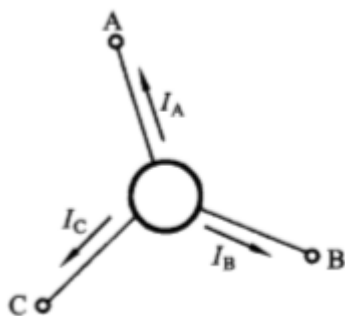


4.1 测得某放大电路中 BJT 的三个电极 A、B、C 的对地电位分别为 $V_A = -9V$, $V_B = -6V$, $V_C = -6.2V$, 试分析 A、B、C 中哪个是基极 b、发射极 e、集电极 c, 并说明此 BJT 是 NPN 管还是 PNP 管。

解: 由于锗 BJT 的 $|V_{BE}| \approx 0.2V$, 硅 BJT 的 $|V_{BE}| \approx 0.7V$, 已知 BJT 的电极 B 的 $V_B = -6V$, 电极 C 的 $V_C = -6.2V$, 电极 A 的 $V_A = -9V$, 故电极 A 是集电极。又根据 BJT 工作在放大区时, 必须保证发射结正偏、集电结反偏的条件可知, 电极 B 是发射极, 电极 C 是基极, 且此 BJT 为 PNP 管。

4.2 某放大电路中 BJT 三个电极 A、B、C 的电流如题图 4.1 所示, 用万用表直流电流挡测得 $I_A = -2mA$, $I_B = -0.04mA$, $I_C = +2.04mA$, 试分析 A、B、C 中哪个是基极 b、发射极 e、集电极 c, 并说明此管是 NPN 还是 PNP 管, 它的 β 是多少?



题图 4.1

解: 由 $I_A = -2mA$, $I_B = -0.04mA$ 可知, 图题中电流 I_A , I_B 的方向与其实方向相反, 即 I_A , I_B 流入管子为正, 而 I_C 流出管子为正, 故此 BJT 为 NPN 管。由 BJT 的电流分配关系知, 电极 A 是集电极, B 是基极, C 是发射极。其 $\beta = \frac{2mA}{0.04mA} = 50$

4.3 测得某晶体管三个电极上的电流分别为: $I_1 = 3mA$, $I_2 = 0.06mA$, $I_3 = 3.06mA$ 。试估算该管的 β , α 值。

解: 根据晶体管放大状态下的电流关系

$$\begin{aligned} I_E &= I_C + I_B \\ I_C &= \beta I_B \end{aligned}$$

得

$$I_E = I_3 = 3.06mA, I_C = I_1 = 3mA, I_B = I_2 = 0.06mA$$

故

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{I_C}{I_B} = \frac{3}{0.06} = 50 \\ \alpha &= \frac{I_C}{I_E} = \frac{3}{3.06} = 0.98 \end{aligned}$$

4.4 在 NPN 型晶体三极管中, 发射结加正偏, 集电结加反偏。已知 $I_S \approx 4.5 \times 10^{-15}A$, $\bar{\alpha} = 0.98$, I_{CBO} 忽略不计。试求当 $V_{BE} = 0.65V$ 、 $0.7V$ 、 $0.75V$ 时, I_E 、 I_C 和 I_B 的值, 并分析比较。

解:

(1)

$$V_{BE} = 0.65V, I_C = I_S e^{V_{BE}/V_T} = 0.881mA$$

$$I_E = I_C / \alpha = 0.899mA, I_B = I_E - I_C = 18\mu A$$

(2)

$$V_{BE} = 0.7V, I_C = I_s e^{V_{BE}/V_T} = 6.508mA,$$

$$I_E = I_C / \alpha = 6.641mA, I_B = I_E - I_C = 0.133mA$$

(3)

$$V_{BE} = 0.75V, I_C = I_s e^{V_{BE}/V_T} = 48.089mA,$$

$$I_E = I_C / \alpha = 49.07mA, I_B = I_E - I_C = 0.981mA$$

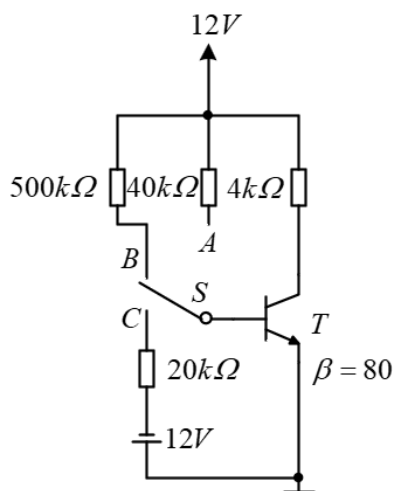
以(1)为基准, (2)中 V_{BE} 增加 7.69%, I_C 增加了 638.71%

以(1)为基准, (3)中 V_{BE} 增加 15.38%, I_C 增加了 5358.46%

4.5 某BJT的极限参数 $I_{CM} = 100mA$, $P_{CM} = 150mW$, $V_{(BR)CEO} = 30V$, 若它的工作电压 $V_{CE} = 10V$, 则工作电流 I_C , 不得超过多大? 若工作电流 $I_C = 1mA$, 则工作电压的极限值应为多少?

解: BJT 工作时, 其电压、电流及功耗不得超过其极限值, 否则将损坏。当工作电压 V_{CE} 确定时, 应根据 P_{CM} 及 I_{CM} 确定工作电流 I_C , 即应满足 $I_C V_{CE} \leq P_{CM}$, 及 $I_C \leq I_{CM}$, 当 $V_{CE} = 10V$ 时, $I_C \leq P_{CM}/V_{CE} = 15mA$, 此值小于 $I_{CM} = 100mA$, 故此时工作电流不超过 15mA 即可。同理, 当工作电流 I_C 确定时, 应根据 $I_C V_{CE} \leq P_{CM}$, 及 $V_{CE} \leq V_{(BR)CEO}$ 确定工作电压 V_{CE} 的大小。当 $I_C = 1mA$ 时, 为同时满足上述两个条件, 则工作电压的极限值应为 30V。

4.6 电路如题图 4.2 所示, 设 BJT 的 $\beta = 80$, $V_{BE} = 0.6V$, I_{CEO} , V_{CES} 可忽略不计, 试分析当开关 S 分别接通 A、B、C 三位置时, BJT 各工作在其输出特性曲线的哪个区域, 并求出相应的集电极电流 I_C 。



图题 4.2

解: S 与 A 相连时 $I_B = \frac{(12-0.6)V}{40 \times 10^3 \Omega} \approx 0.0003A = 0.3mA$

$$\text{而 } I_{BS} = \frac{I_{CS}}{\beta} = \frac{V_{CC}/R_C}{\beta} \approx 0.038mA$$

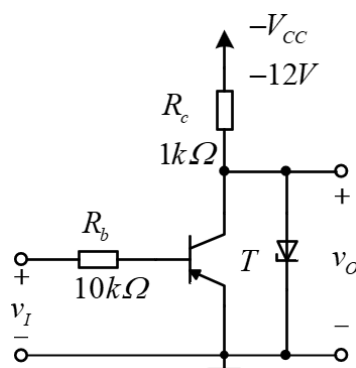
故此时 BJT 工作在饱和区 $I_C \approx \frac{V_{CC}}{R_C} = 3mA$

$$\text{S 与 B 相连时 } I_B = \frac{(12-0.6)V}{500 \times 10^3 \Omega} \approx 0.000023A = 0.023mA$$

有 $I_B < I_{BS}$, 故此时 BJT 工作在放大区, $I_C = \beta I_B = 80 \times 0.023mA = 1.84mA$ 。

S 与 C 相连时, BJT 的发射结反偏, 工作在截至区, $I_C \approx 0$ 。

4.7 电路如图题 4.3 所示, 晶体管的 $\beta = 50$, $|V_{BE}| = 0.2V$, 饱和管压降 $|V_{CES}| = 0.1V$; 稳压管的稳定电压 $V_Z = 5V$, 正向导通电压 $V_D = 5V$ 。试问: 当 $v_I = 0V$ 时, v_O 是多少; 当 $v_I = -5V$ 时, v_O 是多少?



图题 4.3

解: 当 $v_I = 0V$ 时, 晶体管截止, 稳压管击穿, $v_O = -V_Z = -5V$ 。

当 $v_I = -5V$ 时, 晶体管饱和, $v_O = -0.1V$,

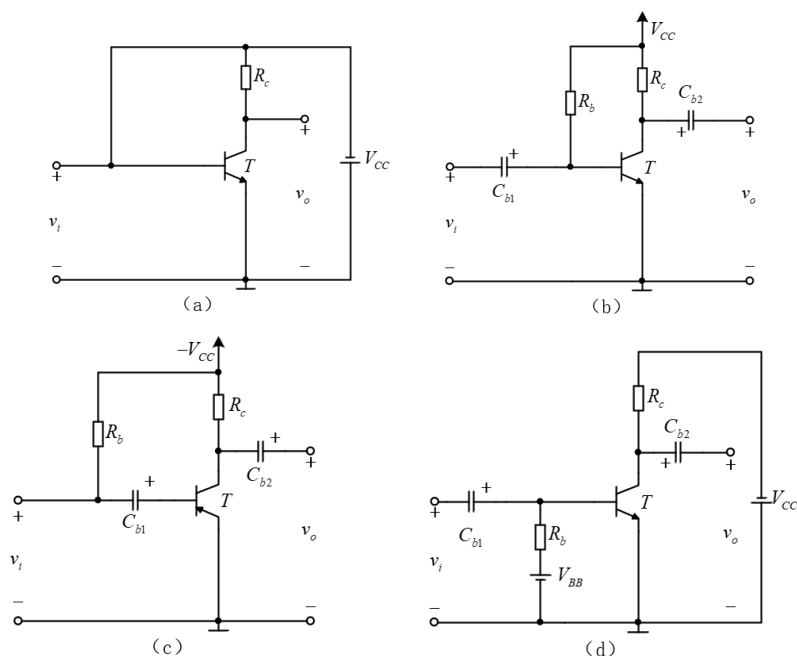
因为

$$|I_B| = \frac{|v_I| - 0.2}{R_b} = 480\mu A$$

$$|I_C| = \beta |I_B| = 24mA$$

$$V_{EC} = V_{CC} - |I_C| R_c < 0$$

4.8 试分析题图 4.4 所示各电路对正弦交流信号有无放大作用, 并简述理由 (设各电容的容抗可忽略)。



图题 4.4

解:

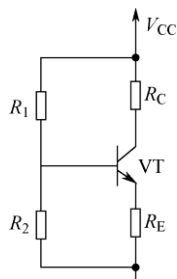
图 a 无放大作用。一方面 V_{CC} 使发射结所加反偏电压太高, 管子易于击穿; 另一方面因 $R_b = 0$, 使输入信号 v_i 被短路。

图 b 电路偏置正常，且交流信号能够传输，有交流放大作用。

图 c 无交流放大作用，因电容 C_{b1} 隔断了基极的直流通路。

图 d 无交流放大作用，因电源 V_{CC} 的极性接反。

4.9 设计题图 4.5 所示放大器的偏置电路，使得电流 $I_E = 2\text{mA}$ ，电源 $V_{CC} = +15\text{V}$ 。晶体管的 β 额定值为 100 已知 $V_{CEQ} = 5\text{V}$ 。



题图 4.5

解：

$$I_E = 2\text{mA}, \beta = 100, I_C \approx I_E, I_B = \frac{I_C}{\beta} = 0.02\text{mA}$$

$$(1) \text{ 取 } V_{EQ} = 0.2V_{CC} = 0.2 \times 15 = 3\text{V}, R_E = \frac{V_{EQ}}{I_{EQ}} = \frac{3}{2} = 1.5\text{k}\Omega$$

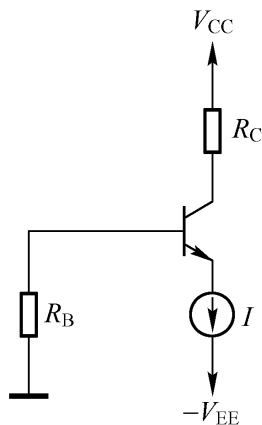
$$(2) \text{ 取 } I_1 = 10I_{BQ} = 10 \frac{I_{CQ}}{\beta} = 0.2\text{mA}, I_{BQ} \text{ 可忽略不计}$$

$$\text{则 } R_{B1} + R_{B2} = \frac{V_{CC}}{I_1} = 75\text{k}\Omega, V_{BQ} \approx V_{CC} \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = V_{BE} + V_{EQ}$$

$$\therefore R_{B2} = 18.5\text{k}\Omega, R_{B1} = 56.5\text{k}\Omega$$

$$(3) V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_E + R_C), \therefore R_C = \frac{V_{CC} - V_{CEQ}}{I_{CQ}} - R_E = 3.5\text{k}\Omega$$

4.10 对于题图 4.6 所示的电路，当 $V_{CC} = 10\text{V}$ ， $V_{EE} = -10\text{V}$ ， $I = 1\text{mA}$ ， $\beta = 100$ ， $R_B = 100\text{k}\Omega$ ， $R_C = 7.5\text{k}\Omega$ 时，求基极、集电极和发射极的直流电压。



题图 4.6

解:

假设该三极管工作在放大区, $\beta=100$

$$\text{则 } I_C \approx I_E = 1\text{mA}, I_B = \frac{I_C}{\beta} = 0.01\text{mA}$$

$$V_B = -I_B \times R_B = -1\text{V}$$

$$V_E = -1.7\text{V}$$

$$V_C = 10 - I_C R_C = 2.5\text{V}$$

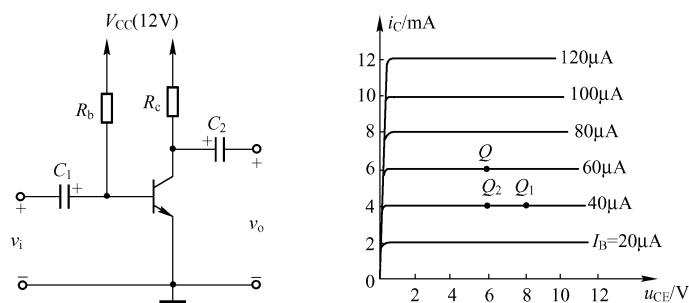
$$V_{CE} = 4.2\text{V}$$

$\because V_{CE} > 0.3\text{V}, \therefore$ 假设成立, 该电路工作在放大模式

4.11 放大电路如题图 4.7 所示, 已知该电路的静态工作点位于输出特性曲线的 Q 点处。

(1) 确定 R_c 和 R_b 的值 (设 $V_{BEQ}=0.7\text{V}$);

(2) 为了把静态工作点 Q 点移到 Q_1 点, 应调整哪些电阻? 调为多大? 若静态工作点移到 Q_2 点, 又应如何调整?



图题 4.7

解: $V_{CC} - V_{BE} - I_B R_b = 0, V_{CC} - V_{CE} - I_C R_C = 0$

$$\therefore R_b = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B}, R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C}$$

(1) 在 Q 处: $I_C = 6\text{mA}, I_B = 60\mu\text{A}, V_{CE} = 6\text{V}, \therefore \beta = \frac{I_C}{I_B} = 100$

$$\therefore R_b = 188.33\text{k}\Omega, R_C = 1\text{k}\Omega$$

(2) 当 $Q \rightarrow Q_1$ 点: $I_C = 4\text{mA}, I_B = 40\mu\text{A}, V_{CE} = 8\text{V}$

$$\therefore R_b = 282.5\text{k}\Omega, R_C = 1\text{k}\Omega$$

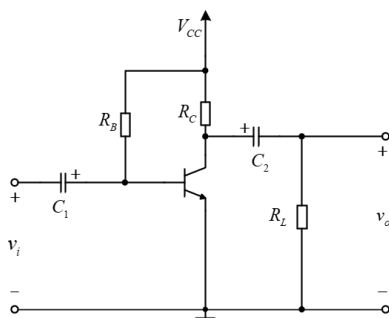
(3) 当 $Q \rightarrow Q_2$ 点, $I_C = 4\text{mA}, I_B = 40\mu\text{A}, V_{CE} = 6\text{V}$

$$\therefore R_b = 282.5\text{k}\Omega, R_C = 1.5\text{k}\Omega$$

4.12 在题图 4.8 所示的放大电路中, 已知 $V_{CC} = 12\text{V}, R_B = 500\text{k}\Omega, R_C = R_L = 6.8\text{k}\Omega$, 晶体管 $\beta = 50, V_{BEQ} = 0.6\text{V}$ 。

(1) 计算静态工作点;

(2) 若要求 $I_{CQ} = 0.5\text{mA}$, $V_{CEQ} = 6\text{V}$, 求所需的 R_B 和 R_C 的值。



图题 4.8

解:

(1)

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BEQ}}{R_B} = \frac{12 - 0.6}{500} = 0.023\text{mA}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 50 \times 0.023 = 1.17\text{mA}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 12 - 1.17 \times 6.8 = 4\text{V}$$

(2)

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = \frac{0.5}{50} = 0.01\text{mA}$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BEQ}}{I_{BQ}} = \frac{12 - 0.6}{0.01} = 1140\text{k}\Omega$$

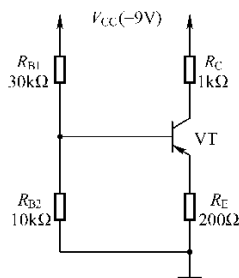
$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CEQ}}{I_{CQ}} = \frac{12 - 6}{0.5} = 12\text{k}\Omega$$

4.13 在题图 4.9 所示电路中, 已知晶体三极管的 $\beta = 200$, $V_{BE(\text{on})} = -0.7\text{V}$, $I_{CBO} \approx 0$ 。

(1) 试求 I_B 、 I_C 、 V_{CE} ;

(2) 若电路中元件分别做如下变化, 试指出晶体三极管的工作模式。

① $R_{B2} = 2\text{k}\Omega$; ② $R_{B1} = 15\text{k}\Omega$; ③ $R_E = 100\Omega$ 。



题图 4.9

解:

(1) 采用戴维南等效: $R_{BB} = 30\text{k} // 10\text{k} = 7.5\text{k}\Omega$, $V_{BB} = V_{CC} \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = -2.25\text{V}$

$$I_B = \frac{V_{BB} + 0.7}{R_{BB} + (1 + \beta)R_E} = -32.6\mu\text{A}, \quad I_C = \beta I_B = -6.53\text{mA}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = -2.47\text{V}, \quad V_E = I_E R_E = -6.55\text{mA} \times 200 = -1.31\text{V}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = -1.16V$$

(2) 考虑到第二问只需要判断工作模式, 不需要精确计算, 且 $\beta = 200$, 则 $I_E \approx I_C$,

$$I_B \approx 0。$$

(a) 当 $R_{B2} = 2k\Omega$ 时: $V_{BB} = -0.5625V \therefore$ 发射结正偏, 但正偏电压很小
因此产生的电流很小, VCE 间压差很大, 故应该在放大区的边缘

$$(b) \text{ 当 } R_{B1} = 15k\Omega, V_{BB} = -3.6V, I_E = (-3.6 + 0.7) / R_E = -14.5mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C - V_E = 8.4V \geq -0.3V, \therefore \text{是 PNP 型管 (} V_{EC} \geq 0.3V \text{ 是放大区,}$$

$$V_{CE} \leq -0.3V) \therefore \text{工作在饱和区}$$

$$(c) \text{ 当 } R_E = 100\Omega \text{ 时: } V_{BB} = -2.25V, V_E = -1.55V, \therefore V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - V_E = 8.05V$$

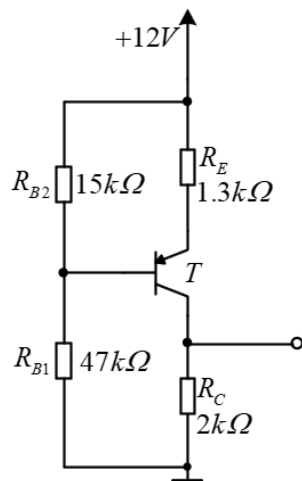
\therefore 工作在饱和区

4.14 晶体管电路如题图 4.10 所示。已知 $\beta = 100$, $V_{BE} = -0.7V$ 。

(1) 估算直流工作点 I_{CQ} 、 V_{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 V_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} 的取值。



图题 4.10

解:

(1)

$$V_{RB2} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} = \frac{15}{47 + 15} \times 12 = 2.9V$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{RB2} - 0.7}{R_E} = \frac{2.9 - 0.7}{1.3} = 1.7mA$$

$$V_{CEQ} = -V_{ECQ} = -[V_{CC} - I_{CQ}(R_E + R_C)] = -6.4V$$

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

当 R_{B2} 开路时, 则有

$$I_B = \frac{V_{CC} - 0.7}{R_{B1} + (1 + \beta)R_E} = \frac{12 - 0.7}{47 + 101 \times 1.3} = 0.063 \text{mA}$$

$$I_{B(sat)} = \frac{V_{CC} + V_{CE(sat)}}{(R_E + R_C)\beta} = \frac{12 - 0.7}{(1.3 + 2) \times 100} = 0.034 \text{mA}$$

因为 $I_B > I_{B(sat)}$, 所以晶体管处于饱和状态。此时

$$U_C \approx \frac{V_{CC} + V_{CE(sat)}}{R_E + R_C} R_C = \frac{12 - 0.7}{2 + 1.3} \times 2 = 6.85 \text{V}$$

(3) 当 R_{B2} 开路时, 由于

$$I_{CQ} = \beta \frac{V_{CC} + V_{BE}}{R_{B1} + (1 + \beta)R_E} = 100 \times \frac{12 - 0.7}{R_{B1} + 101 \times 1.3} = 2 \text{mA}$$

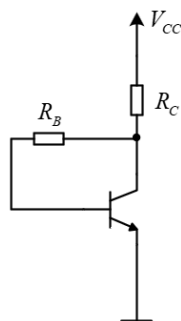
由此解得

$$R_{B1} = 433.7 \text{k}\Omega$$

4.15 电压负反馈型偏置电路如题图 4.11 所示。若晶体管 β 、 V_{BE} 已知。

(1) 试导出计算工作点的表达式;

(2) 简述稳定工作点的原理。



题图 4.11

解:

(1)

$$V_{CC} = (1 + \beta)I_{BQ}R_C + I_{BQ}R_B + V_{BE}$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_C}$$

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

$$V_{CEQ} = V_{CC} - (1 + \beta)I_{BQ}R_C$$

(2) 无论何种原因若使 I_{CQ} 增大时, 则有如下的调节过程:

$$I_{CQ} \uparrow \rightarrow V_{RC} \uparrow \rightarrow V_C \downarrow \rightarrow I_B \downarrow \rightarrow I_{CQ} \downarrow$$

反之, 若 I_{CQ} 减小时, 亦有类似的调节过程, 使 I_{CQ} 减小受到抑制。

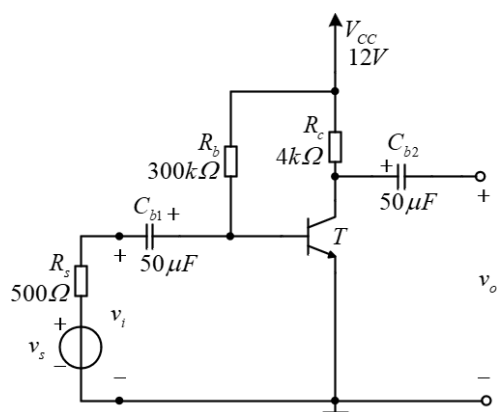
4.16 单管放大电路如题图 4.12 所示, 已知 BJT 的电流放大系数 $\beta = 50$ 。

(1) 估算 Q 点;

(2) 画出简化 H 参数小信号等效电路;

(3) 估算 BJT 的输入电阻 r_{be} ;

(4) 如输出端接入 $4\text{k}\Omega$ 的电阻负载, 计算 $A_v = v_o/v_i$ 及 $A_{vs} = v_o/v_s$ 。



题图 4.16

解:

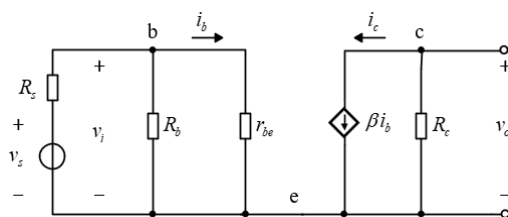
(1)

$$I_{BQ} \approx \frac{V_{CC}}{R_b} = 40\mu A$$

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

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c = 4V$$

(2)



(3)

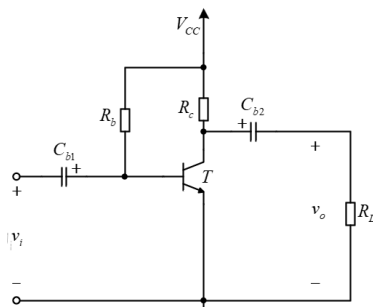
$$r_{be} = 200\Omega + (1 + \beta) \frac{26mA}{I_{EQ}} \approx 200\Omega + (1 + 50) \frac{26mA}{2mA} = 863\Omega$$

(4)

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}} = -\frac{\beta(R_c || R_L)}{r_{be}} \approx -116$$

$$A_{vs} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{v_i} \frac{v_i}{v_s} = A_v \frac{R_i}{R_i + R_s} = A_v \frac{R_b || r_{be}}{R_s + (R_b || r_{be})} \approx -73$$

4.17(设计题)放大电路如题图 4.13 所示。已知 $V_{CC} = 12V$, BJT 的 $\beta = 20$ 。若要求 $A_v \geq 100$, $I_{CQ} = 1mA$, 试确定 R_b 、 R_c 的值, 并计算 V_{CEQ} 。设 $R_L = \infty$ 。



题图 4.13

解:

由 $I_{CQ} = 1mA$, 求得 $I_{BQ} = I_{CQ}/\beta = 50\mu A$, 则

$$r_{be} = 200\Omega + (1 + \beta) \frac{26mA}{I_{EQ}} \approx 750\Omega$$

$$R_b \approx \frac{V_{CC}}{I_{BQ}} = 240k\Omega$$

由

$$A_v = -\frac{\beta R_c}{r_{be}} \geq 100$$

求得

$$R_c \geq 3.75k\Omega$$

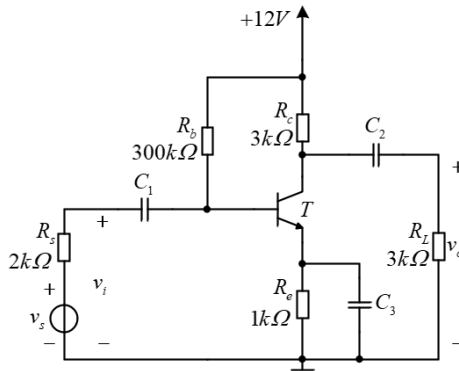
$$V_{CEQ} \leq V_{CC} - I_{CQ}R_c \leq 8.25V$$

4.18 电路如题图 4.14 所示, 晶体管 $\beta = 100$ 。

(1) 求电路的 Q 点;

(2) 画出小信号等效电路, 并计算 A_v 、 R_i 、 R_o ;

(3) 设 $V_s = 10mA$ (有效值), 问 V_i 为多少? V_o 为多少? 若 C_3 开路, 则 V_i 为多少? v_o 为多少?



题图 4.14

解:

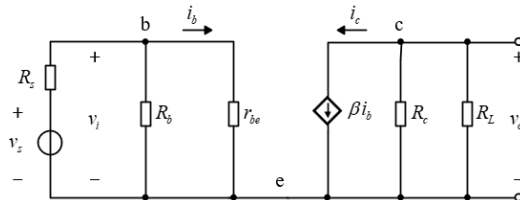
(1) Q 点:

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BEQ}}{R_b + (1 + \beta)R_e} \approx 3\mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} \approx 1.86mA$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{EQ}(R_e + R_c) = 4.56V$$

(2) 画出小信号等效电路



动态分析:

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26}{I_{EQ}} \approx 952\Omega$$

$$R_i = R_b \parallel r_{be} \approx 952\Omega$$

$$A_V = -\frac{\beta(R_C \parallel R_L)}{r_{be}} \approx -95$$

$$R_o = R_C = 3k\Omega$$

(3) 设 $v_s = 10mA$ (有效值), 则

$$v_i = \frac{R_i}{R_i + R_s} v_s \approx 3.2mV$$

$$v_o = |A_V| v_i \approx 304mV$$

若 C_3 开路, 则

$$R_i = R_b \parallel [r_{be} + (1 + \beta)R_e] \approx 51.3k\Omega$$

$$A_V \approx -\frac{R_C \parallel R_L}{R_e} = -1.5$$

$$v_i = \frac{R_i}{R_i + R_s} v_s \approx 9.6mV$$

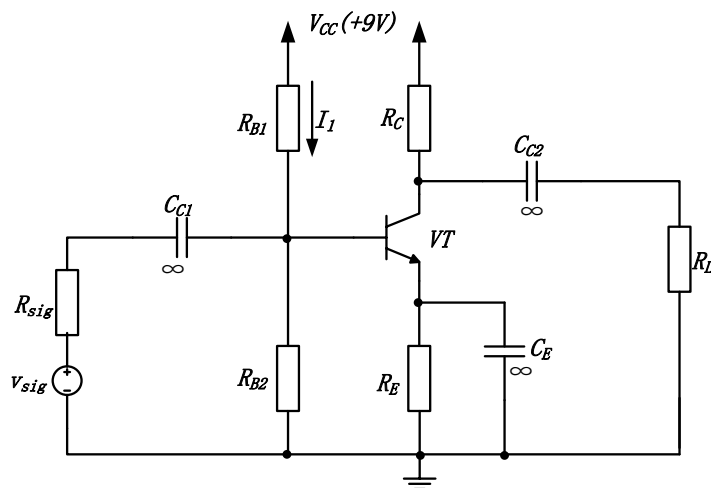
$$v_o = |A_V| v_i \approx 14.4mV$$

4.19 (设计题) 如题图 4.15 所示, $\beta=100$, $V_{BE}=0.7V$, 电路中电容在交流时影响可以忽略不计。

(1) 要求 $I_C = 3mA$, V_{CC} 在 R_C 、 V_{CE} 和 R_E 之间平分, 电压分压器上的电流 $I_1=10I_B$, 设计 R_{B1} 、 R_{B2} 、 R_C 和 R_E 的值;

(2) $|V_A|=100V$, 求解 r_π 、 g_m 和 r_o , 画出小信号等效电路;

(3) $R_L = 1k\Omega$, 求该电路的 A_v 、 R_i 和 R_o 。



题图 4.15

解:

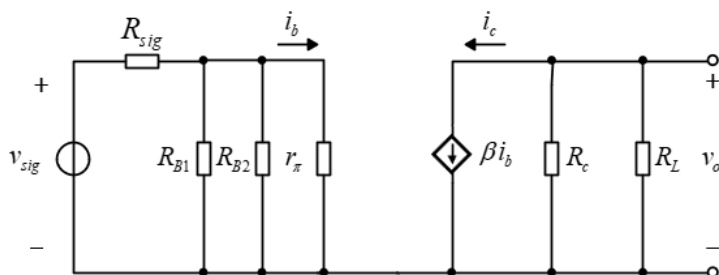
(1) 由于 V_{CC} 在 R_C 、 V_{CE} 和 R_E 之间平分, 故 $V_{RC}=V_{CE}=V_E=3V$ 。

$$\because I_C = 3mA, \therefore I_E = \frac{I_C}{\alpha} = 3.03mA, \therefore R_E = \frac{V_E}{I_E} = 0.99k\Omega, R_C = \frac{3V}{I_C} = 1k\Omega,$$

$$\because I_1 = 10I_B = 10 \times \frac{I_C}{\beta} = 0.3mA, V_B = V_{BE} + 3 = 3.7V, \therefore R_{B1} = \frac{9 - V_B}{I_1} = 17.67k\Omega$$

$$R_{B2} = \frac{V_B}{I_1 - I_B} = 13.7k\Omega$$

$$(2) \quad g_m = \frac{I_C}{V_T} = 0.12A/V, \quad r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = 833.3\Omega, \quad r_o = \frac{|V_A|}{I_C} = 33.33k\Omega$$



(3)

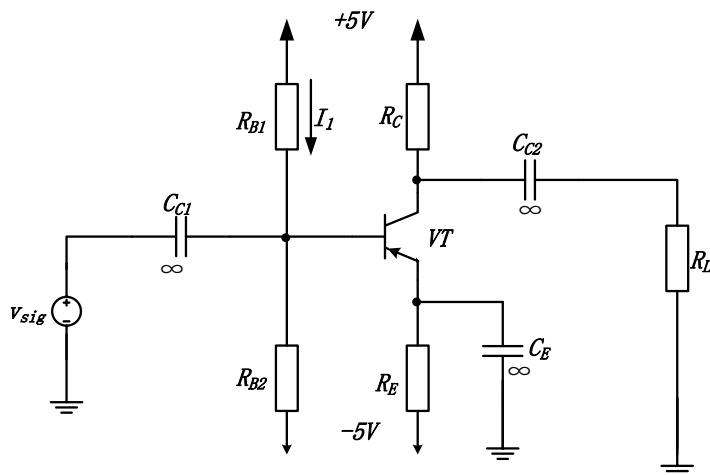
$$A_v = -g_m(R_C // r_o // R_L) = -0.12 \times (1k // 33.33k // 1k) = -59(V/V)$$

$$R_i = R_{B1} // R_{B2} // r_\pi = 17.67k // 13.7k // 833.3 = 752\Omega, \quad R_o = r_o // R_C = 0.97k\Omega$$

4.20 (设计题) 设计共射放大电路, 其输出通过电容耦合至负载电阻 $R_L = 10k\Omega$ 。最小的电压增益为 $|A_v| = 50$ 。电路直流电压为 $\pm 5V$, 每个电压源可以提供最大 $0.5mA$ 的电流。晶体管参数为 $\beta = 120, V_A = \infty$ 。

解: 电路图如图所示, 根据每个电压源可以提供最大 $0.5mA$ 的电流, 则取 $I_C = 0.5mA, I_B = 4.13$

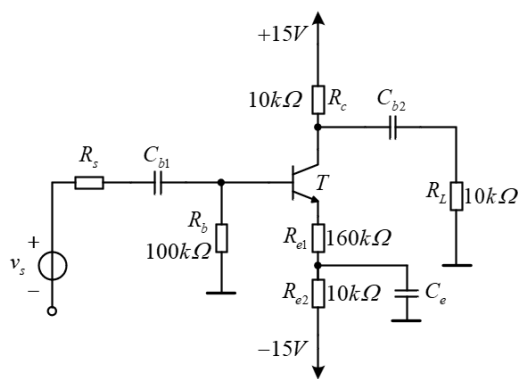
μA , 则 $g_m = \frac{I_C}{V_T} = 20mS$, 由 $|A_v| = 50$, 可得 $g_m(R_C // R_L) = 50$, 可得 $R_C = 3.3k\Omega$ 。



4.21 电路如题图 4.16 所示, 设 $\beta = 100, V_{BEQ} = 0.7V$ 。

(1) 估算 Q 点;

(2) 求电压增益 A_v 、输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 。



题图 4.16

解:

(1)

$$I_{BQ} = \frac{(15 - 0.7)V}{R_b + (1 + \beta)(R_{e1} + R_{e2})} = \frac{14.3V}{(100 + 101 \times 10.16)k\Omega} \approx 12.7\mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 1.27mA$$

$$V_{CEQ} \approx 15V - (-15)V - I_{CQ}(R_c + R_{e1} + R_{e2}) = (30 - 1.27 \times 20.16)V \approx 4.4V$$

(2)

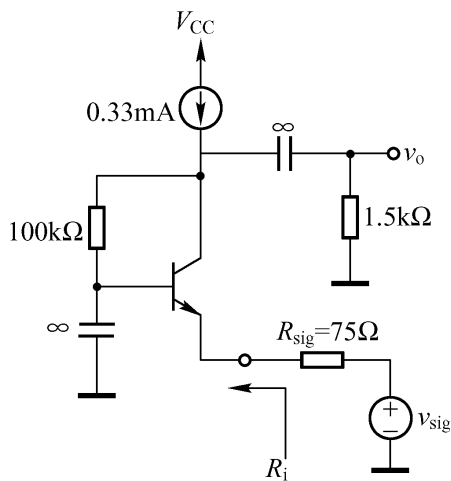
$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26mA}{I_{EQ}} \approx 2.27k\Omega$$

$$A_v = - \frac{\beta(R_c || R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_{e1}} \approx -27.1$$

$$R_i = R_b || [r_{be} + (1 + \beta)R_{e1}] \approx 15.56k\Omega$$

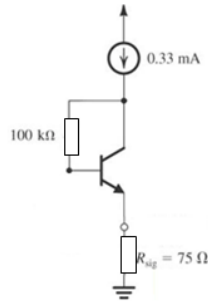
$$R_o \approx R_c = 10k\Omega$$

4.22 对于题图 4.17 所示电路, 求输入电阻 R_i 和电压增益 v_o/v_{sig} 。假设信号源提供小信号 v_{sig} 且 $\beta = 100$ 。



题图 4.17

解: 直流通路



$$I_E = 0.33 \text{ mA}$$

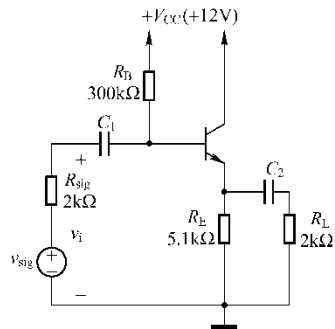
$$\therefore r_e = \frac{V_T}{I_E} = 75.76 \Omega$$

$$R_{in} = \frac{v_{in}}{i_i} = r_e = 75.76 \Omega$$

$$\begin{aligned} \frac{v_o}{v_{sig}} &= \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{sig}} \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{sig}} \frac{-\alpha i_e (100k \parallel 1.5k)}{-i_e r_e} \\ &= \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{sig}} \frac{\alpha (100k \parallel 1.5k)}{r_e} = 9.705 \text{ V/V} \end{aligned}$$

4.23 射极跟随器如题图 4.18 所示，已知三极管 $r_\pi = 1.5 \text{ k}\Omega$ ， $\beta = 49$ 。

- (1) 画出交流小信号等效电路；
- (2) 计算 A_v 、 R_i 、 R_o 。



题图 4.18

解：

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{(1 + \beta) i_b (r_o \parallel R_L)}{i_b r_\pi + (1 + \beta) i_b (r_o \parallel R_L)} = \frac{(1 + \beta) (R_E \parallel R_L)}{r_\pi + (1 + \beta) (R_E \parallel R_L)} = 0.98$$

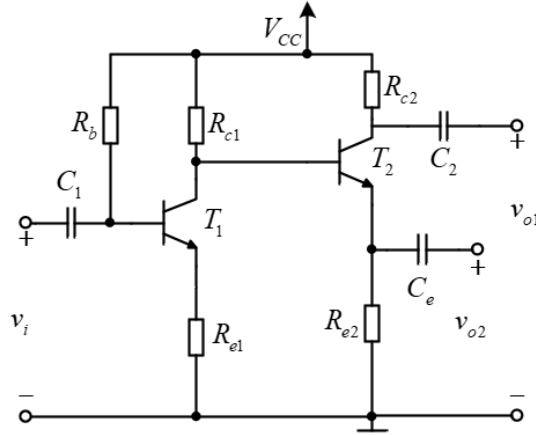
$$R_{ib} \equiv \frac{v_i}{i_b} = \frac{i_b r_\pi + (i_b + \beta i_b) (R_E \parallel R_L)}{i_b} = r_\pi + (1 + \beta) (R_E \parallel R_L) = 73.3 \text{ k}\Omega$$

$$R_i = R_B \parallel R_{ib} = 58.9 \text{ k}\Omega$$

$$R'_o = \frac{v_t}{i_t} = \frac{-i_b r_\pi - i_b (R_{sig} // R_B)}{-(i_b + \beta i_b)} = \frac{r_\pi + R_{sig} // R_B}{1 + \beta} = 0.0698 k\Omega = 69.8 \Omega$$

$$R_o = R'_o // R_E = 0.0688 k\Omega = 68.8 \Omega$$

4.24 电路如题图 4.19 所示。已知 $V_{CC} = 12V$, $R_b = 300k\Omega$, $R_{c1} = 3k\Omega$, $R_{c2} = 1.5k\Omega$, $R_{e1} = 0.5k\Omega$, $R_{e2} = 1.5k\Omega$, 晶体管的电路放大系数 $\beta_1 = \beta_2 = 60$, 电路中的电容足够大。计算电流的静态工作点, 输出信号分别从集电极输出及从发射极输出的两级放大电路的电压放大倍数。



题图 4.19

解:

放大电路的静态值计算:

$$\begin{aligned} I_{B1} &= \frac{V_{CC} - 0.7}{R_B + (1 + \beta_1)R_{e1}} = \frac{12 - 0.7}{300 + 61 \times 0.5} = 0.034 mA \\ I_{C1} &= \beta_1 I_{B1} = 60 \times 0.034 = 2.05 mA \\ V_{CC} - 0.7 &= (I_{B2} + I_{C1})R_{c1} + (1 + \beta_2)R_{e2}I_{B2} \\ I_{B2} &= \frac{V_{CC} - 0.7 - I_{C1}R_{c1}}{R_{c1} + (1 + \beta_2)R_{e2}} = \frac{12 - 0.7 - 2.05 \times 3}{3 + 61 \times 1.5} = 0.054 mA \\ I_{C2} &= \beta_2 I_{B2} = 60 \times 0.054 = 3.27 mA \\ V_{CEQ1} &= V_{CC} - (I_{B2} + I_{C1})R_{c1} - (1 + \beta_1)R_{e1}I_{B1} = 4.64 V \\ V_{CEQ2} &= V_{CC} - I_{C2}R_{c2} - (1 + \beta_2)R_{e2}I_{B2} = 2.12 V \end{aligned}$$

放大电路的电压放大倍数计算:

$$\begin{aligned} r_{be1} &= 200 + \frac{26}{I_{B1}} = 0.96 k\Omega, \quad r_{be2} = 200 + \frac{26}{I_{B2}} = 0.68 k\Omega \\ R_{i2} &= r_{be2} + (1 + \beta_2)R_{e2} = 92.2 k\Omega \\ A_{Vi1} &= -\beta_1 \frac{R_{i2} // R_{c1}}{r_{be1} + (1 + \beta_1)R_{e1}} = -5.54 \end{aligned}$$

第二级放大电路从集电极输出时,

$$A_{Vi2} = -\beta_2 \frac{R_{c2}}{r_{be2} + (1 + \beta_2)R_{e2}} = -0.98$$

$$A_{Vi} = A_{Vi1}A_{Vi2} = (-5.54) \times (-0.98) = 5.41$$

第二级放大电路从发射极输出时,

$$A_{vi2}' = -\beta_2 \frac{(1 + \beta_2)R_{e2}}{r_{be2} + (1 + \beta_2)R_{e2}} = 0.99$$

$$A_{vi} = A_{vi1}A_{vi2}' = (-5.54) \times 0.99 = -5.5$$