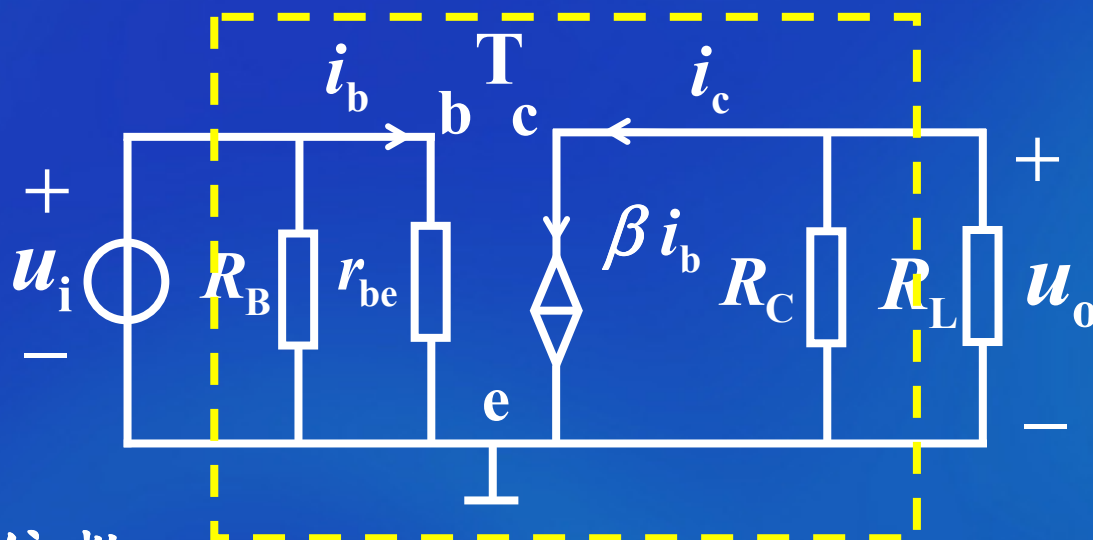


(2) 放大电路的主要性能指标的计算



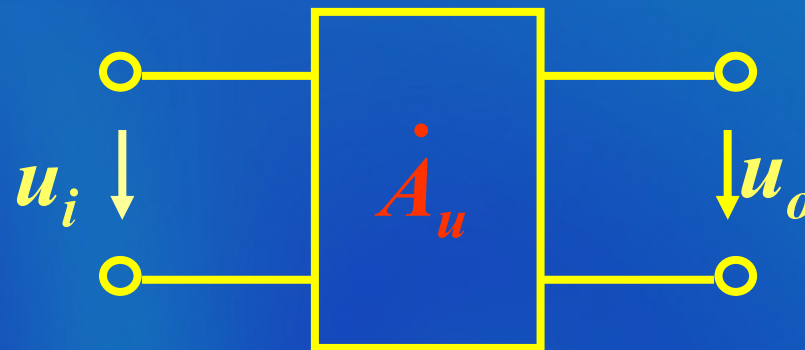
a. 电压放大倍数

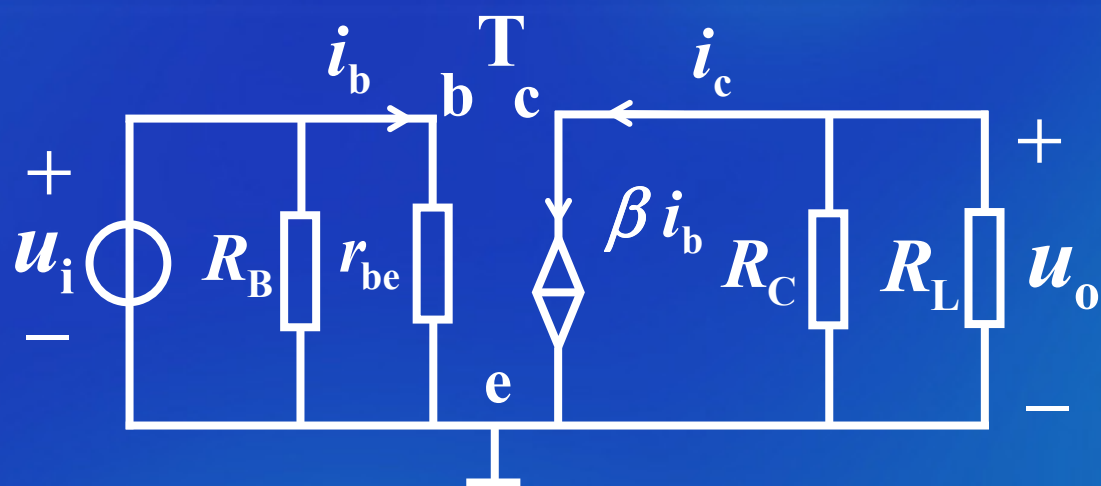
$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i}$$

式中

$$\dot{U}_i = \dot{I}_b r_{be}$$

$$\dot{U}_o = -\beta \dot{I}_b (R_C // R_L)$$





故

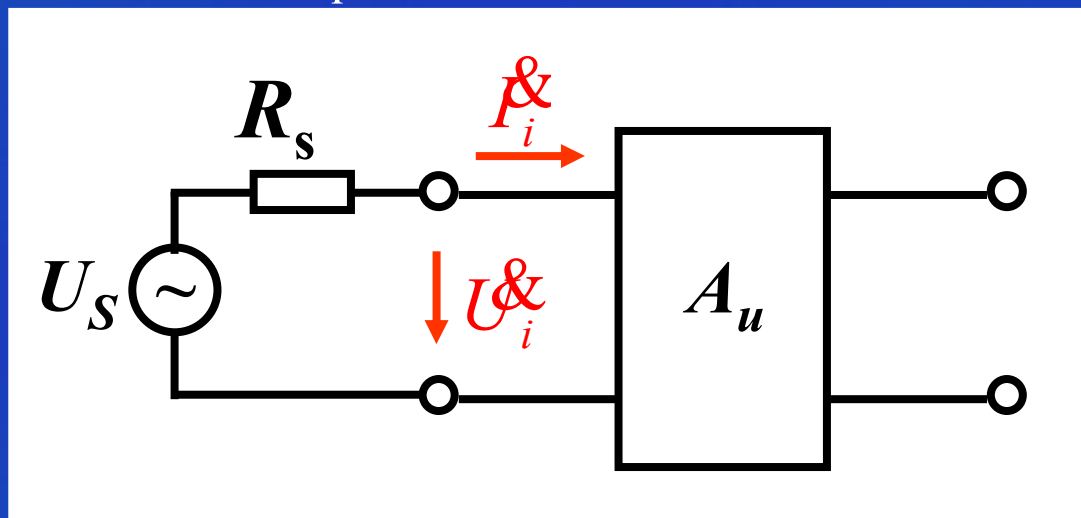
$$\begin{aligned} \dot{A}_u &= \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \\ &= \frac{-\beta \dot{I}_b (R_C // R_L)}{\dot{I}_b r_{be}} \\ &= -\frac{\beta R'_L}{r_{be}} \end{aligned}$$

u_o 与 u_i 相位相反

式中 $R'_L = R_L // R_C$

b、输入电阻 R_i

定义:



$$R_i = \frac{U_i}{I_i}$$

放大电路一定要有前级（信号源）为其提供信号，那么就要从信号源取电流。输入电阻是衡量放大电路从其前级取电流大小的参数。输入电阻越大，从其前级取得的电流越小，对前级的影响越小。

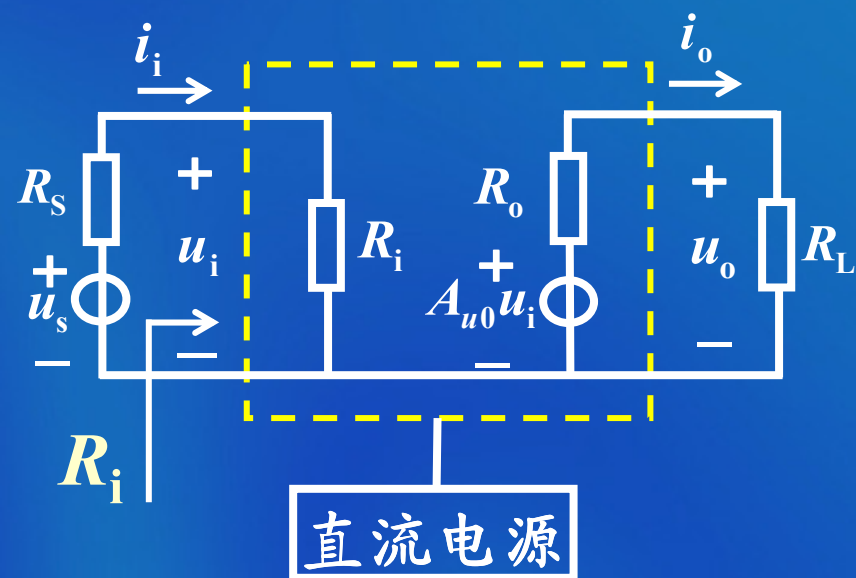
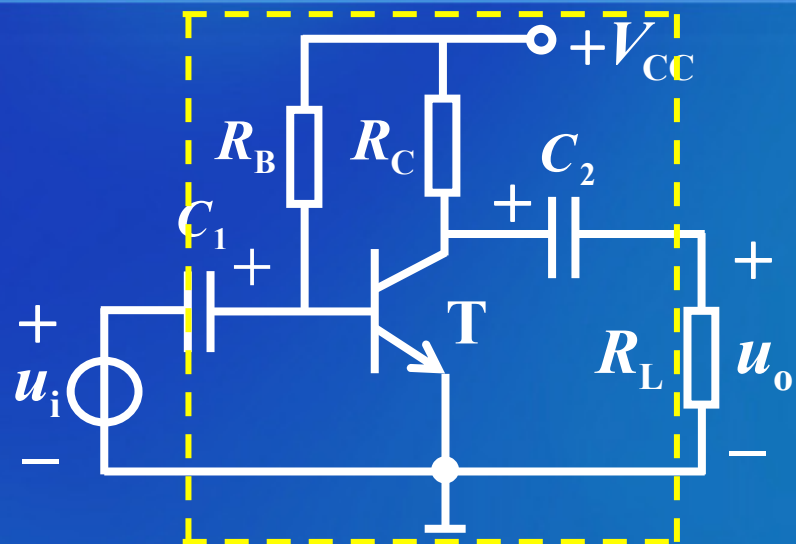
即： R_i 越大， I_i 就越小， u_i 就越接近 u_s

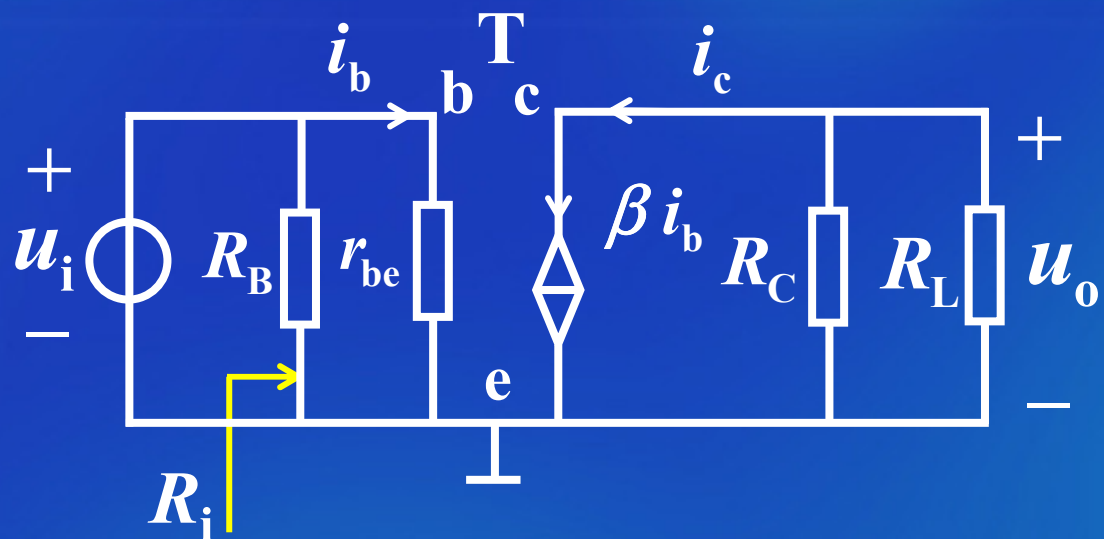
b. 输入电阻 R_i $R_i = \frac{U_i}{I_i}$

由于 $U_i = \frac{R_i}{R_s + R_i} U_s$

R_i 越大, U_i 也就越大,
 $U_o = A_u U_i$ 也就越大
 电路的放大能力越强。

$$\begin{aligned} \dot{A}_{us} &= \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} \\ &= \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \frac{\dot{U}_i}{\dot{U}_s} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \dot{A}_u \end{aligned}$$

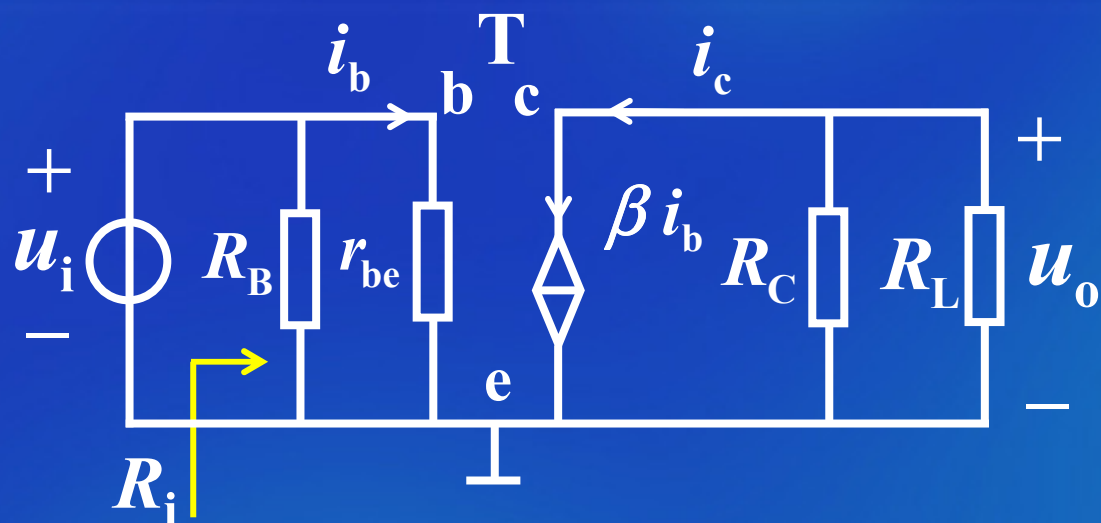




b. 输入电阻 R_i

由图可知
$$R_i = \frac{U_i}{I_i}$$

$$I_i = \frac{U_i}{R_B} + \frac{U_i}{r_{be}}$$



故

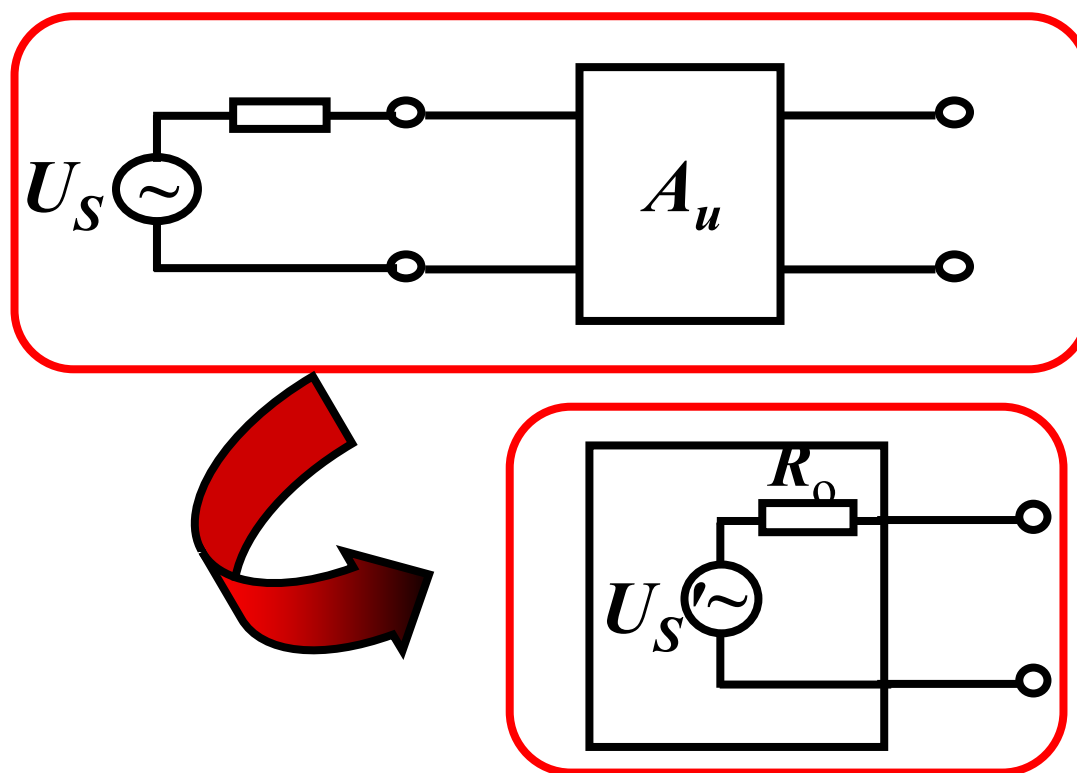
$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{\frac{U_i}{R_B} + \frac{U_i}{r_{be}}} = \frac{1}{\frac{1}{R_B} + \frac{1}{r_{be}}} = R_B // r_{be}$$

通常 $R_B \gg r_{be}$

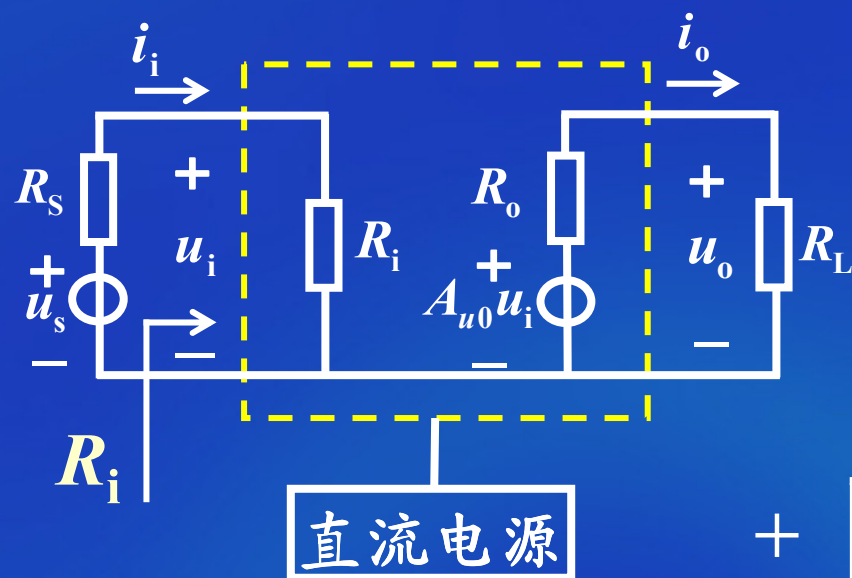
$$R_i \approx r_{be}$$

c. 输出电阻 R_o

放大电路对其负载而言，相当于负载的信号源，我们可以将它等效为戴维南等效电路，这个戴维南等效电路的内阻就是放大电路的输出电阻。

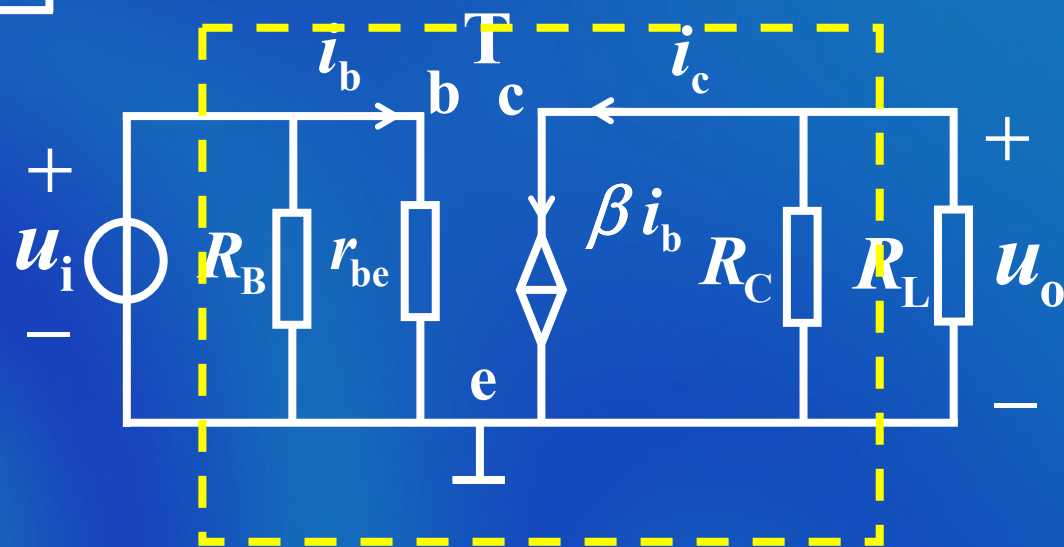


c. 输出电阻 R_o



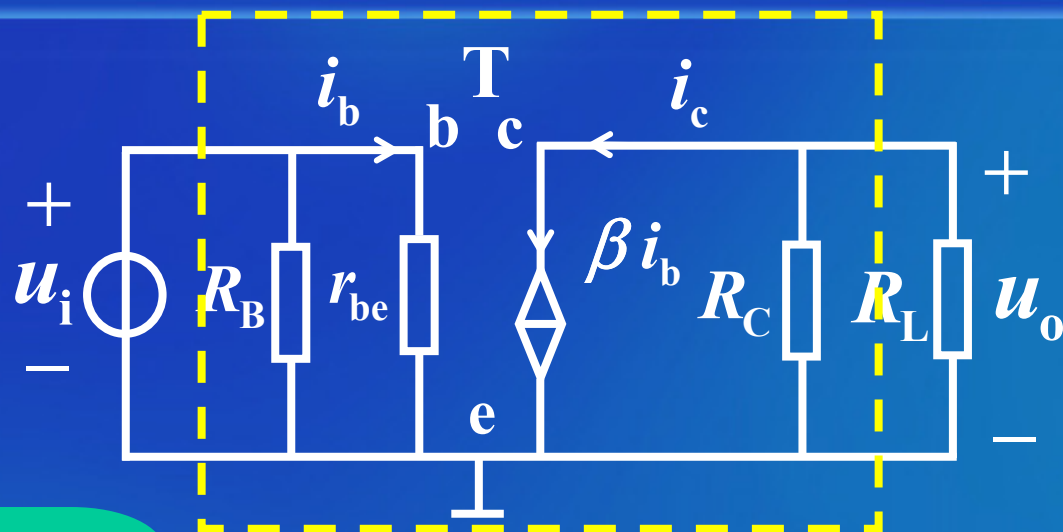
定义:

$$R_o = \frac{U}{I} \bigg|_{\substack{U_i=0 \\ R_L=\infty}}$$



定义:

$$R_o = \frac{U}{I} \bigg|_{\substack{U_i=0 \\ R_L=\infty}}$$



由图可知

$$u_i = 0$$

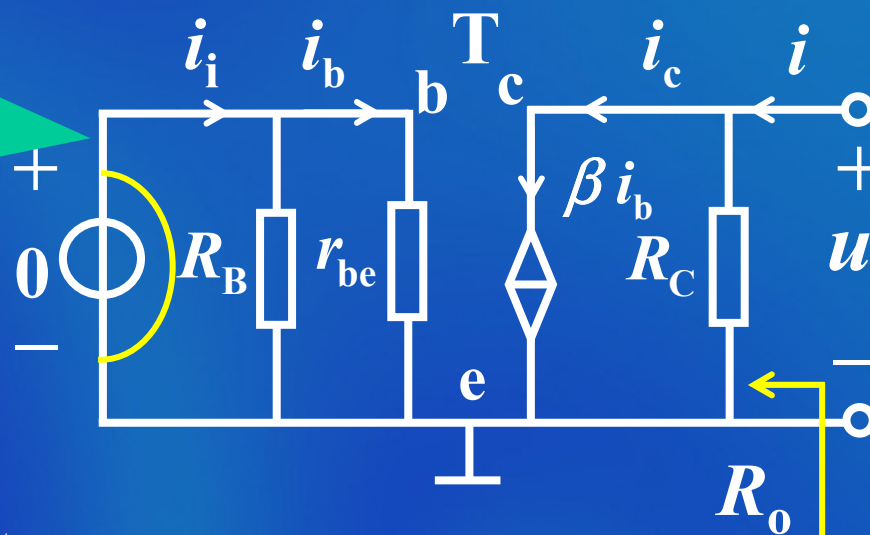
$$i_b = 0$$

$$u_i = 0$$

故

$$R_o = \frac{U}{I} \bigg|_{\substack{U_i=0 \\ R_L=\infty}} = R_C$$

画出求输出电阻的等效电路



直流通路: 只考虑直流信号的分电路。

交流通路: 只考虑交流信号的分电路。

信号的不同分量可以分别在不同的通路分析。

共射极放大电路的基本分析步骤:

1. 直流分析: 用直流通路分析静态工作点 三步法估算

2. 交流分析: 用微变等效电路分析动态指标

三步法

a. 画出微变等效电路

b. 求出 r_{be}

c. 求出3个指标 (\dot{A}_u , R_i , R_o)

I_{BQ}

I_{CQ}

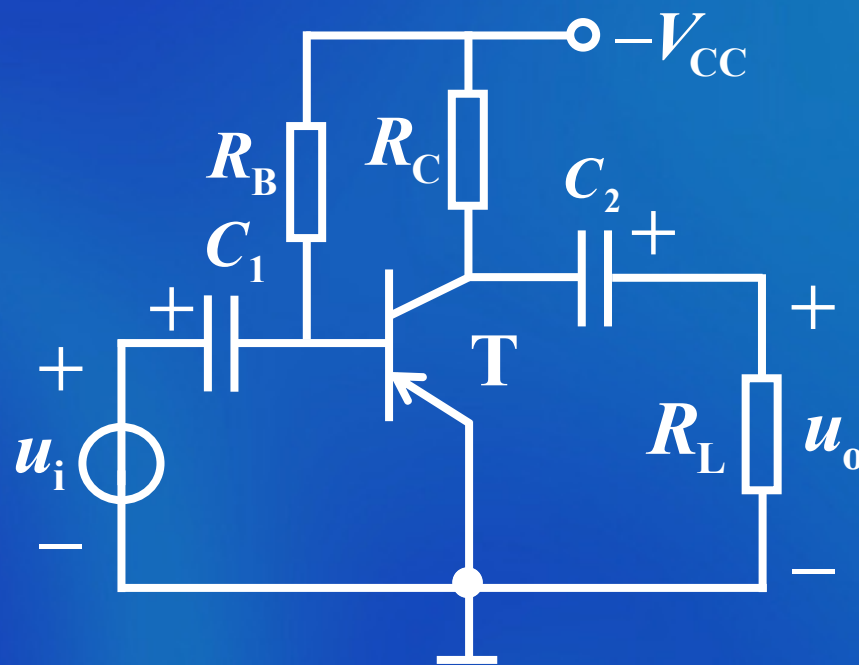
U_{CEQ}

[例]

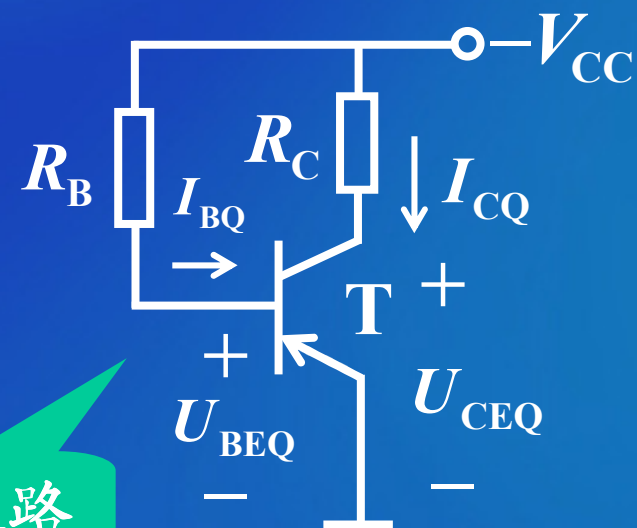
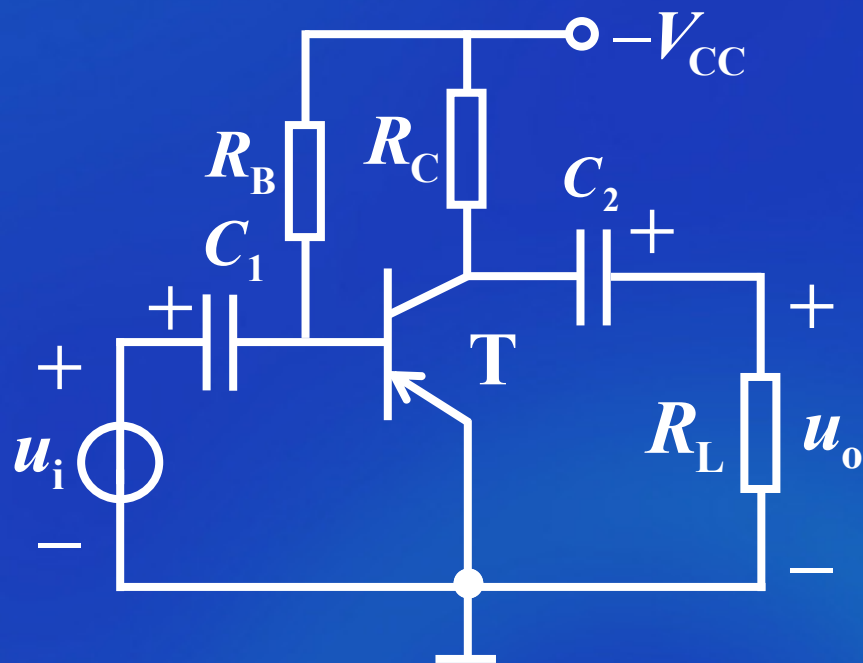
在图示电路中，已知： $V_{CC}=12V$ ， $R_C=2k\Omega$ ， $R_B=360k\Omega$ ；晶体管T为锗管，其 $\bar{\beta}=\beta=60$ ， $r_{bb'}=300\Omega$ ； $C_1=C_2=10\mu F$ ， $R_L=2k\Omega$ 。试求：

(a) 晶体管的 I_{BQ} ， I_{CQ} 及 U_{CEQ} ；

(b) 放大电路的 A_u ， R_i ， R_o 及 U_{opp} 。



[解] (a) 画出放大电路的直流通路



直流通路

由图可知：

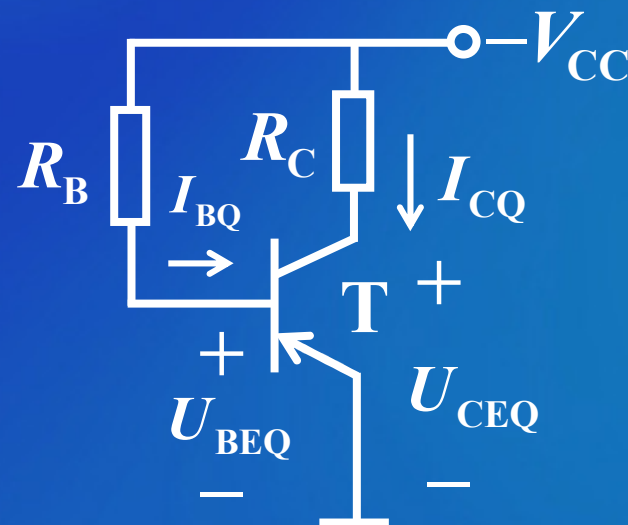
$$I_{BQ} = \frac{-V_{CC} - U_{BEQ}}{R_B}$$

$$= \frac{-12 - (-0.3)}{360 \times 10^3}$$

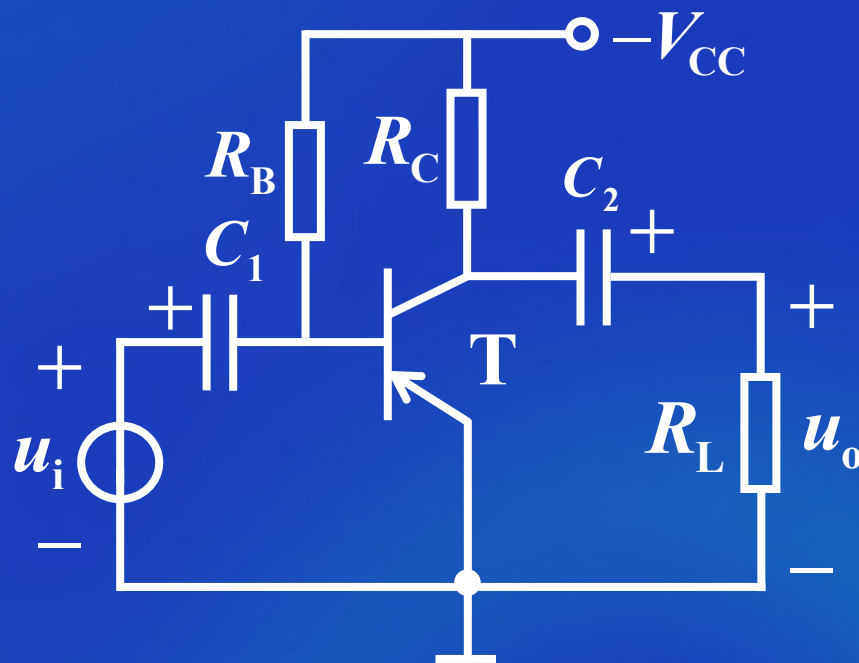
$$= -32.5 \mu\text{A}$$

$$\begin{aligned} I_{CQ} &= \bar{\beta} I_B \\ &= 60 \times (-32.5 \times 10^{-6}) \\ &= -1.95 \text{ mA} \end{aligned}$$

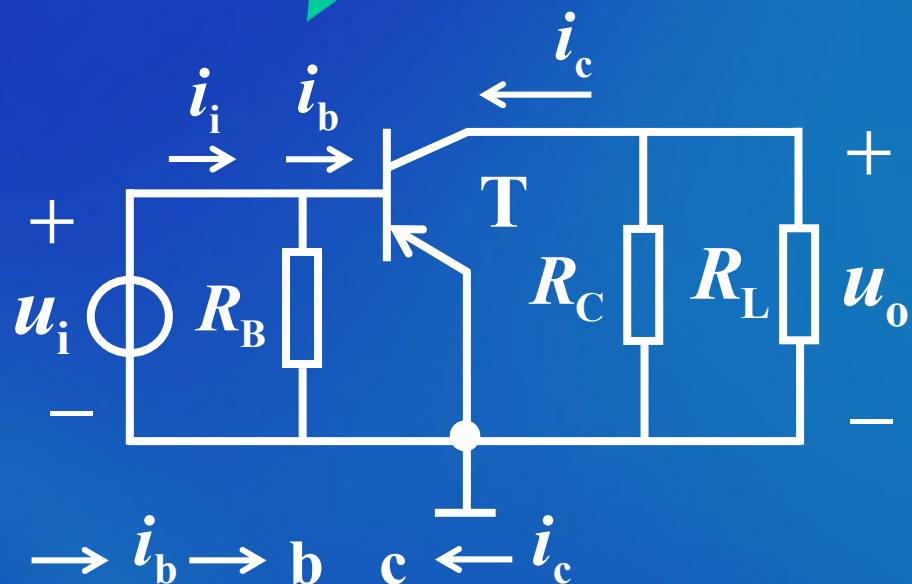
$$\begin{aligned} U_{CEQ} &= -V_{CC} - I_{CQ} R_C \\ &= -12 - (-1.95) \times 2 \\ &= -8.1 \text{ V} \end{aligned}$$



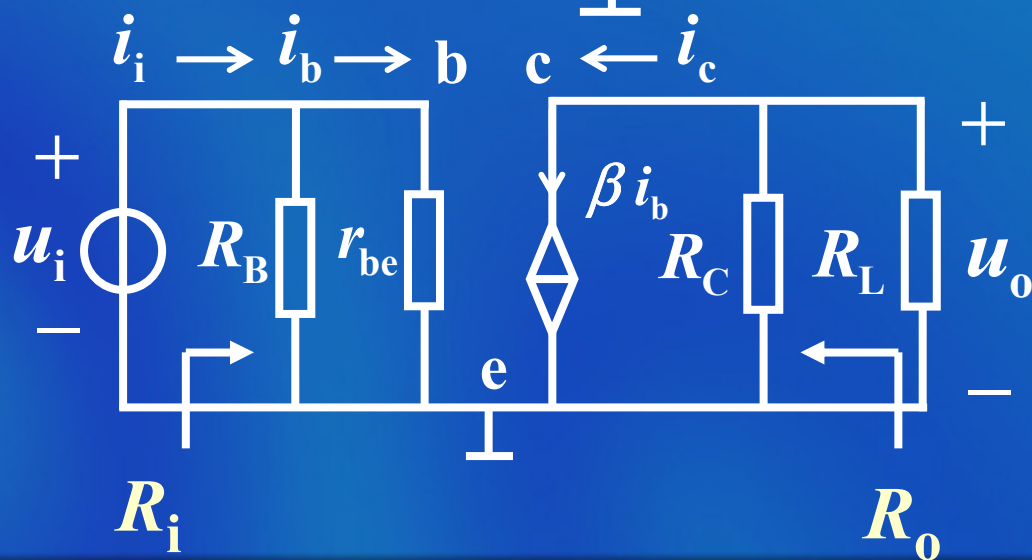
(b) 首先画出放大电路的交流通路



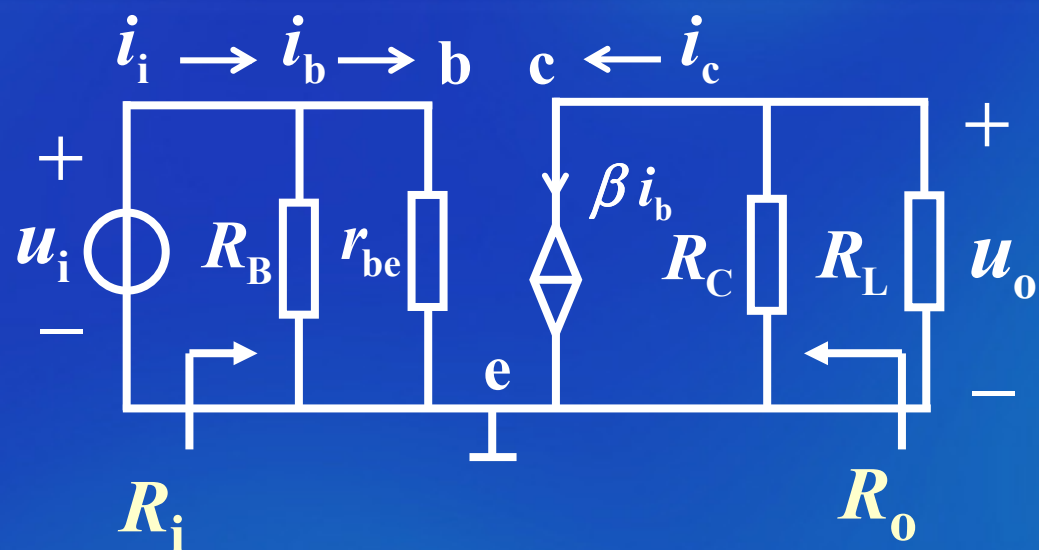
交流通路



微变等效电路



其次画出放大电路
的微变等效电路



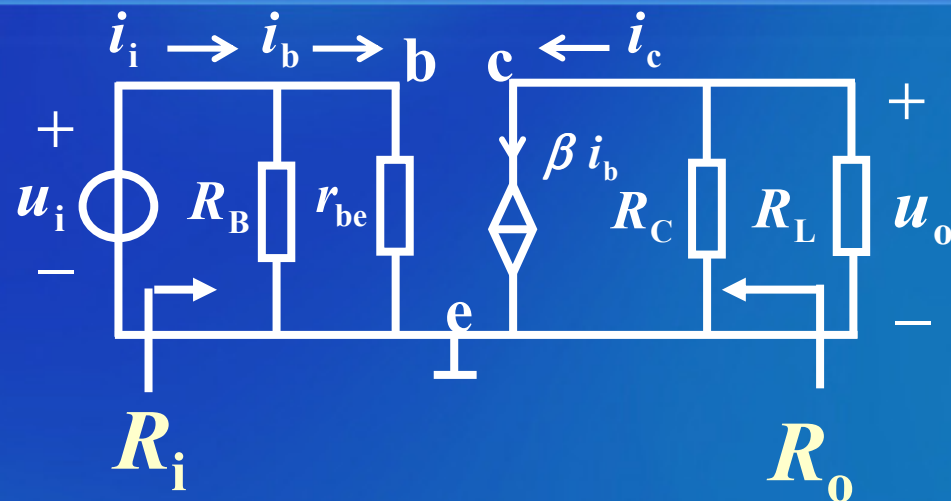
$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{U_T}{|I_{EQ}|}$$

$$= 300 + (1 + 60) \times \frac{26}{1.95}$$

$$\approx 1.1\text{k}\Omega$$

由微变等效电路得

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -\frac{\beta(R_L // R_C)}{r_{be}} = -\frac{60 \times (2 // 2)}{1.1} = -54.5$$



$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = R_B // r_{be} \approx r_{be} = 1.1 \text{ k}\Omega$$

$$R_o = \frac{U}{I} \bigg|_{\substack{U_i=0 \\ R_L=\infty}} = R_C = 2 \text{ k}\Omega$$

因为 $2 |I_{CQ}| R_L' = 2 \times 1.95 \times (2 // 2) = 3.9 \text{ V}$

故 $2U_{CEQ} = 2 \times 8.1 = 16.2 \text{ V}$

$$U_{opp} = \min[2U_{CEQ}, 2 |I_{CQ}| R_L'] = 3.9 \text{ V}$$

思考题

1. 晶体管用微变等效电路来代替，条件是什么？
2. 电压放大倍数 A_u 是不是与 β 成正比？
3. 为什么说当 β 一定时通过增大 I_E 来提高电压放大倍数是有限制的？试从 I_C 和 r_{be} 两方面来说明。
4. 能否增大 R_C 来提高放大电路的电压放大倍数？当 R_C 过大时对放大电路的工作有何影响？设 I_B 不变。
5. r_{be} 、 R_i 、 R_o 是交流电阻，还是直流电阻？在 R_o 中包括不包括负载电阻 R_L ？
6. 如果输出波形失真，静态工作点不合适吗？

2.5 静态工作点的选择和稳定

2.5.1 选择静态工作点 Q 应该考虑的几个主要问题

1. 安全性

Q 应该在安全区，且应该在安全区中的放大区。

2. 动态范围

为了获得尽可能大的动态范围， Q 应该设置在交流负载线的中间。

3. 电压放大倍数 A_u

由于 $| \dot{A}_u | = \frac{\beta R'_L}{r_{be}}$

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{U_T}{|I_{EQ}|}$$

当 $d\beta/dI_C \approx 0$ 时

$|I_{CQ}|$ 增大 $\Rightarrow r_{be}$ 减小 $\Rightarrow |A_u|$ 提高

4. 输入电阻 R_i

由于 $R_i \approx r_{be}$

当 $|I_{CQ}|$ 增大 $\Rightarrow r_{be}$ 减小 $\Rightarrow R_i$ 减小

5. 功耗和噪声

减小电流 $|I_{CQ}|$ ，可以降低电路的功耗和噪声。

2.5.2 静态工作点的稳定

1. 引起 Q 点不稳定的原因

(1) 温度对 Q 点的影响

a. 温度升高, β 增大

b. 温度升高, I_{CBQ} 增大

c. 温度升高, $|U_{BE}|$ 减小

导致集电极电流 I_{CQ} 增大

(2) 老化

管子长期使用后，参数会发生变化，影响 Q 点。

(3) 其他方面

电路中电源电压波动、元件参数的变化等都会影响 Q 点。

小结：

a. Q 点是影响电路性能的主要因素

b. 影响 Q 点不稳定的主要因素是温度

2. 稳定静态工作点的途径

(1) 从元件入手。

a. 选择温度性能好的元件

b. 经过一定的工艺处理以稳定元件的参数，防止元件老化。

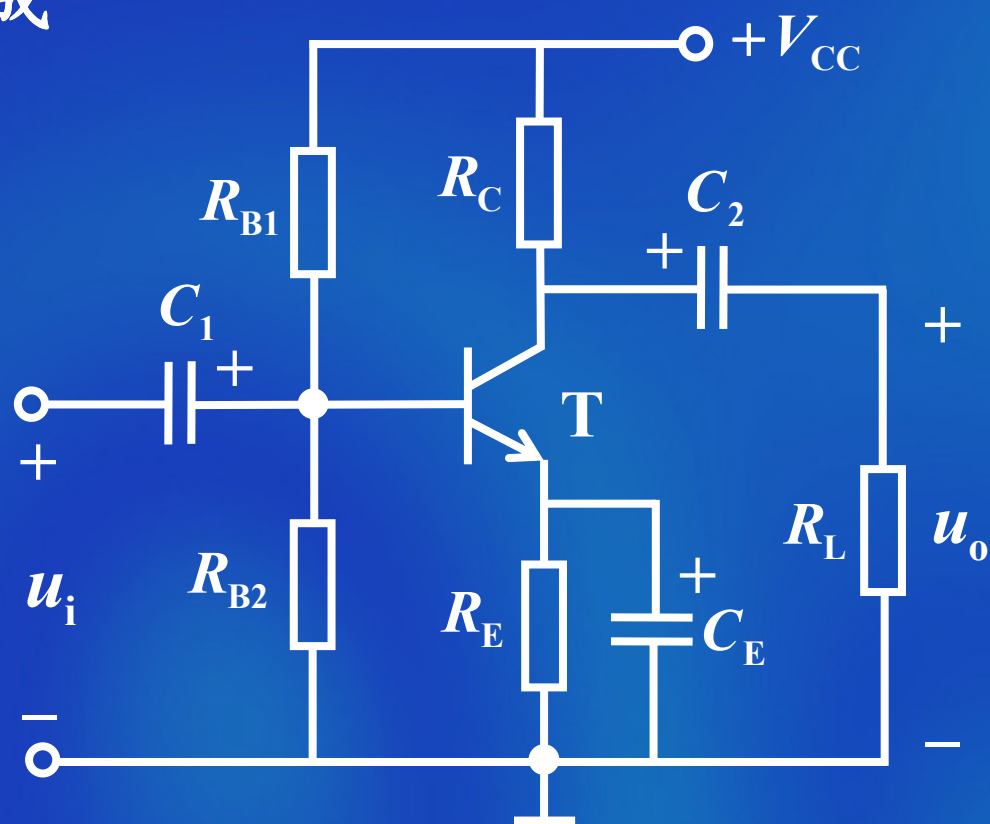
(2) 从环境入手

采用恒温措施。

(3) 从电路入手 { 采用温度补偿
引入负反馈

2.5.3 负反馈在静态工作点稳定中的应用

(1) 电路组成



(2) Q 点稳定的条件

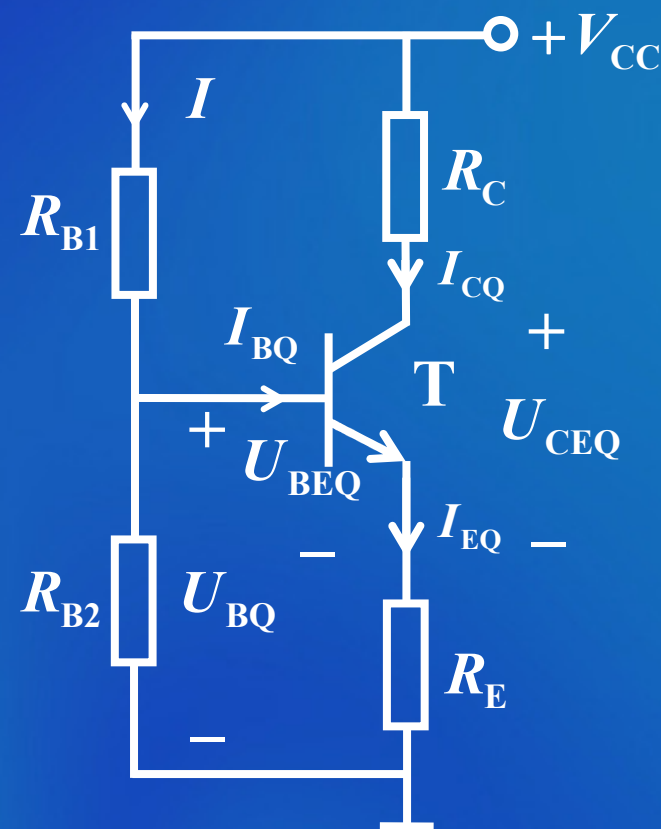
$I \gg I_{BQ}$ 硅管 5 ~ 10倍

$U_{BQ} \gg U_{BEQ}$ 锗管 10 ~ 20倍

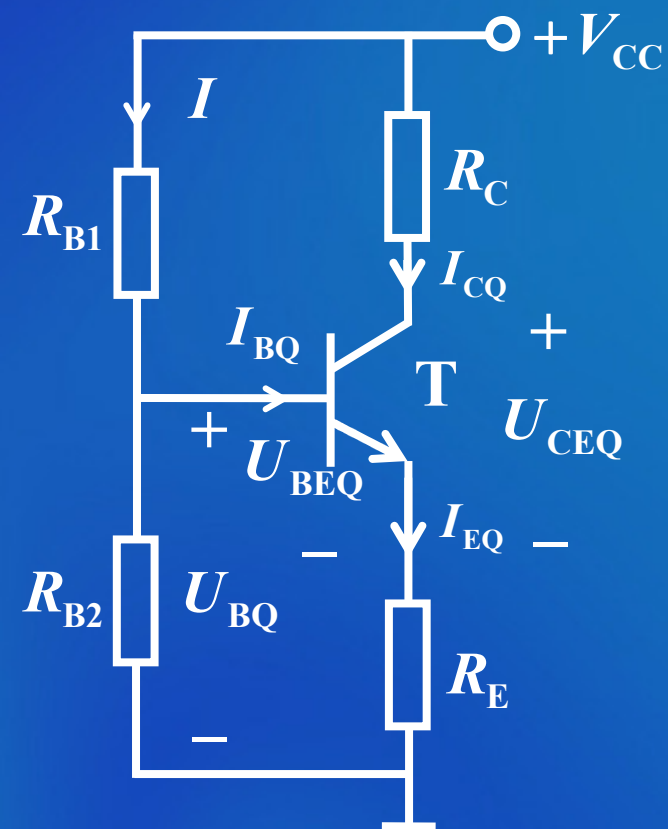
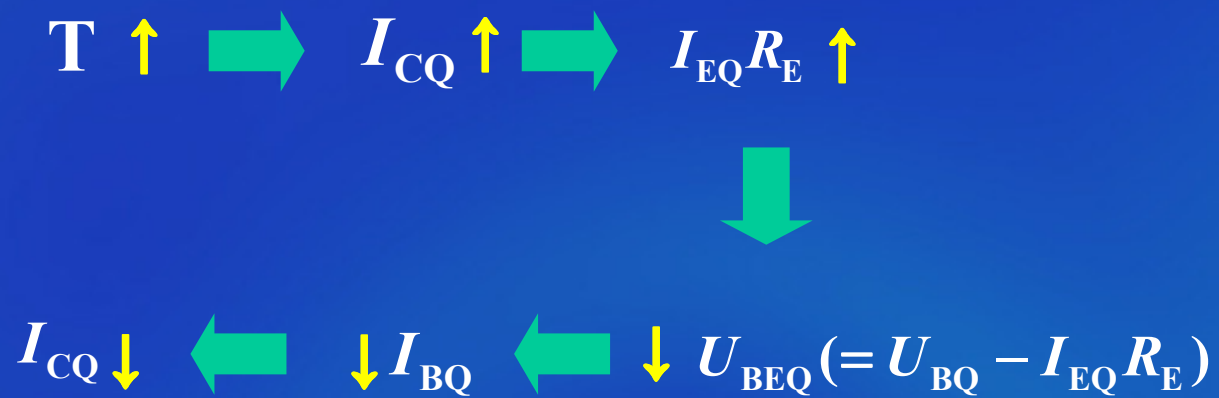
故基极电位

$$U_{BQ} \approx \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC}$$

直流通路



稳定Q点的机理

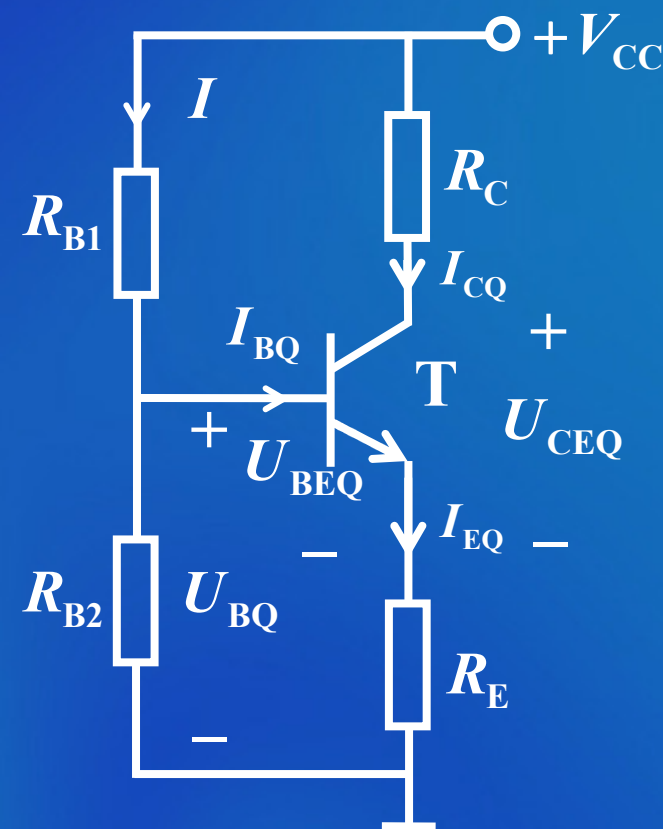


小结:

稳定 Q 的机理是:

电路将输出电流 I_C 在 R_E 上的压降返送到输入回路, 产生了抑制 I_C 改变的作用, 使 I_C 基本不变。

这种作用称为直流电流负反馈。



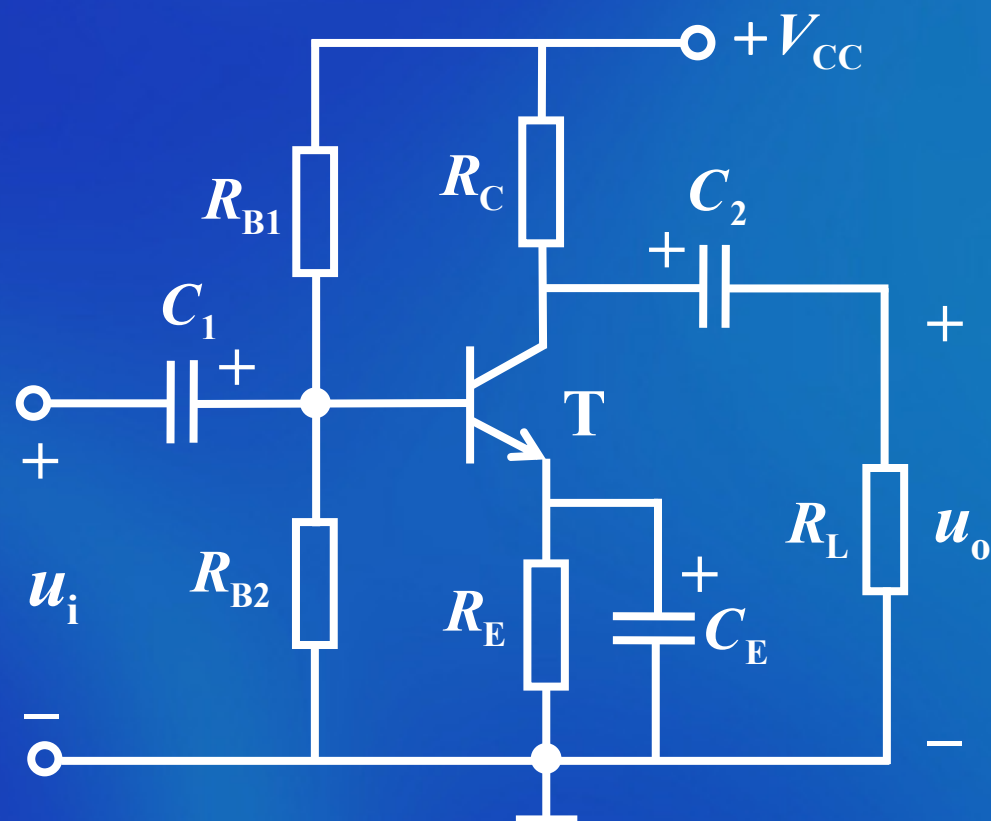
电容 C_E 的作用:

a. 对于交流信号满足

$$R_E \gg \frac{1}{\omega C_E}$$

b. 交流信号对地短路, 使 R_E 只对直流信号有反馈, 而对交流信号无反馈。

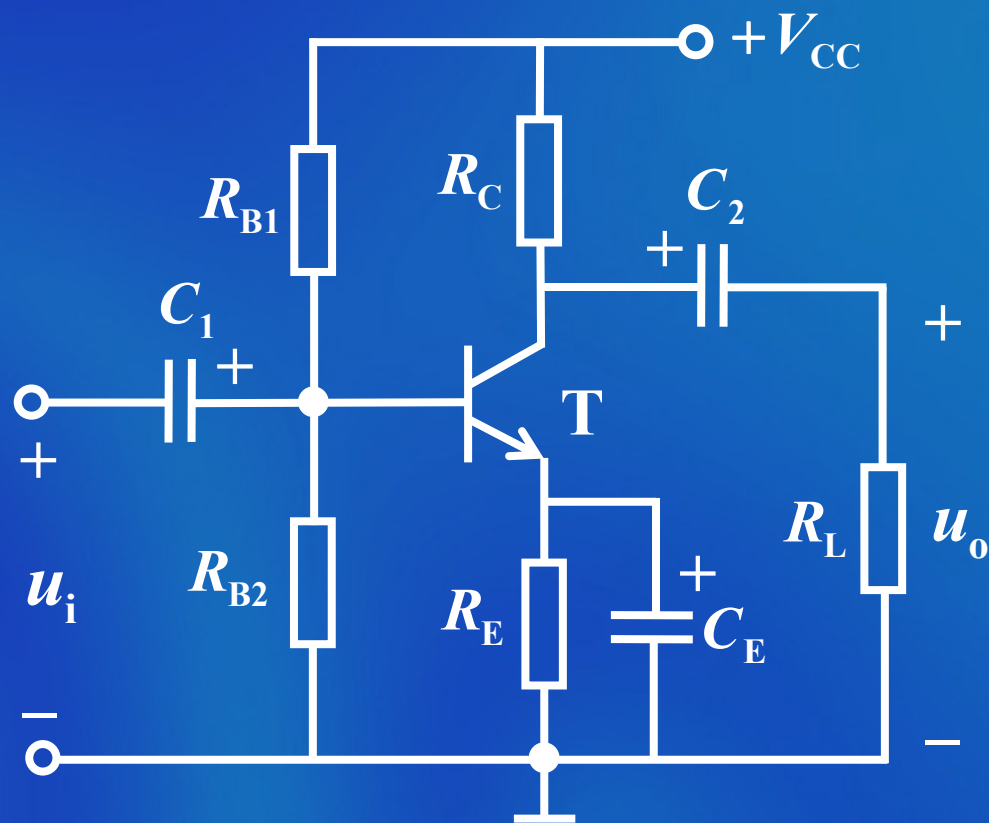
电容 C_E 称为旁路电容。



[例 1] 在图示电路中， $R_{B1}=39k\Omega$ ， $R_{B2}=10k\Omega$ ， $R_C=2.7k\Omega$ ， $R_E=1k\Omega$ ， $R_L=5.1k\Omega$ ， $C_1=C_2=10\mu F$ ， $C_e=47\mu F$ ， $V_{CC}=15V$ ，晶体管 T 的 $\beta=100$ 、 $r_{bb'}=300\Omega$ 、 $U_{BEQ}=0.7V$ 。试求：

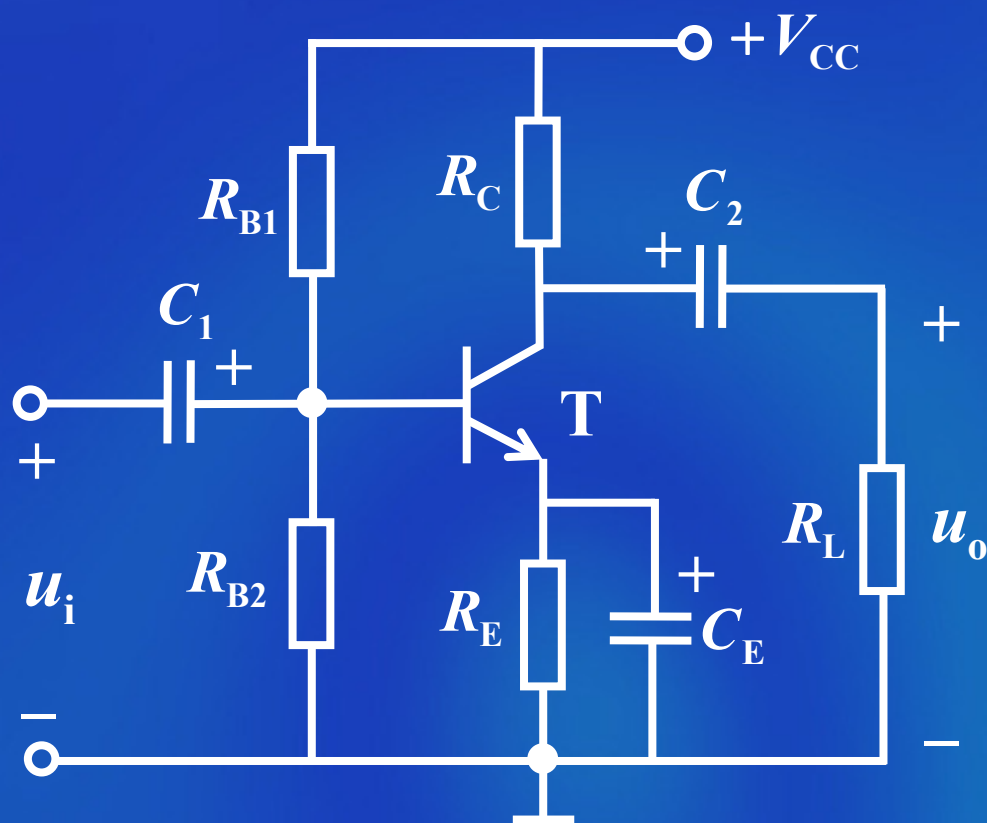
(1) 放大电路的静态工作点值

(2) A_u 、 R_i 、 R_o 的值。

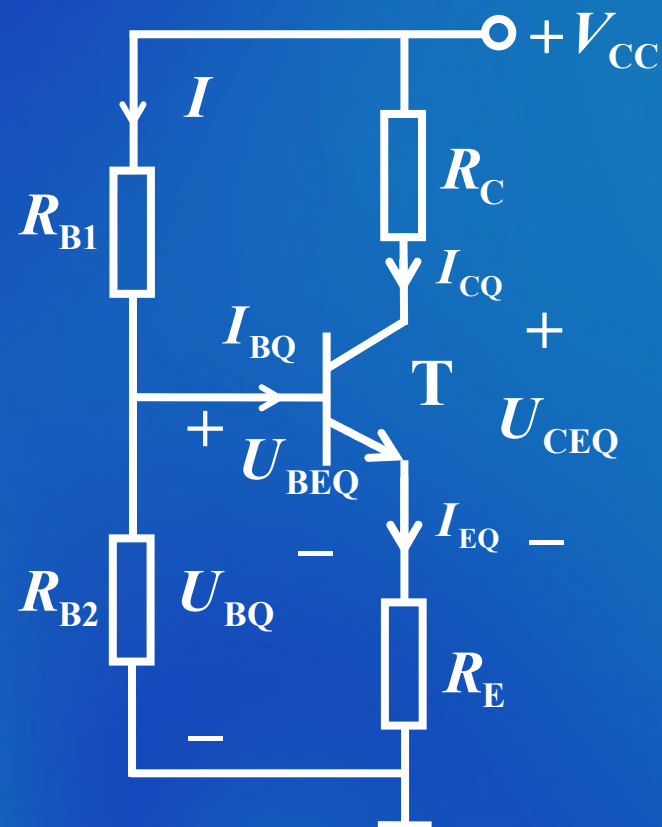


[解] (1) 求静态工作点有两种方法

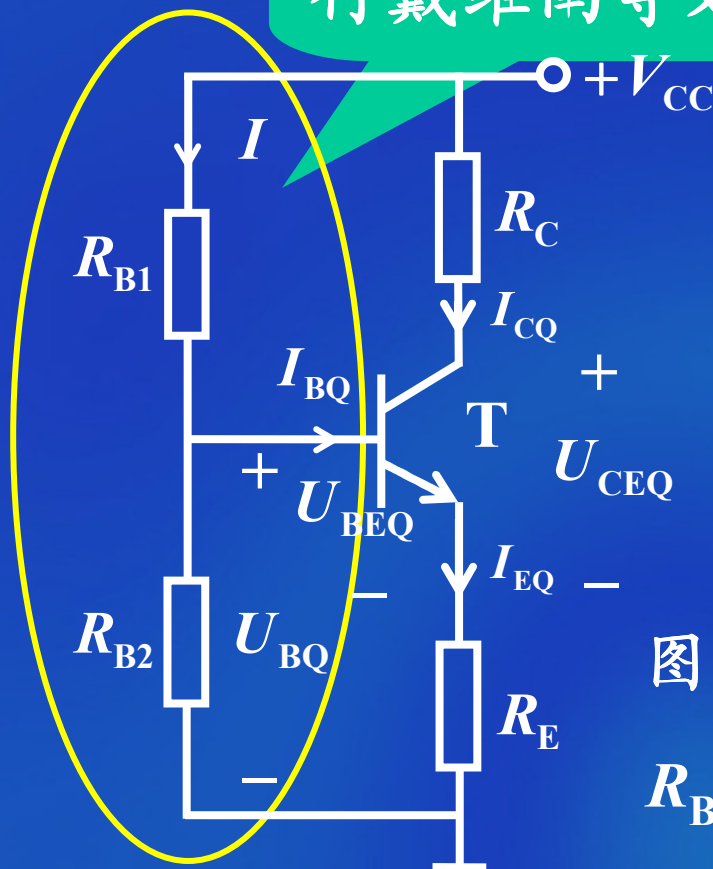
方法一：戴维南等效电路法



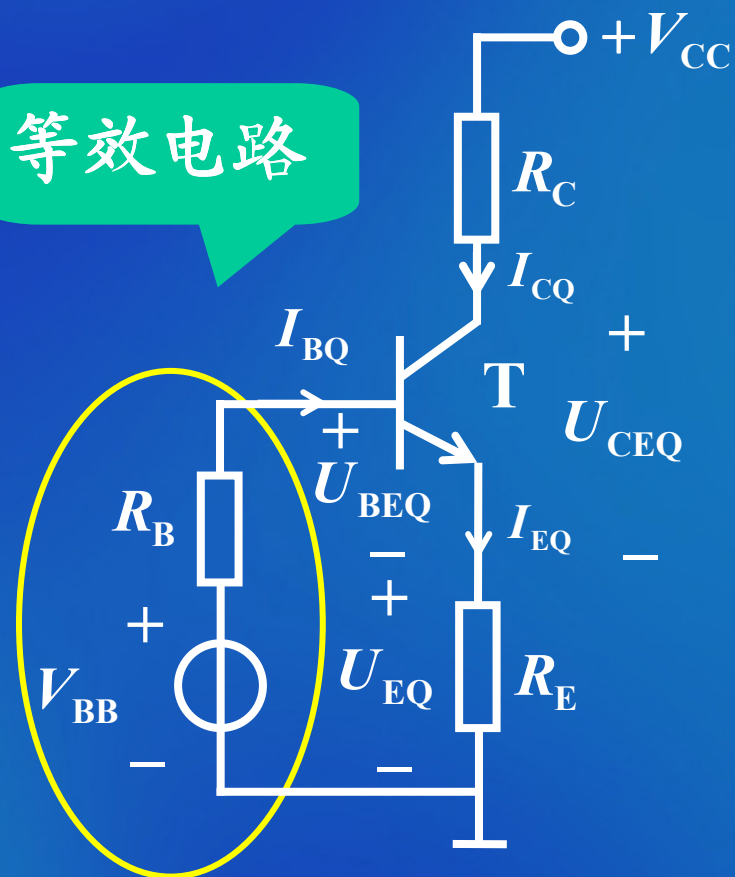
直流通路



对输入回路进行戴维南等效



等效电路



图中

$$R_B = R_{B1} // R_{B2} = 7.96 \text{ k}\Omega$$

$$V_{BB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} = 3.06 \text{ V}$$

写出输入回路方程

$$V_{BB} = I_{BQ} R_B + U_{BEQ} + I_{EQ} R_E$$

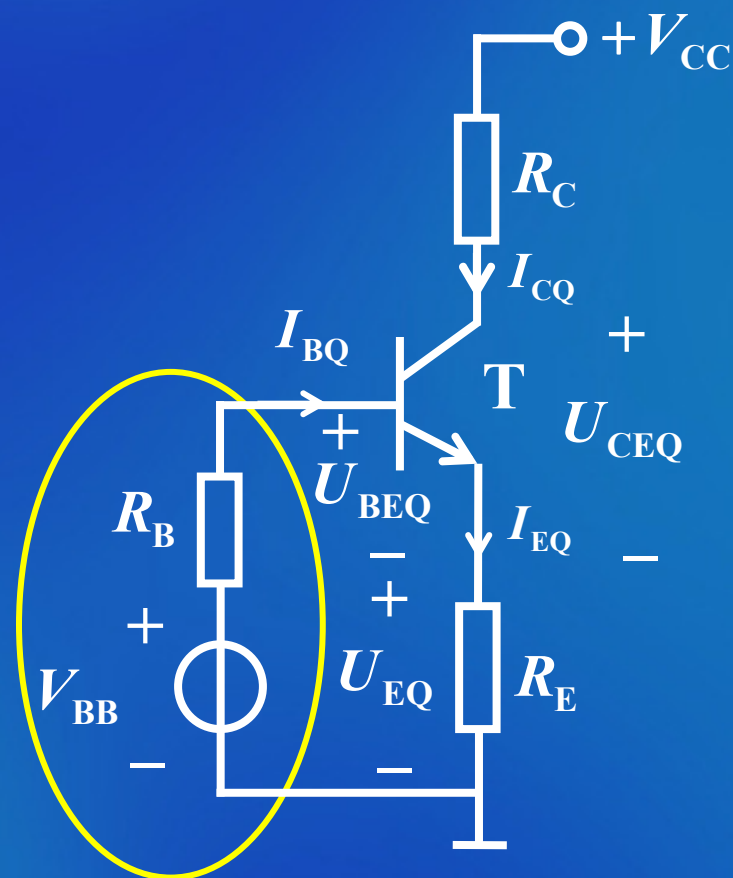
式中

$$I_{EQ} = (1 + \bar{\beta}) I_{BQ}$$

故

$$V_{BB} = I_{BQ} R_B + U_{BEQ} + (1 + \bar{\beta}) I_{BQ} R_E$$

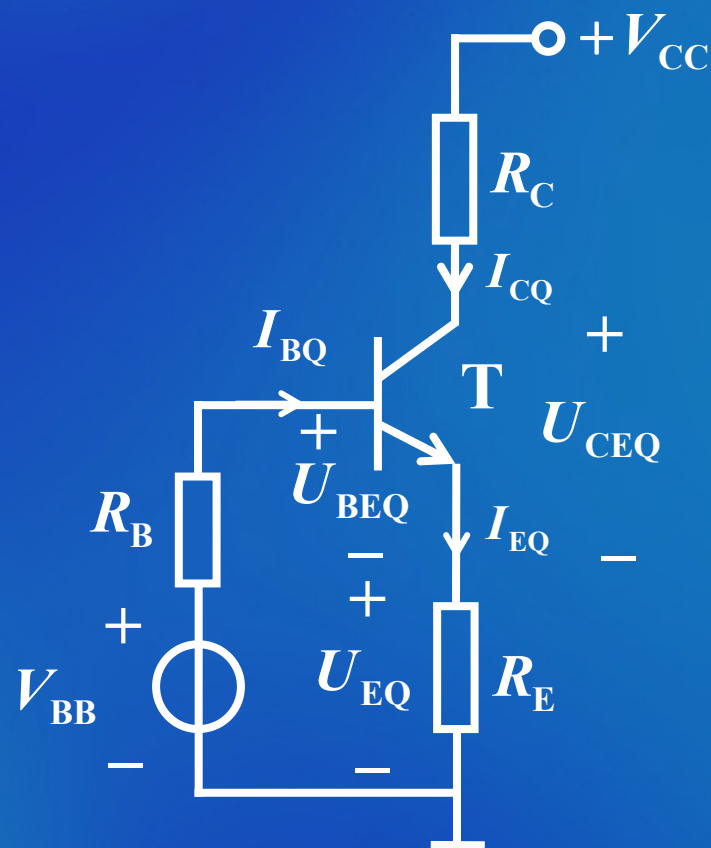
$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_B + (1 + \bar{\beta}) R_E}$$



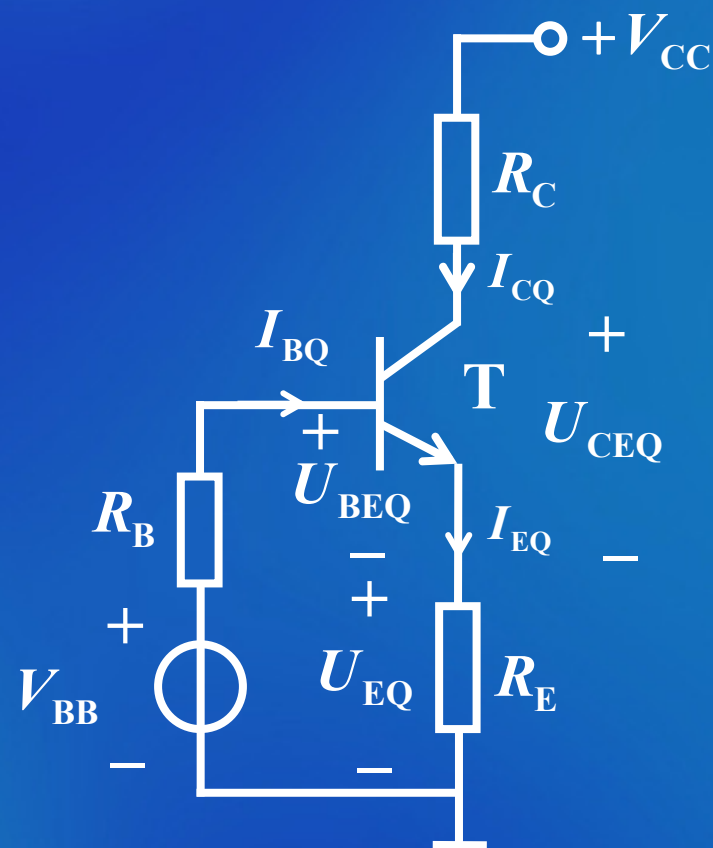
将有关数据代入上式，得

$$\begin{aligned} I_{BQ} &= \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_B + (1 + \bar{\beta}) R_E} \\ &= \frac{3.06 - 0.7}{7.96 + 101 \times 1} \\ &= 0.0217 \text{ mA} \end{aligned}$$

$$I_{CQ} = \bar{\beta} I_{BQ} = 100 \times 0.0217 = 2.17 \text{ mA}$$



$$\begin{aligned}
 U_{CEQ} &= V_{CC} - I_{CQ}R_C - I_{EQ}R_E \\
 &\approx V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) \\
 &= 15 - 2.17 \times (2.7 + 1) \\
 &= 6.97 \text{ V}
 \end{aligned}$$



方法二 估算法

由 $I \approx I_{BQ}$ 得

三步法!

(1)

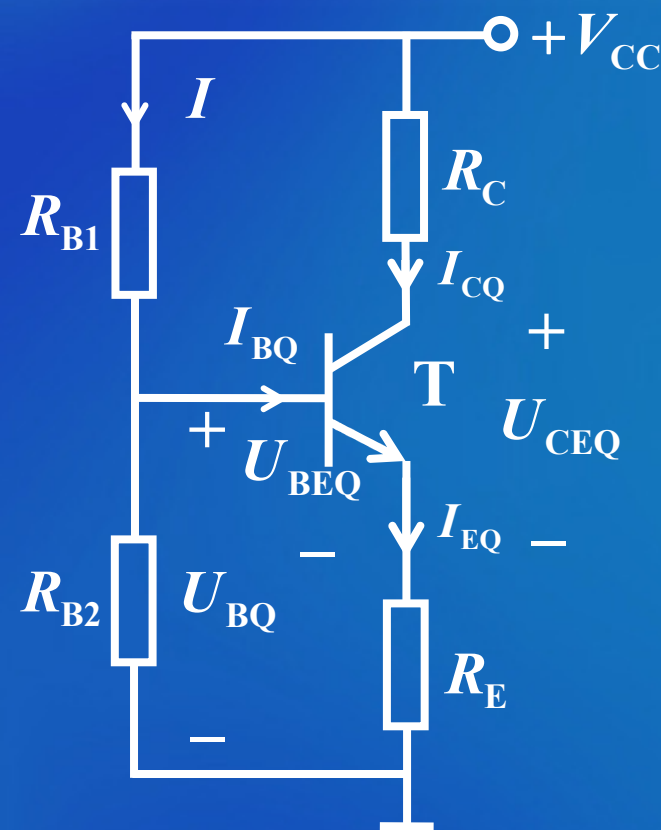
$$U_{BQ} \approx \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} = 3.06V$$

(2)

$$I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_E} = \frac{3.06 - 0.7}{1} = 2.36 \text{ mA}$$

(3)

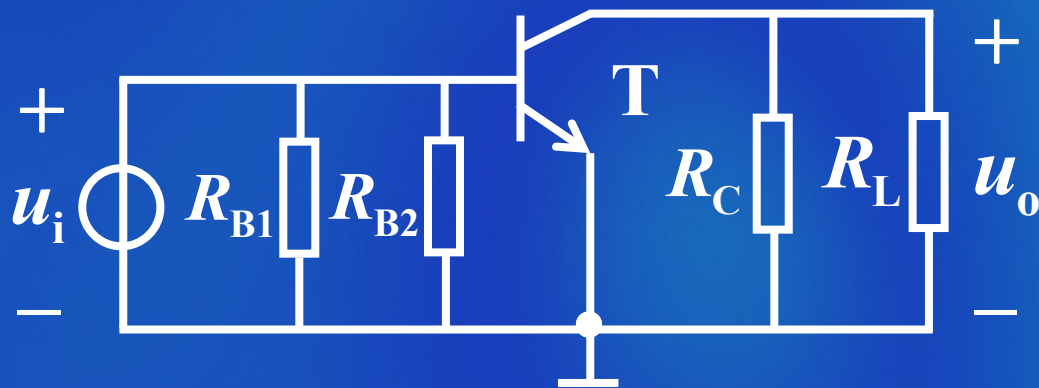
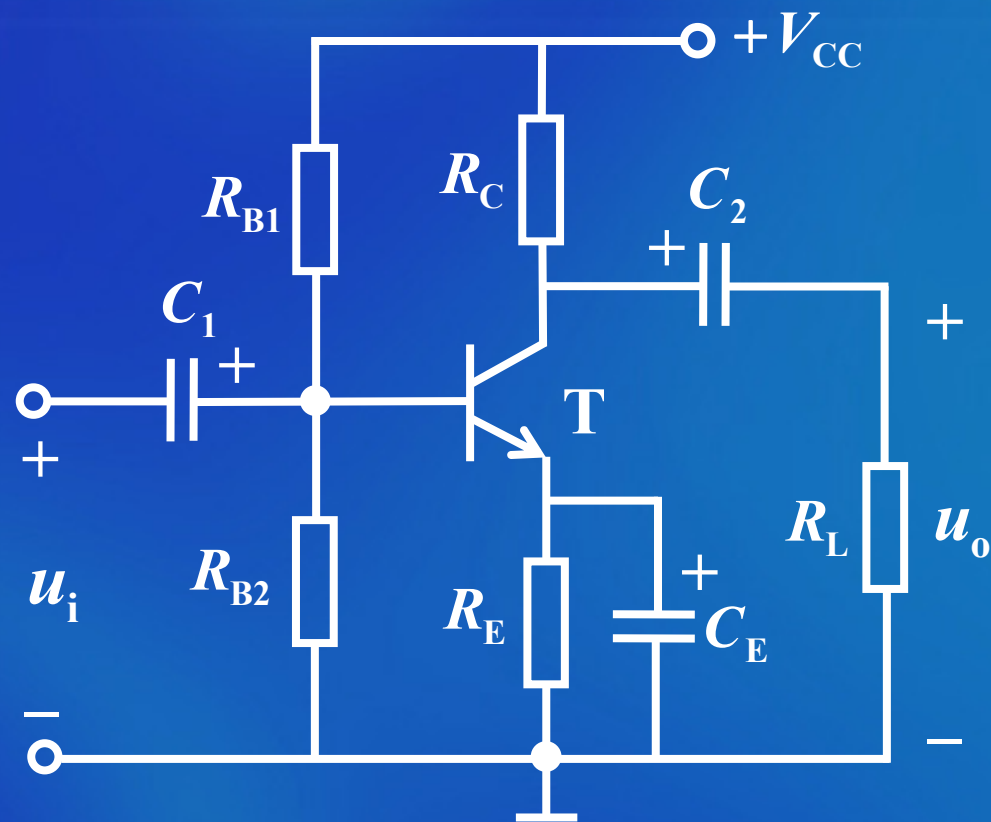
$$U_{CEQ} \approx V_{CC} - I_{EQ} (R_C + R_E) = 15 - 2.36 \times (2.7 + 1) = 6.27 \text{ V}$$



(2) 动态分析

首先画出放大电路的交流通路

交流通路

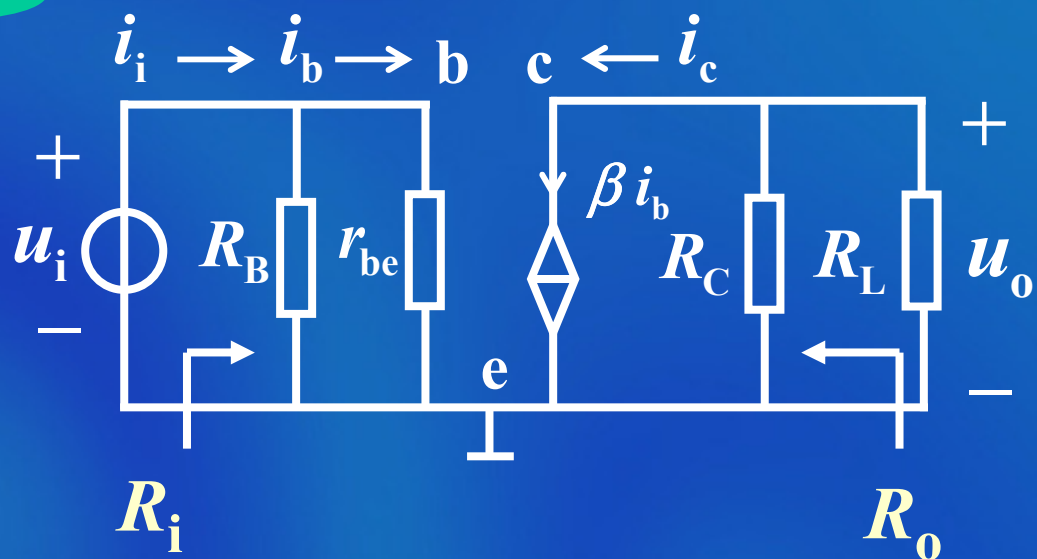
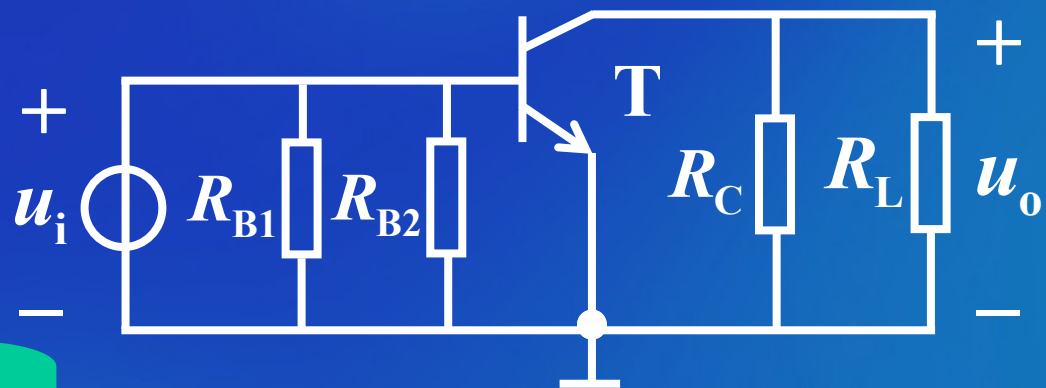


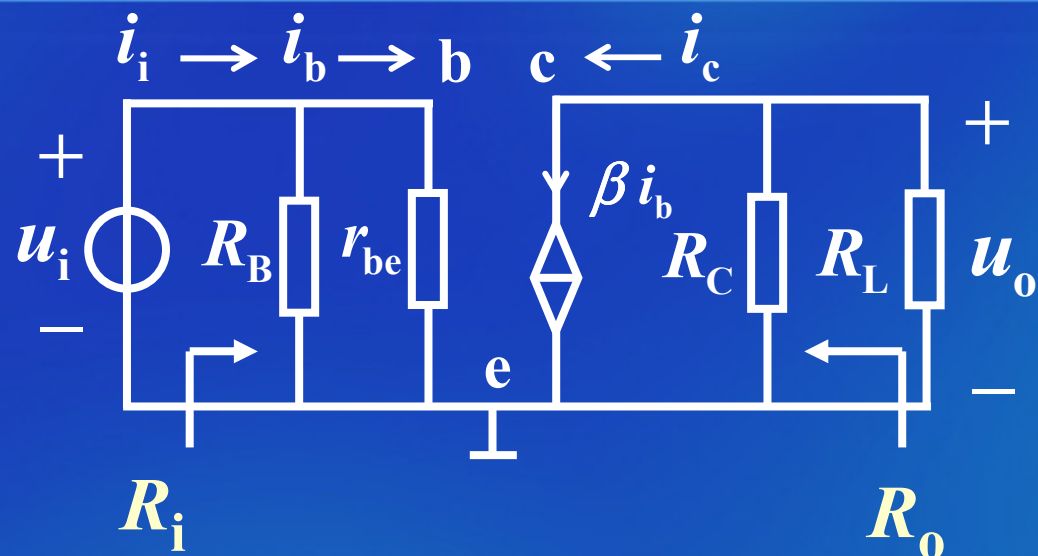
再画出放大电路
的微变等效电路

微变等效电路

图中

$$R_B = R_{B1} // R_{B2}$$





$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26}{I_{EQ}} = 300 + (1 + 100) \frac{26}{2.36} \approx 1.4 \text{ k}\Omega$$

$$\dot{A}_u = -\beta \frac{R_L // R_C}{r_{be}} = -100 \frac{2.7 // 5.1}{1.4} \approx -126$$

$$R_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be} = 39 // 10 // 1.4 \approx 1.2 \text{ k}\Omega$$

$$R_o = R_C = 2.7 \text{ k}\Omega$$

[例2] 图示电路的参数均与例1相同。试求：

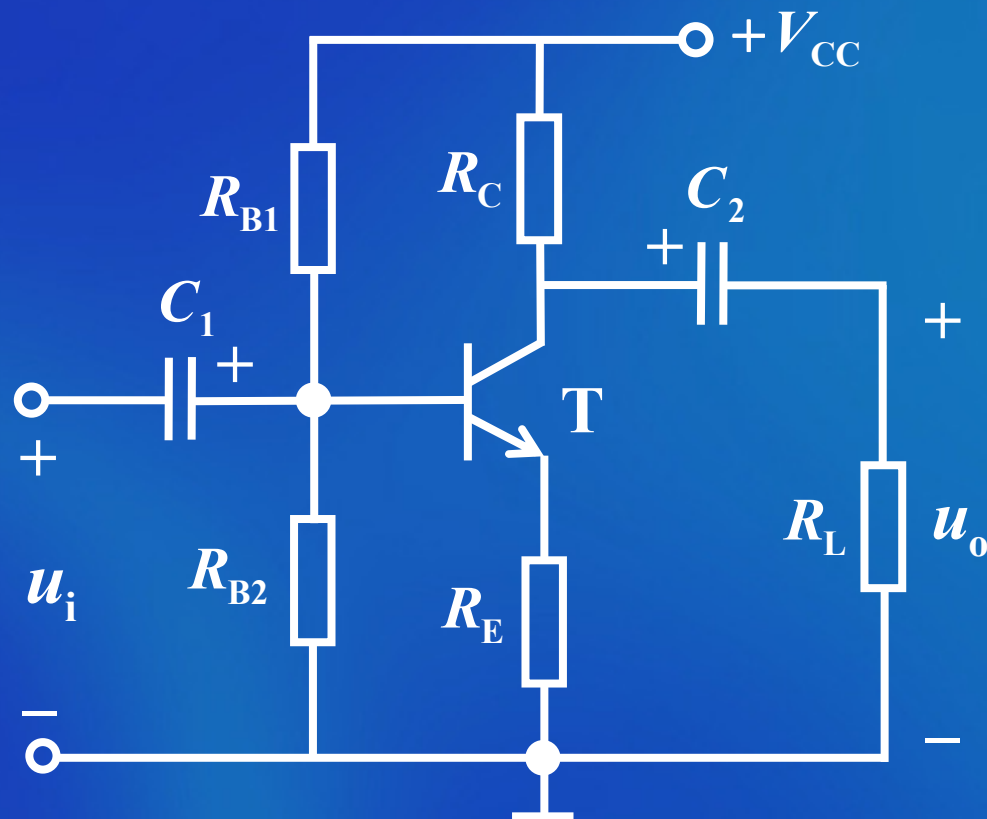
(1) 放大电路的 Q 。

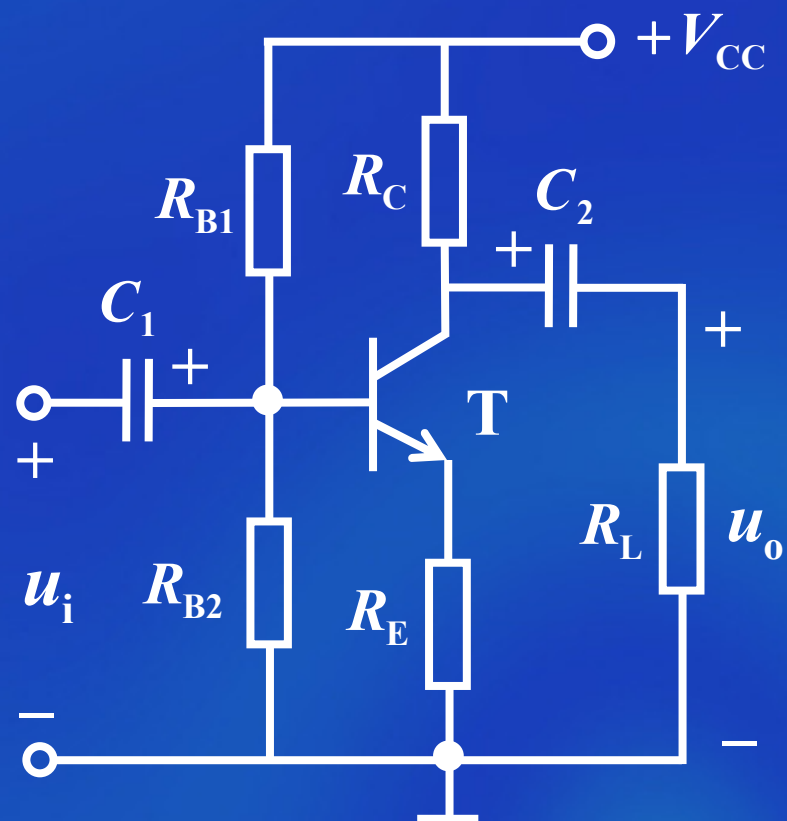
(2) 放大电路的 A_u 、 R_i 、 R_o 。

[解]

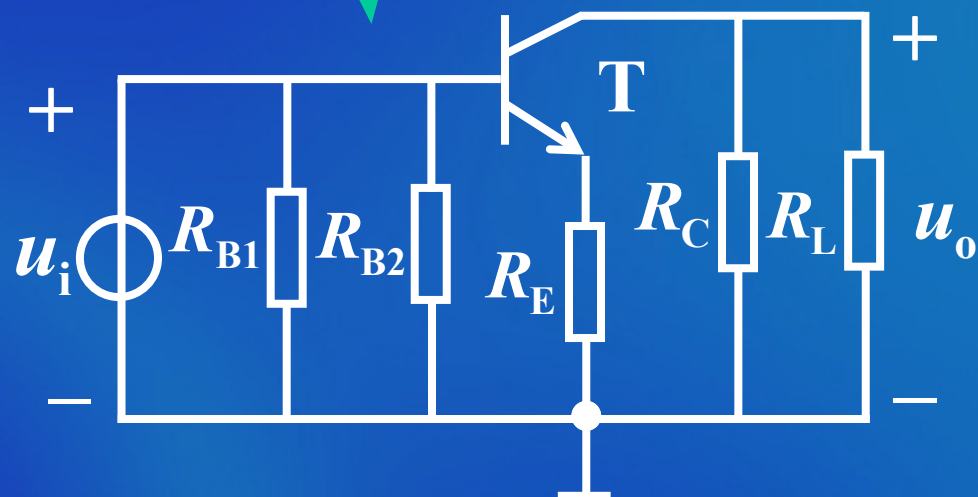
(1) 由于图示电路的直流通路与例1完全相同，故两电路的静态工作点一样。

(2) 首先画出放大电路的交流通路



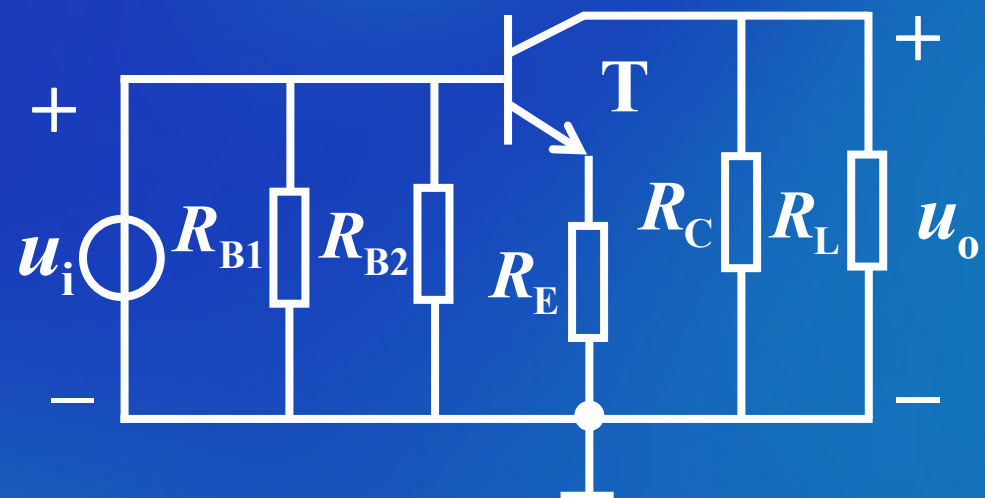


交流通路

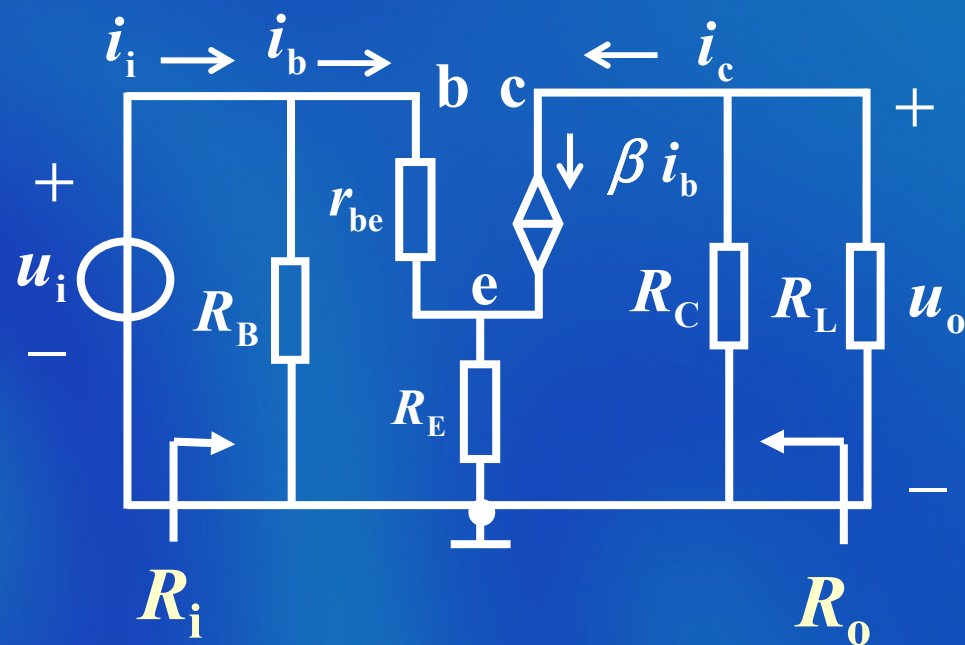


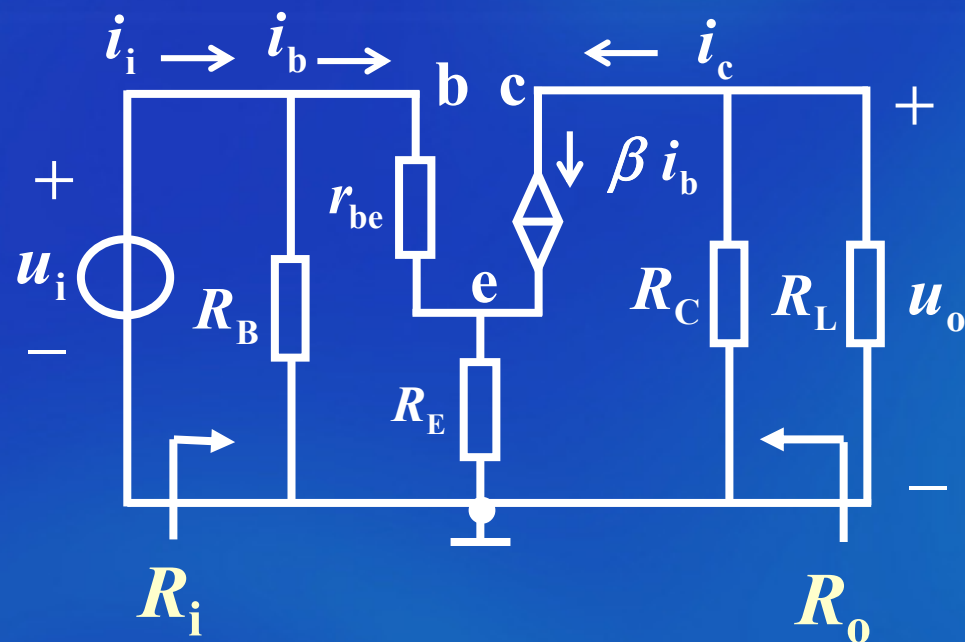
图中 $R_B = R_{B1} // R_{B2} = 39 // 10 \approx 7.96 \text{ k}\Omega$

其次画出微
变等效电路



微变等效电路



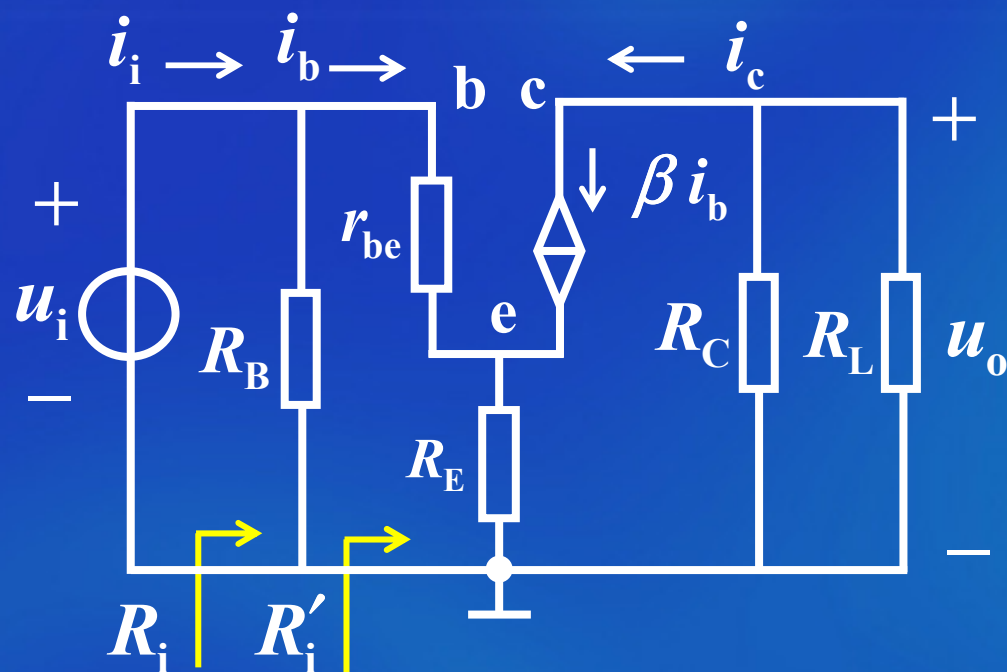


由图可知

$$\begin{aligned}\dot{U}_i &= \dot{I}_b r_{be} + \dot{I}_e R_E \\ &= \dot{I}_b r_{be} + (1 + \beta) \dot{I}_b R_E\end{aligned}$$

$$\dot{U}_o = -\dot{I}_c (R_L // R_C) = -\dot{I}_c R'_L$$

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-\beta R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R_E} = -1.72$$



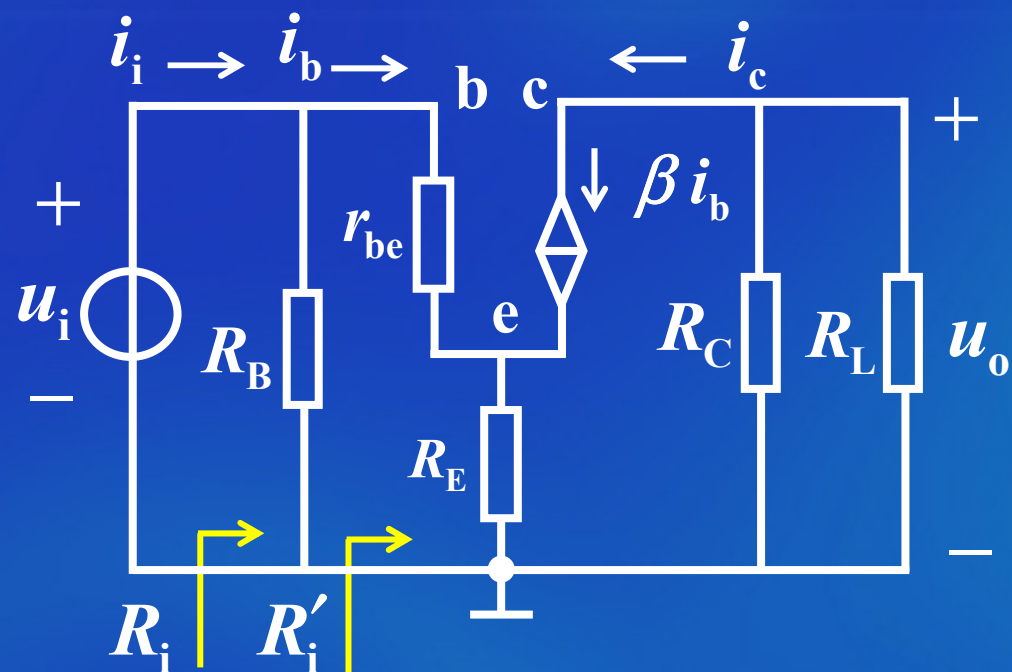
输入电阻

其中

$$R_i = U_i / I_i = R_B // R_i'$$

$$R_i' = \frac{U_i}{I_b} = \frac{I_b r_{be} + (1 + \beta) I_b R_E}{I_b}$$

$$= r_{be} + (1 + \beta) R_E = 102.4 \text{k}\Omega$$

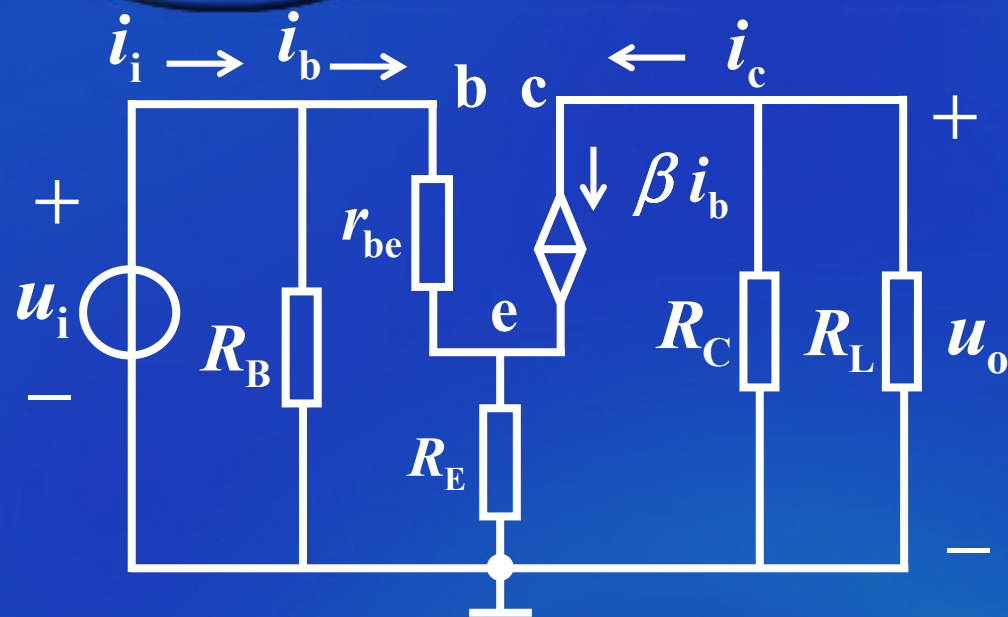


故

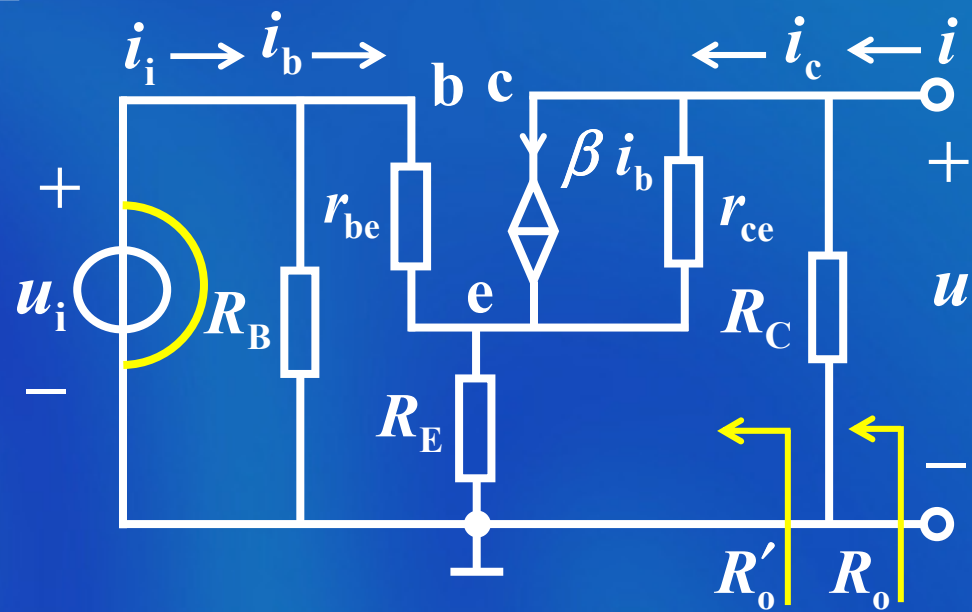
$$R_i = U_i / I_i = R_B // R_i' = 7.96 // 102.4 = 7.39 \text{ k}\Omega$$

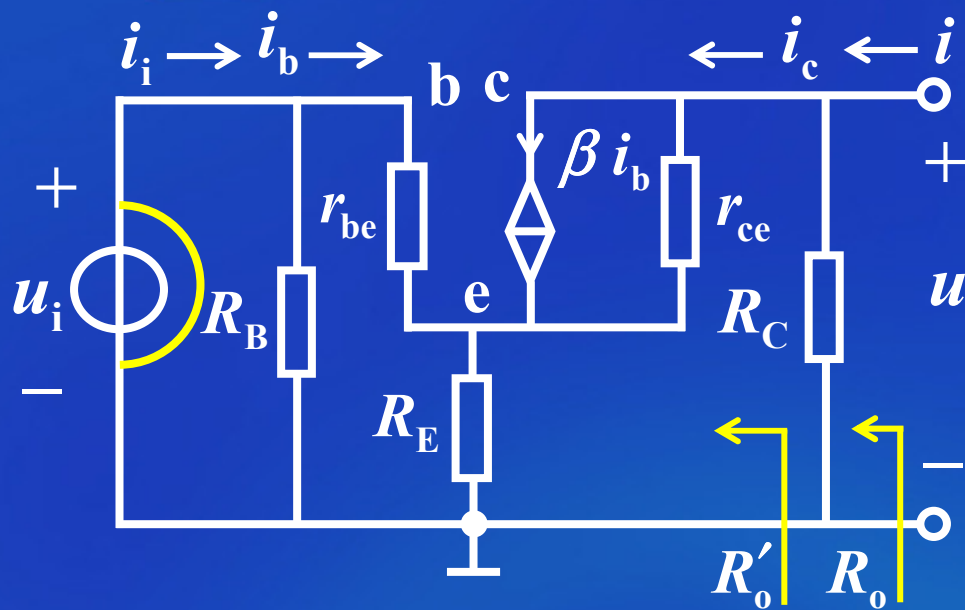
$$R_o = \frac{U}{I} \bigg|_{\substack{U_i=0 \\ R_L=\infty}}$$

画出求 R_o 的等效电路

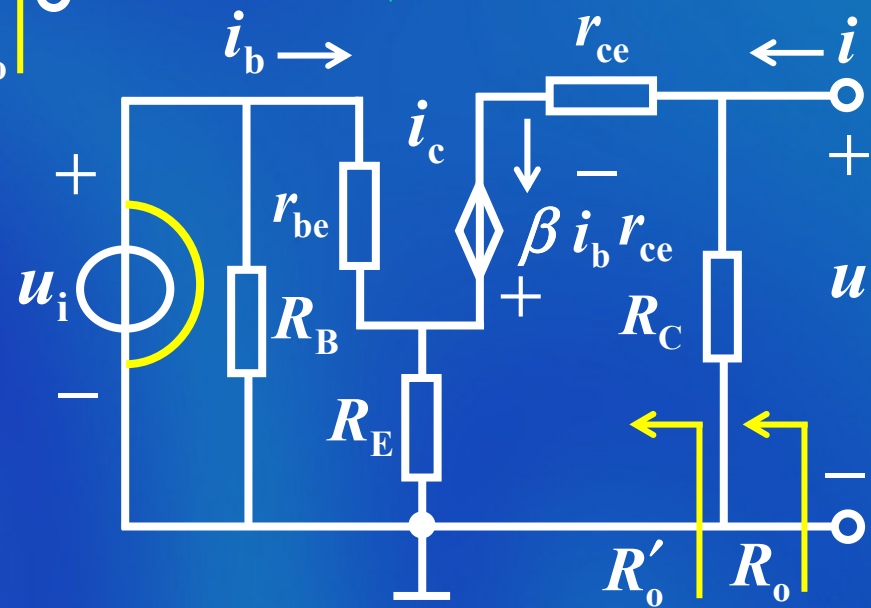


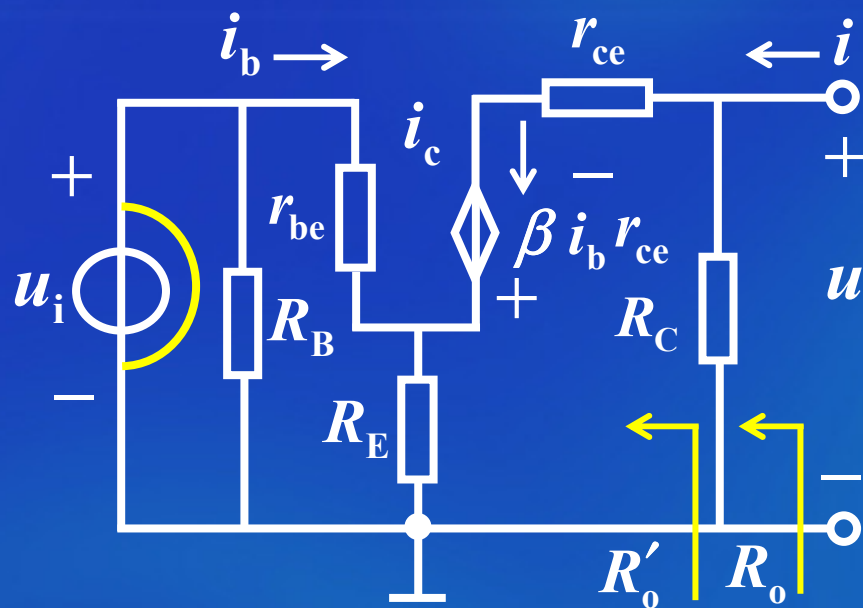
求 R_o 的等效电路





化电流源为电压源





由图得

$$R_o = R'_o // R_C \approx R_C = 2.7\text{k}\Omega$$

共射极放大电路的特点:

- (a) 有电压放大能力。
- (b) u_o 与 u_i 反相。
- (c) 具有电流放大能力和功率放大能力。
- (d) 具有低的输入电阻和高的输出电阻。

思考题

1. 静态工作点不稳定对放大电路有何影响？
2. 对于分压式偏置电路，为什么只要满足 $I_2 \gg I_B$ 和 $U_{BQ} \gg U_{BE}$ 两个条件，静态工作点才能基本稳定？
3. 对于分压式偏置电路，当更换晶体管时，对放大电路的静态值有无影响？试说明之。
4. 在实际中调整分压式偏置电路的静态工作点时，应调节哪个元件的参数比较方便？接上发射极电阻的旁路电容 C_E 后是否影响静态工作点？

2.6 共集电极和共基极放大电路

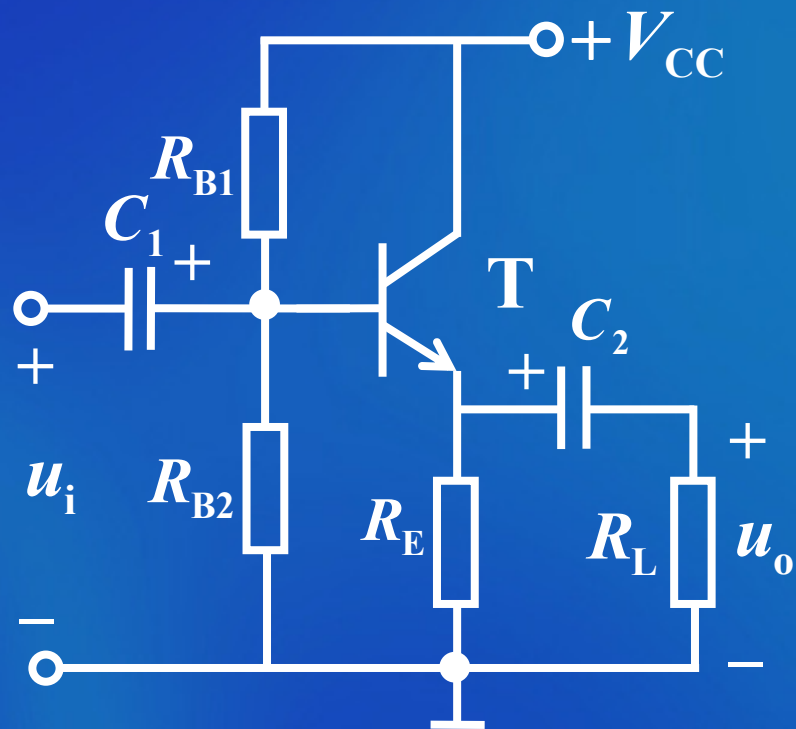
2.6.1 共集电极放大电路

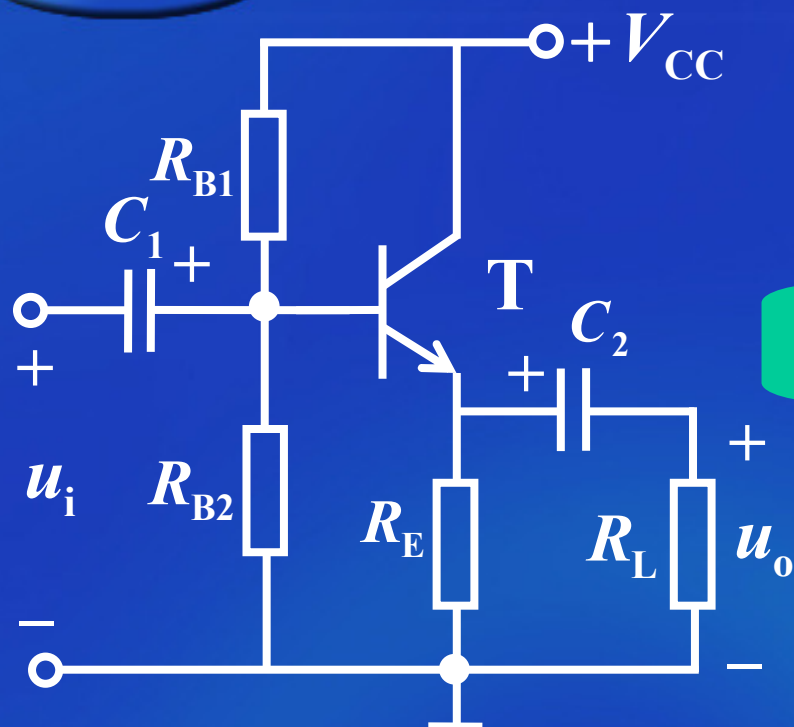
1. 电路组成

电路从发射极与“地”之间输出信号，所以又称为**射极输出器**。

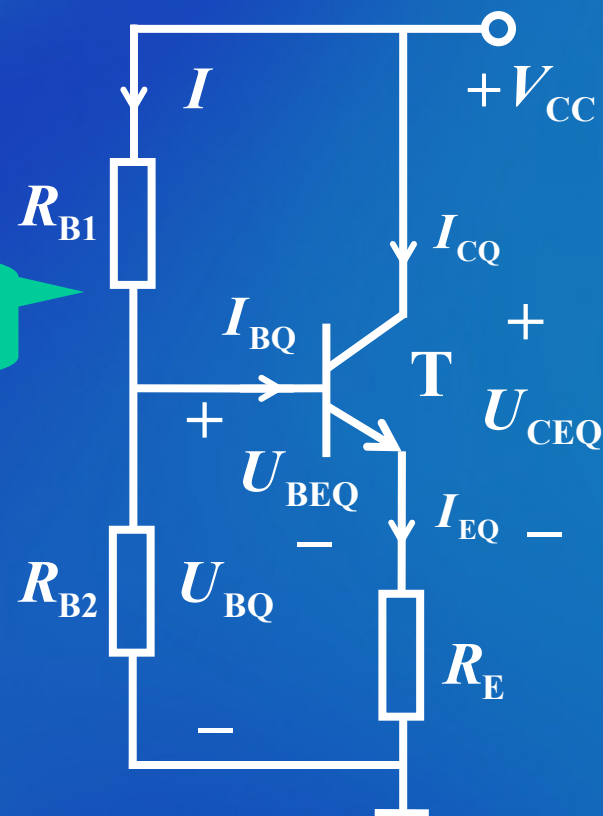
2. 静态分析

画出放大电路的直流通路。





直流通路

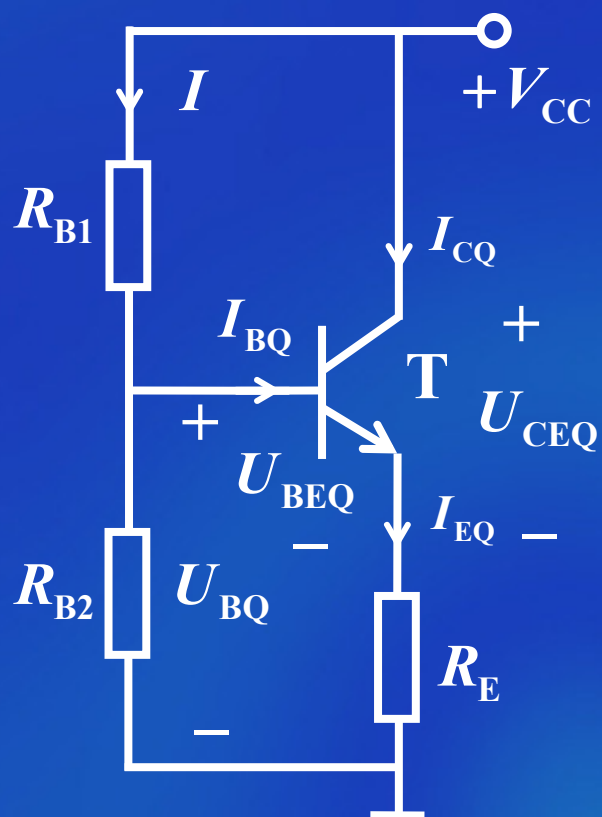


(1) 估算法 三步法!

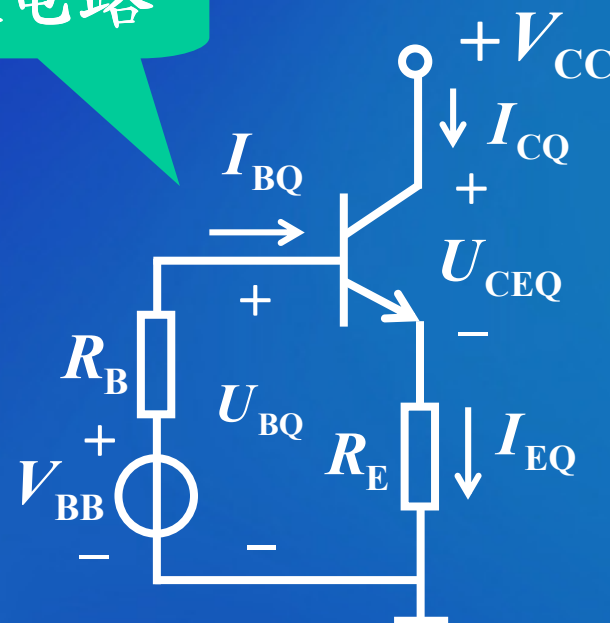
由图可得 (1) $U_{BQ} \approx \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC}$ (2) $I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_E}$

(3) $U_{CEQ} = V_{CC} - I_{EQ} R_E$

(2) 戴维南等效电路法



等效电路



等效电路中

$$V_{BB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC}$$

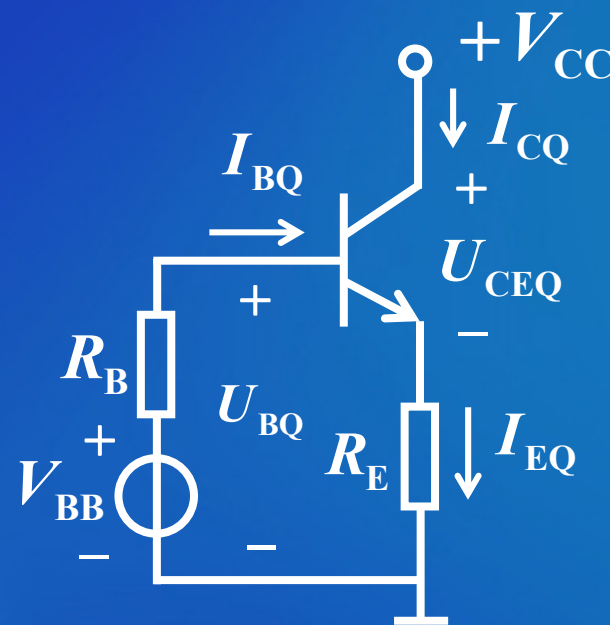
$$R_B = R_{B1} // R_{B2}$$

由图可得

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_B + (1 + \beta)R_E}$$

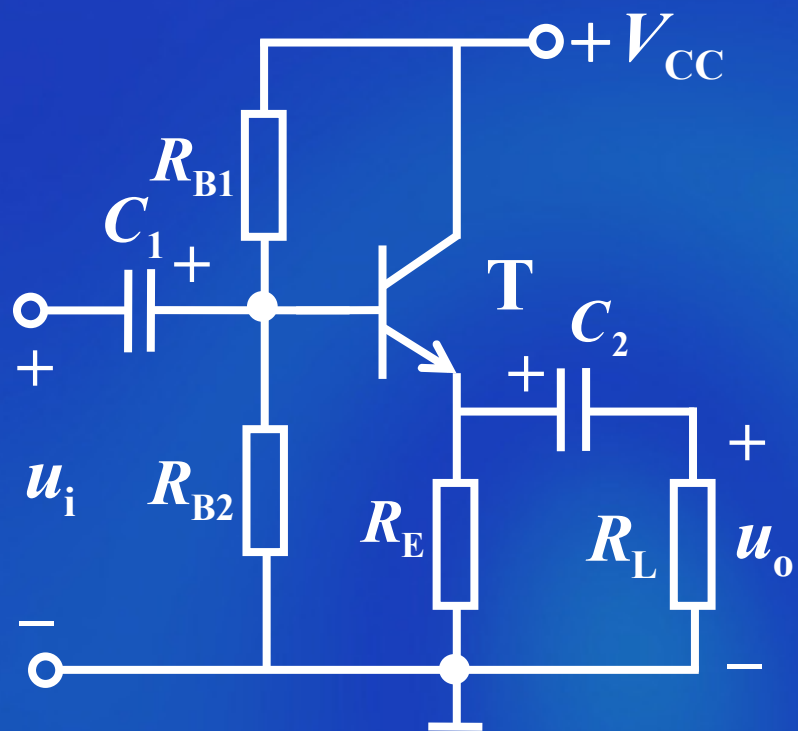
$$I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{EQ}R_E \approx V_{CC} - I_{CQ}R_E$$

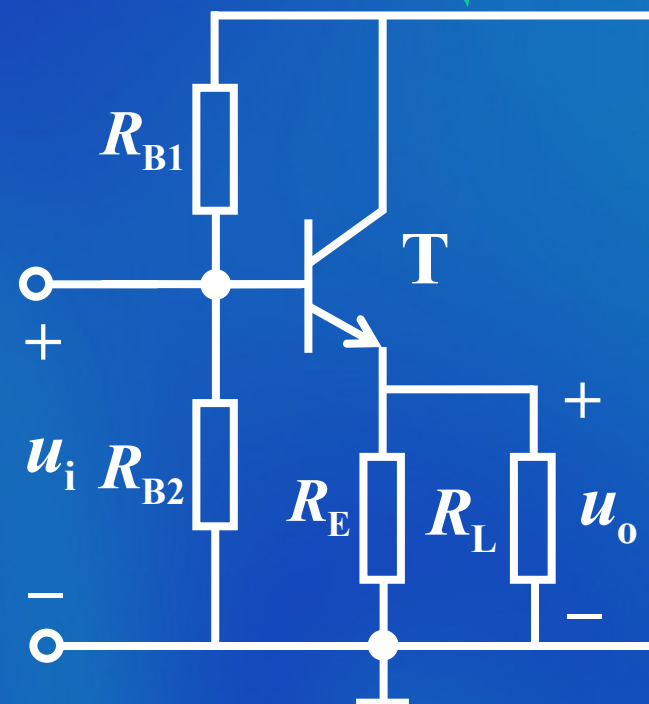


2. 动态分析

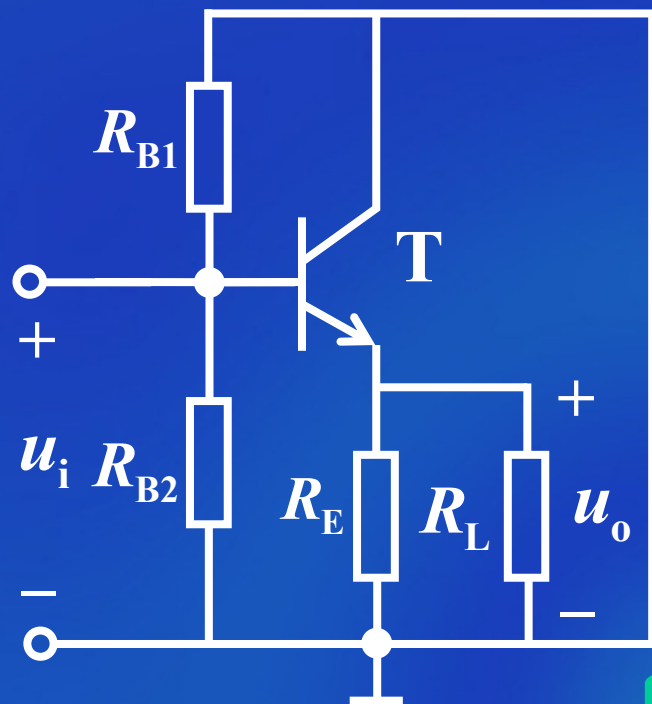
(1) 画交流通路



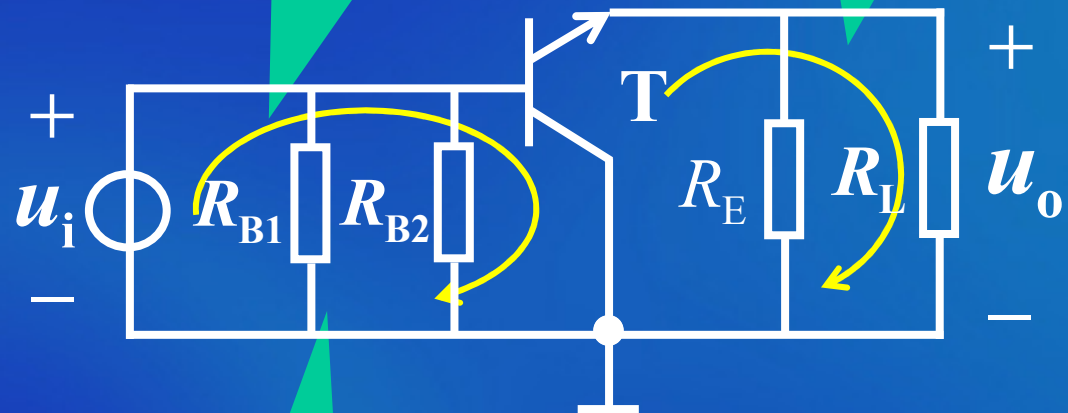
交流通路



交流通路



输入回路

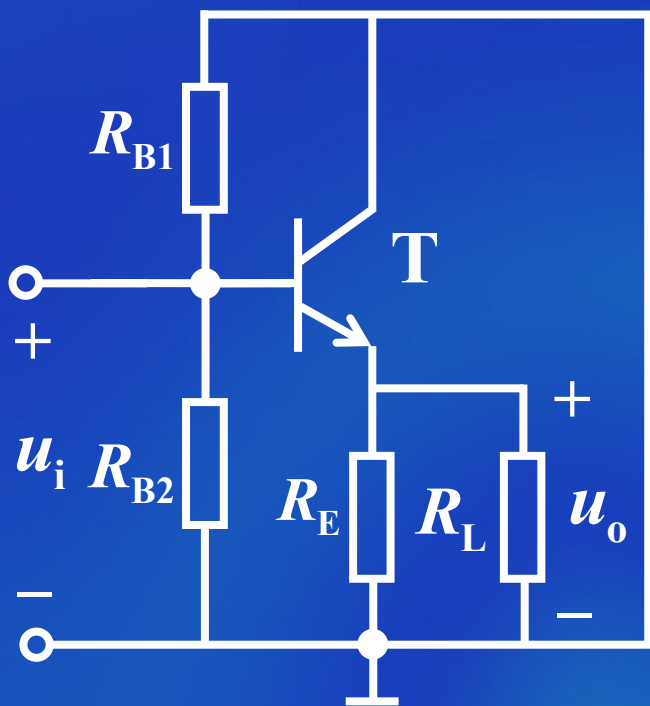


输出回路

另一种画法

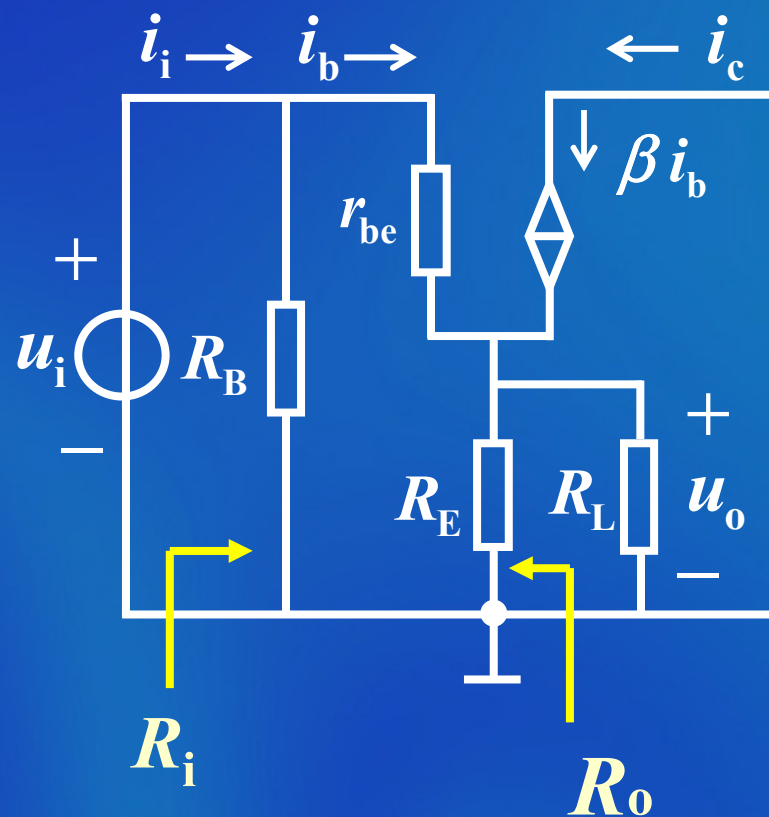
共集电极电路

(2) 画微变等效电路



图中 $R_B = R_{B1} // R_{B2}$

微变等效电路



(3) 动态性能分析

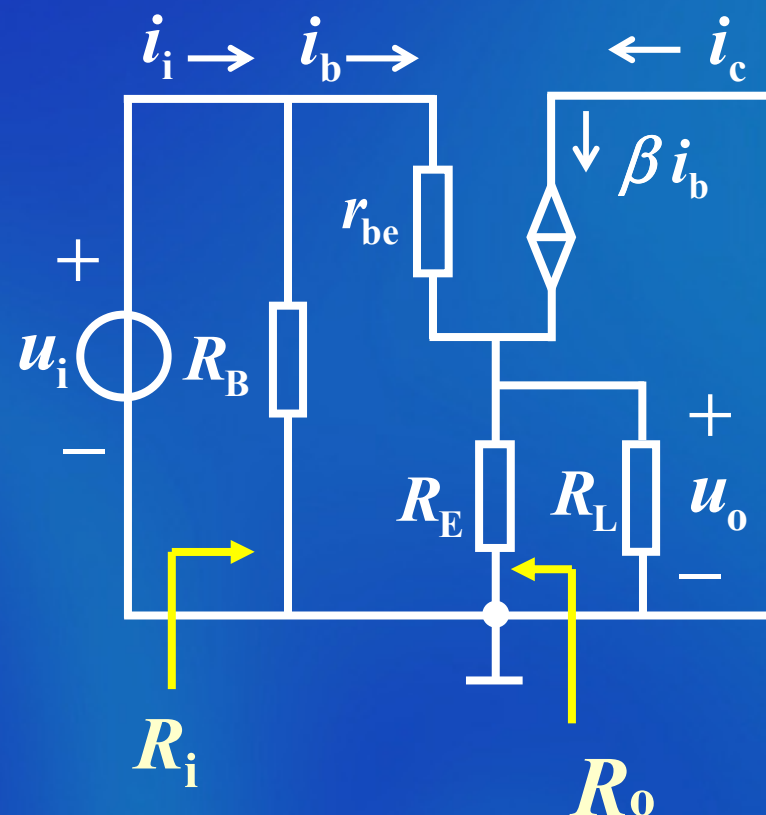
a. 电压放大倍数

由图可知

$$\begin{aligned}\dot{U}_o &= \dot{I}_e(R_E // R_L) \\ &= (1 + \beta)\dot{I}_b R'_L\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_i &= \dot{U}_o + \dot{I}_b r_{be} \\ &= \dot{I}_b r_{be} + (1 + \beta)\dot{I}_b R'_L\end{aligned}$$

其中 $R'_L = R_E // R_L$

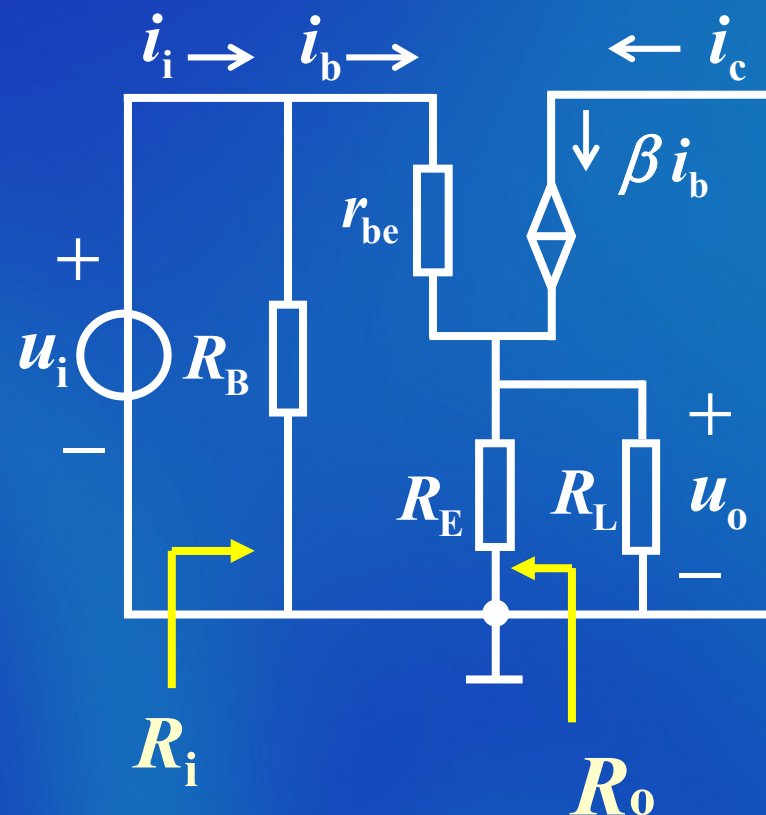


$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{(1 + \beta)R'_L}{r_{be} + (1 + \beta)R'_L}$$

由于 $(1 + \beta)R'_L \gg r_{be}$

故 $\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx 1$

无电压放大能力

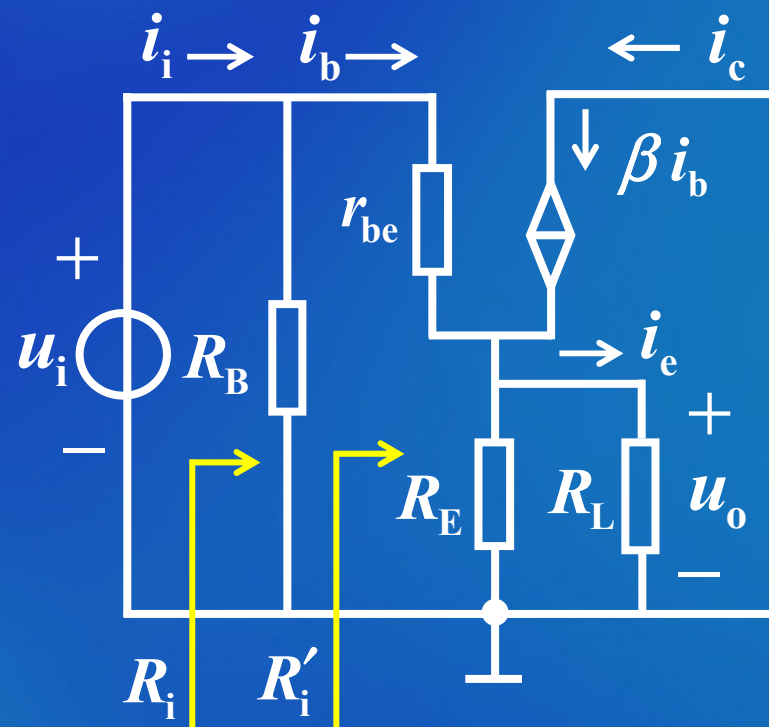


b. 电流放大倍数

$$\dot{A}_i = \frac{\dot{I}_o}{\dot{I}_i} = \frac{R_E}{R_E + R_L} \frac{R_B}{R'_i + R_B} (1 + \beta)$$

一般情况 $\begin{cases} R_E \text{ 和 } R_L \text{ 同一数量级} \\ R_B \text{ 和 } R'_i \text{ 同一数量级} \end{cases}$

故 $|\dot{A}_i| > 1$



即射极输出器有电流放大能力和功率放大能力

c. 输入电阻

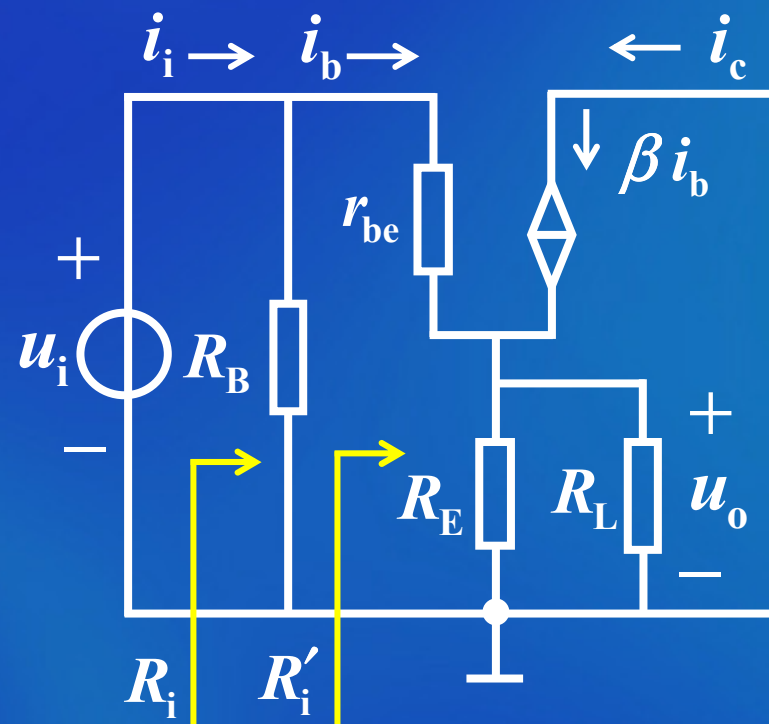
由于 $U_i = U_o + I_b r_{be}$

$$= I_b r_{be} + (1 + \beta) I_b R'_L$$

$$R'_i = \frac{U_i}{I_b}$$

$$= \frac{I_b r_{be} + (1 + \beta) I_b R'_L}{I_b}$$

$$= r_{be} + (1 + \beta) R'_L$$



故 $R_i = R_B // R'_i = R_{B1} // R_{B2} // [r_{be} + (1 + \beta) R'_L]$

R_i 通常很大

d. 输出电阻 R_o

图中

$$I + (1 + \beta) I_b = \frac{U}{R_E}$$

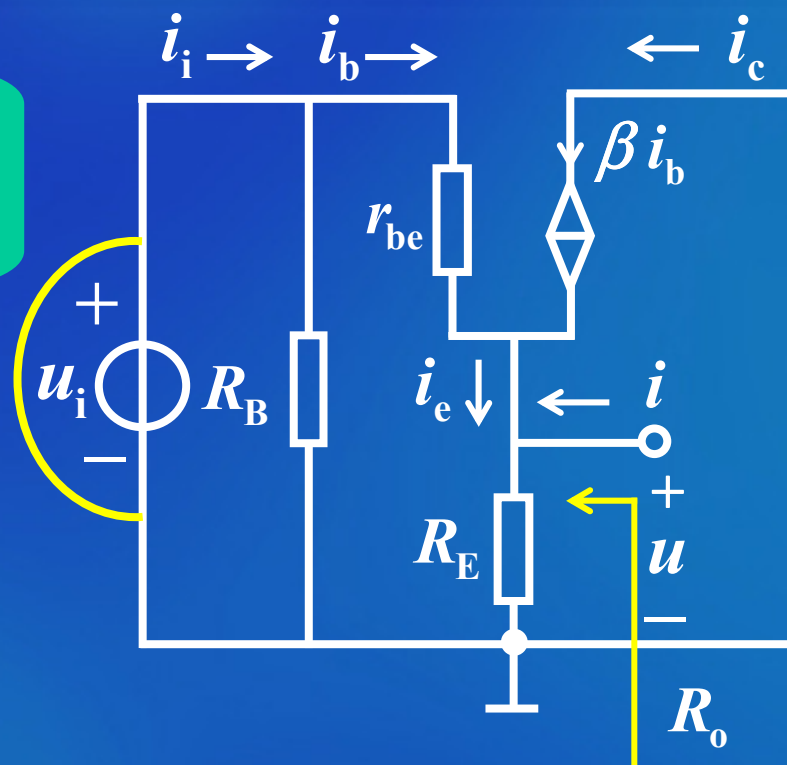
$$I = \frac{U}{R_E} - (1 + \beta) I_b$$

$$I_b = -\frac{U}{r_{be}}$$

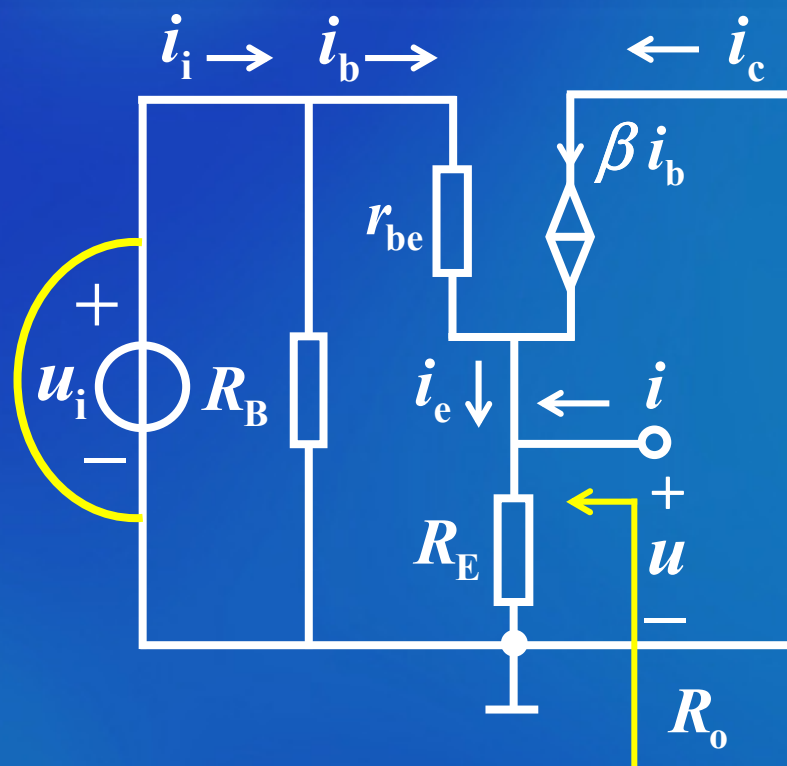
故

$$I = \frac{U}{R_E} + \frac{U}{\frac{r_{be}}{1 + \beta}}$$

画出求 R_o 的
等效电路



$$\begin{aligned}
 R_o &= \frac{U}{I} = \frac{1}{\frac{1}{R_E} + \frac{1}{\frac{r_{be}}{1+\beta}}} \\
 &= R_E // \frac{r_{be}}{1+\beta} \\
 &\approx \frac{r_{be}}{1+\beta}
 \end{aligned}$$



射极输出器的输出电阻很小。

e. 射极输出器的特点:

(a) $A_u \approx 1$, 无电压放大能力。

(b) u_o 与 u_i 同相。

(c) 具有电流放大能力和功率放大能力。

(d) 具有高的输入电阻和低的输出电阻。

f. 射极输出器的用途

(a) 阻抗变换 { 用在两级放大电路之间。
 { 用在高内阻的信号源与低阻抗负载之间。

(b) 在多级放大电路中作输入级和输出级

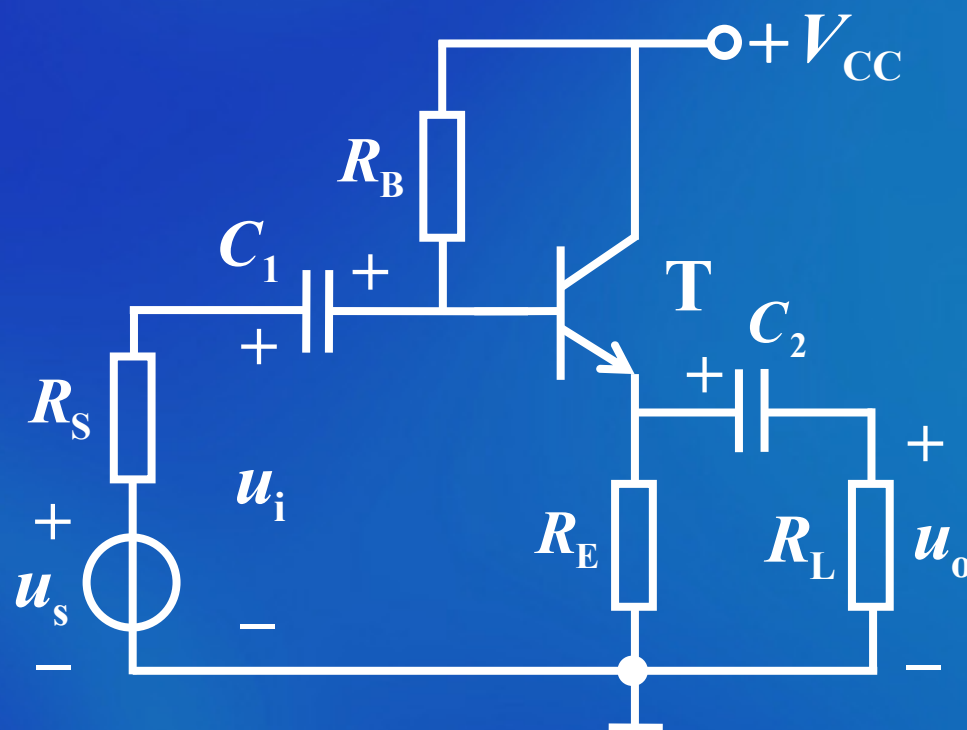
例. 电路如图所示, 试求

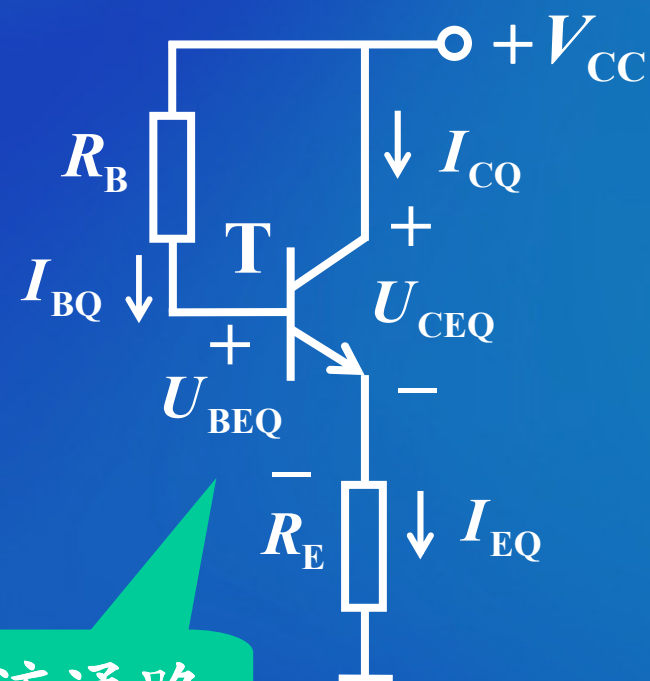
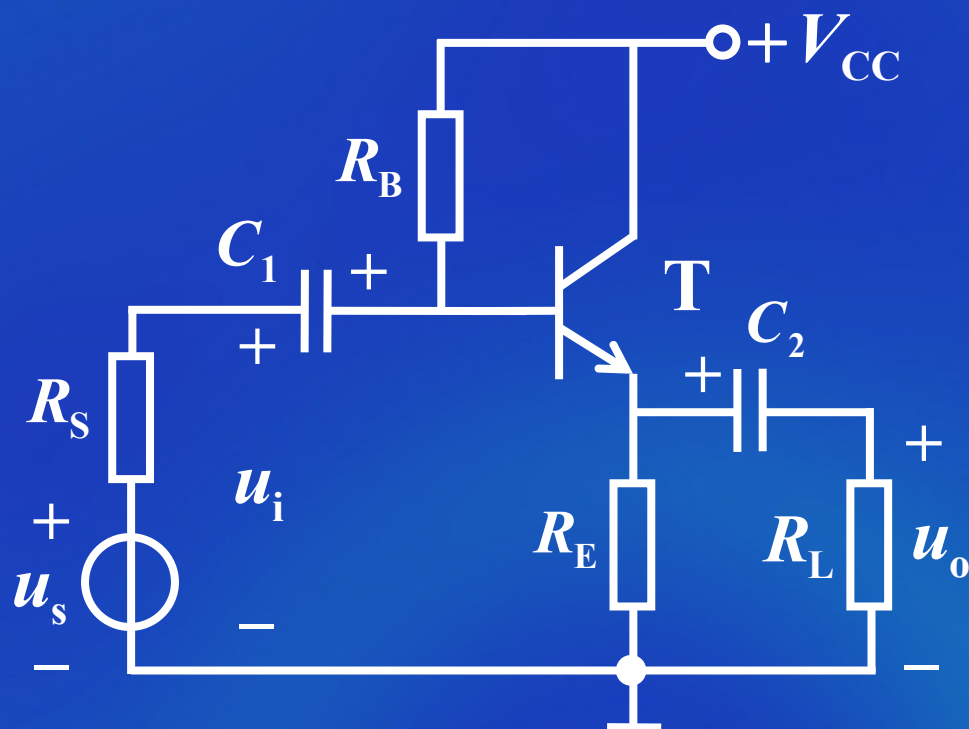
(1) 电路的静态工作点
 I_{CQ} 、 U_{CEQ}

(2) 电路的输入电阻 R_i

(3) 电路的电压放大倍数
 $A_u = U_o / U_i$ 、 $A_{us} = U_o / U_s$

(4) 输出电阻 R_o





直流通路

解：1) 画出电路的直流通路

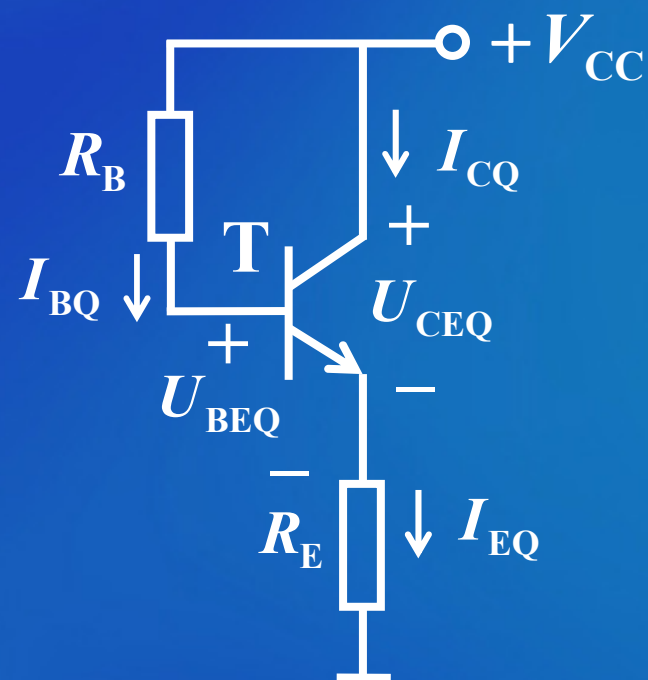
由电路的直流通路知

$$V_{CC} = I_{BQ}R_B + U_{BEQ} + I_{EQ}R_E$$

故
$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_B + (1 + \beta)R_E}$$

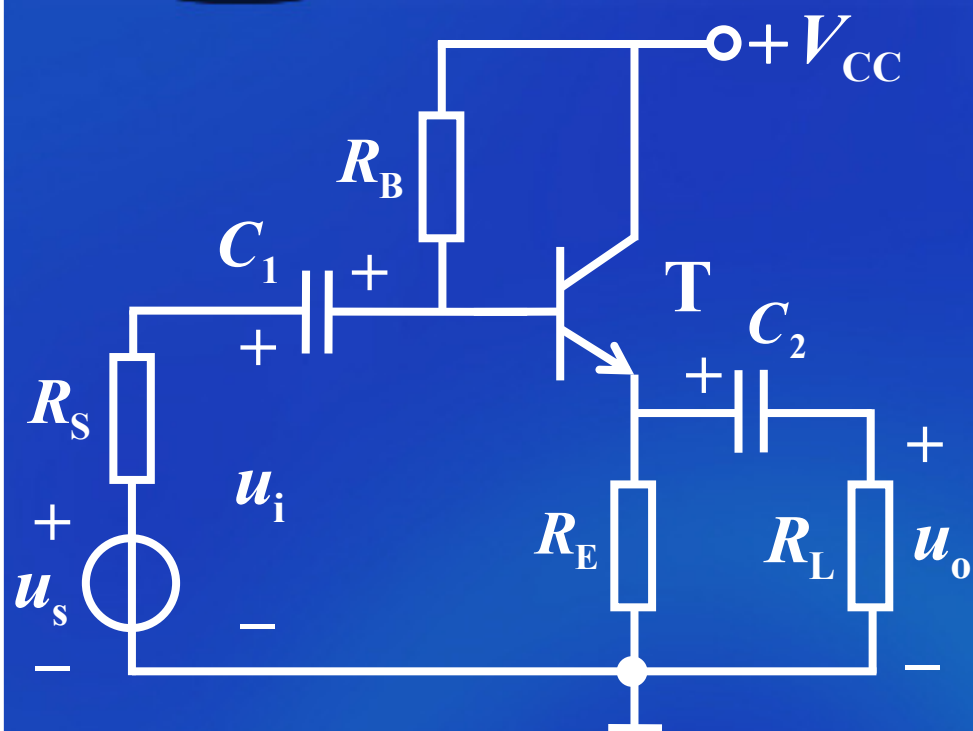
$$I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

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



2) 求电路的输入电阻 R_i

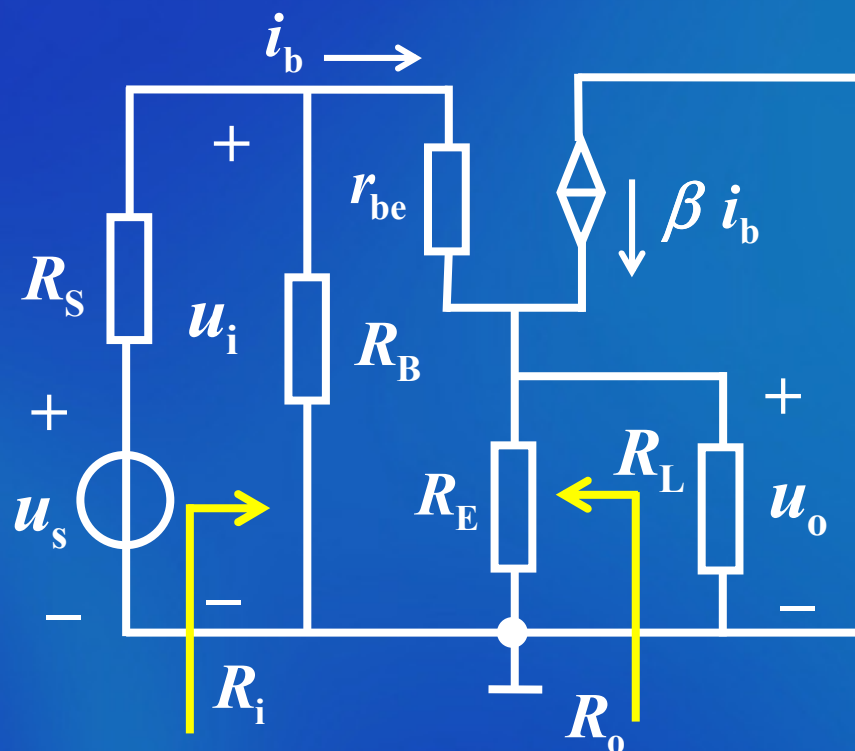
画出放大电路的微变等效电路



由图可知

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

微变等效电路



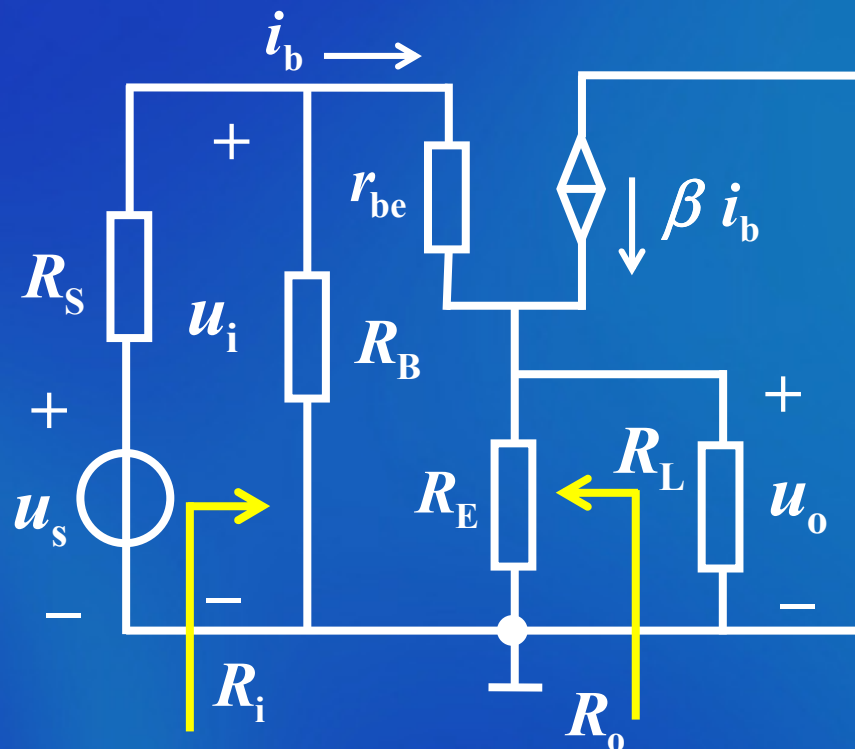
其中 $R'_L = R_E // R_L$

3) 求电压放大倍数

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{(1 + \beta) R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R'_L}$$

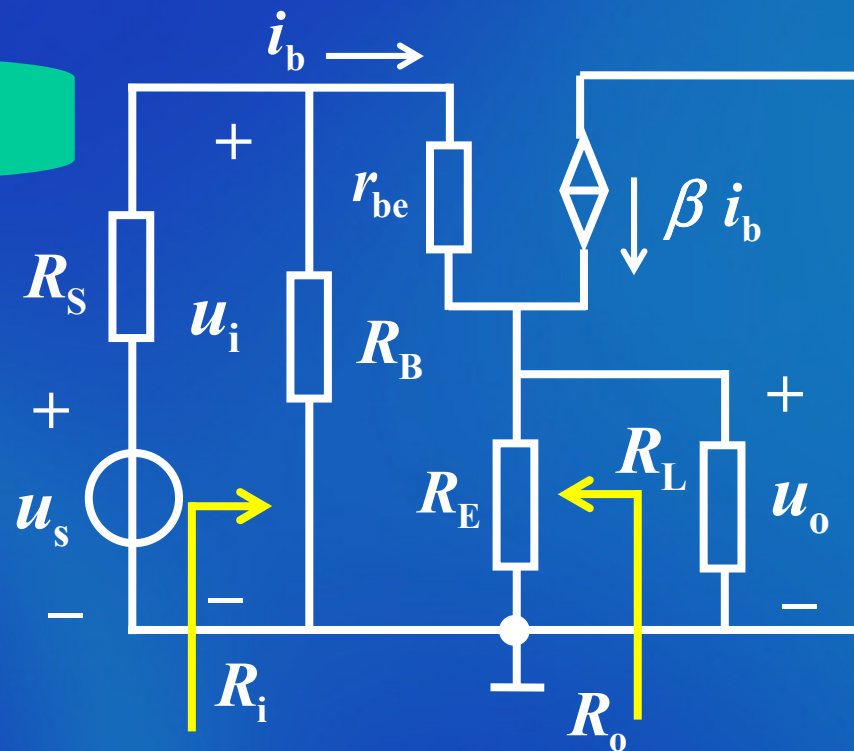
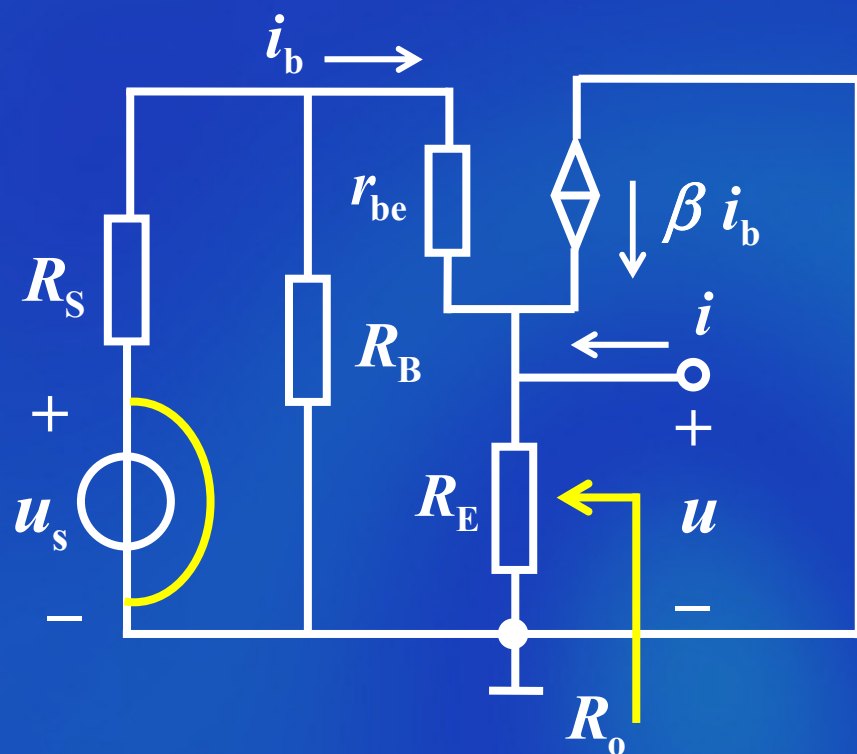
$$\begin{aligned} \dot{A}_{us} &= \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} \\ &= \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \frac{\dot{U}_i}{\dot{U}_s} \end{aligned}$$

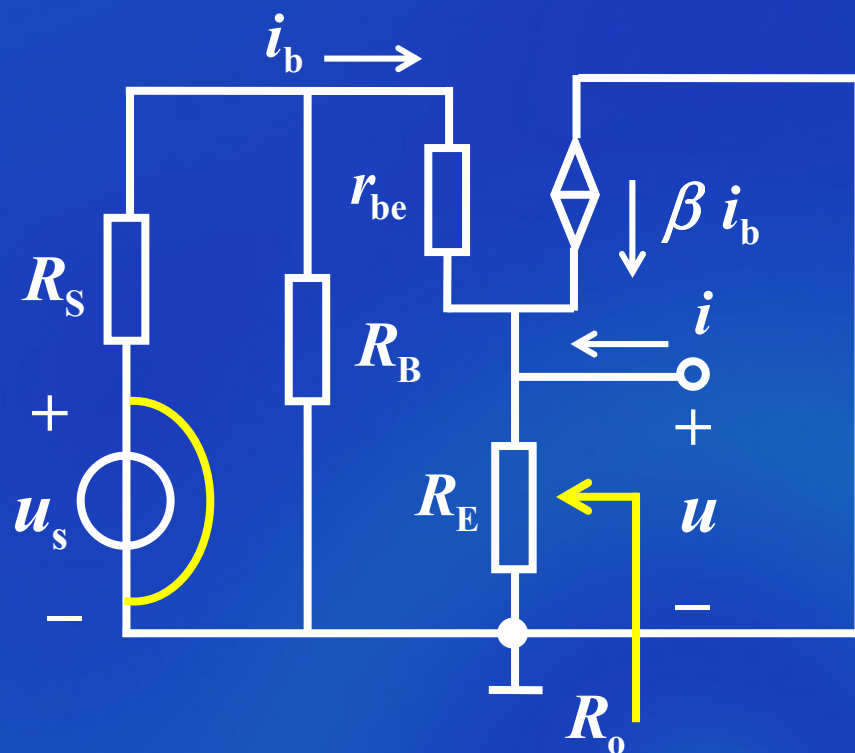
$$= \frac{R_i}{R_s + R_i} \dot{A}_u = \frac{R_i}{R_s + R_i} \frac{(1 + \beta) R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R'_L}$$



4) 求输出电阻

画出求输出电阻的等效电路

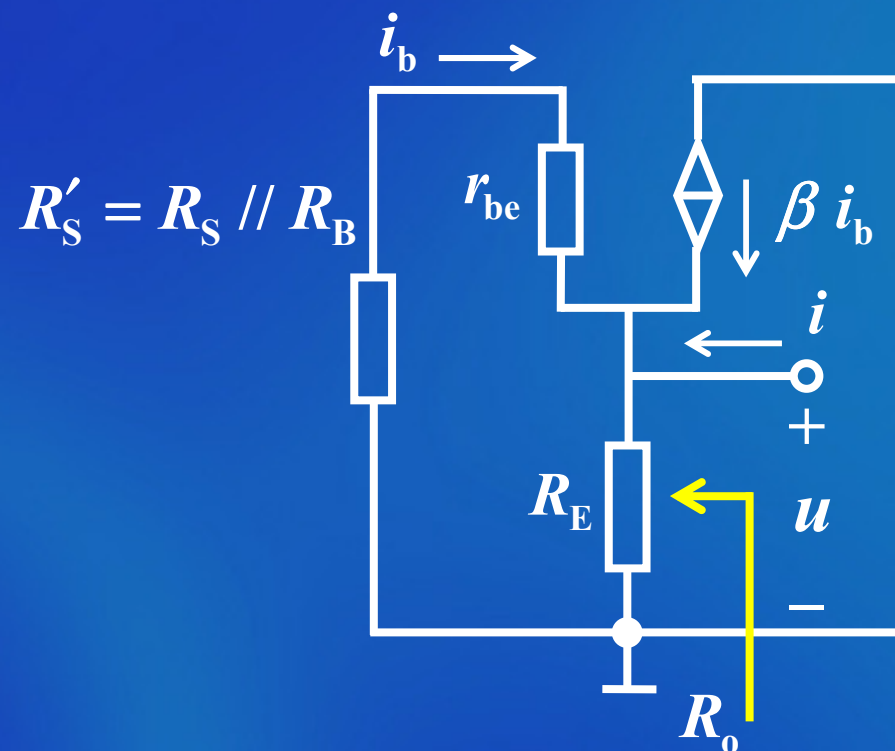




由等效电路可知

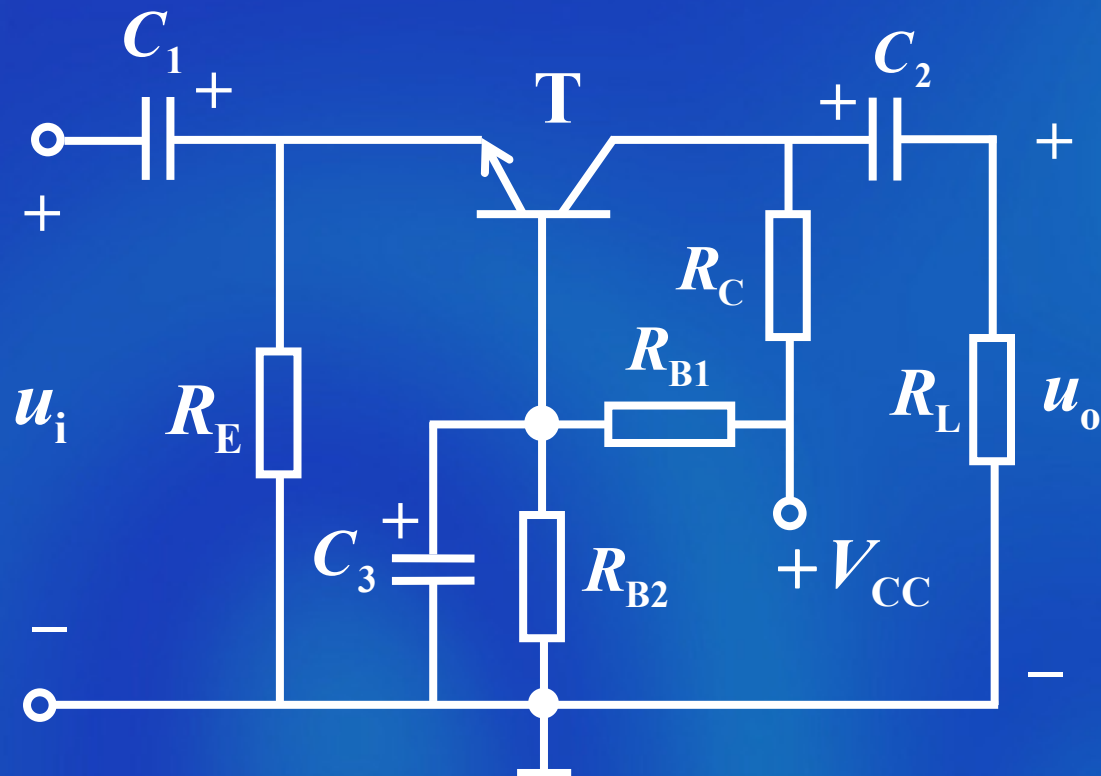
$$R_o = R_E // \frac{r_{be} + R'_S}{(1 + \beta)}$$

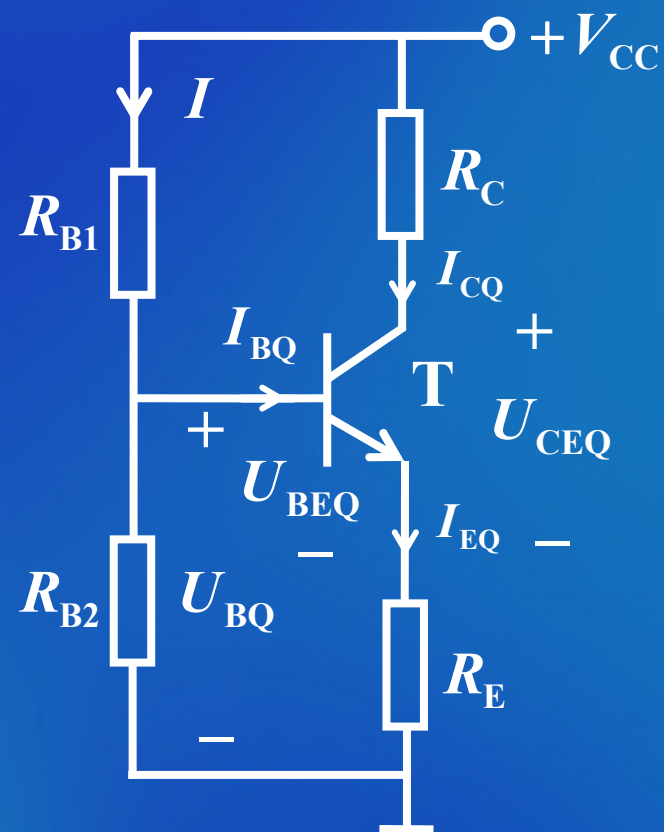
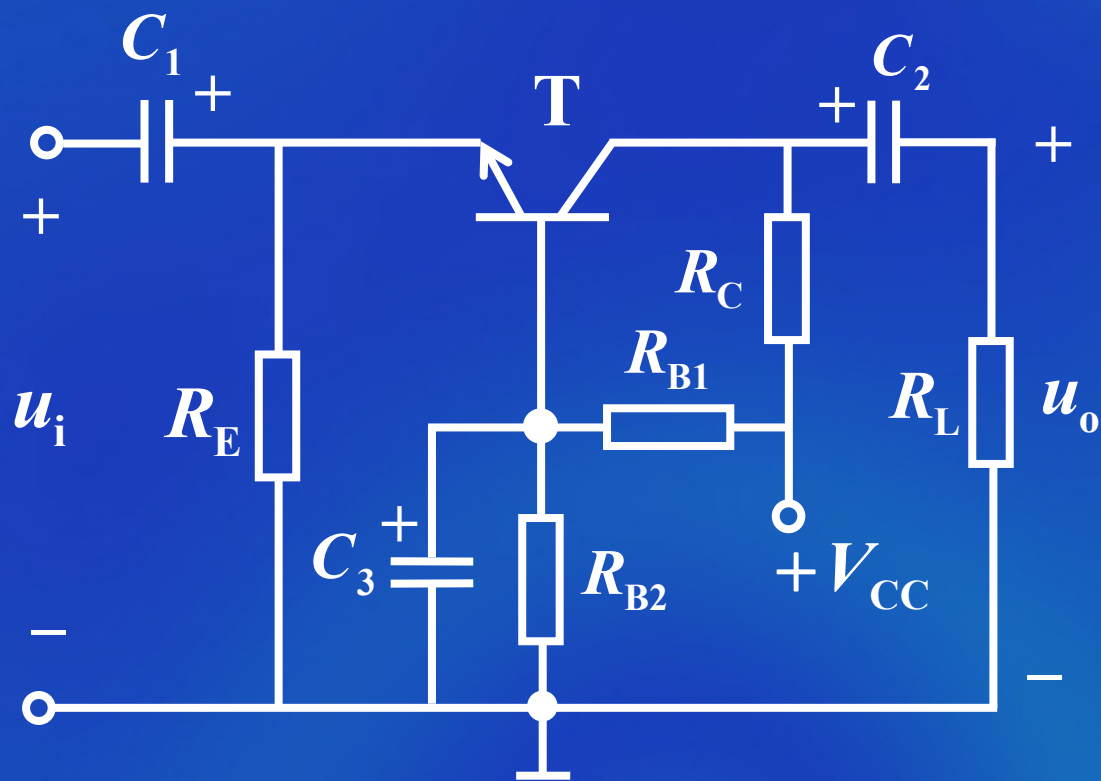
等效电路



2.6.2 共基极放大电路 自学

1. 电路组成



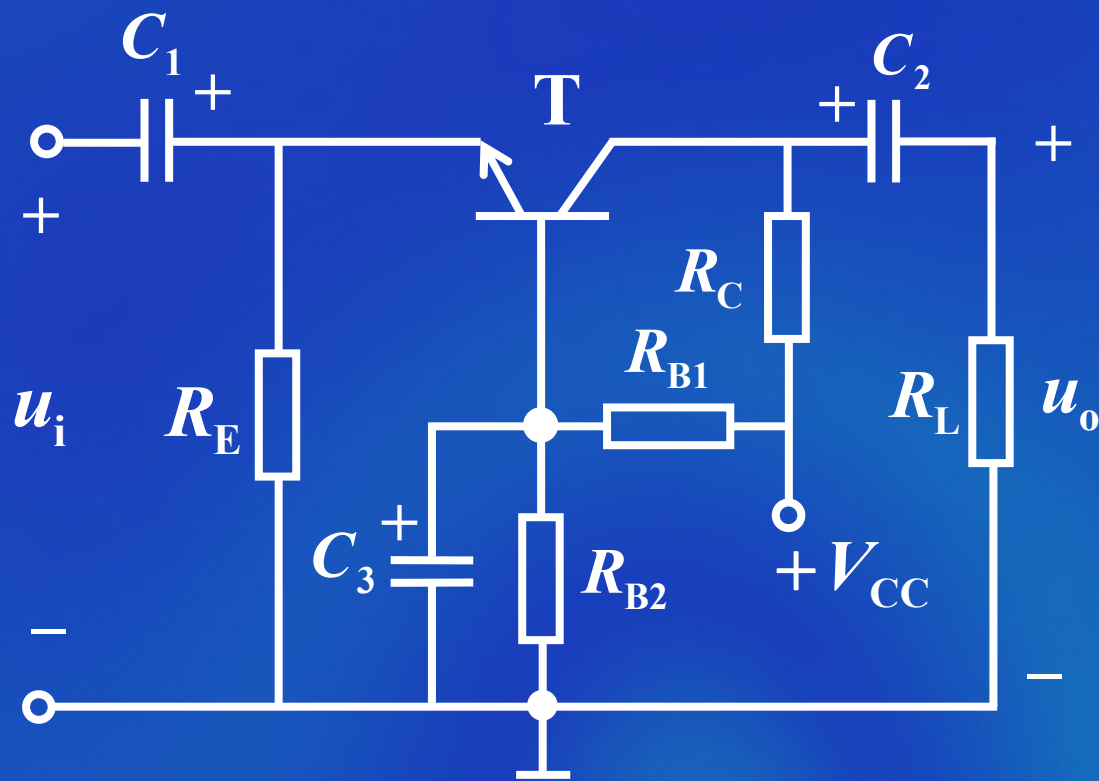


直流通路

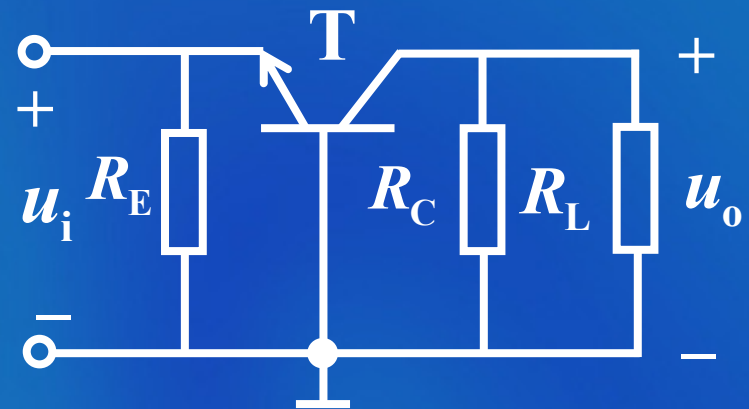
2. 静态分析

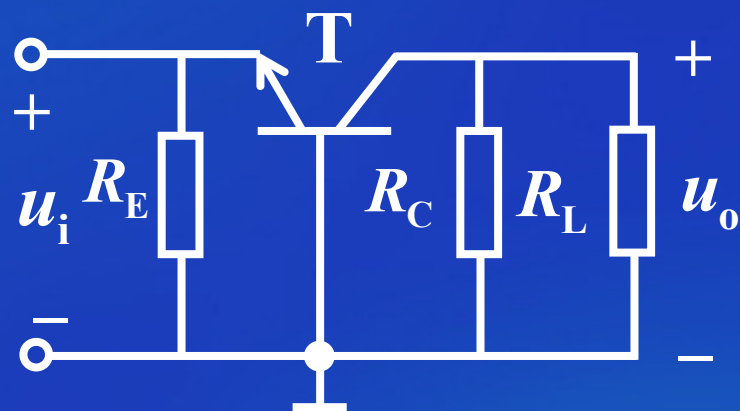
画出放大电路的直流通路。

3. 动态分析

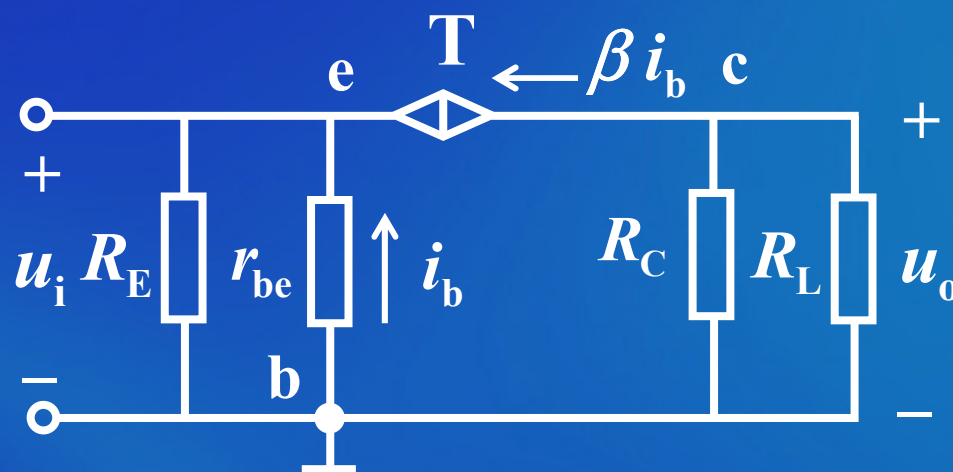


交流通路





微变等效电路



(1) 电压放大倍数

由于 $\dot{U}_o = -\beta \dot{I}_b (R_C // R_L) = -\beta \dot{I}_b R'_L$

$$\dot{U}_i = -\dot{I}_b r_{be}$$

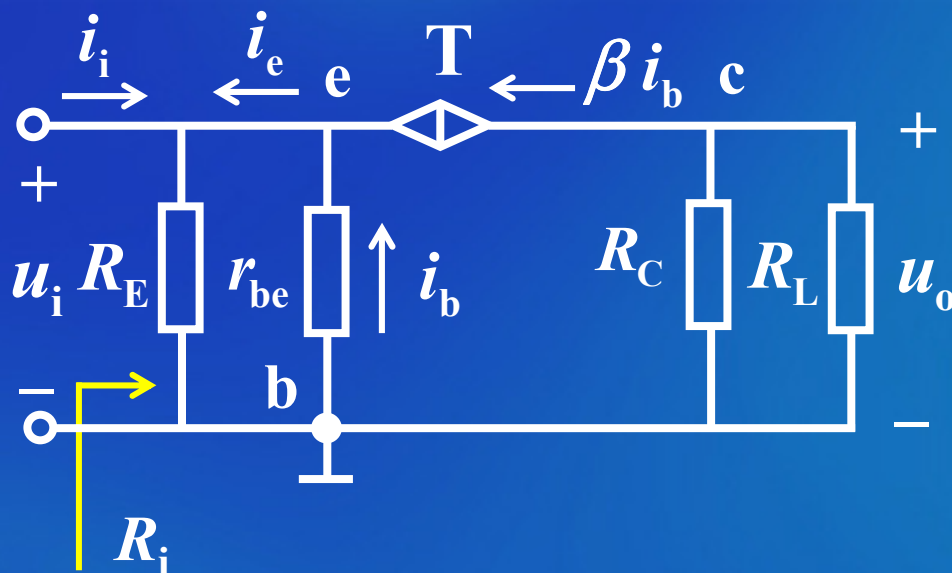
故 $\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{\beta R'_L}{r_{be}}$

(2) 输入电阻 R_i

$$I_e = (1 + \beta) I_b$$

$$= -(1 + \beta) \frac{U_i}{r_{be}}$$

$$I_i = \frac{U_i}{R_E} - I_e$$



故

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{\frac{U_i}{R_E} + \frac{U_i}{\frac{r_{be}}{1 + \beta}}} = \frac{1}{\frac{1}{R_E} + \frac{1}{\frac{r_{be}}{1 + \beta}}} = R_E // \frac{r_{be}}{1 + \beta}$$

输入电阻通常很小

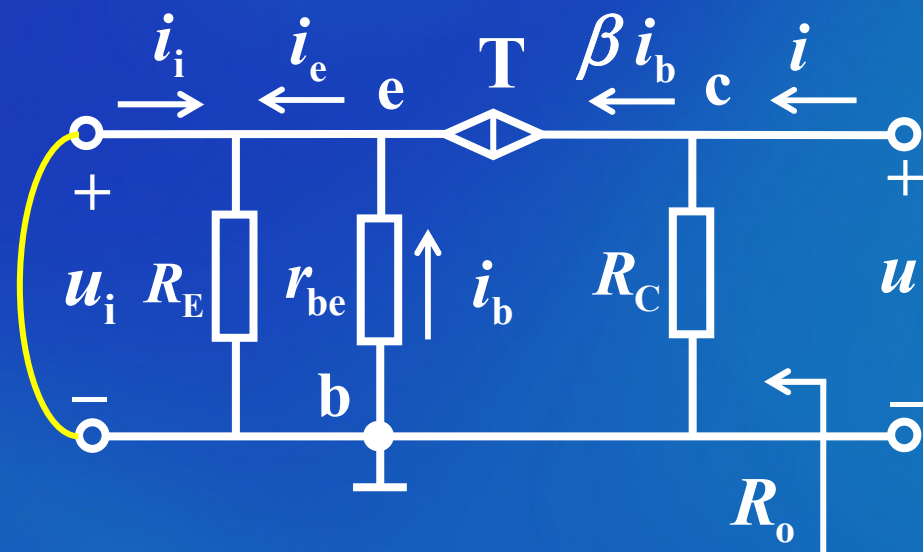
(3) 输出电阻 R_o

由求 R_o 的电路图可知

当 $U_i=0$ 时, $I_b=0$

故

$$R_o = \frac{U}{I} \bigg|_{\substack{U_i=0 \\ R_L=\infty}} = R_C$$



求 R_o 的电路图

共基极放大电路的特点:

- (1) 有电压放大能力, 电压放大倍数与共射极放大电路相同。
- (2) u_o 与 u_i 同相。
- (3) 没有电流放大能力。
- (4) 输入电阻小, 输出电阻大。
- (5) 在低频放大电路很少应用。

共射

入: b 出: c

$$A_u = -\beta \frac{R_C // R_L}{r_{be}}$$

$$R_i = R_B // r_{be}$$

$$R_o = R_C$$

共集

入: b 出: e

$$A_u = \frac{(1+\beta)R'_L}{r_{be} + (1+\beta)R'_L}$$

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

$$R_o = R_E // \frac{r_{be}}{1+\beta}$$

共基

入: e 出: c

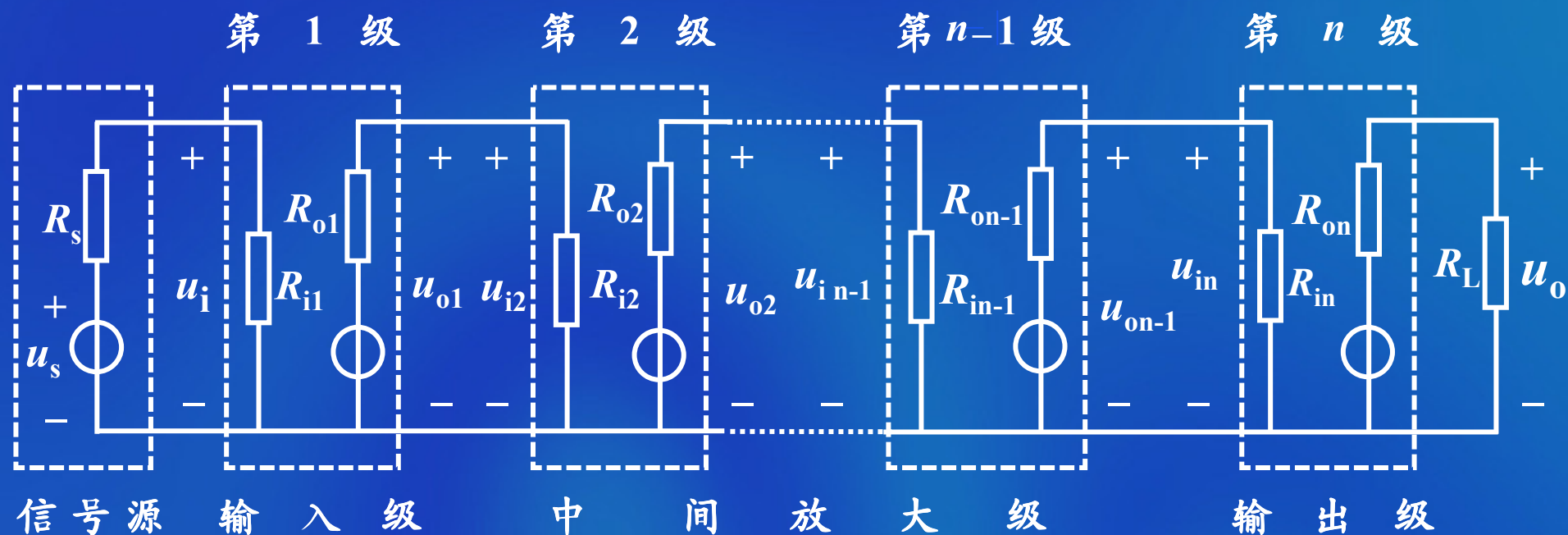
$$A_u = \beta \frac{R_C // R_L}{r_{be}}$$

$$R_i = R_E // \frac{r_{be}}{1+\beta}$$

$$R_o = R_C$$

2.7 多级放大电路

2.7.1 多级放大电路的组成



多级放大电路的组成



- 输入级
- 中间级
- 输出级

各级的特点:

输入级——输入电阻高，噪声和漂移小。

中间级——具有足够大的信号放大的能力。

输出级——动态范围大，输出功率大，带载能力强。

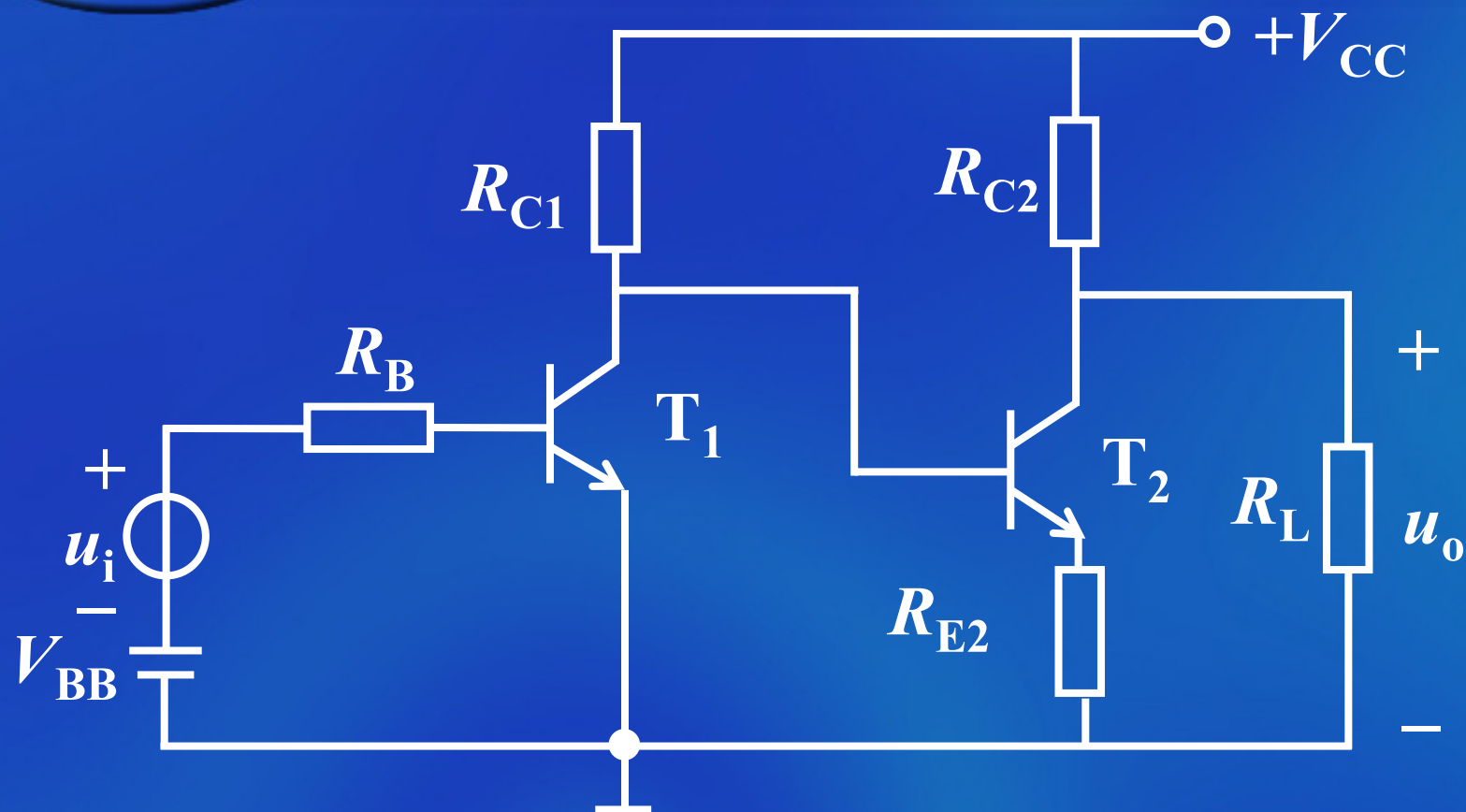
2.7.2 多级放大电路的耦合方式

多级放大电路的耦合

放大电路与信号源、负载以及电路内部各级之间的连接。

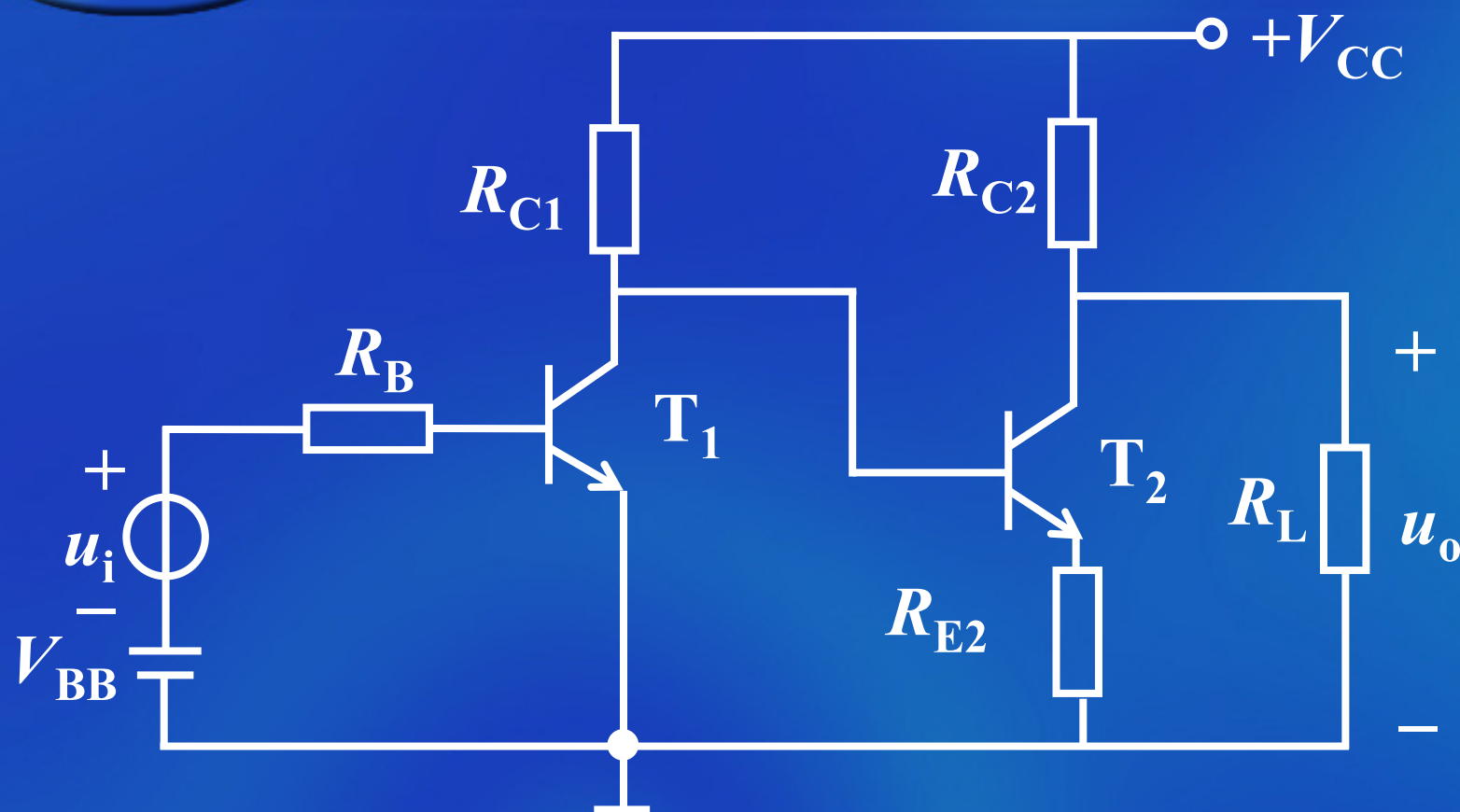


1. 直接耦合



特点：能对交、直流信号进行放大

又称为直流放大电路

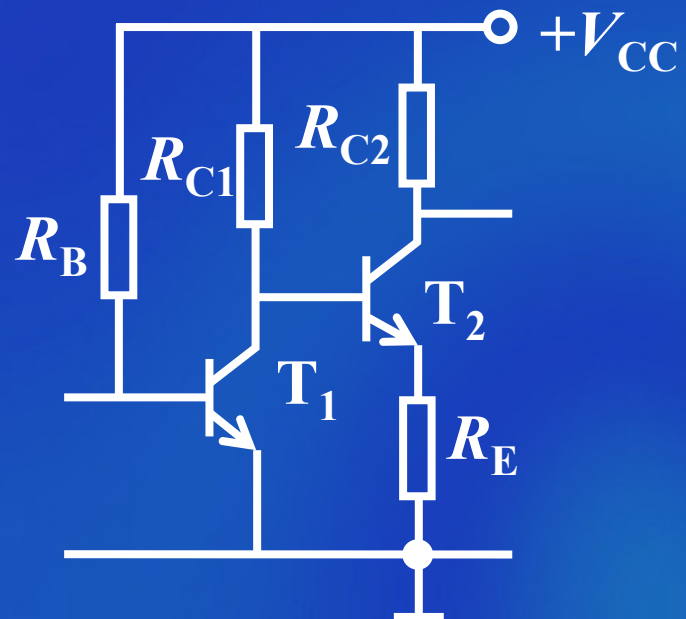


直接耦合放大电路存在两个特殊的问题：

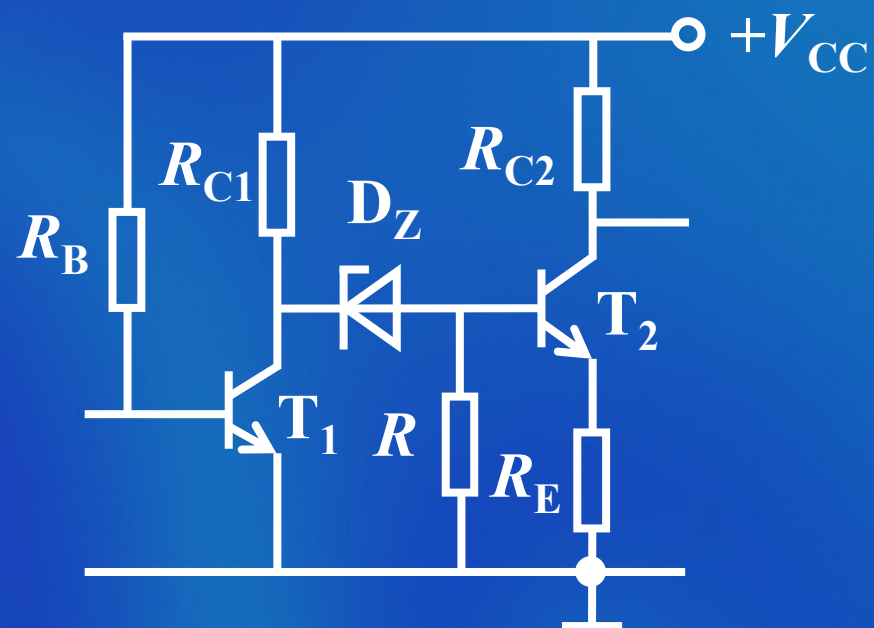
(1) 各级静态工作点不独立，不便于设计和调试。

常用的解决方法

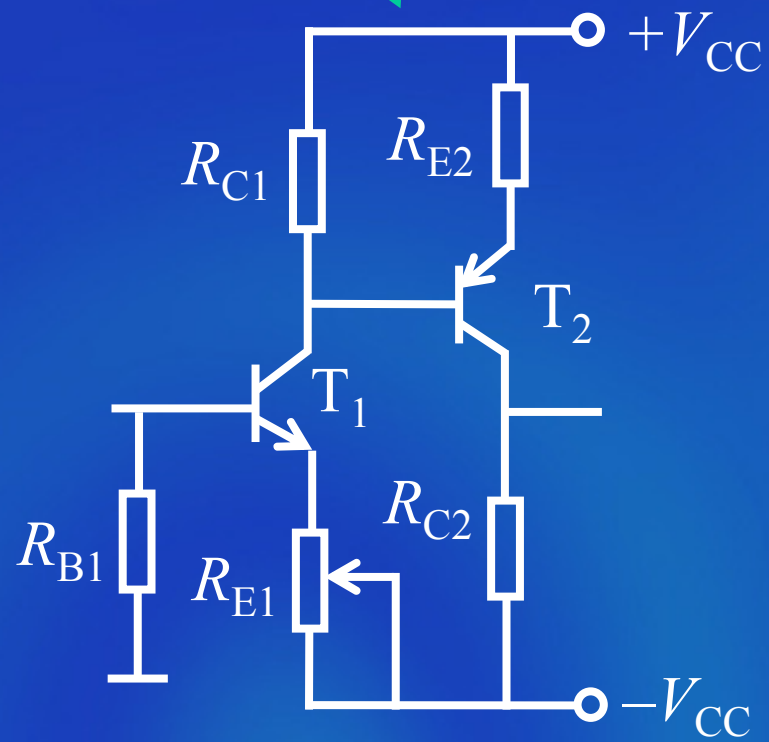
提高后级射极电位

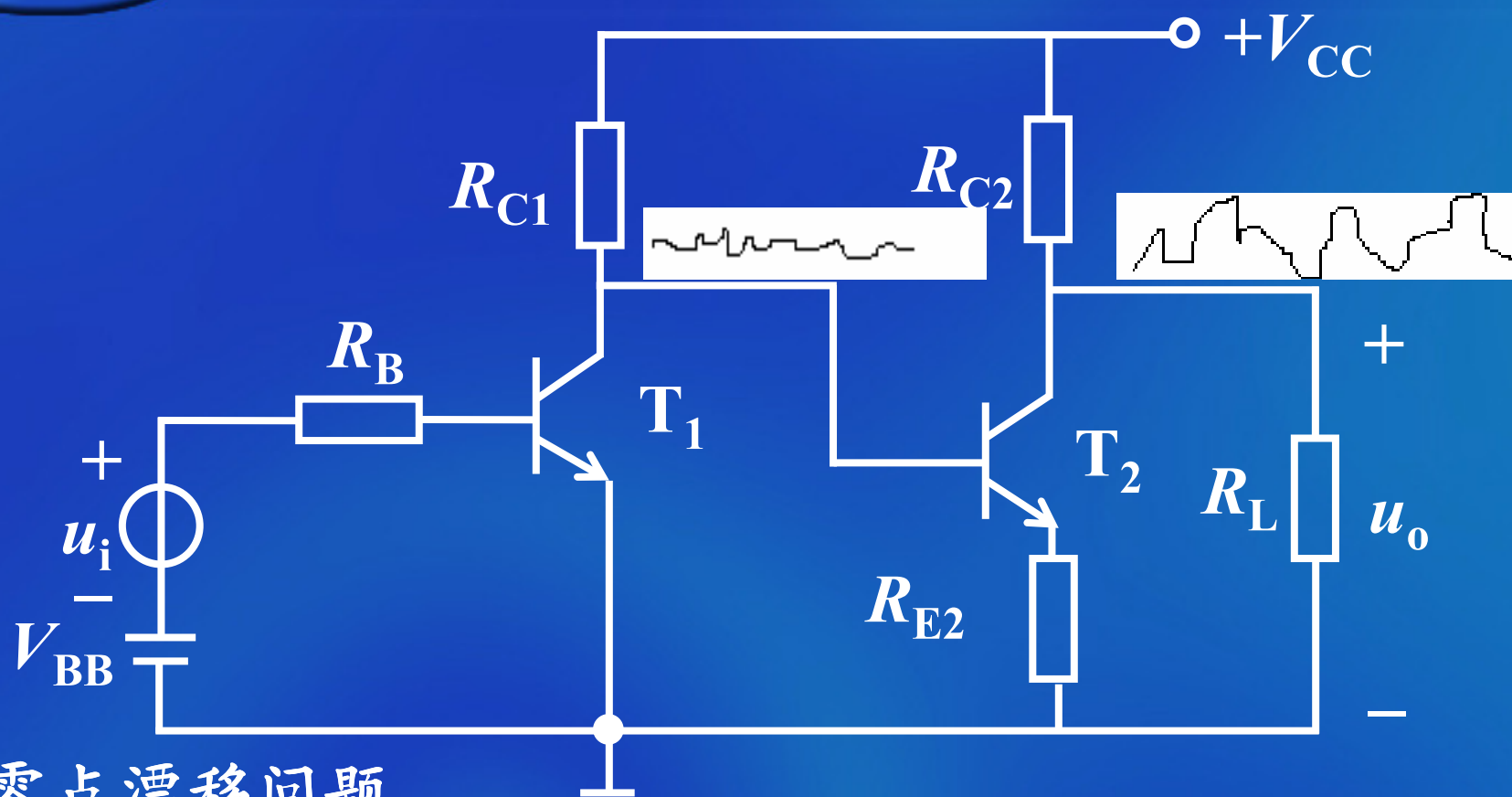


电平移位



两种管子互补





(2) 零点漂移问题

当输入 $u_i=0$ 时，输出电压 u_o 并不恒定，而是出现缓慢地、无规则地漂动。这种现象称为零点漂移，简称零漂。

零漂实质上就是放大电路静态工作点的变化。

引起零漂的原因

- (a) 元器件参数，特别是晶体管的参数会随温度的变化而变化。
- (b) 元器件会出现老化，参数发生了变化。

零漂 { 由温度引起的零漂称为**温漂**；
由元器件老化引起的零漂称为**时漂**。

引起直接耦合放大电路零漂的主要因素是**温漂**。

衡量零漂的大小:

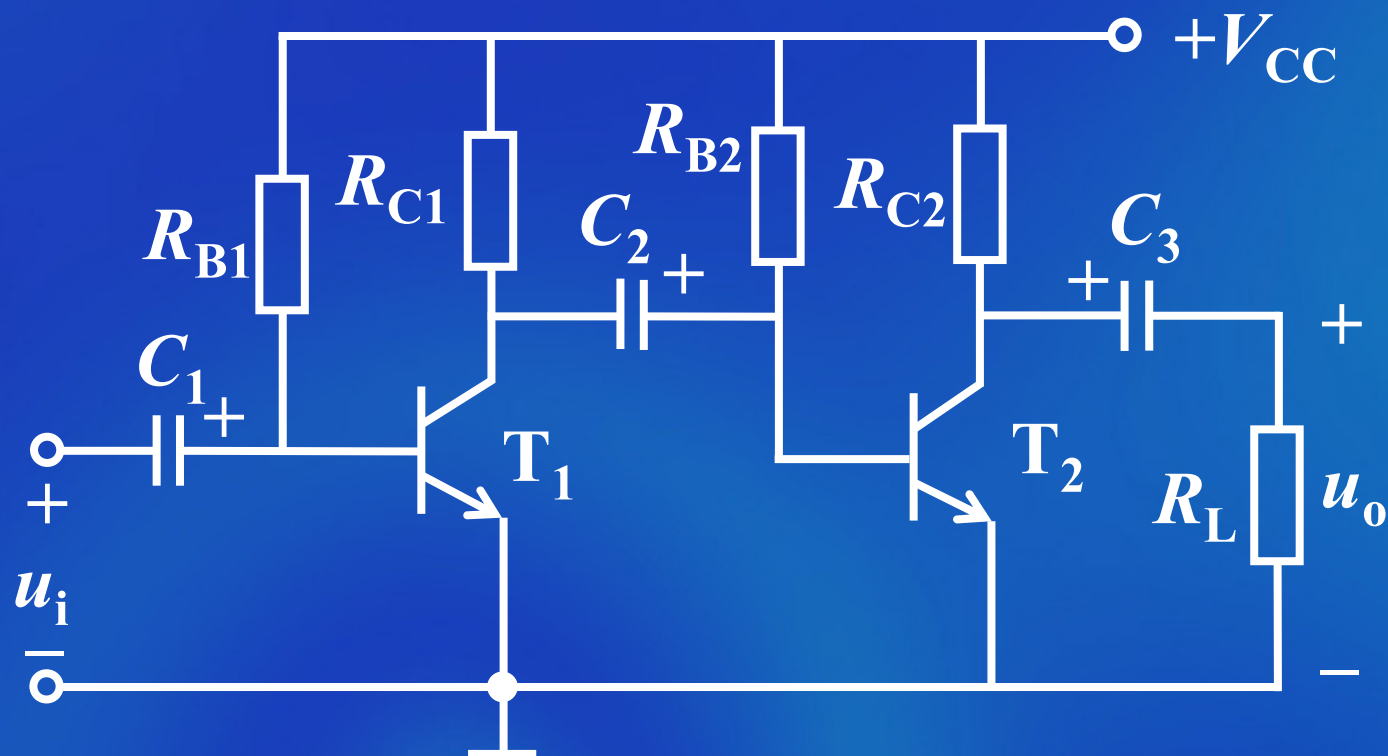
用折合到输入端的零点漂移电压大小 $\Delta U_o / |A_u|$ 来衡量

抑制零点漂移的主要方法:

(a) 引入直流负反馈

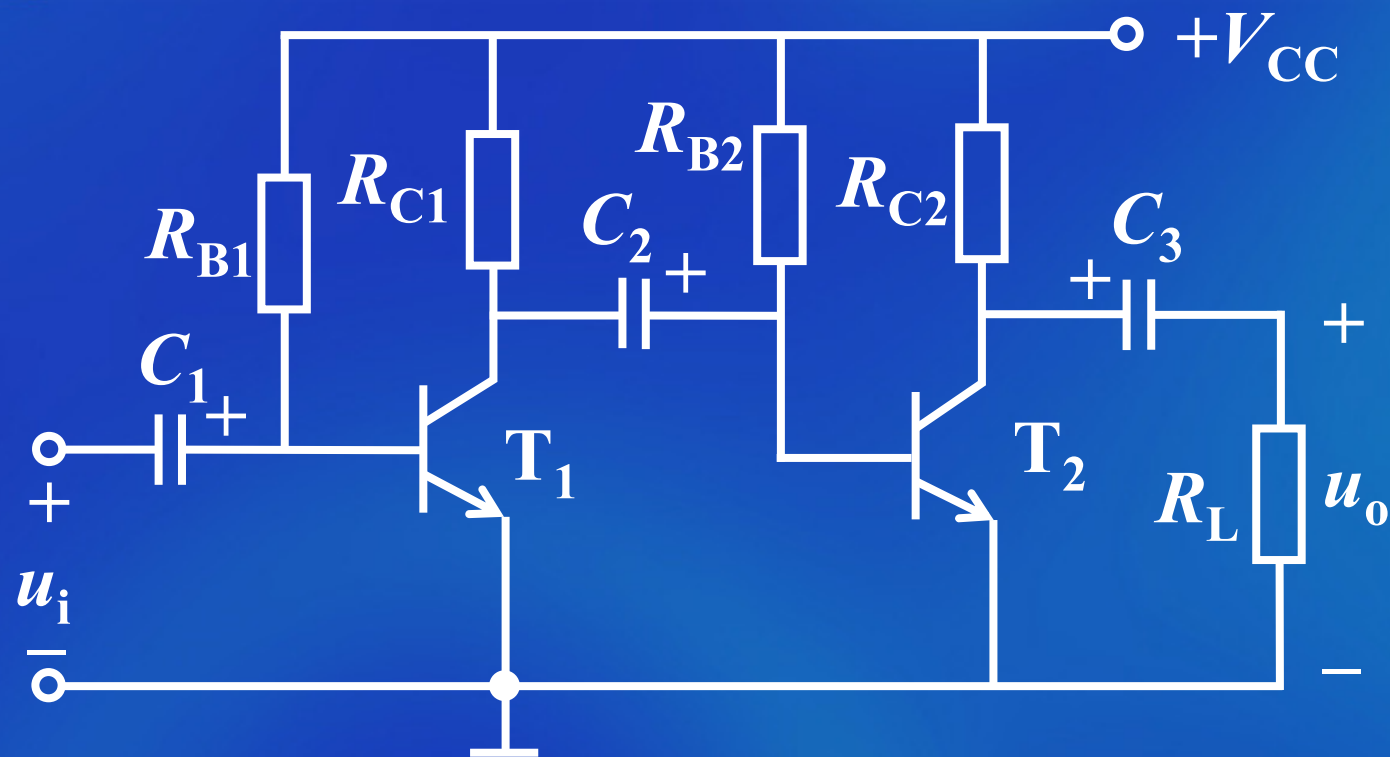
(b) 采用差动放大电路

2. 阻容耦合多级放大电路



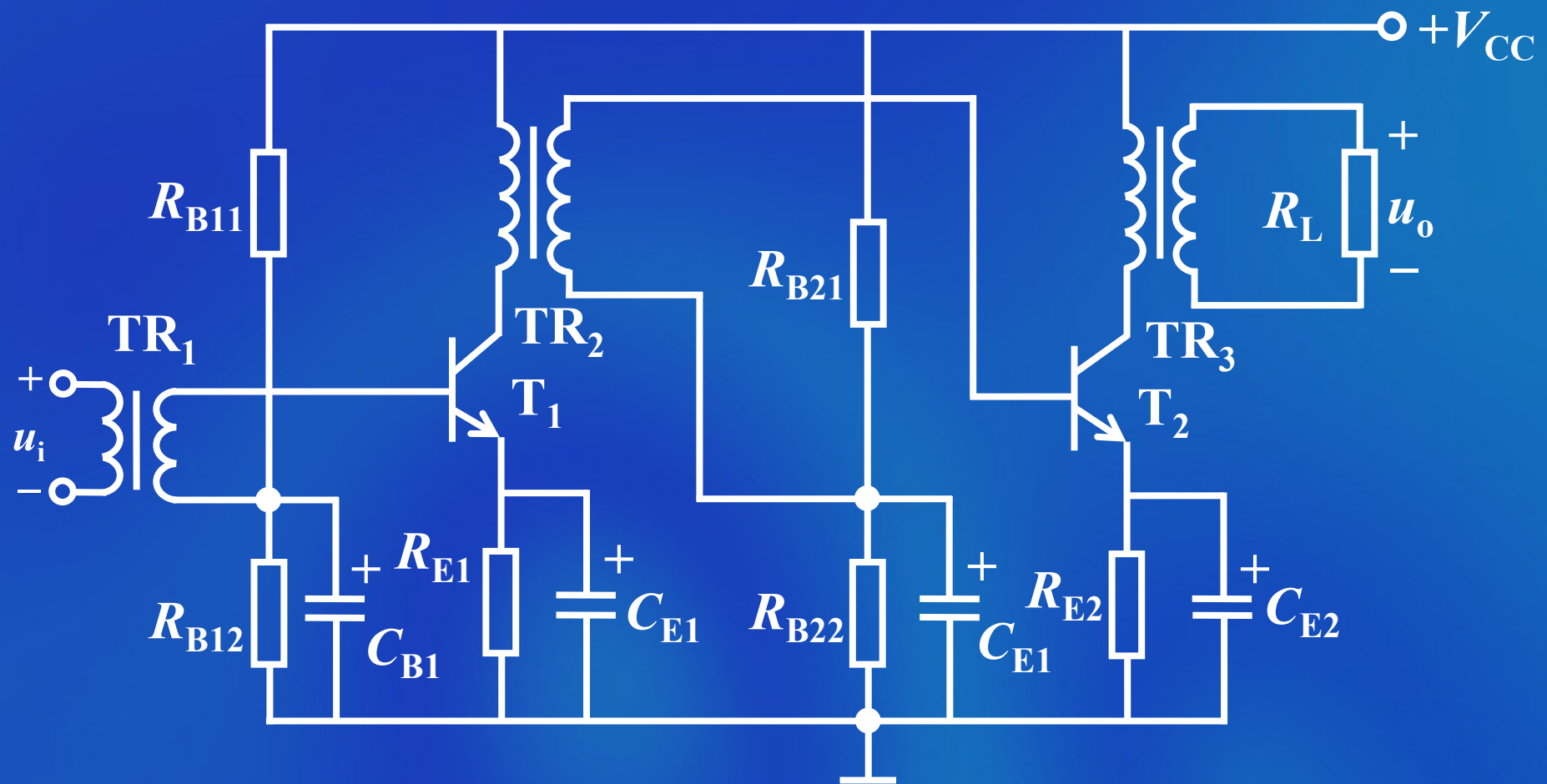
特点:

a. 各级电路的静态工作点相互独立, 便于设计和调试。



- b. 可以抑制零点漂移。
- c. 无法放大低频信号和直流信号。
- d. 在集成电路中，无法制造大电容。

3. 变压器耦合



变压器耦合特点:

- a. 对直流信号没有放大能力，只能放大交流信号。
- b. 对直流信号起到隔离作用，可以消除零点漂移。
- c. 各级电路的静态工作点相互独立，便于设计和调试。
- d. 体积大、重量重、费用高、不宜集成化。
- e. 具有阻抗变换作用，可以实现阻抗匹配。

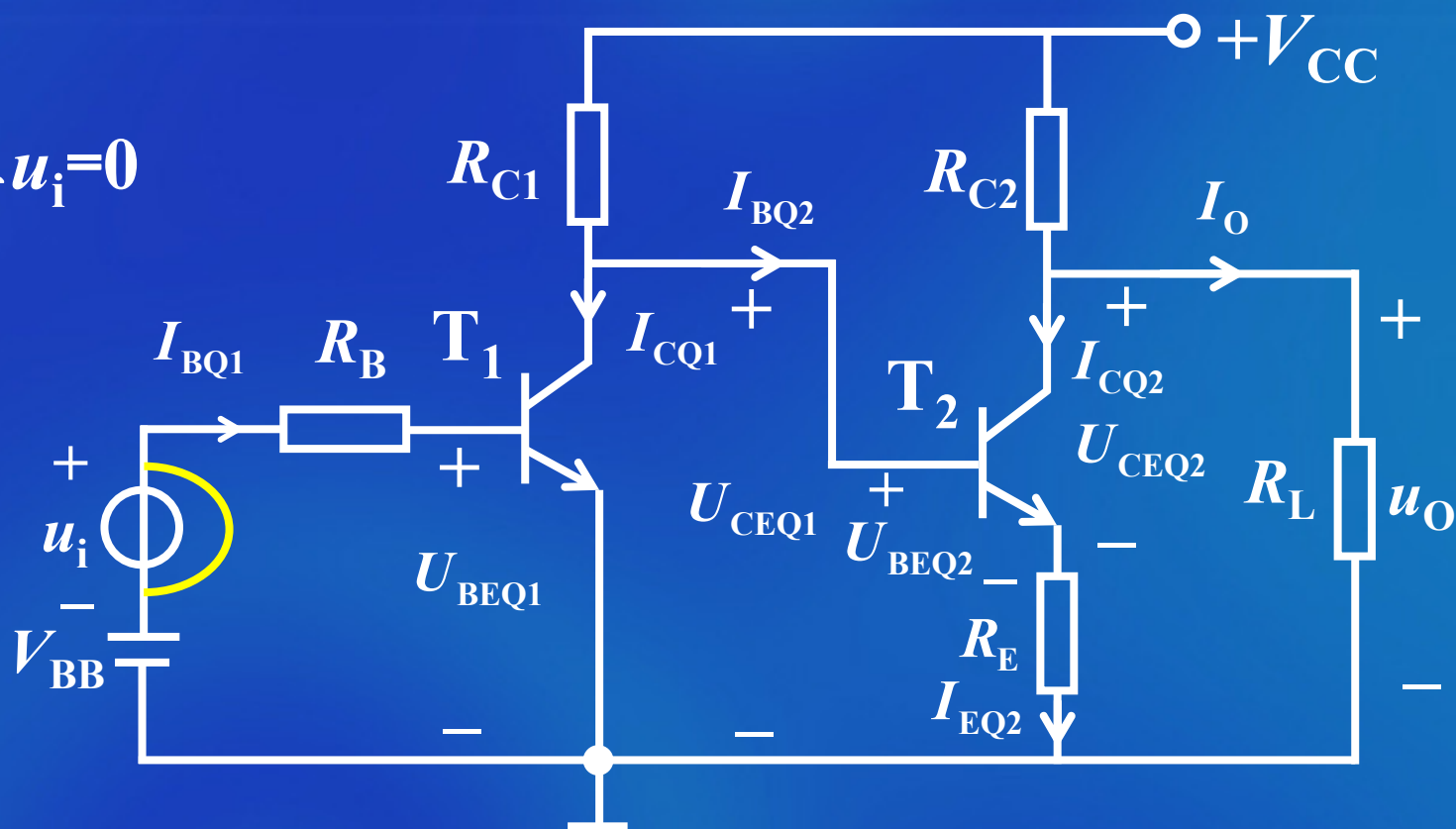
2.7.3 多级放大电路的分析计算

1. 直接耦合电路的静态分析

阻容耦合、变压器耦合的各级静态工作点独立，分析方法与前述的单级放大电路的方法相同。

这里只对直接耦合电路进行静态分析。

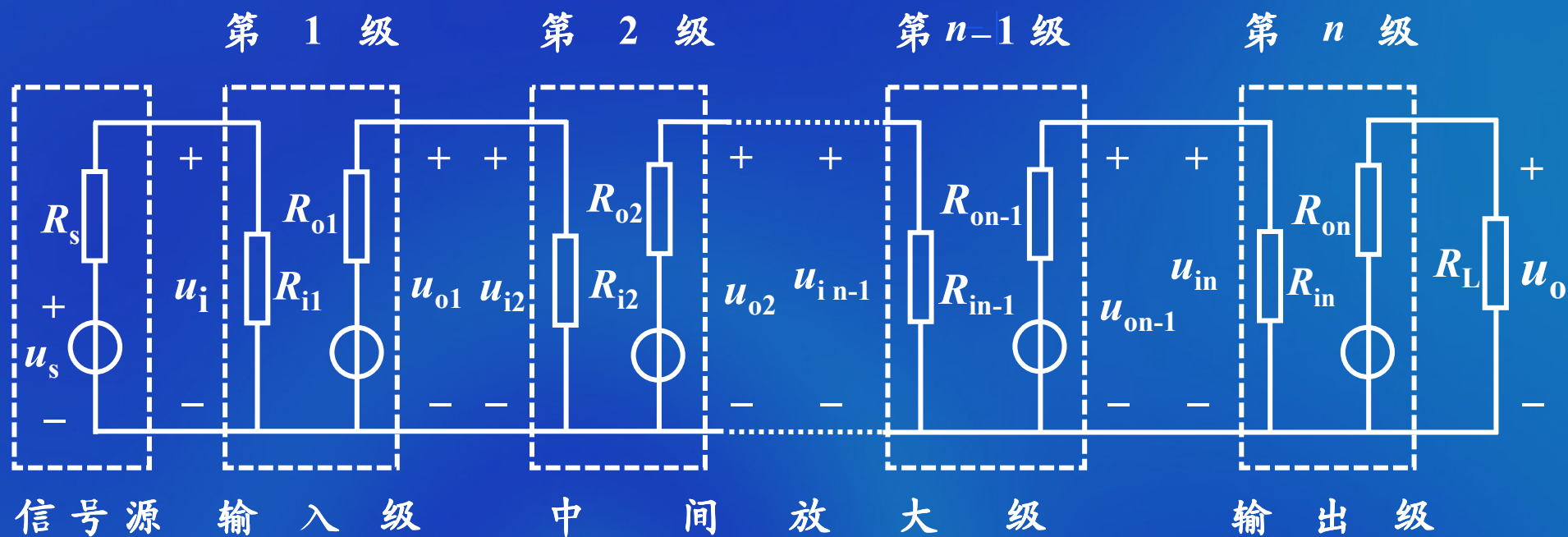
令输入电压 $u_i=0$



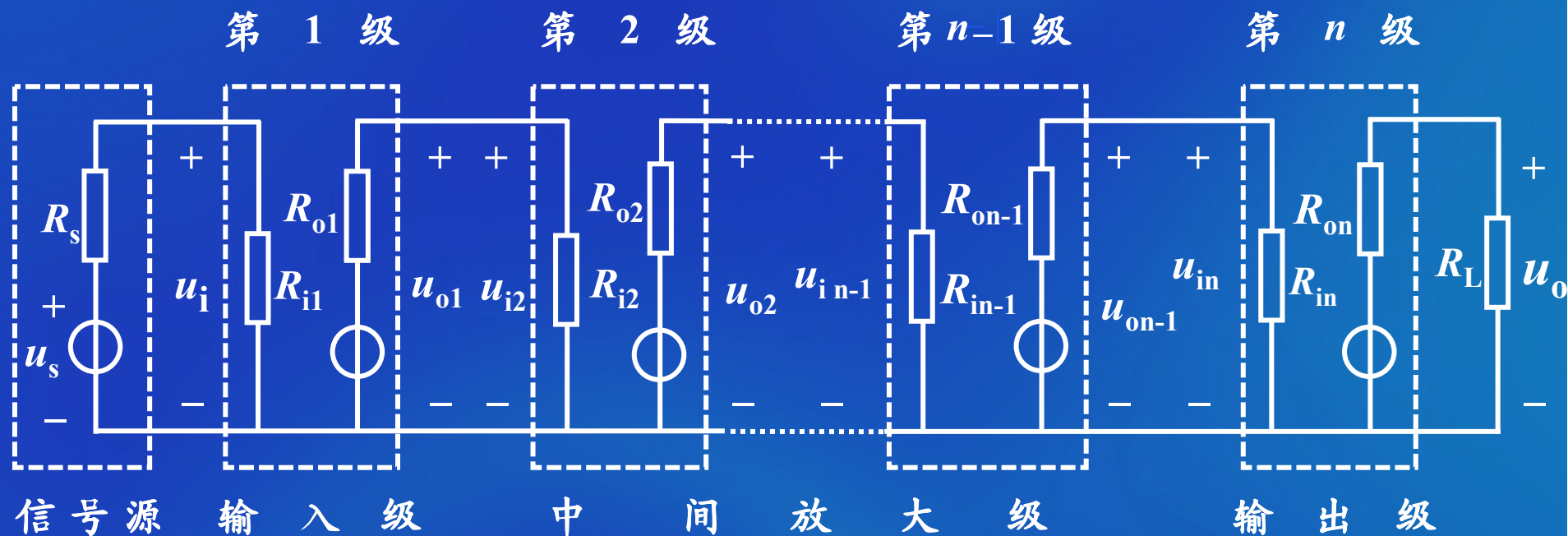
两级电路参数复杂且相关，Q点不独立，需要多个方程联立求解

复杂！太复杂！

2. 多级放大电路的动态分析

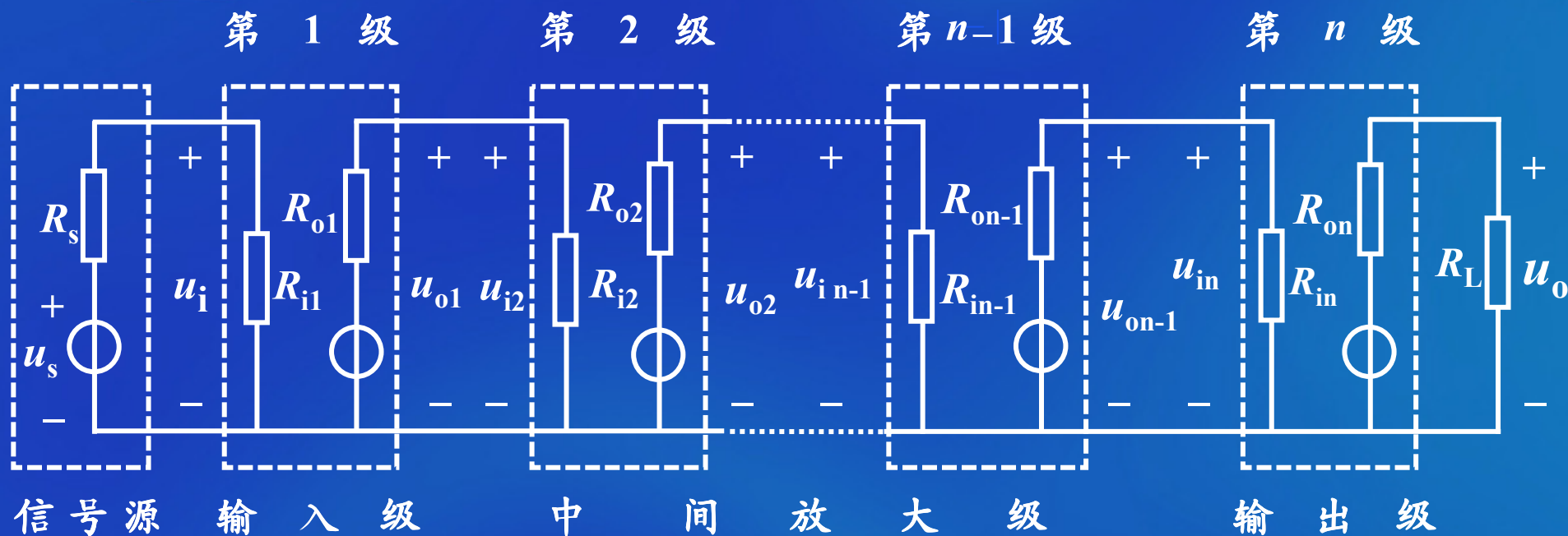


(1) 多级放大电路的电压放大倍数



$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i}$$

$$= \frac{\dot{U}_{o1}}{\dot{U}_i} \frac{\dot{U}_{o2}}{\dot{U}_{o1}} \frac{\dot{U}_{o3}}{\dot{U}_{o2}} \cdots \frac{\dot{U}_{on}}{\dot{U}_{on-1}}$$



因为 $u_{i2}=u_{o1}$, $u_{i3}=u_{o2}$, ..., $u_{in}=u_{on-1}$

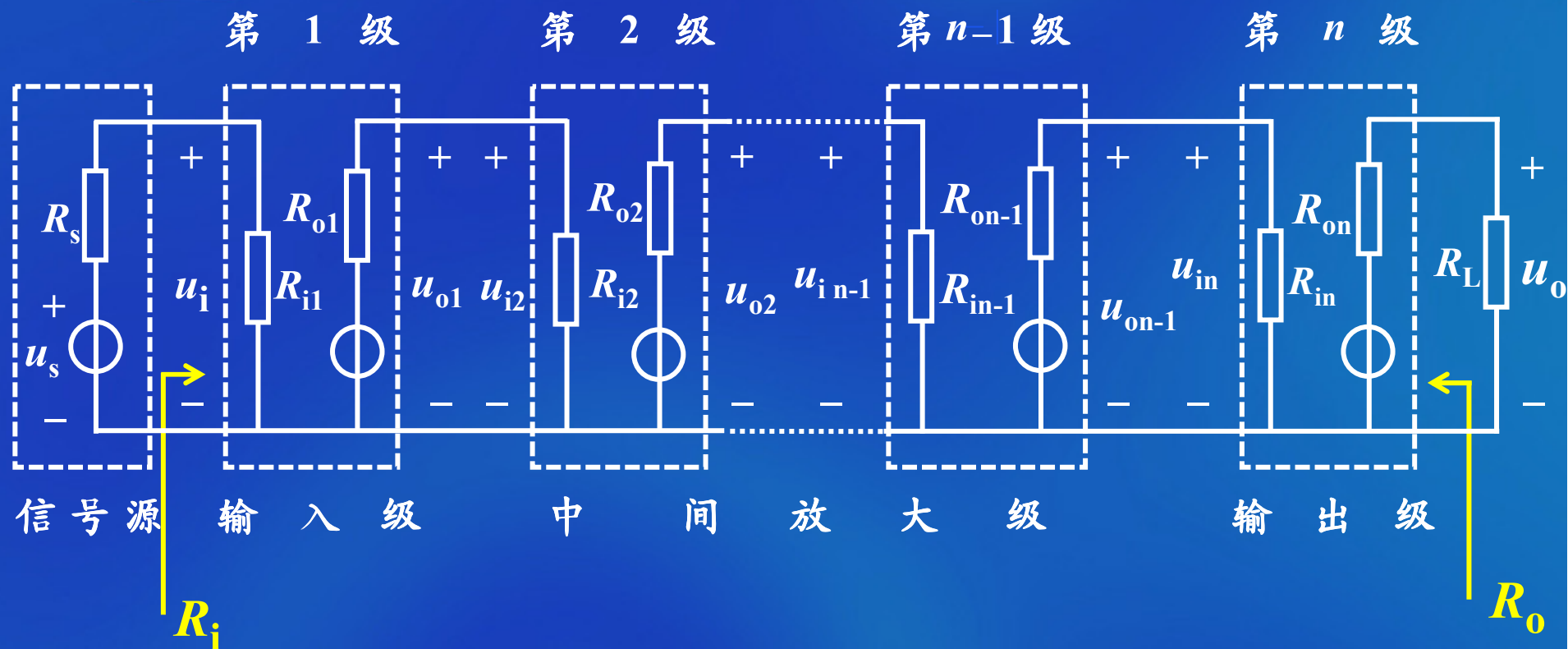
故

$$\begin{aligned} \dot{A}_u &= \frac{\dot{U}_{o1}}{\dot{U}_{i1}} \frac{\dot{U}_{o2}}{\dot{U}_{i2}} \frac{\dot{U}_{o3}}{\dot{U}_{i3}} \cdots \frac{\dot{U}_{on}}{\dot{U}_{in}} \\ &= \dot{A}_{u1} \dot{A}_{u2} \dot{A}_{u3} \cdots \dot{A}_{un} \end{aligned}$$

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \dot{A}_{u2} \dot{A}_{u3} \cdots \dot{A}_{un}$$

放大倍数的另一种表示方法

$$\dot{A}_u(\text{dB}) = 20\lg|\dot{A}_{u1}| + 20\lg|\dot{A}_{u2}| + 20\lg|\dot{A}_{u3}| + \cdots + 20\lg|\dot{A}_{un}|$$

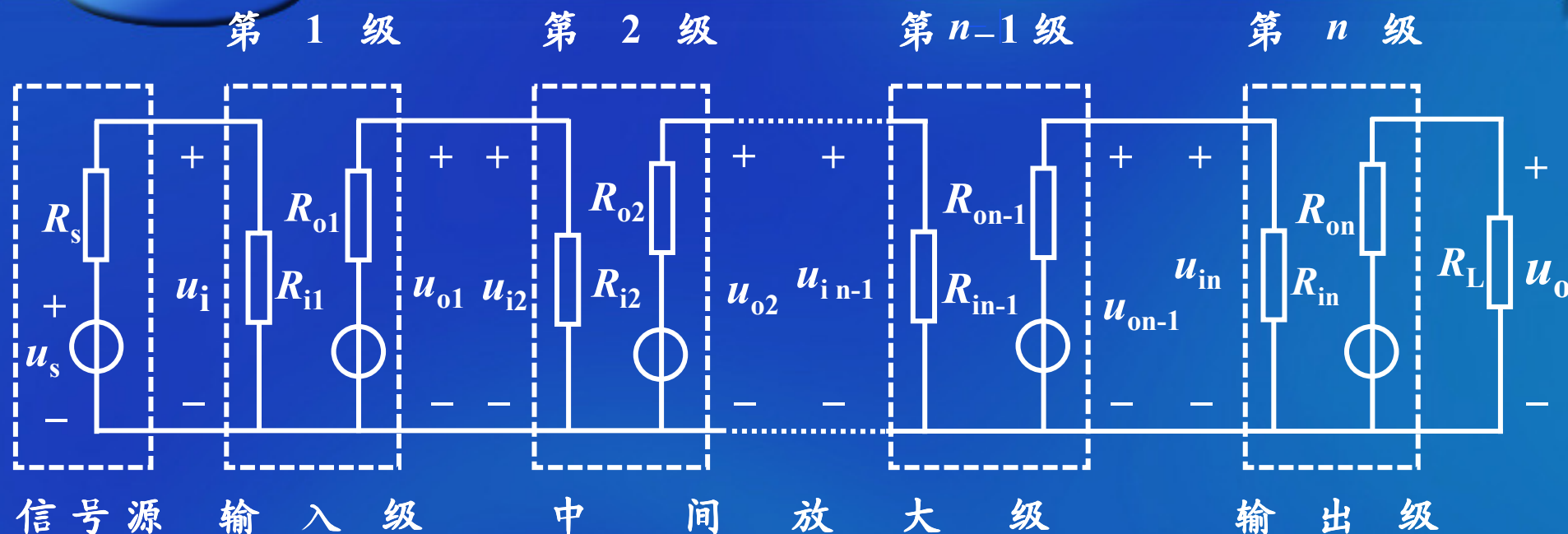


(2) 输入电阻

$$R_i = R_{i1}$$

(3) 输出电阻

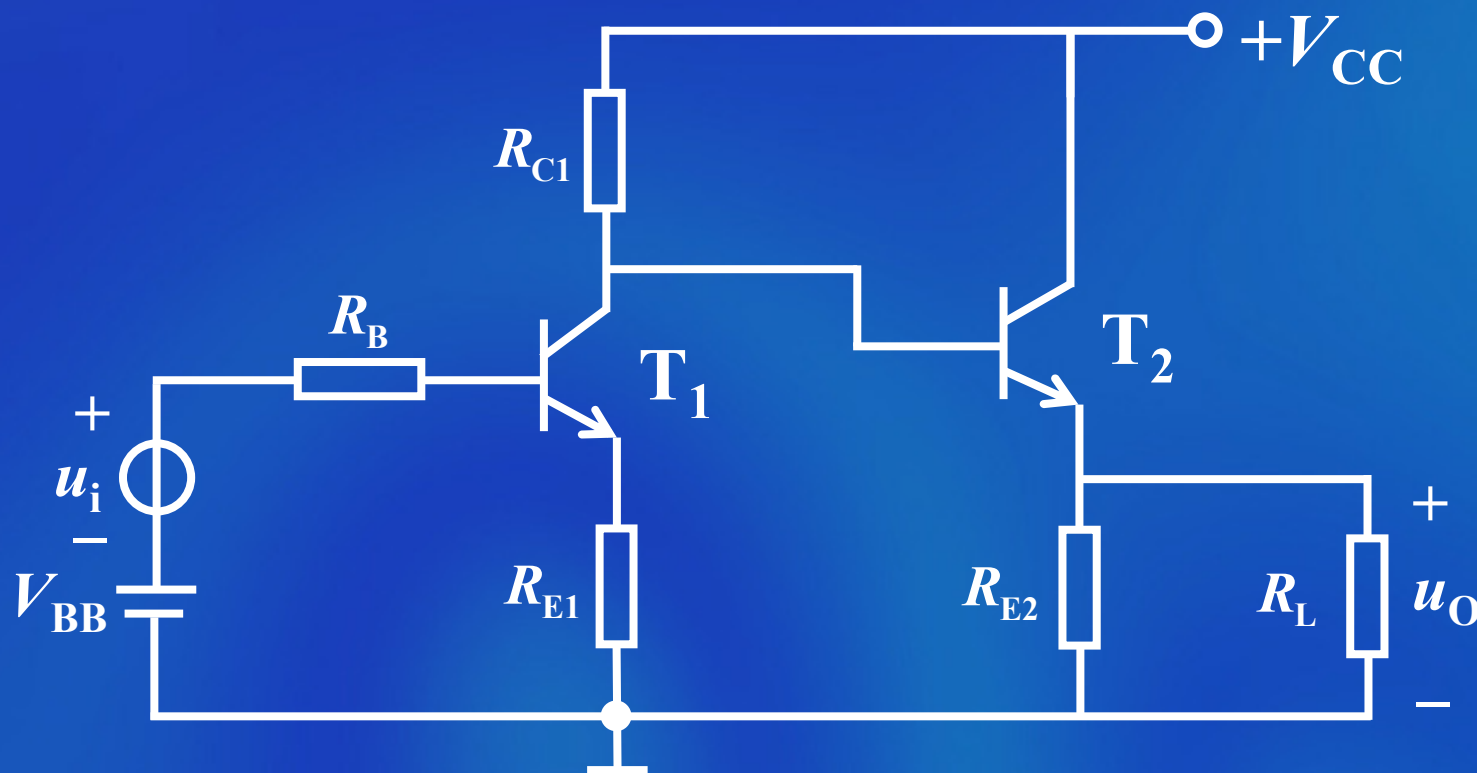
$$R_o = R_{on}$$

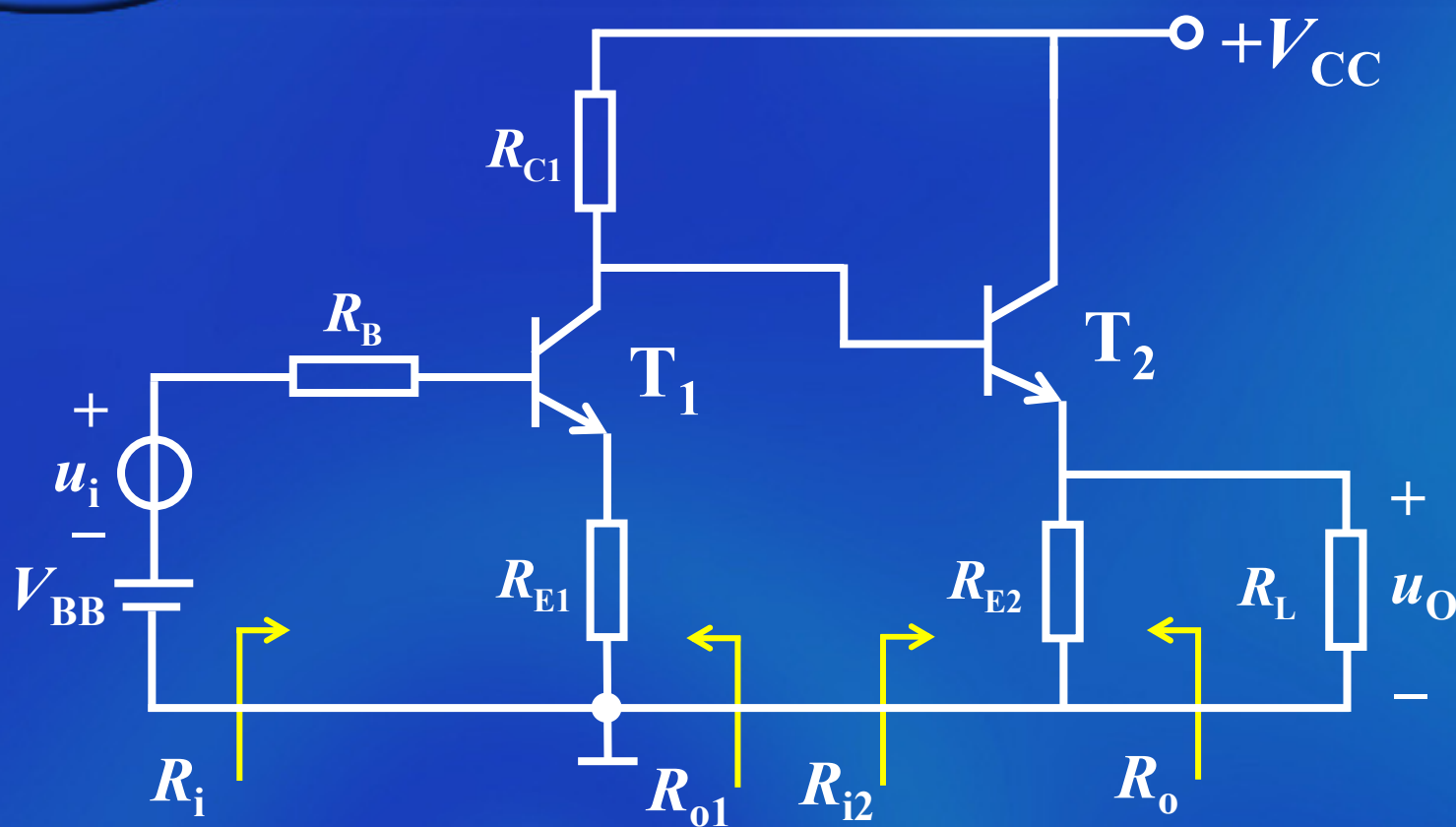


多级放大电路动态分析时应注意的两个问题:

- 后一级放大电路的输入电阻可视为前一级放大电路的负载电阻。
- 前一级放大电路的输出电阻可视为后一级放大电路的信号源内阻。

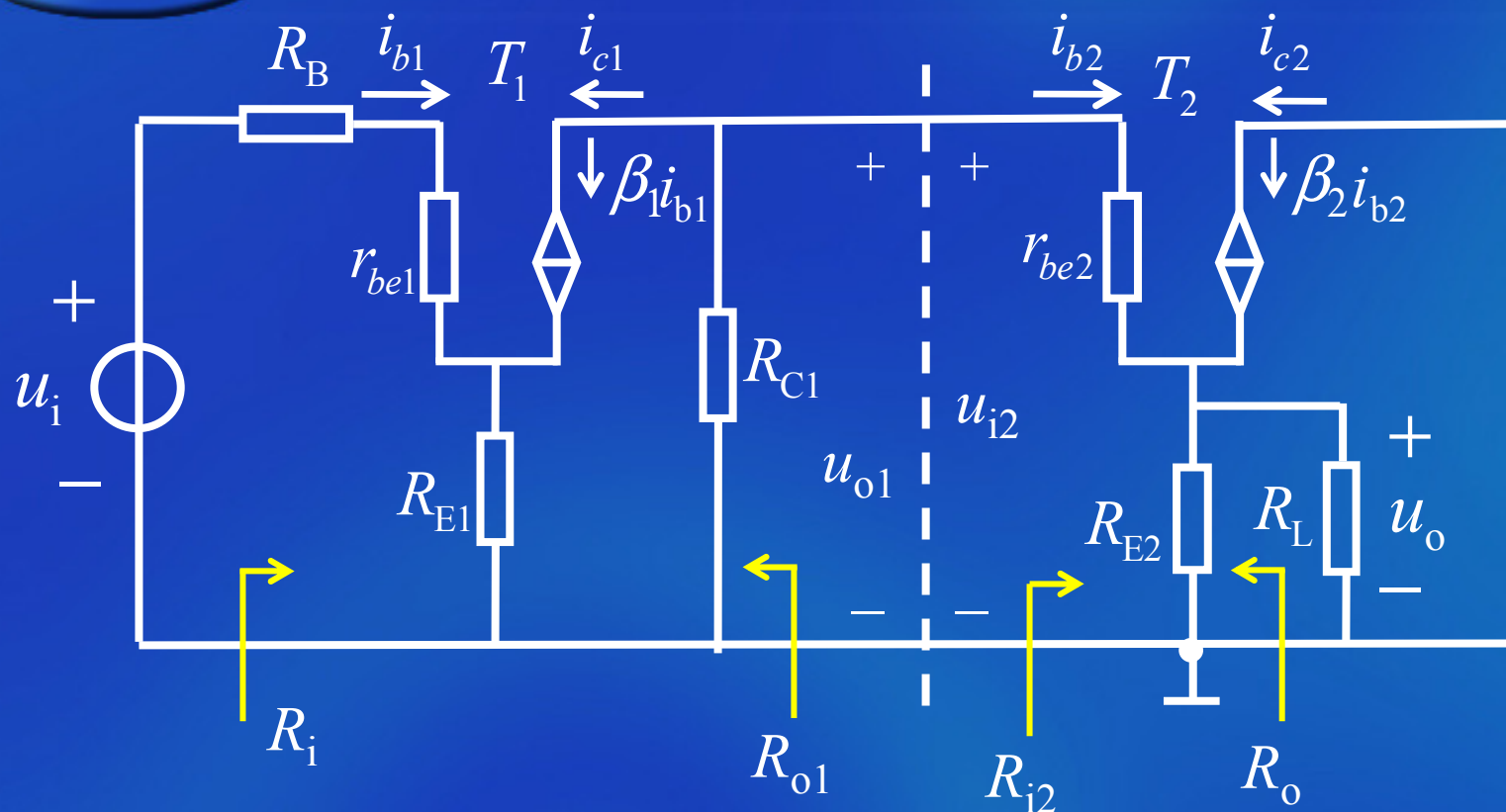
例 试写出图示放大电路的电压放大倍数 A_u 、输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 的表达式。





[解] 由图可知，放大电路是由两级放大电路组成。

第一级共射极放大电路，第二级共集电极放大电路

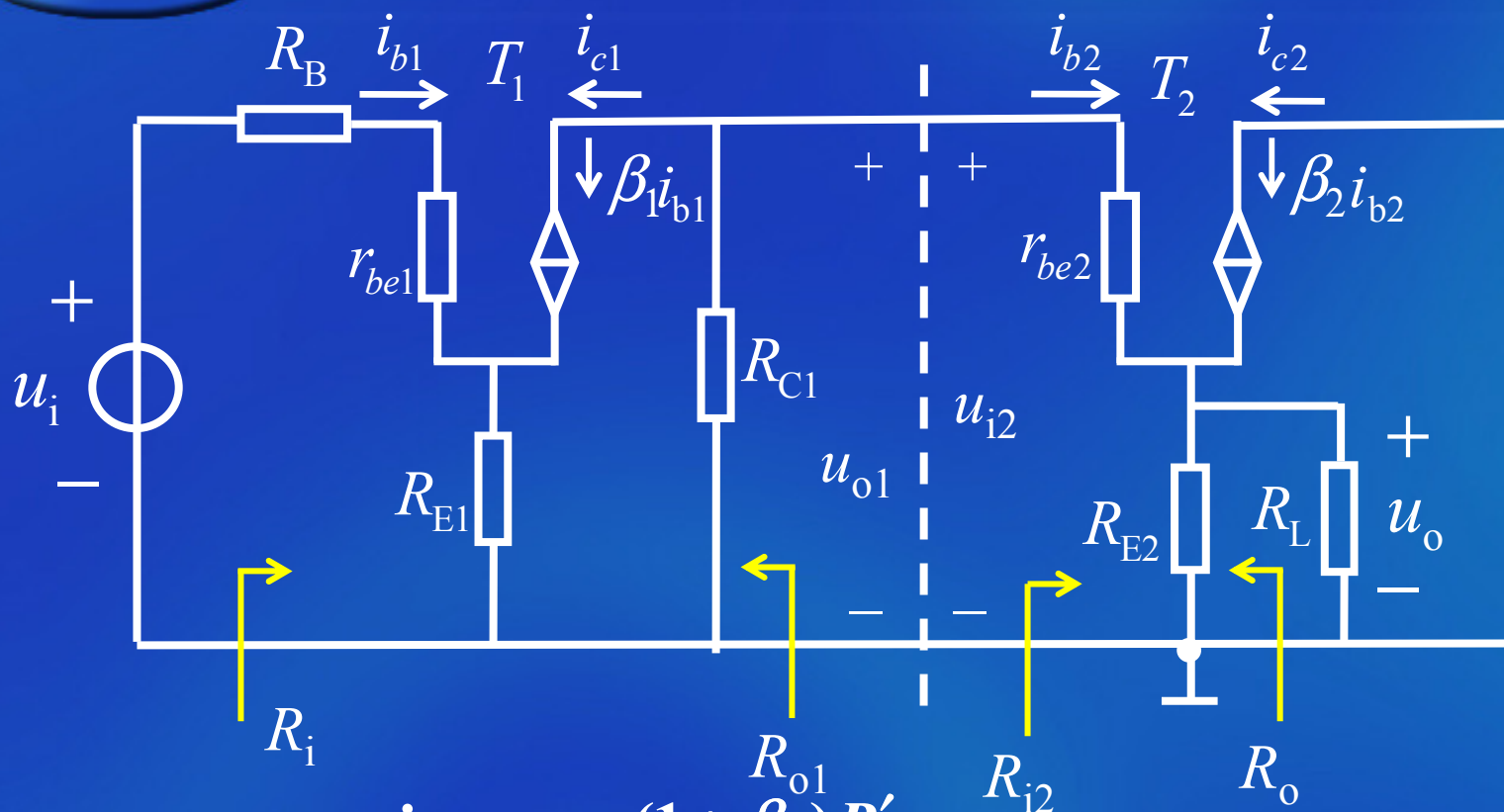


电压放大倍数

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \dot{A}_{u2} \quad \text{其中} \quad \dot{A}_{u1} = \frac{\dot{U}_{o1}}{\dot{U}_i} = \frac{-\beta_1 R'_{L1}}{R_B + r_{be1} + (1 + \beta_1) R_{E1}}$$

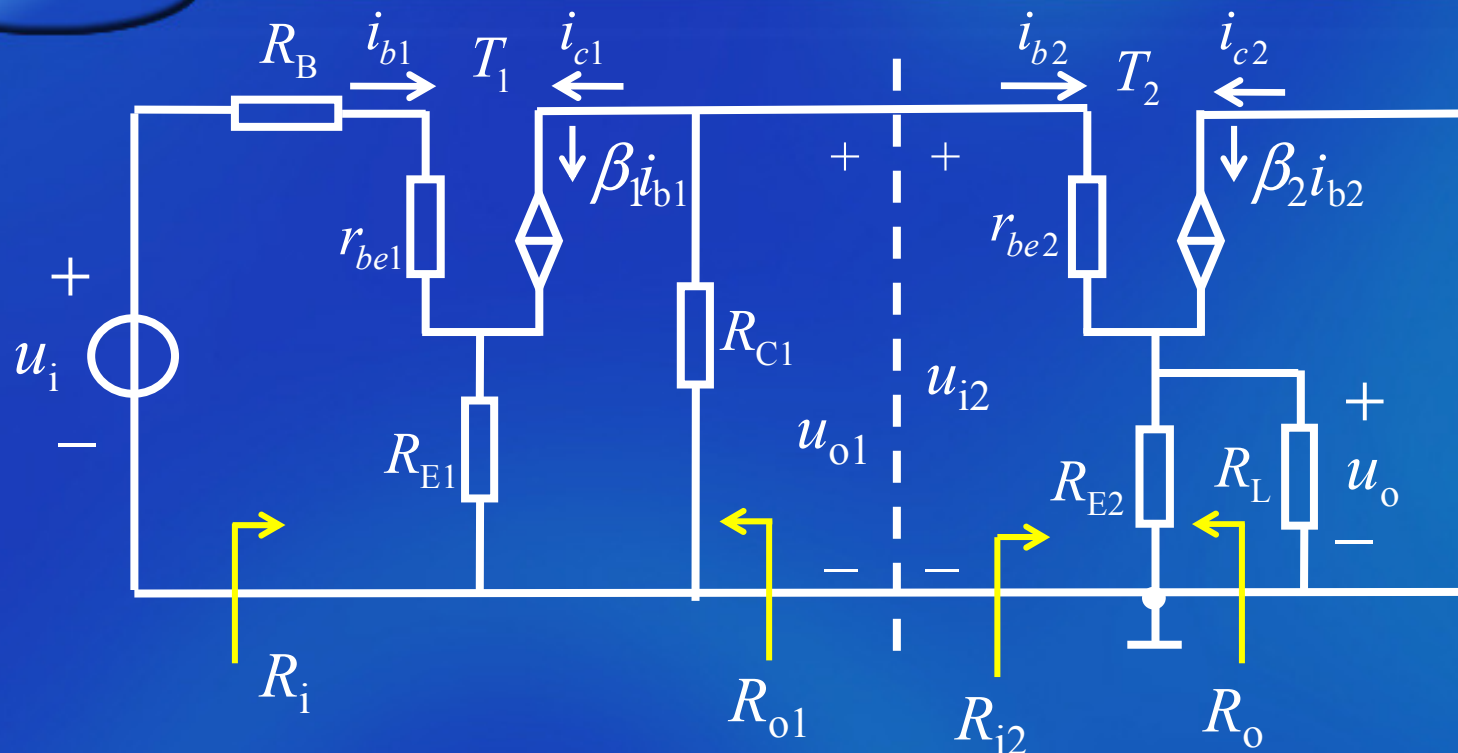
$$R'_{L1} = R_{C1} // R_{i2}$$

$$R_{i2} = r_{be2} + (1 + \beta_2)(R_{E2} // R_L)$$



故
$$\dot{A}_{u2} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_{i2}} = \frac{(1 + \beta_2) R'_{L2}}{r_{be2} + (1 + \beta_2) R'_{L2}} \approx 1 \quad R'_{L2} = R_{E2} // R_L$$

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \dot{A}_{u2} = \frac{-\beta_1 R'_{L1}}{R_B + r_{be1} + (1 + \beta_1) R_{E1}} \frac{(1 + \beta_2) R'_{L2}}{r_{be2} + (1 + \beta_2) R'_{L2}}$$



输入电阻 R_i

$$R_i = R_B + r_{be1} + (1 + \beta_1) R_{E1}$$

输出电阻

$$R_o = R_{E2} // \frac{r_{be2} + R_{o1}}{1 + \beta_2}$$

式中

$$R_{o1} = R_{C1}$$