

第二章

2.1 $U_{AB} = 0.45U$ 。

2.2 (a) D_2 导通, D_1 截止。(b) D_2 导通, D_1 截止。(c) D_1 导通, D_2 截止 (d) D_2 导通, D_1 截止。

2.4 (a) $U_{o1} = 1.3V$ 。(b) $U_{o2} = 0V$ 。(c) $U_{o3} = -1.3V$ 。(d) $U_{o4} = 2V$ (e) $U_{o5} = 1.3V$ 。(f) $U_{o6} = -2V$ 。

2.5 (1) $I_{DB} = 0$; $I_{DA} = I_R = 1mA$; $U_o = 9V$ 。(2) $I_{DB} = 0$; $I_{DA} = I_R = 0.6mA$; $U_o = 5.4V$ 。
(3) $U_o = 4.74V$; $I_R \approx 0.53mA$; $I_{DA} = I_{DB} = \frac{1}{2}I_R \approx 0.26mA$ 。

2.6 (a) D 截止。(b) D 截止。(c) D 导通。

2.8 (1) $U_1 = 10V$ 时 $U_0 = 3.3V$ 。 $U_1 = 15V$ 时 $U_0 = 5V$ 。 $U_1 = 35V$ 时 $U_0 = 6V$ 。

(2) 若 $U_1 = 35V$ 时负载开路, 稳压管 D 可能被击穿。 $I_R = \frac{35V - 6V}{1k\Omega} = 29mA > 25mA$ 稳压管会因所承受的反向电流过大, 出现热击穿而被烧毁。

第三章

3.1 (1) (a) 电流方向向外, 大小为 $1.01mA$; (b) 电流方向向外, 大小为 $5mA$ 。

(2) (a) $\beta = \frac{1mA}{10\mu A} = 100$; (b) $\beta = \frac{5mA}{100\mu A} = 50$ 。

(3) (a) 该管为 NPN 型; (b), 该管为 PNP 型。

3.2 (a) 为 PNP 型; (b) 为 NPN 型; (c) 为 NPN 型; (d) 为 PNP 型; (e) 为 PNP 型; (f) 为 NPN 型。

3.4 (a) 不能正常放大。(b) 无交流放大作用。(c) 能够实现交流放大。(d) 不能实现交流放大。(e) 不能实现交流放大。(f) 电路能够正常放大。

3.5 (1) $U_{BEQ} = 0.7V$; $I_{BQ} = 50\mu A$; $I_{CQ} = 2mA$; $U_{CEQ} = 6V$ 。

3.6 (1) 当 $I_{BQ} = 0.3mA$ 时, Q_1 的 $\beta_1 = 50$; Q_2 点的 $\beta_2 = 25$ 。(2) $U_{(BR)CEO} = 40V$; $P_{CM} = 7.2W$

3.7 (a) 三极管工作在截止区。(b) 三极管工作在放大区。(c) 三极管工作在饱和区。

3.8 (1) $R_B = \frac{V_{CC}}{I_{BQ}} = \frac{12V}{60\mu A} = 200k\Omega$ 。

(2) $V_{CC} = 12V$, $U_{CEQ} = 4V$, $I_{CQ} = 2mA$, $R_C = 4k\Omega$, $R_B = 300k\Omega$, $R_L = 1.33k\Omega$ 。 $u_{om} = 2V$ 。

3.9 (1) $R_c = 2.5k\Omega$, $R_b = 250k\Omega$, $R_L = 3.75k\Omega$ 。

(2)、该电路先出现截止失真。刚出现失真时, 输出电压的峰-峰值为 $6V$ 。

(3) $R_i = 863\Omega$, $A_u \approx -87$, $R_o = 2k\Omega$ 。

(4) $I_{BQ} = 40\mu A$, $I_{CQ} = 1mA$, $U_{CEQ} = 7.5V$, $A_u \approx -42.8$ 。

3.10 (1) $I_{BQ} = 20.4\mu A$, $I_{EQ} \approx 2mA$, $U_{CEQ} = -4V$ 。(2) $r_{be} = 1513\Omega$ 。

(3) $A_u = -99$, $R_i = 1.5k\Omega$, $R_o = 3k\Omega$ 。

(4) 产生了截止失真; 若使截止失真消失, 应该提高静态工作点, 减小偏置电阻 R_b 。

3.11 (a) $I_{BQ} \approx 46.3\mu A$, $20^\circ C$ 时电路的静态工作点: $I_{CQ1} = 2.3mA$, $U_{CEQ1} \approx 5.56V$; $55^\circ C$ 时电路的静态工作点: $I_{CQ2} = 3.2mA$, $U_{CEQ2} \approx 3V$ 。

(b) $U_{BQ} = 3V$, $I_{CQ} \approx 2.4mA$ 。20°C时电路的静态工作点: $I_{BQ1} = 48\mu A$, $U_{CEQ1} = 5.28V$;
55°C时电路的静态工作点: $I_{BQ2} = 34.3\mu A$, $U_{CEQ2} = U_{CEQ1} = 5.28V$ 。

从以上分析可知,分压式偏置电路能够起到稳定静态工作点的作用。

3.12 (1) $U_{BQ} = 3.3V$, $I_{CQ} \approx I_{EQ} = 2mA$, $I_{BQ} = 20\mu A$, $U_{CEQ} = 7.4V$ 。

(2) $A_u = -7.9$, $R_i \approx 3.7k\Omega$, $R_o = 5k\Omega$ 。

(3) $U_{BQ} = 3.3V$, $I_{CQ} \approx I_{EQ} = 2mA$, $U_{CEQ} = 7.4V$ 不变, $I_{BQ} = 10\mu A$ 。

(4) 若电容 C_c 开路, $A_u = \frac{-\beta R_c \parallel R_L}{r_{be} + (1 + \beta)(R_c' + R_c'')}$ 将变小, $R_i = R_{b1} \parallel R_{b2} \parallel [r_{be} + (1 + \beta)(R_c' + R_c'')]$

将变大, 输出电阻 R_o 基本不变。

3.13 (1) $U_{CEQ} = 5.19V$, $I_{CQ} = 2.27mA$ (2) C_1 右为正, C_2 左为正。

(3) 当环境温度发生改变时:

$$T \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow U_{R_c} \uparrow (U_{BE} \text{ 不变}) \rightarrow U_{R_B} \downarrow \rightarrow I_B \uparrow \rightarrow I_C \downarrow$$

3.14 (1) $R_B = 550k\Omega$ (2) R_E 短路时, $I_{BQ} = 79\mu A$, $I_{CQ} = 3.95mA$, $U_{CEQ} = -20V$ 。

3.15 (1) $I_{BQ} = 0.275mA$, 当 $\beta = 20$ 时, 有 $I_{CQ} = 5.5mA$, $U_{CEQ} = 8.5V$ 。

(2) $A_u = -0.855$, $R_i = 7.93k\Omega$, $R_o \approx R_c = 1k\Omega$ 。

(3) 当稳压管反接时, $U_{BQ} = U_D + U_{BEQ} = 1.4V$, $I_{BQ} = 0.717mA$, $I_{CQ} = 14.34mA$,
 $U_{CEQ} = 4.96V$; $A_u = -15.84$, $R_i = 1.14k\Omega$, $R_o \approx R_c = 1k\Omega$ 。

3.16 (1) $I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{(1 + \beta)(R_{c1} + R_{c2}) + (R_{b1} + R_{b2})}$; $I_{CQ} = \beta I_{BQ}$ 。

(2) $A_u = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{\beta(R_c \parallel R_{b1} \parallel R_L)}{r_{be}}$; $R_i = R_{b2} \parallel r_{be}$; $R_o = R_c$ 。

3.17 (1) $U_{BQ} \approx 4.3V$, $I_{CQ} \approx I_{EQ} = 1.8mA$, $I_{BQ} \approx 18\mu A$, $U_{CEQ} = 2.8V$, $r_{be} = 1.66k\Omega$ 。

(3) $A_u \approx 1$, $R_i \approx 7.9k\Omega$, $A_{us} = 0.8$, $R_o \approx 32\Omega$ 。

3.18 (1) $U_{BQ} \approx 2.8V$, $I_{CQ} \approx I_{EQ} = 1mA$, $I_{BQ} = 5\mu A$, $U_{CEQ} = 5V$ 。

(2) $A_{u1} \approx -0.98$, $A_{u2} \approx 0.99$ 。(3) $A_{u1} \approx -0.5$, $A_{u2} \approx 0.97$ 。

3.19 $R_i' = \frac{r_{be} + [(1 + \beta) + \frac{r_{be}}{R_{B3}}](R_{B2} \parallel R_E \parallel R_L)}{1 + \frac{r_{be}}{R_{B3}}}$, $R_i = R_{B1} \parallel R_i'$;

$R_o' = \frac{(r_{be} \parallel R_{B3} + R_{B1})}{1 + \beta}$, $R_o = R_{B2} \parallel R_E \parallel R_o'$ 。

3.20 $A_u \approx 77$, $A_{us} \approx 5.7$, $R_i \approx 12\Omega$, $R_o \approx R_c = 2k\Omega$ 。

3.21 $A_u \approx 273$, $R_i \approx 27\Omega$, $R_o \approx R_c = 7.5k\Omega$ 。

3.22 (1) $U_{BQ} = 5V$, $I_{CQ} \approx I_{EQ} = 10mA$, $I_{BQ} = 0.2mA$, $U_{CEQ} = 10V$ 。

(2) 最大不失真输出电压的幅值为 5V。

(3) $A_u = 75$, $R_i = 6.4\Omega$, $R_o \approx R_c = 500\Omega$ 。

3.23 (1) $A_{um} = -100$, $f_L = 10Hz$, $f_H = 10^5Hz$ 。(2) $\dot{A}_u = \frac{-10jf}{(1 + j\frac{f}{10})(1 + j\frac{f}{10^5})}$ 。

3.24 (1) $\dot{A}_{um} = -100$, $f_L = 10Hz$, $f_H = 10^5Hz$ 。

第四章

- 4.1 (a) P 沟道耗尽型 MOS 管; (b) N 沟道耗尽型 MOS 管; (c) P 沟道结型 FET。
- 4.2 (a) N 沟道增强型 MOS 管, $U_{GS(th)} = 2V$; (b) P 沟道增强型 MOS 管, $U_{GS(th)} = -3V$;
(c) N 沟道结型 FET, $U_{GS(off)} = -3V$ 。
- 4.3 (a) 截止区; (b) 饱和区; (c) 可变电阻区; (d) 饱和区。
- 4.4 $I_D \approx 1mA$ 。
- 4.5 (a) 能; (b) 不能, $U_{GS} = 0$ 没有形成导电沟道, 所以不能正常放大; (c) 不能, 因为 $U_{GS} > 0$; (d) 不能, 因为缺少漏极电阻 R_D 。
- 4.6 $U_{GSQ} = -1.53V$, $U_{DSQ} = 7.41V$, $I_{DQ} = 1.53mA$ 。
- 4.7 $U_{GSQ} = 3V$, $U_{DSQ} = 1.4V$, $I_{DQ} = 0.36mA$, 管子工作在可变电阻区。
- 4.8 $U_{GSQ} = 2.25V$, $U_{DSQ} = 4.75V$, $I_{DQ} = 0.25mA$, $R_D = 10K\Omega$ 。
- 4.9 (2) 最大不失真幅度为 4.6V。
- 4.10 (1) $U_{GSQ} = 2V$, $U_{DSQ} = 3V$, $I_{DQ} = 0.1mA$ 。(2) $A_u = -2$, $R_i = 36K\Omega$, $R_o = 20K\Omega$
(3) $A_{us} = -1.89$
- 4.11 $A_u = -1.67$, $R_i = 1075K\Omega$, $R_o = 10K\Omega$ 。
- 4.12 $A_u = -25$, $R_i = 2M\Omega$, $R_o = 10K\Omega$ 。
- 4.13 R_L 接入时: $A_u = 0.909$; R_L 断开时: $A_u = 0.952$; $R_i = 1018.75K\Omega$; $R_o \approx 476\Omega$ 。
- 4.14 (1) $U_{GSQ} = -2V$, $U_{DSQ} = 6V$, $I_{DQ} = 2mA$ 。(2) $A_u = 5$, $R_i \approx 333\Omega$, $R_o = 5K\Omega$ 。
- 4.15 $A_u = 5$, $R_i \approx 667\Omega$, $R_o = 10K\Omega$ 。
- 4.16 (1) $U_{GSQ} = -1.24V$, $U_{DSQ} = 17.52V$, $I_{DQ} = 1.24mA$ 。(3) 中频放大倍数为 1.7008, 通频带为 458.74MHz, 输入电阻为 999.997K Ω , 输出电阻为 1.998K Ω 。

第五章

5.1 (1) 直接, 变压器, 光电。(2) 负载, 信号源内阻, 小于 AB。(3) 共集电极, 共发射极, 共发射极, 共集电极。(4) 偏置电路, 有源负载。(5) 温度变化, 差分式放大。(6) 差, 算术平均值, 5V, 0.5V, 差模, 共模。(7) 输入, 输出。(8) 直接, 电流源, 差分式, 共射极, 互补输出。

5.2 (1) 图 (a):

$$\dot{A}_u = -\frac{\beta_1 \{R_2 // [r_{be2} + (1 + \beta_2)R_3]\}}{R_1 + r_{be1}} \cdot \frac{(1 + \beta_2)R_3}{r_{be2} + (1 + \beta_2)R_3}, \quad R_i = R_1 + r_{be1}, \quad R_o = R_3 // \frac{r_{be2} + R_2}{1 + \beta_2};$$

图 (b):

$$\dot{A}_u = \frac{(1 + \beta_1)(R_2 // R_3 // r_{be2})}{r_{be1} + (1 + \beta_1)(R_2 // R_3 // r_{be2})} \cdot \left(-\frac{\beta_2 R_4}{r_{be2}}\right), \quad R_i = R_1 // [r_{be1} + (1 + \beta_1)(R_2 // R_3 // r_{be2})],$$

$$R_o = R_4;$$

图 (c):

$$\dot{A}_u = -\frac{\beta_1 \{R_2 // [r_{be2} + (1 + \beta_2)r_d]\}}{R_1 + r_{be1}} \cdot \left[-\frac{\beta_2 R_3}{r_{be2} + (1 + \beta_2)r_d}\right], \quad R_i = R_1 + r_{be1}, \quad R_o = R_3;$$

图 (d):

$$\dot{A}_u = [-g_m(R_4 // R_6 // R_7 // r_{be2})] \cdot \left(-\frac{\beta_2 R_8}{r_{be2}}\right), \quad R_i = R_3 + R_1 // R_2, \quad R_o = R_8。$$

(2) 第一级产生的是饱和失真, 增大电阻 R_1 (降低静态工作点); 第二级产生的是截止失真, 减小电阻 R_2 。

5.3 (1) Q₁: $U_{BQ1} \approx 2.9V$, $U_{EQ1} = 2.2V$, $I_{CQ1} \approx I_{EQ1} \approx 0.5mA$, $I_{BQ1} = 10\mu A$, $U_{CEQ1} \approx 7.75V$;

Q₂: $I_{BQ2} \cdot R_{b2} + (1 + \beta)I_{BQ2} \cdot R_{c2} + U_{BEQ2} = V_{CC}$, $I_{BQ2} = 39.4\mu A$, $I_{CQ2} \approx 2mA$, $U_{CEQ2} = 9V$ 。

(2) $r_{be1} = 2.85k\Omega$, $r_{be2} = 863\Omega$ 。

(3) $R_1 \approx 7.2k\Omega$, $R_{i2} = 56.5k\Omega$, $R_o \approx 200\Omega$, $A_{u1} \approx -32.55$, $A_{u2} \approx 0.99$, $A_u \approx -32.2$ 。

5.4 $f_L \approx 155HZ$, $f_H \approx 12.86kHz$ 。

5.5 (1)
$$A_u = \frac{-32}{(1 + \frac{10}{jf})(1 + j\frac{f}{10^5})}$$

5.6 (1) 图 (a) $I_O = 1.43mA$; 图 (b) $I_{REF} = 1.3mA$, $I_O = 650\mu A$ 。

(2) $I_{REF} = 1.43mA$, $R_{c2} \approx 5.6k\Omega$ 。

5.7 T₃ 管的接入可以减小基极电流对集电流的影响, 减小输出电流与参考电流之间的镜像误差。

$\beta = 10$, $I_O = 0.982I_{REF}$; $\beta = 100$, $I_O = 0.9998I_{REF}$ 。

5.8 $I_{REF} = 100\mu A$, $I_{C1} = I_{C2} \approx I_{REF} = 100\mu A$ 。

5.9 $I_{O1} = 0.17mA$, $I_{O2} = 0.34mA$ 。

5.10 电流源作有源负载, $I_{C2} \approx 0.5mA$ 。

5.11 (1) 静态工作点: $I_{BQ1} = I_{BQ2} = 18.8\mu A$, $I_{CQ1} = I_{CQ2} = 0.565mA$, $U_{CEQ1} = U_{CEQ2} = 12.05V$ 。

(2) $A_{ud} = -9.2$, $R_{id} = 7.86k\Omega$, $R_{od} = 2R_c = 2.4k\Omega$ 。

5.12 (1) $I_{EQ1} = I_{EQ2} = 0.57mA$, $I_{CQ1} = I_{CQ2} \approx I_{EQ1} = 0.57mA$, $U_{CEQ1} = U_{CEQ2} = 6.9V$,

$I_{BQ1} = I_{BQ2} = 7\mu A$, $r_{be} = 3.9k\Omega$ 。

(2) $A_{ud} = -23.5$, $R_{id} = 34.1k\Omega$, $R_{od} = 20k\Omega$ 。

5.13 (1) $\dot{A}_{ud} = -\frac{\beta(R_c + \frac{1}{2}R_w)}{r_{be}}$ 。(2) $\dot{A}_{ud} = -\frac{\beta(R_c + \frac{1}{2}R_w)}{r_{be}}$ 。(3) \dot{A}_{ud} 相同, 但是对于 (2) 时, $|\Delta U_{C1}| > |\Delta U_{C2}|$ 。

5.14 (1) $I_{CQ1} = I_{CQ2} \approx 0.565mA$, $I_{BQ1} = I_{BQ2} \approx 7\mu A$, $U_{CEQ1} = 3.9V$, $U_{CEQ2} = 7.05V$, $r_{be} \approx 4k\Omega$ 。

(2) $\dot{A}_{ud} \approx -22$, $R_{id} = 18.2k\Omega$, $R_{od} = 10k\Omega$ 。(3) $A_{uc} \approx -0.25$, $K_{CMR} \approx 88$ 。

5.15 (1) $I_{CQ1} = I_{CQ2} \approx 0.38mA$, $I_{BQ1} = I_{BQ2} \approx 3.8\mu A$, $U_{CEQ1} = 5.1V$, $U_{CEQ2} = 3.34V$, $r_{be} = 7.2k\Omega$ 。

(2) $A_{ud} = 45.3$, $R_{id} = 26.5k\Omega$, $R_{od} = R_c = 20k\Omega$ 。(3) $A_{uc} \approx 0.4$, $K_{CMR} \approx 113$ 。

5.16 $u_{ic} = 15mV$, $u_{id} = 10mV$, $A_{ud} \approx -66.7$, $u_o = 0.667V$ 。

5.17 (1) T₃, R, R_c, D 构成恒流源电路, 为 T₁、T₂ 提供射极电流。

(2) $I_{CQ1} = I_{CQ2} \approx 1mA$, $I_{BQ1} = I_{BQ2} = 20\mu A$, $U_{CEQ1} = U_{CEQ2} = 7.7V$ 。

(3) $\dot{A}_{ud} \approx -24.75$, $R_{id} = 10.1k\Omega$, $R_{od} = 10k\Omega$ 。

5.18 $\dot{A}_{ud} = -g_m R_D = -40$, $R_{id} = \infty$, $R_{od} = 2R_d = 40k\Omega$ 。

5.19
$$A_{ud} = -\frac{\beta_2 \{R_2 // [r_{be4} + (1 + \beta)R_4]\}}{r_{be1} + r_{be2}} \cdot \frac{\beta_4 \{R_5 // [r_{be5} + (1 + \beta_5)R_6]\}}{r_{be4} + (1 + \beta_4)R_4} \cdot \frac{(1 + \beta_5)R_6}{r_{be5} + (1 + \beta_5)R_6}$$
,

$R_1 = r_{be1} + r_{be2}$, $R_o = R_6 // \frac{R_5 + r_{be5}}{1 + \beta_5}$ 。

5.21 (1) u_{i1} 为反相输入端, u_{i2} 为同相输入端。

(2) 作为 T₁ 和 T₂ 管的有源负载, 将 T₁ 管集电极电流变化量转化为电压输出, 使单端输出差分放大电路的差模放大倍数近似等于双端输出时的放大倍数。

(3) 为 T₆ 设置静态电流, 并同时作 T₆ 的集电极有源负载, 增大共射放大电路的放大能力。

(4) 消除交越失真。

5.22 (1) u_{i1} 为反相输入端, u_{i2} 为同相输入端。

(2) 输入级采用复合管构成的差分式放大电路, 中间级 T_7 、 T_8 、 T_9 , T_7 、 T_8 为射极输出器, 提高输入电阻, T_9 为共射电压放大。

(3) T_5 、 T_6 构成电流源作 T_2 、 T_3 的有源负载。 I_2 、 I_3 、 I_4 分别为 T_7 、 T_8 、 T_9 提供集电极电流, I_2 、 I_4 同时作有源负载。

5.23 $u_i = 10\mu\text{V}$ 时, $u_o = 1\text{V}$; $u_i = 100\mu\text{V}$ 时, $u_o = 10\text{V}$; $u_i = 1\text{mV}$ 时, $u_o = +14\text{V}$;
 $u_i = 1\text{V}$ 时, $u_o = +14\text{V}$; $u_i = -10\mu\text{V}$ 时, $u_o = -1\text{V}$; $u_i = -100\mu\text{V}$ 时, $u_o = -10\text{V}$;
 $u_i = -1\text{mV}$ 时, $u_o = -14\text{V}$; $u_i = -1\text{V}$ 时, $u_o = -14\text{V}$ 。

第六章

一、1. B 2. D 3. C 4. B 5. A B B A B 6. A B C D B A 7. B 8. B 9. A 10. B 11. D

二、1. \times 2. \checkmark 3. \times 4. \checkmark

三、(a) 交直流负反馈, (b) 直流负反馈, (c) R_{f1} R_{f2} 直流负反馈, R_{e1} 交直流负反馈, (d) 交直流负反馈。

四、(a) 电压并联负反馈, 输入电阻减小, 输出电阻减小。闭环增益 $-R_4$, 闭环电压增益 $-\frac{R_4}{R_1}$,

(b) 电压串联负反馈, 输入电阻增加, 输出电阻减小。闭环增益等于闭环电压增益 $\frac{R_1 + R_2}{R_1}$,

(c) 电流串联负反馈, 输入电阻增加, 输出电阻增加。闭环增益 $\frac{1}{R_4}$, 闭环电压增益 $\frac{R_L}{R_4}$,

(d) 电压串联负反馈, 输入电阻增加, 输出电阻减小。闭环增益等于闭环电压增益 $\frac{R_3 + R_6}{R_3}$,

(e) 电流并联负反馈, 输入电阻减小, 输出电阻增加。闭环增益 1, 闭环电压增益 $\frac{R_L}{R_1}$,

(f) 电压并联负反馈, 输入电阻减小, 输出电阻减小。闭环增益 $-R_f$, 闭环电压源增益 $-\frac{R_f}{R_s}$ 。

五、1. $A_u = \frac{u_o}{u_i} = A_{u1} A_{u2} = -\frac{\beta[R_c (r_{be3} + (1 + \beta)R_e)]}{R_s + 2r_{be1}} \times \frac{\beta R_{c3}}{r_{be3} + (1 + \beta)R_e}$ 。

2. 开关闭合后, 引入了电压串联负反馈。 $A_{uuf} = \frac{u_o}{u_i} = \frac{R_s + R_f}{R_s} = \frac{3 + 12}{3} = 5$ 。

六、(2) $R_f = 190\text{k}\Omega$ 。

七、 $\frac{dA_{uuf}}{A_{uuf}} = 0.1\%$ 。

八、 $BW = 4\text{kHz}$ 。

九、2. 最大环路增益为: 18dB。

第七章

1. (1) B (2) B (3) B (4) B D E (5) C (6) C (7) C。

2. (1) $P_{om} \approx 2.07\text{W}$ 。(2) $R_B \approx 1.57\text{k}\Omega$ 。(3) $\eta \approx 24\%$ 。

3. (1) $P_{om} = 9\text{W}$, $P_{CM} \geq 0.2 P_{om} = 0.2 \times 9 = 1.8\text{W}$, $|U_{(BR)CEO}| \geq 2V_{CC} = 24\text{V}$ 。

- (2) $P_V = 11.46\text{W}$, $U_i \approx 8.49\text{V}$ 。
4. (1) 输出功率为: $P_o = 4\text{W}$, 总管耗为: $P_T = 2.75\text{W}$, 直流电源供给的功率为: $P_V = 6.75\text{W}$, 电路的效率: $\eta = 59.2\%$ 。
- (2) 输出功率为: $P_o = \frac{U_{om}^2}{2R_L} = 7.03\text{W}$, 总管耗为: $P_T = \frac{2V_{CC}U_{om}}{\pi R_L} - \frac{U_{om}^2}{2R_L} = 1.93\text{W}$, 直流电源供给的功率为: $P_V = \frac{2V_{CC}U_{om}}{\pi R_L} = 8.96\text{W}$, 电路的效率: $\eta \approx 78.5\%$ 。
- (3) 当输入信号幅值 $U_{im} = V_{CC} = 20\text{V}$ 时, 电路的输出会发生失真。
5. (1) $P_{om} = 24.5\text{W}$, $\eta \approx 68.69\%$ 。(2) $P_{Tmax} = 4.9\text{W}$ 。
6. (1) 最大不失真输出电压有效值为: $U_o \approx 8.65\text{V}$ 。
- (2) 负载电流最大值为: $i_{Lmax} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{R_4 + R_L} \approx 1.53\text{A}$ 。
- (3) $P_{om} \approx 9.35\text{W}$, $\eta \approx 64\%$ 。
7. (1) 电路的输出功率为: $P_o = 12.5\text{W}$, 直流电源供给的功率为: $P_V \approx 22.5\text{W}$, 总管耗为: $P_T = 10\text{W}$, 效率为: $\eta \approx 55.6\%$ 。
- (2) 该电路的最大不失真输出功率为: $P_{om} = 20.25\text{W}$, 直流电源供给的功率为: $P_V = 28.66\text{W}$, 效率为: $\eta \approx 70.7\%$, 所需的 U_{o3} 的有效值为: $U_{o3} = 12.73\text{V}$ 。
8. (1) 静态时, 电容 C 两端的电压应是 $V_{CC}/2$ 。(2) $V_{CC} = 24\text{V}$ 。(3) 应调整电阻 R_3 , 使该电阻增大, 从而消除交越失真。
9. (1) $P_{om} \approx 10.6\text{W}$ 。(2) 应引入电压串联负反馈。(3) $R_f = 98\text{k}\Omega$ 。
10. (1) R_3 、 R_4 和 T_3 组成“ U_{BE} 扩大电路”, 用以消除交越失真。调节 R_3/R_4 的值, 可以改变 U_{CE3} 的值。若电路出现交越失真, 增大 R_3/R_4 (U_{CE3}) 的值, 使输出管在静态时处于微导通, 便可消除信号在零点附近的交越失真现象。
- (2) 当电路输出电流过大时, D_1 、 D_2 可起到过载保护作用。
11. (1) $P_o = 7.2\text{W}$, $\eta = \frac{P_o}{P_V} \approx 62.8\%$ 。(2) 3AD1 的定额未超过, 可以使用。
12. (1) 该电路属于 OCL 电路。(2) $P_{om} = 14.06\text{W}$ 。(3) $\eta \approx 78.5\%$ 。
13. (1) 静态时, $u_p = u_N = 12\text{V}$, $u_o = 0\text{V}$ 。(2) 最大输出功率和效率分别为: $P_{om} \approx 5.06\text{W}$, $\eta \approx 58.9\%$ 。

第八章

1. $U_{o1} = 6\text{V}$, $U_{o2} = 6\text{V}$, $U_{o3} = 2\text{V}$ 。

2. (1) $U_o = -4V$ 。(2) $U_o = -4V$ 。(3) $U_o = -14V$ 。(4) $U_o = -8V$ 。

3. (1) $U_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)U_k$ 。(2) $U_o = 4.5V$ 。

4. (1) 当滑动端在最上端时, $U_o = -2V$ 。(2) 当滑动端在中间位置时, $U_o = -4.5V$ 。

(3) 当滑动端在最下端时, 若输入为正, 输出电压为 $12V$, 若输入为负, 输出为 $-12V$ 。

7. (1) $U_o = -0.05mV$ 。(2) $U_o = 4.675mV$ 。(3) 共模抑制比为: $CMRR = 189.5$

8. $U_o = \left(1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)U_{i2} - \frac{R_1}{R_1 + R_2}U_{i1}$ 。

9. (1) 这是一个积分运算电路。

10. (1) $u_{o1} = -\frac{R_2}{R_1}u_i$, $u_{o2} = -R_1C \frac{du_i}{dt}$ 。(2) $u_o = -2R_1C \frac{du_i}{dt} + \frac{R_2}{R_1}u_i$ 。

11. (1) 该电路特点为高输入阻抗, 高共模抑制比, 高增益。

$$(2) A_{ud} = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)$$

(3) 调整 $R_3 \sim R_6$ 中的一个或多个, 使 $\frac{R_4}{R_3} \neq \frac{R_6}{R_5}$, 即可改变放大器的共模抑制比。

(4) 首先在输入端加入差模信号, 测得输出电压, 代入公式求得差模放大倍数 A_{od} , 再在

输入端加入共模信号, 测得输出电压, 代入公式求得共模放大倍数 A_{oc} , 则可得 $K_{CMR} = \left| \frac{A_{od}}{A_{oc}} \right|$ 。

12. ① A_1 组成对数电路, A_2 组成反相输入比例电路, A_3 组成指数电路。

② $u_{o1} = -u_T \ln \frac{u_1}{I_s R_1}$, $u_{o2} = -\frac{R_3}{R_2} u_{o1}$, $u_{o2} = \frac{R_3}{R_2} u_T \ln \frac{u_1}{I_s R_1}$, $u_o = -I_s R_4 \left(\frac{u_1}{I_s R_1} \right) R_3 / R_2$ 。

13. $u_o = -\int u_i dt$ 。

14. (2) $u_o = -\frac{10(R + R_f)u_{i1}}{Ru_{i2}}$ 。

15. $u_o = -\left(\frac{R_4}{R_1} u_i + \frac{R_4}{R_2} k u_i^2 + \frac{R_4}{R_3} k^2 u_i^3 \right)$ 。

16. (1) $U_A = 7V$, $U_B = 4V$, $U_C = 1V$, $U_D = -2V$, $U_o = -4V$ 。(2) $t = 0.0286s$ 。

17. $u_{o1} = \frac{2S^2}{3S^2 + 2S + 3} u_i$, 为二阶高通滤波电路; $u_{o2} = \frac{-2S}{3S^2 + 2S + 3} u_i$, 为二阶带通滤波

电路; $u_{o3} = \frac{2}{3S^2 + 2S + 3} u_i$, 为二阶低通滤波电路。

18. (2) $|A_V(j\omega)| = 1$, $\varphi = -\pi - 2 \arctan(\omega RC)$, φ 变化范围为 $-\pi \rightarrow -2\pi$ 。

19. (1) $A_1(s) = \frac{V_{o1}(s)}{V_i(s)} = -\frac{R_1}{R_1 + \frac{1}{sC}} = -\frac{sR_1C}{sR_1C + 1}$, $A(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = -\frac{1}{sR_1C + 1}$ 。

(2) A_1 为一阶高通滤波电路, $A(s)$ 为一阶低通滤波电路。

20. (1) 电路为高通滤波器。

(2) $A_0 = -1$, $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C}}$, $Q = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$ 。

21. (1) 取决于时钟周期 T_c 和电容比值 C_2 / C_1 , 而与电容的绝对值无关。

第九章

9.1 (a) 不能振荡, (b) 不能振荡, (c) 可能振荡。

9.2 (a) 原边线圈上端和副边线圈上端为同名端, (b) 原边线圈下端和副边线圈下端为同名端, (c) 原边线圈上端和副边线圈下端为同名端, (d) 原边线圈左端和副边线圈右端为同名端。

9.3 (a) 可能振荡, (b) 不能振荡, (c) 可能振荡, (d) 不能振荡。

9.4 (1) $f_0 \approx 1\text{kHz}$ 。(2) $R_1 < 7.5\text{k}\Omega$ 。

9.5 $R \approx 5.3\text{k}\Omega$ 。

9.6 (1) $U_{T+} = 4\text{V}$, $U_{T-} = 0\text{V}$, $\Delta U_T = 4\text{V}$ 。

9.7 (1) $U_T = -\frac{R_2}{R_1} U_{\text{REF}} = 1\text{V}$ 。

9.8 (a) $U_T = -1\text{V}$, (b) $U_{T1} = 0\text{V}$, $U_{T2} = 6\text{V}$, (c) $U_{T1} = 0\text{V}$, $U_{T2} = 4\text{V}$ (d) $U_{T1} = 2\text{V}$,

$U_{T2} = 4\text{V}$ 。

9.9 (1) 得 $R_1 = R_2$ 。(2) $U_{T+} = 6.5\text{V}$, $U_{T-} = -2.5\text{V}$ 。(3) $U_{\text{REF}} = 2\text{V}$ 。

9.11 $T \approx 0.2\text{ms}$ $f = \frac{1}{T} \approx 5\text{kHz}$ 。

9.12 $R_3 = 15\text{k}\Omega$, $R = 7.5\text{k}\Omega$ 。

9.13 (2) $T_1 = 0.096\text{ms}$, $T_2 = 1.056\text{ms}$, $f \approx 870\text{Hz}$ 。

9.14 (1) $q = \frac{6 + u_1}{12}$ 。

9.15 $f \approx 0.625u_1$ 。

9.16 $f_0 \approx 3.1\text{kHz}$

9.17 (1) T 导通时: $u_{O1} = \frac{10^3}{45}u_1(t_1 - t_0) + u_{O1}(t_0)$, T 截止时: $u_{O1} = -\frac{10^3}{45}u_1(t_2 - t_1) + u_{O1}(t_1)$ 。

(3) $f \approx 0.926u_1$ 。

9.18 $f \approx 1\text{kHz}$ 。

9.20 $f_0 \approx 3.1\text{kHz}$ 。

第十章

1. (2) $U_{OL} \approx 0.9U_2$, $I_{OL} \approx \frac{0.9U_2}{R_L}$ 。(3) $I_{DL} \approx \frac{0.45U_2}{R_L}$, $U_{Rmax} = 2\sqrt{2}U_2$ 。

2. (1) $U_{O1L} \approx 31.5\text{V}$, $I_{O1L} = \frac{U_{O1L}}{R_{L1}}$, $U_{O2L} \approx 18\text{V}$; $I_{O2L} = \frac{U_{O2L}}{R_{L2}}$ 。

(2) $U_{R1} \approx 99\text{V}$, $I_{D1} = I_{O1L}$, $U_{R2} = U_{R3} \approx 57\text{V}$; $I_{D2} = I_{D3} = \frac{I_{O2L}}{2}$

3. (1) 均为上“+”、下“-”。(2) 均为全波整流。(3) $U_{O1L} = -U_{O2L} \approx 18\text{V}$ 。(4) $U_{O1L} = -U_{O2L} \approx 18\text{V}$ 。

4. (1) 电流很大, 因此变压器及整流二极管 D_1 、 D_2 将被烧坏。

(2) 电流很大, 因此变压器及整流二极管 D_1 将被烧坏。

(3) 电路为单相半波整流电路, 输出电压脉动增大, 平均值减小。

5. (1) 14.4V (2) 10.8V (3) 17V (4) 5.4V。

6. (1) 可以选择 $I_F = 500\text{mA}$, $U_R = 100\text{V}$ 的 2CP1D 型二极管。(2) 可以选择容量在 600~1000 μF 之间, 耐压为 50V 的滤波电容。若电容 C 短路, 整流二极管将会由于电流过大而损坏。(3) $U_2 = 20\text{V}$, 有电容滤波时 $I_2 = (1.5 \sim 2)I_O = (1.5 \sim 2) \times (24/50) = 720 \sim 960\text{mA}$ 。

7. 图 (a)、(b) 所示电路可用于滤波, 图 (c) 所示电路不能用于滤波。

8. 图(a)中, C_1 上电压极性为上“+”下“-”, 数值为一倍压; C_2 上电压极性为右“+”左“-”, 数值为二倍压; C_3 上电压极性为上“+”下“-”, 数值为三倍压。负载电阻上为三倍压。在图 (b) 所示电路中, C_1 上电压极性为上“-”下“+”, 数值为一倍压; C_2 上电压极性为上“+”下“-”, 数值为一倍压; C_3 、 C_4 上电压极性均为右“+”左“-”, 数值均为二倍压。负载电阻上为四倍压。

9. (1) $P_{ZM} = U_Z \cdot I_{Zmin} = 6 \times 5 = 30\text{W}$ 。(2) 电路不能空载; 负载电流的范围为 12.5~32.5mA。

(3) $R_{min} = 210\Omega$, $R_{max} = 250\Omega$ 。

10. (1) $R_2 = \frac{U_Z}{(I_{R1max} - I_{Zmax})} = 600\Omega$ 。(2) $R_{Lmin} = 250\Omega$, $R_{Lmax} = \infty$ 。

11. (1) 调整管为 T_1 , 采样电路由 R_1 、 R_2 、 R_3 组成, 基准电压电路由 R 、 D_Z 组成, 比较放大电路由 T_2 、 R_c 组成, 保护电路由 R_0 、 T_3 组成。

(2) 基准电压 $U_R = U_Z + U_{BE} = 5V$, 输出电压的可调范围 $U_O = 7.5 \sim 15V$ 。

(3) 调整管发射极最大电流为: $I_{E_{max}} \approx 140mA$ 。

(4) 调整管的最大功耗为: $P_{T_{max}} \approx I_{E_{max}} U_{CE_{max}} \approx 2.8W$ 。

12. (1) 整流电路: $D_1 \sim D_4$; 滤波电路: C_1 ; 调整管: T_1 、 T_2 ; 基准电压电路: R' 、 D'_Z 、 R 、 D_Z ; 比较放大电路: A ; 取样电路: R_1 、 R_2 、 R_3 。

(2) 集成运放的输入端上为“—”下为“+”。

(3) 输出电压的表达式为 $\frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_2 + R_3} \cdot U_Z \leq U_O \leq \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_3} \cdot U_Z$ 。

13. (1) $U_O \approx 24V$ 。(2) $U_O \approx 23.3V$ 。(3) $U_O \approx 12V$ 。(4) $U_O \approx 6V$ 。(5) U_O 可调范围为 $6 \sim 12V$ 。

14. (1) 整流电路: $D_1 \sim D_4$; 滤波电路: C ; 调整管: 图中的三极管; 基准电压电路: R_4 、 D_Z ; 比较放大电路: A ; 取样电路: R_1 、 R_2 、 R_3 。

(2) $U_d = 21.6V$ 。(3) $U_{O_{max}} = 15.45V$, $U_{O_{min}} = 7.72V$ 。

15. $I_L \approx (1 + \frac{R_2}{R_1}) \cdot I'_O = 4.5A$ 。

16. (1) 二极管 D_3 、 D_4 方向接反, 电容 C 正负极接反。(2) 7805 的 2、3 端之间的电压 $5V$ 。

(3) $U_{O_{max}} = \left(\frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1} \times 5 \right) V$, $U_{O_{min}} = \left(\frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1 + R_2} \times 5 \right) V$ 。

17. (2) 滤波。(3) $-5V$ 。(4) $U_{O_{min}} = -6V$, $U_{O_{max}} = -3V$ 。

18. (1) $U_{O_{min}} = 1.25V$ 。(2) $R_2 = 4.56k\Omega$ (3) $U_{I_{min}} \approx 31.1V$, $U_{I_{max}} \approx 37.5V$ 。

习题

第二章

2.1 二极管 D 和灯泡 HL 相串联，电路如图 2.52 所示。设电源电压 $u_i = \sqrt{2}U \sin \omega t$ ，二极管的正向压降及反向漏电流可以忽略，求灯泡两端电压的平均值 U_{AB} 。

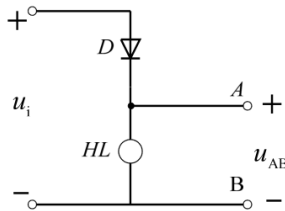


图 2.52 题 2.1 电路图

解：本题考查二极管的单向导电性和电压平均值的求解。

$$\begin{aligned}
 U_{AB(AV)} &= \frac{1}{T} \int_0^T |u_i(t)| dt \\
 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sqrt{2}U_i \sin \omega t d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}U_i \sin \omega t d(\omega t) \\
 &= \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_i \approx 0.45U_i
 \end{aligned}$$

2.2 图 2.53 中所示为理想二极管电路，通过分析确定图中的二极管是否导通，并说明理由。

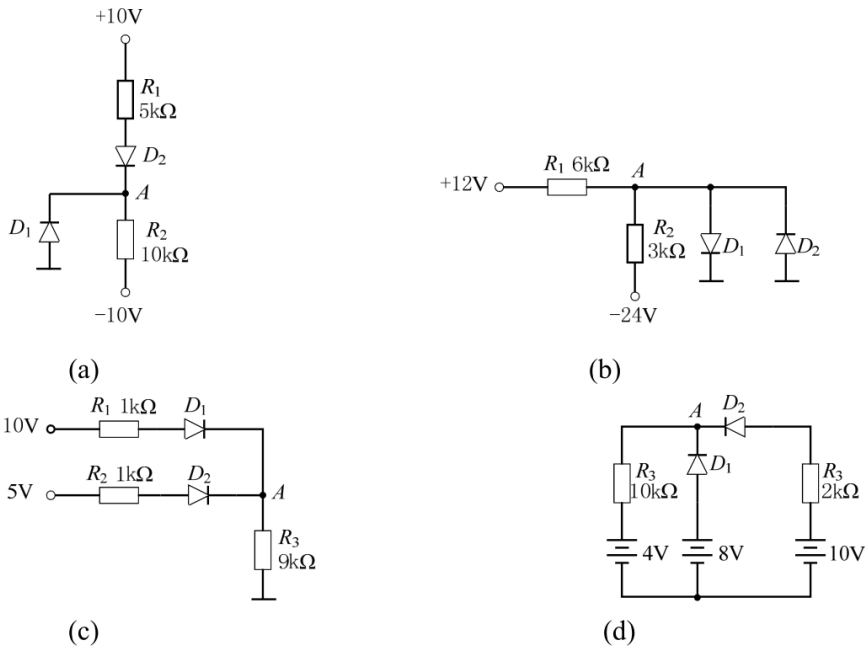


图 2.53 题 2.2 电路图

解：(a) 假设 D_2 导通，则由叠加原理可得 A 点电位 U_A 为

$$\begin{aligned}
 U_A &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times 10V + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times (-10V) \\
 &= \frac{10k\Omega}{5k\Omega + 10k\Omega} \times 10V + \frac{5k\Omega}{5k\Omega + 10k\Omega} \times (-10V) \\
 &= 3.3V
 \end{aligned}$$

A 点电位大于 0, D_1 截止。

(b) 图中 D_1 、 D_2 中必有一个导通、一个截止, 则 $U_A = 0$ 。

流出 A 点的电流为

$$I_A = \frac{12V - 0}{6k\Omega} + \frac{-24V}{3k\Omega} = 2mA - 8mA = -6mA$$

所以 D_2 导通, D_1 截止。

(c) 假设 D_1 、 D_2 都截止, 二极管 D_1 两端电压差为 10V, 二极管 D_2 两端电压差为 5V, D_1 承受的正向电压大而导通, D_2 则会承受反向电压而截止, $U_A = \frac{9}{1+9} \times 10V = 9V$ 。

(d) 假设 D_1 、 D_2 都截止, 二极管 D_1 两端电压差为 6V, 二极管 D_2 两端电压差为 4V, 因此 D_1 截止, D_2 导通, $U_A = 4V + \frac{10}{10+2} \times (10-4)V = 9V$ 。

2.3 电路如图 2.54 所示, 已知 $u_i = 5 \sin \omega t (V)$, 二极管导通电压 $u_D = 0.7V$ 。试画出 u_i 与 u_o 的波形, 并标出幅值。

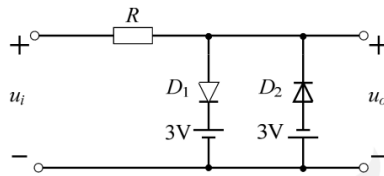
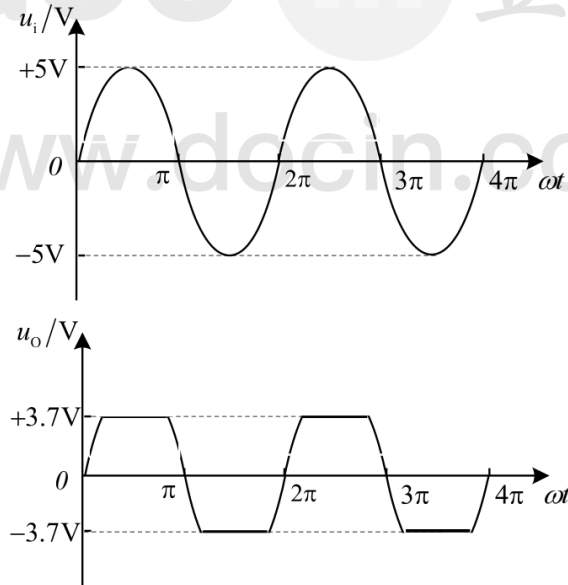


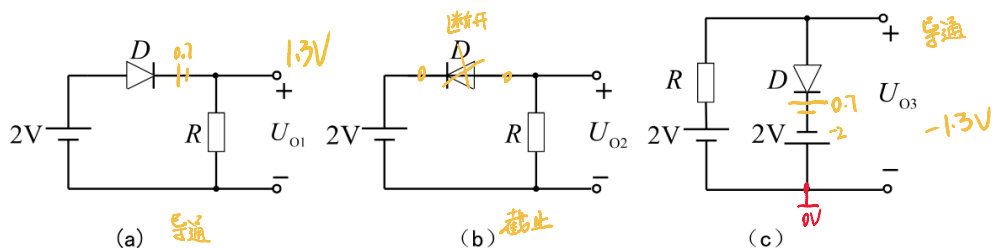
图 2.54 题 2.3 电路图

解: u_i 与 u_o 的波形如图题 2.3 所示:



图题 2.3

2.4 写出如图 2.55 所示各电路的输出电压, 设二极管导通电压 $u_D = 0.7V$ 。



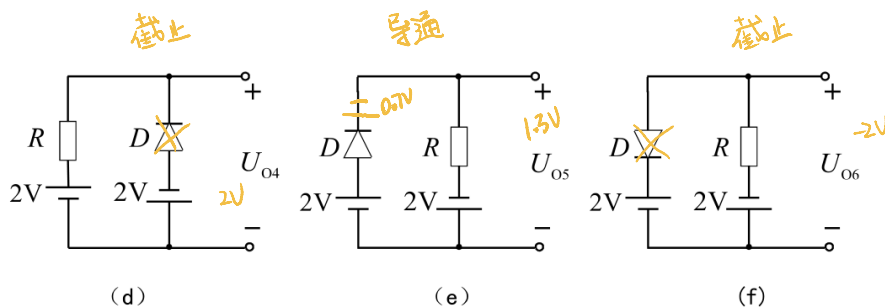


图 2.55 题 2.4 电路图

解：本题主要考查二极管的导通条件，二极管的单向导电性，以及二极管在外加反向电压时处于截止状态的特性。

(a) 假设二极管断开，则二极管两端电压为 2V，因此二极管可以导通。二极管导通后， D_1 上的压降为 0.7V，因此输出电压 $U_{o1} = 2V - 0.7V = 1.3V$ 。

(b) 假设二极管断开，二极管承受反向电压而截止，因此回路中没有电流流过，电阻 R 上没有电压降， $U_{o2} = 0V$ 。

(c) 假设二极管断开，二极管阳极电位为 2V，阴极电位为 -2V，二极管导通。输出电压 $U_{o3} = -2V + 0.7V = -1.3V$ 。

(d) 假设二极管断开，二极管阳极电位为 -2V，阴极电位为 2V，二极管截止。输出电压 $U_{o4} = 2V$ 。

(e) 假设二极管断开，二极管阳极电位为 2V，阴极电位为 -2V，二极管导通。输出电压 $U_{o5} = 2V - 0.7V = 1.3V$ 。

(f) 假设二极管断开，二极管阴极电位为 2V，阳极电位为 -2V，二极管截止。输出电压 $U_{o6} = -2V$ 。

2.5 电路如图 2.57 所示，试求下列几种情况下，输出端对地的电压 U_o 及各元件中通过的电流。(1) $U_A = 10V, U_B = 0V$ ；(2) $U_A = 6V, U_B = 5V$ ；(3) $U_A = U_B = 5V$ 。设二极管为理想二极管。

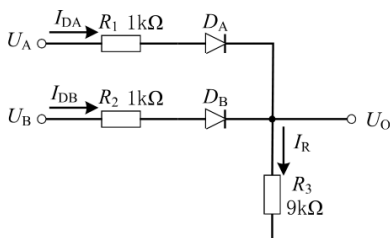


图 2.57 题 2.5 电路图

解：(1) $U_A = 10V, U_B = 0V$ ；二极管 D_A 导通， D_B 截止， $I_{DB} = 0$ ； $I_{DA} = I_R = \frac{10V}{1k\Omega + 9k\Omega} = 1mA$ ；

$U_o = 1mA \times 9k\Omega = 9V$ 。

(2) $U_A = 6V, U_B = 5V$ ；二极管 D_A 优先导通， D_B 截止， $I_{DB} = 0$ ；

$I_{DA} = I_R = \frac{6V}{1k\Omega + 9k\Omega} = 0.6mA$ ； $U_o = 0.6mA \times 9k\Omega = 5.4V$ 。

(3) $U_A = U_B = 5V$ ；二极管 D_A 、 D_B 同时导通， $U_o = \frac{5V}{9k\Omega + 1k\Omega \parallel 1k\Omega} \times 9k\Omega = 4.74V$ ；

$I_R = \frac{5V}{9k\Omega + 1k\Omega \parallel 1k\Omega} \approx 0.53mA$ ； $I_{DA} = I_{DB} = \frac{1}{2} I_R \approx 0.26mA$ 。

2.6 电路如图 2.58 所示，试判断图中二极管是导通还是截止，并说明原因。

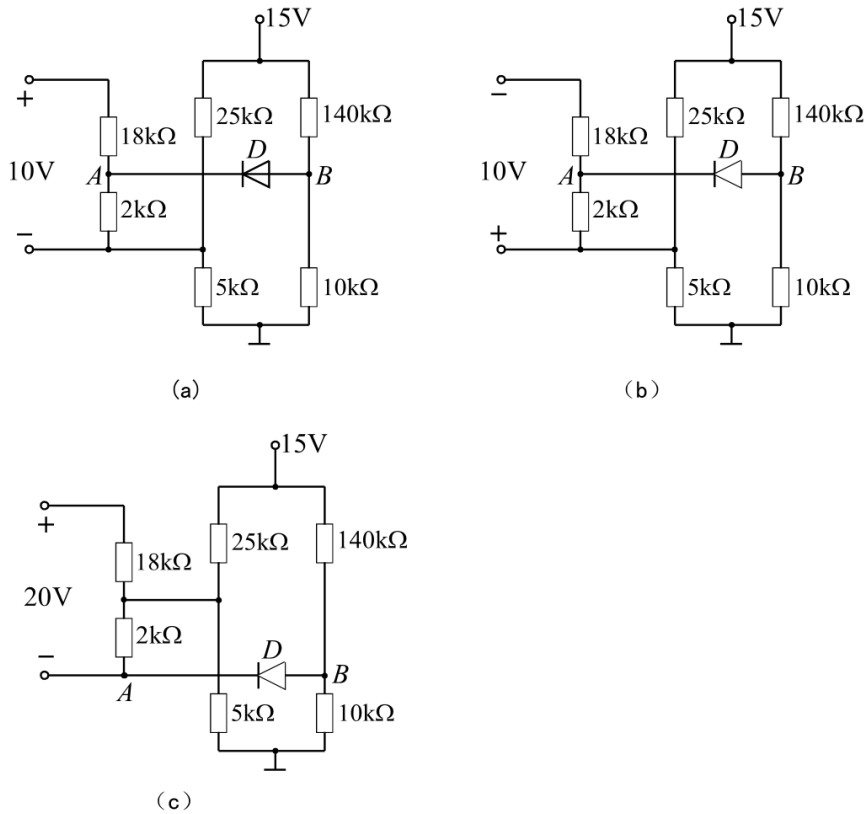


图 2.58 题 2.6 电路图

解：图 (a)：将 D 断开，以“地”为电位参考点，这时有

$$U_A = \frac{2\text{k}\Omega}{(18+2)\text{k}\Omega} \times 10\text{V} + \frac{5\text{k}\Omega}{(25+5)\text{k}\Omega} \times 15\text{V} = 3.5\text{V}$$

$$U_B = \frac{10\text{k}\Omega}{(140+10)\text{k}\Omega} \times 15\text{V} = 1\text{V}$$

D 承受反向电压而截止。

图 (b)：将 D 断开，以“地”为电位参考点，有

$$U_A = \frac{2\text{k}\Omega}{(18+2)\text{k}\Omega} \times (-10)\text{V} + \frac{5\text{k}\Omega}{(25+5)\text{k}\Omega} \times 15\text{V} = 1.5\text{V}$$

$$U_B = \frac{10\text{k}\Omega}{(140+10)\text{k}\Omega} \times 15\text{V} = 1\text{V}$$

D 承受反向电压而截止。

图 (c)：将 D 断开，以“地”为电位参考点，有

$$U_A = \frac{5\text{k}\Omega}{(25+5)\text{k}\Omega} \times 15\text{V} - \frac{2\text{k}\Omega}{(18+2)\text{k}\Omega} \times 20\text{V} = 0.5\text{V}$$

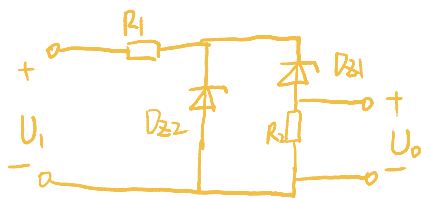
$$U_B = \frac{10\text{k}\Omega}{(140+10)\text{k}\Omega} \times 15\text{V} = 1\text{V}$$

二极管 D 导通。

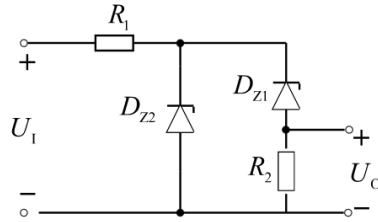
2.7 有两个稳压管 D_{z1} 和 D_{z2} ，其稳定电压值分别为 5.5V 和 8.5V，正向导通压降都是 0.5V。

如果要得到 3V 的稳定电压应如何连接？

解： $U_{z1} = 5.5\text{V}$ ； $U_{z2} = 8.5\text{V}$ ；输入电压 U_1 足够大，电阻 R_1 和 R_2 为限流电阻，在电路中可以保证稳压管正常工作。电路如图题 2.7 所示。



稳压管必须串联限流电阻



图题 2.7

2.8 电路如图 2.59 所示，已知稳压管的稳定电压 $U_z = 6V$ ，最小稳定电流 $I_{zmin} = 5mA$ ，最大稳定电流 $I_{zmax} = 25mA$ 。

- (1) 分别计算 U_1 为 10V, 15V, 35V 三种情况下输出电压 U_o 的值；
- (2) 若 $U_1 = 35V$ 时负载开路，则会出现什么现象？为什么？

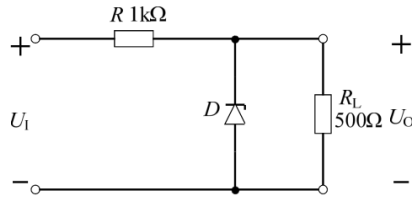


图 2.59 题 2.8 电路图

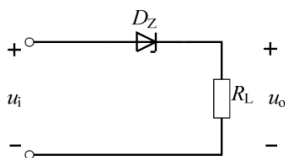
解：(1) $U_1 = 10V$ ，假设稳压管 D 工作在稳压状态下， $U_z = 6V$ ， $I_R = \frac{10V - 6V}{1k\Omega} = 4mA$ ， $I_R = I_z + I_{R_L}$ ，而 I_z 一定小于 I_R ，因此假设不成立，稳压管 D 工作在反向截止状态，在电路中相当于开路。输出电压 $U_o = \frac{10V}{1k\Omega + 500\Omega} \times 500\Omega = 3.3V$ 。

$U_1 = 15V$ ，假设稳压管 D 工作在稳压状态下， $U_z = 6V$ ， $I_{R_L} = \frac{6V}{500\Omega} = 12mA$ ， $I_R = \frac{15V - 6V}{1k\Omega} = 9mA$ ，不能是稳压管工作在反向击穿区，假设不成立，因此稳压管工作在反向截止状态，在电路中相当于开路。 $U_o = \frac{15V}{1k\Omega + 500\Omega} \times 500\Omega = 5V$ 。

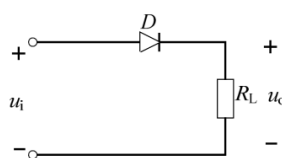
$U_1 = 35V$ ，假设稳压管 D 工作在稳压状态下， $U_z = 6V$ ， $I_{R_L} = \frac{6V}{500\Omega} = 12mA$ ， $I_R = \frac{35V - 6V}{1k\Omega} = 29mA$ ， $I_z = I_R - I_{R_L} = 29mA - 12mA = 17mA$ ，刚好大于 $5mA$ 小于 $25mA$ ，能够使稳压管工作在稳压状态下。输出电压 $U_o = 6V$ 。

(2) 若 $U_1 = 35V$ 时负载开路，稳压管 D 可能被击穿。 $I_R = \frac{35V - 6V}{1k\Omega} = 29mA > 25mA$ 稳压管会因所承受的反向电流过大，出现热击穿而被烧毁。

2.9 电路如图 2.60 所示，已知 $u_i = 6\sin \omega t V$ ， $U_z = 3V$ ，分别画出 (a)、(b) 两电路输出电压 u_o 的波形，设稳压管和二极管的导通电压均为 $0.7V$ 。



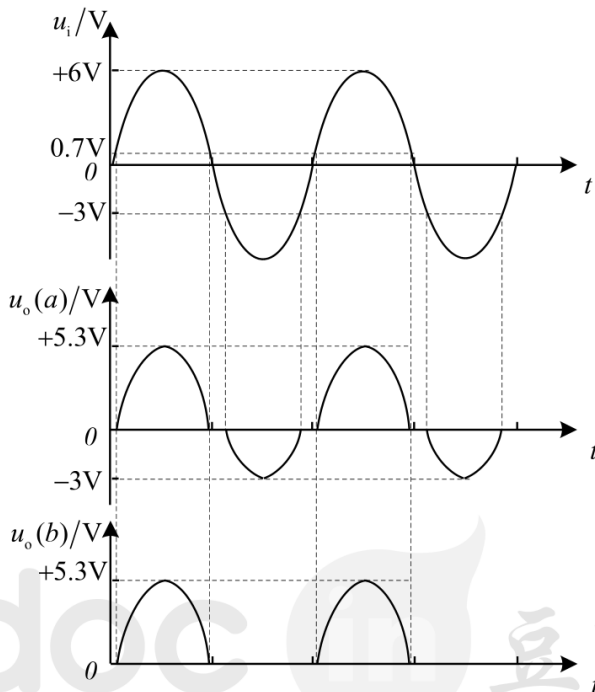
(a)



(b)

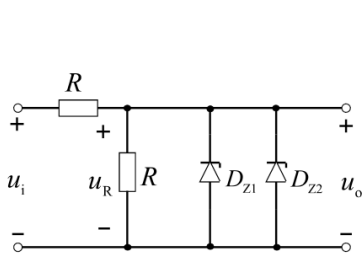
图 2.60 题 2.9 电路图

解：当 $u_i > 0.7\text{V}$ 时， $u_o = u_i - 0.7\text{V}$ ；当 $u_i < 0$ 时，图 (a) 中， $u_o = u_i - U_z = u_i - 3\text{V}$ ；图 (b) 中， $u_o = 0$ 。图 (a)、图 (b) 两电路的输出电压 u_o 的波形如图题 2.9 所示，其中 $u_o(a)$ 表示图 (a) 电路的输出电压波形， $u_o(b)$ 表示图 (b) 电路的输出电压波形。

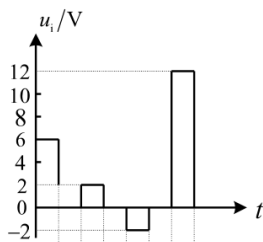


图题 2.9

2.10 电路如图 2.61 (a) 所示，稳压管 D_{z1} 和 D_{z2} 的稳压值分别为 $U_{z1} = 5\text{V}$ ， $U_{z2} = 8\text{V}$ ，稳压特性是理想的，正向压降为 0.7V 。若输入电压的波形如图 2.61 (b) 所示，试画出输出电压 u_o 的波形。



(a) 电路图



(b) 输入电压波形

图 2.61 题 2.10 电路图

解：(1) 当 $0\text{V} < u_i < 10\text{V}$ 时， $u_R = \frac{u_i}{2} < 5\text{V}$ ，则 D_{z1} ， D_{z2} 均截止；

故 $u_o = u_R = \frac{u_i}{2}$

(2) 当 $u_i > 10\text{V}$ 时，R 上的电压均大于 5V ，使 D_{z1} 反向导通， D_{z2} 反向截止， u_o 钳位在 5V ；

故 $u_o = 5\text{V}$

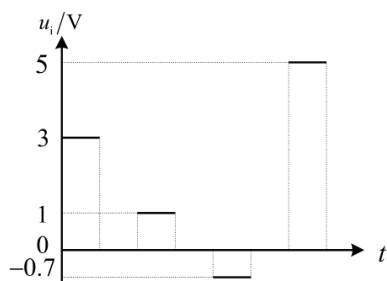
(3) 当 $-1.4\text{V} < u_i < 0\text{V}$ 时， $|u_R| = \left| \frac{u_i}{2} \right| < 0.7\text{V}$ ， D_{z1} ， D_{z2} 均截止；

故 $u_o = u_R = \frac{u_i}{2}$

(4) 当 $u_i < -1.4\text{V}$ 时, $\left|\frac{u_R}{2}\right| > 0.7\text{V}$, 则 D_{z1} , D_{z2} 正向并联导通;

故 $u_o = -0.7\text{V}$

综合 (1)、(2)、(3)、(4), 可画出输出电压波形图, 如图题 2.10 所示



图题 2.10

第三章

3.1 在放大电路中，测得晶体管的某两个电极电流方向和大小如图 3.86 所示，回答以下问题

- (1) 判断各晶体管另外一个电极的电流大小和方向；
- (2) 确定个晶体管的电流放大系数 β 。
- (3) 说明各晶体管的类型。

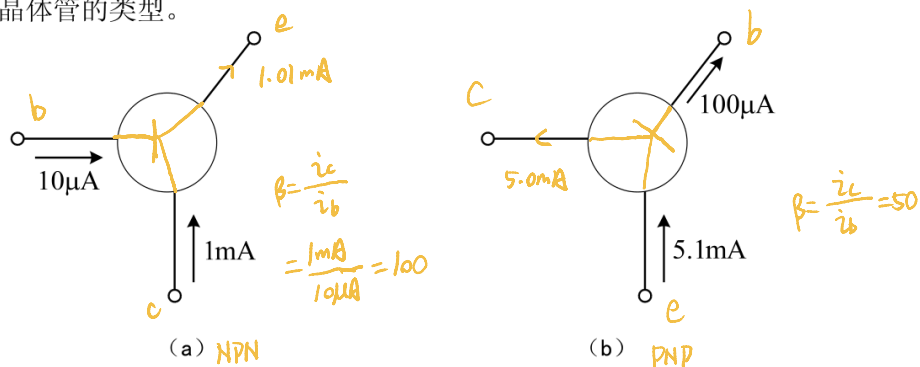
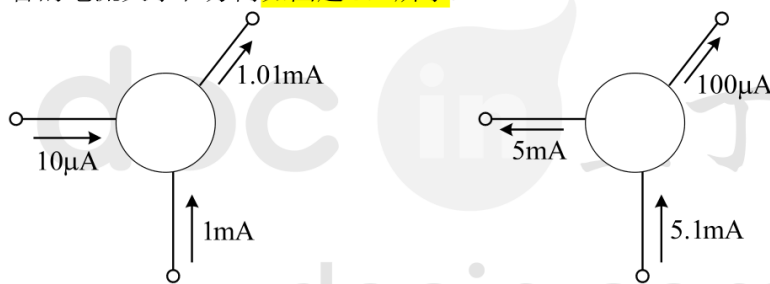


图 3.86 习题 3.1 电路图

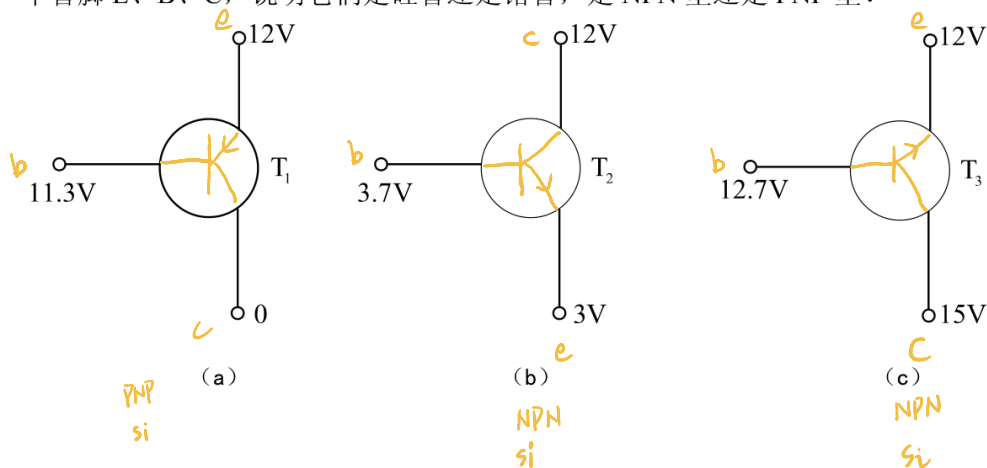
解：(1) 晶体管的电流大小和方向如图题 3.1 所示.

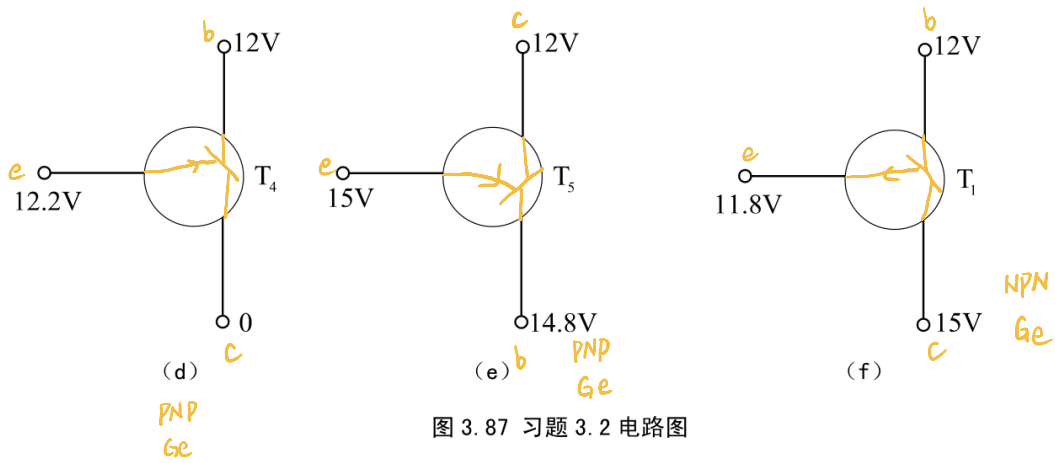


图题 3.1

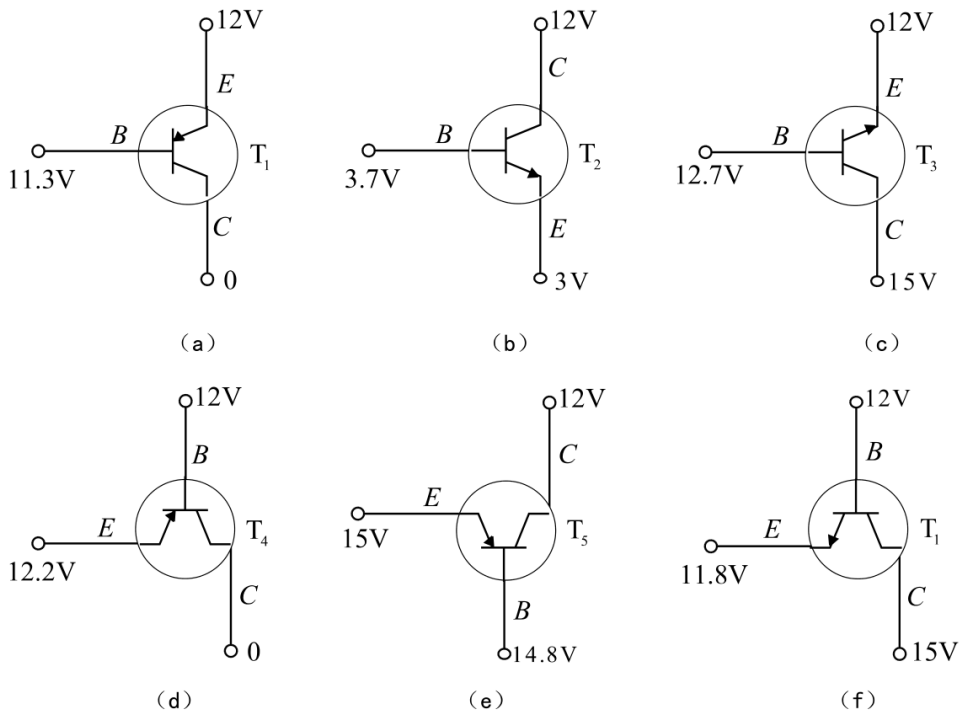
- (a) $\beta = \frac{1\text{mA}}{10\mu\text{A}} = 100$ ，该管为 NPN 型；
- (b) $\beta = \frac{5\text{mA}}{100\mu\text{A}} = 50$ ，该管为 PNP 型。

3.2 测得放大电路中各晶体管的直流电位如图 3.87 所示。在圆圈中画出管子符号，并标明三个管脚 E、B、C，说明它们是硅管还是锗管，是 NPN 型还是 PNP 型？



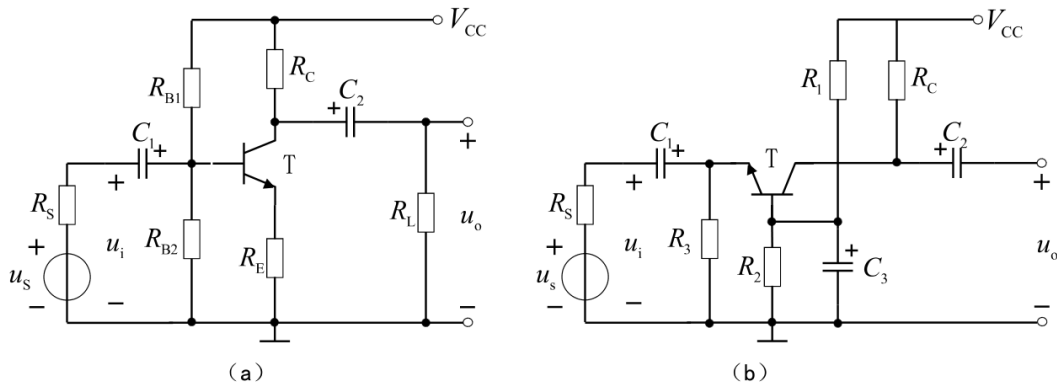


解:



(a) 为 PNP 型; (b) 为 NPN 型; (c) 为 NPN 型; (d) 为 PNP 型; (e) 为 PNP 型; (f) 为 NPN 型。

3.3 画出图 3.88 中各电路的直流通路和交流通路。设图中所有电容对交流信号均可视为短路。



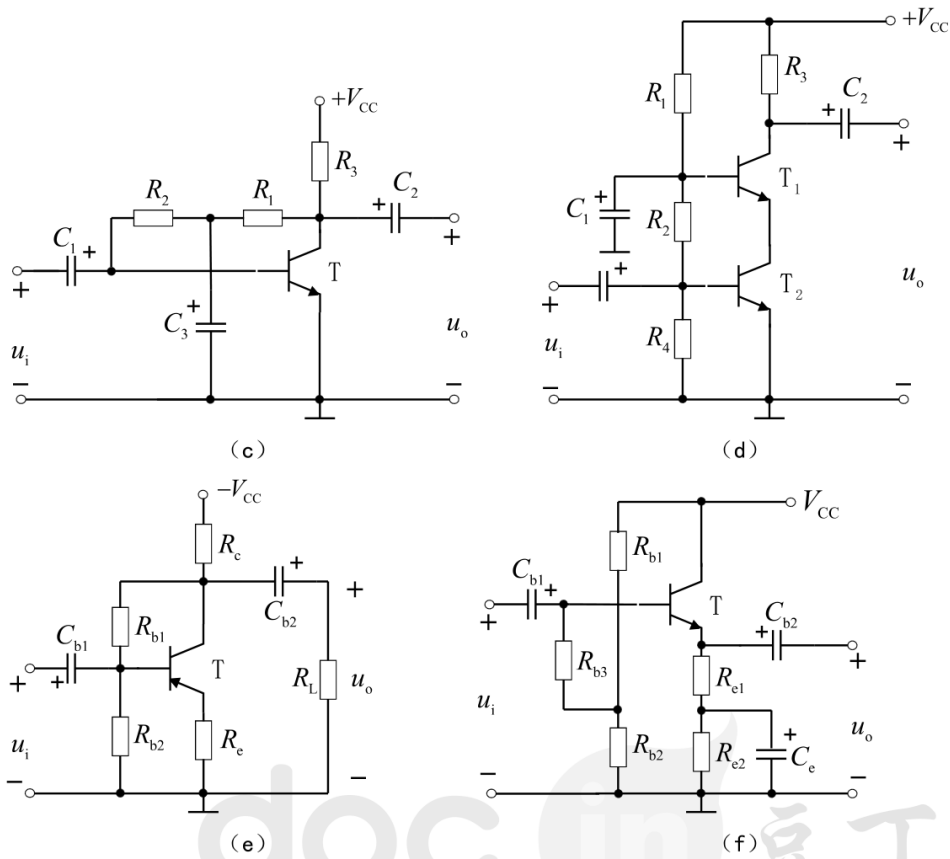


图 3.88 习题 3.3 电路图

解：图 (a) 的直流通路和交流通路：

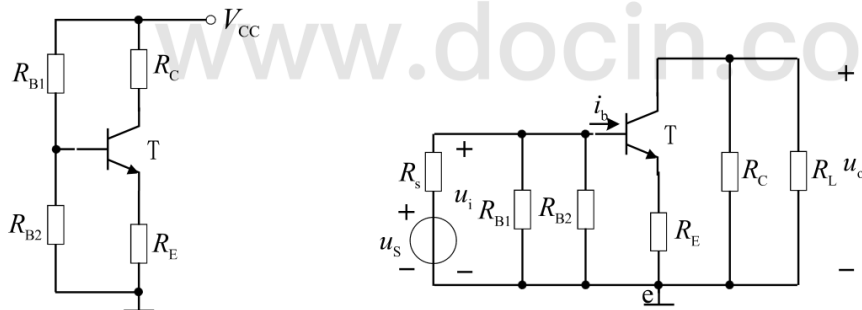


图 (b) 的直流通路和交流通路：

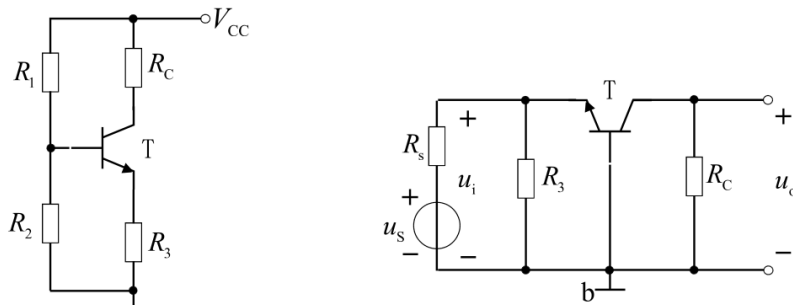


图 (c) 的直流通路和交流通路：

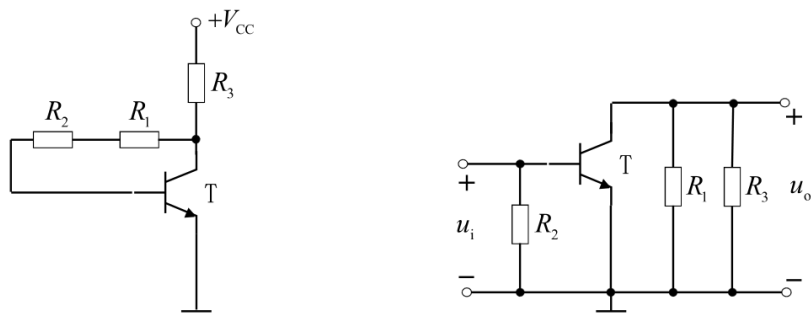


图 (d) 的直流通路和交流通路:

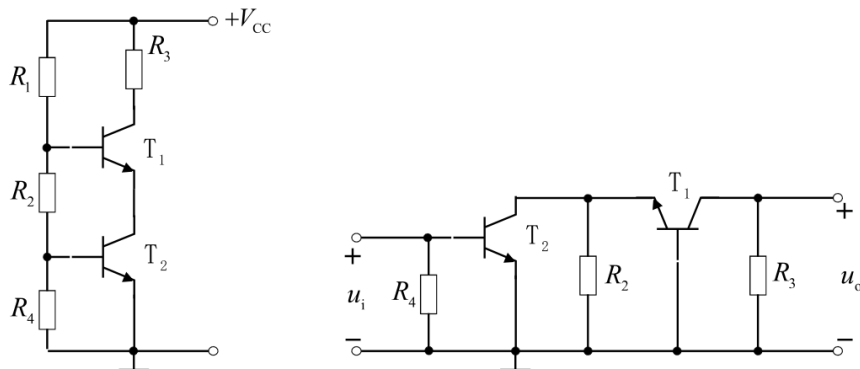


图 (e) 的直流通路和交流通路:

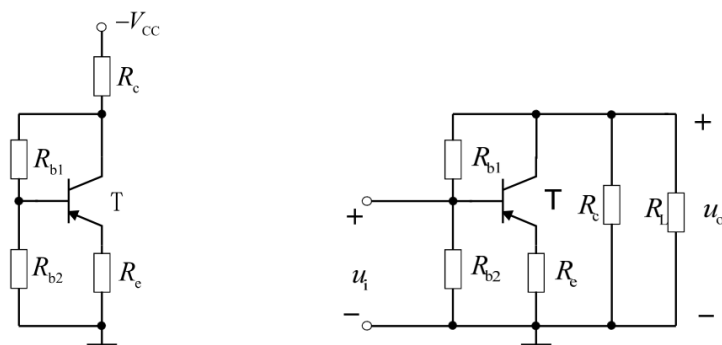
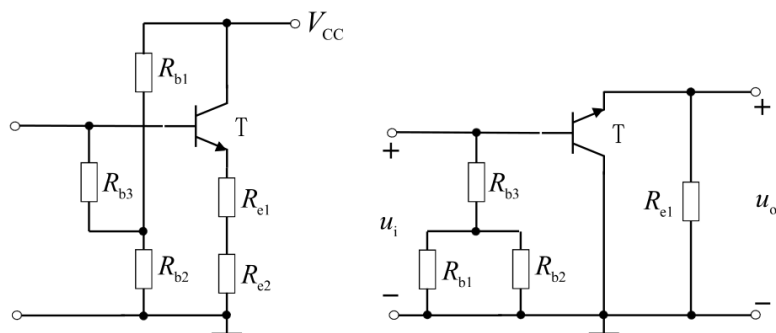
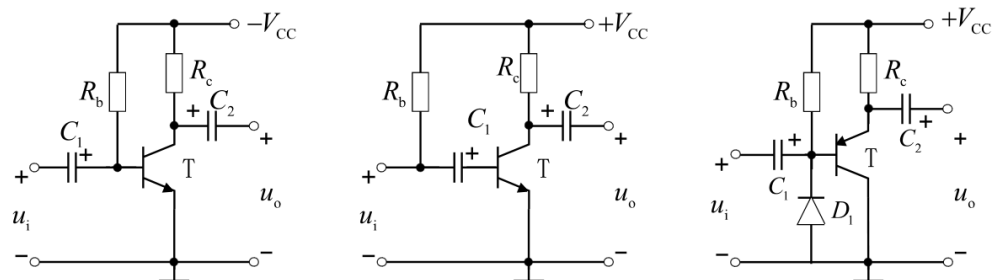


图 (f) 的直流通路和交流通路:



3.4 根据放大电路的组成原则, 判断图 3.89 中各电路是否具备放大条件, 并说明原因。



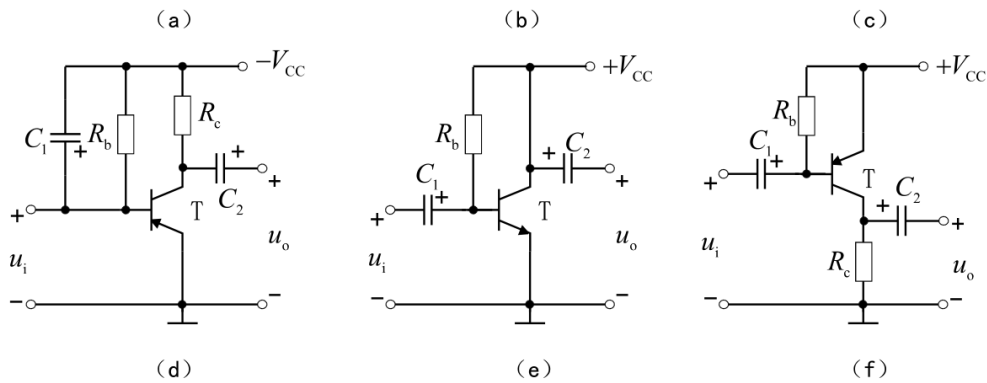


图 习题 3.4 电路图

解：(a) 电路中电源 V_{CC} 极性接反了，不能够正常放大。

(b) 无交流放大作用，因电容 C_1 隔断了基极的直流通路。

(c) 二极管 D_1 承受反向电压而截止，在电路中相当于开路，直流偏置正常。交流信号能够传输，能够实现交流放大。符合放大电路组成应遵循的两条原则，电源极性连接正确，使发射结正偏，集电结反偏；信号有输入、输出回路，二极管反偏不会影响信号的输入；若参数选择合理和静态工作点适当，保证 BJT 工作在放大区，则可实现不失真地放大。这是利用二极管进行温度补偿来稳定静态工作点的电路

(d) 电路的静态偏置正常，但输入信号经 C_1 和电源交流短路，交流信号不能传输到三极管的发射结上。 u_{BE} 为常数，因此不能实现交流放大。

(e) 电路中缺少集电极电阻 R_C ，集电极电流的变化不能够转换成电压的变化，不能实现交流放大。

(f) 电路能够正常放大。

3.5 放大电路如图 3.90 (a) 所示，设晶体管的 $\beta = 40$ ， $V_{CC} = 12V$ ， $R_B = 240k\Omega$ ， $R_C = 3k\Omega$ 。

(1) 试用直流通路估算静态工作点 Q ；

(2) 晶体管的输出特性如图 3.90 (b) 所示，试用图解法作出放大电路的静态工作点。

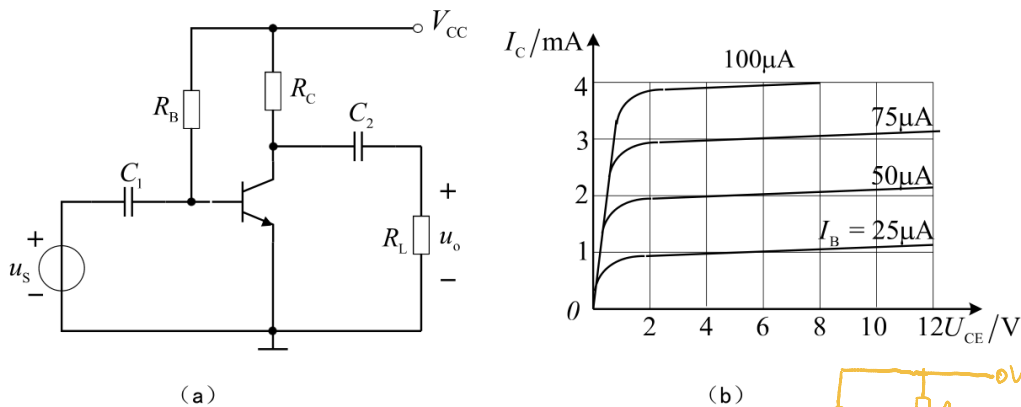


图 3.90 习题 3.5 电路图

解：(1) $U_{BEQ} = 0.7V$ ；

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_B} = \frac{12V - 0.7V}{240k\Omega} = 50\mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 40 \times 50\mu A = 2m A$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 12V - 2m A \times 3k\Omega = 6V$$

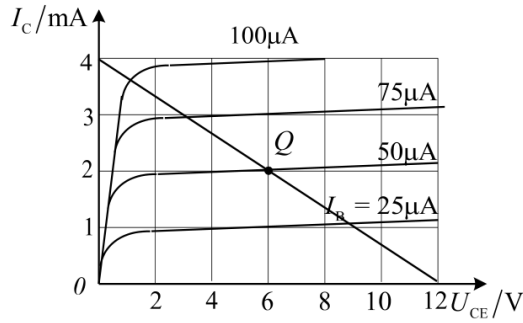
(2) 首先估算基极电流 I_{BQ} 的值

Handwritten notes and a small circuit diagram for problem 3.5:

- Small circuit diagram showing R_B and R_C connected to V_{CC} and the base/emitter of the transistor.
- Equation: $I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_B}$
- Equation: $I_{CQ} = \beta I_{BQ}$
- Equation: $U_{CEQ} = V_{CC} - R_C I_{CQ}$
- Equation: $I_{CQ} = -\frac{1}{R_C} U_{CEQ} + \frac{V_{CC}}{R_C}$

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC}}{R_B} = \frac{12V}{240k\Omega} = 50\mu A$$

直流负载线在横坐标的截距为 V_{CC} ，在纵坐标的截距为 $\frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{12V}{3k\Omega} = 4mA$ ，由此做出电路的直流负载线。BJT 输出特性曲线中 $I_{BQ} = 50\mu A$ 这条曲线与直流负载线的交点即为电路的静态工作点 Q ，如图题 3.5 所示。



图题 3.5

3.6 某晶体管的共射输出特性曲线如图 3.91 所示，试求

- (1) 当 $I_{BQ} = 0.3mA$ 时， Q_1 、 Q_2 点的 β 值；
- (2) 确定该管的 $U_{(BR)CEO}$ 和 P_{CM} 。

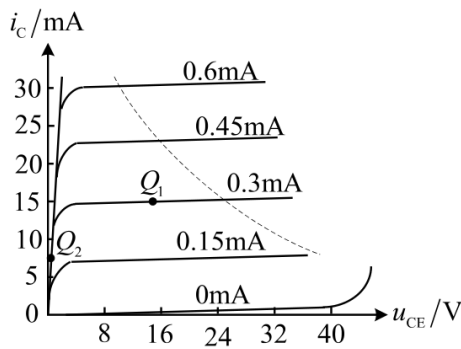


图 3.91 习题 3.6 图

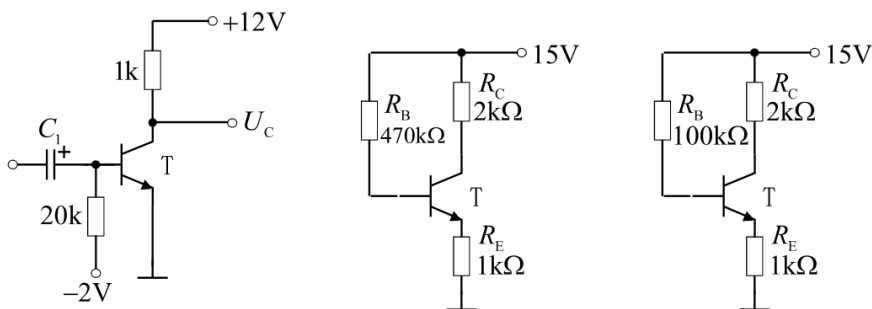
解：由输出特性曲线可知 (1) 当 $I_{BQ} = 0.3mA$ 时，

$$Q_1 \text{ 的 } \beta_1 = \frac{I_{cQ1}}{I_{BQ}} = \frac{15mA}{0.3mA} = 50;$$

$$Q_2 \text{ 点的 } \beta_2 = \frac{I_{cQ2}}{I_{BQ}} = \frac{7.5mA}{0.3mA} = 25;$$

$$(2) U_{(BR)CEO} = 40V; P_{CM} = i_c u_{CE} = 0.3mA \times 24V = 7.2W$$

3.7 硅晶体管电路如图 3.92 所示。设晶体管的 $U_{BE} = 0.7V$ ， $\beta = 100$ 。判断电路的工作状态。



(a)

(b)

(c)

图 3.92 习题 3.7 电路图

解：(a) 三极管基极电位小于 0，因此工作在截止区。

(b) 假设三极管工作在放大区，根据 KVL 可得

$$15\text{V} - I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

则

$$I_B = \frac{15\text{V} - 0.7\text{V}}{R_B + (1 + \beta)R_E} = 25\mu\text{A}; \quad I_E \quad I_C = \beta I_B = 2.5\text{mA}$$

$$V_E = 2.5\text{mA} \times 1\text{k}\Omega = 2.5\text{V}$$

$$V_B = V_E + 0.7\text{V} = 3.2\text{V}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 15\text{V} - 2.5\text{mA} \times 2\text{k}\Omega = 10\text{V}$$

满足发射结正偏，集电结反偏的放大条件： $V_C > V_B > V_E$ ，因此假设成立，三极管工作在放大区。

(c) 假设三极管工作在放大区，

$$I_B = \frac{15\text{V} - 0.7\text{V}}{R_B + (1 + \beta)R_E} = 71\mu\text{A}$$

$$I_E \quad I_C = \beta I_B = 7.1\text{mA};$$

$$V_E = 7.1\text{mA} \times 1\text{k}\Omega = 7.1\text{V}$$

$$V_B = V_E + 0.7\text{V} = 7.8\text{V}$$

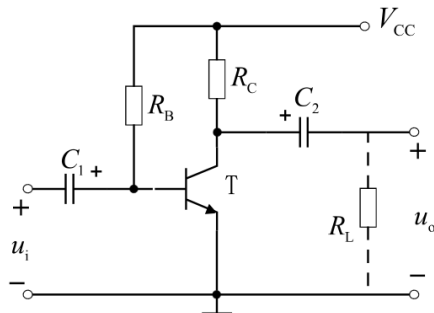
$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 15\text{V} - 7.1\text{mA} \times 2\text{k}\Omega = 0.8\text{V}$$

不能满足发射结正偏，集电结反偏，因此假设不成立，三极管工作在饱和区。

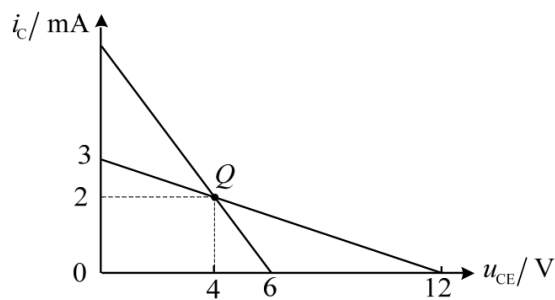
3.8 放大电路如图 3.93 (a) 所示，已知晶体管 $\beta = 50$ ， $U_{BE} = 0.7\text{V}$ ， $U_{CES} = 0\text{V}$ ， $R_C = 2\text{k}\Omega$ ， $R_L = 20\text{k}\Omega$ ， $V_{CC} = 12\text{V}$ 。

(1) 若要求放大电路具有最大的输出动态范围，应选用多大的基极偏置电阻 R_B ；

(2) 若该电路的交直流负载线如图 3.93 (b) 所示，求解 V_{CC} ， R_C ， U_{CEQ} ， I_{CQ} ， R_L ， R_B 以及输出电压的最大值 u_{om} 。



(a)



(b)

图 3.93 习题 3.8 电路图

解：(1) 若使放大电路具有最大的输出动态范围，静态工作点应该位于交流负载线的中点。当电路空载时，交流负载线和直流负载线重合 $U_{CEQ} = 6\text{V}$ ；

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 6\text{V} \Rightarrow I_{CQ} = 3\text{mA}$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = \frac{3\text{mA}}{50} = 60\mu\text{A}$$

$$R_B = \frac{V_{CC}}{I_{BQ}} = \frac{12V}{60\mu A} = 200k\Omega$$

(2) 由图 3.95 (b) 可知 $V_{CC} = 12V$, $U_{CEQ} = 4V$, $I_{CQ} = 2mA$

$$\frac{V_{CC}}{R_C} = 3mA \Rightarrow R_C = 4k\Omega$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = \frac{2mA}{50} = 40\mu A, \quad R_B = \frac{V_{CC}}{I_{BQ}} = \frac{12V}{40\mu A} = 300k\Omega$$

由图中可知交流负载线的斜率是-1, 因此 $R_C \parallel R_L = 1k\Omega$, $R_L = 1.33k\Omega$ 。

$$\begin{aligned} u_{om} &= \min(u_{om-}, u_{om+}) \\ &= \min[(4V - 0), (6 - 4)V] \\ &= 2V \end{aligned}$$

3.9 放大电路如图 3.94 (a) 所示, 晶体管的输出特性曲线以及放大电路的交、直流负载线如图 3.94 (b) 所示。设 $U_{BEQ} = 0.7V$, $r_{bb'} = 200\Omega$, 试问:

(1) 计算 R_b 、 R_c 、 R_L ;

(2) 若不断加大输入正弦波电压的幅值, 该电路先出现截止失真还是饱和失真? 刚出现失真时, 输出电压的峰-峰值为多大?

(3) 计算放大电路的输入电阻 R_i 、电压增益 A_u 和输出电阻 R_o ;

(4) 若电路中其他参数不变, 只将晶体管换一个 β 值小一半的管子, 这时 I_{BQ} 、 I_{CQ} 和 U_{CEQ} 以及 $|A_u|$ 将如何变化?

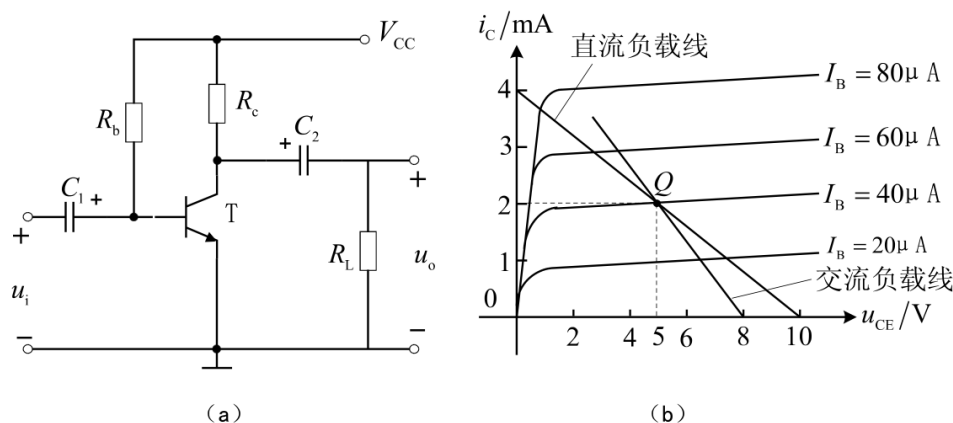


图 3.94 习题 3.9 电路图

解: (1) 有图 3.94 (b) 可知 $V_{CC} = 10V$, 直流负载线在横轴的截距为 V_{CC} , 在纵坐标的截距为 $\frac{V_{CC}}{R_C}$

$$\frac{V_{CC}}{R_C} = 4mA \Rightarrow R_C = 2.5k\Omega$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC}}{R_b} = 40\mu A \Rightarrow R_b = 250k\Omega$$

由输出特性曲线还可以看到 $U_{CEQ} = 5V$ 。

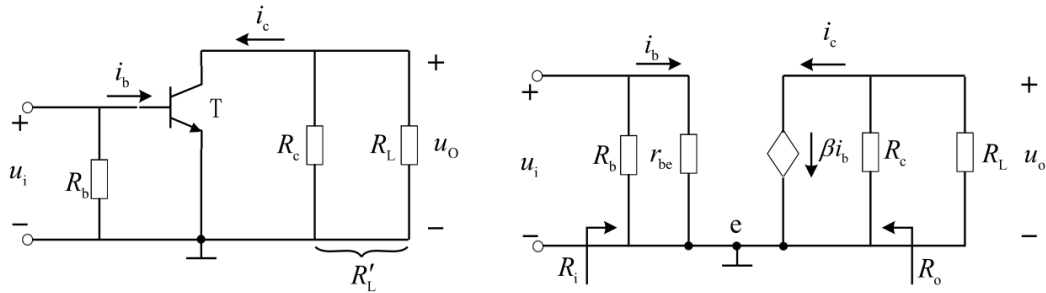
由交流负载线方程得到: 交流负载线斜率为 $-\frac{1}{R_L'} = -\frac{2}{3}$

$$\text{所以 } R_L' = 1.5k\Omega \quad \therefore R_L' = \frac{R_L R_C}{R_L + R_C} \quad \therefore R_L = 3.75k\Omega$$

(2) 若不断加大输入正弦波电压的幅值, 该电路先出现截止失真。刚出现失真时, $u_{om} = 3V$,

则输出电压的峰-峰值为 6V。

(3) 求解放大电路的交流参数，应先画出电路的交流通路，由此得到电路的微变等效电路。



$$\beta = \frac{I_{CQ}}{I_{BQ}} = \frac{2\text{mA}}{40\mu\text{A}} = 50$$

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_{EQ}} = 200\Omega + (1 + 50) \frac{26\text{mV}}{2\text{mA}} = 863\Omega$$

$$R_i = R_b \parallel r_{be} \quad r_{be} = 863\Omega$$

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{-\beta i_b R_L'}{i_b r_{be}} = \frac{-\beta R_L'}{r_{be}} = \frac{-50 \times 1500\Omega}{863\Omega} \approx -87$$

$$R_o = R_c = 2\text{k}\Omega$$

(4) 若电路中其他参数不变，只将晶体管换一个 β 值小一半的管子，这时 I_{BQ} 、 I_{CQ} 和 U_{CEQ} 以及 $|A_u|$ 将如何变化？

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC}}{R_b} = 40\mu\text{A} \text{ 不变；}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 25 \times 40\mu\text{A} = 1\text{mA} ;$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_c = 10\text{V} - 1\text{mA} \times 2.5\text{k}\Omega = 7.5\text{V}$$

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_{EQ}} = 200\Omega + (1 + 25) \frac{26\text{mV}}{1\text{mA}} = 876\Omega$$

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{-\beta i_b R_L'}{i_b r_{be}} = \frac{-\beta R_L'}{r_{be}} = \frac{-25 \times 1500\Omega}{876\Omega} \approx -42.8$$

3.10 共射基本放大电路如图 3.95 所示。设 BJT 的 $\beta=100$ ， $U_{BEQ}=-0.2\text{V}$ ， $V_{CC}=10\text{V}$ ， $r_{bb'}=200\Omega$ ， C_1 ， C_2 足够大，对交流信号可视为短路。

(1) 计算静态时的 I_{BQ} 、 I_{CQ} 和 U_{CEQ} ；

(2) 计算 BJT 的 r_{be} 的值；

(3) 求出中频电压放大倍数 A_u 、输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o ；

(4) 若输出电压波形出现底部削平的失真，问 BJT 产生了截止失真还是饱和失真？若使失真消失，应该调整电路中的哪个参数？

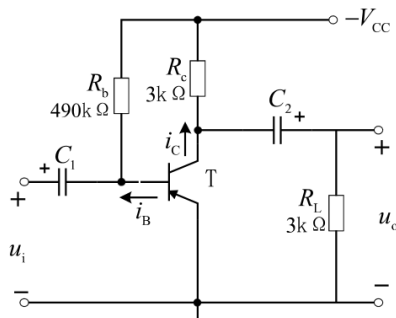


图 3.95 习题 3.10 电路图

解：(1) 计算静态时的 I_{BQ} 、 I_{CQ} 和 U_{CEQ} ；

$$0 - U_{EBQ} - I_{BQ}R_b - (-V_{CC}) = 0$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} + U_{BEQ}}{R_b} = \frac{V_{CC}}{R_b} = \frac{10V}{490k\Omega} = 20.4\mu A$$

$$I_{EQ} \approx I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 2mA$$

$$0 - U_{ECQ} - I_{CQ}R_c - (-V_{CC}) = 0$$

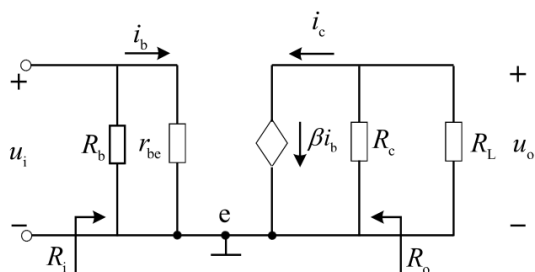
$$U_{ECQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c = 10V - 2mA \times 3k\Omega = 4V$$

$$\therefore U_{CEQ} = -U_{ECQ} = -4V$$

(2) 计算 BJT 的 r_{be} 的值；

$$r_{be} = 200 + (1 + \beta) \frac{26mV}{I_{EQ}} = 200 + (1 + 100) \frac{26mV}{2mA} = 1513\Omega \approx 1.5k\Omega$$

(3) 求出中频电压放大倍数 \dot{A}_u 、输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o ；
求解放大电路的交流参数，应先画出电路的微变等效电路。



$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{-\beta i_b R'_L}{i_b r_{be}} = \frac{-\beta R_c \parallel R_L}{r_{be}} = \frac{-100 \times \frac{3000\Omega \times 3000\Omega}{3000\Omega + 3000\Omega}}{1513\Omega} = -99$$

$$R_i = R_b \parallel r_{be} \quad r_{be} = 1.5k\Omega$$

$$R_o = R_c = 3k\Omega$$

(4) 若输出电压波形出现底部消平的失真，BJT 产生了截止失真；若使截止失真消失，应该提高静态工作点，减小偏置电阻 R_b 。

3.11 电路如图 3.96 所示，其中图 (a) 为固定偏置电路的直流通路，图 (b) 为分压式电流负反馈偏置电路的直流通路。两个电路中的 BJT 相同 $U_{BE} = 0.6V$ 。在 $20^\circ C$ 时 BJT 的 $\beta = 50$ ， $55^\circ C$ 时， $\beta = 70$ 。试分别求两种电路在 $20^\circ C$ 时的静态工作点 Q ，以及温度升高到 $55^\circ C$ 时由于 β 的变化引起 I_{CQ} 的改变程度。

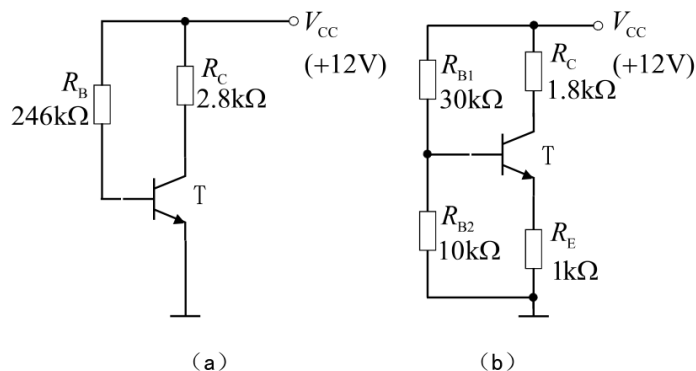


图 3.96 习题 3.11 电路图

解：(1) 在图 3.96 (a) 中 $V_{CC} - I_{BQ}R_B - U_{BEQ} = 0$

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b} = \frac{12 - 0.6}{246} \approx 46.3\mu\text{A}$$

在 20°C 时, $\beta_1 = 50$, 55°C 时, $\beta_2 = 70$ 。

求 20°C 时电路的静态工作点;

$$I_{CQ1} = \beta_1 I_{BQ} = 50 \times 46.3\mu\text{A} = 2.3\text{mA}$$

$$U_{CEQ1} = V_{CC} - I_{CQ1}R_C = 12\text{V} - 2.3\text{mA} \times 2.8\text{k}\Omega \approx 5.56\text{V}$$

求 55°C 时电路的静态工作点

$$I_{CQ2} = \beta_2 I_{BQ} = 70 \times 46.3\mu\text{A} = 3.2\text{mA}$$

$$U_{CEQ2} = V_{CC} - I_{CQ2}R_C = 12\text{V} - 3.2\text{mA} \times 2.8\text{k}\Omega \approx 3\text{V}$$

(2) 在图 3.96 (b) 中 $U_{BQ} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} = \frac{10\text{k}\Omega}{30\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega} \times 12\text{V} = 3\text{V}$

$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_E} = \frac{3\text{V} - 0.6\text{V}}{1\text{k}\Omega} = 2.4\text{mA}$$

求 20°C 时电路的静态工作点;

$$I_{BQ1} = \frac{I_{CQ1}}{\beta} = \frac{2.4\text{mA}}{50} = 48\mu\text{A}$$

$$U_{CEQ1} = V_{CC} - I_{CQ1}(R_C + R_E) \\ = 12\text{V} - 2.4\text{mA} \times (1.8\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega) \\ = 5.28\text{V}$$

求 55°C 时电路的静态工作点

$$I_{BQ2} = \frac{I_{CQ2}}{\beta} = \frac{2.4\text{mA}}{70} = 34.3\mu\text{A}$$

$$U_{CEQ2} = U_{CEQ1} = 5.28\text{V}$$

从以上分析可知, 分压式偏置电路能够起到稳定静态工作点的作用。

3.12 电路如图 3.97 所示, 已知 BJT 的 $\beta = 100$, $U_{BEQ} = 0.7\text{V}$, $r_{bb'} = 200\Omega$, $V_{CC} = 20\text{V}$ 。

- (1) 求电路的静态工作点 Q ;
- (2) 求出电路的电压增益 A_u , 输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o ;
- (3) 若改用 $\beta = 200$ 的 BJT, 则 Q 点如何变化?
- (4) 若电容 C_e 开路, 将引起电路的哪些动态参数发生变化? 如何变化?

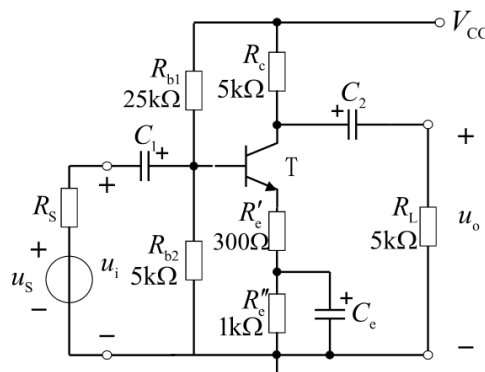


图 3.97 习题 3.12 电路图

解：(1) 求电路的静态工作点 Q ;

$$U_{BQ} = \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} V_{CC} = \frac{5k\Omega}{25k\Omega + 5k\Omega} \times 20V = 3.3V$$

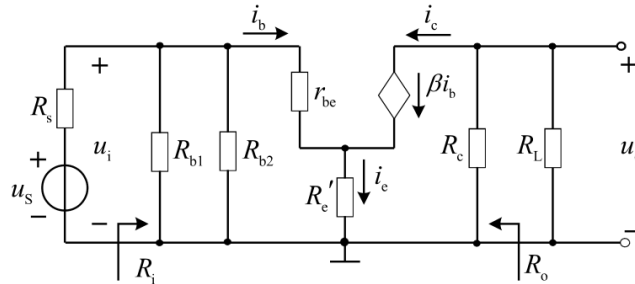
$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_e' + R_e''} = \frac{3.3V - 0.7V}{1.3k\Omega} = 2mA$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = \frac{2mA}{100} = 20\mu A$$

$$\begin{aligned} U_{CEQ} &= V_{CC} - I_{CQ}(R_c + R_e' + R_e'') \\ &= 20V - 2mA \times (5k\Omega + 1.3k\Omega) \\ &= 7.4V \end{aligned}$$

(2) 求出电路的电压增益 A_u ，输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o ；

画出电路的微变等效电路如图题 3.12 所示



图题 3.12

$$r_{be} = 200 + (1 + \beta) \frac{26mV}{I_{EQ}} = 200 + (1 + 100) \frac{26mV}{2mA} = 1513\Omega \approx 1.5k\Omega$$

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{-\beta R_c \parallel R_L}{r_{be} + (1 + \beta) R_e'} = \frac{-100 \times \frac{5000\Omega \times 5000\Omega}{5000\Omega + 5000\Omega}}{1513\Omega + 101 \times 300\Omega} = -7.9$$

$$R_i = R_{b1} \parallel R_{b2} \parallel [r_{be} + (1 + \beta) R_e'] \approx 3.7k\Omega$$

$$R_o = R_c = 5k\Omega$$

(3) 若改用 $\beta = 200$ 的 BJT，则 $U_{BQ} = 3.3V$ ， $I_{CQ} \approx I_{EQ} = 2mA$ ， $U_{CEQ} = 7.4V$ 不变

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = \frac{2mA}{200} = 10\mu A$$

(4) 若电容 C_e 开路，将引起电路的 $A_u = \frac{-\beta R_c \parallel R_L}{r_{be} + (1 + \beta)(R_e' + R_e'')}$ 将变小，

$R_i = R_{b1} \parallel R_{b2} \parallel [r_{be} + (1 + \beta)(R_e' + R_e'')]$ 将变大，输出电阻 R_o 基本不变。

3.13 电压反馈型偏置电路如图 3.100 所示。已知 $V_{CC} = 12V$ ， $R_B = 200k\Omega$ ， $R_C = 3k\Omega$ ， $U_{BE} = 0.7V$ ， $\beta = 100$ ，试求

- (1) 静态工作点 Q ；
- (2) 标明电容 C_1 和 C_2 的极性
- (3) 简述稳定电压的原理。

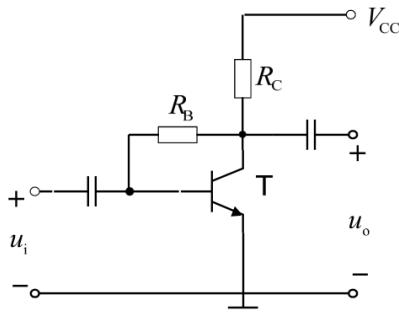


图 3.98 习题 3.13 电路图

解：(1) 由 KVL 电压方程

$$V_{CC} - (I_{BQ} + \beta I_{BQ})R_C - I_{BQ}R_B - U_{BEQ} = 0$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_C = 12V - 2.27 \times 10^{-3} \times 3 \times 10^3 = 5.19V$$

由所求的基极电流，可以得到集电极电流为

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 100 \times 0.0227mA = 2.27mA$$

(2) C_1 右为正， C_2 左为正。

(3) 当环境温度发生改变时

$$T \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow U_{R_C} \uparrow (U_{BE} \text{ 不变}) \rightarrow U_{R_B} \downarrow \rightarrow I_B \uparrow \rightarrow I_C \downarrow$$

3.14 电路如图 3.99 所示，已知 BJT 的 $\beta = 50$ ， $U_{BEQ} = -0.2V$ ，试求：

(1) 当 $U_{BQ} = 0V$ 时， R_B 的值；

(2) R_E 短路时， I_{CQ} 、 U_{CEQ} 的值；

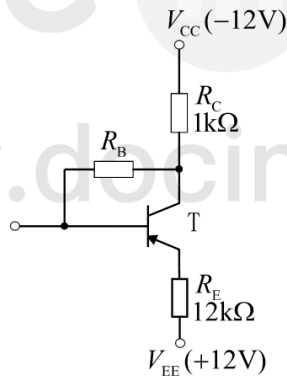


图 3.99 习题 3.14 电路图

解：(1) 当 $U_{BQ} = 0V$ 时， R_B 的值；

$$V_{EE} - I_{EQ}R_E + U_{BEQ} = 0$$

$$I_{EQ} = \frac{V_{EE} + U_{BEQ}}{R_E} = \frac{12V - 0.2V}{12k\Omega} = 1mA$$

$$0 - I_{BQ}R_B - (I_{BQ} + I_{EQ})R_C - V_{CC} = 0$$

$$R_B = \frac{12V - 1.02mA \times 1k\Omega}{20\mu A} = 550k\Omega$$

(2) R_E 短路时， I_{CQ} 、 U_{CEQ} 的值；

$$V_{EE} + U_{BEQ} - I_{BQ}R_B - (I_{BQ} + I_{CQ})R_C - V_{CC} = 0$$

$$\Rightarrow I_{BQ} = \frac{12V + 12V - 0.2V}{550k\Omega + 51 \times 1k\Omega} = 79\mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 3.95mA$$

$$V_{EE} - (-U_{CEQ}) - (I_{BQ} + I_{CQ})R_C - V_{CC} = 0 \Rightarrow U_{CEQ} = -20V$$

3.15 放大电路如图 3.102 所示，设晶体管的 $\beta = 20$ ， $r_{be'} = 200\Omega$ ， $U_{BEQ} = 0.7V$ ， D_z 为理想稳压二极管，稳定电压 $U_z = 6V$ ，正向导通的压降为 $0.7V$ ，各电容对交流信号均可视为短路。试求

- (1) 晶体管的静态工作点 Q ；
- (2) 求电压增益 A_u ，输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o ；
- (3) 若 D_z 极性相反，电路能否正常放大？试计算此时的静态工作点，并定性分析 D_z 反接时对 A_u 、 R_i 、 R_o 的影响。

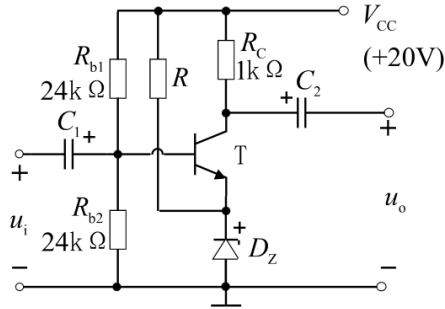


图 3.100 习题 3.15 电路图

解：(1) D_z 管导通时，BE 间压降为 $0.7V$ ，故 B 端电压为

$$U_{BQ} = U_z + U_{BEQ} = 6.7V$$

故可分别求得流过 R_{B1} ， R_{B2} 的电流为

$$I_{B1} = \frac{U_{BQ}}{R_{B1}} = \frac{6.7V}{24k\Omega} = 0.279mA$$

$$I_{B2} = \frac{V_{CC} - U_{BQ}}{R_{B2}} = \frac{20V - 6.7V}{24k\Omega} = 0.554mA$$

所以基极电流为

$$I_{BQ} = I_{B2} - I_{B1} = 0.554mA - 0.279mA = 0.275mA$$

当 $\beta = 20$ 时，有

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 5.5mA$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - U_z - I_{CQ} R_c = 8.5V$$

(2) 要求电压增益和输入电阻，首先应求出发射极等效电阻。

$$R_E = R_z = \frac{U_z}{I_{EQ}} \approx \frac{U_z}{I_{CQ}} = 1.1k\Omega$$

同时可求出等效基极电阻

$$r_{be} = 200 + (1 + \beta) \frac{26mV}{I_{EQ}} = 200 + (1 + 20) \frac{26mV}{5.5mA} \approx 300\Omega$$

电压增益

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{\beta R_c}{r_{be} + (1 + \beta) R_E} = -\frac{20 \times 1k\Omega}{0.3k\Omega + 21 \times 1.1k\Omega} = -0.855$$

输入电阻为

$$R_i = R_{B1} // R_{B2} // [r_{be} + (1 + \beta) R_E] = 7.93k\Omega$$

输出电阻为

$$R_o \approx R_c = 1k\Omega$$

(3) 当稳压管反接时，其正向压降为 $U_D = 0.7V$ ，则晶体管基极电位为

$$U_{BQ} = U_D + U_{BEQ} = 1.4V$$

分别求出分压电阻上的电流为

$$I_{B1} = \frac{U_{BQ}}{R_{B1}} = \frac{1.4V}{24k\Omega} = 0.058mA$$

$$I_{B2} = \frac{V_{CC} - U_{BQ}}{R_{B2}} = \frac{20V - 1.4V}{24k\Omega} = 0.775mA$$

晶体管基极电流为

$$I_{BQ} = I_{B2} - I_{B1} = 0.775mA - 0.058mA = 0.717mA$$

集电极电流为

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 20 \times 0.717mA = 14.34mA$$

晶体管管压降为

$$U_{CEQ} = V_{CC} - U_D - I_{CQ} R_C = 20V - 14.34V - 0.7V = 4.96V$$

求稳压管反向接入时的等效电阻

$$R_E = R_Z = \frac{U_D}{I_{EQ}} \approx \frac{0.7V}{14.34mA} = 48.8\Omega$$

$$r_{be} = 200 + (1 + \beta) \frac{26mV}{I_{EQ}} = 200 + (1 + 20) \frac{26mV}{14.34mA} \approx 238\Omega$$

晶体管仍处于放大状态，电路的电压增益、输入电阻和输出电阻分别为

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{\beta R_C}{r_{be} + (1 + \beta) R_E} = -\frac{20 \times 10^3 \Omega}{238\Omega + 21 \times 48.8\Omega} = -15.84$$

$$R_i = R_{B1} // R_{B2} // [r_{be} + (1 + \beta) R_E] = 24k\Omega // 24k\Omega // 1262.8\Omega = 1.14k\Omega$$

$$R_o \approx R_C = 1k\Omega$$

3.16 放大电路如图 3.101 所示， U_{BEQ} ， β ， r_{be} 均已知，各电容对交流信号可视为短路。试

写出：（1）电路静态工作点的表达式；

（2）电路的电压增益 A_u 、输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 的表达式。

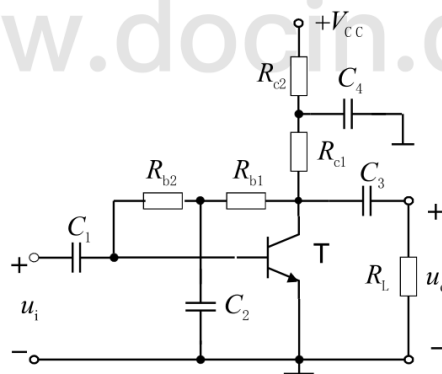
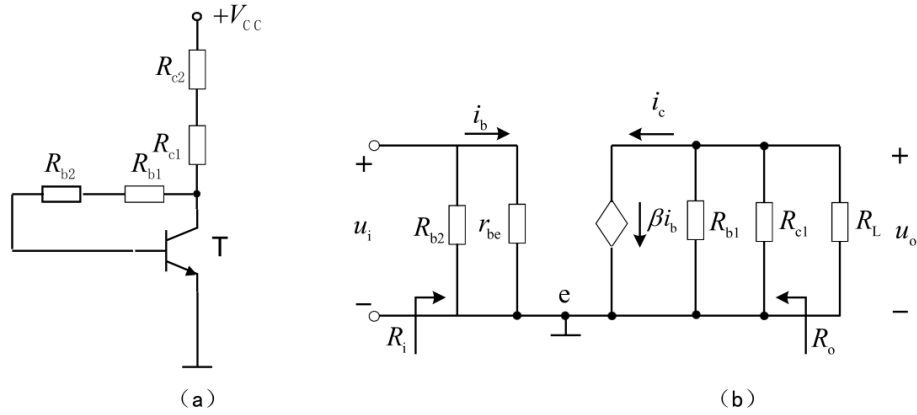


图 3.101 习题 3.16 电路图

解（1）求电路静态工作点，先画出电路的直流通路，如图题 3.16（a）所示；



图题 3.16

$$V_{CC} - (I_{BQ} + I_{CQ})(R_{c1} + R_{c2}) - I_{BQ}(R_{b1} + R_{b2}) - U_{BEQ} = 0$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{(1 + \beta)(R_{c1} + R_{c2}) + (R_{b1} + R_{b2})}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$V_{CC} - (I_{BQ} + I_{CQ})(R_{c1} + R_{c2}) - U_{CEQ} = 0$$

(2) 求电路的电压增益 A_u 、输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 的表达式，先画出电路的微变等效电路，如图题 3.16 (b) 所示。

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{\beta(R_c \parallel R_{b1} \parallel R_L)}{r_{be}}$$

$$R_i = R_{b2} \parallel r_{be}$$

$$R_o = R_c$$

3.17 电路如图 3.102 所示，已知 BJT 的 $\beta = 100$ ， $U_{BEQ} = 0.7V$ ， $r_{bb'} = 200\Omega$ ， $V_{CC} = 10V$ 。

- (1) 求电路的静态工作点；
- (2) 画出中频微变等效电路；
- (3) 求电路的电压增益 A_u 和源电压增益 A_{us} ，输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 。

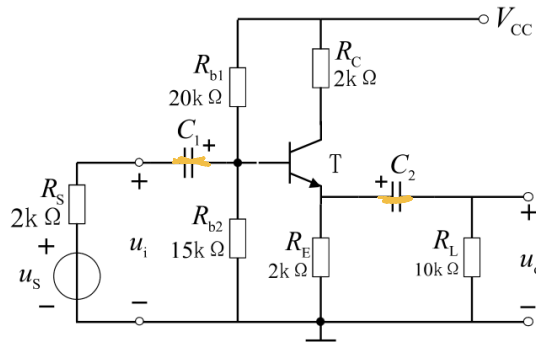


图 3.102 习题 3.17 电路图

解：(1) 求电路的静态工作点；

$$U_{BQ} = \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} V_{CC} = \frac{15k\Omega}{20k\Omega + 15k\Omega} \times 10V \approx 4.3V$$

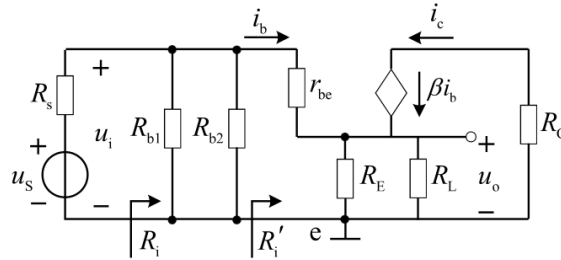
$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_E} = \frac{4.3V - 0.7V}{2k\Omega} = 1.8mA$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{EQ}}{1 + \beta} = \frac{1.8\text{mA}}{100+1} \approx 18\mu\text{A}$$

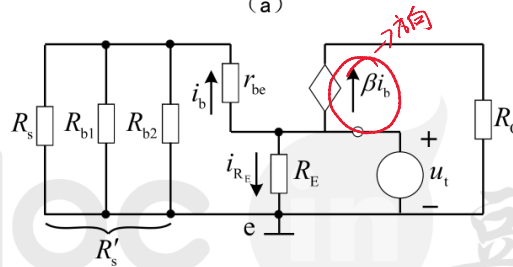
$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) \\ = 10\text{V} - 1.8\text{mA} \times (2\text{k}\Omega + 2\text{k}\Omega) = 2.8\text{V}$$

$$r_{be} = 200 + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_{EQ}} = 200 + (1 + 100) \frac{26\text{mV}}{1.8\text{mA}} \approx 1.66\text{k}\Omega$$

(2) 画出中频微变等效电路, 如图题 3.17 (a) 所示:



(a)



(b)

图题 3.17

(3) 求电路的电压增益 A_u 和源电压增益 A_{us} , 输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{(1 + \beta)i_b(R_E \parallel R_L)}{i_b[r_{be} + (1 + \beta)(R_E \parallel R_L)]} = \frac{(1 + \beta)(R_E \parallel R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)(R_E \parallel R_L)} \approx 1$$

$$R_i' = r_{be} + (1 + \beta)(R_E \parallel R_L) = 1.66\text{k}\Omega + (100 + 1)(2\text{k}\Omega \parallel 2\text{k}\Omega) \approx 103\text{k}\Omega$$

$$R_i = R_{b1} \parallel R_{b2} \parallel R_i' = 20\text{k}\Omega \parallel 15\text{k}\Omega \parallel 103\text{k}\Omega \approx 7.9\text{k}\Omega$$

$$A_{us} = \frac{u_o}{u_s} = \frac{u_i}{u_s} A_u = \frac{R_i}{R_i + R_s} = 1 \times \frac{7.9\text{k}\Omega}{7.9\text{k}\Omega + 2\text{k}\Omega} = 0.8$$

$$R_s' = R_{b1} \parallel R_{b2} \parallel R_s = 20\text{k}\Omega \parallel 15\text{k}\Omega \parallel 2\text{k}\Omega \approx 1.6\text{k}\Omega$$

$$i_t = (1 + \beta)i_b + i_{R_E} \\ = \frac{u_t}{R_s' + r_{be}} + \beta \frac{u_t}{R_s' + r_{be}} + \frac{u_t}{R_E}$$

电路如图题 3.17 (b) 所示

$$R_o = \frac{R_s' + r_{be}}{1 + \beta} \parallel R_E = \frac{1.6\text{k}\Omega + 1.66\text{k}\Omega}{1 + 100} \parallel 2\text{k}\Omega \approx 32\Omega$$

3.18 图 3.103 所示是一个分相器电路, 设 BJT 的 $\beta = 200$, $U_{BEQ} = 0.7\text{V}$, $r_{bb'} = 200\Omega$, $V_{CC} = 9\text{V}$, 各电容对信号可视为短路。试求

(1) 电路的静态工作点 Q ;

(2) 当两输出端开路时, 电路的电压增益 A_{u1}' 、 A_{u2}' ;

- (3) 当负载电阻 $R_L = 2k\Omega$ 接于集电极输出端（射极输出端开路）时的电压增益 A_{u1} ；
当 $R_L = 2k\Omega$ 接于射极输出端（集电极输出端开路）时的电压增益 A_{u2} 。

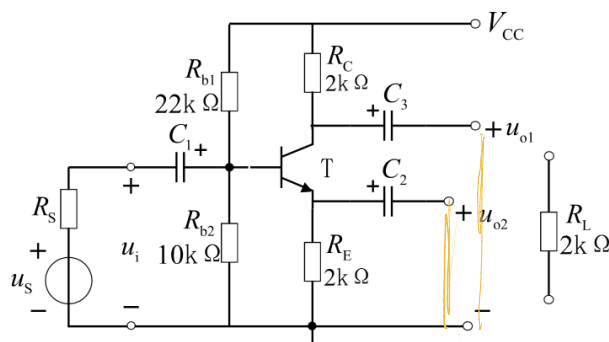


图 3.103 习题 3.18 电路图

解：(1) 电路的静态工作点 Q ；

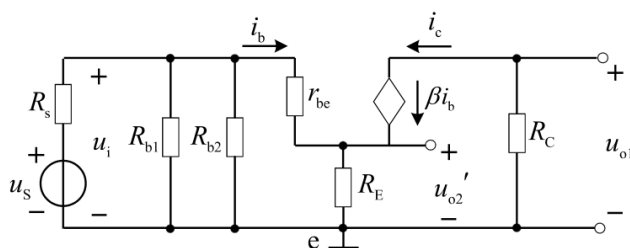
$$U_{BQ} = \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} V_{CC} = \frac{10k\Omega}{22k\Omega + 10k\Omega} \times 9V \approx 2.8V$$

$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_E} = \frac{2.8V - 0.7V}{2k\Omega} = 1mA$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{EQ}}{1 + \beta} = \frac{1mA}{201} = 5\mu A$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) = 5V$$

- (2) 当两输出端开路时，电路的电压增益 A'_{u1} 、 A'_{u2} ，电路如图题 3.18 所示；



图题 3.18

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26(mV)}{I_{EQ}(mA)} = 200\Omega + (1 + 200) \frac{26mV}{1mA} = 5426\Omega \approx 5.4k\Omega$$

$$A'_{u1} = \frac{u'_{o1}}{u_i} = \frac{-\beta R_C}{r_{be} + (1 + \beta)R_E} = \frac{-200 \times 2}{5.4 + (1 + 200) \times 2} \approx -0.98$$

$$A'_{u2} = \frac{u'_{o2}}{u_i} = \frac{(1 + \beta)R_E}{r_{be} + (1 + \beta)R_E} = \frac{201 \times 2}{5.4 + (1 + 200) \times 2} \approx 0.99$$

- (3) 当负载电阻 $R_L = 2k\Omega$ 接于集电极输出端（射极输出端开路）时的电压增益 A_{u1} ；
当 $R_L = 2k\Omega$ 接于射极输出端（集电极输出端开路）时的电压增益 A_{u2} 。

$$A_{u1} = \frac{u_{o1}}{u_i} = \frac{-\beta R_C \parallel R_L}{r_{be} + (1 + \beta)R_E} = \frac{-200 \times 2 \parallel 2}{5.4 + (1 + 200) \times 2} \approx -0.5$$

$$A_{u2} = \frac{u'_{o2}}{u_i} = \frac{(1 + \beta)R_E \parallel R_L}{r_{be} + (1 + \beta)R_E \parallel R_L} = \frac{201 \times 2 \parallel 2}{5.4 + (1 + 200) \times 2 \parallel 2} \approx 0.97$$

3.19 共集电极电路（基极自举电路）如图 3.104 所示，已知 BJT 的 $r_{bb'} = 200\Omega$ ， $r_{b'e} = 1k\Omega$ ， $r_{c'e} = \infty$ ， $\beta = 100$ ； $R_{B1} = R_{B2} = 20k\Omega$ ， $R_{B3} = 20k\Omega$ ， $R_E = R_L = 1k\Omega$ ，电容 C_1 、 C_2 、 C_3 对交

流信号可视为短路。画出电路的交流通路，求出电路的输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 。

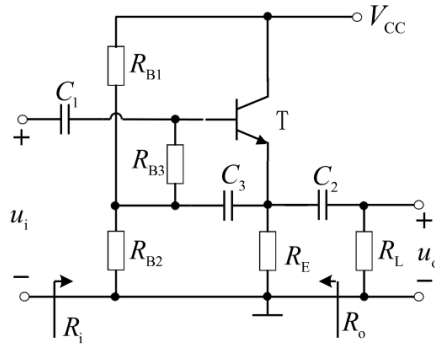
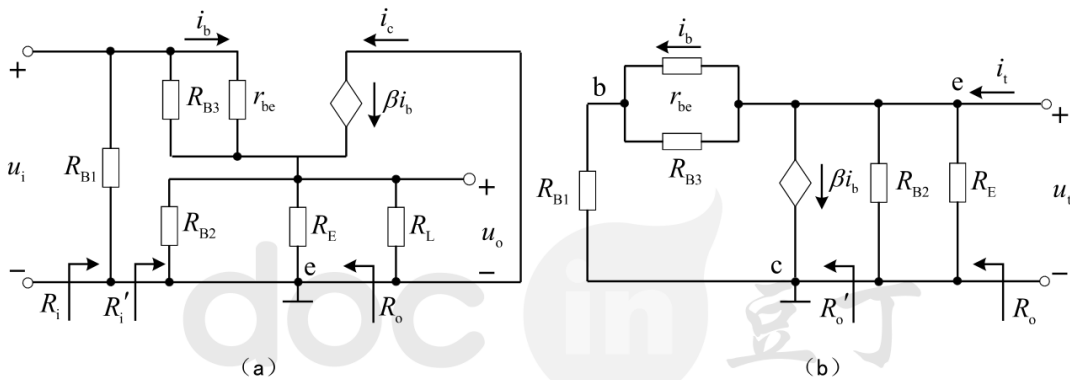


图 3.104 习题 3.19 电路图

解：画出电路的微变等效电路如图题 3.19 (a) 所示



图题 3.19

$$r_{be} = r_{bb'} + r_{b'e} = 200\Omega + 1k\Omega = 1.2k\Omega$$

从电路图中可以看出 $R_i = R_{B1} \parallel R_i'$

$$R_i' = \frac{u_i}{i_i} = \frac{i_b r_{be} + [(1 + \beta)i_b + \frac{i_b r_{be}}{R_{B3}}](R_{B2} \parallel R_E \parallel R_L)}{i_b + \frac{i_b r_{be}}{R_{B3}}}$$

$$= \frac{r_{be} + [(1 + \beta) + \frac{r_{be}}{R_{B3}}](R_{B2} \parallel R_E \parallel R_L)}{1 + \frac{r_{be}}{R_{B3}}}$$

求输出电阻的电路如图题 3.19 (b) 所示；

$$R_o = R_{B2} \parallel R_E \parallel R_o'$$

$$R_o' = \frac{i_b (r_{be} \parallel R_{B3} + R_{B1})}{(1 + \beta)i_b}$$

$$= \frac{(r_{be} \parallel R_{B3} + R_{B1})}{1 + \beta}$$

3.20 共基极放大电路如图 3.105 所示，已知 BJT 的 $\beta = 100$ ， $r_{be} = 1.3k\Omega$ ， $R_s = 150\Omega$ ， $R_C = R_L = 2k\Omega$ ， $R_E = 1k\Omega$ ，各电容对交流信号可视为短路。试计算电路的电压增益 A_u 和源电压增益 A_{us} ，输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 。

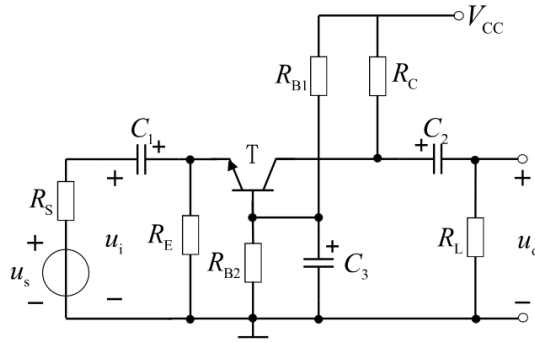
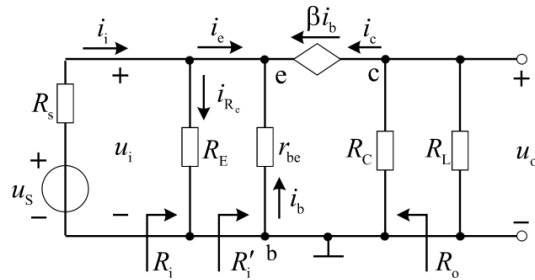


图 3.105 习题 3.20 电路图

解：先画出电路的微变等效电路如图题 3.20 所示。



图题 3.20

$$\text{电压增益 } A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{\beta(R_C \parallel R_L)}{r_{be}} = \frac{100 \times (2\text{k}\Omega \parallel 2\text{k}\Omega)}{1.3\text{k}\Omega} \approx 77$$

$$\text{输入电阻 } R_i' = \frac{u_i}{i_e} = \frac{r_{be}}{1 + \beta} = \frac{1.3\text{k}\Omega}{100 + 1} \approx 12.9\Omega$$

$$R_i = R_C \parallel R_i' = 1\text{k}\Omega \parallel 12.9\Omega \approx 12\Omega$$

$$\text{源电压增益 } A_{us} = \frac{R_i}{R_s + R_i} A_u = \frac{12\Omega}{150\Omega + 12\Omega} \times 77 \approx 5.7$$

$$R_o \approx R_C = 2\text{k}\Omega$$

3.21 共基极电路如图 3.106 所示，发射极接入一恒流源。设 $\beta = 120$ ， $R_s = 0\Omega$ ， $R_L = \infty$ ，试求电路的电压增益 A_u 、输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 。

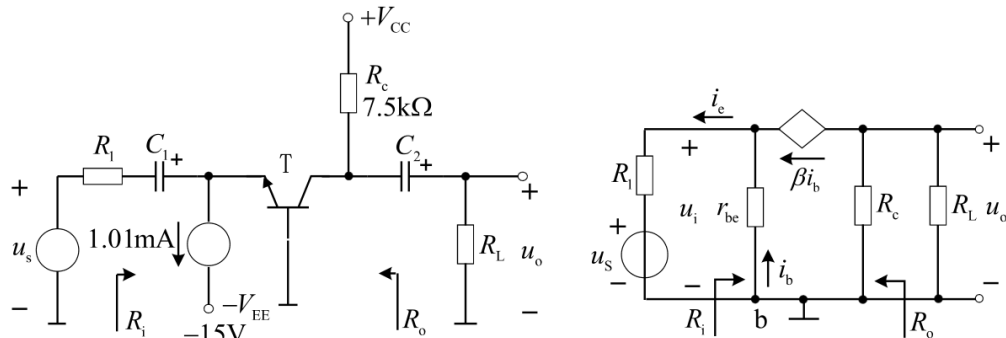


图 3.106 习题 3.21 电路图

解：由直流通路可知 $I_E = 1.01\text{mA}$

$$r_{be} = 200 + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_{EQ}} = 200 + (1 + 120) \frac{26\text{mV}}{1.01\text{mA}} \approx 3.3\text{k}\Omega$$

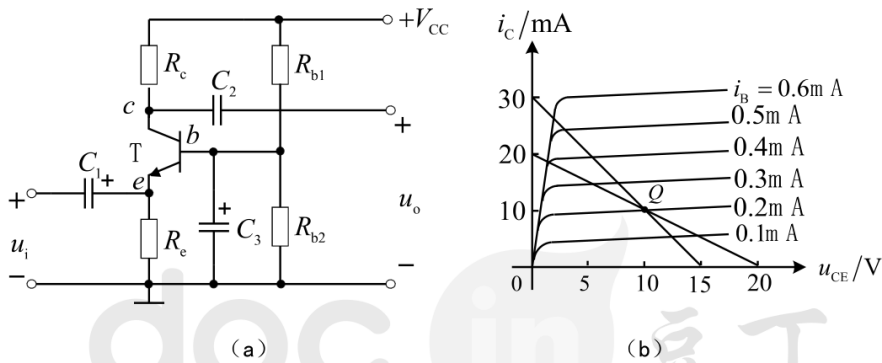
由此可得
$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{\beta R'_L}{r_{be}} = \frac{120 \times 7.5}{3.3} \approx 273$$

输入电阻
$$R_i = \frac{u_i}{i_i} = \frac{r_{be} i_b}{(1 + \beta) i_b} = \frac{r_{be}}{1 + \beta} \approx 27 \Omega$$

输出电阻
$$R_o \approx R_c = 7.5 \text{ k}\Omega$$

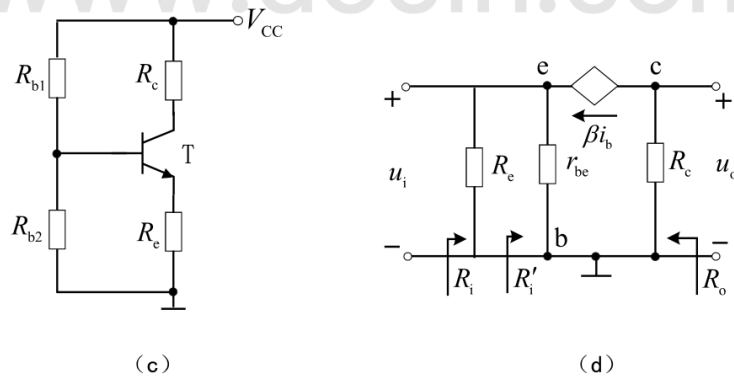
3.22 共基极电路如图 3.107 (a) 所示, 晶体管的输出特性如图 (b) 所示。已知 $V_{CC} = 20\text{V}$, $R_{b1} = 20\text{k}\Omega$, $R_{b2} = 60\text{k}\Omega$, $R_c = R_e = 500\Omega$, $\beta = 50$, 电路中所有电容对交流信号可视为短路。试求

- (1) 放大电路的静态工作点 Q ;
- (2) 在图 (b) 上作直流和交流负载线, 求最大不失真输出电压的幅值。
- (3) 求电路的电压增益 A_u 、输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 。



图题 3.21

解: (1) 首先画出电路的直流通路如图 (c) 所示, 由输出特性曲线可看出 I_B 较大, 静态分析时将包含 V_{CC} , R_{b1} , R_{b2} 部分的电路画成戴维南等效电路如图 (d) 所示。图中



图题 3.20

$$U_{BQ} = \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} V_{CC} = \frac{20}{60 + 20} \times 20\text{V} = 5\text{V}$$

$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_e} = \frac{U_{BQ}}{R_e} = \frac{5\text{V}}{500\Omega} = 10\text{mA}$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = \frac{10\text{mA}}{50} = 0.2\text{mA}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_c + R_e) = 10\text{V}$$

- (2) 根据直流通路得直流负载线方程

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_c + R_e)$$

$$\text{取两点: } U_{CEQ} = 0 \quad I_c = \left(\frac{20}{0.5 + 0.5}\right)\text{mA} = 20\text{mA}$$

$$I_{CQ} = 0 \quad U_{CEQ} = V_{CC}$$

画出交流通路，交流负载线必定过 Q 点斜率为 $\frac{-1}{R_c} = \frac{1}{0.5\text{k}\Omega}$ ，两条负载线如图 (b) 所示。

由交流负载线可知最大不失真输出电压的幅值为 5V。

(3) 根据交流通路画出放大电路得出电路的小信号等效电路如图 (c) 所示。

$$r_{be} = 200\Omega + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_E \text{mA}} \approx [200 + (1 + 50) \frac{26}{10}] \Omega = 332\Omega$$

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{\beta R_c}{r_{be}} = \frac{50 \times 0.5}{0.332} = 75$$

$$R_i = R_c // R'_i$$

$$\text{其中, } R'_i = \frac{v_i}{-I'_i} = \frac{v_i}{-(1 + \beta)i_b} = -\frac{i_b r_{be}}{-(1 + \beta)i_b} = \frac{r_{be}}{1 + \beta}$$

$$\text{所以 } R_i = R_c // R'_i = \frac{500 \times \frac{332}{51}}{500 + \frac{332}{51}} = 6.4\Omega$$

$$R_o \approx R_c = 500\Omega$$

3.23 已知某基本共射放大电路的波特图如图 3.108 所示。试求：

- (1) 该电路的中频电压增益 A_{um} ，下限截止频率 f_L 和上限截止频率 f_H ；
- (2) 写出 \dot{A}_u 的表达式。

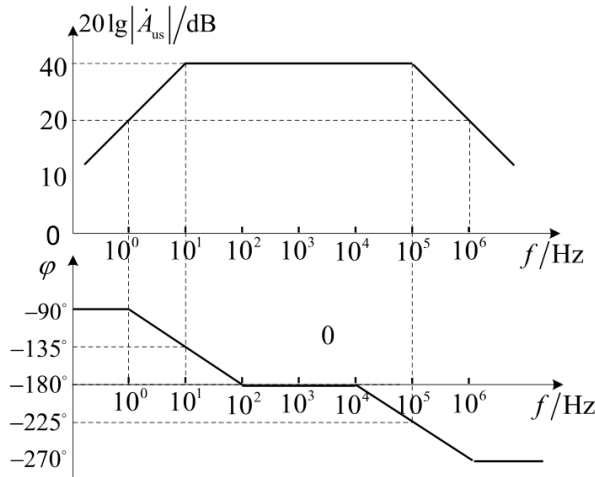


图 3.108 习题 3.23 电路图

解：(1) 该电路的中频电压增益 A_{um} ，下限截止频率 f_L 和上限截止频率 f_H ；

$$20\lg|A_{um}| = 40 \Rightarrow A_{um} = -100$$

$$f_L = 10\text{Hz}$$

$$f_H = 10^5\text{Hz}$$

(2) 写出 \dot{A}_u 的表达式。

$$\dot{A}_u = \frac{-100j\frac{f}{10}}{(1+j\frac{f}{10})(1+j\frac{f}{10^5})}$$

$$\dot{A}_u = \frac{-10jf}{(1+j\frac{f}{10})(1+j\frac{f}{10^5})}$$

3.24 已知某电路电压增益

$$\dot{A}_u = \frac{-10jf}{(1+j\frac{f}{10})(1+j\frac{f}{10^5})}$$

试求该电路的中频电压增益 \dot{A}_{um} ，下限截止频率 f_L 和上限截止频率 f_H 。

解：（1）对电压放大倍数的表达式进行变换，可以求出 \dot{A}_{um} 、 f_L 、 f_H 。

$$\dot{A}_u = \frac{-100j\frac{f}{10}}{(1+j\frac{f}{10})(1+j\frac{f}{10^5})}$$

$$\dot{A}_{um} = -100$$

$$f_L = 10\text{Hz}$$

$$f_H = 10^5\text{Hz}$$

doc in 豆丁

www.docin.com

第四章 参考答案

4.1 根据图 4.39 所示的场效应管转移特性曲线，判断场效应管的类型，并标出夹断电压 $U_{GS(off)}$ 或开启电压 $U_{GS(th)}$ 和漏极饱和电流 I_{DSS} 的位置。

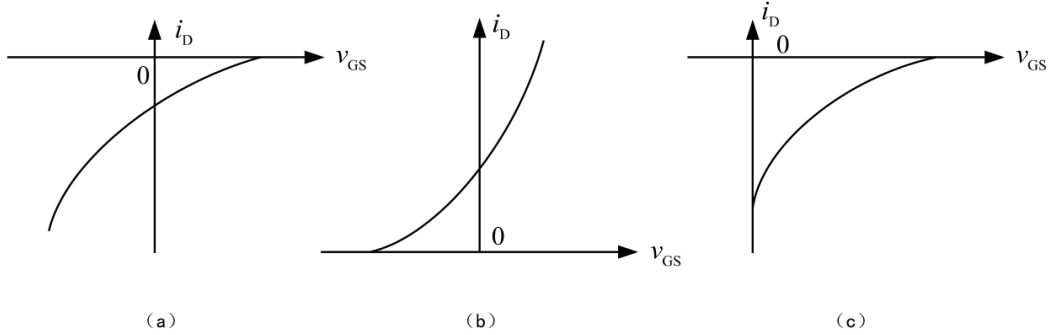
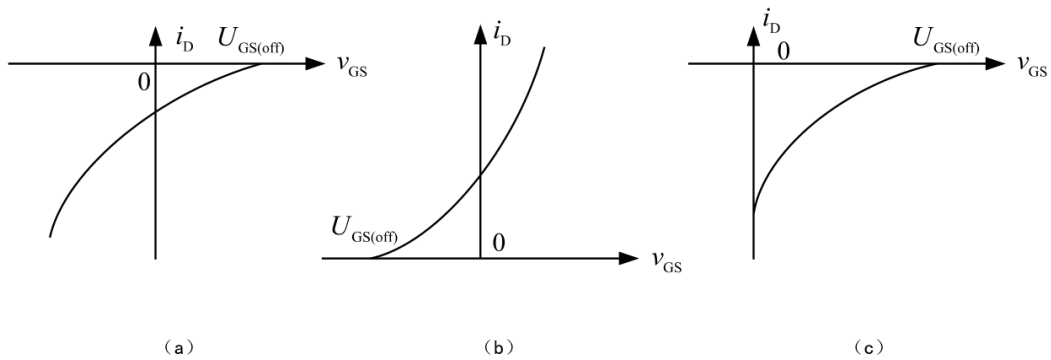


图 4.39 习题 4.1 的图

解：



图题 4.1 答案

(a) P 沟道耗尽型 MOS 管；(b) N 沟道耗尽型 MOS 管；(c) P 沟道结型 FET。

4.2 根据图 4.40 所示的场效应管输出特性曲线，判断场效应管的类型，并确定夹断电压 $U_{GS(off)}$ 或开启电压 $U_{GS(th)}$ 的大小。

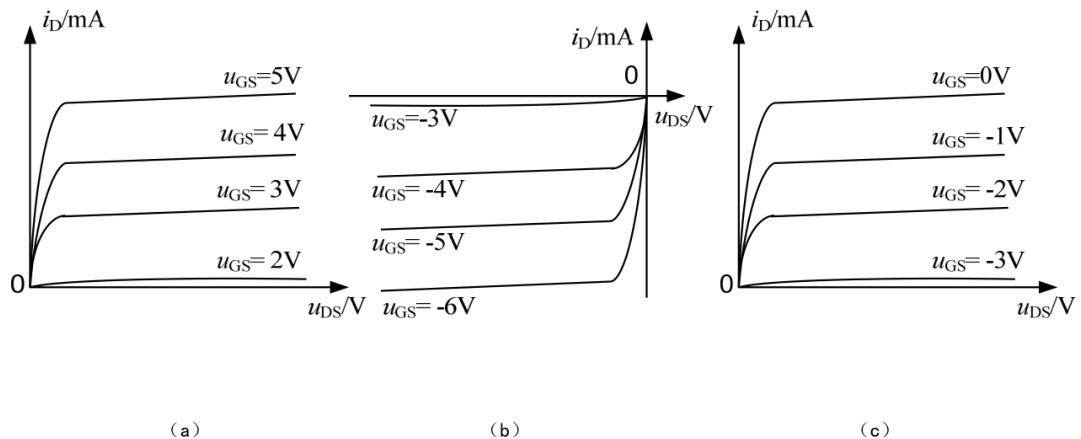


图 4.40 习题 4.2 的图

解：(a) N 沟道增强型 MOS 管， $U_{GS(th)} = 2V$ ；(b) P 沟道增强型 MOS 管， $U_{GS(th)} = -3V$ ；
(c) N 沟道结型 FET， $U_{GS(off)} = -3V$ 。

4.3 在场效应管组成的电路中，其各极的电位如图 4.41 所示，已知 $|U_{GS(off)}| = |U_{GS(th)}| = 3V$ ，确定管子的工作状态。

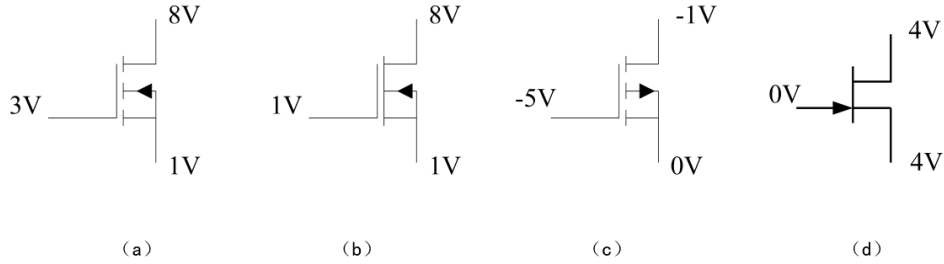


图 4.41 习题 4.3 的图

解：(a) 截止区；(b) 饱和区；(c) 可变电阻区；(d) 饱和区。

4.4 已知 N 沟道增强型 MOS 管的参数为 $U_{GS(th)} = 1V$ ， $W = 100\mu m$ ， $L = 5\mu m$ ， $\mu_n = 650cm^2/Vs$ ， $C_{ox} = 76.7 \times 10^{-9}F/cm^2$ 。当 $U_{GS} = 2U_{GS(th)}$ ，管子工作在饱和区，试计算此时的漏极电流 I_D 。

$$\text{解： } I_D = K_n (u_{GS} - U_{GS(th)})^2 = \frac{\mu_n C_{ox}}{2} \frac{W}{L} \times (2U_{GS(th)})^2 \approx 1mA$$

4.5 判断图 4.42 中的各电路能否放大交流信号，并说明理由。

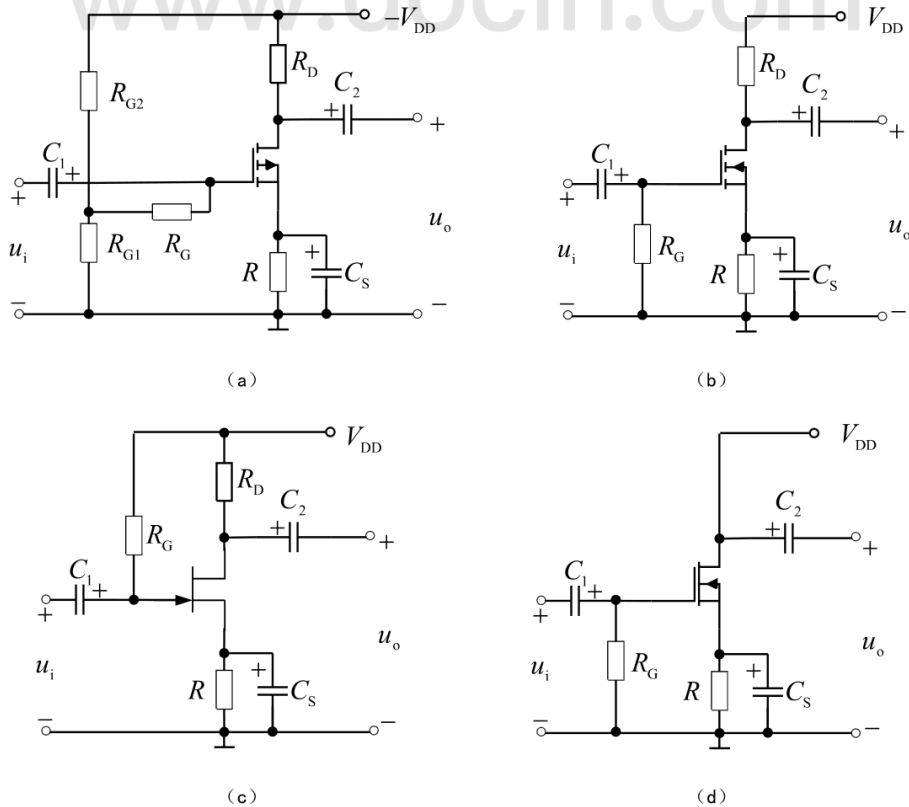


图 4.42 习题 4.5 电路图

解：(a)能；(b)不能， $U_{GS} = 0$ 没有形成导电沟道，所以不能正常放大；(c)不能，因为 $U_{GS} > 0$ ；
(d)不能，因为缺少漏极电阻 R_D 。

4.6 电路如图 4.43 所示，已知 $I_{DSS} = 4\text{mA}$ ， $U_{GS(off)} = -4\text{V}$ ， $R_G = 1\text{M}\Omega$ ， $R = 1\text{K}\Omega$ ， $R_D = 2\text{K}\Omega$ ， $V_{DD} = 12\text{V}$ 。电容的容量足够大，求静态工作点 Q (U_{GSQ} 、 U_{DSQ} 、 I_{DQ})。

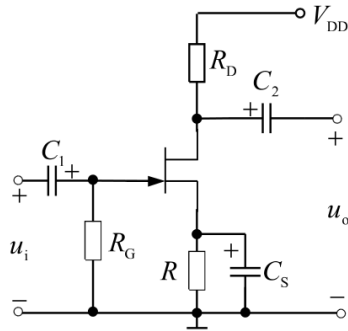


图 4.43 习题 4.6 电路图

解：
$$U_{GSQ} = U_G - U_S = -I_{DQ}R = -I_{DQ} \times 1$$

假设管子工作在饱和区则

$$I_{DQ} = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GSQ}}{U_{GS(off)}}\right)^2 = 4 \times \left(1 - \frac{I_{DQ} \times 1}{4}\right)^2$$

解得合理解， $I_{DQ} = 1.53\text{mA}$ ， $U_{GSQ} = -1.53\text{V}$

$$U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ}(R_D + R) = 12 - 1.53 \times 3 = 7.41\text{V}$$

因为 $U_{DSQ} > U_{GSQ} - U_{GS(off)}$ ($7.41 > -1.53 + 4$)，管子工作在恒流区，假设成立。

所以静态工作点 $U_{GSQ} = -1.53\text{V}$ ， $U_{DSQ} = 7.41\text{V}$ ， $I_{DQ} = 1.53\text{mA}$ 。

4.7 电路如图 4.44 所示，已知 $K_n = 0.1\text{mA/V}^2$ ， $U_{GS(th)} = 1\text{V}$ ， $R_{G1} = 30\text{K}\Omega$ ， $R_{G2} = 20\text{K}\Omega$ ， $R_D = 10\text{K}\Omega$ ， $V_{DD} = 5\text{V}$ 。电容的容量足够大，求该电路的静态工作点，说明此时场效应管工作在什么状态。

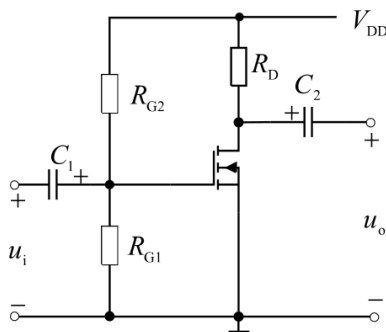


图 4.44 习题 4.7 电路图

解:
$$U_G = \frac{R_{G1}}{R_{G1} + R_{G2}} V_{DD} = \frac{30}{20 + 30} \times 5 = 3V$$

$$U_{GSQ} = U_G - U_S = 3V$$

假设管子工作在饱和区

$$I_{DQ} = K_n (U_{GSQ} - U_{GS(th)})^2 = 0.1 \times (3 - 1)^2 = 0.4mA$$

$$U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} R_D = 5 - 0.4 \times 10 = 1V$$

因为 $U_{DSQ} < U_{GSQ} - U_{GS(off)}$ ($1 < 3 - 1$), 管子工作在可变电阻区, 假设不成立。则

$$I_{DQ} = K_n [2(U_{GSQ} - U_{GS(th)})U_{DSQ} - U_{DSQ}^2] = 0.1 \times (4 \times U_{DSQ} - U_{DSQ}^2)$$

$$U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} R_D$$

解得合理解, $I_{DQ} = 0.36mA$, $U_{DSQ} = 1.4V$

所以静态工作点 $U_{GSQ} = 3V$, $U_{DSQ} = 1.4V$, $I_{DQ} = 0.36mA$, 管子工作在可变电阻区。

4.8 电路如图 4.45 所示, 由电流源提供偏置。设管子的参数为 $K_n = 160\mu A/V^2$, $U_{GS(th)} = 1V$, $V_{DD} = V_{SS} = 5V$, $I_{DQ} = 0.25mA$, $U_{DQ} = 2.5V$, 求该电路的静态工作点及 R_D 的阻值。

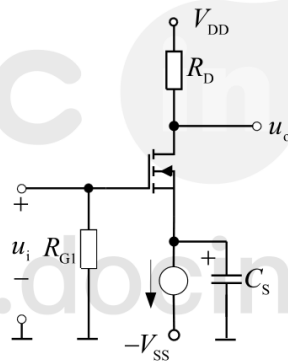


图 4.45 习题 4.8 电路图

解: 当 $v_i = 0$ 时, 栅极相当于接地, 且 R_G 上无电流通过。

假设管子工作在饱和区

$$I_{DQ} = K_n (u_{GS} - U_{GS(th)})^2$$

$$0.25 = 0.16(U_{GSQ} - 1)^2$$

解得 $U_{GSQ} = 2.25V$, $V_S = -U_{GSQ} = -2.25V$

$$U_{DSQ} = V_{DQ} - V_S = 2.5 + 2.25 = 4.75V$$

因为 $U_{DSQ} > U_{GSQ} - U_{GS(th)}$ ($4.75 > 2.25 - 1$), 管子工作在恒流区, 假设成立。

所以静态工作点 $U_{GSQ} = 2.25V$, $U_{DSQ} = 4.75V$, $I_{DQ} = 0.25mA$,

$$I_{DQ} = \frac{V_{DD} - V_S}{R_D} \Rightarrow R_D = \frac{V_{DD} - V_S}{I_{DQ}} = \frac{5 - 2.5}{0.25} = 10K\Omega$$

4.9 电路如图 4.46 (a) 所示, 已知电容的容量足够大, $R_G = 1M\Omega$, $R = 0.3K\Omega$, $R_D = 1.7K\Omega$, $R_L = 2K\Omega$, $V_{DD} = 20V$, 结型场效应管的输出特性曲线如图 4.46 (b) 所示。(1) 用图解法求静态工作点 Q 。(2) 求输出电压的最大不失真幅度。

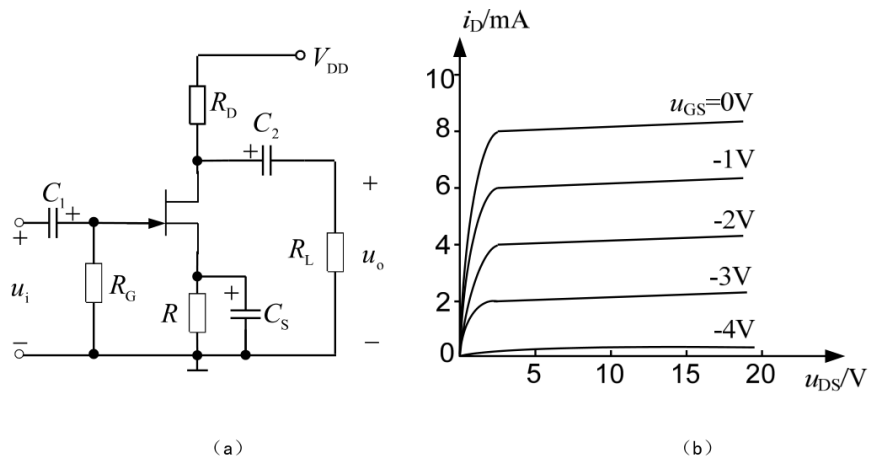
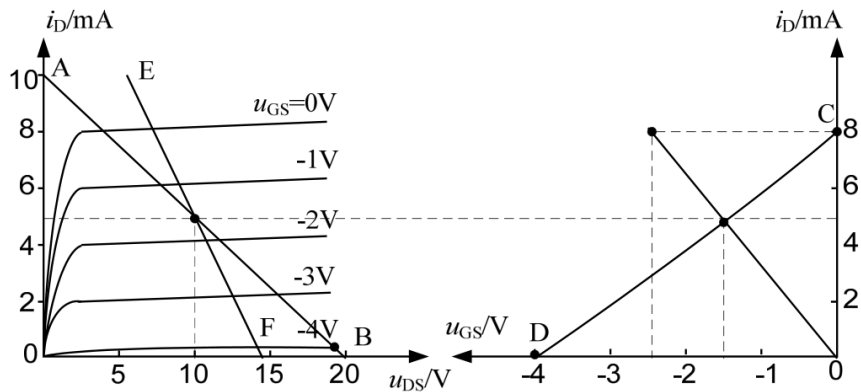


图 4.46 习题 4.9 电路图



图题 4.9 答案

解：(1) ①作直流负载线

$$U_{DS} = V_{DD} - I_D(R_D + R)$$

$$\text{令 } U_{DS} = 0 \text{ 得 } I_D = \frac{V_{DD}}{R_D + R} = \frac{20}{2} = 10\text{mA}$$

$$\text{令 } I_D = 0 \text{ 得 } U_{DS} = V_{DD} = 20\text{V}$$

在输出特性曲线上连接 (20, 0), (0, 5) 得到直流负载线 CD 。

②直流负载线 AB 与 u_{GS} 交点处的坐标值逐点转移到 $u_{GS} - i_D$ 坐标上, 得到对应的转移特性曲线 CD 。

③在转移特性曲线上作出 $U_{GS} = -I_{DQ}R$ 的直线

$$\text{令 } I_D = 0 \text{ 得 } U_{GS} = 0$$

$$\text{令 } I_D = 8\text{mA} \text{ 得 } U_{GS} = -2.4\text{V}$$

在转移特性曲线上连接 (0, 0), (-2.4, 8) 两点得到一直线, 此直线与转移特性曲线的交点即为静态工作点 Q 。对应 Q 点的值为

$$U_{GSQ} = -1.5\text{V}, U_{DSQ} = 10\text{V}, I_{DQ} = 5\text{mA}。$$

(2) 交流负载 $R'_L = R_D // R_L = 0.92\text{K}\Omega$

$$v_o = i_c R'_L = 5 \times 0.92 = 4.6\text{V}$$

交流负载线与横轴的交点为 $(10 + 4.6 = 14.6\text{V})$ 连接 Q 点得到交流负载线 EF 。EF 可知输出电压的最大不失真幅度为 4.6V 。

4.10 电路如图 4.47 所示, 已知 $K_n = 0.1\text{mA/V}^2$, $U_{GS(th)} = 1\text{V}$, $R_{G1} = 60\text{K}\Omega$, $R_{G2} = 90\text{K}\Omega$, $R_D = 20\text{K}\Omega$, $R_L = 20\text{K}\Omega$, $V_{DD} = 5\text{V}$, $R_s = 2\text{K}\Omega$ 。电容的容量足够大。(1) 求该电路的静态工作点。(2) 画出微变等效电路, 并计算 A_u 、 R_i 、 R_o 。(3) 计算源电压放大倍数 A_{us} 。

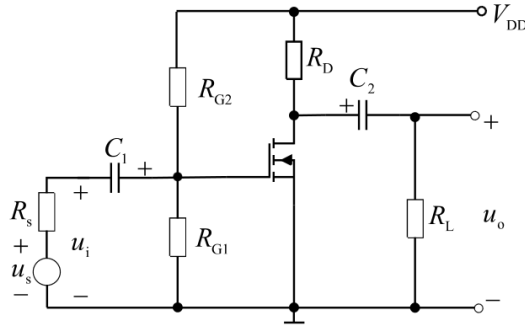
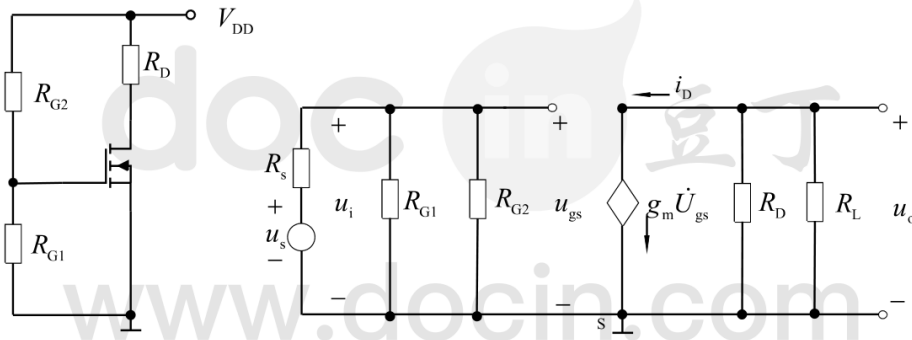


图 4.47 习题 4.10 电路图



图题 4.10 答案

解: (1) $U_{GS} = \frac{R_{G1}}{R_{G1} + R_{G2}} V_{DD} = \frac{60}{60 + 90} \times 5 = 2\text{V}$

假设管子工作在饱和区

$$I_{DQ} = K_n (U_{GSQ} - U_{GS(th)})^2 = 0.1 \times (2 - 1)^2 = 0.1\text{mA}$$

$$U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} R_D = 5 - 0.1 \times 20 = 3\text{V}$$

因为 $U_{DSQ} > U_{GSQ} - U_{GS(th)}$ ($3 > 2 - 1$), 管子工作在恒流区, 假设成立。

所以静态工作点 $U_{GSQ} = 2\text{V}$, $U_{DSQ} = 3\text{V}$, $I_{DQ} = 0.1\text{mA}$ 。

(2) $g_m = 2K_n (U_{GSQ} - U_{GS(th)}) = 2 \times 0.1 \times 1 = 0.2\text{mS}$

$$A_u = -g_m (R_D // R_L) = -0.2 \times 10 = -2$$

$$R_i = R_{G1} // R_{G2} = 36\text{K}\Omega$$

$$R_o = R_D = 20\text{K}\Omega$$

(3) $A_{us} = A_u \frac{R_i}{R_i + R_s} = -2 \times \frac{36}{36 + 2} = -1.89$

4.11 电路如图 4.48 所示, 已知场效应管在工作点上的跨导 $g_m = 1\text{mS}$, r_{ds} R_D ,

$R_G = 1\text{M}\Omega$, $R_{G1} = 100\text{K}\Omega$, $R_{G2} = 300\text{K}\Omega$, $R_{S1} = 2\text{K}\Omega$, $R_{S2} = 10\text{K}\Omega$, $R_D = 10\text{K}\Omega$, $R_L = 10\text{K}\Omega$, $V_{DD} = 20\text{V}$ 电容的容量足够大, 求电路的小信号电压增益 $A_u = u_o / u_i$, 输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 。

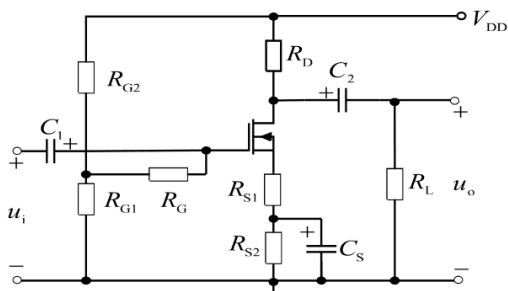
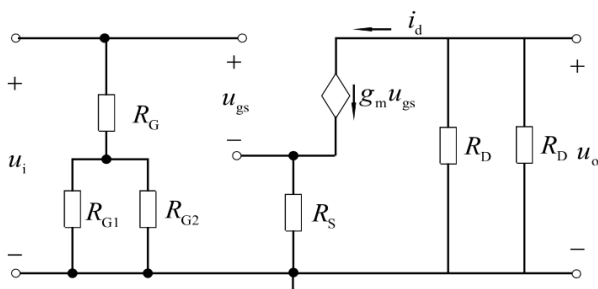


图 4.48 习题 4.11 电路图



图题 4.11 答案

$$\text{解: } A_u = \frac{-g_m(R_D // R_L)}{1 + g_m R_{S1}} = -\frac{1 \times 5}{1 + 2} = -1.67$$

$$R_i = R_G + R_{G1} // R_{G2} = 1075\text{K}\Omega$$

$$R_o = R_D = 10\text{K}\Omega$$

4.12 电路如图 4.49, 已知场效应管在工作点上的跨导 $g_m = 5\text{mS}$, $r_{DS} = R_D$, $R_1 = 2\text{M}\Omega$, $R_2 = 20\text{K}\Omega$, $R_D = 20\text{K}\Omega$, $R_L = 10\text{K}\Omega$, 画出该电路的低频小信号等效电路, 并计算 A_u 、 R_i 、 R_o 。

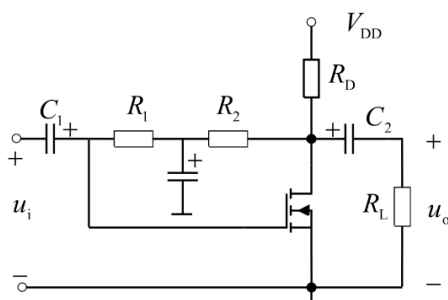
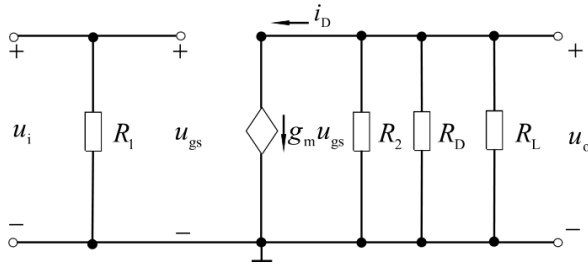


图 4.49 习题 4.12 电路图



图题 4.12 答案

解: $A_u = -g_m(R_2 // R_D // R_L) = -5 \times 5 = -25$

$$R_i = R_1 = 2\text{M}\Omega$$

$$R_o = R_D // R_2 = 10\text{K}\Omega$$

4.13 电路如图 4.50 所示, 其中 $g_m = 2\text{mS}$, $R_G = 1\text{M}\Omega$, $R_{G1} = 30\text{K}\Omega$, $R_{G2} = 50\text{K}\Omega$, $R_S = 10\text{K}\Omega$, $R_L = 10\text{K}\Omega$, 求 R_L 接入和断开两种情况下的增益 A_u , 输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 。

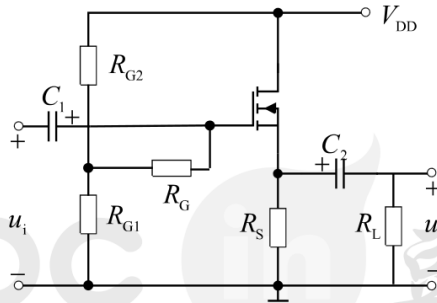
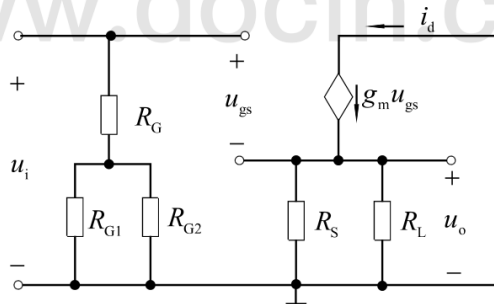


图 4.50 习题 4.13 电路图



图题 4.13 答案

解: R_L 接入时: $A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{g_m(R_S // R_L)}{1 + g_m(R_S // R_L)} = \frac{2 \times 5}{1 + 2 \times 5} = 0.909$

R_L 断开时: $A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} = \frac{2 \times 10}{1 + 2 \times 10} = 0.952$

$$R_i = R_G + R_{G1} // R_{G2} = 1018.75\text{K}\Omega$$

$$R_o = \frac{u_o}{i_o} = R_S // \frac{1}{g_m} = 10000 // \frac{1}{0.002} \approx 476\Omega$$

4.14 电路如图 4.51 所示, 已知 $I_{DSS} = 8\text{mA}$, $U_{GS(\text{off})} = -4\text{V}$, $R_S = 1\text{K}\Omega$, $R_D = 5\text{K}\Omega$, $R_L = 5\text{K}\Omega$, $V_{DD} = 18\text{V}$ 。电容的容量足够大。(1) 求该电路的静态工作点。(2) 画出微变等效电路, 并计算 A_u 、 R_i 、 R_o 。

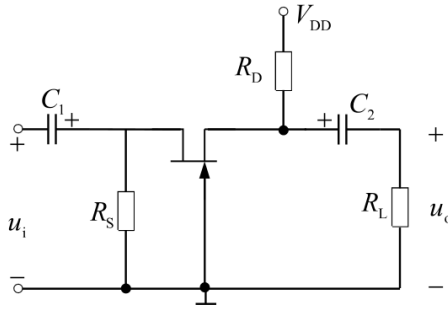
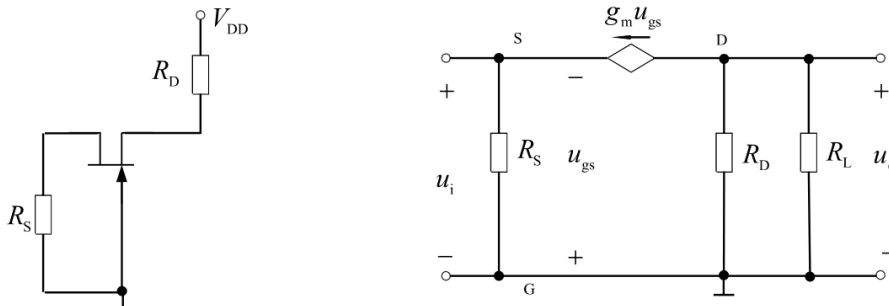


图 4.51 习题 4.14 电路图



图题 4.14 答案

解：(1) $U_{GSQ} = -I_D R_S$

假设管子工作在饱和区

$$I_{DQ} = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GSQ}}{U_{GS(off)}}\right)^2 = 8 \times \left(1 - \frac{I_{DQ} \times 1}{4}\right)^2$$

解得合理解 $I_{DQ} = 2\text{mA}$ ， $U_{GSQ} = -2\text{V}$

$$U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} (R_D + R_S) = 18 - 2 \times 6 = 6\text{V}$$

因为 $U_{DSQ} > U_{GSQ} - U_{GS(off)}$ ($6 > -2 + 4$)，管子工作在恒流区，假设成立。

所以静态工作点 $U_{GSQ} = -2\text{V}$ ， $U_{DSQ} = 6\text{V}$ ， $I_{DQ} = 2\text{mA}$ 。

$$(2) \quad g_m \approx \frac{2}{|U_{GS(off)}|} \sqrt{I_{DSS} I_{DQ}} = \frac{2}{4} \times \sqrt{8 \times 2} = 2\text{mS}$$

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{-g_m u_{gs} (R_D // R_L)}{-u_{gs}} = g_m (R_D // R_L) = 2 \times 2.5 = 5$$

$$R_i = R_S // \frac{1}{g_m} = 1000 // \frac{1}{0.002} \approx 333\Omega$$

$$R_o = R_D = 5\text{K}\Omega$$

4.15 电路如图 4.52 所示，已知 $g_m = 1\text{mS}$ ， $r_{ds} \gg R_D$ ， $R_S = 2\text{K}\Omega$ ， $R_{G1} = 1\text{M}\Omega$ ， $R_{G2} = 160\text{K}\Omega$ ， $R_D = 10\text{K}\Omega$ ， $R_L = 10\text{K}\Omega$ ， $V_{DD} = 18\text{V}$ 电容的容量足够大，画出该电路的低频小信号等效电路，并计算 A_u 、 R_i 、 R_o 。

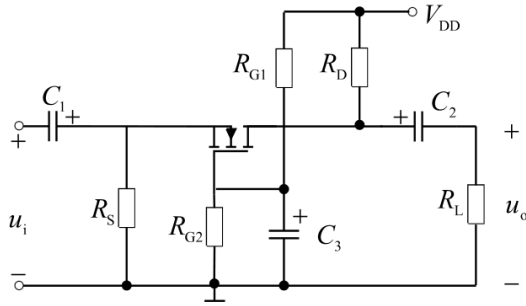
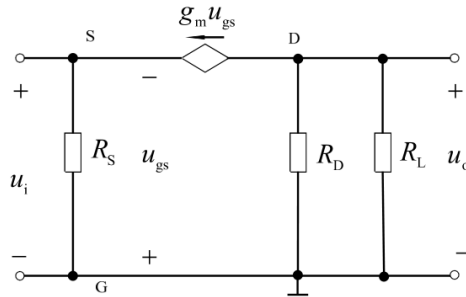


图 4.52 习题 4.15 电路图



图题 4.15 答案

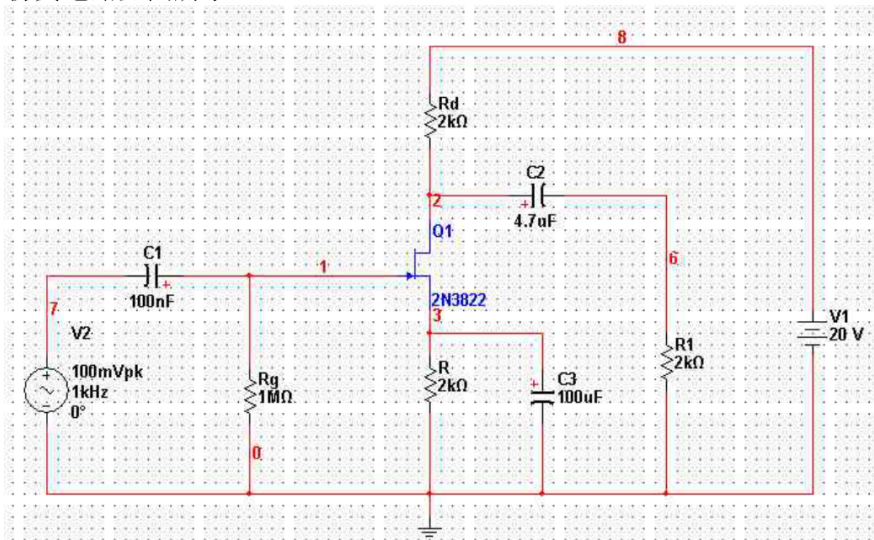
$$\text{解: } A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{-g_m u_{gs} (R_D // R_L)}{-u_{gs}} = g_m (R_D // R_L) = 1 \times 5 = 5$$

$$R_i = R_S // \frac{1}{g_m} = 2000 // \frac{1}{0.001} \approx 667 \Omega$$

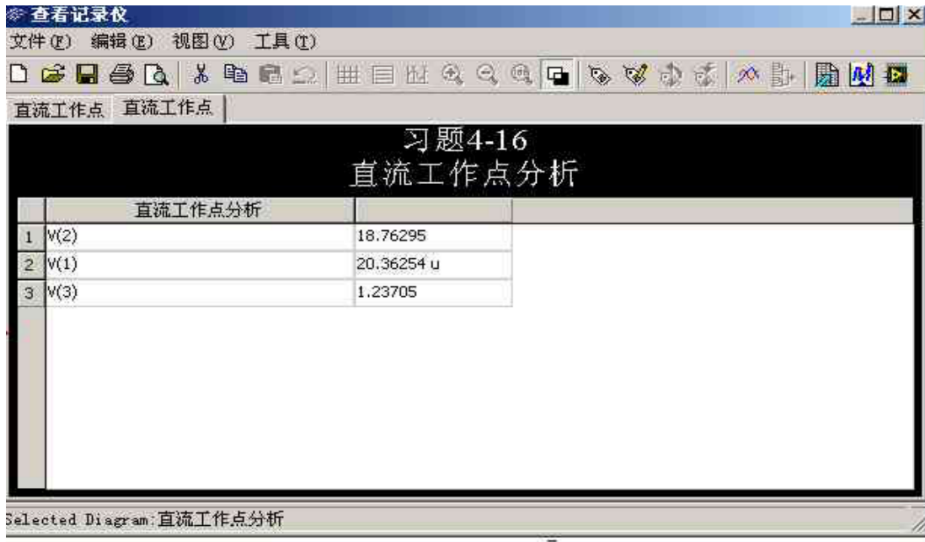
$$R_o = R_D = 10 \text{K}\Omega$$

4.16 一个结型场效应管放大电路如图 4.18 (b) 所示。其中场效应管采用 JFET 2N3822, $R_G = 1\text{M}\Omega$, $R = 2\text{K}\Omega$, $R_D = 2\text{K}\Omega$, $R_L = 2\text{K}\Omega$, $V_{DD} = 20\text{V}$, $C_1 = 0.1\mu\text{F}$, $C_2 = 4.7\mu\text{F}$, $C_S = 100\mu\text{F}$ 。(1) 求静态工作点 Q ; (2) 输入频率为 1KHz、幅值为 100mV 的正弦信号 v_i , 观察 v_i 及 v_o 的波形; (3) 求电路的幅频响应、频带宽度、输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 。

仿真电路如图所示:



(1) 静态分析:

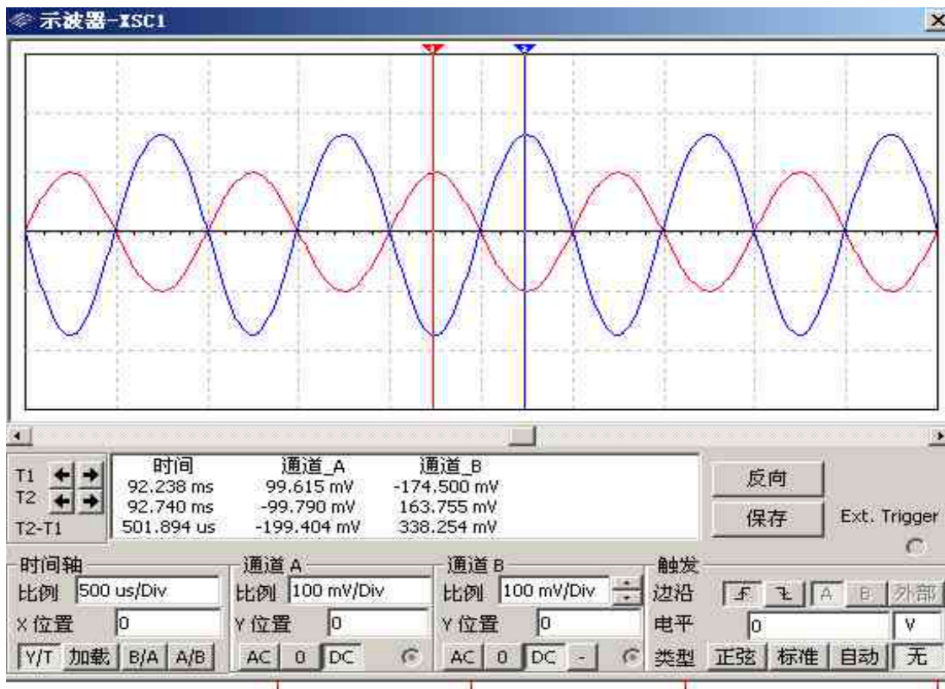


$$U_{GSQ} = V(1) - V(3) \approx 0 - 1.24 = -1.24V$$

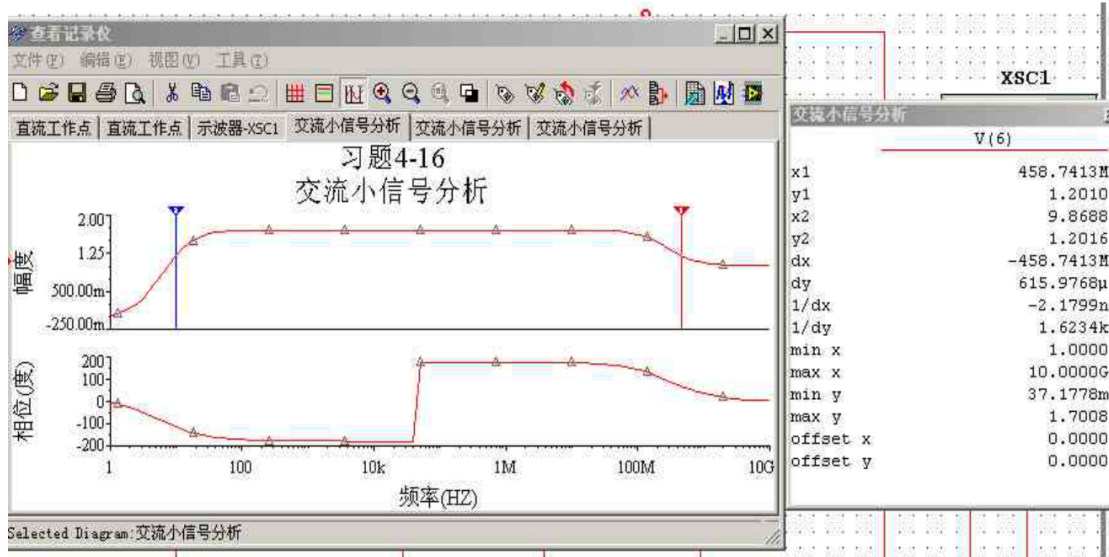
$$U_{DSQ} = V(2) - V(3) = 18.76 - 1.24 = 17.52V$$

$$I_{DQ} = \frac{V_{DD} - V(1)}{R_d} = \frac{20 - 17.52}{2} = 1.24mA$$

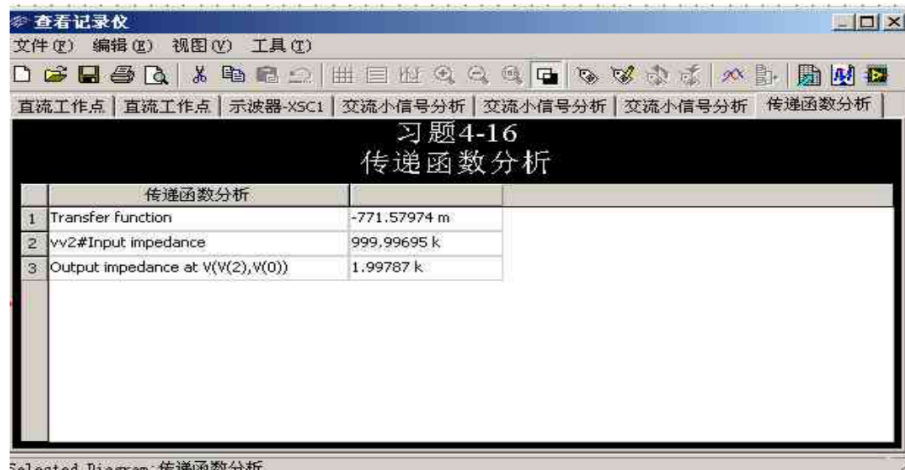
(2) 动态分析：由图可以看出共源极放大电路输入、输出反相，信号被放大了 1.7 倍左右。



(3)



由图可知 $\max y = 1.7008$ 为电路的中频放大倍数, $x_1 \approx 458.74\text{MHz}$, $x_2 \approx 9.87\text{Hz}$ 分别为电路的上限截止频率和下限截止频率。两者之差 $dx \approx 458.74\text{MHz}$ 即为通频带。



第二行 $999.997\text{K}\Omega$ 为输入电阻, 第三行 $1.998\text{K}\Omega$ 为输出电阻。

第五章

第 5 章 习题勘误

5.6 题 (2) 中: $I_O = 20\mu\text{A}$ 改为 $I_O = 20\mu\text{A}$

5.9 题改为如下:

5.9 电路如图 5.52 所示, 设 T_1 、 T_2 两管的参数对称, $U_{BE1} = U_{BE2} = 0.7\text{V}$ 。 T_3 、 T_4 两管的参数对称, $|U_{BE3}| = |U_{BE4}| = 0.7\text{V}$, 试求输出电流 I_{O1} 和 I_{O2} 。

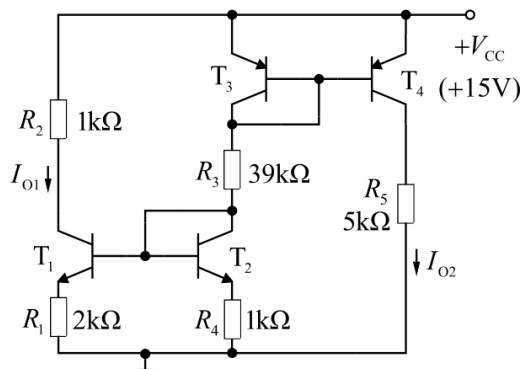


图 5.52 题 5.9 电路图

5.11 $U_{BE1} = U_{BE2} = 0.7\text{V}$ $r_{bb'} = 300\Omega$ 改为: $U_{BE1} = U_{BE2} = 0.7\text{V}$, $r_{bb'} = 300\Omega$

5.12 $r_{bb'} = 200\Omega$ 改为: $r_{bb'} = 200\Omega$

第 5 章 习题答案

5.1 填空

- (1) 直接, 变压器, 光电
- (2) 负载, 信号源内阻, 小于 AB
- (3) 共集电极, 共发射极, 共发射极, 共集电极
- (4) 偏置电路, 有源负载
- (5) 温度变化, 差分式放大
- (6) 差, 算术平均值, 5V, 0.5V, 差模, 共模
- (7) 输入, 输出
- (8) 直接, 电流源, 差分式, 共射极, 互补输出

5.2 (1) 各电路交流等效电路 (略)

各电路 \dot{A}_u 、 R_i 和 R_o 的表达式分别为

图 (a)

$$\dot{A}_u = -\frac{\beta_1 \{R_2 // [r_{be2} + (1 + \beta_2)R_3]\}}{R_1 + r_{be1}} \cdot \frac{(1 + \beta_2)R_3}{r_{be2} + (1 + \beta_2)R_3}, \quad R_i = R_1 + r_{be1}, \quad R_o = R_3 // \frac{r_{be2} + R_2}{1 + \beta_2}$$

图 (b)

$$\dot{A}_u = \frac{(1+\beta_1)(R_2 // R_3 // r_{be2})}{r_{be1} + (1+\beta_1)(R_2 // R_3 // r_{be2})} \cdot \left(-\frac{\beta_2 R_4}{r_{be2}}\right), \quad R_i = R_1 // [r_{be1} + (1+\beta_1)(R_2 // R_3 // r_{be2})],$$

$$R_o = R_4$$

图 (c)

$$\dot{A}_u = -\frac{\beta_1 \{R_2 // [r_{be2} + (1+\beta_2)r_d]\}}{R_1 + r_{be1}} \cdot \left[-\frac{\beta_2 R_3}{r_{be2} + (1+\beta_2)r_d}\right], \quad R_i = R_1 + r_{be1}, \quad R_o = R_3$$

图 (d)

$$\dot{A}_u = [-g_m(R_4 // R_6 // R_7 // r_{be2})] \cdot \left(-\frac{\beta_2 R_8}{r_{be2}}\right), \quad R_i = R_3 + R_1 // R_2, \quad R_o = R_8$$

(2) 第一级产生的是饱和失真, 增大电阻 R_1 (降低静态工作点); 第二级产生的是截止失真, 减小电阻 R_2 。

5.3 (1) 电路的静态工作点

$$Q_1: U_{BQ1} = \frac{R_{b12}}{R_{b11} + R_{b12}} \cdot V_{CC} \approx 2.9V, \quad U_{EQ1} = 2.2V, \quad I_{CQ1} \approx I_{EQ1} = \frac{U_{EQ1}}{R'_{e1} + R''_{e2}} \approx 0.5mA$$

$$I_{BQ1} = \frac{I_{CQ1}}{\beta} = 10\mu A, \quad U_{CEQ1} \approx V_{CC} - I_{CQ1}(R_{c1} + R'_{e1} + R''_{e2}) = 7.75V$$

$$Q_2: I_{BQ2} \cdot R_{b2} + (1+\beta)I_{BQ2} \cdot R_{e2} + U_{BEQ2} = V_{CC}, \quad I_{BQ2} = 39.4\mu A, \quad I_{CQ2} = \beta I_{BQ2} \approx 2mA$$

$$U_{CEQ2} = V_{CC} - I_{EQ2}R_{e2} = 9V$$

(2) 交流等效电路 (略)

$$r_{be1} = 200 + (1+\beta_1) \cdot \frac{26mV}{I_{EQ1}} = 2.85k\Omega, \quad r_{be2} = 200 + (1+\beta_2) \cdot \frac{26mV}{I_{EQ2}} = 863\Omega$$

$$(3) R_i = R_{b1} // R_{b2} // [r_{be1} + (1+\beta_1)R'_c] \approx 7.2k\Omega$$

$$R_{i2} = R_{b2} // [r_{be2} + (1+\beta_2)(R_{e2} // R_L)] = 56.5k\Omega$$

$$R_o = \frac{r_{be2} + R_{e1} // R_{b2}}{1+\beta_2} // R_{e2} \approx 200\Omega$$

$$A_{u1} = -\frac{\beta_1(R_{c1} // R_{i2})}{r_{be1} + (1+\beta_1)R'_c} \approx -32.55$$

$$A_{u2} = \frac{(1+\beta_2)R_{e2} // R_L}{r_{be2} + (1+\beta_2)(R_{e2} // R_L)} \approx 0.99$$

$$A_u = A_{u1} \cdot A_{u2} \approx -32.2$$

5.4 两级放大电路总电压增益为 120dB, $f_L = 100HZ$, $f_H = 20kHz$

若第一级和第二级的下限频率均为 100Hz 则

$$f_L = 1.1\sqrt{f_{L1}^2 + f_{L2}^2} \approx 155HZ$$

$$\frac{1}{f_H} = 1.1\sqrt{\frac{1}{f_{H1}^2} + \frac{1}{f_{H2}^2}}, \quad f_H \approx 12.86kHz$$

5.5 (1) $A_u = \frac{-32}{(1 + \frac{10}{jf})(1 + j\frac{f}{10^5})}$, (2) 波特图 (略)

5.6 (1) 图 (a) $I_O = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_F} = 1.43mA$;

图 (b) $I_{REF} = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_F + R_{e1}} = 1.3mA$, $I_O = \frac{R_{e1}}{R_{e2}} \cdot I_{REF} = 650\mu A$

(2) $I_{REF} = 1.43mA$, $I_O = \frac{U_T}{R_{e2}} \cdot \ln \frac{I_{REF}}{I_O}$ ($I_O = 20\mu A, U_T = 26mV$), $R_{e2} \approx 5.6k\Omega$

5.7 T_3 管的接入可以减小基极电流对集电流的影响, 减小输出电流与参考电流之间的镜像误差。

$$\beta=10, I_O = \frac{I_{REF}}{1 + \frac{2}{(1+\beta)\beta}} = 0.982I_{REF}; \quad \beta=100, I_O = 0.9998I_{REF}$$

5.8 $I_{REF} = \frac{V_{cc} - U_{BE3} - U_{BE0}}{R} = 100\mu A, \quad I_{C1} = I_{C2} \approx I_{REF} = 100\mu A$

5.9 $I_{O1} = 0.17mA, \quad I_{O2} = 0.34mA$

5.10 电流源作有源负载, $I_{C2} \approx 0.5mA$

5.11 (1) 静态工作点: $I_{BQ1} = I_{BQ2} = 18.8\mu A, \quad I_{CQ1} = I_{CQ2} = 0.565mA, \quad U_{CEQ1} = U_{CEQ2} = 12.05V$

(2) $A_{ud} = \frac{-\beta R_c}{R_b + r_{be}} = -9.2, \quad R_{id} = 2(R_b + r_{be}) = 7.86k\Omega, \quad R_{od} = 2R_c = 2.4k\Omega$

5.12 (1) 静态工作点 Q: $I_{EQ1} = I_{EQ2} = 0.57mA, \quad I_{CQ1} = I_{CQ2} \approx I_{EQ1} = 0.57mA,$

$U_{CEQ1} = U_{CEQ2} = 6.9V, \quad I_{BQ1} = I_{BQ2} = 7\mu A, \quad r_{be} = 3.9k\Omega$

(2) $A_{ud} = \frac{-\beta \left(R_c // \frac{1}{2} R_L \right)}{R_b + r_{be} + \frac{1}{2}(1+\beta)R_w} = -23.5, \quad R_{id} = 2\left[R_b + r_{be} + \frac{1}{2}(1+\beta)R_w \right] = 34.1k\Omega,$

$R_{od} = 2R_c = 20k\Omega$

5.13 (1) 当 R_w 在中心点时, $A_{ud} = -\frac{\beta(R_c + \frac{1}{2}R_w)}{r_{be}}$

(2) 当 R_w 在最右端时, $A_{ud} = -\frac{\beta(R_c + \frac{1}{2}R_w)}{r_{be}}$

(3) A_{ud} 相同, 但是对于 (2) 时, $|\Delta U_{C1}| > |\Delta U_{C2}|$

5.14 (1) $I_{CQ1} = I_{CQ2} \approx 0.565mA, \quad I_{BQ1} = I_{BQ2} \approx 7\mu A, \quad U_{CEQ1} = 3.9V, \quad U_{CEQ2} = 7.05V, \quad r_{be} \approx 4k\Omega$

(2) $A_{ud} = \frac{-\beta(R_L // R_c)}{2(R_b + r_{be})} \approx -22, \quad R_{id} = 2(R_b + r_{be}) = 18.2k\Omega, \quad R_{od} = R_c = 10k\Omega$

(3) $A_{uc} = \frac{-\beta(R_c // R_L)}{R_b + r_{be} + 2(1+\beta)R_c} \approx -0.25, \quad K_{CMR} = \left| \frac{A_{ud}}{A_{uc}} \right| \approx 88$

5.15 (1) $I_{CQ1} = I_{CQ2} \approx 0.38mA, \quad I_{BQ1} = I_{BQ2} \approx 3.8\mu A, \quad U_{CEQ1} = 5.1V, \quad U_{CEQ2} = 3.34V$

$r_{be} = r_{bb} + (1+\beta)\frac{26mV}{I_E} = 7.2k\Omega$

(2) $A_{ud} = \frac{\beta(R_c // R_L)}{2[R_b + r_{be} + (1+\beta)R_w / 2]} = 45.3, \quad R_{id} = 2[R_b + r_{be} + (1+\beta)R_w / 2] = 26.5k\Omega,$

$R_{od} = R_c = 20k\Omega$

(3) $A_{uc} = \frac{\beta(R_c // R_L)}{R_b + r_{be} + (1+\beta)(R_w / 2 + 2R_c)} \approx 0.4, \quad K_{CMR} = \left| \frac{A_{ud}}{A_{uc}} \right| = \left| \frac{45.3}{0.4} \right| \approx 113$

5.16 $u_{ic} = \frac{u_{i1} + u_{i2}}{2} = 15mV, \quad u_{id} = u_{i1} - u_{i2} = 10mV, \quad A_{ud} = -\frac{\beta R_c}{2r_{be}} \approx -66.7$

$u_o = A_{ud}u_{id} + A_{uc}u_{ic} = 0.667V$

在理想情况下，恒流源内阻无穷大，故电路的共模放大倍数趋于零，故 u_o 仅由差模输入电压和差模放大倍数决定。

5.17 (1) T_3 , R , R_e , D 构成恒流源电路，为 T_1 、 T_2 提供射极电流。

$$(2) I_{CQ1} = I_{CQ2} \approx 1\text{mA}, I_{BQ1} = I_{BQ2} = 20\mu\text{A}, U_{CEQ1} = U_{CEQ2} = 7.7\text{V}$$

$$(3) \dot{A}_{ud} = -\frac{\beta(R_C // \frac{R_L}{2})}{R_b + r_{be} + \frac{1}{2}(1 + \beta)R_W} \approx -24.75, R_{id} = 2[R_b + r_{be} + \frac{1}{2}(1 + \beta)R_W] = 10.1\text{k}\Omega$$

$$R_{od} = 2R_C = 10\text{k}\Omega$$

$$5.18 \dot{A}_{ud} = -g_m R_D = -40, R_{id} = \infty, R_{od} = 2R_d = 40\text{k}\Omega$$

$$5.19 A_{ud} = -\frac{\beta_2 \{R_2 // [r_{be4} + (1 + \beta)R_4]\}}{r_{be1} + r_{be2}} \frac{\beta_4 \{R_5 // [r_{be5} + (1 + \beta_5)R_6]\}}{r_{be4} + (1 + \beta_4)R_4} \frac{(1 + \beta_5)R_6}{r_{be5} + (1 + \beta_5)R_6}$$

$$R_i = r_{be1} + r_{be2}, R_o = R_6 // \frac{R_5 + r_{be5}}{1 + \beta_5}$$

5.20 输入级、中间级、输出级和偏置电路四个部分组成。输入级采用差分式放大电路，中间级采用共射放大电路，输出级采用互补输出电路，偏置电路采用电流源电路。

对输入级的要求：输入电阻高，静态电流小，差模放大倍数大，抑制共模信号能力强；

对中间级的要求：有较高的电压放大倍数

对输出级的要求：负载提供一定的输出功率，输出电阻小，带负载能力强；

对偏置电路的要求：提供稳定的静态电流。

5.21 (1) u_{i1} 为反相输入端， u_{i2} 为同相输入端。

(2) 作为 T_1 和 T_2 管的有源负载，将 T_1 管集电极电流变化量转化为电压输出，使单端输出差分放大电路的差模放大倍数近似等于双端输出时的放大倍数。

(3) 为 T_6 设置静态电流，并同时作 T_6 的集电极有源负载，增大共射放大电路的放大能力。

(4) 消除交越失真。

5.22 (1) u_{i1} 为反相输入端， u_{i2} 为同相输入端。

(2) 输入级采用复合管构成的差分式放大电路，中间级 T_7 、 T_8 、 T_9 ， T_7 、 T_8 为射极输出器，提高输入电阻， T_9 为共射电压放大。

(3) T_5 、 T_6 构成电流源作 T_2 、 T_3 的有源负载。 I_2 、 I_3 、 I_4 分别为 T_7 、 T_8 、 T_9 提供集电极电流， I_2 、 I_4 同时作有源负载。

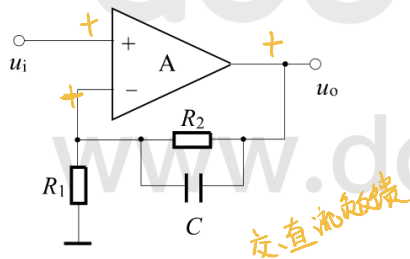
$$5.23 \begin{aligned} u_1 = 10\mu\text{V} \text{ 时, } u_o = 1\text{V}; u_1 = 100\mu\text{V} \text{ 时, } u_o = 10\text{V}; u_1 = 1\text{mV} \text{ 时, } u_o = +14\text{V}; \\ u_1 = 1\text{V} \text{ 时, } u_o = +14\text{V}; u_1 = -10\mu\text{V} \text{ 时, } u_o = -1\text{V}; u_1 = -100\mu\text{V} \text{ 时, } u_o = -10\text{V}; \\ u_1 = -1\text{mV} \text{ 时, } u_o = -14\text{V}; u_1 = -1\text{V} \text{ 时, } u_o = -14\text{V}. \end{aligned}$$

8. 深度电流串联负反馈放大器相当于一个 B 。
- A. 压控电压源 B. 压控电流源
C. 流控电压源 D. 流控电流源
9. 为了将输入电流转换成与之成比例的输出电压，应引入深度 B 负反馈。在信号源内阻小，负载电阻大的场合，欲改善放大器的性能，应采用 A 负反馈。
- A. 电压串联 B. 电压并联 C. 电流串联 D. 电流并联
10. 当信号源内阻很大时，将 B 串联反馈效果。
- A. 提高 B. 降低
11. 判断负反馈电路可能发生自激振荡的根据有 (D)
- A. 负反馈深度较大的 2 级放大电路 B. 环路增益的幅值 $|\dot{A}F| < 1$
C. 环路增益的相位裕度 $\varphi_m > 0^\circ$ D. 环路增益的幅值裕度 $G_m > 0\text{dB}$

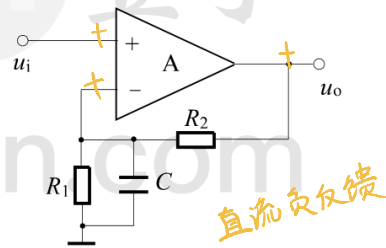
二、 判断题

1. 若放大电路的放大倍数为负，则引入的反馈一定是负反馈。(×)
2. 负反馈放大电路的放大倍数与组成它的基本放大电路的放大倍数量纲相同。(√)
3. 若放大电路引入负反馈，则负载电阻变化时，输出电压基本不变。(×)
4. 阻容耦合放大电路的耦合电容、旁路电容越多，引入负反馈后，越容易产生低频振荡。(√)

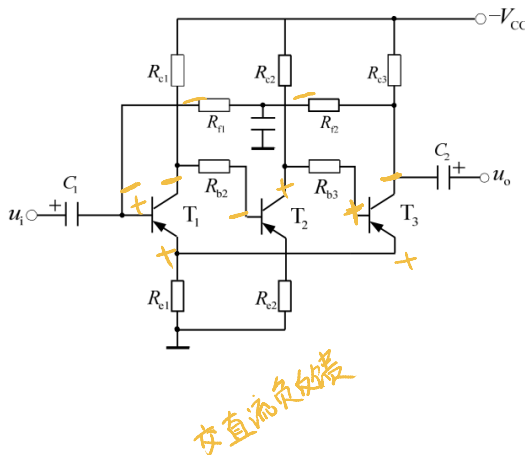
三、 判断图题 6.1 所示各电路中是否引入了反馈，是直流反馈还是交流反馈，是正反馈还是负反馈。设图中所有电容对交流信号均可视为短路。



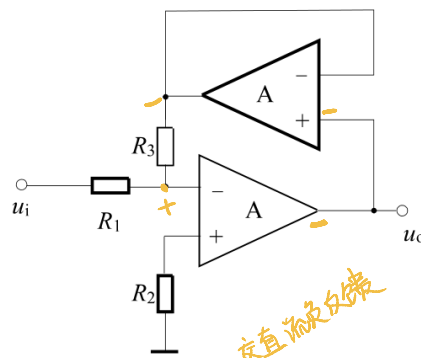
(a) 交直流负反馈



(b) 直流负反馈



交直流负反馈



交直流负反馈

(c) R_{f1} R_{f2} 直流负反馈, R_{e1} 交直流负反馈

(d) 交直流负反馈

图题 6.1

四、图题 6.2 各电路中引入了哪种组态的交流负反馈, 计算在深度负反馈条件下的闭环增益和闭环电压增益。并定性说明引入交流负反馈使得放大电路输入电阻和输出电阻所产生的变化。

Handwritten notes for (a):

$$i_f = \frac{-u_o}{R_4}$$

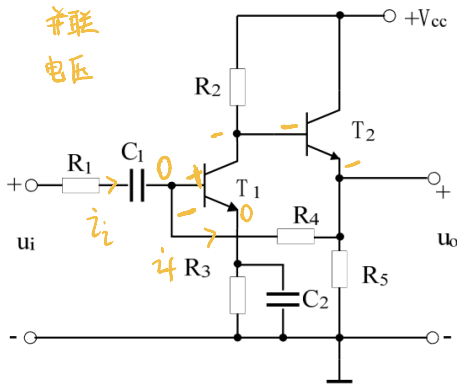
$$i_i = \frac{u_i}{R_1}$$

$$A_{uf} = \frac{u_o}{i_i}$$

$$i_f \approx i_i$$

$$\frac{u_i}{R_1} = \frac{-u_o}{R_4} = i_i$$

$$\frac{-u_o}{R_4} = i_i$$



(a) 电压并联负反馈, 输入电阻减小, 输出电阻减小。闭环增益 $-R_4$, 闭环电压增益 $-\frac{R_4}{R_1}$

Handwritten notes for (b):

$$\frac{u_o}{i_i} = -R_4$$

$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{R_4}{R_1}$$

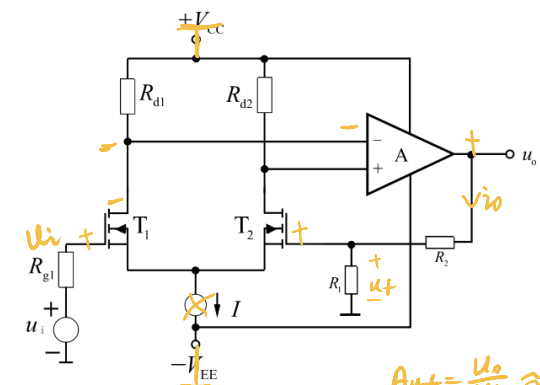
$$i_o = \frac{u_o}{R_L}$$

$$u_f = i_o \cdot R_4$$

$$A_f = \frac{i_o}{u_i} = \frac{i_o}{u_f} = \frac{1}{R_4}$$

$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} \approx \frac{u_o}{u_f} = \frac{R_L \cdot i_o}{i_o \cdot R_4} = \frac{R_L}{R_4}$$

(b) 电压串联负反馈, 输入电阻增加, 输出电阻减小。闭环增益等于闭环电压增益 $\frac{R_1 + R_2}{R_1}$



Handwritten notes for (b):

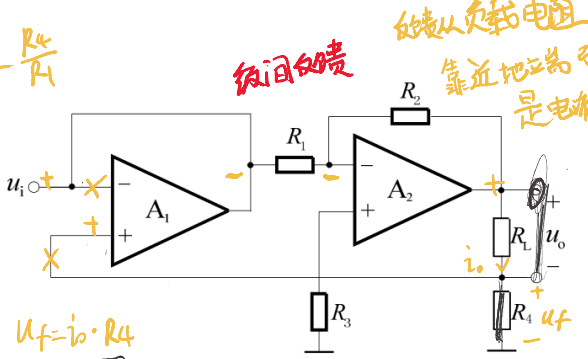
电压 输出: U
串联 反馈 输入: U

$$A_f = \frac{u_o}{u_i}$$

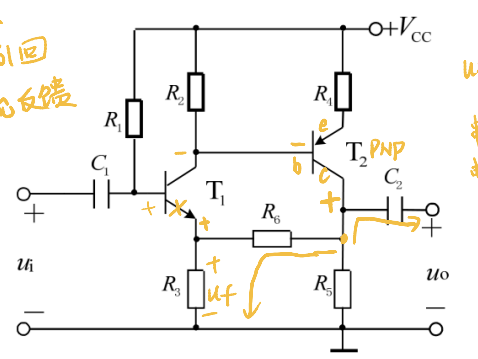
$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i}$$

$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} \approx \frac{u_o}{u_f} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

$$u_f = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_o$$



(c) 电流串联负反馈, 输入电阻增加, 输出电阻增加。闭环增益 $\frac{1}{R_4}$, 闭环电压增益 $\frac{R_L}{R_4}$



Handwritten notes for (d):

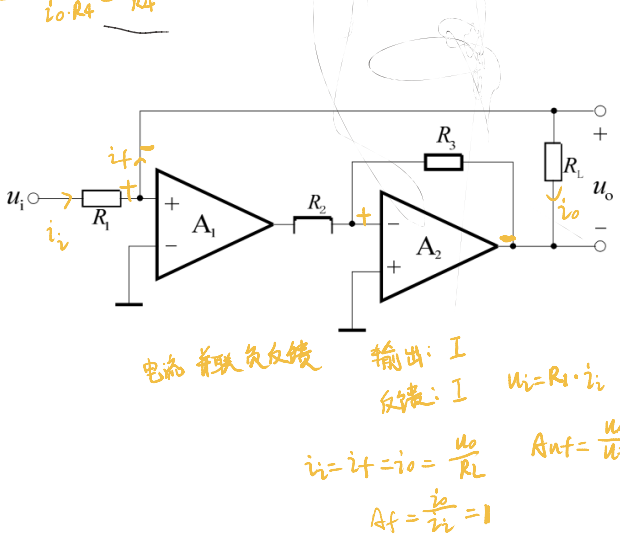
电压 输入: 电压
串联 输出: 电压

$$u_i \approx u_f$$

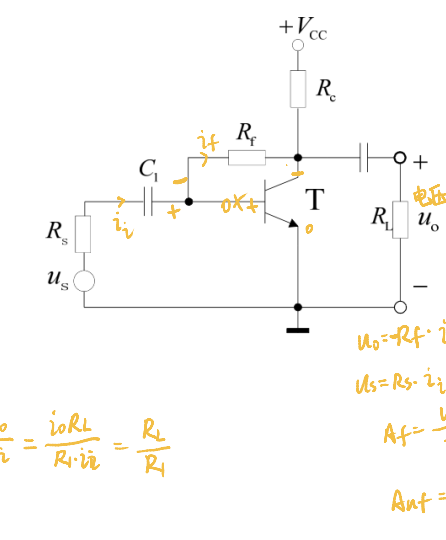
$$u_f = \frac{R_3}{R_3 + R_6} \cdot u_o$$

$$A_f = A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} \approx \frac{u_o}{u_f} = \frac{R_3 + R_6}{R_3}$$

(d) 电压串联负反馈, 输入电阻增加, 输出电阻减小。闭环增益等于闭环电压增益 $\frac{R_3 + R_6}{R_3}$



(e) 电流并联负反馈, 输出: I , 反馈: I , $u_i = R_1 \cdot i_i$, $i_i = i_f = i_o = \frac{u_o}{R_L}$, $A_f = \frac{i_o}{i_i} = 1$



(f) 电压并联负反馈, 输出: 电压, 反馈: 电流, $u_o = R_f \cdot i_f$, $i_i \approx i_f$, $u_s = R_s \cdot i_i$, $A_f = \frac{u_o}{u_i} = -R_f$, $A_{uf} = \frac{u_o}{u_s} = \frac{-R_f i_f}{R_s i_i} = \frac{-R_f}{R_s}$

(e) 电流并联负反馈, 输入电阻减小, 输出电阻增加。闭环增益 1, 闭环电压增益 $\frac{R_L}{R_1}$ 。

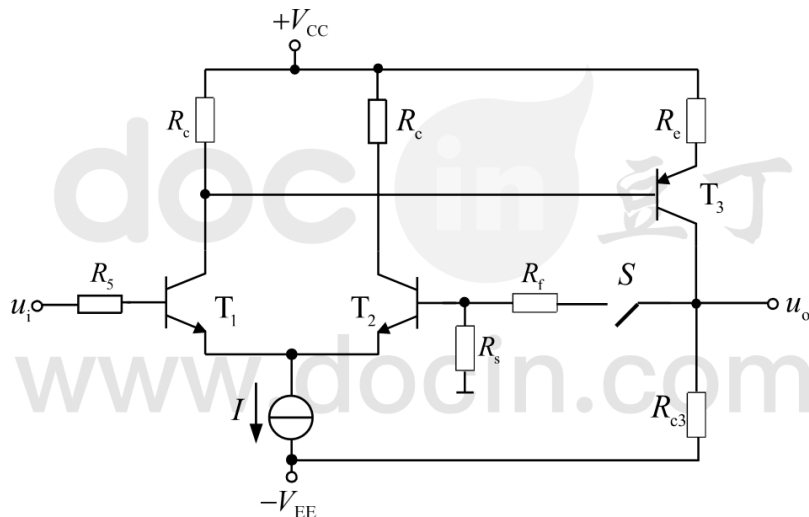
(f) 电压并联负反馈, 输入电阻减小, 输出电阻减小。闭环增益 $-R_f$, 闭环电压源增益 $-\frac{R_f}{R_s}$ 。

图题 6.2

五、放大电路如图 6.3 所示, 其中晶体管均为硅管, $u_{be}=0.7V$, $\beta_1=\beta_2=\beta_3=100$, $r_{be3}=1.5k\Omega$, $r_{be1}=r_{be2}=5k\Omega$, $R_s=R_s=3k\Omega$, $R_c=10k\Omega$, $R_f=12k\Omega$, $R_{c3}=7.5k\Omega$, $+V_{CC}=15V$, $-V_{EE}=-15V$ 。

1. 设电路中开关 S 打开, 试计算电压放大倍数 $A_u = \frac{u_o}{u_i} = ?$

2. 设开关 S 闭合, 试问电路中引入了何种类型和极性的反馈? 假定电路满足深度负反馈条件, 试估算该电路的闭环电压放大倍数 $A_{u_{uf}} = \frac{u_o}{u_i} = ?$



图题 6.3

解: 1. 开关 S 打开时的放大倍数, 即两级放大电路的放大倍数。求解第一级放大倍数时, 需将第二级的输入电阻作为负载。

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = A_{u1} A_{u2} = -\frac{\beta [R_c (r_{be3} + (1 + \beta) R_c)]}{R_s + 2r_{be1}} \times \frac{\beta R_{c3}}{r_{be3} + (1 + \beta) R_c}$$

2. 开关闭合后, 引入了电压串联负反馈。假定电路满足深度负反馈条件, 该电路的闭环电压放大倍数:

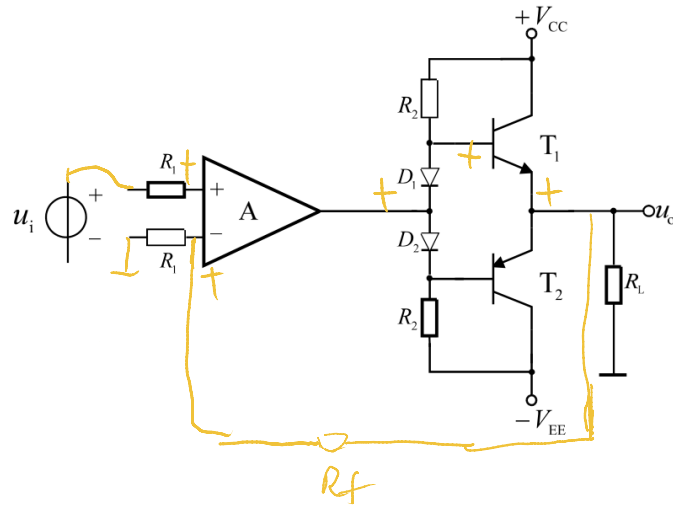
$$A_{u_{uf}} = \frac{u_o}{u_i} = \frac{R_s + R_f}{R_s} = \frac{3 + 12}{3} = 5$$

六、电路如图题 6.4 所示, (1) 合理连线, 接入信号源和反馈, 使电路的输入阻抗增大, 输出电阻减小, 输出电压更稳定, 频带更展宽。(2) 要求闭环增益 $A_{u_{uf}} = \frac{u_o}{u_i} = 20$, $R_1 = 10k\Omega$,

电压

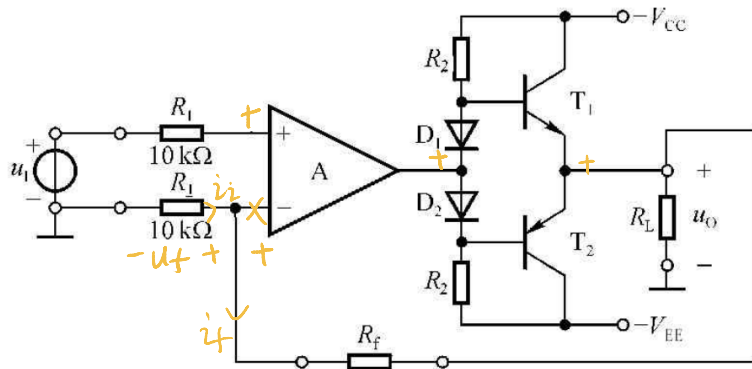
电压负反馈

则 $R_f = ?$



图题 6.4

解: (1) 应引入 电压串联负反馈, 如解图 6.4 所示。



解图 6.4

$$A_u = \frac{R_f + R_1}{R_1}$$

$$u_o = -i_f (R_f + R_1)$$

(2) 因 $\dot{A}_u \approx 1 + \frac{R_f}{R_1} = 20$, 故 $R_f = 190\text{k}\Omega$ 。

$$u_i = -R_1 \cdot i_i$$

七、一放大电路的开环电压增益为 $A_{uu} = 10^4$, 当它接成负反馈放大电路时, 其闭环电压增益为 $A_{uuf} = 100$, 若 A_{uu} 变化 10%, 问 A_{uuf} 变化多少?

解: 因为 $1 + A_{uu}F = \frac{A_{uu}}{A_{uuf}} = \frac{10^4}{100} = 100$

当 A_{uu} 变化 10% 时, A_{uuf} 变化

$$\frac{dA_{uuf}}{A_{uuf}} = \frac{1}{1 + AF} \frac{dA_{uu}}{A_{uu}} = \frac{1}{100} \times 10\% = 0.1\%$$

八、设某运算放大器的增益—带宽积为 $4 \times 10^5 \text{ Hz}$, 若将它组成一放大电路时, 其闭环增益为 100, 问它的闭环带宽是多少?

解: 因为闭环增益 $BW \cdot A_{uuf} = 4 \times 10^5 \text{ Hz}$, $BW = \frac{4 \times 10^5}{A_{uuf}} = \frac{4 \times 10^5}{100} = 4\text{kHz}$

九、设某集成运放的开环频率响应的表达式是

$$\dot{A}_u = \frac{10^5}{\left(1+j\frac{f}{f_{H1}}\right)\left(1+j\frac{f}{f_{H2}}\right)\left(1+j\frac{f}{f_{H3}}\right)}$$

其中 $f_{H1} = 1\text{MHz}$, $f_{H2} = 10\text{MHz}$, $f_{H3} = 50\text{MHz}$ 。

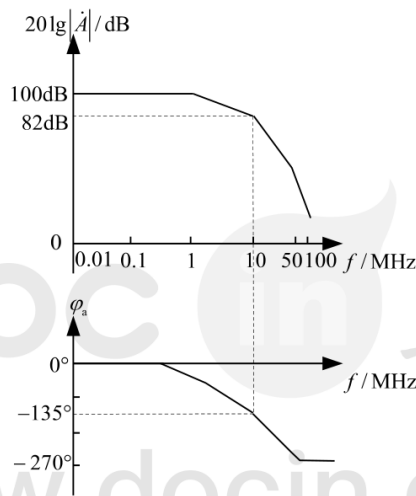
1. 画出它的波特图;
2. 利用该运放组成一电阻性负反馈放大电路, 并要求 45° 的相位裕度, 问此放大电路的最大环路增益为多少?

解: 1. 画波特图

$$\text{由 } 20\lg|\dot{A}_u| = 100 - 20\lg\sqrt{1+\left(\frac{f}{f_{H1}}\right)^2} - 20\lg\sqrt{1+\left(\frac{f}{f_{H2}}\right)^2} - 20\lg\sqrt{1+\left(\frac{f}{f_{H3}}\right)^2}$$

$$\text{及 } \Delta\varphi_a = -\arctan\frac{f}{f_{H1}} - \arctan\frac{f}{f_{H2}} - \arctan\frac{f}{f_{H3}}$$

其波特图, 如解图 6.5:



解图 6.5

2. 当相对裕度 45° 时, 由图解可知,

$$20\lg\frac{1}{F} = 20\lg|A| \approx 82\text{dB}$$

最大环路增益为

$$20\lg|A_M F| = 20\lg|A_M| - 20\lg\left|\frac{1}{F}\right| = (100 - 82)\text{dB} = 18\text{dB}$$

第七章

习 题

1. 选择题。

(1) 功率放大电路的转换效率是指_____。

- A. 输出功率与晶体管所消耗的功率之比
- B. 输出功率与电源提供的平均功率之比
- C. 晶体管所消耗的功率与电源提供的平均功率之比

(2) 乙类功率放大电路的输出电压信号波形存在_____。

- A. 饱和失真
- B. 交越失真
- C. 截止失真

(3) 乙类双电源互补对称功率放大电路中，若最大输出功率为 2W，则电路中功放管的集电极最大功耗约为_____。

- A. 0.1W
- B. 0.4W
- C. 0.2W

(4) 在选择功放电路中的晶体管时，应当特别注意的参数有_____。

- A. β
- B. I_{CM}
- C. I_{CBO}
- D. $U_{(BR)CEO}$
- E. P_{CM}

(5) 乙类双电源互补对称功率放大电路的转换效率理论上最高可达到_____。

- A. 25%
- B. 50%
- C. 78.5%

(6) 乙类互补功放电路中的交越失真，实质上就是_____。

- A. 线性失真
- B. 饱和失真
- C. 截止失真

(7) 功放电路的能量转换效率主要与_____有关。

- A. 电源供给的直流功率
- B. 电路输出信号最大功率
- C. 电路的类型

解：(1)B (2)B (3)B (4)B D E (5)C (6)C (7)C

2. 如图 7.19 所示电路中，设 BJT 的 $\beta=100$ ， $U_{BE}=0.7V$ ， $U_{CES}=0.5V$ ， $I_{CEO}=0$ ，电容 C 对交流可视为短路。输入信号 u_i 为正弦波。

(1) 计算电路可能达到的最大不失真输出功率 P_{om} ?

(2) 此时 R_B 应调节到什么数值?

(3) 此时电路的效率 η =?

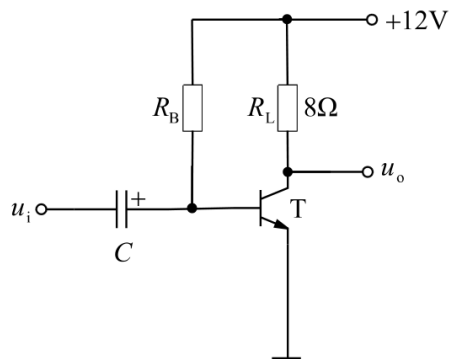
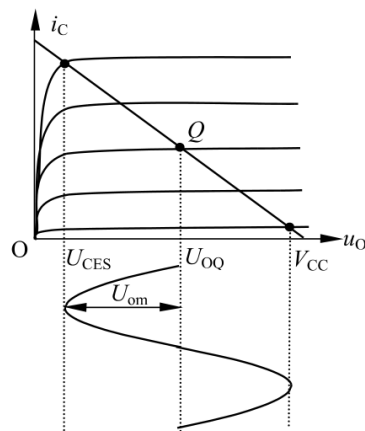


图 7.19 题 2 图



解题 2 图

解：(1) 先求输出信号的最大不失真幅值。由解题 2 图可知： $u_o = U_{OQ} + U_{om} \sin \omega t$

由 $U_{OQ} + U_{om} \leq V_{CC}$ 与 $U_{OQ} - U_{om} \geq U_{CES}$ 可知:

$$2U_{om} \leq V_{CC} - U_{CES} \text{ 即有 } U_{om} \leq \frac{V_{CC} - U_{CES}}{2}$$

因此, 最大不失真输出功率 P_{om} 为:

$$P_{om} = \left(\frac{U_{om}}{\sqrt{2}} \right)^2 \frac{1}{R_L} = \frac{(V_{CC} - U_{CES})^2}{8} \times \frac{1}{8} \approx 2.07\text{W}$$

(2) 当输出信号达到最大幅值时, 电路静态值为:

$$U_{OQ} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{2} + U_{CES} = \frac{1}{2}(V_{CC} + U_{CES})$$

所以

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} - U_{OQ}}{R_L} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{2R_L} = \frac{12 - 0.5}{2 \times 8} \approx 0.72\text{A}$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = 7.2\text{mA}$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{I_{BQ}} = \frac{12 - 0.7}{7.2} \approx 1.57\text{k}\Omega$$

$$(3) \quad \eta = \frac{P_{om}}{P_V} = \frac{P_{om}}{V_{CC} I_{CQ}} = \frac{2.07}{12 \times 0.72} \times 100\% \approx 24\%$$

甲类功率放大电路的效率很低。

③ 一双电源互补对称功率放大电路如图 7.20 所示, 已知 $V_{CC}=12\text{V}$, $R_L=8\Omega$, u_i 为正弦波。

(1) 在 BJT 的饱和压降 $U_{CES}=0$ 的条件下, 负载上可能得到的最大输出功率 P_{om} 为多少? 每个管子允许的管耗 P_{CM} 至少应为多少? 每个管子的耐压 $|U_{(BR)CEO}|$ 至少应大于多少?

(2) 当输出功率达到最大时, 电源供给的功率 P_V 为多少? 当输出功率最大时的输入电压有效值应为多大?

解: (1) 功率放大电路静态时 $U_O=0$ 。在 BJT 的饱和压降 $U_{CES}=0$ 的条件下, 则有 $U_{om}=V_{CC}$, 因此,

$$P_{om} = \frac{U_{om}^2}{2R_L} = \frac{V_{CC}^2}{2R_L} = \frac{12^2}{2 \times 8} = 9\text{W}$$

每个管子允许的管耗 $P_{CM} \geq 0.2 P_{om} = 0.2 \times 9 = 1.8\text{W}$

每个管子承受的最大电压为 $2V_{CC}$, 所以每个管子的耐压 $|U_{(BR)CEO}| \geq 2V_{CC} = 24\text{V}$

(2) 当输出功率达到最大时, 电源供给的功率 P_V

$$P_V = \frac{2V_{CC}(V_{CC} - U_{CES})}{\pi R_L} = \frac{2V_{CC}^2}{\pi R_L} = 11.46\text{W}$$

当输出功率最大时的输入电压幅值 $U_{im} \approx V_{CC} = 12\text{V}$ 。

则有效值为

$$U_i = \frac{U_{im}}{\sqrt{2}} \approx 8.49\text{V}$$

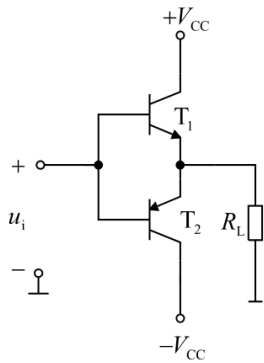


图 7.20 题 3、4 图

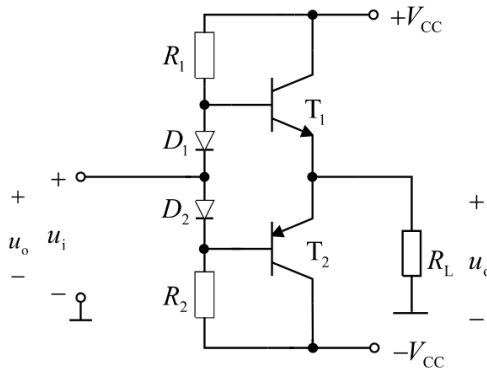


图 7.21 题 5 图

4. 电路如图 7.20 所示, 已知 $V_{CC}=15V$, $R_L=16\Omega$, u_i 为正弦波。

(1) 在输入信号 $U_i=8V$ (有效值) 时, 电路的输出功率、管耗、直流电源供给的功率和效率?

(2) 当输入信号幅值 $U_{im}=V_{CC}=15V$ 时, 电路的输出功率、管耗、直流电源供给的功率和效率?

(3) 当输入信号幅值 $U_{im}=V_{CC}=20V$ 时, 电路的输出会发生什么现象?

解: (1) 在输入信号 $U_i=8V$ (有效值) 时, 输出信号的振幅 $U_{om}=8\sqrt{2}V$, 则

电路的输出功率为
$$P_o = \frac{U_{om}^2}{2R_L} = 4W$$

电路的两个晶体管管耗相等, 总管耗为

$$P_T = \frac{2V_{CC}U_{om}}{\pi R_L} - \frac{U_{om}^2}{2R_L} = 2.75W$$

直流电源供给的功率

$$P_V = \frac{2V_{CC}U_{om}}{\pi R_L} = 6.75W$$

电路的效率

$$\eta = \frac{P_o}{P_V} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{U_{om}}{V_{CC}} = 59.2\%$$

Handwritten notes for problem 4:

$$P_o = \frac{U_{om}^2}{2R_L}$$

$$P_{omax} = \frac{(V_{CC} - U_{CES})^2}{2R_L} \approx \frac{V_{CC}^2}{2R_L}$$

$$P_E = 2V_{CC} \cdot I_E = \frac{2V_{CC} \cdot U_{om}}{\pi R_L}$$

$$P_{Em} = \frac{2V_{CC} \cdot (V_{CC} - U_{CES})}{\pi R_L} \approx \frac{2V_{CC}^2}{\pi R_L}$$

$$P_T = P_E - P_o = \frac{2V_{CC}U_{om}}{\pi R_L} - \frac{U_{om}^2}{2R_L}$$

(2) 在输入信号幅值 $U_{im}=V_{CC}=15V$ 时, 输出信号的振幅亦可达到 $U_{om}=15V$, 接近电源电压。

电路的输出功率可以达到最大值。

电路的输出功率为
$$P_o = \frac{U_{om}^2}{2R_L} = 7.03W$$

电路的两个晶体管管耗相等, 总管耗为

$$P_T = \frac{2V_{CC}U_{om}}{\pi R_L} - \frac{U_{om}^2}{2R_L} = 1.93W$$

直流电源供给的功率

$$P_V = \frac{2V_{CC}U_{om}}{\pi R_L} = 8.96W$$

电路的效率

$$\eta = \frac{P_o}{P_V} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{U_{om}}{V_{CC}} \approx 78.5\%$$

Handwritten notes for problem 2:

$$U_{om} = \frac{2V_{CC}}{\pi} \approx 0.6V_{CC}$$

$$P_{T1m} = P_{T2m} = \frac{V_{CC}^2}{\pi^2 R_L} \approx 0.2P_{omax}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_E} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{CC} - U_{CES}}{V_{CC}}$$

(3) 当输入信号幅值 $U_{im}=V_{CC}=20V$ 时, 电路的输出会发生失真。

5. 在图 7.21 所示电路中, 已知 $V_{CC} = 16V$, $R_L = 4\Omega$, T_1 和 T_2 管的饱和管压降 $|U_{CES}| = 2V$, 输入电压足够大。

(1) 最大输出功率 P_{om} 和效率 η 各为多少?

(2) 晶体管的最大功耗 P_{Tmax} 为多少?

解: (1) 最大输出功率 P_{om} 为

$$P_{om} = \frac{(V_{CC} - |U_{CES}|)^2}{2R_L} = 24.5W$$

效率 η 为

$$\eta = \frac{P_o}{P_V} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{U_{om}}{V_{CC}} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{CC} - |U_{CES}|}{V_{CC}} \approx 68.69\%$$

(2) 每个晶体管的最大功耗 P_{Tmax} 为

$$P_{Tmax} = \frac{V_{CC}^2}{\pi^2 R_L} = \frac{2}{\pi^2} P_{om} \approx 0.2 P_{om} = 4.9W$$

6. 在图 7.22 所示电路中, 已知 $V_{CC} = 15V$, T_1 和 T_2 管的饱和管压降 $|U_{CES}| = 2V$, 输入电压足够大。

- (1) 最大不失真输出电压的有效值?
- (2) 负载电阻 R_L 上电流的最大值?
- (3) 最大输出功率 P_{om} 和效率 η ?

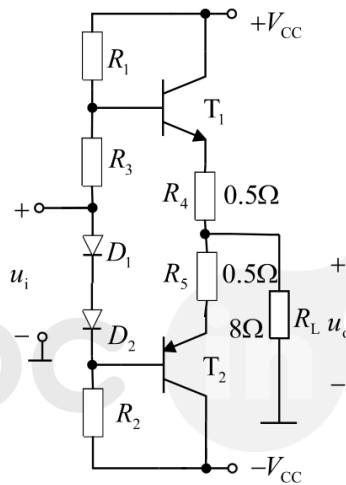


图 7.22 题 6 图

解: (1) 最大不失真输出电压有效值为

$$U_o = \frac{R_L}{R_4 + R_L} \cdot \frac{V_{CC} - |U_{CES}|}{\sqrt{2}} \approx 8.65V$$

(2) 负载电流最大值

$$i_{Lmax} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{R_4 + R_L} \approx 1.53A$$

(3) 最大输出功率和效率分别为

$$P_{om} = \frac{U_{om}^2}{2R_L} = \frac{U_o^2}{R_L} \approx 9.35W$$

$$\eta = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{CC} - U_{CES} - U_{R4}}{V_{CC}} \approx 64\%$$

7. 一带前置推动级的甲乙类双电源互补对称功放电路如图 7.23 所示, 图中 $V_{CC} = 20V$, $R_L = 8\Omega$, T_1 和 T_2 管的 $|U_{CES}| = 2V$ 。

- (1) 当 T_3 管输出信号 $U_{o3} = 10V$ (有效值) 时, 计算电路的输出功率、管耗、直流电源供给的功率和效率?
- (2) 计算该电路的最大不失真输出功率、效率和达到最大不失真输出时所需 U_{o3} 的有效值?

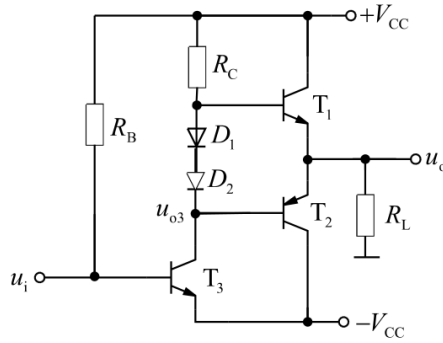


图 7.23 题 7 图

解：(1)该电路由两级放大电路组成，其中 T_3 管电路为推动级， T_1 与 T_2 管组成互补对称功放电路。 T_3 管的输出信号 U_{o3} 就是功放电路的输入信号电压。故当 $U_{o3}=10V$ (有效值) 时，电路的输出功率为：

$$P_o = \frac{U_o^2}{R_L} = \frac{U_{o3}^2}{R_L} = \frac{10^2}{8} = 12.5W$$

直流电源供给的功率为：

$$P_V = \frac{2V_{CC}U_{om}}{\pi R_L} = \frac{2 \times 20 \times \sqrt{2} \times 10}{3.14 \times 8} \approx 22.5W$$

总管耗为：

$$P_T = P_V - P_o = 10W$$

效率为：

$$\eta = \frac{P_o}{P_V} = \frac{12.5}{22.5} \times 100\% \approx 55.6\%$$

(2)该电路的最大不失真输出功率为：

$$P_{om} = \frac{(V_{CC} - |U_{CES}|)^2}{2R_L} = 20.25W$$

直流电源供给的功率为：

$$P_V = \frac{2V_{CC}U_{om}}{\pi R_L} = \frac{2V_{CC}(V_{CC} - |U_{CES}|)}{\pi R_L} = 28.66W$$

效率为：

$$\eta = \frac{P_o}{P_V} = \frac{20.25}{28.66} \times 100\% \approx 70.7\%$$

所需的 U_{o3} 的有效值为：

$$U_{o3} = \frac{U_{om}}{\sqrt{2}} = \frac{V_{CC} - |U_{CES}|}{\sqrt{2}} = 12.73V$$

8. 一乙类单电源互补对称 (OTL) 电路如图 7.24(a)所示，设 T_1 和 T_2 的特性完全对称， u_i 为正弦波， $R_L=8\Omega$

(1)静态时，电容 C 两端的电压应是多少？

(2)若管子的饱和压降 U_{CES} 可以忽略不计。忽略交越失真,当最大不失真输出功率可达到 9W 时,电源电压 V_{CC} 至少应为多少?

(3)为了消除该电路的交越失真,电路修改为图 7.24(b)所示,若此修改电路实际运行中还存在交越失真,应调整哪一个电阻?如何调?

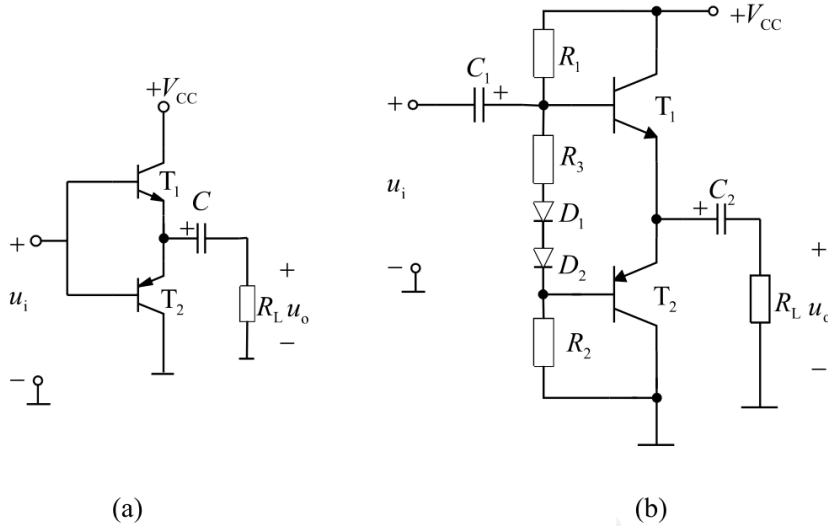


图 7.24 题 8 图

解: (1)静态时,电容 C 两端的电压应是 $V_{CC}/2$ 。

(2)若管子的饱和压降 U_{CES} 可以忽略不计。忽略交越失真,最大不失真输出功率为

$$P_{om} = \frac{U_{om}^2}{2R_L} \approx \frac{V_{CC}^2}{8R_L}$$

当最大不失真输出功率 P_{om} 达到 9W 时,电源至少应为 $V_{CC} = 24V$ 。

(3)图 7.24(b)所示,若此修改电路在实际运行中还存在交越失真,应调整电阻 R_3 ,使该电阻增大,从而消除交越失真。

9. 在图 7.25 所示电路中,已知 $V_{CC} = 15V$, T_1 和 T_2 管的饱和管压降 $|U_{CES}| = 1V$, 集成运放的最大输出电压幅值为 $\pm 13V$, 二极管的导通电压为 $0.7V$ 。

(1)若输入电压幅值足够大,则电路的最大输出功率为多少?

(2)为了提高输入电阻,稳定输出电压,且减小非线性失真,应引入哪种组态的交流负反馈? 在电路中画出反馈电路。

(3)若 $U_i = 0.1V$ 时, $U_o = 5V$, 则反馈网络中电阻的取值约为多少?

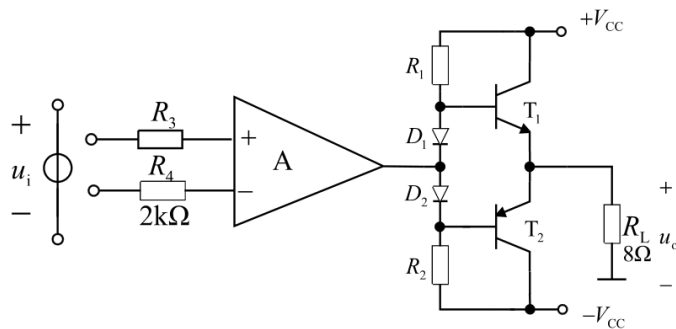


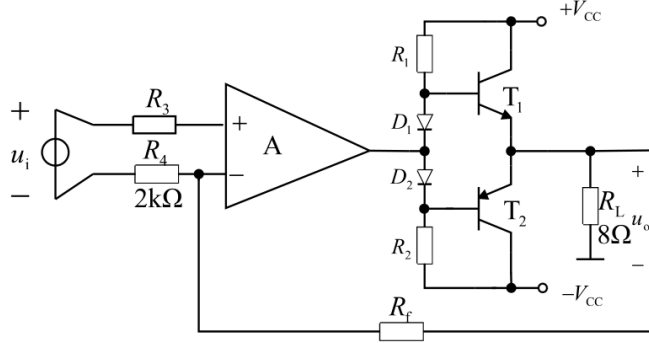
图 7.25 题 9 图

解: (1)输出电压幅值和最大输出功率分别为

$$u_{Omax} \approx 13V$$

$$P_{om} = \frac{(u_{Omax}/\sqrt{2})^2}{R_L} \approx 10.6W$$

(2)应引入电压串联负反馈，电路如解题 9 图所示。



解题 9 图

(3)在深度负反馈条件下，电压放大倍数为

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx 1 + \frac{R_f}{R_4} \quad \dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = 50$$

$$R_4 = 2k\Omega \quad , \quad \text{所以 } R_f = 98k\Omega \text{。}$$

10. 某电路的输出级如图 7.26 所示。试分析

(1) R_3 、 R_4 和 T_3 电路组合有什么作用？(2)电路中引入 D_1 、 D_2 的作用？

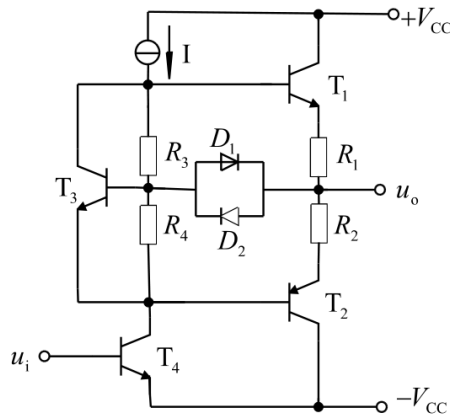


图 7.26 题 10 图

解：(1) R_3 、 R_4 和 T_3 组成“ U_{BE} 扩大电路”，用以消除交越失真。由图可知：

$$U_{CE3} \approx U_{BE3} + \frac{U_{BE3}}{R_4} R_3 = (1 + \frac{R_3}{R_4}) U_{BE3}$$

调节 R_3/R_4 的值，可以改变 U_{CE3} 的值。若电路出现交越失真，增大 R_3/R_4 (U_{CE3}) 的值，使输出管在静态时处于微导通，便可消除信号在零点附近的交越失真现象。

(2)当电路输出电流过大时， D_1 、 D_2 可起到过载保护作用。其工作原理如下：

$$I_{E1} \uparrow \rightarrow U_{R1} \uparrow \rightarrow U_O \downarrow \rightarrow D_1 \text{ 导通} \rightarrow I_{B1} \downarrow \rightarrow I_{E1} \downarrow ;$$

$$I_{E2} \uparrow \rightarrow U_{R2} \uparrow \rightarrow U_O \uparrow \rightarrow D_2 \text{ 导通} \rightarrow I_{B2} \downarrow \rightarrow I_{E2} \downarrow \text{。}$$

11. 一个简易手提式小型扩音机的输出级如图 7.27 所示。

(1) 试计算负载上输出功率和扩音机效率? (2) 验算功率 BJT3AD1 的定额是否超过?

提示:

(1) 电路基本上工作在乙类, T_{r2} 内阻可忽略, 变压器效率为 0.8。管子 3AD1 的 $|U_{(BR)CEO}| = 30V$, $I_{CM} = 1.5A$, $P_{CM} = 1W$ (加散热片 $150 \times 150 \times 3mm^3$ 时为 $8W$)。

(2) 此题的等效交流负载电阻

$$R_L' = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 R_L$$

(3) 可参考双电源互补对称功放的有关计算公式算出 BJT 集电极输出功率, 再乘以变压器就是负载 R_L 上的输出功率。

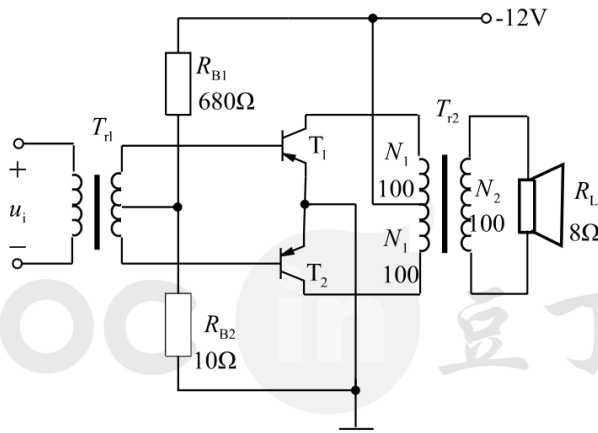


图 7.27 题 11 图

解: (1)

$$R_L' = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 R_L = 1^2 \times 8 = 8\Omega$$

$$P_{OC} = \frac{1}{2} \frac{V_{CC}^2}{R_L'} = \frac{1}{2} \times \frac{12^2}{8} = 9W$$

$$P_o = P_{OC} \cdot \eta_T = 9 \times 80\% = 7.2W$$

$$P_V = \frac{2}{\pi} \frac{V_{CC}^2}{R_L} \approx 11.46W$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_V} \approx 62.8\%$$

(2) 最大集电极电流为:

$$I_{CM} = \frac{V_{CC}}{R_L} = 1.5A$$

每管的最大反压降为:

$$|V_{CEmax}| = 2V_{CC} = 24V$$

每管的功耗为:

$$P_{T1} = P_{T2} = \frac{1}{2} (P_V - P_{OC}) = 1.23W$$

由上分析计算结果可知: 3AD1 的定额未超过, 可以使用。

12. 2030 集成功率放大器的一种应用电路如图 7.28 所示, 双电源供电, 电源电压为正负 15V, 假定其输出级 BJT 的饱和压降 U_{CES} 可以忽略不计, u_i 为正弦电压。

- (1) 指出该电路属于 OTL 还是 OCL 电路?
- (2) 求理想情况下最大输出功率 P_{om} ?
- (3) 求电路输出级的效率 η ?

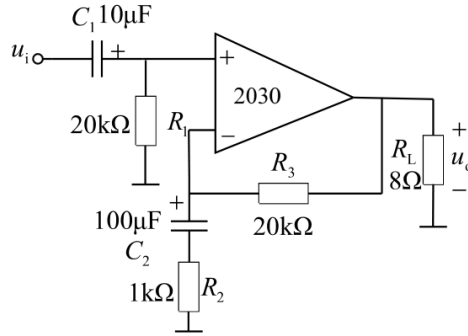


图 7.28 题 12 图

解: (1) 该电路属于 OCL 电路。

(2)

$$P_{om} = \frac{U_{om}^2}{2R_L} = \frac{V_{CC}^2}{2R_L} = 14.06W$$

$$P_V = \frac{2}{\pi} \frac{V_{CC}^2}{R_L} \approx 17.9W$$

(3)

$$\eta = \frac{P_{om}}{P_V} = \frac{14.06}{17.9} \times 100\% \approx 78.5\%$$

13. LM1877N-9 为 2 通道低频功率放大电路, 单电源供电, 最大不失真输出电压的峰峰值 $U_{OPP} = (V_{CC} - 6)V$, 开环电压增益为 70dB。图 7.29 所示为 LM1877N-9 中一个通道组成的实用电路, 电源电压为 24V, $C_1 \sim C_3$ 对交流信号可视为短路; R_3 和 C_4 起相位补偿作用, 可以认为负载为 8Ω 。

- (1) 静态时 u_P 、 u_N 、 u_O 各为多少?
- (2) 设输入电压足够大, 电路的的最大输出功率 P_{om} 和效率 η 各为多少?

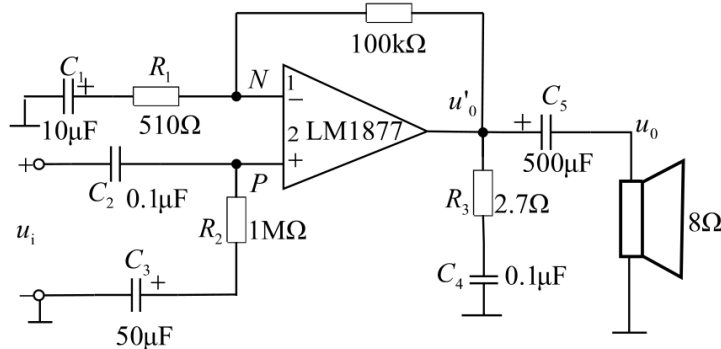


图 7.29 题 13 图

解: (1) 静态时

$$u'_o = u_p = u_N = \frac{V_{CC}}{2} = 12V \quad u_o = 0V$$

(2)最大输出功率和效率分别为

$$P_{om} = \frac{\left(\frac{V_{CC}-6}{2}\right)^2}{2R_L} \approx 5.06W$$

$$\eta = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{CC}-6}{V_{CC}} \approx 58.9\%$$

doc in 豆丁

www.docin.com

第八章习题参考答案

1. 设图 8.58 中 A 均为理想运算放大器，试求各电路的输出电压。

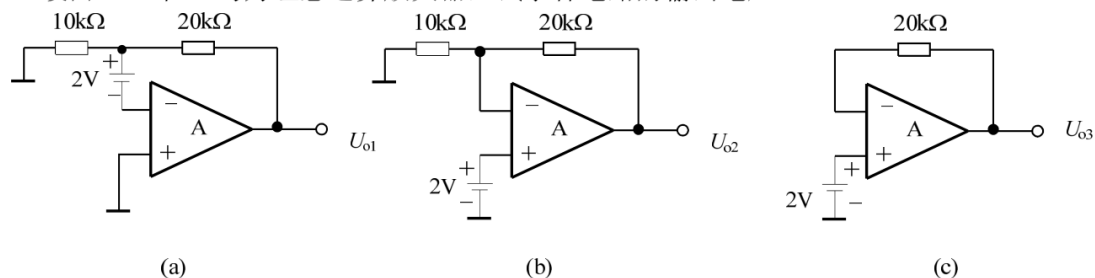


图 8.58 题 1 图

1. 解答：对图 (a)，根据运放虚短、虚断的特点可以得到

$$\frac{U_{o1} - 2}{20\text{k}\Omega} = \frac{2 - 0}{10\text{k}\Omega}$$

进一步可以求得

$$U_{o1} = 6\text{V}$$

对图 (b)，根据运放虚短、虚断的特点可以得到

$$\frac{2\text{V} - 0}{10\text{k}\Omega} = \frac{U_{o2} - 2\text{V}}{20\text{k}\Omega}$$

进一步可以求得

$$U_{o2} = 6\text{V}$$

对图 (c)，根据运放的虚短、虚断特性容易求得

$$U_{o3} = 2\text{V}$$

~~2.~~ 电路如图 8.59 所示，集成运放输出电压的最大幅值为 $\pm 14\text{V}$ ， U_i 为 2V 的直流信号，分别求出下列各种情况下的输出电压。

(1) R_2 短路；(2) R_3 短路；(3) R_4 短路；(4) R_4 断路。

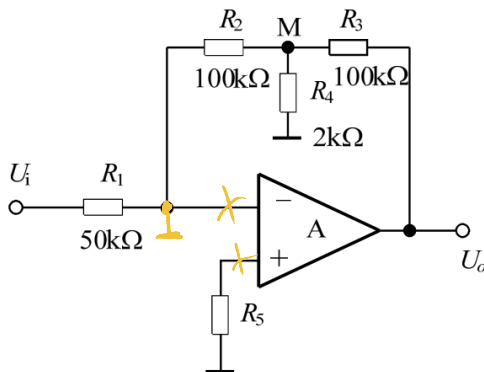


图 8.59 题 2 图

元件两端电位为0则视为开路

2. 解答:

(1) $R_2 = 0$ 时可以得到
$$\begin{cases} U_M = 0 \\ \frac{U_o}{R_3} = -\frac{U_i}{R_1} \end{cases}$$
, 求得 $U_o = -4V$

(2) $R_3 = 0$ 时可以得到
$$\begin{cases} U_M = -\frac{R_2}{R_1} U_i = -4V \\ U_o = U_M \end{cases}$$

(3) $R_4 = 0$ 时 R_2 支路无电流, 放大电路相当于开环应用, $U_o = -14V$

(4) $R_4 = \infty$ 时可以得到

$$U_o = -\frac{R_2 + R_3}{R_1} U_i = -8V$$

3. 如图 8.60 所示电路, 设 A 为理想集成运算放大器。

(1) 写出 U_o 的表达式;

(2) 若 $R_f = 3k\Omega$, $R_1 = 1.5k\Omega$, $R_2 = 1k\Omega$, 稳压管 VZ 的稳定电压值 $U_Z = 1.5V$, 求 U_o 的值。

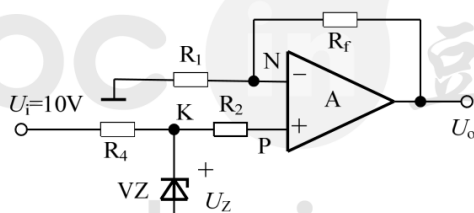


图 8.60 题 3 图

3. 解答: (1) 图中的集成运算放大器组成了同相比例运算电路, 其输出电压表达式为

$$U_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) U_N = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) U_P$$

当稳压管 VZ 的稳定电压值 $U_Z < 10V$ 时, $U_P = U_Z$, 输出电压表达式为

$$U_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) U_Z$$

当稳压管 VZ 的稳定电压值 $U_Z > 10V$ 时, $U_P = U_k$, 输出电压表达式为

$$U_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) U_k$$

(2) $U_Z = 1.5V < 10V$, 故输出电压表达式为

$$U_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) U_z$$

将 $R_f = 3\text{k}\Omega$, $R_1 = 1.5\text{k}\Omega$, $U_z = 1.5\text{V}$ 代入上式得

$$U_o = \left(1 + \frac{3\text{k}\Omega}{1.5\text{k}\Omega}\right) \times 1.5\text{V} = 4.5\text{V}$$

4. 如图 8.61 所示电路中, A 为理想运算放大器, 已知 $R_1=R_w=10\text{k}\Omega$, $R_2=20\text{k}\Omega$, $U_i=1\text{V}$, 输出电压的最大值为 $\pm 12\text{V}$, 试分别求出当电位器 R_w 的滑动端移到最上端、中间位置和最小端时的输出电压 U_o 的值。

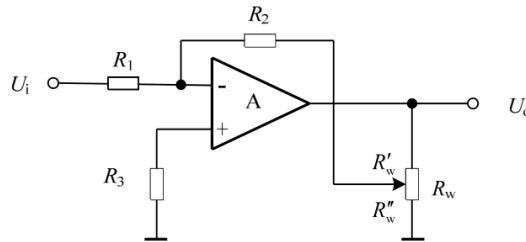


图 8.61 题 4 图

4. 解答: 设滑动电阻的滑动端的电压为 U_w , 由运放的虚短和虚断特性可知

$$\frac{U_i}{R_1} = -\frac{U_w}{R_2}$$

再设流经电位器滑动端下部 R''_w 的电流为 I_w'' , 有

$$I_w'' = -\frac{U_w}{R''_w} = \frac{U_i}{R_1} \cdot \frac{R_2}{R''_w}$$

故流经电位器滑动端上部 R'_w 的电流为

$$I_w' = I_w'' + \frac{U_i}{R_1} \quad \text{KCL}$$

可得输出电压为

$$U_o = -\left(R'_w I_w' + R''_w I_w''\right) = -\frac{U_i}{R_1} \left[\left(1 + \frac{R_2}{R''_w}\right) R'_w + R_2 \right] \quad (*)$$

- (1) 当滑动端在最上端时, 有 $R'_w = 0$, $R''_w = 10\text{k}\Omega$ 代入(*)式可得

$$U_o = -2U_i = -2\text{V}$$

- (2) 当滑动端在中间位置时, 有 $R'_w = R''_w = 5\text{k}\Omega$, 代入(*)式可得

$$U_o = -4.5U_i = -4.5\text{V}$$

- (3) 当滑动端在最下端时, 有 $R'_w = 10\text{k}\Omega$, $R''_w = 0$ 代入(*)式可得

*及两端接地
相当于开路*

$$U_o = \infty$$

实际上，当电位器的滑动端在最下端时，运算放大器 A 的负输入端的输入电压为

$$U_- = \frac{R_2}{R_2 + R_1} U_i$$

由于运放为理想运放，即开环电压增益 $A_u = \infty$ ，因此输出电压为

$$U_o = A_u (U_+ - U_-) = \infty$$

但是根据题意，输出电压的最大值为 $\pm 12\text{V}$ ，因此在情况 (3) 中，当输入为正时，输出电压为 12V ，输入为负时，输出为 -12V 。

5. 求证：如图 8.62 所示，有两个运算放大器组成的电路的输入电阻相当于一个电容，电容值为 $C_i = C_1 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$ 。

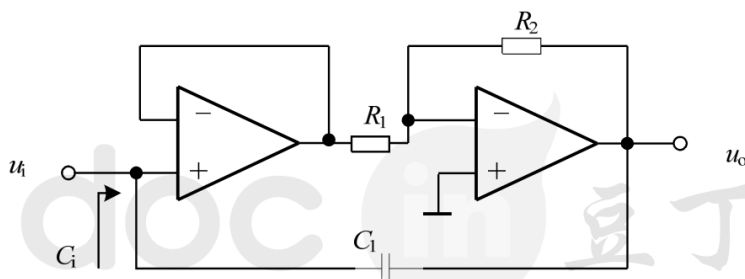


图 8.62 题 5 图

5. 解答：运放两输入端虚短，所以第一级运放的输出与输入相同。设输入电流为 i_c ，由于第二级运放输入端虚地，则有如下关系式成立。

$$i_c = C_1 \frac{d(u_i - u_o)}{dt}$$

$$\frac{u_i}{R_1} = \frac{0 - u_o}{R_2}$$

可求得输入、输出关系为

$$u_o = -\frac{R_2}{R_1} u_i$$

代入电流关系式

$$i_c = C_1 \frac{d(u_i - u_o)}{dt} = C_1 \frac{d\left(u_i + \frac{R_2}{R_1} u_o\right)}{dt} = C_1 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{du_i}{dt}$$

即可得等效电容为

$$C_i = C_1 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

6. 已知某电路的输出可以用表达式 $U_o=3U_3+4U_2-7U_1$ 来表示，试用理想运算放大器来实现该电路的功能。

6. 解答：根据已知的运算关系，可以知道当采用单个集成运放构成电路时， U_3 、 U_2 作用于同相输入端，而 U_1 作用于反相输入端，如图 8-1 所示。

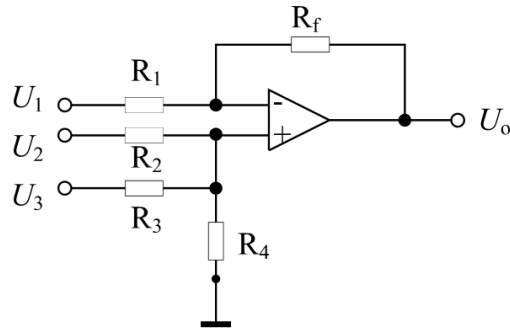


图 8-1

选取 $R_f = 100\text{k}\Omega$ ，当 $R_1 // R_f = R_2 // R_3 // R_4$ ，则有

$$U_o = R_f \left(\frac{U_3}{R_3} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_1}{R_1} \right)$$

因为 $R_f / R_3 = 3$ ，故 $R_3 = 33\text{k}\Omega$ ；

因为 $R_f / R_2 = 4$ ，故 $R_2 = 25\text{k}\Omega$

因为 $R_f / R_1 = 7$ ，故 $R_1 = 14\text{k}\Omega$

根据 $R_1 // R_f = R_2 // R_3 // R_4$ ，得 $R_4 = 90\text{k}\Omega$ 。

7. 理想运放如图 8.63 所示，求：

- (1) 若 $U_1=1\text{mV}$ ， $U_2=1\text{mV}$ ， $U_o=?$
- (2) 若 $U_1=1.5\text{mV}$ ， $U_2=1\text{mV}$ ， $U_o=?$
- (3) 求该差动电路的共模抑制比。

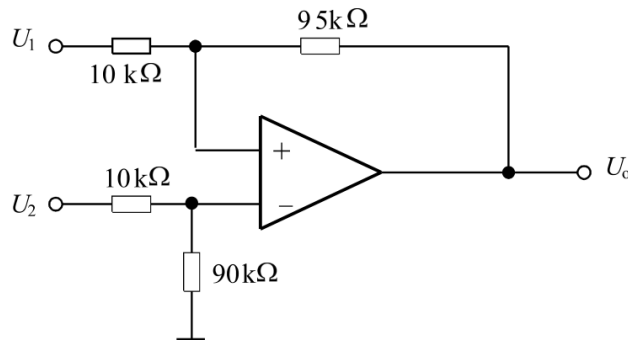


图 8.63 题 7 图

7. 解答: (1) 分析电路, 容易求出

$$U_o = \frac{90}{10+90} \cdot U_2 \cdot \left(1 + \frac{95}{10}\right) - \frac{95}{10} U_1 = 9.45\text{mV} - 9.5\text{mV} = -0.05\text{mV}$$

因为 $U_1 = U_2$ 为共模情况, 所以有

$$A_c = -0.05$$

(2) 输出电压为

$$U_o = U_{oc} \cdot A_{uc} + U_{id} \cdot A_{ud}$$

$$U_o = 9.45 \times 1.5\text{mV} - 9.5 \times 1\text{mV} = 4.675\text{mV}$$

(3) 由 (2) 可得

$$U_o = 9.45(U_c + U_d/2) - 9.5(U_c - U_d/2) = -0.05U_c + 18.95U_d/2$$

所以所求共模抑制比为

$$CMRR = \frac{9.475}{0.05} = 189.5$$

8. 电路如图 8.64 所示, 设运放为理想器件, 试分别求出输出电压与输入电压的关系式。

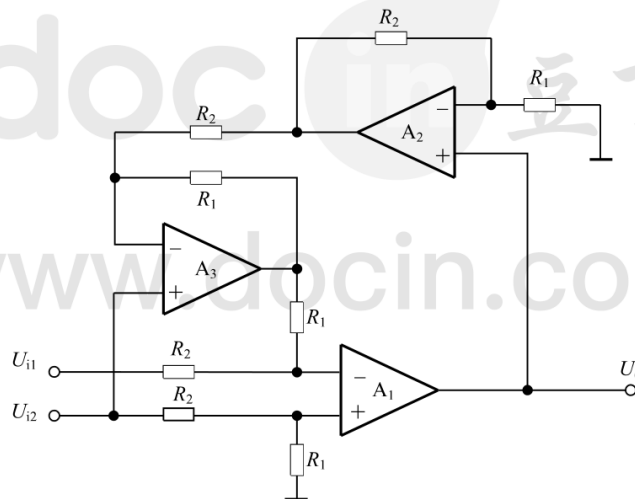


图 8.64 题 8 图

8. 解答: 因为运放是理想的, 所以有

$$U_{+A_1} = U_{-A_1}$$

$$U_{+A_2} = U_{-A_2} = U_o$$

$$U_{+A_3} = U_{-A_3} = U_{i2}$$

由通路 $U_{i2} \rightarrow R_2 \rightarrow U_{+A_1} \rightarrow R_1 \rightarrow \text{GND}$, 得到

$$U_{+A_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{i2}$$

由通路 $U_{oA_3} \rightarrow R_1 \rightarrow U_{-A_1} \rightarrow R_2 \rightarrow U_{i1}$, 得到

$$\frac{U_{oA_3} - U_{-A_1}}{R_1} = \frac{U_{-A_1} - U_{i1}}{R_2}$$

根据上式可得

$$U_{oA_3} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} U_{-A_1} - \frac{R_1}{R_2} U_{i1}$$

由通路 $U_{oA_2} \rightarrow R_2 \rightarrow U_{-A_2} \rightarrow R_1 \rightarrow U_{oA_3}$ ，得到

$$\frac{U_{oA_2} - U_{i2}}{R_2} = \frac{U_{i2} - U_{oA_3}}{R_1}$$

根据上式可得

$$\frac{U_{oA_2} - U_{i2}}{R_2} = \frac{U_{i2} - U_{oA_3}}{R_1}$$

由通路 $GND \rightarrow R_1 \rightarrow U_{-A_2} \rightarrow R_2 \rightarrow U_{oA_2}$ ，得到

$$\frac{0 - U_o}{R_1} = \frac{U_o - U_{oA_2}}{R_2}$$

根据上式可得

$$U_o = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{oA_2}$$

将上面计算的结果代入，得到输出电压为

$$U_o = \left(1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) U_{i2} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{i1}$$

9. 电路如图 8.65 (a) 所示。电容器上的初始电压为 0V， $R=10k\Omega$ ， $C=0.1\mu F$ ，试求：

- (1) 这是一个什么电路？
- (2) 画出在图题 8.65 (b) 给定的输入电压作用下的输出波形。

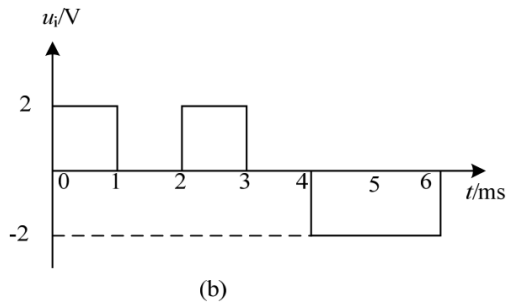
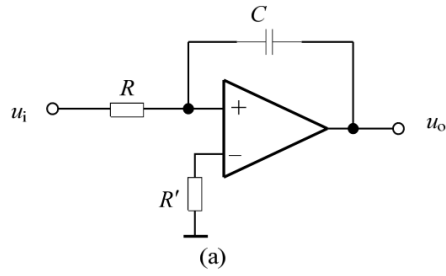


图 8.65 题 9 图

9.解答: (1) 这是一个积分运算电路。

(2) 由虚短的概念可得

$$\frac{u_i}{R} = i_c$$

又有

$$u_o = -u_c = -\frac{1}{C} \int i_c dt = -\frac{1}{RC} \int u_i dt$$

根据初始条件

$$u_c(0) = 0$$

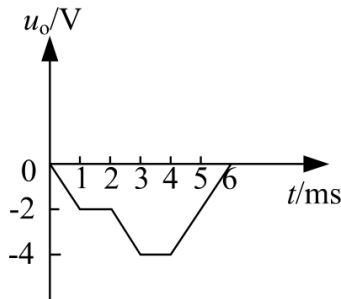
可以求出

$$u_o = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_i dt$$

波形如题 9 答案图所示。

$$u_o = -\frac{1}{10^4 \times 10^{-7}} \times 2t \times 10^{-3}$$

$$u_o = -2t$$



题 9 答案图

10. 如图 8.66 所示电路。试求：

- (1) 写出 u_{o1} 、 u_{o2} 与 u_i 之间的关系。
- (2) u_o 与 u_{o1} 、 u_{o2} 之间的关系。

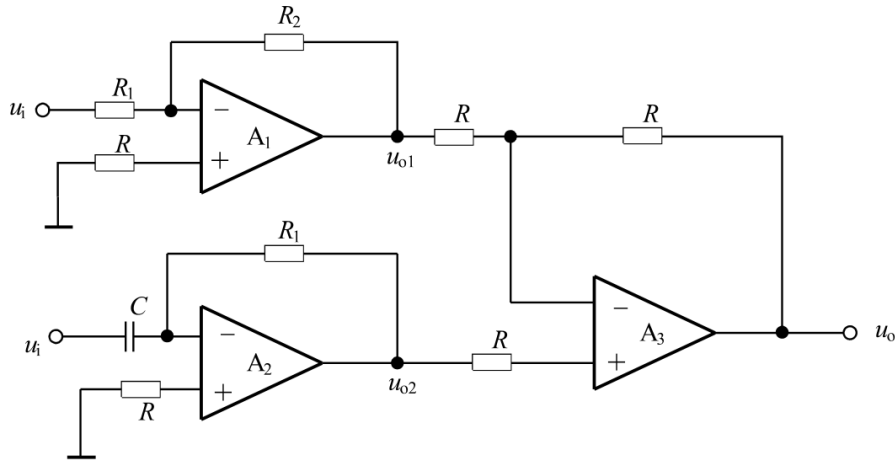


图 8.66 题 10 图

10. 解答：(1) 对于 A_1 ，由反相比例运算电路有增益表达式为

$$A_{uf} = -\frac{R_2}{R_1}$$

所以 A_1 的输出 u_{o1} 为

$$u_{o1} = A_{uf} \times u_i = -\frac{R_2}{R_1} u_i$$

而 A_2 电路为微分电路，其输出电压满足

$$u_{o2} = -R_1 C \frac{du_i}{dt}$$

(2) 根据“虚短”概念， A_3 同、反相端的电压相等，从而有

$$\frac{u_{o2} - u_{o1}}{R} = \frac{u_o - u_{o2}}{R}$$

整理有

$$u_o = 2u_{o2} - u_{o1}$$

代入 (1) 的结论有

$$u_o = -2R_1 C \frac{du_i}{dt} + \frac{R_2}{R_1} u_i$$

11. 在图 8.67 所示的电路中，设 A_1 、 A_2 和 A_3 均为理想运放，回答以下问题：

- (1) 简述该电路的特点。
- (2) 当 $\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_6}{R_5}$ 时，求差模电压增益 $A_{ud} = U_o / U_i$ 。
- (3) 调节哪个元件可改变放大器的共模抑制比，为什么？

(4) 简述测量该电路共模抑制比的实验步骤。

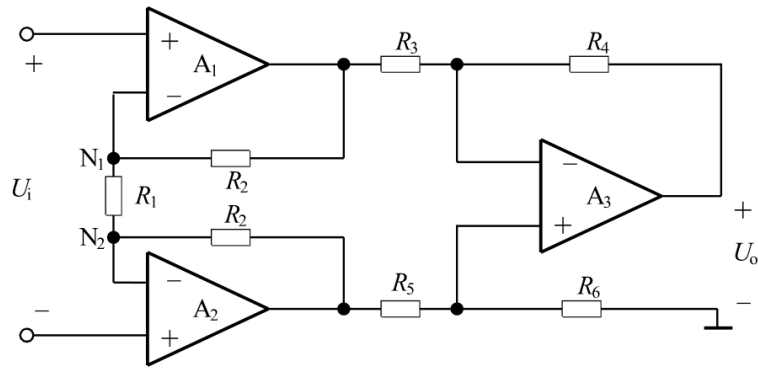


图 8.67 题 11 图

11. 解答：(1) 该电路为仪用（测量）放大器电路，其特点为高输入阻抗，高共模抑制比，高增益。

(2) 由理想运放的“虚短”和“虚断”概念有

$$U_{N1} - U_{N2} = U_i = \frac{R_1}{R_1 + 2R_2} (U_{o1} - U_{o2})$$

则有

$$U_{o1} - U_{o2} = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) U_i$$

输出电压为

$$U_o = -\frac{R_4}{R_3} U_{o1} + \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \frac{R_6}{R_5 + R_6} U_{o2} = -\frac{R_4}{R_3} U_{o1} + \frac{R_3 + R_4}{R_3} \frac{R_6}{R_5 + R_6} U_{o2}$$

当 $\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_6}{R_5}$ 时

$$\frac{R_3 + R_4}{R_3} \cdot \frac{R_6}{R_5 + R_6} = \frac{R_4}{R_3}$$

则有输出电压为

$$U_o = -\frac{R_4}{R_3} (U_{o1} - U_{o2}) = -\frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) U_i$$

差模电压放大倍数为

$$A_{ud} = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)$$

(3) 调整 $R_3 \sim R_6$ 中的一个或多个，使 $\frac{R_4}{R_3} \neq \frac{R_6}{R_5}$ ，即可改变放大器的共模抑制比。

当 A_3 的参数对称，即 $\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_6}{R_5}$ 时，由于输入共模信号后 $U_{o1} = U_{o2}$ ，使得输出电压 $U_o = 0$ ，

从而共模放大倍数为零，共模抑制比可以为无穷大。而当参数不对称时，共模放大倍数不为零，从而大大降低了共模抑制比。

(4) 首先在输入端加入差模信号，测得输出电压，代入公式求得差模放大倍数 A_{od} ，再在

输入端加入共模信号，测得输出电压，代入公式求得共模放大倍数 A_{oc} ，则可得

$$K_{CMR} = \left| \frac{A_{od}}{A_{oc}} \right|$$

12. 设图 8.68 电路中三极管的参数相同，各输入信号均大于零。

- ① 试说明各集成运放组成何种基本运算电路。
- ② 列出电路的输出电压与其输入电压之间关系的表达式。

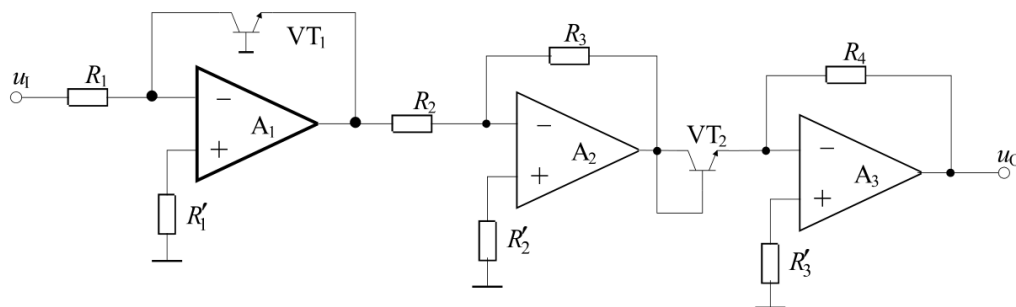


图 8.68 题 12 图

12. 解答：① 图中， A_1 组成对数电路， A_2 组成反相输入比例电路， A_3 组成指数电路。

② 图中，由于 A_1 是对数电路，则

$$u_{o1} = -u_T \ln \frac{u_1}{I_s R_1}, \quad u_{o2} = -\frac{R_3}{R_2} u_{o1}$$

$$u_{o2} = \frac{R_3}{R_2} u_T \ln \frac{u_1}{I_s R_1}, \quad u_o = -I_s R_4 \left(\frac{u_1}{I_s R_1} \right) R_3 / R_2$$

13. 试求出图 8.89 所示电路的运算关系。

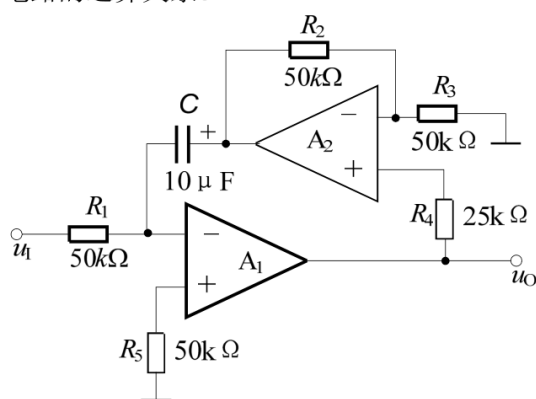


图 8.69 题 13 图

13. 解答：由图 8.69 所示电路，设运放 A_2 的输出为 u_{o2} ，可列出以下方程组

$$\begin{cases} \frac{u_i}{R_1} = \frac{0 - u_{o2}}{j\omega C} \\ u_{o2} = \frac{R_2 + R_3}{R_3} u_o \end{cases}$$

代入数值，并化简得

$$\begin{cases} u_i = -j\omega R_1 C u_{o2} \\ u_{o2} = 2u_o \end{cases}$$

解方程组得

$$u_o = -\frac{1}{j\omega 2R_1 C} u_i = -\frac{1}{2 \times 50 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-6}} \int u_i dt = -\int u_i dt$$

14. 为了使图 8.70 所示电路实现除法运算，

- (1) 标出集成运放的同相输入端和反相输入端；
- (2) 求出 u_o 和 u_{i1} 、 u_{i2} 的运算关系式。

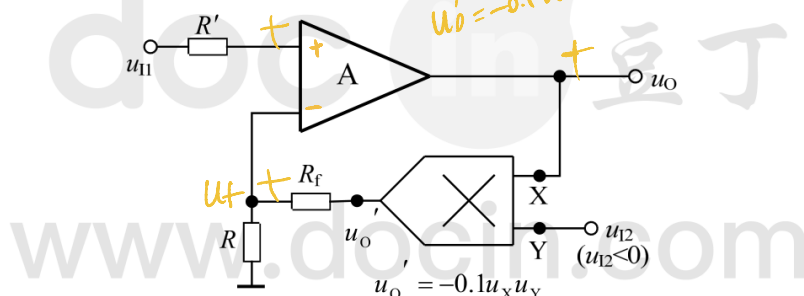


图 8.70 题 14 图

14. 解答：(1) 对于运算电路来说，必须保证电路引入的是负反馈，才能正常工作。在图 8.70 所示电路中，反馈网络由乘法器组成，反馈信号与输入信号 u_{i1} 相串联，且 $u_{i2} < 0$ ，依据瞬时极性法判断得知，运放 A 的上端为+，下端为-。

(2) 由图 8.70 所示电路可得如下方程组：

$$\begin{cases} u_{i1} = \frac{R}{R + R_f} u'_o \\ u'_o = -0.1 u_o u_{i2} \end{cases}$$

解方程组得

$$u_o = -\frac{10(R + R_f) u_{i1}}{R u_{i2}}$$

15. 求出图 8.71 所示电路的运算关系。

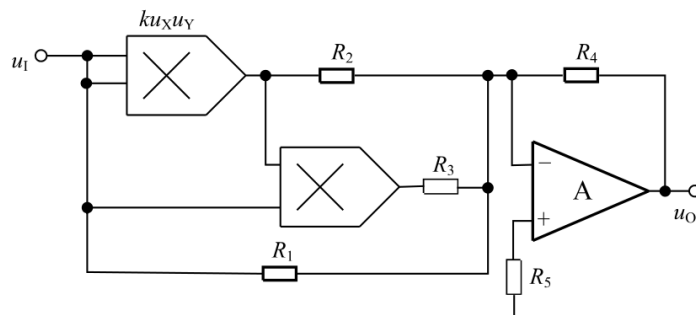


图 8.71 题 15 图

15. 解答：由图 8.71 所示电路可知，两个乘法器分别组成 u_i 的平方电路和 u_i 的立方电路；集成运放 A 组成反相求和电路。故有

$$u_o = -\left(\frac{R_4}{R_1}u_i + \frac{R_4}{R_2}ku_i^2 + \frac{R_4}{R_3}k^2u_i^3\right)$$

16. 在如图 8.72 所示电路中，已知 $U_{i1}=4V$ ， $U_{i2}=1V$ 。

- (1) 当开关 S 闭合时，计算 A，B，C，D 各点电位和 U_o 的值。
- (2) 设 $t=0$ 时开关 S 打开，问经过多长时间能使 $U_o=0$ ？

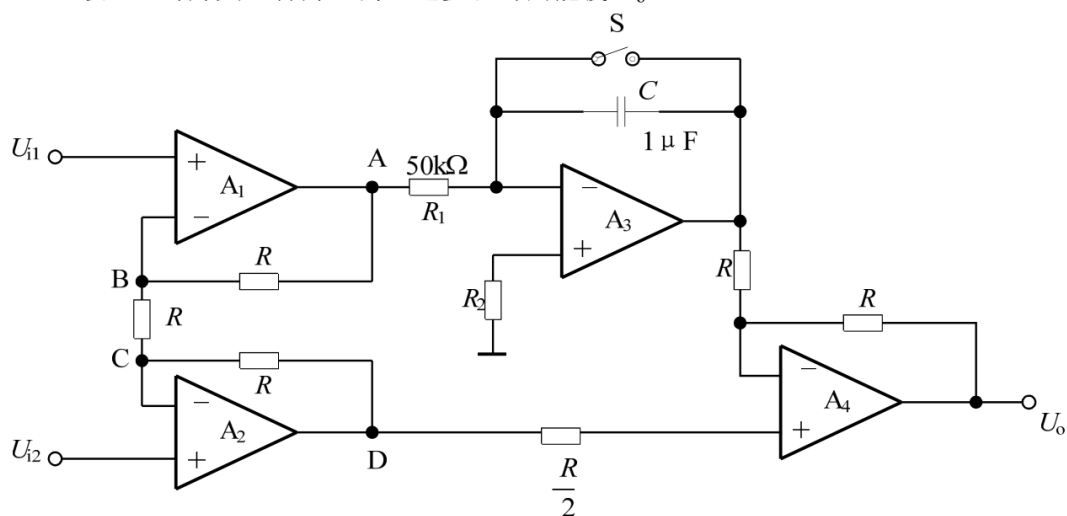


图 8.72 题 16 图

16. 解答：(1) 由“虚短”可知

$$U_B = U_{i1}$$

$$U_C = U_{i2}$$

$$\frac{U_A - U_{i1}}{R} = \frac{U_{i1} - U_{i2}}{R}, \text{ 即 } U_A = 7V$$

$$\frac{U_{i2} - U_D}{R} = \frac{U_{i1} - U_{i2}}{R}, \text{ 即 } U_D = -2V$$

当开关 S 闭合时，运放 A_3 的输出端与反相输入端短路，由“虚短”可知 $U_{o3} = 0$ ，则运放 A_4

的反相输入端电位为

$$U_- = \frac{R}{R+R}U_o = \frac{1}{2}U_o$$

再对运放 A_4 由“虚短”可知

$$U_- = U_+ = U_D$$

故

$$\frac{1}{2}U_o = U_D$$

即

$$U_o = -4V$$

(2) 开关 S 打开，运放 A_3 构成了积分运算电路。其输出电压为

$$U_{o3} = -\frac{1}{R_1C} \int_0^t U_A dt + U_{o3}(0) = -\frac{1}{R_1C} U_A t = -\frac{7t}{50 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-6}} = -140t$$

若要求 $U_o = 0$ ，则运放 A_4 的反相输入端电位为

$$U_- = \frac{R}{R+R}U_{o3} = \frac{1}{2}U_{o3} = -70t$$

对运放 A_4 由“虚短”可知

$$U_- = U_+ = U_D$$

故

$$-70t = U_D = -2V$$

即

$$t = 0.0286s$$

经过 0.0286s 后能使 $U_o = 0$ 。

17. 试分析图 8.73 所示电路的输出 u_{o1} 、 u_{o2} 和 u_{o3} 分别具有哪种滤波特性 (LPF、HPF、BPF、BEF) ?

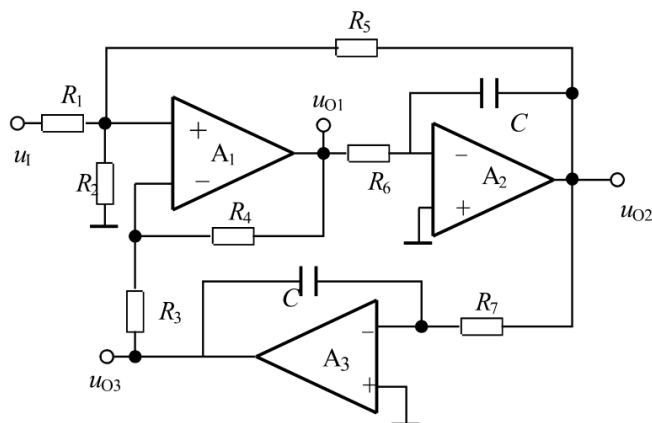


图 8.73 题 17 图

17. 解答：由图 8.73 所示电路可见，该电路为状态变量型有源滤波器。其特点是，将比例、积分、求和等基本运算电路组合在一起，并能够对所构成的运算电路自由设置传递函数，实现各种滤波功能。其分析方法与集成运放组成的各种运算电路的分析方法一样；也可以采用“逆函数运算电路”法则进行粗略分析。

由图所示电路可得如下方程组（设运放 \$A_1\$ 同相端电压为 \$U_{P1}\$）

$$\begin{cases} \frac{u_i - U_{P1}}{R_1} = \frac{U_{P1}}{R_2} + \frac{U_{P1} - u_{o2}}{R_5} \\ \frac{u_{o3} - U_{P1}}{R_3} = \frac{U_{P1} - u_{o1}}{R_4} \\ u_{o2} = -\frac{1}{R_6} \int u_{o1} dt \\ u_{o3} = -\frac{1}{R_7} \int u_{o2} dt \end{cases}$$

设电路中，\$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 10k\Omega\$，\$R_6 = R_7 = 1M\Omega\$，\$C = 1\mu F\$，方程组变为

$$\begin{cases} u_i = 3U_{P1} - u_{o2} \\ u_{o3} = 2U_{P1} - u_{o1} \\ u_{o2} = -\frac{1}{S} u_{o1} \\ u_{o3} = -\frac{1}{S} u_{o2} \end{cases}$$

解方程组得

$$u_{o1} = \frac{2S^2}{3S^2 + 2S + 3} u_i, \text{ 为二阶高通滤波电路；}$$

$$u_{o2} = \frac{-2S}{3S^2 + 2S + 3} u_i, \text{ 为二阶带通滤波电路；}$$

$$u_{o3} = \frac{2}{3S^2 + 2S + 3} u_i, \text{ 为二阶低通滤波电路。}$$

18. 图 8.74 所示是一阶全通滤波电路的一种形式。

(1) 试证明电路的电压增益表达式为

$$\dot{A}_u(j\omega) = \frac{\dot{U}_o(j\omega)}{\dot{U}_i(j\omega)} = -\frac{1-j\omega RC}{1+j\omega RC}$$

(2) 试求它的幅频响应和相频响应，说明当 ω 由 $0 \rightarrow \infty$ 时，相角 φ 的变化范围。

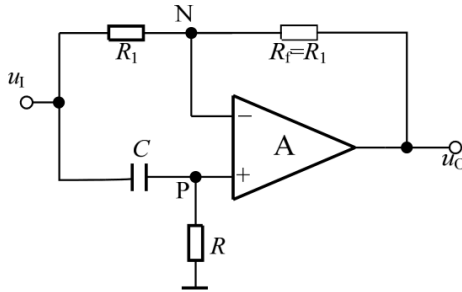


图 8.74 题 18 图

18. 解答：(1) 由虚短可知： $V_+ = V_-$

由分压公式
$$V_+ = V_p = \frac{sRC}{1+sRC} V_i$$

因此
$$V_- = \frac{sRC}{1+sRC} V_i$$

由 KCL 定律
$$\frac{V_i - V_-}{R_1} = \frac{V_- - V_o}{R_1}$$

于是
$$V_o = 2V_- - V_i = \left(\frac{2sRC}{1+sRC} - 1\right)V_i = \frac{sRC-1}{sRC+1} V_i$$

因此
$$A_v(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} = -\frac{1-j\omega RC}{1+j\omega RC}$$

(2) 由 $A_v(j\omega)$ 表达式得， $|A_v(j\omega)| = \frac{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}} = 1$ 为全通滤波电路。

$$\varphi = -\pi - 2 \arctan(\omega RC)$$

所以，当 ω 由 $0 \rightarrow \infty$ 时， ωRC 由 $0 \rightarrow \infty$ ， $\arctan(\omega RC)$ 由 $0 \rightarrow \frac{\pi}{2}$ ， φ 变化范围为 $-\pi \rightarrow -2\pi$ 。

19. 电路如图 8.75 所示，设 A_1 、 A_2 为理想运放。

(1) 求 $A_1(s) = \frac{U_{o1}(s)}{U_i(s)}$ 及 $A(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)}$ ；

(2) 根据导出的 $A_1(s)$ 和 $A(s)$ 表达式，判断它们分别属于什么类型的滤波电路。

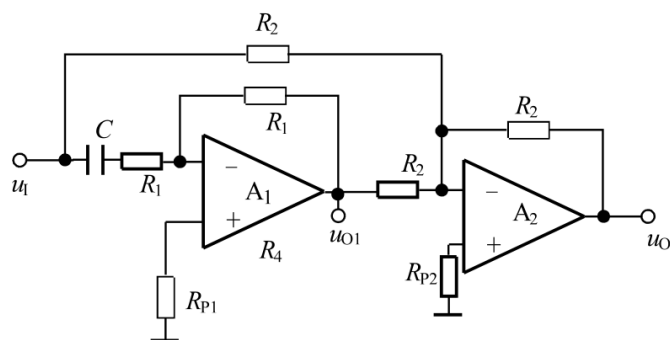


图 8.75 题 19 图

19. 解答: (1) 对于 A_1 级 $V_{o1}(s) = -\frac{R_1}{R_1 + \frac{1}{sC}} V_i(s)$

当 $0 < \omega R_1 C \ll 1$ 时, $|A_v(j\omega)| = \frac{R_f}{R_1}$

所以 $A_1(s) = \frac{V_{o1}(s)}{V_i(s)} = -\frac{R_1}{R_1 + \frac{1}{sC}} = -\frac{sR_1C}{sR_1C + 1}$

A_2 级为反相求和电路

$$V_o(s) = -V_{o1}(s) - V_i(s) = -\left(\frac{-sR_1C}{sR_1C + 1} + 1\right)V_i(s) = \frac{1}{1 + sR_1C} V_i(s)$$

所以 $A(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = -\frac{1}{sR_1C + 1}$

(2) 令 $s = j\omega$, $A_1(j\omega) = -\frac{j\omega R_1 C}{1 + j\omega R_1 C}$, 则有 $|A_1(j\omega)| = \frac{\omega R_1 C}{\sqrt{1 + \omega^2 R_1^2 C^2}}$

当 $0 < \omega R_1 C \ll 1$ 时, $|A_1(j\omega)| = 0$;

当 $\omega R_1 C \gg 1$ 时, $|A_1(j\omega)| = 1$;

当 $\omega^2 R_1^2 C^2 = 1$, $\omega = \frac{1}{R_1 C}$ 时, $|A_1(j\omega)| = \frac{\sqrt{2}}{2}$ 。因此, A_1 为一阶高通滤波电路。

对于 $A(s)$, 令 $s = j\omega$, $A(j\omega) = -\frac{1}{1 + j\omega R_1 C}$, 则有 $|A(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R_1^2 C^2}}$,

当 $0 < \omega R_1 C \ll 1$ 时, $|A(j\omega)| = 1$;

当 $\omega R_1 C \gg 1$ 时, $|A(j\omega)| = 0$;

当 $\omega R_1 C = 1$ 时, $|A(j\omega)| = \frac{\sqrt{2}}{2}$ 。

为一阶低通滤波电路。

20. 已知某有源滤波电路的传递函数为

$$A(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{-s^2}{s^2 + \frac{3}{R_1 C} s + \frac{1}{R_1 R_2 C^2}}$$

(1) 试定性分析该电路的滤波特性(低通、高通、带通或带阻)(提示:可从增益随角频率变化情况判断);

(2) 求通带增益 A_0 、特征角频率(中心频率) ω_0 及等效品质因数 Q 。

20. 解答: (1) 令 $s = j\omega$, 则

$$\text{传递函数为: } A(j\omega) = \frac{\omega^2}{-\omega^2 + \frac{3}{R_1 C} j\omega + \frac{1}{R_1 R_2 C^2}} = \frac{-1}{1 - \frac{3}{R_1 C} j \frac{1}{\omega} - \frac{1}{\omega^2 R_1 R_2 C^2}}$$

$$\text{令 } \omega_0 = \frac{1}{C\sqrt{R_1 R_2}}, \text{ 则 } A(j\omega) = \frac{-1}{1 - \left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2 - j3\sqrt{\frac{R_2}{R_1}} \left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

$$\text{于是 } |A(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2\right]^2 + 9\left(\frac{R_2}{R_1}\right)\left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}}$$

当 $0 < \frac{\omega_0}{\omega} \ll 1$ 时, $|A(j\omega)| = 1$, 此时, $\frac{\omega}{\omega_0} \gg 1$, 即 $\omega \gg \omega_0$;

当 $\frac{\omega_0}{\omega} \gg 1$ 时, $|A(j\omega)| = 0$, 此时, $0 < \frac{\omega}{\omega_0} \ll 1$, 即 $0 < \omega \ll \omega_0$ 。

因此, 以上电路为高通滤波器。

(2) 中心角频率 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C}}$, 中心频率 $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C}}$

$$A_0 = A(j\omega)|_{\omega \rightarrow \infty} = \frac{-1}{1} = -1$$

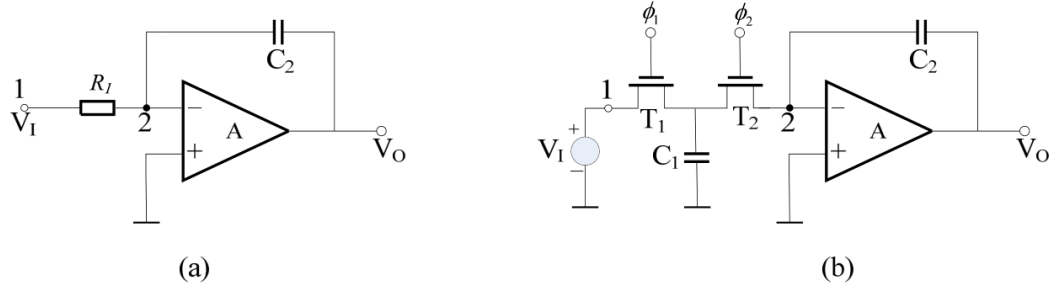
由高通滤波器传递函数 $A(s) = \frac{A_0}{\left(\frac{\omega_0}{s}\right)^2 + \frac{1}{Q} \frac{\omega_0}{s} + 1}$ 可知

品质因数为 $A(j\omega)$ 分母中一次项系数的倒数, 即 $Q = \frac{1}{3\sqrt{\frac{R_1}{R_2}}} = \frac{1}{3}\sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$

21. 开关电容滤波器频率响应的时间常数取决于什么? 为什么时钟频率 f_{CP} 通常比滤波器的工作频率(例如截止频率 f_0) 要大得多(例如 $f_{CP}/f_0 > 100$)?

21. 解答: (1) 影响开关电容滤波器频率响应的时间常数取决于时钟周期 T_c 和电容比值 C_2/C_1 , 而与电容的绝对值无关。

(2) 只有时钟频率 $f_{cp} (= \frac{1}{T_c})$ 比滤波器的工作频率（例如截止频率 f_0 ）大得多，才可以如题 21 参考答案图 (a) (b) 所示，用一个接地电容 C_1 和 MOS 三极管 T_1 、 T_2 （用作开关）来代替输入电阻 R_I ，且这是由于 $f_{cp} \gg f_0$ ，由 MOS 开关引起的噪声对通带内信号几乎无影响。



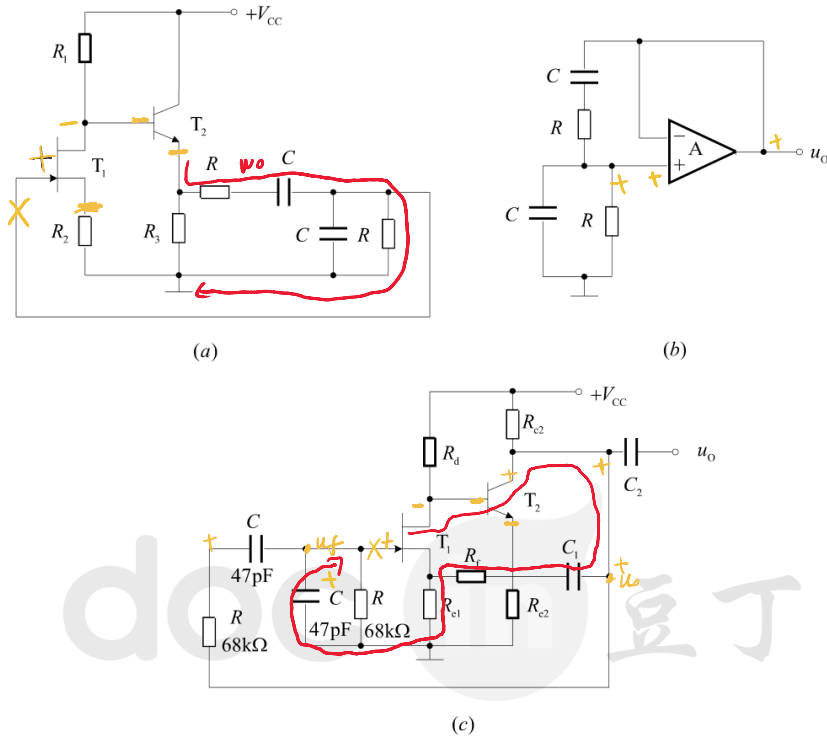
题 21 参考答案图

第九章习题参考答案

注：习题 9.1、9.3、9.4、9.8 和 9.9 都略有改动。

9.1 分别判断图 9.42 所示各电路是否可能产生正弦波振荡，并简述理由。

解：注：该题各图改为



(a) 不能振荡。在 T_1 的栅极断开反馈回路，加极性为正的信号，则由 T_2 射极反馈得到的信号极性为负，不满足振荡的相位平衡条件。

(b) 不能振荡。虽然电路能够满足相位平衡条件，但是电路中放大电路的放大系数等于 1，故不能同时满足幅度平衡条件。

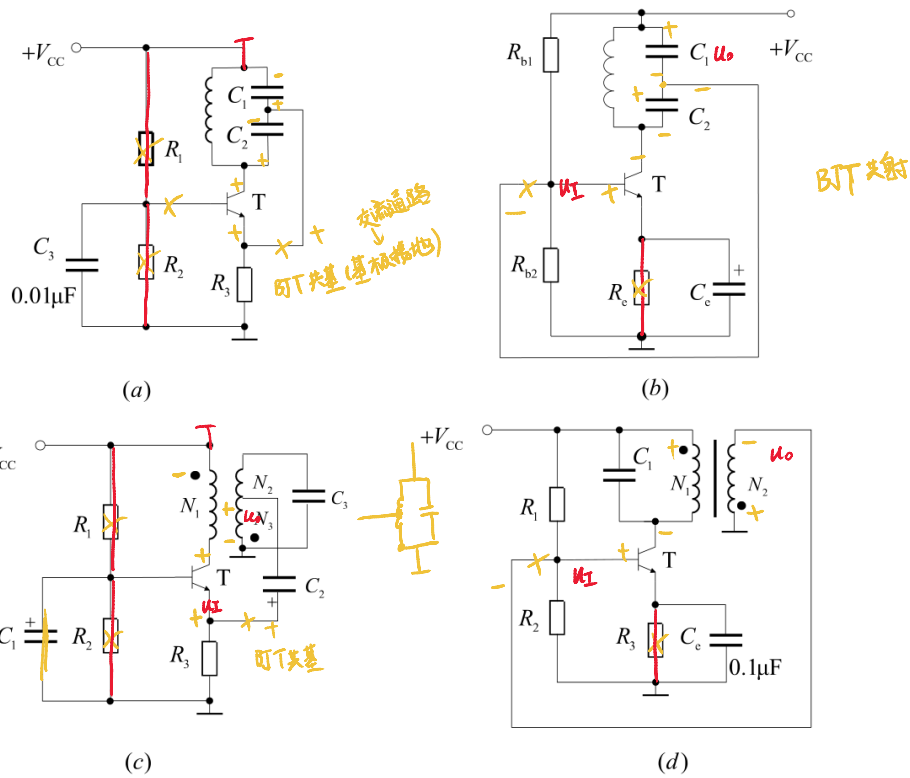
(c) 可能振荡。在 T_1 的栅极断开反馈回路，加极性为正的信号，则由 T_2 集电极反馈得到的信号极性为正，满足振荡的相位平衡条件。

9.2 解：

- (a) 原边线圈上端和副边线圈上端为同名端；
- (b) 原边线圈下端和副边线圈下端为同名端；
- (c) 原边线圈上端和副边线圈下端为同名端；
- (d) 原边线圈左端和副边线圈右端为同名端。

9.3 分别判断图 9.44 所示各电路是否可能产生正弦波振荡，并简述理由。

注：该题各图改为



(a) 可能振荡。在晶体管射极断开反馈回路，加极性为正的信号，则由 C_1 反馈得到的信号极性为正，满足振荡的相位平衡条件。

(b) 不能振荡。在晶体管基极断开反馈回路，加极性为正的信号，则由 C_1 反馈得到的信号极性为负，不满足振荡的相位平衡条件。

(c) 可能振荡。在晶体管射极断开反馈回路，加极性为正的信号，则由 N_2 反馈得到的信号极性为正，满足振荡的相位平衡条件。

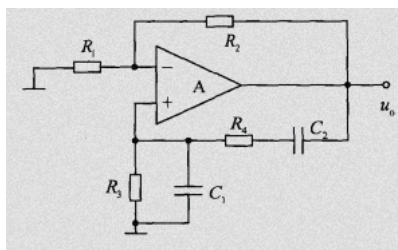
(d) 不能振荡。在晶体管基极断开反馈回路，加极性为正的信号，则由 N_2 反馈得到的信号极性为负，不满足振荡的相位平衡条件。

9.4 已知 RC 振荡器如图 9.45 所示，已知 $R_2 = 15\text{k}\Omega$ ， $R_3 = R_4 = 10\text{k}\Omega$ ， $C_1 = C_2 = 15\text{pF}$ 。

求：

(1) 振荡频率 f_0 ；

(2) R_1 的取值范围。



$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_3 C_1} = \frac{1}{2\pi R_4 C_2} \approx 1\text{kHz}$$

$$F = \frac{1}{3} \quad A \geq 7$$

$$A \geq 3$$

解：

(1) 频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi R_3 C_1} = \frac{1}{2\pi R_4 C_2} \approx 1\text{kHz}$

(2) 由放大倍数 $A = 1 + \frac{R_2}{R_1} > 3$ ，得到 $R_1 < 7.5\text{k}\Omega$ 。

$$A = \frac{u_o}{u_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \geq 3$$

$$R_2 \geq 2R_1$$

9.5 解：

由题 $f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = 1\text{kHz}$ ，其中 $C = 0.03\mu\text{F}$ ，得 $R \approx 5.3\text{k}\Omega$ 。设计电路如图 9.1 所示，其

中 R_2 为负温度系数的热敏电阻， R_1 与 R_2 的阻值关系只需满足 $R_2 / R_1 > 2$ 即可。

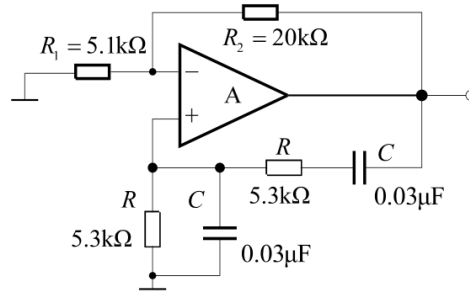


图 9.1 习题 9.5 图

9.6 解：

(1) 由题 $U_z = \pm 6\text{V}$ ，参考电压 $U_{\text{REF}} = 3\text{V}$ ，则

$$U_{T+} = \frac{3R_F}{R_1 + R_F} + \frac{6R_1}{R_1 + R_F} = 4\text{V}$$

$$U_{T-} = \frac{3R_F}{R_1 + R_F} - \frac{6R_1}{R_1 + R_F} = 0\text{V}$$

门限宽度 $\Delta U_T = U_{T+} - U_{T-} = 4\text{V}$ 。电压传输特性如图 9.2(a)所示。

(2) 已知 u_i 为幅度为 5V 的正弦波，则 u_o 的波形如图 9.2(b)所示。

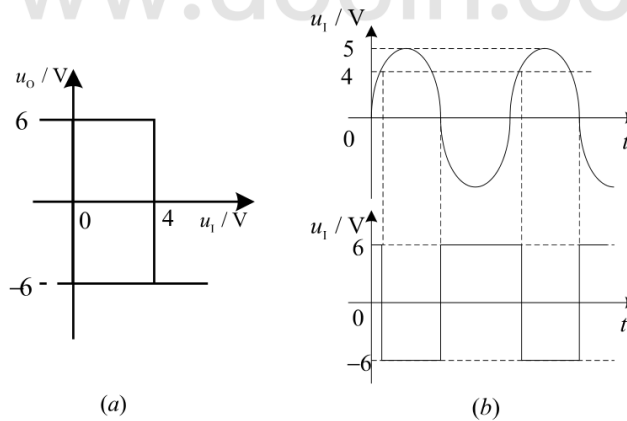


图 9.2 习题 9.6 图

9.7 解：

(1) 图示为反相输入单限比较器，则 $U_T = -\frac{R_2}{R_1} U_{\text{REF}} = 1\text{V}$

(2) 电压传输特性如图 9.3 所示。

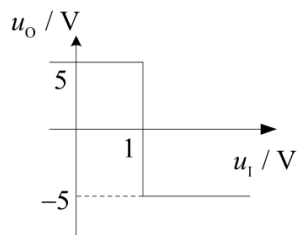
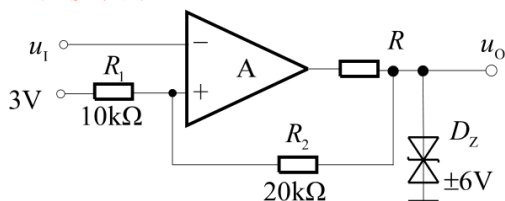


图 9.3 习题 9.7 图

9.8 解：注：题中 (c) 图修改为



(a) 图为单限比较器，阈值电压 $U_T = -\frac{R_1}{R_2}U_{REF} = -1V$ 。电压传输特性如图 9.4(a)所示。

(b) 图为同相输入迟滞比较器，由 $u_p = \frac{R_2}{R_1 + R_2}u_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2}U_Z = u_N$ ，得阈值电压 $U_{T1} = 0V$ ， $U_{T2} = 6V$ 。电压传输特性如图 9.4(b)所示。

(c) 图为反相输入迟滞比较器，由 $u_p = \frac{R_2}{R_1 + R_2}U_{REF} + \frac{R_1}{R_1 + R_2}U_Z = u_1$ ，得阈值电压 $U_{T1} = 0V$ ， $U_{T2} = 4V$ 。电压传输特性如图 9.4(c)所示。

(d) 图为窗口比较器，阈值电压 $U_{T1} = 2V$ ， $U_{T2} = 4V$ 。电压传输特性如图 9.4(d)所示。

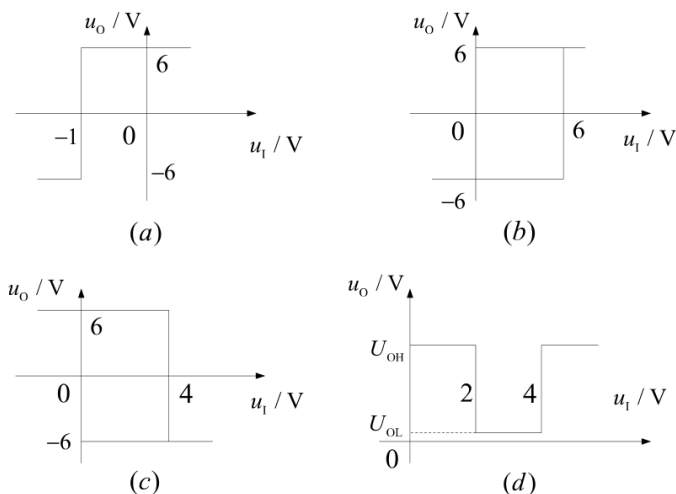


图 9.4 习题 9.8 图

9.9 解：(注：题中 $U_{REF} = 4V$)

(1) 由 $U_{T+} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}U_{REF} + \frac{R_1}{R_1 + R_2}U_Z$ ， $U_{T-} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}U_{REF} - \frac{R_1}{R_1 + R_2}U_Z$ ，得 $R_1 = R_2$

(2) 若 $U_z = 9V$ ，则 $U_{T+} = 6.5V$ ， $U_{T-} = -2.5V$

(3) 代入阈值电压公式，整理得 $U_{REF} = 2V$

9.10 解：各输出电压波形如图 9.5 所示。

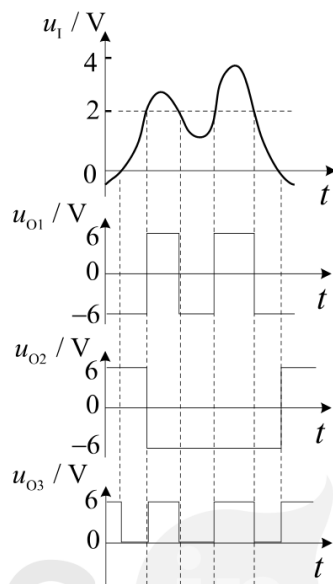


图 9.5 习题 9.10 图

9.11 解：

将各元件参数值代入 $T = 2R_1C \ln(1 + \frac{2R_4}{R_3})$ ，得 $T \approx 0.2ms$ ，则 $f = \frac{1}{T} \approx 5kHz$

输出电压和电容电压的波形如图 9.6 所示，其中 $U_{T+} = \frac{R_4}{R_4 + R_3} U_z \approx 2.7V$ ，

$$U_{T-} = -\frac{R_4}{R_4 + R_3} U_z \approx -2.7V$$

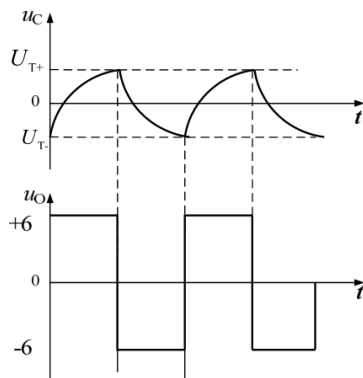


图 9.6 习题 9.11 图

9.12 解：

三角波产生电路中 $f = \frac{1}{T} = \frac{R_3}{4R_2RC} = 250Hz$ ，且 $u_o = \frac{R_2}{R_3} u_{o1} = 8V$

将电路中各元件参数代入，得： $R_3 = 15\text{k}\Omega$ ， $R = 7.5\text{k}\Omega$

9.13 解：

$$T_1 = R_1 C \ln\left(1 + \frac{2R_4}{R_3}\right) = 0.096\text{ms}, \quad T_2 = (R_1 + R_p) C \ln\left(1 + \frac{2R_4}{R_3}\right) = 1.056\text{ms}$$

$$\text{则频率 } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{T_1 + T_2} \approx 870\text{Hz}$$

输出电压和电容电压的波形如图 9.7 所示，其中 $U_{T+} = \frac{R_4}{R_4 + R_3} U_Z \approx 2.7\text{V}$ ，

$$U_{T-} = -\frac{R_4}{R_4 + R_3} U_Z \approx -2.7\text{V}$$

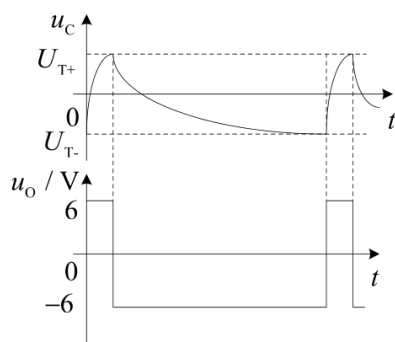


图 9.7 习题 9.13 图

9.14 解：

(1) 在 A_1 组成的迟滞比较器中

$$\text{由 } \frac{R_2}{R_2 + R_3} u_{O2} + \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_{O1} = 0, \text{ 得 } \pm U_T = \pm \frac{R_2}{R_3} U_{OM} = \pm 6\text{V}$$

在 A_2 组成的积分运算电路中

$$u_o = -\frac{1}{RC} u_{O2} (t_2 - t_1) + u_o(t_1), \quad T = 20\text{ms}$$

$$\text{又 } u_1 = -\frac{1}{RC} (-U_{OM}) \frac{T_1}{2} - U_T, \text{ 则 } T_1 = \frac{6 + u_1}{600}$$

$$\text{得 } u_{O3} \text{ 的占空比与 } u_1 \text{ 的关系式为 } q = \frac{T_1}{T} = \frac{6 + u_1}{12}$$

(2) 波形如图 9.8 所示。

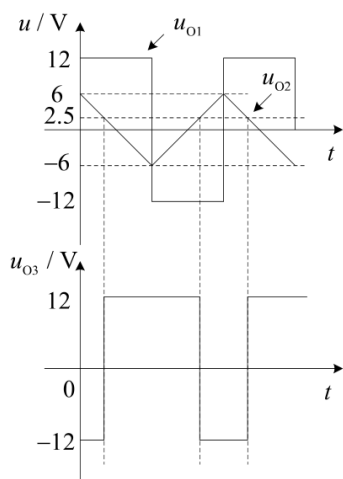


图 9.8 习题 9.14 图

9.15 解: 波形如图 9.9 所示。

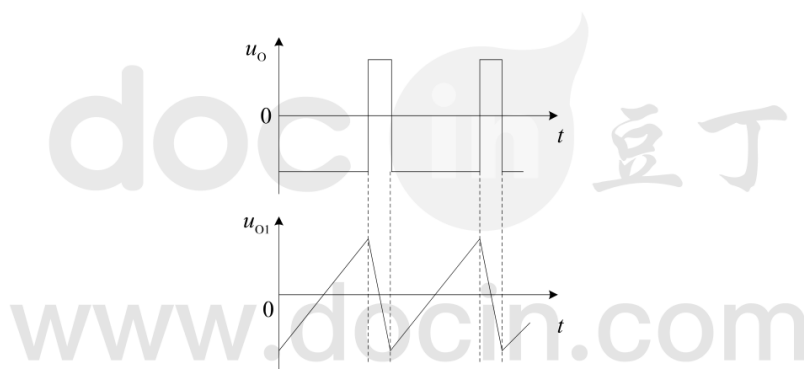


图 9.9 习题 9.15 图

振荡频率是振荡周期的倒数，而振荡周期近似等于积分电路正向积分时间。故

$$\pm U_T = \pm U_Z = \pm 8V, \text{ 又 } U_T \approx -\frac{1}{R_1 C} u_1 T - U_T, \text{ 得到 } T \approx \frac{2U_T R_1 C}{u_1}$$

$$\text{因此振荡频率与 } u_1 \text{ 的关系式为 } f = \frac{1}{T} \approx \frac{u_1}{2U_T R_1 C} = 0.625u_1$$

9.16 解:

$$\text{振荡频率 } f_0 = \frac{R_2}{4R_1 RC} \approx 3.1\text{kHz}$$

$$\text{波形如图 9.10 所示, 其中 } u_{OM} = \frac{R_1}{R_2} U_Z \approx 2.7V, \quad -u_{OM} = -\frac{R_1}{R_2} U_Z \approx -2.7V$$

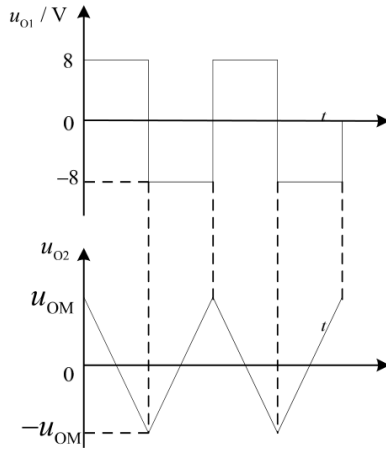


图 9.10 习题 9.16 图

9.17 解:

(1) T 导通时, $u_{N1} = u_1 / 3$

$$u_{o1} = \frac{u_1}{3R_2C}(t_1 - t_0) + u_{o1}(t_0) = \frac{10^3}{45}u_1(t_1 - t_0) + u_{o1}(t_0)$$

$$T \text{ 截止时, } u_{o1} = \frac{-2u_1}{3(R_1 + R_2)C}(t_2 - t_1) + u_{o1}(t_1) = -\frac{10^3}{45}u_1(t_2 - t_1) + u_{o1}(t_1)$$

(2) 电压传输特性曲线如图 9.11(a)所示。各输出电压波形如图 9.11(b)所示。

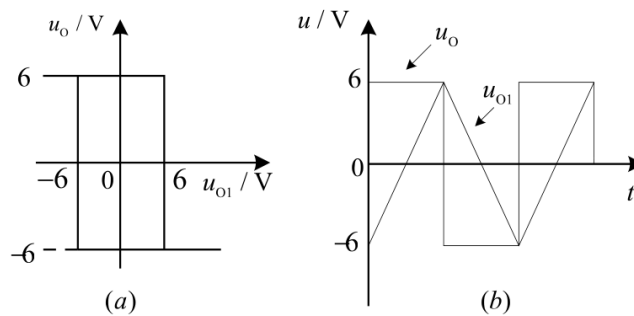


图 9.11 习题 9.17 图

(3) 由 $U_T = \frac{10^3}{2 \times 45}u_1 T - U_T$, 得到 $T = \frac{1.08}{u_1}$, 故 $f \approx 0.926u_1$

9.18 解:

$$\text{振荡频率 } f = \frac{1}{2\pi RC} \approx 1\text{kHz}$$

仿真电路图及输出电压波形如图 9.12 所示。

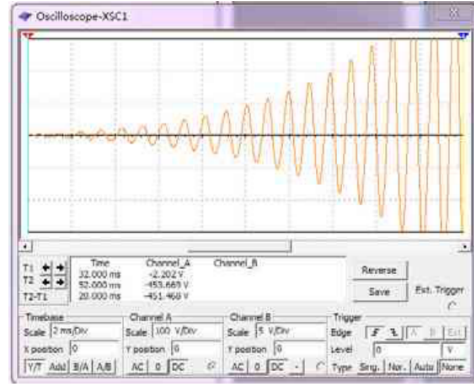
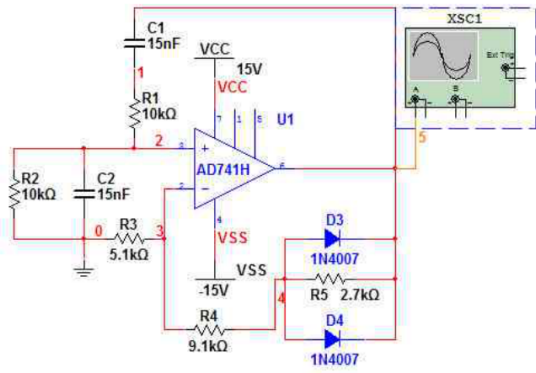
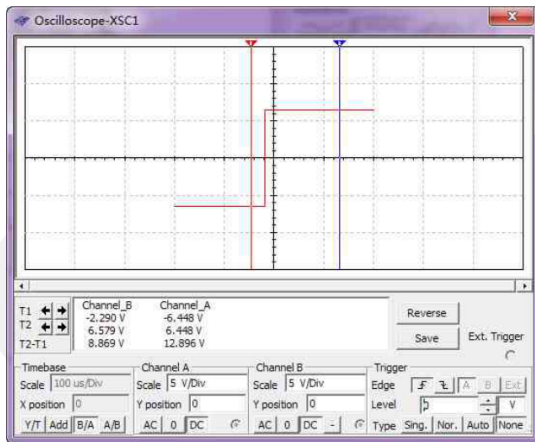
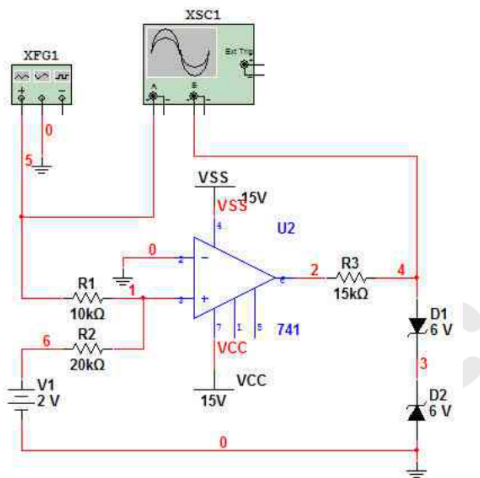
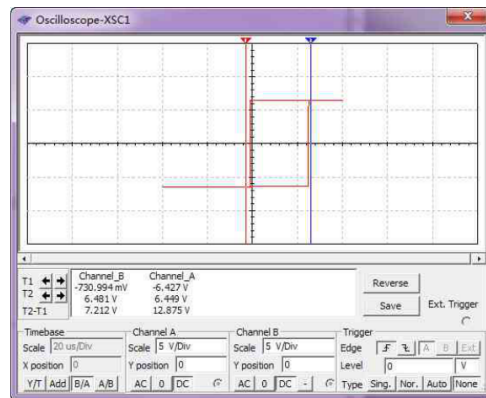
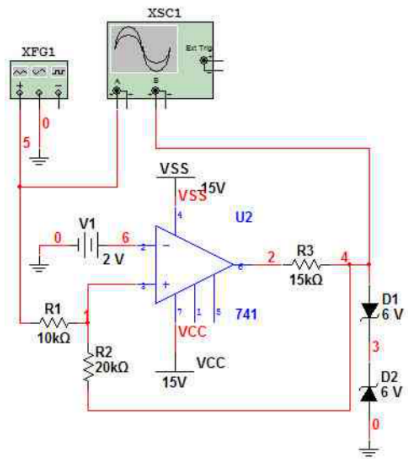


图 9.12 习题 9.18 图

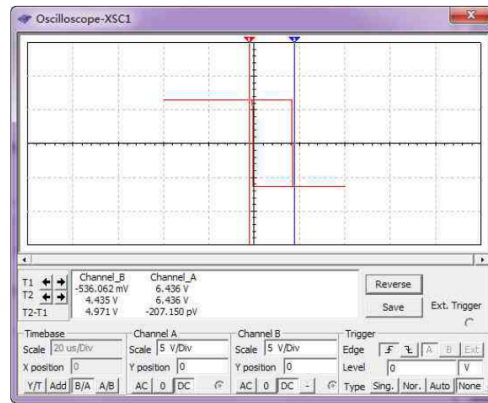
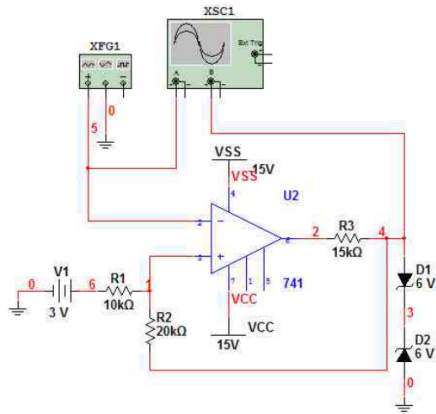
9.19 仿真电路图及电压传输特性曲线如图 9.13 所示。



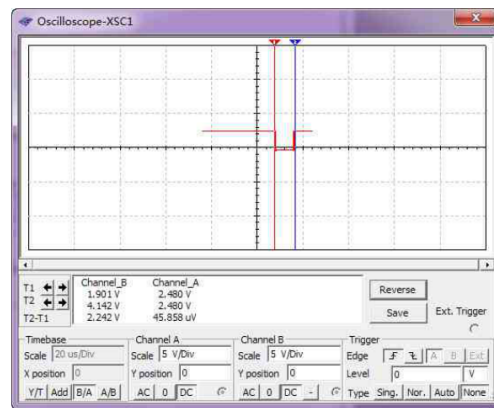
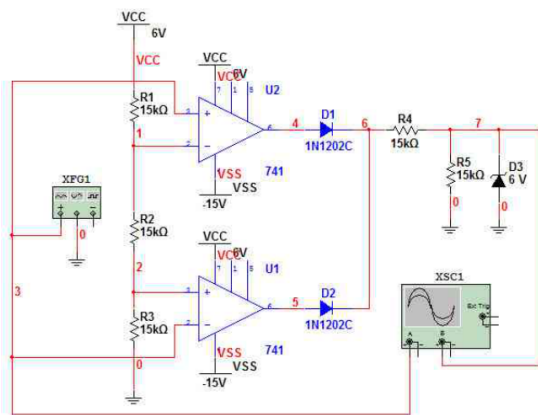
(a)



(b)



(c)



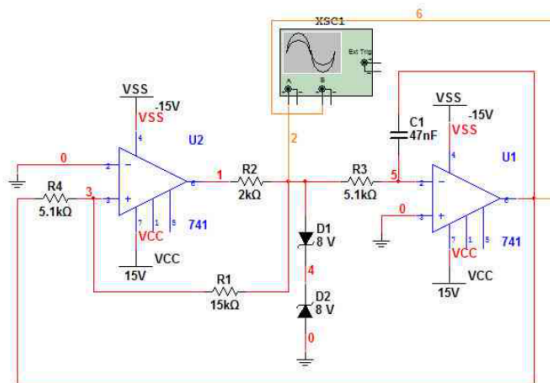
(d)

图 9.13 习题 9.19 图

9.20 解:

$$\text{振荡频率 } f_0 = \frac{R_2}{4R_1RC} \approx 3.1\text{kHz}$$

仿真电路图及输出电压波形如图 9.14 所示。



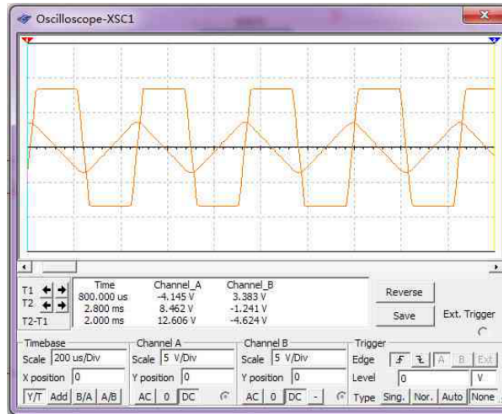


图 9.14 习题 9.20 图

doc in 豆丁
www.docin.com

第十章

1. 电路如图 10.46 所示, 变压器副边电压有效值为 $2U_2$, 二极管当作理想元件
- (1) 画出 u_2 、 u_{D1} 和 u_o 的波形;
 - (2) 求出输出电压平均值 U_{OL} 和输出电流平均值 I_{OL} 的表达式;
 - (3) 二极管的平均电流 I_{DL} 和所承受的最大反向电压 U_{Rmax} 的表达式。

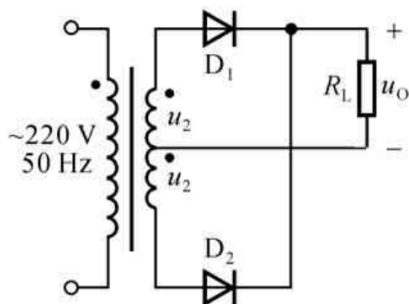
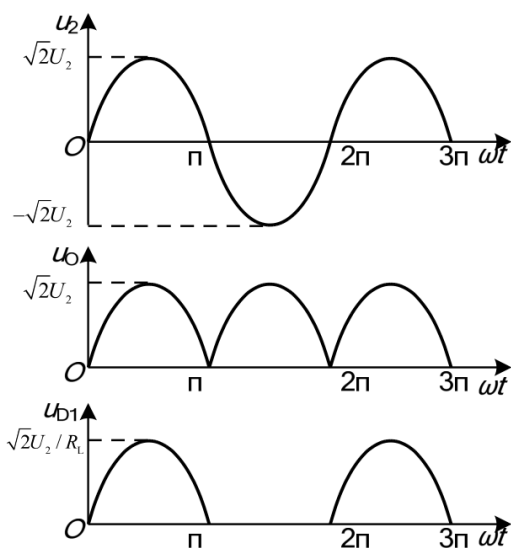


图 10.46 题 1 图

解: (1) 全波整流电路, 波形如图所示。



- (2) 输出电压平均值 U_{OL} 和输出电流平均值 I_{OL} 为

$$U_{OL} \approx 0.9U_2 \quad I_{OL} \approx \frac{0.9U_2}{R_L}$$

- (3) 二极管的平均电流 I_{DL} 和所承受的最大反向电压 U_{Rmax} 为

$$I_{DL} \approx \frac{0.45U_2}{R_L} \quad U_{Rmax} = 2\sqrt{2}U_2$$

2. 电路如图 10.47 所示, 变压器副边电压有效值 $U_{21} = 50V$, $U_{22} = 20V$ 。试问:

- (1) 输出电压平均值 U_{O1L} 和 U_{O2L} 各为多少; 流过 R_{L1} 和 R_{L2} 的电流平均值 I_{O1L} 和 I_{O2L} 各为多少?
- (2) 各二极管承受的最大反向电压和流过各二极管的平均电流为多少?

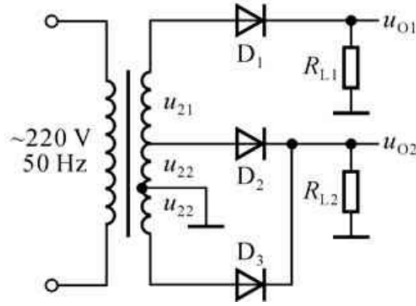


图 10.47 题 2 图

解: (1) 输出电压平均值 U_{O1L} 和 U_{O2L} 各为多少; 流过 R_{L1} 和 R_{L2} 的电流平均值 I_{O1L} 和 I_{O2L} 各为

$$U_{O1L} \approx 0.45 (U_{21} + U_{22}) = 31.5V; I_{O1L} = U_{O1L} / R_{L1}$$

$$U_{O2L} \approx 0.9U_{22} = 18V; I_{O2L} = U_{O2L} / R_{L2}$$

(2) D_1 的最大反向电压和平均电流

$$U_{R1} = \sqrt{2}(U_{21} + U_{22}) \approx 99V; I_{D1} = I_{O1L}$$

D_2 、 D_3 的最大反向电压和平均电流

$$U_{R2} = U_{R3} = 2\sqrt{2}U_{22} \approx 57V; I_{D2} = I_{D3} = \frac{I_{O2L}}{2}$$

3. 电路如图 10.48 所示。

- (1) 分别标出 u_{O1} 和 u_{O2} 对地的极性;
- (2) u_{O1} 和 u_{O2} 分别是半波整流还是全波整流;
- (3) 当 $U_{21} = U_{22} = 20V$ 时, U_{O1L} 和 U_{O2L} 各为多少?
- (4) 当 $U_{21} = 18V$, $U_{22} = 22V$ 时, 画出 u_{O1} 和 u_{O2} 的波形; 并求出 U_{O1L} 和 U_{O2L} 各为多少?

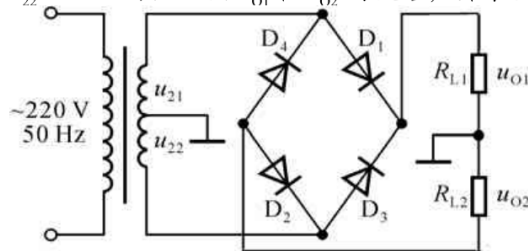


图 10.48 题 3 图

解: (1) 均为上“+”、下“-”。

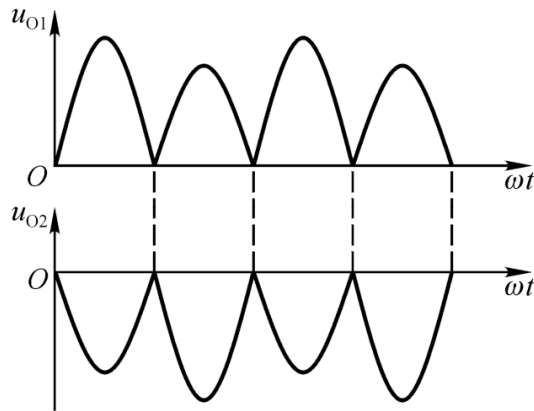
(2) 均为全波整流。

(3) U_{O1L} 和 U_{O2L} 为

$$U_{O1L} = -U_{O2L} \approx 0.9U_{21} = 0.9U_{22} = 18V$$

(4) u_{O1} 、 u_{O2} 的波形如图所示。它们的平均值为

$$U_{O1L} = -U_{O2L} \approx 0.45U_{21} + 0.45U_{22} = 18V$$



4. 电路如图 10.49 所示, 分析电路出现如下情况时会产生什么现象。

- (1) 二极管 D_2 正负极接反; (2) 二极管 D_2 短路; (3) 二极管 D_2 开路。

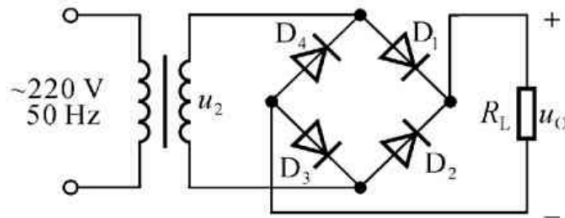


图 10.49 题 4 图

解: (1) 电流很大, 因此变压器及整流二极管 D_1 、 D_2 将被烧坏。

(2) 电流很大, 因此变压器及整流二极管 D_1 将被烧坏。

(3) 电路为单相半波整流电路, 输出电压脉动增大, 平均值减小。

5. 如图 10.50 所示电路中, 设变压器副边电压有效值为 $U_2 = 12\text{V}$, $R_L C = (3 \sim 5)T/2$ 。

(1) 求电路输出电压平均值 U_{OL} ;

(2) 若滤波电容 C 虚焊, 求电路输出电压平均值 U_{OL} ;

(3) 若负载 R_L 开路, 求电路输出电压平均值 U_{OL} ;

(4) 若二极管 D_2 和滤波电容 C 同时断开, 求电路输出电压平均值 U_{OL} 。

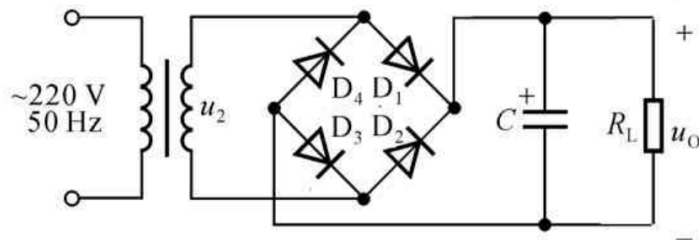


图 10.50 题 5、6 图

解: (1) 14.4V (2) 10.8V (3) 17V (4) 5.4V

6. 如图 10.50 所示电路中, 已知负载电阻 $R_L = 50\Omega$, 输出电压 $U_O = 24\text{V}$ 。

(1) 选择合适的整流二极管型号;

(2) 选择合适的滤波电容 (容量及耐压值); 若电容 C 短路, 则有何后果?

(3) 求电源变压器副边电压和电流的有效值 U_2 和 I_2 。

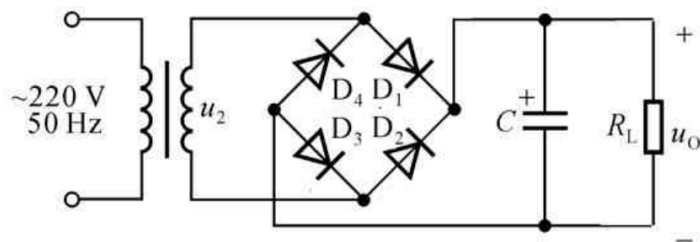


图 10.50 题 5、6 图

解: (1) 整流二极管平均电流:

$$I_D = I_O / 2 = 24 / 50 \times 2 = 240 \text{mA}$$

设变压器副边电压有效值为 U_2 , 取 $U_O = 1.2U_2$, 则

$$U_2 = U_O / 1.2 = 24 / 1.2 = 20 \text{V}.$$

整流二极管承受的最大反向电压:

$$U_{R \max} = \sqrt{2}U_2 = \sqrt{2} \times 20 = 28.2 \text{V}.$$

考虑到电网电压波动范围为 $\pm 10\%$, 整流二极管的参数为:

$$I_F > 1.1 \times 240 = 264 \text{mA}; \quad U_R > 1.1 \times U_{R \max} = 1.1 \times 28.2 \approx 31 \text{V}.$$

所以可以选择 $I_F = 500 \text{mA}$, $U_R = 100 \text{V}$ 的 2CP1D 型二极管。

(2) 为了获得较好的滤波效果, 滤波电容的容量应该满足: $R_L C = (3 \sim 5)T/2$ 。

若取 $R_L C = 5 \times (T/2)$, 即

$$C = \frac{5T}{2R_L} = \frac{5 \times 0.02}{2 \times 50} = \frac{5 \times 0.02}{2(30/0.15)} = 1000 \mu\text{F}$$

若取 $R_L C = 3 \times (T/2)$, 即

$$C = \frac{3T}{2R_L} = \frac{3 \times 0.02}{2 \times 50} = 600 \mu\text{F}$$

考虑到电网电压波动范围为 $\pm 10\%$, 要求电容耐压值不低于

$$1.1 \times U_{R \max} = 1.1 \times 28.2 \approx 31 \text{V}$$

所以可以选择容量在 $600 \sim 1000 \mu\text{F}$ 之间, 耐压为 50V 的滤波电容。

若电容 C 短路, 整流二极管将会由于电流过大而损坏。

$$(3) U_2 = U_O / 1.2 = 24 / 1.2 = 20 \text{V};$$

有电容滤波时,

$$I_2 = (1.5 \sim 2)I_O = (1.5 \sim 2) \times (24/50) = 720 \sim 960 \text{mA}$$

7. 分别判断如图 10.51 所示各电路能否作为滤波电路, 简述理由。

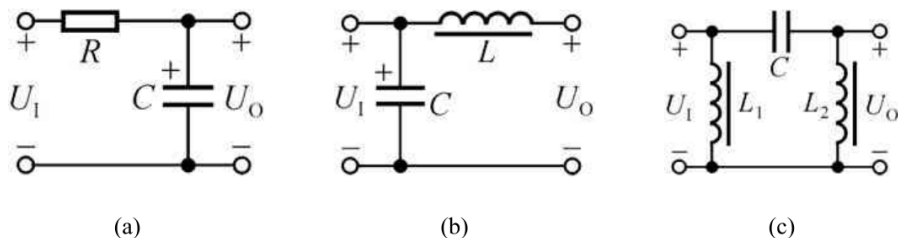


图 10.51 题 7 图

解: 图 (a)、(b) 所示电路可用于滤波, 图 (c) 所示电路不能用于滤波。

因为电感对直流分量的电抗很小、对交流分量的电抗很大, 所以在滤波电路中应将电感串联在整流电路的输出和负载之间。因为电容对直流分量的电抗很大、对交流分量的电抗很小, 所以在滤波电路中应将电容并联在整流电路的输出或负载上。

8. 如图 10.52 所示电路中, 标出各电容两端电压的极性和数值, 并分析负载电阻上能够获得几倍压的输出。

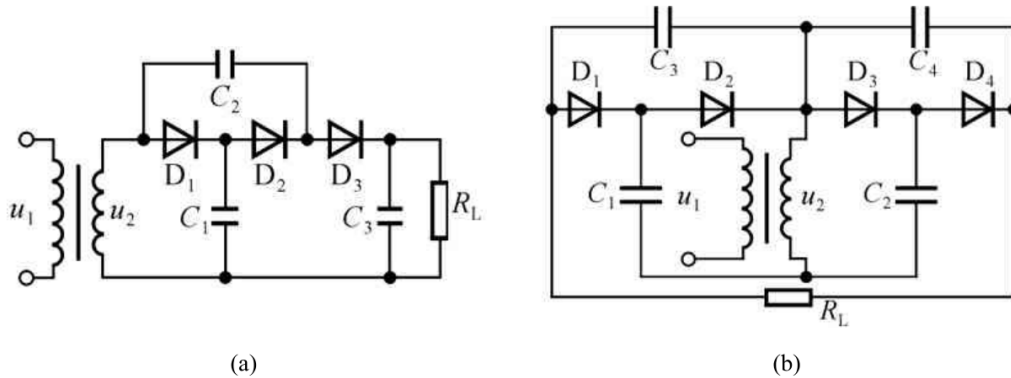


图 10.52 题 8 图

解: 在图 (a) 所示电路中, C_1 上电压极性为上“+”下“-”, 数值为一倍压; C_2 上电压极性为右“+”左“-”, 数值为二倍压; C_3 上电压极性为上“+”下“-”, 数值为三倍压。负载电阻上为三倍压。

在图 (b) 所示电路中, C_1 上电压极性为上“-”下“+”, 数值为一倍压; C_2 上电压极性为上“+”下“-”, 数值为一倍压; C_3 、 C_4 上电压极性均为右“+”左“-”, 数值均为二倍压。负载电阻上为四倍压。

9. 稳压电路如图 10.53 所示。稳压管的稳定电压 $U_Z = 6V$; 最小稳定电流 $I_{Zmin} = 5mA$, 最大稳定电流 $I_{Zmax} = 40mA$; 输入电压 $U_1 = 15V$, 波动范围为 $\pm 10\%$ 。

- (1) 求稳压管最大允许的耗散功率;
- (2) 如果限流电阻 R 为 200Ω , 则电路能否空载; 负载电流 I_O 的变化范围为多少?
- (3) 负载电阻 R_L 为 $400 \sim 600\Omega$ 时, 求限流电阻 R 的取值范围。

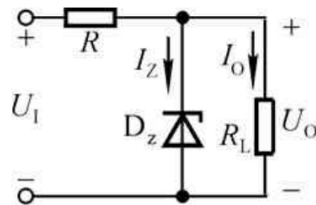


图 10.53 题 9 图

解: (1) $P_{ZM} = U_Z \cdot I_{Zmin} = 6 \times 5 = 30W$

(2) 由于空载时稳压管流过的最大电流

$$I_{Dz \max} = I_{R \max} = \frac{U_{I \max} - U_Z}{R} = 52.5mA > I_{Z \max} = 40mA$$

所以电路不能空载。

根据 $I_{Dz \min} = \frac{U_{I \min} - U_Z}{R} - I_{L \max}$, 负载电流的最大值

$$I_{L \max} = \frac{U_{I \min} - U_Z}{R} - I_{Dz \min} = 32.5mA$$

根据 $I_{D_z \max} = \frac{U_{I \max} - U_Z}{R} - I_{L \min}$, 负载电流的最小值

$$I_{L \min} = \frac{U_{I \max} - U_Z}{R} - I_{D_z \max} = 12.5 \text{mA}$$

所以, 负载电流的范围为 12.5 ~ 32.5mA。

$$(3) R_{\min} = \frac{U_{I \max} - U_Z}{I_{Z \max} + I_{O \min}} = \frac{1.1U_1 - U_O}{I_{Z \max} + \frac{U_O}{R_{L \max}}} = \frac{1.1 \times 15 - 6}{0.04 + (6/600)} = 210 \Omega$$

$$R_{\max} = \frac{U_{I \min} - U_Z}{I_{Z \min} + I_{O \max}} = \frac{0.9U_1 - U_O}{I_{Z \min} + \frac{U_O}{R_{L \min}}} = \frac{0.9 \times 15 - 6}{0.005 + (10/400)} = 250 \Omega$$

10. 电路如图 10.54 所示, 已知稳压管的稳定电压为 6V, 最小稳定电流为 5mA, 允许耗散功率为 240mW; 输入电压为 20 ~ 24V, $R_1 = 360 \Omega$ 。试问:

- (1) 为保证空载时稳压管能够安全工作, R_2 应选多大?
- (2) 当 R_2 按上面原则选定后, 负载电阻允许的变化范围是多少?

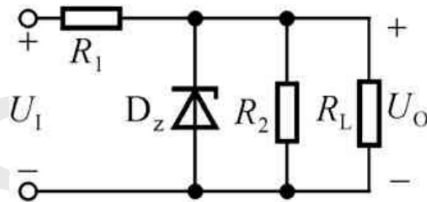


图 10.54 题 10 图

解: R_1 中的电流和稳压管中的最大电流为

$$I_{R1} = \frac{U_1 - U_Z}{R_1} \approx 39 \sim 50 \text{mA}$$

$$I_{Z \max} = \frac{P_{ZM}}{U_Z} = 40 \text{mA}$$

- (1) 为保证空载时稳压管能够安全工作

$$R_2 = \frac{U_Z}{(I_{R1 \max} - I_{Z \max})} = 600 \Omega$$

- (2) 负载电流的最大值

$$I_{L \max} = I_{R1 \min} - I_{R2} - I_{Z \min} = 24 \text{mA}$$

负载电阻的变化范围

$$R_{L \min} = \frac{U_Z}{I_{L \max}} = 250 \Omega$$

$$R_{L \min} = \infty$$

11. 电路如图 10.55 所示, 稳压管的稳定电压 $U_Z = 4.3 \text{V}$, 晶体管的 $U_{BE} = 0.7 \text{V}$, $R_0 = 5 \Omega$, $R_1 = R_2 = R_3 = 300 \Omega$ 。

- (1) 指出电路中调整管、采样电路、基准电压电路、比较放大电路和保护电路由哪些

元件组成;

- (2) 求输出电压的变化范围;
- (3) 求调整管发射极允许的最大电流;
- (4) 输入电压 $U_1 = 25V$ ，波动范围为 $\pm 10\%$ ，则调整管的最大功耗为多少?

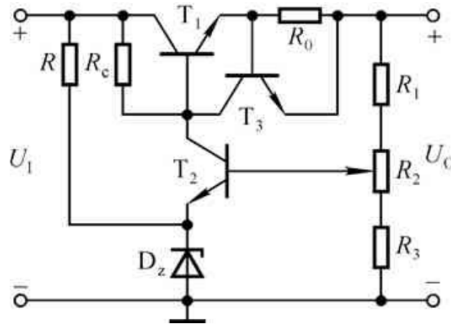


图 10.55 题 11 图

解: (1) 调整管为 T_1 ，采样电路由 R_1 、 R_2 、 R_3 组成，基准电压电路由 R 、 D_z 组成，比较放大电路由 T_2 、 R_c 组成，保护电路由 R_0 、 T_3 组成;

(2) 基准电压 $U_R = U_Z + U_{BE} = 5V$ ，输出电压的可调范围

$$U_O = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_2 + R_3} \cdot U_Z \sim \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_3} \cdot U_Z$$

$$= 7.5 \sim 15V$$

(3) 调整管发射极最大电流 $I_{E\max} = U_{BE} / R_0 \approx 140mA$

(4) 调整管的最大管压降和最大功耗分别为

$$U_{CE\max} = U_{I\max} - U_{O\min} = 20V$$

$$P_{T\max} \approx I_{E\max} U_{CE\max} \approx 2.8W$$

12. 直流稳压电源如图 10.56 所示。

- (1) 说明电路的整流电路、滤波电路、调整管、基准电压电路、比较放大电路、采样电路等部分各由哪些元件组成;
- (2) 标出集成运放的同相输入端和反相输入端;
- (3) 写出输出电压的表达式。

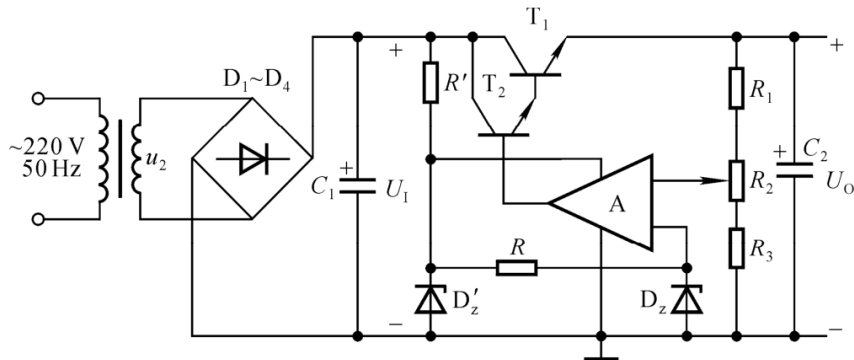


图 10.56 题 12 图

解: (1) 整流电路: $D_1 \sim D_4$; 滤波电路: C_1 ; 调整管: T_1 、 T_2 ; 基准电压电路: R' 、 D'_z 、

R 、 D_z ; 比较放大电路: A ; 取样电路: R_1 、 R_2 、 R_3 。

(2) 为了使电路引入负反馈，集成运放的输入端上为“-”下为“+”。

(3) 输出电压的表达式为

$$\frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_2 + R_3} \cdot U_Z \leq U_O \leq \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_3} \cdot U_Z$$

13. 电路如图 10.57 所示, 已知稳压管的稳定电压 $U_Z = 6V$, 晶体管的 $U_{BE} = 0.7V$, $R_1 = R_2 = R_3 = 300\Omega$, $U_1 = 24V$ 。判断出现下列故障时, 电路输出电压的大小或者取值范围。

- (1) T_1 的 c、e 短路; (2) R_c 短路; (3) R_2 短路;
 (4) T_2 的 b、c 短路; (5) R_1 短路。

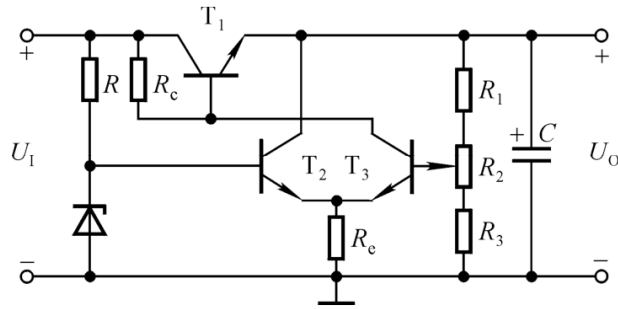


图 10.57 题 13 图

- (1) $U_O \approx 24V$;
 (2) $U_O \approx 23.3V$;
 (3) $U_O \approx 12V$;
 (4) $U_O \approx 6V$;
 (5) U_O 可调范围变为 $6 \sim 12V$ 。

14. 串联型稳压电路如图 10.58 所示, 其中变压器副边电压有效值 $U_2 = 18V$, 稳压管的稳定电压 $U_Z = 6V$, $R_1 = 270\Omega$, $R_2 = R_3 = 470\Omega$ 。

(1) 说明电路的整流电路、滤波电路、调整管、基准电压电路、比较放大电路、采样电路等部分各由哪些元件组成;

- (2) 当电容足够大时, 估算整流滤波电路的输出电压 U_d ;
 (3) 求输出电压的最大值和最小值。

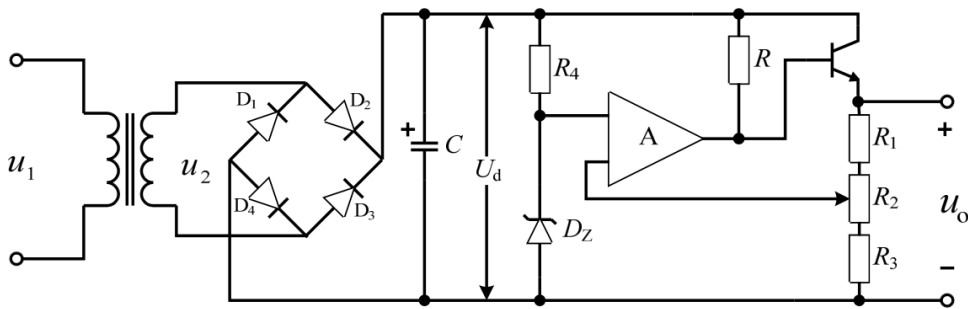


图 10.58 题 14 图

解: (1) 整流电路: $D_1 \sim D_4$; 滤波电路: C ; 调整管: 图中的三极管; 基准电压电路: R_4 、 D_Z ; 比较放大电路: A ; 取样电路: R_1 、 R_2 、 R_3 。

(2) $U_d = 1.2 \times U_2 = 1.2 \times 18 = 21.6V$

(3) $U_{Omax} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_2 + R_3} \cdot U_Z = 15.45V$

$$U_{Omin} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_3 + R_2} \cdot U_Z = 7.72V$$

15. 电路如图 10.59 所示, 设 $I'_1 \approx I'_O = 1.5A$, 晶体管 T 的 $U_{EB} \approx U_D$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, I_D , I_B 。求负载电流 I_L 与 I'_O 的关系式。

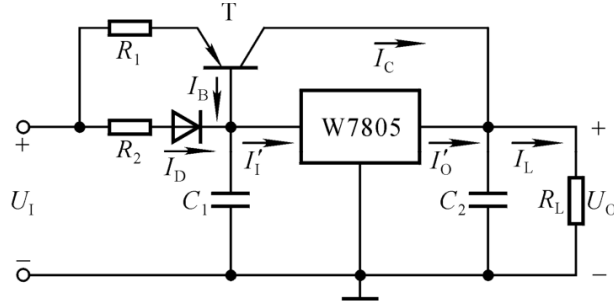


图 10.59 题 15 图

解: 因为 $U_{EB} \approx U_D$, $I_E R_1 \approx I_D R_2 \approx I'_1 R_2 \approx I'_O R_2$, $I_C \approx I_E$, 所以

$$I_C \approx \frac{R_2}{R_1} \cdot I'_O$$

$$I_L \approx \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot I'_O = 4.5A$$

16. 如图 10.60 所示桥式整流滤波及稳压电路,

- (1) 试找出电路中的错误, 并改正;
- (2) 7805 的 2、3 端之间的电压为多少?
- (3) 求该电路输出电压的最大值和最小值。

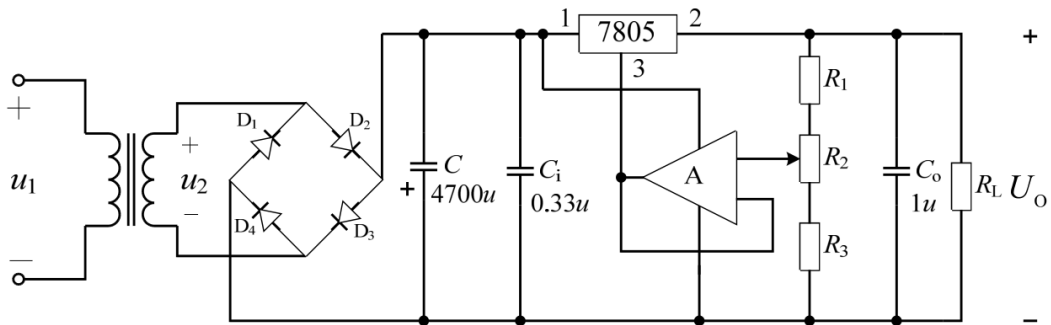


图 10.60 题 16 图

解: (1) 二极管 D_3 、 D_4 方向接反, 电容 C 正负极接反。改正如图所示。

(2) 7805 的 2、3 端之间的电压 5V。

$$(3) U_{Omax} = \left(\frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1} \times 5\right) V$$

$$U_{Omin} = \left(\frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1 + R_2} \times 5\right) V$$

17. 如图 10.61 桥式整流滤波稳压电路, $R_1 = R_2 = R_3 = 1k\Omega$, $R_4 = 2k\Omega$, $R_5 = 3k\Omega$ 。

- (1) 去掉图中①②两个节点右侧的全部电路, 并用一个电阻 R 代替, 定性画出电阻 R 上的电压的波形;
- (2) 说明电容 C 的作用;
- (3) 说明 7905 的 2 脚与 1 脚之间的电压差为多少?
- (4) 计算电路的输出电压的取值范围。

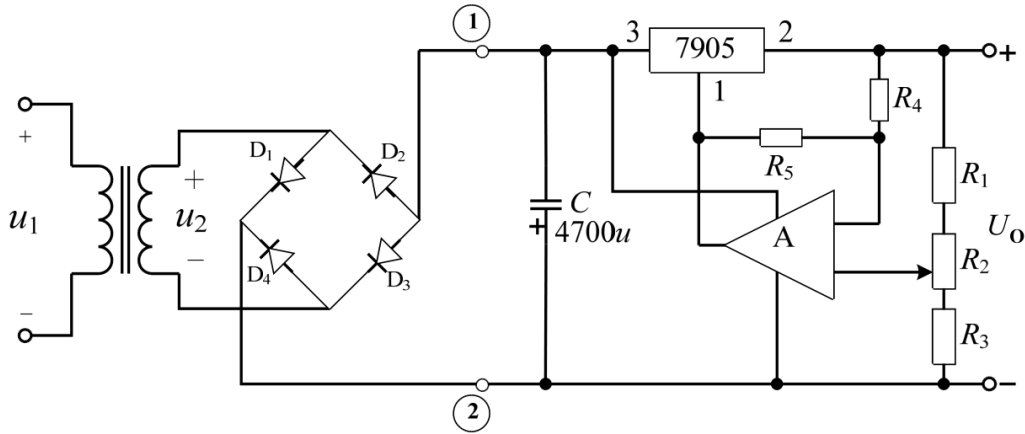
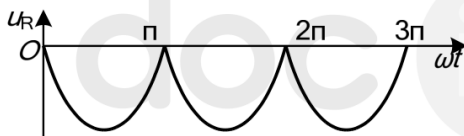


图 10.61 题 17 图



解: (1)

(2) 滤波

(3) $-5V$

$$(4) U_{Omin} = -\left(\frac{R_4}{R_5 + R_4} \times \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1} \times 5\right) = -6V$$

$$U_{Omax} = -\left(\frac{R_4}{R_5 + R_4} \times \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1 + R_2} \times 5\right) = -3V$$

18. 如图 10.62 所示电路中, 已知输出电压最大值为 $25V$, $R_1 = 240\Omega$, W117 的输入端和输出端的电压差的取值范围为 $3 \sim 40V$ 。

- (1) 输出电压的最小值;
- (2) 求 R_2 的大小;
- (3) 求输入电压 U_1 允许的取值范围;
- (4) 若输入电压 U_1 的波动范围为 $\pm 10\%$, 求 U_1 的取值范围。

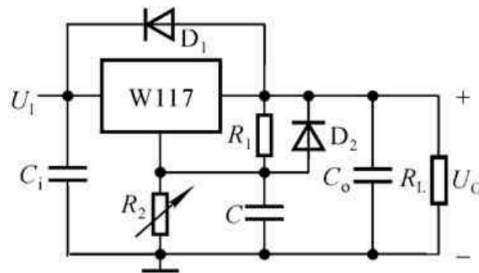


图 10.62 题 18 图

解: (1) 输出电压的最小值 $U_{Omin} = 1.25V$

(2) 因为

$$U_{Omax} = (1 + \frac{R_2}{R_1}) \times 1.25V = 25V$$

$$R_1 = 240\Omega$$

所以 $R_2 = 4.56k\Omega$

(3) 输入电压的取值范围为

$$U_{Imin} \approx \frac{U_{Omax} + U_{12min}}{0.9} \approx 31.1V$$

$$U_{Imax} \approx \frac{U_{Omin} + U_{12max}}{1.1} \approx 37.5V$$

19. 并联型开关稳压电源的原理图如图 10.63 所示, PWM 控制电路的组成与串联型开关稳压电源相同, 试分析它的工作原理。

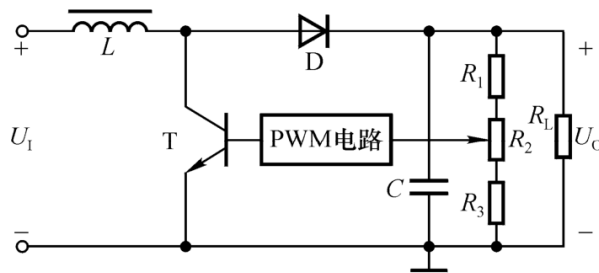


图 10.63 题 19 图

解: 当 PWM 控制电路输出高电平时, 晶体管 T 饱和导通, 其集电极电位近似为零, 使二极管反偏截止, 输入电压 U_1 加在电感两端, 使之储能, 同时电容对负载放电, 供给负载电流。

当 PWM 控制电路输出低电平时, 晶体管 T 截止, 由于电感电流不能突变, 从而产生自感电动势并通过二极管向电容充电, 以补充放电时所消耗的能量, 同时向负载供电。

此后, PWM 控制电路输出再为高电平、低电平, 晶体管再次导通、截止, 重复上述过程。

因此, 负载上获得稳定的直流电压输出。同样可以用改变晶体管导通和截止时间来调节输出电压的大小。