

第3章

常用电子元器件的基础知识与简易测试

电子元器件是电子电路的基本组成单元,在电路中工作时能够表现出不同的电气特性,正确地选择和使用元器件是保证电子电路正常工作的前提条件。本章主要介绍电阻器、电容器、电感器、半导体二极管、半导体三极管以及集成电路的基本知识和测试方法。

3.1 电阻器

电阻器是电子设备中应用最广泛的元件之一,是一种耗能元件,在电路中的主要作用是限流、分流、分压、阻抗匹配,也可以作为负载或者与其他元件共同组成滤波器、移相器等单元电路。

3.1.1 电阻器的分类及符号

电阻器的种类繁多,根据电阻器在电路中工作时电阻值的变化规律,可分为固定电阻器、可变电阻器(电位器)和敏感电阻器三大类,它们的电路符号如图 3-1 所示。

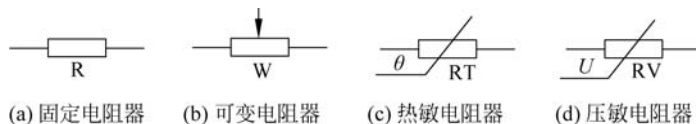


图 3-1 电阻器的电路符号

1. 固定电阻器

固定电阻器简称电阻,用符号 R 表示,其基本单位为欧姆,简称欧(Ω)。固定电阻器按电阻体的构成材料可分为线绕电阻器和非线绕电阻器两大类。非线绕电阻器又分为薄膜电阻器、有机(或无机)实心型电阻器以及玻璃釉膜电阻器,其中薄膜电阻器最常用。薄膜电阻器又可分为碳膜电阻器和金属膜电阻器等,不同材料的电阻器其工作特性也有差异,表 3-1 对常用电阻器进行了归纳和比较。

表 3-1 常用电阻器的分类

材料类型	名称及符号	特 点
薄膜型	碳膜电阻器(RT)	工作稳定、耐高温、高频特性好、价格便宜、应用广泛
	金属膜电阻器(RJ)	耐高温、稳定性及温度系数均优于碳膜电阻器,体积小、精度高
	金属氧化物电阻器(RY)	抗氧化性和热稳定性优于金属膜电阻器、阻值范围小,补充金属膜电阻大功率及低阻部分
	玻璃釉膜电阻器(RI)	耐高温、阻值范围宽、温度系数小、耐湿性好,常用于制作贴片电阻
线绕型	线绕电阻器(RX)	耐高温、精度高、功率大,但高频性能差

在单片机系统、数字仪器仪表以及 A/D、D/A 转换单元电路中,经常用到以集成电路形式封装的多个具有相同参数和性能的电阻,它们制作在同一块基片上,这样的元件称为电阻排,也称为集成电阻。常见的电阻排有单列直插式和双列直插式两种类型,其内部结构如图 3-2 所示。单列直插式电阻排的内部电阻都有一个公共端,外部封装标有色点的位置所对应的引脚即为公共端。



图 3-2 常用电阻排的两种封装类型

碳膜电阻器是在陶瓷管架上,在真空和高温下沉积一层碳膜作为导电膜,通过厚度和刻槽控制阻值,在瓷管两端装上金属帽盖和引线,并外涂保护漆制作而成。碳膜电阻器的特点是稳定性好(指电压、温度的变化对阻值的影响较小)、噪声低、价格便宜、阻值范围宽($1\Omega\sim 10\text{M}\Omega$),适用于高频电路。

金属膜电阻器的结构与碳膜电阻器相似,只是导电膜是由合金粉蒸发而成的金属膜。金属膜电阻器各方面的性能均优于碳膜电阻,且体积小于同功率的碳膜电阻,阻值范围为 $1\Omega\sim 620\text{M}\Omega$,广泛应用在稳定性及可靠性要求较高的电路中。

2. 可变电阻器

可变电阻器即电阻值可变的电阻器,在电路中经常作为调整电位的元件使用,所以又称为电位器,符号为 W。常用的电位器类型包括合成碳膜电位器(WTH)、线绕电位器(WX)、金属陶瓷微调电位器等。

电位器是一个三端元件,有两个固定接线端和一个滑动端,滑动端通过金属动片(又称为电刷)与电阻体相连,通过调整与电刷相连的机械转动装置可改变电刷在电阻体上的位置。两个固定端之间的电阻值是电位器的标称电阻值,连续调整电刷在电阻体上的位置,在任意固定端与滑动端之间可获得标称值范围内连续变化的电阻值。

目前,应用逐渐增多的电位器类型是电子电位器(又称为数字电位器),实际上是利用数控模拟开关加一组电阻器构成的功能电路,已有多种型号的数字电位器集成电路,其特性和应用与一般的集成电路相同。

3.1.2 电阻器型号的命名规则

固定电阻器和电位器的型号命名由四部分组成,表 3-2 说明了各部分的含义以及所用的字母代号。

表 3-2 固定电阻器、电位器型号的命名方法

第一部分			第二部分	第三部分	第四部分
主称	材料	类别	额定功率/W	阻值	允许误差
R: 电阻器 W: 电位器	T: 碳膜	1、2: 普通	1/16	E24	I (J): $\pm 5\%$
	H: 合成膜	3: 超高频	1/8	E12	II (K): $\pm 10\%$
	J: 金属膜	4: 高阻	1/4	E6	III (M): $\pm 20\%$
	Y: 氧化膜	5: 高温	(前三种常用)	其他: E48 E96 ...	02(G): $\pm 2\%$
	X: 线绕	7: 精密			01(F): $\pm 1\%$
	S: 有机实芯	8R—高压			005(D): $\pm 0.5\%$
	N: 无机实芯	W—特殊函数	1/2		(C): $\pm 0.25\%$
	C: 沉积膜	9: 特殊	1		(B): $\pm 0.1\%$
	I: 玻璃釉膜	G: 高功率	2		
	...	T: 可调	...		
		X: 小型	10		
		W: 微调			
		D: 多圈			
		L: 测量用			
		...			

例如,某电阻的型号为 RJ71-0.125-100-II,表示它是金属膜材料的电阻,额定功率为 1/8W,标称阻值为 100Ω ,允许误差为 $\pm 10\%$ 。

敏感电阻器的型号命名由四部分构成:第一部分是主称,用 M 表示敏感电阻器;第二部分用字母表示是其材料或类别;第三部分用数字表示其特性、用途;第四部分为产品序号。敏感电阻的材料及其代码见表 3-3。敏感电阻的特性、用途及其代码见表 3-4。

例如,某热敏电阻的型号为 MF41,表示该电阻器是一种负温度系数的热敏电阻,其工作特性为旁热式,产品序号为 1。

表 3-3 敏感电阻的材料及其代码

字 母	材 料	字 母	材 料	字 母	材 料	字 母	材 料
Z	正温度系数热敏材料	S	湿敏材料	G	光敏材料	Y	压敏材料
F	负温度系数热敏材料	Q	气敏材料	C	磁敏材料		

表 3-4 敏感电阻器的特性、用途及其代码

热敏电阻		光敏电阻		压敏电阻		湿敏电阻	
代码	用途及特性	代码	用途及特性	代码	用途及特性	代码	用 途
1	普通用	1、2、3	紫外光	W	稳压	C	测湿
2	稳压	4、5、6	可见光	G	高压保护	K	控温
3	微波测量	7、8、9	红外光	P	高频	气敏电阻	
4	旁热式	0	特殊	N	高能	代码	用 途
5	测量	力敏电阻		K	高可靠	Y	气敏

续表

热敏电阻		光敏电阻		压敏电阻		湿敏电阻	
代码	用途及特性	代码	用途及特性	代码	用途及特性	代码	用 途
6	控温	代码	用 途	L	防雷	K	可燃性
7	消磁用	1	硅应变片	H	灭弧	磁敏电阻	
8	线性用	2	硅应变梁	Z	消噪	代码	用 途
9	恒温用	3	硅柱	B	补偿	Z	电阻器
0	特殊			C	消磁	W	电位器

3.1.3 电阻器标称值和允许误差的标注方法

标注在电阻器上的电阻值称为标称值。电阻器的实际阻值与标称阻值有一定的偏差,最大偏差与标称阻值的百分比称为电阻器的允许误差(简称允差),它表示产品的精度。由于工厂商品化生产的需要,电阻的标称值是按特定的数值序列确定的。目前主要采用的是E系列数值,当E取不同数值时,按通项公式

$$a_n=(\sqrt[n]{10})^{n-1}(n=1,2,3,\cdots) \quad (3-1)$$

计算所得数值四舍五入取近似值,形成系列数值。常用的E系列为E₆、E₁₂、E₂₄等,其包含的系列值与相应的允许误差见表3-5。

表 3-5 电阻器的标称系列值及允许误差

系 列	允许误差	标称系列值												
E ₂₄	±5%(Ⅰ)	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3
		3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1		
E ₁₂	±10%(Ⅱ)	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2	
E ₆	±20%(Ⅲ)	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8							

电阻值的单位为欧姆(Ω),常用单位还有千欧(kΩ)、兆欧(MΩ)等,它们之间的关系是1MΩ=10³kΩ=10⁶Ω。电阻器的标称值应为表3-5所列数值乘以10ⁿΩ,其中n为整数。

电阻器的阻值和允许误差的标注方法有直标法、数码法和色标法。

1. 直标法

直标法又分为全标法、位符法和简标法。

全标法是在电阻体的表面直接印制标称电阻值和允许误差以及其他信息,如图3-3所示。

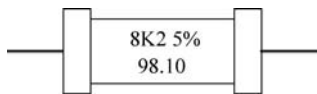


图 3-3 直标法示例

位符法主要用于电阻值的标注,采用单位符号代替小数点,可使标称值的标注进一步简化而且易于辨识。

例如,0.22Ω可标注为Ω22,8.2Ω可标注为8Ω2,

4. $7\text{k}\Omega$ 可标注为 4K7。

简标法能够进一步简化电阻值的标注,但应遵循以下规则:

- (1) 阻值在 1Ω 以下,标注格式为<数值>+ Ω ,如 0.1Ω 。
- (2) 阻值为 $1\sim 1\text{k}\Omega$,直接标注数值,如 560,即表示 560Ω 。
- (3) 阻值大于 $1\text{k}\Omega$,标注格式为<数值>+单位符号,例如 24K,即表示 $24\text{k}\Omega$ 。

直标法一目了然,但只适用于体积较大的电阻器。

2. 数码法

数码法是用三位数字表示电阻器的标称值,用一个字母或罗马数字表示允许误差。

如图 3-4 所示, a 、 b 表示标称值的前两位数字, n 为标称值前两位数字后零的个数,即标称值等于 $ab \times 10^n$,单位为 Ω 。

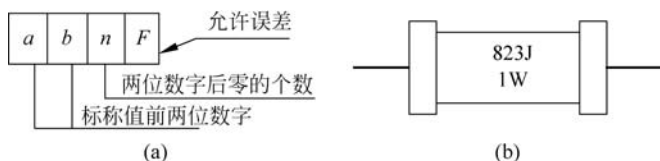


图 3-4 数码法及实例

图 3-4 中的标注实例表示电阻值为 $82 \times 10^3 \Omega$,即 $82\text{k}\Omega$,功率为 1W ,允许误差为 $\pm 5\%$ 。

3. 色标法

为了使电阻值与允许误差的标注更为简便和易于辨识,采用不同颜色的色带或色点来代替数字,用不同颜色的组合值来表示电阻的标称值和允许误差,这就是色标法。对于电阻器,颜色经常以色环的形式印刷在电阻体上,所以也称为色环表示法。各种颜色所代表的数字及其含义见表 3-6。该表也适用于色标法表示电容、电感的标称值和允许误差,用于电阻时为 Ω ,用于电容时为 pF ,用于电感时为 μH 。

表 3-6 色标法所用颜色代表的数字及含义

含义	颜 色												
	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑	金	银	无色
有效数字	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	—	—	—
倍率(10^n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	-1	-2	—
误差($\pm x\%$)	1	2	—	—	0.5	0.25	0.1	—	—	—	5	10	20
表示误差时 相应的字母 代号	F	G	—	—	D	C	B	—	—	—	J	K	M

用色标法表示电阻的标称值和允许误差时,其数值是用色环表示的。常见的是用四种色环或五种色环进行标注,相应的电阻称为四环电阻(普通电阻)和五环电阻(精密电阻)。图 3-5 说明了通过色环确定电阻标称值和允许误差的方法。

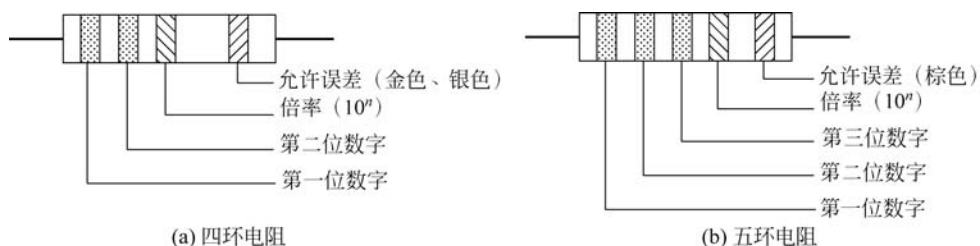


图 3-5 电阻体上色环的含义

以四环电阻为例,前两个色环表示电阻值的前两位数字(五环电阻,前三个色环表示电阻值的前三位数字),第三个色环表示前两位数字后零的个数,即 10 的幂次数(如果第三环表示的数字为 n ,则称 10^n 为倍率),阻值的单位是 Ω ,最后一环表示允许误差。为了正确读取色环表示的电阻值和允许误差,读取时首先需要确定电阻体两端哪一个色环表示电阻值的第一位数字,通常按以下原则确定:

- (1) 表示电阻值第一位数字的色环距邻近引脚的距离比误差环距其邻近引脚的距离要近一些。
- (2) 误差环与倍率环之间的距离要大于其他相邻色环之间的距离,据此可先判定误差环的位置,则电阻体另一端的色环即为表示电阻值第一位数字的色环。
- (3) 如果电阻体两端的色环颜色相同,则表示允许误差的色环更宽一些。
- (4) 金色、银色不能用于表示电阻值的数字,只能用于表示倍率和允许误差。
- (5) 橙色、黄色、灰色、白色、黑色等不能用于表示误差环。

确定了色环的读取顺序,就可以读出电阻的标称值和允许误差。如果应用上述规则仍无法准确地确定电阻的标称值和允许误差,则应使用仪器进行测量。

例如:红色黑色红色银色,表示该电阻的标称值为 $20 \times 10^2 \Omega$,即 $2k\Omega$,允许误差为 $\pm 10\%$;橙色橙色黑色棕色棕色,表示该电阻标称值为 $330 \times 10^1 \Omega$,即 $3.3k\Omega$,允许误差为 $\pm 1\%$ 。

3.1.4 电阻器的测试方法

1. 欧姆表法

测量电阻器阻值最常用的方法是欧姆表法,即使用指针式万用表的欧姆挡或数字多用表进行测量。使用数字多用表测量电阻值时,只要选择合适的量程(有的数字多用表会自动切换合适的量程)就可以获得精度较高的测量值。如果使用模拟万用表测量电阻值,则需要注意以下几点:

- (1) 指针式万用表的欧姆挡是反向刻度仪表,当测量值位于刻度尺的中央时,测量误差最小。因此,在测量时要选择合适的欧姆倍率挡,使测量值尽可能位于表盘刻度尺的中央附近,即刻度尺中心值的 $0.2 \sim 5$ 倍为宜,以提高测量精度。

(2) 每变换一次倍率挡,都要对欧姆挡重新调零。

(3) 在路测量电阻值时,首先要保证电路处于断电状态,防止损坏仪表和得到错误的测量值;其次被测电阻应从回路中断开,即从电路板上焊下电阻或者电阻的一个引脚,再进行测量,以消除其他元器件的并联效应。

(4) 测量电阻值时,应用一只手捏住电阻体的一端进行测量,而不应用两只手捏住电阻的两个引脚,以避免将人体电阻并联在内,尤其在测量阻值很高的电阻时更应注意。

(5) 在测量电位器时,除了测量其两个固定端之间的阻值以外,还要测试在调节与滑动端相连的机械转动机构时,滑动端与固定端之间的电阻变化情况,均匀转动相应的机械机构,观察电阻值的变化是否连续。

2. 电桥法

准确测量电阻器的电阻值通常需要使用模拟或数字电桥,其测量原理如图 3-6 所示。当电桥平衡时,待测电阻的阻值为

$$R_X = \frac{R_2 R_3}{R_1} \quad (3-2)$$

图 3-6 中 R_X 为待测电阻,通过调整已知电阻 R_1 、 R_2 和 R_3 的电阻值,使电桥平衡,即检流计 G 指示为零,通过式(3-2)得到待测电阻 R_X 的值。数字电桥实际上是将电桥 A、B 点之间的电压差进行 A/D 转换,通过计算自动调节桥臂电阻值,使电桥达到平衡,其测量原理与模拟电桥相似。

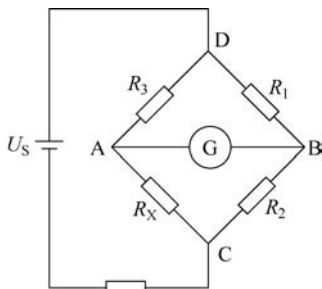


图 3-6 电桥法测电阻

3. 伏安法测量电阻

伏安法是一种间接测量法,理论依据是欧姆定律 $R=U/I$,给被测电阻两端施加一定的电压,然后用电压表和电流表分别测出电阻两端的电压和流过它的电流,即可计算出被测电阻的阻值。注意:在测试电压的作用下,电阻消耗的功率不能超过其额定功率。伏安法测量电阻值时的电路连接如图 3-7 所示。

图 3-7(a)所示电路称为电压表前接法。由图可见,电压表测得的电压为被测电阻 R_X 与电流表内阻 R_A 上的压降之和。因此,根据欧姆定律求得的测量值:

$$R_M = U/I_X = (U_A + U_X)/I_X = R_X + R_A > R_X \quad (3-3)$$

图 3-7(b)所示电路称为电压表后接法。由图可见,电流表测得的电流为流过被测电阻 R_X 的电流和流过电压表内阻 R_V 的电流之和,因此,根据欧姆定律求得的测量值:

$$R_M = U_X/I = U_X/(I_V + I_X) = R_X // R_V < R_X \quad (3-4)$$

在使用伏安法时,应根据被测电阻的大小选择合适的测量电路,如果预先无法估计被测电阻的大小,可先分别用上述两种电路进行测试,观察用两种电路测量时电压表和电流表读数的差别情况,若两种电路电压表的读数差别比电流表的读数差别小,则可选择电压表前接法;反之,则可选择电压表后接法。

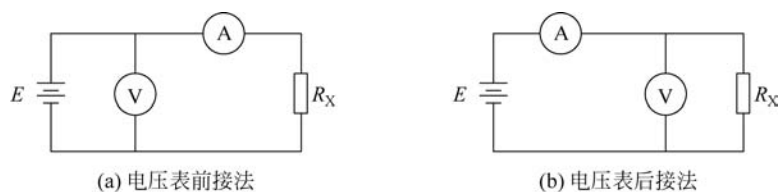


图 3-7 伏安法测量电阻

3.2 电容器

电容器是组成电子电路的基本元件之一,由两个相互靠近的金属电极与中间所夹的一层绝缘介质构成。电容器是一种储能元件,常用于谐振、耦合、隔直、滤波以及交流旁路等单元电路中。

3.2.1 电容器的分类及符号

电容器的种类很多,按结构可分为固定电容器、半可变电容器、可变电容器等,其电路符号如图 3-8 所示。

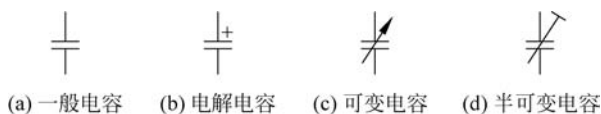


图 3-8 电容器的电路符号

电容器按介质可分为纸介电容器、聚丙烯电容器、云母电容器、铝电解电容器等。表 3-7 列出了常见电容器的名称、代号及其性能的简要说明。

表 3-7 常见电容器的名称、代号及其性能

名称及代号	稳定性	性 能
纸介电容器(CZ)	中	容量范围宽、绝缘电阻小、损耗大、体积大,只适用于直流或低频电路
云母电容器(CY)	极好	容量小、成本高、体积大,适用于对稳定性和可靠性要求高的高频电路中
陶瓷电容器(CC、CT)	好	高频瓷介(CC)适用于高频电路;低频瓷介(CT)适用于低频电路
聚苯乙烯电容器(CB)	极好	低损耗、体积大,适用于对稳定性和损耗要求高的电路
涤纶电容器(CL)	中	小体积、大容量,适用于一般的低频电路
聚丙烯电容器(CBB)	中	体积小,用于要求较高的电路
铝电解电容器(CD)	中	绝缘性差、损耗大,适用于低频电路
钽电解电容器(CA)	好	绝缘性好、体积小、稳定,但耐压值低,适用于要求高的电路

3.2.2 电容器型号的命名规则

电容器型号的描述主要由四部分组成：第一部分说明电容器的主称、材料、特性分类以及产品序号，电容器的主称用字母 C 表示；第二部分说明电容器的耐压值，单位是 V；第三部分描述电容器的容量，单位是 μF ；第四部分描述电容器的允许误差。其中第三部分、第四部分的描述方法与电阻器是相同的，可参考表 3-2。

电容器的材料代码及含义见表 3-8。电容器特性用数字或字母来表示，其代码及含义见表 3-9。

表 3-8 电容器材料代码及其含义

符 号	含 义	符 号	含 义	符 号	含 义	符 号	含 义
C	高频瓷介	B	聚苯乙烯	Q	漆膜	A	钽电解质
T	低频瓷介	BB	聚丙烯	Z	纸介	N	铌电解质
Y	云母	F	聚四氟乙烯	J	金属化纸介	C	合金电解质
I	玻璃釉	L	涤纶	H	复合介质		
O	玻璃膜	S	聚碳酸酯	D	铝电解质		

表 3-9 电容器特性分类中的数字、字母及其含义

数 字	1	2	3	4	5	6	7	8	9
瓷介	圆片	管形	叠片	独石	穿心	支柱		高压	
云母	非密封		密封	密封				高压	
有机	非密封		密封	密封	穿心			高压	特殊
电解	圆柱形		烧结粉液体	烧结粉固体		无极性			特殊
字母	D	X	Y	M	W	J	C	S	
含义	低压	小型	高压	密封	微调	金属化	穿心	独石	

注：以上规定对可变电容和真空电容不适用。

电容器的额定电压又称为耐压，是指在允许的环境温度范围内，电容器上可连续长期施加的最大电压有效值。使用时绝不允许电路的工作电压超过电容器的耐压，否则电容器会被击穿。电容器的额定电压也有规定的系列值，见表 3-10。

表 3-10 电容器额定电压系列值

单位：V

1.6	4	6.3	10	16	25	(32)	40	(50)	63
100	(125)	160	250	(300)	400	(450)	500	630	1000
1600	2k	2500	3k	4k	5k	63k	8k	10k	15k
20k	25k	30k	35k	40k	45k	50k	60k	80k	100k

注：带括号的系列值仅用于电解电容。

一般电解电容器和体积较大的电容器都将电压直接标在电容器上，较小体积的电容器则只能依靠型号判断。

例：电容器的型号为 CCX-250-0.022 $\pm$ 5%，表示该电容为小型高频瓷介电容，耐压值为 250V，容量为 0.022 μ F，电容量的允许误差为 $\pm$ 5%。

电容器的型号为 CT12，则表示该电容为圆片低频瓷介电容器，其中“2”表示产品序号。

3.2.3 电容器标称值和允许误差的标注方法

电容器在标注时，一般要标示出容量、耐压值和允许误差三部分。电容量的单位是法拉(F)、微法(μ F)、纳法(nF)和皮法(pF)，它们之间的关系为 $1\text{F}=10^6\mu\text{F}=10^9\text{nF}=10^{12}\text{pF}$ 。电容器的标注方法主要有直标法、数码法和色标法三种。

1. 直标法

与电阻器的标注方法类似，直标法也分为全标法、位符法和简标法。全标法是将电容器的容量、耐压及允许误差直接标注在电容器的外壳上，允许误差一般用字母表示。

例如，电容器的型号为 100V-4.7 μ F-I，表示电容器的容量是 4.7 μ F，耐压值为 100V，允许误差为 $\pm$ 5%。

位符法用于标注电容器的容量，用字母表示允许误差，如果单位符号位于数字之前或数字之间，则它既表示读数单位又表示小数点的位置。

例如：47nJ 表示电容的容量是 47nF，允许误差为 $\pm$ 5%；p22F 表示电容的容量是 0.22pF，允许误差为 $\pm$ 1%；2n2K 表示电容的容量是 2.2nF，允许误差为 $\pm$ 10%。

简标法一般只用于标注电容量，标注时遵循以下规则：

(1) 电容量小于 10pF，标注数值后加单位“pF”，如 2.2pF。

(2) 电容量在 10~10000pF 范围内，一般只标注数值，单位“pF”可省略，如 1000，表示电容量为 1000pF。

(3) 电容量在 10000~1000000pF 范围内，默认单位是“ μ F”，只标数值，省略单位，如 0.033 表示为 0.033 μ F。

(4) 电容量大于 1 μ F，容量和单位均应标出，如 6.8 μ F、100 μ F 等。

2. 数码法

其标注形式为<耐压值>+<电容量>+<允许误差>。

耐压值用一位数字与单个字母表示，每个字母所代表的数值见表 3-11，数字表示 10 的幂次数。若字母代表的数值为 a ， b ，数字为 n ，则耐压值的计算公式为 $a.b \times 10^n$ ，单位为 V。

表 3-11 耐压值代码中字母所代表的数值

字 母	A	B	C	D	E	F	G	H
数 值	1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	3.5	4.0	5.0

例如,耐压值标识为 2A,先查表 3-11,得到 A 所代表的数值为 1.0,则耐压值为 $1.0 \times 10^2 = 100(\text{V})$ 。

电容量用三位数字表示,前两位数字表示电容量的第 1、2 位数字,第三位数字表示电容量第 1、2 位数字后零的个数,单位是 pF。

注意:如果第三位数字是 9,则表示倍率为 10^{-1} ,而不是 10^9 。该标注规则只适用于电容器,对于电阻器和电感器型号的数码标注法无效。

例如:473,表示电容量为 47000pF,即 $0.047\mu\text{F}$;479 表示电容量为 4.7pF 。

允许误差用单个字母表示,字母所代表的误差值,可参考表 3-2。

例如,电容的型号为 2A473J,表示电容的容量为 $0.047\mu\text{F}$,耐压值为 100V,允许误差为 $\pm 5\%$ 。

3. 色标法

色标法是使用色环或色点标注电容器的容量和允许误差,读数方法可参考电阻器标注方法中的色标法一节中的相关内容。读数时电容的引脚向下,有标识的一面正对观察者,由上至下顺序读取。如果电容器的参数用色点标注,色点一般标注在电容器外壳的边沿,按前述方法摆放好电容器后,按顺时针方向依次读取。

3.2.4 电容器的测试方法

1. 谐振法

将交流信号源、交流电压表、标准电感 L 和被测电容 C_X 连成如图 3-9 所示的并联电路,其中 C_0 为标准电感的分布电容。

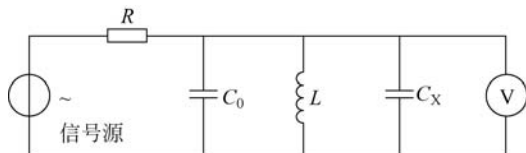


图 3-9 并联谐振法测量电容量

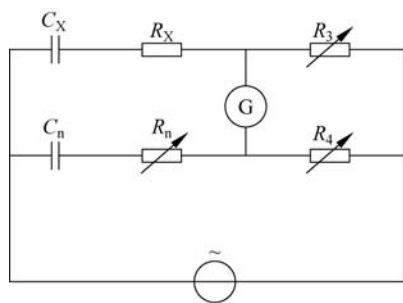
测量时,调节信号源的频率,使并联电路谐振,即交流电压表读数达到最大值,反复调节几次,确定电压表读数最大时所对应的信号源的频率 f ,则被测电容值为

$$C_X = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} - C_0 \quad (3-5)$$

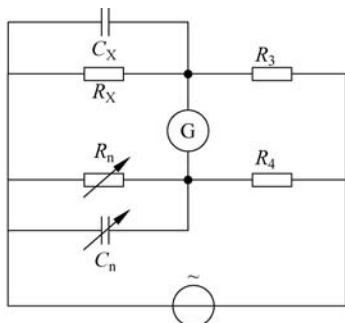
2. 交流电桥法测量电容量和损耗因数

交流电桥的测量电容参数的原理如图 3-10 所示。

对于图 3-10(a)所示的串联电桥, C_X 为被测电容, R_X 为其等效串联损耗电阻,由电



(a) 串联测量电桥



(b) 并联测量电桥

图 3-10 交流电桥测量电容参数的原理

桥平衡条件可得

$$C_X = \frac{R_4}{R_3} C_n \quad (3-6)$$

$$R_X = \frac{R_3}{R_4} R_n \quad (3-7)$$

$$D_X = \frac{1}{Q} = \tan \delta = 2\pi f R_n C_n \quad (3-8)$$

测量时,先根据被测电容的范围,通过改变 R_3 来选取合适的量程,然后反复调节 R_4 和 R_n 使电桥平衡,即检流计读数最小,从 R_4 、 R_n 刻度读 C_X 和 D_X 的值,这种电桥适合测量损耗较小的电容器。

对于图 3-10(b)所示的并联电桥, C_X 为被测电容, R_X 为其等效并联损耗电阻,测量时,调节 R_n 和 C_n 使电桥平衡,此时

$$C_X = \frac{R_4}{R_3} C_n \quad (3-9)$$

$$R_X = \frac{R_3}{R_4} R_n \quad (3-10)$$

$$D_X = \frac{1}{Q} = \tan \delta = \frac{1}{2\pi f R_n C_n} \quad (3-11)$$

该电桥适用于测量损耗较大的电容器。

3.2.5 电解电容器的简易判别

电解电容在使用时必须要注意极性,工作时正极的直流电位要高于负极。如果正、负极安装错误,漏电会明显增大。此外,将高耐压值电容用于低电压电路时,电容量也会减少。电容器引脚的极性可以使用以下方法确定。

1. 从封装判别

电解电容的圆柱形外壳上都印有一条不同于电容体颜色的色带,色带上印有矩形负极标志,邻近该色带的引脚是电解电容的负极。此外,新购买的电解电容,其两个引脚的长度不同,长引脚对应的是电解电容的正极。

2. 使用欧姆表判别

电解电容在反向使用时漏电会增大,根据这一特性可以选择万用表欧姆挡合适的倍率挡测量两个引脚之间的电阻值,然后保持引脚的顺序不变,交换表笔再测一次。阻值较大的那次测量,与黑表笔相连的引脚是电解电容的正极。注意:每次测量之前都要将电解电容的两个引脚先短路放电,要等电容充电完成后再读数,该方法只适用于测量容量较大的电容。

此外,使用指针式万用表的欧姆挡可以粗略地判断电解电容容量的大小以及性能。这种方法一般只适用于测试容量较大的电解电容(大于 $1\mu\text{F}$),测量时要先选择一个合适的欧姆挡(小容量选大倍率挡,大容量选小倍率挡)。万用表的黑表笔应与电解电容的正极相连接,红表笔与电解电容的负极相连接。测量之前也要先将电容的两个引脚短路放电,根据表针的摆动情况可以得出一些近似结论,如表 3-12 所列。

表 3-12 用欧姆表简易判别电容电解的现象及结论

表针摆动情况	结 论	说 明
表针首先出现较大幅度右摆,然后向左退回“ ∞ ”	好电容	表针摆动幅度大,且返回慢,说明容量大
表针不动(停在“ ∞ ”上)	坏电容	内部开路,电解液干涸
表针指示阻值很小(右摆停至 0 位)	坏电容	内部短路,被击穿
表针首先大幅度右摆,然后向左退,但退不回“ ∞ ”处	漏电	表针返回时,指示的示值越小,表明漏电越严重

3.3 电感器

电感器又称电感线圈,是根据电磁感应原理制成的。其主要用于谐振、耦合、阻抗匹配、滤波、阻波、调谐、延迟、补偿等单元电路。

3.3.1 电感器的分类及符号

电感器通常分为两大类:一类是基于自感作用的电感线圈;另一类是基于互感作用的变压器。

1. 电感线圈的分类及符号

电感线圈的用途极为广泛,如 LC 滤波器、调谐放大器或振荡器中的谐振回路、均衡电路、去耦电路等。电感线圈用符号 L 表示。按电感线圈圈芯性质分为空心线圈和带磁芯的线圈,按绕制的方式分为单层线圈、多层线圈、蜂房线圈等,按电感量变化情况分为固定电感和微调电感等。

电感线圈的电路符号如图 3-11 所示。

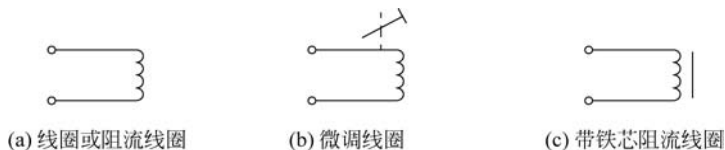


图 3-11 电感线圈的电路符号

2. 变压器的分类

变压器是利用两个绕组的互感原理来传递交流电信号和电能,同时能起变换前后级阻抗的作用。按变压器的结构分为芯式变压器和壳式变压器等,大功率变压器以芯式结构居多,小功率变压器常用壳式结构。按变压器的工作频率分为高频变压器、中频变压器和低频变压器。

3.3.2 电感器的主要参数

1. 电感量

线圈电感量的大小主要取决于线圈的圈数(匝数)、绕制方式及磁芯材料。电感的单位是亨利(H),简称亨,常用单位还有 mH、 μH 和 nH,单位之间的换算关系是 $1\text{H} = 10^3\text{mH} = 10^6\mu\text{H} = 10^9\text{nH}$ 。

2. 品质因数

品质因数通常称为电感器的 Q 值,是指电感器在某一频率的交流电压作用下,所呈现的感抗和直流电阻的比值,即

$$Q = \frac{2\pi fL}{R} \quad (3-12)$$

式中, f 为电路工作频率; R 为电感器的总损耗电阻。Q 值反映电感损耗的大小, Q 值越高,损耗功率越小,选择性就越好。

3. 分布电容

线圈绕组的匝与匝之间存在着分布电容,多层绕组的层与层之间也都存在着分布电

容,为了减小线圈的分布电容,可以减少线圈骨架的直径,用细导线绕制线圈或采用间绕法。

4. 额定电流

额定电流主要是对高频扼流圈和大功率的谐振电路而言。对于在电源滤波电路中常用的低频阻流圈,额定电流也是一个重要的参数,它是指电感器正常工作时允许通过的最大电流。若工作电流大于额定电流,电感器会因发热而改变参数,严重时烧毁。

5. 直流电阻

所有电感器都有一定的直流电阻,阻值越小,回路损耗越小。该阻值是用万用表判断电感好坏的一个重要依据。

3.3.3 电感器型号的标识

为了表明各种电感器的不同参数,便于在生产、维修时识别、使用,常在小型固定电感器的外壳上涂上标识,其标注方法有直标法、色标法和数码表示法。

1. 直标法

直标法是指在小型固定电感器的外壳上直接用文字标出电感器的主要参数,如电感量、允许误差、最大工作直流电流等,其中最大直流工作电流用字母表示,字母与其所代表的电流值见表 3-13。

表 3-13 小型固定电感器的的工作电流与字母代号

字 母	A	B	C	D	E
最大工作直流电流/mA	50	150	300	700	1600

例如,电感器外壳上标有 3.9mH-A-II,则表示其电感量为 3.9mH,允许误差为 $\pm 10\%$,最大工作直流电流为 50mA。

2. 色标法

色标法是指在电感器的外壳上涂上不同颜色的色环,用于表示电感量和允许误差。其读取方法、计算方法与电阻的色标法相同,单位是 μH 。

例如,某电感器的色环标志:红色红色银色金色,表示其电感量及允许误差为 $0.22 \pm 5\%(\mu\text{H})$;棕色红色红色银色,表示其电感量及允许误差为 $1.2 \pm 10\%(\text{mH})$;黄色紫色金色银色,表示其电感量及允许误差为 $4.7 \pm 10\%(\mu\text{H})$ 。

3. 数码法

标称电感值采用 3 位数字表示,前两位表示电感量的第 1、2 位数字,第 3 位数字表示

第 2 位数字后零的个数,小数点用 R 表示,单位是 μH 。

例如: 222 表示电感量为 2.2mH , 151 表示电感量为 $150\mu\text{H}$; 100 表示电感量为 $10\mu\text{H}$, R68 表示电感量为 $0.68\mu\text{H}$ 。

3.3.4 电感器的测试方法

1. 谐振法

图 3-12 给出了并联谐振法测量电感的电路,其中 C 为标准电容, L 为被测电感, C_0 为被测电感的分布电容。

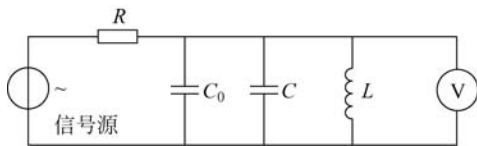


图 3-12 谐振法测量电感

测量时,调节信号源频率,使电路产生谐振,此时电压表的示值最大,记下此时的信号源频率 f ,则

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 (C + C_0)} \quad (3-13)$$

由此可见,还需要测出分布电容 C_0 ,测量电路仍如图 3-9 所示,只是不接标准电容 C ,调节信号源的频率,使电路产生谐振,设此时频率为 f_1 ,则

$$C_0 = \frac{f^2}{f_1^2 - f^2} C \quad (3-14)$$

由式(3-13)、式(3-14)可得

$$L = \frac{1}{(2\pi f_1)^2 C_0} \quad (3-15)$$

将 C_0 代入 L 的表达式,即可得到被测电感的电感量。

2. 交流电桥法

交流电桥法测量电感的原理如图 3-13 所示。

如图 3-13(a)所示的马氏电桥适用于测量 $Q < 10$ 的电感, L_X 为被测电感, R_X 为被测电感的损耗电阻,由电桥平衡条件可得

$$L_X = R_2 R_3 C_n \quad (3-16)$$

$$R_X = \frac{R_2 R_3}{R_n} \quad (3-17)$$

$$Q_X = \omega R_n C_n = Q_n \quad (3-18)$$

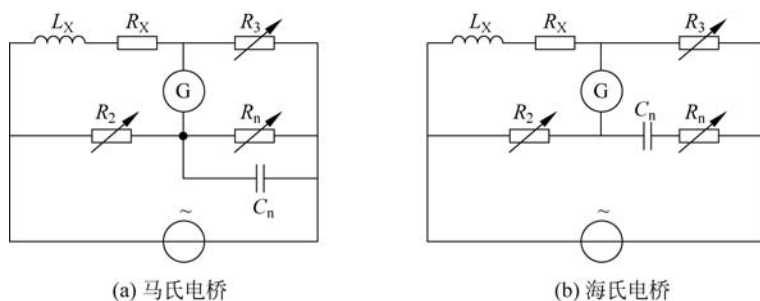


图 3-13 交流电桥法测量电感的原理图

马氏电桥中, R_3 通过开关转换不同阻值作为量程选择, R_2 和 R_n 为可调元件, 由 R_2 的刻度可直接读取 L_X , 由 R_n 的刻度可直接读取电感的 Q 值。

如图 3-13(b)所示的海氏电桥适用于测量 $Q > 10$ 的电感, 图中 L_X 为被测电感, R_X 为被测电感的损耗电阻, 由电桥平衡条件可得:

$$L_X = R_2 R_3 C_n \quad (3-19)$$

$$R_X = \frac{R_2 R_3}{R_n} \quad (3-20)$$

$$Q_X = \frac{1}{\omega R_n C_n} \quad (3-21)$$

海氏电桥和马氏电桥一样, 通过 R_3 选择量程, 从 R_2 的刻度可直接读取 L_X 的值, 根据 R_n 的示值直接读取 Q 值。

用电桥测量电感时, 首先应估计被测量电感的 Q 值, 以确定电桥的类型, 再根据被测电感的电感量的范围选择量程(R_3), 然后反复调节 R_2 和 R_n , 使检流计 G 的读数达到最小, 即可从 R_2 和 R_n 的刻度上读出被测电感的 L_X 和 Q_X 值。

3.3.5 电感器的简易测试与选用

1. 利用万用表的欧姆挡可粗略地检测电感是否能正常工作

具体方法如下:

- (1) 选择合适的欧姆倍率挡, 一般使用万用表的 $R \times 1\Omega$ 挡。
- (2) 欧姆挡调零。
- (3) 测量电感两引脚之间的电阻, 根据测量值可得到一些初步结论, 见表 3-14。

表 3-14 根据电感器线圈的电阻值判断电感是否能正常工作

现 象	可 能 原 因	结 论
表针指示电阻值为零点几至几欧	直流电阻值的大小与绕制电感器线圈所用的漆包线直径、绕制圈数有直接关系, 只要能测出电阻值, 则可认为被测电感器是正常的	好电感

续表

现 象	可 能 原 因	结 论
表针不动(停在“ ∞ ”位置)	电感线圈开路	坏电感
表针指示电阻值为零	电感线圈严重短路	坏电感
表针指示电阻很大	电感线圈多股线中有几股断线	坏电感

2. 电源变压器的简易测试

(1) 绝缘性能测试: 使用万用表欧姆挡, 选择 $R \times 10K$ 倍率挡, 分别测量铁芯与一次绕组、一次绕组与二次绕组、铁芯与二次绕组、静电屏蔽层与一次和二次绕组间的电阻值, 应均为无穷大; 否则, 说明变压器绝缘性能不良。

(2) 测量绕组的通断: 用欧姆挡的 $R \times 1\Omega$ 倍率挡, 分别测量变压器的一次、二次绕组接线端之间的电阻值, 一般一次绕组的电阻值应为几十至几百欧, 变压器的功率越小, 电阻值越小; 二次绕组的电阻值一般为几至几十欧, 如果某一绕组的电阻值为无穷大, 则该绕组有断路故障。

(3) 测量空载电流: 将二次绕组开路, 测量一次绕组通过的电流, 变压器一次绕组的空载电流约为 $100mA$, 如果超过太多, 则说明变压器有局部短路故障。

其他变压器, 如中频变压器、阻抗匹配器等, 一般只能判断是否有开路或短路故障。

3. 电感器的选用

要根据实际电路的工作频率选用不同频率特性的电感线圈, 此外还要考虑采用不同材料的磁芯。

用于音频段的电感器一般要用铁芯(硅铁片或坡莫合金)或低频铁氧体芯。

工作频率在几百千赫兹到几百兆赫兹之间的线圈最好用铁氧体磁芯, 并用多股绝缘线绕制。

工作频率在几到几十兆赫兹, 宜选用单股镀银粗铜线绕制, 磁芯要采用短波高频铁氧体, 也可采用空心线圈。

工作频率在 $100MHz$ 以上时, 只能用空心线圈。

3.4 半导体分立器件

半导体分立器件包括二极管、三极管及半导体特殊器件。尽管由于集成电路的发展使半导体分立器件的应用范围越来越小, 但受频率、功率等因素制约, 分立器件仍然是电子电路中不可缺少的组成部分。下面以半导体二极管和三极管为主介绍相关的基本知识和测试方法。

3.4.1 半导体分立器件的分类和符号

半导体分立器件按材料可分为锗管和硅管。半导体二极管按结构可分为点接触型和面接触型。双极型晶体管(三极管)按类型可分为 NPN 型和 PNP 型。通常情况下,二极管以应用领域分类,三极管以功率、频率分类,见表 3-15。

表 3-15 二极管、三极管的分类

二极管	普通二极管	整流二极管、检波二极管、稳压二极管、开关二极管等
	特殊二极管	微波二极管、变容二极管、雪崩二极管、TVP 管等
	敏感二极管	光敏二极管、温敏二极管、压敏二极管等
	发光二极管	
三极管	锗管	高频小功率管、低频大功率管
	硅管	低频大功率管、大功率高压管、高频小功率管、超高频小功率管、高速开关管、低噪声管、高频大功率管、微波功率管、超 β 管

常用二极管和三极管的电路符号如图 3-14 所示。

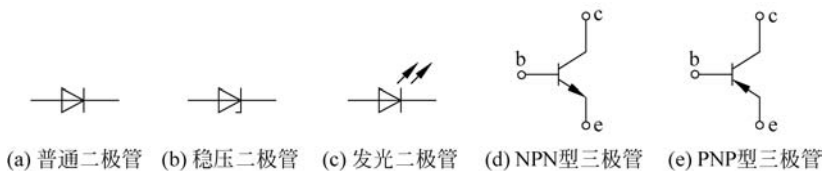


图 3-14 常用二极管和三极管的电路符号

3.4.2 半导体分立器件型号的命名

1. 中国半导体分立器件的型号命名

我国半导体器件的型号是按照它们的极性、材料、类型来命名的。根据国家标准 GB/T 249—2017《半导体分立器件型号命名方法》,一般半导体器件型号的命名由五部分组成:第一部分,用阿拉伯数字表示器件的电极数目;第二部分,用汉语拼音字母表示器件的材料和极性;第三部分,用汉语拼音字母表示器件的类型;第四部分,用阿拉伯数字表示产品序号;第五部分,用汉语拼音字母表示规格。

说明:场效应器件、半导体特殊器件、复合管、PIN 管和激光器件的命名只有第三、四和五部分。

各部分所使用的符号及含义见表 3-16。

表 3-16 国产半导体分立器件型号命名所使用的符号及含义

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	第五部分
符号	含义	符号	含义	符号	含义	含义	含义
2	二极管	A	N 型、锗	P	普通	反映了极限参数、直流参数和交流参数等性能参数之间的差别	表示同一型号的半导体器件按某一个参数的分挡标志
		B	P 型、锗	W	稳压管		
		C	N 型、硅	Z	整流管		
		D	P 型、硅	L	整流堆		
3	三极管	A	PNP 型、锗	CS	场效应管		
		B	NPN 型、锗	T	可控整流器		
		C	PNP 型、硅	U	光电器件		
		D	NPN 型、硅	K	开关管		
		E	化合物材料	X	低频小功率管		
				G	高频小功率管		
				D	低频大功率管		
				A	高频大功率管		

例如,2AP7,N 型锗材料普通二极管;3DG120E,NPN 型硅材料高频小功率三极管;3AX31C,PNP 型锗材料低频小功率三极管。

2. 部分国外半导体分立器件的命名

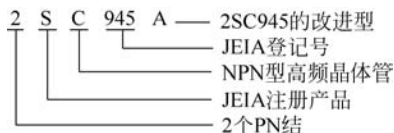
1) 日本半导体分立器件型号的命名方法

日本半导体分立器件型号的命名方法、所用符号及含义见表 3-17。

表 3-17 日本半导体分立器件型号的命名方法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分		第五部分	
用数字表示类型、PN 结数量或有效电极数		日本电子工业协会 (JEIA) 注册标志		用字母表示器件使用的材料、极性 & 类型		表示器件在日本电子工业协会的登记号		用字母表示对原有型号的改进品	
符号	含义	符号	含义	符号	含义	符号	含义	符号	含义
0	光电管及组合管	S	表示在日本工业协会注册登记过的半导体分立器件	A	PNP 型高频管	两位以上整数	从 11 开始,表示在日本电子工业协会的注册登记号,产于不同公司但性能相同的器件可使用同一顺序号,数字编号越大,表示产品的设计生产日期越晚	A	表示这一器件是原型号产品的改进型
1	二极管			B	PNP 型低频管			B	
2	三极管及其他两个 PN 结的晶体管			C	NPN 型高频管			C	
3	具有四个电极或三个 PN 结的晶体管			D	NPN 型低频管			D	
...	...			F	P 控制极晶闸管			E	
				G	N 控制极晶闸管			F	
				H	N 沟道场效应管			G	
n-1	n 个有效电极或 n-1 个 PN 结的晶体管			J	P 沟道场效应管			...	
				K	双向晶闸管				

例如,型号为 2SC945A 的晶体管,所表示的含义如下:



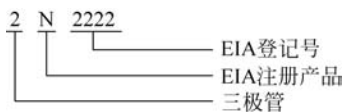
2) 美国半导体分立器件型号的命名方法

美国半导体分立器件型号的命名规则、所用符号及含义见表 3-18。

表 3-18 美国半导体分立器件型号的命名方法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分		第五部分	
用符号表示器件类别		用数字表示 PN 结的数目		美国电子工业协会 (EIA) 注册标记		美国电子工业协会登记号		用字母表示器件分挡	
符号	含义	符号	含义	符号	含义	符号	含义	符号	含义
JAN 或 J	军用品	1	二极管	N	该器件已在 美国电子工业 协 会 (EIA) 注册 登记	多 位 数 字	注册登记号	A	根据某个 参数划分 的同 一 型 号 产 品 的 型号细分
—	非军用品	2	三极管					B	
		3	三个 PN 结 器件					C	
		⋮	⋮					⋯	
		n	n 个 PN 结 器件						

例如,某晶体管的型号为 2N2222,所表示的含义如下:



3) 欧洲半导体分立器件型号的命名方法

欧洲半导体分立器件型号的命名规则、所用符号及含义见表 3-19。

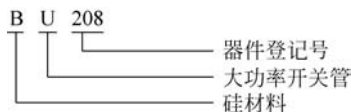
表 3-19 欧洲半导体分立器件型号的命名方法

第一部分		第二部分				第三部分		第四部分	
用字母表示器件使用的材料		用字母表示器件的类型及主要特性				用数字或字母加数字表示登记号		用字母对同一型号器件进行分挡	
符号	含义	符号	含义	符号	含义	符号	含义	符号	含义
A	锗材料	A	检波二极管、 开关二极管、	P	光敏器件	三位 数字	代表通用半 导体器件的 登记序号		
B	硅材料	B	混频二极管 变容二极管	Q	发光器件				
C	砷化镓材料	C	低频小功率 三极管	R	小功率晶闸管				
				S	小功率开关管				

续表

第一部分		第二部分				第三部分		第四部分	
用字母表示器件使用的材料		用字母表示器件的类型及主要特性				用数字或字母加数字表示登记号		用字母对同一型号器件进行分挡	
符号	含义	符号	含义	符号	含义	符号	含义	符号	含义
D R	锑化铟材料 复合材料	D	低频大功率三极管	T U X Y Z	大功率晶闸管 大功率开关管 倍增二极管 整流二极管 稳压二极管	一个字母 两个数字	代表专用半导体器件的登记序号	A B C D E …	表示同一型号的半导体器件按某一参数进行分挡的标志
		E	隧道二极管						
		F	高频小功率管						
		G	复合器件及其他器件						
		H	磁敏二极管						
		L	高频大功率三极管						

例如,某晶体管的型号为 BU208,所表示的含义如下:



3. 常用的通用型小功率晶体管

9000 系列和 8050、8550 系列三极管是小型电子产品设计和生产中常用的晶体管,它们的特性与特征参数见表 3-20。

表 3-20 常用晶体管的特性及主要特征参数

型 号	类 型	特性及用途	P_{CM}/mW	f_T/MHz
9011	NPN	高、中频放大	150	150
9012	PNP	线性好	500	150
9013	NPN	与 9012 配对作推挽	500	150
9014	NPN	线性好, h_{fe} 高	300	100
9015	PNP	与 9014 配对使用	300	150
9018	NPN	宽带高增益、放大	200	700
8050	NPN	低频功率放大	1000	190
8550	PNP	与 8050 配对使用	1000	200

4. 三极管共射电流放大系数的标识

共射电流放大系数是三极管的一个重要参数,一般情况下根据晶体管管壳上标出的

色点颜色或某一种晶体管型号命名的最后一位字母可判断出三极管共射电流放大系数的范围。不同颜色的色点所表示的共射电流放大系数的范围见表 3-21。

表 3-21 色点所表示的电流放大系数的范围

颜色	棕色	红色	橙色	黄色	绿色	蓝色
β	5~15	15~25	25~40	40~55	55~80	80~120
颜色	紫色	灰色	白色	黑色(或无色)		
β	120~180	180~270	270~400	400 以上		

许多国外生产的晶体管,用型号标识的最后一个字母划分同一类型晶体管共射电流放大系数的范围。不同类型的晶体管,其型号标识的最后一位字母所表示的数值范围并不相同,在器件手册中有详细说明,使用之前注意查阅。例如,型号为 S9013H 晶体管的共射电流放大倍数为 144~220,S9013F 的共射电流放大系数为 96~135。对于 9013 型号的晶体管,其他字母所表示的数值范围还有: D,64~91; E,78~112; G,112~166; I,190~300。

3.4.3 依据封装形式识别半导体分立器件

如图 3-15 所示,根据半导体二极管的封装形式可以区分其正负极。

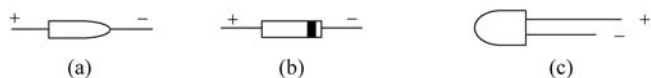


图 3-15 根据半导体二极管的封装识别其正负极

如图 3-16 所示,根据半导体三极管的封装形式可以区分晶体管的三个电极。

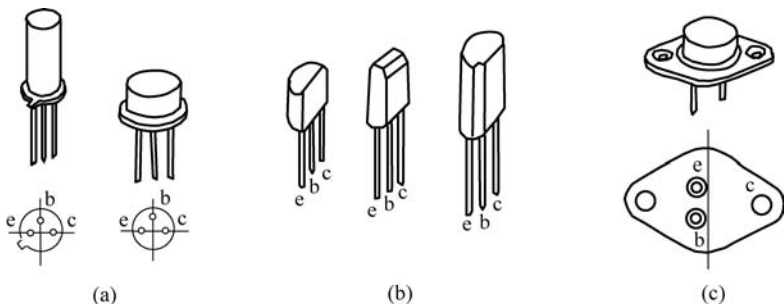


图 3-16 根据半导体三极管的封装形式判断引脚所对应的电极

图 3-16(a)为金属外壳封装的三极管各电极的排列情况;图 3-16(b)为部分塑料封装三极管电极的排列情况(9000 系列三极管的电极排列符合该顺序);图 3-16(c)为大功率金属外壳封装三极管电极的排列情况。



视频

3.4.4 半导体分立器件的测试

根据应用需求的不同,对半导体分立器件可进行精确参数测量和简易识别与测试。精确参数测量一般通过晶体管特性图示仪完成,本书附录详细介绍了 XJ4810 半导体管特性图示仪的使用方法,其中包括常用参数的含义及详细测试方法,本节不再重复介绍。下面主要介绍通过指针式万用表欧姆挡对二极管和三极管进行简易测试的方法。

1. 指针式万用表欧姆挡的内部电路结构

图 3-17 为 MF-10 型万用表欧姆挡内部电路结构示意图(万用表的型号不同,其内部结构有一定区别)。

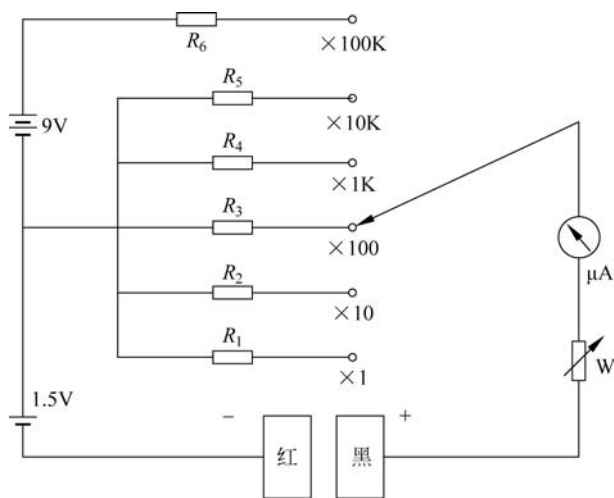


图 3-17 MF-10 型万用表欧姆挡内部电路结构示意图

需要说明以下几点:

(1) 万用表的测试表笔及测试线一般用两种颜色区分,分别为红色和黑色,对应的表笔称为红表笔和黑表笔。黑表笔一般与标有“*”“⊥”“COM”等符号的测试线连接插孔相连。红表笔一般与标有“Ω”或“+”等符号的测试线连接插孔相连。从图 3-17 可以看出,用万用表的欧姆挡测量电阻值时,黑、红表笔之间的电压差为正值。

(2) MF-10 型万用表欧姆挡的 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ 、 $\times 1K$ 和 $\times 10K$ 等倍率挡由额定电压为 1.5V 的干电池提供电源; $\times 100K$ 倍率挡使用的是 9V 叠层电池。

(3) 万用表欧姆挡的每个特定倍率挡的内阻在调零后是定值,等于倍率与欧姆挡刻度线的中心值的乘积。例如 MF10 万用表,其欧姆挡刻度线的中心值是 10,使用 $\times 1K$ 倍率挡时,内阻等于 $10 \times 1k\Omega = 10(k\Omega)$,即倍率挡由小到大变换,内阻值也会随之由小到大变化,测量电阻值时,能够为外电路提供的电流则会由大到小变化。

2. 二极管、三极管电极之间的电阻值

二极管由一个 PN 结构成,具有单向导电特性。当正、负电极之间加正向电压时,二极管导通,加反向电压时,二极管截止。利用这一特性,将万用表置于欧姆挡合适的倍率挡,黑表笔与二极管的正极相连,红表笔与二极管负极相连,测得的电阻值称为二极管的正向电阻值($R_{\text{正}}$);相应地,黑表笔接负极,红表笔接正极,测得的电阻值称为反向电阻值($R_{\text{反}}$)。一般来说,正向电阻会远小于反向电阻。

用万用表欧姆挡对三极管进行简易测试时,可以将三极管视为两个二极管背向连接而成,如图 3-18 所示。

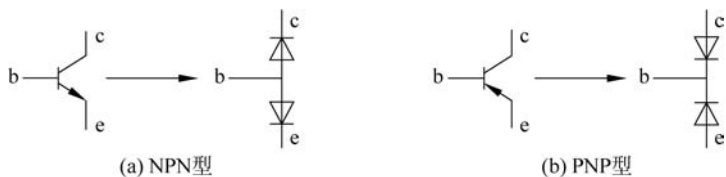


图 3-18 三极管的简化结构示意图

三极管的 be 结、bc 结可视为二极管。极间电阻有 $R_{\text{be正}}$ 、 $R_{\text{be反}}$ 、 $R_{\text{bc正}}$ 和 $R_{\text{bc反}}$ 。对于 NPN 型三极管,如果用万用表的欧姆挡测量,黑表笔应接集电极,红表笔接发射极,ce 极之间电压差为正时,测得的阻值称为正向电阻($R_{\text{ce正}}$),ce 极之间的电压差为负时,测得的电阻值称为反向电阻($R_{\text{ce反}}$)。对于 PNP 型三极管,如果用万用表的欧姆挡测量,红表笔接集电极,黑表笔接发射极,ce 极之间的电压差为负时,测得的电阻值称为正向电阻,ce 极之间的电压差为正时,测得的电阻值称为反向电阻。

3. 二极管的测试方法

用欧姆挡测试二极管时,首先将二极管的两个电极分别与红、黑表笔相连接,测量两个电极之间的电阻值;其次固定二极管两个电极的顺序不变,交换红、黑表笔的顺序再测一次电阻值。测得两个阻值为正向电阻和反向电阻,根据二极管正向电阻小、反向电阻大的特点,测得正向电阻值时,与黑表笔相连的引脚为二极管的正极,另一引脚为二极管的负极。结合正向电阻的具体数值还可以判断二极管的材料,相关结论与测试注意事项如下:

(1) 用 $\times 1\text{K}$ 挡测量二极管的正、反向电阻,若 $R_{\text{正}} \leq 2\text{k}\Omega$, $R_{\text{反}}$ 在几十至几百千欧之间,则二极管为锗(Ge)材料二极管;若 $R_{\text{正}}$ 为 $4 \sim 10\text{k}\Omega$, $R_{\text{反}}$ 接近 ∞ ,则为硅(Si)材料二极管。

(2) 测量普通小功率二极管时,选用万用表欧姆挡的 $\times 100$ 或 $\times 1\text{K}$ 挡。不允许用高倍率挡(内置额定电压较高的电池)和 $\times 1$ 、 $\times 10$ 低倍率挡测试 PN 结正向电阻值,以免损坏二极管。

(3) 判别二极管的好坏除了能测出正反向电阻外,其正、反向电阻还应有一定的差距,一般 $R_{\text{反}}$ 应大于 $R_{\text{正}}$ 的 30 倍。

4. 三极管的测试

用万用表的欧姆挡对三极管进行测试,主要用于判断三极管的三个引脚与三个电极(b、c、e)之间的对应关系、三极管的类型、材料以及粗略判断其是否能正常工作。

测试时,一般选用 $\times 1K$ 倍率挡,先找出三极管的基极,再判断其类型与材料,最后区分集电极、发射极对应的引脚并根据测量数据粗略判断其是否能正常工作。

1) 基极的判定

结合图 3-18,先假设未知三极管的一个引脚为基极,并与任一表笔相连接,测量该电极与另外两个电极之间的电阻,如果两个电阻值都比较大($R_{反}$)或比较小($R_{正}$)且阻值接近,则将另一表笔与此电极相连接,再测与另外两个电极之间的电阻值,若两个电阻值都比较大($R_{正}$)或比较小($R_{反}$)且阻值接近,则此假设的电极是三极管的基极。此判断规则可简单地归纳为“两大两小且相近判基极”。如果测得电阻值的变化规律与上述情况不符,则假设的基极是错误的,再对另外两个电极重复上述测量过程直至找到基极。

2) 判断三极管的类型与材料

找出被测三极管的基极后,将黑表笔与基极相连接,测量它与另外任一引脚间的电阻值,若与二极管的正向电阻值范围相近,则该三极管为 NPN 型,反之为 PNP 型。如果用红表笔与基极相连接,在测量的阻值范围相同的情况下,三极管的类型正好与上述结论相反。知道了三极管的类型后,再测 $R_{be正}$ 或 $R_{bc正}$,根据所测正向电阻值的大小,结合判断二极管材料的方法,确定三极管的材料。

3) 区分集电极(c)和发射极(e)

判断出三极管基极、类型和材料后,就可以判别出其他两个引脚与集电极和发射极的对应关系。主要有以下三种方法:

(1) 锗材料的三极管其穿透电流 I_{ceo} 较大,可根据三极管 $R_{ce正} < R_{ce反}$ 的特性来区分发射极和集电极。具体操作是通过测量两次 c、e 极之间的电阻值来实现的,首先直接测量剩余两个引脚之间的电阻值,然后保持两个引脚的顺序不变,交换表笔顺序再反向测一次引脚间的电阻值。两次测量值中数值较小的为 $R_{ce正}$,数值较大的 $R_{ce反}$ 。若三极管为 NPN 型,对于测得 $R_{ce正}$ 的那次测量过程,黑表笔接的是集电极。若三极管为 PNP 型,对于测得 $R_{ce正}$ 的那次测量过程,红表笔连接的是集电极,另一个电极为发射极。

(2) 三极管发射结的面积小于集电结的面积,因此发射结的正向电阻略大于集电结的正向电阻。利用这一特性也可以区分发射极和集电极。在基极、三极管的类型已知的情况下,分别测量基极与另外两个电极之间的正向电阻,即 $R_{be正}$ 和 $R_{bc正}$,阻值略大的那次测量,测的是基极与发射极之间的正向电阻,即可确定发射极,另一个电极为集电极。对于硅材料的三极管 $R_{be正}$ 和 $R_{bc正}$ 之间的差别很小,难以分辨,一般不采用这种方法。

(3) 三极管具有电流放大能力,如果将三极管接成共射放大器,为放大器提供一定的基极电流,并且偏压满足条件 $U_{be} > 0, U_{bc} < 0$,晶体管就会进入放大状态。如果将 c、e 极顺序交换,则三极管将会失去放大作用。将万用表的欧姆挡与 NPN 型三极管按图 3-19(a)

连接,则表头中流过的电流等于 $I_e \approx I_c = \beta I_b$, 呈现的电阻值较小。如果将 c、e 极交换,按图 3-19(b) 连接,则三极没有放大作用,表头中流过的电流较小,呈现的电阻值较大。根据这一原理,可区分三极管的发射极和集电极,一般称为估 β 法。

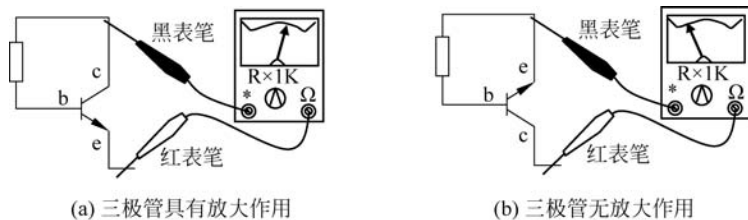


图 3-19 估 β 法区分三极管 c、e 极的原理

测试操作如图 3-20 所示。以 NPN 型三极管为例,第一次测量用左手的拇指中部轻压住基极,假定其他两只引脚中的一只引脚为集电极,则按照放大电路的要求,用左手拇指的前端压住假设的集电极,即拇指同时跨过 b、c 极相当于在它们之间接入了偏置电阻,然后将黑表笔与假设的集电极相连,红表笔与假设的发射极相连,读取欧姆挡所示的电阻值。第二次测量时要假定其他两只引脚中的另外一只引脚为集电极,同样用拇指跨接基极与假设的集电极,按照三极管放大电路的要求,要将黑表笔与假设的集电极相连接,即要交换表笔的顺序,如图 3-20(b) 所示,读取欧姆挡所示的电阻值。对于阻值小的那次测量,三极管有放大作用,因此黑表笔接的是三极管的集电极,剩下的一只引脚是发射极。

对于 PNP 型三极管,处于放大状态时集电极的电位要低于发射极的电位,因此在测量过程中红表笔要与被假设为集电极的引脚相连接,对于电阻值小的那次测量过程,红表笔接的是三极管的集电极。

这种方法实质上利用了三极管的电流放大作用,而三极管要处于放大状态,必须满足其工作条件。因此该方法具有普遍适用性,对于硅材料和锗材料的三极管都能方便地区分发射极和集电极。

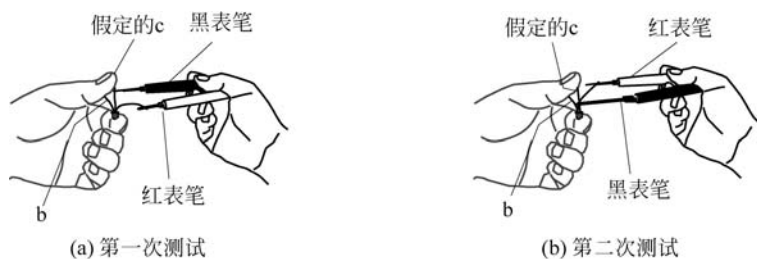


图 3-20 估 β 法区分 c、e 极的操作示意图

如果三极管的两个 PN 结正常,并且具有一定的电流能力,就可以粗略地判断该三极管是可以正常工作的;否则,三极管可能已经损坏。

4) 注意事项

(1) 测试小功率三极管时,用万用表欧姆挡的 $\times 100$ 挡和 $\times 1K$ 挡;测试大功率三极管时,方可用 $\times 1$ 挡或 $\times 10$ 挡。

(2) 在选择万用表欧姆挡合适的倍率挡后,必须对该挡位进行调零。

(3) 恰当使用人体电阻。在采用估 β 值法时,要用到人体电阻;但在测量PN结正、反向电阻时,绝对不能把人体电阻并联在测试点两端,测试时,手必须握在万用表表笔的绝缘部分。

3.5 集成电路

集成电路是利用半导体工艺和薄膜工艺,将晶体管以及少量的电阻、电容、电感等元器件制作在同一片半导体或绝缘基片上,形成具有特定功能的单元电路,并按特定的封装形式制作而成。在计算机、通信系统、电子仪器仪表、工业自动化控制系统等领域有着广泛的应用,是最能体现电子产业日新月异,飞速发展的电子器件,它不仅产品种类多,而且新产品层出不穷。

集成电路与分立元器件组成的电路相比,具有体积小、重量轻、引线短、可靠性高、功耗低、使用方便以及成本低等优点,本节主要介绍常用集成电路的分类、封装、引脚识别等基础应用知识。

3.5.1 集成电路的分类

集成电路按结构和工艺方法的不同,可以分为半导体集成电路、薄膜集成电路、厚膜集成电路和混合集成电路。其中发展最快、品种最多、产量最大、应用最广的是半导体集成电路。集成电路一般按功能进行分类,表3-22列出了常用集成电路类型。

表 3-22 常用集成电路类型

数字集成电路	门电路	与门、或门、与非门、或非门、与或非门、异或门
	触发器	R-S 触发器、J-K 触发器、D 触发器
	存储器	ROM、PROM、EPROM、E ² PROM、RAM、移位寄存器
	可编程逻辑电路	PAL、GAL、FPGA、ISP
	微处理器	微处理器、单片机、DSP
	其他	计数器、加法器、延时器、锁存器、编码/译码器
模拟集成电路	线性电路	直流运算放大器、通用运算放大器、音频放大器、高频放大器、宽频放大器
	非线性集成电路	电压比较器、模拟乘法器
接口电路	转换器	A/D、D/A、电平转换器
	开关与保持电路	模拟开关、模拟多路器、数字多路/选择器、取样/保持电路
光电电路	光电通信/传送器件、发光器件、光接收器件、光电耦合器、光电开关器件	

3.5.2 集成电路的型号命名

我国集成电路型号命名由五部分组成：第一部分用字母 C 表示国产器件；第二部分用字母表示器件的类型；第三部分用三位阿拉伯数字和字符表示器件的系列和品种代号，这一部分的编号与国际接轨；第四部分用字母表示器件的工作温度范围；第五部分用字母表示器件的封装形式。

表 3-23 列出了第二、第四、第五部分所用的表示符号及含义。

表 3-23 国产半导体集成电路型号命名中的符号及含义

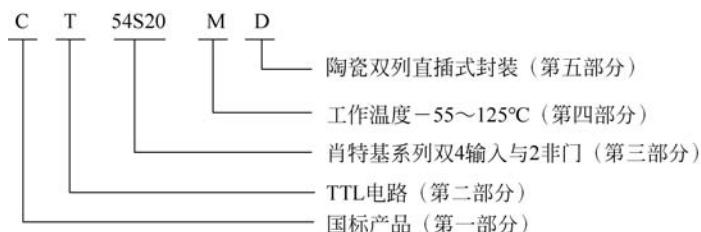
第二部分				第四部分		第五部分	
符号	含义	符号	含义	符号	含义	符号	含义
T	TTL 电路	M	存储器	C	0~70℃	F	多层陶瓷扁平
H	HTL 电路	μ	微型机电路	G	-25~70℃	B	塑料扁平
E	ECL 电路	AD	A/D 转换器	L	-25~85℃	D	陶瓷双列直插
C	CMOS 电路	DA	D/A 转换器	E	-40~85℃	P	塑料双列直插
F	线性放大器	SC	通信专用电路	R	-55~85℃	J	黑瓷双列直插
W	稳压器	SS	敏感电路	M	-55~125℃	T	金属圆形
J	接口电路	B	非线性元件			SOI	小引线封装

表 3-24 列出了第三部分所用符号及含义，即器件的系列和品种代号。表 3-24 中的 CMOS 集成电路，数字系列代号后用三个字母表示器件的类型，如果没有第三个字母，则表示该器件带缓冲器。如果第三个字母为 U，则表示无缓冲器；如果第三个字母为 T，则表示输入端使用 TTL 电平。

表 3-24 国产半导体集成电路系列和品种代号

TTL 集成电路		CMOS 集成电路	
代号与编码	含 义	代号与编码	含 义
54/74XXX	国际通用系列	54/74HCXXX	高速 CMOS,有缓冲输出级,输入与输出为 CMOS 电平
54/74HXXX	高速系列	54/74HCTXXX	高速 CMOS,有缓冲输出级,输入 TTL 电平,输出 CMOS 电平
54/74LXXX	低功耗系列		
54/74SXXX	肖特基系列	54/74HCUXXX	高速 CMOS,不带输出缓冲级
54/74LSXXX	低功耗肖特基系列	4/74ACXXX	改进型高速 CMOS
54/74ASXXX	先进肖特基系列	4/74ACTXXX	改进型高速 CMOS,输入 TTL 电平,输出 CMOS 电平
54/74ALSXXX	先进低功耗肖特基系列		
54/74FXXX	高速系列	4000 系列	

例如，某集成电路的型号为 CT54S20MD，所表示的含义如下：



集成电路的命名与分立元器件相比规律性较强,绝大部分国内外厂商生产的同一种集成电路,采用基本相同的数字标号,数字标号前一般用字母表示不同的厂商,常见的集成电路厂商及代号见表 3-25。数字标号相同的集成电路一般来说可以互换,例如 CA555 与 NE555 是由不同厂商生产的定时器电路,但它们的功能、性能和封装、引脚排列都是一致的,可以相互代换。

表 3-25 常见集成电路生产厂商及代号

代 号	厂 商	代 号	厂 商	代 号	厂 商
AD	美国模拟器件公司	LM	美国国家半导体公司	AN	日本松下电器公司
CXA	日本索尼公司	HA	日本日立公司	KA	韩国三星公司
LA	日本三洋公司	MC	美国摩托罗拉	TA(TB)	日本东芝公司
TDA	荷兰飞利浦公司	μ PC	日本电器公司		

3.5.3 集成电路的封装及引脚识别

1. 集成电路的封装

为了方便印制电路板的设计以及安装焊接的方便,集成电路的外部尺寸、引脚尺寸、引脚形状及引脚排顺序等必须符合相应的工业标准,一般统称为集成电路的封装形式。常见的集成电路封装形式有圆形金属外壳封装、扁平形陶瓷封装、塑料外壳封装、双列直插式陶瓷和塑料封装、单列直插式封装等,如图 3-21 所示。

2. 集成电路引脚顺序的识别

集成电路引脚的功能多数情况各不相同,因此在安装和使用时引脚编号必须与引脚一一对应,即在使用前必须确定引脚的编号顺序。集成电路引脚的排列顺序标志一般使用凹槽、色点、管键或封装时压出的圆形凹点等标记。对于双列直插封装的集成电路,将其水平放置,有文字标识的一面向上,凹槽或色点置于观察者的左侧,则左下角对应的引脚为第 1 引脚,沿着逆时针方向,依次编号为 2,3, $\dots$, n ,如图 3-21(a)所示。对于单列直插封装的集成电路,集成电路的引脚向下,有标识文字的一面正对观察者,由左至右,引脚顺序编号为 1,2, $\dots$, n ,如图 3-21(b)所示。对于金属圆形的封装的集成电路,引脚向下,管键或色点位于第 1 脚和最后一个引脚之间,一般靠近第 1 脚,沿着逆时针方向顺序

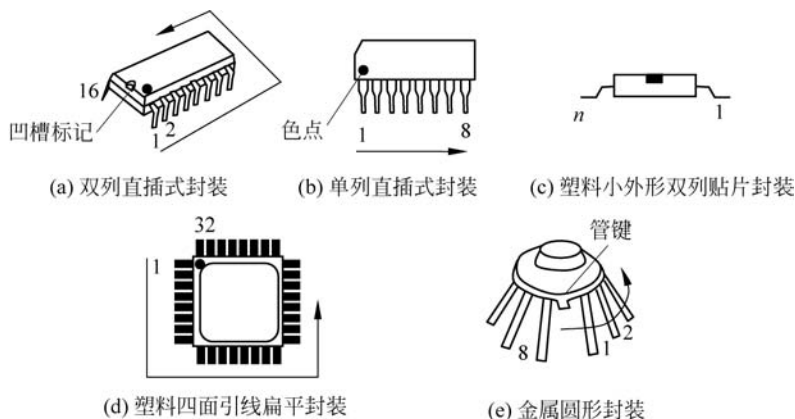


图 3-21 常见集成电路的封装与引脚识别

编号为 $1, 2, \dots, n$, 如图 3-21(c) 所示。对于其他封装形式的集成电路, 一般紧靠色点等标记的引脚为第 1 脚, 集成电路引脚向下, 水平放置的情况下, 逆时针方向读取引脚的编号, 如图 3-21(d) 所示。

3.5.4 集成电路使用的基本知识

1. 数字集成电路

数字集成电路广泛应用于计算机、自动测试与控制系统以及各种电子产品与设备中。一般来说, 数字系统的信号幅度变化是离散的, 电路状态的变化主要靠严格的时序关系控制。数字集成电路一般可分为组合逻辑器件和时序逻辑器件两大类, 从半导体工艺来分, 常用的有 TTL 和 CMOS 结构的数字集成电路。

1) TTL 数字集成电路

双极型晶体管—晶体管逻辑(TTL)电路是一种性能优良的数字集成电路。TTL 集成电路结构简单、开关速度快、抗干扰能力强、带负载能力强、功耗适中, 使用比较广泛。

TTL 集成电路以 54/74 系列为代表, 其中 54 系列为军品, 其电源电压为 $4.5 \sim 5.5\text{V}$, 即 $5(1 \pm 10\%)\text{V}$, 工作温度为 $-55 \sim 125^\circ\text{C}$ 。74 系列为民品, 其电源电压为 $4.75 \sim 5.25\text{V}$ 即 $5(1 \pm 5\%)\text{V}$, 工作温度为 $0 \sim 75^\circ\text{C}$ 。目前, 世界上大多数国家的集成电路产品都以 54/74 系列为标准, 产品名称、性能、封装形式及参数都与 54/74 系列相容。国内外数字集成电路系列对照见表 3-26。

表 3-26 国内外数字集成电路系列对照

名 称	国 产 系 列	对应国际系列
通用标准系列	CT1000(CT54/74)	54/74
高速系列	CT2000(CT54/74H)	54/74H
肖特基系列	CT3000(CT54/74S)	54/74S
低功耗肖特基系列	CT4000	54/74LS

各类 TTL 电路若尾数相同,如 74LS20 和 7420,则其逻辑功能完全相同。

2) CMOS 数字集成电路

互补金属氧化物半导体(CMOS)集成电路的特点是功耗低($25\sim 100\mu\text{W}$)、电源电压范围宽($3\sim 18\text{V}$)、抗干扰能力强、输入阻抗高(大于 $100\text{M}\Omega$)、扇出能力强、逻辑摆幅大、成本低等。CMOS 集成电路应用范围极广,发展速度很快,标准的 TTL 电路、HTL 电路、PMOS 电路正逐渐被 CMOS 集成电路所取代。

目前,国产 CMOS 集成电路主要有三大系列:早期的 C000 系列(现已趋淘汰),近年主要产品是 CC4000 系列和高速产品 CC74HC/HCT 系列。

3) 数字集成电路的使用注意事项

(1) CMOS 集成电路要防止静电感应击穿,焊接时要保证电烙铁外壳可靠接地,若无接地线,可将电烙铁加热后,断开电源,利用余热进行焊接。

(2) 数字集成路的电源电压应尽量保持在芯片的最大极限电压范围内,一般的 TTL 集成电路为 $4.75\text{V}<V_{\text{CC}}<5.25\text{V}$,而对于 CMOS 集成电路推荐为 $4\sim 15\text{V}$,允许的情况下,尽量降低 CMOS 集成电路的电源电压,此外还要避免使用高阻值的电阻串入 V_{DD} 或 V_{SS} 端。

在使用时,电源要加反接保护电路,如果电源极性接错,可能会因电流过大而损坏器件,不可带电移动、插拔或焊接集成电路,否则会造成永久性损坏。对于 H-CMOS 集成电路,其电源引脚要加高、低频交流退耦电路,至少要并联一个容量为 $0.01\sim 0.1\mu\text{F}$ 的退耦电容。

(3) 对于 TTL 数字集成电路,多余的输入端最好不要悬空,根据逻辑关系接入固定电平信号。触发器的闲置端不允许悬空,应按逻辑功能接入相应的电平。而对于 CMOS 集成电路多余的输入端绝对不允许悬空,应根据逻辑关系接入固定电平信号,而且在作振荡器或单稳态电路时,输入端必须串入电阻以起到限流作用。

(4) 数字集成电路的输出端不允许与电源或地短路,输出端不允许“线与”,即不允许输出端并联使用。只有 TTL 集成电路中的三态门或集电极开路输出结构的电路可以并联使用。TTL 集电极开路的集成电路“线与”时,应在其公共输出端加接一个预先算好的上拉电阻到 V_{CC} 。

(5) 在测试数字集成电路组成的电路系统时,开机时应先接通电路板电源,后开信号源;关机时先关信号源,后关电路板电源。尤其是 CMOS 电路未接通电源时,不允许有输入信号加入。

2. 模拟集成电路

模拟集成电路是对模拟电压或电流进行放大、运算、变换等处理的集成电路。

1) 集成运算放大器

集成运算放大器通常分为通用型和特殊型。通用型运放按增益的高低分为通用 I 型、通用 II 型和通用 III 型。

通用 I 型的特点是增益较低,但具有较高的带宽,共模信号范围小,正、负电源电压

不对称,是集成运放的早期产品。其可用作高频放大器、窄带放大器、积分器、微分器、加法器和减法等,产品有 $\mu A702$ 、5G922、F001、F002。

通用Ⅱ型的特点是增益较高,输入阻抗适中,输入幅度较大等。其可作交直流放大器、电压比较器、滤波器等,产品有 $\mu A709$ 、5G23、F003、F004。

通用Ⅲ型的特点是增益高,共模和差模电压范围宽,无阻塞,工作稳定等。其可作为测量放大器、伺服放大器、变换电路、各种模拟运算电路等,产品有 $\mu A741$ 等。

特殊型运放有低功耗、高阻型、高精度型、高速型、宽带型、高压型等。对于高精度型,其开环增益高达 120dB 以上,共模抑制比也可高达 120dB,其他性能指标都优于普通运放,因而在运算时有很高的精度。在测量放大器、传感器、交直流放大器和仪表中的积分器电路中有广泛应用。高速型的特点是增益高、频带宽、转换速率快等。其可用作直流放大器、低频放大器、中频放大器、高频放大器、方波发生器、高频有源滤波器等。

2) 集成稳压电源

集成稳压电源是将稳压电路中的各种元器件(晶体管、二极管、电阻、电容等)集成化,或者把不同芯片组装成单一器件。产品的种类很多,按电压调整方式分为可调式和固定式两种,按输出电压极性可分为正电源和负电源两种,按集成电路的接线端分为三端式和多端式。

常用的集成稳压电源集成电路有固定式三端稳压器和可调式三端稳压器,固定式三端稳压器有 CW78XX 系列稳压器和 CW79XX 系列稳压器,其中 78 系列输出固定的正电源,如 7805 输出为 +5V,79 系列输出固定的负电压,如 7905 输出为 -5V。一般需要在稳压电源芯片的输入端接 0.1 μF 的电容进一步滤除纹波,输出端接 1 μF 左右的电容能改善负载的瞬态影响,使电路稳定工作。

可调式三端稳压器能输出连续可调的直流电压,如 CW317 系列稳压器能输出连续可调的正电压,而 CW337 能输出连续可调的负电压。

3. 混合集成电路

555 集成电路是一种应用极为广泛的模拟—数字混合集成电路,开始时仅作为定时器使用,然而人们在实际应用中发现它有许多独特的功能,可以组成各种波形的振荡器、定时延时电路、双稳态触发电路、检测电路、电源变换电路、频率变换电路等,可应用于自动控制、测量、通信等多个领域。

555 集成电路有 TTL 和 CMOS 两种结构类型。采用 CMOS 工艺的时基电路除了驱动能力和最高工作频率外,其余性能均优于双极型时基电路,因此在大多数场合都能直接取代双极型时基电路。国产 555 时基电路的双极型型号有 CB555(5G1555、FD555、FX555),国外型号有 NE555、CA555、LM555、SL555; 国产 CMOS 结构的型号有 CB7555(5G7555、CH7555),国外型号有 ICM7555、Mpd555。

国产双时基电路(两个时基电路制作在同一芯片上,并封装在一起)的产品类型有 CB556(5G1556、FD1556、FX1556)、CB7556(5G7556、CH7556)等,国外型号有 NE556、LM556 等。

复习思考题

1. 使用不同材料生产的电阻器性能和参数也有所不同,常见的电阻器由哪些材料构成?各有什么特点?
2. 电阻器型号的标注方法有哪几种?各适用于什么场合?各举一例说明。
3. 在用伏安法测量电阻值时,如果被测电阻的阻值在测量前无法估计,在选择测量方法时,一般可将两种电路各连接一次,观察电压表示数的变化情况,假如两次连接电压表的示数变化不大,则应选择哪种测量方法?为什么?
4. 在印制电路板上怎样判断电阻器的故障?
5. 常见的电容器有哪些?各有什么特点?
6. 如何判断电解电容引脚的极性?在电路中使用电解电容时要注意哪些问题?如果引脚的极性接反,会出现什么现象?
7. 常见的电感器有哪些?怎样判断其好坏?
8. 如何利用指针式万用表的欧姆挡判断二极管引脚的极性、材料?
9. 如何利用指针式万用表的欧姆挡判别未知型号三极管的哪一只引脚是基极?
10. 简述用估 β 法区分三极管 c、e 极的方法。
11. 在印制电路板上如何判断三极管的 be 极、bc 极、ce 极之间击穿?
12. 可以相互代换的集成电路,一般情况下它们的型号命名具有什么样的规律?
13. TTL 和 CMOS 数字集成电路在使用时应该注意哪些问题?