

型封装或8引线双列式封装；若为双运算放大器，则使用8引线双列式封装；若为4运算放大器，则使用14引线双列式封装。并且，在一般情况下，引线的分配一般是通用的，如图2-3。尽管也有例外，对业余爱好者使用的运算放大器来讲，可能只会使用以上几种封装方式。因此，弄清这种引线的分布方式，将非常方便。

对单运算放大器来讲，有的产品可利用剩余的①、⑤、⑧引线进行外部相位补偿<sup>①</sup>或进行位移调整<sup>②</sup>。

#### (4) 原型和复制型产品

有的厂家制造的运算放大器其内部等效电路和特性几乎与另外厂家生产的运算放大器完全相同。将最早生产厂家的产品称为原型产品，而将此之外的厂家生产的产品称为复制型产品。复制品越多的运算放大器，说明其应用越广泛。

例如极为受用户欢迎的一种运算放大器4558，其原型厂家为Raytheon公司，RC4558或RM4558为其正式的型号名称。与此相对应，复制型具有负有盛名的RC/RV/RM/TL4558(TI)、MC4558(Motorola)、SE/NE4558(Signetics)、 $\mu$ PC4558(日电)、HA17558(日立)、TA75558(东芝)、NJM4558(新日本无线)等。从这些型号名称可以知道，大致采用了相似的编号。并且其性能也完全相同或具有几乎完全相同的性能。

#### (5) 运算放大器的互换性

互换性是指能否用其他的产品来更换某种产品。例如在

- ① 相位补偿 (Phase Compensation)：通过相位超前或滞后，以使电路稳定。
- ② 位移 (offset)：指无输入时出现的输出位移，位移的调整是指输入为零时，将输出也调为零。

某一电路中，欲使用前面所讲的Raytheon公司的RC4558，然而在不可能弄到这种产品时，不必受此限制，使用复制型4558并没有什么差别，能够获得与原型器件相同的效果。这样，复制型的数量越多，越能简便而廉价地得到这种器件，得到稳定地供货<sup>●</sup>。

在使用没有复制品的运算放大器的电路中，如果弄不到这种运算放大器怎么办呢？即使此时，也可查看数据手册，如果能弄到具有相似特性的运算放大器，则即使在性能方面有所差异，在一般情况下，也能正常使用。

如果连相似特性的运算放大器也没有时，只要没有运算

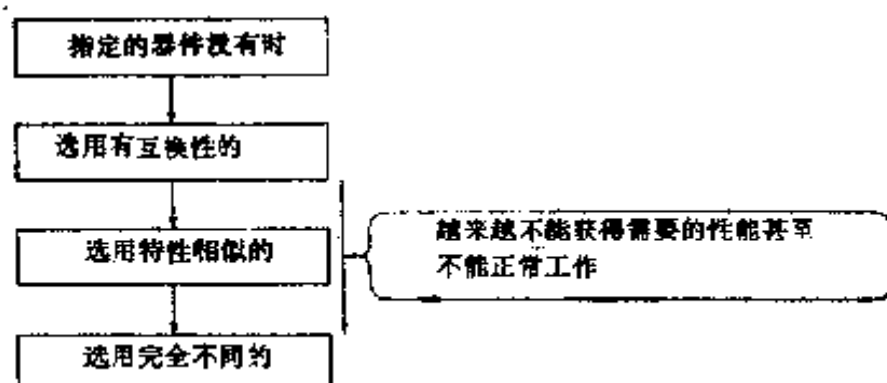


图2-4 当指定的运算放大器没有时

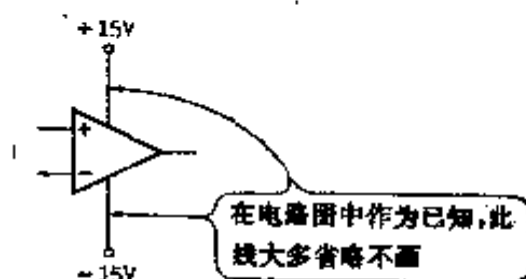


图2-5 运算放大器的电源线

● 供货(Delivery)：指元器件的供应。

放大器特性方面的特别严格的要求，也可以使用性能相当不同的运算放大器。以上情况见图2-4。

顺便指出，本书制作篇中所使用的运算放大器，即使是非指定的运算放大器，一般都能获得几乎一样的工作效果。

## (6) 电源供电方式

运算放大器的电源，如图2-5所示，一般采取  $\pm 15\text{V}$  供电。在电路图中，由于电源电压是众所周知的，为使电路图简化，一般都将此电源线省略掉了。

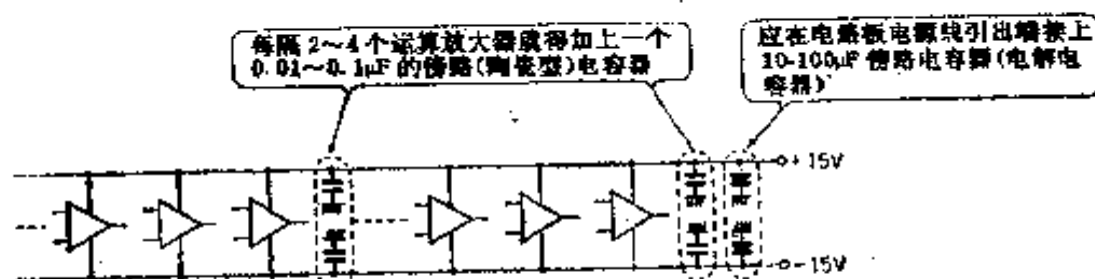


图2-6 旁路电容器的连接方式

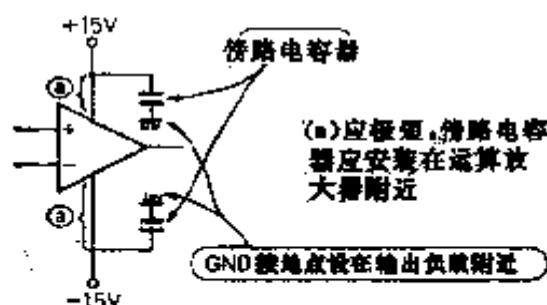
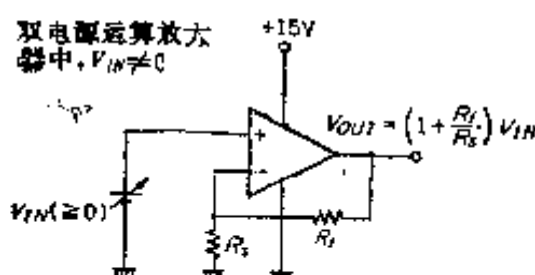


图2-7 旁路电容器的分布

在实际布线时，由于存在着印制电路线路铜箔阻抗的影响，所以必须接入旁路电容器。如图2-6所示，每 2 ~ 4 个运算放大器就得加接一个高频旁路电容器（陶瓷型， $0.01 \sim 0.1\mu\text{F}$ ）及在电源线的连接处也要接入一个电解电容器（ $10 \sim 100\mu\text{F}$ ）。当其所处理的频率较高时（大约  $100\text{kHz}$  以上），每一



超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

图2-8 单电源运算放大器的应用

个运算放大器处，接入一个旁路电容器。此时，如图2-7所示，旁路电容器的安装必须尽量靠近运算放大器的电源端。

运算放大器的电源电压一般为 $\pm 15\text{V}$ ，实际上，在稍低的电压下也能工作。多数情况下，在 $\pm 10\text{V}$ 时就可正常工作，有的产品即使在 $+5\text{V}$ 以下也能正常工作。

并且，如果能稳定地提供偏压，即使采取单电源供电也能工作，而如果使用单电源运算放大器时，如图2-8所示，能制作采用单电源，在 $V_{IN}=0\text{V}$ 下能正常工作的电路。当然，将单电源运算放大器工作在双电源下，是允许的。

## 2.2 运算放大器的基本工作原理

### (1) 理想运算放大器的工作原理

关于运算放大器的概念，前面虽然已经介绍过了，这里再稍微详细地介绍一下。

由于运算放大器的增益①极高，所以不能在两输入端子之间加上输入信号，而一定要用作反馈放大器②。这种运算

- ① 增益(Gain)：输出信号大小与输入信号大小之比，称为增益，也称为放大率、放大倍数。
- ② 反馈放大器(Feedback Amplifier)：指从输出端向前一级加以负反馈的放大器。处理音频以下频率的放大器，除特殊情况之外，均为反馈放大器。

放大器基本上可分为图2-9所示的非倒相放大电路和图2-10所示的倒相放大电路两类。

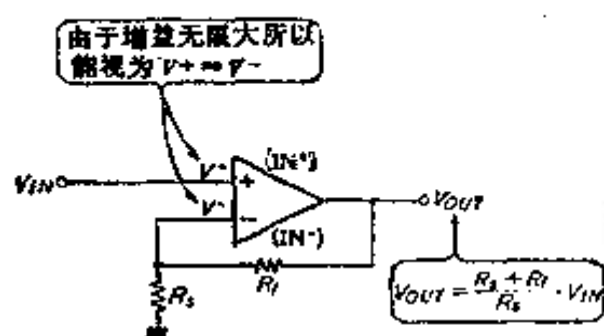


图2-9 非倒相放大电路

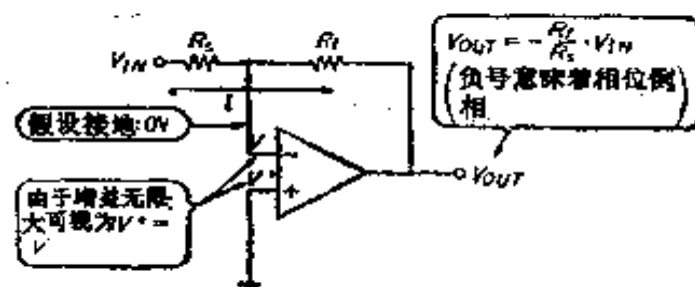


图2-10 倒相放大电路

### (a) 非倒相放大电路

首先，我们来讨论非倒相放大电路。设 $IN^+$ 端和 $IN^-$ 端的电压分别为 $V^+$ 和 $V^-$ ，并认为运算放大器的增益为无限大，则为要获得有限的输出电压，则 $V^+ = V^-$ 。这点则是运算放大器工作中的一大特征。在此前提下，分析电路工作就能变得十分简单。根据此特征，输入与输出的关系为：

$$(V^+ =) V_{IN} = \frac{R_S}{R_f + R_S} \cdot V_{OUT} (=V^-)$$

$$V_{OUT} = \frac{R_f + R_S}{R_S} \cdot V_{IN}$$

### (b) 倒相放大电路

下面我们来分析倒相放大电路。 $V^+ = V^-$ ，这点是与非

倒相放大电路情况相同的, 所以 $V^- = 0V$ 。这样, 尽管有输入信号, 然而 $IN^-$ 端子处为 $0V$ 。恰似接地, 所以被叫做假想接地。于是, 若讨论流经 $R_s$ 、 $R_f$ 的电流 $I$ , 则由于运算放大器的输入电流为 $0$ , 则

$$I = \frac{V_{IN}}{R_s} = -\frac{V_{OUT}}{R_f}$$

据此, 可得出输入与输出的关系

$$V_{OUT} = -\frac{R_f}{R_s} \cdot V_{IN}$$

可见, 非倒相放大电路和倒相放大电路, 是从对应于输入, 其输出是否倒向这一事实出发而得名的。

超星浏览器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

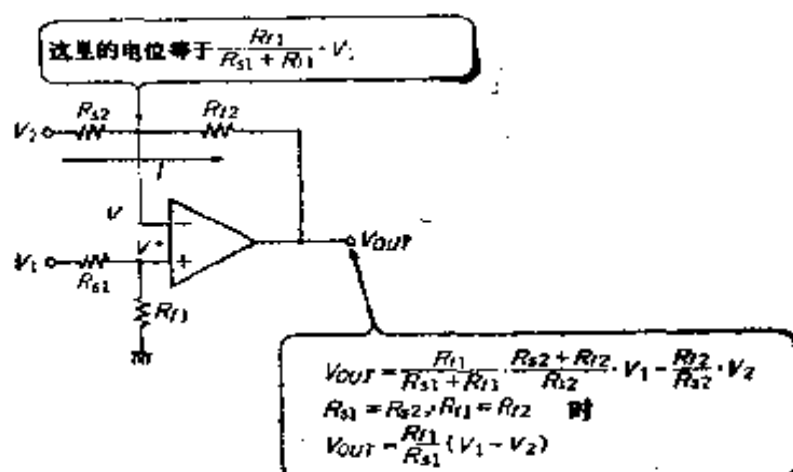


图2-11 差分放大电路

### (c) 差分放大电路

如图2-11所示, 可将两个这种放大电路组合成差分放大电路。 $IN^+$ 端的电压 $V^+$ 由 $R_{s1}$ 和 $R_{f1}$ 分压而得

$$V^+ = \frac{R_{s1}}{R_{s1} + R_{f1}} \cdot V_1 (= V^-)$$

流经 $R_{s2}$ 和 $R_{f2}$ 的电流 $I$ 为

$$I = \frac{V_2 - V^-}{R_{s2}} = \frac{V^- - V_{OUT}}{R_{f2}}$$

由上述两式可得

$$V_{OUT} = \frac{R_{f1}}{R_{s1} + R_{f1}} \cdot \frac{R_{s2} + R_{f2}}{R_{s2}} \cdot V_1 - \frac{R_{f2}}{R_{s2}} \cdot V_2$$

其中, 如设  $R_{s1} = R_{s2}$ ,  $R_{f1} = R_{f2}$ , 则

$$V_{OUT} = \frac{R_{f1}}{R_{s1}} \cdot (V_1 - V_2)$$

即差分放大器能够获得与  $V_1$  和  $V_2$  之差成正比的输出。

## (2) 实际的运算放大器

以上所述均是理想的运算放大器的情况。实际上, 运算放大器的增益不可能无限大, 有电流向  $IN^+$ 、 $IN^-$  端子流入 (或流出), 并且其电流不一定相等。即使是在无信号时,  $V^+$ 、 $V^-$  之间也有一定的电压。

### (a) 输入偏置电流 ( $I_B$ ) 的影响

如果运算放大器的输入级由晶体管构成, 要使电路能正常工作, 应有偏置电流 (基极电流) 流过。该输入偏置电流流经反馈电阻时, 会产生压降, 从而造成输出误差。

在图2-12电路中, 尽管无输入, 但是在输出端也会出现位移电压  $V_{OFFSET}$ 。此  $V_{OFFSET}$  为:

$$V_{OFFSET} = I_B^- \cdot R_f - \left( 1 + \frac{R_f}{R_s} \right) \cdot R_c \cdot I_B^+$$

由于  $I_B^- \approx I_B^+$ , 设  $R_c = R_s // R_f$  ( $R_s$  与  $R_f$  并联的值), 则  $V_{OFFSET} = 0$ , 输入偏流的影响消失。并且, 采取  $C$  耦合, 将电容器与  $R_s$  串联时, 若设  $R_c = R_f$ , 则  $V_{OFFSET} = 0$ 。

对于采用场效应管构成输入级的运算放大器, 由于输入偏流几乎可以忽略不计, 不必产生过去的顾虑。但是, 对于采用场效应管输入的运算放大器来讲, 如果温度上升  $10^\circ\text{C}$ ,

则输入偏流将增高两倍, 因此, 这种运算放大器必须避免在高温情况下使用。

### (b) 输入位移电流( $I_{I0}$ )的影响

在前项中, 设 $IN^+$ 端、 $IN^-$ 端的输入偏流 $I_B^+$ 、 $I_B^-$ 相等, 但实际上二者之间多少有些不同,  $I_B^+$ 与 $I_B^-$ 之差被叫做输入位移电流。

当设定常数, 而使输入偏流不致产生影响时, 因输入位

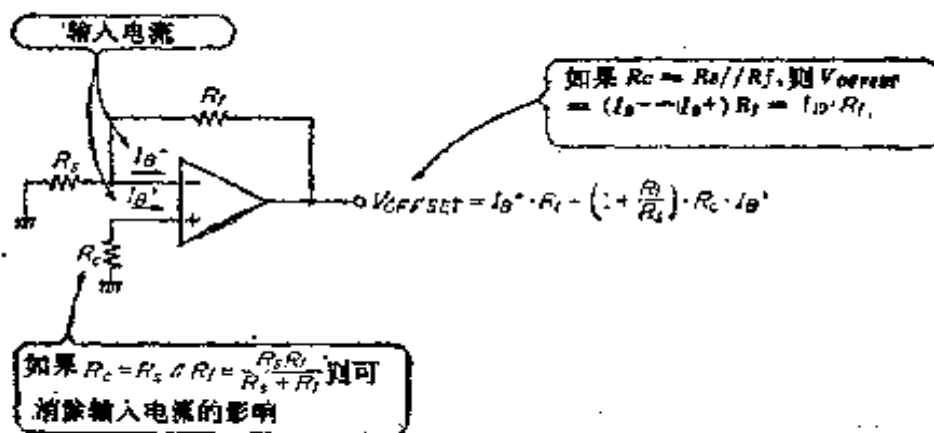


图2-12 输入偏流、输入位移电流的影响

移电流 $I_{I0}$ 所造成的输出位移电压 $V_{offset}$ 为:

$$V_{offset} \approx I_{I0} \cdot R_f$$

它与 $R_s$ 和 $R_c$ 无关, 于是对于通用双极型输入运算放大器来讲,  $R_f$ 的上限值为100k $\Omega$ , 希望 $R_f$ 值更大时, 应使用场效应管输入运算放大器。

### (c) 输入位移电压( $V_{I0}$ )的影响

在造成输出误差的原因中, 有输入偏流, 输入位移电流, 还有输入位移电压。

如图2-13所示, 虽然没有信号, 然而工作时宛如在输入端加上了 $V_{I0}$ 的电压。因此, 在输出端出现了增益倍数的 $V_{I0}$ 电压。这与输入偏流和输入位移电流不同, 不能通过电阻值

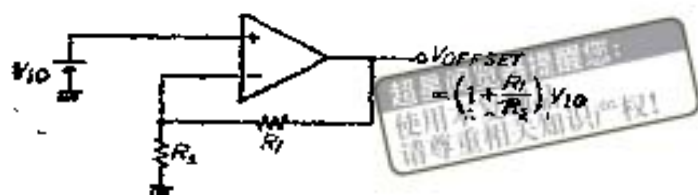


图2-13 输入位移电压的影响

的设定来减小其影响。

因此，对单运算放大器来讲，一般具有偏位移电压调节端子，如图2-14所示，接入可变电阻，可以将位移调整为0。

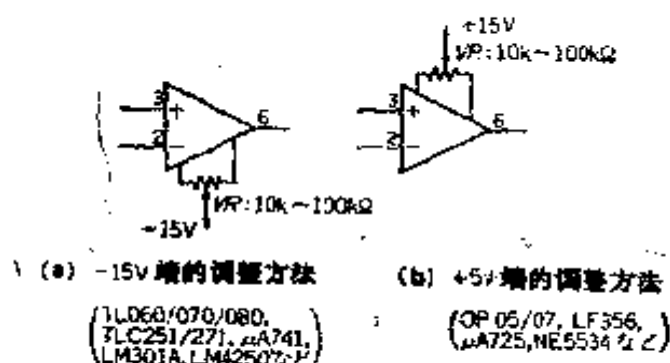


图2-14 单运算放大器的位移电压调整方法

### (3) 参数的设定

现在来分析图2-15所示的非倒相放大电路。以此电路制作增益10(20dB)的放大电路时，增益 $A_v$ 为：

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_s}$$

因此， $A_v$ 与 $R_s$ 、 $R_f$ 的绝对值无关，可由其比值决定。

(a) 当反馈电阻过小时

现设 $R_s = 1\Omega$ 、 $R_f = 9\Omega$ ，计算出 $A_v = 10$ 。那么在实际使用运算放大器，采用上述电阻值时，看看是否能获得增益为10的放大电路。

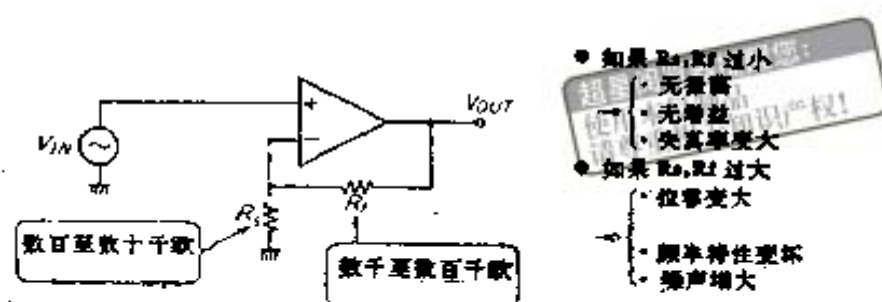


图2-15 反馈电阻的范围

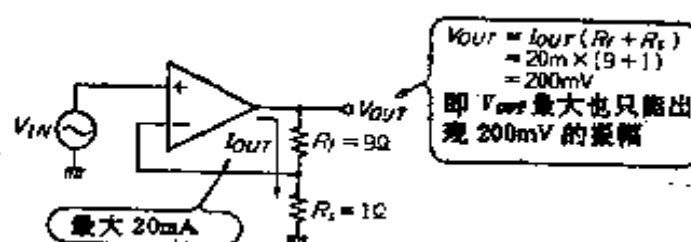


图2-16 反馈电阻过小时

回答是否定的。其原因在于，对于运算放大器来说， $R_s + R_f$  是负载，若  $V_{OUT}$  出现振幅，则与此相对应的电流将流经  $R_s$ 、 $R_f$ 。一般的运算放大器的输出电流不超过 20mA。若按此计算， $V_{OUT}$  仅会出现振幅为 200mV 左右的信号 (图2-16)。

并且，由于开环增益与负载电阻成正比，则开环增益大大下降，不仅得不到必要的增益 (这里为 10)，而且失真率也大大增加。

### (b) 反馈电阻过大时

那么设  $R_s = 1\text{M}\Omega$ 、 $R_f = 9\text{M}\Omega$ ，情况又将如何呢？这样一来，前述情况不存在了。此时，无论增益，还是振幅均可获得需要的数值。

然而，现在又会出现其他的问题。流经  $IN^-$  端子的输入偏流的影响不能完全忽略不计， $V_{OUT}$  出现输出位移，最坏

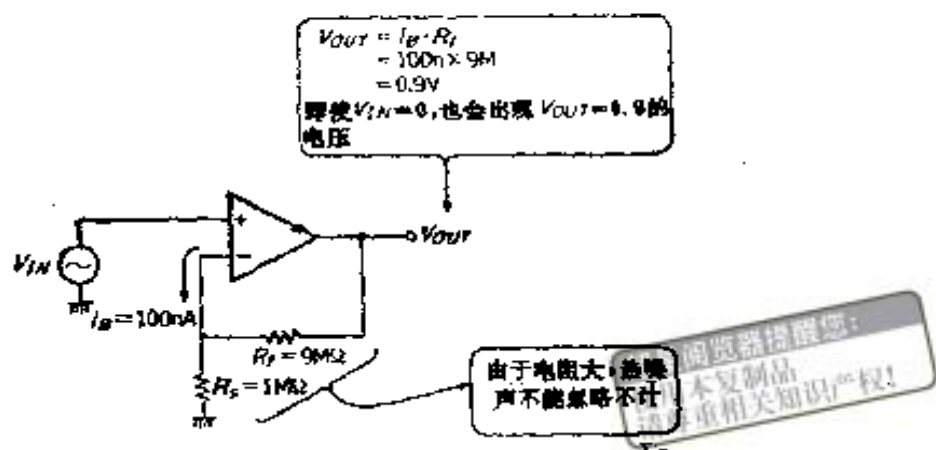


图2-17 反馈电阻过大时

情况下输出将出现饱和现象❶ (图2-17)。

寄生电容的影响也不能忽视, 当信号频率增高时, 增益将失常, 电阻引起的热噪声❷的影响增加, 输出噪声会增大。

### (c) 反馈电阻适当的范围

如上所述,  $R_s$ 、 $R_f$ 的值存在着一个适当的区域, 这个区域通常为几百欧至几百千欧。通常, 选取  $R_s + R_f$  为几千欧至几十千欧 (图2-15)。

这一阻值范围不仅适用于非倒相放大电路, 而且对于倒相放大电路或差分放大电路也是适用的。但是, 在这种情况下, 从输出端到  $IN^-$  端之间的反馈电阻值 (图2-10的  $R_f$ 、图2-11中的  $R_{f2}$ ) 应在几千欧以上。

- ❶ 饱和 (Saturation): 指电路工作超出线性区域, 即使有输入, 其输出已经不再随输入而成比例地变化。此时, 输出电压接近  $V_{cc}$  或  $V_{EE}$ 。
- ❷ 热噪声 (Thermal Noise): 指即使电阻器上没有电流流过, 在电阻器上所发生的噪声。

$$V_N = \sqrt{4kT \Delta f R} \quad (V_{\text{rms}})$$

$k$ : 玻尔兹曼常数 ( $1.38 \times 10^{-23}$ )

$T$ : 绝对温度 (K)

$\Delta f$ : 噪声频谱 (Hz)

$R$ : 电阻 ( $\Omega$ )

成分为白噪声 (频谱范围内噪声不变)。

# 第三章 晶体管和晶体二极管的使用方法

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

即使采用运算放大器，也能进行模拟电路的设计，然而从发展的眼光来看是不足的。若离开分立器件晶体管和晶体二极管，仍然是无法讨论模拟电路的。

本章将简要地从电性能及其他方面来讨论晶体管和晶体二极管。

## 3.1 晶体管的种类及外形

### (1) 晶体管的种类

晶体管的种类有几十种或更多，而且还在继续增加。就其工作原理而言，无论何种晶体管均是相同的。然而，之所以会有上述那么多的品种，其原因在于按照不同的用途，其性能和外形各异。并且随着电子技术的发展，晶体管的性能和可靠性等指标还在不断提高，成本在下降。

若按用途的不同分类，晶体管大致可分为：

- ① 通用型晶体管
- ② 低频小功率放大管
- ③ 低频大功率放大管
- ④ 高频小功率放大管
- ⑤ 高频大功率放大管
- ⑥ 小功率开关管

## ⑦ 大功率开关管

但是, 这些晶体管之间的界限并不一定十分明确, 所以存在着如何划分其界限的问题, 并且, 有的晶体管一只管子具有几种功能。

### ① 通用型晶体管

是指一般用途的晶体管, 价格也最便宜, 但不能适应特殊的使用要求。换言之, 这种通用晶体管在性能方面无法满足特殊性能需要。

### ② 低频小功率和大功率放大晶体管

主要是指用以放大从直流到音频带<sup>①</sup>信号的晶体管。现在的低频管多数也能使 $f_T$ <sup>②</sup>达到100MHz以上。在小功率放大用晶体管中, 有噪声特别小的低噪声晶体管。

### ③ 高频小功率和大功率放大用晶体管

这种管子是用来放大高频信号的。若为小功率放大管, 它的 $f_T$ 可从几百兆赫到几千兆赫。若为大功率放大器, 则在所规定的频率下, 能获得几瓦的输出。主要用于频率在几百千赫至几兆赫以上高频信号的功率放大。

### ④ 小功率和大功率开关晶体管

规定晶体管“开关”动作所用的时间(上升时间<sup>③</sup> $t_r$ 、下降时间<sup>④</sup> $t_f$ 、存贮时间<sup>⑤</sup> $t_{r,s}$ )和减小饱和电压<sup>⑥</sup>, 是这类晶

① 音频带: 指人耳可以听见的频带, 大致为20~20kHz。

②  $f_T$  (Transition Frequency): 指 $h_{fe} = 1$ , 即基极电流变化与集电极电流变化量相等时的频率。

③ 上升时间(Rise Time)、下降时间(Fall Time)、存贮时间(Stage Time): 在基极上加上理想化的脉冲电流时, 与此对应, 集电极电流也将变化, 此时的集电极电流上升所需的时间, 下降时所需的时间, 以及从基极电流消失到集电极电流开始下降各自的时间。

④ 饱和电压(Saturation Voltage): 指管子饱和状态下, 集电极与发射极之间的残留电压。详见后述(2.2晶体管的基本工作)。

晶体管的特点。大多数这类管子不给出 $f_T$ 参数值。

### (2) 晶体管封装



比，其外壳的种类要多得多。这的外壳，参见照片3-1至照片3-4。三极管有5~6条腿；还有的完全不同。

照片3-1的TO-92型是最一般的形状，在制作篇的叙述中也指出这种外形的晶体管是使用最多的。通用晶体管和小功率放大用晶体管采用这种外形的是相当多的。

照片3-2为片状管，其特征在于尺寸非常小，而且为适

应表面安装技术的需要，采取无引线结构。对于最近发展起来的高密度组装产品(摄像机、耳机或立体声音响等)可说是必须使用的。但是，对业余爱好者来讲，由于尺寸太小，又没有引线，使用不便，因此，本书中根本不使用这种管子。

照片3-3的TO-220型外形多用于集电极功耗<sup>②</sup>为几瓦至60瓦的功率管。必须带散热器使用，在散热片上开有安装孔。

照片3-4的TO-3型为集电极功耗在40~200W的功率管所使用的外壳。带有\*号的是管壳型，曾经以这种管壳式为主流产品，然而，由于制造成本和安装方面的困难，现在以模塑型为主流产品了。

图3-1为各种外壳引线的分布图。TO-92型产品将打有标志的一面朝向自己，几乎都是从左开始为发射极、集电极和基极。

大部分TO-220、TO-3(塑封)型管子都是与TO-92型相反，将打有标志的一面朝向自己，从右数起为发射极、集电极和基极。但是这里应注意，安装在散热器上的片状部分是与集电极相连的。因此，在将管子安装在散热器上时，必须

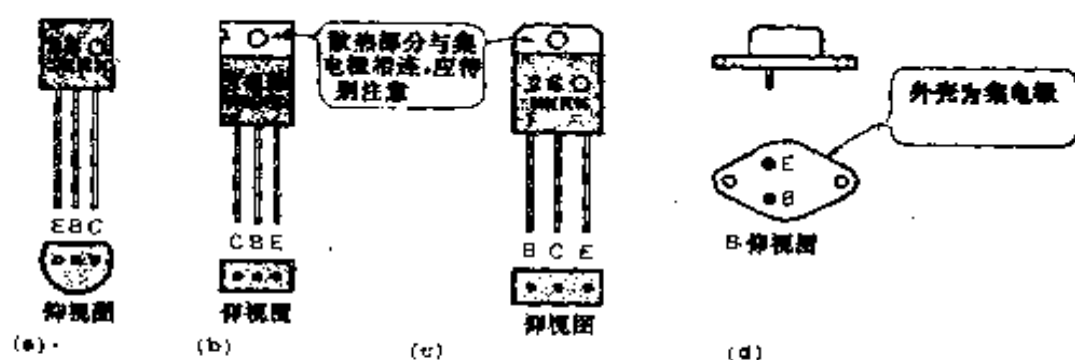


图3-1 各种外壳的引线分布

② 集电极功耗 (Collector Dissipation): 指晶体管所耗散的功率 ( $V_{CE} \times I_C$ )。这里指结温25℃时的最大值。

进行绝缘处理。

TO-3(管壳)型产品如图所示,这类产品如无特别的要求,其集电极端子亦为金属外壳。

上面所讲的情况对于绝大部分晶体管均适合。然而,有的管子具有与之完全不同的形状和引线分布。因此,在实际使用时,应该弄清各种管子的引线分布情况。

### (3) 晶体管的互换性

超星阅读器提醒您：  
使用本复制品  
请尊重相关知识产权！

在其种类要比运算放大器多得多的晶体管中,弄不到所需要的管子的情况要比运算放大器为多。由于用途方面的原因,有时是不能相互替换的。最简单的方法是查阅最新版本的晶体管互换表。

必须知道的是,互换表中所指出的,仅限于最大额定值<sup>①</sup>、电性能等几乎所有的指标均有互换性的产品。而在实际应用时,多数情况下只要一部分参数有互换性也就可以了。

在最大额定值方面,多数情况下,只要管子具有超出需要值的一定余量即可。此时,可以用以替换额定值低的晶体管。对管子的最大额定值的要求是,与实际应用电路中的最大值相比,管子的电压、电流额定值应高20%;功率额定值应有两倍的余量。

表3-1是管子的性能参数。对原来使用的晶体管来说,新管子的特性参数须满足该表中所列出的条件。其实有时即使没有一个参数能满足条件,也能正常地工作,该表只能是一个大致的参考。

<sup>①</sup> 最大额定值:指晶体管上所加的电压、电流、功率及温度的最大值。在这些额定的条件中,不能同时满足两个以上。

表3-1 选择有互换性晶体管之前的注意事项

| 与原晶体管的比较 | 特性项目                                              |
|----------|---------------------------------------------------|
| 相同       | $f_T, C_{oe}$                                     |
| 相同或更高    | $\beta_{FZ}$                                      |
| 相同或更低    | $V_{CEsat}, NF, I_{ceo}$<br>$I_{cm}, I_{om}, I_f$ |

## 3.2 晶体管的基本工作原理

### (1) 基极电压、电流与集电极电流的关系

为了了解晶体管的基本工作原理，现在讨论图3-2所示电路。

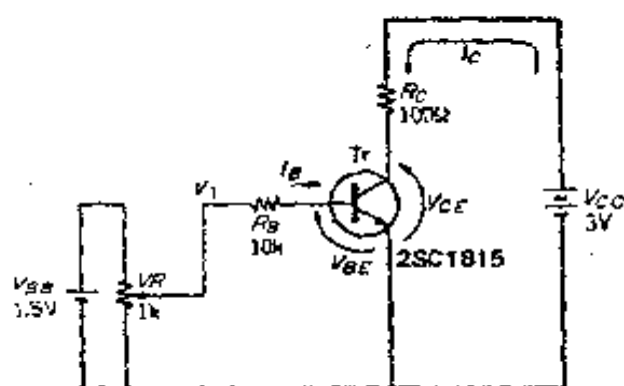


图3-2 分析晶体管  $V_{BE} - I_C$  特性的电路

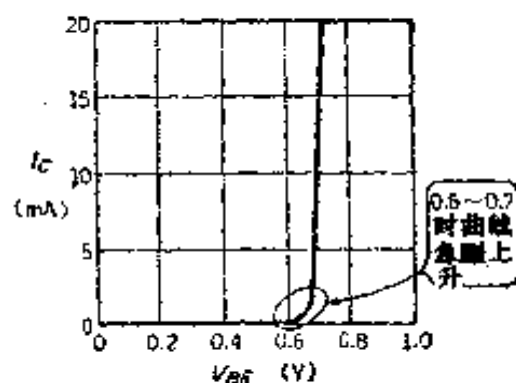


图3-3 晶体管的  $V_{BE} - I_C$  特性

①  $V_{BE}$  与  $I_C$  的关系：开始时，将可变电阻器旋转到最低位置， $V_{BE} = 0V$ 。从此状态开始逐渐旋转可变电阻，使  $V_{BE}$  增大，于是来讨论流经晶体管的电流  $I_C$  如何变化。

图3-3是  $V_{BE}$  与  $I_C$  的关系。由此可见，在  $0.6 \sim 0.7V$  处，

$I_C$ 将开始急剧变化, 如果 $V_{BE}$ 稍微增大一点, 就会招致 $I_C$ 大幅度地上升(若 $V_{BE}$ 增加18mV, 则 $I_C$ 将增大两倍)。

如果要使 $I_C$ 仅仅保持适当的数值, 则必须使 $V_{BE}$ 维持在0.6~0.7V左右。

图3-4是可变电阻器的旋转角与各部分电压、电流值之间的关系。可变电阻器的抽头电压 $V_1$ 为与转角成正比的电压。然而,  $V_{BE}$ 不会比0.7V大多少。假如将 $V_{BE}=1.5V$ 的电压直接接到晶体管的基极上, 则 $V_{BE}$ 当然也就是1.5V。这样一来, 晶体管会立即被损坏, 所以这是绝不能允许的。即使是像功率管那样的承受能力强的晶体管, 上述规则也是适用的。

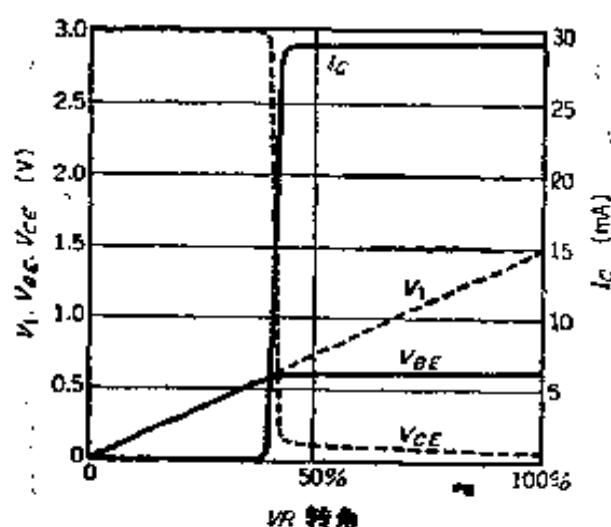


图3-4 各部分电压/电流与可变电阻转角的关系

随着 $I_C$ 的增加,  $R_C$ 上的压降变大, 于是 $V_{CE}$ 将减小。如果 $V_{CE}$ 降到0.1V时,  $I_C$ 将不可能再上升。晶体管的这种状态被称为饱和状态, 将有 $I_C$ 存在, 但未进入饱和的情况称为主动状态。

②  $I_B$ 与 $I_C$ 的关系: 下面, 以下式来表示 $I_B$ 与 $I_C$ 的关系:

$$I_C = h_{FE} \cdot I_B$$

若将 $I_B$ 看成是输入电流， $I_C$ 为输出电流，则 $h_{FE}$ 可看成是放大率，将 $h_{FE}$ 叫作(发射极接地)电流放大系数。

$h_{FE}$ 的数值在几十至几千范围内。只要不是极微弱的小电流或大电流(如对2SC1815来讲，约 $10\mu A$ 以下，和 $100mA$ 以上)，则即使 $I_C$ 变化， $h_{FE}$ 也不会怎么变化。

然而，如果晶体管进入饱和区，则 $h_{FE}$ 将会急剧变小，小到10以下或者1以下。于是，当其使晶体管进行线性工作时，只能应用主动区而不能进入饱和区。

## (2) 放大电路的基本形式

上面我们讨论了直流静态特性，下面再来看放大电路的情况。基本的放大电路分为发射极接地、集电极接地和基极接地三类。可以说，不管是多么复杂的放大电路，信号系统均是由这三类电路组合而成的。这里仅介绍发射极接地和集电极接地电路，由于基极接地电路并不像其他两种电路那样普遍使用，所以以后有机会再来讨论。

① **发射极接地电路：**发射极接地电路是使用得最多的形式，基本电路如图3-5所示。也经常使用在发射极电阻 $R_E$ 上并联电容器 $C_E$ ，使发射极进行交流接地的方法，发射极接地的名字就是由此而获得的。

输入与输出的关系可用下式表示：

$$V_{OUT} = - \frac{R_C}{r_e + R_E} V_{IN}$$

如果使用 $C_E$ ，则对交流而言， $R_E = 0$ ，于是增益 $A_v$ 可以自由大约在 $0 \sim 1000$ 倍之间选定。假如，使用 $C_E$ ，设 $R_E = 0$ ， $R_C = 2.6k\Omega$ ， $I_E = 1mA$ ，则 $A_v$ 变成100倍(40dB)。

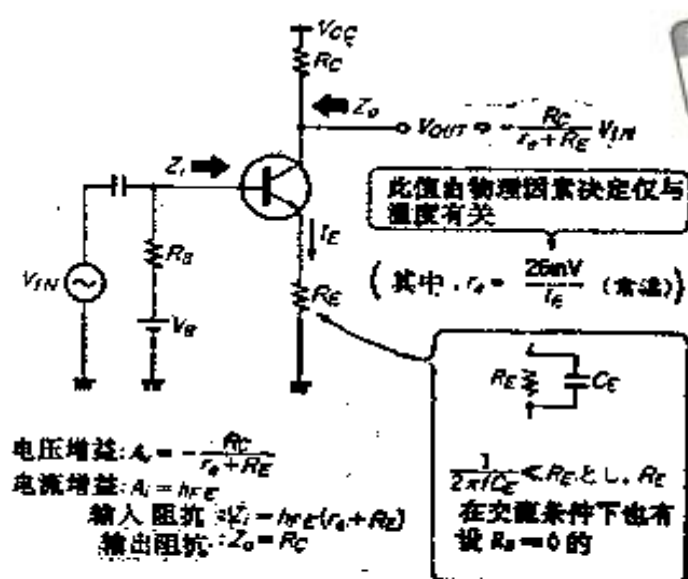


图3-5 发射极接地电路

发射极接地电路的特点在于能够简单地获得高增益。然而，被放大后的信号是以倒相方式出现在集电极上的，由于集电极与基极之间的电容量造成密勒效应的影响，其频率特性不如其他电路。究竟有多大程度的影响？这将取决于增益  $A_v$ ，高频区的截止频率为  $1/A_v$ 。

② **集电极接地电路：**仅次于发射极接地电路而大量应用的是集电极接地电路，通常称为射极跟随器。基本电路形式见图3-6。由于集电极对交流接地，因此得名。

电压增益约为 1，输入与输出的波形相同。此外，这种电路的特点在于，输入阻抗  $Z_i$  高，输出阻抗  $Z_o$  低，例如若设  $R_B = 10\text{k}\Omega$ ， $I_E = 5\text{mA}$ ， $h_{FE} = 200$ ，则输入阻抗为  $2\text{M}\Omega$ ，输出阻抗为  $5.2\Omega$ 。但是，从实际的信号源一方所观察到的阻抗为  $Z_i // R_B$ ，由于  $R_B$  的影响大，所以在基极电流所造成的电压下降所允许的范围内， $R_B$  必须尽量大。