

## 电子元器件

随着电子技术及其应用领域的迅速发展，所用的元器件种类日益增多，学习和掌握常用元器件的性能、用途、质量判别方法，对提高电气设备的装配质量及可靠性将起重要的保证作用。**电阻器、电容器、电感器、二极管、三极管、集成电路**等都是电子电路常用的器件。

### 第一节 电阻器

电阻器是用电阻率较大的材料(碳或镍铬合金等)制成。它在电路中起着**限流、分压**的作用。

#### 一、电阻器的分类

电阻器在电子产品中是必不可少、使用最多的元器件。它的种类很多，常见的有下列几种分类。

##### 1、按阻值可否调节分：

有固定电阻器、可变电阻器两大类。

固定电阻器是指阻值不能调节的电阻器；可变电阻器是指阻值在某个范围内可调节的电阻器，如电位器。

##### 2、按制造材料分

有线绕电阻、非线性绕电阻。

##### 3、按用途分

有通用型、高阻型、高压型、高频无感型。

除以上三种分类方法以外，还有按结构形状及引出线进行分类。

#### 二、部分电阻器外形及图形符号

##### 1、电阻器外形：

##### 2、图形符号：

##### 三、电阻器的主要技术参数

**标称阻值、允许误差**和**额定功率**是固定电阻器的主要参数。电阻器标有的电阻数值，这就是电阻器的阻值标称值。电阻标称值往往和它的实际值不完全相符，实际值和标称值的差值除以标称值所得的百分数，就是电阻的误差，它反映了电阻器的精密程度。下表为常用电阻器的误差等级。

| 允许误差 | ±0.5% | ±1% | ±2% | ±5% | ±10% | ±20% |
|------|-------|-----|-----|-----|------|------|
| 级 别  | 005   | 01  | 02  |     |      |      |
| 类 型  | 精密型   |     |     | 普通型 |      |      |

**额定功率**是指电阻器长时间正常工作下能承受最大功率。额定功率较大的电阻器，一般都将额定功率直接印在电阻器上。额定功率较小的电阻器，可以从它的几何尺寸和表面面积上看出，如下表：

| 外 形 尺 寸 | 额定功率   | 碳膜电阻 |     | 金属膜电阻 |     |
|---------|--------|------|-----|-------|-----|
|         |        | L    | D   | L     | D   |
|         | 0.06W  | 8    | 2.5 |       |     |
|         | 0.125W | 12   | 2.5 | 7     | 2.2 |
|         | 0.25W  | 15   | 4.5 | 8     | 2.6 |
|         | 0.5W   | 25   | 4.5 | 10.8  | 4.2 |
|         | 1W     | 28   | 6   | 13    | 6.6 |

|  |    |    |   |      |     |
|--|----|----|---|------|-----|
|  | 2W | 46 | 8 | 18.5 | 8.6 |
|--|----|----|---|------|-----|

#### 四、电阻器主要技术参数的标志方法

电阻器的标称阻值和误差通常都标在电阻器上，标志方法有以下几种。

##### 1、直标法

直标法是用数字和文字符号在电阻器上直接标出主要参数的标志方法，如图 1-1 所示，电阻值为  $5.1K\Omega$ ，误差为  $\pm 5\%$ 。若电阻器上未标注误差，则均为  $\pm 20\%$ 。

##### 2、文字符号法

文字符号法是用数字和文字符号或两者有规律的组合，在电阻器上标志出主要参数的标志方法。具体方法为：阻值的整数部分写在阻值单位标志符号的前面，阻值的小数部分写在阻值单位标志符号的后面，如图 1-2 所示，阻值为  $4.7K\Omega$ 。

$5.1K\Omega \pm 5\%$

4K7

图 1-1

图 1-2

标志符号规定如下：

欧姆(1 欧姆),用  $\Omega$  表示，例： $0.1\Omega$  标志为  $\Omega 1$

千欧( $10^3$  欧姆),用 K 表示，例： $1K\Omega$  标志为 1K

兆欧( $10^6$  欧姆),用 M 表示，例： $2.2M$  标志为 2M2

千兆欧( $10^9$  欧姆),用 G 表示，例： $5.6 \times 10^9$  标志为 5G6

兆兆欧( $10^{12}$  欧姆),用 T 表示，例： $4.7 \times 10^{12}$  标志为 4T7

##### 3、色标法

色标法是按规定的颜色在电阻器上标志主要参数的标志方法。具体规定参见下表：

| 颜色 | 有效数字 | 乘数        | 允许误差%      |
|----|------|-----------|------------|
| 棕色 | 1    | $10^1$    | $\pm 1$    |
| 红色 | 2    | $10^2$    | $\pm 2$    |
| 橙色 | 3    | $10^3$    |            |
| 黄色 | 4    | $10^4$    |            |
| 绿色 | 5    | $10^5$    | $\pm 0.5$  |
| 蓝色 | 6    | $10^6$    | $\pm 0.25$ |
| 紫色 | 7    | $10^7$    | $\pm 0.1$  |
| 灰色 | 8    | $10^8$    |            |
| 白色 | 9    | $10^9$    |            |
| 黑色 | 0    | $10^0$    |            |
| 银色 |      | $10^{-2}$ | $\pm 10$   |
| 金色 |      | $10^{-1}$ | $\pm 5$    |

例：四环电阻，见图 1-3，该电阻的标称阻值为 2K，允许误差为  $\pm 5\%$ 。

五环电阻，见图 1-4，该电阻的标称阻值为 2.4K，允许误差为  $\pm 1\%$ 。

##### 4、数码表示法

数码表示法是在电阻器上用三位数码表示标称值的标志方法。数码从左至右，第一、二位为有效值，第三位为乘数，即零的个数，单位为  $\Omega$ 。误差通常采用文字符号 J( $\pm 5\%$ )、K( $\pm 10\%$ ) 表示。

图 1-5

图 1-6

例：图 1-5，该电阻的标称阻值为 2.2K，允许误差为  $\pm 5\%$ 。

图 1-6，该电阻的标称阻值为 10K，允许误差为  $\pm 10\%$ 。

#### 五、电阻器的好坏判别

目测可以看出引线折断或电阻体烧坏等外表故障 ;用万用表欧姆档或其他专用测试仪器可测试电阻器内部是否良好及阻值是否正常。

## 第二节 电容器

### 一、电容器的分类

#### 1、按电容量可否变化分

固定式及可变式两大类

#### 2、按介质分

有空气介质电容器、油浸电容器及固体介质（云母、纸介、陶瓷、薄膜等）电容器。

#### 3、按极性分

有极性电容器和无极性电容器

### 二、部分电容器外形及图形符号

#### 1、电容器外形

#### 2、图形符号：

### 三、电容器的主要技术参数

标称容量、允许误差、额定电压、绝缘电阻、漏电流、损耗因数及时间常数均为电容器的主要技术参数。

1、电容器的标称容量及允许误差的基本含义与电阻器一样。电容的基本单位为 F（法拉），即在 1V 电压下电容器所能储存的电量为 1 库伦，其容量即为 1F。用 F 作单位在应用中往往太大，所以常用毫法(mF)、微法( $\mu$ F)、纳法(nF)和皮法(pF)。其关系如下：

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

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

$$1\mu\text{F}=10^3\text{nF}$$

$$1\text{nF}=10^3\text{pF}$$

#### 2、额定电压

额定电压通常也称作耐压，是指在允许的环境温度范围内，电容长时间正常工作施加的最大电压有效值。电容的额定电压通常是指直流工作电压。

#### 3、绝缘电阻及漏电流

电容介质不可能绝对不导电，当电容加上直流电压时，电容器会有漏电流产生。若漏电流太大，电容器就会发热损坏。除电解电容外，其他电容器的漏电流是极小的，故用绝缘电阻参数来表示其绝缘性能；而电解电容因漏电较大，故用漏电流表示其绝缘性能（与容量成正比）。

#### 4、损耗因数

电容的损耗因数指有功损耗与无功损耗功率之比。通常电容在电场作用下，其储存或传递的一部份电能会因介质漏电及极化作用而变为有害的热能，这部分发热消耗的能量就是电容的损耗，显然损耗越大，发热也越严重。

### 四、电容器参数的标志方法

电容器的标称容量及允许误差一般标在电容器上，其方法可分为以下几种。

#### 1、直标法

直标法是将电容器的标称容量及允许误差直接标在电容器上的标志方法。如图 2-1，CXJD 为型号，2200 $\mu$ F 为标称容量， $\pm 10\%$ 为允许误差，02.5 为生产时间。

#### 2、文字符号法

标称容量的整数部分通常写在容量单位标志符号的前面，小数部分写在容量单位标志符号的后面。如 3.3 $\mu$ F 标为 3 $\mu$ 3，2.2pF 标为 2p2。

### 3、数码表示法

电容器的数码表示法与电阻器的相同。但电容器数码表示法中，其单位为 pF。如  $0.1\mu\text{F}$  标为 104。

### 四、电容器的用途

电容器的基本功能是储存电荷，它在电子电气电路中使用十分广泛，**主要用交流耦合、隔离直流、滤波、交流或脉冲旁路及选频等**。图 6-3 所接电容 C 是常见的滤波电容，下面以图 6-2(b)的波形图来说明电容滤波的工作过程。当  $u$  在第一个半周的上升时，电容 C 开始充电；而  $u$  在第一个半周的下降时，电容 C 经负载  $R_L$  放电；在第二个半周时，电容也是经过充电—放电过程，如此电容循环重复进行。其放电曲线如图 6-2(b)虚线所示。

从图 6-2(b)可以看出，经电容滤波后的输出曲线平滑了许多，在一定负载时，电容量越大时，输出曲线越平滑。

## 第三节 电感器

电感器也叫电感线圈，是利用电磁感应原理制成的，电感器在电路中起着**阻流、变压、传送信号**等作用。

### 一、电感器的分类

电感器的种类很多，而且分类标准也不一样，通常按电感量变化情况分为固定电感器、可变电感器、微调电感器等；按电感器线圈芯性质又可分为空芯电感器、磁芯电感器、铜芯电感器等；按绕制特点可分为单层电感器、多层电感器、蜂房电感器等。

### 二、部分电感器外形及图形符号

#### 1、电感器外形

#### 2、电感器图形符号

### 三、电感器的主要技术参数

#### 1、电感量 L

电感量 L 也称为自感系数，是表示电感元件自感应能力的一种物理量。当通过一个线圈的磁通发生变化时，线圈中便会产生电势，这是电磁感应现象。所产生的电势称感应电势，电势大小正比于磁通变化的速度和线圈匝数。电感量的基本单位为 H (亨)，实际应有中还有毫亨 (mH)，微亨 ( $\mu\text{H}$ )，其换算关系如下： $1\text{H}=10^3\text{mh}=10^6\mu\text{H}$ 。

#### 2、感抗 $X_L$

感抗在电感元件参数表上一般查不到，但它与电感量、品质因数 Q 等参数密切相关，由于电感线圈的自感电势总是阻止线圈中电流变化，故线圈对交流电有阻力作用，阻力大小就用感抗  $X_L$  表示。 $X_L$  与线圈电感量 L 和交流电频率  $f$  成正比，计算公式为： $X_L=2\pi fL$ 。(式中  $X_L$  单位为  $\Omega$ ， $f$  单位为 Hz，L 单位为 H) 不难看出，线圈通过低频电流时  $X_L$  小，通过直流电时  $X_L$  为零，此时仅线圈的直流电阻起阻力作用(电感线圈的直流电阻很小，可近似短路)。通过高频电流时  $X_L$  很大，若 L 也大，则可看作开路。

#### 3、品质因素

品质因素也称作 Q 值或优值，即线圈在一定频率的交流电压下工作时感抗和等效损耗电阻之比。

#### 4、直流电阻

即电感受线圈自身的直流电阻，可用万用表直接测得。

#### 5、额定电流

指电感器长时间正常工作允许通过电感元件的最大直流电流值。

### 四、电感器的标志方法

电感器的标志方法与电阻器、电容器的标志方法相同，有直标法、文字符号法和色标法。

常用的固定电感器过去多彩色码标志法，统称为色码电感器。目前我国生产的固定电感器有的采用色码标志法，有的在电感器上直接标出数值，即直标法。在一些电子机器中，如电视机，广泛使用的是固定电感器。它是将铜线绕在磁芯上。然后再用环氧树脂或塑料封装起来，这种电感器的特点是体积小，重量轻、结构牢固、使用方便。

#### 第四节 变压器

将两个线圈靠近放在一起，当一个线圈中的电流变化时，穿过另一线圈的磁通会发生相应的变化，从而使该线圈中出现感应电势，这就是互感现象。变压器就是根据互感原理制成的。

##### 一、变压器的分类

变压器按线圈之间耦合材料分，有空芯变压器、磁芯变压器、铁芯变压器。

按工作频率分，有高频变压器、中频变压器、低频变压器、脉冲变压器。如收音机的磁性天线，它是高频变压器；在收音机的中频放大级，用的是中频变压器，俗称“中周”；低频变压器种类较多，有电源变压器、输入变压器等；电视机的行输出变压器，也称“高压包”，它是一种脉冲变压器。

##### 二、变压器图形符号

##### 三、变压器主要技术参数

变压比、额定功率、温升、效率、空载电流、绝缘电阻均为变压器的主要技术参数。

##### 1、变压比 $n$

变压比  $n$  是指变压器初级电压  $U_1$  与次级电压  $U_2$  的比值，或初级线圈匝数  $N_1$  与次级线圈匝数  $N_2$  的比值。初、次级线圈匝数和电压有以下关系：

变压器的电压与电流有以下关系：

式中  $I_1$  为初级绕组电流； $I_2$  为次级绕组电流

变压器的匝数与电流有以下关系：

上三式中当  $n > 1$  时，则为降压变压器，反之则为升压变压器。 $n=1$  时通常用为隔离变压器。

##### 2、额定功率 $P$

指在规定的频率和电压中变压器能长时间工作而不超过规定温升的输出功率。额定功率的容量单位用 VA（伏安）表示。

##### 3、温升

指变压器在满负荷工作时线圈温度上升后的稳定值与工作环境温度的差值，温升是影响变压器绝缘性能的原因之一。

##### 4、效率 $\eta$

指变压器输出功率与输入功率的比值。即 式中  $P_0$  为变压器的输出功率， $P_1$  为变压器的输入功率。因为在电路中存在损耗的缘故，变压器的效率总是小于 100%。

##### 5、空载电流

次级负载为零（开路）时，初级中仍有一定的电流，这部分电流叫空载电流。

##### 6、绝缘电阻

变压器各绕组间，绕组与铁心之间并不是理想的绝缘。当外加电压时，会有漏电流存在，这是由于变压器存在绝缘电阻所致。绝缘电阻越大漏电流越小；变压器的绝缘电阻过低，可能会使仪器和设备机壳带电，造成对仪器、设备或人身危害。

#### 四、变压器的用途

变压器在电路中电压变换、电流变换、传递功率、阻抗匹配、或阻抗变换等用途，下面只简单介绍电压变换及阻抗匹配。

##### 1、电压变换

通常我们把接电源的线圈称作初级线圈或原边线圈，把在互感作用下产生感应电势的线圈称作次级线圈或副边线圈，一个变压器一般只有一个初级线圈，但次级线圈可有一个或多个。左图初、次级线圈均为一个， $N_1$ 为初级线圈匝数， $N_2$ 为次级线圈匝数， $R_L$ 为负载； $U_1$ 为初级线圈交流电压， $U_2$ 为次级线圈产生的感应电压，那么，由此可见，次级电压与初级线圈匝数成反比关系。即  $N_1 > N_2$  时， $U_2 < U_1$ ，这是一个降压变压器；当  $N_1 < N_2$  时， $U_2 > U_1$ ，这是一个升压变压器。若变压器有多个次级线圈，则每个次级线圈与初级线圈的匝数比均可能不同，所以一个变压器可以同时存在升压和降压的可能。

## 2、阻抗匹配

在电子线路的信号源和负载阻抗不匹配时，需用匹配元件或电路插在两者之间以实现阻抗匹配，变压器的阻抗变换功能便在此发挥作用。如左图所示，变压器的次级线圈负载为  $R_L$ ，次级线圈的等效负载阻抗即从变压器 A、B 端看进去的等效阻抗为  $R_L'$ ，等效阻抗  $R_L'$  与变压比、负载的关系为： $R_L' = n^2 \times R_L$ 。

## 第五节 继电器

继电器是自动控制电路中常用的电子元件，它是用较小的电流来控制较大电流的自动开关，在电路中起着自动操作、自动调节、安全保护等作用。

### 一、继电器的分类

继电器的种类很多，常用的有电磁式和干簧式，通常将继电器分为直流、交流、舌簧及时间继电器四种。

### 二、主要技术参数

#### 1、额定工作电压或额定工作电流

这是指继电器正常工作时线圈需要的电压或电流值。

#### 2、吸合电压或电流

指继电器能够产生吸合动作的最小电压或电流。在一般情况下吸合电压为额定工作电压的 75% 左右。

#### 3、释放电压或电流

继电器线圈两端的电压减小到一定数值时，继电器就从吸合状态转换到释放状态。

#### 4、接点负荷

指接点的负载能力。如继电器接点负载是 DC28V/10A 或 AC220V/5A，它表示这种继电器的接点在工作时的电压和电流值不应超过该值，否则会使接点损坏。

### 三、干簧管继电器

干簧管全称“干式舌簧开关管”，是由两片导磁又导电的材料做成的簧片平行地封入充有惰性气体（如氮气、氩气等）的玻璃管中组成开关元件，重叠并留有一定间隙以构成接点，左图为干簧管的外形示意图。

干簧管的工作原理为：当永久磁铁靠近干簧管或者由绕在干簧管上的线圈通电后形成磁场使簧片磁化时，簧片的接点部分就被磁化感应出极性相反的磁极，如下图所示，异名的磁极相互吸引，当吸引的磁力超过簧片的弹力时，接点就会吸合；当磁力减小到一定值时，接点又会被簧片的弹力弹开。

干簧管有以下几个优缺点：

接点与大气隔绝，管内又充有惰性气体，这样就大大减少了接点在开、闭过程中由于接点火花而引起的接点氧化和碳化。并防止外界有机蒸气和灰尘等杂质对接点的侵蚀。

簧片细而短，有较高的固有频率，提高了接点的通断速度，其开关速度要比一般的电磁继电器快 5~10 倍

体积小，重量轻。

其缺点是开关容量小，接点易产生抖动以及接点接触电阻大。

## 第六节 二极管

要真正认识二极管，必须先了解什么是半导体。导电能力介于导体和绝缘体之间的物质，称为半导体。例如，锗(Ge-32)、硅(Si-14)、硒(Se-34)及金属的氧化物。硅或锗等半导体材料被制成单晶时，其原子排列就变成非常整齐的晶体结构，这种纯单晶半导体称为本征半导体。本征半导体虽然有自由电子和空穴两种载流子，但由于数量极少，导电能力仍然很低。如果在本征半导体中掺入微量的杂质，其导电能力将大大地提高。由于掺入的杂质不同，这种掺杂半导体可分为 N 型和 P 型半导体两大类：一类是在硅或锗的晶体中掺入少量五价元素，如磷(P-15)，半导体中自由电子数远大于空穴数，即自由电子成为“多数载流子”。而空穴成为“少数载流子”。也就是说这种杂质半导体以自由电子导电为主，所以称为 N 型（电子型）半导体。另一类是在硅或锗的晶体中掺入少量的三价元素，如硼(B-5)，半导体中空穴数远大于电子数，即空穴成为“多数载流子”。而电子成为“少数载流子”。也就是说这种杂质半导体以空穴导电为主，所以称为 P 型（空穴型）半导体。

在一块完整的晶片上，用不同的掺杂工艺使晶体的一边形成 P 型半导体，另一边形成 N 型半导体，那么在两者的交界处就会形成 PN 结。[PN 结是构成二极管、三极管、场效应管等半导体器件的基础](#)。当 PN 结两端加正向电压（即 P 侧接电源的正极，N 侧接电源的负极），此时 PN 结呈现的电阻很低，正向电流大（PN 结处于导通状态）；当 PN 结两端加反向电压（即 P 侧接电源的负极，N 侧接电源的正极），此时 PN 结呈现很高的电阻，反向电流微弱（PN 结处于截止状态），这就是 PN 结的单向导电性。

二极管是由一个 PN 结，加上引线、接触电极和管壳而构成。下面我们就各种二极管进行简单的介绍。

### 一、二极管的分类

#### 1、按用途分

有整流二极管、稳压二极管、检波二极管、发光二极管、开关二极管、光电二极管等。

#### 2、按制造材料分

有锗二极管、硅二极管、砷化镓二极管等。

#### 3、按制造工艺分

有点接触二极管和面接触二极管两种。

#### 4、按工作原理分

有变容二极管、雪崩二极管、齐纳二极管等。

### 二、部分二极管外形及图形符号

#### 1、二极管外形

##### 2、二极管图形符号

### 三、整流二极管

1、伏安特性：指加在二极管两端的电压与流过二极管的电流关系曲线，这个曲线可分为正向特性和反向特性两个部分。如图 6-1 所示

图 6-1

图 6-2

#### 正向特性

当二极管加上正向电压时，便有正向电流通过。但正向电压很低时，外电场还不能克服 PN 结内电场对多数载流子扩散运动所形成的阻力，此时正向电流很小，二极管呈现很大的电阻。当正向电压超过一定数值（硅管约 0.5V，锗管约 0.3）后，二极管电阻变得很小，电流增长很快。这个电压往往称死区电压或阀门电压。

#### 反向特性

二极管加上反向电压时，由于少数载流子的漂移运动，形成很小的反向电流，反向电流有

两个特性：一是随温度的增加而增长很快；二是在反向电压不超过一定范围时，反向电流不随反向电压改变而达到饱和，故这个电流  $I_{BO}$  称为反向饱和电流。当加在二极管两端电压到达一定值时，反向电流急剧增大，二极管失去单向导电性，这种现象称为电击穿，这个电压称为反向击穿电压。二极管因电击穿而造成管子损坏是永久性的。

## 2、主要参数

### 最大整流电流 $I_{OM}$

最大整流电流是指二极管能够允许通过的最大正向平均电流值。当电流超过这个允许值时，二极管会因过热而烧坏。

### 反向击穿电压 $U_{RB}$ 与最高反向工作电压 $U_{RM}$

$U_{RB}$  是指二极管反向击穿时的电压值，击穿后其反向电流剧增，二极管的单向导电性被破坏。通常手册上给出的最高反向工作  $U_{RM}$  电压约为反向击穿电压的一半或三分之二，以确保二极管安全运行。

### 最大反向电流 $I_{RM}$

$I_{RM}$  指在二极管上加最高反向工作电压时的反向电流值。 $I_{RM}$  愈小，则管子的单向导电性能愈好。

## 3、整流二极管的应用

利用二极管的单向导电性将交流电转换为单向脉动直流电的电路，称为整流电路，图 6-3 所示。此时的二极管可看成开关元件，即所谓理想二极管。

图 6-3

设变压器副边交流电压为： $u(t) = U \sin \omega t$  式中  $U$  为变压器副边电压的有效值，波形如图 6-2 (a) 所示，在  $\omega t = 0 \sim \pi$  期间， $u$  处于正半周，变压器副边的极性为上正下负，即 a 点的电位高于 b 点，因此，二极管  $D_1$  和  $D_3$  导通， $D_2$  和  $D_4$  截止，这时负载电阻  $R_L$  上得到一个半波电压；在  $\omega t = \pi \sim 2\pi$  期间， $u$  处于负半周，变压器副边的极性为下正上负，即 b 点的电位高于 a 点，二极管  $D_2$  和  $D_4$  导通， $D_1$  和  $D_3$  截止，在  $R_L$  上得到另一个半波电压，并且在两个半周内流经  $R$  的电流方向是一致的。由此可见，当电源电压交变一周时，在  $R_L$  上得到的脉动电压大小为： $U_0 = 0.9U$ ，其波形如图 6-2 (b) 所示。

## 四、稳压二极管

稳压管是一种特殊的面接触型半导体硅二极管，由于它在电路中能起稳定电压的作用，故称稳压管，稳压管在电路中的作用如图 6-3 虚线部分。其外形与普通二极管类似，但其伏安特性不同于普通二极管就在于它的反向特性很陡，如图 6-4 所示。稳压管是工作在反向击穿区，当反向电压在击穿电压  $U_Z$  范围内变化时，反向电流很微弱，当反向电压增大到击穿电压  $U_Z$  时，稳压管反向击穿，反向电流突然剧增，此后电流虽然在很大范围内变化，但稳压管两端的电压变化很小，利用这一特性，稳压管在电路中起到稳压作用，但稳压管与一般二极管不同，它的反向击穿是可逆的，就是说去掉反向电压之后，稳压管又恢复正常，但如果反向电流超过允许范围，稳压管会发生热击穿而损坏。

图 6-4

图 7-1

图 7-2

## 五、发光二极管

发光二极管是采用磷化镓或磷砷化镓等半导体材料制成的，以直接将电能转变为光能的发光器件。与普通二极管一样也由 PN 结构成，同样具有单向导电性，但发光二极管不是用它的单向导电性，而是让它发光作指示（显示）器件。发光二极管以功耗低、体积小、响应速度快、抗震动、寿命长等优点而广泛用作指示灯等方面。

发光二极管可按制造材料、发光色别、封装形式和外形等分成许多种类，发光二极管的外形如上图所示。目前较常用的是圆形、方形等发光管，发光颜色以红、绿、黄等单色为主，也有一些能发出两、三种色光的发光管。

右手 发光二极管的基本应用电路如左图所示。U 为电源电压，R 为限流电阻，I 为流过发光二极管的电流。

发光二极管为正向电流驱动器件，流过发光二极管的电流不可超过管子所允许的极限值，否则发光二极管会因此而烧毁。

#### 六、瞬态电压抑制二极管（TVS 管）

瞬态电压抑制二极管常称为防雷管，是一种安全保护器件。这种器件在电路系统中起到分流、箝位作用，可以有效降低由于雷电、电路中开关通断时产生的高压脉冲，避免雷电、高压脉冲损坏其它器件。

瞬态电压抑制二极管有单向、双向两种。单向的图形符号与稳压管相似，左图为双向瞬态电压抑制二极管的图形符号与应用电路。当输入端有高压浪涌脉冲引入时，不论脉冲方向如何，TVS 管能快速进入击穿状态，对输入电压进行箝位。

下表为我司常用的双向 TVS 管参数：

| 型号        | 截止电压 (V) | 击穿电压 (Vmin) | 击穿电压 (Vmax) | 测试电流 (mA) | 最大箝位电压 (V) | 最高脉冲电流 (A) | 反向漏电流 (uA) |
|-----------|----------|-------------|-------------|-----------|------------|------------|------------|
| P6KE6.8CA | 5.8      | 6.45        | 7.14        | 10        | 10.5       | 58.1       | 1000       |
| P6KE12CA  | 10.2     | 11.40       | 12.6        | 1         | 16.7       | 35.3       | 5          |
| P6KE22CA  | 18.8     | 20.90       | 23.10       | 1         | 30.6       | 19.9       | 5          |

#### 七、肖特基二极管

肖特基二极管是由金属和半导体采用平面工艺制造形成的，它仅用一种载流子（电子）输送电荷，因而没有少数载流子的存储效应。所以它具有反向恢复时间短（7ns）和正向压降低（0.4V）的突出优点，它主要用于开关稳压电源做整流和逆变器中作续流二极管。

#### 八、快恢复二极管

快恢复二极管工作原理与普通二极管相似，亦是利用 PN 结单导电性，但制造工艺与普通二极管不同。它的扩散深度及处延层可以精确控制。因而可获得较高的开关速度。同时，在耐压允许范围内，外延层可做得较薄。它的反向恢复时间是快恢复二极管的重要参数，定义是电流通过零点由正向转换成反向，再从反向转换到规定低值的时间间隔。和肖特基二极管相比，其耐压高得多，主要也用在逆变电源中做整流元件，以降低关断损耗，提高效率和减少噪声。

#### 第七节 三极管

我们通常所说的三极管是指对信号有放大作用或开关作用，具有三个电极的半导体器件，其内部都有三层半导体，分别称为发射区、基区和集电区，内部结构如图 7-1。三极管的重要特征是具有电流控制作用，这是由于三极管内各电流之间有确定的分配关系，即  $I_C = \beta I_B$  和  $I_E = I_C + I_B$ 。就是说， $I_C$  的大小主要由  $I_B$  决定的， $I_B$  的大小变化决定了  $I_C$  按比例增减，所以三极管是电流控制器件。我们利用三极管的电流控制作用来实现对信号幅值的放大和能量的转换，必须使其工作在输出特性的放大区，即发射结正向偏置，集电结反向偏置，如图 7-2 是一个 NPN 管共发射极放大电路， $V_{CC}$ 、 $R_b$  和三极管发射结共同构成基极回路，使发射结处于正偏； $R_C$  为集电极电阻， $V_{CC}$ 、 $R_C$  和三极管集电结-发射结共同构成集电极回路。 $R_C$  的另一重要作用是当基极有信号输入时，将集电极电流的变化转变为集电极电压的变化作为输出信号。 $C_1$ 、 $C_2$  为耦合电容，具有隔离直流、传递交流的作用。

#### 一、三极管的分类

三极管按工作频率分，有高频三极管和低频三极管；按功率大小分有大功率、中功率及小功率三极管；按封装形式分，有金属封装和塑料封装；按电极性不同分有 PNP 和 NPN 三极管。PNP 和 NPN 三极管的外图及图形符号如下图：

#### 二、三极管的输出特性曲线

三极管的输出特性曲线是用来表示该管各极电压和电流之间相互关系，它反映出三极管的性

能，是分析放大电路的重要依据，左图为最常见的发射极接法时的输出特性曲线。

根据输出特性曲线的特点，通常将三极管的工作范围分为三个区域：截止区、饱和区、放大区，它们的各自特点概述如下：

### 1、截止区

输出特性曲线  $I_B=0$  这条曲线以下的区域称为截止区，此时发射结与集电结均处于反向偏置。由于三极管中存在穿透电流  $I_{CEO}$ ，集电极电流并未真正截止。对硅管而言， $U_{BE} < 0.5V$  时截止，锗管  $U_{BE} < 0.1V$  时截止。当三极管工作在截止区时，通常理想地认为集电极与发射极之间相当于一个开关的断开状态。

### 2、饱和区

在  $U_{CE} < 1V$  的范围内所对应的特性曲线近似直线上升的区域，称为饱和区，三极管饱和时  $U_{CE}$  的值称为饱和压降，用  $U_{CES}$  表示，小功率硅管约  $0.3V$ ，锗管约  $0.1V$ 。三极管工作在饱和区时，集电结与发射结均处于正向偏置，呈现低电阻状态，故电流较大，相当于一个开关的接通状态。

### 3、放大区

三极管发射结正向偏置、集电结反向偏置时，此时三极管的工作区域为放大区，三极管工作在放大区时  $I_C$  随  $I_B$  的增大而成比例地增大，为表征它们之间的数值关系，当  $U_{CE}$  不变时， $I_C$  与  $I_B$  的比值为三极管共射极静态电流放大系数，以符号  $\beta$  表示，即  $\beta = I_C / I_B$ ，它又简称为直流放大系数。由于输出特性曲线在截止区附近的间距较小， $I_B$  增大时，曲线间距也较大，所以值也随之变化。为此又引出动态电流放大系数  $\hat{A}$ ，它是指在同一  $U_{CE}$  值时，集电极电流变化量  $\Delta I_C$  与基极电流变化量  $\Delta I_B$  的比值，即  $\hat{A} = \Delta I_C / \Delta I_B$ ， $\hat{A}$  也称交流放大系数。虽然  $\beta$  和  $\hat{A}$  的含义不同，但因两者数值相差不大，故通常不作严格区分。

## 三、三极管的主要参数

### 1、电流放大系数 $\hat{A}$

电流放大系数是三极管的重要参数，关于它的定义，前面出做介绍，这里不再重复。

### 2、反向饱和电流 $I_{CBO}$

它是指集电区的少数载流子在集电结反向偏置作用下漂移而形成的反向电流。它与二极管中的反向饱和电流在本质上是相同的，因此当发射极开路 ( $I_E=0$ ) 时，集电极电流值即为反向饱和电流。 $I_{CBO}$  大小是管子质量好坏的标志之一， $I_{CBO}$  越小越好。小功率管约为几个微安，此值虽小但受温度影响很大，是三极管工作不稳定的主要因素之一。

### 3、穿透电流 $I_{CEO}$

它是指基极开路 ( $I_B=0$ ) 时，集电极与发射极之间的反向电流。 $I_{CEO}$  的大小为  $I_{CBO}$  的  $\beta$  倍。 $I_{CEO}$  受温度影响更严重，因此它对三极管的工作影响更大。

## 第八节 场效应管

场效应管是利用电场效应来控制电流变化的放大元件。它与晶体管相比，具有输入阻抗高、噪声低、热稳定性好等优点，因而得到迅速发展与应用。场效应管与三极管同为放大器件，但工作原理不同：三极管是电流控制器件，在一定条件下，集电极电流受基极电流控制，而场效应管是电压控制器件，电子电流受栅极电压控制。

场效应管的类型可分两类：一类是结型场效应管，一类是绝缘栅型场效应管，也叫金属—氧化物—半导体绝缘栅型场效应管，简称 MOS 管。半导体三极管有 PNP 型和 NPN 型；场效应管根据其沟道所采用的半导体材料，另分为 P 型和 N 型沟道两种。沟道，就是电流通道。

### 1、结型场效应管

N 型沟道结型场效应管的基体是一块 N 型硅材料，为 N 沟道。从基体引出两个电极分别叫源极 (S) 和漏极 (D)。在基体两边各附一小片 P 型材料，其引出的电极叫栅极 (G)。

这样，在沟道和栅极之间形成了两个 PN 结，当栅极开路时，沟道就相当于一个电阻，不同型号的管子其阻值不相同，一般约数百欧到千欧不等。

上图为结型场效应管结构示意图及图形符号。其中栅极带有箭头，箭头指向沟道即为 N 沟道结型场效应管，箭头背离沟道为 P 沟道结型场效应管。

## 2、绝缘栅场效应管

绝缘栅场效应管的特点是输入电阻高，便于做成集成电路。其内部结构及图形符号如下：

在一块 N 型硅片上有两个相距很近浓度很高的 P 扩散区，分别为源极和漏极，在源区与漏区之间的硅片上，有一层绝缘二氧化硅，绝缘层上覆盖着金属铝，这就是栅极。栅极和其它电极之间是绝缘的，所以称为绝缘栅场效应管。由于源、栅之间有一层氧化层，这种管子基本上没有栅极电流，因此输入阻抗非常高。

## 第九节 光电耦合器

光电耦合器是一种光电结合的半导体器件，由发光器和受光器组成的一个“电—光—电”器件。当输入端有电信号输入时，发光器发光，受光器受到光照后产生电流，输出端就有电信号输出，实现了以光为媒介的电信号的传输。这种电路使输入端与输出端无导电的直接联系，有优良的抗干扰性能，广泛应用于电气隔离、电平转换、级间耦合、开关电路、脉冲耦合等电路。

常见的光电耦合器有管式、双列直杆式等封装形式。上图为常用的光电二极管型耦合器及光电三极管型耦合器电路符号，以光电三极管为例说明光电耦合器的工作过程：光敏三极管的导通与截止，是由发光二极管所加正向电压控制的，当发光二极管加上正向电压时，发光二极管有电流通过而发光，使光敏三极管内阻减小而导通；反之，当发光二极管截止时，发光二极管中无电流通过，光敏三极管的内阻增大而截止。

## 第十节 保险元件

常用的保险元件有普通玻璃管熔丝、延迟型熔丝、熔断电阻和温度保险丝等，下面简单介绍各自特点：

### 1、普通玻璃管熔丝

这种保险元件十分常用，其价格低廉，使用方便，额定电流从 0.1A 到数十安不等，尺寸规格主要有 18mm、20mm、22mm。

### 2、延迟型熔丝

延迟型保险丝的特点是能承受短时间大电流（浪涌电流）的冲击，而在电流过载超过一定时限后又能可靠地熔断。这种熔丝主要用在开机瞬时电流较大的电子整机中，如彩电中就广泛使用了延迟型保险丝，其规格主要有 2A、3A、4A 等。延迟型熔丝常在电流规格前加字母 T，如 T2A，这可区别于普通熔丝。

### 3、熔断电阻

熔断电阻又称保险电阻，是一种具电阻和保险丝双重功能的元件，不过其电阻值通常较小，仅数欧至零点几欧，少数为几十欧或千欧，保险电阻大都起限流作用，因此主要功能还是起保险作用。保险电阻大都是灰色，用色环或数字表示阻值，额定功率由电阻尺寸大小决定，也有直接标在阻体上的。

### 4、可恢复保险丝

可恢复保险丝是由高分子材料及导电材料混合做成的过流保护元件，在常温下，其阻抗很小，但在动作后会形成高阻状态，当故障排除后又自动返回低阻状态。

依据能承受的最大电压，可恢复保险丝可分为多个系列，每个系列中，又根据的不同工作电流，分为若干型号。下表为某公司生产的 WH60-005 可恢复保险丝的电气特性：

| $I_H$<br>(A) | $I_T$<br>(A) | Time-to-Trip   |               | $V_{max}$<br>(V) | $I_{max}$<br>(A) | $R_{min}$<br>( $\Omega$ ) | $R_{max}$<br>( $\Omega$ ) |
|--------------|--------------|----------------|---------------|------------------|------------------|---------------------------|---------------------------|
|              |              | $I_{trip}$ (A) | $T_{max}$ (S) |                  |                  |                           |                           |
| 0.05         | 0.10         | 0.15           | 100           | 60               | 40               | 5                         | 12                        |

电气特性说明如下：

$I_H$ ：最大工作电流（25℃）

$I_T$ ：最小动作电流（25℃）

$I_{trip}$ ：过载电流

$T_{max}$ ：过载电流最大动作时间

$V_{max}$ ：最大过载电压

$I_{max}$ ：最大过载电流

$R_{min}$ ：最小电阻（25℃）

$R_{max}$ ：最大电阻（25℃）

Time-to-Trip：过流特性

右手 左图为可恢复保险丝在电路中的用法，当输入电压异常或负载短路引起电路电流  $I$  突增时，可恢复保险丝起动后形成高阻状态，限制电路电流在一定的安全范围而起到保护电路的作用，如在故障排除后，可恢复保险丝自动返回低阻状态，电路又能进入正常工作。

### 第十一节 晶体振荡器

晶体振荡器是一种用于稳定频率和选择频率的电子元件，我们常说的晶体振荡器（也叫晶振），是从石英晶体上按一定的方位角切下薄片，然后在晶片的两个对应表面上涂上银层并装上一对金属引脚后用外壳密封就构成晶体振荡器（见示左图）。

石英晶片能做振荡器是基于它的“压电效应”，即在晶片的两个极板间加一电场，会使晶片产生机械变形；反之，若在极板间施加机械压力，又会在相应的方向上产生电场，这种现象称为压电效应。如在极板间所加的是交变电压，就会产生机械变形振动，同时机械变形又会产生交变电场，但这种机械振动的振幅很小，但其振动频率是很稳定的。

晶体振荡器按封装外形分有金属壳、玻璃壳、胶木壳和塑封等几种，按频率稳定度分有普通型和高精密型两种。

晶体振荡器的主要电参数是标称频率  $f_0$ 、负载电容  $C_L$ 、激励电平、工作温度范围和温度频差。晶振元件组成振荡电路时需配接外部电容，此电容即负载电容，负载电容可从产品的技术参数查得。 $C_L$  是参与决定振荡频率的，因此在规定的负载电容下晶振元件的振荡频率即为标称频率，标称频率都标注在外壳上，故很容易识别。激励电平是指晶振工作时消耗有效功率；温度频差是指在工作温度范围内的工作频率相对于基准温度下的最大偏离值，该参数代表了晶振的频率温度特性。

### 第十二节 霍尔器件

霍尔器件是在霍尔效应原理的基础上利用集成电路技术制成的。当一块通有电流的金属或半导体薄片垂直地置于磁场中时，薄片两侧由此会产生出电位差，此现象即称为霍尔效应。薄片两侧产生的电位差称为霍尔电势。霍尔电势与外加磁场的磁感应强度  $B$ 、薄片通过的电流  $I$  成正比，与薄片的厚度  $d$  成反比，即： $U=K*B*I/d$ ， $K$  为霍尔系数，它与薄片的材料有关。

霍尔器件按输出端功能可分为开关型、线性型霍尔器件；按有源类型可分为双极型和 MOS 型。

### 第十三节 集成电路

集成电路，就是在一块极小的单晶片上，利用半导体工艺制作许多晶体二极管、晶体三极管

及电阻、电容等器件，并连接能完成特定功能的电子线路。

集成电路的种类相当多，按其功能不同可分为模拟集成电路和数字集成电路两大类。前者用来产生、放大和处理各种模拟电信号，后者则用来产生、放大和处理数字电信号。模拟信号是指幅度随时间连续变化的信号；数字信号是指时间上和幅度上离散取值的信号，也叫电脉冲或脉冲信号。

按集成度不同，可分为小规模、中规模、大规模及超大规模集成电路四类。集成度是指单位面积的芯片上所包含的电子元件的数目。通常认为：芯片上的集成度小于 100 个元件或 10 个门电路的集成电路称为小规模集成电路；集成度为 101~1000 个元件或 11~100 个门电路称为中规模集成电路；集成度在 1001~10 万个元件或 101~1 万个门电路称为大规模集成电路；集成度超过 10 万个元件或 1 万门电路称为超大规模集成电路。

集成电路的分类还有很多，如按工艺结构或制造方法，可分为半导体集成电路、膜集成电路。

上图为常见的集成电路外封装形式，其封装形式有圆形金属封装、扁平陶瓷、塑料外壳封装、单、双列直插式封装。引脚有 4 脚、8 脚、14 脚等多种。

上图为单、双列直插及菱、圆形集成电路引脚识别图。

#### 第十四节 集成稳压器件

##### 一、三端固定集成稳压器件

三端固定就是该集成稳压器件的引出脚只有三条：输入端、输出端，接地端，其输出电压是固定不能调节的；该器件内部设置了过流、芯片过热及调整器件安全工作区的保护电路，因此在使用时需要的外围元件很少，使用非常方便。

三端固定集成稳压器件按输出电压类型分有正电压系列（78 系列）和负电压系列（79 系列）两大系列，每个系列又有 5V、6V、8V、9V、10V、12V、15V、18V、24V 等多种类型的输出电压，每种类型又有 100mA（78L××或 79L××）、500mA（78M××或 79M××）、1.5A（78××或 79××）的最大输出电流。

左图为三端固定集成稳压器命名规则，如 78L05 为输出正 5V 电压，最大负载电流为 100mA；7909 为输出负 9V 电压，最大负载电流为 1.5A。

三端固定集成稳压器件的外形及管脚识别图如下：

##### 1、三端固定集成稳压器参数

三端固定集成稳压器参数以 7805 为例说明

| 参 数                      | 测 试 条 件 ( $T_j=25$ )                       | 标 准 值 |      |     | 单 位 |
|--------------------------|--------------------------------------------|-------|------|-----|-----|
|                          |                                            | 最 小   | 典 型  | 最 大 |     |
| 输出电压 $V_O$               | 5.0mA; $\dot{U}_{O_i} \dot{U}_{O_i}$       | 4.8   | 5.0  | 5.2 | V   |
|                          | 7.0V; $\dot{U}_{I_i} \dot{U}_{I_i}$        |       |      |     |     |
| 电压调整率 $S_V$              | 7.0V; $\dot{U}_{I_i} \dot{U}_{I_i}$        |       | 3    | 50  | mV  |
| 电流调整率 $S_I$              | 5.0mA; $\dot{U}_{O_i} \dot{U}_{O_i}$       |       | 15   | 100 | mV  |
| 备用电流 $I_q$               |                                            |       | 4.2  | 6.0 | mA  |
| 输出噪声电压 $V_{NO}$          | 10Hz ~ 100Hz                               |       | 40   | 200 | uV  |
| 纹波抑制比 $S_{rip}$          | F=100Hz, 8V; $\dot{U}_{I_i} \dot{U}_{I_i}$ | 68    | 78   |     | dB  |
| 最小输入—输出电压差 $ V_I - V_O $ | $I_O=1.0A$                                 |       | 2.0  | 2.5 | V   |
| 短路输出限制电流 $I_{SC}$        |                                            |       | 0.75 | 1.2 | A   |
| 输出峰值电流 $I_{OP}$          |                                            | 1.3   | 2.2  | 3.3 | A   |
| 输出电压温度系数 $S_T$           |                                            |       | ±0.6 |     | mV/ |