仪	测量录音机、电唱机、收音机的频响、增益、信噪比、失真抖晃、灵敏度等 f: 15Hz～150kHz V: 1mV～100V 失真 0.1～100%(±10%) 抖晃 0.1%、0.3%、1%
6971 厂	JS6110	振荡器、电压表失真仪、抖晃仪	测量录音机、电唱机、电影机的频响、失真、增益、信噪比、灵敏度、抖晃、滑动等， f: 15Hz～150kHz V: 1mV～100V±5% 失真: 0.1～100% 抖晃 ±0.1%±0.3%±1%
B&K	3356电话传输测试系统	1023 信号发生器 1618 滤波器 4712 显示器 4904 当量表 4906 电源 2610 放大器 2307 记录仪	测量电话机及其他换能器的当量、频响、失真、信噪比等
	9596换能器测试系统	2626/1769 测量放大器 1049 正弦/噪声信号源 2313 记录仪	用于电声换能器生产线测试频响、灵敏度、质量控制
	9598/9620 电声测量系统	(同上) 并与 IBM 系统 PS/2 或 AT 计算机配用	(同上) 应用 5301 型软件包，实现自动测量和质量控制
	3360声强分析系统	2134 声强分析仪 4715 显示器 3519 声强探头 ZH0250 单元	能对各种声信号包括脉冲声进行实时分析，并测出其声强或声压级
	4418建筑声学分析仪	噪声信号源、滤波器、传声器、前置放大器	声级、环境噪声、混响时间、隔声、声功率级、频谱分析

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

32. 广播音响测量仪器

(1) 立体声信号发生器

生产厂家	型号	分离度	失真度
上海无线电二十六厂	XDQ-1	≥54dB	≤0.2%
北京无线电仪器二厂	ZN1610	≥60dB	≤0.05%
天津中环科学仪器公司	HG1620	≥50dB	≤0.05%

(2) 调频立体声信号发生器

生产厂家	型号	频率	分离度
上海无线电仪器厂	S104	89/98MHz	≥40dB
浙江无线电厂	ZW1611	88/98/108MHz	≥50dB
	ZW1612	98MHz	≥40dB
辽宁无线电七厂	LQ1611	88/98/108MHz	≥40dB
天津中环科学仪器公司	HG1610	98MHz	≥45dB
	HG1611A	88/90/98/106/108 85～110MHz	≥50dB
前锋无线电仪器厂	QF1610	90/100/108MHz	≥45dB

(3) 低频扫频信号发生器

生产厂家	型号	频率	正弦波失真
上海无线电二十六厂	SXQ-5	20Hz～200kHz	20Hz～20kHz≤1%
宁波东风无线电厂	XS21A	0.2Hz～1MHz	
	DF1212A	20Hz～20kHz	
天津市中环科学仪器公司	HG1310	20Hz～20Hz	≤1%

(4) 高频扫频信号发生器

生产厂家	型号	频率	输出幅度
上海无线电二十六厂	XSQ-2	500kHz～20MHz	≥100mV$_{rms}$
	XSQ-6	425～505kHz	3V$_{rms}$±1dB
	XSQ-7	10.2～11.2MHz	1.25V$_{rms}$±1dB
	XSQ-8	85～110MHz	0.5V$_{rms}$±1.5dB
	XSQ-9	0.2～8MHz	1V$_{p-p}$
南京无线电仪器厂	NW1310	1～300MHz	5mW±1dB
	JS00	455～485kHz	110dBμ
		500～1700kHz	
		3.8～23MHz	
		10.2～11.2MHz	
		73～113MHz	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(5) 双通道交流毫伏表

生产厂家	型号	测量电压	基本误差
上海无线电二十六厂	DAQ-1	300μV～100V f·s	±7%
	DAQ-3	1mV～100V f·s	±7%
浙江无线电厂	ZW2170	1mV～300V f·s	±3%
上海无线电仪器厂	AS2291	300μV～100V f·s	±5%
苏州电讯仪器厂	SX2290	1mV～300V f·s	±3%
北京无线电仪器二厂	ZN2190	300μV～100V f·s	±5%
宁波东风无线电厂	DF2170A	1mV～300V f·s	
浙江余姚无线电厂	ZYW2290	1mV～300V f·s	±3%
天津中环科学仪器公司	HG2170	1mV～300V f·s	±3%
	HG2180	1mV～300V f·s	±2%

(6) 立体声解调器

生产厂家	型号	分离度	失真度
北京无线电仪器二厂	ZN3992	≥72dB	≤0.01%

(7) 抖晃测量仪

生产厂家	型号	测量范围	指示精度
北京长城无线电厂	DH-1	0.03%～3% f·s	±5%
	JS5970	0.19%～3% f·s	±5%
	JS5973	0.01%～3% f·s	±7%
北京无线电仪器二厂	ZN5970	0.01～3% f·s	±5%
天津中环科学仪器公司	HG5970	0.03%～3% f·s	±5%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(8) 自动频率响应检测仪

生产厂家	型号	测量范围	误差
天津中环科学仪器公司	HG1690	±15dB	±1dB
	HG5991	±15dB	±1dB

(9) 电压比较仪

生产厂家	型号	测量范围	误差
天津中环科学仪器公司	HG5980	±46dB	±1.5dB

(10) 扫频仪

生产厂家	型号	频率	标频精度
北京无线电仪器二厂	ZN1230	400～500kHz 9.5～11.5MHz	
天津中环科学仪器公司	HG1210	450～1700kHz	0.05%
	HG1230	400～500kHz 9.5～11.5MHz	0.05%
	HG1240	2～28MHz	0.05%
	HG1250	75～110MHz	0.05%

(11) 双通道分离度计

生产厂家	型号	分离度	频率
北京无线电仪器二厂	ZN3991	10～50dB	1210Hz 790Hz

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(12) 测量滤波器

生产厂家	型号	频率	失真
北京长城无线电厂	JS5710	400，1000Hz 窄带 400Hz LPL 300Hz HPL	≤0.5%
	JS5711	315,1000 窄带 200Hz HPL	≤0.5%
浙江无线电厂	ZW3671 (RF-1)	300～15000Hz BPL 400Hz LPF 400，1000Hz 窄带	
	ZW3672 (CF-1)	315Hz HPL 315，1000Hz 窄带	

(13) 失真度测量仪

生产厂家	型号	频率	量程
上海无线电仪器厂	S907-1	400，1000Hz	0.1%～30%
	S907-2	315，1000Hz	0.1%～30%
北京无线电仪器二厂	BS4	400，1000Hz	0.1%～30%
	BS5	315，1000Hz	0.1%～30%
	ZN4110	400，1000Hz	0.1%～30%
	ZN4111	315，1000Hz	0.1%～30%
天津中环科学仪器公司	HG4110	50Hz,1000Hz	0.1%～100%
	HG4110A	50Hz,1000Hz	0.1%～30%
	HG4111	315，400 1000Hz	0.1%～100%
	HG4121	315，400 1000Hz	0.03%～30%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

33. 电视测量仪器

厂 家	型 号 名 称	主 要 技 术 指 标
重庆无线电测试仪器厂	VS 16 视频数字电平表	−500V + 1200mV ±0.2%±1mV
	VS 21 视频噪声测试仪	0.3mVrms～0.3Vrms ±5%
	VS 22 电视非线性失真测试仪	$DG_1 \leqslant 11\% \pm 5\%$ $DP_1 \leqslant 11° \pm 5\%$
	VS 15 彩色增益和延迟测试仪	ΔK_1 − 5.5～+5.5dB±0.1dB ΔC_1 − 110～+110ns ±2～±3ns
	XT 16A 电视测试信号发生器	阶梯波及叠加副载波正弦平方脉冲和条、多波群、方波等信号
	CC 5361 数字电视信号发生器	提供 GB 9372-88 电视广播接收机测量方法所要求各种信号包括彩条、隔行彩条等 90 种信号
	CC 5361A 数字电视信号发生器	7、18、330、331 插入行信号，阶梯波及叠加副载波、正弦平方脉冲和条、多波群方波、三色度电平、彩条等
合肥无线电三厂	DC 5410 插入测试信号发生器 DC 5360 同步锁相电视信号发生器	17、18、330、331 插入行信号 标准同步信号彩条等
重庆无线电测试仪器厂	CC 5362 微机数字彩色电视信号发生器	副载波 4.43361875MHz±5Hz 副载波相位可调范围 >360° 有各种彩条等 91 种信号，能 B-Y 断，R-Y 断，Y断，色同步断、同步断。
北京无线电二厂	视频图像信号发生器 XT 1B	全黑、全白、三白两黑，三阶梯、十阶梯，50Hz 方波格子、多波群等。
重庆无线电测试仪器厂	VS 12 电视图像信号发生器	竖彩条、横彩条、复合点格、格子、点子、全黑全白、半白半黑、三白两黑棋盘、三阶梯、十阶梯、多波群等
	CC 5360 彩色电视测试图像发生器	副载波 4.43361875MHz±5Hz 产生综合的彩色测试图
上海无线电仪器厂	AS 5371 彩色测试卡全电视信号发生器	产生综合的彩色测试图
重庆无线电测试仪器厂	CC 5440 波形监示器	垂直电压误差±1% 频响：±0.2dB (50Hz～6MHz) ±2%～5% (50Hz～10MHz
合肥无线电三厂	DC 5440 波形监示器	
上海无线电 21 厂	WJ 5440 波形监视器	垂直电压误差 3%～5% 频响： +3%～−5% (25Hz～5MHz)
合肥无线电三厂	DC 5430 矢量示波器	矢量相位准确度：≤1°
上海无线电 21 厂	XJ 5430 矢量示波器	矢量相位准确度：≤1.25°

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	型 号 名 称	主 要 技 术 指 标
重庆无线电测试仪器厂	VS 23 中频三信号发生器	F_V: 37 或 38MHz 44～110dB F_A: 30 或 31MHz 42～108dB F_S: 32. 57 或 33.57MHz 35～101dB
	VS 17 中频调制器	38MHz，双边带或残留边带，群时延：±25ns *DG*: ≤2% *DP*: ≤1°
	CC 5310 VHF 电视频道发生器	1～12 频道≥1W *DG*: ≤±5% *DP*: ≤5°
	CC 5311 UHF 电视频道发生器	13～57 频道输出≥50mV DG:≤3% DP: ≤3°
	CC 3861 UHF 电视功率放大器	UHF≥1W *DG*: ±5% *DP*: ±5°
766 厂	QF 5360 电视标准信号发生器	4～300MHz 0.1μV～100mV
	XB 48 电视标准信号发生器	470～960MHz 500mV 输出 *DG*: 5% *DP*: 5°
上海无线电仪器厂	S305A 全频道彩色电视信号发生器	VHF 1～12 频道≥50mV rms UHF 13～56 频道≥100mV rms
重庆无线电测试仪器厂	CC 5313 立体声双伴音中频调制器	立体声双伴音残留边带调制
	CC 5363 卫星电视测试信号发生器	供卫星电视接收机测试用信号
北京无线电二厂	ZN 5310 电视幅度调制器	高频增益，≥2 低频调制特性：输入低频信号 1～500Hz 调制深度 0～50% 调制失真<±10%
重庆无线电测试仪器厂	VS 14C 黑白/彩色电视图像信号发生器	VHF 1～12 频道 UHF 13～57频道彩条、解码图像、录像图案、格子、圆等10信号
766 厂	QF 5362V/U 频道彩色图像信号发生器	VHF 1～12 频道 UHF 连续可调彩条、格、圆等 9 种信号
712 厂	TW-5380 彩色黑白全频道图像信号发生器	
重庆无线电测试仪器厂	CC 5380A 彩色图像信号发生器	四矢量及组合彩条、棋盘、点格、白场、竖条、横条、圆
北京无线电二厂	ZN 5370 黑白彩色电视图像信号发生器	
浙江无线电厂	ZW 5381 彩色电视信号发生器	
合肥无线电三厂	DC 5371 彩色电视信号发生器	
4511 厂	NH 5360 电视图像信号发生器	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

34. 载波通信仪表

(1) 电平振荡器

厂 家	型 号	频率范围	频率准确度	电平范围(dB)
南京有线电厂	YX 5061	0.2～620kHz	2×10^{-5}±1 字位	−60～+10
	YX 5071	6kHz～18.6MHz	1×10^{-5}±300Hz	−70～0
	YX 1461	0.2～20MHz	5×10^{-9}/天	−70～+2
	UX 15	0.3～1700kHz	1×10^{-5}±30Hz	−60～+10
合肥无线电一厂	HF 5061	300Hz～4kHz	±2%	−35～+5
	HF 5062	20Hz～20kHz	5×10^{-5}±1Hz	−50～+20
	HF 5066	0.2～620kHz	3×10^{-3}±45Hz	−50～+20
	UX 21A	300Hz～620kHz	5×10^{-5}±500Hz	−60～+10
	UX 21B	200Hz～620kHz	0.2%±250Hz	−60～+10
	UX 16A	200Hz～1700kHz	1×10^{-5}±40Hz	−69～+10
	UX 20	10kHz～18.6MHz	1×10^{-5}±450Hz	−70～0
建华仪器厂	JH 5061 (UX 18)	20Hz～20kHz	5×10^{-3}±5Hz	−55～+20
	JH 5061A (UX 18A)	15Hz～20kHz	5×10^{-5}±一字位	−56～+26
	JH 5068	15Hz～60kHz	5×10^{-5}±3Hz	−56～+26
	JH 5062 (UX 26)	300Hz～150kHz	±3%	−40～+10
	JH5064A (UX 22A)	200Hz～620kHz	5×10^{-5}±一字位	−75～+10
	JH 5066 (UX 17)	200Hz～1700kHz	1×10^{-5}±30Hz	−75～+10
	JH 5067 (UX 23)	200Hz～1700kHz	5×10^{-5}±一字位	−75～+10
	JH 5069 (JH821)	1Hz～1MHz	±1%	−75～+10
	JH 5072	200kHz～6MHz	5×10^{-5}±五个字	−70～0
	JH 5071	200Hz～18.6MHz	5×10^{-5}±五个字	−70～0
	JH 5070	10kHz～36MHz	5×10^{-5}±一个字	−70～0
柳州无线电厂	UX 24	10kHz～36MHz	5×10^{-5}±一个字	−70～0
	UX 25	200Hz～620kHz	5×10^{-3}±500Hz	−75～+11
	UX 40	200Hz～1700kHz	3×10^{-3}±500Hz	−65～+11
眉山通信设备厂	QZD 10	20Hz～60kHz	5×10^{-5}±1Hz	−50～+10
	QF 668IIA	300Hz～300kHz	1×10^{-3}±200Hz	−30～+20
	QF 682I	200Hz～620kHz	5×10^{-4}±100Hz	−50～+10
	QZD 04	200HZ～2MHz	2×10^{-5}±1Hz	−50～+10
	QF 675A	200Hz～2MHz	1×10^{-9}±30Hz	−70～+10
	QF 677	10kHz～30MHz	2×10^{-5}±300Hz	−85～+2
	QZD 06	0.1～100MHz	5×10^{-3}±200kHz	−60～0
邮电部北京仪表研究所	QZD-02	10kHz～18.6MHz	5×10^{-6}±300Hz	−70～0
	QZD-11	200Hz～30MHz		−70～0
	QPH 02	0.1～100MHz		−80～+1

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 选频电平表

厂家	型号	频率范围	电平测量范围 (dB)	零电平误差 (dB)
南京有线电厂	YX 5011	0.2～620kHz	−100～+40	±0.2
	YX 5021	6kHz～18.6MHz	−100～+20	±0.2
	UD 19	0.3～1700kHz	−110～+20	±0.2
合肥无线电一厂	UD 26A	300Hz～620kHz	−100～+20	±0.3
	HF 5012	20Hz～20kHz	−90～+20	±0.2
	HF 5016	0.2～620kHz	−90～+40	±0.25
	UD 26B	0.2～620kHz	−100～+20	±0.15
	UD 20A	200Hz～1700kHz	−120～+20	±0.2
	UD 25	10kHz～18.6MHz	−130～+10	±0.2
建华仪器厂	JH 5011 (UD 22)	20Hz～20kHz	−80～+20	±0.2
	JH 5011A (UD 22A)	15Hz～20kHz	−11～+40	±0.2
	JH 5019	15Hz～60kHz	−120～+40	±0.2
	JH 5014 (UD 27)	200Hz～620kHz	−130～0	±0.1
	JH 5016 (UD 21)	200Hz～1700kHz	−120～+20	±0.1
	JH 5018 (UD 28)	200Hz～1700kHz	−140～+20	±0.1
	JH 5022	200Hz～6MHz	−110～+10	±0.1
	JH 5021	200Hz～18.6MHz	−110～+10	±0.2
	JH 5020	10kHz～36MHz	−110～+10	±0.2
	UD 29	10kHz～36MHz	−110～0	±0.2
柳州无线电厂	UD 33	200Hz～1700kHz	−110～+21	±0.03
	UD 40	200Hz～1700kHz	−130～+21	±0.25
眉山通信设备厂	QXD 09	15Hz～60kHz	−120～+21	±0.2
	QP 272 IIA	300Hz～300kHz	−120～+21	±0.2
	QP 3821	200Hz～620kHz	−110～+20	±0.2
	QP 376A	200Hz～2MHz	−130～+20	±0.2
	QXD 04	200Hz～2MHz	−110～+20	±0.2
	QP 380	10kHz～30MHz	−130～+22	±0.2
	QXD 06	0.1～100MHz	−110～0	±0.1
邮电部北京仪表研究所	QXD-02	10kHz～18.6MHz	−110～+10	≤±0.2
	QXD-11	200Hz～30MHz	−110～0	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 可变衰减器

厂 家	型 号	频率范围 (Hz)	衰减范围 (dB)	阻抗(Ω)
南京有线电厂	YX 3711	0～30M	0～91	不平衡 75
	YX 3712	0～10M	0～111.1	不平衡 75
	YX 3713	0～2M	0～111.1	平衡 150
	YX 3714	0～1M	0～111.1	平衡 600
合肥无线电一厂	HF 5144	0～10M	0～131	不平衡 75
	HF 5145	0～620k	0～132.1	平衡 150
	HF 5146	0～620k	0～132.1	平衡 600
建华仪器厂	JH 5140 W1	0～620k	0～111	不平衡 150
	JH 5140 W2	0～1M	0～111	不平衡 150
	JH 5140 W3	0～2M	0～111	不平衡 150
	JH 5141 W1	0～2M	0～111	不平衡 75
	JH 5141 W2	0～6M	0～111	不平衡 75
	JH 5142 W1	0～620k	0～111	平衡 600
	JH 5142 W2	0～620k	0～111	平衡 150
南京无线电仪器厂	SHK-15	0～10M	0～131.1	不平衡 75
	SHK-16	0～30M	0～91.1	不平衡 75
	SHK-18	0～2M	0～111	不平衡 150
	SHK-19	0～1M	0～111.1	不平衡 600
	SHK-20	0～2M	0～111.1	不平衡 150
	SHK-21	0～1M	0～111.1	平衡 600
眉山通信设备厂	QW 875I	0～30M	0～112.1	不平衡 75
	QW 876A II	0～620k	0～132.1	平衡 150
	QW 876B II	0～620k	0～132.1	平衡 600
	QW 877A II	0～620k	0～132.1	不平衡 150
	QW 877B II	0～620k	0～132.1	不平衡 600

(4) 杂音测试仪

厂 家	型 号	频率范围	电平(压)范围	本机杂音 (dB)
南京有线电厂	YX 5151A 数字式	20Hz～20kHz	−100～+40dB (10μV～100V)	−110
合肥无线电一厂	HF 5150	20Hz～20kHz	−100～+40dB (10μV～100V)	−100
	HF 5150A	15Hz～30kHz	−100～+50dB (10μV～300V)	−110
建华仪器厂	JH 5151 (ND 10)	15Hz～20kHz	−100～+40dB (10μV～100V)	−100
眉山通信设备厂	QP 670I	20Hz～20kHz	−90～+40dB (50μV～100V)	−100
	QP 670II	15Hz～20kHz	−90～+40dB (50μV～100V)	−100
扬州无线电仪器厂	ND6	15Hz～20kHz	−90～+40dB (0.3mV～100V)	−100

www.789pdf.com 789书库网

35. PCM 数字通信测量仪器

厂家	仪器名称	比特率 (bit/s)						误码测量	误码性能分析根据(G821)	抖动测量和分析	内部打印机	遥控(GP-IB)
		64K	704K	2M	8M	34M	139M					
(美)HP 公司	HP 3784A 数字传输分析仪	任选件	●	●	●	●		●	●	任选件		●
	HP 3764A 数字传输分析仪		任选件	任选件	任选件	任选件	●	●	●	任选件	●	●
(美)W.G 公司	PF-3 误码率测量仪		●	●	●	●		●	●		任选件	任选件
	PF-4 误码率测量仪		●	●	●	●	●	●	●		任选件	任选件
	PJM-4/PJG-4 抖动分析仪		●	●	●	●	●			●		任选件
Anritsu	ME 520B 数字传输分析仪		●	●	●	●	●	●	●	任选件	任选件	●
Ando	AP-9850 数字传输分析仪		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Siemens	P2032 数字传输分析仪		●	●	●	●	●	●	●	任选件	●	●
Enertec	7702 数字传输分析仪			●	●	●		●	●	任选件		任选件
863J	JH 5220/JH5221 误码率测试仪			●	●		●	●	部分			
734J	YX5211 误码率测量仪			●	●			●	●		●	
邮电部北京仪表所	QWM 04 误码率分析仪			●	●	●		●	●		●	
	QXT 01 相位抖动分析仪			●	●	●				●	●	
	QHT 04B PCM 话路特性分析仪	A-A 测量										
(美)HP 公司	HP 3779C/D 基群复用分析仪	A-A, A-D, D-A, D-D 测量										●
	HP 3776A/B PCM 终端分析仪	A-A, A-D, D-A, D-D 测量										●
(美)W.G 公司	PCM-4/PCM-5 PCM 通路测试装置	A-A, A-D, D-A, D-D 测量										
柳州无线电厂	HU 16 PCM 话路特性综合测量仪	A-A 测量										
863厂	JH5210/JH5211PCM话路特性综合测量仪	A-A 测量										

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

36. 纤维光学测量仪器

(1) 光功率计

厂 家	型 号	波长范围 (μm)	功率范围	校准准确度
机电部第41所	AV2494	0.38～1.7	+10～−90dBm	±5%
机电部第34所	AY2494	0.4～1.7	2mW～1pW	
机电部第44所	GY—441V	0.4～1.2	10^{-10}～10^{-2}(W)	
武汉通信仪表厂	QGG04A	0.4～1.7	−70～−10dBm	±5%
武汉邮电科学院		0.85、1.3		

(2) 光源

厂 家	型 号	工作波长	最大输出功率	短期稳定度	长期稳定度
机电部第41所	AV38117	1300nm(SMF)	>1mW	<±0.003dB/5min	<±0.03dB/5h
	AV38118	850nm	>1mW	<±0.005dB/5min	<±0.05dB/5h
	AV38120	1550nm	>1mW	<±0.003dB/5min	<±0.03dB/5h
	AV38119	1300nm(MMF)	1mW	<±0.005dB/5min	<±0.05dB/5h

(3) 光衰减器

厂 家	波长范围	衰减范围	衰减准确度	衰减重复性	分辨率
(美) HP 公司	600～1650nm	64dB	单模±0.4dB 多模±0.2dB	±0.04dB	0.01dB
(日)安立公司	0.85μm 1.3μm	65dB	±1～±2.5dB		最高 5dB

(4) 光时域反射计

厂 家	型 号	最大测距	最高测距分辨率	单路后向散射最大动态范围
机电部第41研究所	AV 3628	128km	1m	0.85μm MMF 21dB 1.3μm MMF 20dB 1.3μm SMF 14dB
机电部第23研究所	GFB-1 CGF-2A CGF-2B			
邮电部武汉通信仪表厂	QSS 83A			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

37. 移动通信设备综合测试仪

厂　家	型　号	频率范围（MHz）	功 能 数	有无程控与自动测试
扬州苏北电子仪器厂	SD4923	0.1～99.975	<10	无
	SD4923A	0.1～175	<10	无
	SD4924	0.1～510	<10	无
前锋无线电仪器厂	QF4290C	25～520	<10	无
日本安藤公司	AHO-5403	25～520	<10	无
德国 R/S公司	FMP3	0.4～980	11～16	无
英国马可尼公司	2955	0.4～1000	11～16	有
德国 R/S公司	CMS	0.4～1000	11～16	有
	CMT	0.1～1000	>20	有
美国施伦伯杰公司	4031	0.4～1000	>20	有
	4040	0.4～960	>20	有
美国 HP公司	HP8920A		>20	有

38. 激光功率、能量测试仪

生产单位	型号	光谱响应范围	测量精度	测量范围
中科院物理所	LPE-1A	0.2～11μm	5%	1μJ-2J 1μW-2W
中科院物理所	LP-3C	0.2～11μm	5%	100μW～200W
重庆光机所	LER-II	0.25～16μm	5%	10^{-11}J～10J
上海佳灵仪表厂	PT 型	0.3～11μm	4%	30μJ～
上海光机所	体吸收型	紫外～红外	1%	
北京大学	HNJG-1	0.4～11μm		5～100mW
上海市激光技术研究所	CLPM-1	10.6μm		0～100W
北京理工大学	JG-2	1.06μm	5%	峰值功率 0.1μW/cm² 以上
苏北电子仪器厂	SD2490	0.2～25μm	5%	20mW～20W

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

39. 红外测试仪器

(1) 黑体

厂 家	型 号	腔口直径 mm	工作温度 (K)	比辐射率	精度
冶金部研究所		38	200～800	0.985～0.998	
西安电子科技大学	BHP-80	80	700～1000		±1%
法 HGH 公司	RCN300	500×500	500		
法 HGH 公司	RCN600	12.5	930		
以色列 IC 公司	SR-8-1X差动黑体		温差－10—＋30	0.999	

(2) 热电堆

厂 家	型号或尺寸	响应率 (V/W)	探测率 ($cmHz^{1/2}W^{-1}$)	时间常数 (s)
吉林大学工厂	$2\times0.3mm^2$	10～35	10^8	$(1\sim3)\times10^{-1}$
吉林大学工厂	$2\times0.4mm^2$	10～35	10^8	$(1\sim3)\times10^{-2}$
国产	$1\times1mm^2$	10～35	10^8	$(2\sim6)\times10^{-2}$
美 Dexter	1M 型	25	5×10^8	3×10^{-2}
美 Dexter	2M 型	18	1.7×10^8	3.3×10^{-2}
SSI	$0.78mm^2$	10	2×10^8	1.5×10^{-5}

(3) 测辐射热计

厂 家	型号或尺寸	响应率 (V/W)	探测率 ($cmHz^{1/2}W^{-1}$)	时间常数 (s)
国产(石英衬底)	$0.4\times0.4mm^2$	215	7.2×10^7	3×10^{-3}
国产(石英衬底)	$0.12\times0.12mm^2$	1080	1×10^8	2×10^{-3}
国产(浸没型)	$0.12\times0.12mm^2$	13000	3.5×10^8	2×10^{-3}
国产(浸没型)	$0.12\times0.12mm^2$		5×10^8	2×10^{-3}
美国(浸没型)	$0.0025\times0.25mm^2$	500～5000	6×10^8	1×10^{-3}
日本(固体衬底)	$0.2\times0.2mm^2$	5.5×10^4	3.9×10^9	5×10^{-3}

(4) 色散型红外光谱仪

厂 家	型号	光谱范围 (cm^{-1})	波数准确度 (cm^{-1})	透过率准确度 (%T)	波数重复性 (cm^{-1})	透过率重复性 (%T)	分辨率 (cm^{-1})
国产	WFH-400	4000～400	±(2～8)	±(1.5～2)	2～8	1～2	1.5
国产	WFD-7G	4000～650	5～10	±2	2.5～5	2	
国产	7650	4000～650	3～6	1～1.5	3～6	1～1.5	3.6
Perkin Elmer	983	5000～180	±(1～3)	0.1	0.005	0.1	0.5～10
岛津制作所	IR-435	4000～400	±(2～10)	±1	0.5～2.5	1	2.5
日立公司	270-50	4000～250	±(2.8～5)	±0.2			1～5
飞利浦公司	PU9706	4000～600			±0.5	±0.2	4

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(5) 付里叶变换红外光谱仪

厂　家	型号	光谱范围 (cm^{-1})	波数准确度 (cm^{-1})	透过率准确度 (%T)	波数重复性 (cm^{-1})	透过率重复性 (%T)	分辨率 (cm^{-1})
北京第二光学仪器厂	AQS-20	4000～400	0.01	0.1			
Perkin Elmer	1700	4400～400	0.01	0.1			1～64
	1800	4500～450	0.02	0.1	<0.005		<0.2
	4000	200～15					0.1
Nicolet 仪器公司	5DXB	4800～225	<0.05				2
	60SXB	25000～10	0.01				<0.25
Block 工程公司	FTS $15\frac{E}{D}$	4000～450	<±0.001				0.25
Brüker 光谱公司	IFS-113V	4800～10	<0.01				<0.03
JEOL 仪器公司	JIR-40X	4000～400	0.01				0.08

(6) 红外测温仪

厂　家	型号	温度范围 (℃)	精度	温度分辨率 (℃)	距离范围 (m)	光谱范围 (μm)	响应时间 (s)
上海冶金所	DPB-II	0～2000	±1% +0.5℃		1～5	2～18	2×10^{-3}
上海宏伟仪器厂	WBH-71	500～1800	<1%		1～∞	1.6～2.3	1.5
上海宏伟仪器厂	WBH-70	200～1200	<1.5%		1～10	1.8～2.7	<1
机电部 1411 所	HW-SS	500～2000	<±1%		>1.5	1～3	0.1
上海技术物理所	HD-1B	−10～50	±1%		0.3～60	8～14	≤1
国产	JHW-2	0～500	±5%		30	2～14	7
国产	SWH1-1	−2～35	±0.3%		>1.8	8.5～12.5	3×10^{-3}
美 休斯公司	699	0～1000		0.4	0.2～∞		
美 休斯公司	686	0～1000		0.1	0.2～∞		
美 IRCON Inc.		−20～3600	1%			0.9～14 分 6 挡	1×10^{-2}
美 Wahl 仪器公司	HSM500	−20～540	1%			8～14	1

(7) 红外传递函数测量仪

厂　家	型号	光谱范围 (μm)	空间频率范围 (线对/mm)	精度	PTF精度 (%)	重复性%	最大通光口径 (mm)
机电部 211 所	RXCS-1	2～13	0～30				250
Ealing 光电公司	IR EROS	3～5,8～12		±5	±10	±2	200
SRL 公司		可见光及 3～5	0～300	±2		±2.5	150
SRL 公司		8～12	0～56	±5		±2.5	150

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

40. 雷达综合测试仪

厂 家	型号	工作频率	输出功率	备注
北京大华无线电仪器厂	ZCL-10B	2700～3100MHz	10^{-5}～10^{-13}W	
	HL18	2500～3500MHz	10^{-4}～10^{-14}W	L16 型
	HL18A	2500～3500MHz	10^{-4}～10^{-14}W	L27 型
	HL6	3950～5850MHz	10^{-4}～10^{-14}W	
	HL2	7700～8500MHz	10^{-3}～10^{-13}W	波导
	ZCL-11	8600～9600MHz	10^{-3}～10^{-13}W	波导
	XB40	2500～3500MHz	10^{-4}～10^{-14}W	
	DH4981	8.2～12.4GHz	10^{-4}～10^{-14}W	
		8600～9600MHz	5mW～10PW	可程控
上海无线电 26 厂	XB38	760～1460MHz	−10dBm～−110dBm	
	XB47	8.2～10GHz	−10dBm～−110dBm	
山西卫华仪器厂	HL-12A	12.4～17.5GHz		
苏北电子仪器厂	XB37	60～300MHz	0.5μV～100mV	
	HL7、HL8、HL9、HL5、HL19	80～2000MHz		

41. 安全耐压试验仪器

(1) 工频交流、直流耐压仪、试验仪

厂 家	型号	输出电压范围及误差	耐压判定电流(或保护电平)范围及误差	泄漏电流测量范围及误差	绝缘电阻测量范围及误差	最大输出功率
常州电子仪器厂	JC-4	AC、DC 0～10kV ±4%	20～100mA			
	CY 2671	AC、DC 0～12kV ±4%	1～10mA ±10%			1.2kVA
	CY 2672	AC、DC 0～6kV ±5%	0.5～50mA ±10%	放电电流: DC 0～50mA ±10%	0～1000MΩ ±10%～±20%	750VA
	CY 2673	AC、DC 0～15kV ±5%	0.5～10mA ±10%	放电电流: AC、DC 0～10mA ±10%		
	CY 2674	AC 0～5kV ±3%	0.5～10mA ±5%	0～20mA ±5%		200VA
	CY2674A	AC 0～5kV ±5%	0.5～10mA ±10%			
	CY 2661	AC、DC 0～5kV ±3%	0.5～20mA ±5%			
	CY 2662	AC、DC 0～10kV ±3%	0.5～20mA ±5%			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	型号	输出电压范围及误差	耐压判定电流(或保护电平)范围及误差	泄漏电流测量范围及误差	绝缘电阻测量范围及误差	最大输出功率
南京长江无线电厂	CJ 2670	AC 0～5kV ±3%	0～20mA ±5%			100VA
	CJ 2671	AC、DC 0～10kV ±5%	0.5～10mA AC±5% DC-(15～20)%			100VA
	CJ 2672	AC 0～5kV ±3%	0.5～100mA ±5%			500VA
	CJ 2676	AC 0～5kV ±5%	0.5～20mA ±5%		0.2～1000MΩ ±10%	500VA
	CJ 2677	AC 0～35kV ±5% DC 0～45kV ±5%	AC 0.5～10mA ±5% DC 0.5～10mA -(15～20)%			1kVA
德州无线电三厂	BF 2671A	AC、DC 0～10kV ±3%	100mV～10V	放电电流: AC、DC 0～100mA ±10%		500VA
	BF 2671B	AC、0～10kV ±4%	5～100mA ±15%	放电电流: AC、DC 0～100mA ±10%		500VA
	BF 2671C	AC、DC 0～5kV ±3%	100mV～10V	放电电流: AC、DC 0～100mA ±10%		500VA
	BF 2671D	AC、DC 0～3kV ±4%	5～100mA ±15%	放电电流: AC、DC0～100mA ±10%		500VA
	BF 2673A	AC,DC 0～30kV ±3%	1μA～100mA ±10%	放电电流: AC DC 1μA～100mA ±10%		3kVA
成都无线电一厂	KQ-2	AC、DC 0～5kV ±5%	0.5～10mA ±10%			
南通电子仪器厂	NF 2671A	AC、DC0～3.5kV ±10%	0.5～10mA ±10%			80VA
	NF 2672	AC、DC 0～6kV ±10%	0.5～80mA ±10%			750VA
	NF 2673	AC 0～5kV ±5%	0.5～50mA ±10%			750VA
	NF 2674	AC 0～1.5kV ±5%	10～50mA ±10%			250VA

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续 表

厂 家	型号	输出电压范围及误差	耐压判定电流(或保护电平)范围及误差	泄漏电流测量范围及误差	绝缘电阻测量范围及误差	最大输出功率
常州电机电器总厂	CW 2672	AC、DC 0～10kV	20～100mA			750VA
	CW 2673	AC、DC 0～15kV	0.5～40mA			750VA
	CW 2674	AC 0～5kV	0.5～100mA			750VA
	HV-001	DC 0～25kV	0.5～8mA			750VA

注：最大输出功率项指交流最大输出功率，直流输出功率产品标准中未给出。

(2) 标准波冲击安全耐压试验仪

厂 家	型号	输出峰值电压范围	输出峰值电压误差	波前时间及误差	半峰值时间及误差
温州电工测试设备厂	BC-12	0.3～10kV	±5%	1.2μs±30%	50μs±20%

(3) 电涌试验仪

厂 家	型号	电涌电压及误差	冲击速率	最大冲击次数	绝缘电阻测量范围及误差
苏州电视机厂三厂	DYS-3	10kV±5%	12 次/min 可调	50	
苏州电视机厂	DYS-5	3.5～20kV	12 次/min 可调	0～99 可调	
南通电子仪器厂	NF2675	10kV±5%	7～22 次/min 可调	1～99 可调	0～∞ 共十挡
上海延中电器厂	HS1801	10kV±10%	4～16 次/min 可调	50	共三挡 2～20000MΩ ±10%±1.5 级

附录四 电子测量仪器国内科研生产主要厂所一览表

北京市

序号	名 称	邮码	地 址	电话	电挂	公休
1	北京长城无线电厂	100088	北京海淀区学院南路 34 号	2013344	6971	五
2	北京市半导体器件一厂	100027	北京朝阳区幸福三村北街 1 号	482131	2477	五
3	北京市半导体器件十一厂	100054	北京宣武区白纸坊东街 31 号	3014389	1795	四
4	北京无线电仪器厂(机电部201计量站)	100050	北京宣武区福长街四条 4 号	338691	0781	日
5	北京无线电仪器二厂	100016	北京朝阳区将台路 2 号	472031	2922	三
6	北京瑞普电子仪器厂	100007	北京东城区东四十三条 53 号	445231	0047	日
7	北京无线电仪器四厂	100088	北京新外大街红联村 2 号	2015086		日
8	国营大华无线电仪器厂(768 厂)	100083	北京海淀区学院路 5 号	2017681	6012	六
9	国营北京第一无线电器材厂(797 厂)	100015	北京东直门外大山子	4362331	2992	六

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

10	国营晨星无线电器材厂(707厂)	100015	北京朝阳区大山子酒仙桥路2号	4362331	9041	六
11	北京计算机配件四厂	100050	北京宣武区珠市口西大街210号	332922	5312	日
12	北京电子显示仪器厂	100027	北京朝外东中街 58 号	5024161	7102	五、日
13	国营北京建中机器厂(700厂)	100016	北京朝阳区万红路1号	472242	1700	六
14	中国惠普有限公司(CHP)	100086	北京 9610 信箱	2566888	1920	日
15	北京无线电测量研究所	100854	北京海淀区永定路 50 号	810994	5310	日
16	北京无线电技术研究所	100009	北京地安门东大街 89 号	441358	1248	日
17	邮电部北京仪表研究所	101149	北京 239 信箱	9526604	20762	日
18	航空航天部无线电计量测试研究所	100854	北京海淀区永定路 52 号	812861	2037	日
19	中国科学院电子研究所	100080	北京海淀区中关村路 17 号	2566314	4888	日
20	机电部仪器仪表综合技术经济研究所	100055	北京广安门外大街甲 397 号	3061701	1447	日
21	机电部一所	100039	北京石景山区鲁谷村 74 号	810431	7500	日
22	机电部三所(机电部203计量站)	100015	北京朝阳区酒仙桥北路	473131	4732	日
23	机电部四所	100007	北京东城区青龙胡同 35 号	4017733	7889	日
24	机电部十一所	100015	北京朝阳区酒仙桥路2号	472731	8980	日
25	机电部十二所	100016	北京朝阳区酒仙桥路 13 号	471731	5083	日
26	邮电部计量中心	100083	北京学院路 40 号	2011155		日
27	机电部计算测试研究中心	100007	北京 1101 信箱	4017733	7889	日
28	机电部动力计量站	100015	北京 8505 信箱 14 分箱	476331—248		六
29	航空航天部203所(二中心)	100854	北京 142 信箱 408 分箱	8387443		日
30	航空航天部304所(一中心)	100095	北京 1066 信箱	287531		日

天津市

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
31	天津市中环科学仪器公司(原天津无线电一厂)	300123	天津红桥区赵家场大街 59 号	752845	3671	六
32	天津市无线电五厂	300210	天津河西区土城太湖路 20 号	281624	1624	四
33	天津市无线电六厂	300070	天津和平区气象台路 55 号	333086	0335	二
34	天津市无线电七厂	300111	天津南开区黄河道西头冶金路 22 号	272375	7001	二
35	天津市无线电十三厂	300130	天津红桥区丁字沽勤俭道 21 号	570571	6757	
36	天津市无线电元件三厂	300110	天津南开区三元村大街6号	272550	3920	一
37	天津市中环电子仪器公司(原天津电子仪器厂)	300070	天津市和平区吴家窑大街2号路50号	334955	0892	二
38	天津市第二电子仪器厂	300041	天津市和平区松江路4号	701273	5141	日
39	天津市电子仪表质量中心试验所	300210	天津河西区解放南路449号	282765	5852	日
40	天津河东电子仪器厂	300011	天津河东区新开路慧智东里 50 号	719880	3088	
41	国营天津无线电厂(712厂)	300140	天津河北区新大路东七经路	62981	2003	
42	机电部专用材料质量监督检测中心	300220	天津 412 信箱	333474	0162	

河北省

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
43	石家庄市无线电一厂	050011	石家庄市和平路 26 号	47235	6107	日、一
44	石家庄市无线电四厂	050011	石家庄市休门街 42 号	613318	4848	四、五
45	石家庄市无线电十厂	050000	石家庄市北大街 53 号	23958	0028	
46	机电部十三所(机电部202计量站)	050051	石家庄市新华区合作路 13 号	741921	1166	日
47	承德市电子仪器厂	067000	承德市中兴路 94 号	224164	0308	五
48	张家口市无线电一厂	075000	张家口市桥西区西坝岗 15 号	2091	4848	二

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

山西省

序号	名 称	邮码	地 址	电话	电挂	公休
49	太原无线电一厂	030006	太原市南城区坞城路 15 号	773232	3541	五
50	国营金阳器材厂（4393 厂）	030027	太原市河西区西矿街清光巷 1 号	666232	0963	日
51	国营卫华仪器厂（4542 厂）	030006	太原市南城区亲贤西街 10 号	773071	6266	三
52	山西省电子仪器总厂	030600	榆次市榆太路 147 号	26511	3521	

内蒙古自治区

序号	名 称	邮码	地 址	电话	电挂	公休
53	内蒙古电子仪器厂	010010	呼和浩特市新城区东街 2 号	24687	4444	四
54	内蒙古无线电仪器厂	010021	呼和浩特市新城区大学路 1 号	43141	8241	日
55	呼和浩特市电子仪器二厂	010020	呼和浩特市回民区文化宫街 8 号	28386	2579	五
56	包头市电子仪器厂	014040	包头市东河区西脑包大街	44424	1418	二
57	海拉尔电子仪器厂	021008	呼盟海拉尔市建设大街 2 号	4753	0308	日

辽宁省

序号	名 称	邮码	地 址	电话	电挂	公休
58	沈阳市无线电十六厂	110011	沈阳市沈河区朝阳街三段 46 号	445031	4300	
59	沈阳市无线电十九厂	110003	沈阳市和平区十三纬路 38 号	367261		四
60	辽宁精密仪器厂	110011	沈阳市沈河区南顺城路 16 号	446981	4212	四
61	辽宁无线电八厂	113006	抚顺市新抚区柳河街 14 号	73706	3541	日
62	辽宁无线电二厂	116033	大连市甘井子区大辛寨子	641415	2477	日
63	本溪无线电一厂	117021	本溪市平山区解放路 4 段	45398	1311	
64	本溪市无线电五厂	117021	本溪市平山区铁运街	43947	2304	
65	本溪市整流设备厂	117022	本溪市紫金街	84062	0617	日
66	本溪高中频电源设备总厂	117022	本溪市明山区大峪	82613	7340	日
67	东齐电器集团公司	118001	丹东市元宝区经山街 34 号	44981	0059	四
68	辽宁省电子产品监督检验所	110015	沈阳市沈河区青年大街 169 号	393468	0162	日
69	一一二厂(第一区域电子计量站)	110034	沈阳市 328 信箱 14 分箱	462591-3982		

吉林省

序号	名 称	邮码	地 址	电话	电挂	公休
70	长春市无线电二厂	130041	长春市南关区西四道街 54 号	865324	0148	六
71	国营第 8201 厂	134100	通化市胜利路 41 号	6734	0308	
72	浑江市电子仪器厂	134300	浑江市八道江区红旗街 90 号	3178	0308	五
73	四平市电子仪器厂	136001	四平市铁东一马路 166 号	88444	1311	日
74	四平市电子仪器二厂	136001	四平市铁东区和平路 13 号	85732	0059	日
75	辽源市无线电五厂	136200	辽源市连阳路 114 号	25788	7193	四
76	辽源市电子仪器厂	136200	辽源市友谊大街 39 号	26076	4430	日

黑龙江省

序号	名 称	邮码	地 址	电话	电挂	公休
77	哈尔滨无线电七厂	150010	哈尔滨市道里区工厂街 13 号	413388	3388	五
78	哈尔滨通江晶体管厂	150010	哈尔滨市道里区太阳岛风景街 9 号	418730	2027	日、六
79	哈尔滨前卫无线电仪器厂（935 厂）	150086	哈尔滨市学府路 100 号	62936	0935	日

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

80	哈尔滨电子仪器厂	150001	哈尔滨市南岗区龙江街 37 号	31812	8279	五
81	哈尔滨电表仪器厂	150080	哈尔滨市南岗区学府路 1 号	62921	1717	六
82	松花江电子仪器厂	150223	五常县拉林镇	535	2477	
83	宁安县电子仪器厂	157400	牡丹江市宁安县宁安镇西阁	2134	0308	日
84	鸡东县激光仪器厂	158200	鸡东县鸡东镇	82494	3423	日

上海市

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
85	上海无线电二十一厂	200041	上海江宁路 631 号	2552110	0384	三
86	上海无线电二十三厂	200090	上海眉州路 431 弄 220 号	5439104	4314	三
87	上海无线电二十六厂	200232	上海龙华西路 525 号	4384041	9055	三
88	上海风雷广播器材厂	200233	上海漕溪北路 213 号	4381890	1778	六
89	上海无线电仪器厂	200085	上海虹口区乍浦路 71 号	3240110	0226	三
90	上海光明电表厂	200083	上海北宝兴路 193 号	6627831	1476	六
91	上海沪光仪器厂	200040	上海南京西路 1634 弄 16 号	4336799	5035	二
92	上海市华阳电子仪器厂	200052	上海番禺路 19 号	2525712	4170	日
93	机电部三十二所	201800	上海嘉定县澄桥	9530784	8026	六、日
94	机电部五十所	200063	上海武宁路 423 号	2547600	0842	日
95	上海仪器仪表研究所	200082	上海龙江路 225 号	5463647	5769	日
96	上海市仪表局标准计量测试所	200031	上海永嘉路 627 号	4335275	1115	日

江苏省

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
97	国营南京无线电厂(714 厂)	210002	南京市中山东路 301 号	643171	3993	一
98	南京长江无线电厂	210008	南京市北京东路 63 号	633418	2208	
99	南京无线电仪器厂	210007	南京市光华东街 6 号	643356	4244	三
100	南京有线电厂(734 厂)	210037	南京市中央门外东井亭	652300	4848	五
101	国营华东电子管厂(741 厂)	210037	南京市 3708 信箱	651971	3564	五
102	南京第一电子仪器厂	211300	南京市高淳县南漪路 17 号	21325	7193	日
103	南京电讯仪器厂	210009	南京市鼓楼区马台街 70 号	632318	0308	六
104	机电部十四所	210013	南京市 1313 信箱	635811	0021	五
105	总参六十三研究所	210016	南京市御道街标营 3 号	645101	2699	日
106	镇江无线电器材厂	212003	镇江市下河头 30 号	233973	9015	五
107	镇江市接插件总厂	212003	镇江市桃花坞 19 号	33893	2252	六
108	扬中电子仪器厂	212200	镇江市扬中县金星路 10 号	822022	1131	日
109	句容县电子应用厂	212400	句容县华阳镇人民路 92 号	722306	7193	日
110	常州市无线电元件二厂	213015	常州市清潭路 272 号	603094	0910	六
111	常州第二电子仪器厂	213015	常州市清潭路 41 号	601452	5114	五
112	常州电机电器总厂	213011	常州市戚墅堰	71091	4071	五
113	常州电子仪器厂	213001	常州市劳动东路 17 号	41233	8720	四
114	武进电子器材联营厂	213141	常州市西门外卜弋镇	27052	9768	日
115	武进无线电厂	213172	武进县前黄镇	前黄转	6061	日
116	武进第三无线电厂	213161	武进县中凉亭	602145	7100	一
117	武进县红光无线电元件厂	213165	武进县坂上镇	52488	5039	日
118	金坛县电子仪器厂	213200	金坛县东门大街 67 号	822937	7193	日
119	靖江县无线电厂	214501	靖江县靖城镇江平路 417 号	23011	2477	日
120	苏州有线电三厂	215001	苏州市娄门内城东新村 26 号	775479	1020	五
121	苏州电讯仪器厂	215007	苏州市新市路 2 号	222619	0059	四

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

122	苏州第一电子仪器厂	215001	苏州市娄门路 246 号	772471	0308	四
123	苏州电工自动控制设备厂	215008	苏州市虎丘玻纤路 3 号	334168	0115	四
124	苏州电工仪器厂	215001	苏州市白塔东路管家园 21 号	773636	2110	六
125	苏州市通达仪器厂	215001	苏州市苏安路 1 号	772367	8032	日
126	常熟市江南仪表厂	215553	常熟市王庄镇	625746	5444	日
127	常熟电子仪器厂	215500	常熟市北门大街 66 号	622841	3110	
128	张家港市电子计算机厂	215611	张家港市塘桥镇人民东路 9 号	223193	7193	日
129	徐州无线电三厂	221002	徐州市淮海西路 150 号	24435	1040	五
130	徐州电子仪器厂	221006	徐州市淮海西路 120 号	32133	3788	五
131	连云港市无线电厂	222023	连云港市海州化工新村 254 号	53014	2477	四
132	淮阴市仪器仪表厂	223002	淮阴市新民西路 66 号	34160	0115	日
133	洪泽县电子设备厂	223100	洪泽县东风路 111 号	2718	2562	日
134	宿迁无线电厂	223800	宿迁县幸福北路 14 号	2204	2533	日
135	射阳县无线电厂	224300	射阳县合德镇合闸路 50 号	3196	2477	日
136	扬州电子仪器总厂	225001	扬州市荷花池西 79 号	42692	0892	六
137	邗江县无线电厂	225003	扬州市曲江北路 10-1 号	222957	2575	日
138	扬州市邗江通信设备厂	225126	扬州市西郊蒋王镇	246965	5592	日
139	邗江县无线电仪器厂	225101	扬州市南郊施挤船闸北	283417	1034	日
140	江都电子专用仪器厂	225200	江都县城三元桥北路 10 号	554747	2875	
141	江都县电源设备二厂	225264	江都县扬庄镇	551557	0192	
142	江都无线电厂	225267	江都县双沟镇	551461	7178	日
143	泰州无线电仪器厂	225300	泰州市海陵南路 340 号	24948	2477	六
144	泰兴县电子仪器厂	225400	泰兴县大庆西路 26 号	633548	6061	三
145	南通无线电仪器厂	226001	南通市任港路 42 号	517196	5231	日
146	南通电子仪器厂	226005	南通市任港路 60 号	512020	1311	六
147	南通市应用电子仪器厂	226008	南通市工农路 125 号	517990	0271	日
148	南通县医用仪器厂	226371	南通县兴仁镇	661132	6829	日
149	海门县电子设备厂	226100	海门县海门镇复兴街 256 号	2389	2628	日
150	启东航空电子仪器厂	226200	启东市人民中路 110 号	3460	8149	日
151	海安县电子仪表厂	226632	海安县丁所乡堡河村	3244	0202	
152	国营海安自动化仪表厂	226632	海安县丁所镇	884155	0002	
153	扬州苏北电子仪器厂	225002	扬州便宜门外街 68 号	222245	0189	

浙江省

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
154	杭州无线电三厂	311321	临安县昌化镇唐山路 64 号	61317	005	日
155	杭州无线电五厂	310001	杭州市光复路 96 号	21217	1839	三
156	浙江电子仪器厂	310012	杭州市文二路 26 号	885258	7002	日
157	绍兴三五仪表厂	312007	绍兴市柯桥	90367	0563	日
158	宁波东风无线电厂	315040	宁波市江东后田垟 29 号	31800	2492	六
159	温州电器厂	325005	温州市雪山路 198-1 号	28436	2317	四
160	温州精密电子仪器厂	325000	温州飞霞南路龟湖路	26072	5072	

安徽省

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
161	合肥无线电一厂	230061	合肥市西市区蜀山路胡大井 1 号	56366	1684	日
162	合肥无线电三厂	230041	合肥市阜阳北路 127 号	54412	2477	二
163	合肥无线电四厂	230022	合肥市金寨路 77 号	331109	7070	一

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

164	阜阳无线电厂	236028	阜阳市红旗路 25 号	65164	2477	五
165	国营光华无线电仪器厂(767 厂)	237009	六安市 113 信箱	3464	6591	日
166	机电部第 41 所	233006	蚌埠市 101 信箱	25183	0041	日

福建省

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
167	福州市无线电八厂	350005	福州市 817 中路 176 号	533831	4139	
168	福州大学无线电厂	350002	福州市工业路	554878	8383	日
169	泉州电子仪器厂	362000	泉州市通政巷 1 号	224884	1311	二
170	福建省龙溪无线电厂	363000	漳州市胜利东路	23759	4848	日
171	机电部41所厦门分所	361009	莲花新村冶金电子大厦 14 层	558202	4008	日

江西省

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
172	南昌无线电仪器厂	330003	南昌市象山南路耶稣堂 17 号	65583	3843	四
173	江西电子仪器厂	330006	南昌市文教北路 40 号	333900	0308	六
174	江西省庐山电子仪器厂	332000	九江市浔阳区人民路 188 号	223283	5625	日
175	景德镇市无线电厂	333005	景德镇市乔麦岭	5534	0892	二
176	景德镇市无线电二厂	333005	景德镇市乔麦岭	4495	7796	二
177	国营红声器材厂(4380 厂)	343006	吉安市神冈西路 100 号	4361	9334	六

山东省

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
178	德州电子仪器厂	253016	德州市天衢东路 134 号	23208	2477	三
179	潍坊市无线电八厂	261041	潍坊市东风街东首南侧新华路	227374	0360	三
180	潍坊计算机公司仪器厂(五三厂)	261011	潍坊市胜利大街 180 号	226451	0681	二
181	潍坊计算机公司	261041	潍坊市东风大街 60 号	226921	0308	日
182	烟台计算机公司	264001	烟台市芝罘区市府街 45 号	243233	0362	五
183	济宁超声电子仪器厂	272167	济宁市小北湖路 13 号	216165	0308	
184	山东电讯七厂	272101	济宁市市中区文大街 4 号	214455	3541	

河南省

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
185	郑州市无线电元件厂	450004	郑州市塔湾路 49 号	29134	2409	日
186	郑州无线电仪器厂	450007	郑州市工人路 117 号	49883	9222	日
187	郑州晶体管厂	450052	郑州市陇海西路 41 号	666912	2533	五
188	新乡市中原无线电厂	453000	新乡市西郊大块	53991		
189	许昌市无线电厂	461000	许昌市八一路 96 号	3993	2477	六
190	南阳市无线电二厂	473057	南阳市中州路 77 号	333467	4433	日

湖北省

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
191	武汉市电子仪器厂	430012	武汉市江岸区汉口新江岸五村 3 号	502681	2112	一
192	邮电部武汉通信仪表厂	430063	武汉市武昌杨园	878120	03934	日
193	武汉市无线电研究所	430021	汉口江汉路 45 号	26320	0157	日
194	国营广兴无线电厂	434002	沙市太岳路 5 号	3701	8012	日

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

195	湖北省宜昌地区电子仪器厂	443000	宜昌市胜利三路 26 号	22401	5555	日
196	国营湖北华中精密仪器厂	443304	枝城市 14 信箱 29 分箱	22152	0686	日
197	国营中原机械厂 (710 厂机电部第六区域计量站)	430010	武汉市汉口胜利街 224 号	21211	8010	

湖南省

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
198	长沙市人民无线电厂	410002	长沙市南门口六十码头 13 号	32275	7352	
199	长沙电子仪器厂	410014	长沙市树木岭雅塘冲	34957	0010	三
200	国营中南无线电厂	412000	株州市东区华南路	22551	0022	日
201	常德市无线电三厂	415003	常德市青年北路	24643	2477	
202	桃源县通信设备厂	415700	桃源县城关镇渔父南路 028 号	2626	2477	日
203	娄底地区电子研究所	417000	娄底市乐坪东街 16 号	3190	4496	日
204	衡阳市无线电厂	421001	衡阳市广场路 35 号	23708	2417	日
205	邵阳无线电仪器厂	422000	邵阳市南门外砂子坡 23 号	3525	0308	日

广东省

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
206	广东省江南化工仪表厂	511490	广州市番禺沙头镇	25919	0308	
207	广州电子仪器厂	510500	广州市先烈东路 254 号	776427	0322	日
208	汕头市无线电二厂	515011	汕头市商业街 29 号	272214	1224	日
209	汕头电子仪器厂	515041	汕头市金沙东厦路北段	31025	6733	
210	汕头市超声电子仪器公司	515031	汕头市外马路 148 号	272887	1858	日
211	华达电子有限公司	518067	深圳市蛇口工业区太子路 59 号	691692	3447	日
212	兰光电子有限公司	518031	深圳市上步区振华路 8 号	240841	5695	
213	南方信息企业有限公司	518067	深圳市蛇口华兴大厦	691575	1050	日
214	深锋电子仪器有限公司	518031	深圳市 3-829 信箱	351517	2224	日
215	中亚电源设备有限公司	518044	深圳深南中路爱华大厦三楼	351858	0681	
216	胜利仪器(深圳)有限公司	518102	深圳市宝安县西乡荔因路 1 号	989121	8001	日
217	罗定县无线电厂	527200	罗定县县城逢源二巷 16 号	23559	7193	日
218	顺德县无线电一厂	528322	佛山市顺德县勒流镇	66728	2477	日
219	国营广州无线电厂 (750厂机电部602计量站)		广州市东郊谭村	77215	0193	
220	机电部五所(机电部 601 计量站)	510610	广州市沙河竹丝岗	705579	0068	日
221	中国电子产品可靠性与环境试验研究所	510610	广州市 1501 信箱	705579	0068	日

广西壮族自治区

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
222	桂林无线电四厂	541001	桂林市中华路伏和巷 18 号	222205	6367	日

四川省

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
223	国营成都电视设备厂	610041	成都市 103 信箱	26390	4103	日
224	国营前锋无线电仪器厂 (766 厂机电部第四区域计量站)	610082	成都市府青路二段 2 号	331301	6753	六
225	四川新潮计算机产业集团公司	610051	成都市 606 信箱	443535	4615	日

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

226	邮电部眉山通信设备厂	612164	乐山市眉山县象耳镇	505—202	01681	三
227	国营建华仪器厂（863 厂）	612460	青神县 306 信箱	青神 181	4863	一
228	国营星华仪器厂（867 厂）	612461	青神县 709 信箱	青神 709	2502	一
229	重庆无线电测试仪器厂	630020	重庆市江北建新北路电测村 1 号	751010	4053	日
230	四川仪表三厂	630708	重庆市北碚区三胜	3709	0413	日
231	国营建安仪器厂（759 厂）	642165	内江市隆昌县 2 号信箱	23635	2477	日
232	国营宏明无线电器材厂（715 厂机电部 401 计量站）	610058	成都市 82 信箱	41317	1131	六
233	机电部十所(机电部 402 计量站)	610036	成都市 94 信箱	669801	4282	日
234	成电微波中心	610054	中国成都科技大学	333312	6061	日

贵州省

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
235	贵阳无线电二厂	550001	贵阳市百花山路 57 号	624654	0059	日
236	贵阳无线电三厂	550003	贵阳市乌金路 63 号	42029	7357	日
237	国营永华无线电仪器厂（4540 厂机电部 403 计量站）	556000	凯里市 206 信箱	3961—270	5478	日
238	国营南华仪器厂（4541 厂）	558000	都匀市 116 信箱	2881—341	5478	日

陕西省

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
239	西安无线电八厂	710002	西安市南院门 86 号	23736	2900	
240	西安无线电十一厂	710082	西安市团结东路 9 号	42031	1579	六
241	西安晶体管厂	710082	西安市丰庆路 91 号	42191	2477	四
242	国营红华仪器厂（869 厂）	710032	西安市长乐中路 30 号	31913	2611	四
243	国营卫光电工厂（877 厂）	710000	西安市青松路	55435	3608	日
244	宝鸡无线电厂	721001	宝鸡市宝平路 21 号	5604	4848	四
245	铜川市无线电厂	727000	铜川市红旗街新建街	2416	2533	
246	机电部 20 所(机电部第五区域计量站)	710068	西安 92 信箱	52886	0092	日

甘肃省

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
247	国营中兴电子仪器厂	730070	兰州市安宁区马家庄 150 号	66051	3605	
248	国营庆华仪器厂（860 厂）	741605	甘肃秦安县 69 信箱	6912	0691	日

青海省

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
249	青海无线电二厂	810012	西宁市园村庄 69 号	43730	4848	日

宁夏回族自治区

序号	名称	邮码	地址	电话	电挂	公休
250	宁夏电子仪器厂	750004	银川市文化东街 13 号	22518	1311	

www.789pdf.com 789书库网