

第一章答案

1.3 二极管电路如图 1.3 所示。已知直流电源电压为 6V，二极管直流管压降为 0.7V。

- (1) 试求流过二极管的直流电流。
- (2) 二极管的直流电阻 R_D 和交流电阻 r_D 各为多少？

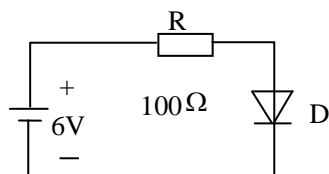


图 1.3

解：(1) 流过二极管的直流电流也就是图 1.3 的回路电流，即

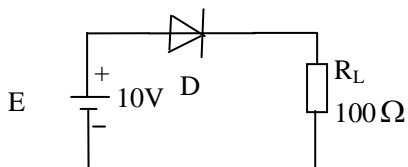
$$I_D = \frac{6 - 0.7}{100} \text{ A} = 53 \text{ mA}$$

$$(2) \quad R_D = \frac{0.7 \text{ V}}{53 \times 10^{-3} \text{ A}} = 13.2 \Omega$$

$$r_D = \frac{U_T}{I_D} = \frac{26 \times 10^{-3} \text{ V}}{53 \times 10^{-3} \text{ A}} = 0.49 \Omega$$

1.4 二极管电路如题图 1.4 所示。

- (1) 设二极管为理想二极管，试问流过负载 R_L 的电流为多少？
- (2) 设二极管可看作是恒压降模型，并设二极管的导通电压 $U_{D(on)} = 0.7 \text{ V}$ ，试问流过负载 R_L 的电流是多少？
- (3) 设二极管可看作是折线模型，并设二极管的门限电压 $U_{D(on)} = 0.7 \text{ V}$ ， $r_{D(on)} = 20 \Omega$ ，试问流过负载的电流是多少？
- (4) 将电源电压反接时，流过负载电阻的电流是多少？
- (5) 增加电源电压 E，其他参数不变时，二极管的交流电阻怎样变化？



题图 1.4

解：(1) $I = \frac{E}{R_L} = 100 \text{ mA}$

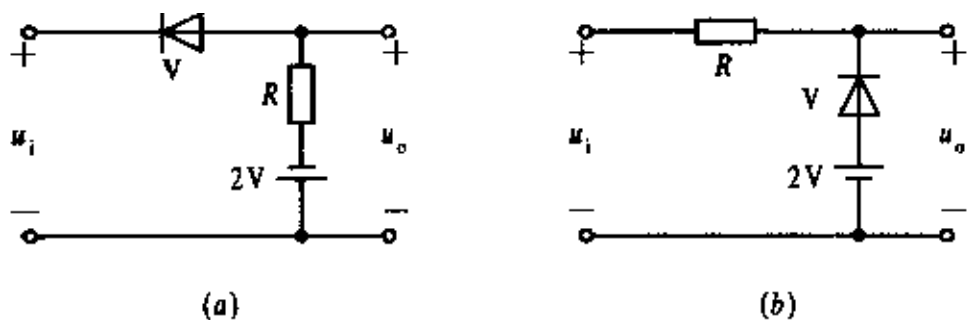
$$(2) \quad I = \frac{E - U_{D(on)}}{R_L} = 94 \text{ mA}$$

$$(3) \quad I = \frac{E - U_{D(on)}}{R_L + R_D} = 78.3 \text{ mA}$$

$$(4) \quad I = -I_S \text{ 或 } I \approx 0$$

$$(5) \quad E \text{ 增加, 直流电流 } I_D \text{ 增加, 交流电阻 } \frac{U_T}{I_D} \text{ 下降。}$$

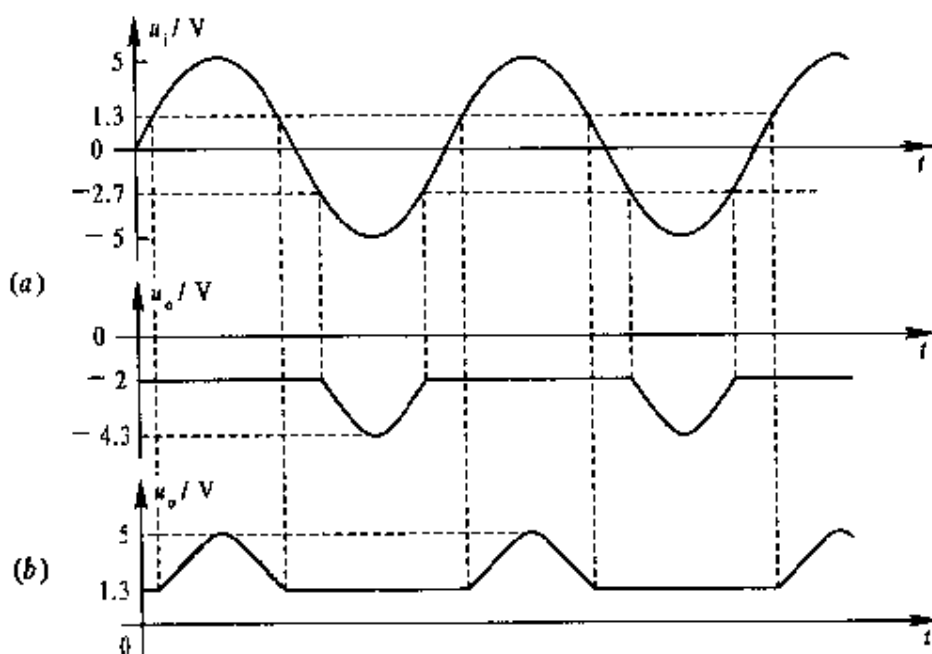
1.7 二极管限幅电路如图 1.7(a)、(b)所示。将二极管等效为恒压降模型，且 $U_{D(on)} = 0.7 \text{ V}$ 。若 $u_i = 5 \sin \omega t (\text{V})$ ，试画出 u_o 的波形。



题图 1.7

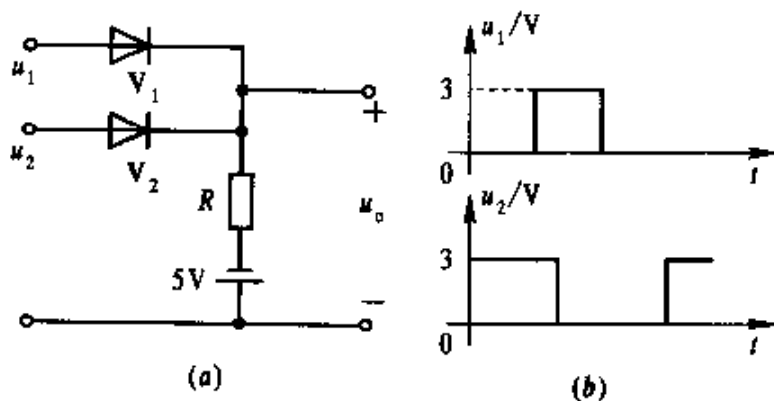
解: (1)在图(a)中: 当 $u_i > -2.7V$ 时, V 管截止, $u_o = -2V$; 当 $u_i \leq -2.7V$ 时, V 管导通, $u_o = u_i$ 。当 $u_i = 5\sin \omega t(V)$ 时, 对应的 u_o 波形如图答图 1.7(a)所示。

(2)在图(b)中: 当 $u_i > 1.3V$ 时, V 管截止, $u_o = u_i$; 当 $u_i \leq 1.3V$ 时, V 管导通, $u_o = 2V$ 。其相应波形如答图 1.7 (b)所示。



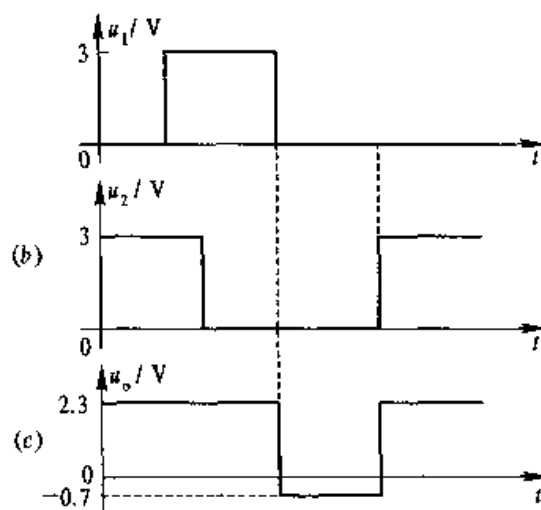
答图 1.7

1.9 在题图 1.9 (a)所示电路中, 二极管等效为恒压降模型。已知输入电压 u_1 、 u_2 的波形如题图 1.9(b)所示, 试画出 u_o 的波形。



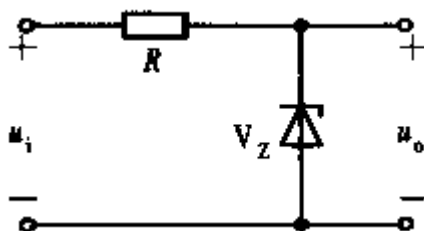
题图 1.9

解: 该电路为高电平选择电路, 即 u_1 、 u_2 中至少有一个为 $3V$, 则 $u_o = 3 - 0.7 = 2.3V$ 。 u_1 、 u_2 均为 0 时, $u_o = -0.7V$ 。其波形答图 1.9(c)所示。



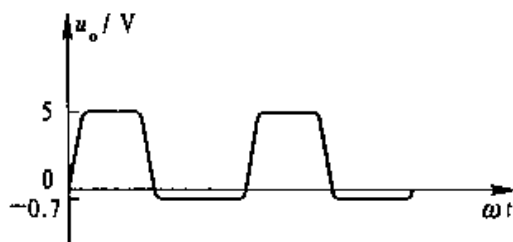
答图 1.9

1.10 在题图 1.10 所示电路中, 设稳压管的 $U_z = 5V$, 正向导通压降为 $0.7V$ 。若 $u_i = 10 \sin \omega t (V)$, 试画出 u_o 的波形。



题图 1.10

解: 当 $u_i \geq 5V$ 时, V_z 击穿, $u_o = 5V$ 。当 $u_i \leq -0.7V$ 时, V_z 正向导通, $u_o = -0.7V$ 。
当 $-0.7V < u_i < 5V$ 时, V_z 截止, $u_o = u_i$ 。由此画出的 u_o 波形如答图 1.10 所示。

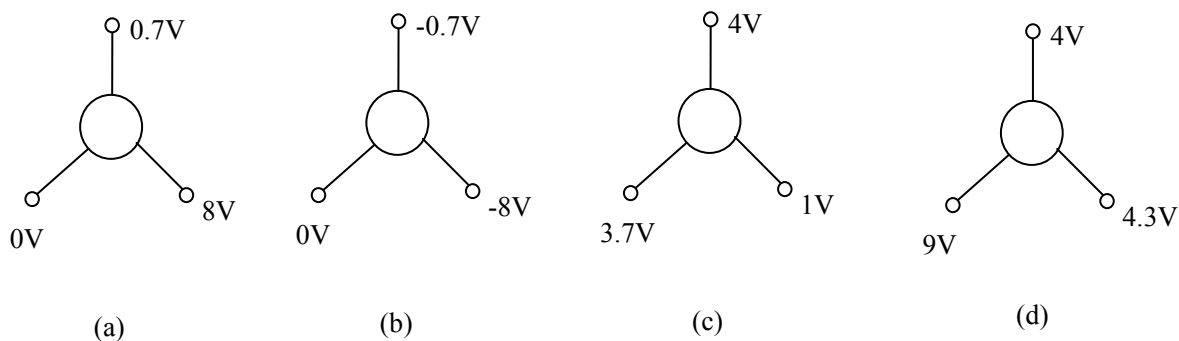


答图 1.10

$$|\Delta U_o| = U_z \frac{r_z}{R_L + r_z} = 10 \times \frac{12}{1000 + 12} = 118.69(\text{mV})$$

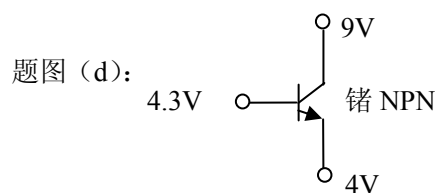
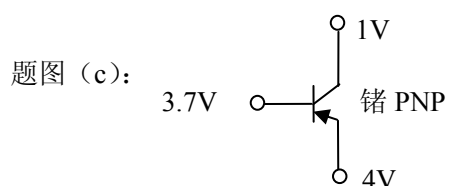
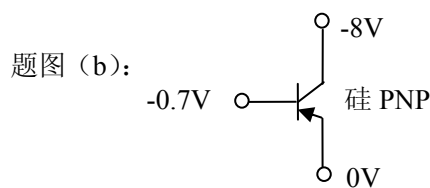
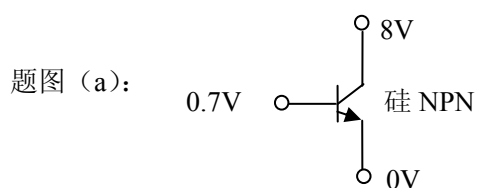
习题答案

2.1 已知晶体管工作在线性放大区，并测得个电极对地电位如题图 2.1 所示。试画出各晶体管的电路符号，确定每管的 b、e、c 极，并说明是锗管还是硅管。

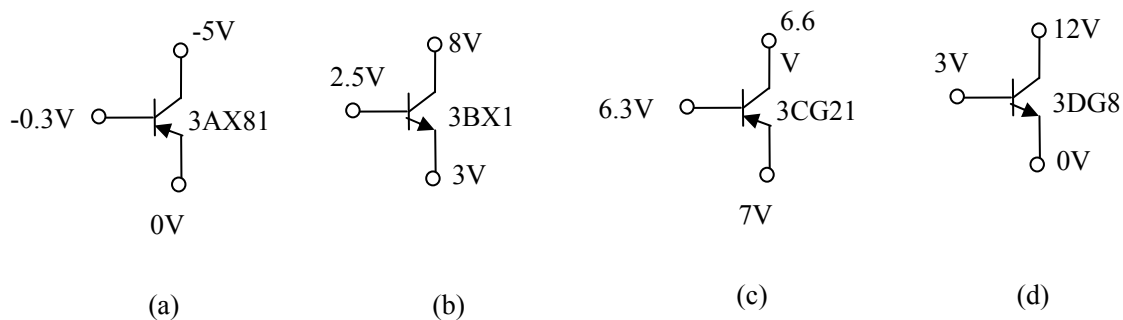


题图 2.1

解：



2.3 已测得晶体管电极各电极对地电位如题图 2.3 所示，试判别各晶体管的工作状态（放大、饱和、截止或损坏）。



题图 2.3

解：题图 (a) 3AX 为 PNP 锗管， $U_{BE} = -0.3\text{V}$ （正偏）， $U_{CE} = -4.7\text{V}$ （反偏），放大状态

题图 (b)：e 结反偏，c 结反偏，截止状态

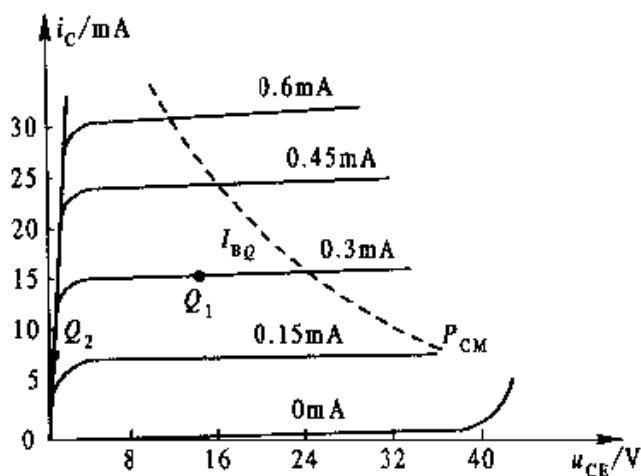
题图 (c)：e 结正偏，c 结正偏，饱和状态

题图 (d)：e 结开路，晶体管损坏

2.6 某晶体管的共射输出特性曲线如题图 2.6 所示

(1) 求 $I_{BQ}=0.3\text{mA}$ 时， Q_1 、 Q_2 点的 β 值。

(2) 确定该管的 $U_{(BR)CEO}$ 和 P_{CM} 。

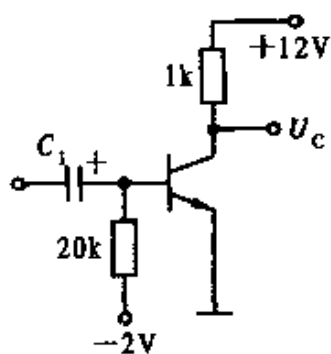


题图 2.6

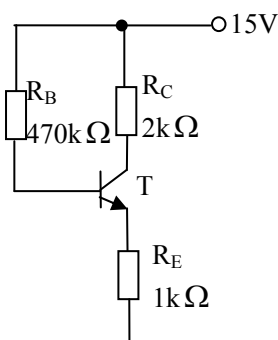
解：(1) Q_1 点： $\beta \approx 50$, Q_2 点： $\beta \approx 0$ 。

(2) $U_{(BR)CEO} \approx 40\text{V}$, $P_{CM} \approx 330\text{mW}$ 。

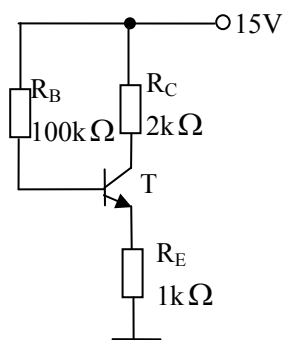
2.7 硅晶体管电路如题图 2.7 所示。设晶体管的 $U_{BE(on)} = 0.7\text{V}$ ， $\beta = 100$ 。判别电路的工作状态。



(a)



(b)



(c)

题图 2.7

解：在题图(a)中，由于 $U_{BE} < 0$ ，因而管子处于截止状态。 $U_c = U_{cc} = 12\text{V}$ 。

题图 (b)：

$$I_{BQ} = \frac{15 - 0.7}{R_B + (1 + \beta)R_E} = 25 \mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 2.5 mA$$

$$U_{CEQ} = 15 - 2.5 \times 3 = 7.5 (V)$$

处于放大状态

题图 (c): $I_{BQ} = 71 \mu A$, $I_{CQ} = 7.1 mA$

$$U_{CEQ} = 15 - 7.1(2 + 1) = -6.3 (V)$$

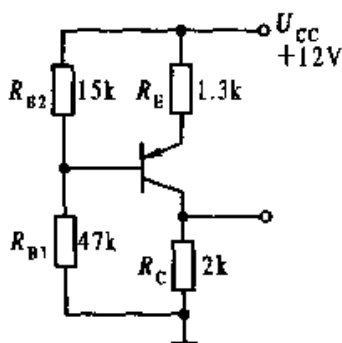
不可能, 表明晶体管处于饱和状态。

2.9 晶体管电路如题图 2.9 所示。已知 $\beta = 100$, $U_{BE} = -0.3V$

(1) 估算直流工作点 I_{CQ} 、 U_{CEQ} 。

(2) 若偏置电阻 R_{B1} 、 R_{B2} 分别开路, 试分别估算集电极电位 U_C 值, 并说明各自的工作状态。

(3) 若 R_{B2} 开路时要求 $I_{CQ} = 2mA$, 试确定 R_{B1} 应取多大值。



题图 2.9

$$\text{解: (1)} U_{RB2} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} U_{CC} = \frac{15}{47 + 15} \times 12 = 2.9V$$

$$I_{CQ} = \frac{U_{RB2} - 0.3}{R_E} = \frac{2.9 - 0.3}{1.3} = 2mA$$

$$U_{CEQ} = -U_{ECQ} = -[U_{CC} - I_{CQ}(R_E + R_C)]$$

$$= -[12 - 2 \times (1.3 + 2)] = -5.4V$$

(2) 当 R_{B1} 开路时, $I_{BQ} = 0$, 管子截止。 $U_C = 0$ 。

当 R_{B2} 开路时, 则有

$$I_B = \frac{U_{CC} - 0.3}{R_{B1} + (1 + \beta)R_E} = \frac{12 - 0.3}{47 + 101 \times 1.3} = 0.066mA$$

$$I_{B(sat)} = \frac{U_{CC} + U_{CE(sat)}}{(R_E + R_C)\beta} = \frac{12 - 0.3}{(1.3 + 2) \times 100} = 0.035mA$$

因为 $I_B > I_{B(sat)}$, 所以晶体管处于饱和状态。此时

$$U_C \approx \frac{U_{CC} + U_{CB(sat)}}{R_C + R_E} R_C = \frac{12 - 0.3}{2 + 1.3} \times 2 = 7.1V$$

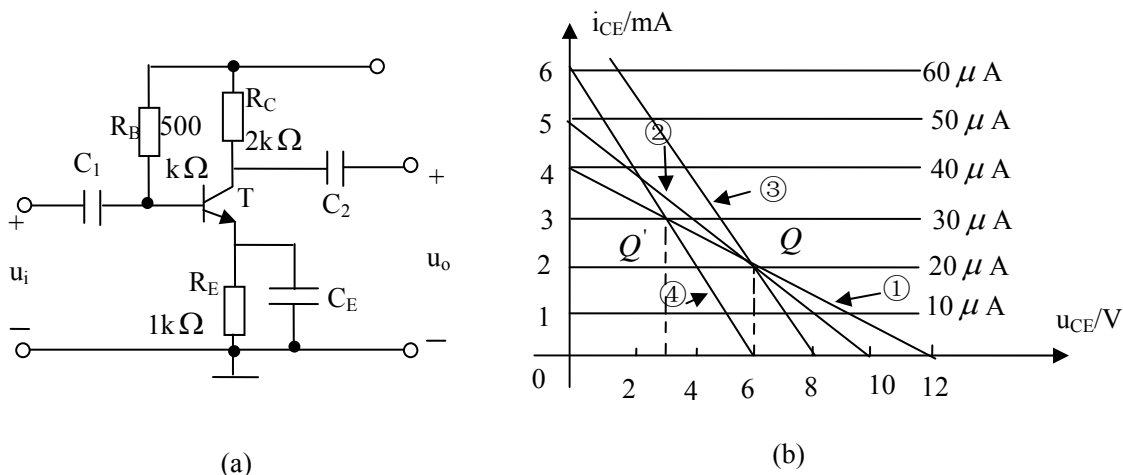
(3) 当 R_{B2} 开路时, 由于

$$I_{CQ} = \beta \frac{U_{CC} + U_{BE}}{R_{B1} + (1 + \beta)R_E} = 100 \times \frac{12 - 0.3}{R_{B1} + 101 \times 1.3} = 2mA$$

由此解得 $R_{B1} = 454K\Omega$

2.18 放大电路及晶体管三极管的输出特性如题图 2.18 (a) 和 (b) 所示。设 $U_{BE(on)} = 0$ ，各电容对信号视作短路。

- (1) 晶体管的 β 和 r_{ce} 各为多少？
- (2) 在图 2.18 (b) 上作直流负载线和交流负载线。
- (3) 如图 2.18 (a) 电路中加接 $R_L = 2\text{k}\Omega$ 的负载，重复 (2)。
- (4) 当 $R'_L = R_C // R_L = 2\text{k}\Omega // 2\text{k}\Omega$ 时，为得到最大的输出电压振幅值 U_{om} ，工作点如何选取（调节 R_B ）？此时 $U_{om} = ?$ R_B 的值又应为多少？



题图 2.18

解：(1) 输出特性理想化， $|U_A| = \infty, r_{ce} = \infty, \beta = 100$ 。

(2) 先求工作点 $I_{BQ} = \frac{U_{CC} - U_{BE(on)}}{R_B + (1 + \beta)R_E} = \frac{12}{500 + 100} = 20 \text{ } (\mu\text{A})$ ，直流负载线

$U_{CE} = U_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 12 - 3I_C$ ，取两点

$(U_{CE} = 0, I_C = 4\text{mA}; I_C = 0, U_{CE} = 12\text{V})$ ，可得直流负载线如图 2.18 (b) 中①线，工作点 $Q(U_{CEQ} = 6\text{V}, I_{CQ} = 2\text{mA})$ ，交流负载线的斜率为 $-\frac{1}{R_C} = -\frac{1}{2}$ ，可得图 2.18 (b) 中

②线（交流负载线）。

(3) 此时直流负载线不变，仍如图 2.14 (b) 中①线，而交流负载线的斜率为 $-\frac{1}{R_C // R_L} = -\frac{1}{1}$ ，如图 2.18 (b) 中③线。

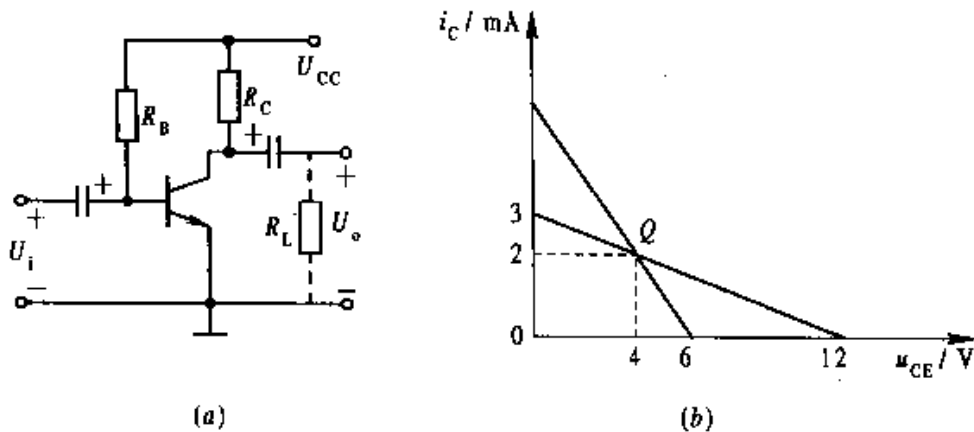
(4) 为得最大 U_{om} ，工作点应选在交流负载之中点。将图 2.18 (b) 中③线 ($R'_L = 1\text{k}\Omega$) 平移使之与直流负载线①线的交点是此交流负载线之中点，即 Q' 点 ($U'_{CEQ} = 3\text{V}$ ， $I'_{CQ} = 3\text{mA}$)。此时， $U_{om} = 3\text{V}$ 。

调节 R_B 使 $I'_{BQ} = 30\mu\text{A}$ ，则 $30 \times 10^{-6} = \frac{U_{CC} - U_{BE(on)}}{R_B + (1 + \beta)R_E} \approx \frac{12}{R_B + 101 \times 10^3}$ ，解得 $R_B = 300\text{k}\Omega$ 。

2.20 放大电路如题图 2.20 (a) 所示, 已知 $\beta = 50$, $U_{BE}=0.7V$, $U_{CBE}=0$, $R_C=2K\Omega$, $R_L = 20K\Omega$, $U_{CC} = 12V$.

(1) 若要求放大电路由最大的输出动态范围, 问 R_B 应调到多大?

(2) 若已知该电路的交、直流负载线如题图 2.20 (b) 所示, 试求: $U_{CC}=?$ $R_C=?$ $U_{CEQ}=?$ $I_{CQ}=?$ $R_L=?$ $R_B=?$ 输出动态范围 $U_{OPP}=?$



题图 2.20

解: (1) 要求动态范围最大, 应满足

$$I_{CQ}R_L' = U_{CEQ} - U_{CES} = U_{CC} - I_{CQ}R_C - U_{CES}$$

$$\text{即 } I_{CQ}(2//20) = 12 - 2I_{CQ} - 0.7$$

$$\text{解得 } I_{CQ} = 3mA, I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = \frac{3}{50} = 0.06mA$$

$$R_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{I_{BQ}} = \frac{12 - 0.7}{0.06} = 188K\Omega$$

(2) 由直流负载线可知:

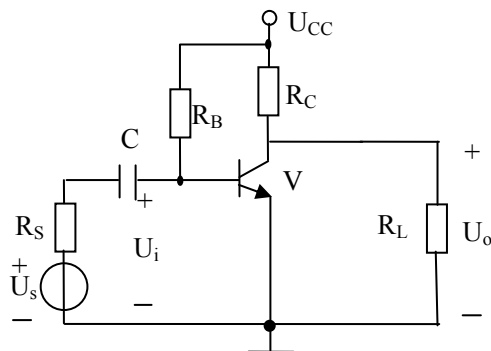
$$U_{CC} = 12V, R_C = \frac{12}{3} = 4K\Omega, U_{CEQ} = 5V, I_{CQ} = 2mA, R_L' = R_C // R_L = 4//20 = \frac{2}{2} = 1,$$

$$\text{即 } R_L = 1.3K\Omega. \text{ 而 } I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = \frac{2}{50} = 0.04mA \text{ 则}$$

$$R_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{I_{BQ}} = \frac{12 - 0.7}{0.04} = 283K\Omega$$

$$U_{OPP} = 2U_{om} = 2 \times (6 - 4) = 4V$$

2.23 试计算题图 2.23 所示共射放大电路的静态工作点 U_{CEQ} ，源电压放大倍数 $A_{us} = \frac{U_o}{U_s}$ ，输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 。设基极静态电流 $I_{BQ} = 20\mu\text{A}$ ， $R_C = 2\text{k}\Omega$ ， $R_L = 2\text{k}\Omega$ ， $U_{CC} = 9\text{V}$ ， $R_S = 150\Omega$ ， $r_{bb'} = 0$ ，厄尔利电压 $|U_A| = 100\text{V}$ ， $\beta = 100$ ，C 为隔直、耦合电容。



题图 2.23

解：（1）计算工作点和 $r_{b'e}$ 、 r_{ce} 。已知

$$I_{BQ} = 20\mu\text{A}$$

$$\text{则 } I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 100 \times 0.02 = 2 \text{ (mA)}$$

$$U_{CEQ} = U_{CC} - I R_C = U_{CC} - \left(I_{CQ} + \frac{U_{CEQ}}{R_L} \right) R_C = 9 - \left(2 + \frac{U_{CEQ}}{2} \right) 2 \text{ (V)}$$

由以上关系式可以看出，因电路输出端没有隔直电容，负载电阻 R_L 与工作点有关。由上式解得

$$U_{CEQ} = 2.5 \text{ V}$$

而

$$r_{b'e} = (1 + \beta) \frac{U_T}{I_{EQ}} = \beta \frac{U_T}{I_{CQ}} = 100 \frac{26}{2} = 1.3 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

$$r_{ce} = \frac{|U_A|}{I_{CQ}} = \frac{100}{2} = 50 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

（2）计算源电压放大倍数 A_{us} 。

先画出图 2.13 电路的小信号等效电路如下图所示。

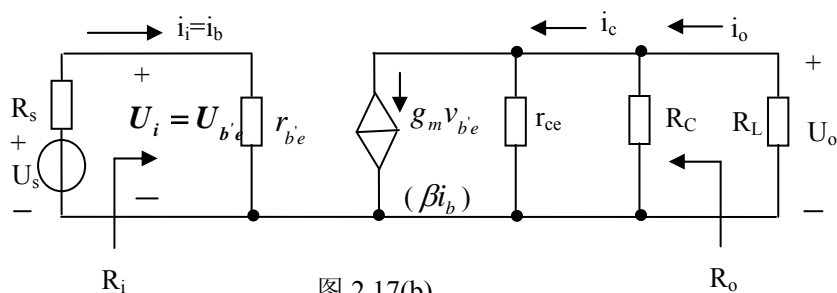


图 2.17(b)

$$A_{us} = \frac{U_o}{U_i} \cdot \frac{U_i}{U_s} = -\beta \frac{r_{ce} // R_C // R_L}{r_{b'e}} \cdot \frac{r_{b'e}}{R_S + r_{b'e}}$$

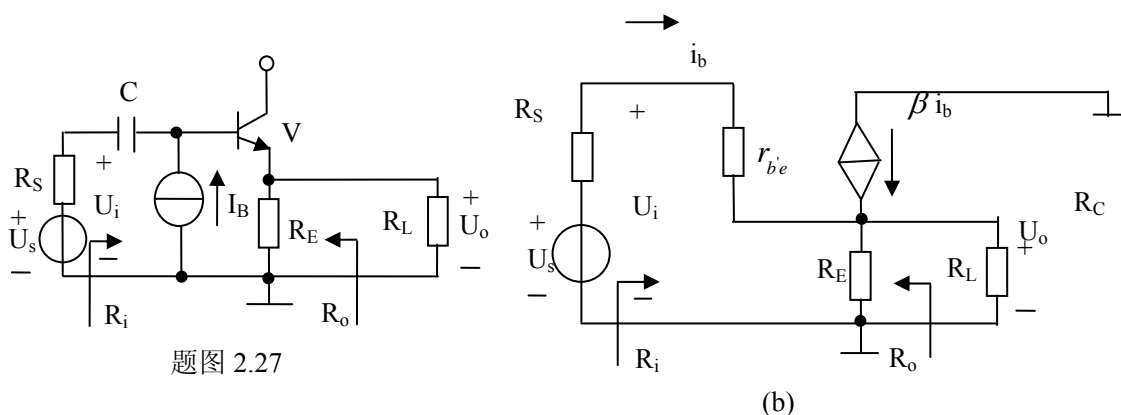
$$= -\beta \frac{r_{ce} // R_C // R_L}{R_S + r_{b'e}} = -100 \frac{50 // 2 // 2}{0.15 + 1.3} \approx -69$$

(3) 计算输入电阻 R_i 、输出电阻 R_o 。

$$R_i = r_{b'e} = 1.3 \text{ k}\Omega$$

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

2.27 电路如题图 2.27 所示, BJT 的 $\beta = 100$, $r_{bb'} = 0$, $U_T = 26 \text{ mV}$, 基极静态电流由电流源 I_B 提供, 设 $I_B = 20 \mu\text{A}$, $R_S = 0.15 \text{ k}\Omega$, $R_E = R_L = 2 \text{ k}\Omega$ 。试计算 $A_u = \frac{U_o}{U_i}$ 、 R_i 和 R_o 。电容 C 对信号可视为短路。



解: $I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 100 \times 20 = 2 \text{ (mA)}$

$$r_{b'e} = \beta \frac{U_T}{I_{CQ}} = 100 \frac{26}{2} = 1.3 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

其小信号等效电路如图(b)所示。

$$R_i = r_{b'e} + (1 + \beta)(R_E // R_L) = 1.3 + (1 + 100)(2 // 2) \approx 102.3 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

$$A_{vs} = \frac{U_o}{U_s} = \frac{U_o}{U_i} \cdot \frac{U_i}{U_s} = \frac{(1 + \beta)(R_E // R_L)}{R_i} \cdot \frac{R_i}{R_S + R_i}$$

$$= \frac{(1 + \beta)(R_E // R_L)}{R_S + r_{b'e} + (1 + \beta)(R_E // R_L)} = \frac{101(2 // 2)}{0.15 + 102.3}$$

$$= 0.986$$

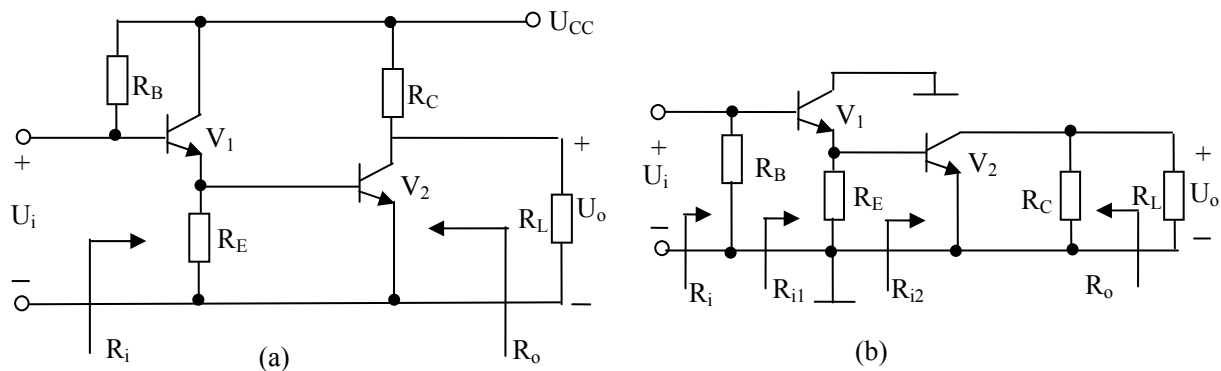
用辅助电源法可求得输出电阻为

$$R_o = R_E // \frac{R_S + r_{b'e}}{1 + \beta} = 2 // \frac{0.15 + 1.3}{101} \approx 14.4(\Omega)$$

2.34 组合放大电路如题图 2.34 所示。已知两个晶体管的参数相同: $r_{bb'} = 0$, $r_{b'e} = 1 \text{ k}\Omega$, $\beta = 50$, $r_{ce} = \infty$; $R_C = R_L = 5 \text{ k}\Omega$, $R_E = 1 \text{ k}\Omega$, $R_B = 150 \text{ k}\Omega$ 。

(1) 画出该电路的交流通路。

(2) 求该电路的输入电阻 R_i 、 $A_u = \frac{U_o}{U_i}$ 电压增益和输出电阻 R_o 。



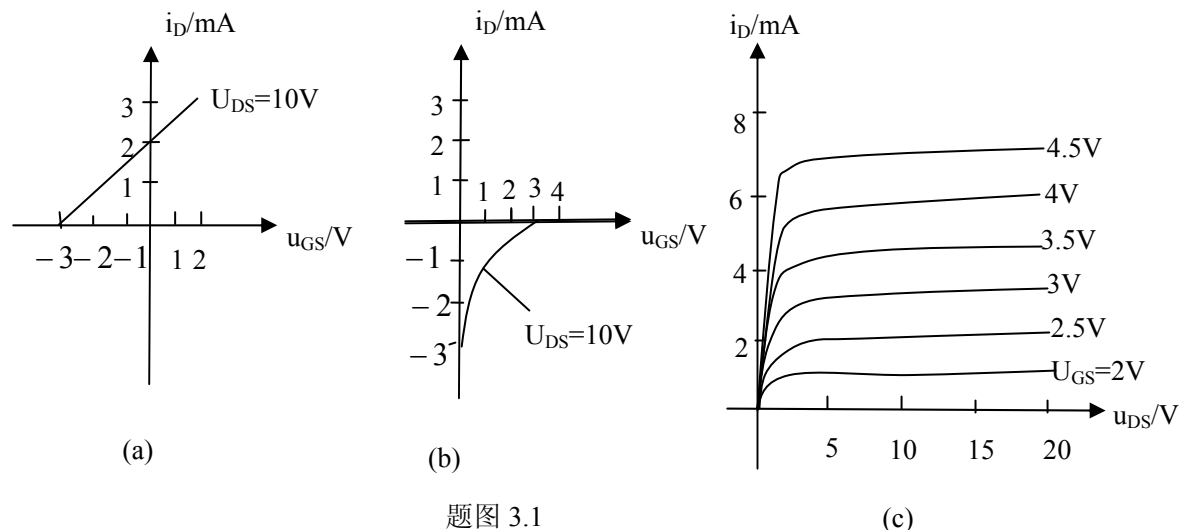
题图 2.34

解: (1) 该电路的交流通路如图 2.34(b)所示。

(2) $R_i = R_B // [r_{be} + (1 + \beta) \bullet R_E // r_{be}] = 22.5 \text{ k}\Omega$, $A_u \approx -125$, $R_o \approx 5 \text{ k}\Omega$

习题答案

3.1 已知场效应管的输出特性或转移如题图 3.1 所示。试判别其类型，并说明各管子在 $|U_{DS}| = 10V$ 时的饱和漏电流 I_{DSS} 、夹断电压 U_{GSoff} （或开启电压 U_{GSth} ）各为多少。



题图 3.1

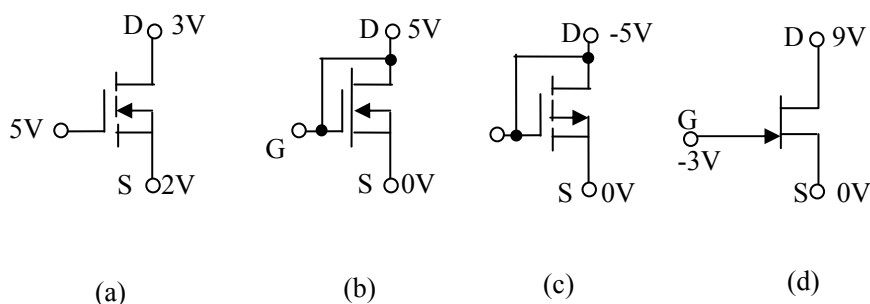
解：FET 有 JFET 和 MOSFET，JFET 有 P 沟（ U_{GS} 只能为正）和 N 沟（ U_{GS} 只能为负）之分。MOSFET 中有耗尽型 P 沟和 N 沟（ U_{GS} 可为正、零或负），增强型 P 沟（ U_{GS} 只能为负）和 N 沟（ U_{GS} 只能为正）。

图 (a)：N 沟耗尽型 MOSFET， $I_{DSS} = 2mA$ ， $U_{GS(th)} = -3V$ 。

图 (b)：P 沟结型 FET， $I_{DSS} = 3mA$ ， $U_{GS(th)} = 3V$ 。

图 (c)：N 沟增强型 MOSFET， I_{DSS} 无意义， $U_{GS(th)} = 1.5V$ 。

3.3 已知各 FET 各极电压如题图 3.3 所示，并设各管的 $U_{GS(th)} = 2V$ 。试分别判别其工作状态（可变电阻区，恒流区，截止区或不能正常工作）。



题图 3.3

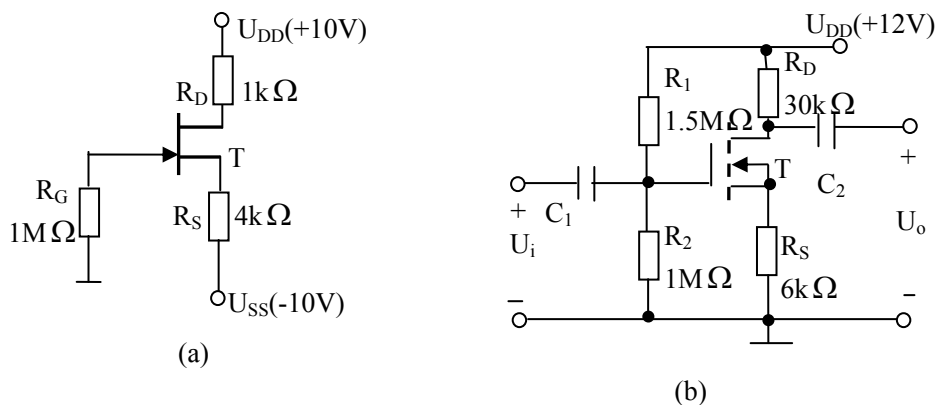
解：图 (a) 中，N 沟增强型 MOSFET，因为 $U_{GS} = 3V > U_{GS(th)} = 2V$ ， $U_{GD} = -2V = U_{GS(th)} = 2V$ ，所以工作在恒流区。

图 (b) 中，N 沟耗尽型 MOSFET， $U_{GS} = 5V > U_{GS(th)} = -2V$ ， $U_{GD} = 0V > U_{GS(th)} = -2V$ ，所以工作在可变电阻区。

图 (c) 中，P 沟增强型 MOSFET， $U_{GS} = -5V < U_{GS(th)} = -2V$ ， $U_{GD} = 0V > U_{GS(th)} = -2V$ ，所以工作在恒流区。

图 (d) 中, 为 N 沟 JFET, $U_{GS} = -3\text{V} < U_{GS(th)} = -2\text{V}$, 所以工作在截止区。

3.5 在题图 3.5 (a) 和 (b) 所示电路中。



题图 3.5

(1) 已知 JFET 的 $I_{DSS} = 5\text{mA}$, $U_{GS(off)} = -5\text{V}$ 。试求 I_{DQ} 、 U_{GSQ} 和 U_{DSQ} 的值。

(2) 已知 MOSFET 的 $\frac{\mu_n C_{ox} W}{2L} = 100\mu\text{A}/\text{V}^2$, $U_{GS(th)} = 2.5\text{V}$ 。试求 I_{DQ} 、 U_{GSQ} 和 U_{DSQ} 的值。

解(1)

$$\begin{cases} I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS(off)}} \right)^2 \\ U_{GS} = U_{SS} - I_D R_S \end{cases}$$

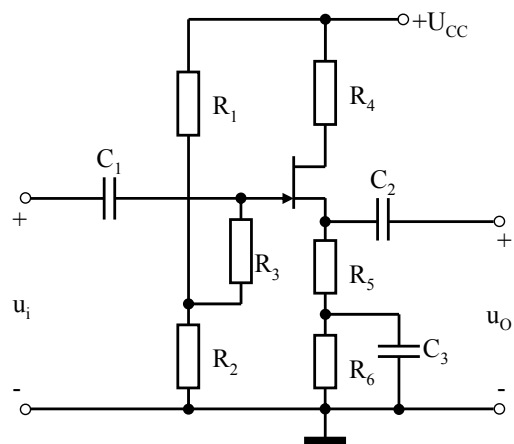
$$\text{解得: } I_{DQ} = 2.8\text{mA}, U_{GSQ} = -1.2\text{V}, U_{DSQ} = 6\text{V}$$

(2)

$$\begin{cases} I_D = 0.1(U_{GS} - U_{GS(th)})^2 \\ U_{GS} = 4.8 - 6I_D \end{cases}$$

$$\text{解得: } I_{DQ} = 167.6\mu\text{A}, U_{GSQ} \approx -3.8\text{V}, U_{DSQ} = 5.97\text{V}$$

3.12 题图 3.12 电路中 JFET 共源放大电路的元器件参数如下: 在工作点上的管子跨 $g_m = 1\text{mS}$, $r_{ds} = 200\text{k}\Omega$, $R_1 = 300\text{k}\Omega$, $R_2 = 100\text{k}\Omega$, $R_3 = 1\text{M}\Omega$, $R_4 = 10\text{k}\Omega$, $R_5 = 2\text{k}\Omega$, $R_6 = 2\text{k}\Omega$, 试估算放大电路的电压增益、输入电阻、输出电阻。



题图 3.12

$$\text{解: } A_u = \frac{-g_m R_L'}{1 + g_m R_5} = \frac{-1 \times 10}{1 + 1 \times 2} = -3.33$$

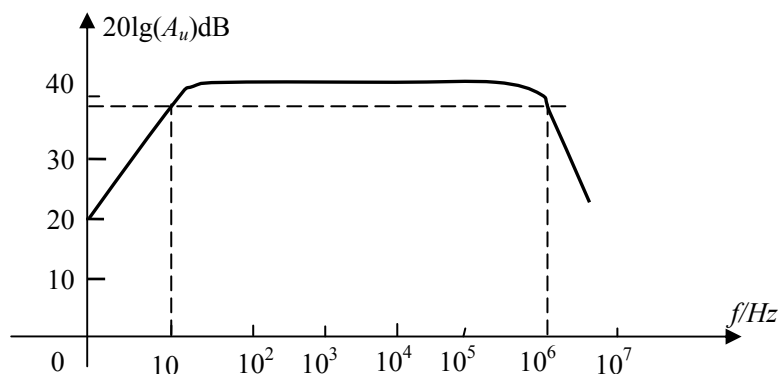
$$R_i = R_3 + R_1 // R_2 = 1000 + 100 // 300 = 1.075 M\Omega$$

$$R_o \approx R_4 = 10 K\Omega$$

习题

4.1 已知某放大器的幅频特性如题图 4.1 所示。

(1) 试说明该放大器的中频增益、上限频率 f_H 和下限频率 f_L 、通频带 BW。



题图 4.1

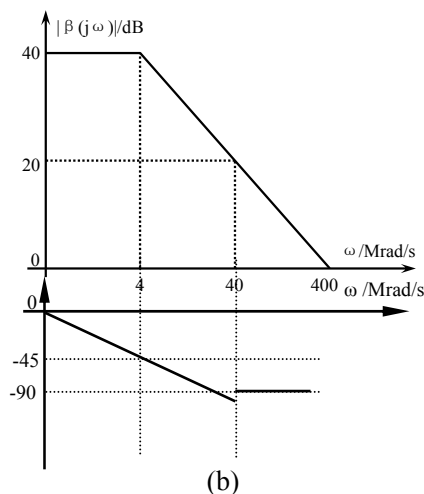
(2) 当 $u_i = 10 \sin(4\pi \cdot 10^6 t) (mV) + 20 \sin(2\pi \times 10^4 t) (mV)$ 和 $u_i = 10 \sin(2\pi \cdot 5t) (mV) + 20 \sin(2\pi \times 10^4 t) (mV)$ 时, 输出信号有无失真? 是何种性质的失真? 分别说明之。

解: (1) 由题图 4.1 可得: 中频增益为 40dB, 即 100 倍, $f_H=10^6\text{Hz}$, $f_L=10\text{Hz}$ (在 f_H 和 f_L 处, 增益比中频增益下降 30dB), $BW = 10^6 - 10 \approx 10^6 \text{ Hz}$ 。

(2) 当 $u_i = 10 \sin(4\pi \cdot 10^6 t) (mV) + 20 \sin(2\pi \times 10^4 t) (mV)$ 时, 其中 $f=10^4\text{Hz}$ 的频率在中频段, 而 $f = 2 \times 10^6 \text{ Hz}$ 的频率在高频段, 可见输出信号要产生失真, 即高频失真。

当 $u_i = 10 \sin(2\pi \cdot 5t) (mV) + 20 \sin(2\pi \times 10^4 t) (mV)$ 时, $f=5\text{Hz}$ 的频率在低频段, $f=10^4\text{Hz}$ 的频率在中频段, 所以输出要产生失真, 即低频失真。

4.3 已知某晶体管电流放大倍数的频率特性波特图如题图 4.3 所示, 试写出 β 的频率特性表达式, 分别指出该管的 ω_β 、 ω_T 各为多少? 并画出其相频特性的近似波特图。



(b)
题图 4.3

解：由 $\beta(\omega)$ 的渐进波特图可知： $\beta_0=100$ ， $\omega_p=4\text{Mrad/s}$

它是一个单极点系统，故相应的频率特性表达式为

$$\beta(j\omega) = \frac{\beta_2}{1 + j\frac{\omega}{\omega_p}} = \frac{100}{1 + j\frac{\omega}{4 \times 10^6}}$$

因为 $\omega_T \approx \beta_0 \omega_p$ ，故 $\omega_T = 400\text{Mrad/s}$ 。也可直接从其波特图根据 ω_T 的定义直接读出。

其相频特性的近似波特图如图 4.3(b)所示。

4.4 某一放大器的中频增益为 $A_{ul}=40\text{dB}$ ，上限频率为 $f_H=2\text{MHz}$ ，下限频率 $f_L=100\text{Hz}$ ，输出不失真的动态范围为 $U_{opp}=10\text{V}$ 。输入下列信号时会产生什么失真？

- (1)、 $u_i(t)=0.1\sin(2\pi \times 10^4 t)(\text{V})$
- (2)、 $u_i(t)=10\sin(2\pi \times 3 \times 10^6 t)(\text{mV})$
- (3)、 $u_i(t)=10\sin(2\pi \times 400 t) + 10\sin(2\pi \times 10^6 t)(\text{mV})$
- (4)、 $u_i(t)=10\sin(2\pi \times 10 t) + 10\sin(2\pi \times 5 \times 10^4 t)(\text{mV})$
- (5)、 $u_i(t)=10\sin(2\pi \times 10^3 t) + 10\sin(2\pi \times 10^7 t)(\text{mV})$

解：(1) 输入信号为单一频率正弦波，所以不存在频率失真问题。但由于输入信号幅度较大（为 0.1V ），经 100 倍的放大后峰峰值为 $0.1 \times 2 \times 100 = 20\text{V}$ ，已大大超过输出不失真动态范围（ $U_{opp}=10\text{V}$ ），故输出信号将产生严重的非线性失真（波形出现限幅状态）。

(2) 输入信号为单一频率正弦波，虽然处于高频区，但也不存在频率失真问题。又因为信号幅度较小，为 10mV ，经放大后峰峰值为 $100 \times 2 \times 10 = 2\text{V}$ ，故也不出现非线性失真。

(3) 输入信号两个频率分量分别为 400Hz 及 1MHz ，均处于放大器的中频区，不会产生频率失真，又因为信号幅度较小（ 10mV ），故也不会出现非线性失真。

(4) 输入信号两个频率分量分别为 10Hz 及 50KHz ，一个处于低频区，而另一个处于中频区，故经放大后会出现低频频率失真，又因为信号幅度小，叠加后放大器也未超过线性动态范围，所以不会有非线性失真。

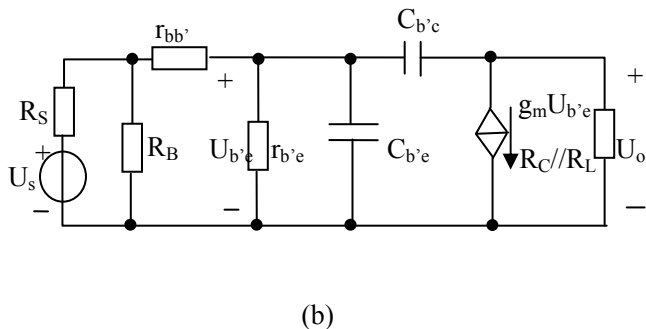
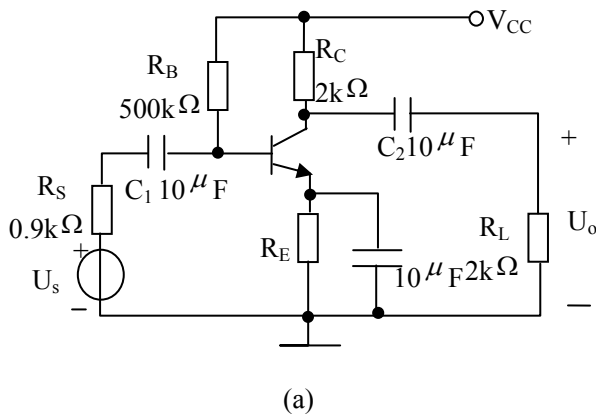
(5) 输入信号两个频率分量分别为 1KHz 和 10MHz ，一个处于中频区，而另一个处于高频区，故信号经放大后会出现高频频率失真。同样，由于输入幅度小。不会出现非线性频率失真。

4.6 电路如题图 4.6(a)所示，已知晶体管的

$$r_e = 10\Omega, r_{bb'} = 100\Omega, r_{ce} = \infty, \beta = 100, C_{b'e} = 100\text{pF}, C_{b'c} = 3\text{pF}。$$

(1) 试画出电路的高频等效电路。

(2) 利用密勒近似求上限频率 f_H 。



题图 4.6

解：(1)高频等效电路如题图 4.6(b)所示：

$$r_{b'e} = \beta r_e = 1k\Omega, g_m = \frac{1}{r_e} = 100mS$$

(3) 利用密勒近似，将 $C_{b'c}$ 折算到输入端，即

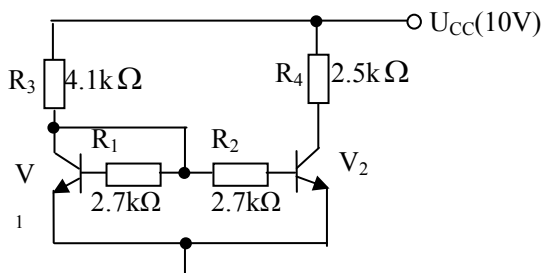
$$C_M = (1 + g_m(R_C \parallel R_L))C_{b'e} = 303pF$$

$$C_i = C_M + C_{b'e} = 403pF$$

$$R'_S = r_{b'e} \parallel (R_B \parallel R_S + r_{bb'}) = 0.5k\Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi R'_S C_i} = \frac{1}{6.28 \times 0.5 \times 10^3 \times 403 \times 10^{-12}} \approx 0.79MHz$$

5.1 在题图5.1所示的电路中，已知晶体管 V_1 、 V_2 的特性相同， $\beta = 20, U_{BE(on)} = 0.7V$ 。求 I_{CQ1} 、 U_{CEQ1} 、 I_{CQ2} 和 U_{CEQ2} 。



题图 5.1

解：由图 5.1 可知：

$$\frac{U_{CC} - U_{BE(on)} - I_{BQ1}R_1}{R_3} = I_{CQ1} + 2I_{BQ1}$$

即

$$\frac{10V - 0.7V - I_{CQ1}/20 \times 2.7k\Omega}{4.1k\Omega} = I_{CQ1} + 0.1I_{CQ1}$$

由上式可解得 $I_{CQ1} \approx 2mA$

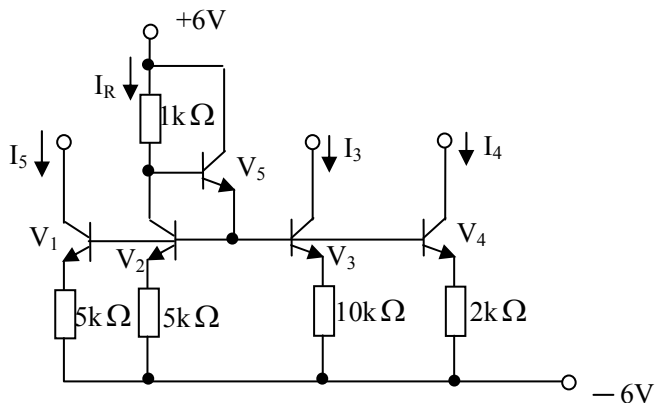
$$I_{CQ2} = I_{CQ1} = 2mA$$

而

$$U_{CEQ1} = U_{CC} - (I_{CQ1} + I_{BQ1})R_3 = 10V - (2 + 0.2) \times 4.1V = 0.98V$$

$$U_{CEQ2} = U_{CC} - I_{CQ2}R_4 = 10V - 2 \times 2.5V = 5V$$

5.2 电路如题图7.2所示，试求各支路电流值。设各晶体管 $\beta \gg 1, U_{BE(on)} = 0.7V$ 。



题图 7.2

解：图 7.2 是具有基极补偿的多电流源电路。先求参考电流 I_R ，

$$I_R = \frac{6 - (-6) - 2 \times 0.7}{1 + 5} = 1.8 \text{ (mA)}$$

则

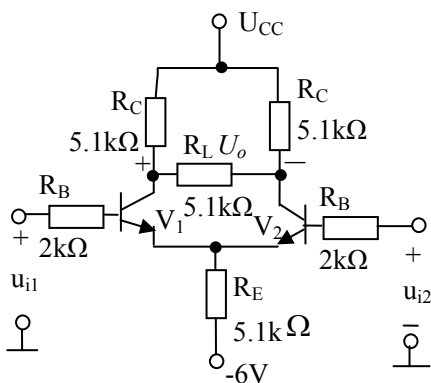
$$I_5 = I_R = 1.8 \text{ (mA)}$$

$$I_3 = \frac{5}{10} I_R = 0.9 \text{ (mA)}$$

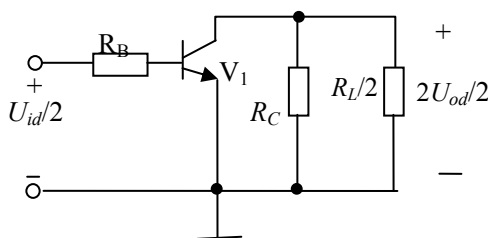
$$I_4 = \frac{5}{2} I_R = 4.5 \text{ (mA)}$$

5.4 对称差动放大电路如题图5.4所示。已知晶体管 T_1 和 T_2 的 $\beta = 50$ ，并设

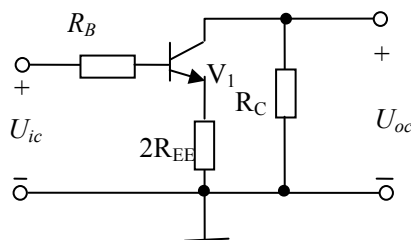
$$U_{BE(on)} = 0.7\text{V}, r_{bb'} = 0, r_{ce} = \infty。$$



题图 5.4



(b)



(c)

- (1) 求 V_1 和 V_2 的静态集电极电流 I_{CQ} 、 U_{CQ} 和晶体管的输入电阻 $r_{b'e}$ 。
- (2) 求双端输出时的差模电压增益 A_{ud} ，差模输入电阻 R_{id} 和差模输出电阻 R_{od} 。
- (3) 若 R_L 接 V_2 集电极的一端改接地时，求差模电压增益 A_{ud} (单)，共模电压增益 A_{uc} 和共模抑制比 K_{CMR} ，任一输入端输入的共模输入电阻 R_{ic} ，任一输出端呈现的共模输出电阻 R_{oc} 。

(4) 确定电路最大输入共模电压范围。

解：(1) 因为电路对称，所以

$$I_{C1Q} = I_{C2Q} = \frac{I_{EE}}{2} = \frac{U_{EE} - 0.7}{2 \times R_E + \frac{2}{\beta}} = \frac{6 - 0.7}{2 \times 5.1 + \frac{2}{50}} = 0.52\text{mA}$$

$$U_{C1Q} = U_{C2Q} = 6 - 0.52 \times 5.1 = 3.35\text{V}$$

$$r_{b'e} = \beta \cdot \frac{U_T}{I_{C1Q}} = 50 \times \frac{26}{0.52} = 2.5\text{k}\Omega$$

(2) 差模电压增益

$$A_{ud} = -\beta \frac{R_C // \frac{1}{2} R_L}{R_b + r_{b'e}} = -50 \times \frac{5.1 // (\frac{1}{2} \times 5.1)}{2 + 2.5} \approx -19$$

$$R_{id} = 2(R_B + r_{b'e}) = 2(2 + 2.5)\text{k}\Omega = 9\text{k}\Omega$$

差模输入电阻：

$$\text{差模输出电阻： } R_{od} = 2R_C = 2 \times 5.1\text{k}\Omega = 10.2\text{k}\Omega$$

(3) 单端出差模电压增益:

$$A_{ud}(\text{单}) = -\frac{1}{2}\beta \frac{R_C // R_L}{R_B + r_{b'e}} = -\frac{1}{2} \times 50 \times \frac{5.1 // 5.1}{2 + 2.5} \approx -14.2$$

共模电压增益:

$$A_{uc} = -\beta \frac{R_C // R_L}{R_B + r_{b'e} + (1 + \beta)2R_E} = -50 \frac{5.1 // 5.1}{2 + 2.5 + 51 \times 2 \times 5.1} = -0.24$$

共模抑制比:

$$K_{CMR} = \left| \frac{A_{vd}}{A_{vc}} \right| = \frac{14.2}{0.24} = 59.2 \quad (A_{ud} \text{为单})$$

共模输入电阻:

$$R_{ic} = R_B + r_{b'e} + (1 + \beta)2R_E = 524.7k\Omega$$

$$\text{共模输出电阻: } R_{oc} = R_C = 5.1k\Omega$$

(4) 设晶体管的 $U_{CB}=0$ 为进入饱和区, 并略去 R_B 上的压降。

为保证 V_1 和 V_2 工作在放大区, 正向最大共模输入电压 $U_{ic(max)}$ 应满足下式:

$$\begin{aligned} v_{ic(max)} &\leq V_{CC} - \frac{V_{ic(max)} - V_{BE(on)} - V_{EE}}{2R_{EE}} \times R_C \\ &= 6 - \frac{v_{ic(max)} - 0.7 + 6}{2 \times 5.1} = 5.1 \\ V_{ic(max)} &\leq 2.23V \end{aligned}$$

否则晶体管饱和。

如果题图5.4中的 R_E 是用恒流源 I_{EE} , 则只要

$$v_{ic(max)} \leq V_{CC} - \frac{I_{EE}}{2} R_C$$

为保证 V_1 和 V_2 工作在放大区, 负向最大共模输入电压 $U_{ic(min)}$ 应满足下式:

$$v_{ic(min)} > V_{EE} + V_{BE(on)} = -6 + 0.7 = -5.3(V)$$

否则晶体管截止。

由上可得最大共模输入范围为 $-5.3V < V_{ic} \leq 2.23V$

5.6 电路如题图5.6。已知 V_1 、 V_2 、 V_3 管的 $\beta = 50$, $r_{bb'} = 200\Omega$, $U_{CC} = U_{EE} = 15V$,

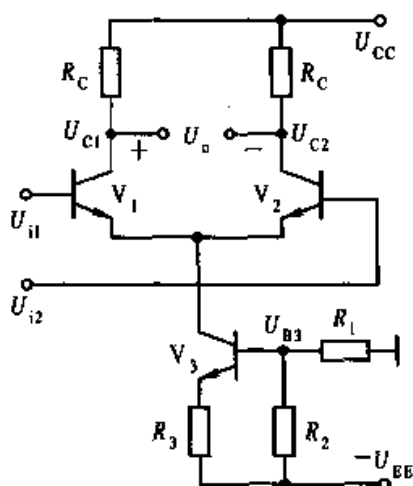
$$R_C = 6K\Omega, R_1 = 20K\Omega, R_2 = 10K\Omega, R_3 = 2.1K\Omega$$

(1) 若 $u_{i1}=0$, $u_{i2}=10\sin\omega t(\text{mV})$, 试求 $u_o=?$

(2) 若 $u_{i1}=10\sin\omega t(\text{mV})$, $u_{i2}=5\text{mV}$, 试画出 u_o 的波形图。

(3) 若 $u_{i1}=u_{i2}=U_{ic}$, 试求 U_{ic} 允许的最大变化范围。

(4) 当 R_1 增大时, A_{ud} 、 R_{ud} 将如何变化?



题图7.6

解: (1) $U_{R2} = \frac{R_2 U_{EE}}{R_1 + R_2} = \frac{10 \times 15}{20 + 10} = 5V$

$$I_{CB} \approx I_{E3} = \frac{U_{R2} - U_{BE}}{R_3} = \frac{5 - 0.7}{2.1} = 2mA$$

$$I_{EQ} = \frac{1}{2} I_{C3} = 2 \times \frac{1}{2} = 1mA$$

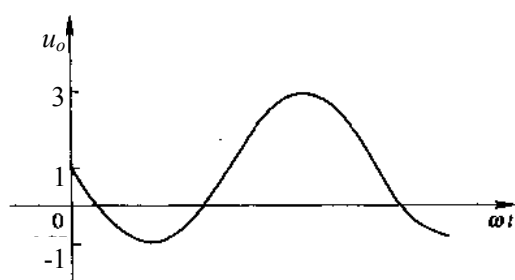
$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26}{I_{CQ}} = 200 + 51 \times \frac{26}{1} = 1.5K\Omega$$

$$A_{ud} = \frac{U_o}{U_{i1} - U_{i2}} = -\frac{\beta R_C}{r_{be}} = -\frac{50 \times 6}{1.5} = -200$$

$$u_0 = A_{ud}(u_{i1} - u_{i2}) = -200 \times (-10^{-2} \sin \omega t) = 2.14 \sin \omega t (V)$$

(2) $u_0 = A_{ud}(u_{i1} - u_{i2}) = -200 \times (10 \sin \omega t - 5mV) = (-2 \sin \omega t + 1)V$

其波形如图所示。



(3) $U_{B3} = \frac{R_1 U_{EE}}{R_1 + R_2} = -\frac{20 \times 15}{10 + 20} = -10V$

$$U_{C1} = U_{CC} - I_{CQ} R_C = 15 - 1 \times 6 = 9V$$

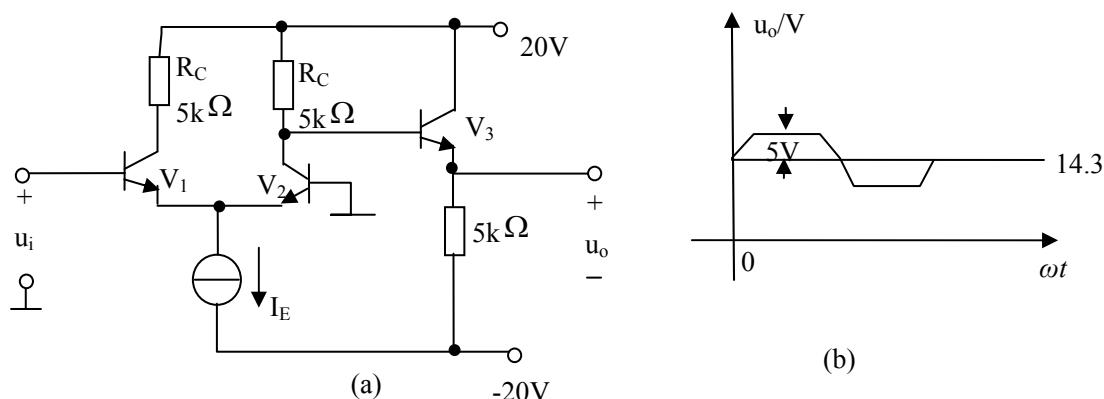
故共模输入电压 U_{ic} 应满足: $-10V < U_{ic} < 9V$

(4) $R_1 \uparrow \rightarrow U_{R2} \downarrow \rightarrow I_{E3} (I_{C1}) \downarrow \rightarrow I_{EQ} (I_{E2Q}) \downarrow \rightarrow r_{be1} (r_{be2}) \uparrow$,

使得 A_{ud} 减小, 而 R_{id} 增大。

$$R_{od} \approx R_C$$

5.8 差动放大电路如题图5.8所示。 $u_i = 0.15 \sin \omega t (V)$ 试通过计算画出输出电压波形。设晶体管的 $U_{BE(on)} = 0.7V, I_E = 2mA$ 。



题图 7.8

解：略去 V_3 基极电流的影响，

$$U_{C2} = 20 - \frac{I_E}{2} R_C = 20 - 1 \times 5 = 15V$$

$$U_{E3} = U_{C2} - U_{BE(on)} = 15 - 0.7 = 14.3V$$

即输出电压的静态电压为14.3。

略去 V_3 的输入电阻对 V_2 的负载影响，由图5.8(a)可看出，不失真的输出电压峰值为

$$I_{C2} R_C = \frac{I_E}{2} R_C = \frac{1}{2} \times 2 \times 5 = 5V$$

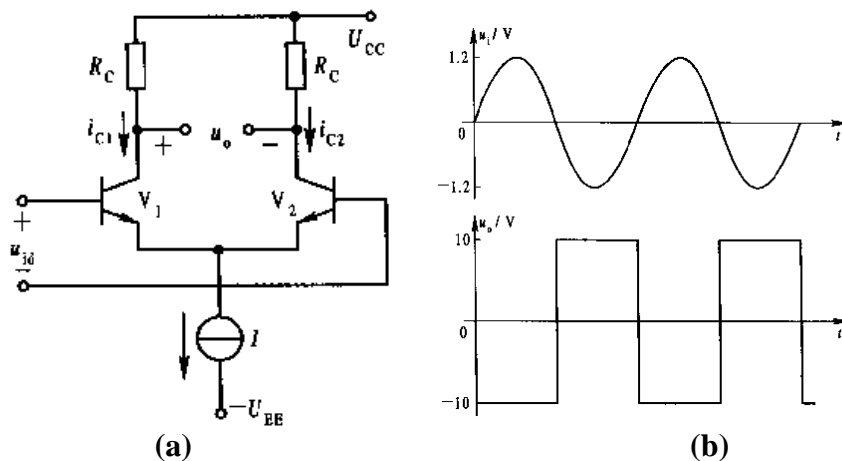
$$u_o = \frac{1}{2} \frac{\beta R_C}{r_{b'e}} u_i = \frac{1}{2} \frac{\beta R_C}{\beta \frac{U_T}{I_{C2Q}}} u_i = \frac{1}{2} \frac{R_C I_{C2Q}}{U_T} u_i = 14.42 \sin \omega t (V)$$

很明显，输出电压失真被双向限幅，如图7.8(b)所示。

5.9 电路见图5.9。设 $U_{CC} = U_{CE} = 15V, I = 2mA, R_C = 5K\Omega, u_{id} = 1.2 \sin \omega t (V)$

(1) 试画出 u_o 波形，并标出波形幅度。

(2) 若 R_C 变为 $10k\Omega$ ， u_o 波形有何变化？为什么？



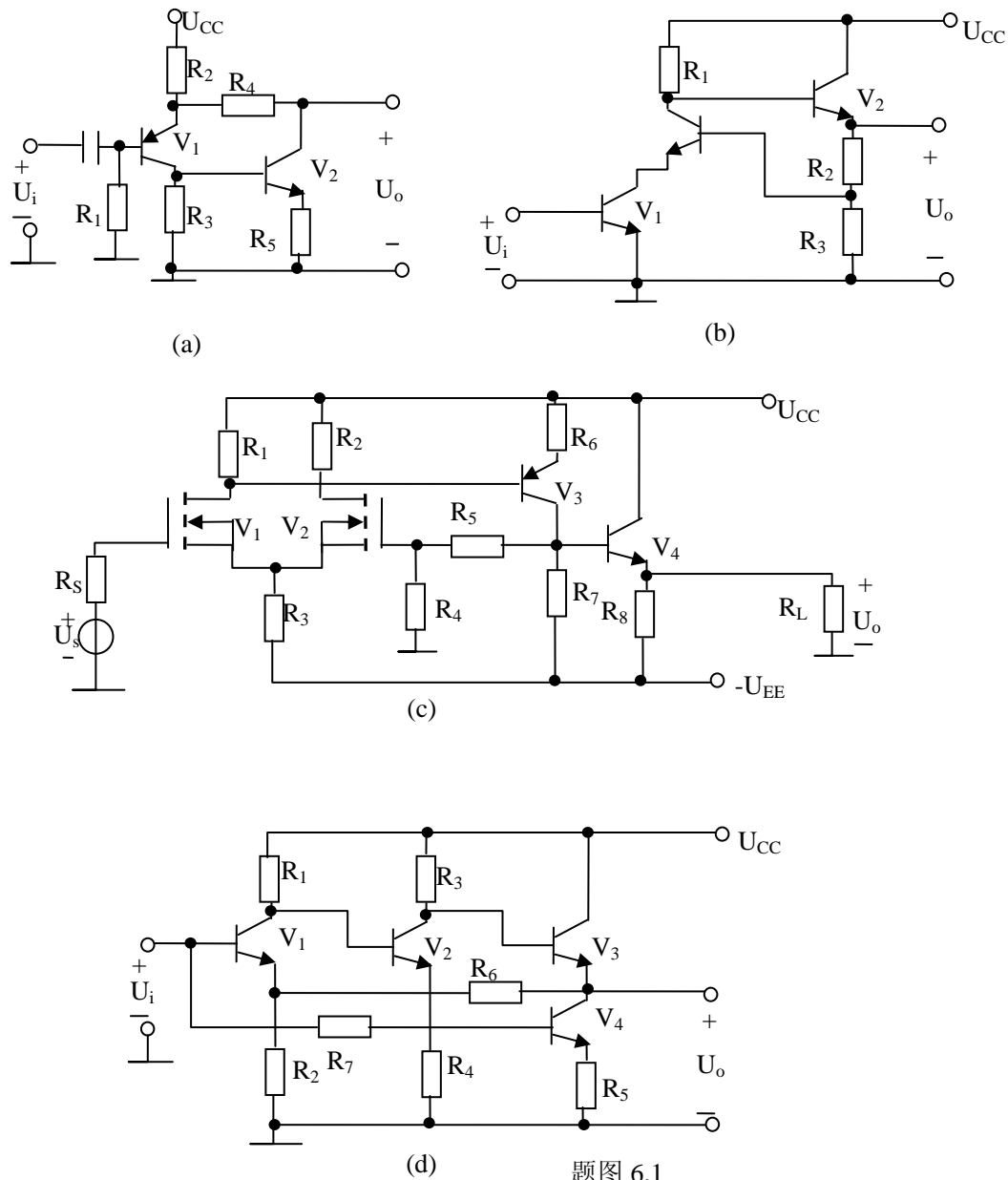
题图7.9

解：(1) 由于 $U_{id} = 1.2V \gg 0.1V$ ，电路呈现限幅特性，其 u_o 波形如图(b)所示。

(2) 当 R_C 变为 $10k\Omega$ 时, u_0 幅度增大, 其值接近 $\pm 15V$, 此时, 一管饱和, 另一管截止。

习题

6.1 试判断题图 6.1 所示各电路的级间反馈类型和反馈极性。



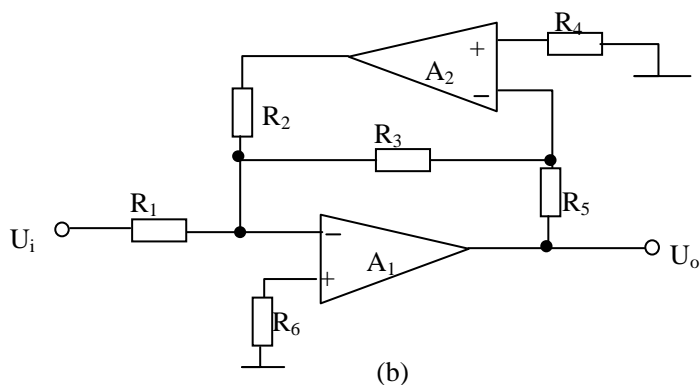
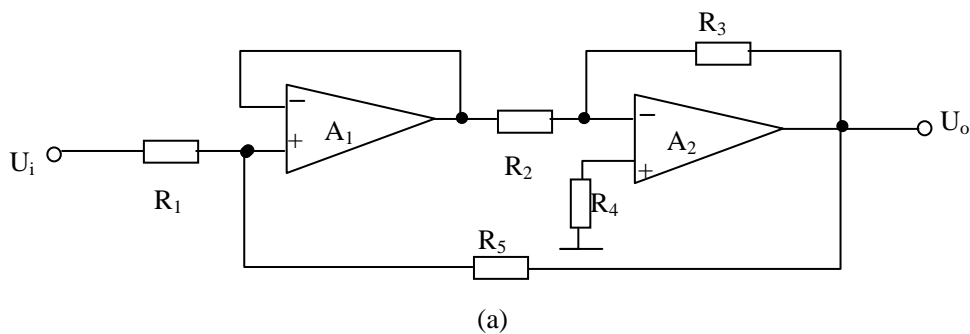
解： 电路(a)为串联电压负反馈。

电路(b)为串联电压负反馈。

电路(c) V_1 与 V_3 间为电压串联负反馈。

电路(d)为电压由 V_3 的射极经 R_6 至 V_1 的射极组成了电压串联负反馈。

6.2 试判别 6.2 所示各电路的反馈类型和反馈极性。

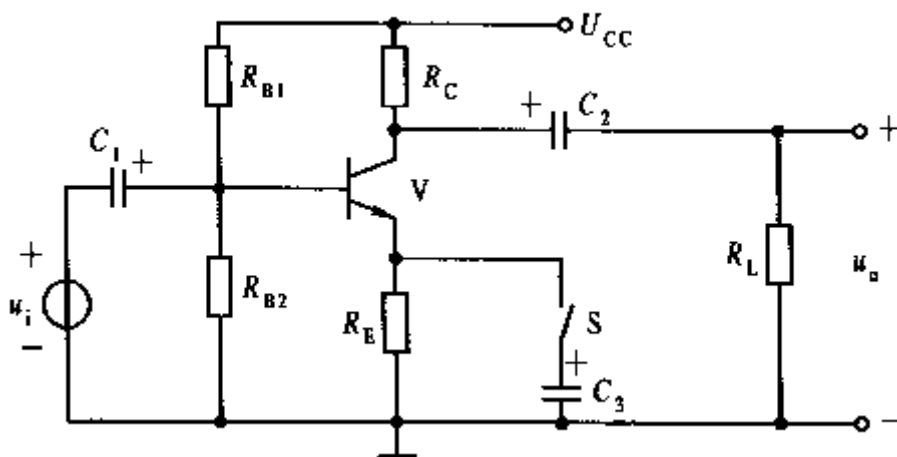


题图 6.2

解:电路(a)为电压并联负反馈。

电路(b): 经 A_2 、 R_2 组成电压并联正反馈电路; 经 R_3 组成电压并联负反馈电路。

6.9 电路如题图 6.9 所示, 试从反馈的角度回答: 开关 S 的闭合和打开, 对电路性能的影响 (包括增益、输入电阻、输出电阻、上限频率、下限频率等)。



题图 6.9

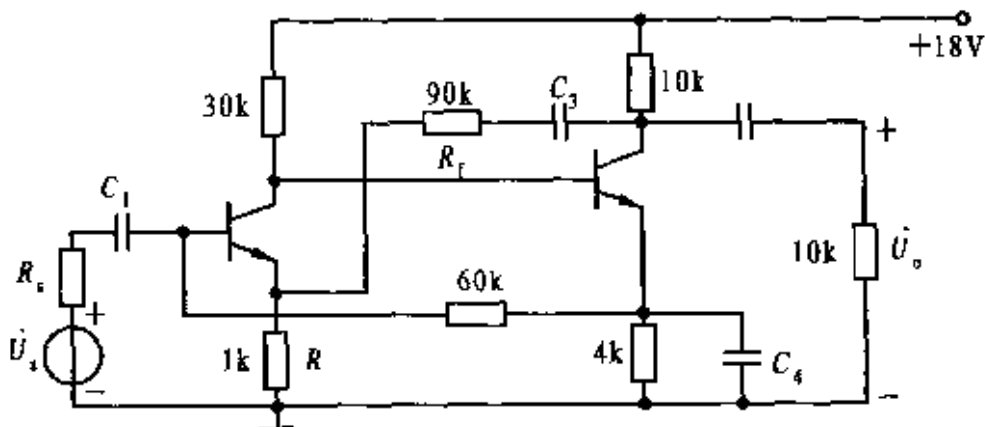
解: S 闭合, 电路仅有直流负反馈, S 打开, 电路便引入了串联电流负反馈 (反馈网络为 R_E), 那么, 增益将减小, 输入电阻将增大, 输出电阻基本不变 (管子一路输出电阻增大, 但与 R_C 并联后, 总的输出电阻仍近似为 R_C), 上限频率 f_H 提高, 下限频率 f_L 将下降。

6.11 反馈放大器电路如题图 6.11 所示, 试回答:

(1) 判断该电路引入了何种反馈? 反馈网络包括哪些元件? 工作点的稳定主要依靠哪些反馈?

(2) 该电路的输入输出电阻如何变化, 是增大还是减少了?

(3) 在深反馈条件下, 交流电压增益 $A_{uf}=?$



题图 6.11

解: (1) $90k\Omega$ 电阻和 $1k\Omega$ 电阻构成两级之间的交流串联电压负反馈。 $4k\Omega$ 、 $60k\Omega$ 以及 V_1 构成两级之间的直流电流负反馈, 以保证直流工作点更加稳定。

(2) 该电路输入阻抗增大, 输出阻抗减小。

(3) 在深反馈条件下:

$$A_{ui} = \frac{1}{F} = \frac{1k + 90k}{1k} = 91$$

6.12 负反馈放大电路如题图 6.12 所示。

(1) 试判别电路中引入了何种反馈?

(2) 为得到低输入电阻和低输出电阻, 应采用何种类型的负反馈? 电路应如何改接?

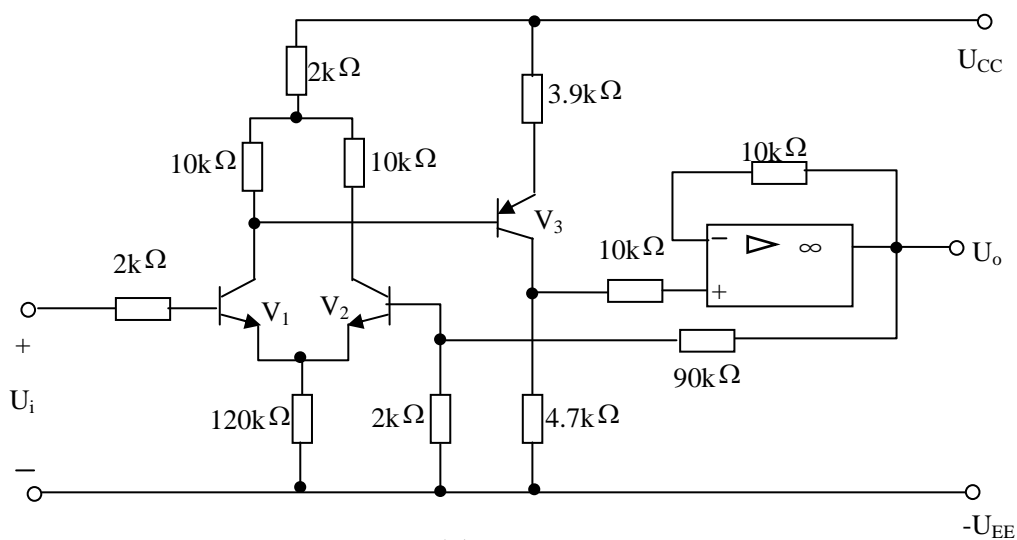
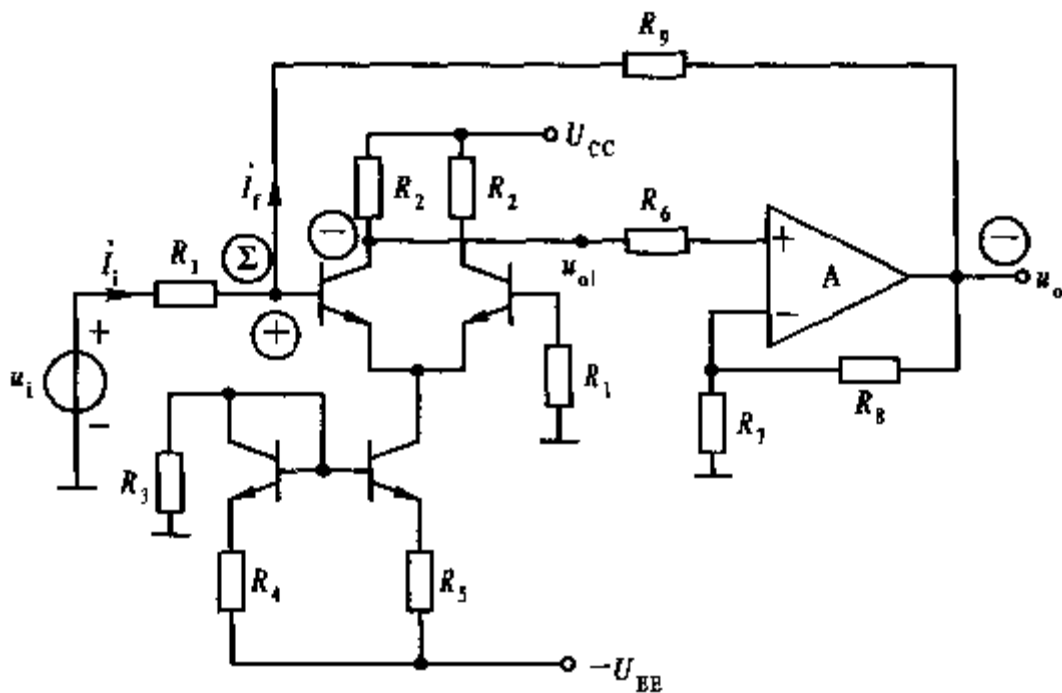


图 6.12

解: (1) 输出信号 U_o 通过 $90k\Omega$ 电阻接至 V_2 的基极, 故构成电压串联负反馈。

(2) 应采用电压并联负反馈。其改接方法为: 将 V_3 的基极由接在 V_1 的集电极改接到 V_2 的集电极; 将输出端的 $90k\Omega$ 电阻, 由接在 V_2 的基极改接到 V_1 的基极。

6.13 电路如题图 6.13 所示, 试指出电路的反馈类型, 并计算开环增益 A_u 和闭环增益 A_{uf} (已知 β 、 r_{be} 等参数)。



题图 6.13

解：(1) 该电路第一级为带恒流源的差分放大器，单端输入，单端输出；第二级为同相比值放大器，引入了单级串联电压负反馈。两级之间通过 R_9 和 R_1 构成了并联电压负反馈（瞬时相位示于图 P6-13 中）。

(2) 求开环增益（设 $R_9 \gg R_1$ ）

$$A_u = \frac{U_{o1}}{U_i} \cdot \frac{U_o}{U_{o1}} = A_{u1} \times A_{u2}$$

$$\text{其中, } A_{u1} = \frac{U_{o1}}{U_i} = -\frac{1}{2} \frac{\beta R_2}{R_1 + r_{be}} \quad (\text{第二级输入电阻为无穷大})$$

$$A_{u2} = 1 + \frac{R_8}{R_7}$$

(3) 求闭环增益（引入负反馈的增益）：

$$A_{uf} = \frac{U_{o1}}{U_i} = -\frac{R_9}{R_1}$$

因为深反馈条件下有：

$$I_i \approx I_f, I_i = \frac{U_i - U_\Sigma}{R_1} \approx \frac{U_i}{R_1}, I_f = \frac{U_\Sigma - U_o}{R_9} \approx -\frac{U_o}{R_9}$$

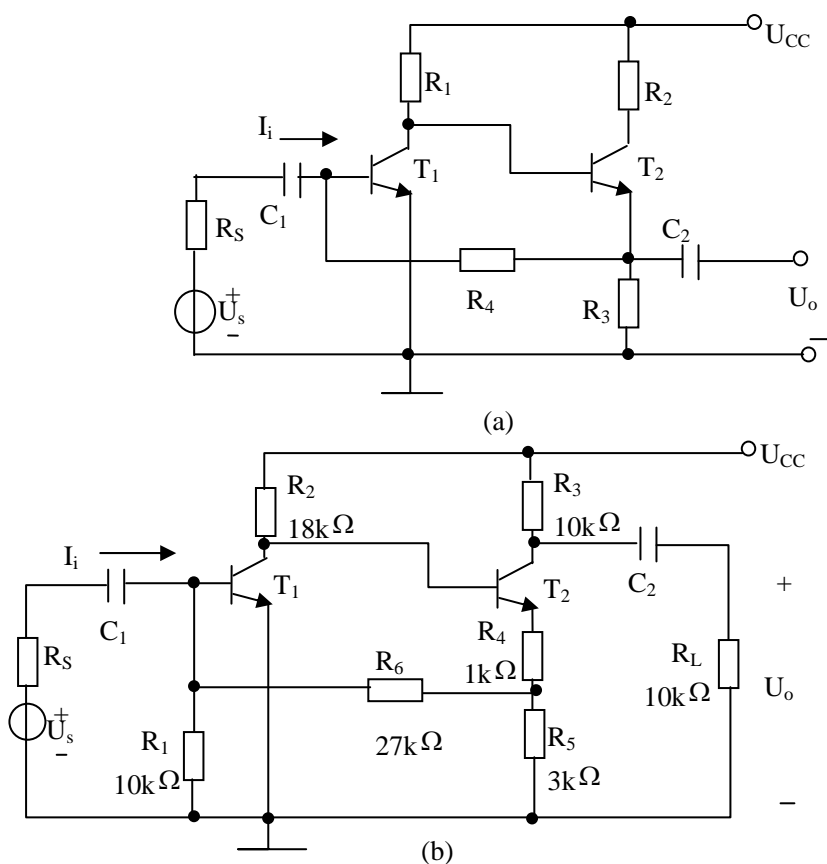
$$\text{所以 } A_{uf} = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{R_9}{R_1}$$

6.15 电路如题图 6.15(a)和(b)所示，各电容对信号可视为短路。

(1) 试分别判断电路级间交流反馈的极性和类型。

(2) 分别写出反馈系数的表达式。

(3) 分别估算满足深度反馈条件下的源电压增益 A_{usf} 的表达式或数值。



题图 6.15

解:(1) 图(a): 电压并联负反馈

图(b): 电流并联负反馈

$$(2) \text{ 图(a): } B_g = \frac{I_f}{U_o} = -\frac{1}{R_4}$$

$$\text{图(b): } B_i = \frac{I_f}{I_{C2}} = \frac{R_5}{R_5 + R_6}$$

$$(3) \text{ 图(a): } A_{usf} = -\frac{R_4}{R_5}$$

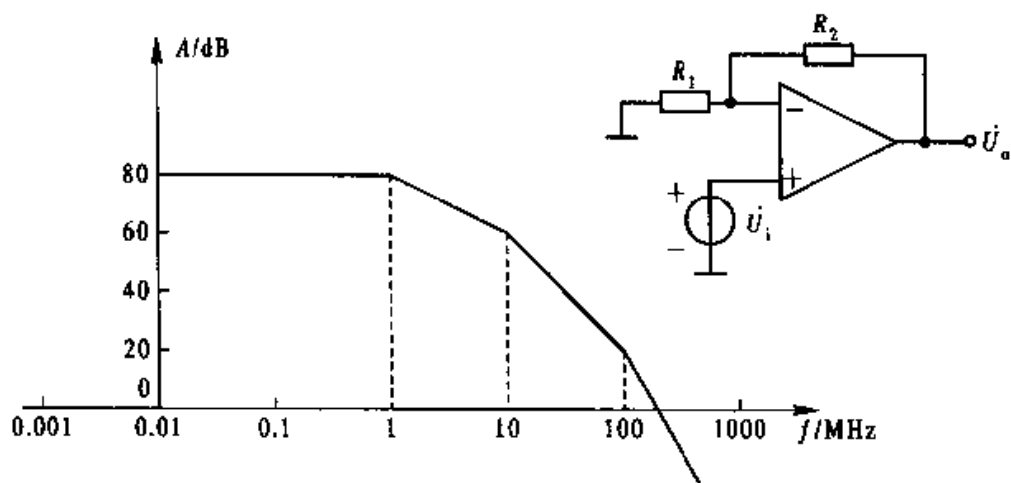
$$\text{图(b): } A_{usf} = -\frac{R_5 + R_6}{R_5} \times \frac{R_3 \parallel R_L}{R_S} = 50$$

6.19 某放大器的开环幅频响应如题图 6.19 所示。

(1) 问当施加 $F=0.001$ 的负反馈时, 此反馈放大器是否能稳定工作? 相位裕度等于多少?

(2) 若要求闭环增益为 40dB, 为保护相位裕度大于等于 45° , 试画出密勒电容补偿后的开环幅频特性曲线。

(3) 指出补偿后的开环带宽 $BW=?$ 闭环带宽 $BW_f=?$



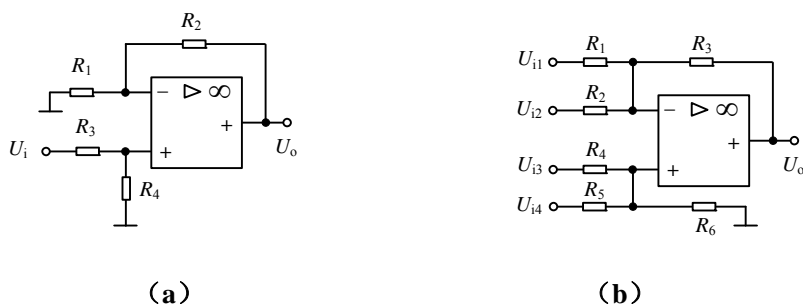
题图 6.19

解：(1) $F=0.001, A_f=1/F=1000(60\text{dB})$ ，如图 P6-19'所示，此时有 45° 相位裕度。

(2) 要求 $A_f=40\text{dB}$ (100)，仍有 45° 的相位裕度，则开环特性要校正为如图中①曲线所示。

(3) 补偿后的开环带宽 $BW=0.1\text{MHz}$ ，闭环带宽 $BW_f=10\text{MHz}$ 。

1. 试求图题 7.1 各电路的输出电压与输入电压的关系式。



图题 7.1

解：(a) 根据虚断特性 $u_+ = \frac{R_4}{R_3 + R_4} U_i$, $u_- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_o$

根据虚短特性 $u_+ = u_-$, 所以 $U_o = (1 + \frac{R_2}{R_1}) \frac{R_4}{R_3 + R_4} U_i$

(b) 当 $U_{i3} = U_{i4} = 0$ 时, 电路转换为反相输入求和电路, 输出

$$U_{o12} = -(\frac{R_3}{R_1} U_{i1} + \frac{R_3}{R_2} U_{i2})$$

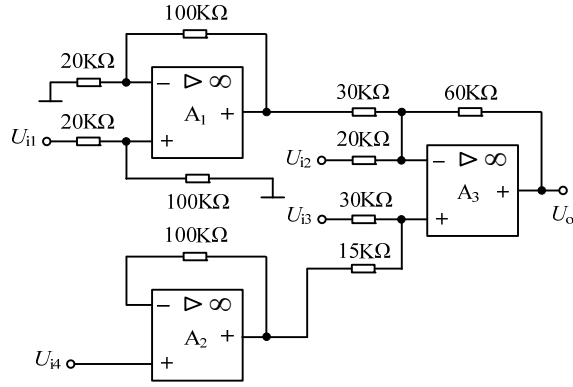
当 $U_{i1} = U_{i2} = 0$ 时, 电路转换为同相输入求和电路, 输出

$$U_{o34} = (1 + \frac{R_3}{R_1 // R_2}) (\frac{R_5 // R_6}{R_4 + R_5 // R_6} U_{i3} + \frac{R_4 // R_6}{R_5 + R_4 // R_6} U_{i4})$$

根据线性叠加原理, 总输出为

$$U_o = U_{o12} + U_{o34}$$

4. 电路如图题 7.4 所示。已知 $U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = 10\text{mV}$, 试求 $U_o = ?$



图题 7.4

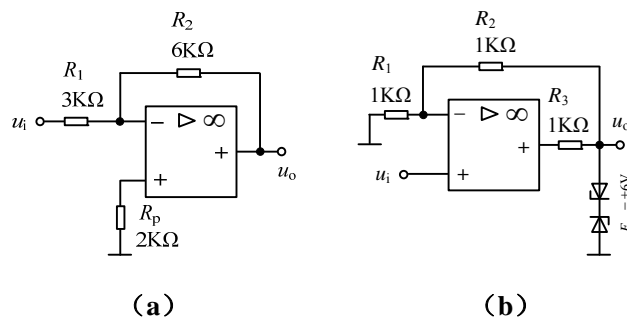
解：运放 A_1 的输出为 $U_{o1} = (1 + \frac{100}{20}) \frac{100}{20 + 100} U_{i1} = 5U_{i1}$ ，运放 A_2 的输出为 $U_{o4} = U_{i4}$ ，运放 A_3 构成双端输入求和运算电路，输出为

$$U_o = -\frac{60}{30} U_{o1} - \frac{60}{20} U_{i2} + (1 + \frac{60}{20 // 30}) (\frac{15}{30 + 15} U_{i3} + \frac{30}{30 + 15} U_{o4}) = -2U_{o1} - 3U_{i2} + 2U_{i3} + 4U_{o4}$$

$$= -10U_{i1} - 3U_{i2} + 2U_{i3} + 4U_{i4} = -7U_{i1} = -70\text{mV}$$

8. 运放组成的电路如图题 7.8 (a)、(b) 所示，已知电源电压为 $\pm 15\text{V}$ 。

- (1) 试分别画出传输特性曲线 $u_o = f(u_i)$ ；
- (2) 若输入信号 $u_i = 5 \sin \omega t (\text{V})$ ，试分别画出输出信号 u_o 的波形。



图题 7.8

解：(1) 电路 (a) 为反相比例放大器， $u_o = -\frac{R_2}{R_1} u_i = -\frac{6}{3} u_i = -2u_i$ ，电路 (b) 为同相比例放大器， $u_o = (1 + \frac{R_2}{R_1}) u_i = (1 + \frac{1}{1}) u_i = 2u_i$ ，所以它们的传输特性曲线分别如图 7.8 (a) (b) 所示。

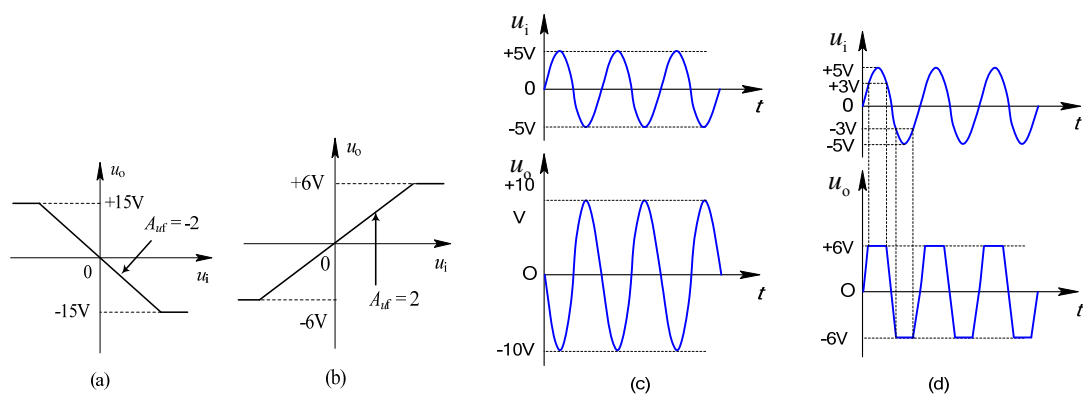
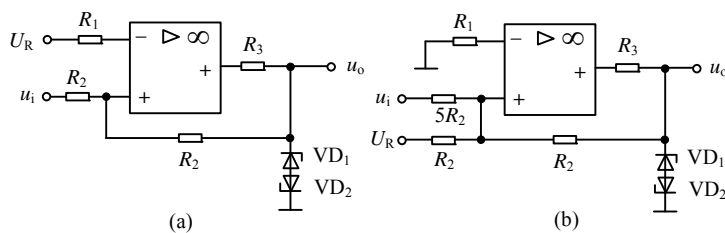


图 7.8'

(2) 若输入信号 $u_i = 5 \sin \omega t (\text{V})$ ，输出信号 u_o 的波形分别如图 7.8' (c) (d) 所示。

20. 图题 7.20 所示为迟滞电压比较器电路，已知运放最大输出电压为 $\pm 14\text{V}$ ，稳压管的稳定电压 $U_Z = 6.3\text{V}$ ，稳压管的导通电压 $U_{D(\text{on})} = 0.7\text{V}$ ， $U_R = 2\text{V}$ 。试分别画出它们的传输特性并求出回差电压 ΔU 。



图题 7.20

解：(a) 当 $u_+ = u_-$ 时，输出处于临界状态，即将发生翻转。

根据虚断特性， $u_- = U_R$ ，

$$\text{根据线性叠加原理， } u_+ = \frac{R_2}{R_2 + R_2} u_i + \frac{R_2}{R_2 + R_2} u_o = \frac{1}{2}(u_i + u_o)$$

$$\text{所以， } \frac{1}{2}(u_i + u_o) = U_R, \quad u_i = 2U_R - u_o = 4 - u_o$$

当 $u_o = -7\text{V}$ 时， $u_i = U_{\text{TH}} = 11\text{V}$ ；当 $u_o = 7\text{V}$ 时， $u_i = U_{\text{TL}} = -3\text{V}$ 。

出回差电压 $\Delta U = U_{\text{TH}} - U_{\text{TL}} = 11 + 3 = 14\text{V}$ 。传输特性如图 7.20' (a)。

(b) 当 $u_+ = u_-$ 时，输出处于临界状态，即将发生翻转。

根据虚断特性, $u_- = 0$,

根据线性叠加原理,

$$u_+ = \frac{0.5R_2}{5R_2 + 0.5R_2}u_i + \frac{5R_2 // R_2}{5R_2 // R_2 + R_2}U_R + \frac{5R_2 // R_2}{5R_2 // R_2 + R_2}u_o = \frac{1}{11}u_i + \frac{5}{11}U_R + \frac{5}{11}u_o$$

$$\text{所以, } \frac{1}{11}u_i + \frac{5}{11}U_R + \frac{5}{11}u_o = 0, \quad u_i = -5u_o - 5U_R = -5u_o - 10$$

当 $u_o = -7V$ 时, $u_i = U_{TH} = 25V$; 当 $u_o = 7V$ 时, $u_i = U_{TL} = -45V$ 。

出回差电压 $\Delta U = U_{TH} - U_{TL} = 25 + 45 = 70V$ 。传输特性如图 7.20' (b)。

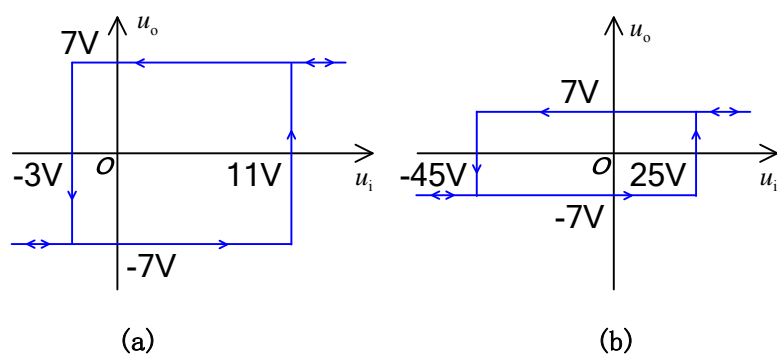
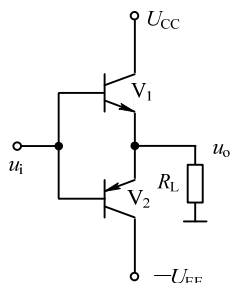


图 7.20'

8.2 图题 8-2 为理想乙类互补推挽功放电路, 设 $U_{CC}=15V$, $U_{EE}=-15V$, $R_L=4\Omega$, $U_{CE(sat)}=0$, 输入为正弦信号。试求

- (1) 输出信号的最大功率;
- (2) 输出最大信号功率时电源的功率、集电极功耗 (单管) 和效率;
- (3) 每个晶体管的最大耗散功率 P_{Tm} 是多少? 在此条件下的效率是多少?



图题 8-2

解: (1) $P_{om} = \frac{1}{2} \frac{U_{CC}^2}{R_L} = \frac{1}{2} \times \frac{15^2}{4} = 28.13W$

(2) $P_{Em} = 2U_{CC} \cdot \frac{U_{CC}}{\pi R_L} = \frac{2}{\pi} \times \frac{15^2}{4} = 35.83W$

$P_T = \frac{1}{2} (P_E - P_o) = \frac{1}{2} \times (35.83 - 28.13) = 3.85W$

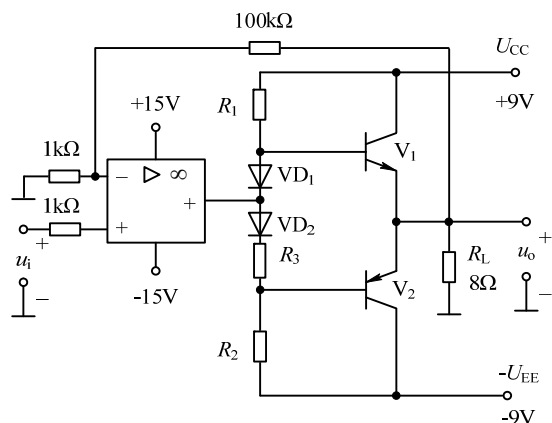
$\eta = \frac{\pi}{4} \xi = \frac{\pi}{4} = 78.5\%$

(3) $P_{Tm} = 0.2P_{om} = 0.2 \times 28.13 = 5.63W$

$\eta = \frac{\pi}{4} \xi = \frac{\pi}{4} \times \frac{2}{\pi} = 50\%$

8. 8. 功放电路如图题 8-8 所示, 试问

- (1) 指出电路中的反馈通路, 并判断反馈组态;
- (2) 估算电路在深度负反馈时的闭环电压增益;
- (3) 设晶体管的饱和压降为 $0.5V$, 电路的最大输出功率为多少? 晶体管的参数 I_{CM} 、 P_{CM} 、 $U_{(BR)CEO}$ 如何选取?
- (4) 如要求输出电压 $U_{om}=8V$, 输入信号 $U_{im}=?$



图题 8-8

(1) $100\text{k}\Omega$ 、 $1\text{k}\Omega$ 电阻构成了互补乙类功放电路和运放构成的同相比拟放大器之间的反馈通路。引入了级间电压串联负反馈。

$$(2) U_f = \frac{1}{100+1} U_o, \text{ 根据 } U_i = U_f, \text{ 所以得 } A_{uf} = \frac{U_o}{U_i} = \frac{100+1}{1} = 101$$

$$(3) P_{om} = \frac{1}{2} \frac{U_{om}^2}{R_L} = \frac{1}{2} \frac{(U_{CC} - U_{CE(sat)})^2}{R_L} = \frac{1}{2} \times \frac{(9-0.5)^2}{8} = 4.52\text{W}$$

晶体管的参数应满足如下条件：

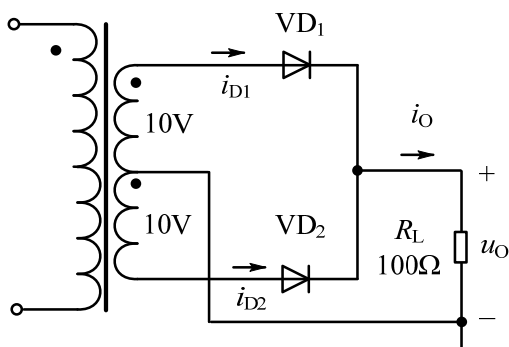
$$P_{CM} > 0.2 P_{om} = 0.2 \times 4.52 = 0.90\text{W}$$

$$I_{CM} > \frac{U_{om}}{R_L} = \frac{U_{CC} - U_{CE(sat)}}{R_L} = \frac{8.5}{8} = 1.06\text{A}$$

$$U_{(BR)CEO} > 2U_{CC} - U_{CE(sat)} = 18 - 0.5 = 17.5\text{V}$$

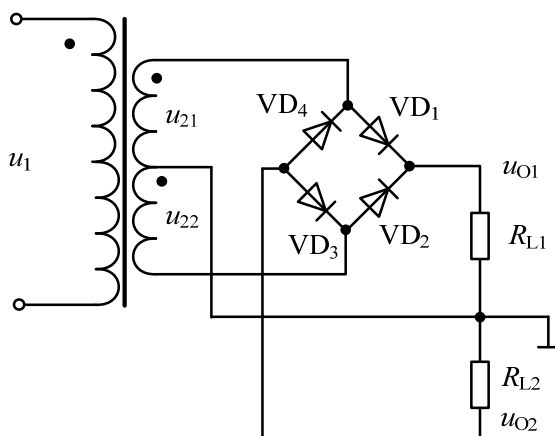
$$(4) \text{ 因为 } A_{uf} = 101, U_{om} = 8\text{V}, \text{ 所以 } U_{im} = \frac{U_{om}}{A_{uf}} = \frac{8}{101} \text{V} = 79.2\text{mV}$$

1. 单相全波整流电路如图题 9-1 所示，图中已标出变压器副边绕组电压有效值。
- (1) 估算负载 R_L 上直流电压平均值 U_O 。
 - (2) 若二极管 VD_1 开路，重新估算 U_O 。
 - (3) 为保证电路正常工作，整流管的极限参数 I_F 、 U_{RM} 应满足什么条件？



图题 9-1

2. 电路如图题 9-2 所示，变压器副边绕组电压有效值 $U_{21} = U_{22} = 20V$ 。
- (1) 标出 u_{O1} 、 u_{O2} 对地的极性，并求 u_{O1} 的直流电压平均值 U_{O1} 。
 - (2) u_{O1} 、 u_{O2} 的波形是全波整流还是半波整流？



图题 9-2