

图 4-4 频标的作用

(a)选出某一频段的扫频信号；(b)时曲线进行分析。

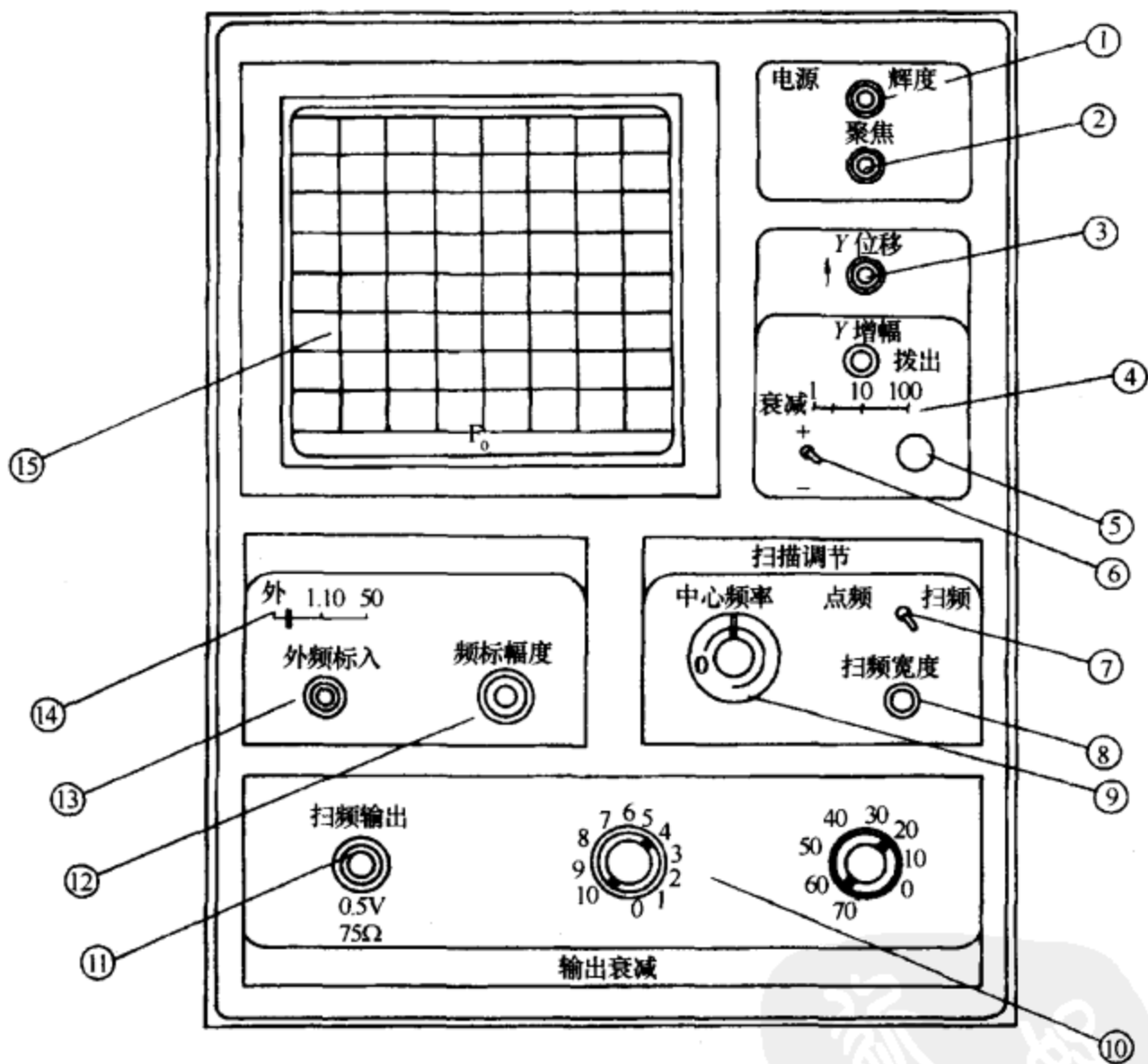


图 4-5 BT-3C 扫频仪前面板图

(2)聚焦调节。可使光点达到最清晰。

(3)Y 轴位移。调节迹线在垂直方向位移。

(4)Y 轴增幅。顺时针调节 Y 轴幅度增大；拔出时为直流(DC)，可使直流输入不经隔直电容，直接加至 Y 轴放大器。

Y 轴增幅下方为衰减选择开关，有 1、10、100 3 挡，与 Y 轴增幅旋钮配合使用，可对波

形幅度进行调节。

(5) Y轴输入插座。可输入被测电路取出的检测信号。

(6) 极性转换开关。置“+”时,显示正方向的幅频特性;置“-”时,显示负方向的幅频特性。

(7) 扫频/点频选择开关。当扫频工作时,仪器输出扫频信号;点频工作时,仪器输出与扫频频率相应的点频信号。

(8) 扫频宽度。可对波形宽度进行调节。

(9) 中心频率。扫寻被测波形中心频率点。

(10) 输出衰减。输出衰减有两个调节旋钮,右边旋钮的为输出粗衰减,每挡衰减10dB,共有7个挡级,可对输出扫频信号电压的幅度进行粗衰减,左边旋钮的为输出细衰减,每挡衰减1dB,共有10个挡级,可对输出扫频信号电压的幅度进行细衰减。

(11) 扫频输出。扫频信号的输出端。

(12) 频标幅度。可对频标信号的幅度进行调节。

(13) 外频标入。外接频标输入端,此时频标选择开关应置于外接挡。

(14) 频标选择。有3挡,即外频标、“1MHz、10MHz”组合频标、50MHz频标。当选择开关拨向1MHz、10MHz或50MHz,此时扫描基线上呈现频标信号。

(15) 显示屏。用以显示被测网络的各种幅频特性曲线。

2. 仪器的使用方法

1) 电缆的选用

本仪器配有4种电缆线,如图4-6所示。应视被测电路情况加以选用。

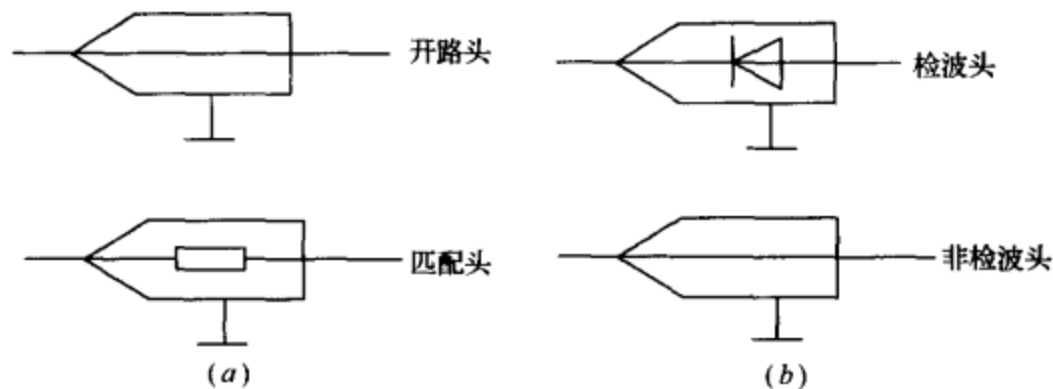


图4-6 扫频仪的4个探头

(a)输出探头;(b)输入探头。

(1) 匹配电缆。也称匹配头,内部装有一只 75Ω 的匹配电阻(对地)。主要用于扫描电压的输出端,对被测电路的输入、输出信号作高阻抗检测,也可兼作扫频仪的外部负载。用于输入、输出为高阻抗的被测电路。

(2) 连接电缆。也称开路头,用于输入、输出为低阻抗的被测电路。

(3) 检波输入电缆。也称检波探头,内部装有检波二极管、隔离电阻和隔直电容,只能用于无检波性能的被测电路作Y轴放大。对于有检波性能的被测电路应采用开路探头。

(4) 输入电缆。也称无检波探头,内部未装任何元器件,用于被测电路已经过检波器检波的场合。

2) 频标的识别

(1) 将频标选择置于“1MHz、10MHz”位置,中心频率转至起始位置,此时屏幕中心处

出现不同于普通菱形频标的特殊标志,称作为零频标。

(2)顺时针转动中心频率,屏幕上的扫描基线随同频标逐渐左移,此时每个小频标为1MHz标志,每个大频标为10MHz标志。

(3)将频标选择拨向50MHz位置,此时第一个频标应与原50MHz频标重合,称作为固定50MHz频标。

3)0dB的校准

先将输出粗、细衰减旋钮均置于0dB处,Y轴衰减置于1;再把匹配头和检波探头电缆线连在一起;然后调节Y轴增幅旋钮,使扫描基线和扫频信号线之间的距离为刻度的整数,一般5格为宜;并记下Y轴增幅旋钮的位置,该位置为衰减开关的标称值,称为准确值。

4)增益的识读

在测试过程中,调节两个输出衰减旋钮,使显示的幅频特性曲线正好为5格,这时标称值的和即为增益的dB值。

四、BT-8扫频仪的使用

前面介绍的BT-3扫频仪的扫频范围为1MHz~300MHz,下面再介绍一种扫频范围更宽的BT-8扫频仪,其扫频范围为1MHz~800MHz;在VHF频段,中心频率可在1MHz~300MHz内连续可调;在UHF频段,中心频率可在450MHz~800MHz内连续可调。它不仅可用来检测黑白电视机及彩电高频调谐器(高频头)、图像通道(中放电路)的频率特性、调试电视伴音鉴频曲线和视频放大特性曲线,还可用来测试各种无线电的有源、无源四端网络以及其他接收设备的高频放大器、带宽放大器、滤波器、陷波器的幅频特性或中心频率点。

1. 功能操作说明

BT-8扫频仪的面板结构如图4-7所示。

(1)电源开关兼辉度调节钮。根据所标箭头方向,向右即可打开电源开关,然后即可调节扫描线的辉度或亮度,便于观察。

(2)聚焦调节钮。通过左右来回旋转,可调节扫描线的聚集,使扫描线清晰可见。

(3)亮度调节钮。用来调节屏示座标尺的亮度,便于暗室或夜间测试,白天可关闭。

(4)Y轴位移调节钮。通过旋钮来回调节,可使曲线在垂直方向左右移动。

(5)Y轴衰减选择挡。共分有 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ 3挡选择,达到改变Y轴增益与波形的高度。

(6)Y轴增益调节钮。与Y轴衰减选择挡配合使用,适当调节Y轴的增益和波形的高度,即可对波形的幅度进行校正。

(7)Y轴输入插孔。被测电路的输出检测信号由该端口输入。

(8)影像极性转换开关。可用来检测鉴频S曲线的正峰或负峰。测试时,将“影像极性”开关作“+”、“-”转换,即能较好地观察鉴频曲线的全部形状,以利于纠正波形的严重失真。

(9)中心频率调节刻度盘。用以UHF频段调节输出波形的扫频中心频率点(0MHz~800MHz范围内连续可调)。

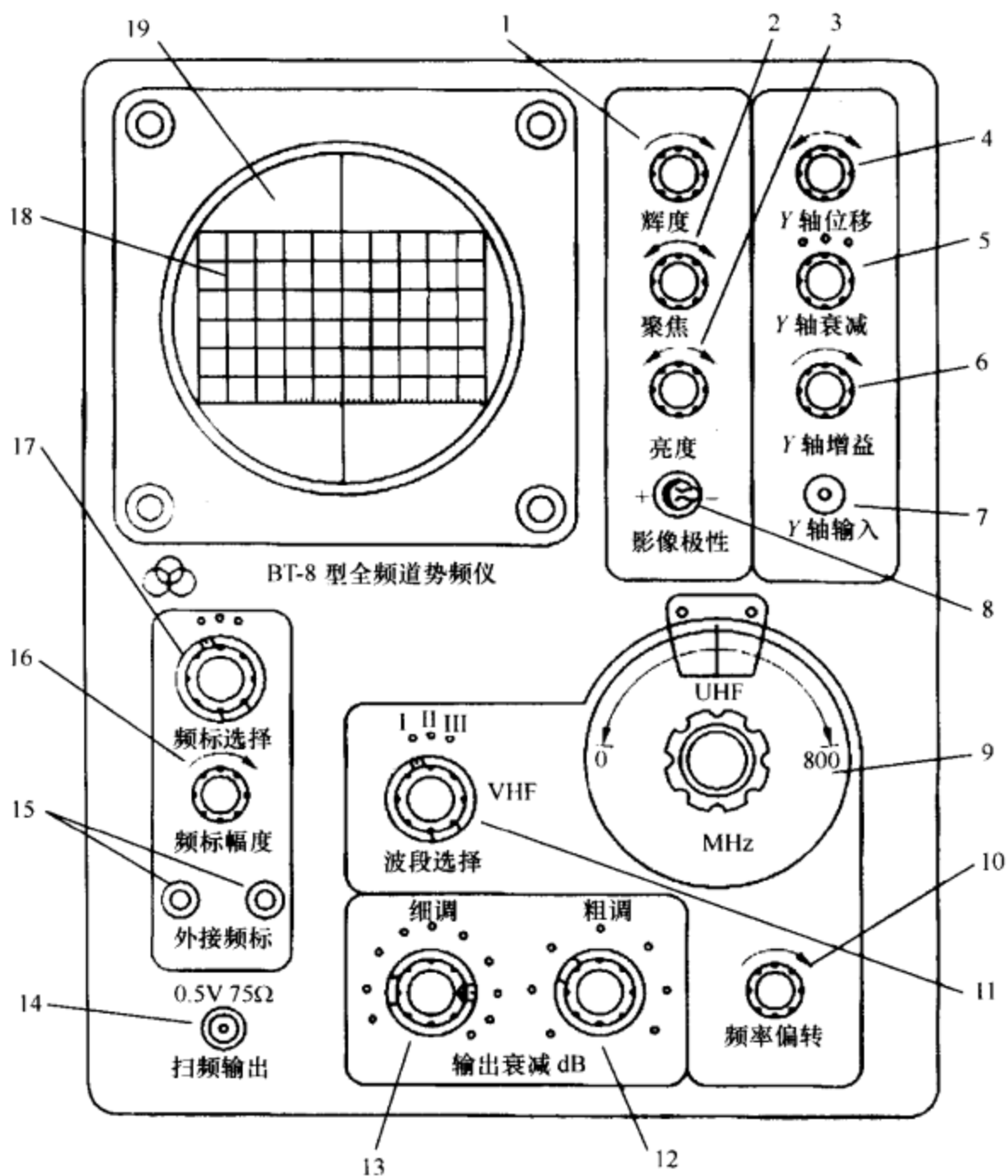


图 4-7 BT-8 扫频仪的面板

(10)频率偏转调节钮。用以调节输出波形扫频信号的频偏宽度。

(11)波段选择开关。用以改变和选择 VHF 频段输出扫频信号的中心频率范围的分段检测,分为 I (75MHz)、II (75MHz~150MHz)、III (150MHz~300MHz)3 挡。

(12)输出衰减(粗调)选择。共分为 10dB~70dB 7 个挡级,每挡衰减 10dB,可对输出扫频信号电压的幅度进行粗调衰减选择。

(13)输出衰减(细调)选择。共分为 1dB~10dB 10 个挡级,每挡衰减 1dB,可对输出扫频信号电压的幅度进行细调衰减选择。

(14)扫频输出端。可从该端子输出扫频电压信号 0.5V 至有关被测电偏的端口,输出阻抗为 75Ω。

(15)外频标插孔。当频标选择开关置于外频标挡时,可将外频标信号从此插孔中输入。

(16)频标幅度调节钮。用以调节频标信号的幅度,并在屏幕上显示,便于观察和修正。

(17)频标选择转换挡。与其他扫频仪相比,扫频范围拓宽,共有 1MHz、10MHz、新增 50Hz 3 挡提供频标选择,可使频率扫描基线显示频标信号。

(18)显示屏幕。作为坐标刻度的显示屏,便于观察计量坐标刻度上的显示线和波形。

(19)示波管。用于产生扫描辉点,以形成和显示扫描基线、信号线和各种波形。

2. 仪器的检查

如果经常使用扫频仪,可定期对仪器进行安全检查和校准,没有必要每次使用前都作详细检查,只需要作些主要部分的检查即可。

(1)探头的检查。输入和输出探头的中心测试芯线不能与屏蔽网线或外壳短路,可用万用表检测,否则将导致无信号输入、输出;测试时应保证探头的屏蔽层与被测电路的公共地端有良好接触,否则将无法进行测试。

(2)扫描基线的检查。打开电源开关,使仪器预热 3min 左右;调节“Y 轴位移”旋钮,直至屏幕中央显示一条水平扫描基线;再通过“辉度”和“聚焦”旋钮的配合调节,可使扫描基线达到良好的清晰度。

(3)扫频信号的检查。按照操作方法,将检波探头与匹配头对接起来,通过调节“Y 轴衰减”和“Y 轴增益”,可在屏幕上显示两条平行线,一条为扫描基线,一条为扫频线,两者之间的坐标尺距离为 4 格。可采取从 10MHz 频段起,逐个频段来检查扫频信号的输出幅度。

(4)频标的检查。首先将粗调和细调“输出衰减”选择钮分别置于 0dB 挡;然后使用检波探头与匹配探头对接起来,即可在屏幕上呈现两条平行线,即下面一条为扫描基线,上面一条为扫频线;将“频标选择”开关置于 1MHz 挡,调节“频标幅度”,这时频标变窄,即两个频标间为 1MHz;再将“频标选择”开关置于 10MHz 挡,调节“频标幅度”,这时频标变宽,即两个频标间为 10MHz。

五、扫频仪的应用

1. 电视机用高频调谐器 2 频道的测试

高频调谐器简称高频头,它与仪器的连接方法如图 4-8 所示。高频头的工作电压 +12V 及自动增益控制(AGC)的 +3V 电源由仪器后面板上的有关接线柱提供。测试时,将高频头调到 2 频道,因为 2 频道的频率范围为 56.5MHz~64.5MHz;调“中心频率”度盘,使 60MHz 位于扫频线上屏幕坐标的中心线处(频标指示);将“输出衰减”置于 30dB 左右。

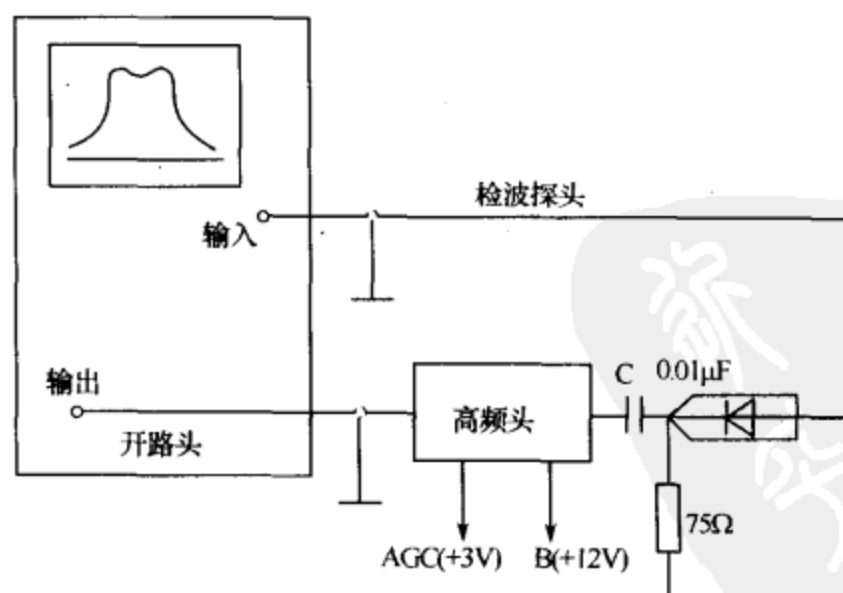


图 4-8 高频头总曲线测试连接图

如果所有的接线正确、扫频线调整正确,并且高频头拨的频道也是正确的,屏幕上就会显示出如图 4-9 所示的曲线。

应当注意的是,该曲线所对应的频率并不是从扫频仪的“扫频输出”端输出的 55MHz~65MHz,因为这个频率范围经过高频头内部的混频器后,已变成中频了,在 26MHz~40MHz。为什么开始调扫频线的时候,要把扫频线对应的频率调成 55MHz~65MHz,而不调成 26MHz~40MHz 呢? 因为要测的是高频头 2 频道的总曲线,2 频道对应的要接收的射频频率范围为 56MHz~64.5MHz,所以要借助于扫频线和频标,让扫频仪从“扫频输出”中输出接近 2 频道频率,并比它还宽的 55MHz~65MHz 的扫频信号来,再把它送到高频头的输入端。

BT-3C 型扫频仪可以观测电视机 VHF 频段中每个频道的总曲线,因为第 12 频道的最高接收频率为 223MHz,而 BT-3C 型扫频仪的扫频信号高达 300MHz。在维修高频头中,若怀疑哪个频道有问题,就可以按上述方法观测一下它的总曲线。

2. 图像中放的测试

从仪器的输出端通过连接电缆(开路头)接到图像通道集中滤波器的输入端;从图像预视放发射极引出,经输入电缆(不用检波头)到仪器的输入端,其连接方法如图 4-10 所示。

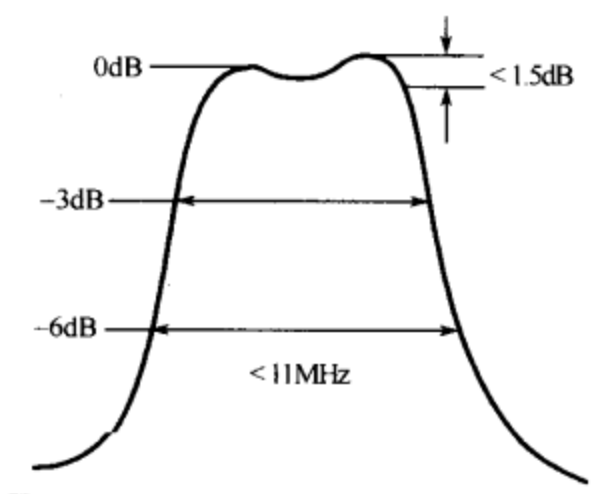


图 4-9 高频头总曲线

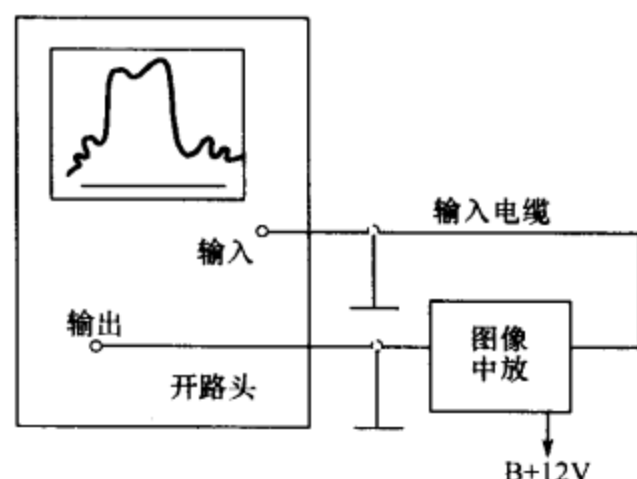


图 4-10 电视机中放曲线连接示意图

先将“输出衰减”置于 50dB,这是因为图像中放的增益高达近 70dB,若不事先将输出扫频信号进行较大衰减,曲线就大大超出屏幕范围。按图 4-10 接好线后,屏幕上将出现如图 4-11 所示的中放曲线。

调“输出衰减”,让曲线的幅度为 5 格(相当于 0dB),这时“输出衰减”所指示的分贝数就是中放级的增益,约为 $65\text{dB} \pm 5\text{dB}$ 。

观察曲线在 38MHz 处的增益,要实际测量,看是否约为最大增益的 50% (-6dB)。

观察曲线在 31.5MHz 处的增益是否为最大增益的 5%。

如频率特性曲线不符合要求,可通过调整中频变压器与集中滤波器的磁芯加以调整,若增益仍然不够或存在其他故障,则应先排除通道电路的有关故障,否则无法测试。

3. 伴音鉴频特性曲线的调试

将 BT-3C 的扫频输出端用开路电缆接到预视放基极测试点上,“Y 轴输入”用不带检波器的电缆接到伴音中放输出端。粗、细调衰减均置于 0dB, Y 轴增益适当,从而保证伴音中放对输入信号幅度的要求;然后,分别调整伴音中放各中频变压器,使曲线呈现图 4-12 所示的形状。

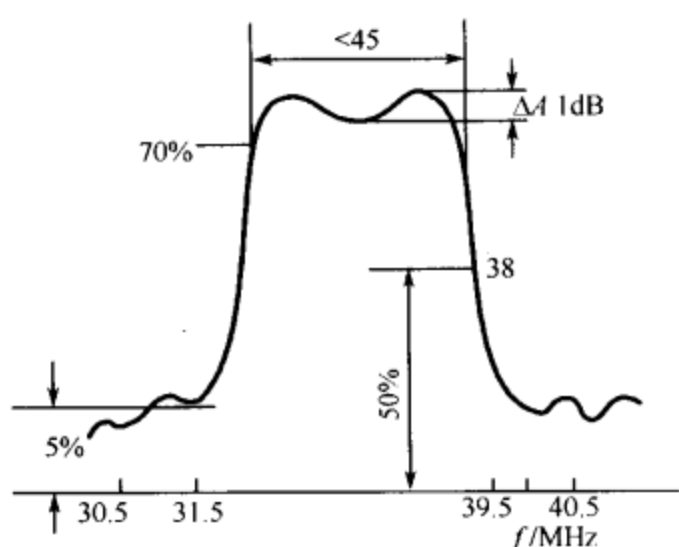


图 4-11 中放曲线

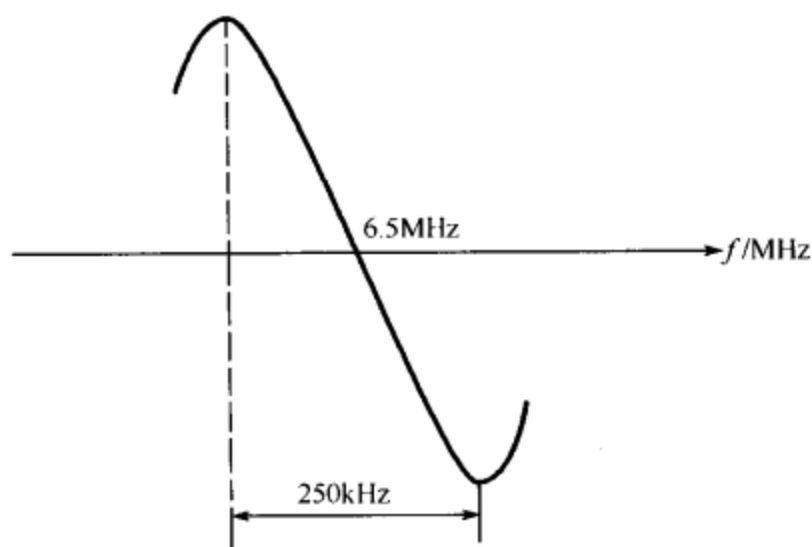


图 4-12 鉴频特性曲线

第二节 频谱分析仪

频谱分析仪在国外被当做频域中的“射频万用表”，可见它的重要性及应用泛围之广。由于对其认识不够及价格较高等问题，在国内，频谱仪一直主要应用在军事、国防及科研等高层面，是一个神秘、高档的仪器。随着通信的发展和普及，在通信、研究、生产、维修等方面对频谱分析仪需求越来越迫切，应用也更普及。

生产频谱分析仪的厂家不多。我们通常所知的频谱分析仪有惠普（现在惠普的测试设备分离出来，为安捷伦）、马可尼、惠美以及国产的安泰信。相比之下，惠普的频谱分析仪性能最好，但其价格也相当可观，早期惠美的 5010 频谱分析仪比较便宜，国产的安泰 AT5010 频谱分析仪的功能与惠美的 5010 差不多，其价格却便宜得多。下面以国产安泰 AT5010 频谱分析仪为例进行介绍。

一、频谱分析仪的特点和性能指标

1. 安泰 AT5010 频谱分析仪的特点

1) 高灵敏度

安泰 AT5010 频谱分析仪最低能测到 $2.24\mu\text{V}$ ，即 -100dBm 。一般示波器到 1mV ，频率计要在 20mV 以上，跟频谱仪比相差 10000 倍。用频率计测频率时，有的频率点测量很难，频率数字显示不稳定，甚至测不出来。这主要是频率计灵敏度低造成的，即信号低于 20mV 频率计就无能为力了。用示波器测量时，信号 5% 失真示波器看不出来，在频谱仪上万分之一的失真都能看出来。由于频谱仪的高灵敏度，测量时要注意被测信号的幅度范围应控制在 $2.24\mu\text{V}\sim 1\text{V}$ ，超过该范围应另加相应的衰减器。

2) 频率高、频带宽

安泰 AT5010 频谱分析仪频率范围在 $0.15\text{MHz}\sim 1000\text{M}(1\text{G})\text{Hz}$ 内，还有 3GHz 、 8GHz 、 12GHz 等其他系列产品，一般示波器在 100MHz 之内，而且价格非常昂贵。

3) 频率、幅度测量及对比特性

安泰 AT5010 频谱分析仪可同时测量多种（理论上是无数个）频率及幅度，Y 轴表示幅度，X 轴表示频率。因此，能直观地对信号的组成进行频率幅度和信号比较，这种对比

性的测量,示波器和频率计是无法完成的。

2. 安泰 AT5010 频谱分析仪性能指标

1) 频率

频率范围:0.15MHz~1050MHz

中心频率显示精度:±100kHz

频率显示分辨力:100kHz

扫频宽度:100kHz/格~100MHz/格

中频带宽(-3dB):400kHz 和 20kHz

扫描速度:43Hz

2) 幅度

幅度范围:-100dBm~+13dBm

屏幕显示范围:80dBm(10dB/格)

参考电平:-27dBm~13dBm(每级 10dB)

参考电平精度:±2dB

平均噪声电平:-99dBm

3) 输入。

输入阻抗:50Ω

插座:BNC

衰减器:0dB~40dB

输入衰减精度:±1dBm

最大输入电平:+10dBm、+25V(DC)

(1)分贝。分贝(dB)是增益的一种电量单位,常用来表示放大器的放大能力、衰减量等,表示的是一个相对量,分贝对功率、电压、电流的定义如下,即

$$\text{分贝数} = 10 \lg \frac{\text{输出功率}}{\text{输入功率}} (\text{dB})$$

$$\text{分贝数} = 20 \lg \frac{\text{输出电压}}{\text{输入电压}} (\text{dB})$$

$$\text{分贝数} = 20 \lg \frac{\text{输出电流}}{\text{输入电流}} (\text{dB})$$

例如,A 功率比 B 功率大一倍,那么, $10 \lg A/B = 10 \lg 2 = 3 \text{dB}$,也就是说,A 功率比 B 功率大 3dB。

(2)分贝毫瓦。分贝毫瓦(dBm)是一个表示功率绝对值的单位,计算公式为

$$\text{分贝毫瓦} = 10 \lg \frac{\text{输出功率}}{1 \text{mW}} (\text{dBm})$$

例如,如果发射功率为 1mW,则按 dBm 进行折算后应为 $10 \lg 1 \text{mW}/1 \text{mW} = 0 \text{dBm}$ 。如果发射功率为 40mW,则 $10 \lg 40 \text{W}/1 \text{mW} = 46 \text{dBm}$ 。

二、频谱分析仪的工作原理

1. 基本工作原理

频谱分析仪的主要组成框图如图 4-13(a)所示。

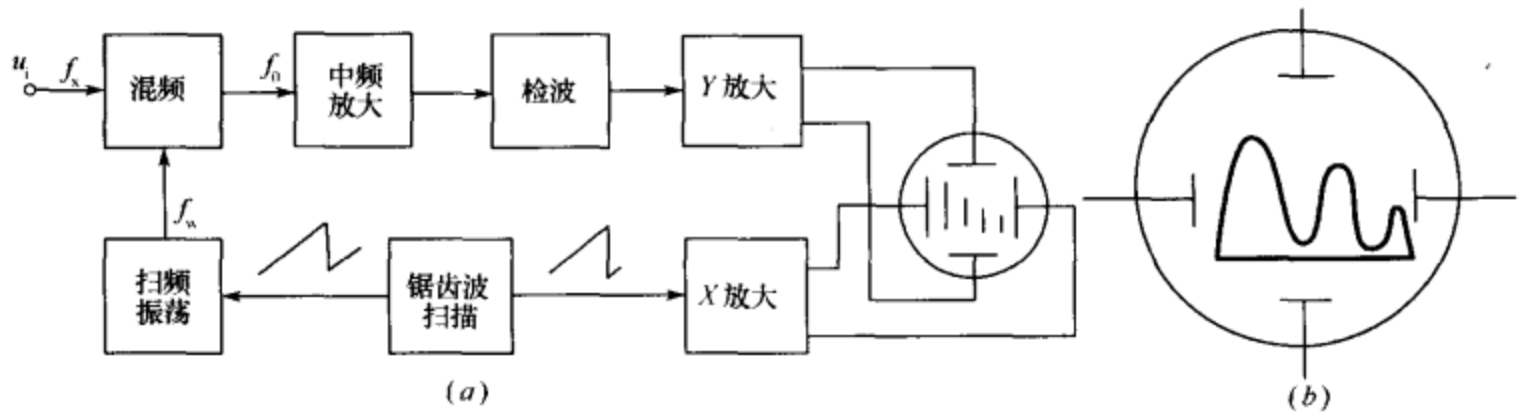


图 4-13 频谱分析仪的主要组成

(a) 电路原理框图; (b) 幅-频特性曲线。

从图中可以看出, 频谱分析仪主要由接收机和示波器组成。

频谱仪是按外差方法来选择所需频率分量的, 这种方法的特点是中频固定, 只要改变本机振荡器频率即能达到选频目的。这和超外差收音机原理是相同的。

图中扫频振荡器是仪器的内部振荡源, 它受锯齿波扫描电压调制, 当扫频振荡器的频率 f_w 在一定范围内变化时, 输入信号中的各频率分量 f_x 与扫描振荡器的频率 f_w 在混频器中产生差频信号 ($f_0 = f_w - f_x$), 并依次落入中放通带内 (这个通带是固定的, 这里的中频放大器相当于固定通带滤波器) 获得中频增益, 经检波后加到 Y 放大器, 使亮点在屏上的垂直偏移正比于该频率分量的幅值。

由于扫描电压在调制扫频振荡器的同时, 又驱动 X 放大器, 从而可以在屏幕上显示出被测信号的线性频谱图。应该注意的是, 在屏幕上看到的并非是一条理想的谱线。因为利用外差接收法并对本机振荡器进行扫频, 可看做窄带滤波器的滤波特性曲线以扫频速度依次扫过各个频率分量。由于窄带滤波器总有一定通带宽度, 故在屏幕上看到的谱线实际上是一个窄带滤波器的动态幅频特性曲线图形, 如图 4-13(b) 所示。

为了获得较高的灵敏度和频率分辨力, 在实际频谱仪中常采用多次变频的方法, 以便在几个中间频率上进行电压放大。

2. 安泰 AT5010 频谱分析仪工作过程

安泰 AT5010 频谱仪可以检出频率范围为 $0.15\text{MHz} \sim 1050\text{MHz}$ 的电气信号的频谱分量, 频谱仪是一个 3 次变频的扫频超外差接收机。被测信号 ($f_x = 0.15\text{MHz} \sim 1050\text{MHz}$) 加到第一混频器, 在其内与一个压控振荡器 ($f_w = 1350\text{MHz} \sim 2350\text{MHz}$) 来的信号电压混频。这一振荡器称作第一本振 (本地振荡器)。该振荡器和输入频率之差为第一中频。它通过调谐在 1350MHz 上的带通滤波器滤波, 然后进入放大器, 再经过 2 级混频器和放大器。第二中频为 29.875MHz , 第三中频为 2.75MHz 。第三中频级中, 在到幅度解调器之前, 先选择性地通过一个 400kHz 或 20kHz 的带通滤波器, 信号再通过一个低通滤波器送到 Y 轴放大器, 该放大器输出连到 CRT 的 Y 偏转板。

X 偏转是由斜波发生器电压所驱动。此电压与一直流电压合成后去控制第一本振。频谱仪扫描的频率范围取决于斜波的高度。扫频由扫频宽度调节按键控制。在零扫频宽度模式时, 只有直流电压去控制第一本振。

三、安泰 AT5010 频谱分析仪的使用方法

1. 面板功能介绍

安泰 AT5010 频谱分析仪面板功能示意图如图 4-14 所示。

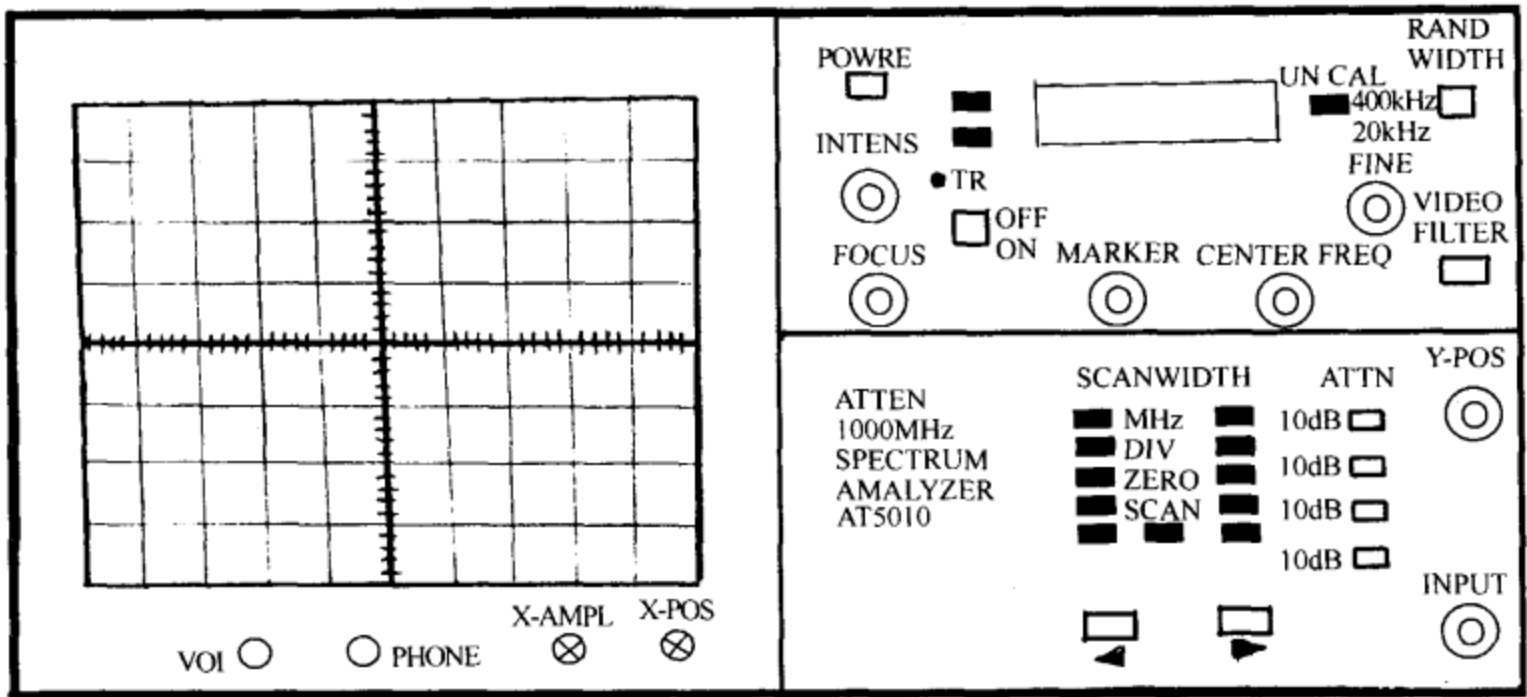


图 4-14 安泰 AT5010 频谱分析仪面板功能示意图

- (1) 聚焦旋钮(FOCUS)。用于光点锐度调节。
- (2) 亮度调节旋钮(INTENS)。用于光点亮暗调节。
- (3) 电源开关(POWER)。被按下后,频谱分析仪开始工作。
- (4) 轨迹旋钮(TR)。即使有磁性(铍膜合金)屏蔽,地球磁场对水平扫描线的影响仍不可能避免。通过轨迹旋钮内装的一个电位器来调整轨迹,使水平扫描线与水平刻度线基本对齐。
- (5) 标记按钮(ON OFF)。当标记按钮置于 OFF(断)位置时,中心频率(CF)指示器发亮,此时显示器读出的是中心频率,当此开关在 ON(通)位置时,标记(MK)指示器发亮,此时显示器读出的是标记的频率,该标记在屏幕上是一个尖峰。
- (6) 标记旋钮(MARKER)。用于调节标记频率。
- (7) LED 指示灯。闪亮时表示幅度值不正确。这是由于扫频宽度和中频滤波器设置不当而造成幅度降低所致。这种情况可能出现在扫频范围过大时(相对于中频带宽(20kHz),或视频滤波器带宽(4kHz)),若要正确测量,可以不用视频滤波器或者减小扫频宽度。
- (8) 中心频率粗/细调(CENT FERQ 和 FINE 两个旋钮)。两旋钮均用于调节中心频率。中心频率是指显示在屏幕水平中心处的频率。
- (9) 中频带宽选择(400kHz、20kHz)。选在 20kHz 带宽时,噪声电平降低,选择性提高,能分隔开频率更近的谱线。此时,若扫频宽度过宽,则由于需要更长的扫描时间,从而造成信号过渡过程中信号幅度降低,使测量不正确。此时“校准失效”LED 发亮即表明这一点。
- (10) 视频滤波器选择(VIDEO FILTER)。用来降低屏幕上的噪声,它使得正常情况下,平均噪声电平刚好高出其信号(小信号)谱线,以便于观察。该滤波器带宽是 4kHz。
- (11) Y 移位调节(Y-POS)。调节射速垂直方向移动。
- (12) BNC 50Ω 输入端口(INPUT 50Ω)。在不用输入衰减时,不允许超出的最大允许输入电压为+25V(DC)和+10dBm(AC)。当加上 40dB 最大输入衰减时,最大输入电压为+20dBm。
- (13) 衰减器按钮。输入衰减器包括有 4 个 10dB 衰减器,在信号进入第一混频器之

前,利用衰减器按钮可降低信号幅度。按键压下时衰减器接入。

在连接任何信号到输入端之前,先选择设置为最高衰减量($4 \times 10\text{dB}$)和最高可用频宽(扫频宽度 100MHz/格),若此时将中心频率调在 500MHz ,则在最大可测和显示频率范围内检测出任意谱线。当衰减减小时,基线向上移动,则可指出在最大可显示频率范围(如 1200MHz)之外信号幅度有溢出。

(14)扫频宽度选择按键(SCANWIDTH)。用来调节水平轴的每格扫频宽度。用▶按键来增加每格频宽,用◀按键来减少每格频宽。转换是 1-2-5 步级,从 $100\text{kHz/格} \sim 100\text{MHz/格}$ 。此扫频宽度以 MHz/格 显示出,它代表水平线每格刻度。中心频率是指水平轴心垂直刻线处的频率。假如中心频率和扫频宽度设置正确,X轴有 10 格的长度,则当扫频宽度低于 100MHz 时,只有全频率范围的一部分可被显示。当扫频宽度设在 100MHz/格 位置,中心频率设在 500MHz 时,显示频率以每格 100MHz 扩展到右边,最右边是 $1000\text{MHz}(500\text{MHz} + 5 \times 100\text{MHz})$ 。同样,中心向左边则频率减低。此情况下,左边的刻线代表 0Hz 。这时,可以看到一条特别的谱线,即“0 频率”。这是由于第一本地振荡器频率通过了第一中频而产生的。当中心频率相对于扫频宽度较低时有此现象。

“0 频率”的幅度对每台频谱仪是不一样的。它不能作参考电平来使用。显示在“0 频率”点左边的那些谱线被称为镜频。在“0 扫频”模式时,频谱仪工作就像是一台可选择(中频)带宽的接收机,此时频率的选择是通过“中心频率”旋钮来实现的。通过中频滤波器的频谱线产生一个电平显示。

所选的扫频宽度/格值由设置按键上方的 LED 显示出来。

(15)水平位置旋钮(X-POS)。水平位置调整旋钮。

(16)水平幅度调整旋钮(X-AMPL)。水平幅度调整旋钮。

水平位置及水平幅度调节仅仅在仪器校准时才用。在正常使用下一般无须调节。当需要对它们实施调节时,则需要用一台很精确的射频振荡器配合使用。

(17)耳机插孔(PHONE)。阻抗大于 16Ω 的耳机或扬声器可以连到耳机插孔。当频谱仪对某一个谱线调谐好时,可能有的音频会被解调出来。

(18)音量调节(VOL)。调节耳机输出的音量。

(19)频率显示屏。在频谱分析仪上有一个频率显示屏,显示频标所在位置的频率值。

2. 测量方法

用频谱分析仪测量手机的射频信号比较方便,例如,测量爱立信 T18 第二中频信号(6MHz)时,可按以下方法进行。

(1)打开频谱分析仪,调节亮度和聚焦旋钮,使屏幕上显示的光迹清晰。

(2)调节扫频宽度选择按键(SCANWIDTH),使 1MHz 指示灯亮,表示每格所占频率为 1MHz 。

(3)调节中心频率粗/细调调节旋钮,使频标位于屏幕中心位置,所指频率为 6MHz 。

(4)将频谱仪探头外壳与 T18 电路主板接地点相连,探针插到第二中频滤波器的输出端,在电流表指针摆动时观察频谱仪屏幕上是否有脉冲式图像。正常情况下,当电流表指针摆动时,有脉冲图像出现在 6MHz 频标位置。

再如,用频谱分析仪测量诺基亚 3310 功放输出信号的频谱,可按以下步骤进行测量。

(1)打开频谱分析仪,调节亮度和聚焦旋钮,使屏幕上显示清晰的图像。

(2)调节中心频率粗/细调调节旋钮,使频标位于屏幕中心位置,显示屏显示频率值为900MHz。

(3)调节扫频宽度选择按键(SCANWIDTH),使10MHz指示灯亮,表示每格所占频率为10MHz。

(4)将频谱仪外壳与3310主板接地点相连,控针插到功放块的输出端,并拨打“112”,观察电流表摆动的同时观看频谱仪屏幕上有无脉冲图像。正常情况下,在900MHz频标附近会出现脉冲图像,但幅度会超出屏幕范围,可以按衰减按键,使图像最高点在屏幕范围内。

重点提示如下。

①AT5010频谱分析仪测量幅度为 $-100\text{dBm}\sim+13\text{dBm}$,即信号强度达到最高的一条水平刻度线时,此信号的幅度为 -27dBm ,每下一大格减 10dBm 。如果频谱分析仪上的 40dB 衰减器全按下时,此时最高水平刻度线幅度为 $+13\text{dBm}(-27\text{dBm}+40\text{dB})$ 。

②手机有些信号测试点可以直接用高频电缆连接频谱仪进行测量。但有部分测试点因为存在阻抗匹配的问题,不能直接测量,可选用安泰AZ530-H高阻抗探头,探头输入电容为 2pF ,阻抗极高,可以直接定量测量手机上任何射频信号不会对被测电路有任何影响。AZ530-H高阻抗探头本身有 20dB (典型值)的衰减,因此用其作定量测量时,要在其直接读数上加 20dB 。

第三节 数字频率计

数字式频率计是一种用电子学方法测出一定时间间隔内输入的脉冲数目,并以数字形式显示测量结果的多功能的电子测量仪器。从结构组成上看,它包括A/D转换系统和电子计数系统两大部分。前者的作用是将被测信号转换成与之成比例的脉冲参量,后者的任务是对这些转换的数字脉冲量进行计数和显示。数字式频率计是应用计数法原理制成的数字式频率测量仪器,它具有精度高、测量范围宽、便于自动化测量等突出特点。数字式频率计除用做频率测量外,还可以测量与之有关的多种参量,如周期、频率比以及计数等。

数字频率计的面板功能和使用比较简单,下面以LT9801型频率计为例,简要介绍数字频率计的特点及使用方法。

一、LT9801 数字频率计的特点

LT9801数字频率计一个 $10\text{Hz}\sim 2400\text{MHz}$ 多功能智能频率计。具有8位高亮度7段LED显示,低功耗线路设计,体积小、质量轻、高稳定性的晶体振荡器保证测量精度。

二、LT9801 数字频率计的使用方法

把仪器上的电源插头插入 220V 交流电源插座,这时数码管会显示数字,说明仪器正常工作。将随机电缆插入面板上的信号输入插座,选择适当的挡位和闸门时间,可测量信号频率。闸门时间短,则测频速度快,但分辨率低。闸门时间长,则测频速度慢,但分辨率高。

使用时要注意以下两点。一是测量高电压、强辐射信号频率时,有线方式应串接大阻值电阻,无线方式应将频率计远离辐射信号源。使信号衰减后再进行测试,以免损坏仪器。二是在测量 100MHz 以上的信号时,测量用电缆应尽量短一些。

第五章 电子元器件测量仪器

电子元器件如电阻器、电容器、电感器为基本电路元件；晶体二极管、三极管、场效应管、单结管、晶闸管等为半导体器件；不同类型的电子元器件，需要使用不同的仪器进行测量。电路元件按其在电路中的工作频率不同，采用不同测量方法和仪器。工作在低频电路中的元件，常采用电桥法测量，通常使用直流电桥、交流电桥和万用电桥；工作在高频电路中的元件，常采用谐振法测量，通常使用高频 Q 表、高频电感电容测量仪，因为半导体器件需要测量的参数很多，有直流参数、低频参数和高频参数，根据需要测量的参数，选择不同的晶体管测试仪进行测量。常用的仪器有晶体管特性图示仪、晶体管直流参数测试仪、 h 参数测试仪、 Y 参数测试仪和场效应管测试仪等。本章主要介绍应用较为广泛的万用电桥、高频 Q 表和晶体管特性图示仪的基本组成和使用方法。

第一节 万用电桥

工作在低频电路中的元件参数通常采用电桥法进行测量，电桥法实际上是一种比较测量法，它是把被测量与同类性质的标准量进行比较，从而确定被测量大小的方法。万用电桥就是一种在低频条件下测量电阻、电容和电感参数的交流阻抗电桥。

一、电桥的分类及平衡条件

电桥由 4 个桥臂组成，在两个对角线接点 a 、 b 间加电源，另两个对角线接点 c 、 d 间接平衡指示表（检流计），按桥臂阻抗性质和电源不同，电桥分为直流电桥和交流电桥。

1. 直流电桥

直流电桥电路原理图如图 5-1 所示，这种电桥也称为惠斯登电桥，其 4 个桥臂均为电阻，由直流电源供电，因此它只能用来测量电阻值。

工作时，调节一个或几个桥臂上的电阻，使检流计指示为零，此时电桥处于平衡状态， c 、 d 两点电位相等，即 $U_{ac} = U_{ad}$ ， $U_{bc} = U_{bd}$ ，根据基尔霍夫第一定律，当 $I_G = 0$ 时，可得

$$R_x/R_2 = R_3/R_4, \text{ 或 } R_x R_4 = R_2 R_3$$

如果 R_2, R_3, R_4 均为标准电阻，则被测电阻为

$$R_x = R_2 R_3 / R_4$$

由于 R_x 是与标准电阻直接进行比较，而标准电阻的准确度很高，且检流计的灵敏度也很高，因此用这种

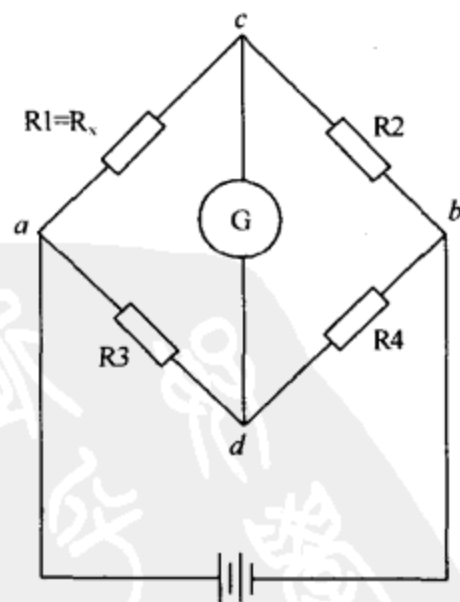


图 5-1 直流电桥原理图

方法测出的电阻值准确度很高。

2. 交流电桥

交流电桥电路原理图如图 5-2 所示,其工作原理与直流电桥基本相同,所不同的是采用交流电源供电,平衡指示表为交流电表,桥臂由电阻和电抗元件组成,因此它可以用来测量电阻、电容和电感元件的参数。

工作时,调节一个或几个桥臂上的阻抗,使检流计指示为零,此时电桥就处于平衡状态, c, d 两点电位相等,即 $U_{ac} = U_{ad}, U_{bc} = U_{bd}$,可得

$$Z_x/Z_2 = Z_3/Z_4, \text{ 或 } Z_x Z_4 = Z_2 Z_3$$

由于阻抗为复数,根据复数相等条件,上式两边实部与虚部各自相等,可见交流电桥的平衡条件有两个:一是幅度平衡条件;二是相位平衡条件。为此,交流电桥至少应有两个可调节的标准元件。

为了使调节方便,交流电桥有两种基本形式:电阻比率电桥和电阻乘积电桥。

(1)电阻比率电桥。电阻比率电桥如图 5-3 所示。其特点是与 Z_x 相邻的桥臂 Z_3 是一个标准阻抗 Z_s ,另外两个桥臂为纯电阻,此时可得

$$Z_x = (Z_2/Z_4)Z_s$$

式中: Z_2/Z_3 为电阻之比; Z_x 与 Z_s 为同类性质的阻抗。实际应用中,通常用标准电容来测量。

(2)电阻乘积电桥。电阻乘积电桥如图 5-4 所示。其特点是与 Z_x 相对的桥臂 Z_4 是一个标准阻抗 Z_s ,另外两个桥臂为纯电阻,此时可得

$$Z_x = (Z_2 Z_3)/Z_s$$

式中: $Z_2 Z_3$ 为电阻乘积; Z_x 与 Z_s 互为倒数,即具有符号相反的相角,因此这种电桥可用标准电容来测量未知电感。

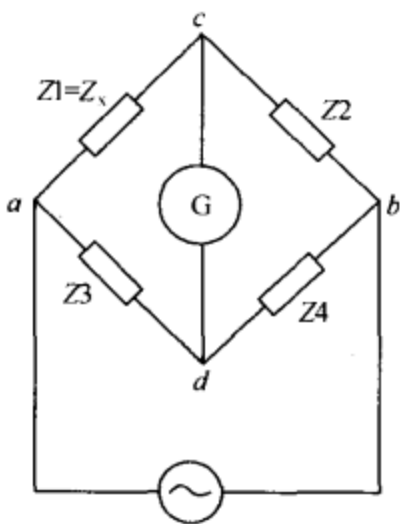


图 5-2 交流电桥原理图

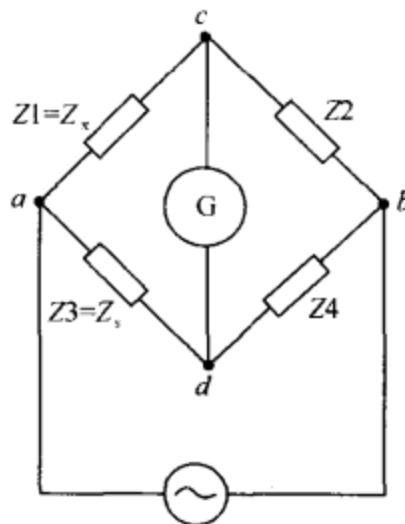


图 5-3 电阻比率电桥

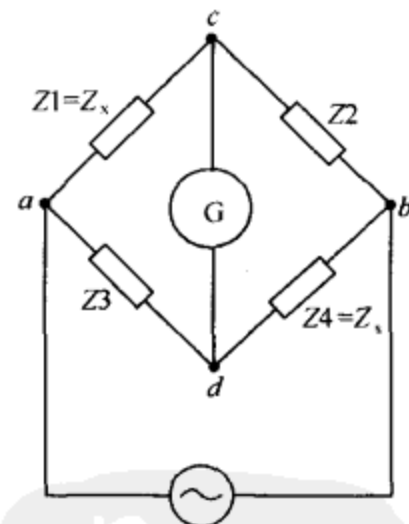


图 5-4 电阻乘积电桥

二、万用电桥的组成和工作原理

为了测量使用方便,几种不同类型的电桥组合起来,使之具有测量电阻、电容和电感元件参数的功能,这种电桥称为万用电桥。下面以 QSI8A 型万用电桥为例说明其组成和工作原理。该电桥主要由测量桥体、音频振荡器、交流放大器和平衡指示表(检流计)几部分组成,测量桥体由惠斯登电桥、电容串联比较电桥(一种比率电桥)、麦氏—文氏电桥

(一种乘积电桥)组合而成,使用时通过转换开关进行切换。

1. 测量电容原理

QS18A 型万用电桥的电容测量电路采用的是串联电容比较电桥,如图 5-5 所示,其中 C_x 、 R_x 为被测元件, C_s 、 R_s 为可调标准阻抗,即为读数桥臂, R_2 、 R_4 为比率桥臂。测量时,调整标准阻抗和及 R_2/R_4 的值,使电桥处于平衡状态,则

$$\text{被测电容 } C_x = (R_4/R_2)C_s$$

$$\text{损耗电阻 } R_x = (R_2/R_4)R_s$$

$$\text{损耗因数 } D_x = \omega C_s R_s$$

2. 测量电感原理

QS18A 型万用电桥电感测量电路采用麦氏—文氏电桥,如图 5-6 所示,其中 L_x 、 R_x 为被测元件, C_s 、 R_s 为可调标准阻抗,即为读数桥臂, R_2 、 R_3 为倍率桥臂。测量时,调整标准阻抗和 R_2R_3 的值使电桥处于平衡状态,则

$$\text{被测电感 } L_x = R_2R_3C_s$$

$$\text{损耗电阻 } R_x = R_2R_3/R_s$$

$$\text{品质因数 } Q_x = \omega C_s R_s$$

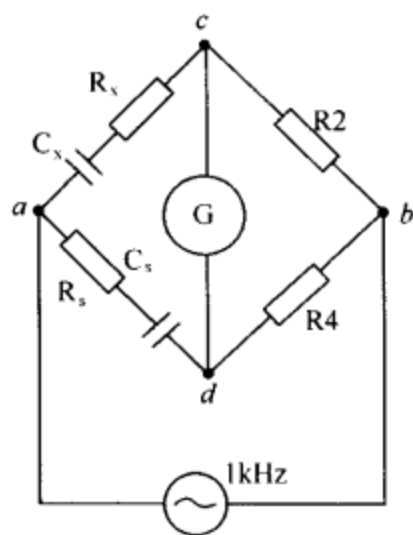


图 5-5 电容串联比较电桥

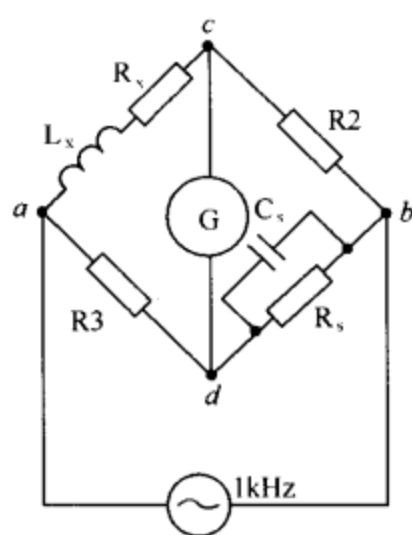


图 5-6 麦氏—文氏电桥

3. 测量电阻原理

QS18A 型万用电桥的电阻测量电路采用惠斯登电桥,如图 5-1 所示,其中 R_x 为被测电阻,其余均为标准电阻, R_3 为读数桥臂, R_2 、 R_4 为比率桥臂。测量时,调整 R_3 和 R_2/R_4 的值,使电桥处于平衡状态,则被测电阻为

$$R_x = R_3R_2/R_4$$

三、QS18A 型万用电桥的使用

1. 测量范围

(1) 电容测量。1.0pF~1100 μ F,分 3 挡:1.0pF~110pF;100pF~110 μ F;100 μ F~1100 μ F。

(2) 电感测量。1.0 μ H~110H,分 5 挡:1.0 μ H~11 μ H;10 μ H~110 μ H;100 μ H~1.1H;1H~11H;10H~110H。

(3) 电阻测量。10m Ω ~11M Ω ,分 3 挡:10m Ω ~1.1 Ω ;1 Ω ~1.1M Ω ;1M Ω ~11M Ω 。

大于 10Ω 时用直流 9V 电源。

2. 面板说明

QSI8A 型万用电桥的面板如图 5-7 所示。

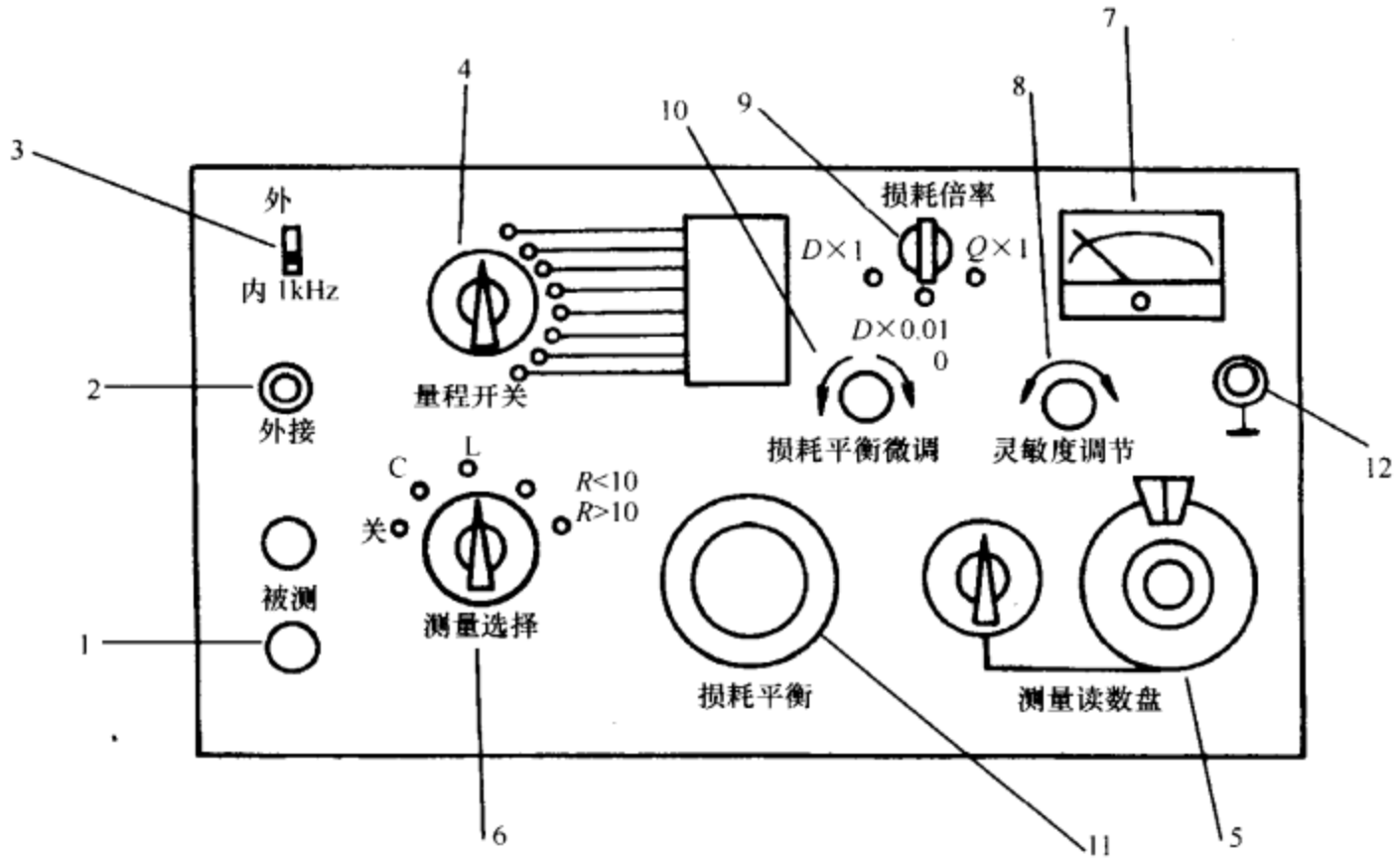


图 5-7 QSI8A 型万用电桥的面板

- (1) 测量接线柱。用来连接被测元件。
- (2) 外接插孔。当使用外接音频电源时,由此插孔接入。
- (3) 拨动开关。用来转换电桥电源,分内 1kHz 和外接两挡。
- (4) 量程开关。用来选择测量范围,上面各挡的标示值是指读数在满度时的最大值。
- (5) 测量读数盘。由一个步进式测量盘和一个连续可调的测量盘组成。
- (6) 测量选择。用于转换测量功能,以进行电感、电容或电阻的测量。它又兼电源开关,测量完毕后应置于“关”的位置。
- (7) 平衡指示表。用以指示电桥的平衡状态,调节损耗平衡和读数旋钮时,应使指针向零位偏转,当指针接近零点时,可认为电桥近于平衡状态。
- (8) 灵敏度调节。用于调节电桥放大器的放大倍数,开始测量时,应降低灵敏度使平衡指示表指示小于满刻度,当电桥接近平衡时,再逐渐增大灵敏度。
- (9) 损耗倍率。用于选择损耗平衡的读数范围,分 $Q\times 1$, $D\times 0.01$, $D\times 1$ 等 3 挡。测量电感线圈时,此开关放在 $Q\times 1$ 处,测量小损耗电容时,放在 $D\times 0.01$ 处,测量大损耗电容时,放在 $D\times 1$ 处,测量电阻时,此开关不起作用,可放在任何位置。
- (10) 损耗微调。用于微调平衡时的损耗值,一般情况下,应放在“0”的位置。
- (11) 损耗平衡。被测电感或电容元件的损耗读数由此旋钮指示,此读数盘上的指示值再乘以倍率开关的示值,即为测得的损耗示值。
- (12) 接地接线柱。接地点与仪器的外壳相连,使用时应接地,以减小干扰影响。

3. 使用方法

- (1) 把被测元件接在测量接线柱上,根据被测元件的性质,将“测量选择”旋转变至相

应的位置。

(2)估计被测元件的大小,将“量程开关”置于合适的挡位。

(3)根据被测元件的性质,合理选择“损耗倍率”开关的挡位。

(4)调节“灵敏度调节”旋钮,使平衡指示表指针略小于满度。

(5)测量电感和电容时,应反复调节“读数旋钮”和“损耗平衡”旋钮使平衡指示表指针最接近于零点,测量电阻时,只调节“读数旋钮”即可。

(6)读取测量值。 L_x 、 C_x 及 R_x 的值等于“量程开关”示值乘以两个“读数旋钮”示值之和。 D_x 、 Q_x 的值等于“损耗倍率”示值乘以“损耗平衡”示值。

第二节 高频Q表

工作在高频电路中的元件参数通常采用谐振法进行测量,谐振测量法就是把被测元件接入 LC 回路,然后调节回路参数使之产生谐振,再根据相应的关系来确定被测量的数值。虽然它没有电桥法的测量准确度高,但它的测量条件与使用条件相近,且测量电路简单,受分布参数影响小,因此得到广泛的应用。

高频 Q 表就是一种利用谐振法,在高频条件下测量电容量及损耗因数(D 值)、电感量及品质因数(Q 值)、电感线圈的分布电容、高频回路的等效电阻及传输线的阻抗特性等参数的多用途仪器。

一、高频 Q 表的组成

高频 Q 表一般由高频振荡电路、频率指示器、测量回路、 Q 值指示电路和电源电路几部分组成,基本组成框图如图 5-8 所示。



图 5-8 高频 Q 表的基本组成

1. 高频振荡电路

高频振荡电路可产生 50kHz~50MHz 的高频信号,一般将其分为几个波段,由波段开关转换,在每个波段内,频率均可连续调节,高频振荡信号经稳幅和阻抗变换后输出。

2. 频率指示

频率指示器通常有刻度盘式和数码管式两种,数码管指示器实际上是一个数字频率计,它可精确指示高频振荡器输出信号的频率。

3. 测量回路

测量回路中有两个标准可变电容器,一个是主调电容器,另一个是微调电容器,它们与被测线圈或辅助线圈组成串联谐振电路,进行各种测量。

4. Q 值指示电路

Q 值指示电路是一个高频电子电压表,它并联在串联谐振电路标准可变电容器两端,当谐振电路处于谐振状态时,电容器两端的电压达到最大值,此电压值可用来表示谐振回路的 Q 值。

二、QBG-3 型高频 Q 表的使用

1. 面板说明

QBG-3 型高频 Q 表的面板如图 5-9 所示。

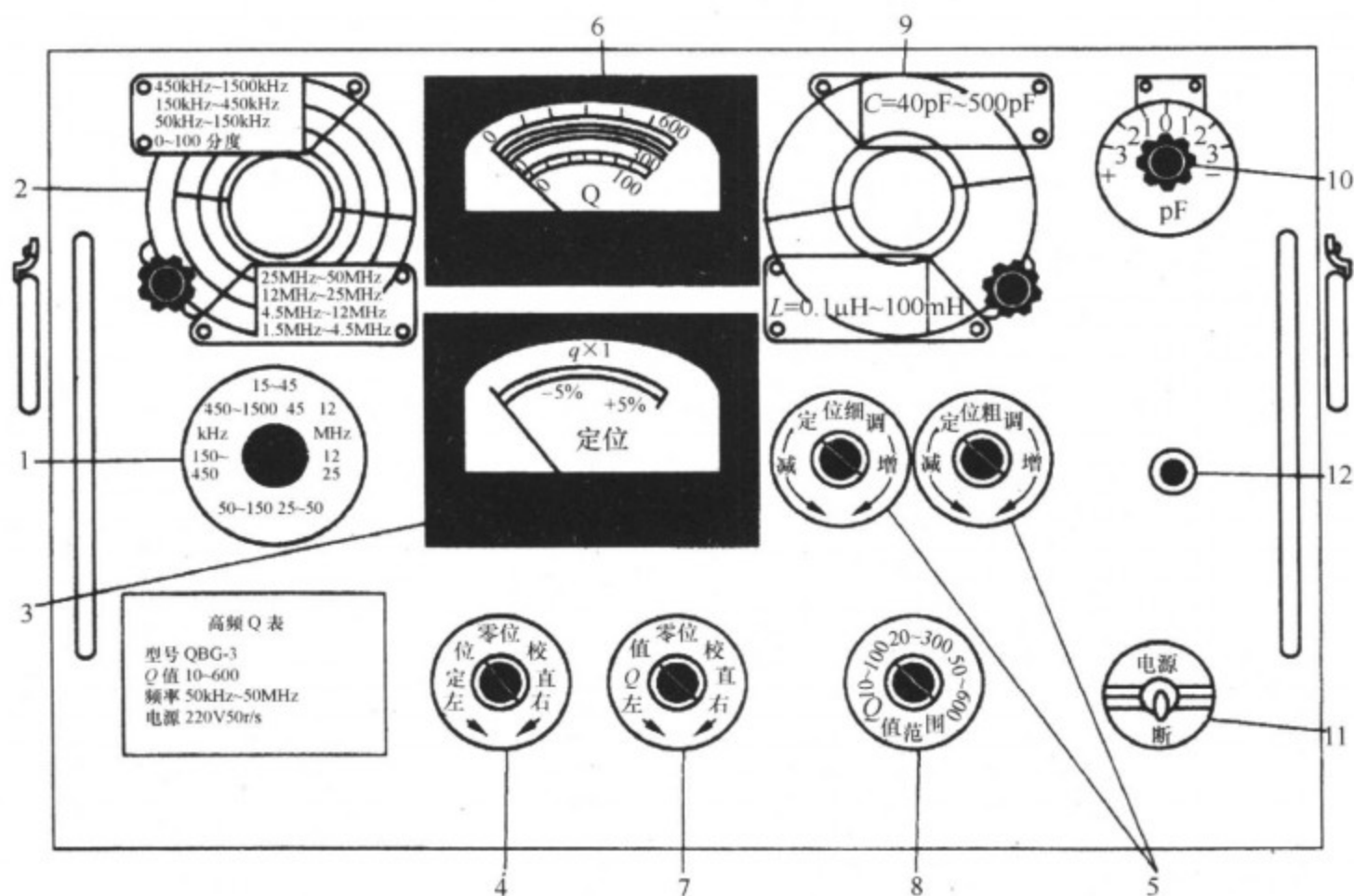


图 5-9 QBG-3 型高频 Q 表的面板

(1)波段选择开关。高频振荡电路中的滚动式波段开关,共有 7 个频段可供选择。

(2)频率刻度盘。可连续调节每个频段内的频率,共有 7 条频率刻度,与频段开关配合使用,以选择所需频率。

(3)定位指示表头。用做监视引入测试电路的高频电压大小。使用时调节定位粗调和细调旋钮,使表针指示定位在“ $q \times 1$ ”刻度上,才能在 Q 值表头上直读 Q 值。

(4)定位零位校直旋钮。调整定位指示表头电气零点。当定位粗调旋钮处于起始位置(逆时针旋至底),调节定位零位校直钮,可使定位表头指针在零位(一般该钮处于中间偏左位)。

(5)定位细调、粗调旋钮。操作方法在前面已有介绍。

(6)Q 值指示表头。作为 Q 值读数和谐振指示。表头分有“0~100、0~300、0~600 3 个区段刻度线,可根据 Q 值范围开关,读出相应刻度数。

(7)Q 值零位校直旋钮。调整 Q 值指示表头指针为电气零位。

(8)Q 值范围选择开关。与 Q 值指示表头配合使用,测量时,根据被测件 Q 值选择适当量程,并可作为谐振指示时的灵敏度变换用。

(9)主调电容度盘。对准上方的读数指示红线为测量电容 C 刻度线;对准下方的读数指示红线为测量电感 L 刻度线,分别作为电容和电感的读数值。

(10)微调电容度盘。通常刻度盘处于零位,否则应将微调电容度盘的读数加到主调

电容度盘的读数上去。分有+3、+2、+1;0;-3、-2、-1 刻度,作微调用。

(11)电源开关。为仪器 220V 交流电源开关。

(12)电源指示灯。开启电源开关后,该指示灯点亮;关机后,指示灯熄灭。

(13)测量用接线柱。位于仪器顶部(图上未注)。“ L_x ”接线柱一对,用于接被测线圈;“ C_x ”接线柱一对,用于接被测电容。

2. 仪器使用方法

使用前,必须做好如下预备工作:一是接通电源后预热 30min 左右,方可进行各项测量;二是校正定位指示电表和 Q 值指示电表为电气零位;三是将定位粗调旋钮向逆时针方向旋至底,定位零位校直旋钮置于中心偏左处,微调电容度盘调到零。

1) 高频线圈 Q 值的测量

(1)将高频线圈接于仪器顶部的“ L_x ”接线柱上。

(2)调节频段选择开关和频率度盘,调到适合规定的测量频率点上。

(3)估计被测件的 Q 值范围,将 Q 值范围开关置于适当的挡级上。

(4)调节定位零位校直旋钮,使定位表指针处于零位。

(5)将定位粗、细调旋钮调节定位在“ $q \times 1$ ”指示上。

(6)调节主电容度盘,使谐振点远离, Q 值表指示最小。

(7)调节 Q 值零位校直旋钮,使 Q 表指示为零,且 100、300、600 3 挡零位均在同一点上。

(8)最后再调节主调和微调电容度盘,使测试回路谐振, Q 表指示最大,此时 Q 值表头的指示值即为高频线圈的回路 Q 值。

2) 高频线圈电感量的测量

(1)将被测线圈牢靠接于仪器顶部“ L_x ”接线柱上。

(2)先估测线圈的电感量值,根据面板上的“电感、倍率、频率”对照表(表 5-1),选择一相应的标准频率,然后通过频率选择开关和频率度盘,将高频信号高层调到这一标准频率上。

表 5-1 电感、倍率、频率对照表

电感	倍率	频率	电感	倍率	频率
0.1 μ H~1.0 μ H	$\times 0.1$	25.2MHz	0.1mH~1.0mH	$\times 0.1$	795kHz
1.0 μ H~10 μ H	$\times 1$	7.95 MHz	1.0mH~10mH	$\times 1$	252 kHz
10 μ H~100 μ H	$\times 10$	2.52 MHz	10mH~100mH	$\times 10$	79.5 kHz

(3)微调电容度盘置于“0”处,调节主调电容度盘,使测试回路谐振,这时主调电容度盘对边的电感数乘以表中所指示的倍率,即为高频线圈的近似电感值。例如,被测线圈电感量约为 5mH,根据表 5-1 查得被测电感量在 1.0mH~10mH 范围内,测试频率为 252kHz,实际电感量按主调电容度盘上的 L 读数乘以倍率 1。

3) 电容器容量小于 470pF 的测量

(1)将一只电感量约 1mH 的电感接在“ L_x ”接线柱上。

(2)将微调电容度盘调至零,主调电容度盘调到较大的电容量作为 C_1 。

(3)调节 Q 值零位和定位零位校直旋钮,使定位和 Q 表指示均为零,再调节定位粗、细调旋钮,使定位表指示在“ $q \times 1$ ”处。

(4)调节频率度盘到谐振点上。

(5)最后将被测电容器接于“ C_x ”接线柱上,通过调节主调电容度盘,使测量回路重新谐振。这时电容的读数作为 C_2 ,那么所测电容器的容量应为 $C_x=C_1-C_2$ 。

4)电容器容量大于 470pF 的测量

(1)取一只标有适当容量的标准电容器接于“ C_x ”两端,作为 C_3 。

(2)与测量小于 470pF 电容器的方法相同,在“ L_x ”两端接一电感,将主调电容度盘调到较大的值作为 C_1 ,再调节频率度盘到谐振点。

(3)取下标准电容器,换接被测电容器,然后调节谐振电容,使回路重新谐振,那么这时电容读数作为 C_2 ,所测电容器的电容量为 $C_x=C_3+C_1-C_2$ 。

(4)可采用串联法进行测量更为简单。将测试电感接到“ L_x ”两端,调节主调电容度盘,使回路谐振,作为 C_1 的读数;然后将被测电容器与已测试过的电感器串联接于“ L_x ”两端;再调节主调电容度盘,使回路再次谐振,这时的电容读数作为 C_2 。为此,被测电容器的电容量为 $C_x=C_1 \times C_2 / (C_1 + C_2)$ 。

由于测量的是元器件高频 Q 值之类的技术参数,为此必须注意如下事项。

①在测量过程中,手不能接触或靠近被测元件,以免人体感应造成误差。

②被测元件不要直接搁在面板顶上,可用绝缘材料作为衬垫。

③有屏蔽的被测元件,屏蔽罩外壳应接于低电位(地)端的接线柱上。

④为提高测试精度,被测元件与测量接线柱间的接触电阻应越小越好。

第三节 晶体管特性图示仪

在电子产品的生产和科研中,半导体器件性能的好坏是非常重要的。它直接影响到产品的质量,如可靠性、稳定性以及电路的指标等,所以,必须根据设计要求,对半导体器件进行认定和筛选。同样,在日常电子产品的维修中,也必须对所用的半导体器件进行测试,否则会使产品的指标下降,甚至不能正常工作。因此,对半导体器件的各项性能参数进行测量就成为一项不可缺少的工作。

晶体管特性图示仪就是能够胜任上述测量任务的仪器之一,它是一种能直接观察晶体管特性曲线的仪器,它可以通过各种控制开关的转换,测量 NPN 型或 PNP 型晶体管的共发射极、共基极、共集电极接法的输入、输出、 β 参数、 h_{FE} 参数和 α 参数等特性;也可以通过阶梯信号的单族作用迅速地测定晶体管的各种极限参数;还可以单独利用其电压、电流的读测特性,测定各种反向饱和电流 I_{CBO} 、 I_{CEO} 、 I_{EBO} 和各种击穿电压 BV_{CBO} 、 BV_{CEO} 、 BV_{EBO} 等,以及二极管的正、反向伏安特性及击穿电压等指标。

下面重点以 JT-1 型晶体管特性图示仪为例,说明其电路组成及使用方法。

一、JT-1 型晶体管特性图示仪的组成

晶体管特性图示仪的基本组成框图如图 5-10 所示。它主要由基极阶梯信号发生器、集电极扫描电压发生器、示波显示部分、被测晶体管部分和电源供电 5 部分组成。

1. 阶梯信号发生器

阶梯信号发生器包括阶梯信号发生和阶梯信号放大。通过阶梯选择开关(S1),可为

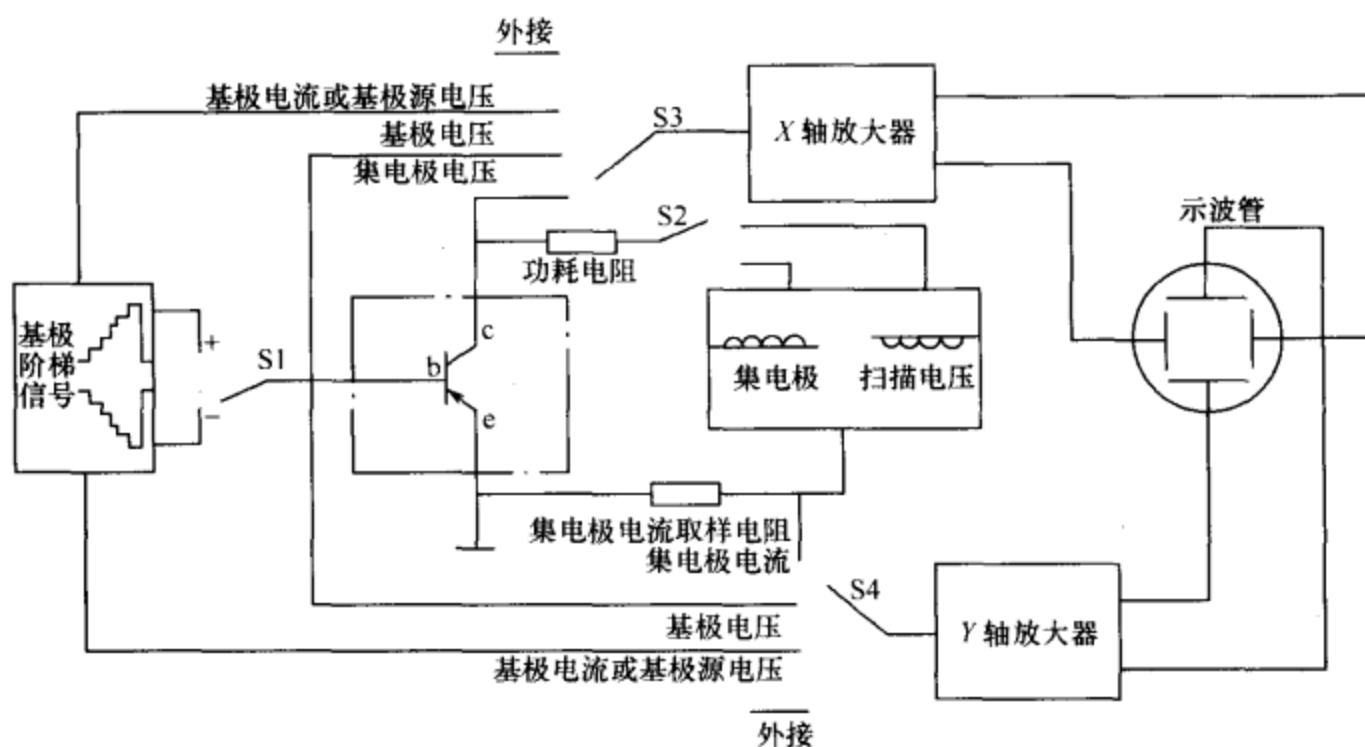


图 5-10 JT-1 晶体管特性图示仪的组成

被测晶体管提供大小和极性可变的输入阶梯电流或阶梯电压。

2. 集电极扫描电压

它直接采用 50Hz 交流电经全波整流后,形成 100Hz 脉动电压源。通过转换开关 (S2) 给三极管集电极提供大小与极性可变的扫描电压。

3. 示波显示部分

它由 Z 轴放大器、Y 轴放大器和示波管控制电路组成。示波显示电路的作用是将基极阶梯电压和集电极扫描电压在被测管作用下的电信号加以放大,并在屏幕上显示出被测管的伏—安特性曲线。

4. 被测晶体管部分

它包括测试台和各种转换开关,使晶体管的各种参数都能得到测量。

5. 电源供给部分

为仪器中各部分电路和被测晶体管提供各种电源。

二、JT-1 型晶体管特性图示仪的基本工作原理

基极阶梯信号和正弦波集电极扫描电压信号是为被测晶体管提供合适的偏置电压,使其工作在放大状态,改变这两部分信号的极性开关,就可以对晶体管 (NPN 型或 PNP 型) 提供极性不同的偏置电压;改变这两部分信号的大小,可使被测晶体管工作在特定的工作状态。通过“X 轴作用”开关 S3 和“Y 轴作用”开关 S4 的转换,可以将测管的不同参量,通过 X 轴、Y 轴放大器在示波管上显示出来。改变 S3、S4 的位置,也就改变了荧光屏所显示的波形的坐标性质,从而根据曲线读出各种参数。

三、JT-1 型晶体管特性图示仪旋钮的作用

JT-1 型晶体管特性图示仪面板如图 5-11 所示。

1. 荧光屏控制旋钮

(1) 标尺亮度。该旋钮旋至左端,荧光屏上呈现黄色,可供摄影用;旋至右端,荧光屏

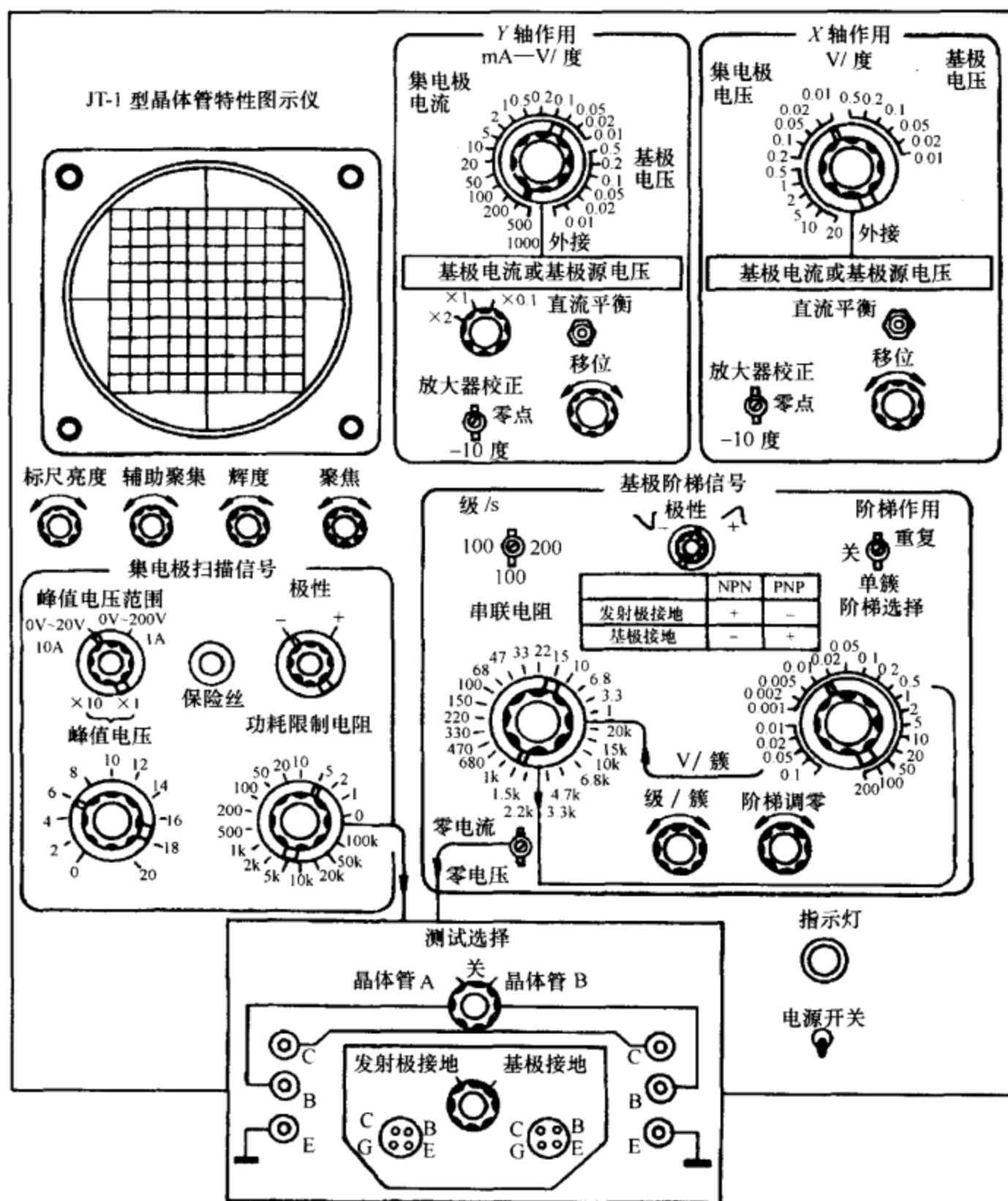


图 5-11 JT-1 型晶体管特性图示仪面板

上出现红色,可供刻度照明用。

(2)辅助聚焦与聚焦。两个旋钮互相配合调节,可使荧光屏的亮点或线条由散焦状态细调为清晰状态。

(3)辉度。调节屏上波形的亮度。

2. Y 轴作用

(1)mA—V/度选择开关。共分 24 挡,具有 4 种作用:一是集电极电流,占 16 挡,范围为 0.01mA/度~1000mA/度;二是基极电压,占 6 挡,范围为 0.01V/度~0.5V/度;三是基极电流或基极源电压,占 1 挡;四是外接,占 1 挡。

信号从后箱板 Y(+)、Y(-)处输入,Y 轴放大器的灵敏度为 0.1V/度。

(2)mA—V/度倍率选择开关。有“ $\times 0.1$ 、 $\times 1$ 、 $\times 2$ ”3挡,一般置于“ $\times 1$ ”挡。如果置于“ $\times 2$ ”挡,将“mA—V/度”的值再乘以2。

(3)直流平衡调节旋钮。改变Y轴基极电压6挡位置时,放大器对校正信号的“零点”位置不会产生位移。

(4)放大器校正开关。对放大器进行放大倍数及零位的校正,使屏幕Y轴标尺刻度读数准确。

(5)移位旋钮。使波形作上下移动。

3. X轴作用

(1)V/度选择开关。共分19挡,具有4种作用:一是集电极电压,占11挡,范围为 $0.01\text{V/度}\sim 20\text{V/度}$,用以改变放大器的灵敏度;二是基极电压,占6挡,范围为 $0.01\text{V/度}\sim 0.5\text{V/度}$,用以改变放大器的增益;三是基极电流或基极源电压,占1挡;四是外接,占1挡。

信号由后箱板的X(+)、X(-)输入,其灵敏度为 0.1V/度 。

(2)直流平衡调节旋钮/放大器校正开关、移位旋钮。作用与Y轴相同,但只对X轴起作用。

4. 集电极扫描信号

(1)峰值电压范围。分“ $0\text{V}\sim 20\text{V}(10\text{A})$ ”和“ $0\text{V}\sim 200\text{V}(1\text{A})$ ”2挡。当将10A挡改换到1A挡前,应将峰值电压调至零,然后按需要增加,否则易击穿被测管。

(2)极性转换旋钮。用于转换集电极电压的正负极性。共发射极电路,测NPN型管用“+”;测PNP型管用“-”。共集电极电路,“+、-”选用则相反。

(3)峰值电压调节旋钮。可与峰值电压范围调节旋钮配合使用,使扫描电压在 $0\text{V}\sim 20\text{V}$ 或 $0\text{V}\sim 200\text{V}$ 连续可调。

(4)功耗限制电阻。共有16挡,范围为“ $1\Omega\sim 500\Omega$ 与 $1\text{k}\Omega\sim 100\text{k}\Omega$ ”,相当测晶体管时将相应的电阻串联在集电极,限制其功耗,并作为集电极的负载电阻。

5. 基极阶梯信号

(1)级/s开关。共分3挡,范围为“上100,下100、200”,表示每秒钟显示的阶梯级数。

(2)极性选择旋钮。测“NPN”管时,特性曲线应选择“+”;测“PNP”管时,特性曲线应选择“-”。

(3)阶梯作用。分为关、重复、单簇3挡。

①重复。阶梯信号重复加在被测管的发射极或基极上,可直观到被测管的特性曲线,并可供摄影用。

②单簇。每扳动至“单簇”挡1次,可相应输出一级阶梯信号,并出现一条曲线,用来观察被测管的各种极限特性。

(4)串联电阻调节旋钮。测量管子的输入特性时,应将阶梯选择旋钮置于“V/簇”,等于将电阻串联在被测管的输入端;直接进入管子输入端时,应将阶梯选择簇钮置于“mA/簇”。

(5)阶梯选择。共有22挡,具有2种作用。可用来观察和选择管子的输入电流和基极阶梯电压。

(6)零电流/零电压转换开关。当开关置于“零电流”时,被测管的基极开路;置于中间

位置时,阶梯信号加到基极;置于“零电压”时,被测管的基极和发射极间短路。

(7)级/簇调节旋钮。可连续调节 4 级~12 级范围内的阶梯信号。

(8)阶梯调零旋钮。在使用本仪器时,需将阶梯信号先调置“零电位”。

6. 测试平台

(1)测试选择。当旋钮置于 A 或 B 时,可用来观察、分析、比较被测两管的各种同类特性;当置于“关”时,信号不能加到管子上。

(2)晶体管插座。端子、管座各两组。

四、JT-1 型晶体管特性图示仪的使用方法

打开电源,工作指示灯亮,预热 15min,并将各控制旋钮和开关调至所需读测的范围。

1. 晶体三极管的测试

以 NPN 型 3DG6 小功率管为例,测定其特性曲线簇。

(1)输出特性曲线簇的测定。将测试选择旋钮置晶体管 A 挡或 B 挡;接地选择旋钮置于“发射极接地”;晶体管插入选择插孔的相应“极性”的引脚中;X 轴作用置于“2V/度”;Y 轴作用置于“1mA—V/度”;阶梯作用选择开关置于“重复”;阶梯选择旋钮置于“0.01mA/级”;基极阶梯信号的极性选择旋钮置于“+”;集电极扫描信号的极性选择旋钮置于“+”;级/簇调节旋钮置于“10 级”;级/s 选择开关置于“200”;峰值电压调节旋钮置于“0V~20V”;功耗限制电阻选择旋钮置于“1k Ω ”。然后逐渐增加峰值 $U_{CE}=12.5V$ 时,其输出特性曲线簇如图 5-12 所示。

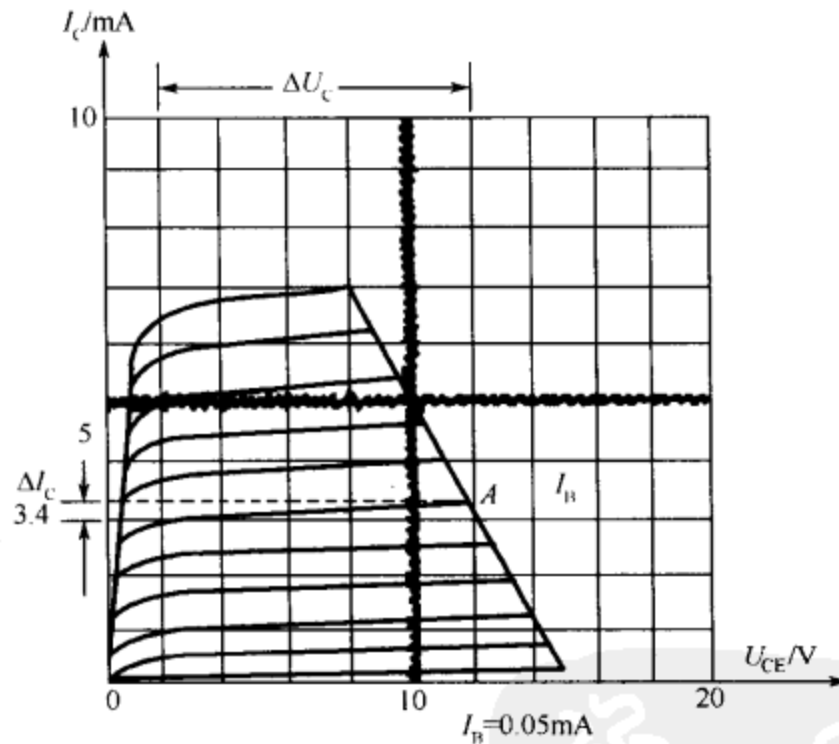


图 5-12 输出特性曲线簇

若这时选择在“A 点”, $I_C=3.4mA$, $I_B=50\mu A=0.05mA$, $U_{CE}=10V$ 。根据有关公式,A 点的共发射极电路的直流电流放大系数 β (或 h_{FE})为:

$$\beta = I_C / I_B = 3.4 / 0.05 = 68$$

(2)集—发间反向击穿电压特性曲线的测定。将集电极扫描信号的极性选择旋钮置于“+”;基极阶梯信号的极性选择旋钮置于“+”;阶梯作用选择开关置于“关”;接地选择

旋钮置于“发射极接地”；峰值电压范围旋钮置于“0V~200V”。然后将峰值电压由零逐渐加大到 25V 时，临近的击穿电压 $BV_{(CEO)}$ 的特性曲线如图 5-13 所示。

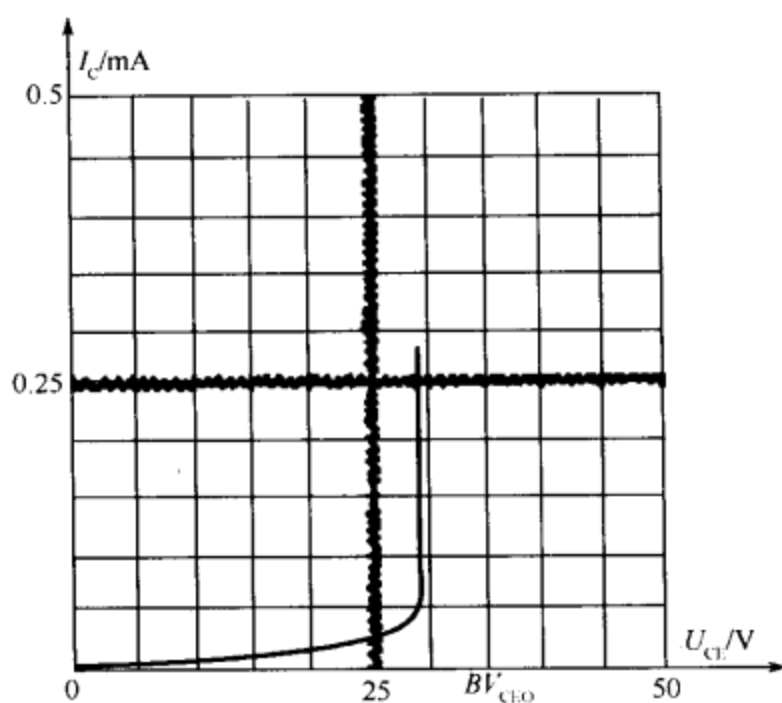


图 5-13 击穿电压 $BV_{(CEO)}$ 的特性曲线

从图 5-13 可知，基极开路时，集电极与发射极之间所能承受的最高反向电压为 25V。

2. 晶体二极管的测试

以硅二极管 1N4001 为例，测定其正向特性曲线。将 Y 轴作用置于“0.2mA—V/度”；X 轴作用置于“0.1V/度”；集电极扫描信号的极性选择旋钮置于“+”；阶梯作用选择开关置于“关”；功耗限制电阻选择旋钮置于“1kΩ”；接地选择旋钮置于“发射极接地”；峰值电压范围调节旋钮置于“0V~20V”；峰值电压从零开始逐渐增加。当峰值电压从 0V~0.5V 时，即硅二极管死区电压约为 A 点电压(0.5V)，超过 A 点电压后，特性曲线接近直线，二极管处于正向导通状态，此时管压降变化不大，硅管为 0.6V~0.7V(见 B 点)，锗管为 0.2V~0.3V。硅二极管正向特性曲线如图 5-14 所示。

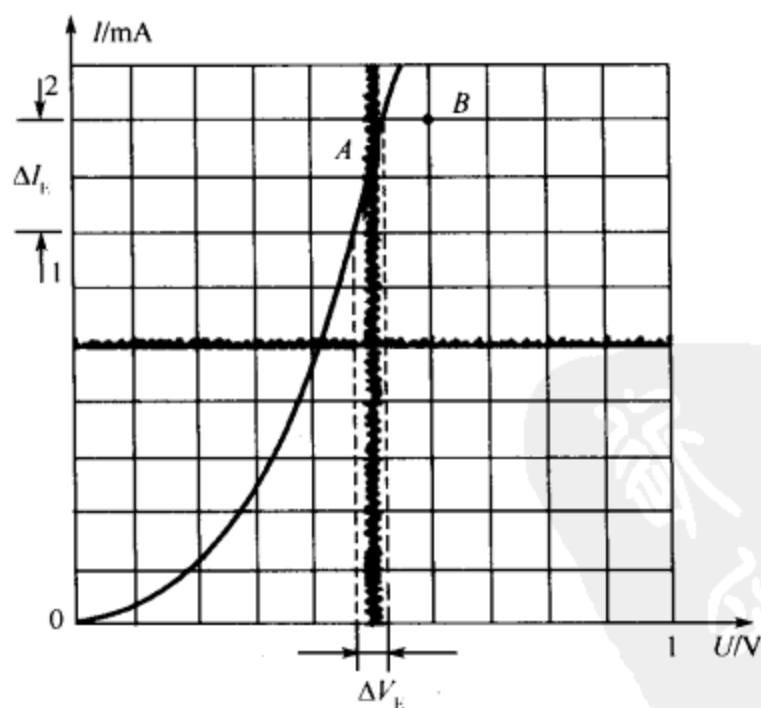


图 5-14 硅二极管正向特性曲线

第六章 信号发生器

能产生各种模拟系统和数字系统调试所需要的激励信号的电子仪器,称为信号发生器,习惯上也称为信号源。信号发生器按输出波形的不同进行分类,可分为正弦波信号发生器、脉冲信号发生器、函数信号发生器、噪声信号发生器等。信号发生器按照频率范围的不同,又可分为低频、视频、高频、甚高频、超高频信号发生器等;本章主要介绍几种常见的低频信号发生器、高频信号发生器、函数信号发生器和电视信号发生器。

第一节 低频信号发生器

低频信号发生器一般指 $1\text{Hz}\sim 1\text{MHz}$ 频段,输出波形以正弦波为主,或兼有方波及其他波形的发生器。由于电路测试的需要,频率也可向下、向上延伸至超低频和高频段。一些老式的低频信号发生器的工作频率范围仅为 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$,也称为音频信号发生器。低频信号发生器可用来测量收录机、扩音机、电子仪器、无线电接收机等装置的低频放大器的频率特性。

一、低频信号发生器的基本组成

低频信号发生器的组成一般包括振荡器、放大器、输出衰减器、输出指示电路和电源,如图 6-1 所示。

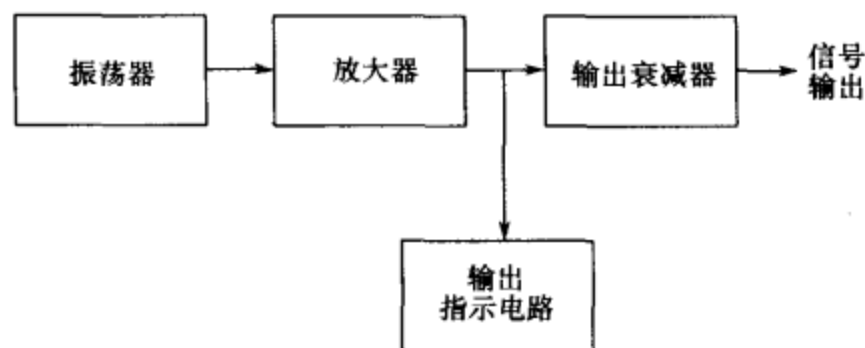


图 6-1 低频信号发生器的组成框图

1. 振荡器

振荡器用来产生低频正弦信号,决定输出频率,其振荡频率范围即为信号发生器的有效频率范围。在通用信号发生器中,振荡器通常使用 RC 振荡器,而其中应用最多的当属文氏桥振荡器。通过改变选频网络的电容器容量来改变频段,调节电位器使同一频段内的频率连续变化。这种振荡器产生的正弦波频率调节方便,可调范围较宽,振荡频率稳定,谐波失真小。

2. 放大器

振荡器产生的信号很弱,因此,必须经过放大器进行放大,以提高信号的能量。

3. 输出衰减器

输出衰减器为被测设备提供所要求的输出信号电压或信号功率,包括调整信号输出电平和输出阻抗的装置。它通常包括衰减器、匹配用阻抗变换器、射级跟随器等电路。

4. 输出指示电路

输出指示电路提供观察输出信号的装置,通常是电压表、功率表、示波器和频率计等。仪器输出特性可根据需要,由输出指示电路显示,并调整到规定的数值。

二、XD-22 型低频信号发生器的使用

XD-22 型低频信号发生器是一种多功能、宽频带的通用测量仪器,它除了产生正弦波信号外,还能产生脉冲信号和逻辑信号(即 TTL 信号、方波)。其面板图如图 6-2 所示。

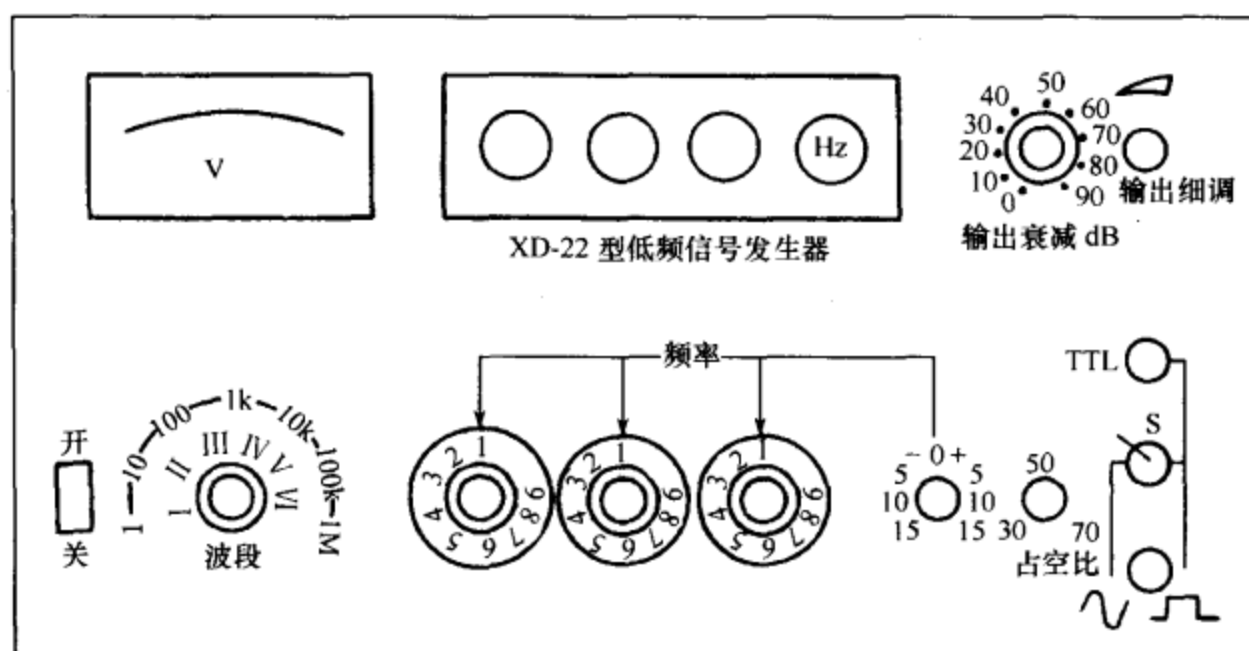


图 6-2 XD-22 型低频信号发生器面板图

XD-22 型低频信号发生器的频率范围为 1Hz~1MHz,共分成了 6 个波段,分别是:

I 波段:1Hz~10Hz;

II 波段:10Hz~100Hz;

III 波段:100Hz~1kHz;

IV 波段:1kHz~10kHz;

V 波段:10kHz~100kHz;

VI 波段:100kHz~1MHz。

低频信号发生器有 3 种输出信号,通过转换开关 S 进行选择。当转换开关 S 置于左边时,下面的输出孔输出正弦波信号,信号幅度大于 6V;当转换开关 S 置于右边时,下面的输出孔输出脉冲信号,信号幅度在 0V~10V 连续可调;上面的输出孔输出逻辑信号(TTL 方波信号),方波高电平幅度为 $4.5\text{V} \pm 0.5\text{V}$,低电平小于 0.3V。

开机前把输出微调旋钮置于最小值处,防止开机时因起振幅度超过正常值,打弯表针;调节波段开关及各个频率转换旋钮至所需频率,频率值由数码管显示。

正弦波信号的输出电压可通过“输出衰减”和“输出细调”旋钮,根据实际需要进行调节。实际输出电压是电压表指示的电压除以被衰减的分贝数对应的电压放大倍数。

例如,把“输出衰减”旋钮置于 10dB 时,指示电压表的读数为 6V,这时的实际输出电

压是多少?

解:根据分贝数 $=20\lg A_v$ (A_v 是电压放大倍数),可得电压放大倍数 $A_v=3.16$ 。

所以,这时实际输出电压为 $6/3.16=1.9(V)$ 。

根据计算,可得出衰减分贝数、电压衰减倍数和实际输出电压关系如表 6-1 所列。

表 6-1 衰减分贝数、电压衰减倍数和实际输出电压关系

衰减分贝数	电压衰减倍数	电压满偏时,实际输出电压	衰减分贝数	电压衰减倍数	电压满偏时,实际输出电压
0	0	6V	50	316	0.019V
10	3.16	1.90V	60	1000	0.006V
20	10	0.60V	70	3160	1.90mV
30	31.6	0.19V	80	10000	0.60mV
40	100	0.06V	90	31600	0.19mV

当输出脉冲信号时,其幅度可由衰减器和微调电位器来调节。脉冲的占空比是指脉冲电压的周期与脉冲宽度之比,调节“占空比”旋钮可以得到不同宽度的脉冲信号。

第二节 高频信号发生器

高频信号发生器是指能产生频率为 $300\text{kHz}\sim 300\text{MHz}$ (允许向外延伸)的正弦信号,具有一种或一种以上调制或组合调制(正弦调制、正弦调频、断续脉冲调制)的信号发生器,也称为射频信号发生器。它为高频电子电路调试提供所需的各种模拟射频信号。

一、高频信号发生器的基本组成

下面以常见的 XFG-7 型高频信号发生器为例进行介绍,其电路组成如图 6-3 所示。

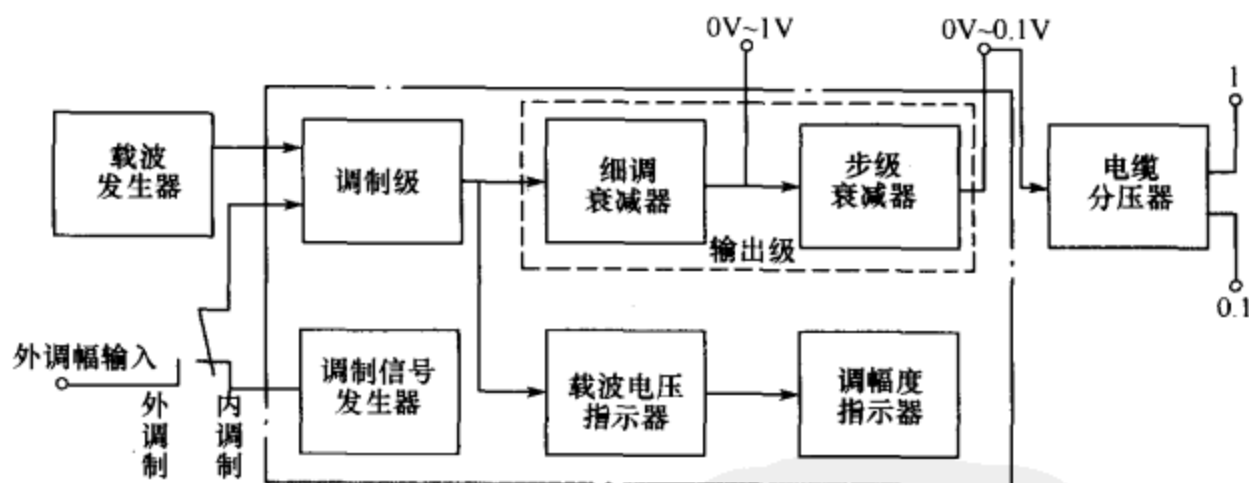


图 6-3 高频信号发生器的组成

高频信号发生器主要包括载波发生器、调制信号发生器、调制级、输出级及电源等组成。

1. 载波发生器

载波发生器也叫高频振荡器,其作用是产生高频等幅正弦波信号。它的频率范围较宽,为 $100\text{kHz}\sim 30\text{MHz}$,分成 8 个波段,并通过可变电容对每个波段频率进行连续调节。

2. 调制信号发生器

调制信号分内调制信号和外调制信号两种。调制信号发生器就是产生内调制信号的,XFG-7 型高频信号发生器产生的内调制信号有 400Hz 和 1000Hz 两种。

3. 调制级

将载波振荡器产生的高频等幅波(载波)与调制信号发生器产生的音频调制信号(400Hz或1000Hz)同时送到调制级后,从调制级输出的就是载有音频信号(400Hz或1000Hz)的调制波了。调制波分调频波和调幅波,XFG-7型的调制级输出的是调幅波。对调幅波来说,有个调幅度(或叫调幅系数)的概念,调幅度 M 可由下式表示,即

$$M = \frac{\Delta U}{U} \times 100\%$$

式中: ΔU 表示已调幅波电压幅度的变化量; U 表示载波电压的幅度值,如图6-4所示。XFG-7型高频信号发生器的调幅度为0~100%。调幅度这个百分数大,表示这个信号发生器的功率大、性能好。在具体使用时,可根据情况来调幅度的大小。

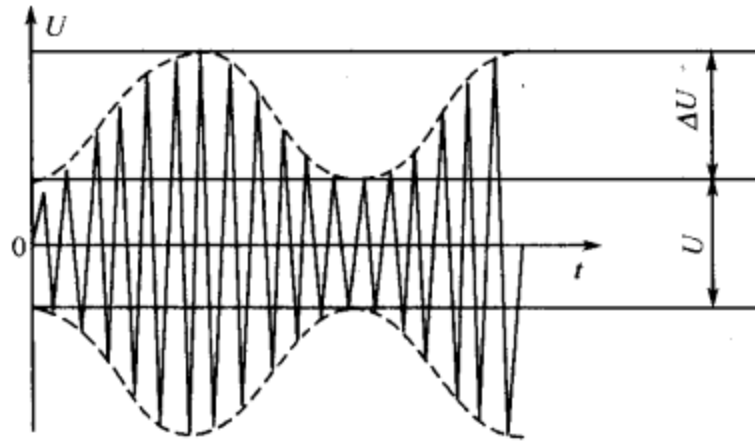


图6-4 调幅波

4. 输出级

输出级的作用是对调制信号进行放大和滤波,在此基础上通过衰减器对输出电平进行较大范围的调节和输出阻抗的变换,以适应各种不同的需要。

输出级的后面还有一个“电缆分压器”,这不是信号发生器的一个组成部分,而是仪器带的1根输出用电缆线,其上带有分压器,所以叫“电缆分压器”。电缆分压器是为了获得更小的输出电压用的,分压器的分压比是1:1和1:10,即对应于电缆接线柱上标有“1”和“0.1”字样,经1:10分压后,在“0.1”处可以得到最小输出电压0.1 μ V。

二、XFG-7型高频信号发生器的使用

1. 性能指标

(1)频率范围。100Hz~30MHz,共分8个频段。

(2)频率刻度误差。 $\pm 1\%$ 。

(3)输出阻抗与输出电压。在“0V~0.1V”插孔中,接有分压电阻的电缆终端输出为接点“1”,输出电阻为40 Ω ,输出电压1 μ V~100000 μ V连续可调。接点“0.1”输出电阻为8 Ω ,输出电压0.1 μ V~10000 μ V连续可调。在“0V~1V”插孔中,开路输出电压为0V~1V连续可调,输出电阻为400 Ω 。

(4)调制频率。

内调制:400Hz、1000Hz。

外调制:载波频率为100kHz~400kHz时,由50Hz~400Hz进行外调制;载波频率

大于 400kHz 时,可由 50Hz~8000Hz 进行外调制。

重点提示 若使用带分压器的电缆输出,在“1”端输出,信号不衰减,为 $1\mu\text{V}\sim 10^5\mu\text{V}$ (0.1V),输出阻抗为 40Ω ;在“0.1”端输出,信号衰减 10 倍,为 $0.1\mu\text{V}\sim 10^4\mu\text{V}$ (0.01V),输出阻抗为 8Ω 。实际上,带分压器的电缆一般情况下用不上,因为灵敏度较高的收音机接收的电波的强度也在 $100\mu\text{V}$ 以上,用 0V~0.1V 孔就可以了。

2. 面板说明

XFG-7 型高频信号发生器的面板如图 6-5 所示。

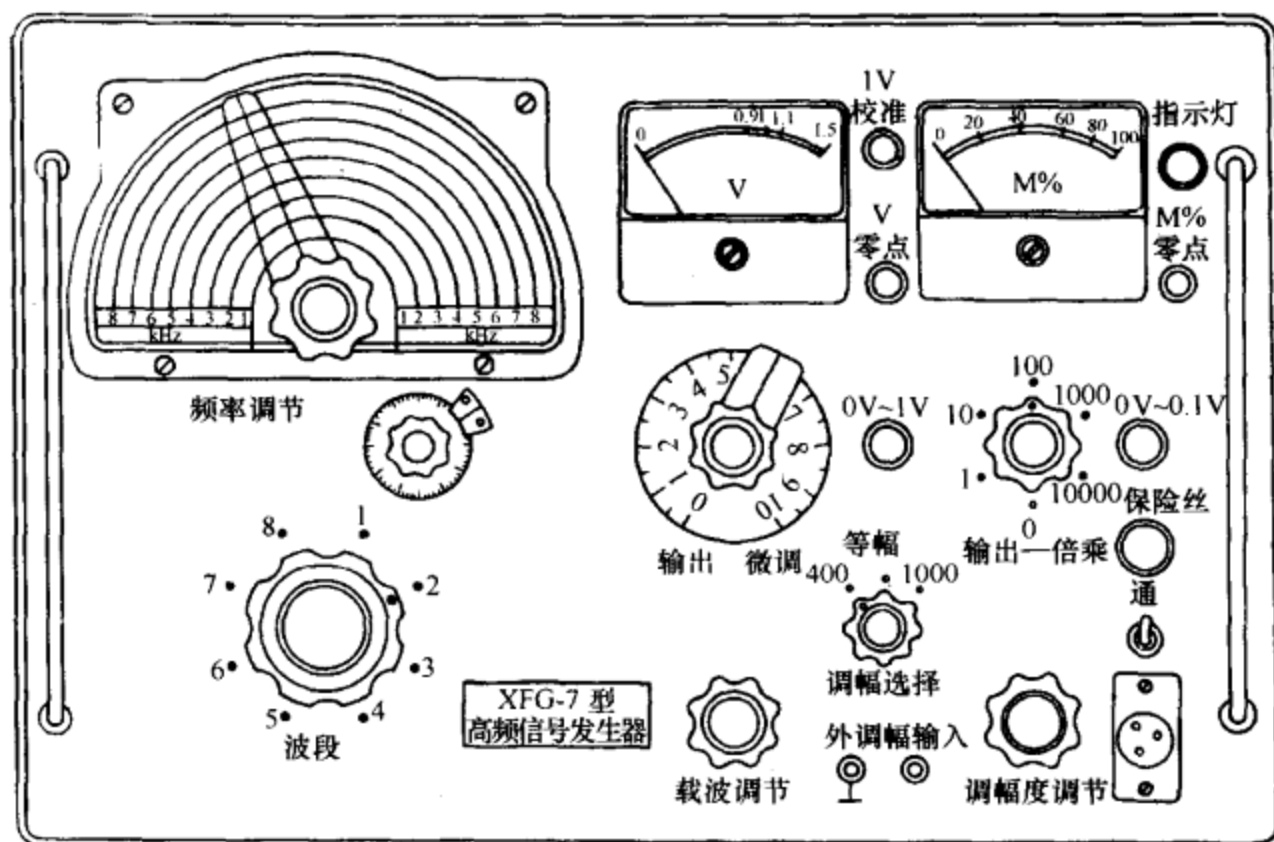


图 6-5 XFG-7 型高频信号发生器的面板

(1)“波段”开关。改变载波发生器振荡回路的电感线圈,以改变其工作波段。共分成 8 个波段,分别与频率刻度盘上的 8 条刻度线相对应。

(2)“频率调节”旋钮。改变载波发生器的可变电容,以便在每个波段中连续的改变振荡频率。使用时,先调节带指针的粗调旋钮,调到需要的频率附近时,再利用微调旋钮调节到准确的频率上。

(3)“载波调节”旋钮。改变载波电压的幅度,使电压表指示在 1V 的红线上。

(4)“输出-微调”旋钮。改变输出信号的幅度,它共分 10 大格,每大格又分 10 小格。

(5)“输出-倍乘”开关。用以改变输出电压的步级衰减器,分 1、10、100、1000、10000 5 挡。当电压表准确地指示在“1V”红线上时,从“0V~0.1V”插孔输出的信号电压,就是“输出-微调”旋钮上的读数与这个开关上倍乘数的乘积。单位为微伏(μV)。

(6)“调幅选择”开关。用以改变内调制信号的振荡频率。它分 3 挡:400、1000 和等幅,在“400”和“1000”挡时,仪器分别输出载有 400Hz 和 1000Hz 的音频信号的高频调幅信号;在“等幅”挡时,仪器输出高频等幅波信号。

(7)“调幅度调节”旋钮。用以改变调制信号发生器产生的音频信号(400Hz 和 1000Hz)的幅度。当载波频率电压表“V”指示在 1V 时,改变音频信号的幅度,就改变了输出的调幅波的调幅度,在“M%”调幅度表上显示出来。