

# 第3章 常用电子元器件基础知识

常用电子元器件包括电阻、电容、电感、二极管、三极管、场效应管等半导体分立器件及常用集成电路，它们是构成电子电路的基本部件。了解常用电子元器件的基础知识，并学会识别和测量，是正确使用的基础，是组装、调试、维修电子电路必须具备的基本技能。

## 3.1 电阻、电容、电感器件

### 3.1.1 电阻器

电阻器是电子电路中使用最多的元件之一，主要用于控制和调节电路中的电流和电压，用作负载电阻和阻抗匹配等。

电阻器属于无源器件，种类繁多。按结构形式可分为固定电阻和可变电阻。固定电阻一般称为“电阻”，可变电阻常称为电位器，如图3-1所示。按材料可分为碳膜电阻、金属膜电阻和线绕电阻等；按功率规格可分为1/16W、1/8W、1/4W、1/2W、1W、2W、5W等；按误差范围可分为精度为±5%、±10%、±20%等的普通电阻，以及精度为±0.1%、±0.2%、±0.5%、±1%、±2%等的精密电阻。电阻的类别可以通过外观的标记识别。



图 3-1 电阻器的符号表示

#### 1. 电阻器的型号命名方法

电阻器的型号命名方法根据《电子设备用固定电阻器、固定电容器型号命名方法》(GB/T 2470—1995)，分为4个部分表示，如表3-1所示。

表 3-1 电阻器的型号命名方法

第1部分		第2部分		第3部分		第4部分
用字母表示主称		用字母表示材料		用数字或字母表示特征		用数字表示序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	
R	电阻器	T	碳膜	1, 2	普通	
W	电位器	P	硼碳膜	3	超高频	
		U	硅碳膜	4	高阻	
		C	沉积膜	5	高温	

续表

第1部分		第2部分		第3部分		第4部分
用字母表示主称		用字母表示材料		用数字或字母表示特征		用数字表示序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	
		H	合成膜	7	精密	
		I	玻璃釉膜	8	电阻器—高压	
		J	金属膜(箔)		电位器—特殊函数	
		Y	氧化膜			
		S	有机实心	9	特殊	
		N	无机实心	G	高功率	
		X	线绕	T	可调	
		R	热敏	X	小型	
		G	光敏	L	测量用	
		M	压敏	W	微调	
				D	多圈	

例如：精密金属膜电阻器 R - J - 7 - 3。



## 2. 电阻器的标称值

电阻器的常用单位为欧姆 ( $\Omega$ )、千欧姆 ( $k\Omega$ ) 和兆欧姆 ( $M\Omega$ )。标称值是指在进行电阻的生产过程中，按一定的规格生产电阻系列，如表 3-2 所示。电阻值的标称值应为表中数字的  $10^n$ ，其中  $n$  为正整数、负整数或零，现在最常见的为 E24 系列，其精度为  $\pm 5\%$ 。

表 3-2 电阻器（电位器）、电容器标称值系列

系列	允许误差	标称值
E24	I 级 ( $\pm 5\%$ )	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
E12	II 级 ( $\pm 10\%$ )	1.0 1.2 1.5 1.8 2.2 2.7 3.3 3.9 4.7 5.6 6.8 8.2
E6	III 级 ( $\pm 20\%$ )	1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8

## 3. 电阻器的标识

电阻器的标称值和允许误差一般都标注在电阻体上，常见的标注方法有以下几种。

(1) 直标法：直接把电阻的阻值和误差用数字或字母印在电阻上，如  $75k\Omega \pm 10\%$ ， $100\Omega$  I (I 为误差  $\pm 5\%$ )，若没有印误差等级，则一律表示误差为  $\pm 20\%$ 。

(2) 色标法：将不同颜色的色环涂在电阻体上来表示电阻的标称值及允许误差。色码电阻上各种颜色代表的阻值和误差如表 3-3 所示。

表 3-3 色标法中颜色符号意义

颜色	有效数字	倍乘数	允许偏差/(%)	颜色	有效数字	倍乘数	允许偏差/(%)
棕	1	$10^1$	$\pm 1$	灰	8	$10^8$	-
红	2	$10^2$	$\pm 2$	白	9	$10^9$	-

续表

颜色	有效数字	倍乘数	允许偏差/(%)	颜色	有效数字	倍乘数	允许偏差/(%)
橙	3	$10^3$	-	黑	0	$10^0$	-
黄	4	$10^4$	-	金	-	$10^{-1}$	$\pm 5$
绿	5	$10^5$	$\pm 0.5$	银	-	$10^{-2}$	$\pm 10$
蓝	6	$10^6$	$\pm 0.2$	无色	-		$\pm 20$
紫	7	$10^7$	$\pm 0.1$				

色标法常见的有四色环法和五色环法。四色环法一般用于普通电阻器标注，五色环法一般用于精密电阻器标注。色环标志读数识别规则如图 3-2 所示。

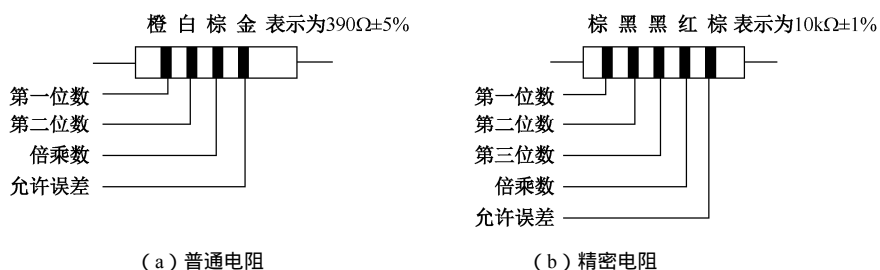


图 3-2 色环标志读数识别规则

#### 4. 电阻器的额定功率

电流流过电阻器时会使电阻器产生热量，在规定温度下，电阻器在电路中长期连续工作所允许消耗的最大功率称为额定功率。有两种标注方法：2W 以上的电阻，直接用数字印在电阻体上；2W 以下的电阻，以自身体积大小来表示功率，体积越大，额定功率越大。

#### 5. 电阻器的简单测试

测量电阻器的方法很多，可用欧姆表、电阻电桥和数字欧姆表直接测量，也可根据欧姆定律  $R=U/I$ ，通过测量流过电阻的电流  $I$  及电阻上的电压  $U$  来间接测量电阻值。

#### 6. 电位器

电位器是一种阻值可连续调整变化的可调电阻。电位器有 3 个引出端，其中一个为滑动端，另两个为固定端，滑动端运动使滑动端与固定端之间的阻值在标称电阻值范围内变化。

电位器种类很多，按电阻体所用的材料不同可分为碳膜电位器、线绕电位器、金属膜电位器、碳质实心电位器、有机实心电位器和玻璃釉电位器等，常用的电位器有碳膜电位器、线绕电位器、直滑式电位器、方形电位器等。

电位器的参数与电阻器相同，电位器参数变化规律有直线式、指数式和对数式 3 种。可以根据需要选用。

### 3.1.2 电容器

电容器是由两个相互靠近的金属导体在中间夹一层不导电的绝缘介质组成的，它是一

种储能元件，在电路中作为隔绝直流、耦合交流、旁路交流等。

电容器按不同的分类方法，可分为不同种类。例如，按介质材料可分为瓷质、涤纶、电解、气体和液体电容器；按结构可分为固定电容器、可变电容器和半可变电容器，如图 3-3 所示。其中，图 3-3 (a) 中有“+”的为电解电容，它有极性。由于结构和材料的不同，因此电容器外形也有较大的区别。



(a) 固定电容器 (b) 可变电容器 (c) 半可变电容器

图 3-3 电容器的符号表示

### 1. 电容器型号命名方法

电容器的型号命名方法根据《电子设备用固定电阻器、固定电容器型号命名方法》(GB/T 2470—1995)，分为 4 个部分表示，如表 3-4 所示。

表 3-4 电容器型号命名方法

第 1 部分		第 2 部分		第 3 部分				第 4 部分
用字母表示主称		用字母表示材料		用数字或字母表示特征				用数字表示序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义			
					瓷介	云母	有机介质	
C	电容器	A	钽电解	1	圆形	非密封	金属箔非密封	箔式
		B	非极性有机薄膜介质	2	管形	非密封	金属化非密封	箔式
		C	1 类陶瓷介质	3	叠片	密封	金属箔密封	非固体烧结粉
		D	铝电解	4	多层	独石	金属化密封	固体烧结粉
		E	其他材料电解	5	穿心		穿心	
		G	合金电解	6	支柱式		交流	交流
		H	复合介质	7	交流	标准	片式	无极性
		I	玻璃釉介质	8	高压	高压	高压	
		J	金属化纸介质	9			特殊	特殊
		L	极性有机薄膜介质	G	高功率			
		N	钽电解					
		O	玻璃膜介质					
		Q	漆膜介质					
		S	3 类陶瓷介质					
		T	2 类陶瓷介质					
		V	云母纸介质					
Y	云母介质							
Z	纸介质							

### 2. 电容器的标称容量和允许误差

电容器的常用单位有法拉 (F)、微法 ( $\mu\text{F}$ )、纳法 (nF) 和皮法 (pF)，电容量单位换

算关系为： $1\text{F}=10^6\mu\text{F}=10^9\text{nF}=10^{12}\text{pF}$ 。标称容量是标志在电容器上的电容量，我国固定电容器标称容量系列为 E24、E12 和 E6，如表 3-2 所示。不同材料制造的电容器其标称容量系列也不一样，高频瓷质和涤纶电容器的标称容量系列采用 E24 系列，而电解电容器标称容量系列采用 E6 系列。

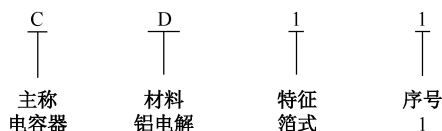
电容器误差一般分为 3 级：I 级， $\pm 5\%$ ；II 级， $\pm 10\%$ ；III 级， $\pm 20\%$ 。电解电容器的误差允许范围较宽，为  $-20\% \sim 50\%$ 。

### 3. 电容器的标示方法

电容的容量一般都标注在电容器上，有的还标出误差和耐压。常见的标示方法有如下几种。

(1) 直标法。将标称容量及允许误差直接标注在电容体上。用直标法标注的容量，有时电容器上不标单位，其识读方法为：凡容量大于 1 的无极性电容器，其容量单位为 pF；凡容量小于 1 的电容器，其容量单位为  $\mu\text{F}$ ；凡有极性电容器，其容量单位为  $\mu\text{F}$ 。

例如，C - D - 1 - 1。



(2) 数标法。用 3 位数字表示电容器容量大小，前两位为电容标称容量的有效数字，第三位数字表示有效数字后面零的个数，单位为 pF；但第三位数字是“9”时，有效数字应乘上  $10^{-1}$ 。

例如，103 表示容量  $10000\text{pF}=0.01\mu\text{F}$ ；221 表示容量  $220\text{pF}$ ；339 表示容量  $33 \times 10^{-1} = 3.3\text{pF}$ 。

直标法和数标法对于初学者来说，比较容易混淆。其区别方法为：直标法的第三位数字一般为 0，而数标法的第三位数字不为 0。

(3) 色标法。电容器色标法与电阻器色标法相同，标志颜色意义也与电阻器基本相同，可参见表 3-3，单位为 pF。

### 4. 电容器的额定工作电压

电容器额定工作电压是表示电容器接入电路后，能够长期可靠地工作，不被击穿所能承受的最大直流电压，又称为耐压。电容器在使用时一般不能超过其耐压值，否则就会造成电容器损坏，严重时还会造成电容器爆炸。电容器耐压值一般都直接标注在电容器表面，常用电容器的耐压系列为 6.3V、10V、16V、25V、40V、63V、100V、250V、400V 等。

## 3.1.3 电感器

电感器一般由线圈构成，故又称为电感线圈。电感器也是一种储能元件，在电路中有阻交流、通直流的作用，可以在交流电路中起阻流、降压、负载等作用，与电容器配合可

用于调谐、振荡、耦合、滤波和分频等电路中。为了增加电感量，提高品质因数  $Q$ ，减小体积，线圈中常放置软磁材料制作的磁芯。

根据电感器的结构可分为普通电感器和带磁芯电感器；根据电感器的电感量是否可调，电感器可分为固定电感器、可变电感器，它们的符号如图 3-4 所示。可变电感的电感量可利用磁芯在线圈内移动而在较大的范围内调整。

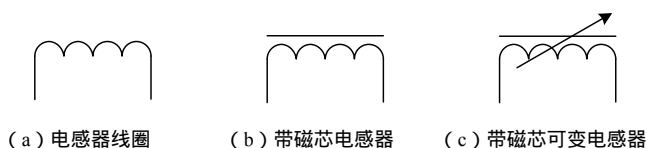


图 3-4 电感器的符号

### 1. 电感器的型号命名方法

电感器的型号由 4 个部分组成，各部分的含义如下。

第一部分为主称，常用 L 表示线圈，ZL 表示高频或低频扼流圈。

第二部分为特征，常用 G 表示高频。

第三部分为类型，常用 X 表示小型。

第四部分为区别代号。

例如，LGX 为小型高频电感线圈。

### 2. 电感量

电感量是表述载流线圈中磁通量大小与电流关系的物理量，其大小与线圈圈数、线圈线径、绕制方法及磁芯介质材料有关。电感量的常用单位为 H（亨利）、mH（毫亨）、 $\mu\text{H}$ （微亨）。

固定电感器的标称电感量可用直标法表示，也可用色标法表示。色环电感器电感量的大小一般用四色环标注法标注，与电阻器色标法和识读方法相似（参见表 3-3），其单位为  $\mu\text{H}$ 。电感器标称值系列一般按 E12 系列标注（参见表 3-2）。

一般固定电感器误差为 I 级、II 级、III 级，分别表示误差为  $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 。精度要求较高的振荡线圈，其误差为  $\pm 0.2\% \sim \pm 0.5\%$ 。

### 3. 品质因数（Q 值）

品质因数是电感器的重要参数，通常称为  $Q$  值。 $Q$  值的大小与绕制线圈所用导线线径粗细、绕法、股数及线圈的匝数等因素有关。 $Q$  值反映电感器传输能量的本领， $Q$  值越大，传输能量的本领越大，即损耗越小，质量越高，一般要求  $Q=50 \sim 300$ 。

### 4. 额定电流

额定电流是电感线圈中允许通过的最大电流，额定电流大小与绕制线圈的线径粗细有关。国产色码电感器通常用在电感器上印刷字母的方法来表示最大直流工作电流，字母 A、B、C、D、E 分别表示最大工作电流为 50mA、150mA、300mA、700mA、1600mA。

## 3.2 晶体二极管

### 3.2.1 晶体二极管的分类

晶体二极管又称为半导体二极管，简称二极管，是常用的半导体分立器件之一，内部构成本质上为一个PN结，P端引出电极为正极，N端引出电极为负极。主要特性为单向导电性，广泛应用于整流、稳压、检波、变容、显示等电子电路中。

普通二极管一般有玻璃和塑料两种封装形式，其外壳上均印有型号和标记，识别很简单。小功率二极管的负极（N极），在二极管外表大多采用一道色环标识出来，也采用符号标志“P”“N”来确定二极管的极性。发光二极管的正负极可从引脚长短来识别，长脚为正，短脚为负。

晶体二极管的种类很多，晶体二极管的分类表如表3-5所示。

表3-5 晶体二极管的分类表

二 极 管	按材料分	锗材料	二 极 管	按封装分	玻璃外壳（小型用）
		硅材料			金属外壳（大型用）
	按结构分	点接触型			塑料外壳
		面接触型			环氧树脂外壳
	按用途分	检波		按用途分	发光
		整流			光电
		高压整流			变容
		硅堆			磁敏
		稳压			隧道
		开关			

### 3.2.2 晶体二极管的主要技术参数

不同类型晶体二极管所对应的主要特性参数有所不同，具有一定普遍意义的特性参数有以下几个。

#### 1. 额定正向工作电流

额定正向工作电流是指二极管长期连续工作时允许通过的最大正向电流值。因为电流通过二极管时会使管芯发热，温度上升，温度超过允许限度（硅管为140℃左右，锗管为90℃左右）时，就会使管芯发热而损坏。所以，二极管使用时不要超过额定正向工作电流。例如，常用的1N4001和1N4007型锗整流二极管的额定正向工作电流为1A。

#### 2. 最高反向工作电压

加在二极管两端的反向电压高到一定值时，会将管子击穿，使其失去单向导电能力。为了保证使用安全，规定了最高反向工作电压值。例如，1N4001二极管反向耐压为50V，

1N4007 反向耐压为 1000V。

### 3. 反向电流

反向电流是指二极管在规定的温度和最高反向电压作用下，流过二极管的反向电流。反向电流越小，则二极管的单向导电性能越好。值得注意的是，反向电流与温度有着密切的关系，大约温度每升高 10℃，反向电流将增大 1 倍。硅二极管比锗二极管在高温下具有较好的稳定性。

### 3.2.3 常用晶体二极管

常用类型二极管的电路图形符号如图 3-5 所示。

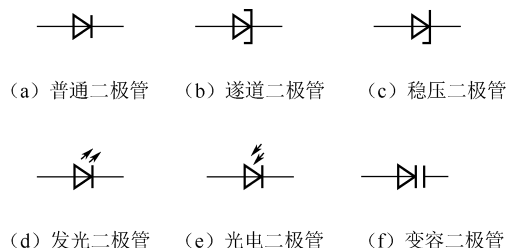


图 3-5 常用类型二极管的电路图形符号

#### 1. 整流二极管

整流二极管的作用是将交流电整流成直流电，它是利用二极管单向导电特性工作的。整流二极管正向工作电流较大，工艺上大多用面接触结构，其结电容较大，因此，整流二极管工作频率一般小于 3kHz。

整流二极管主要有全封闭金属结构封装和塑料封装两种封装形式。通常额定正向工作电流在 1A 以上的整流二极管采用金属封装，以利于散热；额定正向工作电流在 1A 以下的采用全塑料封装。另外，由于工艺技术的不断提高，也有不少较大功率的整流二极管采用塑料封装，在使用中应加以区别。

整流电路通常为桥式整流电路，有将 4 个整流管封装在一起的元件，称为整流桥或整流全桥（简称全桥），如图 3-6 所示。

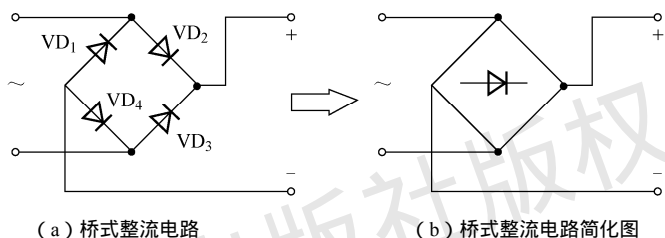


图 3-6 桥式整流电路

选用整流二极管时，应主要考虑其最大整流电流、最大反向工作电流、截止频率及反向恢复时间等参数。普通串联稳压电源电路中使用的整流二极管，对截止频率和反向恢复时间要求不高（可用 1N 系列、2CZ 系列、RLR 系列的整流二极管）。开关稳压电源的整流



电路及脉冲整流电路中使用的整流二极管，应选用工作频率高、反向恢复时间较短的整流二极管（如RU系列、EU系列、V系列、1SR系列或快速恢复二极管）。

## 2. 检波二极管

检波二极管是利用PN结伏安特性的非线性把叠加在高频信号上的低频信号分离出来的一种二极管。检波二极管要求正向压降小、检波效率高、结电容小、频率特性好，其外形一般采用EA玻璃封装结构。一般检波二极管采用锗材料点接触型结构。

选用检波二极管时，应根据电路的具体要求选择工作频率高、反向电流小、正向电流足够大的检波二极管。

## 3. 稳压二极管

稳压二极管又称为齐纳二极管，有玻璃封装、塑料封装和金属外壳封装3种。稳压二极管是利用PN结反向击穿时电压基本上不随电流变化的特点来达到稳压的目的。稳压二极管正常工作时工作于反向击穿状态，外电路要加合适的限流电阻，以防止烧毁管子。

稳压二极管是根据击穿电压来分档的，其稳压值就是击穿电压值。稳压二极管主要作为稳压器或电压基准元件使用，稳压管可以串联使用，其稳压值为各稳压管稳压值之和。稳压管不能并联使用，原因是每个管子的稳压值有差异，并联后通过每个管子的电流不同，个别管子会因过载而损坏。

选用稳压二极管时应满足应用电路中主要参数的要求。稳压二极管的稳压值应与应用电路的基准电压值相同，稳压二极管的最大稳定电流应高于应用电路的最大负载电流50%左右。

## 4. 变容二极管

变容二极管是利用反向偏压来改变二极管PN结电容量的特殊半导体器件。变容二极管相当于一个电压控制的容量可变的电容器，它的两个电极之间的PN结电容大小随着加到变容二极管两端反向电压大小的改变而变化。变容二极管主要应用于电调谐、自动频率控制、稳频等电路，作为一个可以通过电压控制的自动微调电容，起到改变电路频率特性的作用。

选用变容二极管时应考虑其工作频率、最高反向工作电压、最大正向电流和零偏压结电容等参数是否符合应用电路的要求，应选用结电容变化大、高 $Q$ 值、反向漏电流小的变容二极管。

## 5. 光敏二极管

光敏二极管在光照射下其反向电流与光照度成正比，它常应用于光电转换及光控、测光等自动控制电路中。

## 6. 发光二极管

发光二极管（简称LED）能把电能直接快速地转换成光能，属于主动发光器件。常用作显示、状态信息指示等。

发光二极管除具有普通二极管的单向导电特性之外，还可以将电能转换为光能。当给

发光二极管外加正向电压时，它也处于导通状态，当正向电流流过管芯时，发光二极管就会发光，将电能转换成光能。

发光二极管的发光颜色主要由制作材料及掺入杂质种类决定，目前常见的发光二极管发光颜色主要有蓝色、绿色、黄色、橙色、红色、白色等。其中，白色发光二极管为新产品，主要应用于手机背光灯、液晶显示器背光灯、照明等领域。

发光二极管的工作电流通常为  $2 \sim 25\text{mA}$ ，其工作电流不能超过额定值太多，否则有烧毁的危险。故通常在发光二极管回路中串联一个电阻，作为限流电阻  $R$ ，限流电阻的阻值可由公式  $R=(U-U_F)/I_F$  算出，式中  $U$  为电源电压， $U_F$  为工作电压， $I_F$  为工作电流。

工作电压（即正向压降）随着材料的不同而不同，普通绿色、黄色、红色、橙色发光二极管的工作电压约为  $2\text{V}$ ，白色发光二极管的工作电压通常高于  $2.4\text{V}$ ，蓝色发光二极管的工作电压通常高于  $3.3\text{V}$ 。

红外发光二极管是一种特殊的发光二极管，其外形和发光二极管相似，只是它发出的是红外光，在正常情况下人眼是看不见的。其工作电压约为  $1.4\text{V}$ ，工作电流一般小于  $20\text{mA}$ 。

有些公司将两个不同颜色的发光二极管封装在一起，使之成为双色二极管（又称为变色发光二极管）。这种发光二极管通常有 3 个引脚，其中一个公共脚，它可以发出 3 种颜色的光（其中一种是两种颜色的混合色），故通常作为不同工作状态的指示器件。

### 7. 双向触发二极管

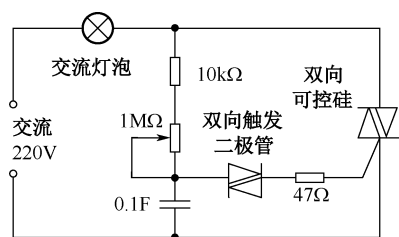


图 3-7 调光台灯电路

双向触发二极管也称为二端交流器件（DIAC）。它是一种硅双向触发开关器件，当双向触发二极管两端施加的电压超过其击穿电压时，两端即导通，导通将持续到电流中断或降到器件的最小保持电流才会再次关断。双向触发二极管常应用在过压保护电路、移相电路、晶闸管触发电路、定时电路中。双向触发二极管在常用的调光台灯中的应用电路如图 3-7 所示。

### 8. 其他特性二极管

(1) 肖特基二极管。肖特基二极管具有反向恢复时间很短、正向压降较低的特性，可用于高频整流、检波、高速脉冲钳位等。

(2) 快速恢复二极管。快速恢复二极管正向压降与普通二极管相近，但反向恢复时间短，耐压比肖特基二极管高得多，可用作中频整流元件。

(3) 开关二极管。开关二极管的反向恢复时间很短，主要用于开关脉冲电路和逻辑控制电路中。

## 3.2.4 使用二极管的注意事项

### 1. 普通二极管

(1) 在电路中应按注明的极性进行连接。

(2) 根据需要正确选择型号。同一型号的整流二极管可串联、并联使用。在串联、并联使用时，应视实际情况决定是否加入均衡（串联均压，并联均流）装置（或电阻）。

(3) 引出线的焊接或弯曲处, 离管壳距离不得小于 10mm。为防止因焊接时过热而损坏, 要使用小于 60W 的电烙铁, 焊接时间要快 (2~3s)。

(4) 应避免靠近发热元件, 并保证散热良好。工作在高频或脉冲电路的二极管, 引线要尽量短。

(5) 对整流二极管, 为保证其可靠工作, 反向电压常降低 20% 使用。

(6) 切勿超过手册中规定的最大允许电流和电压值。

(7) 二极管的替换。硅管和锗管不能互相代用。二极管替换时, 替换的二极管其最高反向工作电压和最大整流电流不应小于被替换二极管。根据工作特点, 还应考虑其他特性, 如截止频率、结电容、开关速度等。

## 2. 稳压二极管

(1) 可将任意稳压二极管串联使用, 但不得并联使用。

(2) 工作过程中, 所用稳压管的电流与功率不允许超过极限值。

(3) 稳压管接在电路中, 应工作于反向击穿状态, 即工作于稳压区。

(4) 稳压管的替换。必须使替换上去的稳压管的稳压电压额定值  $U_Z$  与原稳压管的值相同, 而最大工作电流则要相等或更大。

## 3.3 晶体三极管

晶体三极管是电子电路中广泛应用的有源器件之一, 在模拟电子电路中主要起放大作用, 晶体三极管还能在开关、控制、振荡等电路中发挥作用。

### 3.3.1 晶体三极管的分类和图形符号

#### 1. 晶体三极管的分类

晶体三极管的分类表如表 3-6 所示。

表 3-6 晶体三极管的分类表

晶 体 三 极 管	按导电 类型分	NPN 型晶体三极管	晶 体 三 极 管	按工艺方 法和管芯 结构分	合金晶体三极管 (均匀基区晶体三极管)
		PNP 型晶体三极管			合金扩散晶体三极管 (缓变基区晶体三极管)
	按频率分	高频晶体三极管			台面晶体三极管 (缓变基区晶体三极管)
		低频晶体三极管			平面晶体三极管、外延平面晶体三极管 (缓变基区晶体三极管)
	按功率分	小功率晶体三极管			
		中功率晶体三极管			
		大功率晶体三极管			
	按电性能分	开关晶体三极管			
		高反压晶体三极管			
		低噪声晶体三极管			

## 2. 晶体三极管的图形符号和引脚排列

晶体三极管按内部半导体极性结构的不同，划分为 NPN 型和 PNP 型。这两类三极管电路符号和引脚排列如图 3-8 所示。

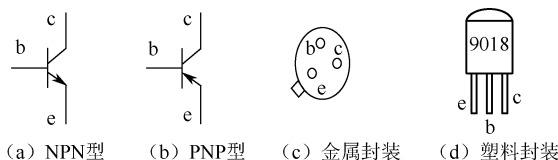


图 3-8 NPN 型、PNP 型三极管电路符号和引脚排列

三极管引脚排列因型号、封装形式与功能等的不同而有所区别，小功率三极管的封装形式有金属封装和塑料外壳封装两种，而大功率三极管的外形一般分为“F”型和“G”型两种。

### 3.3.2 晶体三极管常用参数符号及其意义

晶体三极管常用参数符号及其意义如表 3-7 所示。

表 3-7 晶体三极管常用参数符号及其意义

符号	意 义
$I_{CBO}$	发射极开路，集电极与基极间的反向电流
$I_{CEO}$	基极开路，集电极与发射极间的反向电流（俗称穿透电流） $I_{CEO} \approx \beta I_{CBO}$
$U_{BES}$	晶体管处于导通状态时，输入端 B、E 之间电压降大小
$U_{CES}$	在共发射极电路中，晶体管处于饱和状态时，C、E 端点间的输出压降
$r_{be}$	输入电阻， $r_{be}$ 是晶体管输出端交流短路即 $\Delta U_{CE} = 0$ 时 b-e 极间的电阻， $r_{be} = \frac{\Delta U_{be}}{\Delta I_b}$ ( $U_{CE}$ 为常数)，低频小功率管的 $r_{be} = 300\Omega + (1 + \beta) \cdot \frac{26(V)}{I_c(mA)}$
$h_{FE}$	共发射极小信号直流电流放大系数： $h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$
$\beta$	共发射极小信号交流电流放大系数： $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ ( $U_{CE} =$ 常数)
$\alpha$	共基极电流放大系数： $\alpha = \frac{I_C}{I_E}$
$f_\beta$	共发射极截止频率。晶体管共发应用时，其 $\beta$ 值下降 0.707 倍时所对应的频率
$f_\alpha$	共基极截止频率。晶体管共基应用时，其 $\alpha$ 值下降 0.707 倍时所对应的频率
$f_T$	特征频率。当晶体管共发应用时，其 $\beta$ 值下降为 1 时所对应的频率。它表征晶体管具备电流放大能力的极限
$K_P$	功率增益。晶体三极管输出功率与输入功率之比
$f_{max}$	最高振荡频率。它表示晶体管的功率增益 $K_P=1$ 时所对应的工作频率。它表征晶体管具备功率放大能力的极限
$U_{CBO}$	发射极开路时集电极 - 基极间的击穿电压
$U_{CEO}$	基极开路时集电极 - 发射极间的击穿电压
$I_{CM}$	集电极最大允许电流。它是 $\beta$ 值下降到最大值的 1/2 或 1/3 时的集电极电流
$P_{CM}$	集电极最大耗散功率。它是集电极允许耗散功率的最大值
$N_F$	噪声系数。晶体管输入端的信噪比与输出端信噪比的相对比值
$t_{on}$	开启时间。表示晶体管由截止关态过渡到导通开态所需要的时间。它由延迟时间和上升时间两部分组成。 $t_{on} = t_d + t_r$
$t_{off}$	关闭时间。表示晶体管由导通开态过渡到截止关态所需要的时间。它由储存时间和下降时间两部分组成。 $t_{off} = t_s + t_f$

### 3.3.3 使用晶体三极管的注意事项

(1) 加到管子上的电压极性应正确。PNP 型三极管的发射极对其他两电极是正电位，而 NPN 型三极管则应是负电位。

(2) 不论是静态、动态或不稳定态（如电路开启、关闭时），均需防止电流、电压超出最大极限，也不得有两项以上参数同时达到极限。

(3) 选用晶体三极管应主要注意极性和下述参数： $P_{CM}$ 、 $I_{CM}$ 、 $U_{CEO}$ 、 $U_{EBO}$ 、 $I_{CEO}$ 、 $\beta$ 、 $f_T$  和  $f_B$ 。由于  $U_{CBO} > U_{CES} > U_{CER} > U_{CEO}$ ，因此只要  $U_{CEO}$  满足要求就可以了。一般高频工作时要求  $f_T = (5 \sim 10)f$ ，其中  $f$  为工作频率。开关电路工作时则应考虑晶体三极管的开关参数。

(4) 晶体三极管的替换。只要管子的基本参数相同就能替换，性能高的可替换性能低的。对低频小功率管，任何型号的高、低频小功率管都可以替换它，但  $f_T$  不能太高。只要  $f_T$  符合要求，一般就可以替换高频小功率管，但应选取内反馈小的管子， $h_{FE} > 20$  即可。对于低频大功率管，一般只要  $P_{CM}$ 、 $I_{CM}$ 、 $U_{CEO}$  符合要求即可，但应考虑  $h_{FE}$ 、 $U_{CES}$  的影响。对电路中有特殊要求的参数（如  $N_F$ 、开关参数）应满足。此外，通常锗管和硅管不能互换。

(5) 工作于开关状态的晶体三极管，因为  $U_{CEO}$  一般较低，所以应考虑是否要在基极回路加保护线路（如线圈两端并联续流二极管），以防线圈反电动势损坏管子。

(6) 管子应避免靠近发热元件，减小温度变化和保证管壳散热良好。功率放大管在耗散功率较大时应加散热片。管壳与散热片应紧贴固定。散热装置应垂直安装，以利于空气自然对流。

(7) 国产三极管  $\beta$  值的大小通常采用色标法表示，即在三极管顶面涂上不同的色点。各种颜色对应的  $\beta$  值如表 3-8 所示。

表 3-8 部分国产三极管用色点表示的  $\beta$  值

色点	棕色	红色	橙色	黄色	绿色	蓝色	紫色	灰色	白色	黑色
$\beta$ 值	5 ~ 15	15 ~ 25	25 ~ 40	40 ~ 55	55 ~ 80	80 ~ 120	120 ~ 180	180 ~ 270	270 ~ 400	400 以上

## 3.4 场效应管

场效应是指半导体材料的导电能力随电场改变而变化的现象。

场效应管（Field Effect Transistor, FET）是当给晶体管加上一个变化的输入信号时，信号电压的改变使加在器件上的电场改变，从而改变器件的导电能力，使器件的输出电流随电场信号改变而改变。其特性与电子管很相似，同是电压控制器件。而电子管中的电子是在真空中运动完成导电任务的；场效应管是多数载流子（电子或空穴）在半导体材料中运动而实现导电的，参与导电的只有一种载流子，故又称为单极型晶体管，简称场效应管。场效应管的内部基本构成也是 PN 结，是一种通过电场实现电压对电流控制的新型三端电子元件，其外部电路特性与晶体管相似。

场效应管的特点：输入阻抗高，在线路上便于直接耦合；结构简单，便于设计，容易实现大规模集成；温度稳定性好，不存在电流集中的问题，避免了二次击穿；是多子导电

的单极器件，不存在少子存储效应，开关速度快、截止频率高、噪声系数低；其  $I$ 、 $U$  成“平方律”关系，是良好的线性器件。因此，场效应管用途广泛，可用于开关、阻抗匹配、微波放大、大规模集成等领域，构成交流放大器、有源滤波器、直流感放大器、电压控制器、源极跟随器、斩波器、定时电路等。

### 3.4.1 场效应管的分类和图形符号

#### 1. 场效应管的分类

##### 1) 按内部构成特点分类

场效应管按结构可分为结型场效应管 (JFET) 和绝缘栅型场效应管 (IGFET)，其中绝缘栅型场效应管多采用以二氧化硅为绝缘层的金属-氧化物-半导体场效应管 (MOSFET)。

##### 2) 按结构和材料分类

###### (1) 结型场效应管 (JFET)。

硅场效应管 (SiFET)：分为单沟道、V形槽、多沟道 3 类；

砷化镓场效应管 (GaAsFET)：分为扩散结、生长结、异质结 3 类。

(2) 肖特基栅场效应管 (MESFET)。SiMESFET；GaSsMESFET 又可分为单栅、双栅、梳状栅 3 类；异质结 MESFET (InPMESFET)。

(3) 金属-氧化物-半导体场效应管 (MOSFET)。SiMOSFET 可分为 NMOS、PMOS、CMOS、DMOS、VMOS；GaAsMOSFET；InPMOFET。

##### 3) 按导电沟道分类

(1) N 沟道场效应管：沟道为 N 型半导体材料，导电载流子为电子的场效应管。

(2) P 沟道场效应管：沟道为 P 型半导体材料，导电载流子为空穴的场效应管。

##### 4) 按工作状态分类

(1) 耗尽型 (常开型) 场效应管：当栅源电压为 0 时，已经存在导电沟道的场效应管。

(2) 增强型 (常关型) 场效应管：当栅源电压为 0 时，导电沟道夹断，当栅源电压为一定值时才能形成导电沟道的场效应管。

结型场效应管分为 N 沟道和 P 沟道两种类型。MOSFET 也有 N 沟道和 P 沟道两种类型，但每一类又分为增强型和耗尽型两种，因此 MOSFET 有 4 种具体类型，即 N 沟道增强型 MOSFET、N 沟道耗尽型 MOSFET、P 沟道增强型 MOSFET、P 沟道耗尽型 MOSFET。

#### 2. 场效应管的图形符号

结型场效应管的图形符号如图 3-9 所示。

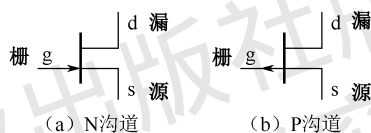


图 3-9 结型场效应管的图形符号

MOSFET 的图形符号如图 3-10 所示。

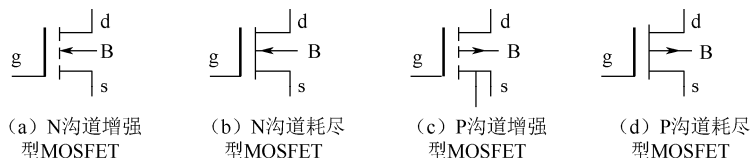


图 3-10 MOSFET 的图形符号

### 3.4.2 场效应管常用参数符号及其意义

场效应管常用参数符号及其意义如表 3-9 所示。

表 3-9 场效应管常用参数符号及其意义

参数名称	符号	意义
夹断电压	$U_P$	在规定的漏源电压下,使漏源电流下降到规定值(即使沟道夹断)时的栅源电压 $U_{GS}$ 。此定义适用于耗尽型 JFET、MOSFET
开启电压 (阈值电压)	$U_T$	在规定的漏源电压 $U_{DS}$ 下,使漏源电流 $I_{DS}$ 达到规定值(即发生反型沟道)时的栅源电压 $U_{GS}$ 。此定义适用于增强型 MOSFET
漏源饱和电流	$I_{DSS}$	栅源短路 ( $U_{GS}=0$ ) 漏源电压足够大时,漏源电流几乎不随漏源电压变化,所对应漏源电流为漏源饱和电流,此定义适用于耗尽型
跨导	$g_m (g_{ms})$	漏源电压一定时,栅压变化量与由此而引起的漏电流变化量之比,它表征栅电压对栅电流的控制能力,单位为西门子(S) $g_{ms} = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} \Big _{U_{DS} = \text{常数}}$
截止频率	$f_T$	共源电路中,输出短路电流等于输入电流时的频率。与双极性晶体管 $f_T$ 很相似。由于 $g_m$ 与 $C_{gs}$ 都随栅压变化,因此 $f_T$ 也随栅压改变而改变 $f_T = \frac{g_m}{2\pi C_{gs}} \quad (C_{gs} \text{ 为栅源电容})$
漏源击穿电压	$\beta U_{DS}$	漏源电流开始急剧增加时所对应的漏源电压
栅源击穿电压	$\beta U_{GS}$	对于 JFET 是指栅源之间反向电流急剧增长时对应的栅源电压;对于 MOSFET 是使二氧化硅绝缘层击穿导致栅源电流急剧增长时的栅源电压
直流输入电阻	$r_{gs}$	栅电压与栅电流之比。对于 JFET 是 PN 结的反向电阻;对于 MOSFET 是栅绝缘层的电阻

### 3.4.3 使用场效应管的注意事项

(1) 为安全使用场效应管,在电路设计中不能超过场效应管的耗散功率、最大漏源电压、最大栅源电压和最大电流等参数的极限值。结型场效应管的源极、漏极可以互换使用。

(2) 各类型场效应管在使用时,应严格按照要求的偏置接入电路中,要遵守场效应管偏置的极性。例如,结型场效应管栅源漏之间是 PN 结,N 沟道管栅极不能加正偏压;P 沟道管栅极不能加负偏压,等等。

(3) MOSFET 由于输入阻抗极高,因此在运输、储藏中必须将引出脚短路,要用金属屏蔽包装,以防止外来感应电势将栅极击穿。尤其要注意,不能将 MOSFET 放入塑料盒子内,保存时最好放在金属盒内,同时也要注意场效应管的防潮。

(4) 为了防止场效应管栅极感应击穿,要求一切测试仪器、工作台、电烙铁、电路本身都必须有良好的接地;引脚在焊接时,先焊源极;在接入电路之前,场效应管的全部引线端保持互相短接状态,焊接完后才把短接材料去掉;从元器件架上取下管子时,应以适

当的方式确保人体接地，如采用接地环等；当然，如果能采用先进的气热型电烙铁，焊接场效应管是比较方便的，并且能确保安全；在未关断电源时，绝对不可以把场效应管接入电路或从电路中拔出。

(5) 在安装场效应管时，注意安装的位置要尽量避免靠近发热元件；为了防止场效应管件振动，有必要将管壳体紧固起来；引脚引线在弯曲时，应当在大于根部尺寸 5mm 处进行，以防止弯断引脚和引起漏气等。对于功率型场效应管，要有良好的散热条件。因为功率型场效应管在高负荷条件下运用，必须设计足够的散热器，确保壳体温度不超过额定值，使场效应管长期稳定可靠地工作。

### 3.5 半导体分立器件型号命名方法

常用半导体分立器件型号命名方法如表 3-10 所示。

表 3-10 常用半导体分立器件型号命名方法

第 1 部分		第 2 部分		第 3 部分				第 4 部分	第 5 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		用汉语拼音字母表示器件的类型				用数字表示器件的序号	用汉语拼音字母表示规格号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义		
2	二极管	A	N 型锗材料	P	普通管	D	低频大功率管 ( $f \leq 3\text{MHz}$ , $P \geq 1\text{W}$ )		
		B	P 型锗材料	V	微波管	A	高频大功率管 ( $f \geq 3\text{MHz}$ , $P \geq 1\text{W}$ )		
		C	N 型硅材料	W	稳压管	Y	体效应器件		
		D	P 型硅材料	X	参量管	B	雪崩管		
3	三极管			Z	整流器	J	阶跃恢复管		
				L	整流堆	CS	场效应器件		
		A	PNP 锗材料	S	隧道管	BT	半导体特殊器件		
		B	NPN 锗材料	N	阻尼管	FH	复合管		
		C	PNP 硅材料	U	光电器件	PIN	PIN 型管		
		D	NPN 硅材料	X	低频小功率管	JG	激光器件		
		E	化合物材料	G	高频小功率管	T	晶闸管器件		
				FG	发光管				

例 1: 3 D G 180 C  
 规格号  
 序号  
 高频小功率管  
 NPN 型硅材料  
 三极管

例 2: CS 2 B  
 规格号  
 序号  
 场效应器件

注意：场效应器件、半导体特殊器件、复合管、PIN 型管和激光器件的型号命名只有第 3~5 部分。



## 3.6 半导体模拟集成电路

### 3.6.1 模拟集成电路基础知识

集成电路 (Integrated Circuit, IC) 按其功能可分为模拟集成电路和数字集成电路。模拟集成电路用来产生、放大和处理各种模拟信号。

模拟集成电路相对数字集成电路和分立元件电路而言具有以下特点。

(1) 电路处理的是连续变化的模拟量电信号, 除输出级之外, 电路中的信号幅度值较小, 集成电路内的器件大多工作在小信号状态。

(2) 信号的频率范围通常可以从直流一直延伸至高频段。

(3) 模拟集成电路在生产中采用多种工艺, 其制造技术一般比数字电路复杂。

(4) 除应用于低压电器中的电路之外, 大多数模拟集成电路的电源电压较高。

(5) 模拟集成电路比分立元件电路具有内繁外简的电路特点, 内部构成电路复杂, 外部应用方便, 外接电路元件少, 电路功能更加完善。

模拟集成电路按其功能可分为线性、非线性和功率集成电路。线性集成电路包括运算放大器、直流放大器、音频电压放大器、中频放大器、高频(宽频)放大器、稳压器、专用集成电路等; 非线性集成电路包括电压比较器、A/D 转换器、D/A 转换器、读出放大器、调制解调器、变频器、信号发生器等; 功率集成电路包括音频功率放大器、射频发射电路、功率开关、变换器、伺服放大器等。上述模拟集成电路的上限频率最高均在 300MHz 以下, 300MHz 以上的称为微波集成电路。

### 3.6.2 集成运算放大器

#### 1. 集成运算放大器简介

集成运算放大器简称集成运放或运放, 实质上是一种集成化的直接耦合式高放大倍数的多级放大器。它是模拟集成电路中发展最快、通用性最强的一类集成电路, 广泛用于模拟电子电路各个领域。目前除高频和大功率电路之外, 凡是由晶体管组成的线性电路和部分非线性电路都能以集成运放为基础的电路来组成。

图 3-11 所示为集成运放电路图形传统符号。它有两个输入端, 一个输出端, “-”号端为反相输入端, 表示输出信号  $u_o$  与输入信号  $u_i$  的相位相反; “+”号端为同相输入端, 表示输出信号  $u_o$  与输入信号  $u_i$  的相位相同。运放通常还有电源端、外接调零端、相位补偿端、公共接地端等。集成运放的外形有圆壳式、双列直插式、扁平式、贴片式 4 种。

各种集成运放内部电路主要由四部分组成, 如图 3-12 所示。

当在集成运放的输入与输出端之间接入不同的负反馈网络时, 可以完成模拟信号的运算、处理、波形产生等不同功能。

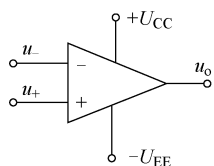


图 3-11 集成运放电路图形传统符号

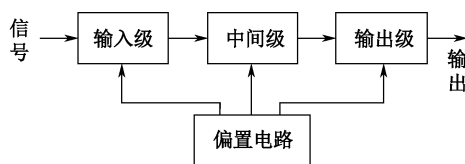


图 3-12 集成运放组成框图

## 2. 集成运放常用参数

集成运放的参数是衡量其性能优劣的标志，同时也是电路设计者选用集成运放的依据。集成运放的常用参数及其意义如表 3-11 所示。

表 3-11 集成运放的常用参数及其意义

参数名称	符号	意义
输入失调电压	$U_{io}$	输出直流电压为零时，两输入端之间所加补偿电压
输入失调电流	$I_{io}$	当输出电压为零时，两输入端偏置电流的差值
输入偏置电流	$I_{ib}$	输出直流电压为零时，两输入端偏置电流的平均值
开环电压增益	$A_{VD}$	运放工作于线性区时，其输出电压变化 $\Delta U_o$ 与差模输入电压变化 $\Delta U_i$ 的比值
共模抑制比	$K_{CMR}$	运放工作于线性区时，其差模电压增益与共模电压增益的比值
电源电压抑制比	$K_{SVR}$	运放工作于线性区时，输入失调电压随电压改变的变化率
共模输入电压范围	$U_{ICR}$	当共模输入电压增大到使运放的共模抑制比下降到正常情况的一半时所对应的共模电压值
最大差模输入电压	$U_{IDM}$	运放两个输入端所允许加的最大电压差
最大共模输入电压	$U_{ICM}$	运放的共模抑制特性显著变化时的共模输入电压
输出阻抗	$Z_o$	当运放工作于线性区时，在其输出端加信号电压，信号电压的变化量与对应的电流变化量之比
静态功耗	$P_D$	在运放的输入端无信号输入，输出端不接负载的情况下所消耗的直流功率

几种常用集成运放的电参数如表 3-12 所示，其引脚图如图 3-13 所示。

表 3-12 几种常用集成运放的电参数

参数名称	单位	参数值			
		$\mu A741$	LM324N	LM358N	LM353N
电源电压	V	$\pm 22$	3 ~ 30	3 ~ 30	3 ~ 30
电源消耗电流	mA	2.8	3	2	6.5
温度漂移	$\mu V/$	10	7	7	10
失调电压	mV	5	7	7.5	13
失调电流	nA	200	50	150	4
偏置电流	nA	500	250	500	8
输出电压	V	$\pm 10$	26	26	24
单位增益带宽	MHz	1	1	1	4
开环增益	dB	86	88	88	88
转换速率	V/ $\mu s$	0.5	0.3	0.3	13
共模电压范围	V	$\pm 24$	32	32	22
共模抑制比	dB	70	65	70	70

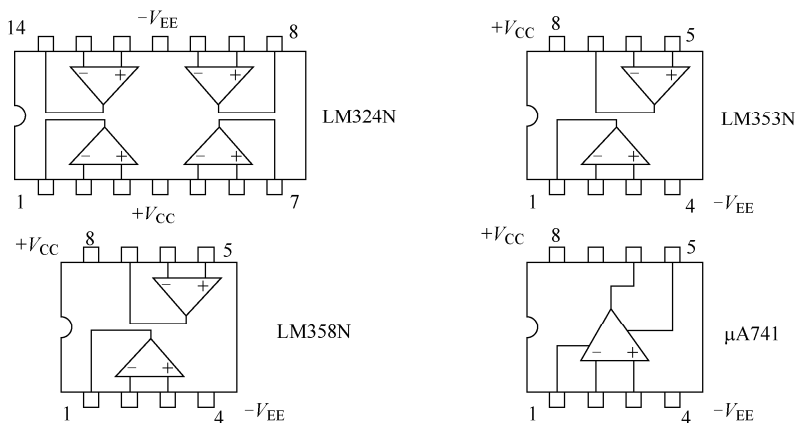


图 3-13 几种常用集成运放的引脚图

集成运放常用引出端功能符号如表 3-13 所示。

表 3-13 集成运放常用引出端功能符号

符 号	功 能	符 号	功 能
AZ	自动调零	IN <sub>-</sub>	反相输入
BI	偏置	NC	空端
BOOSTER	负载能力扩展	OA	调零
BW	带宽控制	OUT	输出
COMP	相位补偿	OSC	振荡信号
C <sub>X</sub>	外接电容	S	选编
DR	比例分频	$+V_{CC}$	正电源
GND	接地	$-V_{EE}$	负电源
IN <sub>+</sub>	同相输入		

### 3. 集成运放应用时的注意事项

选择集成运放的依据是电子电路对集成运放的技术性能要求，使用者掌握运放参数分类、参数含义及规范值，是正确选用运放的基础。选用的原则是：在满足电气性能要求的前提下，尽量选用价格低的运放。

使用时不应超过运放的极限参数，还要注意调零，必要时要加输入、输出保护电路、消除自激振荡措施等，同时尽可能提高输入阻抗。

运放电源电压典型使用值为  $\pm 15V$ ，双电源要求对称，否则会使失调电压加大，共模抑制比变差，从而影响电路性能。当采用单电源供电时，应参阅生产厂商的芯片手册。

### 3.6.3 集成稳压器

随着集成电路的发展，稳压电路也制成了集成稳压器件。由于集成稳压器具有体积小、外接线路简单、使用方便、工作可靠和通用性广等优点，因此在各种电子设备中应用十分普遍，基本上取代了由分立元件构成的稳压电路。

集成稳压器件的种类很多，应根据设备对直流电源的要求来进行选择。对于大多数电子仪器、设备和电子电路来说，通常是选用串联线性集成稳压器，而在这种类型的器件中，

又以三端式稳压器应用最为广泛。目前常用的三端集成稳压器是一种固定或可调输出电压的稳压器件，并有过流和过热保护。

### 1. 集成稳压器的基本工作原理

稳压器由取样、基准、比较放大和调整元件等部分组成。其工作过程为：取样部分把输出电压变化全部或部分取出来，送到比较放大器与基准电压相比较，并把比较误差电压放大，用来控制调整元件，使之产生相反的变化来抵消输出电压的变化，从而达到稳定输出电压的目的。

串联调整式稳压器基本电路框图如图 3-14 所示。

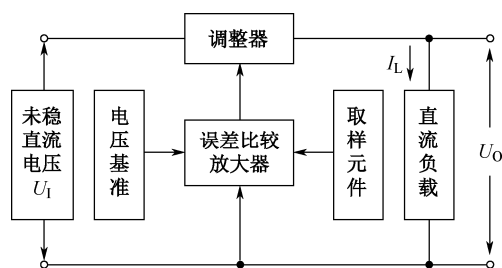


图 3-14 串联调整式稳压器基本电路框图

当输入电压  $U_1$  或负载电流  $I_L$  的变化引起输出电压  $U_O$  变化时，通过取样、误差比较放大使调整器的等效电阻  $R_S$  做相应的变化，维持  $U_O$  稳定。

图 3-15 所示为最简单的分立元件组成的串联调整稳压器电路图。显然，它的框图就是图 3-14 所示的形式。

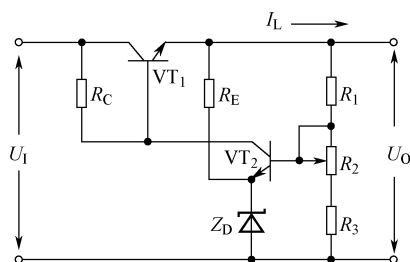


图 3-15 最简单的分立元件组成的串联调整稳压器电路图

对集成串联调整式稳压器来说，除基本的稳压电路之外，还必须有多重保护电路，通常应当有过流保护电路、调整管安全区保护电路和芯片过热保护电路。其中，过流保护电路在输出短路时起限流保护作用；调整管安全区保护电路则使调整管的工作点限定在安全工作区的曲线范围内，芯片过热保护电路使芯片温度限制在最高允许温度之下。

### 2. 集成稳压器的使用常识

#### 1) 集成稳压器的选择

选择集成稳压器的依据是使用中的指标要求，如输出电压、输出电流、电压调整率、电流调整率、纹波抑制比、输出阻抗及功耗等参数。

集成三端稳压器主要有固定式正电压 78 系列、固定式负电压 79 系列、可调式正电压

集成稳压器 117/217/317 系列及可调式负电压集成稳压器 137/237/337 系列。

表 3-14 所示为 CW78××系列部分电参数。

表 3-14 CW78××系列部分电参数

参数名称	CW7805C			CW7812C			CW7815C		
	最小	典型	最大	最小	典型	最大	最小	典型	最大
输入电压 $U_I/V$	10			19			23		
输出电压 $U_O/V$	4.75	5.0	5.25	11.4	12.0	12.5	14.4	15.0	15.6
电压调整率 $S_u/mV$		3.0	100		18	240		11	300
电流调整率 $S_i/mV$		15	100		12	240		12	300
静态工作电流 $I_D/mA$		4.2	8.0		4.3	8.0		4.4	8.0
纹波抑制比 $S_{rip}/dB$	62	78		55	71		54	70	
最小输入输出电压差 $U_I-U_O/V$		2.0	2.5		2.0	2.5		2.0	2.5
最大输出电流 $I_{omax}/A$		2.2			2.2			2.2	

CW79××系列的电参数与表 3-14 基本相同，只是输入、输出电压为负值。

### 2) 集成稳压器的封装形式

由于模拟集成电路品种目前还没有统一命名，没有标准化，因此，各个集成电路生产厂家的集成稳压器的电路代号也各不相同。固定稳压块和可调稳压块的品种型号和外形结构很多，功能引脚的定义也不同。使用时需要查阅相应厂家的器件手册。集成三端稳压器固定式和可调式常见的封装形式有 T0-3、T0-202、T0-220、T0-39 和 T0-92。

图 3-16 所示为 78 系列和 79 系列固定稳压器封装形式及引脚功能。

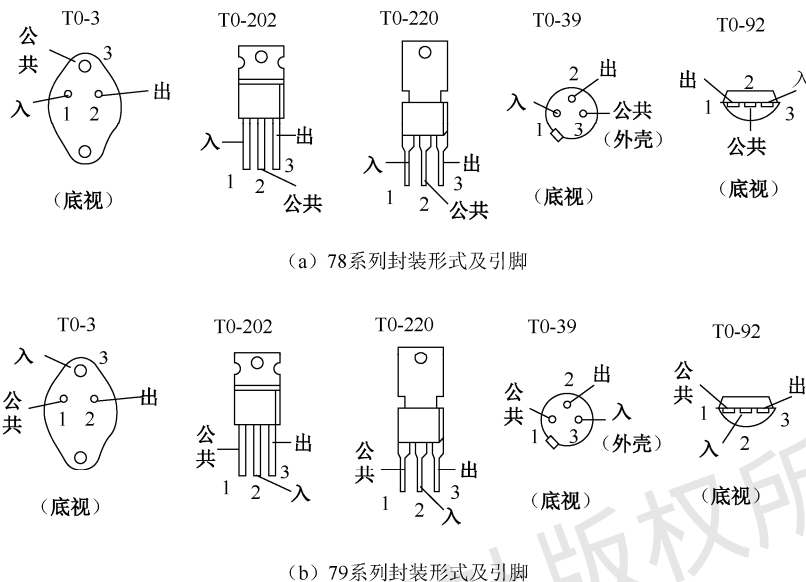


图 3-16 78 系列和 79 系列固定稳压器封装形式及引脚功能

### 3. 集成稳压器保护电路

在大多数线性集成稳压器中，一般在芯片内部都设置了输出短路保护，调整管安全工作区保护及芯片过热保护等功能，因而在使用时不需再设这类保护。但是，在某些应用中，

为确保集成稳压器可靠工作，仍要设置一些特定的保护电路。

### 1) 调整管的反偏保护

如图 3-17 (a) 所示，当稳压器输出端接入了容量较大的电容  $C$  或负载为容性时，若稳压器的输入端对地发生短路，或者当输入直流电压比输出电压跌落得更快时，由于电容  $C$  上的电压没有立即泄放，此时集成稳压器内部调整管的 B-E 结处于反向偏置，如果这一反偏电压超过 7V，调整管 B-E 结将会击穿损坏。电路中接入的二极管 VD 就是为保护调整管 B-E 结不致因反偏击穿而设置的。因为接入 VD 后，VD 上的电荷可以通过 VD 及短路的输入端放电。

### 2) 集成稳压器中放大管的反偏保护

如图 3-17 (b) 所示，电容  $C_{adj}$  是为了改善输出纹波抑制比而设置的，容量在  $10\mu\text{F}$  以上， $C_{adj}$  的上端接 adj 端，此端接到集成稳压器内部一放大管的发射极，该放大管的基极接  $U_O$  端。如果不接入二极管 VD<sub>2</sub>，则在稳压器的输出端对地发生短路时，由于  $C_{adj}$  不能立即放电而使集成稳压器内部放大管的 B-E 结处于反偏，也会引起击穿。设置二极管 VD<sub>2</sub> 后，可以使集成稳压器内部放大管的 B-E 结得到保护。

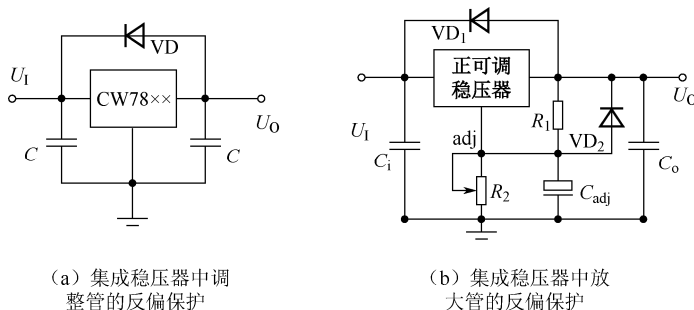


图 3-17 集成稳压器保护电路

## 3.6.4 集成功率放大器

### 1. 集成功放概述

在实用电路中，通常要求放大电路的输出级能够输出一定的功率，以驱动负载。能够向负载提供足够信号功率的电路称为功率放大电路，简称功放。集成功放广泛应用于电子设备、音响设备、通信和自动控制系统中。总之，扬声器前面必须有功放电路。一些测控系统中的控制电路部分也必须有功放电路。

集成功放的应用电路由集成功放块和一些外部阻容元件构成。

集成功放与分立元件功放相比，其优点为：体积小、重量轻、成本低、外接元件少、调试简单、使用方便；性能优越，如温度稳定性好、功耗低、电源利用率高、失真小；可靠性高，有的采用了过流、过压、过热保护，以及防交流声、软启动等技术。

集成功放的主要缺点是：输出功率受限制，过载能力较分立元件的功放电路差，原因是集成功放增益较大，易产生自激振荡，其后果轻则使功放管损耗增加，重则会烧毁功放管。

## 2. 集成功放类型

集成功放普遍采用 OTL 或 OCL 电路形式。集成功放品种较多,有单片集成功放组件和集成功率驱动器外接大功率管组成的混合功率放大电路,输出功率从几十毫瓦到几百瓦。目前可制成输出功率 1000W、电流 300A 的厚膜音频功放电路。

根据集成功放内部构成和工作原理的不同,有 OTL(无输出变压器)功率放大电路、OCL(无输出电容)功率放大电路、BTL 功率放大电路(桥式推挽功率放大电路)3 种常见类型,各种类型电路均有各种不同输出功率和不同电压增益的集成电路。在使用 OTL 电路时,应特别注意与负载电路之间要接一个大电容。

## 3. 集成功放的主要参数

### 1) 最大输出功率 $P_{\text{omax}}$

功放电路在输入信号为正弦波且输出波形不失真的状态下,负载电路可获得最大交流功率。其数值等于在电路最大不失真状态下的输出电压有效值与输出电流有效值的乘积,即

$$P_{\text{omax}} = u_o i_o$$

### 2) 转换效率 $\eta$

电路最大输出功率与直流电源提供的直流功率之比,即

$$\eta = \frac{P_{\text{omax}}}{P_E}$$

式中,  $P_E$  为功放电路电源提供的直流功率,  $P_E = I_{\text{CC}} U_{\text{CC}}$ 。

## 3.6.5 集成器件的测试

要对集成电路做出正确判断,首先要掌握该集成电路的用途、内部结构原理、主要电特性等,必要时还要分析内部电原理图。此外,如果具有各引脚对地直流电压、波形、对地正反向直流电阻值,则对正确判断提供了有利条件。然后按故障现象判断其部位,再按部位查找故障元件。有时需要多种判断方法去证明该器件是否确属损坏。一般对集成电路的检查有以下两种判断方法。

### 1. 离线判断

离线判断即不在线判断,是指集成电路未焊入印刷电路板时的判断。这种方法在没有专用仪器设备的情况下,要确定该集成电路的质量好坏是很困难的,一般情况下可用直流电阻法测量各引脚对应于接地脚间的正反向电阻值,并和完好集成电路进行比较,也可以采用替换法把可疑的集成电路插到正常设备同型号集成电路的位置上来确定其好坏。如果有条件,则可利用集成电路测试仪对主要参数进行定量检验,这样使用更有保证。

### 2. 在线判断

在线判断是指集成电路连接在印刷电路板上时的判断。在线判断是检修集成电路在电视、音响设备中最实用的方法。具体方法如下。

### 1) 电压测量法

电压测量方法主要是测出各引脚对地的直流工作电压值，然后与标称值相比较，依此来判断集成电路的好坏。用电压测量法来判断集成电路的好坏是检修中最常采用的方法之一，但要注意区别非故障性的电压误差。测量集成电路各引脚的直流工作电压时，如果遇到个别引脚的电压与原理图或维修技术资料中所标电压值不符，不要急于断定集成电路已损坏，应该先排除以下几个因素后再确定。

(1) 所提供的标称电压是否可靠，因为有一些说明书、原理图等资料上所标的数值与实际电压值有较大差别，有时甚至是错误的。此时，应多找一些有关资料进行对照，必要时分析内部原理图与外围电路再进行理论上的计算或估算来证明电压是否有误。

(2) 要区别所提供的标称电压的性质，其电压是属于哪种工作状态的电压。因为集成块的个别引脚随着注入信号的不同而明显变化，所以此时可改变波段开关的位置，再观察电压是否正常。如果后者为正常，则说明标称电压属于某种工作电压，而这种工作电压又是指在某一特定的条件下而言的，即测试的工作状态不同，所测电压也不同。

(3) 要注意由于外围电路可变元件引起的引脚电压变化。当测量出的电压与标称电压不符时可能因为个别引脚或与该引脚相关的外围电路，连接的是一个阻值可变的电位器或开关。这些电位器和开关所处的位置不同，引脚电压也会有明显不同，所以当出现某一引脚电压不符时，要考虑引脚或与该引脚相关联的电位器和开关的位置变化，可旋动或拨动开关检查引脚电压能否在标称值附近。

(4) 要防止由于测量造成的误差。由于万用表表头内阻不同或不同直流电压挡会造成误差。一般原理上所标的直流电压都以测试仪器的内阻大于  $20\text{k}\Omega/\text{V}$  进行测试的。内阻小于  $20\text{k}\Omega/\text{V}$  的万用表进行测试时，将会使被测结果低于原来所标的电压。另外，还应注意不同电压挡上所测的电压会有差别，尤其用大量程挡，读数偏差影响更显著。

(5) 当测得某一引脚电压与正常值不符时，应根据该引脚电压对集成电路正常工作有无重要影响及其他引脚电压的相应变化进行分析，才能判断集成电路的好坏。

(6) 若集成电路各引脚电压正常，则一般认为集成电路正常；若集成电路部分引脚电压异常，则应从偏离正常值最大处入手，检查外围元件有无故障，若无故障，则集成电路很可能损坏。

(7) 对于动态接收装置，如电视机，在有无信号时，集成电路各引脚电压是不同的。例如，发现引脚电压不该变化的反而变化大，应该随信号大小和可调元件不同位置而变化的反而不变化，就可确定集成电路损坏。

(8) 对于多种工作方式的装置，在不同工作方式下，集成电路各引脚电压是不同的。

以上几点就是在集成块没有故障的情况下，由于某种原因而使所测结果与标称值不同，因此总体来说，在进行集成块直流电压或直流电阻测试时要规定一个测试条件，尤其是要作为实测经验数据记录时更要注意这一点。

### 2) 在线直流电阻普测法

在线直流电阻普测法是在发现引脚电压异常后，通过测试集成电路的外围元器件好坏来判定集成电路是否损坏。由于是断电情况下测定阻值，因此比较安全，并可以在没有资料和数据且不必要了解其工作原理的情况下，对集成电路的外围电路进行在线检查，在相关的外围电路中，以快速的方法对外围元器件进行一次测量，以确定是否存在较明显的故



障。具体操作方法是：首先，选用万用表分别测量二极管和三极管的 PN 结导通电压，可以初步判断 PN 结好坏，进而可初步判断二极管或三极管好坏；其次，可对电感是否开路进行普测，正常时电感两端阻值较大，那么即可断定电感开路；最后，根据外围电路元件参数的不同，采用不同的欧姆挡测量电容和电阻，检查是否有较为明显的短路和开路性故障，从而排除由于外围电路引起个别引脚的电压变化。

### 3) 电流流向跟踪电压测量法

电流流向跟踪电压测量法是根据集成块内部电路图和外围元件所构成的电路，并参考供电电压，即主要测试点的已知电压进行各点电位的计算或估算，然后对照所测电压是否符合，来判断集成块的好坏，本方法必须具备完整的集成块内部电路图和外围电路原理图。

电子工业出版社版权所有  
盗版必究