

B 基 本 题

14.3.5 图 14.07(a) 是输入电压 u_i 的波形。试画出对应于 u_i 的输出电压 u_o 、电阻 R 上电压 u_R 和二极管 D 上电压 u_D 的波形,并用基尔霍夫电压定律检验各电压之间的关系。二极管的正向压降可忽略不计。

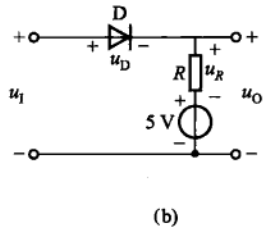
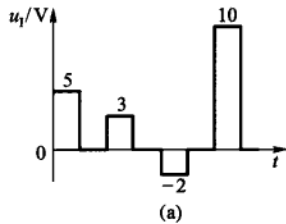


图 14.07 习题 14.3.5 的图

14.3.8 在图 14.10 中,试求下列几种情况下输出端 Y 的电位 V_Y 及各元件(R, D_A, D_B)中通过的电流。(1) $V_A = V_B = 0 \text{ V}$; (2) $V_A = +3 \text{ V}, V_B = 0 \text{ V}$; (3) $V_A = V_B = +3 \text{ V}$ 。二极管的正向压降可忽略不计。

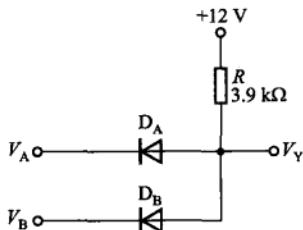
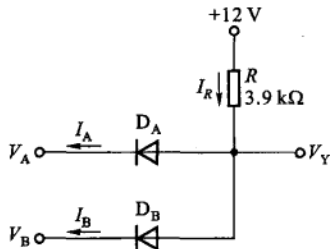


图 14.10 习题 14.3.8 的图



题解图 14.11

解:各元件电流和各点电位如题解图 14.11 所示。

(1) D_A, D_B 均导通, V_Y 被钳位在 0 V 。各元件电流如下

$$I_R = \frac{12}{3.9} \text{ mA} = 3.08 \text{ mA}$$

$$I_A = I_B = \frac{1}{2} I_R = 1.54 \text{ mA}$$

(2) D_B 导通, V_Y 被钳位在 0 V , D_A 因反偏而截止。各元件电流如下

$$I_R = \frac{12}{3.9} \text{ mA} = 3.08 \text{ mA}$$

$$I_A = 0$$

$$I_B = I_R = 3.08 \text{ mA}$$

(3) D_A, D_B 均导通, V_Y 被钳位在 3 V 。各元件电流分别为

$$I_R = \frac{12 - 3}{3.9} \text{ mA} = 2.30 \text{ mA}$$

$$I_A = I_B = \frac{1}{2} I_R = 1.15 \text{ mA}$$

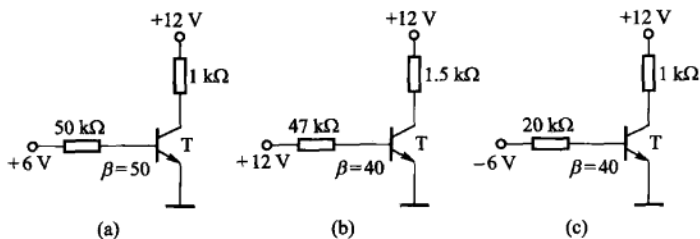


图 14.14 习题 14.5.9 的图

解: (a) 电路中

$$I_B \approx \frac{6}{50} \text{ mA} = 0.12 \text{ mA}$$

$$I_C = 50 \times 0.12 \text{ mA} = 6 \text{ mA}$$

$$U_{CE} = 12 \text{ V} - 1 \text{ k}\Omega \times 6 \text{ mA} = 6 \text{ V}$$

发射结正偏, 集电结反偏, 晶体管工作于放大状态。

(b) 电路中

$$I_B \approx \frac{12 \text{ V}}{47 \text{ k}\Omega} = 0.255 \text{ mA}$$

晶体管饱和时的集电极电流约为

$$I_C = \frac{12 \text{ V}}{1.5 \text{ k}\Omega} = 8 \text{ mA}$$

晶体管临界饱和时的基极电流为

$$I'_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{8 \text{ mA}}{40} = 0.2 \text{ mA}$$

而基极电流

$$I_B \approx \frac{12 \text{ V}}{47 \text{ k}\Omega} = 0.255 \text{ mA}$$

大于 I'_B , 晶体管工作在饱和状态。

(c) 电路中, 由于发射结反偏, 晶体管工作在截止状态。

15.2.5 晶体管放大电路如图 15.01(a) 所示, 已知 $U_{CC} = 12\text{ V}$, $R_C = 3\text{ k}\Omega$, $R_B = 240\text{ k}\Omega$, 晶体管的 $\beta = 40$ 。

- (1) 试用直流通路估算各静态值 I_B 、 I_C 、 U_{CE} 。
- (2) 如晶体管的输出特性如图 15.01(b) 所示, 试用图解法作出放大电路的静态工作点。
- (3) 在静态时 ($u_i = 0$) C_1 和 C_2 上的电压各为多少? 并标出极性。

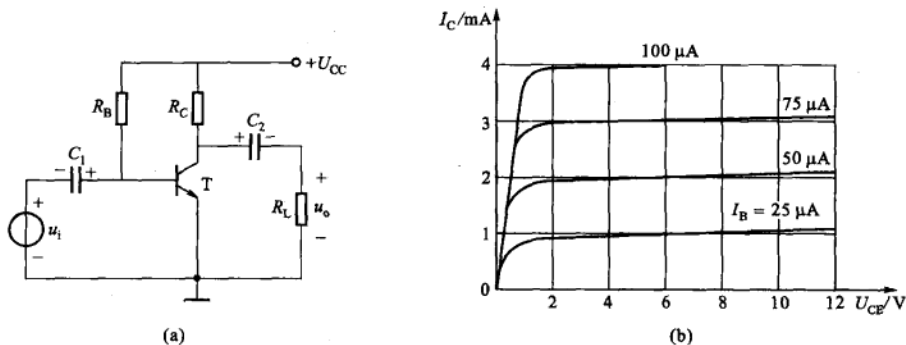


图 15.01 习题 15.2.5 的图

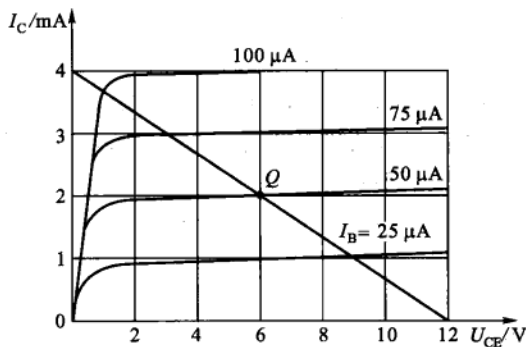
解:(1) 估算静态值

$$I_B \approx \frac{U_{CC}}{R_B} = \frac{12}{240} \text{ mA} = 0.05 \text{ mA} = 50 \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = 40 \times 50 \mu\text{A} = 2 \text{ mA}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - R_C I_C = 12 \text{ V} - 3 \times 2 \text{ V} = 6 \text{ V}$$

(2) 将直流负载线画在输出特性曲线坐标平面上,如题解图 15.13 所示。直流负载线与 $I_B = 50 \mu\text{A}$ 那条输出特性曲线的交点 Q 即是静态工作点,由图可以看出其对应的静态值为 $I_C = 2 \text{ mA}$, $U_{CE} = 6 \text{ V}$ 。



题解图 15.13

(3) 静态时耦合电容 C_1 和 C_2 上的电压分别等于 U_{BE} 和 U_{CE} 的静态值。电容上的电压极性标于图 15.01(a) 中。

15.4.3 试判断图 15.04 中各个电路能不能放大交流信号？为什么？

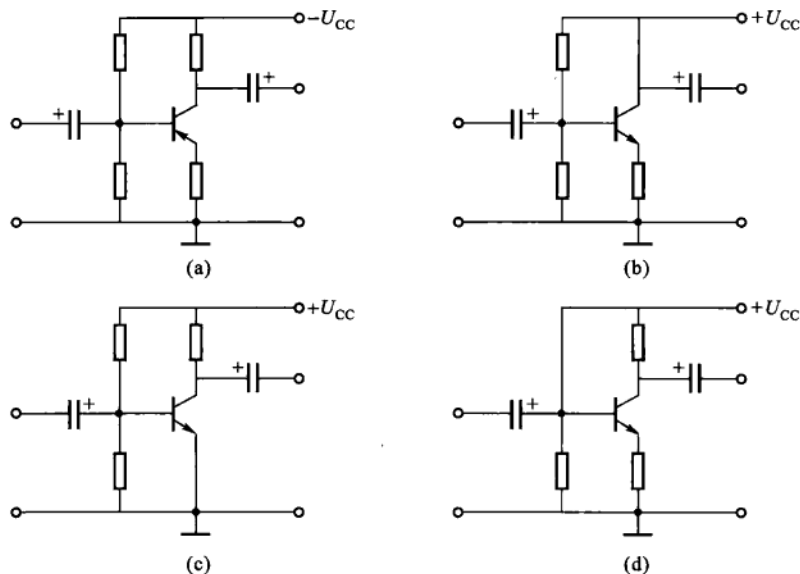


图 15.04 习题 15.4.3 的图

解：(a) 电路能放大交流信号；(b) 电路不能放大交流信号，在交流通路中，电路的输出端被短路，没有交流信号输出；(c) 电路能放大交流信号，但工作不稳定，输入电阻也很小；(d) 电路不能放大交流信号，因为晶体管的发射结和集电结均正向偏置，处于饱和状态，而且该电路的输入电阻为零，交流输入信号被短路。

15.4.5 在图 15.4.1(a) 所示的分压式偏置放大电路中, 已知 $U_{CC} = 24 \text{ V}$, $R_C = 3.3 \text{ k}\Omega$, $R_E = 1.5 \text{ k}\Omega$, $R_{B1} = 33 \text{ k}\Omega$, $R_{B2} = 10 \text{ k}\Omega$, $R_L = 5.1 \text{ k}\Omega$, 晶体管的 $\beta = 66$, 并设 $R_s \approx 0$ 。

(1) 试求静态值 I_B 、 I_C 和 U_{CE} 。

(2) 画出微变等效电路。

(3) 计算晶体管的输入电阻 r_{be} 。

(4) 计算电压放大倍数 A_u 。

(5) 计算放大电路输出端开路时的电压放大倍数, 并说明负载电阻 R_L 对电压放大倍数的影响。

(6) 估算放大电路的输入电阻和输出电阻。

解: 重画电路图见题解图 15.16(a)。

(1) 计算静态值

$$V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} U_{CC} = \frac{10}{33 + 10} \times 24 \text{ V} = 5.58 \text{ V}$$

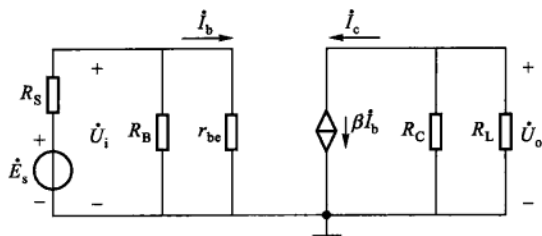
$$I_C \approx I_E = \frac{V_B - U_{BE}}{R_E} = \frac{5.58 - 0.6}{1.5} \text{ mA} = 3.32 \text{ mA}$$

$$I_B \approx \frac{I_C}{\beta} = \frac{3.32}{66} \text{ mA} = 0.05 \text{ mA}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - (R_C + R_E) I_C = [24 - (3.3 + 1.5) \times 3.32] \text{ V} = 8.06 \text{ V}$$

(2) 微变等效电路如题解图 15.17 所示。

$$(3) r_{be} = \left[200 + (1 + 66) \times \frac{26}{3.32} \right] \Omega \approx 0.72 \text{ k}\Omega$$



题解图 15.17

$$(4) A_u = -\beta \frac{R'_L}{r_{be}} = -66 \times \frac{3.3 \times 5.1}{3.3 + 5.1} \times \frac{1}{0.72} = -183.7$$

(5) 负载开路时, $R_L \rightarrow \infty$, $R'_L = R_C // R_L$ 最大, 电压放大倍数具有最大值

$$A_u = -\beta \frac{R_C}{r_{be}} = -66 \times \frac{3.3}{0.72} = -302.5$$

随着负载电阻 R_L 减小, 电压放大倍数也减小。

(6) 输入电阻 $r_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be} \approx 0.66 \text{ k}\Omega$

输出电阻 $r_o \approx R_C = 3.3 \text{ k}\Omega$

15.4.6 在题 15.4.5 中, 设 $R_S = 1 \text{ k}\Omega$, 试计算输出端接有负载时的电压放大倍数 $A_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i}$ 和

$A_{us} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{E}_s}$, 并说明信号源内阻 R_S 对电压放大倍数的影响。

解: 见上题(4), 输出端带有负载时的电压放大倍数为

$$A_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -\beta \frac{R'_L}{r_{be}} = -183.7$$

而输出电压对信号源电动势的放大倍数为

$$A_{us} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{E}_s} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \cdot \frac{\dot{U}_i}{\dot{E}_s} = A_u \frac{r_i}{r_i + R_S} = -183.7 \times \frac{0.66}{0.66 + 1} \approx -72.4$$

信号源内阻 R_S 不影响放大电路的电压放大倍数 $A_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i}$, 但是 R_S 越大, 信号源在放大电路

输入电阻上的压降, 即放大电路的输入电压越小, 输出也越小。

15.4.7 在题 15.4.5 中, 将图 15.4.1(a) 中的发射极交流旁路电容 C_E 除去。

(1) 试问静态值有无变化?

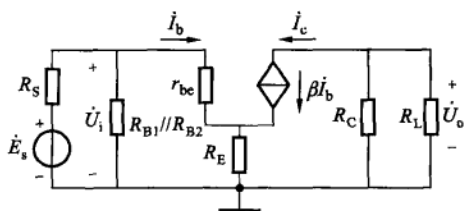
(2) 画出微变等效电路。

(3) 计算电压放大倍数 A_u , 并说明发射极电阻 R_E 对电压放大倍数的影响。

(4) 计算放大电路的输入电阻和输出电阻。

解: 重画电路图见题解图 15.16。除去发射极交流旁路电容 C_E 时, 有:

- (1) 静态工作点不发生变化。
- (2) 此时的微变等效电路如题解图 15.18 所示。



题解图 15.18

- (3) r_{be} 的计算参见题 15.4.5。 C_E 去掉之后

$$A_u = -\beta \frac{R'_L}{r_{be} + (1 + \beta)R_E} = -66 \times \frac{3.3 \times 5.1}{3.3 + 5.1} \times \frac{1}{0.72 + 67 \times 1.5} \approx -1.3$$

与题 15.4.5 比较, 由于 R_E 的影响, 电压放大倍数减小很多。

- (4) $r_i = R_{B1} // R_{B2} // [r_{be} + (1 + \beta)R_E] \approx 7.13 \text{ k}\Omega$

$$r_o \approx R_C = 3.3 \text{ k}\Omega$$

15.4.8 在图 15.4.1(a) 所示的放大电路中, 用万用表直流电压挡测量晶体管各个极的电位(对“地”电压)或 U_{BE} 和 U_{CE} 以判断下列故障: (1) R_{B1} 开路; (2) R_{B1} 短路; (3) R_E 开路; (4) C_E 击穿; (5) BE 结开路; (6) BE 结击穿; (7) CE 间击穿。

解: 电路见题解图 15.16。出现本题中所列出的各种故障时对应的测量结果是:

- (1) 基极对“地”的电压等于零。
- (2) 基极电位等于直流电源电压 U_{CC} 。
- (3) U_{CE} 等于零, 而且集电极电位等于 U_{CC} 。
- (4) 发射极电位等于零。
- (5) 基-射极电压比发射结正偏时的典型电压值(硅管的 0.6~0.7 V, 锗管的 0.2~0.3 V)大, 而且发射极电位等于零。
- (6) 基-射极电压等于零。
- (7) 集-射极电压等于零。

15.6.2 在图 15.05 所示的射极输出器中, 已知 $R_S = 50 \Omega$, $R_{B1} = 100 \text{ k}\Omega$, $R_{B2} = 30 \text{ k}\Omega$, $R_E = 1 \text{ k}\Omega$, 晶体管的 $\beta = 50$, $r_{be} = 1 \text{ k}\Omega$ 。试求 A_u 、 r_i 和 r_o 。

解: 题解图 15.19 为其微变等效电路。

由微变等效电路可以计算出 A_u 、 r_i 和 r_o 分别为

$$A_u = \frac{(1 + \beta)R_E}{r_{be} + (1 + \beta)R_E} = \frac{51 \times 1}{1 + 51 \times 1} \approx 0.98$$

$$r_i = R_{B1} // R_{B2} // [r_{be} + (1 + \beta)R_E] \approx 16 \text{ k}\Omega$$

$$r_o \approx \frac{r_{be} + (R_S // R_{B1} // R_{B2})}{\beta} \approx \frac{r_{be} + R_S}{\beta} = \frac{1050}{50} \Omega = 21 \Omega$$

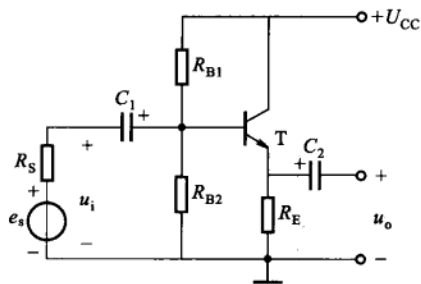
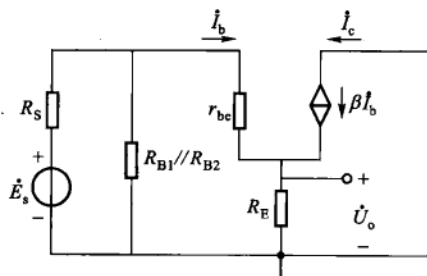


图 15.05 习题 15.6.2 的图



题解图 15.19

15.6.3 两级放大电路如图 15.06 所示, 晶体管的 $\beta_1 = \beta_2 = 40$, $r_{be1} = 1.37 \text{ k}\Omega$, $r_{be2} = 0.89 \text{ k}\Omega$ 。

- (1) 画出直流通路, 并估算各级电路的静态值 (计算 U_{CE1} 时忽略 I_{B2})。
- (2) 画出微变等效电路, 并计算 A_{u1} 、 A_{u2} 和 A_u 。
- (3) 计算 r_i 和 r_o 。

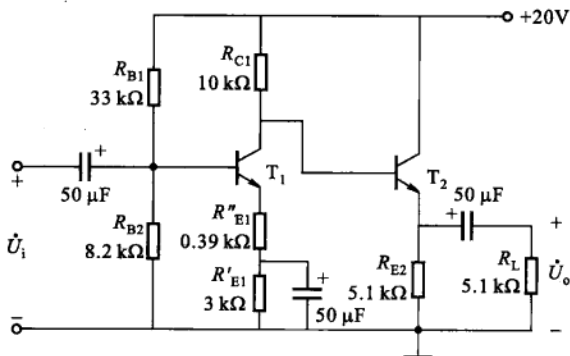
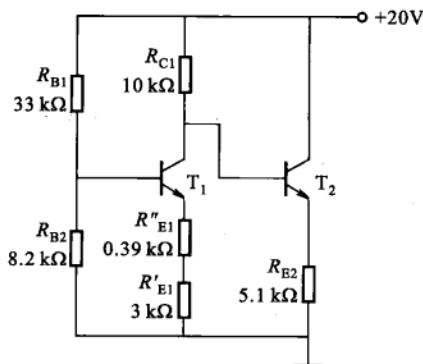


图 15.06 习题 15.6.3 的图

解: (1) 直流通路如题解图 15.20 所示。



题解图 15.20

前级静态值

$$V_{B1} = \frac{8.2}{33 + 8.2} \times 20 \text{ V} \approx 4 \text{ V}$$

$$I_{C1} \approx I_{E1} = \frac{4 - 0.6}{3 + 0.39} \text{ mA} \approx 1 \text{ mA}$$

$$I_{B1} \approx \frac{I_{C1}}{\beta} = \frac{1}{40} \text{ mA} = 25 \mu\text{A}$$

$$U_{CE1} = 20 \text{ V} - (10 + 3 + 0.39) \times 1 \text{ V} = 6.6 \text{ V}$$

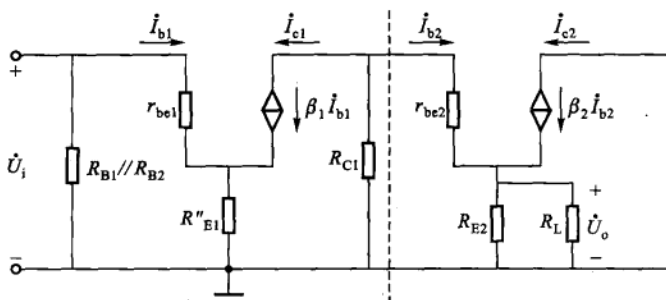
后级静态值

$$I_{C2} \approx I_{E2} = \frac{(20 - 10 \times 1) - 0.6}{5.1} \text{ mA} = 1.8 \text{ mA}$$

$$I_{B2} = \frac{1.8}{40} \text{ mA} = 45 \mu\text{A}$$

$$U_{CE2} = 20 \text{ V} - 5.1 \times 1.8 \text{ V} = 10.8 \text{ V}$$

(2) 微变等效电路如题解图 15.21 所示, 前级电压放大倍数为



题解图 15.21

$$A_{u1} = -\beta_1 \frac{R'_{L1}}{r_{be1} + (1 + \beta) R''_{E1}} = -40 \times \frac{9.1}{1.37 + 41 \times 0.39} = -21$$

式中

$$R'_{L1} = R_{C1} \parallel r_{i2} = R_{C1} \parallel [r_{be2} + (1 + \beta_2)(R_{E2} \parallel R_L)] \approx 9.1 \text{ k}\Omega$$

后级电压放大倍数

$$A_{u2} = \frac{(1 + \beta_2) R'_L}{r_{be2} + (1 + \beta_2) R'_L} = \frac{41 \times 2.55}{0.89 + 41 \times 2.55} \approx 0.99$$

式中

$$R'_L = R_{E2} \parallel R_L = 2.55 \text{ k}\Omega$$

$$A_u = A_{u1} A_{u2} = -21 \times 0.99 = -20.8$$

(3) 输入电阻即是前级的输入电阻

$$r_i = R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel [r_{be1} + (1 + \beta) R''_{E1}] = 4.77 \text{ k}\Omega$$

输出电阻即是后级的输出电阻

$$r_o \approx \frac{r_{be2} + R_{C1}}{\beta} = \frac{0.89 + 10}{40} \text{ k}\Omega = 272 \Omega$$

15.6.4 在图 15.07 中, $U_{CC} = 12\text{ V}$, $R_C = 2\text{ k}\Omega$, $R_E = 2\text{ k}\Omega$, $R_B = 300\text{ k}\Omega$, 晶体管的 $\beta = 50$ 。电路有两个输出端。试求:

(1) 电压放大倍数 $A_{u1} = \frac{\dot{U}_{o1}}{\dot{U}_i}$ 和 $A_{u2} = \frac{\dot{U}_{o2}}{\dot{U}_i}$ 。

(2) 输出电阻 r_{o1} 和 r_{o2} 。

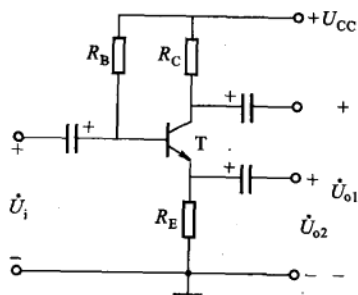


图 15.07 习题 15.6.4 的图

解:先计算静态值,有

$$I_B \approx \frac{12}{300 + (1 + 50) \times 2} \text{ mA} \approx 0.03 \text{ mA}$$

$$I_E = (1 + \beta) I_B = (1 + 50) \times 0.03 \text{ mA} = 1.53 \text{ mA}$$

$$r_{be} = \left[200 + (1 + 50) \times \frac{26}{1.53} \right] \Omega \approx 1.07 \text{ k}\Omega$$

(1) 从集电极输出时的电压放大倍数

$$A_{u1} = \frac{\dot{U}_{o1}}{\dot{U}_i} = - \frac{\beta \cdot R_C}{r_{be} + (1 + \beta) R_E} = - \frac{50 \times 2}{1.07 + 51 \times 2} \approx -1$$

从发射极输出时的电压放大倍数

$$A_{u2} = \frac{\dot{U}_{o2}}{\dot{U}_i} = \frac{(1 + \beta) R_E}{r_{be} + (1 + \beta) R_E} \approx 1$$

(2) 从集电极输出时的输出电阻

$$r_{o1} \approx R_C = 2 \text{ k}\Omega$$

从发射极输出时的输出电阻

$$r_{o2} \approx \frac{r_{be} + R'_S}{\beta} \approx \frac{r_{be}}{\beta} = \frac{1070}{50} \Omega = 21.4 \Omega$$

式中, $R'_S = R_S // R_B$, 忽略信号源内阻, 所以 $R'_S \approx 0$ 。

16.2.10 电路如图 16.11 所示, 已知 $u_{11} = 1 \text{ V}$, $u_{12} = 2 \text{ V}$, $u_{13} = 3 \text{ V}$, $u_{14} = 4 \text{ V}$, $R_1 = R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_3 = R_4 = R_F = 1 \text{ k}\Omega$, 试计算输出电压 u_O 。

解: 此题用叠加定理计算。

(1) 当 u_{11} 、 u_{12} 作用, 而 $u_{13} = u_{14} = 0$ 时, 有

$$\begin{aligned} u'_O &= - \left(\frac{R_F}{R_1} u_{11} + \frac{R_F}{R_2} u_{12} \right) \\ &= - \left(\frac{1}{2} \times 1 + \frac{1}{2} \times 2 \right) \text{ V} = -1.5 \text{ V} \end{aligned}$$

(2) 当 u_{13} 、 u_{14} 作用, 而 $u_{11} = u_{12} = 0$ 时, 有

$$u''_O = \left(1 + \frac{R_F}{R_1 // R_2} \right) u_+$$

由虚断知 $i_+ = 0$, 同相输入端电压 u_+ 可通过节点电压法求出

$$u_+ = \frac{\frac{u_{13}}{R_3} + \frac{u_{14}}{R_4}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{\frac{3}{1} + \frac{4}{1}}{\frac{1}{1} + \frac{1}{1}} \text{ V} = 3.5 \text{ V}$$

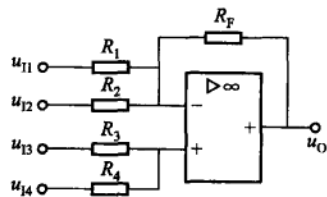


图 16.11 习题 16.2.10 的图

则

$$u_0'' = \left(1 + \frac{R_F}{R_1 // R_2}\right) u_+ = \left(1 + \frac{1}{\frac{2 \times 2}{2+2}}\right) \times 3.5 \text{ V} = 7 \text{ V}$$

(3) 当 u_{11} 、 u_{12} 、 u_{13} 、 u_{14} 共同作用时, 由叠加定理可得

$$u_0 = u_0' + u_0'' = (-1.5 + 7) \text{ V} = 5.5 \text{ V}$$

16.2.11 求图 16.12 所示电路的 u_0 与 u_1 的运算关系式。

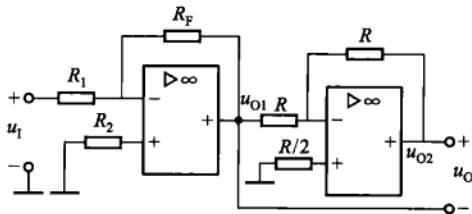


图 16.12 习题 16.2.11 的图

解: 设集成运放 A_1 、 A_2 输出端对地电位分别为 u_{O1} 、 u_{O2} , 则

$$u_{O1} = -\frac{R_F}{R_1} u_1$$

$$u_{O2} = -\frac{R}{R} u_{O1} = \frac{R_F}{R_1} u_1$$

故

$$u_0 = u_{O2} - u_{O1} = \frac{R_F}{R_1} u_1 - \left(-\frac{R_F}{R_1}\right) u_1 = 2 \frac{R_F}{R_1} u_1$$

16.2.13 求图 16.14 所示的电路中 u_o 与各输入电压的运算关系式。

解:由第一级反相比值运算电路得

$$u_{o1} = -\frac{10}{1}u_1 = -10u_1$$

由第二级反相加法运算电路得

$$\begin{aligned} u_o &= -\left(\frac{10}{10}u_{o1} + \frac{10}{5}u_{i2} + \frac{10}{2}u_{i3}\right) \\ &= -(-10u_{i1} + 2u_{i2} + 5u_{i3}) \\ &= 10u_{i1} - 2u_{i2} - 5u_{i3} \end{aligned}$$

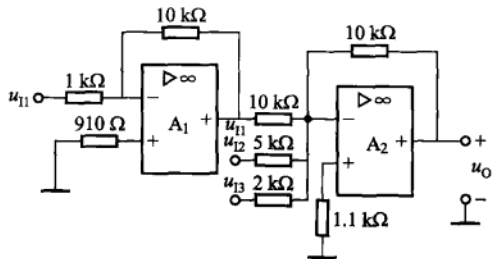


图 16.14 习题 16.2.13 的图

16.3.4 在图 16.27 中,运算放大器的最大输出电压 $U_{OM} = \pm 12\text{ V}$,稳压二极管的稳定电压 $U_Z = 6\text{ V}$,其正向压降 $U_D = 0.7\text{ V}$, $u_i = 12\sin\omega t\text{ V}$ 。当参考电压 $U_R = +3\text{ V}$ 和 -3 V 两种情况下,试画出传输特性和输出电压 u_o 的波形。

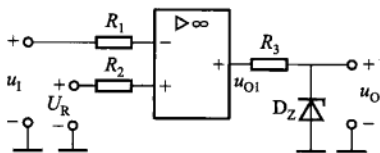


图 16.27 习题 16.3.4 的图

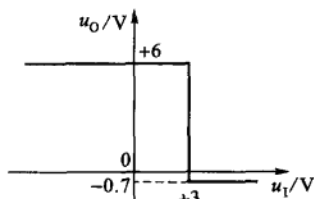
解:图 16.27 所示的电路包含了由集成运放开环状态下构成的比较电路和由电阻 R_3 及稳压二极管 D_Z 构成的限幅电路。

当 $u_i < U_R$ 时, $u_{O1} = +12\text{ V}$, $u_o = U_Z = 6\text{ V}$ 。

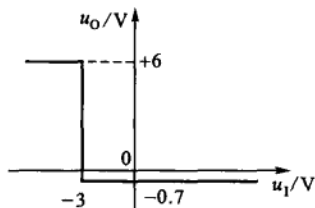
当 $u_i > U_R$ 时, $u_{O1} = -12\text{ V}$, $u_o = -0.7\text{ V}$ 。

对应于参考电压 $U_R = 3\text{ V}$ 时的电压传输特性和输出电压 u_o 的波形图分别如题解图 16.21(a)、(b)所示。

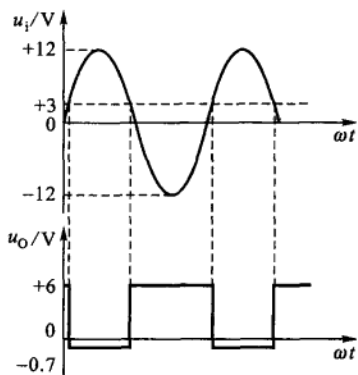
对应于参考电压 $U_R = -3\text{ V}$ 时的电压传输特性和输出电压 u_o 的波形图分别如题解图 16.22(a)、(b)所示。



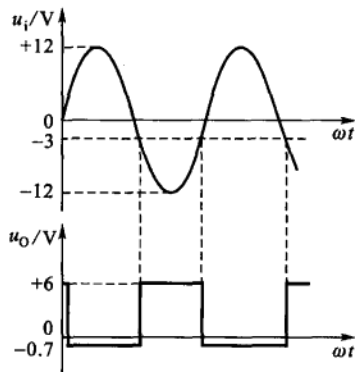
(a)



(a)



(b)

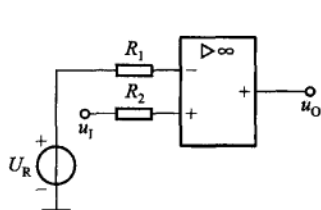


(b)

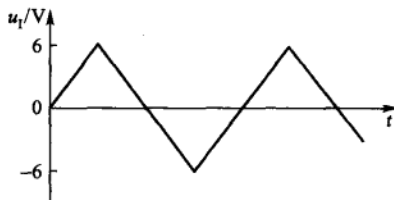
题解图 16.21

题解图 16.22

16.3.5 在图 16.28(a)中,运算放大器的最大输出电压 $U_{OM} = \pm 12\text{ V}$,参考电压 $U_R = 3\text{ V}$,输入电压 u_i 为三角波电压,如图 16.28(b)所示,试画出输出电压 u_o 的波形。



(a)



(b)

图 16.28 习题 16.3.5 的图

解: 当 $u_i > U_R$, 即 $u_i > 3\text{ V}$ 时, $u_o = +U_{OM} = +12\text{ V}$ 。

当 $u_i < U_R$, 即 $u_i < 3\text{ V}$ 时, $u_o = -U_{OM} = -12\text{ V}$ 。

输出电压 u_o 的波形如题解图 16.23 所示。