

第2章 常用电子仪器的使用

知识目标

了解常用电子仪器的性能特点及使用方法(了解常用电子仪器的性能,是进行电子实训必须具备的基本知识);会正确使用仪器说明书;掌握使用电子仪器的一般规则。

技能目标

正确地选择和使用电子仪器;掌握常用电子仪器的配合使用;了解仪器使用的注意事项、维护方法。

2.1 电子仪器的分类

利用电子技术对各种电量进行测试的设备统称为电子仪器。常用电子仪器按功能可分为专用仪器和通用仪器。专用仪器是为特定目的专门设计制作的仪器,适用于特定的测试对象,方便使用。通用仪器的应用面广、灵活性好。本书所讲述的仪器多数是通用仪器,按其用途可分为下列几种:

(1) 信号发生器:通常使用的信号发生器有高频和低频正弦波信号发生器、脉冲发生器、函数发生器、噪声发生器等。

(2) 电压表:在电子线路实验中一般使用电子电压表、数字电压表等。元器件参数测量仪器包括电桥、Q表、晶体管特性参数图示仪、集成电路测试仪等。

(3) 示波器:包括通用示波器、多踪示波器等。

(4) 频率、相位测量仪器:包括通用电子计数器、数字式频率计、数字式相位计等。

(5) 模拟电路特性测试仪:包括失真度测试仪、扫频仪、噪声系数测试仪等。

(6) 数字电路特性测试仪:包括逻辑笔、逻辑分析仪等。

20世纪70年代起,微处理器开始用于电子仪器,制成“智能仪器”。智能仪器具有自动化测试功能,它能够进行自动测试、分析并显示测试结果。智能仪器虽然先进,但它还不能完全取代传统的电子仪器,因为并非所有场合都需要自动化测试。在实际工作中,只有在需要大量重复或快速测试的情况下,使用智能仪器才有意义。其他场合大量使用的仍是传统的通用仪器。因此熟练掌握传统的通用仪器的使用技术是十分重要的。

2.2 常用电子仪器的介绍与使用

2.2.1 示波器

示波器是一种用来观察各种周期性变化的电压和电流波形的电子仪器,可用来测电压或电流的幅度、频率、相位、调制度及脉冲信号的各种电参量。它是电工、电子实验中必不可少的常用电子测量仪器。

1. 示波器的种类

示波器的种类较多,主要有通用示波器和专用示波器两大类。按不同的分类方法来分,有高频和低频示波器;有单踪、双踪和多踪示波器;有取样、记忆和存储示波器;有数字示波器、逻辑或智能示波器。通常使用通用示波器、多踪示波器。

2. 示波器的工作原理

通用型示波器由示波管、垂直偏转系统、水平偏转系统、扫描发生器、同步触发放大器及电源等主要部分组成,如图 2-1 所示。

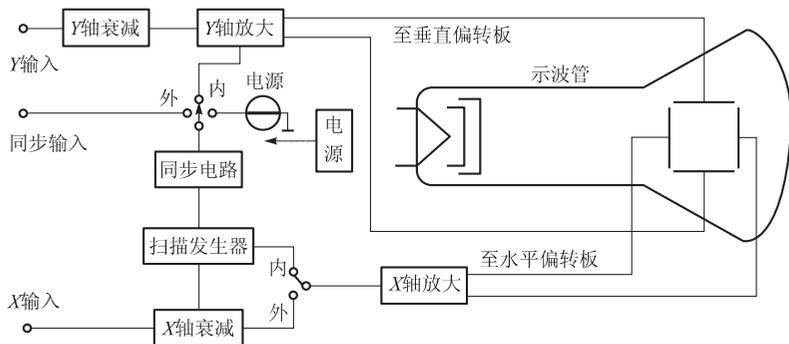


图 2-1 示波器基本组成图

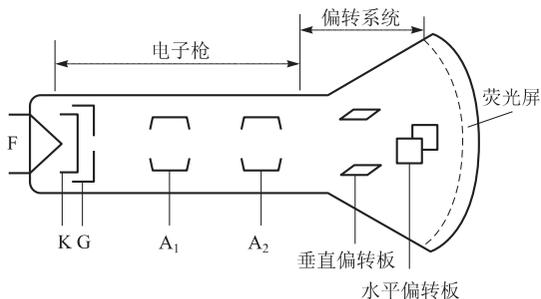


图 2-2 示波管结构图

1) 示波管

示波管是示波器的核心,它是将电信号变为光信号的转换器,其基本结构包括电子枪、偏转系统和荧光屏三部分,如图 2-2 所示。

(1) 电子枪。如图 2-2 所示,电子枪由灯丝 F、阴极 K、栅极 G、第一阳极 A_1 和第二阳极 A_2 组成。阴极是一个表面涂有氧化物

的金属圆筒,当灯丝通电加热后,阴极发射出电子。栅极是一个顶端有小孔的圆筒套,罩在阴极的外边。从阴极发射出来的电子,穿过栅极以后,受到第一、第二阳极的聚焦和加速作用,形成一束紧紧在一起的电子束,它通过偏转板打在荧光屏上,形成光点。调节栅极电位(栅极电位比阴极电位低)可以控制射向荧光屏电子流的密度,即可改变光点的亮度,因此叫“辉度”调节。改变第一和第二阳极电位,可以起到聚焦作用,使光点的直径小、图形更清晰,这就是“聚焦”调节。“辉度”调节、“聚焦”调节的旋钮均安装在示波器的面板上,供使用者操作。

(2)偏转系统。为了使电子束产生偏转,示波管装有两对互相垂直的 Y 轴偏转板和 X 轴偏转板。偏转板的中心轴线与示波器的中心轴线相重合。当垂直、水平偏转板上都没有加电压时,电子束穿过偏转板直射到荧光屏上,在荧光屏的中央出现光点;当被测信号作用在 Y 轴偏转板上,锯齿波扫描电压作用在 X 轴偏转板上时,电子束则在垂直方向和水平方向作偏转。

(3)荧光屏。荧光屏内壁上涂有一层荧光物质构成荧光膜,在高速电子束轰击下,荧光物质被激发而发出可见光形成光点。在电子束随着作用于垂直偏转板和水平偏转板上所加信号电压发生偏转时,信号的波形就通过光点的移动轨迹而显示在荧光屏上。

2) 水平偏转系统(水平通道)

水平偏转系统的任务是用于产生时间基准的扫描电压 V_x 。其系统一般由触发电路(同步电路)、扫描电路和水平放大器3部分组成。

扫描电压 V_x 一般是一个锯齿波电压。如果仅在水平偏转板上加入一个随时间变化的锯齿形电压,如图2-3所示,这时荧光屏上形成的光点将在 X 轴上从左向右移动,当锯齿波电压升到最大值时,光点也达到最大偏转。然后又重新返回原来的起点,再开始另一次循环。如果锯齿波频率较高时,从示波器荧光屏上看到的就是一条水平亮线,这一过程称为扫描。加入水平偏转板的锯齿波电压称为扫描电压,扫描形成的水平亮线称为时间基线。

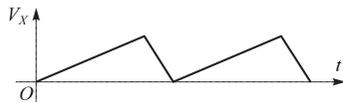


图2-3 锯齿形电压

锯齿波电压由扫描发生器产生,经水平放大器放大后,再加在示波器的水平偏转板上。为了观察被测量信号的波形,在垂直偏转板上加入被测信号电压,在水平偏转板上加入扫描电压,这时从示波器阴极发射的电子束在垂直方向的运动受到被测电压 V_y 的控制,同时也随着时间将它沿 X 轴方向展开,则被测电压 V_y 的波形就显示在荧光屏上,这就是示波器的波形显示原理。

在荧光屏上要得到稳定的显示波形,要求扫描电压 V_x 的周期 T_x 与 Y 轴输入的被测电压 V_y 的周期 T_y 之比 n 具有整数倍的关系,即 $n=T_x/T_y$,式中 n 为正整数。如果不能满足上述条件,荧光屏上显示的波形就不会稳定,会向左或向右移动。在使用示波器时,将调成始终保持 $T_x=nT_y$ 关系的过程为“同步”调节。

示波器的扫描方式有连续扫描和触发扫描两类,示波器中多使用触发扫描。触发扫描是只有在触发信号作用下才开始扫描,每到一个触发信号只扫描一次。第二次扫描须在第二个触发信号作用下才能触发。

触发信号可以从 3 个方面进行选择:触发信号取自于被测信号,称为内触发;触发信号来自外部输入的某一信号,称为外触发;触发信号来自 50 Hz 的交流电源,称为电源触发。一般情况下使用“内触发”。

3) 垂直偏转系统(垂直通道)

垂直偏转系统是被测信号的主要传输通道,其作用是将被测信号电压进行处理后,送到示波器垂直偏转板(Y 轴偏转板)上进行观察。

垂直通道主要包括衰减器、放大器和延迟电路等部分。

(1) 衰减器。衰减器是一个电阻分压器。当测量幅度较大的信号时,须将输入的被测信号进行衰减,否则荧光屏上显示的波形会出现失真。衰减器可以使各种不同幅度的被测信号都能在荧光屏上显示出大小合适的波形。

(2) 放大器。Y 轴输入通道的放大器的作用是放大被测电压信号的幅度,以推动示波器的垂直偏转板。

(3) 延迟电路。当示波器处于内触发工作方式时,从 Y 轴放大器取出信号作用于触发电路,产生触发信号去触发扫描电路开始扫描,这就可能出现扫描信号滞后作用于垂直偏转板上的被测信号的现象,因此,导致荧光屏上显示的波形缺少被测信号在开始部分的图形。在 Y 轴通道设置延迟电路后,可使作用于垂直偏转板上的被测信号延迟到扫描电压出现之后到达,这样就可以观测到包括被测信号起始部分的全部图形。

3. DF4320 双通道示波器及使用

本示波器为 20 MHz 便携式双通道示波器。

1) 技术性能(见表 2-1、表 2-2)

表 2-1 技术性能

项 目		指 标
垂 直 偏 转 系 统	偏转因数范围	5 mV/div~20 V/div,按 1-2-5 顺序分 12 挡
	精度	±5%
	微调控制范围	>2.5:1
	上升时间	
	+5℃~+35℃	17.5 ns
	0℃~0.5℃或 3532~4032	<23.3 ns
	带宽 0.3 dB	
	+5℃~+35℃	>20 MHz
	0℃~5℃或 35℃~40℃	>15 MHz
AC 耦合下限频率	<10 MHz	

续表

项 目		指 标
水 平 偏 转 系 统	扫描时间因数	0.2 s/div~0.1 μ s/div,按 1-2-5 顺序分 20 挡, 使用扩展 $\times 5$ 时,最快扫描速率为 20 ns/div
	精度	$\times 1: \pm 5\%$ $\times 5: \pm 8\%$
	微调控制范围	$> 2.5:1$
校 准 信 号	波形	方波
	幅度	0.5 V $\pm 2\%$
	频率	1 kHz $\pm 2\%$

表 2-2 触发系统技术性能

触 发 灵 敏 度	常态或自动方式	内	1.5 div
		外	0.5 div
	电视场方式(复合同步信号测试)	内	1 div
		外	0.3 div
在自动方式下的下限触发频率		< 20 Hz	

2) 面板控制件的功能

示波器面板示意图如图 2-4 所示。面板控制件的名称及功能说明见表 2-3。

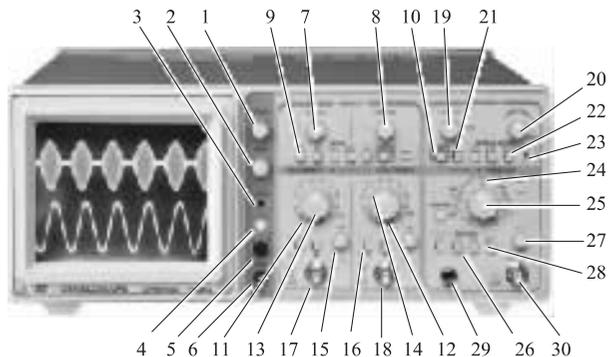


图 2-4 示波器面板示意图

表 2-3 示波器的面板名称及功能

序号	控制件名称	功 能
1	亮度 (INTENSITY)	轨迹亮度调节
2	聚焦 (FOCUS)	轨迹清晰度调节
3	轨迹旋转 (TRACE ROTATION)	调节轨迹与水平刻度线平行
4	电源指示 (POWER INDICATOR)	电源接通时指示灯亮
5	电源 (POWER)	电源开关
6	校准信号 (PROBE ADJUST)	
7、8	垂直移位 (VERTICAR POSITION)	调整轨迹在屏幕中的垂直位置
9	垂直方式 (VERTICAR MODE)	垂直通道的工作方式选择
10	通道 2 极性 (CH2 MORM INVERT)	提供幅度为 0.5 V, 频率为 1 kHz 的方波信号, 用于调整探头的补偿和检查垂直与水平电路的基本功能
11、12	电压衰减 (VOLTS/DIV)	垂直偏转灵敏度调节
13、14	微调 (VARIABLE)	用于连续调节垂直偏转灵敏度
15、16	耦合方式 (AC-GND-DC)	用于选择被测信号馈入至垂直的耦合方式
17、18	CH1 OR X; CH2 OR Y	被测信号的输入端口
19	水平移动 (HORIZONTAL POSITION)	用于调节轨迹在屏幕中的水平位置
20	电平 (LEVEL)	用于调节被测信号在某一电平触发扫描
21	触发极性 (SLOPE)	用于选择信号上升或下降沿触发扫描
22	扫描方式 (SWEEP MODE)	扫描方式选择: 自动 (AUTO)、常态 (NORM)
23	被触发或准备指示灯	在被触发扫描时指示灯亮, 在单次扫描时, 灯亮指示扫描电路在触发等待状态
24	扫描速率 (SEC/DIV)	用于调节扫描速度
25	微调、扩展 (VARIABLE PULL \times 5)	用于连续调节扫描速度。在旋钮拉出时, 扫描速度被扩大 5 倍
26	触发源 (TRIGGER SOURCE)	用于选择产生触发的源信号
27	触发耦合 (COUPLING)	用于选择触发信号的耦合方式
28	接地 (\perp)	安全接地
29	外触发输入 (EXT INPUT)	触发信号插座
30	Z 输入 (Z AXIS INPUT)	亮度调节信号输入插座

续表

序号	控制件名称	功 能
31	电源插座	电源输入插座
32	电源设置	110 V 或 220 V 电源设置
33	保险座	电源保险插座
	(SWEEP MODE)	
注:31—33 在图 2-4 中未列出,其位于示波器背面		

3) 操作方法

(1) 面板一般功能的检查。

① 调节面板有关旋钮,置于适当位置。

② 接通电源,电源指示灯亮,稍预热,屏幕中出现光迹,分别调节亮度和聚焦旋钮,使光迹的亮度适中、清晰。

③ 通过连接电缆将本机校准信号输入至 CH1 (CH2)通道。

(2) 亮度控制。调节辉度电位器,使屏幕显示的轨迹亮度适中。

(3) 垂直系统的操作。

① 垂直方式的选择。当只需观察一路信号时,将“MODE”开关按入“CH1”或“CH2”,此时选中的通道信号有效,被测信号可从通道端口输入。

当需要同时观察两路信号时,将“MODE”开关置交替“ALT”,该方式使两个通道的信号交替显示,交替显示的频率受扫描周期控制。当扫描在低速挡时,交替方式的显示将会出现闪烁,此时将开关置连续“CHOP”位置;当需要观察两路信号的代数和时,将“MODE”开关置“ADD”位置,在选择该方式时,两个通道的衰减设置必须一致,将“CH2 INVERT”按入,可得到两个信号相加的显示。

② 输入耦合选择。

直流(DC)耦合:适用于观察包含直流成分的信号。

交流(AC)耦合:信号中的直流成分被隔断,用于观察信号的交流成分。

(4) 水平系统的操作。

① 扫描速度的设定。扫描范围从 $0.1 \mu\text{s}/\text{div}$ 到 $0.2 \text{ s}/\text{div}$ 按 1—2—5 进位分 20 挡步进,微调“VARIABLE”提供至少 2.5 倍的连续调节,根据被测信号频率的高低,选择合适的挡级。在微调顺时针旋至校正位置时,可根据度盘的指示值和波形在水平轴方向上的距离读出被测信号的时间参数,当需要观察波形的某一个细节时,可拉出扩展旋钮,此时原波形在水平方向被扩展 5 倍。

② 扫描方式的选择。自动(AUTO):当无触发信号输入时,屏幕上显示扫描光迹,一旦有

触发信号输入,电路自动转换为触发扫描状态。

常态(NORM):无信号输入时,屏幕上无光迹显示,有信号输入时,触发电平调节在合适位置上,电路被触发扫描。

单次(SINGLE):用于产生单次扫描,按动此键,扫描方式开关均被复位,电路工作在单次扫描方式,“READY”指示灯亮,扫描电路处于等待状态,当触发信号输入时,扫描产生一次,“READY”指示灯灭,下次扫描需要再次按动单次开关。

③ 触发源的选择。触发源有四种方式选择。

当垂直方式工作于“交替”或“断续”时,触发源选择某一通道,可用于两通道时间或相位的比较;当两通道的信号(相关信号)频率有差异时,应选择频率低的那个通道用于触发。

在单踪显示时,触发源选择无论是置“CH1”或“CH2”,其触发信号都来自于被显示通道。

④ 极性的选择。用于选择触发信号的上升或下降沿触发扫描。

⑤ 耦合方式的选择。“AC/DC”仅适用于选择外触发信号的耦合,内触发信号的耦合被固定于AC状态。

4) 测量举例

示波器应用范围十分广泛,这里仅就它的一些应用,举例说明。

(1) 峰—峰电压的测量。对被测信号波形峰—峰电压的测量,步骤如下:

① 将信号输入至CH1或CH2,将垂直方式置选用的通道。

② 设置电压衰减器并观察波形,使被显示的波形幅度在5格左右,将衰减微调顺时针旋足(校正位置)。

③ 调整触发电平,使波形稳定。

④ 调整扫描速度控制器,使屏幕显示至少一个波形周期。

⑤ 调整垂直移位,使波形的底部在屏幕中的某一水平坐标上,如图2-5A点所示。

⑥ 调整水平位移,使波形的顶部在屏幕中央的垂直坐标上,如图2-5B点所示。

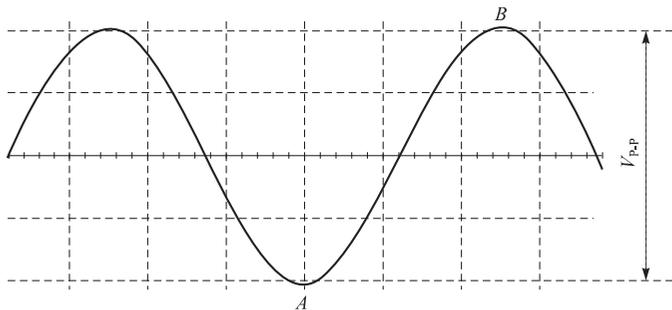


图 2-5 峰—峰电压波形图

⑦ 测量垂直方向 $A-B$ 两点的格数。

被测信号的峰—峰电压值(V_{p-p})按下面公式计算:

$$V_{p-p} = \text{输入信号在垂直方向显示的格数} \times \text{设定值}(V/\text{div})$$

例如,在图 2-5 中,测出 $A-B$ 两点的垂直格数为 4 格,垂直偏转灵敏度开关为 $5 V/\text{div}$, 则 $V_{p-p} = 4 \times 5 = 20 V$ 。

(2) 直流电压的测量。直流电压的测量步骤如下:

① 设置面板控制器,使屏幕上显示出扫描基线(时基线)。

② 设置被选用通道的耦合方式为“GND”。

③ 调节垂直移位,使扫描基线在某一水平坐标上,定义此时的电压为零,即此时显示的时基线为零电平的参考基准线。

④ 加入被测信号。

⑤ 将 Y 轴耦合开关置“DC”位置,调整衰减器,使扫描基数偏移在屏幕中的一个合适的位置上(微调顺时针旋足处)。

⑥ 测量扫描线在垂直方向偏移基线的距离。

⑦ 按下式计算被测直流电压值:

$$V = \text{垂直方向显示的格数} \times \text{设定值}(V/\text{div}) \times \text{偏转方向}(+ \text{或} -)$$

(3) 时间测量。用示波器可以测量信号的参数,如周期 T 、脉冲波形的宽度、上升沿时间、下降沿时间等。

(4) 时间间隔的测量。对一个波形中两点间时间间隔的测量,可按如下步骤进行:

① 将被测信号馈入 CH1 或 CH2 插座,设置垂直方式为选用的通道。

② 调整触发电平使波形稳定显示。

③ 将扫速“微调”旋钮置于校正位置,调整扫速选择开关,使屏幕显示 1~2 个信号周期。

④ 分别调整垂直移位和水平移位,使波形中需测量的两点位于屏幕中央的水平刻度线上。

⑤ 按下式计算被测两点之间水平距离的时间间隔。

$$S(\text{时间间隔}) = \frac{\text{两点间的水平距离(格)} \times \text{扫描时间因数(时间/格)}}{\text{水平扩展因数}}$$

例如在图 2-6 中,测得 $A-B$ 两点间的水平距离为 4 格,扫描时间因数设置为 2 ms/格 , 水平扩展为 $\times 1$, 则时间间隔 $= 4 \text{ 格} \times 2 \text{ ms/格} / 1 = 8 \text{ ms}$ 。

(5) 周期和频率的测量。在图 2-6 所示的例子中,测得 $A-B$ 两点间的时间间隔正好为该信号的周期(T), 该信号的频率 f 则为 $1/T$, 即 $f = 1/T = 1/(8 \times 10^{-3}) = 125 \text{ Hz}$ 。

2.2.2 信号发生器

信号发生器是一种能产生信号电源的仪器。同示波器一样,信号发生器是最基本和应用最广泛的电子仪器之一。

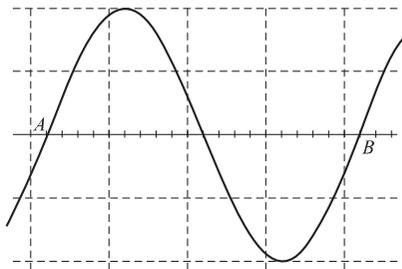


图 2-6 时间间隔的测量

1. 信号发生器的分类

信号发生器的种类繁多,型号复杂,分类方法各异,常见的分类方法如下。

1) 按输出波形分类

按信号波形分类,有正弦信号发生器、方波信号发生器、脉冲信号发生器、函数信号发生器等。

2) 按输出频率范围分类

按信号发生器能提供的频率范围分类,有超低频信号发生器、低频信号发生器、视频信号发生器、高频信号发生器、超高频信号发生器。

2. YB1610 函数信号发生器

1) 技术指标(见表 2-4)

- (1) 具有数字频率计功能。
- (2) 内置线性和对数扫频功能。
- (3) 外接调频功能和 VCF 压控输入。
- (4) 具有 50 Hz 正弦波输出。
- (5) TTL/CMOS 输出。
- (6) 具有正弦波、方波、三角波、斜波、脉冲波。
- (7) 用两组 LED 显示器分别显示输出电压及频率值。
- (8) 采用全金属外壳,具有优良的电磁兼容性,外形更加坚固。

表 2-4 YB1610 函数信号发生器技术指标

型 号	YB1610 函数信号发生器
频率范围	0.15 Hz~15 MHz
输出波形	正弦波、方波、三角波、脉冲波、斜波、50 Hz 正弦波
方波上升时间	25 ns
输出电压幅度	$\geq 10 V_{p-p}$ (1 M Ω) $\geq 10 V_{p-p}$ (50 Ω)
直流偏置	$\pm 10 V$ (1 M Ω) $\pm 5 V$ (50 Ω)
输出阻抗	50 Ω
占空比调节	20%~80%
计数范围	6 位(999 999)
幅度显示、分辨率	3 位,分辨率:1 m V_{p-p} (40 dB)
TTL 输出幅度	“0”: $\leq 0.6 V$;“1”: $\geq 2.8 V$
TTL 输出阻抗	600 Ω

续表

型 号	YB1610 函数信号发生器
频率测量精度	6 位 $\pm 1\%$ ± 1 个字
外测频范围	1 Hz~150 MHz
幅度显示误差	$\pm 15\%$ ± 1 个字
	功率输出(仅 YB1600P 系列)
输出电压	$35V_{P-P}$
输出功率	≥ 10 W
直流电平偏移范围	+15 V~-15 V
	物理特性
电源电压	AC 220 V $\pm 10\%$; 50 Hz $\pm 5\%$
外形尺寸	105 \times 225 W \times 585D(mm)
质量	约 3 kg

2) YB1610 函数信号发生器面板介绍

YB1610 函数信号发生器面板及背面如图 2-7、图 2-8 所示。

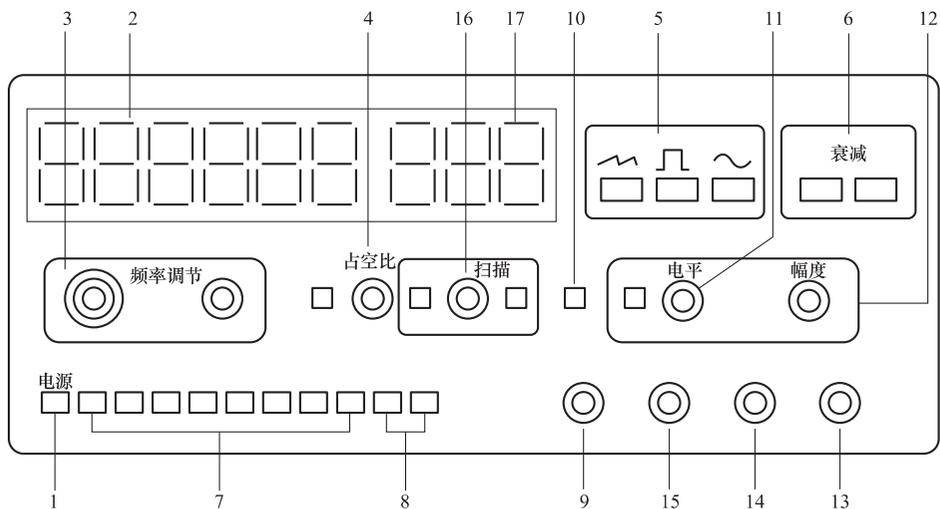


图 2-7 YB1610 函数信号发生器面板

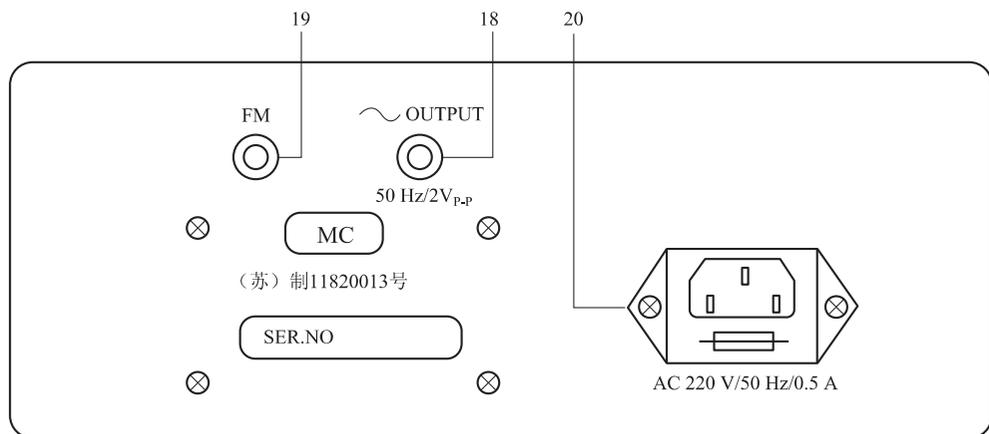


图 2-8 YB1610 函数信号发生器背面

图 2-7、图 2-8 中,各部件如下:

(1) 电源开关(POWER):将电源开关按键弹出即为关,将电源线接入,按电源开关,以接通电源。

(2) LED 显示窗口:此窗口指示输出信号的频率,当外测开关按入,显示外信号的频率。如超出测量范围,溢出指示灯亮。

(3) 频率调节旋钮(FREQUENCY):调节此旋钮改变输出信号频率,顺时针旋转,频率增大,逆时针旋转,频率减小,微调旋钮可以微调频率。

(4) 占空比(DUTY):占空比开关,占空比调节旋钮,将占空比开关按入,占空比指示灯亮,调节占空比旋钮,可改变波形的占空比。

(5) 波形选择开关(WAVE FORM):按对应波形的某一键,可选择需要的波形。

(6) 衰减开关(ATTN):电压输出衰减开关,三挡开关组合为 20 dB、40 dB、60 dB。

(7) 频率范围选择开关(并兼频率计闸门开关):根据所需要的频率,按其中一键。

(8) 计数、复位开关:按计数键,LED 显示开始计数,按复位键,LED 显示为 0。

(9) 计数/频率端口:计数、外测频率输入端口。

(10) 外测频率开关:此开关按入,LED 显示窗显示外测信号频率或计数值。

(11) 电平调节:按入电平调节开关,电平指示灯亮,此时调节电平调节旋钮,可改变直流偏置电平。

(12) 幅度调节旋钮(AMPLITUDE):顺时针调节此旋钮,增大电压输出幅度。逆时针调节此旋钮可减小电压输出幅度。

(13) 电压输出端口(VOLTAGE OUT):电压输出由此端口输出。

(14) TTL/CMOS 输出口:由此端口输出 TTL/CMOS 信号。

(15) VCF: 由此端口输入电压, 控制频率变化。

(16) 扫频: 按入扫频开关, 电压输出端口输出信号为扫频信号, 调节速率旋钮, 可改变扫频速率, 改变线性/对数开关可产生线性扫频和对数扫频。

(17) 电压输出指示: 3 位 LED 显示输出电压值, 输出接 $50\ \Omega$ 负载时应将读数除以 2。

(18) 50 Hz 正弦波输出端口: 50 Hz 约 $2V_{p-p}$ 正弦波由此端口输出。

(19) 调频(FM)输入端口: 外调频波由此端口输入。

(20) 交流电源 220 V 输入插座。

3) 基本操作方法

打开电源开关之前, 首先检查输入电压, 将电源线插入后面面板上的电源插孔, 设定各个控制键, 见表 2-5。

表 2-5 各控制键名称及功能

电 源	电源开关弹出
衰减开关	弹出
外测频	外测频开关弹出
电平	电平开关弹出
扫频	扫频开关弹出
占空比	占空比开关弹出

所有的控制键如上设定后, 打开电源。函数信号发生器默认 10 k 挡正弦波, LED 显示窗口显示本机输出信号频率。

(1) 将电压输出信号由幅度(VOLTAGE OUT)端口通过连接线送入示波器 Y 输入端口。

(2) 三角波、方波、正弦波产生:

① 将波形选择开关(WAVE FORM)分别按正弦波、方波、三角波。此时示波器屏幕上将分别显示正弦波、方波、三角波。

② 改变频率选择开关, 示波器显示的波形以及 LED 窗口显示的频率将发生明显变化。

③ 幅度旋钮(AMPLITUDE)顺时针旋转至最大, 示波器显示的波形幅度将 $\geq 20V_{p-p}$ 。

④ 将电平开关按入, 顺时针旋转电平至最大, 示波器波形向上移动, 逆时针旋转, 示波器波形向下移动, 最大变化量在 ± 10 以上。注意: 信号超过 $\pm 10\ V$ 或 $\pm 5\ V(50\ \Omega)$ 时被限幅。

⑤ 按下衰减开关, 输出波形将被衰减。

(3) 计数、复位。

① 按复位键, LED 显示全为 0。

② 按计数键, 计数/频率输入端输入信号时, LED 显示开始计数。

(4) 斜波产生。

- ① 波形开关置“三角波”。
- ② 占空比开关按入,指示灯亮。
- ③ 调节占空比旋钮,三角波将变成斜波。

(5) 外测频率。

- ① 按入外测开关,外测频指示灯亮。
- ② 外测信号由计数/频率输入端输入。

③ 选择适当的频率范围,由高量程向低量程选择合适的有效数,确保测量精度(注意:当有溢出指示时,请提高一档量程)。

(6) TTL 输出。

- ① TTL/CMOS 端口接示波器 Y 轴输入端(DC 输入)。
- ② 示波器将显示方波或脉冲波,该输出端可作 TTL/CMOS 数字电路实验时钟信号源。

(7) 扫频(SCAN)。

- ① 按入扫频开关,此时幅度输出端口输出的信号为扫频信号。
- ② 线性/对数开关,在扫频状态下弹出时为线性扫频,按入时为对数扫频。
- ③ 调节扫频旋钮,可改变扫频速率,顺时针调节,增大扫频速率,逆时针旋转,减慢扫频速率。

(8) VCF(压控测频)。由 VCF 输入端口输入 $0\sim 5\text{ V}$ 的调制信号。此时,幅度输出端口输出为压控信号。

(9) 调频(FM):由 FM 输入端口输入电压为 $10\text{ Hz}\sim 20\text{ kHz}$ 的调制信号,此时,幅度端口输出为调频信号。

(10) 50 Hz 正弦波:由交流 OUTPUT 输出端口输出 50 Hz 约 $2V_{p-p}$ 的正弦波。

2.2.3 交流电压表

1. 交流电压表的特点

(1) 灵敏度高。灵敏度反映了毫伏表测量微弱信号的能力,灵敏度越高,测量微弱信号的能力越强。一般毫伏表可以测量从 $1\text{ mV}\sim 300\text{ V}$ 的正弦电压有效值。

(2) 工作频率范围宽。被测信号的频率范围在 $5\text{ Hz}\sim 2\text{ MHz}$ 而普通万用表交流电压挡信号频率一般为 $45\sim 1\,000\text{ Hz}$ 。

(3) 输入阻抗高。毫伏表测量时,与被测量电路并联,其输入阻抗高,对测量电路的分流作用小,测量结果较为接近被测交流电压的实际值。一般毫伏表的输入阻抗可达到几百千欧甚至几兆欧。

2. 交流电压表的种类

交流电压表种类繁多。按所用电路元器件不同可分为电子管毫伏表、晶体管毫伏表和集成电路毫伏表 3 种。最常见的是晶体管毫伏表。例如:DF2173B,DA-16 等。早期生产的 GB-9,GB-9B 等毫伏表均属电子管毫伏表。按所能测量信号的频率范围不同可分为视频毫伏表和

超高频毫伏表。

3. 交流电压表的基本组成

毫伏表的电路结构有“检波—放大”式和“放大—检波”式两种不同的形式,图 2-9 为常用“放大—检波”式毫伏表原理图。毫伏表由量程开关部分、放大电路、检波电路和指示电路四部分组成。被测信号电压经可变分压器(量程开关)进入交流放大器进行放大,以提高毫伏表的灵敏度。经放大后的交流信号,再经检波器,将被测交流信号转换成直流信号,输出的直流电流流过表头,推动指针偏转进行指示。

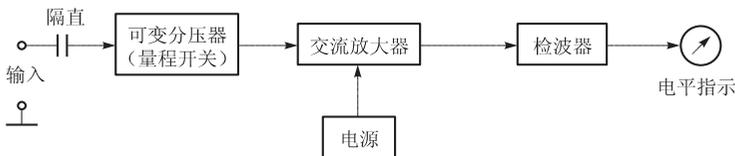


图 2-9 毫伏表原理框图

4. DF2173B 交流电压表使用简介

(1) 概述。DF2173B 交流电压表是一种通用型的电压表,用于测量交流信号电压有效值。DF2173B 为单通道单针毫伏表,测量精度高,输入阻抗高,可作为高灵敏度毫伏表使用。

(2) 技术指标。

① 电压测量范围:100 μV ~300 V。

量程:1 mV、3 mV、10 mV、30 mV、100 mV、300 mV、1 V、3 V、10 V、30 V、100 V、300 V 共十二挡。

② 测量电平范围:−60~+50 dB(0 dB=1 V)。

③ 频率范围:5 Hz~1 MHz。

④ 电源:220 V \pm 10%。

⑤ 电压测量误差: \leq 5%满刻度。

(3) 面板结构。面板结构如图 2-10 所示。

(4) 使用方法:

① 将“量程范围”置于较大量程挡(3 V 以上挡),接通电源,按下电源开关,指示灯亮,仪器工作。开机后 10 s 内指针无规则摆动数次是正常现象。

② 根据被测信号的大约数值,将“量程范围”置于适当量程位置。假如无法估计被测信号,则“量程范围”置于较大量程挡开始试测,然后逐步减小到合适量程。

③ 接入被测信号。将被测电压通过探线连接到信号输入端,应先连接地端,使之与被测电路公共(地)端相连,然后再连接信号端。测量结束后,应先取下连接信号端连线,再取下地线,以免 50 Hz 电流感应将表头指针打弯。

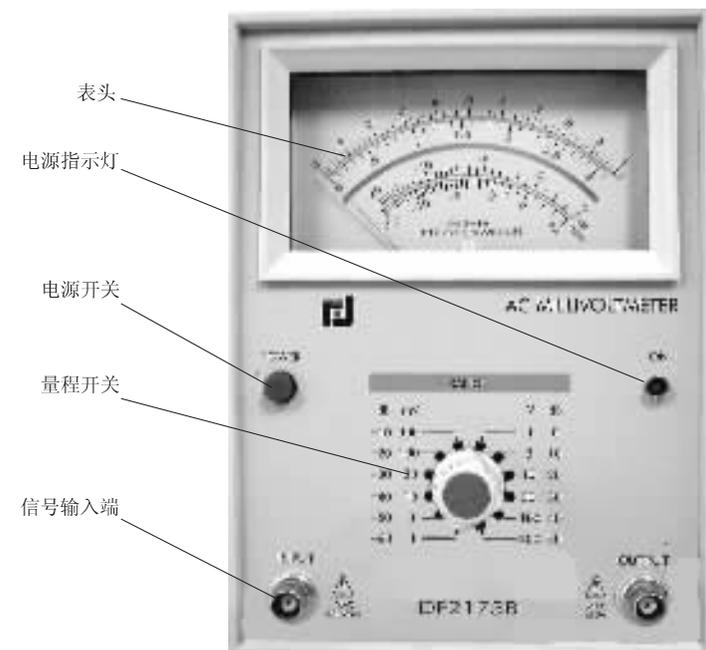


图 2-10 DF2173B 型交流电压表面板图

④ 读数。指示电压读数共有 3 条刻度线:0~1 刻度线、0~3 刻度线、-12 dB~+2 dB 刻度线,读数时根据所选量程对应的刻度读数。若量程打至 3 mV、30 mV、300 mV、3 V、30 V 等有数字 3 的挡值时,读数选择 0~3 刻度线。若量程打至 1 mV、10 mV、100 mV、1 V、10 V、100 V 时,读数选择满刻度为 1 的一行刻度。

例 1 现测量交流电压信号,量程开关置于 30 mV 的挡程,指针位在 0~3 刻度线的 1 处,此时测得的电压有效值应为 10 mV。

例 2 现测量交流电压信号,量程开关置于 1 V 的挡程,指针位于 0~1 刻度的 6 处,此时测得的电压有效值应为 600 mV。

(5) 注意事项。

① 交流电压表只能用来测量正弦波电压有效值,若测量非正弦波电压,则测量值有一定误差,也不可测直流电压。

② 为了保证测量精度,应使电压表指针指在满刻度的 1/3 以上区域。

③ 交流电压表具有高灵敏度和较高输入阻抗,当量程置于小量程处(毫伏挡),外界感应信号或人体触及输入端会使指针偏转超过量程,易打坏指针,故在接入被测信号时应先连接输入的接地端,然后再连接非接地端,测量完毕后,应相反顺序取下,并将“量程范围”置于较大量程挡(3 V 以上)。

④ 由于输入端中有一端是接地端,它必须与被测电路的公共接地点相连,所以在测量两点间的电位差时,要分别测出各点对地电压 V_A 和 V_B ,再计算出 $V_{AB} = V_A - V_B$ 。

2.3 使用仪器的一般规则

2.3.1 仪器使用说明书的使用

1. 说明书及正确使用说明书的意义

仪器使用说明书(或称技术说明书)是仪器最重要的附件,是了解仪器性能指标、正确使用仪器的依据,是校正仪器、维护与修理仪器必须使用的详细可靠的资料。

面对不曾用过的仪器时,只要能正确地使用这些仪器的说明书,便能够根据说明书了解仪器的性能和使用方法,达到正确使用仪器的目的。可见,掌握使用仪器说明书的方法,对于电工技术人员来说,无疑是很重要的。

2. 仪器使用说明书的主要内容

仪器使用说明书一般包括以下内容:

(1) 概述。主要介绍仪器的性能、用途和特点。

(2) 仪器的主要技术指标,如灵敏度、量程、输入阻抗、工作频率范围、在某种工作环境下能够连续工作的时间、测试误差范围等。这些指标是选择仪器的主要依据。

(3) 面板结构图(或仪器面板的照片)。介绍仪器各显示部件(表头、屏幕、指示灯等)、各控制(开关、旋钮等)以及插座、保险丝等部件的外形和它们在面板上的位置。

(4) 仪器工作原理。介绍仪器电路构成原理和主要(或特殊)电路的工作原理。一般用框图表示,并附有文字说明。分析仪器工作原理可进一步了解仪器性能与使用方法。

(5) 使用方法。这是说明书的重要内容之一,它介绍了仪器各控制部件的用途和使用方法,介绍在使用仪器的全过程中应该遵循的操作步骤。部分仪器还介绍了使用仪器时,读取、计算求得有关数据的方法。若不按所要求的方法进行操作,则不能得到正确的实验结果,甚至会损坏仪器。

(6) 注意事项。根据仪器的特点,提出有关保证测试精确度、保障仪器安全和维护仪器的要点,强调仪器的使用条件,指出操作过程中容易忽视的问题。这一部分内容应予以足够的重视。

(7) 调试、校正(或保养)方法。为保持仪器的测试精确度,有必要定期或在维修仪器之后对仪器有关部件进行必要的调整,此时,应遵循一定的操作方法与步骤。有些仪器在每次使用前,都必须进行必要的调试与校正。

(8) 电原理图(有的附有安装图)。介绍仪器各部分电路的组成,是分析、维护和修理仪器的主要资料。

(9) 故障维修方法。介绍仪器可能出现的故障现象、判断方法及处理的措施。有的还附

有所用元器件的技术参数和电路中一些测试点的电压数值或电压波形。

(10) 仪器的附件和元器件清单。

3. 根据说明书使用仪器的基本步骤

(1) 仔细阅读说明书,重点阅读概述、技术指标、使用方法、注意事项这几项内容,以便对仪器的使用方法能有一个较为完整清楚的认识,同时考虑仪器的性能指标是否满足实验要求、工作条件是否符合仪器的使用条件。

(2) 仔细观察仪器,对照说明书逐个辨认仪器面板(包括后面板、侧盖板)上的旋钮、开关、插座、显示器等部件。搞清各控制、显示等部件的用途和使用方法。有时需反复对照,直至熟悉。

(3) 按说明书要求逐一完成操作步骤。边操作、边分析、边记录。为了达到熟练掌握之目的,可以反复进行。例如,使用 HZ4832 晶体管特性参数图示仪测三极管,需要调整的开关、旋钮较多,需要反复操作才能掌握。

(4) 根据说明书介绍的方法和操作练习体会,将使用方法要点简要写出。必要时还可以建立仪器使用卡片,简要写出仪器的用途、主要技术指标、简明使用要点和使用注意事项,供今后再使用此仪器时参考。

例如,阅读说明书和实际操作之后,掌握了 DF2173B 型电子毫伏表的使用方法,在此基础上可以做出 DF2173B 型电子毫伏表的使用卡片。卡片内容如下:

① 用途:测试正弦波交流电压及电平。

② 主要技术指标:

A. 测试电压 范围:100~300 V
 频率:10 Hz~1 MHz

B. 测试电平 -60 dB~+50 dB

③ 使用方法与步骤:

A. 机械调零;

B. 预热(输入端短接);

C. 选择量程、调零;

D. 测试。

④ 注意事项:

A. 禁止用低电压挡测高电压;

B. 注意接地,防止干扰;测市电时,零线接地。

通过这样一个阅读学习、使用练习、分析小结的过程,便可以达到熟悉仪器性能、掌握使用方法的目的。

以上只是简要地介绍了应用说明书的方法,要真正掌握应用说明书指导使用仪器的方法,还需要在实践中不断学习,总结提高。

2.3.2 使用仪器的一般规则

在上面几节中,介绍了几种仪器的使用方法及如何根据仪器的使用说明书正确地使用仪器和练习使用仪器的方法或步骤。

正确地使用仪器能够减小实验误差,取得正确的结果,只要将所学的知识加以整理,即得出正确使用仪器的基本规则如下:

(1) 正确地选用仪器。实验时应根据测试原理和测试方法、被测电量的情况和测试精度要求,合理地选用仪器。

例如,要测试一频率为 15 MHz、幅度约为 2 V 的交流电压,若选用 DF2173B 型是不行的。因为 DF2173B 型毫伏表的主要技术指标——测量的电压频率范围为 10 Hz~1 MHz,其频率不符合要求。因此选用 DA22 型就可满足被测量的要求。

(2) 在规定的条件下使用仪器。各种仪器只有在规定的条件下才能正常工作,这些条件一般指环境温度、湿度、气压、放置方法等。例如, YB-4320 型示波器,它可以水平放置,也可以垂直放置,但是使用时,仪器周围不应有产生高温和强电磁场的设备,否则测试时会出现较大的误差,甚至无法工作。

(3) 按规定调校仪器,保证仪器的精确度。要保证仪器的精确度,必须按要求校正仪器。如:使用 HZ 4832 型晶体管特性图示仪时,就应按说明书给定的方法,定期校准 Y 轴放大器、X 轴放大器等;对 YB-4320 型示波器,使用前也应校准平衡、稳定度、电平、增益、零电平等部分。校准需按正确的方法进行。

(4) 按说明书上规定的方法和步骤使用仪器。仪器使用说明书中介绍的使用方法是正确使用仪器的依据,实验中若不按正确的方法和步骤使用仪器,则有可能产生较大的误差或损坏仪器,影响实验的顺利进行。例如,使用 DF2173B 型毫伏表,若不进行机械零点调整,则测试结果是不准确的。

2.4 正确获取和处理数据

1. 正确获取数据

获取数据的方式一般可分为指针显示、波形显示和数字显示三大类。在使用仪表进行电气测量时,要注意采用正确的方法读取测量数据,以减少误差。

(1) 显示类仪表的读数。传统仪表大多数是指针显示类,它靠指针在仪表刻度盘上的指示位置来显示被测量的大小。这类仪表比较常见的有 MF-500 型万用表、DA-16 型晶体管毫伏表等。

指针显示类仪表数据的读取,首先要确定仪表表盘各分度线所表示的刻度值,然后根据指针所在的位置进行读数。当指针停在刻度盘上两小分度之间时,需要估读一个近似的读数,即取一个比较合理的近似读数。

(2) 波形显示类仪表可以将被测量的波形直观地显示在仪表的荧光屏上。根据显示的波形可读出被测量的有关数据。显然,这类仪表可以一次读取被测量的几个参数,如双踪示波器可同时显示两个信号波形的周期、最大值等参数。

波形显示类仪表读数时,要确定仪表在 X 轴(横轴)、 Y 轴(纵轴)方向上每一坐标格所表示的电量数据,然后根据波形在 X 轴和 Y 轴方向占有的格数进行读数。

(3) 使用数字显示类仪表,可以根据仪表显示的数据直接读数,有些仪表还可以直接显示被测量的单位。目前较先进的数字仪表还有自动换挡的功能,使用非常方便。

数字显示类仪表依靠发光二极管、液晶、数码管等显示器件来显示被测参数的数据。使用数字显示类仪表不会产生读数误差和刻度误差,所以读数方便、准确,其应用范围也越来越广。

2. 正确处理数据

通过检测取得测量数据后,通常还要对这些数据进行计算、分析、整理,有时还要把数据归成一定的表达方式或画成表格、曲线等,也就是要进行数据处理,得到结论,写出报告。

第3章 常用电子器件的识别、测试和选用

3.1 电阻器、电容器、电感器

3.1.1 电阻器

物体对通过它的电流具有阻碍作用,称为电阻作用。根据物体的电阻作用而制成的元件称为电阻器。描述电阻器对电流的阻碍能力通常用参数 R 表示,称为电阻器的电阻,单位为欧姆,符号 Ω 。电阻的其他单位还有千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)、吉欧($G\Omega$)、太欧($T\Omega$)。各单位的关系如下表示

$$1\text{ k}\Omega=10^3\ \Omega, 1\text{ M}\Omega=10^6\ \Omega, 1\text{ G}\Omega=10^9\ \Omega, 1\text{ T}\Omega=10^{12}\ \Omega$$

电阻器的种类、形状、型号多种多样,在电子设备中应用非常广泛。据统计,在一般的电子产品中,电阻器约占元器件总数的40%。

电阻器在电子设备中具有起到降压、分压、分流、限流、电路的负载、隔离、匹配、信号幅度调节等作用。

1. 电阻器的分类

电阻器按结构可分为固定电阻器和可变电阻器。

制成后其阻值不变的电阻器称为固定电阻器;阻值可以改变的电阻器称为可变电阻器。

1) 固定电阻器

固定电阻器的种类也很多。在电路中电阻器的符号通常用如图 3-1 表示。 R 表示电阻器的电阻。

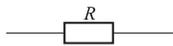


图 3-1 固定电阻的图形符号

固定电阻器根据其制造材料和结构的不同,又可分为碳膜电阻器、金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器、合成碳膜电阻器、有机合成实心电阻器、玻璃釉电阻器、线绕电阻器、片状电阻器等多种。

(1) 碳膜电阻器(RT)。碳膜电阻器是采用碳膜作为导电层的膜式电阻。它是将通过真空高温热分解出的结晶碳沉积在柱形或管形陶瓷骨架上制成的。其特点是稳定性较好、噪声也较低。

(2) 金属膜电阻器(RJ)。金属膜电阻器是采用金属膜作为导电层,也属于膜式电阻器的一种。它是用高真空加热蒸发(或高温分解、化学沉积或烧结等方法)技术,将合金材料蒸镀在陶瓷骨架上制成的。具有噪声低、稳定性好、精度高、耐高温、体积和温度系数小等特点。

(3) 金属氧化膜电阻器(RY)。金属氧化膜电阻器是用铈和锡等金属盐溶液喷雾到炽热(约 $550\text{ }^{\circ}\text{C}$)的陶瓷骨架表面上沉积后制成的。它与金属膜电阻器相比,具有阻燃、导电膜层均匀、膜与骨架基本体结合牢固、抗氧化能力强等优点,其缺点是阻值范围小(通常在 $200\text{ k}\Omega$ 以下)。

(4) 合成碳膜电阻器(RH)。合成碳膜电阻器是将炭黑、石墨、填充料与有机黏合剂配成悬浮液,将其涂覆于绝缘骨架上,再加热聚合制成的。

(5) 有机实心电阻器(RS)。有机实心电阻器是由颗粒状导电物(炭黑、石墨等)、填充料(云母粉、石英粉、玻璃粉、二氧化钛等)和有机黏合剂(如酚醛树脂等)等材料混合并热压成型后,再装入塑料外壳内制成的。有机实心电阻器具有较强的过负荷能力,但其噪声较高,稳定性较差,分布电感和分布电容也较大,只可作为普通电阻器使用,而不能用于要求较高的电路中。

(6) 无机实心电阻器(RN)。无机实心电阻器是由导电物质(炭黑、石墨等)、填充料与无机黏合剂(如玻璃釉等)混合压制成型后高温烧结而成的,其优点是电阻温度系数较大,缺点是阻值范围较小。

(7) 金属玻璃釉电阻器(RI)。金属玻璃釉电阻器是由金属氧化物(如钨、银、钼、铈、锡、铈等)和玻璃釉黏合剂混合后涂覆在陶瓷骨架上,再经高温烧结而成的。它具有耐高温、耐潮湿、性能稳定、噪声小、阻值范围大($4.7\ \Omega\sim 200\text{ M}\Omega$)等特点,应用范围较广。

(8) 线绕电阻器(RX)。线绕电阻器是用高阻值的合金线(即电阻丝,采用镍铬丝、康铜丝、锰铜丝等材料制成)缠绕在绝缘基棒上制成的。它具有阻值范围大($0.1\ \Omega\sim 5\text{ M}\Omega$)、噪声小、电阻温度系数小、耐高温、承受负荷功率大(最高可达 500 W)等优点,缺点是高频特性差。

几种常见的电阻器的外形如图 3-2 所示。

2) 可变电阻器

电位器是最常用的可变电阻器之一,其结构如图 3-3 所示。它有两个固定端,通过调节转轴或滑动柄,依靠电刷在电阻体上滑动,使滑动触点与任一固定端之间的电阻发生连续改变。电路图形中的符号如图 3-4 所示。1、3 是固定端,2 是滑动触头。用 RP 或 W 表示。

电位器的主要作用是调节电流、调节输出信号幅度大小等。电位器在电路中常用的连接形式如图 3-5 所示。

电位器按滑动触头与电阻体是否接触可分为接触型与非接触型电位器。最常用的是接触型电位器。光电电位器、磁敏式电位器是非接触型电位器。下面介绍几种常见的接触型电位器。

(1) 线绕电位器:将康铜或镍铬合金电阻丝绕在环形的支架上制成。它有阻值固定与可调的两种。外表有被釉和瓷壳(俗称水泥电阻)等多种形式。可调线绕电阻的中间加有一只可调整的金属环。具有功率大、耐高温、噪声低、温度系数小、耐磨性能差、高频特性差等特点,不宜用在高频电路中。其阻值范围为几十欧姆至 $200\text{ k}\Omega$ 。

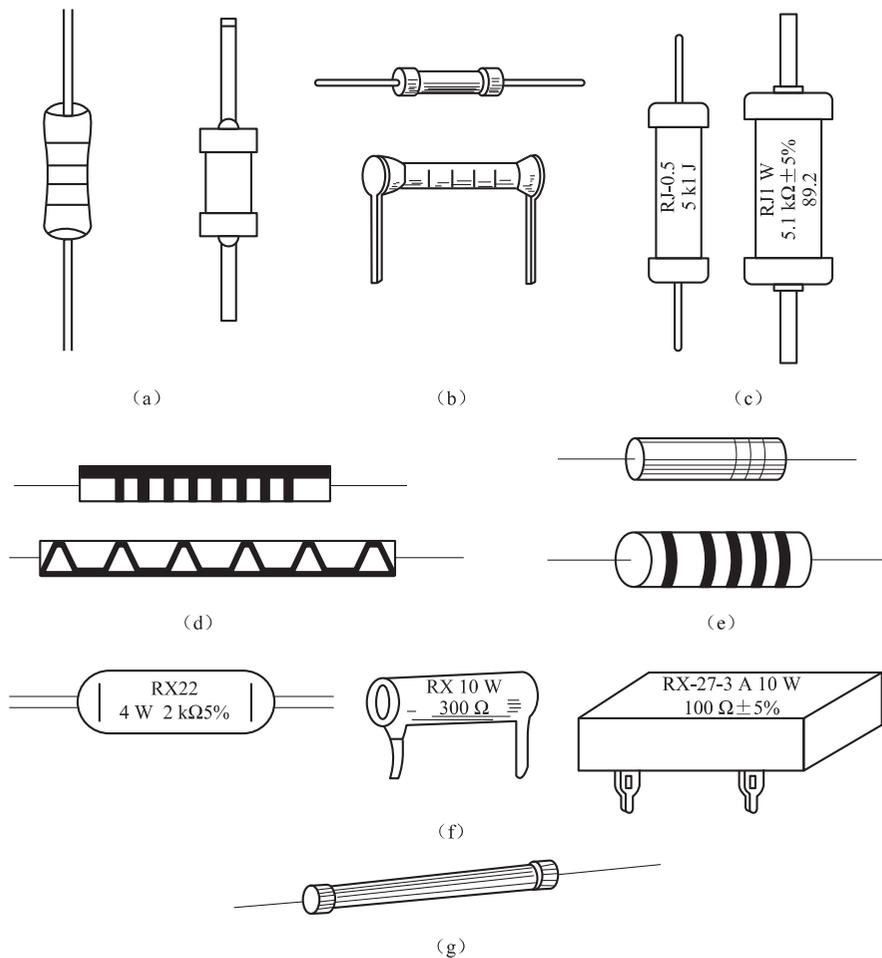


图 3-2 几种常见电阻器外形

(a) RY; (b) RT; (c) RJ; (d) RI; (e) RS; (f) RX; (g) RH

(2) 碳膜电位器: 在绝缘基体上涂上一层碳膜制成。具有结构简单、噪声低、绝缘性能好、稳定性好、电阻范围宽等特点, 应用广泛。其阻值范围为几百欧姆至几兆欧姆。

(3) 合成碳膜电位器: 电阻体是用炭黑、石墨、石英粉及有机黏合剂等配制的混合物涂在基体上制成。具有电阻范围宽、成本低、分辨率高、寿命长、型号多、噪声较大、温度系数较大、耐湿性差、精度不高($\pm 20\%$)等特点, 在一般电路中应用广泛。其阻值范围为几百欧姆至几兆欧姆。

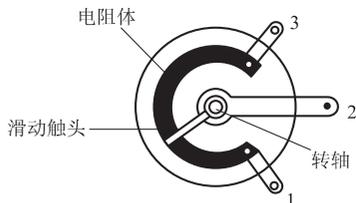


图 3-3 电位器结构示意图

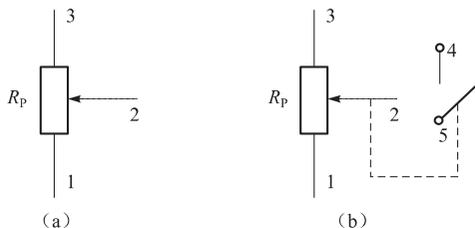


图 3-4 电位器的图形符号

(a) 不带开关;(b) 带开关

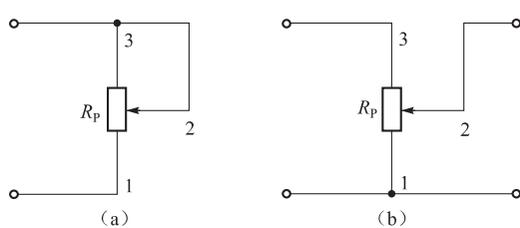


图 3-5 电位器常用的两种连接

(a) 1 个可变电阻;(b) 常见的分压器

(4) 金属膜电位器:电阻体是将合金膜、金属膜、金属氧化膜等材料通过真空技术沉积在基体上制成。具有分辨率高、高频性能好、耐高温、温度系数小、动噪声小、平滑性好、电阻范围小等特点。其阻值范围为 $10 \sim 100 \Omega$ 。

(5) 金属玻璃釉电位器:用丝网印刷法将金属玻璃釉电阻浆料涂覆在陶瓷基体上,经高温烧结而成。具有阻值范围宽、耐热性好、过载能力强、耐潮、耐磨、接触电阻和电流噪声大等特点。其阻值范围为 100Ω 至几十兆欧姆。

(6) 有机实心电位器:有机实心电位器是用加热方法,将有机电阻粉压在绝缘体上制成。具有阻值范围宽、耐热性好、功率大、可靠性高、耐磨性好、温度系数大、动噪声大、耐潮性能差、制造工艺复杂、阻值精度较差等特点。其阻值范围为 100Ω 至几兆欧姆。

(7) 单联、双联电位器:单联电位器是一个转轴只控制一个电位器。双联电位器是两个电位器共用一个转轴。在转动转轴时,两个电位器的电阻同时发生改变。

(8) 单圈、多圈电位器:一般的电位器大多数是单圈电位器。通过转轴调节电阻时,旋转角度小于 360° 的电位器称为单圈电位器,大于 360° 的电位器称为多圈电位器。

(9) 直滑式电位器:调节滑柄使滑动触头作直线移动的电位器称为直滑式电位器。

几种常见电位器外形如图 3-6 所示。

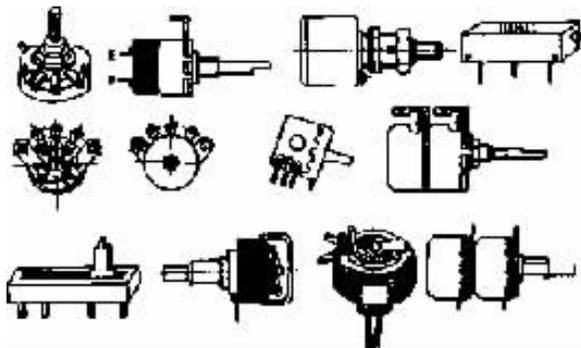


图 3-6 几种常见电位器外形

2. 电阻器的主要参数

1) 固定电阻器

(1) 固定电阻器的主要参数。

① 标称电阻: 标在电阻器表面上的电阻值称为标称电阻, 其单位为 Ω 。

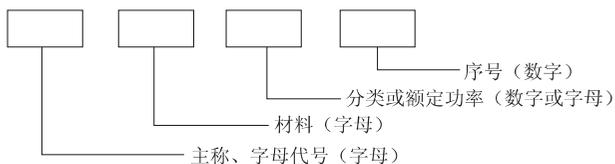
② 标称功率(额定功率): 在规定的大气压力和温度下, 电阻器长期连续安全工作所允许承受的最大功率。

③ 允许偏差: 电阻器的实际电阻值和标称值允许有一定的偏差。我们把所允许的最大偏差范围称为允许偏差, 等于实际电阻值与标称电阻值的百分比。允许偏差越小, 电阻器的电阻值越精确。

④ 温度系数: 表示电阻器的热稳定性随温度的变化而发生变化的物理量。温度系数越大, 电阻器的热稳定性越差, 电阻器的电阻值变化越大。如果温度升高, 电阻值减小, 则温度系数为负值, 称为负温度系数; 如果温度升高, 电阻值增加, 温度系数为正值, 称为正温度系数。

⑤ 最大工作电压: 最大工作电压是指电阻器长期安全工作, 不发生击穿、放电等有害现象所允许的最大电压。根据电阻器的标称电阻和标称功率计算出的电压有可能超过电阻器的最大工作电压, 这时也会损坏电阻器。使用时要注意。

(2) 固定电阻器的型号命名。根据国家标准, 电阻器的型号命名由 4 部分组成: 主称(R)、材料、分类、序号, 表示如下:



电阻器的型号命名符号及意义见表 3-1。

表 3-1 电阻器的符号及意义

第一部分 主称		第二部分 材料		第三部分 分类		第四部分 序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	意义
R	电阻器	T	碳膜	1,2	普通	包括: 额定功率 阻值 允许误差 精度等
		J	金属膜	3	超高频	
		U	合成硅碳膜	4	高阻	
		C	沉积膜	5	高温	
		H	合成膜	7	精密	
		I	玻璃釉膜	8	高压	
		P	硼碳膜	9	特殊	
		Y	氧化膜	G	高功率	

续表

第一部分 主称		第二部分 材料		第三部分 分类		第四部分 序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	意义
		S	有机实心	T	可调	
		N	无机实心	L	测量用	
		X	线绕	X	小型	
		R	热敏	C	防潮	
		G	光敏			
		M	压敏			

例如:电阻器标示为 RTG6,表示碳膜、高功率、序号为 6 的电阻器。R 是主称,T 表示材料为碳膜,G 表示分类为高功率,6 表示序号。

再如标示为 RT1-0.25 W-470 Ω ±10% 的电阻器,其含义为:R 表示主称,T 表示材料为碳膜,1 表示分类为普通,0.25 W-470 Ω ±10%表示序号,功率为 0.25 W,阻值为 470 Ω ,允许偏差为±10%。

(3) 电阻器电阻值的表示方法。

① 直标法:把电阻器的阻值(数值、符号、允许偏差)直接标示在电阻器表面的方法称为直标法。如:3 k Ω ±20%、1.5 M Ω ±5%。

② 数字符号法:在电阻单位符号前标出电阻器阻值的整数部分,在后边标出小数部分第一位。如 4K7 表示 4.7 k Ω ;6M8 表示 6.8 M Ω 。还可以用 R 表示小数点。如:3R3 表示 3.3 Ω ;R33 表示 0.33 Ω 。

允许偏差还可以用字母符号表示:J 表示±5%;K 表示±10%;M 表示±20%。如:3 R 3 K 表示 3.3 Ω ±10%。

③ 三位数字法:用三位数字表示电阻器阻值的方法。前两位数字是电阻值的有效数字,第三位表示 10 的幂数。如:200 表示 $20 \times 10^0 = 20 \Omega$;472 表示 $47 \times 10^2 = 4700 \Omega = 4.7 \text{ k}\Omega$ 。

(4) 色环标示法:在小型电阻器上用不同颜色的色环来标称电阻器的电阻值和允许偏差的方法称中色环标示法。通常有四色环和五色环两种标示方法。普通精度(E6、E12、E24 标准系列,允许误差分别为±20%M、±10%K、±5%J)的电阻器用四色环标示,高精度(E48、E96、E192 标准系列,误差分别为±2%G、±1%F、±0.5%D)的电阻器用五色环标示。

四色环标示法:第一、第二环分别表示电阻值的第一、第二位有效数字;第三环表示倍率($\times 10^N$);第四环表示允许偏差。

五色环标示法:第一、第二、第三环分别表示电阻值的第一、第二、第三位有效数字;第四环表示倍率($\times 10^N$);第五环表示允许偏差。

色环电阻标示法,如图 3-7 所示。

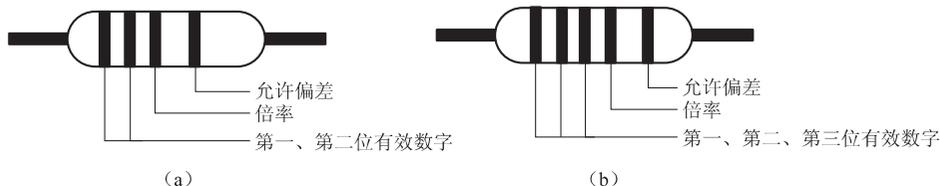


图 3-7 色环电阻标示法
(a) 四色环标示法; (b) 五色环标示法

不同颜色的色环代表的意义不同,相同的颜色在不同的位置代表的意义也不同。色环所代表的意义见表 3-2。

表 3-2 色环的颜色含义

色环颜色	色环位置			
	有效数字	倍率	允许偏差(%)	
黑色	0	1	—	—
棕色	1	10^1	± 1	F
红色	2	10^2	± 2	G
橙色	3	10^3	—	—
黄色	4	10^4	—	—
绿色	5	10^5	± 0.5	D
蓝色	6	10^6	± 0.25	C
紫色	7	10^7	± 0.1	B
灰色	8	10^8	± 0.05	A
白色	9	10^9	—	—
金色	—	10^{-1}	± 5	J
银色	—	10^{-2}	± 10	K
无色	—	—	± 20	M

例如:电阻器上四色环颜色分别为红色、紫色、黄色、银色,其代表的电阻值为

$$27 \times 10^4 \Omega \pm 10\% = 270 \text{ k}\Omega \pm 10\%$$

电阻器上五色环颜色分别为棕色、绿色、绿色、金色、棕色,其代表的电阻值为

$$155 \times 10^{-1} \Omega \pm 1\% = 15.5 \Omega \pm 1\%$$

对色环电阻来说,正确判断第一色环有三种方法:第一,金、银色是不会出现在第一环的位置上。对四色环电阻,如果是金色或银色环,必定是第四环。第二,对五色环电阻,最后一环通常与前四环的距离要大于前四色环之间的距离。判断出了最后一环,第一色环当然也就确定了。第三,最接近引出线的色环是第一色环。

2) 电位器

(1) 电位器的主要参数。

① 标称阻值:标在电位器表面的两个固定端之间的阻值。单位为 Ω 。

② 额定功率:电位器在正常大气压和规定的温度下,长期、连续、正常、安全工作所允许的最大功率。

③ 允许偏差:电位器的实际电阻值与标称值之间允许存在的偏差。

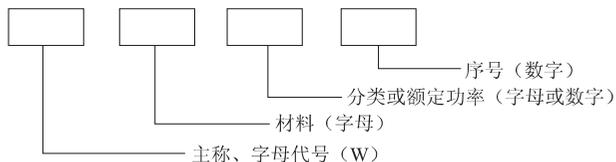
④ 最大工作电压:在规定条件下,长期、连续、正常、安全工作所允许加在电位器两个固定端之间的最大电压。

⑤ 电位器的行程:电位器的转轴(或滑动触头)转动(或滑动)的角度(或位移)范围。

⑥ 机械寿命:在规定条件下,电位器触头转动(或滑动)的总次数。通常用“周数”来表示。

⑦ 阻值变化规律:电位器的阻值随转动角度(或滑动位移)变化的规律。阻值变化规律通常可划分为3种:直线型(X型)、指数型(Z型)、对数型(D型)。

(2) 电位器的型号命名。与固定电阻器类似,电位器的型号命名由4部分组成:主称(W)、材料、分类和序号。具体表示如下:



电位器的型号命名符号及意义见表3-3。

表3-3 电位器的符号及意义

第一部分 主称		第二部分 材料		第三部分 分类				第四部分 序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义	意义
W	电位器	J	金属膜	G	高功率	1,2	普通	包括: 额定功率 标称阻值 允许误差 失效率等
		F	复合膜	T	特殊	6	支柱等	
		H	合成碳膜	H	组合类	7	精密	
		I	玻璃釉膜	B	小型	8	特殊函数	
		Y	氧化膜	D	防潮	9	特殊	
		S	有机实心	M	直滑式精密类			

续表

第一部分 主称		第二部分 材料		第三部分 分类				第四部分 序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义	意义
		N	无机实心	X	旋转低功率类			
		X	线绕	W	微调			
		D	导电塑料	Y	旋转预调类			
		T	碳膜	J	单圈旋转精密类			
				Z	直滑式低功率类			
				P	旋转功率类			

例如：WNM107 表示序号为 107 的直滑式无机实心电位器；WH1 - 0.25 - 4.7 kΩ 表示普通合成膜电位器，功率为 0.25 W，标称电阻为 4.7 kΩ。

(3) 电位器的参数标示方法。电位器的型号、材料、分类、序号、标称阻值、标称功率通常直接标示在电位器表面。

3. 电阻、电位器的检测与代换

1) 电阻器的检测与选用

(1) 检测。通常用模拟万用表、数字万用表来检测电阻器。检测之前，先通过观察电阻器的外观来粗略判断电阻器的好坏。如果有烧焦、断裂、引线脱落、腐蚀、保护漆脱落等不正常现象，可判断电阻器损坏。用万用表检测电阻器时，切忌不能让电阻器处于工作状态。电路板上的电阻器应与电路板脱开才能用万用表检测。将万用表的红、黑表笔分别可靠接触被测电阻器的两根引线，测出被测电阻器的电阻值。如果测量值等于或接近标称电阻值，则说明被测电阻器是好的；如果测量值远小于或远大于标称阻值，说明电阻器已经损坏。

(2) 选用。应该根据电路的实际要求来选用相应材料、种类、阻值、功率的电阻器。各种电阻器的特点在前边也作了介绍。

碳膜电阻器一般用于高频电路、高增益小信号放大电路。

金属膜电阻器一般用于高频电路、高增益小信号放大电路。

金属氧化膜电阻器一般用于高频电路。

线绕电阻器一般用于小信号高增益放大电路，低频电路、电源电路等。

高精度的线绕电阻器多用于精密电子仪器仪表电路中。

根据电路的具体要求适当选用电阻器的类型。如在那些稳定性、耐热性、可靠性要求比较高的电路中，应选用金属膜或金属氧化膜电阻；对于要求功率大、耐热性能好，工作频率要求不高的电路，可选用线绕电阻；对于无特殊要求的一般电路，可使用碳膜电阻器，以降低成本。

代换损坏的电阻器，代换的原则是选用相同型号的电阻器。如果没有相同型号的电阻器，可以根据下边方法进行代换：

① 可以用几个阻值较小的电阻器串联代换大阻值的电阻器;用几个阻值较大的电阻器并联代换小阻值的电阻器。代换用的电阻与电阻材料应相同。

② 一般大功率电阻可以代换小功率电阻。

③ 高精度电阻器可以代换低精度电阻器。

2) 电位器的检测与选用

(1) 检测。观察电位器外观有无损坏、破裂、烧焦、引线断裂等不正常现象。如果有,则可判断电位器已损坏。有些音量、音调电位器还可以在正常工作情况下,通过慢慢调节进行检测,从扬声器中如果听不到噪声,则电位器基本是正常的;如果有噪声,噪声过大,说明电位器有损坏。

用模拟万用表和数字万用表从以下三个方面检测电位器。

① 检测标称阻值:万用表的两根表笔分别接触电位器的两个固定端(1脚、3脚),测量电位器的标称阻值。如果测量阻值与标称阻值相差太大,说明电位器损坏。

② 检测滑动触头接触情况:把万用表的两根表笔分别与一个固定端(1脚或3脚)和滑动端(2脚)接触,在电位器的整个行程上缓慢均匀调节电位器,万用表的指针或数值如果是连续变化,说明电位器滑动触头接触良好;如果万用表指针或数值有跳变的情况,则说明电位器的滑动触头接触不良。

③ 引线脚与外壳的绝缘情况:选择万用表 $R \times 10 \text{ k}$ 挡,一根表笔接触电位器外壳,用另一根表笔分别接触电位器的每一引线脚。如果万用表指示均为无穷大,说明电位器绝缘情况正常,反之则说明电位器绝缘情况不良。

④ 开关电位器检测:用万用表的 $R \times 1$ 挡,测量开关两端(4脚、5脚)间的电阻值,旋转开关,一开一关,观察万用表的指示值是否为0(开)或无穷大(关)。

(2) 电位器的选用。

① 选择电位器的型号。根据电路具体要求选择电位器的电阻体材料、结构、类型、规格、调节方式。

② 电位器参数选择。根据电路要求选择电位器合适的参数,额定功率、标称阻值、允许偏差、最高工作电压等。

③ 电位器阻值变化规律选择。在不同的电路中要求选择不同的阻值变化规律的电位器。如电源电路中的电压调节、放大电路的工作点调节用电位器,均应使用直线式电位器。音调控制用电位器应选用反转对数式电位器,音量控制用电位器可选用对数式电位器。

3.1.2 电容器

两个金属导体中间填充绝缘物质(电介质),从两个金属导体分别引出两根引线就构成了电容器。两个金属导体称为电容器的两个极板。电容器在电子电路中应用也是非常广泛。

当电容器两端加上电压 U 时,两个极板上会带上等量异号的电荷 Q 。一个极板上带的电荷量 Q 与电压 U 的比值称为电容器的电容量(简称电容),用 C 表示。

$$C=Q/U$$

电容的单位为法拉(简称法),用符号 F 表示。常用的单位还有毫法(mF)、微法(μF)、纳法(nF)、皮法(pF)。各单位间的关系为

$$1 \text{ mF}=10^{-3} \text{ F}$$

$$1 \mu\text{F}=10^{-6} \text{ F}$$

$$1 \text{ nF}=10^{-9} \text{ F}$$

$$1 \text{ pF}=10^{-12} \text{ F}$$

电容器的种类很多,根据电容器的结构不同,制作材料不同,电容器的功能也不同。电容器在电路中具有隔直、耦合、旁路、去耦、滤波、移相、调谐、波形变换、能量转换、改变电路的时间常数等功能。

1. 电容器的分类

电容器的分类方式有很多种:按结构划分,可分为固定电容器、可调电容器、预调电容器;按极性划分,可分为无极性电容器、有极性电容器;按电介质划分,可分为有机介质电容器、无机介质电容器、电解电容器、气体介质电容器。

1) 固定电容器

固定电容器是指制成后电容量固定不变的电容器。

固定电容器又分为有极性和无极性两种电容器。固定电容器在电路中的符号如图 3-8 所示。



图 3-8 固定电容器在电路中的符号

(a) 有极性电容器; (b) 无极性电容器

下面介绍几种常用的固定电容器:

(1) 纸介电容器(CZ):属于无极性、有机介质电容器,一般是用两条金属箔作为电极,中间用电容器纸隔开重叠卷绕而成。其制造工艺简单、价格便宜、容量较大、电压范围较宽、体积较大、损耗大、稳定性差、电感大,多用于低频电路。

(2) 金属纸介电容器(CJ):同纸介电容器相似,在电容纸上覆上一层金属膜来代替金属箔,体积较纸介电容器小,容量大。金属纸介电容器具有“自愈”的特点。当电介质击穿时,击穿处的金属膜熔化蒸发,使短路点消失,电容器自动恢复正常。

(3) 薄膜电容器:属于无极性、有机介质电容器,结构与纸介电容器相似,用聚酯、聚苯乙烯等低损耗塑材作电介质。具有高频特性好、损耗小、绝缘电阻大、体积小、容量大、稳定性较好等特点,多用于高频电路。

(4) 瓷介质电容器:属于无极性、无机介质电容器,以陶瓷作介质,在陶瓷基体两面喷涂银层,然后烧成银质薄膜作电极制成,又分为高频和低频两种瓷介质电容器。瓷介质电容器表面涂有各种颜色的保护漆,表示温度系数。蓝色和灰色表示正温度系数,其他颜色是负温度系数。这种电容器具有体积小、耐热性好、损耗小、绝缘电阻高、容量小等特点,适宜用于高频电路。

(5) 云母电容器:属于无极性、无机介质电容器,在云母片上喷涂银层作电极板,极板和云

母一层一层叠合后,再压铸在胶木粉或封固在环氧树脂中制成。它的特点是介质损耗小、绝缘电阻大、温度系数小、电容量精度高,但成本较高、电容量小,适宜用于高频电路。

(6) 独石电容器:是一种多层陶瓷介质电容器,以陶瓷为介质,和电极材料叠合,烧结成一个坚硬不可分割的整体,故称为“独石”。也分为高频和低频两种类型。高频独石电容器电容量精度高、损耗小、绝缘性能好,用于高频电路;低频独石电容器体积小、容量大,多用于低频电路。

(7) 玻璃釉电容器:属于无极性、无机介质电容器,以钠、钙、硅等材料混合成玻璃釉薄膜作为介质,与银层电极烧结成“独石”结构。具有瓷介电容器的优点,且体积更小,耐高温。

(8) 涤纶电容器:属于无极性、有机介质电容器,以涤纶作为介质,用金属箔或金属化薄膜作为电极制成。具有体积小、成本低、容量大、绝缘性能好、耐高温、潮湿、损耗较大、稳定性较差等特点,多用于要求不太高的电路中。

(9) 聚苯乙烯电容器:属于无极性、有机介质电容器,以聚苯乙烯薄膜作为电介质,以金属箔或金属化薄膜为电极制成。具有成本低、损耗小、容量稳定、精度高、绝缘电阻大、温度系数小、体积大、耐低温、高频特性较差等特点。

(10) 铝电解电容器:属于有极性电容器,以铝箔为正极,铝箔表面的氧化铝为电介质,电解质为负极制成。因为氧化膜有单向导电性质,电解电容正极接高电位,负极接低电位,电介质才具有绝缘功能,如果正、负极接反,介质不起绝缘功能,漏电流很大,会损坏电容器。所以电解电容器具有体积大、容量大、绝缘电阻小的特点,但漏电流较大、频率特性不好。

(11) 钽电解电容器:有极性电容器,以钽金属片为正极,其表面的氧化钽薄膜为电介质,二氧化锰电解质为负极封装制成。具有体积小、稳定性好、耐高温、漏电流小、成本高等特点,多用于精密电子仪器设备中。

几种常用固定电容器的外形如图 3-9 所示。

2) 可调电容器

电容器的电容量可以调节的电容器,称为可调电容器。可调电容器按介质可分为空气可调电容器和有机薄膜可调电容器;按结构划分可分为单联、多联(双联、三联、四联)可调电容器。可调电容器的电路图形符号如图 3-10 所示。

(1) 单联可调电位器:由两组平行的铜或铝金属片组成,一组是固定的(定片),一组固定在转轴上,可以转动的(动片)。动片随转轴转动时,可旋转进入定片的空隙内,两个极板的相对面积发生变化,电容器的电容量也随之变化。动片全旋入定片内时,电容量最大,全旋出时,电容量最小。

(2) 双联可调电容器:有两组定片和两组动片,动片连接在同一转轴上,可由转轴同时控制转动。

(3) 空气可调电容器:动片与定片之间的电介质是空气。具有制作方便,成本低、绝缘电阻大、损耗小、稳定性好、高频特性好、静电噪声小、体积较大、质量大等特点。

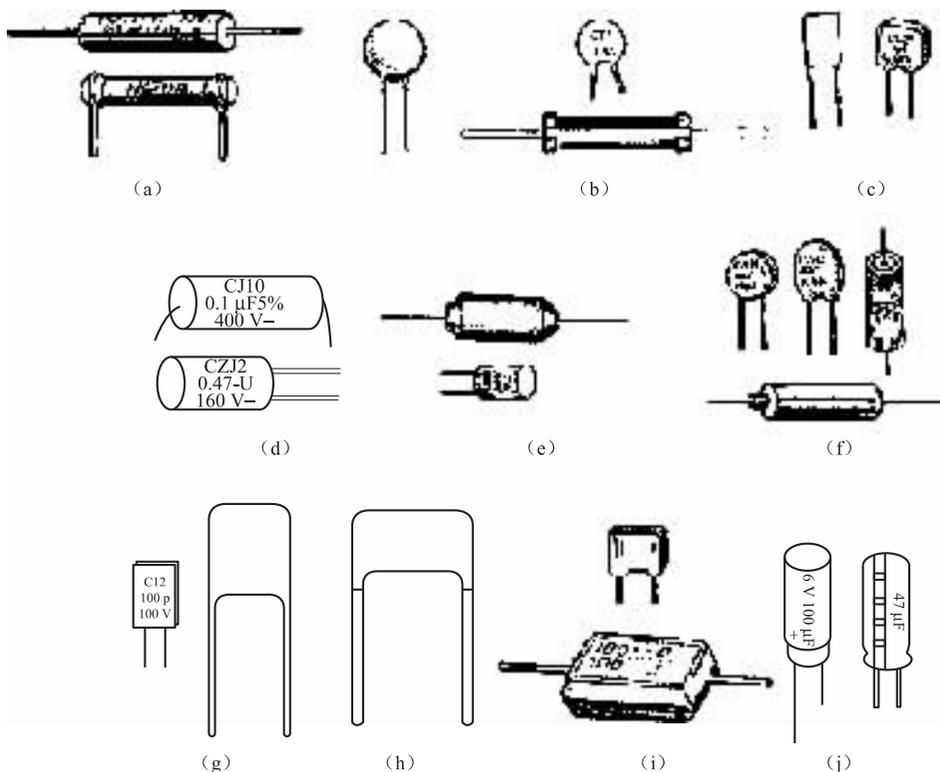


图 3-9 常见的几种固定电容器的外形

(a) CZ; (b) CJ; (c) 涤纶电容器; (d) 金属化纸电容器; (e) 聚苯乙烯电容器; (f) 钽电解电容器;
(g) 玻璃釉电容器; (h) 独石电容器; (i) 云母电容器; (j) 铝电解电容器

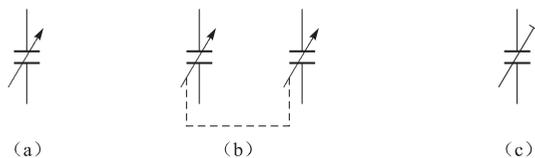


图 3-10 可调电容器的电路图形符号

(a) 单联可调电容器; (b) 双联可调电容器; (c) 预(微)调电容器

(4) 有机薄膜可调电容器: 动片与定片之间填充的电介质是有机薄膜。具有体积小、质量轻、成本低、容量大、温度特性较差等特点。

3) 预调电容器

预调电容器也称微调电容器, 其电容量可在小范围内调节, 调节后电容量通常就不再变化。常见的预调电容器有瓷介预调电容器、空气介质预调电容器、有机薄膜介质预调电容器、

拉丝预调电容器等。预调电容器的电路图形符号如图 3-10(c) 所示。

几种常见的可调和预调电容器的外形如图 3-11 所示。

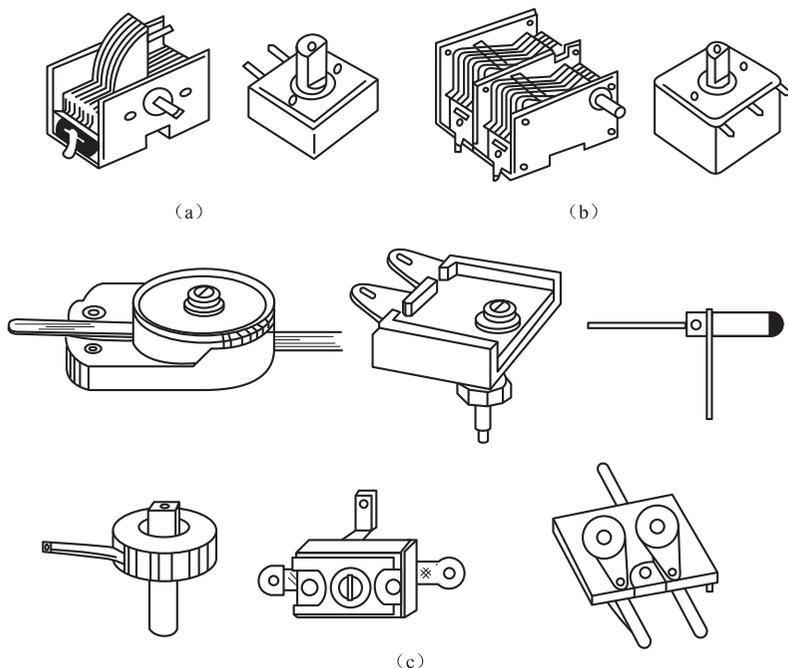


图 3-11 几种常见的可调电容器和预调电容器外形

(a) 单联可调电容器; (b) 双联可调电容器; (c) 预调电容器

2. 电容器的主要参数

其常用的性能参数如下:

(1) 标称容量: 标示在电容器表面的电容量称为电容器的标称容量。

(2) 允许偏差: 电容器的标称容量与实际电容量的最大允许偏差范围。通常分为 3 个等级, I 级(5%)、II 级(10%)、III 级(20%)。

(3) 耐压值: 在规定的工作温度范围内, 电容器长期安全工作所能承受的最大直流电压, 称为电容器的耐压值, 也叫作电容器的直流工作电压。在交流电路中, 要注意所加的交流电压最大值不能超过电容的直流工作电压值。常用的固定电容器耐压值有 6.3 V、10 V、16 V、25 V、50 V、63 V、100 V、2 500 V、400 V、500 V、630 V、1 000 V。

(4) 漏电流: 电容器的电介质不是绝对绝缘的, 在一定的温度和电压条件下, 电容器中流过的电流称为漏电流。漏电流越小, 电容器绝缘性能越好。电解电容器的漏电流较大, 无极性的电容器漏电流较小。

(5) 绝缘电阻: 电容器的绝缘电阻是指电容器两端所加的电压与电容器上流过的漏电流

的比值。绝缘电阻反映电容器的绝缘性能的好坏。电容器的绝缘电阻越大,漏电流越小,其绝缘性能越好。电容器的绝缘电阻一般应该在 $5\text{ M}\Omega$ 以上。

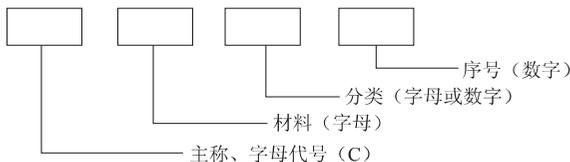
(6) 温度系数:指在一定的温度范围内,温度每变化 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,电容器的电容量的相对变化值。温度系数有正温度系数和负温度系数。温度系数越小,电容器的性能越好。

(7) 频率特性:电容器的电容量等参数随电路频率而变化的性质。通常电容量大的电容器(如电解电容器)用于低频电路;电容量小的电容器用于高频电路。

(8) 损耗因数:电容器的损耗因数是指电容器损耗角的正切值,反映电容器能量损耗的大小。用 $\tan \delta$ 表示。

3. 电容器的型号命名

在我国的国家标准中规定,电容器型号命名由四部分组成:主称(C)、材料、分类、序号,具体表示如下:



电容器型号命名符号及意义见表 3-4。

表 3-4 电容器符号及意义

第一部分 主称		第二部分 材料		第三部分 分类		第四部分 序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	意义
C	电容器	A	钽电解电容	G	高功率型	包括: 容量 耐压 允许误差 精度等
		B	聚苯乙烯等非极性有机薄膜	J	金属化型	
		C	高频陶瓷	Y	高压型	
		D	铝电解电容	W	微调型	
		E	其他材料电解	1		
		G	合金电解	2		
		H	纸膜复合	3		
		I	玻璃釉	4		
		J	金属化纸介质	5		
		L	聚酯等有极性有机薄膜	7		
		N	铌电解电容	8		
		O	玻璃膜	9		
		Q	漆膜			
		T	低频陶瓷			
V, X	云母纸					
Y	云母					

电容器型号命名第三部分数字代表的意义见表 3-5。

表 3-5 电容器第三部分数字代表的意义

符号	类 型			
	瓷介电容器	云母电容器	有机电容器	电解电容器
1	圆形	非密封	非密封	箔式
2	管形	非密封	非密封	箔式
3	叠片	密封	密封	烧结粉、非固体
4	独石	密封	密封	烧结粉、固体
5	穿心		穿心	
6	支柱			
7				无极性
8	高压	高压	高压	
9			特殊	特殊

例如:CDY5 表示序号为 5、高压型、铝电解电容器;CA11A-63 V-2.2 $\mu\text{F}\pm 20\%$ 表示序号为 1 A、圆形、钽电解电容器,耐压值为 63 V,电容量为 2.2 μF ,允许偏差为 $\pm 20\%$ 。

4. 电容器主要参数的标示方法

(1) 直标法:把电容器的主要参数直接标示在电容器表面的方法,如图 3-12 所示。体积较小的电容器只标出电容量值及其单位。

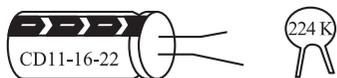


图 3-12 电容器的直标法示意图

(2) 三位数字表示法:用三位数字表示电容器的电容量的大小,单位是 pF。前两位数字表示有效数字,第三位表示倍率,即乘以 10^N 。N 为第三位数字。如:电容器上标的三位数字“104”表示的电容量为 $10 \times 10^4 \text{ pF} = 100\,000 \text{ pF}$ 。如果第三位数字是 9,表示 10^{-1} ,如 479 表示电容量为 $47 \times 10^{-1} \text{ pF} = 4.7 \text{ pF}$ 。

(3) 数字和字母表示法:用数字表示有效值,用字母 m、n、p、 μ 、M、G 等字母表示电容量的数量级,并表示小数点。小写字母为单位符号,大写字母为词头符号,单位为 pF。如 4n7 表示 $4.7 \text{ nF} = 4\,700 \text{ pF}$ 。6p8 表示 6.8 pF 。M1 表示 $0.1 \times 10^6 \text{ pF} = 0.1 \mu\text{F}$ 。3G3 表示 $3.3 \times 10^9 \text{ pF} = 3\,300 \mu\text{F}$ 。

有时可用数字和 R 表示电容量。R 表示小数点,单位为 μF 。如 R33 表示 $0.33 \mu\text{F}$ 。

(4) 数字表示法:用大于 1 不带单位的一到四位数字表示电容量,单位为 pF。如 3 300 表示 $3\,300 \text{ pF}$;47 表示 47 pF 。用小于 1 的不带单位的数字表示电容量,单位为 μF 。如 0.47 表示 $0.47 \mu\text{F}$;0.1 表示 $0.1 \mu\text{F}$ 。

(5) 色标法:色标法有两种,一种称为色环标示法,另一种是色点法。

① 色环法。用3~5个色环标称电容器的电容量、允许偏差和耐压值。第一、第二色环表示有效数字,第三色环表示倍率,第四色环表示允许偏差,第五色环表示耐压值,如图3-13所示。

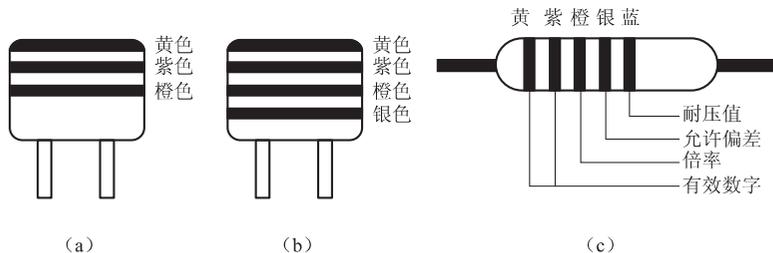


图3-13 用色环表示电容容量

(a) 三色环;(b) 四色环;(c) 五色环

对立式电容器,色环从顶端向引线方向排列,对轴式电容器,色环集中在电容器一端。单位为 pF。

电容器色环标示法色环颜色的含义见表3-6。

表3-6 电容器色环标示法色环颜色的含义

色环颜色	色环位置				
	有效数字	位率	允许偏差/%		耐压值/V
黑色	0	1	—	—	4
棕色	1	10^1	± 1	F	6.3
红色	2	10^2	± 2	G	10
橙色	3	10^3	—	—	16
黄色	4	10^4	—	—	25
绿色	5	10^5	± 0.5	D	32
蓝色	6	10^6	± 0.25	C	40
紫色	7	10^7	± 0.1	B	50
灰色	8	10^8	—	A	63
白色	9	10^9	—	—	—
金色	—	10^{-1}	± 5	J	—
银色	—	10^{-2}	± 10	K	—
无色	—	—	± 20	M	—

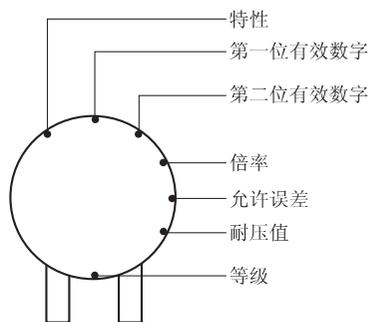


图 3-14 用色点表示电容器容量

图 3-13(a)表示的电容量为 $47 \times 10^3 \text{ pF} = 0.047 \mu\text{F}$ ；图 3-13(b)表示的电容量为 $47 \times 10^3 \text{ pF} = 0.047 \mu\text{F}$ ，允许偏差为 $\pm 10\%$ ；图 3-13(c)表示的电容量为 $47 \times 10^3 \text{ pF} = 0.047 \mu\text{F}$ ，允许偏差为 $\pm 10\%$ ，耐压值为 40 V 。

② 色点法。可用 7 个色点来表示电容器的主要参数。在电容器上沿顺时针方向，第一个色点表示电容器的特性；第二、三色点表示电容量的有效数字；第四色点表示倍率；第五色点表示允许误差；第六色点表示耐压值；第七个色点表示电容的等级，如图 3-14 所示。电容量单位为 pF 。

各色点表示的含义见表 3-7。

表 3-7 电容器色点法各色点的含义

色点颜色	有效数字	倍率	允许偏差/%	等级	耐压值/V
黑色	0	1	± 20	X	—
棕色	1	10^1	± 1	Z	—
红色	2	10^2	± 2	Z	250
橙色	3	10^3	—	—	—
黄色	4	10^4	—	—	—
绿色	5	—	± 5	—	500
蓝色	6	—	—	—	—
紫色	7	—	—	—	—
灰色	8	10^{-2}	-20 或 80	Y	—
白色	9				

5. 电容器的检测

检测电容器的工具很多，这里只介绍电容器的简易检测方法。

1) 固定电容器的检测

(1) $0.01 \mu\text{F}$ 以上固定电容器的检测。将模拟万用表置 $R \times 10 \text{ k}$ 挡，用两根表笔分别接触电容器的两个引脚，在表笔接通瞬间，万用表的指针应向右微小摆动，然后又返回至“ ∞ ”处，调换表笔后，再次测量，指针也应该向右摆动后返回至“ ∞ ”。电容器容量越大，指针摆动幅度越大。

如果指针摆动至“0”附近，说明电容器已击穿或严重漏电；如果指针摆动后不再回至“ ∞ ”处，说明电容器有漏电流；如果两次指针均不摆动，则说明电容器已损坏。

(2) 小于 $0.01 \mu\text{F}$ 的固定电容器的检测。检测 10 pF 以下的小电容。因为 10 pF 以下的固定电容器容量太小,用万用表进行测量,只能定性地检查其是否有漏电、内部短路或击穿现象。测量时,可选用万用表 $R \times 10 \text{ k}$ 挡,用两表笔分别任意接电容的两个引脚,阻值应为无穷大。若测出阻值(指针向右摆动)为零,则说明电容漏电损坏或内部击穿。

检测 $10 \text{ pF} \sim 0.01 \mu\text{F}$ 固定电容器可采用如下方法。万用表选用 $R \times 10 \text{ k}$ 挡。选用两只或三只三极管(β 值均为 100 以上,且穿透电流要小,可选用 3DG6 等型号硅三极管)组成复合管。万用表的红、黑表笔分别与复合管的发射极 e 和集电极 c 相接,被测电容器接在第一只三极管的 b、e 之间。在测试操作时,特别是在测较小容量的电容时,要反复调换被测电容引脚接触 b、e 两点,才能明显地看到万用表指针的摆动。如果调换电容器引脚,指针微摆动后返回至“ ∞ ”,说明电容器正常,如果指针不动或不能返回至“ ∞ ”处,说明电容器已损坏。

2) 电解电容器的检测

电解电容的容量一般比固定电容大得多,测量时,应针对不同容量选用合适的量程。一般情况下, $1 \sim 47 \mu\text{F}$ 间的电容,可用 $R \times 1 \text{ k}$ 挡测量,大于 $47 \mu\text{F}$ 的电容可用 $R \times 100$ 挡测量。电容器容量越小,电阻挡倍率选择应越大。测量前应让电容器充分放电。将模拟万用表的黑、红两只表笔分别接触电容器的正、负引脚。在接通瞬间,万用表指针应向右摆动至某一位置,然后缓慢向左回摆,停在某处,指示出电容器的正向绝缘电阻,通常在 $500 \text{ k}\Omega$ 以上。调换表笔测量,指针重复前边现象,最后指示的是电容器的反向绝缘电阻,应略小于正向绝缘电阻。如果指针不摆动,说明电容器已损坏;如果电容器指示的正向、反向绝缘电阻小于 $100 \text{ k}\Omega$ 或为 0,则说明电容器漏电流大或内部短路,不能再使用。

电解电容器正、负极的检测。一般在电解电容圆柱表面用“+”、“-”表示极性,或引线长的为正极,短的为负极。不能判断的情况下,可用万用表的两只表笔接触电容器两只引脚,测量电容器的绝缘电阻。调换表笔再次测量。数值大的为正向绝缘电阻,这时,黑表笔接的是电容器的正极。

3) 可调、预调电容器的检测

可调、预调电容器容量通常都较小,主要是检测电容器动片与定片之间是否有短路情况。用模拟万用表 $R \times 1 \text{ k}$ 、 $R \times 10 \text{ k}$ 挡,分别测量可变电容器动片与各定片引脚之间的绝缘电阻,如果测量电阻均为无穷大,说明电容器正常;如果测量电阻很小或为某一阻值,说明动片与定片间有短路或漏电流故障。

某些模拟万用表和数字万用表具有测量电容器电容量的功能。具体测量方法可参见万用表的使用方法。

6. 电容器的选用

根据电路的具体要求来选择合适型号、容量和种类的电容器。

不同型号的电容器用于不同的电路。高频电路中应该选择高频特性好的电容器。如高频瓷介电容器、玻璃釉电容器、云母电容器等。在中、低频电路中,可选择纸介电容器、金属化电

容器、低频陶瓷电容器、有机薄膜电容器、电解电容器等。在调谐电路中,选择固体介质可调电容器、空气介质电容器、预调电容器等。

大容量的电容器多用于低频电路;小容量的电容器多用于高频电路。如电解电容器多用于电源电路或中、低频电路中起滤波、退耦、旁路、隔直、耦合等功能。

在一般电路中,对电容器的电容量要求较低,允许偏差可以较大,如低频耦合、旁路、退耦电路中,允许偏差可以达到 10% 或 20%;在要求较高的电路中,则要求允许偏差要小的电容器,如振荡电路、自动控制等电路中要求允许偏差在 1% 以下。

选择电容器还要注意电容器的耐压值。耐压值应该高于实际电压 20% 左右或更大。在交流电路中,电容器的耐压值应大于交流电压的最大值。

3.1.3 电感器与变压器

1) 电感器与变压器的分类

电感器一般由线圈组成。常用的电感器有小型固定电感线圈(色码电感器),高频电感元件是根据电磁感应原理制作的元件。电感器分为两大类:一类是自感作用电感线圈;另一类是互感作用的变压器和互感器。

线圈中的自感电动势将阻碍原磁场的变化,即阻碍通过线圈的电流变化。这种阻碍作用的大小用感抗 X_L 表示,单位是 Ω 。

常见的电感器有 X 扼流圈、低频扼流圈、小型振荡线圈等;变压器有低频、中频、高频变压器等。

常用电感线圈和变压器外形如图 3-15 所示。使用时可根据外形识别。

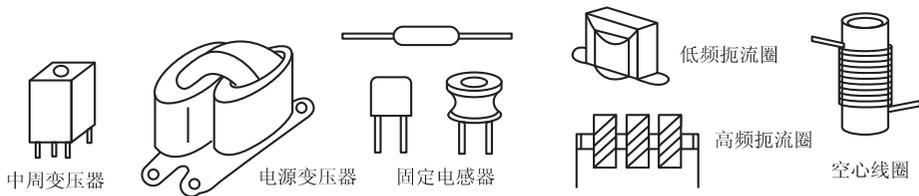


图 3-15 常用电感线圈和变压器

2) 电感器与变压器的简单测试

使用万用表可粗略检查电感器与变压器的好坏。方法是用万用表的电阻挡,依次测试电

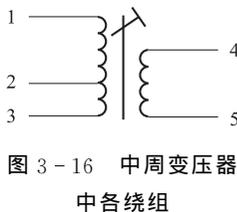


图 3-16 中周变压器中各绕组

感器、变压器中线圈各绕组和绕组之间的直流电阻值,与原估计阻值(可以是相同的正常电感器、变压器的直流电阻值)加以比较,以检查绕组有无开路或短路现象及绕组间有无短路。以图 3-16 所示的中周变压器为例,用万用表测试 1~5 各引线之间的电阻值,1—2、2—3、1—3、4—5 之间呈现很小的直流电阻值,1—4、2—4、3—4、1—5、2—5、3—5 之间的电阻数值很大,否则中周变压器已损坏。