

第3章 习题及答案

3.1 在图 P3.1 所示的各两级放大电路中，试判断 T_1 和 T_2 管分别组成哪种基本接法的放大电路。设图中所有电容对于交流信号均可视为短路。

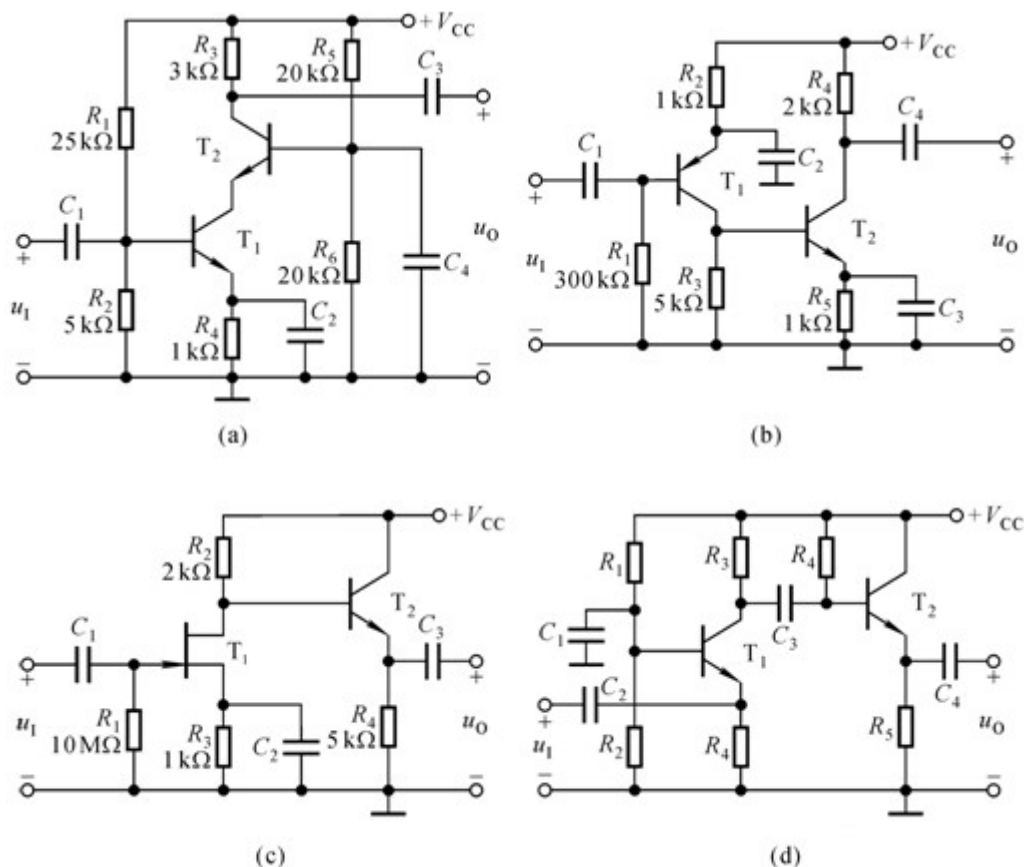


图 P3.1

解：(a) 共射，共基 (b) 共射，共射 (c) 共源，共集 (d) 共基，共集

3.2 设图 P3.2 所示的各放大电路的静态工作点均合适，试分别画出它们的微变等效电路，并写出 \dot{A}_u 、 R_i 和 R_o 的表达式。

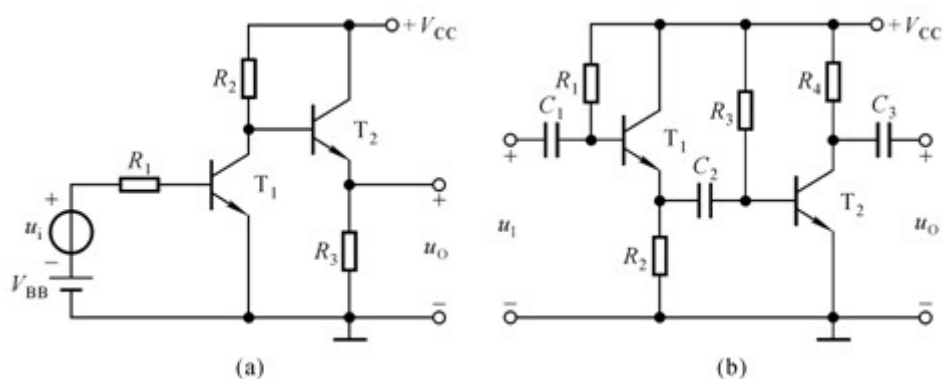
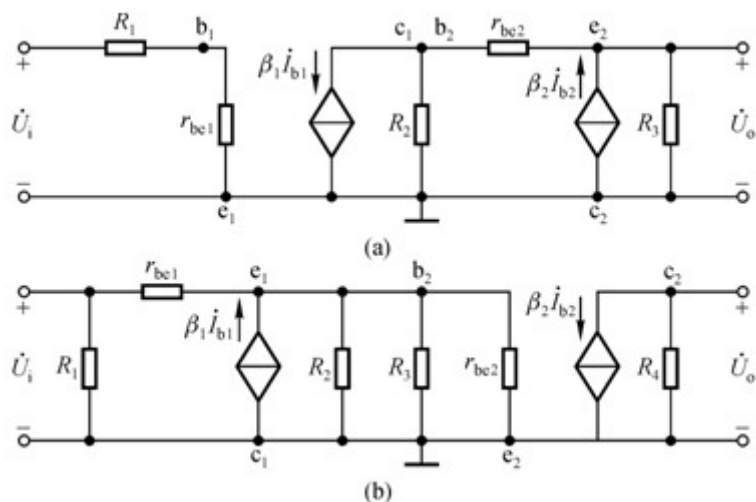


图 P3.2

解：（1）图示各电路的交流等效电路如解图 3.2 所示。



解图 3.2

（2）各电路 \dot{A}_u 、 R_i 和 R_o 的表达式分别为

图（a）

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

$$R_i = R_1 + r_{be1}$$

$$R_o = R_3 // \frac{r_{be2} + R_2}{1 + \beta_2}$$

图（b）

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

$$R_i = R_1 // [r_{be1} + (1 + \beta_1)(R_2 // R_3 // r_{be2})]$$

$$R_o = R_4$$

3.3 在图 P3.3 所示电路中，设电路参数对称， $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ ， $r_{be1} = r_{be2} = r_{be}$ 。

- （1）写出 R_P 的滑动端在中点时 A_d 的表达式；
- （2）写出 R_P 的滑动端在最右端时 A_d 的表达式；
- （3）比较两个结果有什么不同。

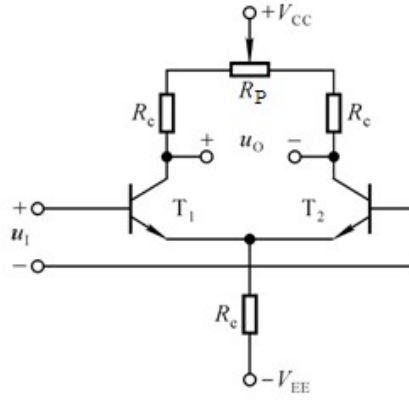
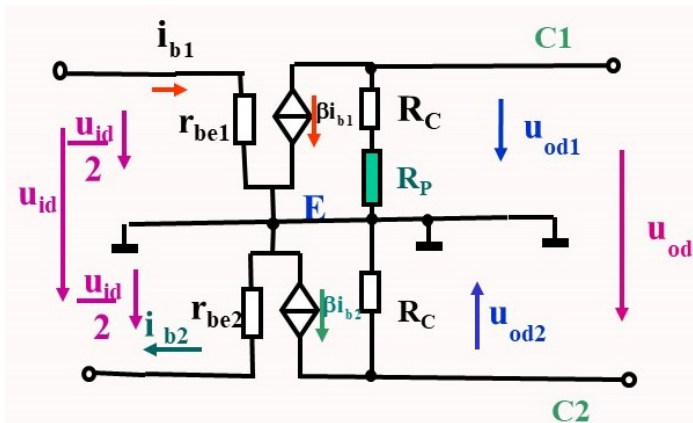


图 P3.3

解：（1） R_P 的滑动端在中点时 A_d 的表达式为

$$A_d = \frac{\Delta u_O}{\Delta u_I} = -\frac{\beta(R_c + \frac{R_P}{2})}{r_{be}}$$

（2） R_P 的滑动端在最右端时



$$u_{Od} = u_{od1} - u_{od2} = -\beta i_{b1} (R_c + R_p) - \beta i_{b2} R_c = -\beta i_{b1} (2R_c + R_p)$$

$$u_{id} = i_{b1} (r_{be1} + r_{be2})$$

所以 A_d 的表达式为

$$A_d = \frac{u_{Od}}{u_{Id}} = -\frac{\beta(R_c + \frac{R_P}{2})}{r_{be}}$$

（3）比较结果可知，两种情况下的 A_d 完全相等；但第二种情况下的

$$|u_{od1}| > |u_{od2}|。$$

3.4 图 P3.4 所示电路参数理想对称，晶体管的 β 均为 50， $r_{bb'}=100\Omega$ ， $U_{BEQ}\approx 0.7$ 。试计算 R_W 滑动端在中点时 T_1 管和 T_2 管的发射极静态电流 I_{EQ} ，以及动态参数 A_d 和 R_i 。

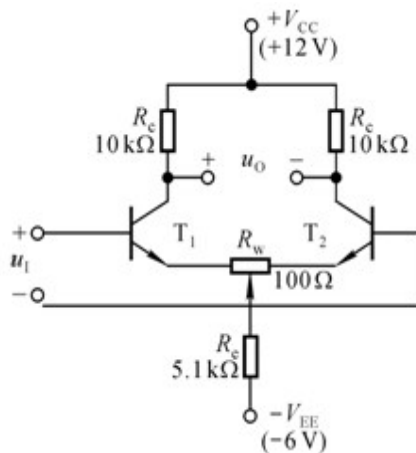


图 P3.4

解： R_W 滑动端在中点时 T_1 管和 T_2 管的发射极静态电流分析如下：

$$U_{BEQ} + I_{EQ} \cdot \frac{R_W}{2} + 2I_{EQ}R_e = V_{EE}$$

$$I_{EQ} = \frac{V_{EE} - U_{BEQ}}{\frac{R_W}{2} + 2R_e} \approx 0.517 \text{ mA}$$

A_d 和 R_i 分析如下

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26 \text{ mV}}{I_{EQ}} \approx 2.56 \text{ k}\Omega$$

$$A_d = - \frac{\beta R_c}{r_{be} + (1 + \beta) \frac{R_W}{2}} \approx -97$$

$$R_{id} = 2r_{be} + (1 + \beta)R_W \approx 10.4 \text{ k}\Omega$$

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

3.5 电路如图 P3.5 所示， T_1 管和 T_2 管的 $\beta=40$ ， $r_{be}=3 \text{ k}\Omega$ 。试问：若输入直流信号 $u_{I1}=20 \text{ mV}$ ， $u_{I2}=10 \text{ mV}$ ，则电路的共模输入电压 $u_{IC}=?$ 差模输入电压 $u_{Id}=?$ 输出动态电压 $\Delta u_O=?$

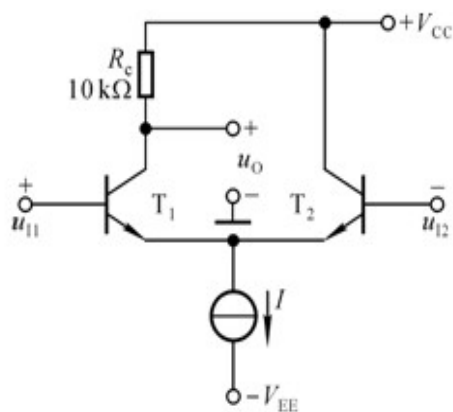


图 P3.5

解： 电路的共模输入电压 u_{IC} 、差模输入电压 u_{Id} 、差模放大倍数 A_d 和动态电压 Δu_O 分别为：

$$u_{IC} = \frac{u_{I1} + u_{I2}}{2} = 15 \text{ mV}$$

$$u_{Id} = u_{I1} - u_{I2} = 10 \text{ mV}$$

$$A_d = -\frac{\beta R_c}{2r_{be}} \approx -67$$

$$\Delta u_O = A_{ud}u_{Id} + A_{uc}u_{Id}$$

因为恒流源内阻理想为无穷大，所示共模放大倍数为 0

$$\text{则 } \Delta u_O = A_{ud}u_{Id} \approx -0.67 \text{ V}$$

3.7 电路如图 P3.7 所示。已知 $\beta_1 = \beta_2 = \beta_4 = \beta_5 = 50$ ，各三极管的发射结正向压降 $U_{BE} = 0.7 \text{ V}$ 。试计算电路的静态工作点和电压放大倍数。

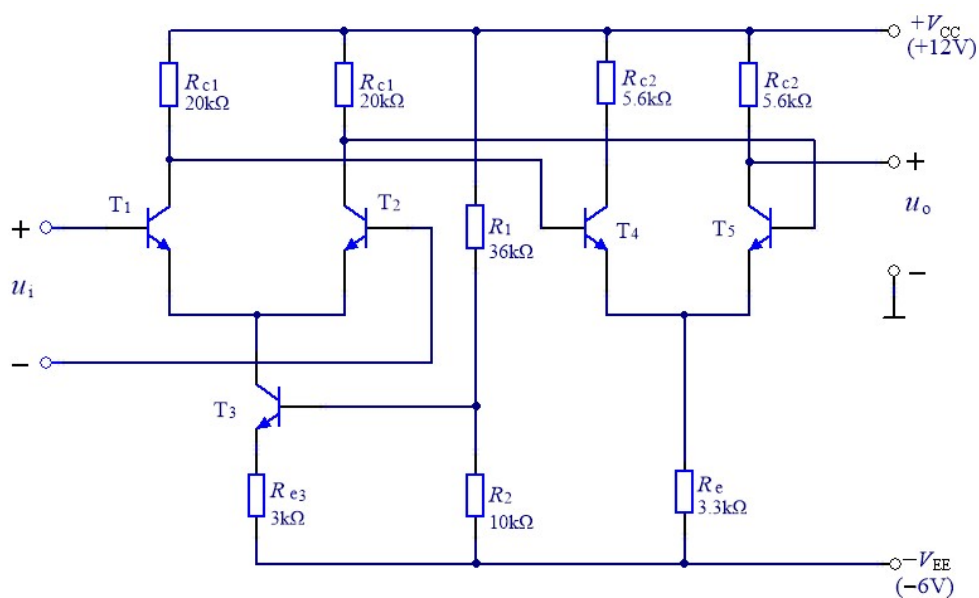


图 P3.7

解：图 P3.7 所示电路是两级差分放大电路，第一级为双端输入双端输出带有恒流源的差分放大电路，后一级为双端输入单端输出的长尾式差分放大电路。

(1) 分析静态工作点

第一级：

$$I_{E3} = \frac{\frac{R_2}{R_1 + R_2}(V_{CC} + V_{EE}) - 0.7}{R_{e3}} = \frac{\frac{10}{36 + 10} \times 18 - 0.7}{3} \approx 1.07 \text{mA}$$

$$I_{C1} = I_{C2} \approx \frac{1}{2} I_{E3} = 0.535 \text{mA}$$

忽略 T4 和 T5 的基极电流，有

$$V_{C1} = V_{C2} \approx V_{CC} - I_{C1} R_{C1} = 12 - 0.535 \times 20 = 1.3 \text{V}$$

第二级：

$$I_{C4} = I_{C5} = \frac{(U_{C1} + V_{EE}) - 0.7}{2R_e} = \frac{7.3 - 0.7}{6.6} \approx 1 \text{mA}$$

$$V_{C4} = V_{C5} \approx V_{CC} - I_{C4} R_{C4} = 12 - 1 \times 5.6 = 6.4 \text{V}$$

(2) 分析电压放大倍数

$$r_{be1} = r_{be2} = 300 + (1 + \beta) \frac{26 \text{mV}}{I_{E1}} \approx 2.7 \text{k}\Omega$$

$$r_{be4} = r_{be5} = 300 + (1 + \beta) \frac{26 \text{mV}}{I_{E4}} \approx 1.6 \text{k}\Omega$$

$$A_{ud1} = \frac{-\beta R_{C1} // R_{i2}}{r_{be1}} \quad \text{其中 } R_{i2} = r_{be4}$$

$$\Rightarrow A_{ud1} = \frac{-\beta R_{C1} // R_{i2}}{r_{be1}} = \frac{-50 \times 20 // 1.6}{2.7} \approx -27.4$$

$$A_{ud2} = \frac{-\beta R_{C4}}{2r_{be4}} = -\frac{50 \times 5.6}{2 \times 1.6} = -87.5$$

$$\Rightarrow A_{ud} = A_{ud1} \times A_{ud2} = (-27.4) \times (-87.5) = 2397$$

3.9 电路如图 P3.9 所示，T₁ 和 T₂ 管的饱和管压降 $|U_{CES}| = 1 \text{V}$ ， $V_{CC} = 15 \text{V}$ ， $R_L = 8 \Omega$ 。输入电压足够大。试问：

(1) 最大输出功率 P_{om} 和效率 η 各为多少？

(2) 三极管的最大功耗 P_{Tmax} 为多少？

(3) 为了使输出功率达到 P_{om} , 输入电压的有效值约为多少?

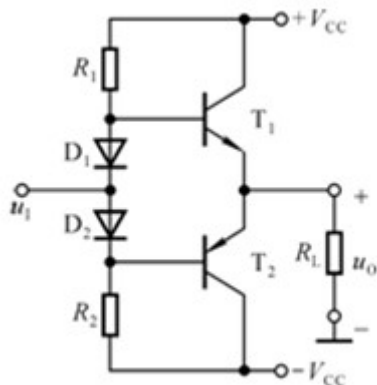


图 P3.9

解: (1) 最大输出功率和效率分别为

$$P_{om} = \frac{(V_{CC} - |U_{CES}|)^2}{2R_L} = 12.25 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{CC} - |U_{CES}|}{V_{CC}} \approx 73.3\%$$

(2) 晶体管的最大功耗

$$P_{T1m} = \frac{1}{\pi^2} \frac{V_{CC}^2}{R_L} = 2.85 \text{ W}$$

(3) 输出功率为 P_{om} 时的输入电压有效值

$$U_i \approx U_{om} \approx \frac{V_{CC} - |U_{CES}|}{\sqrt{2}} \approx 9.9 \text{ V}$$

3.10 OTL 电路如图 P3.10 所示, R_4 和 R_5 可起输出端短路保护作用。已知 $V_{CC} = 15 \text{ V}$, T_1 和 T_2 管的饱和管压降 $|U_{CES}| = 2 \text{ V}$, 输入电压足够大。求解:

(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 。

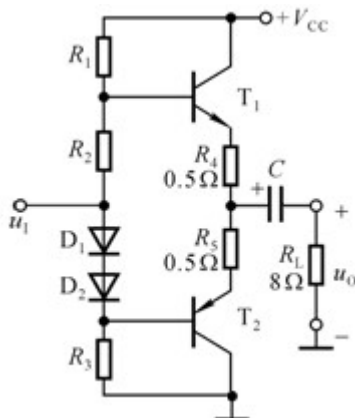


图 P3.10

解：（1）最大不失真输出电压有效值

$$U_{om} = \frac{\frac{R_L}{R_4 + R_L} \cdot (\frac{1}{2}V_{CC} - U_{CES})}{\sqrt{2}} = \frac{\frac{8}{8.5} \times (\frac{15}{2} - 2)}{\sqrt{2}} \approx 3.66 \text{ V}$$

（2）负载电流最大值

$$i_{Lmax} = \frac{\frac{1}{2}V_{CC} - U_{CES}}{R_4 + R_L} \approx 0.647 \text{ A}$$

（3）最大输出功率和效率分别为

$$P_{om} = \frac{U_{om}^2}{R_L} = \frac{3.66^2}{8} \approx 1.67 \text{ W}$$

$$\eta_m = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\frac{R_L}{R_4 + R_L} \cdot (\frac{1}{2}V_{CC} - U_{CES})}{\frac{1}{2}V_{CC}} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\frac{8}{8.5} \times (\frac{15}{2} - 2)}{\frac{15}{2}} \approx 54.2\%$$