

第 2 章 习题及答案

2.3 放大电路如图 P2.3 所示。已知: $V_{CC}=12V$, $R_c=3k\Omega$, $\beta=40$, $U_{BE}=0.7V$ 。求: 当 $I_C=2mA$ 时 I_B 、 U_{CE} 以及 R_b 的值。

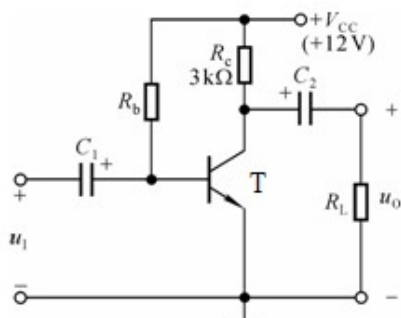


图 P 2.3

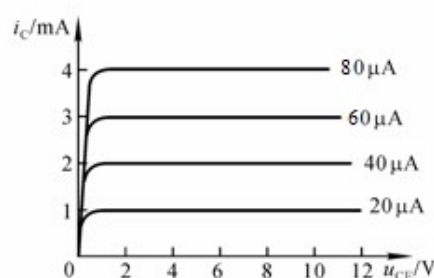


图 P2.4

解:

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

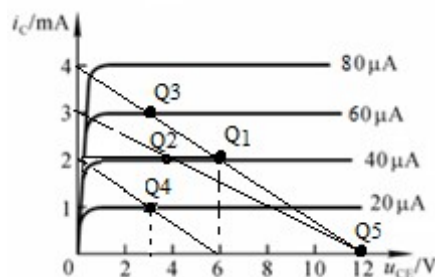
$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_b}, \text{ 代入数值有 } \frac{12V - 0.7V}{R_b} = 50\mu A \Rightarrow R_b = 226k\Omega$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c = 12 - 2 \times 3 = 6V$$

2.4 放大电路如图 P2.3 所示, 其三极管的输出特性曲线如图 P2.4 所示。已知: $V_{CC}=12V$, $R_c=3k\Omega$, $R_b=300k\Omega$, U_{BE} 可以忽略不计。要求: (1) 画直流负载线, 求静态工作点; (2) 当 R_c 由 $3k\Omega$ 变为 $4k\Omega$ 时, 工作点将移向何处? (3) 当 R_b 由 $300k\Omega$ 减小到 $200k\Omega$ 时, 工作点将移向何处? (4) 当 V_{CC} 由 $12V$ 减小到 $6V$ 时, 工作点将移向何处? (5) 当 R_b 变为开路时, 工作点将移向何处?

解: (1) 估算 $I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_b} = \frac{12}{300K} = 40\mu A$

画直流负载线 $U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c = 12V - 3000I_{CQ}$, 横轴交点 $(12V, 0)$, 纵轴交点 $(0, 4mA)$, 如解图 2.4 所示, 与 I_{BQ} 的交点即为 Q1 点: $I_{CQ}=2mA$, $U_{CEQ}=6V$

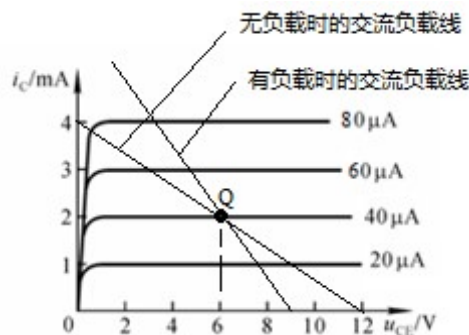


解图 2.4

- (2) 当 R_c 由 $3k\Omega$ 变为 $4k\Omega$ 时, 工作点将移到 Q2 处, $I_{CQ}=2mA$, $U_{CEQ}=4V$
 (3) 当 R_b 由 $300k\Omega$ 减小到 $200k\Omega$ 时, 工作点将移向 Q3 处, $I_{CQ}=3mA$, $U_{CEQ}=3V$
 (4) 当 V_{CC} 由 $12V$ 减小到 $6V$ 时, 工作点将移向何 Q4 处, $I_{CQ}=1mA$, $U_{CEQ}=2.5V$
 (5) 当 R_b 变为开路时, 工作点将移向 Q5 处: $I_{CQ}=0mA$, $U_{CEQ}=12V$

2.5 基本共发射极放大电路如图 P2.3 所示。已知: 负载电阻 $R_L=3k\Omega$, 三极管的输出特性曲线如图 P2.4 所示。试分别画出有负载和无负载时的交流负载线, 并说明两种情况下最大不失真输出电压的幅值 U_{om} 为多大。

解: 如解图 2.5 所示



解图 2.5

无负载时的交流负载线与直流负载线是同一条, U_{om} 为 $6V$;

有负载时, 交流负载线也过 Q 点, 但是斜率为 $-1/(R_c//R_L)$, 与横轴的交点为 $U_{CEQ}+I_{CQ}(R_c//R_L)=9V$; $U_{om}=\min(U_{CEQ}, I_{CQ}(R_c//R_L))=3V$ 。

2.6 在图 P2.3 所示电路中, 由于电路参数不同, 当输入信号为正弦波时, 测得的输出信号波形分别如图 P2.6 (a)、(b)、(c) 所示, 试说明电路分别产生了什么失真, 如何消除?

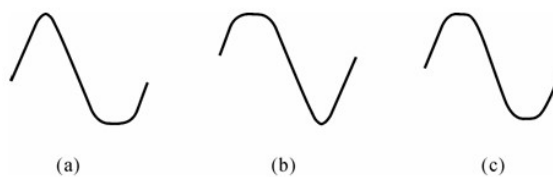


图 P2.6

解: (a) 饱和失真, 增大 R_b 。

(b) 截止失真, 减小 R_b 。

(c) 同时出现饱和失真和截止失真, 应增大 V_{CC} (或减小输入信号)。

2.7 放大电路如图 P2.7 所示。已知: 三极管的 $\beta=50$ 、饱和管压降 $U_{CES}=0.5V$, $V_{CC}=12V$ 。
 问: 在下列五种情况下, 若用直流电压表测量三极管的集电极电位, 它们的读数分别为多少?

(1) 正常情况; (2) R_{b1} 短路; (3) R_{b1} 开路; (4) R_{b2} 开路; (5) R_c 短路。

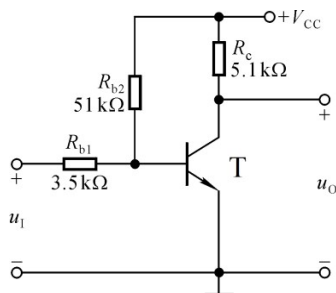


图 P2.7

解: (1)

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_{b2}} - \frac{U_{BE}}{R_{b1}} = \frac{12V - 0.7V}{51K\Omega} - \frac{0.7V}{3.5K\Omega} = 22\mu A$$

$$U_C = V_{CC} - I_{CQ} R_c = 12V - 50 \times 22\mu A \times 5.1K\Omega \approx 6.4V;$$

(2) R_{b1} 短路时: 发射结零偏置, 三极管截止, 各极电流为 0, 所以 $U_C = 12V$ 。

(3) R_{b1} 开路时:

临界饱和基极电流

$$I_{BS} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\beta R_c} \approx 0.045mA$$

实际基极电流

$$I_B = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_{b2}} \approx 0.22mA$$

由于 $I_B > I_{BS}$, 所以 T 饱和, $U_C = U_{CES} = 0.5V$ 。

(4) R_{b2} 开路, T 截止, $U_C = 12V$ 。

(5) R_c 短路, $U_C = V_{CC} = 12V$ 。

2.8 试画出图 P2.8 所示各电路的直流通路和交流通路。设所有电容对交流信号均可视为短路。

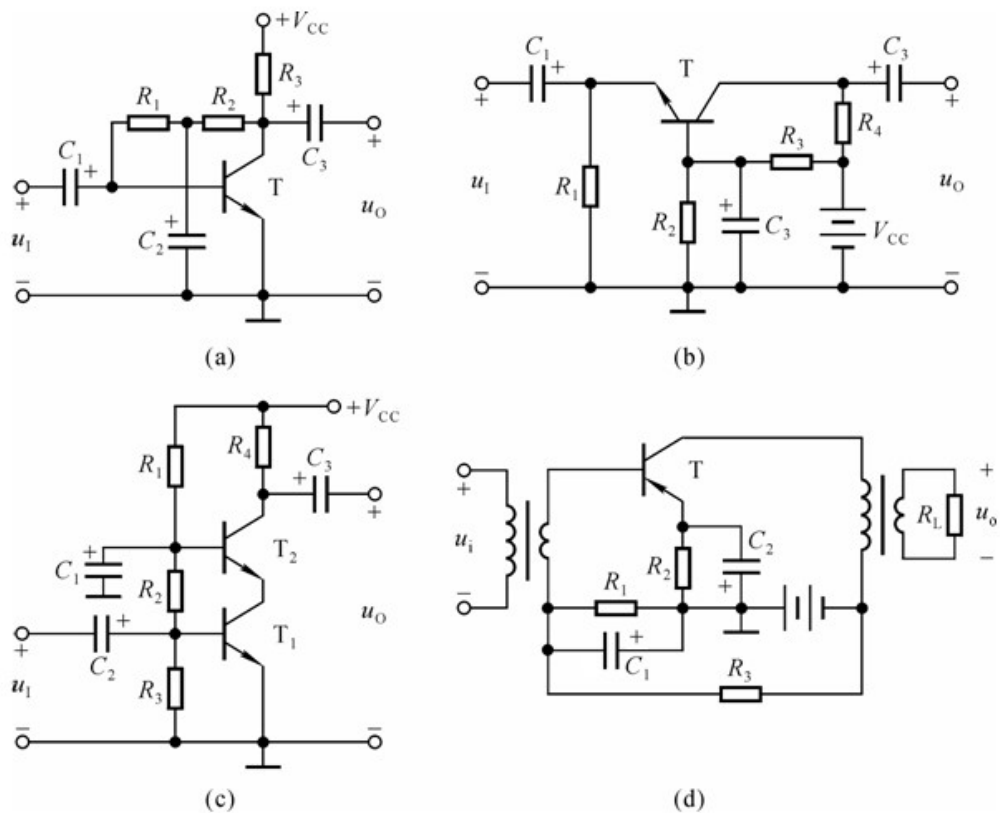
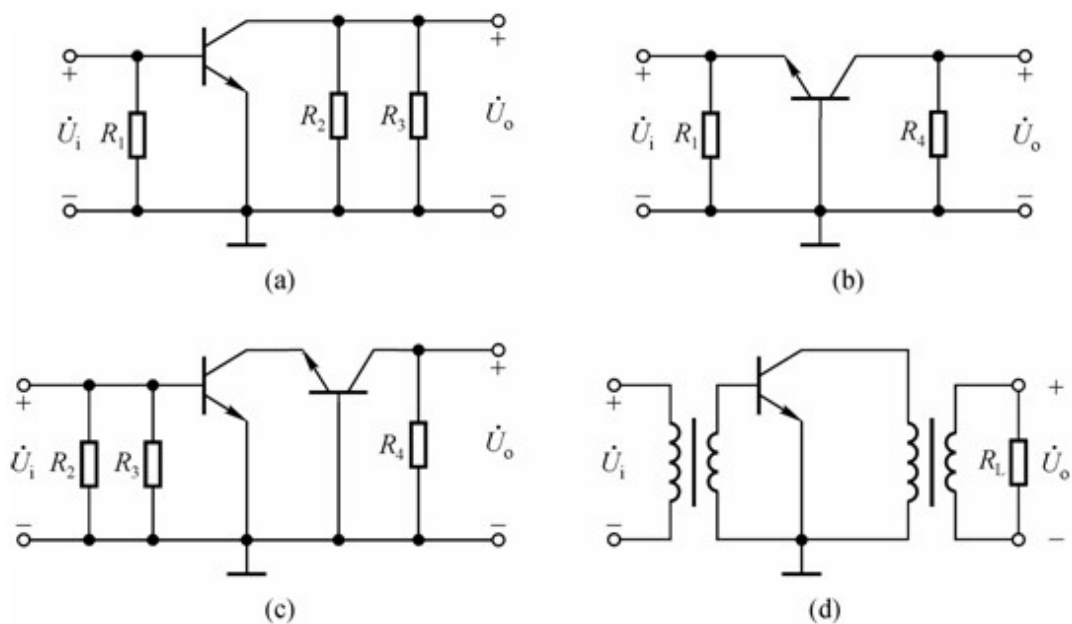


图 P2.8

解：交流通路如解图 2.8 所示。



解图 2.8

2.9 在图 P2.9 所示电路中，已知三极管的 $\beta=100$ 、 $r_{be}=1\text{k}\Omega$ 。试回答：

(1) 若测得静态管压降 $U_{CEQ}=6\text{V}$ ， R_b 约为多少千欧？

(2) 若测得输入电压 u_i 和输出电压 u_o 的有效值分别为 1mV 和 100mV，则负载电阻 R_L 为多少千欧？

(3) 若忽略三极管的饱和压降，电路的最大不失真输出幅度为多大？

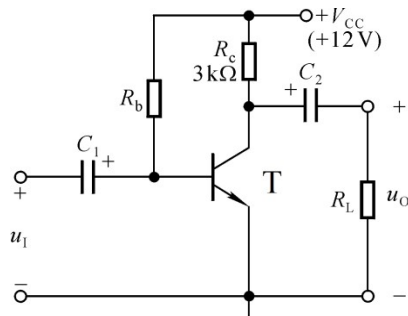
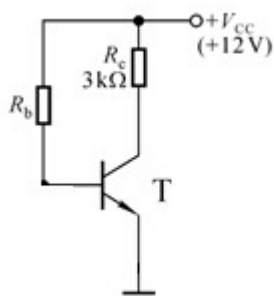


图 P2.9

解：(1) 求解 R_b ：要求画出直流通路，如解图 2.9 (a) 所示。



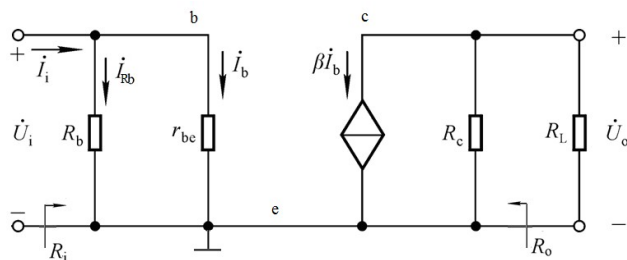
解图 2.9(a)

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} - U_{CEQ}}{R_c} = 2\text{mA}$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = 20\mu\text{A}$$

$$R_b = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{I_{BQ}} \approx 565\text{k}\Omega$$

(2) 求解 R_L ：要画出小信号模型等效电路，如解图 2.9 (b) 所示。



解图 2.9 (b)

$$\dot{A}_u = -\frac{U_o}{U_i} = -100 \quad \dot{A}_u = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}} \quad R'_L = 1k\Omega$$

$$\frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_L} = 1 \quad R_L = 1.5k\Omega$$

$$(3) U_{om} = \min(U_{CEQ}, I_{CQ} \cdot R_c // R_L) = 2V$$

2.10 电路如图 P2.10 所示，三极管的 $\beta=50$ 。(1) 估算静态工作点；(2) 分析静态工作点的稳定过程。

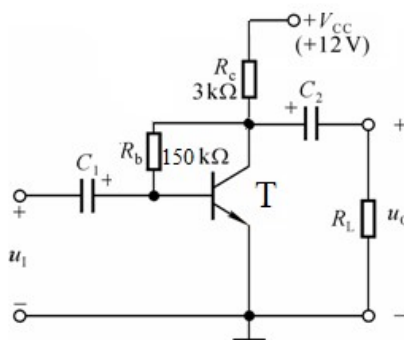


图 P2.10

解：(1)

$$I_{BQ} = \frac{U_{CEQ} - U_{BEQ}}{R_b} = \frac{U_{CEQ} - 0.7V}{150K\Omega}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = \beta \frac{U_{CEQ} - 0.7V}{150K\Omega}$$

$$I_{BQ} + I_{CQ} = \frac{V_{CC} - U_{CEQ}}{R_c} = \frac{12V - U_{CEQ}}{3K\Omega}$$

前面三个式子联立求解：

$$U_{CEQ} \approx 6V$$

$$I_{BQ} \approx 40\mu A$$

$$I_{CQ} \approx 2mA$$

(2) T 升高--- I_C 升高--- R_c 上的压降增大--- U_{BE} 减小--- I_B 减小--- I_C 减小

2.11 电路如图 P2.11 所示，三极管的 $\beta=100$ 、 $r_{bb'}=100\Omega$ 。

(1) 求电路的静态工作点、电压放大倍数、输入电阻和输出电阻；

(2) 若电容 C_e 开路，则电路的哪些动态参数将发生变化？是如何变化的？

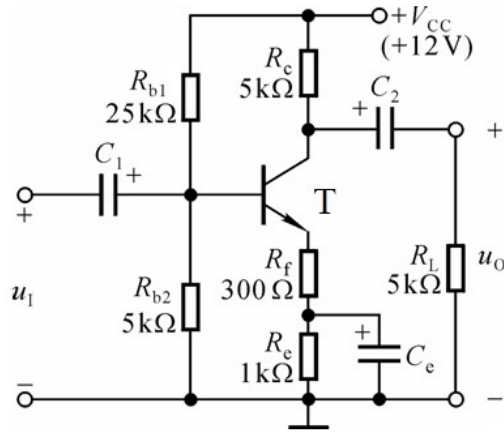
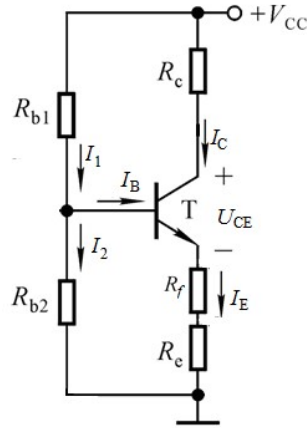


图 P2.11

解:

(1) 静态分析: 要画出直流通路, 如解图 2.11 (a) 所示。



解图 2.11 (a)

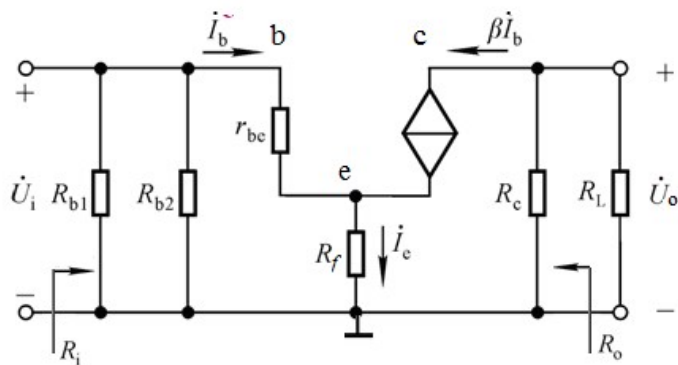
$$U_{BQ} \approx \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} \cdot V_{CC} = 2V$$

$$I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_f + R_e} \approx 1mA$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{EQ}}{1 + \beta} \approx 10\mu A$$

$$U_{CEQ} \approx V_{CC} - I_{EQ}(R_c + R_f + R_e) = 5.7V$$

动态分析: 要画出小信号模型等效电路, 如解图 2.11 (b) 所示。



解图 2.11 (b)

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_{EQ}} \approx 2.7\text{k}\Omega$$

$$\dot{A}_u = -\frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_f} \approx -7.7$$

$$R_i = R_{b1} // R_{b2} // [r_{be} + (1 + \beta)R_f] \approx 3.7\text{k}\Omega$$

$$R_o = R_c = 5\text{k}\Omega$$

(2) R_i 增大, $R_i \approx 4.1\text{k}\Omega$; $|\dot{A}_u|$ 减小, $\dot{A}_u \approx -\frac{R'_L}{R_f + R_e} \approx -1.92$ 。

2.12 电路如图 P2.12 所示。已知：输入电压为正弦波, $\beta=80$ 。试分析：

(1) $\dot{A}_{u1} = \dot{U}_{o1} / \dot{U}_i \approx ?$ (2) $\dot{A}_{u2} = \dot{U}_{o2} / \dot{U}_i \approx ?$

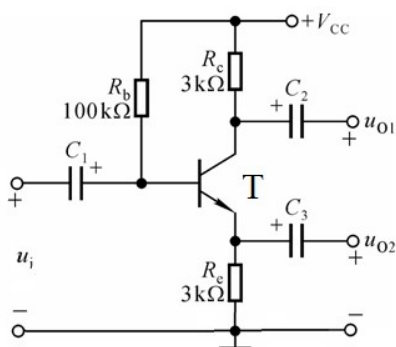
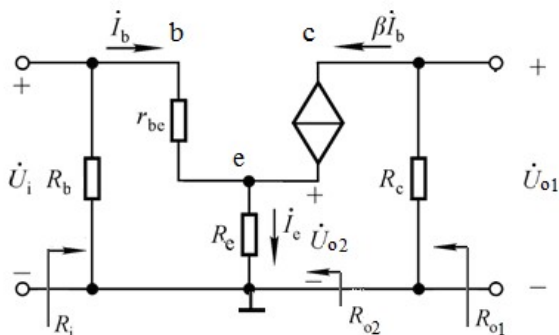


图 P2.12

解：要求画出小信号模型等效电路，如解图 2.12 所示。



解图 2.12

因为通常 $\beta \gg 1$ ，所以电压放大倍数分别应为

$$\dot{A}_{u1} = -\frac{\beta R_c}{r_{be} + (1 + \beta)R_e} \approx -\frac{R_c}{R_e} = -1$$

$$\dot{A}_{u2} = \frac{(1 + \beta)R_e}{r_{be} + (1 + \beta)R_e} \approx +1$$

2.13 电路如图 P2.13 所示，三极管的 $\beta=80$ 。

- (1) 计算静态工作点；
- (2) 当 $R_L = \infty$ 和 $R_L = 3\text{k}\Omega$ 时，分别求出电路的电压放大倍数、对信号源的电压放大倍数、输入电阻和输出电阻。

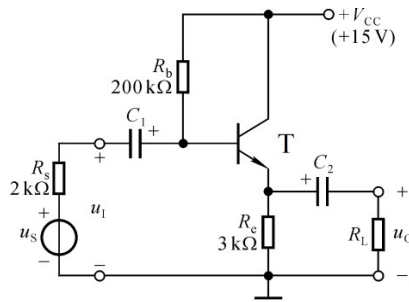
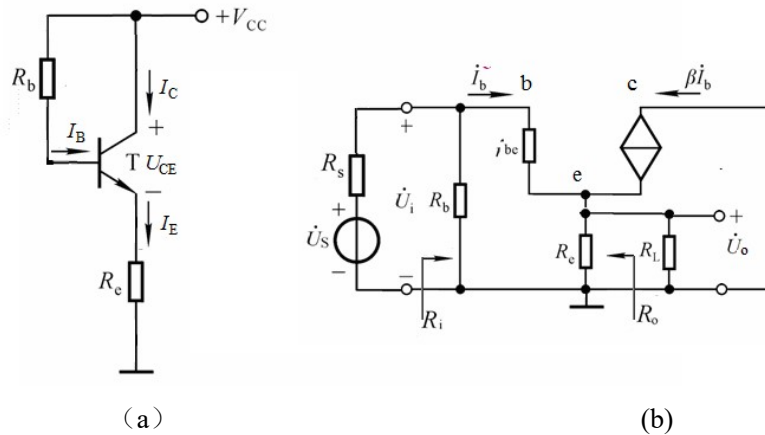


图 P2.13



解图 2.13

解：(1) 求解 Q 点：要求画出直流通路如解图 2.13 (a) 所示

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b + (1 + \beta)R_e} \approx 32.3 \mu\text{A}$$

$$I_{EQ} = (1 + \beta)I_{BQ} \approx 2.61\text{mA}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{EQ}R_e \approx 7.17\text{V}$$

(2) 求解输入电阻和电压放大倍数：要求画出小信号模型等效电路如解图 2.13 (b) 所示

$R_L = \infty$ 时

$$R_i = R_b // [r_{be} + (1 + \beta)R_e] \approx 110\text{k}\Omega$$

$$\dot{A}_u = \frac{(1 + \beta)R_e}{r_{be} + (1 + \beta)R_e} \approx 0.996$$

$R_L = 3\text{k}\Omega$ 时

$$R_i = R_b // [r_{be} + (1 + \beta)(R_e // R_L)] \approx 76\text{k}\Omega$$

$$\dot{A}_u = \frac{(1 + \beta)(R_e // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)(R_e // R_L)} \approx 0.992$$

(3) 求解输出电阻:

$$R_o = R_e // \frac{R_s // R_b + r_{be}}{1 + \beta} \approx 37\Omega$$

2.14 电路如图 P2.14 所示, 三极管的 $\beta=60$, $r_{bb'}=100\Omega$ 。

(1) 求电路的静态工作点、电压放大倍数、输入电阻和输出电阻;

(2) 设 $U_s=10\text{mV}$ (有效值), 问 $U_i=?$ $U_o=?$ 若 C_e 开路, 则 $U_i=?$ $U_o=?$

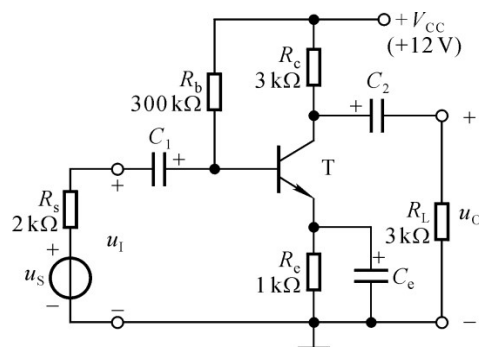
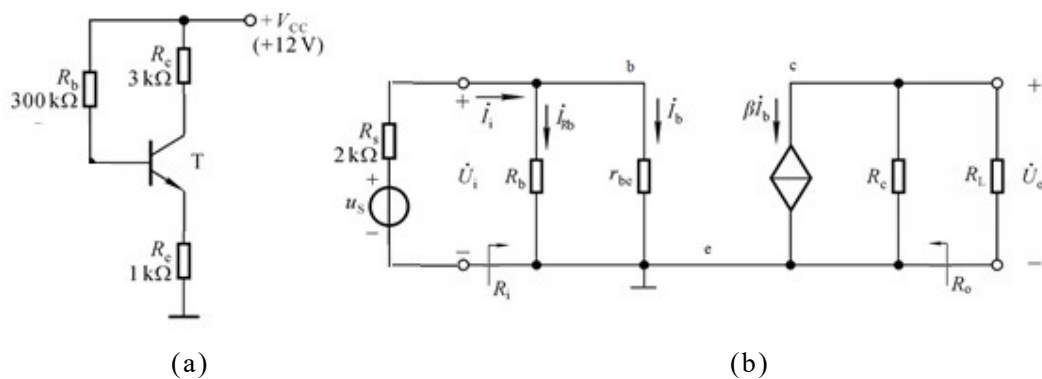


图 P2.14

解:



解图 2.14

(1) Q 点: 要求画出直流通路如解图 2.14 (a) 所示。

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b + (1 + \beta)R_e} \approx 31 \mu A$$

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

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

\dot{A}_u 、 R_i 和 R_o 的分析：：要求画出小信号模型等效电路如解图 2.14 (b) 所示。

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

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

$$\dot{A}_u = - \frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be}} \approx -95$$

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

(2) 设 $U_s = 10 mV$ (有效值), 则

$$U_i = \frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot U_s \approx 3.2 mV$$

$$U_o = |\dot{A}_u| U_i \approx 304 mV$$

若 C_e 开路, 则

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

$$\dot{A}_u \approx - \frac{R_c // R_L}{R_e} = -1.5$$

$$U_i = \frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot U_s \approx 9.6 mV$$

$$U_o = |\dot{A}_u| U_i \approx 14.4 mV$$

2.15 电路如图 P2.15 所示。已知场效应管的低频跨导 $g_m = 1 mS$ 。求电路的电压放大倍数、输入电阻和输出电阻。

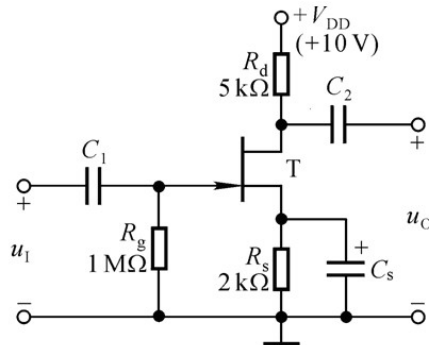
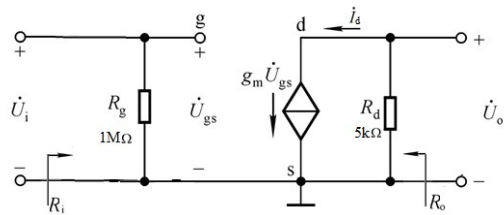


图 P2.15

解：首先画出交流等效电路，然后进行动态分析。



$$\dot{A}_u = -g_m R_D = -5$$

$$R_i = R_g = 1\text{M}\Omega$$

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

2.16 电路如图 P2.16 所示。已知场效应管的低频跨导 g_m 。写出电路的电压放大倍数、输入电阻和输出电阻的表达式。

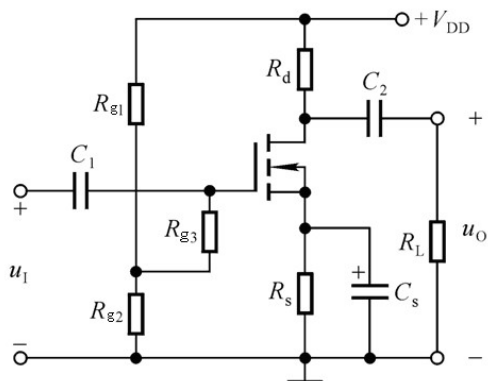
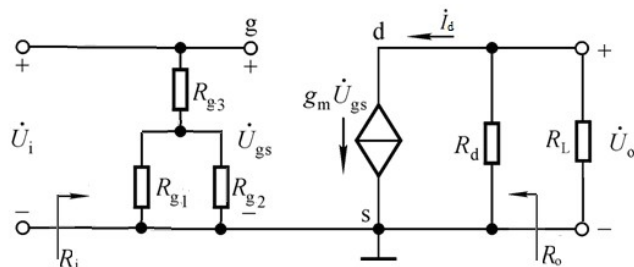


图 P2.16

解：画出小信号等效电路图



\dot{A}_u 、 R_i 和 R_o 的表达式分别为

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-\dot{I}_d (R_d // R_L)}{\dot{U}_{gs}} = -g_m (R_d // R_L)$$

$$R_i = R_{g3} + R_{g1} // R_{g2}$$

$$R_o = R_d$$