

一、例题精解

【例题 16.1】 试说明 16.1 中各电路对交流信号能否放大？

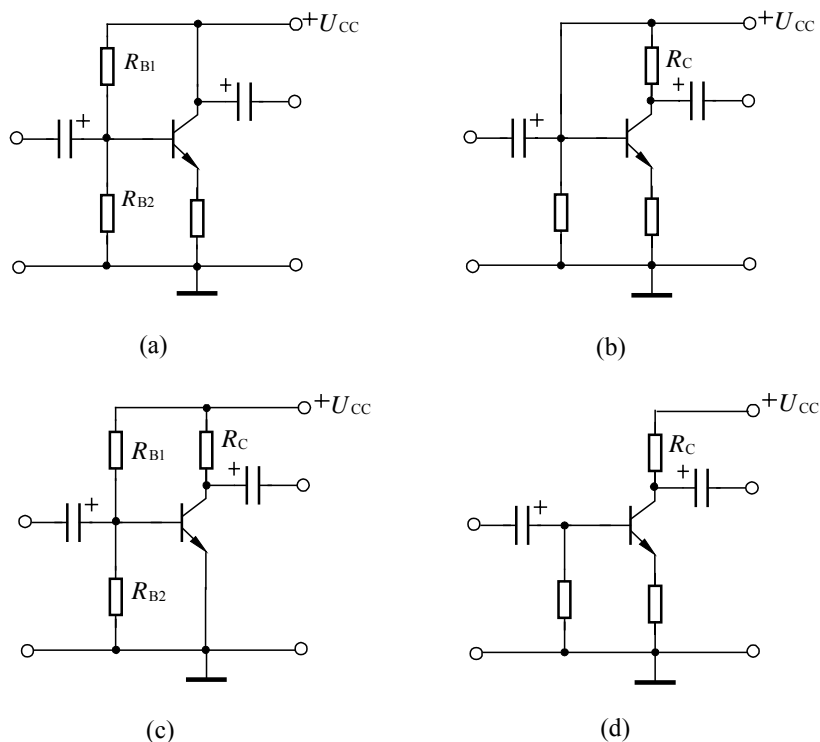


图 16.1 例题 16.1 的图

【解】 (1) 在图 16.1 (a) 中, $R_C = 0$ 。从交流通路可以看出, 输出端被短路, $\dot{U}_o = 0$, 故电路无放大作用。

(2) 在图 16.1 (b) 中, $R_{B1} = 0$, 从交流通路可以看出, 输入端被短路, 信号不能送入, $\dot{U}_{be} = 0$, 故电路无放大作用。

(3) 在图 16.1 (c) 中, 电路有放大作用。

(4) 在图 16.1 (d) 中, 无偏流, 故电路无放大作用。

【例题 16.2】 图 16.2 是集电极-基极偏置放大电路。(1) 试说明其稳定静态工作点的物理过程;(2) 设 $U_{CC} = 20V$, $R_C = 10k\Omega$, $R_B = 330k\Omega$, $\beta = 50$, 试求其静态值。

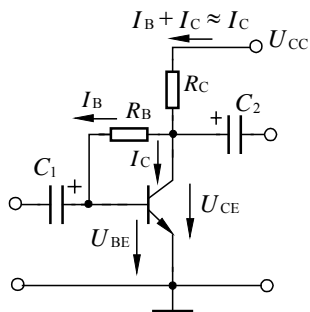
【解】 (1) 稳定静态工作点的物理过程如下:

$$\begin{array}{ccccc} \text{温度升高} & I_C & U_{BE} & U_{CE} & \\ & I_C & I_B & - & \end{array}$$

(2) 求静态值

$$(I_B + I_C)R_C + I_B R_B + U_{BE} = U_{CC}$$

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{(1 + \beta)R_C + R_B} = \frac{20 - 0.7}{51 \times 10 + 330} = 0.023\text{mA}$$



$$I_C = \beta I_B = 50 \times 0.023 = 1.15 \text{ mA}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C = 20 - 1.15 \times 10 = 8.5 \text{ V}$$

图 16.2 例题 16.2 的图

【例题 16.3】 电压放大倍数是放大电路的一个重要性能指标，是否可以通过选用电流放大系数较高的三极管来获得较高的电压放大倍数？如果增大三极管的静态工作电流，是否能提高电压放大倍数？

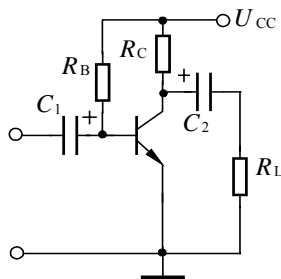
【解】 在图 16.3 (a) (b) 所示的固定偏置和分压式偏置的共射放大电路中，电压放大倍数的表达式均为 $A_u = -\beta \frac{R'_L}{r_{be}}$ ，似乎两者的电压放大倍数都将随着 β 的上升

以同样的比例增大，实际却不然。因为 r_{be} 的表达式为 $r_{be} = [300 + (1 + \beta) \frac{26(\text{mV})}{I_E(\text{mA})}] \Omega$ 。

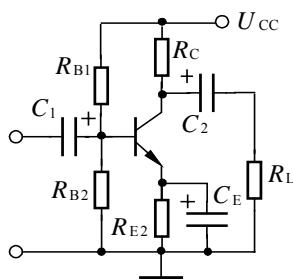
在固定偏流式放大电路中，当 β 增大时， I_B 基本不变，而 I_E 将增大，故 r_{be} 也基本不变。因此，在不失真的条件下， A_u 将随着 β 的增大基本上按同样的比例增大。

对于分压式偏置共射放大电路，当 β 增大时， I_E 基本不变，故 r_{be} 几乎与 β 成正比增加，致使 A_u 基本不变。

如果适当地加大三极管的静态工作电流 I_E ，在没有饱和的情况下， r_{be} 值减小，放大倍数 A_u 增加。因此，增加 I_E 是提高共射放大电路电压放大倍数的一个有效措施。但应指出，随着 r_{be} 的减小、 A_u 的增加，输入电阻 r_i 却减小了。



(a) 固定偏置放大电路

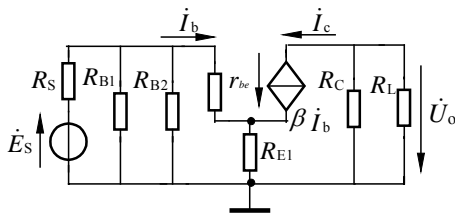
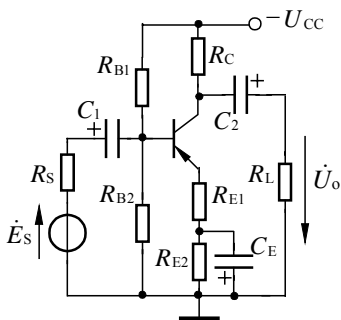


(b) 分压式放大电路

图 16.3 例题 16.3 的图

【例题 16.4】 图 16.4 所示的分压式偏置放大电路中，已知 $U_{CC} = 12 \text{ V}$ ， $R_C = 3.3 \text{ k}\Omega$ ， $R_{B1} = 33 \text{ k}\Omega$ ， $R_{B2} = 10 \text{ k}\Omega$ ， $R_{E1} = 200 \Omega$ ， $R_{E2} = 1.3 \text{ k}\Omega$ ， $R_L = 5.1 \text{ k}\Omega$ ， $R_S = 600 \Omega$ ，晶体管为 PNP 型锗管。试计算该电路：

- (1) $\beta = 50$ 时的静态值、电压放大倍数、输入电阻和输出电阻；
- (2) 换用 $\beta = 100$ 的晶体管后的静态值和电压放大倍数。



(a) 分压式偏置电路 (b) 微变等效电路

图 16.4 例题 16.4 的图

【解】(1) $\beta=50$ 时的静态值

由图 16.4(a) 电路的直流通路 (电容视作开路, 图略) 知:

$$V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}(-U_{CC}) = \frac{10}{33 + 10} \times (-12) = -2.8\text{V}$$

$$I_E = \frac{-V_B + U_{BE}}{R_{E1} + R_{E2}} = \frac{2.8 - 0.3}{0.2 + 1.3} = 1.67\text{mA}$$

$$I_B = \frac{I_E}{1 + \beta} = \frac{1.67}{1 + 50} = 32.7\mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = 50 \times 0.0327 = 1.635\text{mA}$$

$$-U_{CE} \approx U_{CC} - I_C(R_C + R_{E1} + R_{E2}) = 4.15\text{V}$$

求 $\beta=50$ 时的 \dot{A}_u 、 \dot{A}_{us} 、 r_i 和 r_o

首先须画出微变等效电路, 如图 16.4(b) 所示。

$$r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26(\text{mV})}{I_E(\text{mA})} = 300 + 51 \times \frac{26}{1.67} = 1.094\text{k}\Omega$$

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -\frac{\beta(R_C // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_{E1}} = -\frac{50(3.3 // 5.1)}{1.094 + 51 \times 0.2} = -8.87$$

$$r_i = R_{B1} // R_{B2} // [r_{be} + (1 + \beta)R_{E1}] = 33 // 10 // [1.094 + 51 \times 0.2] = 4.57\text{k}\Omega$$

$$\dot{A}_{us} = \frac{r_i}{R_S + r_i} \dot{A}_u = \frac{4.57}{0.6 + 4.57} (-8.87) = -7.84$$

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

(2) 改用 $\beta=100$ 的晶体管后的静态值、 \dot{A}_u

$$I_E = \frac{-V_B + U_{BE}}{R_{E1} + R_{E2}} = \frac{2.8 - 0.3}{0.2 + 1.3} = 1.67\text{mA}$$

$$I_B = \frac{I_E}{1 + \beta} = \frac{1.67}{1 + 100} = 16.5\mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = 100 \times 0.0165 = 1.65\text{mA}$$

$$-U_{CE} \approx U_{CC} - I_C(R_C + R_{E1} + R_{E2}) = 4.08\text{V}$$

$$r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26(\text{mV})}{I_E(\text{mA})} = 300 + 101 \times \frac{26}{1.67} = 1.87\text{k}\Omega$$

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -\frac{\beta(R_C // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_{E1}} = -\frac{100(3.3 // 5.1)}{1.87 + 101 \times 0.2} = -9.08$$

从以上结果分析可见, 对于分压式偏置放大电路, 当更换了不同管子后, 静态工作点和放大倍数基本不变。工作点之所以能稳定, 是由于 I_C 自动调节的结果。这个特性有利于电子设备的批量生产和维修。

【例题 16.5】 为提高放大电路的负载能力, 多级放大器的末级常采用射极输出器。共射-共集两级阻容耦合放大电路如图 16.5 所示。已知 $R_1 = 51\text{k}\Omega$, $R_2 = 11\text{k}\Omega$, $R_3 = 5.1\text{k}\Omega$, $R_4 = 51\Omega$, $R_5 = 1\text{k}\Omega$, $R_6 = 150\text{k}\Omega$, $R_7 = 3.3\text{k}\Omega$, $\beta_1 = \beta_2 = 50$,

$U_{BE} = 0.7V$, $U_{CC} = 12V$ 。

- (1) 求各级的静态工作点；
- (2) 求电路的输入电阻 r_i 和输出电阻 r_o ；
- (3) 试分别计算 R_L 接在第一级输出端和第二级输出端时的电压放大倍数。

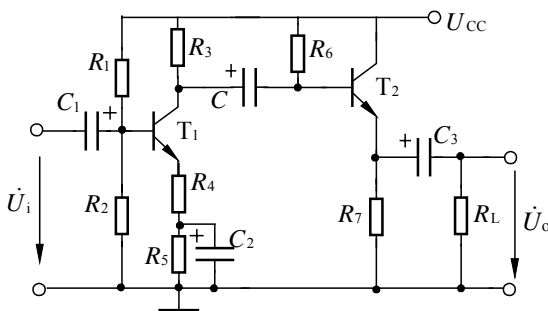


图 16.5 例题 16.5 的图

【解】(1) 求各级静态工作点

图中的共射-共集两级阻容耦合放大电路，各级静态工作点彼此独立，可分级计算。

第一级

$$V_{B1} = \frac{U_{CC} R_2}{R_1 + R_2} = \frac{12 \times 11}{11 + 51} = 2.1V$$

$$I_{E1} = \frac{V_{B1} - U_{BE}}{R_4 + R_5} = \frac{2.1 - 0.7}{1 + 0.051} = 1.33mA$$

$$I_{C1} \approx I_{E1}$$

$$I_{B1} = I_{C1} / \beta_1 = 1.33 / 50 = 26.6\mu A$$

$$U_{CE1} \approx U_{CC} - I_{C1}(R_3 + R_4 + R_5) = 12 - 1.33(5.1 + 0.051 + 1) = 3.82V$$

第二级

$$I_{B2} = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_6 + (1 + \beta_2)R_7} = \frac{12 - 0.7}{150 + 51 \times 3.3} = 35\mu A$$

$$I_{C2} \approx I_{E2} \approx \beta_2 I_{B2} = 1.75mA$$

$$U_{CE2} = U_{CC} - I_{E2}R_7 = 12 - 1.75 \times 3.3 = 6.23V$$

(2) 求 r_i 和 r_o

$$r_{be1} = 300 + (1 + \beta_1) \frac{26(mV)}{I_{E1}(mA)} = 300 + 51 \times \frac{26}{1.33} = 1.3k\Omega$$

$$r_{be2} = 300 + (1 + \beta_2) \frac{26(mV)}{I_{E2}(mA)} = 300 + 51 \times \frac{26}{1.75} = 0.96k\Omega$$

$$r_i = R_1 // R_2 // [r_{be1} + (1 + \beta_1)R_4] \approx 2.74k\Omega$$

考虑到前一级的输出电阻是后一级的信号源内阻，即 $R_{01} = R_3 = R_{S2}$ ，故有

$$r_o = R_7 // \left[\frac{r_{be2} + R_6 // R_3}{1 + \beta_2} \right] = 0.11k\Omega$$

(3) 求 A_u

当负载 R_L 接在第一级输出端时，则

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} = \frac{-\beta_1(R_3 // R_L)}{r_{be1} + (1 + \beta_1)R_4} = \frac{-50 \times (5.1 // 5.1)}{1.33 + 51 \times 0.051} = -32.43$$

当负载 R_L 接在第二级输出端时, 则

$$r_{i2} = R_6 // [r_{be2} + (1 + \beta_2)R_7 // R_L] = 150 // [0.96 + 51 \times 3.3 // 5.1] = 61.11 \text{ k}\Omega$$

$$\dot{A}_{u1} = \frac{-\beta_1(R_3 // R_{i2})}{r_{be1} + (1 + \beta_1)R_4} = \frac{-50 \times (5.1 // 61.11)}{1.33 + 51 \times 0.051} = -59.87$$

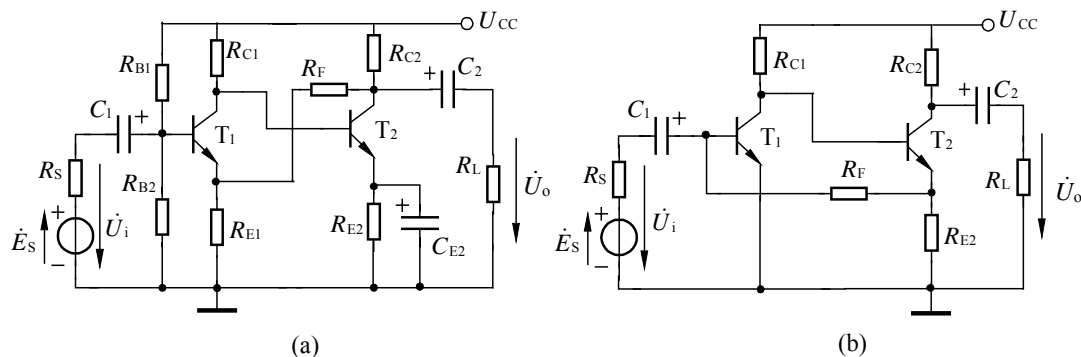
$$\dot{A}_{u2} = \frac{(1 + \beta_2)(R_7 // R_L)}{r_{be2} + (1 + \beta_2)(R_7 // R_L)} = \frac{51 \times (3.3 // 5.1)}{0.96 + 51 \times 3.3 // 5.1} = 0.99$$

于是可得 $\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \cdot \dot{A}_{u2} = -59.87 \times 0.99 = -59.27$

由以上结果可知, 尽管射极输出器的放大倍数近似为 1, 但因其输入阻抗高, 与第一级连接后, 使总的电压放大倍数比单级的大。这种电路还具有输出阻抗小、带负载能力强的特点, 而且当负载变动时, 射极输出器的电压放大倍数变化很小。读者可自行比较此类电路在输出端开路 and 带负载两种情况下的电压放大倍数, 验证其稳定电压的作用。

【例题 16.6】 在图 16.6 所示两个多级放大电路中: (1) 哪些是直流负反馈, 哪些是交流负反馈, 并说明其类型; (2) 在题图 (a) 中, 如果 R_F 不是接在 T_2 的集电极, 而是接在 C_2 与 R_L 之间, 两者有何不同? 如果 R_F 的另一端不是接在 T_1 的发射极, 而是接在它的基极, 有何不同, 是否会变为正反馈? (3) 在题图 (b) 中, 如果 R_F 不是接在 T_1 的基极, 而是接在它的发射极, 是负反馈还是正反馈? 前级的偏流 I_{B1} 是如何产生的?

图 16.6 例题 16.6 的图



【解】 (1) 图 16.6 (a) 中, R_{E1} 上有两种直流负反馈: 一是由本级电流 I_{E1} 产生的; 二是由后级集电极直流电位 V_{C2} 经 R_F 和 R_{E1} 分压而产生的。此外, R_{E2} 上有本级电流 I_{E2} 产生的直流负反馈。图 16.6 (b) 中, R_{E2} 上有直流负反馈。

图 16.6 (a) 中, R_{E1} 上有两种交流负反馈: 一是由本级 i_{e1} 产生的串联电流负反馈; 二是由后级集电极交流电位 v_c 经 R_F 和 R_{E1} 分压而产生的串联电压负反馈。现在利用电路中各点对“地”的交流电位的瞬时极性来判断上述第二种反馈为什么是负反馈。

设 v_{b1} 为 \oplus , 由图知

$$v_{b1} \oplus \quad v_{c1} \ominus \quad v_{b2} \ominus \quad v_{c2} \oplus$$

由此反馈到 T_1 发射极 E_1 的反馈信号提高 E_1 的交流电位, 因而削弱了净输入电压 U_{be1} , 故为负反馈。

图 16.6 (b) 中, R_{E2} 上有两种交流负反馈: 一是由本级电流产生的串联电流负反馈;

二是经 R_F 反馈到 T_1 的基极 B_1 而产生的并联电流负反馈。

设 v_{b1} 为 \oplus ，由图知

$$v_{b1} \oplus \quad v_{c1} \ominus \quad v_{b2} \ominus \quad v_{e2} \ominus$$

由此反馈到 B_1 的反馈信号降低了 B_1 的交流电位，因而使 U_{be1} 减小，故为负反馈。也可以这样来判断，这时 T_1 的基极 B_1 交流电位高于 T_2 发射极 E_2 的交流电位，故产生的反馈电流 i_f 削弱了净输入电流 i_{b1} ，故为负反馈。

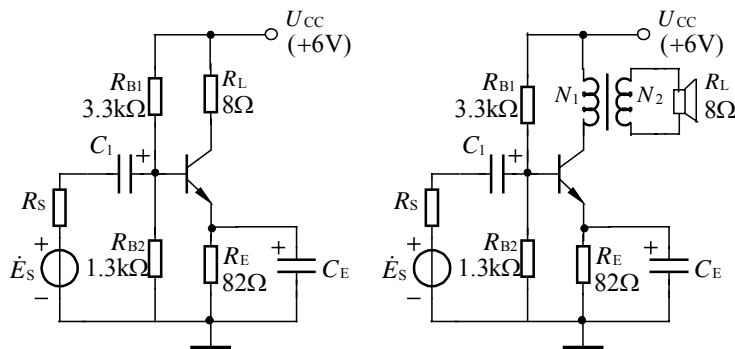
(2) 在图 16.6 (a) 中，如果将 R_F 接在电容 C_2 与负载电阻 R_L 之间，则因输出电压 u_o 中没有直流分量，由此反馈到 T_1 的发射极时， R_{E1} 上不存在直流负反馈。

如果将 R_F 的另一端接在 T_1 的基极 B_1 ，则反馈到 B_1 的反馈信号提高 B_1 的交流电位，因而增强了输入电压 U_{be1} ，这不是负反馈，而是正反馈。

(3) 在图 16.6 (b) 中，如果将 R_F 接在 T_1 的发射极 E_1 ，则反馈到 E_1 的反馈信号降低了 E_1 的交流电位，因而使 U_{be1} 增大，故为正反馈。

在图 16.6 (b) 中， I_{B1} 由 R_{E2} 上的直流电压产生。

【例题 16.7】 单管功率放大电路的两种电路如图 16.7(a)、(b)所示。两电路除在图 (b) 中采用了变比 $N_1/N_2=7$ 的变压器耦合使负载 ($R_L=8\Omega$ 喇叭) 匹配外，其余元件参数相同。晶体管极限参数 $I_{CM}=25\text{mA}$ ， $U_{CEO}=10\text{V}$ ， $P_{CM}=100\text{mW}$ ，设输入信号电压可使集电极电流 i_C 由 0 变化到 24 mA，试计算并比较两种电路输出功率 P_o 和效率。



(a) 单管功率放大电路

(b) 带变压器耦合的功放电路

图 16.7 例题 16.7 的图

【解】(1) 在图 16.7 (a) 中，交流电流的有效值

$$I_C = I_{CM} / \sqrt{2} = 12 / \sqrt{2} = 8.48\text{mA}$$

则输出功率 $P_o = I_C^2 R_L = 8.48^2 \times 10^{-6} = 0.567\text{mW}$

由于集电极电流 i_C 由 0 变化到 24 mA，则静态值 I_C 应该是

$$I_C = I_{CM} / 2 = 24 / 2 = 12\text{mA}$$

则电源提供的功率

$$P_E = I_C U_{CC} = 12 \times 6 = 72\text{mW}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_E} = \frac{0.576}{72} = 0.8\%$$

(2) 在图 16.7 (b) 中，折合到原边的等效负载

$$R'_L = K^2 R_L = 7^2 \times 8 = 392\Omega$$

则输出功率 $P_0 = I_C^2 \times R_L' = (8.48^2 \times 392) \times 10^{-6} = 28.2\text{mW}$

$$\eta = \frac{P_0}{P_E} = \frac{28.2}{72} = 39\%$$

【例题 16.8】在图 16.8 所示的双端输入-双端输出差动放大电路中, 已知 $U_{CC} = 12\text{V}$, $E_E = 12\text{V}$, $R_C = 20\text{k}\Omega$, $R_E = 20\text{k}\Omega$, $R_B = 10\text{k}\Omega$, $R_P = 100\Omega$, $R = 51\Omega$ 。试求:

- (1) 静态值;
- (2) 输出端开路时的差模电压放大倍数;
- (3) 负载电阻 $R_L = 20\text{k}\Omega$ 时的差模电压放大倍数;
- (4) 输入电阻、输出电阻。

【解】(1) 求每管的静态值, R_P 的阻值很小, 计算时略去。

$$I_C \approx I_E \approx \frac{E_E}{2R_E} = \frac{12}{2 \times 20} = 0.3\text{mA}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{0.3}{50} = 0.006\text{mA}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C = 12 - 0.3 \times 20 = 6\text{V}$$

发射极电位 $V_E \approx 0$ 。

- (2) 输出端开路时

$$r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26}{I_E} = 300 + 51 \times \frac{26}{0.3} = 4.72\text{k}\Omega$$

$$\dot{A}_d = -\frac{\beta R_C}{R_B + r_{be}} = -\frac{50 \times 20}{10 + 4.72} = -67.93$$

- (3) $R_L = 20\text{k}\Omega$ 时

$$\dot{A}_d = -\frac{\beta R_L'}{R_B + r_{be}} = -\frac{50 \times 6.7}{10 + 4.72} = -22.75$$

式中 $R_L' = R_C // \frac{1}{2} R_L = 20 // 10 = 6.7\text{k}\Omega$

- (4) 输入电阻 $r_i = 2(R_B + r_{be}) = 2 \times (10 + 4.72) = 29.44\text{k}\Omega$

输出电阻 $r_o = 2R_C = 2 \times 20 = 40\text{k}\Omega$

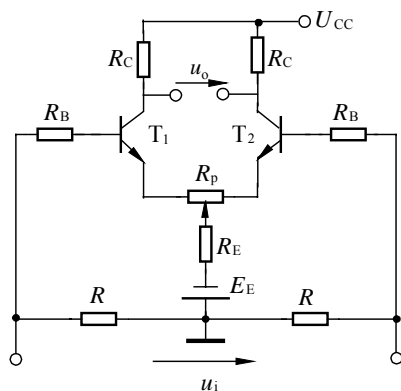
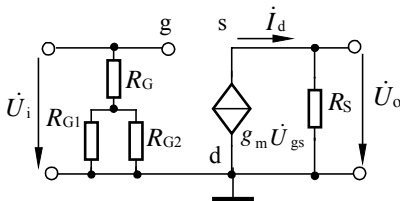
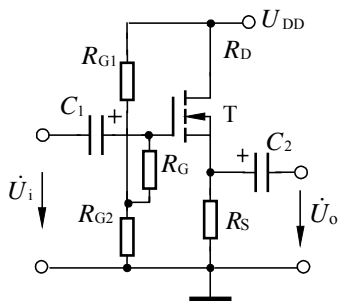


图 16.8 例题 16.8 的图

【例题 16.9】在图 16.9 (a) 中的源极输出器中, 已知 $U_{DD} = 12\text{V}$, $R_S = 12\text{k}\Omega$, $R_{G1} = 1\text{M}\Omega$, $R_{G2} = 500\text{k}\Omega$, $R_G = 1\text{M}\Omega$, $g_m = 0.9\text{mA/V}$ 。试求: (1) 静态值; (2) 电



压放大倍数，输入电阻和输出电阻。设 $U_G \approx U_S$ 。

(a)源极输出器电路

(b)微变等效电路

图 16.9 例题 16.9 的图

【解】 (1) 求静态值

$$U_S \approx U_G = \frac{U_{DD} R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} = \frac{12 \times 500}{1000 + 500} = 4V$$

$$U_{DS} = U_{DD} - V_S = 12 - 4 = 8V$$

$$I_D = \frac{V_S}{R_S} = \frac{4}{12} = 0.33mA$$

(2) 求 \dot{A}_u 、 r_i 和 r_o

由图 16.9 (b) 微变等效电路知

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{g_m \dot{U}_{gs} R_S}{\dot{U}_{gs} + g_m \dot{U}_{gs} R_S} = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} \approx 1$$

$$r_i = R_G + (R_{G1} // R_{G2}) = 1 + \frac{1 \times 0.5}{1 + 0.5} = 1.33M\Omega$$

根据输出电阻的定义，将输入端短路，输出端加一交流电压 \dot{U} ，则可求出相应的电流 \dot{I}

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{R_S} - \dot{I}_d = \frac{\dot{U}}{R_S} - g_m \dot{U}_{gs}$$

其中

$$\dot{U}_{gs} = -\dot{U}$$

则

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{R_S} + g_m \dot{U}_{gs} = (g_m + \frac{1}{R_S})\dot{U}$$

故

$$r_o = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{1}{(g_m + \frac{1}{R_S})} = \frac{1}{g_m} // R_S = \frac{1}{0.9} // 12 = 1k\Omega$$

二、习题精选

【习题 16.1】试分析图 16.10 所示的各电路能否正常放大交流信号，并说明理由。

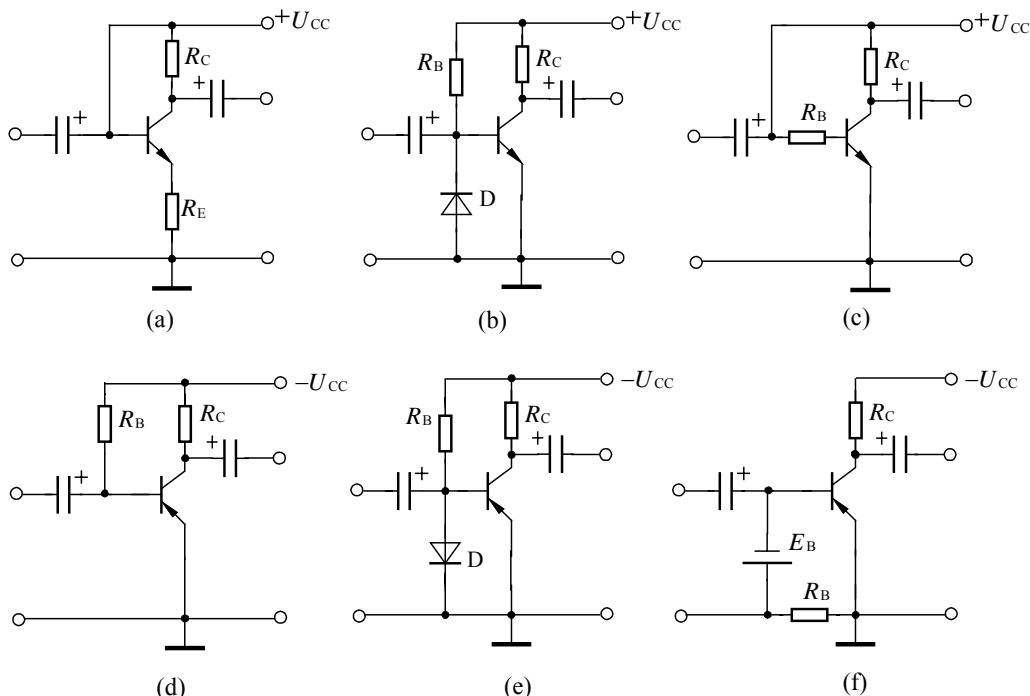


图 16.10 习题 16.1 的图

【习题 16.2】 在图 16.11 所示电路中，为使晶体管工作在饱和状态， R_{B1} 的阻值最大应为多少？

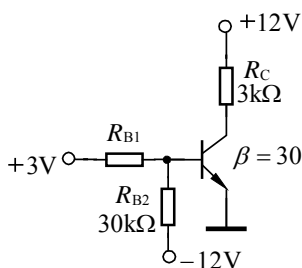


图 16.11 习题 16.2 的图

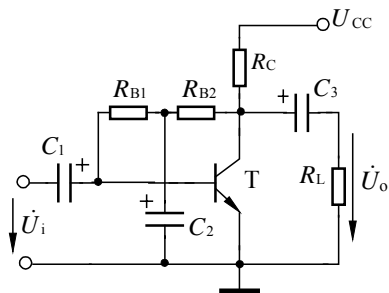


图 16.12 习题 16.3 的图

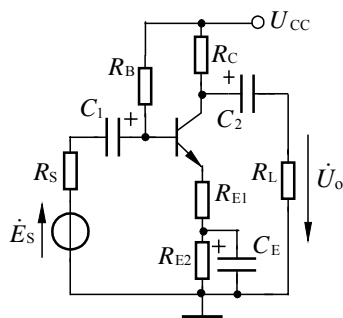
【习题 16.3】 单管放大电路如图 16.12 所示。

- (1) 画出直流通路；
- (2) 画出微变等效电路；
- (3) 写出电压放大倍数的表达式；
- (4) 写出输入、输出电阻的表达式。

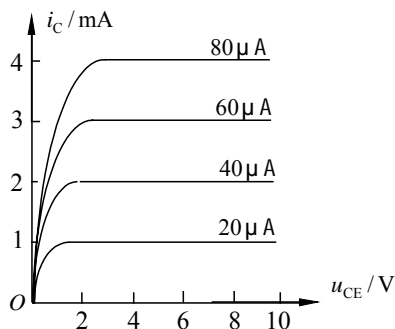
【习题 16.4】 在图 16.13 (a) 所示的放大电路中，已知 $R_B = 300k\Omega$ ， $R_C = 2k\Omega$ ， $R_{E1} = 200\Omega$ ， $R_{E2} = 1.8k\Omega$ ， $R_L = 2k\Omega$ ， $R_S = 1k\Omega$ ， $U_{CC} = 12V$ 。晶体管的 $U_{BE} = 0.7V$ ， $\beta = 50$ ，晶体管的输出特性曲线如图 16.13 (b) 所示。

- (1) 求静态工作点；

- (2) 作交流负载线；
- (3) 画微变等效电路；
- (4) 计算 \dot{A}_u 、 \dot{A}_{us} 、 r_i 和 r_o ；
- (5) 求最大不失真输出电压幅值 U_{om} 。



(a) 共射放大电路



(b) 晶体管输出特性曲线

图 16.13 习题 16.4 的图

【习题 16.5】 电路如图 16.14 所示。已知： $\beta = 60$ ， $r_{be} = 1.8\text{k}\Omega$ ， $U_{BE} = 0.6\text{V}$ ， $E_S = 10\text{mV}$ ， $R_S = 0.6\text{k}\Omega$ ， $U_{CC} = 12\text{V}$ 。试求：

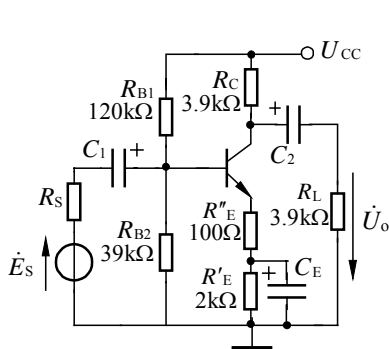


图 16.14 习题 16.5 的图

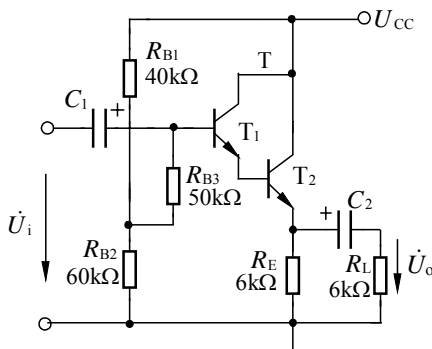


图 16.15 习题 16.6 的图

- (1) 求静态工作点；
- (2) 画出交流微变等效电路；
- (3) 求放大电路的输出电阻和输出电阻；
- (4) 求输出电压 U_o 。

【习题 16.6】 在图 16.15 的放大电路中，晶体管 T 为 T_1 、 T_2 构成的复合管。已知 $\beta_1 = 10$ ， $\beta_2 = 50$ ， $U_{BE1} = U_{BE2} = 0.6\text{V}$ ， $U_{CC} = 12\text{V}$ 。

- (1) 计算由复合管 T 构成的放大电路的静态值；
- (2) 画出该放大电路的微变等效电路；
- (3) 求该放大电路的输出电阻 r_i 和电压放大倍数 \dot{A}_u 。

【习题 16.7】 判断图 16.16 (a) ~ (d) 所示电路级间交流反馈的元件和类型，并说明哪些是负反馈？哪些是正反馈？

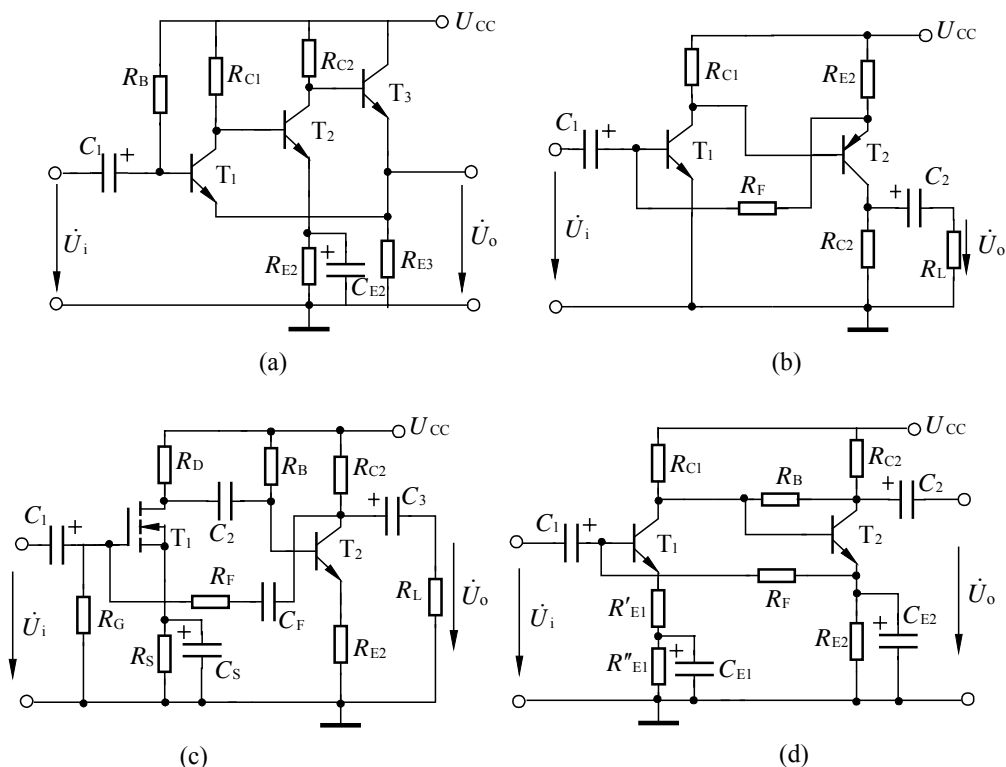


图 16.16 习题 16.7 的图

【习题 16.8】 反馈放大电路如图 16.17 所示。说明电路中有哪些反馈（包括级间反馈和本级反馈）？各具什么作用？

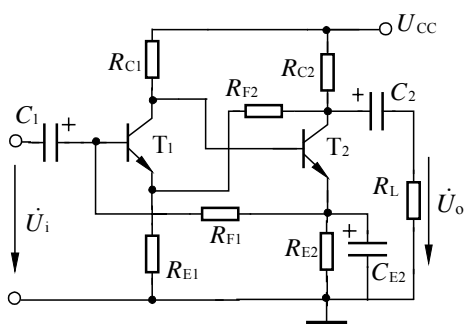


图 16.17 习题 16.8 的图

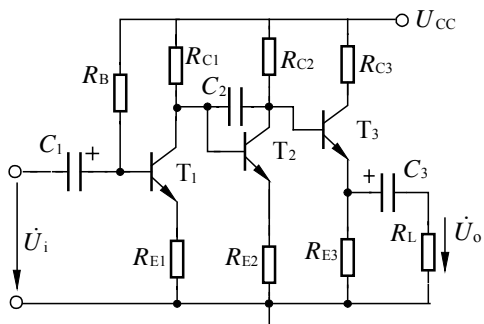


图 16.18 习题 16.9 的图

【习题 16.9】 放大电路如图 16.18 所示。为达到下述三种效果，应引入什么反馈？标明反馈支路的路径。

- (1) 仅希望稳定静态工作点；
- (2) 稳定电路的输出电压；
- (3) 减小电路的输入电阻。

【习题 16.10】 两级交流放大电路如图 16.19 所示。已知 $\beta_1 = \beta_2 = 50$, $U_{BE} = 0.6V$, $R_1 = 1M\Omega$, $R_2 = 27k\Omega$, $R_3 = 82k\Omega$, $R_4 = 43k\Omega$, $R_5 = 10k\Omega$, $R_6 = 510\Omega$, $R_7 = 7.5k\Omega$, $U_{CC} = 24V$ 。

- (1) 计算前、后级放大电路的静态值；
- (2) 画出微变等效电路；
- (3) 求放大电路的输入电阻和输出电阻；
- (4) 求各级及总电压放大倍数；
- (5) 前级采用射极输出器有何好处？

【习题 16.11】 两级放大电路如图 16.20 所示。已知 $R_{B1} = 13k\Omega$, $R_{B2} = 12k\Omega$, $R_B = 100k\Omega$, $R_{E1} = 8k\Omega$, $R_{E2} = 4.9k\Omega$, $R_{C2} = 1.5k\Omega$, $R_L = 6k\Omega$, $R_S = 10k\Omega$ 。晶体管的 $\beta_1 = \beta_2 = 100$, $r_{be1} = 2.9k\Omega$, $r_{be2} = 1.6k\Omega$ 。

- (1) 画微变等效电路；
- (2) 求输入电阻 r_i 和输出电阻 r_o ；
- (3) 求电压放大倍数 \dot{A}_u 和 \dot{A}_{us} 。

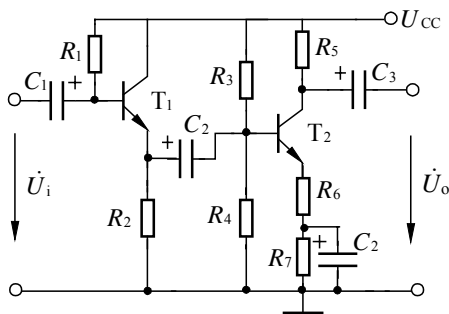


图 16.19 习题 16.10 的图

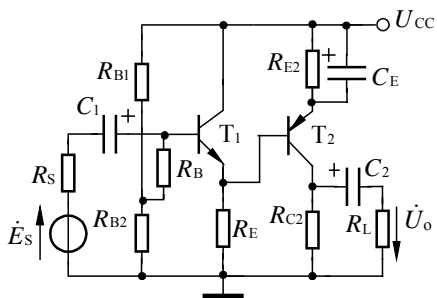


图 16.20 习题 16.11 的图

【习题 16.12】 两级放大电路如图 16.21 所示。前级为场效应管放大电路，后级为晶体管放大电路。已知 $g_m = 1.5mA/V$, $U_{BE} = 0.6V$, $\beta = 80$ 。试求：

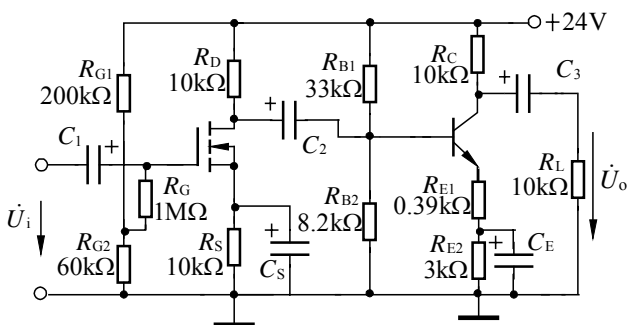
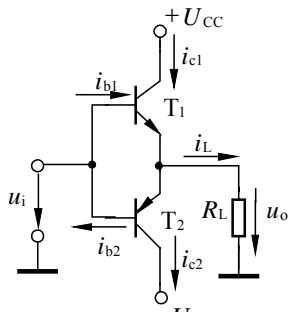


图 16.21 习题 16.12 的图

- (1) 放大电路的总电压放大倍数；
- (2) 放大电路的输入电阻和输出电阻。

【习题 16.13】 工作在乙类的 OCL 电路如图 16.22 所示，已知 $U_{CC} = 12V$, $R_L = 8\Omega$, u_i 为正弦电压。



- (1) 求在 $U_{CES} \approx 0$ 的情况下, 电路的输出功率 P_{omax} 、效率 η 和管耗 P_T ;
- (2) 求每个管子的最大允许管耗 P_{CM} ;
- (3) 说明 OCL 电路中晶体管的一般选择原则。

图 16.22 习题 16.13 的图

【习题 16.14】 NPN 和 PNP 型晶体管组成的复合管电路如图 16.23 所示。已知 T_1 、 T_2 管的电流放大系数为 β_1 、 β_2 , T_1 管的基级电流为 I_{B1} , B、E 间的等效电阻为 r_{be1} 、 r_{be2} 。

- (1) 在图中表明 T_1 、 T_2 管工作电流 I_{C1} 、 I_{C2} 的大小和方向 ;
- (2) 说明复合后管子的类型为哪一种 ?
- (3) 写出复合后各管的 β 值与等效的输入电阻 r_i 的表达式。

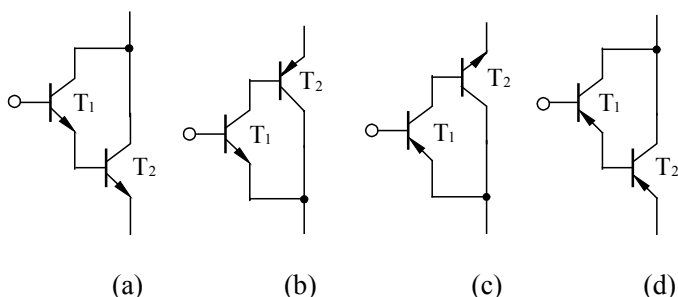


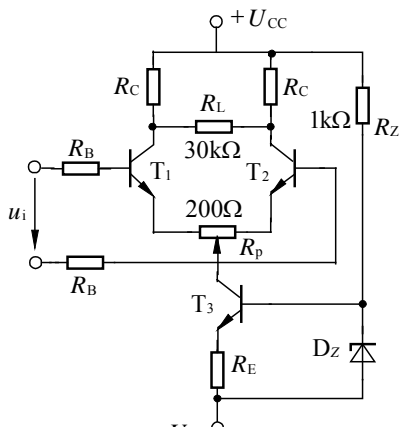
图 16.23 习题 16.14 的图

【习题 16.15】 一个 OCL 互补对称输出电路如图 16.24 所示。

- (1) 分析该电路的结构 ;
- (2) 若 $U_{CC} = 18V$, $R_L = 8\Omega$, $U_{CES3} = U_{CES4} \approx 2V$, 负载 R_L 上最大的不失真输出功率 P_{omax} 为多少 ?
- (3) 若 $U_{CC} = 18V$, $R_L = 8\Omega$, u_i 的幅值为 $10\sqrt{2}V$, 射极输出器的增益约为 1, 负载 R_L 上的输出功率 P_o 为多少 ?

【习题 16.16】 恒流源式差动放大电路如图 16.25 所示。已知晶体管的 $U_{BE} = 0.7V$, $\beta = 50$, 稳压管的 $U_Z = +6V$, $U_{CC} = 12V$, $-U_{EE} = -12V$, $R_B = 5k\Omega$, $R_C = 100k\Omega$, $R_E = 53k\Omega$, $R_L = 30k\Omega$ 。

- (1) 求静态值 ;
- (2) 求差模电压放大倍数 A_{ud} ;
- (3) 求差模输入电阻 r_{id} 与输出电阻 r_{odo} 。



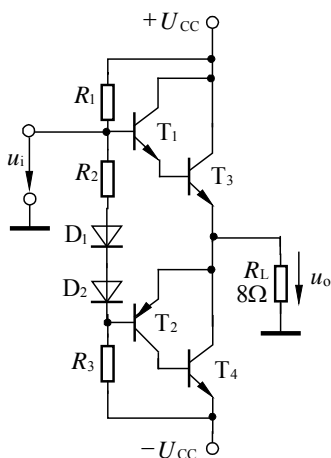


图 16.24 习题 16.15 的图

图 16.25 习题 16.16 的图

三、习题答案

【习题 16.1】 图 (a) 不能放大, 晶体管集电结正偏, U_i 被短路。

图 (b) 能放大, D 管反偏起补偿作用。

图 (c) 不能放大, U_i 被短路。

图 (d) 能放大。

图 (e) 不能放大, 输出交流量被 $-U_{CC}$ 短路。

图 (f) 不能放大, U_i 被 E_B 短路。

【习题 16.2】 $R_{B1} = 5.66k\Omega$

【习题 16.3】 $\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -\frac{\beta(R_C // R_{B2} // R_L)}{r_{be}}$

$$r_i = R_{B1} // r_{be}$$

$$r_o = R_C // R_{B2}$$

【习题 16.4】 (1) $28\mu A, 1.4mA, 6.4V$; (2) (3) 略; (4) $\dot{A}_u = -4.3, \dot{A}_{us} = -4.0, r_i = 1k\Omega, r_o = 2k\Omega$; (5) $U_{om} = 1.4V$ 。

【习题 16.5】 (1) $I_B = 18.2\mu A, I_C = 1.12mA, U_{CE} = 5.3V$; (3) $r_i = 6.23k\Omega, r_o \approx 3.9k\Omega$; (4) $U_o = 135mV$ 。

【习题 16.6】 (1) $I_B = 1.95\mu A, I_C = 0.97mA, U_{CE} = 6.2V$; (2) 略 (3) $r_i = 70.6k\Omega,$

$$\dot{A}_u \approx 0.991$$

【习题 16.7】 (a) R_{E3} 串联电压负反馈;

(b) R_F 并联电流负反馈;

(c) R_F, C_F 并联电压正反馈;

(d) 无级间交流反馈。

【习题 16.8】 级间反馈: R_{F1} 直流负反馈, 稳定静态工作点; R_{F2}, R_{e1} 交流串联电压负反馈, 稳定输出电压, 提高输入电阻, 也有直流反馈作用。本级反馈: R_{e1}, R_{e2} 直流负反馈, 稳定各自的静态工作点; R_{e1} 兼有本级交流串联电流负反馈作用。

- 【习题 16.9】(1) 直流负反馈, 电阻 R_F 接在 U_{E3} 和 U_{E1} 之间, R_{E1} 上并联电容 C_E ;
 (2) 串联电压负反馈, R_F 接在 U_{E3} 和 U_{E1} 之间;
 (3) 并联电流负反馈, R_F 接在 U_{C3} 和 U_{B1} 之间。

【习题 16.10】(1) $I_{B1} = 9.8\mu\text{A}$, $I_{C1} = 0.49\text{mA}$, $U_{CE} = 10.37\text{V}$; (2) 略

(3) $r_i = 320\text{k}\Omega$, $r_o = 10\text{k}\Omega$;

(4) $\dot{A}_{u1} = 0.994$, $\dot{A}_{u2} = -19.6$, $\dot{A}_u = -19.5$;

(5) 由于射极输出器具有输入电阻高的特点, 所以用作多级放大电路的输入级, 可以减轻信号源的负担, 降低其内阻的损耗, 实现阻抗变换作用。

【习题 16.11】(1) 微变等效电路如图解 16.26 所示。

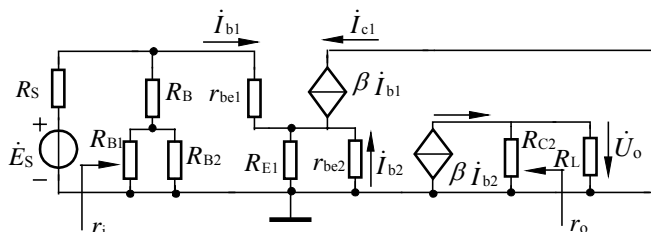


图 16.26 习题 16.11 图解

(2) $r_i = (R_B + R_{B1} // R_{B2}) // [r_{be1} + (1 + \beta) R_{E1} // r_{BE2}] = 61\text{k}\Omega$

$r_o = R_{C2} = 1.5\text{k}\Omega$

$\dot{A}_u = -73$, $\dot{A}_{us} = -63$

【习题 16.12】(1) $\dot{A}_u = 64.3$; (2) $r_i = 1.05\text{M}\Omega$, $r_o = 10\text{k}\Omega$

【习题 16.13】(1) $P_{\text{omax}} \approx \frac{1}{2} \frac{U_{CC}^2}{R_L} = 9\text{W}$, $\eta = 78.5\%$, $P_{T1} = P_{T2} = 1.23\text{W}$

(2) $P_{CM} \geq 1.8\text{W}$ (3) 略

【习题 16.14】(1) 图(a)~(d)中 T_1 管的 I_{C1} 均为 i_{B1} , 方向: 图(a) \ (b) 电路自上而下, (c) \ (d) 电路自下而上。图(a)~(d)中 T_2 管的电流 I_{C2} 为 i_{B1} , 方向: (a) \ (b) 电路由上向下, (c) \ (d) 电路从下向上。

(2) 复合管类型由第一管决定, (a) \ (b) 为 NPN 型, (c) \ (d) 为 PNP 型。

(3) 值均为 i_{B1} , (b) \ (c) 电路 $r_i = r_{be1}$, (a) \ (d) 电路 $r_i = r_{be1} + (1 + \beta) r_{be2}$ 。

【习题 16.15】(1) T_1 、 T_3 复合为 NPN 型管, T_2 、 T_4 复合为 PNP 型管

(2) $P_{\text{omax}} = 16\text{W}$

(3) $P_o = 12.5\text{W}$

【习题 16.16】(1) T_1 、 T_2 管: $1\mu\text{A}$, 0.05mA , 7.7V ; T_3 管: $2\mu\text{A}$, 0.1mA , 6V

(2) $\dot{A}_{ud} = -18$

(3) $r_{id} = 73\text{k}\Omega$, $r_{od} = 200\text{k}\Omega$