

# 第 3 章 电子元器件

电子元器件是组成电子产品的基础。了解常用电子元器件的种类、结构、性能,并能正确识别选用是学习、掌握电子技术的基本功。

## 3.1 电阻器

### 3.1.1 电阻的基本知识

#### 1. 电阻

在物理学中,用电阻(resistance)来表示导体对电流阻碍作用的大小,通常简写为 R。它是导体的一种基本性质,电阻阻值的大小与导体的尺寸、材料、温度有关。符号表示如图 3.1 所示。

电阻的单位是欧姆,符号“Ω”。

单位换算:  $1\text{K}\Omega$  (一千欧) =  $1000\Omega$

$1\text{M}\Omega$  (一兆欧) =  $1000 \times 1000\Omega$

$1\text{G}\Omega$  (一吉欧) =  $1000 \times 1000 \times 1000\Omega$



图 3.1 电阻电路符号

#### 2. 电阻在电路中的作用

在电子电路中,限流和分压可以通过各种各样的方式实现。电阻可以调整电路中的工作电流和信号电平,还可与电容一起组成滤波电路及延时电路,在电源电路或控制电路中作取样电阻,接在特性阻抗不同的两个网络中间进行阻抗匹配,在数字电路中作上拉电阻和下拉电阻用,在放大电路中为放大器提供反馈网络。电阻在电路中可作负载,保护电子电路的半导体元件免受过电压的影响,作为电子、电气设备的保护元件使用。

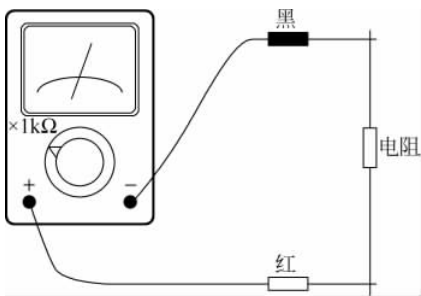


图 3.2 用万用表测量电阻

#### 3. 电阻的测量

一般常用万用表测量电阻值,如图 3.2 所示。测量前一般首先要根据电阻器的标称阻值选择好电阻测量挡,以使表针尽量在表盘的中心附近(因为指针式万用表的电阻值在表盘上的刻度不是均匀分布的)。将两测试表笔短接进行电阻挡调零,之后再行电阻测量。另外,测量时不要用两手同时接触电阻的两端,否则将引起测量误差。

在电路中处于工作状态的电阻，不能用万用表直接测量其阻值，一般可以先测该电阻两端的电压和通过该电阻电流，再用欧姆定律  $R=U/I$ ，求出该电阻的阻值，如图 3.3 所示。或者在电路断电的情况下，将电阻从电路中断开，再用万用表测量其电阻值。

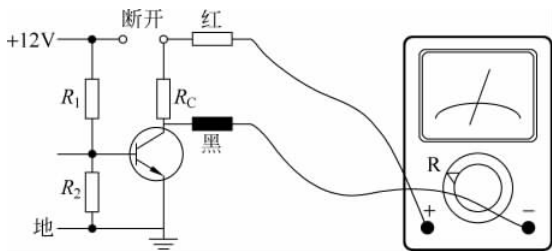


图 3.3 用万用表测量电路中的电阻

### 3.1.2 电阻的主要技术参数

#### 1. 标称阻值

为满足使用者的要求,生产厂家生产了各种阻值的电阻器。即便如此,也无法做到使用者想用多大阻值的电阻器就会有此电阻器的成品。为了生产、使用和选购的方便,国家规定了一系列阻值作为电阻器阻值的标准值,即标称阻值。表 3.1 列出了常用电阻器的阻值系列标准,电阻器的标称阻值应符合表中所列数值之一,或者是表中所列数值再乘以  $10^n$ ,其中  $n$  为 0 或正整数。

表 3.1 电阻器的阻值系列标准

| 系列              | 精度等级 | 允许误差 | 标称电阻值(Ω) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|-----------------|------|------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| E <sub>24</sub> | Ⅰ    | ±5%  | 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 <sub>12</sub> | Ⅱ    | ±15% | 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 <sub>6</sub>  | Ⅲ    | ±20% | 1.0      | 1.5 | 2.2 | 3.3 | 4.7 | 6.8 |     |     |     |     |     |     |  |

注：本表列出的是普通精度电阻的标称阻值系列，还有一套阻值更全的精密电阻的标称阻值系列，我们常用的是普通精度电阻，限于篇幅这里不再详述。在实际生产中，加工出来的电阻器很难做到和标称阻值完全一致。为了便于生产和使用，必须规定电阻器的精度等级。允许误差可以用下式计算：

$$\delta = (R - R_r) \div R_r \times 100\%$$

式中， $\delta$  为允许偏差， $R$  为实际阻值， $R_r$  为标称阻值。

#### 2. 额定功率

在一定的条件(气压和温度)下,电阻器长时间连续工作所能承受的最大功率,称为额定功率。固定电阻器的额定功率也要按国家标准进行标注,其标称系列有 1/2W、1/4W、1/8W、1W、2W、5W、10W 等。小电流电路一般采用功率为 1/8W~1/2W 的电阻器,而大电流电路常采用 1W 以上的电阻器。电阻器的额定功耗系列如表 3.2 所示。

表 3.2 电阻器的额定功耗系列表

| 类 别    | 额定功耗系列(W) |       |      |     |      |     |     |    |    |    |     |     |   |    |    |    |
|--------|-----------|-------|------|-----|------|-----|-----|----|----|----|-----|-----|---|----|----|----|
| 线绕电阻器  | 0.05      | 0.125 | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 2   | 3   | 4  | 5  | 6  | 6.5 | 7.5 | 8 | 10 | 16 | 25 |
|        | 40        | 50    | 75   | 100 | 150  | 250 | 500 |    |    |    |     |     |   |    |    |    |
| 非线绕电阻器 | 0.05      | 0.125 | 0.25 | 0.5 | 1    | 2   | 5   | 10 | 25 | 50 | 100 |     |   |    |    |    |

3. 温度系数

电阻器的阻值会随着环境温度的变化而变化。在规定的某一温度范围内,环境温度每变化 1℃,所引起电阻值的相对变化称为电阻的温度系数,通常表示为 ppm(温度每变化 1℃,电阻值变化百万分之几)。例如一个电阻温度系数值为 100ppm 的电阻,当温度变化 10℃时,对应的电阻值相对变化为 0.1%。电阻的温度系数标志了电阻的温度稳定性,是影响系统性能的一项重要因素。

4. 频率特性

由于分布电容和分布电感的影响,电阻器的阻值会随信号频率的变化而发生变化。炭膜与金属膜电阻在 1MHz 以下时可认为阻值不变,片状无引线电阻在 100MHz 以下可认为阻值不变。因此在 1MHz 以上的电路中,尽量选用片状无引线电阻;在 1MHz 以下的低频电路中可选用炭膜与金属膜电阻。

5. 最大工作电压

电阻在额定功耗下,加在它两端的电压不能任意增大。在实际工作中,若工作电压超过规定的最大工作电压值,电阻器内部可能会产生火花,引起噪声,最后导致热损坏或电击穿。

3.1.3 电阻器的分类

电阻器的种类很多,常用的电阻器有以下几种。

1. 固定电阻器

按制作材料和结构的不同可以分为线绕电阻器、碳膜电阻器、金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器、实心电阻器、玻璃釉电阻器、贴片电阻器等。

(1) 线绕电阻器

线绕电阻器是用高阻值的合金线(如康铜、锰铜和镍铬合金丝等)绕在绝缘骨架上而制成的电阻器,如图 3.4 所示。线绕电阻器表面常涂有保护漆或玻璃釉,或把电阻体放到绝缘的外壳内。线绕电阻器具有以下特点:耐高温,温度系数小,工作温度可达 300℃;承受负荷功率大;阻值范围宽,一般为 0.1Ω~5MΩ;体积较大,分布参数大,高频特性差。从线绕电阻器的性能及优缺点可知,线绕电阻器适合在频率不高并需要一定功率电阻器的电路中

工作。比如,常用电阻箱、固定衰减器、精密测量仪器、电子计算机和无线电定位设备中的电子电路,要选用精密线绕电阻器和高精度高稳定的线绕电阻器。

### (2) 实心电阻器

实心电阻器如图 3.5 所示。有机实心电阻器是将炭黑、石墨等导电物质混合有机黏合剂经专用设备热压成型后装入塑料壳内制成的。有机实心电阻器具有以下特点:机械强度大,可靠性好,具有较强的过负荷能力;分布电容和分布电感严重,不适合高频电路;电压和温度稳定性差;便于自动化生产,价格便宜;阻值范围宽。

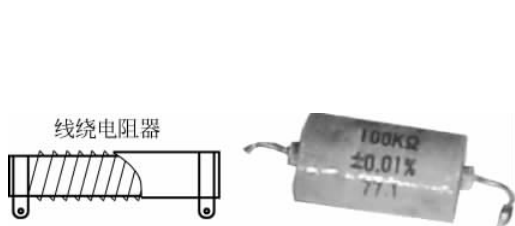


图 3.4 线绕电阻器的示意图和实物图

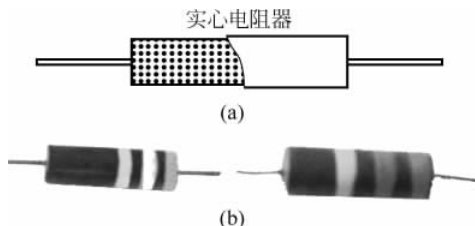


图 3.5 实心电阻器的示意图和实物图

### (3) 碳膜电阻器

碳膜电阻器如图 3.6 所示。碳膜电阻器是膜式电阻的一种,它是用碳氢化合物在真空高温下热分解的结晶碳,沉积在陶瓷骨架上制成的。通过改变碳膜厚度和使用刻槽的方法来获得不同的阻值。碳膜电阻具有以下特点:具有良好的稳定性,电压的改变对阻值的影响极小,具有负温度系数;高频特性好,可制成高频电阻器和超高频电阻器;阻值范围宽,可以通过对膜切割螺纹调整阻值,制成精密电阻;脉冲负荷稳定,对脉冲适应性好;制作容易,成本低,体积较大;在一般电子产品中大量使用。

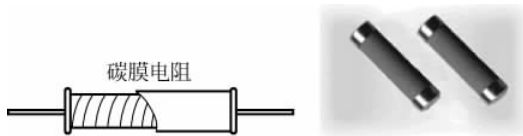


图 3.6 碳膜电阻器的示意图和实物图

### (4) 金属膜电阻器

金属膜电阻器是膜式电阻的一种,它是用真空蒸发法或烧渗法在陶瓷骨架上被覆一层金属膜而形成的电阻器,如图 3.7 所示。一般在外表面涂有蓝色或红色保护漆。金属膜电阻器的特点是:稳定性好、噪声低、工作频率范围宽,可在高频电路中使用;温度系数低,耐热性好,允许工作环境温度范围大( $-55 \sim +125^{\circ}\text{C}$ );阻值范围很宽,一般为  $1 \sim 1000\text{M}\Omega$ ,可以通过切割螺纹调整阻值,制成精密电阻;脉冲负荷稳定性较差,不如碳膜电阻;体积较小,同功率条件下体积约为碳膜电阻的一半;应用范围非常广泛,在仪器仪表及通讯设备中大量使用。

### (5) 贴片电阻器

贴片电阻器是将金属粉和玻璃釉粉混合,采用丝网印刷法印在基板上,再经过烧结制成

的电阻器,如图 3.8 所示。特点是体积小,重量轻,温度系数小,高频特性优越,性能稳定,可靠性高,机械强度高,适合再流焊与波峰焊,适合 SMT 技术要求,装配成本低,并与自动装贴设备匹配。常见的封装有:0402,0603,0805,1210,1210,2512。另外,还有贴片排阻。贴片电阻生产过程采用激光调阻,精度比较高。最普通的阻值系列是 E24 系列。还有比较常用的 E96 阻值系列,±1%的偏差。

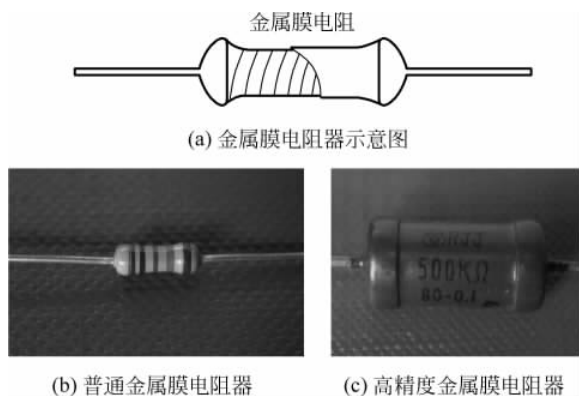


图 3.7 金属膜电阻器

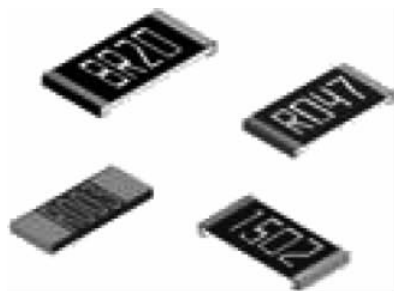


图 3.8 贴片电阻器实物图

## 2. 电位器

电位器是一种阻值连续可调的电阻器,也是电子电路中用途最广泛的元器件之一。在电路中往往作为分压器或可调电阻使用。一般电位器由电阻体、滑动臂、转轴(旋钮)、电刷和引脚等组成,如图 3.9 所示。它对外有三个引出端,其中两个为固定端,另一个是中心抽头。A、C 两引脚之间为电阻体的总电阻;转轴、B 引脚和滑动臂相连,转动转轴,滑动臂随之转动,通过电刷将 B 引脚与电阻体相连,从而使得 A 和 B、B 和 C 之间电阻可调。在电路中,一般用图 3.10 所示符号表示。

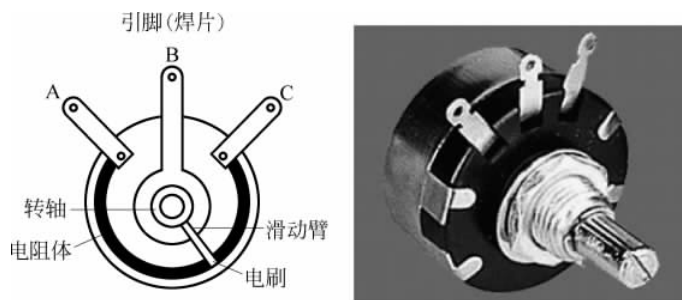


图 3.9 三端电位器示意图及实物图



图 3.10 电位器电路符号图

(1) 电位器的主要参数

电位器的主要参数有标称阻值、额定功率、分辨率、滑动噪声、阻值变化规律、耐磨性、零位电阻、温度系数等。以下简单介绍几个电位器特有的参数。

- 电位器的阻值变化规律：电位器的阻值变化规律是指其阻值与滑动接触点旋转角度或滑动行程之间的变化关系。
- 电位器的分辨率：分辨率也称为分辨力，对线绕电位器来讲，当动接点每移动一圈时，所引起的电阻变化量与总电阻的百分比表示分辨率。
- 电位器的滑动噪声：当电位器启动接触点在电阻体上滑动时，产生的电噪声称为电位器的噪声。一般是由于电位器电阻分配不当、转动系统配合不当以及电位器存在接触电阻等原因，会使动触点在电阻体表面移动时，输出端除有用信号外，还伴随着噪声。
- 电位器的机械寿命：机械寿命是指电位器在规定实验条件下，动触点可靠运动的总次数，常用周数表示。线绕电阻器的机械寿命为 5000 周左右，有的合成碳膜电位器的机械寿命为几万周。

(2) 电位器的分类及常用电位器

按照电阻体的材料分类：常见的电位器可以分为合成碳膜电位器、金属膜电位器、玻璃釉电位器、绕线电位器、实心电位器、光电电位器、磁敏电位器等。

3.1.4 电阻器的标志方法

1. 电阻器的型号命名方法

根据我国有关标准规定，电阻器的命名方法如图 3.11 所示。

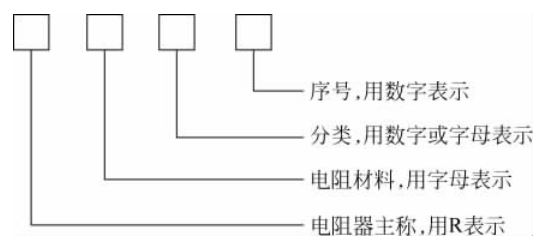


图 3.11 电阻器的型号命名方法

对于固定电阻器，电阻器主称用 R 表示，对于电位器用 W 表示。表 3.3～表 3.5 分别给出了电阻器材料代号、电阻器类别代号和电位器类别代号。

表 3.3 电阻器材料代号

| 代 号 | 含 义  | 代 号 | 含 义  |
|-----|------|-----|------|
| H   | 合成碳膜 | S   | 有机实心 |
| I   | 玻璃彩釉 | T   | 碳膜   |
| J   | 金属膜  | X   | 线绕   |
| N   | 无机实心 | Y   | 氧化膜  |
| G   | 沉积膜  | F   | 复合膜  |

表 3.4 电阻器类别代号

| 代 号 | 电阻器分类特征含义 | 代 号 | 电阻器分类特征含义 |
|-----|-----------|-----|-----------|
| 1   | 普通        | 8   | 高压        |
| 2   | 普通        | 9   | 特殊        |
| 3   | 超高频       | G   | 高功率       |
| 4   | 高阻        | I   | 被漆        |
| 5   | 高温        | J   | 精密        |
| 6   | 高湿        | T   | 可调        |
| 7   | 精密        | X   | 小型        |

表 3.5 电位器类别代号

| 代 号 | 类 别     | 代 号 | 类 别     |
|-----|---------|-----|---------|
| G   | 高压类     | D   | 多圈旋转精密类 |
| H   | 组合类     | M   | 直滑式精密类  |
| B   | 片式类     | X   | 旋转式低功率类 |
| W   | 螺杆驱动预调类 | Z   | 直滑式低功率类 |
| Y   | 旋转预调类   | P   | 旋转功率类   |
| J   | 单圈旋转预调类 | T   | 特殊类     |

2. 固定电阻器的规格标志方法

(1) 直标法。将电阻器的类别、标称阻值、允许偏差和额定功率等直接标注在电阻器的外表面上,如图 3.12 所示。

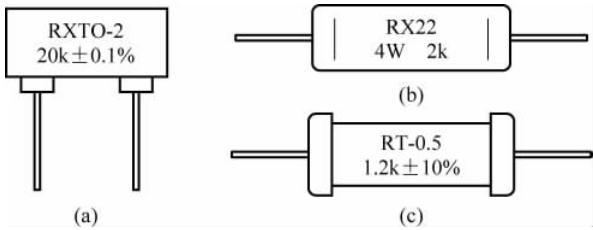


图 3.12 电阻器的直标法

图 3.12(a)是标称阻值为 20kΩ,允许偏差为±0.1%、额定功率为 2W 的线绕电阻;图 3.12(b)是标称阻值为 2kΩ,额定功率为 4W 的线绕电阻;图 3.12(c)是标称阻值为 1.2kΩ、允许偏差为±10%、额定功率为 0.5W 的碳膜电阻。

(2) 色标法。用不同颜色的色环或色点标志在电阻器表面来表示电阻器的标称阻值和允许偏差,表 3.6 给出了在电阻器色标法中各种颜色所表示的意义。常见的小型固定电阻器都采用色环标记规格。

表 3.6 电阻器色标法各种颜色所表示的意义

| 颜 色 | 有 效 数 字 | 幂 次 | 允许偏差(%)  |
|-----|---------|-----|----------|
| 银色  | —       | —2  | ±10      |
| 金色  | —       | —1  | ±5       |
| 黑色  | 0       | 0   | —        |
| 棕色  | 1       | 1   | ±1       |
| 红色  | 2       | 2   | ±2       |
| 橙色  | 3       | 3   | —        |
| 黄色  | 4       | 4   | —        |
| 绿色  | 5       | 5   | ±0.5     |
| 蓝色  | 6       | 6   | ±0.25    |
| 紫色  | 7       | 7   | ±0.1     |
| 灰色  | 8       | 8   | ±0.05    |
| 白色  | 9       | 9   | +50, -20 |
| 无色  | —       | —   | ±20      |

一般电阻器采用四条色环标志规格,方法如图 3.13 所示。

A、B、C、D 是四条色环,其中 A、B、C 三条线表示阻值,D 表示精度(允许偏差),则阻值的表达式为

$$R = (A \times 10 + B) \times 10^C$$

其中,A 表示第一位有效数字;B 表示第二位有效数字;C 表示 10 的幂次;D 表示允许偏差。

例:已知电阻的四色环 A、B、C、D 分别是绿、棕、棕、银,则该电阻的阻值应该是:  $R = (5 \times 10 + 1) \times 10^1 = 510(1 \pm 10\%) \Omega$ 。

精密电阻器采用五条色环标志规格,方法如图 3.14 所示。

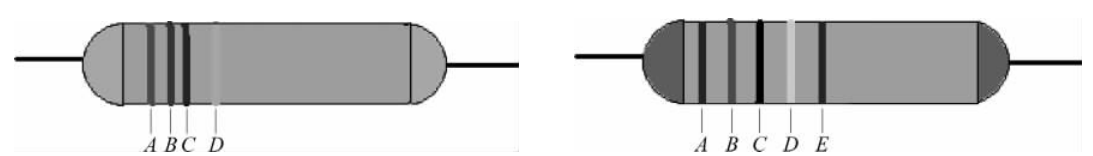


图 3.13 四环标志法

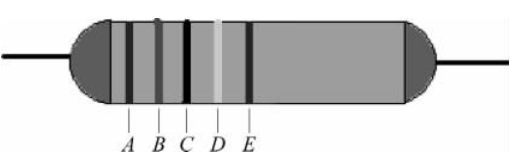


图 3.14 五环标志法

A、B、C、D、E 是五条色环,其中 A、B、C、D 四条表示阻值,E 表示精度(允许偏差)。则阻值的表达式为

$$R = (A \times 100 + B \times 10 + C) \times 10^D$$

其中,A 表示第一位有效数字;B 表示第二位有效数字;C 表示第三位有效数字;D 表示 10 的幂次;E 表示允许偏差。

例:已知电阻的五条色环 A、B、C、D、E 分别是棕、绿、黑、金、棕,则该电阻的阻值应该是

$$R = (1 \times 100 + 5 \times 10 + 0) \times 10^{-1} = 15(1 \pm 1.0\%) \Omega$$

3. 电位器的规格标志方法

电位器一般采用直标法标志规格。一般标志内容包括电位器的型号、类别、标称阻值和额定功率。以下为不同符号所代表的电位器的类别。

WX——线绕电位器

WH——合成碳膜电位器  
 WN——无机实心电位器  
 WD——导电塑料电位器  
 WS——有机实心电位器  
 WI——玻璃铀电位器  
 WJ——金属膜电位器  
 WY——氧化膜电位器  
 WF——复合膜电位器

另外,在旋转式电位器中,字母 ZS-1 表示轴端没有经过特殊加工,ZS-3 代表轴端开槽 ZS-5 代表轴端为平面。

### 3.1.5 特种电阻

(1) 光敏电阻。利用半导体的光电效应制成的一种阻值随外界光照强弱而改变的电阻器。光照越强阻值越小,光照越弱阻值越大。光敏电阻一般用于光的测量、光的控制和光电转换。如果把光敏电阻的两个引脚接在万用表的表笔上,用万用表的  $R \times 1k$  挡测量在不同的光照下光敏电阻的阻值,万用表读数将会发生变化。在完全黑暗处,光敏电阻的阻值可达几兆欧以上(万用表指示电阻为无穷大,即指针不动);而在较强光线下,阻值可降到几千欧甚至几百欧。图 3.15 所示为一种外形的光敏电阻实物图。

(2) 热敏电阻器。热敏电阻器是一种对温度极为敏感的电阻器。该种电阻器在温度发生变化时其阻值也随之发生变化。由半导体材料制作而成,也称为半导体热敏电阻器。热敏电阻器的主要特点是对温度灵敏度高、寿命长、体积小、结构简单,可以采用各种不同的外形结构,图 3.16 给出两种不同结构的热敏电阻。这种元件已获得广泛的应用,例如温度测量、温度控制、温度补偿、火灾报警、气象探测、脉冲电压抑制、开关电路、过载保护、微波和激光功率测量等领域。按温度系数可分为负温度系数(NTC)和正温度系数(PTC)热敏电阻器。

① 正温度系数热敏电阻器。该电阻器在温度升高时其电阻值也随之增大。

② 负温度系数热敏电阻器。电阻值与温度的变化成反方向,即电阻阻值随温度的升高而降低。



图 3.15 光敏电阻实物图



图 3.16 热敏电阻实物图

### 3.1.6 电阻器的选用

在选用电阻器时,主要考虑电阻器的阻值、误差、额定功率、极限电压几个参数。所选电阻器的电阻值应接近应用电路中计算值的一个标称值,应优先选用标准系列的电阻器。一般电路使用的电阻器允许误差为 $\pm 5\% \sim \pm 10\%$ 。精密仪器及特殊电路中使用的电阻器,应选用精密电阻器。所选电阻器的额定功率,要符合应用电路中对电阻器功率容量的要求,一般不应随意加大或减小电阻器的功率。若电路要求是功率型电阻器,则其额定功率可高于实际应用电路要求功率的1~2倍。以下举例说明。

例:要求通过电阻器 $R$ 的电流 $I=0.01\text{A}$ ,加在其上的电压为 $5\text{V}$ 。

确定阻值:由欧姆定律得到电阻器的阻值 $R=U/I=5\text{V}/0.01\text{A}=500\Omega$ 。

确定功率:根据公式 $P=I^2R=0.01^2 \times 500=0.05\text{W}$ ,为了让电阻器能长时间使用,所选电阻器的功率应在实际功率的两倍以上,在此可选功率 $1/8\text{W}$ 的电阻器。

确定误差:一般来说,误差越小越好。但从成本角度考虑,电阻精度越高成本越大。

确定极限电压是否满足电路需要。根据 $U^2=PR$ ,可得 $U$ 约为 $8\text{V}$ ,大于实际两端电压 $5\text{V}$ ,因此可以选用。

固定电阻器有多种类型,选择哪一种材料和结构的电阻器,应根据应用电路的具体要求而定。

(1) 在高频电路中应选用分布电感和分布电容小的电阻器。一般来说,任何一种电阻器都或多或少存在分布电感和分布电容。通常非线绕电阻器的分布电感为 $0.01 \sim 0.05\mu\text{H}$ ,分布电容为 $0.1 \sim 5\text{pF}$ 。线绕电阻器的分布电感为几十 $\mu\text{H}$ ,分布电容可达十几 $\text{pF}$ 。电阻器随着工作频率的不断提高,其分布参数的作用将会越来越大。当电阻器在高频电路中工作,电阻器就不是一纯电阻,而是一个由电阻、电感和电容共同组成的阻抗器件。所以,在高频电路中,要选用分布参数很小的非线绕电阻器。比如,选用碳膜电阻器、金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器等。

(2) 在高增益前置放大电路中,应选用噪声电动势小的电阻器。一般来说,各种类型的电阻器都存在噪声电动势。合成碳膜和实心电阻器的噪声电动势就很大,可达几十 $\mu\text{V/V}$ ;而金属膜电阻器、碳膜电阻器和线绕电阻器等的噪声电动势就小,例如有的金属膜电阻器噪声电动势不大于 $1\mu\text{V/V}$ ;有的类型高精密金属膜电阻器噪声电动势不大于 $0.2\mu\text{V/V}$ ;等等。有些高增益放大电路的输入端接收来的输入信号非常微弱,如电视机的高频头、调频收音机的高频头的接收信号仅在几 $\mu\text{V}$ 到几十 $\mu\text{V}$ 之间,高增益放大电路需要将输入的信号放大数百倍以上,如果采用噪声电动势较大的电阻器等组成的高增益放大电路进行放大,信号放大了,噪声也放大了。因此,选用噪声电动势小的金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器。

(3) 金属膜的电阻器稳定性好,额定工作温度高( $70^\circ\text{C}$ ),高频特性好,噪声电动势小,在高频电路中优先选用。对于要求耗散功率大、阻值不高、工作频率不高,而精度要求高的电阻器,应选用线绕电阻器。同一类型的电阻器,在阻值相同时,功率越大,则高频特性越差。

(4) 正温度系数热敏电阻器(PTC)一般用于电冰箱压缩机起动电路、彩色显像管消

磁电路、电动机过电流过热保护电路、限流电路及恒温电加热电路。限流用小功率 PTC 热敏电阻器有 MZ2A~MZ2D 系列、MZ21 系列,电动机过热保护用 PTC 热敏电阻器有 MZ61 系列,应选用标称阻值、开关温度、工作电流及耗散功率等参数符合应用电路要求的型号。

负温度系数热敏电阻器(NTC)一般用于各种电子产品中作微波功率测量、温度检测、温度补偿、温度控制及稳压用,应根据应用电路的需要选择合适的类型及型号。

常用的温度补偿、温度控制用 NTC 热敏电阻器有 MF11~MF17 系列。常用的测温及温度控制用 NTC 热敏电阻器有 MF51 系列、MF52 系列、MF54 系列、MF55 系列、MF61 系、MF91~MF96 系列、MF111 系列等多种。MF52 系列、MF111 系列的 NTC 热敏电阻器适用于  $-80^{\circ}\text{C}\sim+200^{\circ}\text{C}$  温度范围内的测温与控温电路。MF51 系列、MF91-MF96 系列的 NTC 热敏电阻器适用于  $300^{\circ}\text{C}$  以下的测温与控温电路。MF54 系列、MF55 系列的 NTC 热敏电阻器适用于  $125^{\circ}\text{C}$  以下的测温与控温电路。MF61 系列、MF92 系列的 NTC 热敏电阻器适用于  $300^{\circ}\text{C}$  以上的测温与控温电路。选用温度控制热敏电阻器时,应注意 NTC 热敏电阻器的温度控制范围是否符合应用电路的要求。常用的稳压用 NTC 热敏电阻器有 MF21 系列、RR827 系列等,可根据应用电路设计的基准电压值来选用热敏电阻器稳压值及工作电流。

(5) 选用光敏电阻器时,应首先确定应用电路中所需光敏电阻器的光谱特性类型。若是用于各种光电自动控制系统、电子照相机和光报警器等电子产品,则应选取用可见光光敏电阻器;若是用于红外信号检测及天文、军事等领域的有关自动控制系统,则应选用红外光光敏电阻器;若是用于紫外线探测等仪器中,则应选用紫外光光敏电阻器。选好光敏电阻器的光谱类型后,还应看所选光敏电阻器的主要参数(包括亮电阻、暗电阻、最高工作电压、光电流、暗电流、额定功率、灵敏度等)是否符合应用电路的要求。

## 3.2 电容器

### 3.2.1 电容器的基本知识

#### 1. 电容器

电子制作中需要用到各种各样的电容器,它们在电路中分别起着不同的作用。电容器就是“储存电荷的容器”。尽管电容器品种繁多,但它们的基本结构和原理是相同的。两片相距很近的金属中间被某绝缘物质(固体、气体或液体)所隔开,就构成了电容器。两片金属称为极板,中间的绝缘物质叫做电介质。电容器也分为容量固定的与容量可变的。

不同的电容器储存电荷的能力也不相同。规定把电容器外加 1V 直流电压时所储存的

电荷量称为该电容器的电容量:  $C = \frac{Q}{U}$ 。在电

路中的图形符号如图 3.17 所示。

电容的国际单位为法拉(F)。但实际上,法拉是一个很不常用的单位,常用微法( $\mu\text{F}$ )、



图 3.17 电容器的电路符号

纳法(nF)、皮法(pF),它们的关系是:  $1 \text{ 法拉(F)} = 1 \times 10^3 \text{ 毫法(mF)} = 1 \times 10^6 \text{ 微法}(\mu\text{F}) = 1 \times 10^9 \text{ 纳法(nF)} = 1 \times 10^{12} \text{ 皮法(pF)}$ 。

电容器对交流电有特殊的电阻特性,称为容抗:

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

式中,  $X_c$  表示容抗;  $f$  表示频率;  $C$  表示电容器的容值。

## 2. 电容器的充放电

把电容器的两个电极分别接在电源的正、负极上,过一会儿即使把电源断开,两个引脚间仍然会有残留电压,我们说电容器储存了电荷。电容器极板间建立起电压,积蓄起电能,这个过程称为电容器的充电。已充电的电容器两端有一定的电压。电容器储存的电荷向电路释放的过程,称为电容器的放电。

在现实生活中,我们看到市售的整流电源在拔下插头后,上面的发光二极管还会继续亮一会儿,然后逐渐熄灭,就是因为里面的电容事先存储了电能,然后释放。当然这个电容原本是用来滤波的。至于电容滤波,如果用整流电源听“随身听”,有时厂家出于节约成本考虑使用了较小容量的滤波电容,造成耳机中有嗡嗡声。这时若在电源两端并接上一个较大容量的电解电容( $1000\mu\text{F}$ ),一般可以改善效果。音响“发烧友”制作 HiFi 音响,都要用一万微法以上的电容器来滤波,滤波电容越大,输出的电压波形越接近直流,而且大电容的储能作用,使得突发的大信号到来时,电路有足够的能量转换为强劲有力的音频输出。这时,大电容的作用有点像水库,使得原来汹涌的水流平滑地输出。

电容器只有在充电或放电过程中,才有电流在其上流过,充电或放电过程结束后,电容器是不能通过直流电的,在电路中起着“隔直流”的作用。电路中,电容器常被用作耦合、旁路、滤波等,都是利用它“通交流,隔直流”的特性。

## 3. 电容器在电路中的作用

在电子线路中,电容用来通过交流而阻隔直流,也用来存储和释放电荷以充当滤波器,平滑输出脉动信号。小容量的电容,通常在高频电路中使用,如收音机、发射机和振荡器中。大容量的电容往往是作滤波和存储电荷用。电容器在电路中所起作用如下所述:

- 隔直流:作用是阻止直流通过而让交流通过。
- 旁路(去耦):为交流电路中某些并联的元件提供低阻抗通路。
- 耦合:作为两个电路之间的连接,允许交流信号通过并传输到下一级电路。
- 滤波:将信号中特定频率的信号滤除,抑制和防止干扰,如显卡上的电容基本都是这个作用。
- 温度补偿:针对其他元件对温度的适应性不够带来的影响,而进行补偿,改善电路的稳定性。
- 延时:电容器与电阻器配合使用,调节电路的时间常数。
- 调谐:对与频率相关的电路进行系统调谐,比如手机、收音机、电视机。
- 储能:储存电能,在需要的时候释放。例如相机闪光灯,加热设备等。如今某些电容的储能水平已经接近锂电池的水准,一个电容储存的电能可以供一个手机使用一天。

#### 4. 电容器的检测

固定电容器的检测,测试工具选用指针式万用表。

(1) 检测  $10\text{pF}$  以下的小电容,因  $10\text{pF}$  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。

(2) 检测  $10\text{pF}\sim 0.01\mu\text{F}$  固定电容器是否有充电现象,进而判断其好坏。万用表选用  $R\times 1\text{k}$  挡。可以借助三极管的放大作用,把被测电容的充放电过程放大,使万用表指针摆动幅度加大,从而便于观察。把电容器的充电信息作为三极管基极  $b$  的输入信号,万用表的红和黑表笔分别与发射极  $e$  和集电极  $c$  相接。

(3) 对于  $0.01\mu\text{F}$  以上的固定电容,可用万用表的  $R\times 10\text{k}$  挡直接测试电容器有无充电过程以及有无内部短路或漏电。在表笔接通瞬间,万用表指针应向右微小摆动,然后又回到无穷大处。调换表笔后再次测量,指针也向右微小摆动后回到无穷大处。可以判断该电容器正常。若表笔接通瞬间,万用表指针向右摆动到“0”附近,或向右摆动后不再返回无穷大处,可以判断该电容器已被击穿或漏电严重。

电解电容常见的故障有容量减少或消失、击穿短路及漏电,其中容量变化是因电解电容在使用或放置过程中内部的电解液逐渐干涸引起,而击穿与漏电一般是所加的电压过高或本身质量不佳引起。

(4) 因为电解电容的容量较一般固定电容大得多,所以,测量时,应针对不同容量选用合适的量程。根据经验,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。

将万用表红表笔接负极,黑表笔接正极,在刚接触的瞬间,万用表指针向右偏转较大幅度(对于同一电阻挡,容量越大,摆幅越大),接着逐渐向左回转,直到停在某一位置。此时的阻值便是电解电容的正向漏电阻,此值略大于反向漏电阻。经验表明,电解电容的漏电阻一般在几百千欧以上,否则,将不能正常工作。在测试中,若正向、反向均无充电的现象,即表针不动,则说明容量消失或内部断路;如果所测阻值很小或为零,说明电容漏电严重或已击穿损坏。

(5) 通常有极性的铝电解电容器外壳上都标有+(正极)或-(负极),未剪脚的电容器,长脚为正极,短引脚为负极。如果正、负引线标志不清时,可根据它的正接时漏电流小(电阻值大),反接时漏电流大的特性来判断。利用上述测量漏电阻的方法,先任意测一下漏电阻,记住其大小,然后交换表笔再测出一个阻值。以漏电流小的示值为标准进行判断,与黑表笔接触的那根引线是电解电容器的正端。对本身漏电流小的电解电容器,这种方法则比较难以区分其极性。

(6) 使用万用表电阻挡,采用给电解电容进行正、反向充电的方法,根据指针向右摆动幅度的大小,可估测出电解电容的容量。电容量越大,指针偏转角度越大,如果电容量较小,指针的偏转角度较小。根据此原理和实际检测经验,给出不同电容量所对应的指针偏转应达到的位置,判断所测电容器容量的大小。

3.2.2 电容器的主要技术参数

1. 标称容值

为了便于生产和使用,国家规定了一系列电容值标准,称为标称容值。表 3.7 列出了常用电容器的容值标准,电容器的标称容值应该符合其中之一,或者是表中所列数值再乘以  $10^n$ ,其中  $n$  为整数。

表 3.7 固定电容器标称容值及允许偏差

| 系列              | 允许偏差  | 标称容值(μF) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|-----------------|-------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| E <sub>24</sub> | ±5%   | 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 <sub>12</sub> | ±10%  | 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 <sub>6</sub>  | ±20%  | 1.0      | 1.5 | 2.2 | 3.3 | 4.7 | 6.8 |     |     |     |     |     |     |     |  |
| E <sub>3</sub>  | >±20% | 1.0      | 2.2 | 4.7 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |

2. 额定电压

电容器的额定电压是指电容器在规定的温度范围内,能够连续可靠工作的最大直流电压或交流电压有效值,也称为耐压。额定电压的大小与电容器所使用的绝缘介质和环境温度有关。加在一个电容器的两端的电压超过了它的额定电压,电容器就会被击穿损坏。对于电容器的额定电压,国家也规定了一系列标准值。一般电解电容的耐压分挡为 6.3V, 10V,16V,25V,36V,52V 等。

3. 温度系数

电容器容值随环境温度变化会有微小变化,表征这种变化程度的参数称为温度系数。温度系数越大,电容器容值随温度变化的程度越大。为使电路稳定工作,应选择温度系数较小的电容器。

4. 漏电流和绝缘电阻

电容器的漏电流主要是介质的绝缘电阻不是无限大且介质存在的缺陷而产生的。当在电容器的两端加上直流电压时,便会产生漏电流。一般电解电容漏电流较大。给电容器施加一个直流电压,并测量产生的漏电流,由欧姆定律可得绝缘电阻。电容器的绝缘电阻越大,表明其质量越高。

5. 损耗因数

通常将电容器在电场作用下因发热而消耗的能量称为电容器的损耗。电容器能量的损耗分为介质损耗和金属损耗两部分。介质损耗包括介质的漏电流所引起的电导损耗以及介质极化引起的极化损耗等。金属损耗包括金属极板和引线端的接触电阻引起的损耗。由于

各种金属材料的电阻率不同,金属损耗随频率和温度增高而增大的程度也不同。电容器在高频电路中工作时,金属损耗占的比例很大。由于电容器损耗的存在,使加在电容器的电压

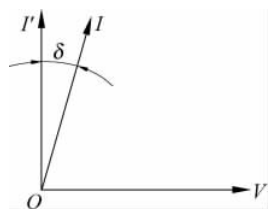


图 3.18 电容器的损耗角

与电流之间的夹角(相位角)不是理想的  $\pi/2$ ,而是偏离了一个角度  $\delta$ ,稍小于  $\pi/2$ ,这个  $\delta$  角就称为电容器的损耗角,如图 3.18 所示。习惯上用损耗角正切值  $\tan\delta$  表示电容器的损耗,将把  $\tan\delta$  称为损耗因数。

电容器损耗因数是衡量电容器品质优劣的重要指标之一,决定着电容器的使用寿命和电容器在电路中的作用效果。各类电容器都规定了在某频率范围内的损耗因数允许值。在选用脉冲、交流、高频等电路使用的电容器时应考虑这一参数。

6. 频率特性

电容器的电容量随频率变化的关系称为电容器的频率特性。随着温度的升高,绝缘介质的介电系数减小,电容量将会减小,而损耗将增大。不同类型的电容器有着不同的最高使用频率,如小型云母电容器的极限工作频率在 150~250MHz。选择电容器时要注意电容器的频率特性。

3.2.3 电容器的命名方法和标志方法

1. 电容器的型号命名方法

根据国家标准规定,电容器命名方法如图 3.19 所示,表 3.8 给出了电容器介质材料的代号。

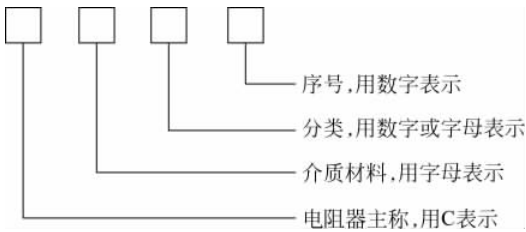


图 3.19 电容器命名方法

表 3.8 电容器介质材料代号

|       |    |       |     |
|-------|----|-------|-----|
| 钽电解   | CA | 复合介质  | CH  |
| 铌电解   | CO | 漆膜介质  | CQ  |
| 铝电解   | CD | 云母    | CY  |
| 其他电解  | CE | 合金电解  | CG  |
| 高频瓷介  | CC | 纸介    | CZ  |
| 低频瓷介  | CT | 聚苯乙烯  | CB  |
| 涤纶    | CL | 聚丙烯   | CBB |
| 玻璃膜   | CO | 聚四氟乙烯 | CBF |
| 玻璃釉   | CI | 聚碳酸酯  | CLS |
| 金属化纸介 | CJ |       |     |

例如型号 CBB11 代表非密封(1 分类)聚丙烯(BB 材料)电容器。

2. 电容器规格的标志方法

(1) 直标法。将电容器的主要参数和技术指标直接标注在电容器的表面。直标法可以用阿拉伯数字和文字符号标出,如图 3.20 所示。电容器的直标内容一般是: 商标、型号、工作温度、工作电压、标称电容量及允许偏差、电容温度系数等,不过上述内容不一定全部标出。



图 3.20 电容器直标法示例图

(2) 数码法。在体积较小的电容元件上,用三位数码表示电容容量,数码前 2 位为电容值的两位有效数字,第 3 位数码表示前两位有效数字后面“零”的个数,有时还在数码后缀上字母代表误差等级,如图 3.21 所示,表 3-9 给出了字母所代表的误差等级。数码法标注电容容量的单位是 pF。

表 3.9 字母符号代表误差等级表

| 允许偏差(%) | 文字符号 | 允许偏差(%) | 文字符号 | 允许偏差(%)   | 文字符号 |
|---------|------|---------|------|-----------|------|
| ±0.001  | Y    | ±0.25   | C    | ±30       | N    |
| ±0.002  | X    | ±0.5    | D    | +100, -0  | H    |
| ±0.005  | E    | ±1      | F    | +100, -10 | R    |
| ±0.01   | L    | ±2      | G    | +80, -20  | Z    |
| ±0.02   | P    | ±5      | J    | +50, -10  | T    |
| ±0.05   | W    | ±10     | K    | +50, -20  | S    |
| ±0.1    | B    | ±20     | M    | +30, -10  | Q    |

例如: 标注 104,103,222K,472J,其含义是

104 表示  $100000\text{pF}=0.1\mu\text{F}$ ,103 表示  $10000\text{pF}=0.01\mu\text{F}$ ,

222K 表示  $2200(1\pm10\%)\text{pF}$ ,472J 表示  $4700(1\pm5\%)\text{pF}$ 。

(3) 文字标号法。将文字和数字符号有规律地组合起来标注在电容器表面,常用来标志电容器的标称容量,如表 3.10 所示。

3.10 文字符号代表的标称电容量

| 标称电容量  | 文字符号 | 标称电容量            | 文字符号    | 标称电容量              | 文字符号     |
|--------|------|------------------|---------|--------------------|----------|
| 0.33pF | P33  | 3300pF           | 3n3     | $33\mu\text{F}$    | $33\mu$  |
| 0.5pF  | P50  | 10000pF          | 10n     | $100\mu\text{F}$   | $100\mu$ |
| 1pF    | 1p0  | 33000pF          | 33n     | $330\mu\text{F}$   | $330\mu$ |
| 3.3pF  | 3p3  | 100000pF         | 100n    | $1000\mu\text{F}$  | 1m       |
| 10pF   | 10p  | 330000pF         | 330n    | $3300\mu\text{F}$  | 3m3      |
| 33pF   | 33p  | $1\mu\text{F}$   | $1\mu$  | $10000\mu\text{F}$ | 10m      |
| 330pF  | 330p | $3.3\mu\text{F}$ | $3\mu3$ | $33000\mu\text{F}$ | 33m      |
| 1000pF | 1n   | $10\mu\text{F}$  | $10\mu$ | 1F                 | 1F       |

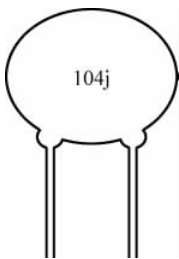


图 3.21

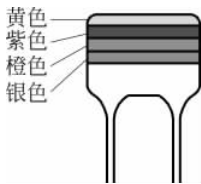


图 3.22 电容器的色标法

(4) 色标法。用不同颜色的色带,按照规定的方法在电容器表面上标注出电容的标称值、允许偏差及工作电压。标称电容量为  $0.047\mu\text{F}$ 、允许偏差  $\pm 10\%$  的电容器的表示方法如图 3.22 所示,各颜色代表读数如表 3.11 所示。

表 3.11 各颜色代表读数表

| 颜色 | 第一色环第一位数 | 第二色环第二位数 | 第三色环应乘倍数  | 第四色环误差值(%)   |
|----|----------|----------|-----------|--------------|
| 黑  | 0        | 0        | $10^1$    | —            |
| 棕  | 1        | 1        | $10^1$    | $\pm 1$      |
| 红  | 2        | 2        | $10^2$    | $\pm 2$      |
| 橙  | 3        | 3        | $10^3$    | —            |
| 黄  | 4        | 4        | $10^4$    | —            |
| 绿  | 5        | 5        | $10^5$    | $\pm 0.5$    |
| 蓝  | 6        | 6        | $10^6$    | $\pm 0.25$   |
| 紫  | 7        | 7        | $10^7$    | $\pm 0.1$    |
| 灰  | 8        | 8        | $10^8$    | —            |
| 白  | 9        | 9        | $10^9$    | $\pm 50/-20$ |
| 银  | —        | —        | $10^{-2}$ | $\pm 10$     |
| 金  | —        | —        | $10^{-1}$ | $\pm 5$      |

3.2.4 电容器的种类及特性

1. 电容器的种类

(1) 按结构及电容器是否能调节分：固定电容器、可变电容器和半可变电容器。

(2) 按介质材料的不同分：有机介质电容器(包括漆膜电容器、纸介电容器、聚苯乙烯电容器、聚丙烯电容器、聚四氟乙烯电容器、复合薄膜电容器、纸膜复合介质电容器等)、无机介质电容器(包括陶瓷电容器、云母电容器、玻璃釉电容器、玻璃膜电容器等)、电解电容器(包括铝电解电容器、钽电解电容器、铌电解电容器、钛电解电容器及合金电解电容器等)和气体介质电容器(包括空气电容器、真空电容器和充气电容器等)。

2. 常见的几种不同介质电容器的结构和特点

(1) 纸介质电容器

纸介质电容器用特制的纸作为介质,用铝箔或锡箔作为电极卷制而成,如图 3.23 所示。

它的特点是体积较小,工艺简单,容量可以做得较大,稳定性差,介质损耗比较大,适用于低频电路。通常不能在高于 $3\sim 4\text{MHz}$ 的频率上运用。

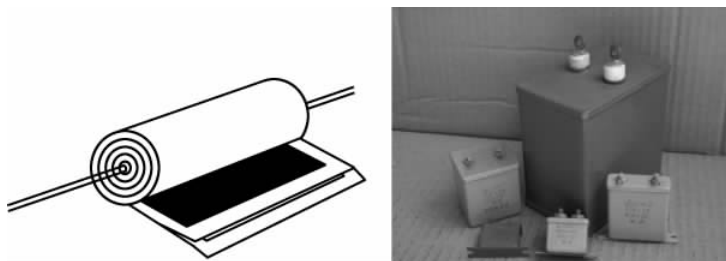


图 3.23 纸介质电容器

### (2) 薄膜电容器

结构与纸质电容器相似,介质是聚酯(涤纶)、聚丙烯、聚苯乙烯等塑料薄膜,如图 3.24 所示。涤纶薄膜电容器,电容率较高,体积小、容量大、热稳定性较好,频率稳定性差,损耗随频率升高而增加,适宜做隔直、耦合和旁路电容。聚苯乙烯薄膜电容器,介质损耗小,绝缘电阻高,可以制成精密电容器,但温度系数大,耐热能力差,频率特性好,可应用于滤波电路、积分电路、振荡电路、高频电路等。



图 3.24 聚丙烯、聚酯(涤纶)和聚苯乙烯薄膜电容器

### (3) 瓷介质电容器

瓷介质电容器又称陶瓷电容器,它以陶瓷为介质,涂敷金属薄膜经高温烧结而形成电极,如图 3.25 所示。其特点是体积小、耐热性好、损耗小、绝缘电阻高,可制成高压电容器,但容量小,适用于高频电路。铁电陶瓷电容容量较大,但是损耗和温度系数较大,适宜用于低频电路。

### (4) 云母电容器

早先的云母电容器用金属箔或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。目前是在云母介质上被覆一层银电极,芯子结构是装叠而成的,然后再装入外壳封装构成电容器如图 3.26 所示。其特点是介质损耗小、绝缘电阻大、温度系数小、固有电感小、频率特性稳定,适用于高频电路。云母电容器适用于对稳定性和可靠性要求较高的场合及高频高压电子设备。

### (5) 玻璃釉电容器

由一种浓度适于喷涂的特殊混合物喷涂成薄膜而成,介质再以银层电极经烧结而成“独

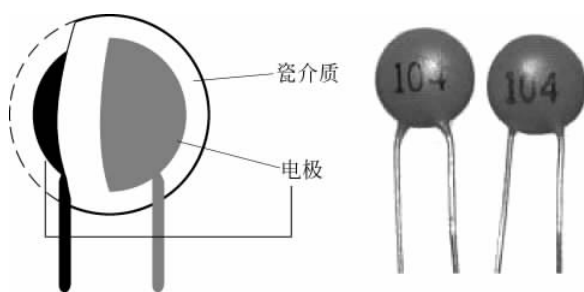


图 3.25 瓷介质电容器

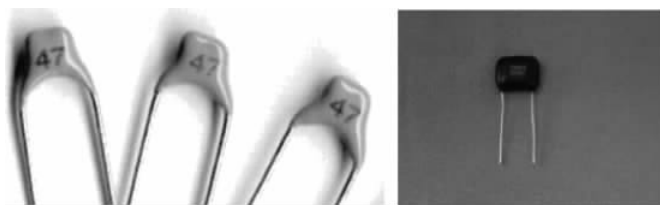


图 3.26 玻璃釉电容器和云母电容器

石”结构,性能可与云母电容器媲美。其特点是具有瓷介电容器的优点,且体积更小,耐高温。

#### (6) 铝电解电容器

铝电解电容器的芯子是由阳极铝箔、电解纸、阴极铝箔、电解纸等4层重叠卷绕而成;芯子含浸电解液后,用铝壳和胶盖密闭起来构成一个电解电容器,如图3.27所示。铝电解电容器的工作介质为通过阳极氧化的方式在铝箔表面生成一层极薄的三氧化二铝,因为氧化膜有单向导电性质,所以电解电容器具有极性。阴极是电容器中的电解液,因其无法直接和外电路连接,必须通过另一金属电极构成电气通路。

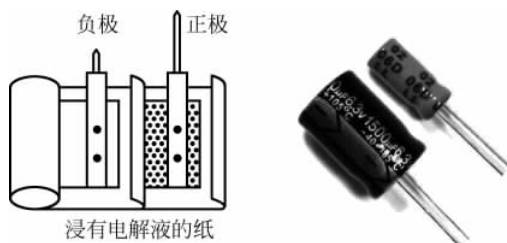


图 3.27 铝电解电容器

铝电解电容器的优点有:单位体积所具有的电容容量特别大,其介质氧化膜具有自恢复能力,可以获得数千乃至数万微法的静电容量。一般来说,电源滤波、低频旁路、信号耦合等用途所需的电容器要选用电解电容器。

铝电解电容器的缺点有:绝缘性能较差,漏电流大,损耗因子较大,铝电解电容器的温度特性及频率特性均较差,不宜在25kHz以上频率使用。铝电解电容器具有极性,使用时如果接反了,电容器的漏电流急剧增大,芯子严重发热,导致电容器失效,并有可能燃烧爆炸。

(7) 钽电解电容器

钽电解电容器有固体钽电解电容器和液体钽电解电容器,如图 3.28 所示。液体钽电解电容器用金属钽作正极,用稀硫酸等配液作负极,用钽表面生成的氧化膜作介质制成。固体钽电解电容器用烧结的钽块作正极,电解质使用固体二氧化锰。

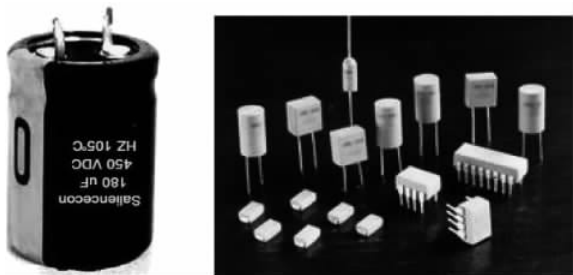


图 3.28 钽电解电容器

其优点是体积小、容量大、漏电流极小、绝缘电阻大、性能稳定、寿命长、温度性能好、频率特性好;缺点是对脉动电流的耐受能力差、有极性、耐压低。钽电解电容器主要用在铝电解电容器性能参数难以满足要求的场合,如体积小、温度范围宽、阻抗特性和频率特性好,产品稳定性高的整机电路中。

表 3.12 给出了不同材料电容器的容值范围,表 3.13 给出了不同材料电容器的适用频率范围。

表 3.12 不同材料电容器的容值范围

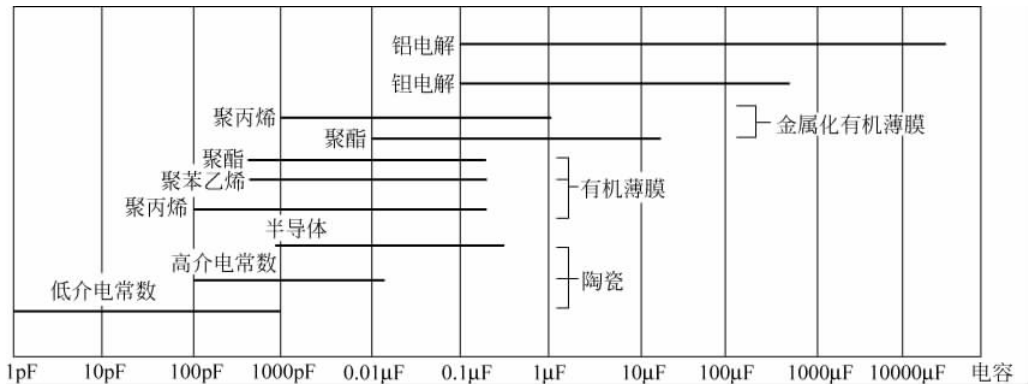
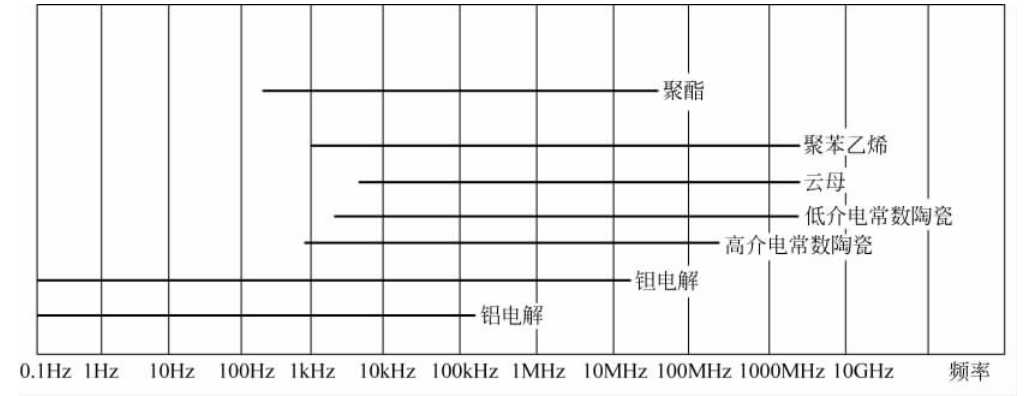


表 3.13 不同材料电容器的频率范围



### 3.2.5 电容器的选用

选用电容器时首先要满足电子设备对电容器主要参数的要求,主要技术参数包括标称容量和允许偏差、额定工作电压、绝缘电阻、能量损耗、使用环境温度和温度系数等。有时还要考虑工作频率范围。

(1) 在低频的耦合及旁路电路中,一般对电容器的电容量的要求不太严格,只要按计算值选取稍大一些的电容容量就可以。在振荡电路中,对电容器的电容容量要求比较严格,要选精度高的电容器,并且标称值与所需电容值一致或尽量接近。

(2) 选用的电容器的额定工作电压要符合电路要求。额定工作电压应是实际电压的1.2~1.3倍。若实际工作电压高于电容器的额定电压,电容器极易发生击穿。

(3) 优先选用绝缘电阻大、介质损耗小、漏电流小的电容器。比如,在振荡电路、滤波电路中,要求损耗要尽量小,这可以改善电路的性能。

(4) 对于要求不高的低频电路和直流电路,一般可选纸介质电容器或低频瓷介质电容器。在要求较高的中频及低频电路中,可选塑料薄膜电容器。因为电容器在高频电路中应用时,其电容量、介电常数随频率的增大而减小,损耗增加。此时要选高频性能较好的云母电容器或瓷介电容器,它们具有工作频率高、电容量随外界条件变化小等优点。

另外,在电源滤波电路、去耦电路中,一般选用铝电解电容器。在要求可靠性、稳定性高的电路中,应选用云母电容器、漆膜电容器或钽电解电容器。

## 3.3 电感器和变压器

### 3.3.1 电感的基本知识

电感器和电容器一样,也是一种储能元件,它能把电能转变为磁场能,并在磁场中储存能量。一般是用导线绕制而成的线圈,如图3.29所示。



图 3.29 电感线圈元件实物图

#### 1. 电路符号

在电路中的符号表示,如图3.30所示。

## 2. 字母符号

字母符号为  $L$ ；单位为亨利(H)。

单位换算：1H = 1000 毫亨(mH)，1 毫亨 = 1000 微亨( $\mu\text{H}$ )



图 3.30 电感的电路符号

## 3. 电感在电路中的作用

- (1) 作为阻碍交流电的扼流线圈使用，即高频阻流圈。
- (2) 与电阻、电容器组合，使某一频率的交流电不能通过，或容易通过，组成滤波器、选频电路及谐振电路等。
- (3) 利用两个绕组间的互感，可作为变压器使用。

## 4. 电感的分类

按介质材料分类：空芯线圈、铁氧体线圈、铁心线圈、铜芯线圈。空心电感是线圈自绕，内腹为空的电感。其主要特点是电感量相对较小，主要用于高频电路。磁心电感是将线圈绕在磁心(铁氧体、铁心等)上，以其为骨架。其主要特点是电感量大，主要用于滤波电路。

按工作性质分类：天线线圈、振荡线圈、扼流线圈、滤波线圈、偏转线圈。

按绕线结构分类：单层线圈、多层线圈、蜂房式线圈。

## 5. 电感的主要特性参数

(1) 电感量  $L$ 。电感量  $L$  表示线圈本身固有特性，与电流大小无关，主要取决于线圈的圈数、结构、绕制方法、有无磁芯等因素。除专门的电感线圈(色码电感)外，电感量一般不专门标注在线圈上，而以特定的名称标注。

(2) 感抗  $X_L$ 。电感线圈对交流电流阻碍作用的大小称感抗，单位是欧姆。它与电感量  $L$  和交流电频率  $f$  的关系为： $X_L = 2\pi fL$ 。

(3) 品质因数  $Q$ 。品质因数  $Q$  是表示线圈质量的一个物理量， $Q$  为感抗  $X_L$  与其直流电阻的比值，即  $Q = X_L/R$ 。线圈的  $Q$  值愈高，回路的损耗愈小。线圈的  $Q$  值与导线的直流电阻、骨架的介质损耗、屏蔽罩或铁心引起的损耗、高频趋肤效应的影响等因素有关。线圈的  $Q$  值通常为几十到几百。采用磁芯线圈，多股粗线圈均可提高线圈的  $Q$  值。

(4) 分布电容。线圈的匝与匝间、线圈与屏蔽罩间、线圈与地间存在的电容被称为分布电容。分布电容的存在使线圈的  $Q$  值减小，稳定性变差，因而线圈的分布电容越小越好。采用分段绕法可减少分布电容。

(5) 额定电流。电感的额定电流有两个参考点：①以电感量变化：随着通过电感的电流的增加，磁通密度会增加，当达到磁饱和时，电感量会急速下降，一般以电感量下降 30% 时的电流值为标准。②以电感表面温度变化：随着通过电感的电流的增加，由于电感内阻的存在，电感会发热，一般以当电感表面温度达到  $+40^\circ\text{C}$  时(环境温度  $20^\circ\text{C}$ )的电流值为标准。一般厂家都是以二者的较小值为额定电流值，一般功率电感的第 2 个值会小于第 1 个值。同时由于电感温升会导致磁材饱和密度下降，导致相同的电感在高温环境时比低温环境的饱和电流要小，因此通常第 2 个电流比第 1 个电流值更为重要。通过电感的电流超过

额定电流时,可能导致电感烧毁。电感的额定电流主要与绕制电感的铜线的线径有关(线越粗,电感的额定电流越大),电感的额定电流还与电感的散热能力有关,散热能力越好,额定电流越大(电感的散热能力与电感的形式、形状、尺寸等有关)。

### 3.3.2 变压器的基本知识

变压器是利用电磁感应原理传输电能或电信号的器件,它具有变压、变流和变阻抗的作用。变压器的种类很多,应用十分广泛。例如,在电力系统中用电力变压器将发电机发出的电压升高后进行远距离输电,到达目的地后再用变压器将电压降低以便用户使用,以此减少传输过程中电能的损耗;在电子设备和仪器中常用小功率电源变压器改变市电电压,再通过整流和滤波,得到电路所需要的直流电压;在放大电路中用耦合变压器传递信号或进行阻抗的匹配等。变压器虽然大小悬殊,用途各异,但其基本结构和工作原理却是相同的。

变压器的结构如图 3.31 所示,变压器由铁心和绕组两个基本部分组成,在一个闭合的铁心上套有两个绕组,绕组与绕组之间以及绕组与铁心之间都是绝缘的,图 3.32 给出一种变压器的实物图。

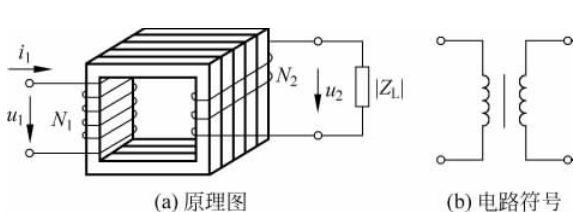


图 3.31 变压器原理图和电路符号



图 3.32 变压器实物图

#### 1. 变压器在电路中的作用

变压器在电路中的作用一是电压变换和电流变换,可以用来升高或降低交流电压,改变交变电流;一是进行阻抗变换。以下分别介绍。

##### (1) 电压变换

将变压器的原边接在交流电压  $u_1$  上,副边开路,这种运行状态称为空载运行。此时副绕组中的电流  $i_2=0$ ,电压为开路电压  $u_{20}$ ,原绕组通过的电流为空载电流  $i_{10}$ 。图中  $N_1$  为原绕组的匝数,  $N_2$  为副绕组的匝数。有

$$\frac{u_1}{u_{20}} \approx \frac{N_1}{N_2} = K$$

变压器空载运行时,原、副绕组上电压的比值等于两者的匝数之比,  $K$  称为变压器的变压比。若改变变压器原、副绕组的匝数,就能够把某一数值的交流电压变为同频率的另一数值的交流电压。当原绕组的匝数  $N_1$  比副绕组的匝数  $N_2$  多时,  $K>1$ , 为降压变压器;反之,当  $N_1$  的匝数少于  $N_2$  的匝数时,  $K<1$ , 为升压变压器。

##### (2) 电流变换

变压器的原绕组接交流电压  $u_1$ ,副绕组接上负载  $Z_L$ ,这种运行状态称为负载运行。如果忽略变压器的损耗(绕组的热损耗和磁芯上的损耗),原边输入功率和副边的输出功率近

似相等。原、副边电流有效值之比近似等于其匝数之比的倒数。若改变原、副绕组的匝数, 就能够改变原、副绕组电流的比值, 这就是变压器的电流变换作用, 有

$$u_1 I_1 \approx u_2 I_2, \quad \frac{I_1}{I_2} \approx \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K}$$

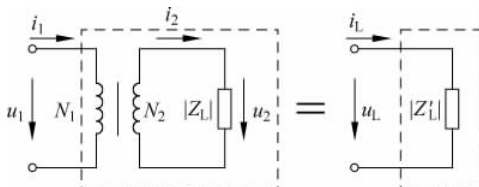


图 3.33 变压器的阻抗变换作用

### (3) 阻抗变换

变压器除了具有变压和变流的作用外, 还有变换阻抗的作用。如图 3.33 所示, 变压器原边接电源  $u_1$ , 副边接负载阻抗  $|Z_L|$ , 对于电源来说, 图中虚线框内的电路可用另一个阻抗  $|Z'_L|$  来等效。所谓等效, 就是它们从电源吸取的电流和功率相等。当忽略变压器的漏磁和损耗时, 等效阻抗由下式求得

$$|Z'_L| = \frac{u_1}{I_1} = \frac{\frac{N_1}{N_2} u_2}{\frac{N_2}{N_1} I_2} = \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 |Z_L| = K^2 |Z_L|$$

式中  $|Z_L| = \frac{u_2}{I_2}$  为变压器副边的负载阻抗。可见, 对于变比为  $K$  且变压器副边阻抗为  $|Z_L|$  的负载, 相当于在电源上直接接一个阻抗  $|Z'_L| = K^2 |Z_L|$  的负载, 也可以说变压器把负载阻抗  $Z_L$  变换为  $|Z'_L|$ 。因此, 通过选择合适的变比  $K$ , 可把实际负载阻抗变换为所需的数值, 这就是变压器的阻抗变换作用。

在电子电路中, 输入端阻抗和信号源内阻相等时, 信号源可以把信号功率最大限度地传送给电路。为了提高信号的传输功率, 常用变压器将负载阻抗变换为适当的数值, 使其与放大电路的输出阻抗相匹配, 这种做法称为阻抗匹配。

## 2. 变压器的效率

在额定负载时, 变压器的输出功率和输入功率的比值, 叫做变压器的效率, 即

$$\eta = P_1 / P_2$$

式中,  $\eta$  为变压器的效率;  $P_1$  为输入功率;  $P_2$  为输出功率。变压器的效率与变压器的功率等级有密切关系, 通常功率越大, 损耗与输出功率相比就越小, 效率也就越高。反之, 功率越小, 效率也就越低。变压器的效率值一般在 60%~100% 之间。

## 3. 变压器的损耗

变压器传输电能时总要产生损耗, 这种损耗主要有铜损和铁损。铜损是指变压器线圈电阻所引起的损耗。当电流通过线圈电阻发热时, 一部分电能就转变为热能而损耗。铁损包括磁滞损耗和涡流损耗。由于变压器铁心存在磁矫顽力, 当磁场反复对变压器铁心进行

磁化时,总需要额外地有一部分磁场能量被用来克服磁矫顽力和消除剩余磁通,这一部分能量,对于变压器铁心来说,是不起增强磁通密度作用的,即为磁滞损耗。当变压器工作时。铁心中有磁力线穿过,在与磁力线垂直的平面上就会产生感应电流,由于此电流自成闭合回路形成环流,且成旋涡状,故称为涡流。涡流的存在使铁心发热,消耗能量,这种损耗称为涡流损耗。

#### 4. 技术参数

对不同类型的变压器都有相应的技术要求,可用相应的技术参数表示。如电源变压器的主要技术参数有:额定功率、额定电压和电压比、工作温度等级、温升、电压调整率、绝缘性能和防潮性能。一般低频变压器的主要技术参数是:变压比、频率特性、非线性失真、磁屏蔽和静电屏蔽、效率等。

- 工作频率:变压器铁心损耗与频率关系很大,故应根据使用频率来设计和使用,这种频率称工作频率。
- 额定功率:在规定的频率和电压下,变压器能长期工作,而不超过规定温升的输出功率。
- 额定电压:指在变压器的线圈上所允许施加的电压,工作时不得大于规定值。
- 电压比:指变压器初级电压和次级电压的比值,有空载电压比和负载电压比的区别。
- 空载电流:变压器次级开路时,初级仍有一定的电流,这部分电流称为空载电流。空载电流由磁化电流(产生磁通)和铁损电流(由铁心损耗引起)组成。
- 空载损耗:指变压器次级开路时,在初级测得功率损耗。主要损耗是铁心损耗,其次是空载电流在初级线圈铜阻上产生的损耗(铜损),这部分损耗很小。
- 效率:指次级功率  $P_2$  与初级功率  $P_1$  比值的百分比。通常变压器的额定功率愈大,效率就愈高。

#### 5. 变压器的检测

电源变压器发生短路性故障后的主要表现是发热严重和次级绕组输出电压失常。通常,线圈内部匝间短路点越多,短路电流就越大,而变压器发热就越严重。检测判断电源变压器是否有短路性故障的简单方法是测量空载电流。存在短路故障的变压器,其空载电流值将远大于满载电流的10%。当短路严重时,变压器在空载加电后几十秒钟之内便会迅速发热,用手触摸铁心会有烫手的感觉。此时不用测量空载电流便可断定变压器有短路点存在。

### 3.4 二极管

#### 3.4.1 二极管基本知识

半导体是一种具有特殊性质的物质,它不像导体一样能够完全导电,又不像绝缘体那样不能导电,它介于两者之间,所以称为半导体。二极管是一块P型半导体(二极管的正极)

和一块 N 型半导体(二极管的负极)紧密地结合在一起而构成的,在它们的交界面上形成 PN 结。二极管最重要的特性就是单方向导电性。在电路中,电流只能从二极管的正极流入,负极流出。电路符号如图 3.34 所示。

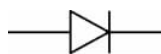


图 3.34 二极管电路符号

利用二极管单向导电的特性,常用二极管作整流器,把交流电变为直流电,即只让交流电的正半周(或负半周)通过,再用电容器滤波形成平滑的直流。事实上好多电器的电源部分都是这样的。二极管也用来做检波器,把高频信号中的有用信号“检出来”,老式收音机中会有一个“检波二极管”,一般用 2AP9 型锗管。电视机中也用检波二极管将图像信号从高频载波中“检”出来。常见的几种二极管如图 3.35 所示。

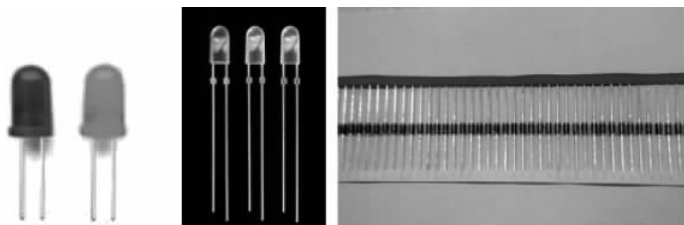


图 3.35 二极管实物图

对二极管施加正向偏置电压时,随着电压的增加,开始时电流随电压变化很缓慢,而当正向偏置电压增至接近其导通电压时,电流急剧增加,二极管导通后,电压变化少许,电流的变化就很大。硅管的导通电压为  $0.7 \sim 0.8\text{V}$ ,一般取  $0.7\text{V}$ ,锗管为  $0.2 \sim 0.3\text{V}$ ,通常取  $0.2\text{V}$ 。对二极管施加反向偏置电压时二极管处于截止状态,其反向电压增加至该二极管的击穿电压时,电流迅速增大,二极管被击穿。

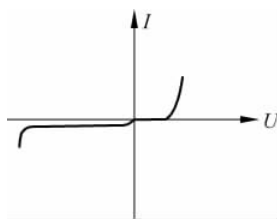


图 3.36 二极管的伏安特性曲线

### 1. 二极管主要参数

不同类型的二极管有不同的特性参数。一般会关注以下参数:

(1) 反向饱和漏电流  $I_s$ 。指在二极管两端加入反向电压时,流过二极管的电流,该电流与半导体材料和温度有关。在常温下,硅管的  $I_s$  为纳安( $10^{-9}\text{A}$ )级,锗管的  $I_s$  为微安( $10^{-6}\text{A}$ )级。

(2) 正向电压降。二极管导通时,其二极管两端产生的正向电压降。此值越小越好。

(3) 最大反向工作电压。指二极管所能承受的最高反向电压值。

(4) 额定电流。指其正常连续工作时,许可通过的最大正向电流值。在使用时电路的最大电流不能超过此值,否则二极管就会发热而烧毁。

(5) 最高工作频率  $f_M$ 。由于 PN 结的结电容存在,当工作频率超过某一值时,它的单向导电性将变差。点接触式二极管的  $f_M$  值较高,在  $100\text{MHz}$  以上;整流二极管的  $f_M$  较低,一般不高于几千赫兹。

### 2. 二极管的检测和极性判断

半导体二极管的好坏判别:用万用表(指针表)  $R \times 100$  或  $R \times 1k$  挡测量二极管的正向

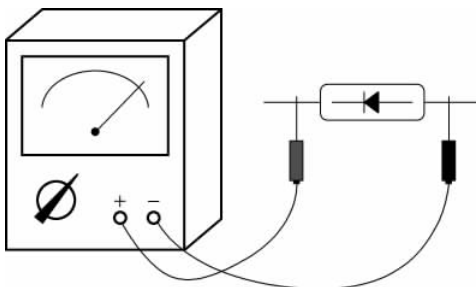


图 3.37 万用表检测二极管

电阻约在  $1\text{k}\Omega$  左右,反向电阻应在  $100\text{k}\Omega$  以上。正向电阻越小越好。反向电阻越大越好。若正向电阻无穷大,说明二极管内部断路,若反向电阻为零,表明二极管以击穿。用万用表  $R\times 100$  或  $R\times 1\text{k}$  挡,任意测量二极管的两根引线,如果量出的电阻只有几百欧姆(正向电阻),则黑表笔(即万用表内电池正极)所接引线为正极,红表笔(即万用表内电源负极)所接引线为负极如图 3.37 所示。

3.4.2 半导体二极管的种类

按制造二极管的半导体材料分,二极管可分为锗二极管、硅二极管、砷化镓二极管、氮化镓二极管等。按二极管的用途和功能分,二极管可分为整流二极管、检波二极管、稳压二极管、开关二极管、变容二极管、光电二极管、发光二极管等。

二极管的类型有很多,对于电子制作来说,常常用到以下的二极管:用于电源电路的整流二极管,用于检波的检波二极管,用于稳压的稳压二极管,用于数字电路的开关二极管,用于调谐的变容二极管,以及用于光电转换的光电二极管等,最常见的是发光二极管。以下分别作简要的介绍。图 3.38 是几种常见二极管的电路符号。

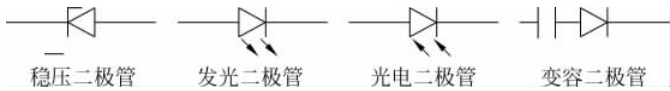


图 3.38 几种常见二极管电路符号

1. 整流二极管

整流二极管是利用 PN 结单向导电性,把交流电流转换成直流电流的一种二极管。整流二极管结构主要是平面接触型,其特点是允许通过的电流比较大,反向击穿电压比较高,但 PN 结电容比较大,一般广泛应用于频率不高的电路中。例如整流电路、钳位电路、保护电路等。整流二极管在使用中主要考虑的问题是最大整流电流、最高反向工作电压和最高工作频率。通常选择最大整流电流和最高反向电压要有实际工作值二倍的余量。最高工作频率是指整流二极管能正常工作的最高频率,使用时,必须使二极管的实际工作频率低于此值。表 3.14 是几种常用的 IN 系列整流二极管的主要参数。

表 3.14 几种常用整流二极管的主要参数

| 型 号    | 反向峰值电压 $V_R(\text{V})$ | 正向平均电流 $I_F(\text{A})$ | 反向饱和漏电流 $I_S(\mu\text{A})$ |
|--------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| 1N4001 | 50                     | 1                      | 3                          |
| 1N4002 | 100                    | 1                      | 3                          |
| 1N4003 | 200                    | 1                      | 3                          |
| 1N4004 | 400                    | 1                      | 3                          |
| 1N4005 | 600                    | 1                      | 5                          |
| 1N4006 | 800                    | 1                      | 3                          |

续表

| 型 号    | 反向峰值电压 $V_R(V)$ | 正向平均电流 $I_F(A)$ | 反向饱和漏电流 $I_S(\mu A)$ |
|--------|-----------------|-----------------|----------------------|
| 1N4007 | 1000            | 1               | 3                    |
| 1N5201 | 100             | 2               | 10                   |
| 1N5202 | 200             | 2               | 10                   |
| 1N5203 | 300             | 2               | 10                   |
| 1N5204 | 400             | 2               | 5                    |
| 1N5205 | 500             | 2               | 10                   |
| 1N5206 | 600             | 2               | 10                   |
| 1N5207 | 800             | 2               | 10                   |
| 1N5208 | 1000            | 2               | 10                   |

常用的整流电路有半波整流电路、全波整流电路和桥式整流电路。图 3.39 给出了二极管桥式全波整流电路图。

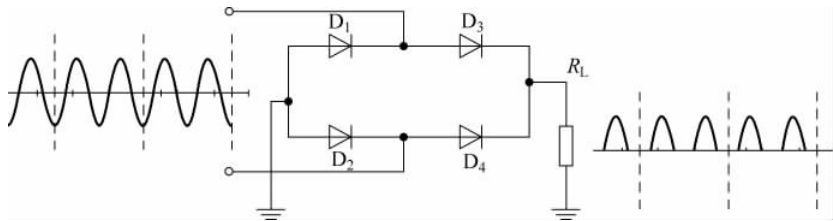


图 3.39 二极管桥式全波整流

2. 检波二极管

检波用二极管用锗材料制成的,结构采用点接触型二极管。检波二极管的特点是工作频率高,可达 400MHz,正向压降小、结电容小、检波效率高、频率特性好。常见的检波二极管为 2AP 系列。

3. 稳压二极管

稳压二极管是利用 PN 结反向击穿特性所表现出的稳压性能制成的器件。PN 结反向击穿时,二极管内阻很小,电流可以在很大范围内变化,而电压基本维持不变。在电路中反向应用,要加限流电阻如图 3.40 所示。多个稳压管不宜并联使用,串联使用时,稳压值是各支稳压二极管稳压值之和。

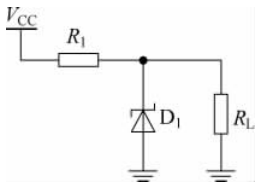


图 3.40 稳压二极管的应用

稳压管的最主要的用途是稳定电压。在要求精度不高、电流变化范围不大的情况下,可选与需要的稳压值最为接近的稳压管直接同负载并联。在稳压、稳流电源系统中一般作基准电源,在电视机里的作过压保护,也可在集成运放中作为直流电平平移。其缺点是噪声系数较高,稳定性较差。

稳压二极管的主要参数:最大工作电流、稳定电压、动态电阻。稳压二极管在起稳定作用的范围内,其两端的反向电压值称为稳定电压。不同型号的稳压二极管,稳定电压是不同

的。最大工作电流是指稳压管在长期工作时,允许通过的最大反向电流。在稳压范围内,稳压二极管两端电压的变化量与通过稳压二极管的电流变化量之比, $r = \frac{\Delta u}{\Delta i}$ 。动态电阻反映了稳压二极管的稳压特性,其值越小,稳压管性能越好。

#### 4. 开关二极管

开关二极管是利用 PN 结单向导电性,而完成电流开关功能的一种二极管。当二极管加上一个较大的正脉冲信号时,PN 结处于导通状态,正向压降和正向电阻(几十到几百欧)均很小,在回路中相当于一个闭合的开关;当二极管加上一个负脉冲信号时,PN 结处于截止状态,反向电阻很大(硅管在  $10\text{M}\Omega$  以上),反向漏电流很小,在回路中相当于一个断开的开关。利用开关二极管的这一特性,在电路中起到控制电流通过或关断的作用,成为一个理想的电子开关。

一个性能良好的半导体开关二极管,除满足开关速度和一般电参数(反向击穿电压、最高反向工作电压、正向电流)要求外,必须满足正向压降小、反向漏电流小及反向恢复时间短的条件。反向恢复时间是指导通至截止所用时间,反向恢复时间远大于开通时间(截止至导通所用时间)。反向恢复时间为开关二极管主要参数。一般硅开关二极管的反向恢复时间约为  $3\sim 10\text{ns}$ ; 锗开关二极管的反向恢复时间要长一些,约为几百纳秒。

小功率开关二极管主要用于电视机、收录机及其他电子设备的开关电路、检波电路、高频高速和脉冲整流电路等。主要型号有 2AK 系列(用于中速开关电路)、2CK 系列(硅平面开关,适用于高速开关电路)等。合资生产的小功率开关管有 1N4148、1N4152、1N4151 等型号。大功率开关二极管主要用于各类大功率电源作续流、高频整流、桥式整流及其他开关电路。

#### 5. 变容二极管

变容二极管是利用 PN 结空间对电荷具有存储性能而制成的特殊二极管。变容二极管为反偏二极管,其结电容就是耗尽层的电容,可以近似把耗尽层看作为平行板电容,且导电板之间有介质。一般的二极管多数情况下,其结电容很小,不能有效利用。变容二极管的结构特殊,它具有相当大的内部电容量,并可像电容器一样运用于电子电路中,通常可替代可变电容器。

主要参数有最高反向电压、反向击穿电压、结电容、结电容变化范围、品质因数。结电容指在一特定反向偏压下,变容二极管内部 PN 结的电容。结电容变化范围指反向电压从零伏变化到某一值时,结电容变化的范围。电容储存的能量与损耗的能量之比值为该电容器的品质因数  $Q$ ,它反映对回路能量的损耗。

#### 6. 光电二极管

光电二极管是将光信号变成电信号的半导体器件。它的核心部分也是一个 PN 结,和普通二极管相比,在结构上不同的是,为了便于实现光电转换,在光电二极管的外壳上有一个透明的窗口以接收光线照射,PN 结面积也尽量做得大一些,电极面积尽量小些,而且 PN 结的结深很浅,一般小于  $1\mu\text{m}$ 。

光电二极管是在反向电压作用之下工作的。没有光照时,反向电流很小(一般小于 $0.1\mu\text{A}$ ),称为暗电流。当有光照时,携带能量的光子进入 PN 结后,把能量传给共价键上的束缚电子,使部分电子挣脱共价键,从而产生电子-空穴对,称为光生载流子。它们在反向电压作用下参加漂移运动,使反向电流明显变大,光的强度越大,反向电流也越大。如果在外电路上接上负载,负载上就获得了电信号,而且这个电信号随着光的变化而相应变化。

光电二极管、光电三极管是电子电路中广泛采用的光敏器件。

## 7. 发光二极管(LED)

发光二极管的伏安特性与普通二极管类似,所不同的是当发光二极管正向偏置时,正向电流达到一定值时能发出某种颜色的光。根据在 PN 结中所掺加的材料不同,发光二极管可发出红、绿、黄等可见光及红外光。通常发光二极管用来作电路工作状态的指示,它比小灯泡的耗电低得多,而且寿命也长得多,还可以构成电子显示屏,在电子电路中广泛使用。

发光二极管主要参数有正向电压、反向电流、最大工作电流、发光强度、发光波长。最大工作电流是指发光二极管长期正常工作时,所允许通过的最大电流。发光强度为通过规定的电流时,在管心垂直方向上单位面积所通过的光通量,表示发光二极管亮度大小的参数。发光波长是指发光二极管在一定工作条件下,所发出光的峰值(为发光强度最大一点)对应的波长,也称峰值波长。

使用发光二极管时应注意两点:一是若用直流电源电压驱动发光二极管时,在电路中一定要串联限流电阻,以防止通过发光二极管的电流过大而烧坏管子,注意发光二极管的正向导通压降为 $1.2\sim 2\text{V}$ (可见光 LED 为 $1.2\sim 2\text{V}$ ,红外线 LED 为 $1.2\sim 1.6\text{V}$ )。二是发光二极管的反向击穿电压比较低,一般仅有几伏。因此当用交流电压驱动 LED 时,可在 LED 两端反极性并联整流二极管,使其反向偏压不超过 $0.7\text{V}$ ,以便保护发光二极管。

## 3.5 三极管

### 3.5.1 半导体三极管的基本知识

#### 1. 三极管的概念

半导体三极管也称为晶体三极管,它是电子电路中最重要器件之一。它最主要的功能是电流放大和开关作用。三极管顾名思义具有三个电极。二极管是由一个 PN 结构成的,而三极管由两个 PN 结构成,共用的一个电极称为基极(用字母 b 表示),其他的两个电极称为集电极(用字母 c 表示)和发射极(用字母 e 表示)。由于不同的组合方式,形成了一种是 NPN 型的三极管,另一种是 PNP 型的三极管。NPN 型和 PNP 型两种不同导电类型的三极管,电路符号如图 3.41 所示,有一个箭头的电极是发射极,箭头朝外的是 NPN 型三极管,而箭头朝内的是 PNP 型。实际上箭头所指的方向是电流的方向。

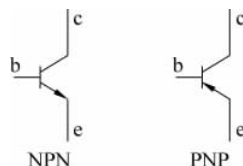


图 3.41 三极管的电路流符号

三极管的种类很多,并且不同型号各有不同的用途。三极管大都是塑料封装或金属封装,常见三极管的外观如图 3.42 所示。

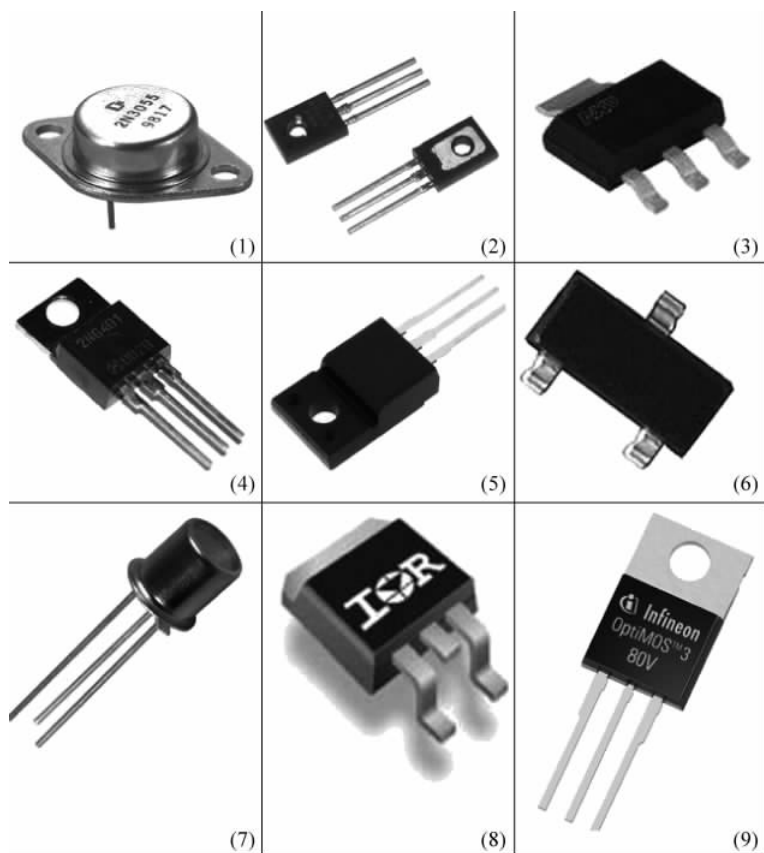


图 3.42 常见三极管的外形图

在电路中,给三极管的发射极 e,基极 b,集电极 c 设置不同的电位,可以使三极管处于饱和、截止、或小信号放大等不同的工作状态。合理地设置三极管发射极 e、基极 b、集电极 c

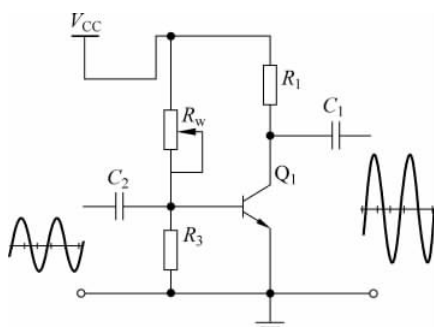


图 3.43 三极管的共射极放大电路

的电位,就可确定三极管的工作点。三极管有一个重要参数就是电流放大系数  $\beta$ 。当三极管的基极上加一个微小的电流时,在集电极上可以得到一个注入电流  $\beta$  倍的电流,即集电极电流。集电极电流随基极电流的变化而变化,并且基极电流很小的变化可以引起集电极电流很大的变化,这就是三极管的放大作用,图 3.43 是三极管的共射极放大电路。

电子制作中常用的三极管有 90 $\times$  $\times$  系列,包括低频小功率硅管 9013(NPN)、9012(PNP),低噪声管 9014(NPN),高频小功率管 9018(NPN)等。它们的型号一般都标在塑壳上,而样子都一样,都是 TO-92 标准封装。

## 2. 半导体三极管的检测及极性判断

用万用表(指针表) $R \times 100$  或  $R \times 1k$  挡测量 PNP 型半导体三极管的发射极和集电极的正向和反向电阻值,红表笔接基极,黑表笔接发射极,所测得阻值为发射极正向电阻值,若将黑表笔接集电极(红表笔不动),所测得阻值便是集电极的正向电阻值,一般在几千欧到几十千欧。正向电阻值愈小愈好。将黑表笔接基极,红表笔分别接发射极与集电极,所测得阻值分别为发射极和集电极的反向电阻,一般在  $100k\Omega$  以上。反向电阻愈大愈好。

测量 NPN 型半导体三极管的发射极和集电极的正向电阻值的方法和测量 PNP 型半导体三极管的方法相反。

可以用指针式万用表判断三极管的三个极和类别(NPN 型或 PNP 型),如图 3.44 所示。在使用半导体三极管之前,首先搞清楚三极管的管脚排列。一方面可以通过查手册获得,另一方面也可利用电子仪器进行测量,在此介绍如何利用指针式万用表判定三极管的管脚。测试三极管要使用万用电表的欧姆挡,并选择  $R \times 100$  或  $R \times 1k$  挡位。注意红表笔所连接的是表内电池的负极,黑表笔则连接着表内电池的正极。

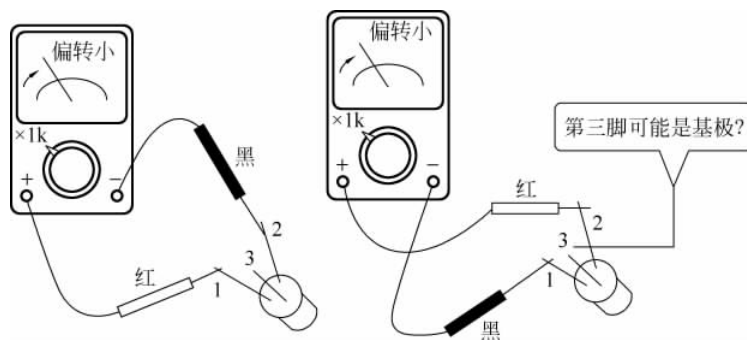


图 3.44 用万用表判断三极管的极性

### (1) 先判断三极管的基极 b

假定我们并不知道被测三极管是 NPN 型还是 PNP 型,也分不清各管脚是什么电极。测试的第一步是判断哪个管脚是基极。这时,任取两个电极(如这两个电极分别为 1、2),用万用电表两支表笔颠倒测量它的正、反向电阻,观察表针的偏转角度;接着,再取 1、3 两个电极和 2、3 两个电极,分别颠倒测量它们的正、反向电阻,观察表针的偏转角度。如果管子是好的,则必然有一次颠倒测量前后指针偏转角度都很小(正反电阻都大),那么这两个脚可能是集电极 c 和发射极 e,而另外那个脚就是要寻找的基极 b。

### (2) 判断是 NPN 还是 PNP

判断出基极后,如果用黑表笔接触基极,用红表笔分别接触其他两个极,若指针都偏转大,则该管为 NPN 管,如果用红表笔接触基极,用黑表笔分别接触其他两个极,若指针都偏转大,该管为 PNP 管。

### (3) 判断集电极 c 和发射极 e

用黑红两个表笔分别接两个还没判别出的引脚,用两表笔分别与两管脚相接触,如果是 NPN 管,用潮湿的指尖抵住基极 b,若指针偏转变大(不用指尖抵住基极 b 时偏转小),则黑笔接触的是集电极 c,而红笔接触的是发射极 e。

如果是 PNP 管,用潮湿的指尖抵住基极 b,若指针偏转变大(不用指尖抵住基极 b 时偏转小),则黑笔接触的是发射极 e,而红笔接触的是集电极 c。

### 3.5.2 半导体三极管的主要参数

#### 1. 共发射极电流放大系数 $\beta$

这个参数是指有交流信号输入时,在共发射极电路中,集电极电流的变化量与基极电流的变化量的比值。 $\beta$  值一般在  $20\sim 200$ ,它是表征三极管电流放大作用的最主要的参数。有

$$\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$$

#### 2. 穿透电流 $I_{ce0}$

指在三极管基极电流  $I_b=0$  时,集电极 c 和发射极 e 间的反向电流,又称为反向击穿电流。它表明基极对集电极电流失控的程度。小功率锗管的  $I_{ce0}$  较大,通常在  $0.5\text{mA}$  以下,硅管的  $I_{ce0}$  值较小,通常在  $1\mu\text{A}$  以下,大功率硅管的  $I_{ce0}$  约为  $\text{mA}$  数量级。

#### 3. 截止频率

三极管的频率参数描述三极管的电流放大系数对高频信号的适应能力。在中频时,一般认为三极管的放大倍数  $\beta$  基本上是一个常数。当频率升高时,由于存在极间电容,三极管的电流放大作用将被削弱。共射截止频率指  $\beta$  值下降到  $0.707\beta_0$  时的频率,用符号  $f_\beta$  表示。共射截止频率,并非说明此时三极管已经完全失去放大作用,而只是共射电流放大系数的幅频特性下降了  $3\text{dB}$ 。

#### 4. 特征频率 $f_T$

指三极管的  $\beta$  值下降到 1 时所对应的工作频率。有时称  $f_T$  为增益带宽乘积,由于  $f \cdot \beta$ 。例如在频率为  $10\text{MHz}$  时,测得三极管的  $\beta$  值为 5,则三极管的特征频率  $f_T$  为  $f_T = f \cdot \beta = 10 \times 5 = 50\text{MHz}$ 。

特征频率是三极管的一个重要参数,当  $f > f_T$  时,三极管已失去放大作用,所以,不允许三极管工作在如此高的频率范围。 $f_T$  的典型值约在  $100\sim 1000\text{MHz}$  之间。

#### 5. 极限参数

集电极—发射极反向击穿电压值  $U_{(BR)ce0}$ 。指三极管基极开路时,加在集电极 c 和发射极 e 两端电压的最大允许值,一般为几十伏,高压大功率管可达千伏以上。

最大集电极电流  $I_{cm}$ 。当三极管集电极电流  $I_c$  增大到一定程度时, $\beta$  值会明显下降,规定  $\beta$  值下降到额定值的  $2/3$  时的集电极电流为  $I_{cm}$ 。实际管子在工作时超过  $I_{cm}$  并不一定损坏,但管子的性能将变差。

集电极最大允许耗散功率  $P_{cm}$ 。集电极耗散功率指集电极电流  $I_c$  与电压  $U_{ce}$  的乘积。

在使用时,三极管实际功耗不允许超过  $P_{cm}$ ,应留有较大的余量。耗散功率会使三极管结温升高,如果集电结的耗散功率过大,可能烧坏管子。

### 3.5.3 三极管分类

- (1) 按极性分有 NPN 三极管与 PNP 三极管。
- (2) 按用途分有高频放大管、中频放大管、低频放大管、低噪声放大管、光电管、开关管、高反压管、达林顿管等。
- (3) 按功率分有小功率三极管、中功率三极管、大功率三极管。
- (4) 按工作频率分有低频三极管、高频三极管和超高频三极管。
- (5) 按制作工艺分有平面型三极管、合金型三极管、扩散型三极管。
- (6) 按外形封装的不同可分为金属封装三极管、玻璃封装三极管、陶瓷封装三极管、塑料封装三极管等。

以下对几种常用三极管作简要介绍:

(1) 低频小功率三极管一般指特征频率在 3MHz 以下、功率小于 1W 的三极管。一般作为小信号放大用。

(2) 高频小功率三极管一般指特征频率大于 3MHz、功率小于 1W 的三极管。主要用于高频振荡、放大电路中。

(3) 低频大功率三极管指特征频率小于 3MHz、功率大于 1W 的三极管。低频大功率三极管品种比较多,主要应用于电子音响设备的低频功率放大电路中;在各种大电流输出稳压电源中作为调整管。

(4) 高频大功率三极管指特征频率大于 3MHz、功率大于 1W 的三极管。主要用于通信等设备中作为功率驱动、放大。

(5) 开关三极管是利用控制饱和区和截止区相互转换而工作的。开关三极管的开关过程需要一定的响应时间。开关三极管要求有较快的开关速度,特征频率要高,反向电流要小,发射极-基极的饱和压降要低等。

(6) 差分对管是把两只性能一致的三极管封装在一起的半导体器件。它能以最简单的方式构成性能优良的差分放大器。

(7) 复合三极管是分别选用各种极性的三极管进行复合连接,在组成复合三极管时,不管选用什么样的三极管,这些三极管按照一定的方式连接后可以看成是一个高  $\beta$  的三极管。组合复合三极管时,应注意第一只管子的发射极电流方向必须与第二只管子的基极电流方向相同。复合三极管的极性取决于第一只管子。复合三极管的最大特点是电流放大倍数很高,所以多用于较大功率输出的电路中。一般应用于功率放大器、稳压电源电路中。

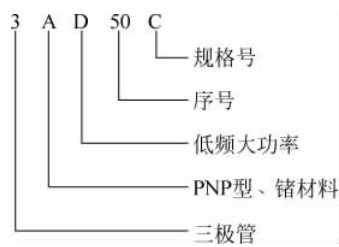
### 3.5.4 半导体器件的命名方法

根据我国国家标准,半导体器件型号由五部分组成,其每一部分的含义如表 3.15 所示。根据美国电子工业协会规定的半导体器件型号命名方法如表 3.16 所示。日本半导体器件型号共用五部分组成,其表示方法如表 3.17 所示。

表 3.15 国产半导体器件的型号命名方法

| 第一部分         |     | 第二部分              |          | 第三部分           |                                                   | 第四部分      | 第五部分         |
|--------------|-----|-------------------|----------|----------------|---------------------------------------------------|-----------|--------------|
| 用数字表示器件的电极数目 |     | 用汉语拼音字母表示器件的材料和极性 |          | 用汉语拼音字母表示器件的类别 |                                                   | 用数字表示器件序号 | 用汉语拼音字母表示规格号 |
| 符号           | 意义  | 符号                | 意义       | 符号             | 意义                                                |           |              |
| 2            | 二极管 | A                 | N 型锗材料   | P              | 普通管                                               |           |              |
|              |     |                   |          | V              | 微波管                                               |           |              |
|              |     | B                 | P 型锗材料   | W              | 稳压管                                               |           |              |
|              |     |                   |          | C              | 参量管                                               |           |              |
|              |     | C                 | N 型硅材料   | Z              | 整流管                                               |           |              |
|              |     |                   |          | L              | 整流堆                                               |           |              |
|              |     | D                 | P 型硅材料   | S              | 隧道管                                               |           |              |
|              |     |                   |          | N              | 阻尼管                                               |           |              |
| 3            | 三极管 |                   |          | U              | 光电器件                                              |           |              |
|              |     |                   |          | K              | 开关管                                               |           |              |
|              |     | A                 | PNP 型锗材料 | X              | 低频小功率管( $f_T>3\text{MHz}, P_C<1\text{W}$ )        |           |              |
|              |     | B                 | NPN 型锗材料 | G              | 高频小功率管( $f_T\geq 3\text{MHz}, P_C<1\text{W}$ )    |           |              |
|              |     | C                 | PNP 型硅材料 | D              | 低频大功率( $f_T\leq 3\text{MHz}, P_C\geq 1\text{W}$ ) |           |              |
|              |     | D                 | NPN 型硅材料 | A              | 高频大功率( $f_T\geq 3\text{MHz}, P_C\geq 1\text{W}$ ) |           |              |
|              |     | E                 | 化合物材料    | U              | 光电器件                                              |           |              |
|              |     |                   |          | K              | 开关管                                               |           |              |
|              |     |                   |          | I              | 可控整流器                                             |           |              |
|              |     |                   |          | Y              | 体效应器件                                             |           |              |
|              |     |                   |          | B              | 雪崩管                                               |           |              |
|              |     |                   |          | J              | 阶跃恢复管                                             |           |              |
|              |     |                   |          | CS             | 场效应器件                                             |           |              |
|              |     |                   |          | BT             | 半导体特殊器件                                           |           |              |
|              |     |                   |          | FH             | 复合管                                               |           |              |
|              |     |                   |          | PIN            | PIN 型管                                            |           |              |
|              |     |                   |          | JG             | 激光器件                                              |           |              |

例：(1) 锗材料 PNP 型低频大功率三极管



(2) 硅材料 NPN 型高频小功率三极管

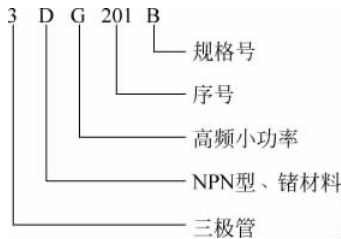


表 3.16 美国半导体器件命名法

| 第一部分       |     | 第二部分         |     | 第三部分    |             | 第四部分        |      | 第五部分           |         |
|------------|-----|--------------|-----|---------|-------------|-------------|------|----------------|---------|
| 用符号表示器件的等级 |     | 用数字表示 PN 结数目 |     | 用字母表示材料 |             | 用数字表示器件登记序号 |      | 用字母表示同一器件的不同档次 |         |
| 符号         | 意义  | 符号           | 意义  | 符号      | 意义          | 符号          | 意义   | 符号             | 意义      |
| J          | 军品  | 1            | 二极管 | N       | 表示不加热的半导体器件 | 2~4 位数字     | 登记序号 | A、B、C…         | 表示器件改进型 |
| 无          | 非军品 | 2            | 三极管 |         |             |             |      |                |         |
|            |     | 3            | 四极管 |         |             |             |      |                |         |

表 3.17 日本半导体器件命名法

| 第一部分         |             | 第二部分       |       | 第三部分          |                            | 第四部分                | 第五部分               |
|--------------|-------------|------------|-------|---------------|----------------------------|---------------------|--------------------|
| 用数字表示器件的电极数目 |             | 用字母表示半导体器件 |       | 用字母表示器件的结构和类型 |                            | 用 2 ~ 3 位数字表示器件登记序号 | 用拉丁字母表示同一种型号器件的改进型 |
| 符号           | 意义          | 符号         | 意义    | 符号            | 意义                         |                     |                    |
| 0            | 光电器件        | S          | 半导体器件 | A             | 高频 PNP 型<br>三极管<br>快速开关三极管 |                     |                    |
| 1            | 二极管         |            |       | B             | 低频大功率 PNP 管                |                     |                    |
| 2            | 三极管         |            |       | C             | 高频及快速开关 NPN 三极管            |                     |                    |
| 3            | 有三个 PN 结的器件 |            |       | D             | 低频大功率 NPN 管                |                     |                    |
|              |             |            |       | F             | P 控制极可控硅                   |                     |                    |
|              |             |            |       | G             | N 控制极可控硅                   |                     |                    |
|              |             |            |       | H             | N 基极单结管                    |                     |                    |
|              |             |            |       | J             | P 沟道场效应管                   |                     |                    |
|              |             |            |       | K             | N 沟道场效应管                   |                     |                    |
|              |             |            |       | M             | 双向可控硅                      |                     |                    |

### 3.5.5 三极管的选用

三极管的种类很多,应根据具体电路的要求来确定三极管的类型,然后根据三极管的主要参数进行选用。最后选用合适的外形尺寸和封装形式。

(1) 根据电路对三极管进行选用。高频电路选用高频管。 $f_T$ 一般应是工作频率的三倍,放大倍数应适中,不应过大,以防止产生自激。脉冲电路应选用开关三极管,直流放大电路应选用对管。要求三极管饱和压降、直流放大系数、反向截止电流等直流电参数基本一致。功率驱动电路应按电路功率、频率要求选用功率管。

(2) 在确定了三极管的类型后,再看三极管主要性能指标是否能满足需要。一只三极管一般有十多项参数,在一般工业和民用产品中,主要指标满足要求即可。主要指标包括集电极与发射极最大反向耐压,集电极最大允许电流,三极管最大允许耗散功率,三极管最大工作频率,根据优势进行选用。

(3) 晶体三极管的外形和封装形式有多种。从封装形式看,主要有金属封装型、塑料封装型、陶瓷封装型,一般大功率塑封管都带有散热片;从外形上看,有方形的、圆形的、芝麻形的、微型的和片状三极管等。在选用晶体管时,要根据整机的尺寸和性能,合理地选用三极管的尺寸和封装形式。

使用半导体三极管应注意以下事项:

(1) 使用三极管时,不得有两项以上的参数同时达到极限值。

(2) 焊接时,应使用低熔点焊锡。管脚引线不应短于 10mm,焊接动作要快,每根引脚焊接时间不应超过两秒。

(3) 三极管在焊入电路时,应先接通基极,再接入发射极,最后接入集电极。拆下时,应按相反次序,以免烧坏管子。在电路通电的情况下,不得断开基极引线,以免损坏管子。

(4) 使用三极管时,要固定好,以免因振动而发生短路或接触不良,并且不应靠近发热元件。

(5) 功率三极管应加装足够大的散热器。

## 3.6 显示器件

数码显示器是数码显示电路的末级电路,它用来将输入的数码还原成数字。数码显示器有许多类型,适用的场所也不同。在数字电路中使用较多的是液晶显示器(LCD)和发光二极管显示器(LED)。

### 3.6.1 液晶显示器

液晶显示器又叫 LCD 数码显示器,液晶显示器的主要材料是液态晶体(简称液晶),它是一种有机材料,在特定的温度范围内,既具有液体的流动性,又具有某些光学特性,其透明度和颜色随电场、磁场、光和温度等外界条件的变化而变化。因此,在逻辑电路的输出信号作用下,可显示出某一确定的数字。

液晶显示器是一种被动式显示器件,液晶本身不会发光,而是借助自然光和外来光显示数字。外部光线愈强,它的显示效果愈好。而且不会像 LED 数码显示器那样被强光所淹没。由于液晶显示器所需功耗小,因此它可由集成电路译码器直接驱动。图 3.45 为液晶显示器的实物图。

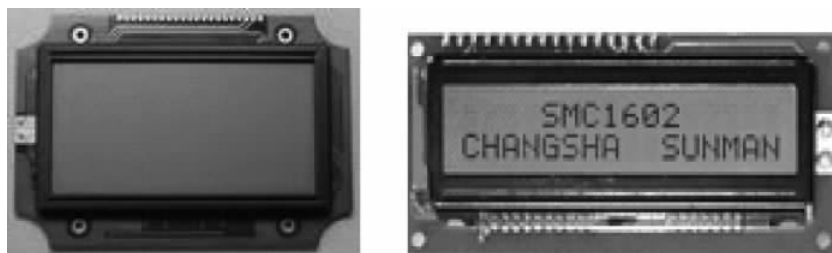


图 3.45 液晶显示器实物图

### 1. 液晶显示器的结构

液晶显示器是由译码驱动电路和液晶显示屏两部分组成。译码驱动电路接收 CPU 发送来的显示指令和数据,经处理后按照一定的速度将显示的点阵信息输出到行和列驱动器进行扫描,液晶显示屏是在上下玻璃电极之间封入向列型液晶材料,其透明度和颜色随着驱动器扫描电场的变化而变化,显示出相应的数字、文字和图形。

### 2. 液晶显示器的工作原理

液晶显示器上的像素(发光的小点),哪一点需要发黑,哪一点不需要发黑,需要形成什么样的文字、图像,均需要 CPU 输出的数据控制。CPU 输出的数据按传输方式有串行和并行两种。

并行方式: CPU 输出的是 8 位并行数据(D0~D7)、显示使能(DP-EN)、读写(R/W)和地址线传送到译码驱动电路,按照一定的速度将显示的点阵信息输出到行和列驱动器进行扫描,通过相应的电极控制液晶显示屏上相应的像素,以大于 75Hz 每帧的速率更新一次屏幕,人眼在光线反射的作用下,可以看到液晶屏上显示的内容。

串行方式: CPU 通过串行方式将串行数据(一条数据线)和串行时钟传送给液晶显示屏,控制屏的开关和显示。

并行数据传输通常采用 8 条或 16 条数据线同时传送;串行数据传输通常使用一条数据线传送,并行接口的传输速率远远大于串行接口。

### 3. 液晶显示屏工作条件

- (1) 供电(VCC): 供电除正极外,还有一个接地端,通常用  $V_{ss}$  表示。
- (2) 数据(DAT、I/O): 有两种连接方式。采用并行接口的显示电路,有 8 位数据线(D0~D7);采用串行接口的显示电路只有一条数据线。
- (3) 时钟(CLK): 多由 CPU 提供串行时钟。
- (4) 复位(RST): 与逻辑电路共用。
- (5) 对比度(VLCD): 调整对比度电压可改变屏显示黑、白深浅的不同程度。

除了上述几个显示条件外,在采用串行数据接口的电路中,还有显示片选(或使能,用XCS、SCE、LCD-EN、DP-EN 等表示)控制信号;在并行数据接口的电路中,还有地址线和读写等控制信号。串行数据接口中的片选和并行数据接口中的地址线作用相同,主要是选择数据的传输或发送指令。

### 3.6.2 LED 数码显示器

LED 数码显示器又称为发光二极管显示器,它是利用发光二极管在正向电压作用下,通过一定的电流就会发光的特点,把 7 个发光二极管分段分装,就成了 LED 数码显示器。用于数码显示的发光二极管多为红色,它们分单位的和多位的两种。LED 数码显示器分为共阳极连接方式和共阴极连接方式两种,代表各笔画的 a—g 发光二极管的正极或负极均由引脚引出,其中 DP 引脚代表小数点,图 3.46 为其内部电路连接图。

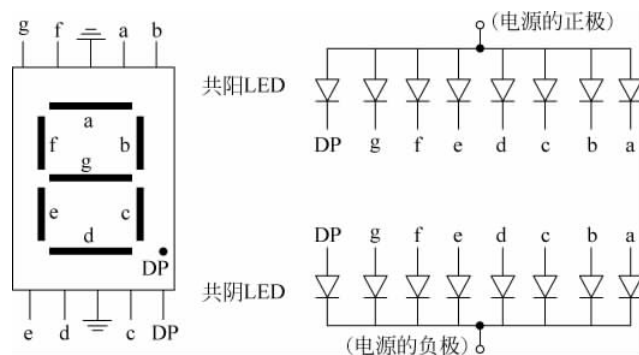


图 3.46 数码显示器内部电路图

LED 数码显示器的数字显示方式如图 3.47 所示。其中 7 个发光二极管制成条形,分别用 a、b、c、d、e、f、g 表示,代表数码的笔画,有选择地使其中若干笔画发光,这样就可以组成 0~9 十个数码。另一个发光二极管是小数点 DP。

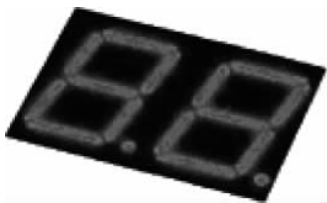


图 3.47 数码显示器显示图

通常二进制或十进制 BCD 码是不能直接驱动 LED 显示器的,它必须经 BCD-7 段译码器译成笔画码,才能使显示器显示相关信息。LED 数码显示器与配套的译码电路和驱动电路一起工作,组成数码显示电路。在数字集成电路里,常把译码电路和驱动电路集成在一起,称为 BCD-7 段译码器。不同的数码显示器应配用相应的译码驱动器,表 3.18 中给出了一些常用的数码译码器。

表 3.18 常用数码译码器

| 型 号    | 名 称              | 驱动显示器         |
|--------|------------------|---------------|
| CD4543 | BCD-7 段锁存/译码/驱动器 | LCD、LED 数码显示器 |
| CD4511 | BCD-7 段锁存/译码/驱动器 | LED 数码显示器     |
| CD4513 | BCD-7 段锁存/译码/驱动器 | LED 数码显示器     |
| CD4055 | BCD-7 段译/驱动器     | LCD 数码显示器     |

## 思考与练习

1. 电阻在电路中的主要作用是什么？在高频电路中应选哪种电阻？
2. 标志电阻的方法都有哪些？在色环法中，已知电阻的四色环 A、B、C、D 分别是黄、紫、橙、金，则该电阻的阻值应该是多少？
3. 三端电位器的工作原理是什么？在电路中如何使用？
4. 电容在电路中的主要作用是什么？电容器的主要技术参数都有哪些？
5. 电解电容的特点是什么？使用时应注意哪些事项？
6. 电容器的种类有哪些？在高频电路中应选哪种材料的电容？
7. 电感器在电路中的作用是什么？主要技术参数有哪些？
8. 变压器在电路中的作用是什么？
9. 在电路中为何要进行阻抗匹配？用变压器是如何实现阻抗变换的？
10. 常用二极管的种类有哪些？各自的特点是什么？
11. 稳压二极管在电路中怎样使用？与所需稳压器件如何连接？
12. 三极管在电路中的作用是什么？主要参数有哪些？
13. 用指针式万用表如何判断三极管的极性？如何判断三极管是 NPN 型还是 PNP 型？
14. 液晶显示器是如何进行文字或图像显示的？
15. LED 数码显示器能否由十进制 BCD 码驱动？