

第 7 章 汽车常用电子电路

知识目标

- ☆ 了解汽车常用电子电路的结构；
- ☆ 了解汽车常用电子电路的工作特性；
- ☆ 了解汽车常用电路的基本原理；
- ☆ 掌握汽车电子电路在实际运用中的分析方法。

技能目标

- ☆ 能解决基本放大电路的连接问题；
- ☆ 会分析基本放大电路的工作状况。

电子电路都需要稳定的直流电源,除少数情况下用电池外,一般都是采用由交流电网供电,经变压、整流、滤波、稳压后获得。

如图 7-1 所示,电子电路获得稳定的直流电源工作过程如下:

- (1)利用变压器将交流电网电压变为所需要的交流电压。
- (2)经过整流电路,把大小和方向都随时间变化的交流电变为脉动的直流电。
- (3)再经过滤波电路,滤除脉动直流电中的交流成分,输出平滑的直流电。

(4)当电网电压波动或负载变化引起输出的直流电压变化时,通过稳压电路的自动调整使输出电压维持平稳。

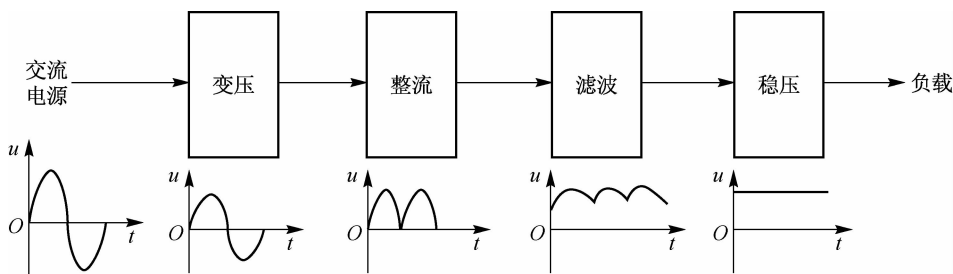


图 7-1 获得直流稳压电源原理框图

在电子技术应用过程中,往往需要对微弱的小信号进行放大处理,以便有效地进行观测、控制,而三极管构成的放大电路是实现这一功能的重要组成部分。例如,收音机和电视机,从天线接收到的声音和图像信号很微弱,只有通过放大电路放大后,才能推动扬声器和显示器工作。同样,在汽车电子控制系统中,一些检测到的信号也需要放大后才能进行测量和执行控制。

7.1 整流电路

将交流电转换为直流电称为整流。根据所用交流电源的相数不同,整流电路可分为单相整流电路和三相整流电路等。一般的直流电源常采用单相整流电路;较大容量的直流电源则采用三相整流电路。

7.1.1 单相半波整流电路

半波整流是指交流输入电压信号只有在正半周期或负半周期时才有输出,即输出波形只是输入波形的一半。

只要在单相交流电路中串联一只整流二极管,利用它的单向导电性,使交流电压为正半周期时电路导通,负半周期时电路截止,如图 7-2(a)所示,就可以得到单一方向的直流电流,这个直流电流是半波脉动电流,如图 7-2(b)所示。

假定整流二极管是理想元件,即不计其死区电压、正向压降和反向电流,可以画出电路各部分的电流、电压波形如图 7-2(b)所示。

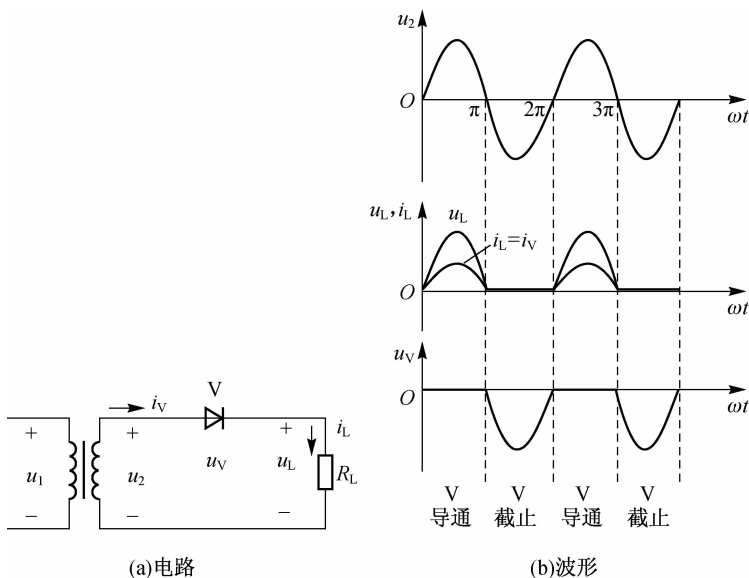


图 7-2 单相半波整流电路及波形

电源变压器也称为整流变压器,假设它的副边输出电压有效值为 U_2 ,则有

$$u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$$

负载两端的电压为半波脉动直流电压 u_L ,其平均值为

$$\begin{aligned} U_L &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t) \\ &= \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 \end{aligned}$$

$$\approx 0.45U_2 \quad (7-1)$$

负载中的电流是半波脉动直流电流 i_L ，其平均值为

$$I_L = \frac{U_L}{R_L} \quad (7-2)$$

整流二极管中的电流 $i_V = i_L$ ，其平均值为

$$I_V = I_L$$

二极管在截止的半个周期承受反向电压，其最大值为

$$U_{\text{DRM}} = \sqrt{2}U_2 \quad (7-3)$$



提示

单相半波整流电路使用元件少，电路简单，但输出直流电压小且波动大，电源利用率很低。一般只适用于小电流及对脉动要求不高的地方。

7.1.2 单相桥式整流电路

1. 电路组成

单相桥式整流电路如图 7-3 所示，它由四只整流二极管接成电桥形式，其中两个共阴极组二极管的阴极接负载 R_L 的一端，为输出直流电的正极。另两个共阳极组二极管的阳极接负载 R_L 的另一端，为输出直流电的负极。两个二极管阳极和阴极相连的端子接整流变压器的次级绕组。

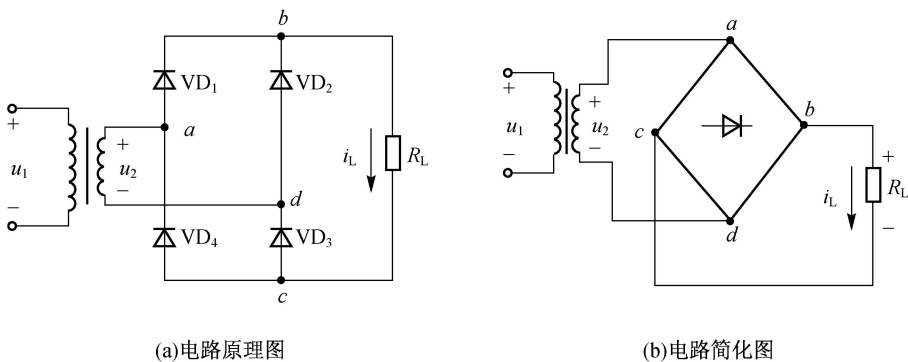


图 7-3 单相桥式整流电路

当有一只二极管断开时，整流电路输出会减半；如果有一只二极管反接时，会引起短路，烧坏元器件。

2. 工作原理

设整流变压器次级绕组电压为 $u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$ 。当 u_2 为正半周时， VD_1 、 VD_3 导通， VD_2 、 VD_4 截止，电流经 $VD_1 \rightarrow R_L \rightarrow VD_3$ 形成回路， R_L 上输出电压波形与 u_2 的正半周波形相同，电流 i_L 从 b 流向 c 。

当 u_2 为负半周时， VD_2 、 VD_4 导通， VD_1 、 VD_3 截止，电流经 $VD_2 \rightarrow R_L \rightarrow VD_4$ 形成回路， R_L 上输出电压波形与 u_2 的负半周波形相反，电流 i_L 仍从 b 流向 c 。所以无论 u_2 为正半周还是负半周，流过 R_L 的电流方向是一致的。

单相桥式整流电路的输出波形如图 7-4 所示。

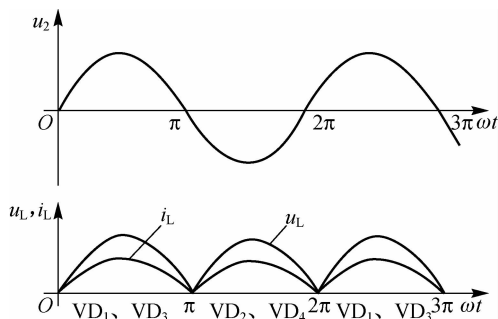


图 7-4 单相桥式整流电路输出波形

3. 参数估算

单相桥式整流电路输出直流电压 U_L 为 u_2 在交流电压一个周期内的平均值。由图 7-4 可知

$$U_L = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2}{\pi} \sqrt{2} U_2 = 0.9 U_2 \quad (7-4)$$

式中, U_2 为整流变压器次级绕组电压有效值。

负载上的直流电流 I_L 为

$$I_L = \frac{U_L}{R_L} = 0.9 \frac{U_2}{R_L} \quad (7-5)$$

由于每只二极管只在半个周期内导通, 所以流过每只二极管的平均整流电流为

$$I_D = \frac{1}{2} I_L \quad (7-6)$$

在单相桥式整流电路中, 二极管导通时压降几乎为零, 而二极管截止时, u_2 的峰值电压加在了它上面, 即二极管截止时承受的最大反向电压为

$$U_{RM} = \sqrt{2} U_2 \quad (7-7)$$

例 7-1 在图 7-3 所示的单相桥式整流电路中, 若要求在负载上得到 24 V 直流电压、100 mA 的直流电流, 求整流变压器次级电压的有效值 U_2 , 并选出整流二极管。

解 由式(7-4)可得

$$U_2 = \frac{U_L}{0.9} = \frac{24}{0.9} \text{ V} \approx 26.7 \text{ V}$$

由式(7-6)、式(7-7)可得二极管的平均整流电流和最大反向工作电压分别为

$$I_D = \frac{1}{2} I_L = \frac{1}{2} \times 100 \text{ mA} = 50 \text{ mA}$$

$$U_{RM} = \sqrt{2} U_2 = 37.8 \text{ V}$$

根据上述数据, 查手册可选出最大整流电流为 100 mA, 最大反向工作电压为 50 V 的整流二极管 2CZ52B。

目前, 已广泛使用将四个硅二极管封装成一个整体的硅桥式整流器, 这种整流桥有四个接线端, 两端接交流电源(标有“~”符号), 两端接负载(标有“+”、“-”端子)。“+”、“-”标志表示整流输出直流电压的极性, 根据需要可在手册中选用不同型号及规格的桥式整流器。

7.1.3 三相桥式整流电路

当某些供电场合要求整流电路输出功率较大时,如果仍然采用单相整流电路,会造成三相电网负载不平衡,影响供电质量。这时就应采用三相桥式整流电路。

三相桥式整流电路如图 7-5 所示,由三相变压器和六个二极管组成。变压器的原边接成三角形,副边接成星形。六个二极管中,VD₁、VD₃、VD₅ 阴极连在一起,其阴极电位相同,所以阳极电位最高时导通;VD₂、VD₄、VD₆ 阳极连在一起,其阳极电位相同,所以阴极电位最低时导通。VD₁、VD₃、VD₅ 的共阴极端为整流器输出直流电的正端,VD₂、VD₄、VD₆ 的共阳极端为整流器输出直流电的负端;而 VD₁、VD₃、VD₅ 的阳极和 VD₂、VD₄、VD₆ 的阴极,则分别连接到变压器副边各相的端点 a、b、c 上。

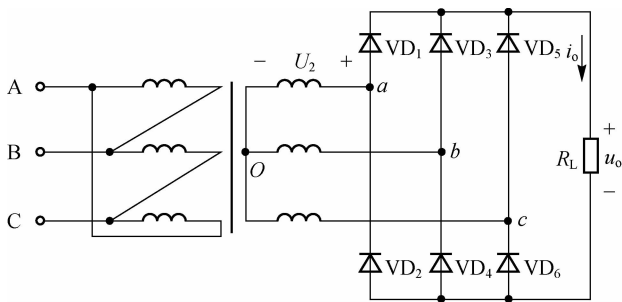


图 7-5 三相桥式整流电路

如图 7-6 所示为三相桥式整流电路的波形。在 $t_1 \sim t_2$ 期间, a 点电位最高,所以 VD₁ 导通,VD₁ 导通后使 VD₃、VD₅ 承受反向电压而截止; b 点电位最低,所以 VD₄ 导通,VD₄ 导通后使 VD₂、VD₆ 承受反向电压而截止。此期间电流的通路为 $a \rightarrow \text{VD}_1 \rightarrow R_L \rightarrow \text{VD}_4 \rightarrow b$, 负载两端电压为线电压 u_{ab} 。同理,在 $t_2 \sim t_3$ 期间, a 点电位最高, c 点电位最低,所以 VD₁、VD₆ 导通,其余四个二极管都截止,电流通路为 $a \rightarrow \text{VD}_1 \rightarrow R_L \rightarrow \text{VD}_6 \rightarrow c$, 负载两端电压为线电压 u_{ac} 。其余时间以此类推。

由图 7-6 可知,负载所得整流电压 u_o 的大小,等于变压器副边三相相电压的上下包络线间的垂直距离所对应的电压值。它的脉动较小,其平均值为

$$U_o = 2.34U_2 \quad (7-8)$$

式中, U_2 为变压器副边相电压的有效值。

负载中电流 i_o 的平均值为

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = 2.34 \frac{U_2}{R_L} \quad (7-9)$$

由于在一个周期中,每个二极管只有三分之一的时间导通,因此流过每个管的平均电流为

$$I_{AV} = \frac{1}{3} I_o = 0.78 \frac{U_2}{R_L}$$

每个二极管所承受的最大反向电压为变压器副边线电压的幅值,即

$$U_{RM} = \sqrt{3} U_{2m} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} U_2 = 2.45U_2 \quad (7-10)$$

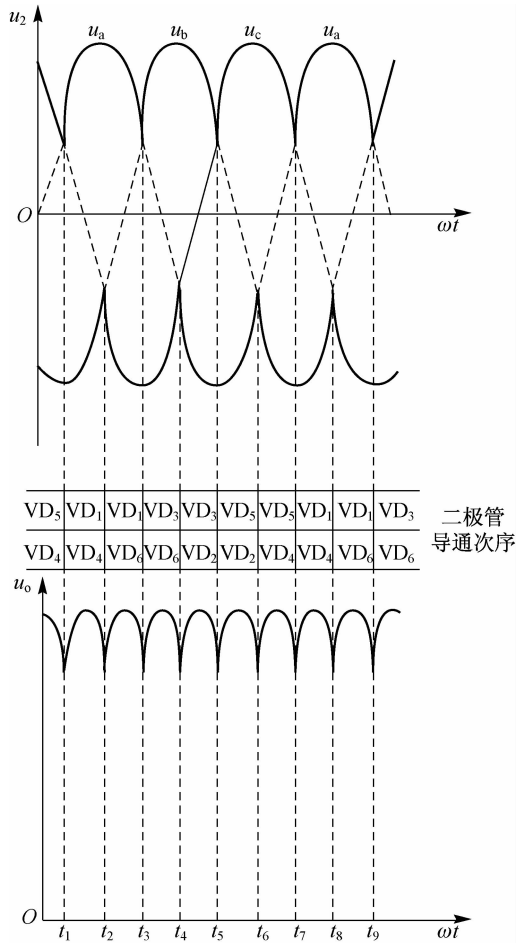


图 7-6 三相桥式整流的电压波形



提示

桥式整流电路能使负载获得全波直流电压,电源利用率高,平均直流电压高、脉动小,所以桥式整流电路获得广泛应用。

7.2 滤波电路

整流电路把交流电转变为直流电,但整流后负载获得的直流电包含着一定的交流分量,脉动较大,会影响对要求电流和电压都比较平稳的负载如电子仪器、自动控制设备等的正常运行。为此,常在整流电路后加接滤波电路,把脉动直流电中的交流分量滤掉,使之成为平滑的直流电,如图 7-7 所示。

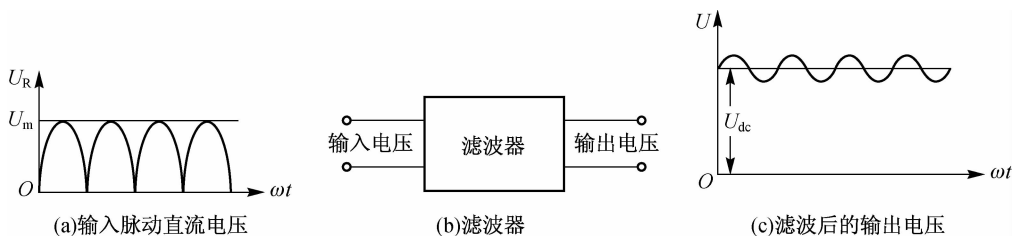


图 7-7 滤波电路的功用

一般来说,全波整流能给滤波电路提供较佳的输入信号。因此,如果想在滤波电路输出时得到较佳的直流电压,就宜采用全波整流。

7.2.1 电容滤波电路

1. 电容滤波电路的组成

电容器是最简单、最常用的滤波器。在整流电路的输出端和负载之间并联一个电容器,如图 7-8 所示,便可实现滤除交流分量的目的。

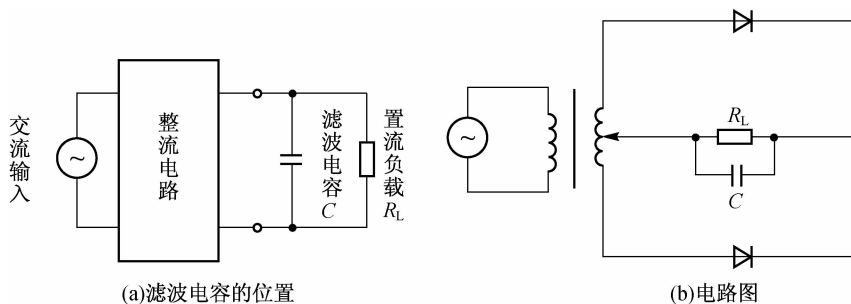


图 7-8 电容滤波电路

由于电容器为储能元件,当与负载并联时,在二极管导通期间,电容器会同时充电并储存电荷;在二极管截止,或电压降低时,电容器便会向负载放电,使负载上电流流过的时间延长,减缓电压下降,从而减小了纹波对电路的影响,获得平稳的直流电压。

2. 电容滤波电路的工作过程

电容滤波电路的工作过程如图 7-9 所示。

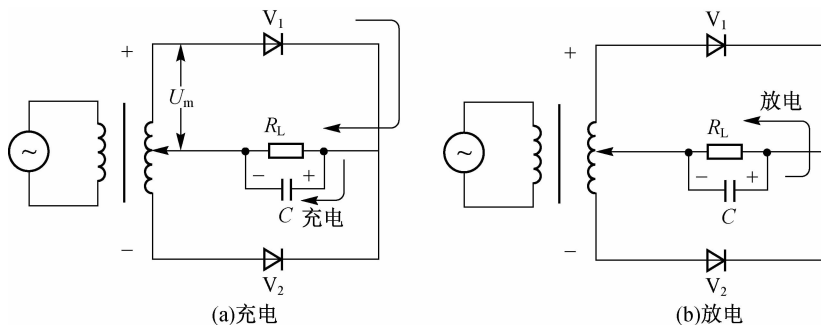


图 7-9 电容滤波电路的工作过程

(1)当输入交流电压为正半波时,只要变压后的输出电压大于 V_1 导通电压(硅二极管为 0.6 V),二极管 V_1 便导通,电流同时流入负载 R_L 及滤波电容器 C ,并且对电容器 C 充电,见图 7-9(a)。

当输入电压达到峰值 U_m 时,电容器 C 也被充电到峰值电压,即 $U_C = U_m$ 。

(2)当输入电压自峰值下降后,输入电压便逐渐低于电容器的储存电压 U_C 。因此,在二极管 V_1 的两端形成反向偏压,使 V_1 不导通。与此同时,电容器上的电压 U_C 会向负载 R_L 放电,其电压也从 U_m 值缓慢下降,见图 7-9(b)。

(3)放电状态会持续到下半周(负半波)来临且电压高于 U_C 时为止。在负半波时,二极管 V_2 导通,电流向电容器 C 再充电,情形与正半波时相同,当输入电压自负半波峰值逐渐下降时, V_2 不导通,电容器又向负载放电,并持续到下一个正半波出现且输入电压高于 U_C 时为止。

上述工作过程反复进行可使脉动直流输出过滤成只有极小纹波成分的平稳电压,如图 7-10 所示。

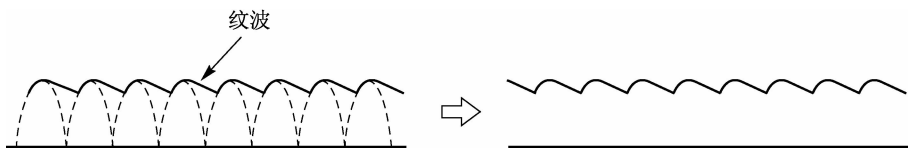


图 7-10 滤波后的直流电压

3. 电容器输出电压的影响因素

对于同一频率的输入信号,影响电容器输出电压的因素有如下几项:

(1)负载的电阻值。当负载电阻值较大时,流过的电流较小,电容放电时间较长,放电较慢,电压下降较小,使其平均输出电压较高,纹波也较小;反之,当负载电阻较小,电流较大,电容放电期间,放电较快,电压下降也较大,使输出电压平均值较低且纹波较大。因此,负载的电流越大,则输出电压越低,电压调整也越差。

(2)滤波电容量。滤波电容器的电容量越大,其储存的电荷也越多,因此,在向负载放电时,其放电时间较长,电压的下降较小,使得输出的电压较大且纹波较小。反之,滤波电容量越小,则输出电压越低且纹波也较大。

(3)整流的形式。在半波整流形式中,滤波电容的放电时间较长,使得输出的电压纹波较大,平均值也较全波整流形式低,如图 7-11 所示。

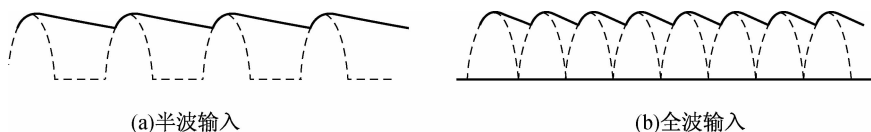


图 7-11 整流形式对同一滤波电路的影响



小
提
示

对电容滤波电路,电容放电越快,放电电流就越大,则输出电压起伏越大;电容放电越慢,输出电压越平滑。电容滤波器一般只适用于负载电流较小的场合。

7.2.2 电感滤波电路

如图 7-12 所示,在滤波器的输入端再加一线圈 L ,可使纹波减小。

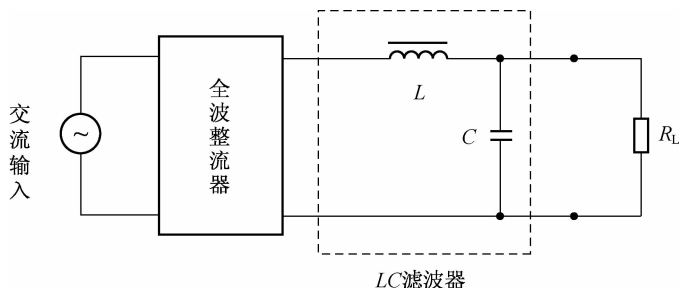


图 7-12 电感滤波电路

前面学习已经知道,电感器对交流电所产生的电阻称为感抗,用 X_L 表示。当交流电的频率越高或电感器的电感越大时,感抗也越大。

如图 7-13 所示,经过整流后的输入电压 U_{in} 虽是直流电压,但却仍然具有脉动频率的变化。当脉动电压由最高点向下降低时,电感器会感应出一个反电动势,其方向见图 7-13(b)。此电动势大小与脉动频率成正比,频率越高,反电动势也越大。电感器所感应的反电动势与电容器 C 一起向负载放电,形成脉动更小的输出电压。

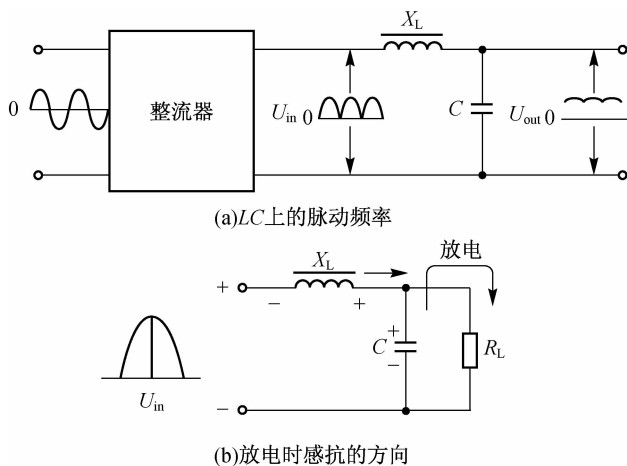


图 7-13 电感器对脉动的交流效应

值得注意的是,电容滤波电路所输出的直流电压约等于整流后输出电压的峰值,而电感滤波电路的直流输出值,则约等于整流后电压的平均值。此外,电容滤波电路的纹波电压会随着负载电阻的大小而变化,而电感滤波电路的纹波电压则与负载大小无关。

7.2.3 复式滤波电路

复式滤波电路是由电容 C 和电阻 R 或电容 C 和电感 L 组合,构成 RC 或 LC 型滤波电路,如图 7-14 所示。

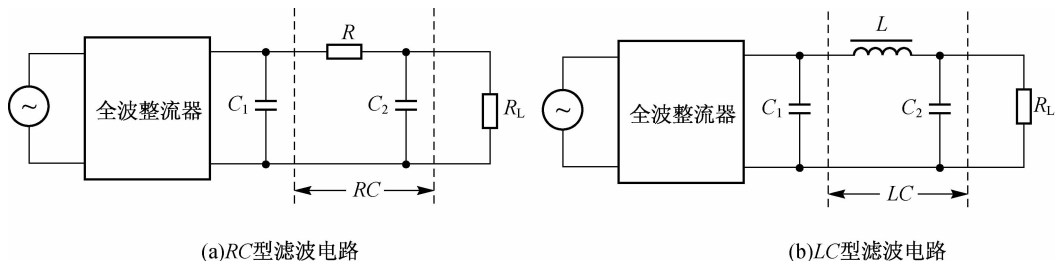


图 7-14 复式滤波电路

1. RC 型滤波电路

在 RC 型滤波电路中，滤波电容 C_1 的后面又接上滤波电阻 R 以产生电压降，因此，当 C_1 放电到一额定值时， C_2 紧接其后也进行放电，如此将使负载 R_L 上的输出直流电压增加，并使纹波电压降低，而获得较单一电容滤波电路更佳의平稳电压波形。

如果一段 RC 型滤波电路不能把纹波降到理想范围，则可采用多段式 RC 型滤波电路。

如图 7-15 所示为两段式 RC 型滤波电路，如果每一段可将纹波衰减到 1/10，则两段就可以衰减到原来的 1/100。

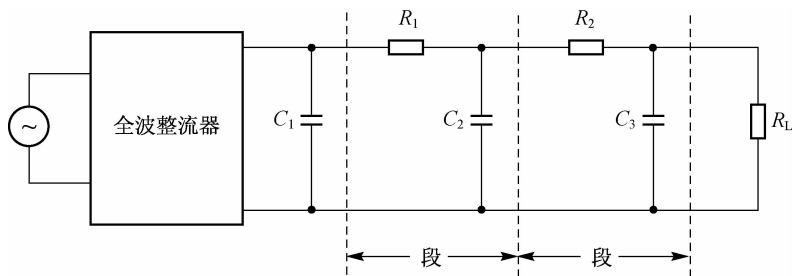


图 7-15 两段式 RC 型滤波电路

2. LC 型滤波电路

将 RC 型滤波电路中的滤波电阻 R 换成电感器 L ，便成了 LC 型滤波电路，又称为 π 型滤波电路，见图 7-14(b)。

在 RC 型滤波电路中，为了提高直流电压的输出，都会尽量减小滤波电阻 R 以便能减少电阻两端的电压降。但是对于交流纹波而言，却又希望 R 要远大于电容器 C_2 的容抗值。结果导致：若要减小 R 来提高输出电压，却也提高了输出端的纹波电压；反之，增大 R 虽可减少纹波电压，却使输出直流电压下降。

LC 型滤波电路正好可以克服上述 RC 型滤波电路的缺点。电感器 L 对直流电而言只有很小的导线电阻，因此在电感器两端的电压降很低。而对于交流纹波而言，电感器则具有高的感抗，使纹波电压降低。因此，LC 型能够同时提高直流输出电压、降低输出端的纹波电压。

7.3 基本放大电路

放大电路又称放大器,它的功能是利用三极管的电流控制作用,把微弱的电信号(变化的电压或电流,简称信号)不失真地放大到所需要的数值。或者说,在输入信号控制下,实现将直流电源的能量部分地转化为按输入信号规律变化的且具有较大能量的输出信号。

1. 对放大电路的基本要求

要使放大电路完成预定的放大功能,放大器必须满足以下要求:

- (1)要有一定的放大倍数。
- (2)要有一定的通频带,即在一定的频率范围内要求放大器具有相同的放大能力。
- (3)非线性失真要小。由于三极管是非线性元件,被放大后的输出信号波形与原信号的波形会出现差异,这种现象称为非线性失真。放大器的失真越小越好。
- (4)工作稳定。要求放大器的工作稳定,它的性能指标不随工作时间和环境条件的改变而改变。

2. 放大电路三极管的连接方式

三极管是放大器的核心元件。如图 7-16 所示,放大器有两个输入端和两个输出端,在输入端加一个微弱的信号 u_i ,通过放大器放大的信号 u_o 从输出端输出。

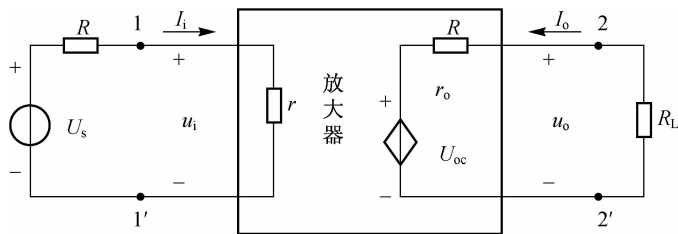


图 7-16 放大器的方框图

三极管在组成放大器时,一个电极作为信号的输入端,另一个电极作为输出端,第三个电极作为输入和输出信号的公共端。根据公共端选用基极、发射极或集电极的不同,三极管在放大器中有共基极、共射极和共集电极三种连接方式。

7.3.1 共射极放大电路

1. 共射极放大电路的基本特征

共射极放大电路的基本特征如下:

- (1)一个微弱的电信号通过放大器后,输出电压或电流的幅度得到放大,但它随时间变化的规律不能变。
- (2)输出信号的能量得到加强,这个能量是由直流电源提供的,经过三极管的控制,使之转换成信号能量,提供给负载。

2. 共射极放大电路的基本组成

如图 7-17(a)所示,电路中的三极管是放大电路的核心器件,用来实现放大。电容 C_1 和

C_2 称为隔直电容或耦合电容(其数值为几微法到几十微法),它们在电路中的作用是使输入信号和输出信号中的交流成分基本无衰减地通过,而直流成分则被隔离; E_C 是集电极直流电源(其数值为几伏到几十伏),作用是使集电结反向偏置,并为输出信号提供能量; R_C 是集电极电阻(其数值为几千欧至几十千欧),作用是将 VT 的集电极电流的变化转变为集电极电压 u_o 的变化; R_b 为基极电阻(其数值为几十千欧至几百千欧),与基极直流电源 E_B 共同作用,向发射结提供正向偏置,并为基极提供一个合适的基极电流(常称为偏流)。

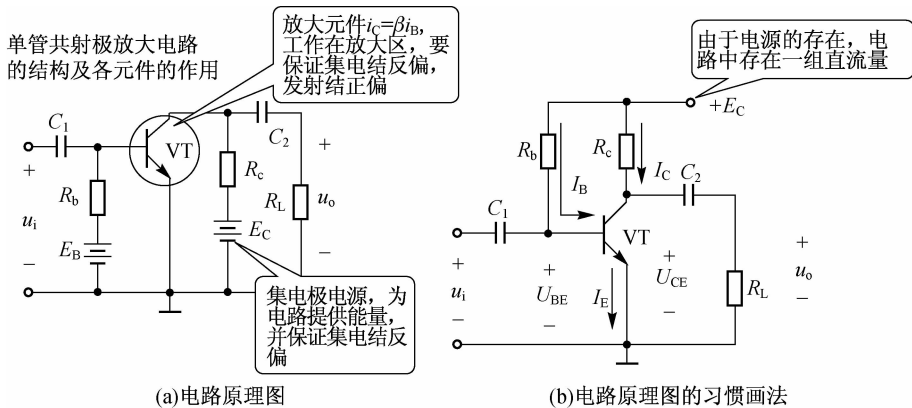


图 7-17 共射极基本放大电路简图

为便于学习和记忆,将放大电路各基本组成部分的作用简单归纳如下:三极管起放大作用;集电极电阻 R_C 将变化的集电极电流转换为电压输出;偏置电路 E_B 和 R_b 使三极管工作在线性区;耦合电容 C_1 和 C_2 将输入的交变信号加到发射结,并将交变的信号进行输出。

为了简化电路,实际使用中常常省去电路原理图中的基极电源 E_B ,将基极电阻 R_b 改接至集电极电源 E_C 的正极端,如图 7-17(b)所示。

共射极放大电路既具有很大的电流放大倍数,又具有很大的电压放大倍数,功率增益也是三种接法中最大的。因此,它是三种电路中应用最广泛的一种基本电路。

7.3.2 共基极放大电路与共集电极放大电路

1. 共基极放大电路

在三极管电路中,以基极为公共点,发射极和基极为输入端,集电极和基极为输出端,这样连接成的电路称为共基极放大电路,如图 7-18 所示。

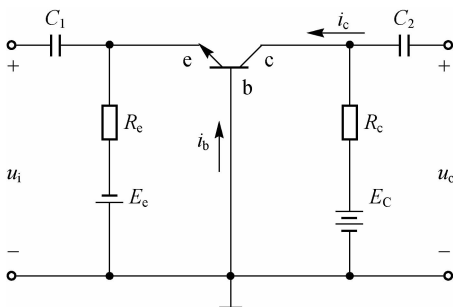


图 7-18 共基极放大电路

这种电路的特点是有电压放大作用,同时也具有功率放大作用,但不具有电流放大作用,稳定性高,输入阻抗小(几到几十欧),输出阻抗高(几十千欧到几百千欧)。

由于共基极放大电路输入和输出的电流反向,且工作在较高频率时性能好,所以常用在高频放大和恒流源等电路中。

2. 共集电极放大电路

在三极管电路中,集电极是输入电路和输出电路的公共端,这样的电路称为共集电极放大电路,如图 7-19 所示。

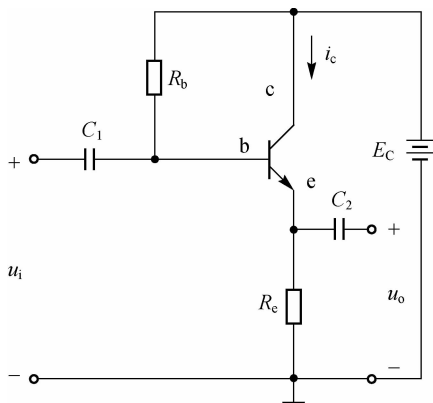


图 7-19 共集电极放大电路

共集电极放大电路的特点是:具有电流放大和小功率放大作用,输出和输入电流反向,输出和输入电压同向,且输入电阻大(几千千欧以上),输出电阻小(几十欧),常作为阻抗变换器。

7.3.3 放大电路的基本分析方法

放大电路的分析,可分为静态和动态两种情况进行。静态是放大电路没有输入信号时的工作状态,比较简单;动态是放大电路有输入信号时的工作状态,相对复杂些。

1. 放大电路的静态分析

如图 7-20 所示,输入信号为零,电路中只有 U_{BE} 、 I_B 、 I_C 、 U_{CE} 等直流量,表示放大电路处于静态,而 U_{BE} 、 I_B 、 I_C 、 U_{CE} 四个量的数值就称为放大电路的静态值。

1) 用估算法确定放大电路的静态值

由于放大电路处于静态时各量都是直流量,所以又称静态放大电路为直流通路。

三极管工作于放大状态时,发射结正向偏置, $U_{BE} = 0.6 \sim 0.7 \text{ V}$,是已知量,而且数值很小,因此只需计算 I_B 、 I_C 、 U_{CE} 三个量即可。

由图 7-20 可知, I_B 、 I_C 、 U_{CE} 的计算公式为

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B} \approx \frac{U_{CC}}{R_B} \quad (7-11)$$

式中,由于 U_{BE} 比 U_{CC} 小得多,估算时可忽略不计。

$$I_C = \beta I_B \quad (7-12)$$

式中, β 为静态时的放大倍数。

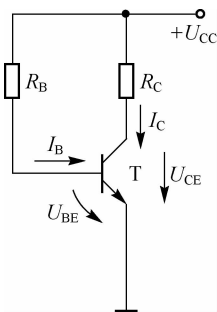


图 7-20 放大电路的静态分析示意图

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C \quad (7-13)$$

可见,若已知 R_B 、 R_C 、 $\bar{\beta}$ 和 U_{CC} 的数值,即可求出相应的静态值。

例 7-2 见图 7-20,已知 $U_{CC} = 12 \text{ V}$, $R_C = 4 \text{ k}\Omega$, $R_B = 300 \text{ k}\Omega$, $\bar{\beta} = 37.5$, 试求电路的静态值。

解 由式(7-11)、(7-12)、(7-13)可得

$$I_B \approx \frac{U_{CC}}{R_B} = \frac{12}{300 \times 10^3} \text{ A} = 0.04 \text{ mA} = 40 \mu\text{A}$$

$$I_C = \bar{\beta} I_B = 37.5 \times 0.04 \text{ mA} = 1.5 \text{ mA}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C = (12 - 1.5 \times 10^{-3} \times 4 \times 10^3) \text{ V} = 6 \text{ V}$$

2) 用图解法确定放大电路的静态值

例 7-2 中,如果仅仅已知三极管的输出特性曲线,如图 7-21(b)所示,而不知道 $\bar{\beta}$ 值,这时就不能采用估算法,只能采用图解法求静态值。

为分析方便,通常把图 7-20 所示直流通路的集电极回路画成图 7-21(a)所示的直流通路,其左侧是三极管的非线性电路, I_B 、 I_C 、 U_{CE} 均可以反映在输出特性曲线上。

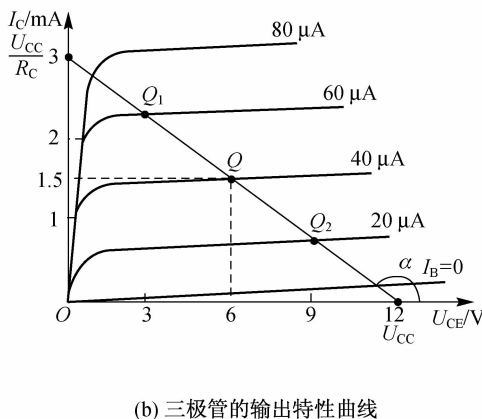
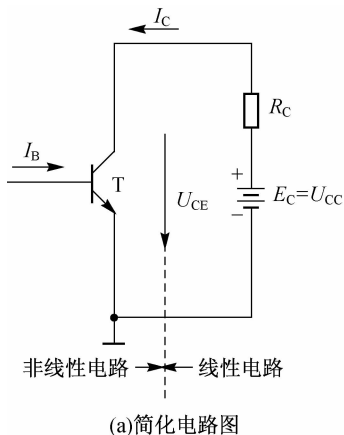


图 7-21 静态值的图解法

分析可知,当 $I_C = 0$ 时, $U_{CE} = U_{CC} = 12 \text{ V}$; 当 $U_{CE} = 0$ 时, $I_C = U_{CC}/R_C = (12/4 \text{ k}) \text{ A} = 3 \text{ mA}$ 。连接这两个点即得一直线,由于它与直流通路和集电极负载电阻 R_C 有关,所以称为直流负载线。直线方程中, I_C 与 U_{CE} 值即由直流负载线上的点决定。由例 7-2 可知, $I_B = 40 \mu\text{A}$, 显然,所求的静态值就反映在直流负载线与 $40 \mu\text{A}$ 的特性曲线的交点 Q 上,点 Q 称为放大电路的静态工作点。

放大电路的静态值由图 7-21(b)可知, $I_B = 40 \mu\text{A}$, $I_C = 1.5 \text{ mA}$, $U_{CE} = 6 \text{ V}$ 。 I_B 值大小不同时,点 Q 在负载线上的位置也不同,而 I_B 值是通过基极电阻(偏流电阻) R_B 调节的。 R_B 增加, I_B 减小,点 Q 沿负载线下移; R_B 减小, I_B 增加,点 Q 沿负载线上移。

放大电路的静态工作点对放大电路工作性能的影响很大,一般应设置在特性曲线放大区的中部,这是因为此处线性好,能获得较大的电压放大倍数,而且失真也小。

2. 放大电路的动态分析

此时,输入信号不为零,即放大电路有输入信号。在静态值 U_{BE} 、 I_B 、 I_C 、 U_{CE} 各直流分量(直流分量仍用上述方法确定)的基础上,又出现了 u_i 、 u_{be} 、 i_b 、 i_c 、 u_{ce} 、 u_o 等交流分量,两种分

量共存。

像直流通路一样,交流分量所经过的路径称为交流通路。画交流通路时要注意两点:一是 C_1 、 C_2 对交流相当于短路;二是直流电源对交流也相当于短路(因其内阻忽略不计)。这样就可画出放大电路的交流通路。

三极管放大电路是非线性电路,这就给动态分析造成困难。因此,动态分析之前,首先应对放大电路进行必要的线性化处理。

1) 三极管的微变等效电路

放大电路的线性化,关键问题是三极管的线性化。三极管线性化的条件是:三极管在小信号(微变量)情况下工作。这样,在工作点附近的微小范围内,可用直线段近似地代替三极管特性的曲线段。

如图 7-22(a)所示, u_{be} 、 i_b 、 i_c 、 u_{ce} 是信号分量,它们的幅值很小,符合线性化条件。如图 7-23 所示为三极管特性曲线。

当放大电路输入信号很小时,工作点 Q 附近的曲线段 ab 和 cd 均可按直线段处理。在图 7-23(a)上,当 U_{CE} 为常数时, ΔU_{BE} 和 ΔI_B 可认为是小信号 u_{be} 和 i_b ,两者之比为一电阻,用 r_{be} 表示,电阻 r_{be} 称为三极管的交流输入电阻。在小信号条件下, r_{be} 是个常数。低频小功率三极管的 r_{be} 通常用下式估算

$$r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26}{I_E} \quad (7-14)$$

式中, β 为动态放大系数; I_E 为放大电路静态时的发射极电流。

这样,在小信号作用下,三极管的基极和发射极之间就可用等效电阻 r_{be} 来代替,并且根据三极管电流放大原理, $i_c = \beta i_b$, i_c 受 i_b 控制,若 i_b 不变, i_c 也不变,具有恒流特性。因此,集电极和发射极之间可用等效恒流源来代替,如图 7-22(b)所示。

见图 7-23(b),因为各曲线不完全与横轴平行,当 I_B 为常数时,在点 Q 附近, ΔU_{CE} 和 ΔI_C 可认为就是小信号 u_{ce} 和 i_c ,两者之比为一电阻,用 r_{ce} 表示, r_{ce} 称为三极管的交流输出电阻,它也是个常数。在图 7-22(b)上, r_{ce} 与恒流源并联。这就是三极管在小信号工作条件下完整的微变等效电路。在实际应用中,因为 r_{ce} 数值很大(约几十千欧到几百千欧),分流作用极小,可忽略不计。

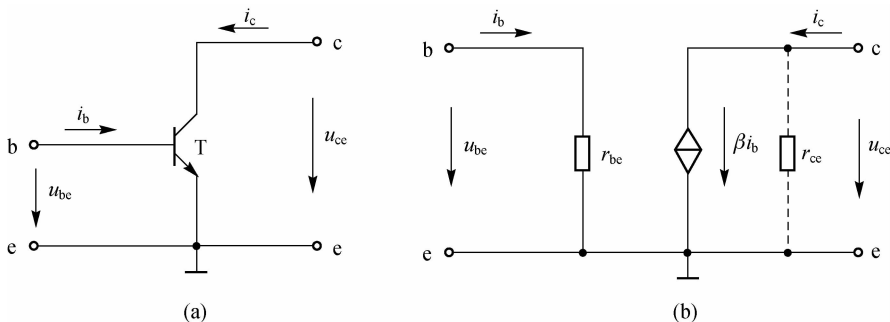


图 7-22 三极管的微变等效电路

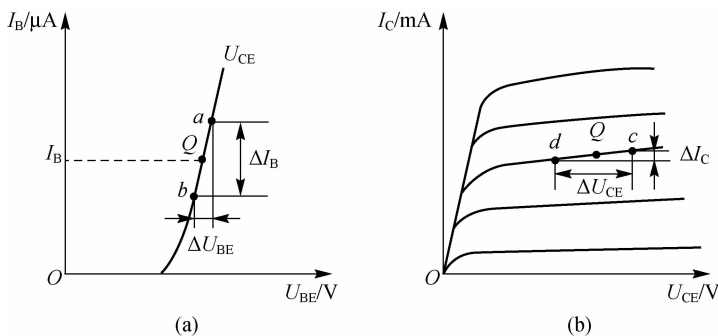


图 7-23 三极管的特性曲线

2) 放大电路的微变等效电路

三极管线性化以后,放大电路的交流通路线性化就十分简单了。在三极管微变等效电路的输入端连接信号源 u_i 和基极电阻 R_B ,输出端连接集电极电阻 R_C 和负载电阻 R_L ,如图 7-24 所示,这就是放大电路交流通路的微变等效电路。

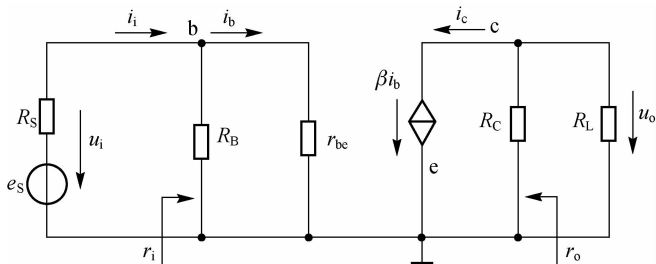


图 7-24 放大电路的微变等效电路

通过微变等效电路,可方便地进行以下计算:

(1)电压放大倍数。设输入信号为正弦量,图 7-24 的电压和电流可用相量表示。输入电压为 $\dot{U}_i = \dot{I}_b r_{be}$,输出电压为 $\dot{U}_o = -\dot{I}_c R_L'$ 。 R_L' 为负载等效电阻,其计算公式为

$$R_L' = \frac{R_C R_L}{R_C + R_L}$$

因为

$$\dot{U}_o = -\beta \dot{I}_b R_L'$$

放大电路的电压放大倍数为

$$A_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -\beta \frac{\dot{I}_b R_L'}{\dot{I}_b r_{be}} = -\beta \frac{R_L'}{r_{be}} \quad (7-15)$$

若放大电路开路(未接 R_L),则电压放大倍数为

$$A_u = -\beta \frac{R_C}{r_{be}} \quad (7-16)$$

式(7-15)与式(7-16)中负号(-)表示输出电压 \dot{U}_o 和输入电压 \dot{U}_i 相位相反。电压放大倍数 A_u 与三极管的动态时的放大系数 β 和 r_{be} 有关,也与集电极电阻 R_C 和负载电阻 R_L 有关,有负载时, $|A_u|$ 减小。

(2)输入电阻。由图 7-24 可见,放大电路的输入端与信号源相连,输出端与负载相连,放大电路处于信号源与负载之间。对信号源来说,放大电路的输入电路就是信号源的负载,输入电路可用等效电阻 r_i 代替, r_i 称为放大电路的输入电阻。

简单来说,放大电路的输入电阻 r_i 就是从放大电路的输入端(去掉信号源)“看进去”的电阻。由图 7-24 可以看出, r_i 等于 R_B 和 r_{be} 并联后的电阻,因为 R_B 的阻值比 r_{be} 大得多,所以 r_i 近似等于三极管的输入电阻 r_{be} 。

为减少信号源的负担, r_i 的数值应尽量大些。

(3)输出电阻。对负载 R_L 来说,放大电路是信号源(给 R_L 提供被放大的交流信号),有内阻,这个内阻称为放大电路的输出电阻,用 r_o 表示。

放大电路的输出电阻 r_o 可在信号源短路($u_i=0$)和输出端开路的条件下求得。由图 7-24 可知,当 $u_i=0$ 、 $i_b=0$ 、 $i_c=0$ 、输出端开路时,输出电阻 r_o 为

$$r_o=R_C \quad (7-17)$$

简单来说,放大电路的输出电阻 r_o 就是从放大电路的输出端(去掉 R_L)“看进去”的电阻。

放大电路作为负载的信号源, r_o 的数值应尽量小些。这样,当负载增减时,输出电压数值平稳,带负载能力强。



小提示

静态分析的目的是要确定放大电路的静态值,即静态工作点;动态分析的对象是交流量,其目的是要确定放大电路的性能指标,主要包括放大倍数、输入电阻和输出电阻。

7.3.4 功率放大电路

功率放大电路是一种以输出较大功率为目的的放大电路。它一般直接驱动负载,带动负载能力较强。

1. 功率放大电路的工作状态

下面介绍三极管功率放大电路的三种工作状态:甲类、乙类、甲乙类的情况,如图 7-25 所示。

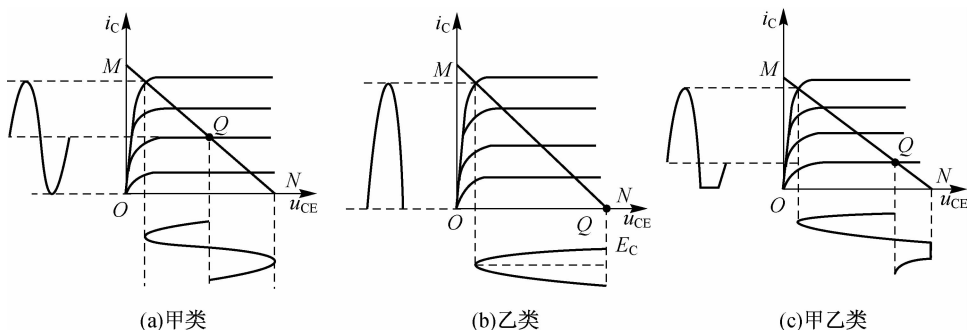


图 7-25 放大电路的工作状态

图 7-25(a)中的静态工作点 Q 大致在交流负载线的中点,这种工作状态称甲类放大。在甲类工作状态,不论有无输入信号,电源供给的功率总是不变的。当无输入信号时,电源功率全部消耗在管子和电阻上,以管子的集电极损耗为主。当有输入信号时,其中一部分转换

为有用的输出功率,另一部分转换为管耗,信号越大,输出功率也越大。可以证明,在理想的情况下,甲类功率放大电路的最高效率也只能达到 50%。

功率放大电路必须考虑效率问题。所谓效率就是负载上的有用功率与电源提供的直流功率之比。效率与三极管的静态管耗有关,静态管耗越小,则效率越高。而静态管耗是由静态集电极电流决定的,因此为了提高效率,必须降低静态时的工作电流。这样三极管的工作状态就由甲类工作状态改为乙类,见图 7-25(b);也可改成甲乙类工作状态,见图 7-25(c)。

2. 推挽互补对称功率放大电路

所谓推挽,就是电路所采用的两只输出三极管输入信号的极性相反,其中一管导通时,另一管截止,交替工作。所谓互补,就是电路采用的功率输出管分别为 NPN 和 PNP 型三极管,导电极性相反,同时要求特性参数一致。因此这种电路形式称为推挽互补对称功率放大电路。如图 7-26 所示为基本推挽互补对称功率放大电路。

分析可知,当输入信号 u_i 为正弦波时,在正半周期,三极管 VT_1 由于发射结正偏而导通,三极管 VT_2 发射结反偏而截止, VT_1 管以射极输出器方式将正半周信号传送给负载 R_L ,形成输出信号为 u_o 的正半波;在负半周期, VT_1 管由于反偏而截止, VT_2 管由于正偏而导通,把负半周信号传送给负载 R_L ,形成输出电压为 u_o 的负半波,于是,在整个周期内,在负载 R_L 上获得了完整的输出电压 u_o 波形,当它工作在乙类状态时,其效率可达到约 78%。

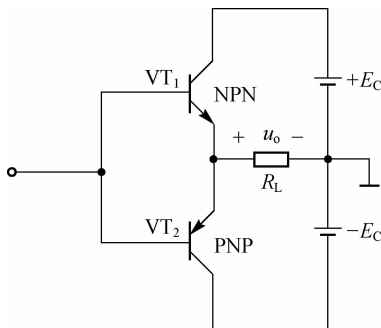


图 7-26 推挽互补对称功率放大电路示意图

7.3.5 集成运算放大器

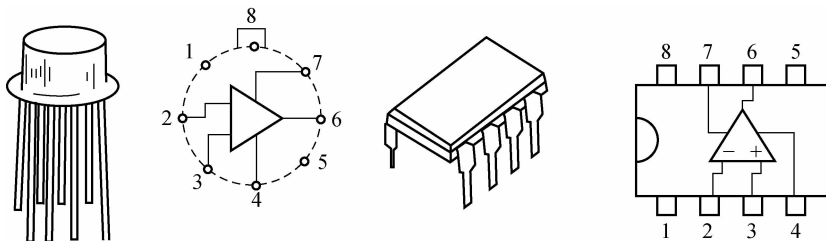
运算放大器首先应用于电子模拟计算机上,作为基本运算单元电路,可以完成加减、微积分、乘除等运算,所以称为运算放大器,今天仍沿用此名。运算放大器能将电信号进行各种组合和实现各种不同功能的运算处理,随着集成化技术的提高,其性能更加理想,功能也已大大提高。

现在的集成运算放大器已经像三极管一样作为一个基本元件使用了。

1. 集成运算放大器的基本特性和符号

1)外形

CF741 集成运算放大器的外形如图 7-27 所示。这种运算放大器通过八个管脚与外电路相接。



(a)金属圆形封装

(b)塑料双列直插式封装

图 7-27 CF741 集成运算放大器的外形

CF741 集成运算放大器各管脚的作用如下:

- (1) 1 和 5 为外接调零电位器(通常为 $10\text{ k}\Omega$)的两个端子。
- (2) 2 为反相输入端,由此端接输入信号,则输出信号与输入信号是反相的。
- (3) 3 为同相输入端,由此端接输入信号,则输出信号与输入信号是同相的。
- (4) 4 为负电源端,接 -10 V 稳压电源。
- (5) 6 为输出端。
- (6) 7 为正电源端,接 $+10\text{ V}$ 稳压电源。
- (7) 8 为空脚。

2) 电路符号

我国常用的理想集成运算放大器的电路符号如图 7-28 所示,它有两个输入端和一个输出端。反相输入端标上“ $-$ ”,同相输入端标上“ $+$ ”。它们对“地”的电位(即各端的电位)分别用 u_- 、 u_+ 和 u_o 表示。

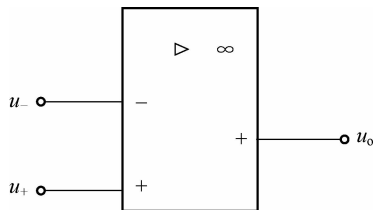


图 7-28 理想运算放大器的电路符号

2. 集成运算放大器的分类

1) 按用途分

集成运算放大器的种类很多,发展也很快,根据其用途可分为通用型和专用型。通用型价格较低,使用方便,可用做一般的模拟信号放大器和反馈放大器等。

专用型种类很多,根据各种需要而设计,大致有低功耗集成型、高精度集成型、高输入阻抗集成型及高速集成型。

2) 按封装类型分

集成运算放大器按封装类型可分为单运放集成块、双运放集成块及四运放集成块等。

3) 按功率分

集成运算放大器按功率可分为微功率型和大功率型等。

3. 集成运算放大器的主要参数

1) 最大输出电压

能使输出电压和输入电流保持不失真的最大输出电压称为运算放大器的最大输出电压,用 U_{OP} 表示。

2) 开环电压放大倍数

在没有外接反馈电路时所测出的差模电压放大倍数,称为开环电压放大倍数,用 A_{od} 表示。 A_{od} 越高,所构成的运算电路越稳定,精度也越高。所谓差模放大倍数就是在两输入端加入大小相等、极性相反的信号即“差模信号”的电压放大倍数。

3) 输入失调电压

当理想的集成运算放大器的输入电压为 0 时,为使输出电压也为 0,需要在其输入端施加一个补偿电压。此补偿电压称为输入失调电压,用 U_{I0} 表示,其值一般在几个毫伏级,越小越好。

4) 输入偏置电流

当集成运放输出电压为 0 时,两个输入端的偏置电流的平均值称为输入偏置电流,用 I_{IB} 表示,其值越小越好。

5) 输入失调电流

输入失调电流是指输入信号为 0 时,两个输入端静态基极电流之差,用 I_{I0} 表示。 I_{I0} 值越

小越好。

6) 差模输入电阻和输出电阻

差模输入电阻 R_{id} 是指集成运放两输入端间对差模信号的动态电阻, 其值为几十千欧到几兆欧。

输出电阻 R_o 是指集成运放开环时, 输出端对地的电阻, 其值为几十欧到几百欧。

7) 共模抑制比

共模抑制比 K_{CMR} 是指集成运放开环电压放大倍数和共模电压放大倍数比值的对数值。

8) 最大差模输入电压

最大差模输入电压是指集成运算放大器的两输入端所能承受的最大差模电压。若超过此电压, 会使集成运算放大器的性能显著恶化, 甚至造成损坏。

9) 最大共模输入电压

最大共模输入电压 U_{ICM} 是指集成运放输入端间所承受的最大共模输入电压, 如果超过该值, 则 K_{CMR} 将明显减小。



小
提
示

集成运算放大器的主要参数较多, 学习时, 应了解常用参数的概念及特点, 以便在今后的学习中熟练使用。

4. 集成运算放大器使用时的注意事项

使用集成运算放大器时应注意以下几点:

(1) 使用前, 应认真查阅有关手册, 了解所用集成运算放大器的各引脚排列位置。特别要注意正、负电源端, 输出端, 同相、反相输入端的位置。

(2) 集成运算放大器的调零。调零时, 应注意输出端电压表要用小量程电压挡, 并在闭环条件下进行。

(3) 集成运算放大器接线要正确可靠。其输出端要避免与地、正电源、负电源短接, 以免器件损坏。另外, 输出端所接负载不宜过小, 否则有可能损坏器件。

(4) 输入信号不能过大, 输入信号过大可能会造成阻塞现象或损坏器件。

(5) 电源电压不能过高, 极性不能接反。

7.4 稳压电路

交流供电电源电压经常会有波动, 通常不超过 $\pm 10\%$ 。这将影响到整流后所得到的直流电压; 整流电源所带的负载也是会经常变动的, 由于整流电源自身有一个等效内阻, 所以负载电流变动时也会使电源输出端电压有所变动。对于要求较高的负载, 如电子电路, 要求电源提供非常稳定的直流电压, 这就需要在整流、滤波的基础上再增加稳压环节。

稳压电路的基本元件是稳压二极管, 它的外形与普通二极管基本相同。它的特性与普通二极管不同之处在于: 它的反向击穿电压根据需要制成各种不同规格, 当管子反向击穿时, 只要反向电流不超过一定的限额, 管子就不会损坏, 可以长期工作在反向击穿区。

最简单的稳压电路如图 7-29 所示,它由电阻 R 和稳压管 V_Z 组成。

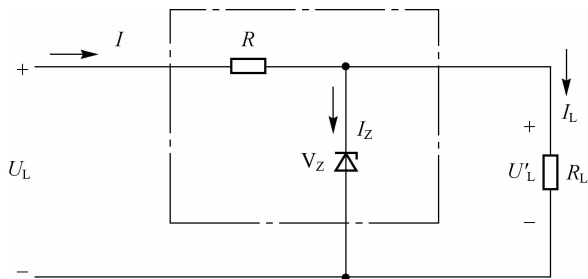


图 7-29 稳压电路

若 U_L' 略有升高,则因稳压管工作在击穿区,所以其中的电流 I_Z 明显增大,流经电阻 R 的电流 I 也增大,从而使电阻 R 上的电压降增大,电阻 R 上的电压降增大又使 U_L' 减小,并基本恢复到原来的稳定值。若 U_L' 有所降低,将出现与上述相反的过程,重新恢复稳定。

上述稳压电路元件少、电路简单,但因稳压管容量有限,加上电阻 R 和稳压管的能量损耗导致效率较低,所以只适用于功率很小的负载。

现在已经有了性能更好的稳压电路,并能制成集成电路。W7818 是常用的集成稳压器系列型号,如图 7-30 所示。电容 C_1 对高频成分起旁路作用, C_2 可在负载电流瞬时变化时稳定输出电压使其波动减小。

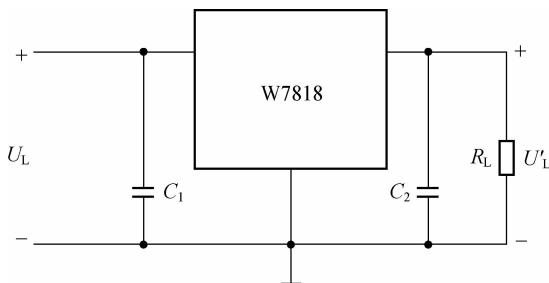


图 7-30 W7818 集成稳压器电路

常见集成稳压器产品系列及主要参数见表 7-1。

表 7-1 常见集成稳压器产品系列及主要参数

产品系列		主要参数			
		电压范围/V	最大输出 电流/mA	输入电压	
				最大/V	最小/V
正压稳压器	W78L00	5~24	100	35	7~27
	W78M00	5~24	500	35	7~27
	W7800	5~24	1 500	35	7~27
负压稳压器 (电压均为负)	W79L00	5~24	100	35	7~27
	W79M00	5~24	500	35	7~27
	W7900	5~24	1 500	35	7~27

习 题 7

一、选择题

1. 三极管组成的放大电路在工作时,测得三极管上各电极对地的直流电位为 $U_E = 2.1\text{ V}$ 、 $U_B = 2.8\text{ V}$ 和 $U_C = 4.4\text{ V}$,则这三极管已处于()。
 A. 放大区 B. 截止区 C. 饱和区 D. 击穿区
2. 负载电流越大,放大器的电压放大倍数则()。
 A. 越大 B. 越小 C. 不变 D. 略有增大
3. 桥式整流电路中,如果其中一只二极管开路,会导致()情况出现。
 A. 电路中电流很大,烧坏变压器 B. 电路无法正常工作,输出电压为 0
 C. 桥式整流将变成半波整流,输出电压下降 D. 正常,不会有什么影响

二、判断题

1. 由于放大电路的输出信号是按输入信号电压规律变化的,因此负载上得到的交流信号能量也是由输入信号提供的。()
2. 将桥式整流电路中所有的整流二极管都反接,则会烧坏变压器。()
3. 将桥式整流电路中的二极管任意一个开路,电路仍然能够整流。()
4. 滤波电容的容量越大则滤波效果越好,所以滤波电容越大越好。()

三、计算题

1. 在如图 7-31 所示的电路中,若 $U_{CC} = 12\text{ V}$ 、 $R_c = 3\text{ k}\Omega$ 、 $R_b = 240\text{ k}\Omega$ 、 $\bar{\beta} = 60$ 。试求放大器的静态工作点。

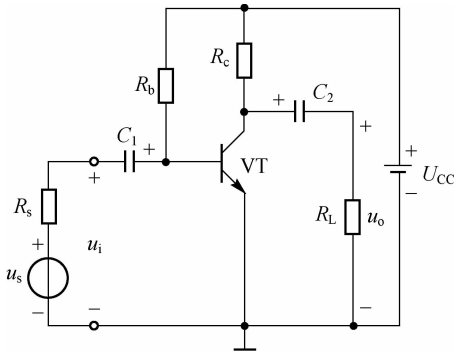


图 7-31 计算题 1

2. 有一个单相半波整流电路,已知负载电阻 $R_L = 750\ \Omega$,变压器二次侧电压 $U_2 = 20\text{ V}$ 。试求 U_o 、 I_o 、 U_{DRM} 。
3. 已知负载电阻 $R_L = 80\ \Omega$,负载电压 $U_o = 110\text{ V}$ 。今采用单相桥式整流电路。请为该电路选用二极管。
4. 放大电路如图 7-32 所示,已知 $R_B = 300\text{ k}\Omega$ 、 $R_C = 3\text{ k}\Omega$ 、 $R_L = 3\text{ k}\Omega$ 、 $U_{CC} = 12\text{ V}$ 、 $\beta = 50$ 。求:电路带负载与不带负载时的电压放大倍数、输入电阻与输出电阻。

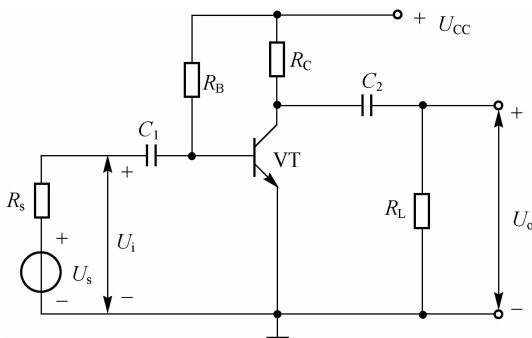


图 7-32 计算题 4

5. 如图 7-33 所示电路, 已知三极管的 $\beta=50$, $U_{CC}=12\text{ V}$, $R_C=3\text{ k}\Omega$, $R_B=20\text{ k}\Omega$, 假设三极管饱和时, $U_{BE}=0.7\text{ V}$, $U_{CES}=0.3\text{ V}$ 。试求:

- (1) 当 $U_i=0.3\text{ V}$ 时, 三极管的工作状态。
- (2) 当 $U_i=5\text{ V}$ 时, 三极管的工作状态, 并求 U_o 。

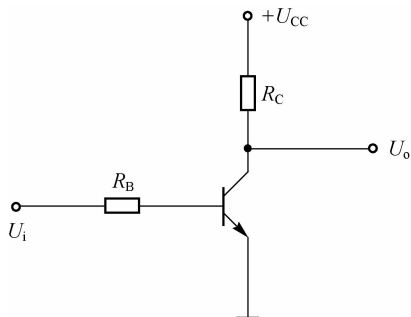


图 7-33 计算题 5

实训 7-1 验证二极管单相桥式整流电路特性

1. 实验目的

掌握桥式整流电路结构, 熟悉电路元件连接;

进一步理解单相桥式整流电路输入交流电压有效值与输出直流电压平均值之间的关系。

2. 实验器材

- 1) 万用表
- 2) 示波器
- 3) 单相变压器
- 4) 二极管、开关、导线

3. 实验原理

单相桥式整流电路是全波整流电路, 四个整流二极管分为两组, 在输入交流电压的一个

周期内轮流导通,使输出端得到连续直流脉动电压。当忽略整流二极管正向导通时的压降时,其直流输出端电压的平均值 U_o 与交流输入端交流电压的有效值 U 符合下列关系式:

$$U_o = 0.9U$$

若单相桥式整流电路两组整流二极管中的一组不工作,则输入交流电压只有半个周期得到整流,其输出直流平均电压也将减少一半。

4. 实验步骤

(1)对照图 7-34 将电子元器件连接好,并将整流桥交流输入端与变压器相连接。

(2)确认连接无误后,接通开关 S,用万用表测量电路中各电量值,用示波器测量电路中 A 点和 B 点的波形,并记录于表 7-2。

(3)断开开关 S,将整流桥交流输入端与 12 V 变压器相连接,重复步骤(2)。

(4)断开开关 S,分别拆除整流桥 VD₁、VD₃ 二极管,重复步骤(2)。

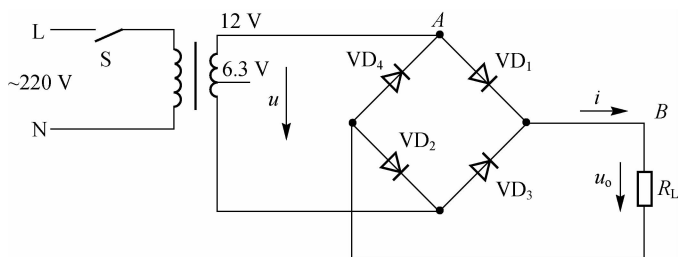


图 7-34 实验电路图

5. 实验报告

(1)应用实验所测得的数据验证桥式整流电路输入交流电压有效值与输出直流电压平均值的关系。

(2)验证桥式整流电路一个二极管断路后会变成半波整流电路时,电路输入交流电压有效值与输出直流电压平均值的关系。

表 7-2 实训记录

测量项目	交流输入为 6.3 V 时	交流输入为 12 V 时	交流输入为 12 V, 缺少 VD ₁	交流输入为 12 V, 缺少 VD ₃
U_o/V				
U/V				
u				
u_o				

实训 7-2 单管低频电压放大器

1. 实验目的

进一步熟悉使用信号发生器、三极管毫伏表和示波器；

加深对单管交流放大电路工作原理理解；

观察静态工作点对放大电路工作性能的影响，熟悉放大电路静态工作点的调整与测试方法；
测量交流电压放大电路的电压放大倍数，观察负载电阻变化时对电压放大倍数的影响。

2. 实验器材

- 1) 信号发生器
- 2) 双踪示波器
- 3) 三极管毫伏表
- 4) 直流稳压电源
- 5) 单管放大电路
- 6) 导线、开关若干

3. 实验电路图

实验电路图如图 7-35 所示。

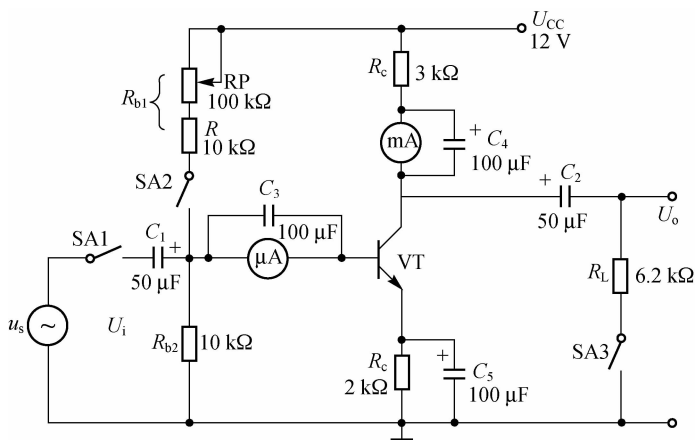


图 7-35 单管低频电压放大器

4. 实验步骤

1) 观察静态工作点对波形的影响

(1) 将开关 SA1、SA2、SA3 断开，调整 RP。

(2) 将 SA2 闭合，接入电源，测量静态工作点，将测量结果填入表 7-3 中。

(3) 将 SA1 闭合，输入 $U_i = 5 \text{ mV}$ 的正弦波信号，用示波器观察放大器输入信号和输出信号的波形，只将 R_{b1} 调整为 $20 \text{ k}\Omega$ ，测得波形，并将输出波形画于表 7-3 中。

(4) 同样，只将 R_{b1} 调整为 $50 \text{ k}\Omega$ ，测量静态工作点及输出波形。

(5) 同样，只将 R_{b1} 调整为 $100 \text{ k}\Omega$ ，测量静态工作点及输出波形。

表 7-3 静态工作点及输出波形

$R_{b1}/k\Omega$	I_B/mA	I_C/mA	U_{CE}/V	输出波形
20				
50				
100				

2) 电压放大倍数的测量及观察 R_L 接入后对电压放大倍数的影响

(1) 在上述 $R_{b1}=100\text{ k}\Omega$ 的基础上, 调整 RP 使波形不失真时, 在输入和输出端接入三极管毫伏表(或用双踪示波器测量), 开路测出放大器输出信号电压 U_o , 结果填入表 7-4, 并计算出电压放大倍数 A_u 。

(2) 闭合 SA3, 接入负载 R_L (阻值分别为 $2\text{ k}\Omega$ 和 $6.2\text{ k}\Omega$), 测量 U_o , 结果填入表 7-4, 并计算出电压放大倍数 A_u 。

表 7-4 电压放大倍数测量

$R_L/k\Omega$	$R_L \rightarrow \infty$	$R_L=2\text{ k}\Omega$	$R_L=6.2\text{ k}\Omega$
U_o/V			
A_u			

5. 实验结果分析

(1) 说明放大器的静态工作点对输出信号波形的影响。

(2) 说明 R_L 对电压放大倍数的影响。