

4-1

通用型集成运放一般由几部分电路组成，每一部分常采用哪种基本电路？通常对每一部分性能的要求分别是什么？

解答：

通用型集成运放由输入级、中间级、输出级和偏置电路等四个部分组成。

通常，输入级为差分放大电路，中间级为共射放大电路，输出级为互补电路，偏置电路为电流源电路。

(1) 对输入级的要求：

输入电阻大，温漂小，放大倍数尽可能大。

(2) 对中间级的要求：

放大倍数大，一切措施（复合管、有源负载）几乎都是为了增大放大倍数。

(3) 对输出级的要求：

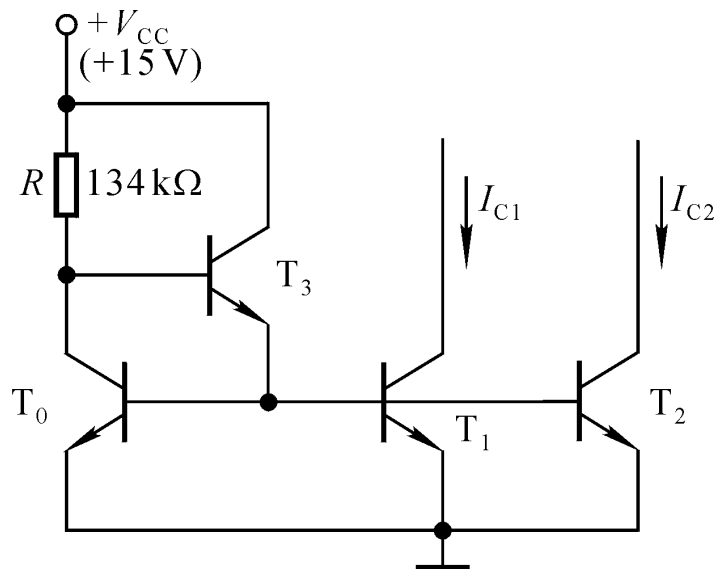
带负载能力强，最大不失真输出电压尽可能大。

(4) 对偏置电路的要求：

提供合适的偏置电流，稳定静态工作点。

4-2

已知所有晶体管的特性均相同， U_{BE} 均为0.7V。
试求 I_{C1} 、 I_{C2} 各为多少。



解答：

$$I_R = \frac{V_{CC} - U_{BE3} - U_{BE0}}{R} = 100\mu A$$

$$I_R = I_{C0} + I_{B3} = I_{C0} + \frac{3I_B}{1+\beta} = I_C + \frac{3I_C}{\beta(1+\beta)}$$

$$I_C = \frac{\beta^2 + \beta}{\beta^2 + \beta + 3} \cdot I_R$$

当 $\beta(1+\beta) \gg 3$ 时

$$I_{C1} = I_{C2} \approx I_R = 100\mu A$$

4-3 已知一个集成运放的开环差模增益 A_{od} 为100dB，最大输出电压峰值 $U_{oM} = \pm 12V$ ，分别计算差模输入电压 u_i 为10 μV 、100 μV 、1mV、1V和-10 μV 、-100 μV 、-1mV、-1V时的输出电压 u_o 。

解答：

根据集成运放的开环差模增益，可求出开环差模放大倍数

$$20\lg A_{od} = 100\text{dB} \quad A_{od} = 10^5 \quad \text{输出电压 } u_o = A_{od} u_i;$$

当 $A_{od} u_i$ 超过 $\pm 12V$ 时， u_o 不是+12V，就是-12V。

故 u_i 为10 μV 、100 μV 、1mV、1V和
-10 μV 、-100 μV 、-1mV、-1V时，

u_o 分别为1V、10V、12V、12V、
-1V、-10V、-12V、-12V。

4-4

在图所示电路中，已知 $V_{CC}=15V$ ， T_1 和 T_2 管的饱和管压降 $|U_{CES}|=2V$ ，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 。

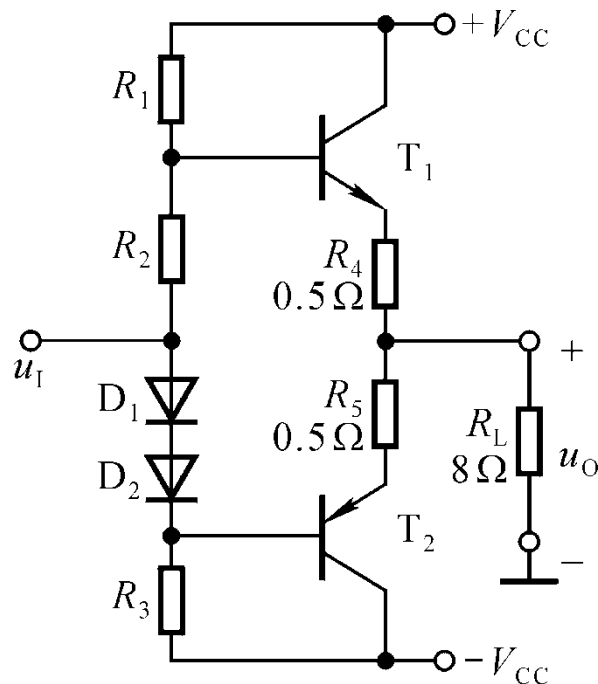
解答：

$$1) \quad U_{om} = \frac{\frac{R_L}{R_4 + R_L} \cdot (V_{CC} - U_{CES})}{\sqrt{2}} \approx 8.65V$$

$$2) \quad i_{Lmax} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{R_4 + R_L} \approx 1.53A$$

$$3) \quad P_{om} = \frac{U_{om}^2}{2R_L} \approx 9.35W \quad \eta = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{CC} - U_{CES} - U_{R4}}{V_{CC}} \approx 64\%$$

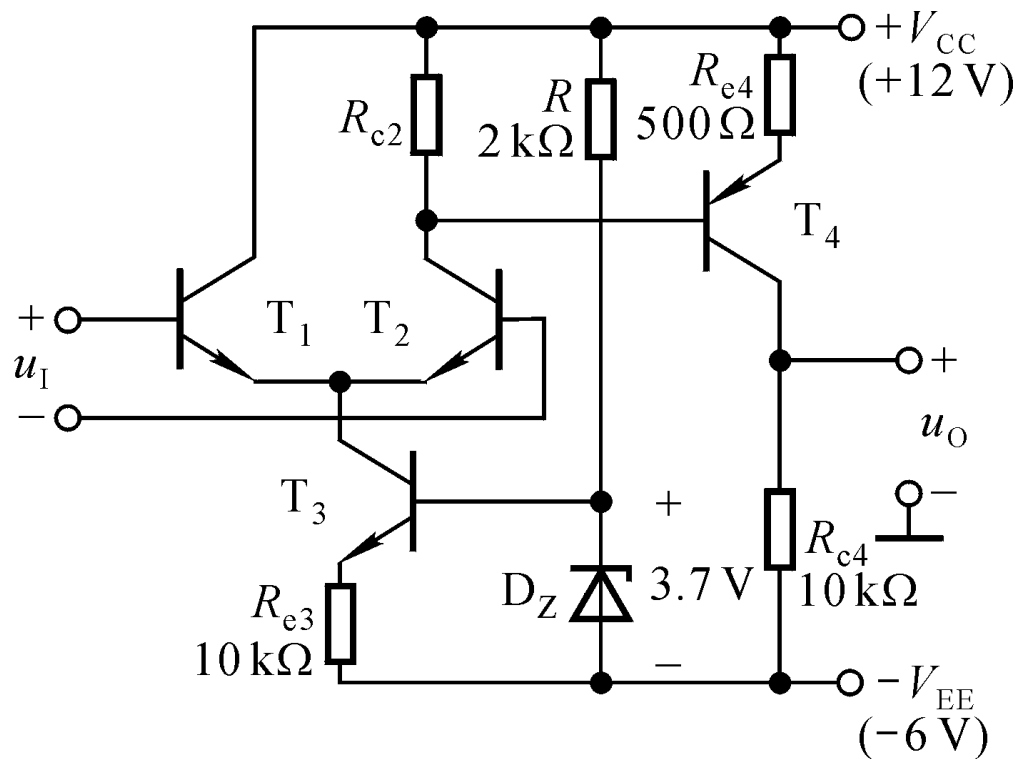
4) R_4 和 R_5 是过流保护电路的采样电阻




4-5 图中所有晶体管均为硅管， β 均为60， $r'_{bb}=100\Omega$ ，静态时 $|U_{BEQ}| \approx 0.7V$

试求：


- (1) 静态时 T_1 管和 T_2 管的发射极电流。
- (2) 若静态时 $u_o > 0$ ，则应如何调节 R_{c2} 的值才能使 $u_o = 0V$ ？
若静态 $u_o = 0V$ ，则 $R_{c2} = ?$ 电压放大倍数为多少？




$$R_{c2} I_{R_{c2}} = R_{e4} I_{e4} + U_{BEQ}$$

$$I_{R_{c2}} = I_{c2} - I_{b4}$$

$$R_{c2} = \frac{R_{e4} (1 + \beta) I_{b4} + U_{BEQ}}{I_{c2} - I_{b4}}$$

$$u_o \downarrow \Rightarrow I_{c4} \downarrow \Rightarrow I_{b4} \downarrow \Rightarrow R_{c2} \downarrow$$


4-5 解：(1) T_3 管的集电极电流

$$I_{C3} = (U_Z - U_{BEQ3}) / R_{e3} = 0.3\text{mA}$$

静态时 T_1 管和 T_2 管的发射极电流

$$I_{E1} = I_{E2} = 0.15\text{mA}$$

(2) 若静态时 $u_O > 0$ ，则应减小 R_{c2} 。

当 $u_I = 0$ 时 $u_O = 0$ ， T_4 管的集电极电流 $I_{CQ4} = V_{EE} / R_{c4} = 0.6\text{mA}$ 。

R_{c2} 的电流及其阻值分别为

$$I_{R_{c1}} = I_{C2} - I_{B4} = I_{C2} - \frac{I_{CQ4}}{\beta} = 0.14\text{mA}$$

$$R_{c2} = \frac{I_{E4}R_{E4} + |U_{BEQ4}|}{I_{R_{c2}}} \approx 7.14\text{k}\Omega$$

电压放大倍数求解过程如下：

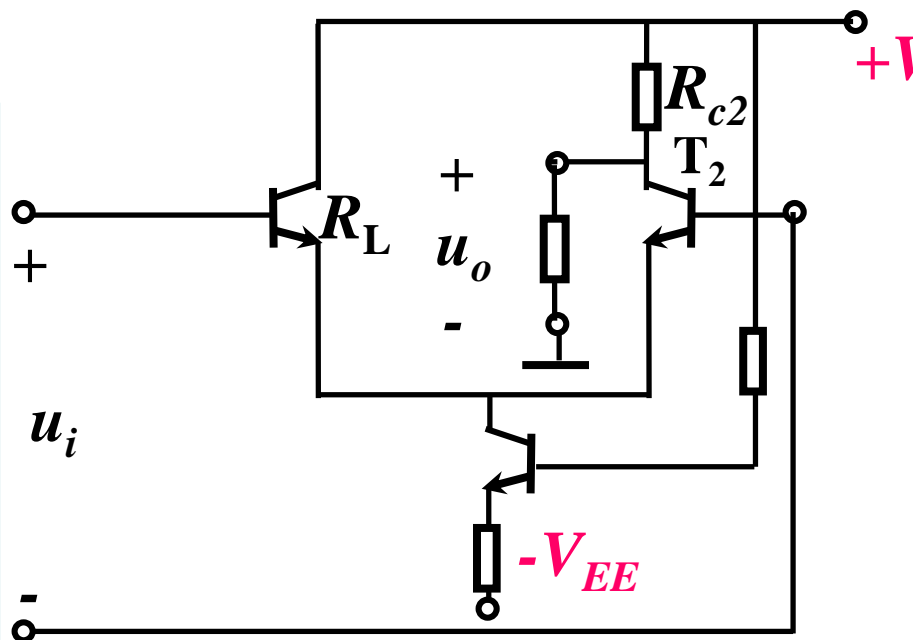
$$r_{be2} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_{EQ2}} \approx 10.7\text{k}\Omega$$

$$r_{be4} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_{EQ4}} \approx 2.74\text{k}\Omega$$

$$\dot{A}_{u1} = \frac{\beta \{R_{c2} // [r_{be4} + (1 + \beta)R_{E4}]\}}{2r_{be2}} \approx 16.5$$

$$\dot{A}_{u2} = -\frac{\beta R_{c4}}{r_{be4} + (1 + \beta)R_{E4}} \approx -18$$

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \cdot \dot{A}_{u2} \approx -297$$

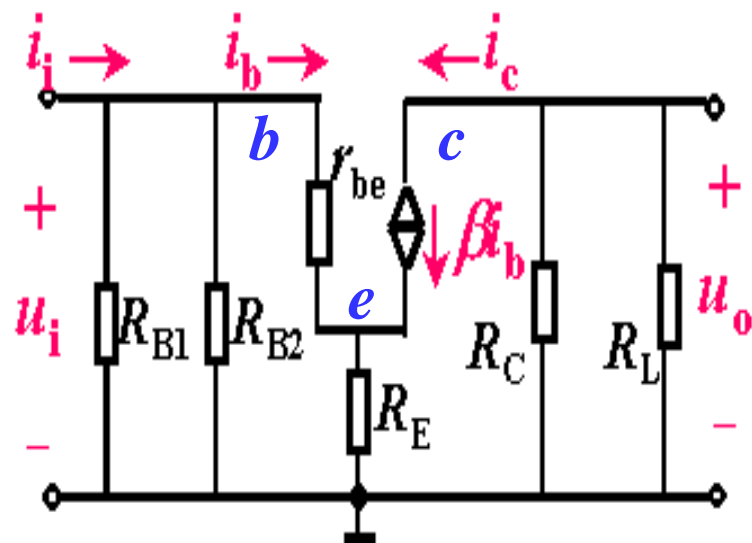
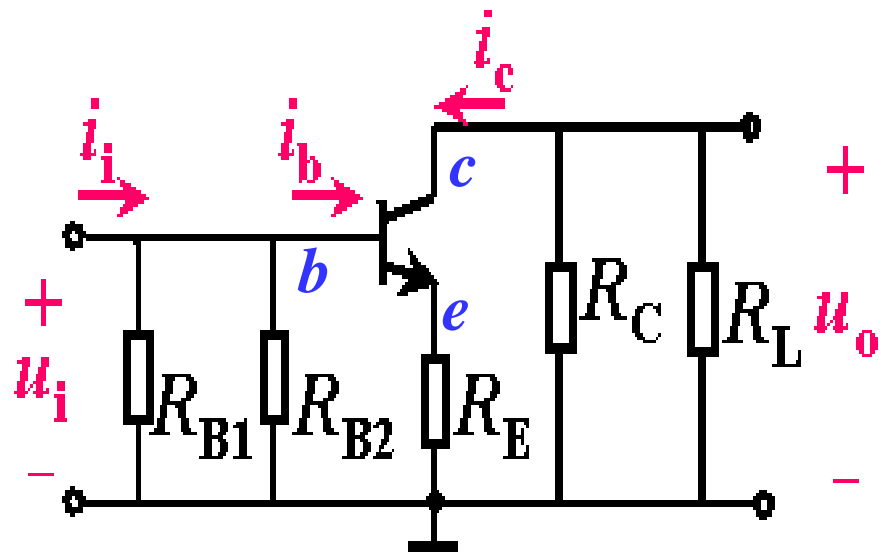


$$u_{id} = u_i = u_{i1} - u_{i2}$$

$$u_{i1} = u_{id}/2, \quad u_{i2} = -u_{id}/2$$

$$A_{u1} = \frac{u_o}{u_{i2}} = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}}$$

$$A_{ud} = \frac{u_{od}}{u_{id}} = \frac{u_o}{-2u_{i2}} = \frac{\beta R'_L}{2r_{be}}$$



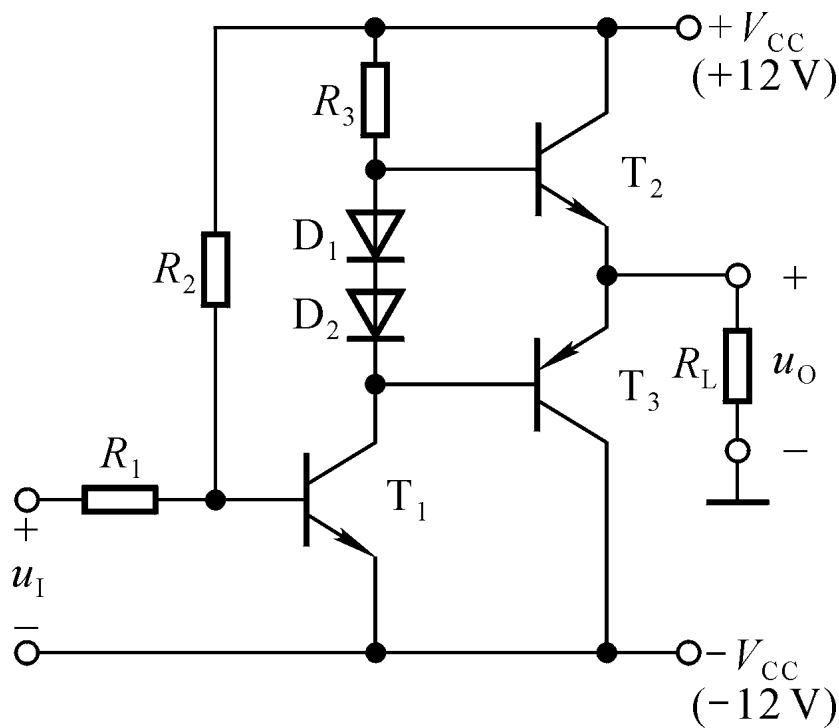
$$\dot{A}_u = -\frac{\beta R'_L}{r_{be} + (1 + \beta)R_E}$$

4-6 电路如图所示。已知电压放大倍数为 -100 ，输入电压 u_I 为正弦波， T_2 和 T_3 管的饱和压降 $|U_{CES}|=1V$ 。试问：

(1) 在不失真的情况下，输入电压最大有效值 $U_{i\max}$ 为多少伏？

(2) 若 $U_i=10\text{mV}$ (有效值)，则 $U_o=?$

若此时 R_3 开路，则 $U_o=?$ 若 R_3 短路，则 $U_o=?$



4-6 解答:

(1) 最大不失真输出电压有效值为 $U_{om} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\sqrt{2}} \approx 7.78V$

故在不失真的情况下，输入电压最大有效值 U_{imax}

$$U_{imax} = \frac{U_{om}}{|\dot{A}_u|} \approx 77.8mV$$

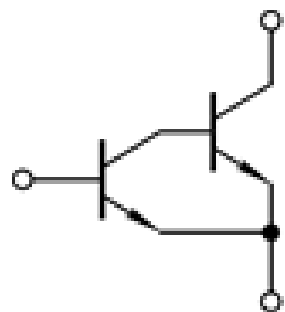
(2) 若 $U_i = 10mV$ ，则 $U_o = 1V$ （有效值）。

若 R_3 开路，则 T_1 和 T_3 组成复合管，等效 $\beta \approx \beta_1 \beta_3$ ， T_3 可能饱和，使得 $u_o \approx -11V$ （直流）。

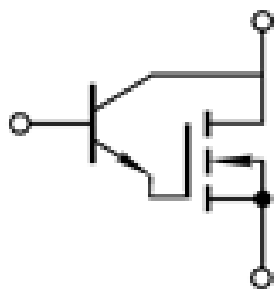
若 R_3 短路，则 $u_o \approx 11.3V$ （直流）。

4-7 图中的哪些接法可以构成复合管？

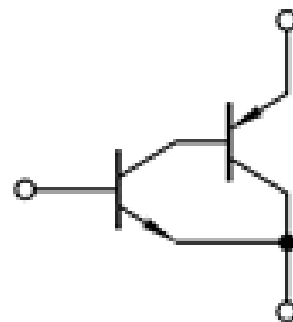
等效管的类型及管脚（b、e、c、d、g、s）。



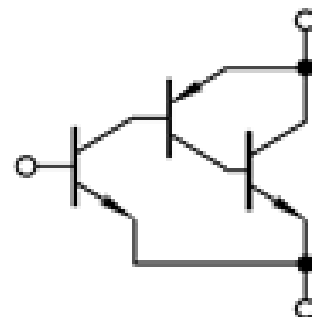
(a)



(b)

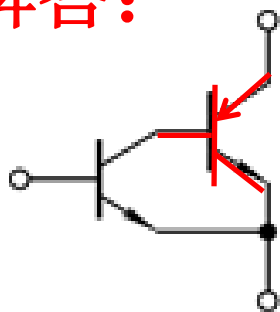


(c)

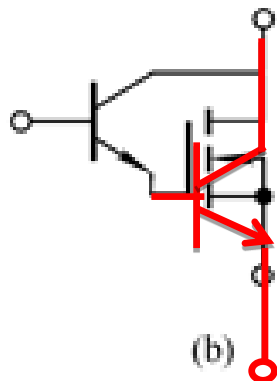


(d)

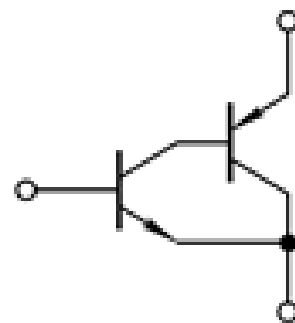
解答：



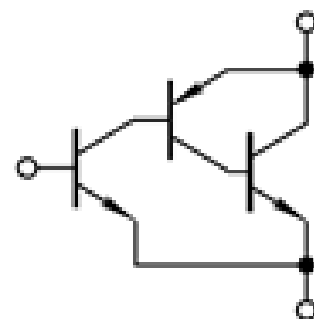
(a)



(b)



(c)



(d)



4-8 设图示各电路的静态工作点均合适:

1) 画出微变等效电路;

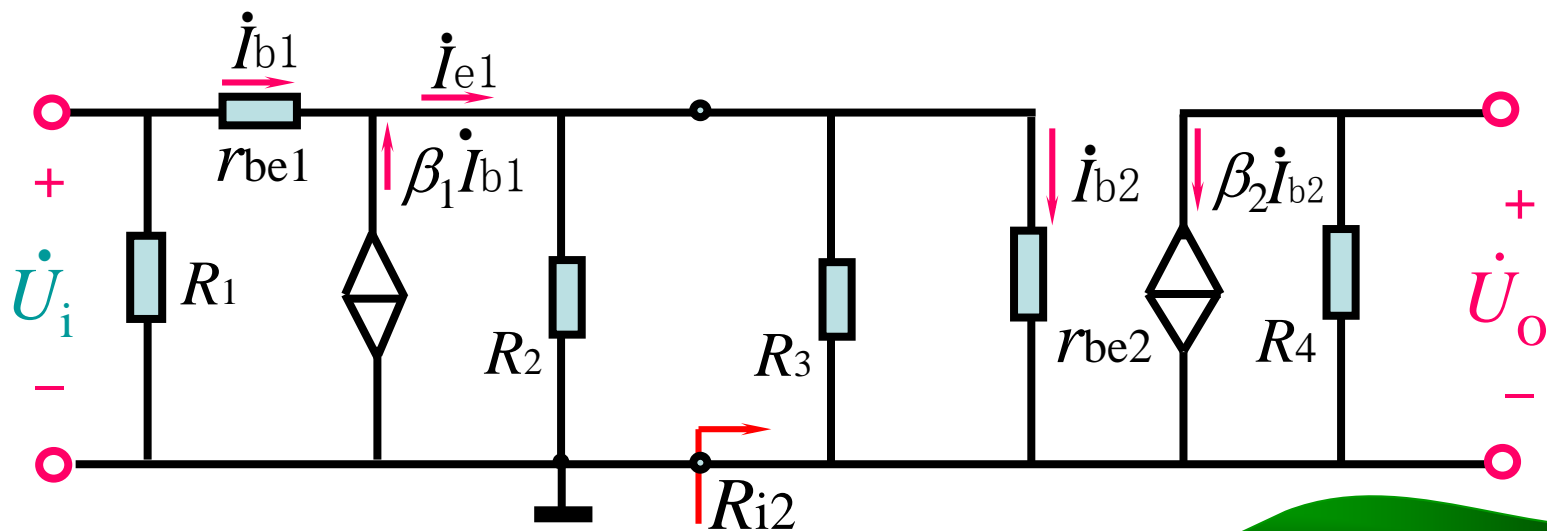
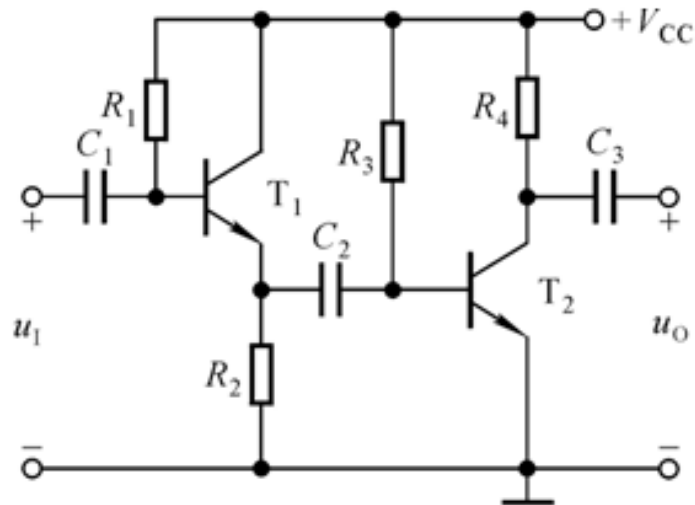
2) 并写出 \dot{A}_u 、 R_i 和 R_o 的表达式。

解答:

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

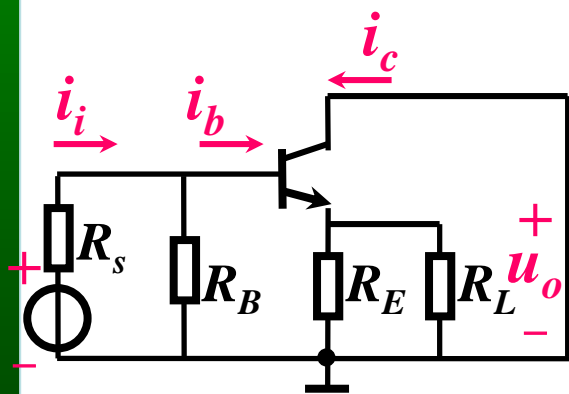
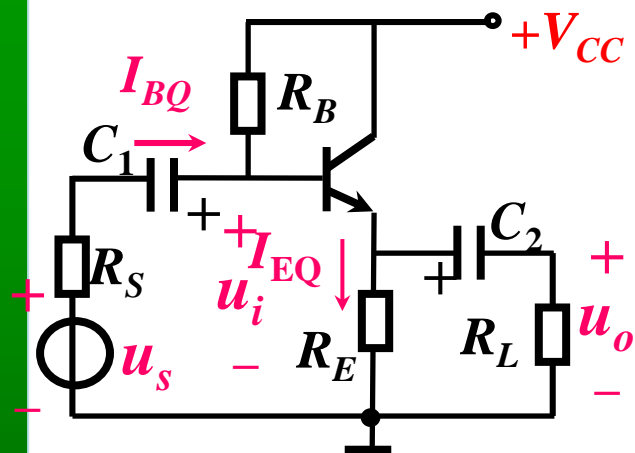
$$R_i = R_1 // [r_{be1} + (1 + \beta_1)(R_2 // R_3 // r_{be2})]$$

$$R_o = R_4$$



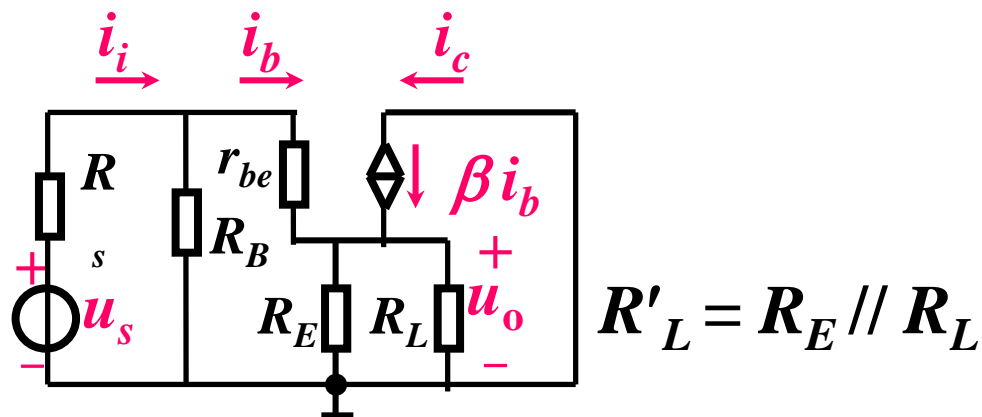
2. 动态分析：求 A_u 、 R_i 、 R_o

① 画交流通路



交流通路

② 画微变等效电路

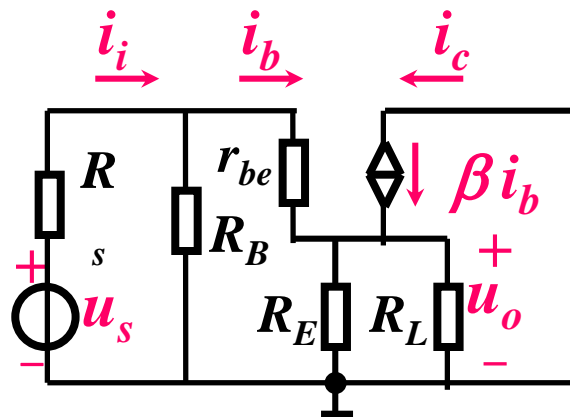


微变等效电路

③ 计算 A_u < 1 ! 还有意义吗?

$$\begin{aligned} \dot{A}_u &= \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{(1 + \beta) \dot{I}_b R_E // R_L}{\dot{I}_b r_{be} + (1 + \beta) \dot{I}_b R_E // R_L} \\ &= \frac{(1 + \beta) R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R'_L} < \approx 1 \end{aligned}$$

④ 计算 R_i

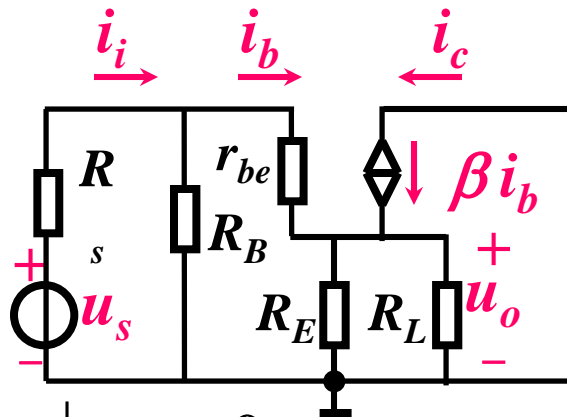


$$R'_L = R_E // R_L$$

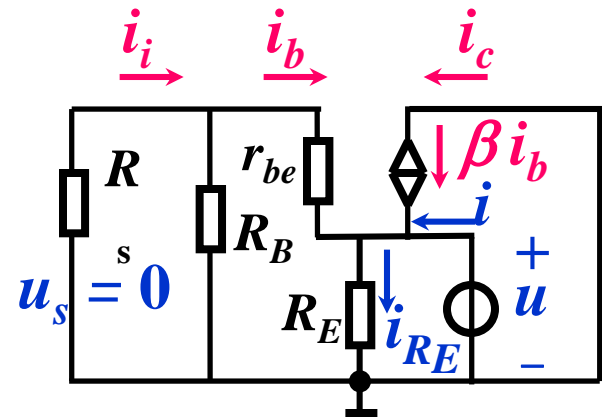
$$R_i = \frac{u_i}{i_i} = \frac{u_i}{\frac{u_i}{R_B} + \frac{u_i}{r_{be} + (1 + \beta)R'_L}} = R_B // [r_{be} + (1 + \beta)R'_L]$$

R_i 比共射放大电路大！

⑤ 计算 R_o



$$R_o = \frac{u}{i} \Big|_{u_s = 0, R_L = \infty}$$



$$R'_S = R_s // R_B$$

$$i = i_{R_E} - i_b - \beta i_b = \frac{u}{R_E} + (1 + \beta) \frac{u}{r_{be} + R'_S} \quad (i_b = \frac{u}{r_{be} + R'_S})$$

$$R_o = \frac{u}{i} = \frac{1}{\frac{1}{R_E} + \frac{1}{(r_{be} + R'_S)/(1 + \beta)}} = R_E // \frac{(r_{be} + R'_S)}{1 + \beta}$$

R_o 比共射放大电路小!