

优点：反相放大电压

缺点1: r_i 和 r_o 并不理想

缺点2: 以简单方式确定静态Q点

Q点不稳定
易受T影响

中间级 $\leftarrow A_u < -1$

交流信号B入C出

(负载 R_L 接在C)

电路的性能受温度影响

§ 1

基本共射放大电路

结构区别

解决办法：稳定静态工作点

功能区别

§ 2

共集电极放大电路

应用区别

§ 3

分压偏置共射放大电路

§ 4

多级放大电路

第三章

基本放大电路

交流信号B入E出

(负载 R_L 接在E)

只能实现同相跟随

$0 < A_u < 1$ 且 $A_u \approx 1$

优点: r_i 很大 r_o 很小

适合用于多级放大电路的输入级和输出级

§ 3 分压偏置共射放大电路

一、基本共射放大电路的Q不稳定 → 减小动态范围 U_{omax}
易产生非线性失真

静态分析: $I_B = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_B}$ I_B 只和
 R_B 有关

固定偏置式共射放大电路

优点: 结构简单、容易调整

∴ 三极管参数受温度影响 P105

温度升高 → 三极管的 $\beta \uparrow$ 、 $I_{CBO} \uparrow$

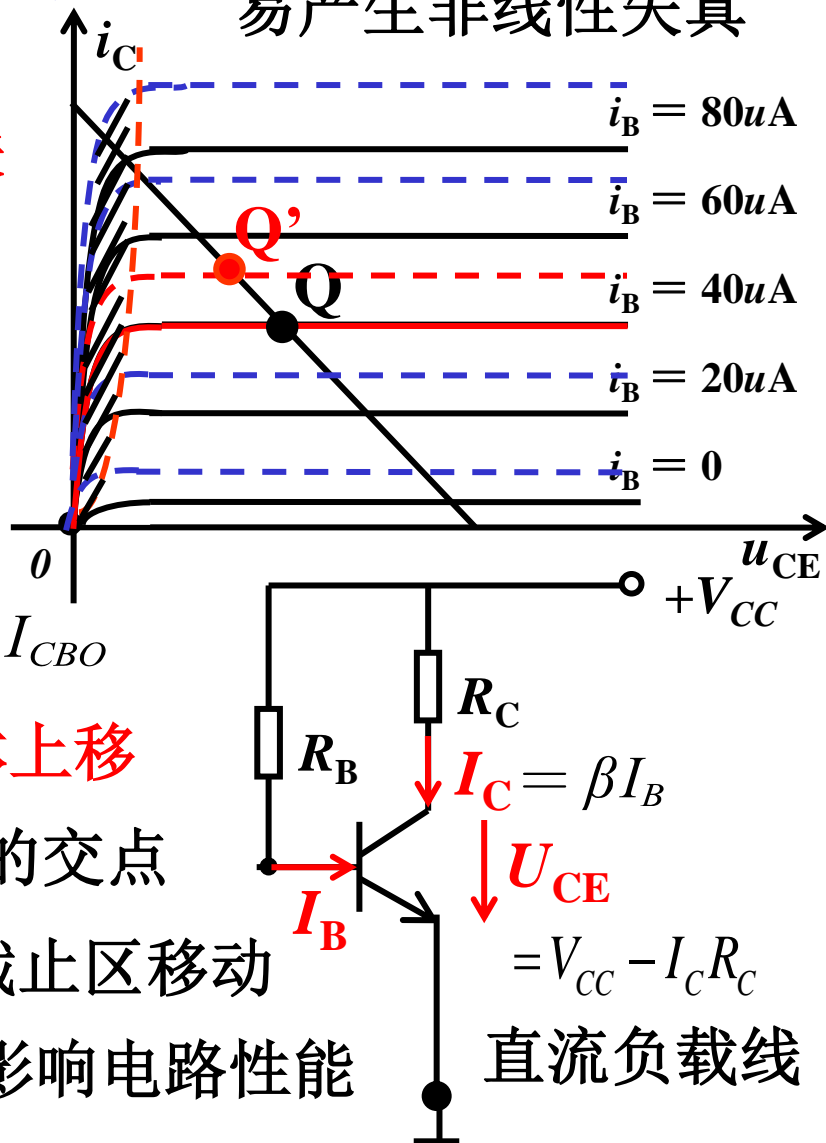
$$\therefore I_C \uparrow = \beta I_B + I_{CEO} = \beta I_B + (1 + \beta) I_{CBO}$$

∴ 温度升高时, 输出特性曲线会整体上移

Q点是直流负载线和输出特性曲线的交点

$T \uparrow \rightarrow Q$ 向饱和区移动, $T \downarrow \rightarrow Q$ 向截止区移动

缺点: 温度变化将引起Q点波动, 影响电路性能



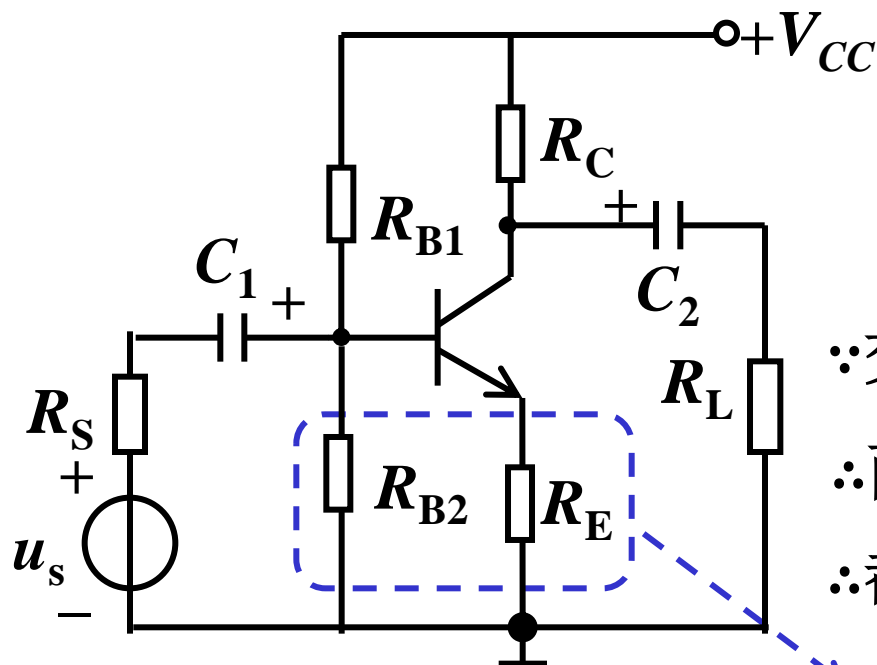
§ 3 分压偏置共射放大电路

一、基本共射放大电路的Q不稳定

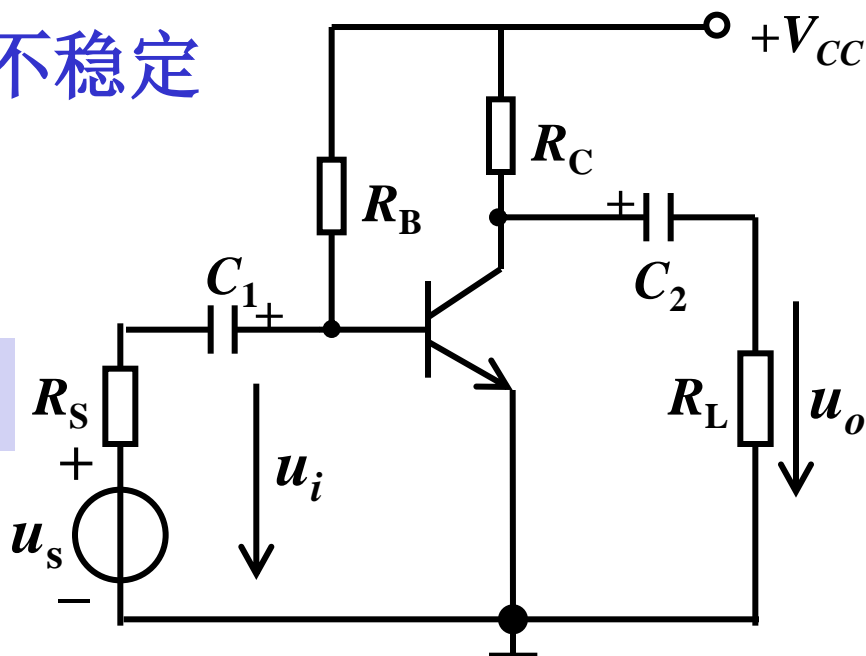
二、如何稳定静态工作点？

$T \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow Q \text{点上移} \quad \because I_C = \beta I_B$

方法: $T \uparrow \rightarrow$ **自动** $I_B \downarrow \rightarrow I_C \downarrow \rightarrow$ 稳定Q



分压偏置共射放大电路



固定偏置共射放大电路

∴交流仍然B入C出，以E为公共端

∴两个电路都是**共射接法**

∴都是实现对 u_i 的**反相放大**

$$A_u < -1$$

思考：它们的作用是什么？

§ 3 分压偏置共射放大电路

三、稳定静态工作点的过程

R_{B1} 和 R_{B2} 可近似看成串联关系

设计特点：通过合理设置 R_{B1} 和 R_{B2} ，使得 $I_2 \gg I_B$ $I_1 \approx I_2$

分压公式 $V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \times V_{CC}$ 固定值 $T \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow I_E \uparrow \xrightarrow{R_E} V_E \uparrow \xrightarrow{V_B \text{ 固定}} U_{BE} \downarrow$

R_{B1} 和 R_{B2} 大

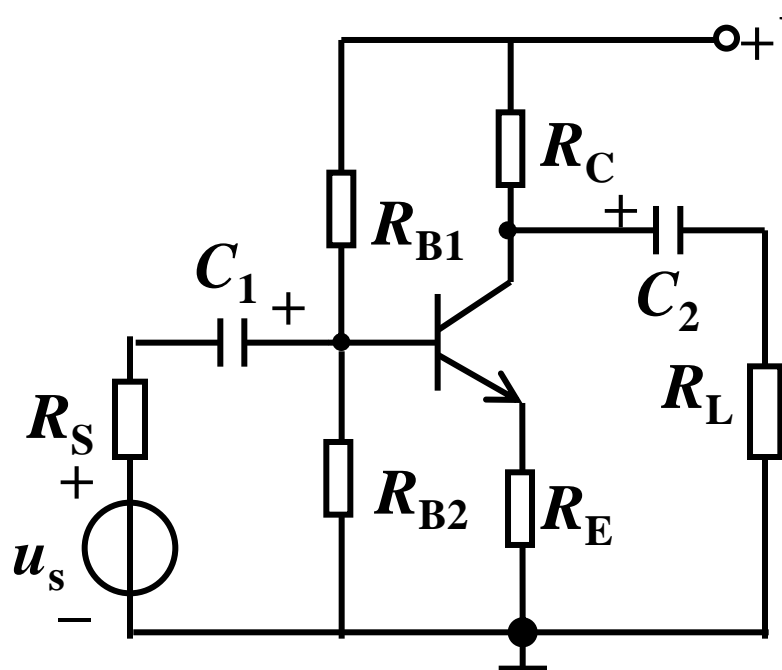
约几十kΩ

$$I_1 \approx I_2 \approx \frac{V_{CC}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

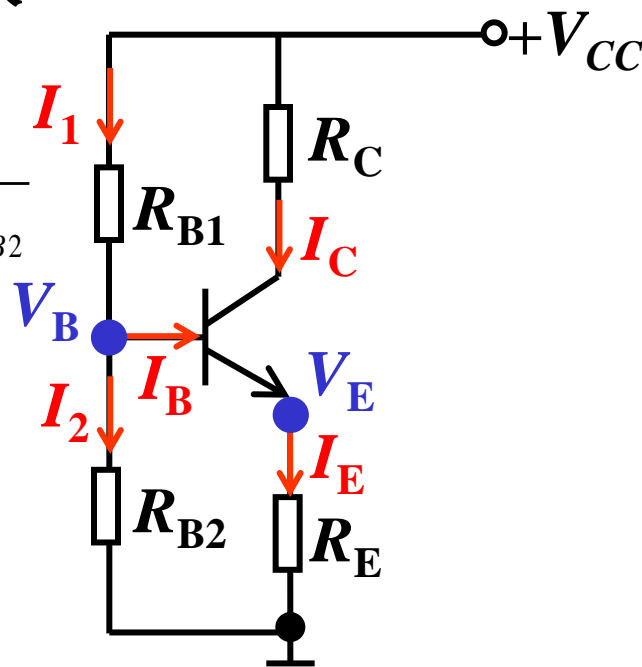
几百μA

直流通路

断开电容



分压偏置共射放大电路



§ 3 分压偏置共射放大电路

三、稳定静态工作点的过程

R_{B1} 和 R_{B2} 可近似看成串联关系

设计特点：通过合理设置 R_{B1} 和 R_{B2} ，使得 $I_2 \gg I_B$ $I_1 \approx I_2$

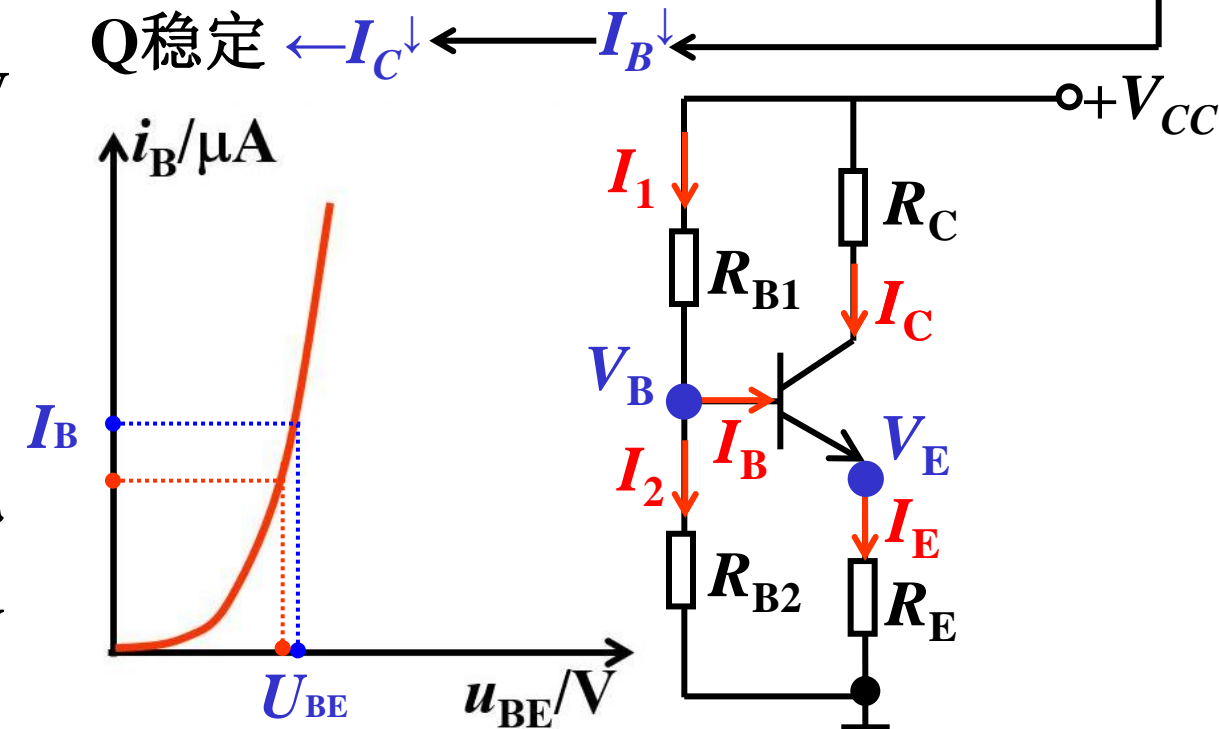
分压公式 $V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \times V_{CC}$ 固定值 $T \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow I_E \uparrow \xrightarrow{R_E} V_E \uparrow \xrightarrow{V_B \text{ 固定}} U_{BE} \downarrow$

管压降 U_{BE} 是0.6V~1V

关键：① R_E 的存在

∴ R_E 是输入和输出回路共有的元件

R_E 把输出端电流变化转换为 V_E 的变化，返送回输入端，使得输入端电压 U_{BE} 减小



∴ R_E 起负反馈作用 → 后续会详细介绍

§ 3 分压偏置共射放大电路

三、稳定静态工作点的过程

R_{B1} 和 R_{B2} 可近似看成串联关系

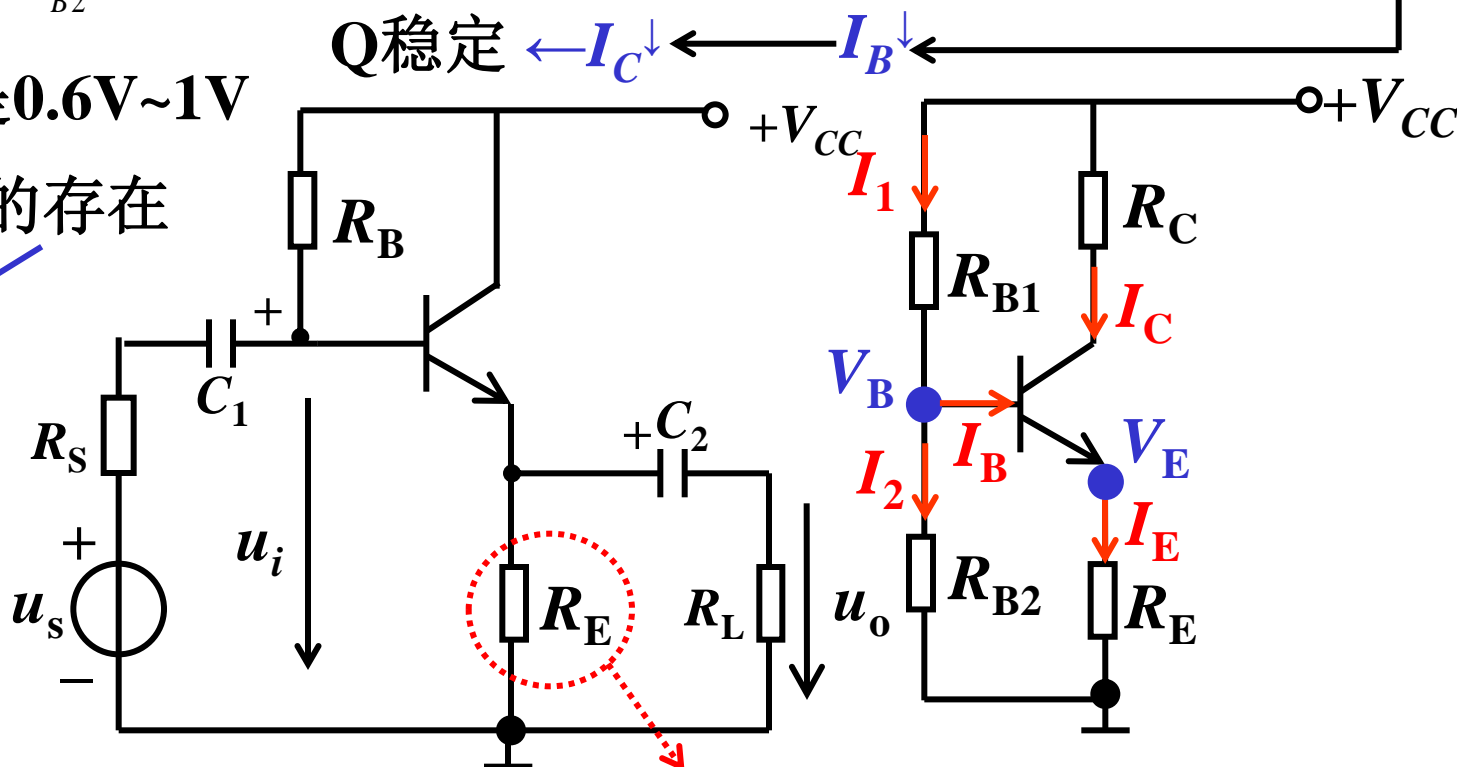
设计特点：通过合理设置 R_{B1} 和 R_{B2} ，使得 $I_2 \gg I_B$ $I_1 \approx I_2$

分压公式 $V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \times V_{CC}$ 固定值 $T \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow I_E \uparrow \xrightarrow{R_E} V_E \uparrow \xrightarrow{V_B \text{ 固定}} U_{BE} \downarrow$

管压降 U_{BE} 是0.6V~1V

关键：① R_E 的存在

可设计出
射极偏置
共发射极
放大电路



共集电极放大电路的Q点是否稳定？可以稳定静态工作点

§ 3 分压偏置共射放大电路

三、稳定静态工作点的过程

R_{B1} 和 R_{B2} 可近似看成串联关系

$$V_{CC} = I_B R_B + U_{BE} + I_E R_E$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - 0.7}{R_B + (1 + \beta) R_E}$$

$$= I_B R_B + U_{BE} + (1 + \beta) I_B R_E$$

I_B 和 R_B 与 R_E 有关

分压公式

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

$V_E \uparrow \xrightarrow{V_B \text{ 固定}} U_{BE} \downarrow$

I_B 和 R_{B1} R_{B2} R_E 有关

$$I_B = \frac{V_B - U_{BE}}{(1 + \beta) R_E}$$

关键：① R_E 的存在

② V_B 的固定

I_B 与T有关 $V_{CC} - I_B R_B = V_B'$

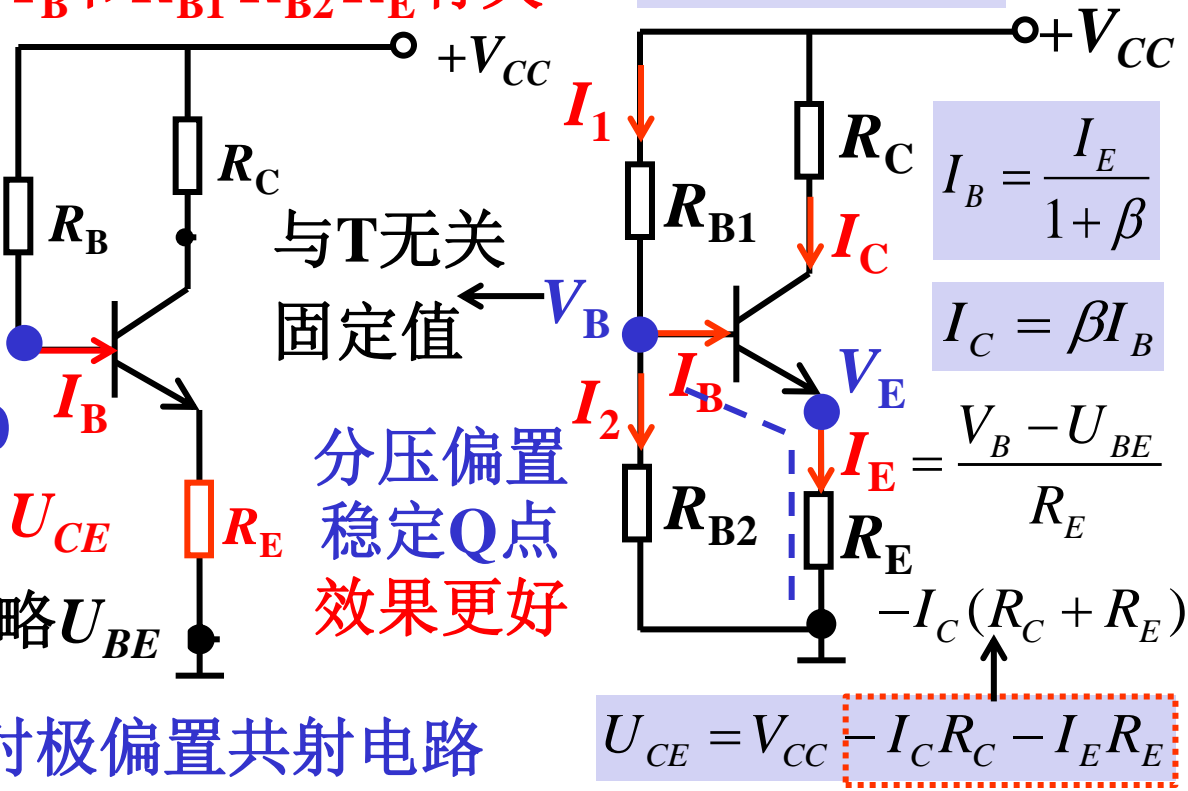
估算Q点的过程：P150

求 $V_B \rightarrow$ 求 $I_E \rightarrow$ 求 I_B, I_C, U_{CE}

$V_B = (3 \sim 5)V$ 求 I_E 不能忽略 U_{BE}

如何更精确求解Q?

射极偏置共射电路



方法二：精算法 → 戴维南定理求 I_B P153

例5-3

步骤1：断开电容，画出直流通路

步骤2：求静态工作点 如何求 I_B ？

估算法

$$I_B = \frac{V_B - U_{BE}}{(1 + \beta)R_E} V_B$$

① 取出待求支路

② 求开路电压 $U_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \times V_{CC}$

③ 求除源后的等效电阻

④ 画出等效电压源

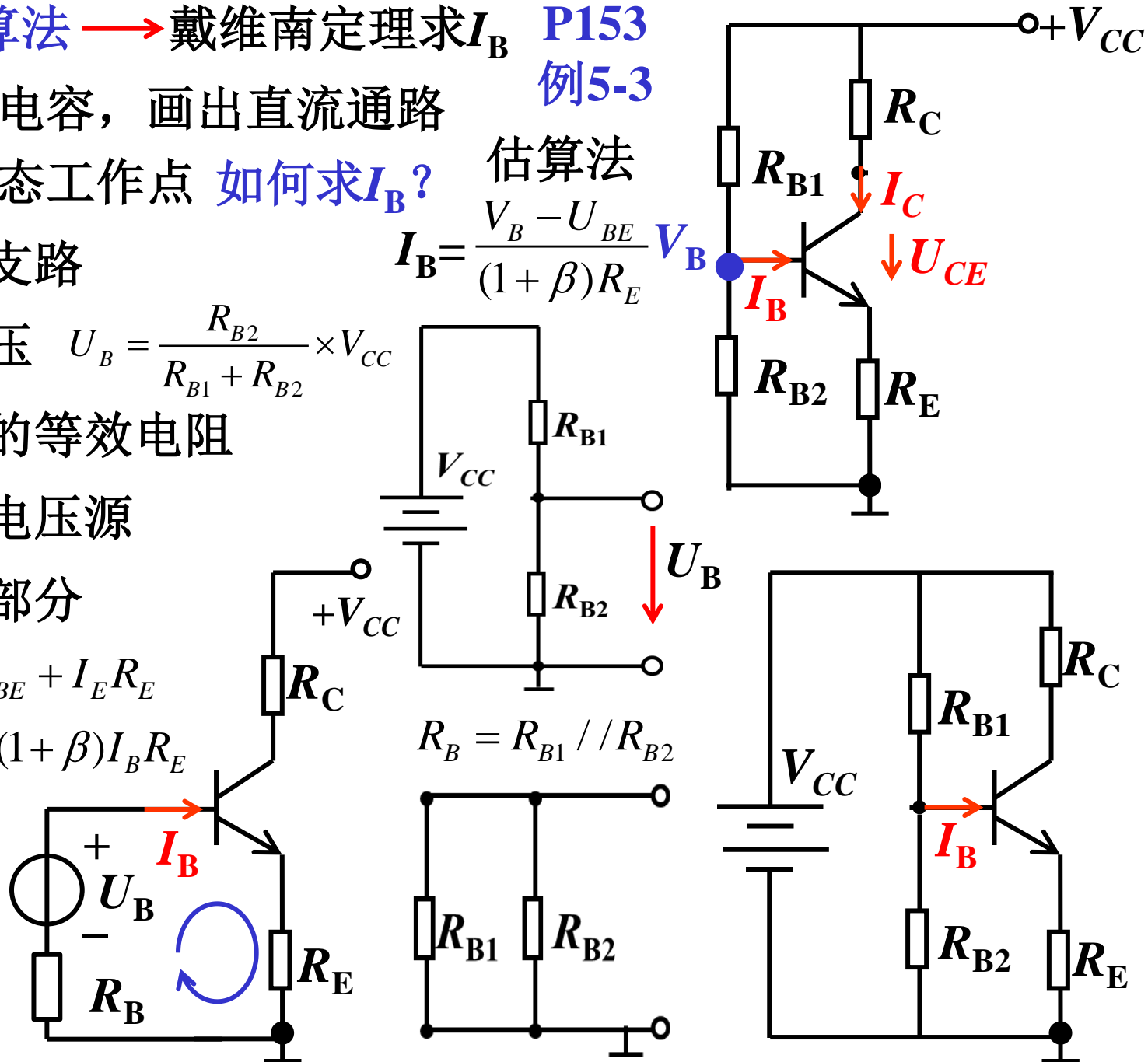
⑤ 放入擦除部分

$$U_B = I_B R_B + U_{BE} + I_E R_E$$

$$= I_B R_B + U_{BE} + (1 + \beta) I_B R_E$$

$$I_B = \frac{U_B - U_{BE}}{R_B + (1 + \beta) R_E}$$

与估算法
差异不大



方法二：精算法 → 戴维南定理求 I_B

步骤1：断开电容，画出直流通路

步骤2：求静态工作点

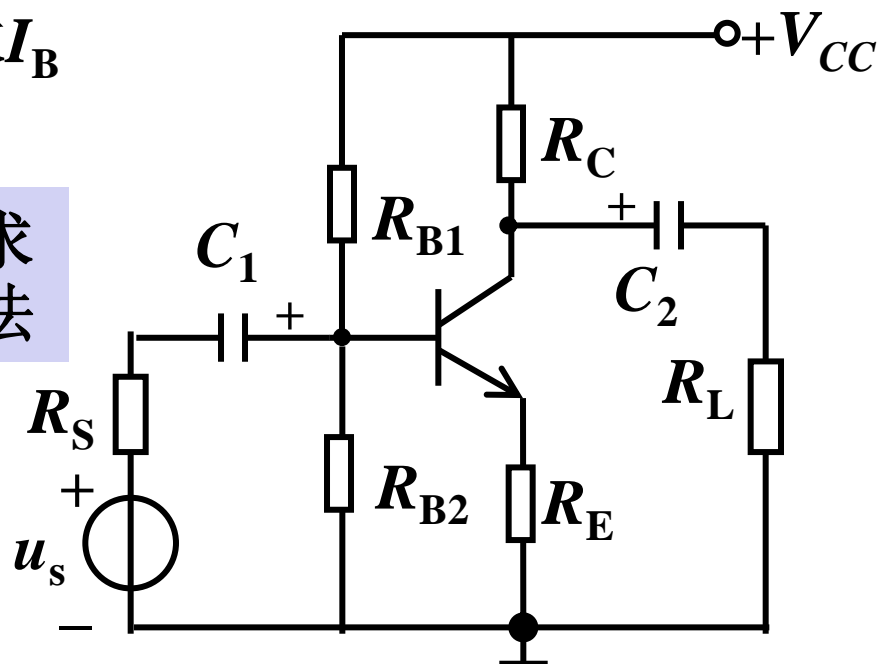
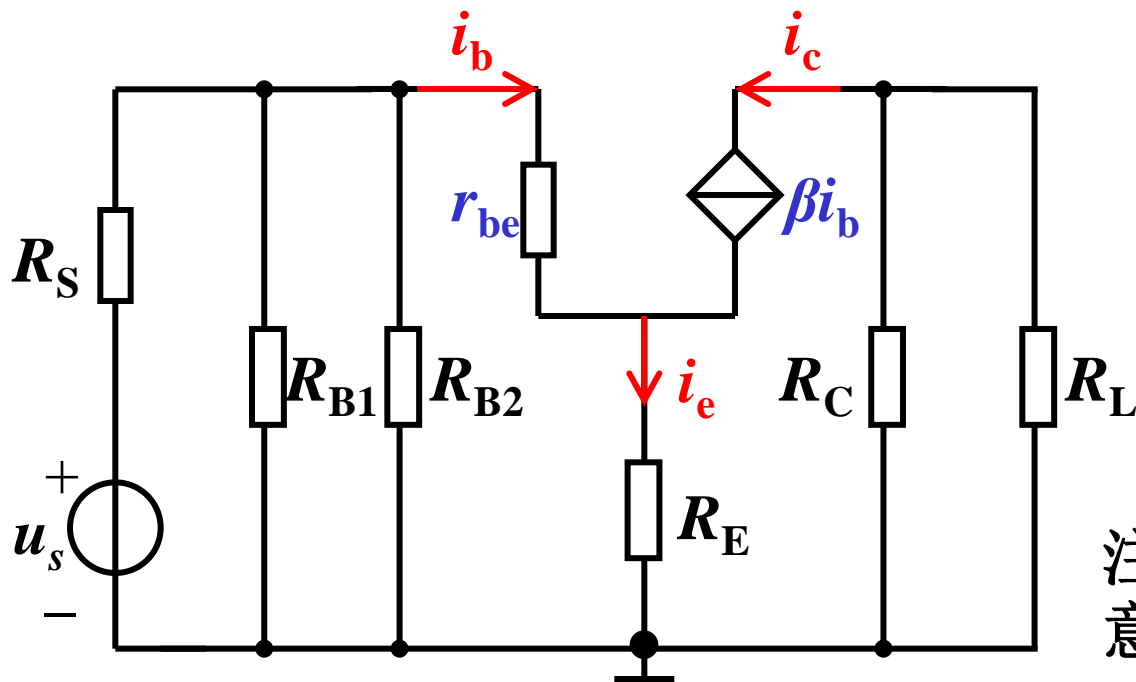
方法一：估算法

无特殊要求
可用估算法

求 $V_B \rightarrow$ 求 $I_E \rightarrow$ 求 $I_B \rightarrow$ 求 $I_C \rightarrow$ 求 U_{CE}

四、动态分析过程 → 估算法

步骤1：画出微变等效电路



画图顺序：

- ① 画 T 的微变等效模型
- ② 画发射极电路
- ③ 画基极电路
- ④ 画集电极电路

注意 { 遇到 $+V_{CC}$ 做接地处理
遇到电容做短路处理

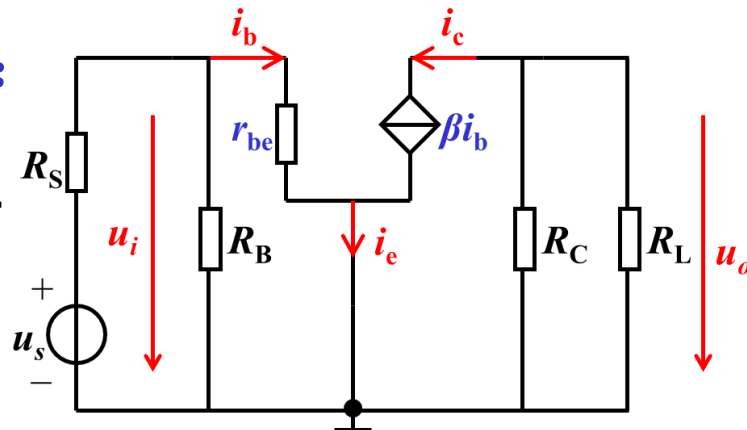
步骤2: 计算动态性能指标 $|A_u|$ **比基本共射小但更稳定** 不受 β 影响

$$\textcircled{1} A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{-i_c(R_C // R_L)}{i_b r_{be} + i_e R_E} = \frac{-\cancel{\beta} i_b (R_C // R_L)}{\cancel{i_b} r_{be} + (1 + \cancel{\beta}) \cancel{i_b} R_E} < -1 \quad A_u \approx \frac{-(R_C // R_L)}{R_E}$$

无 R_E ← 固定偏置共射放大电路:

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{-i_c(R_C // R_L)}{i_b r_{be}} = \frac{-\cancel{\beta} i_b (R_C // R_L)}{\cancel{i_b} r_{be}}$$

负反馈牺牲 A_u 来换取其他性能的改善

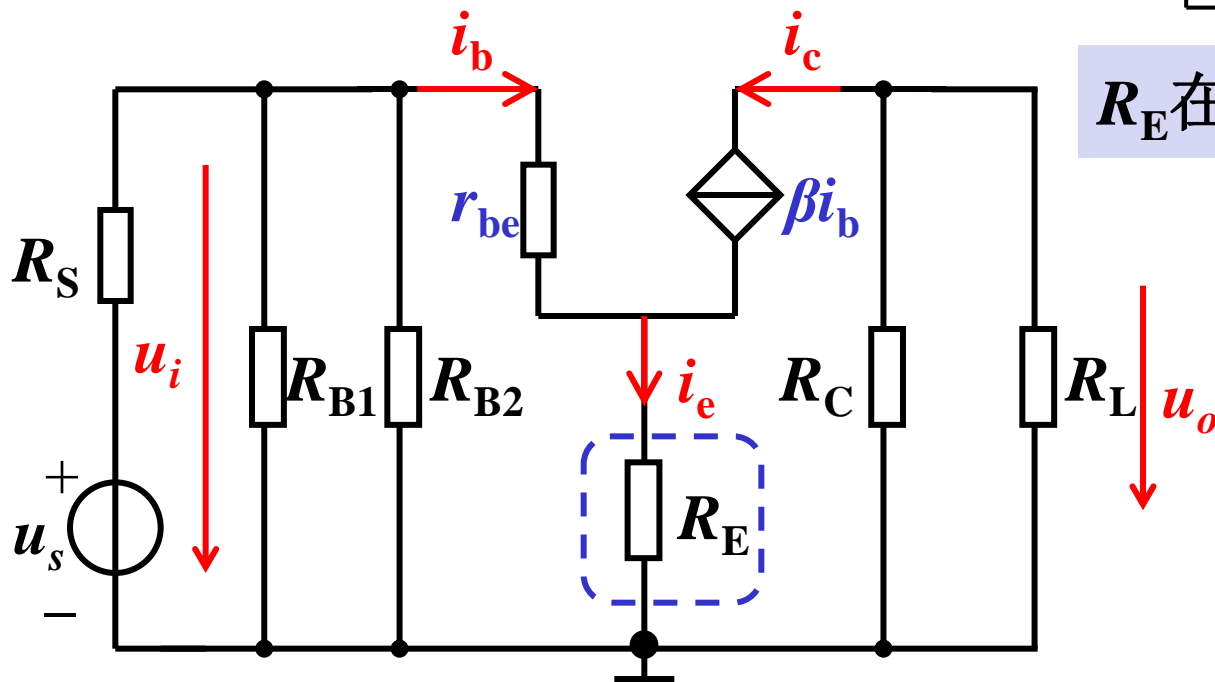


R_E 在稳定Q的同时降低了 A_u

如何解决 A_u 的下降?

∴ **Q**是直流参数
而 A_u 是交流参数

∴ 可让 R_E 只对直流起作用
对交流不起作用



做法：在 R_E 两端**并联**旁路电容 C_e

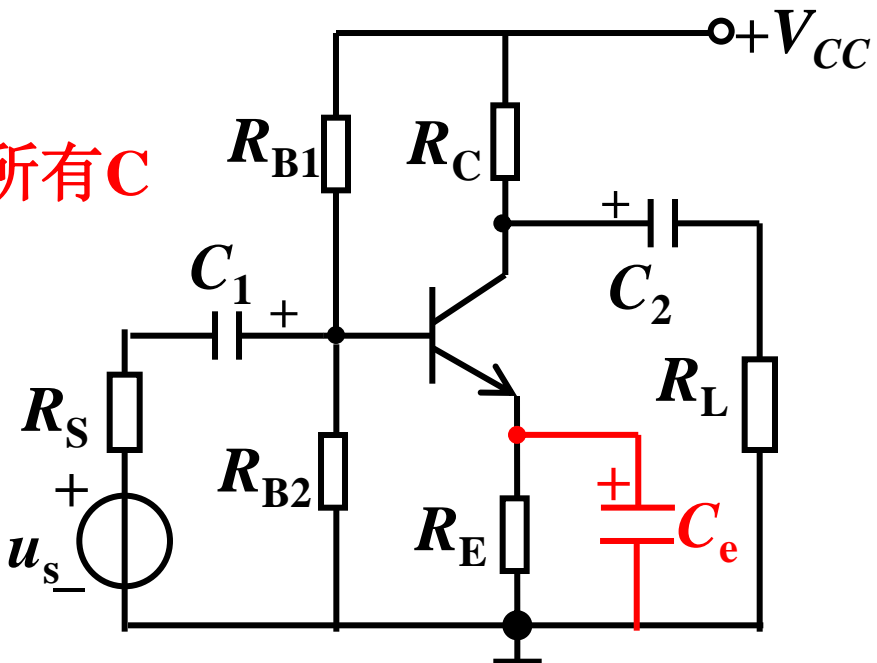
注意：静态分析没有影响→ **断开所有C**

注意：动态分析影响很大

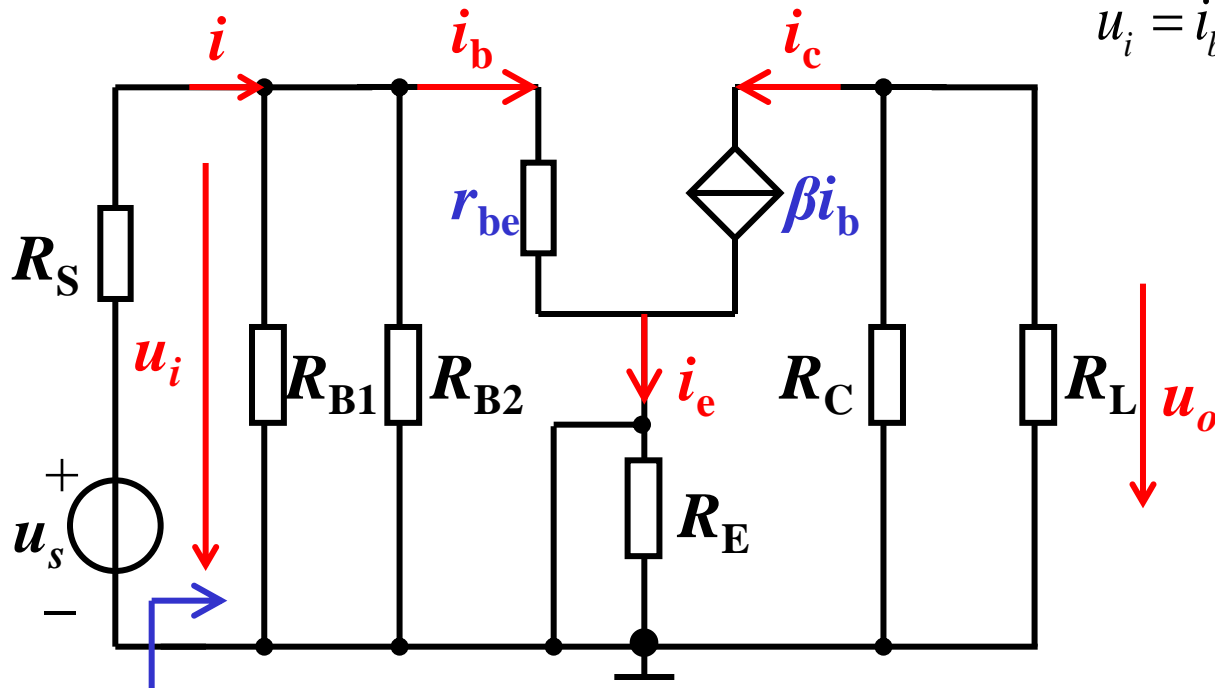
$$A'_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{-i_c(R_C // R_L)}{i_b r_{be}} = \frac{-\beta(R_C // R_L)}{r_{be}}$$

② r_i : 有 $C_e \rightarrow r_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be} \approx r_{be}$ **较小**

无 $C_e \rightarrow r_i = R_{B1} // R_{B2} // [r_{be} + (1 + \beta)R_E]$



$$u_i = i_b r_{be} + i_e R_E = i_b [r_{be} + (1 + \beta)R_E]$$



$$\begin{aligned} r_i &= \frac{u_i}{i} = \frac{u_i}{\frac{u_i}{R_{B1}} + \frac{u_i}{R_{B2}} + i_b} \\ &= \frac{\cancel{u_i}}{\frac{\cancel{u_i}}{R_{B1}} + \frac{\cancel{u_i}}{R_{B2}} + \frac{\cancel{u_i}}{r_{be} + (1 + \beta)R_E}} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{R_{B1}} + \frac{1}{R_{B2}} + \frac{1}{r_{be} + (1 + \beta)R_E}} \end{aligned}$$

做法：在 R_E 两端**并联**旁路电容 C_e

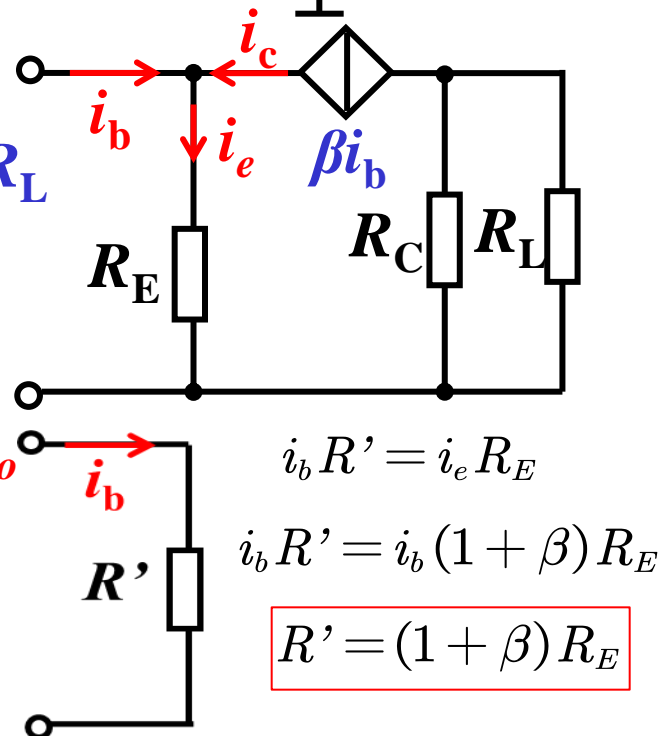
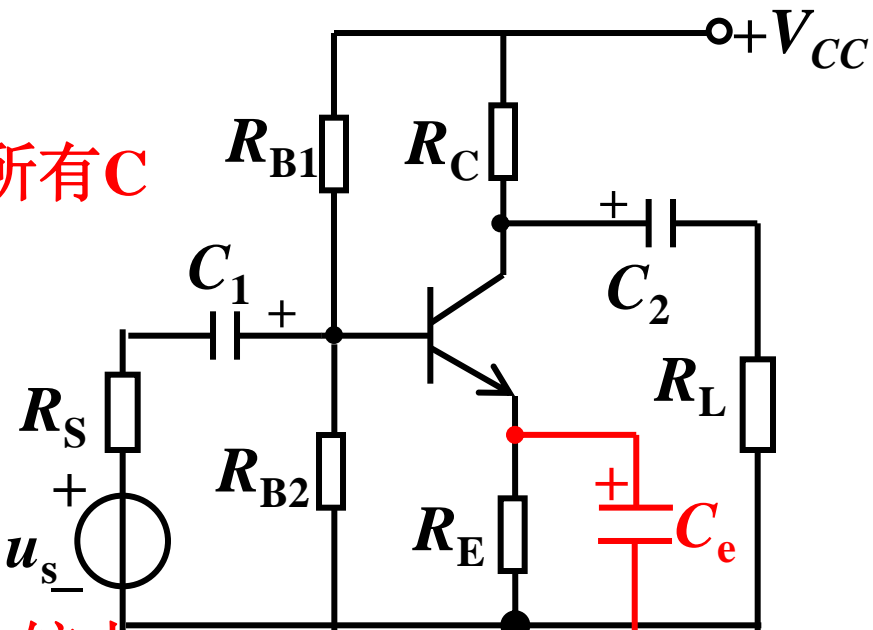
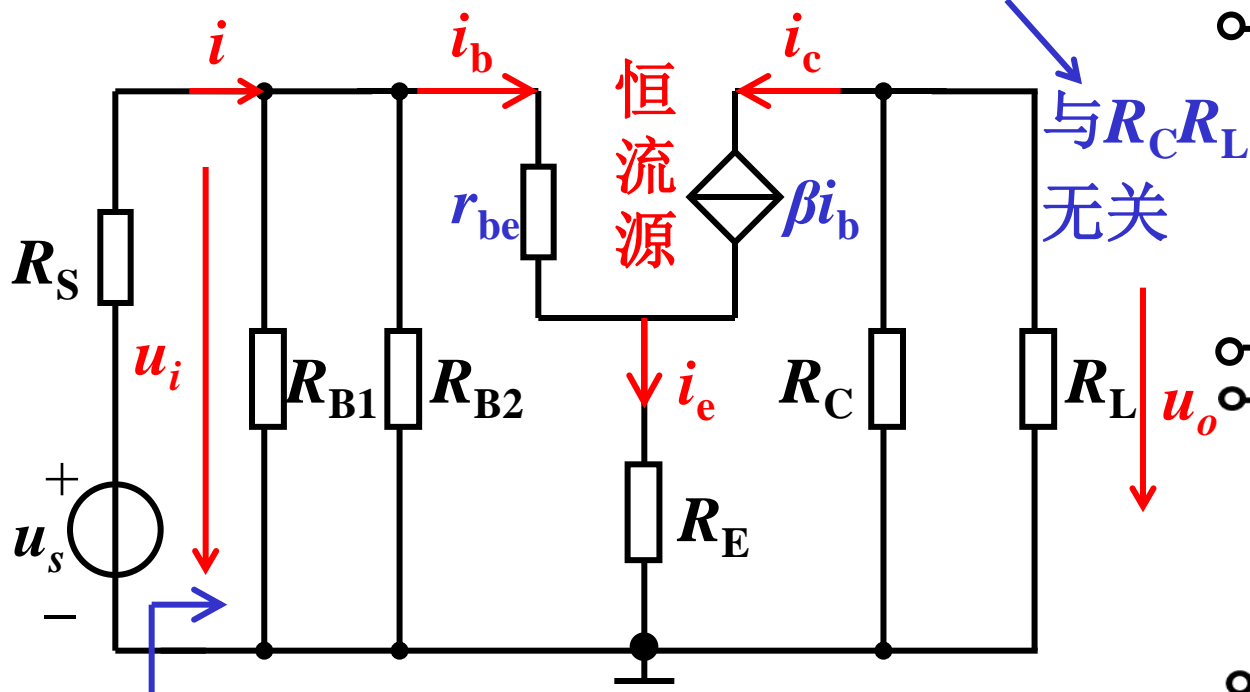
注意：静态分析没有影响→ **断开所有C**

注意：动态分析影响很大

R_E 牺牲 A_u 来稳定 A_u 和增大 r_i

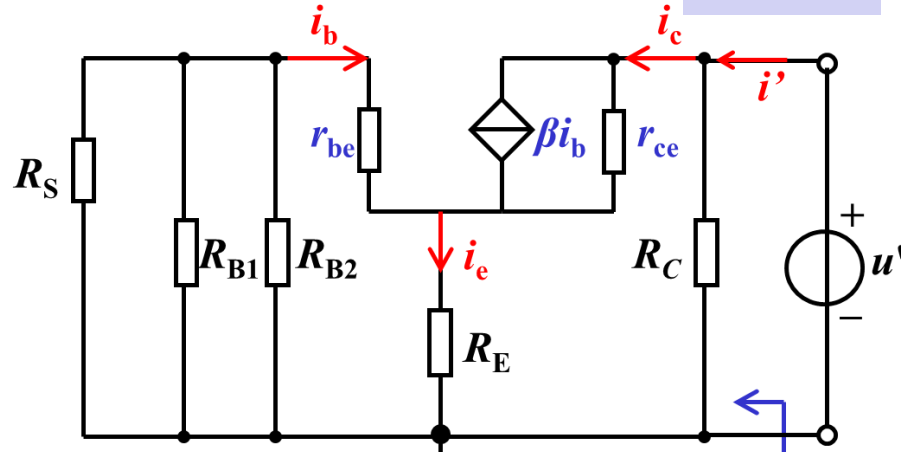
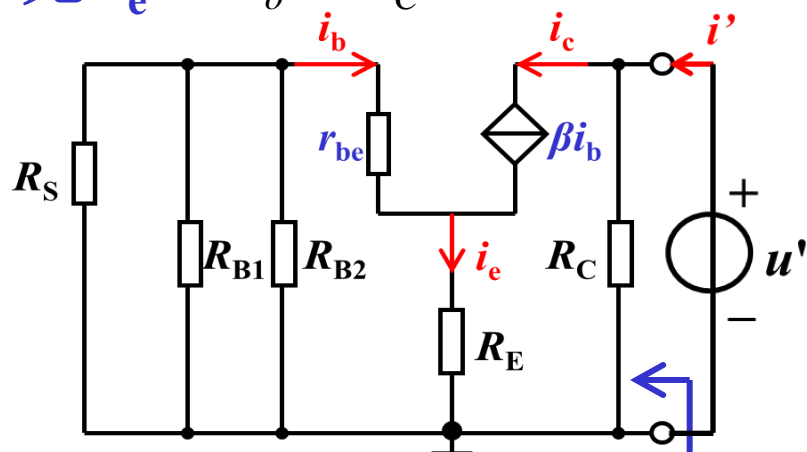
② r_i : 有 $C_e \rightarrow r_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be} \approx r_{be}$ **较小**

无 $C_e \rightarrow r_i = R_{B1} // R_{B2} // [r_{be} + (1 + \beta)R_E]$ **较大**

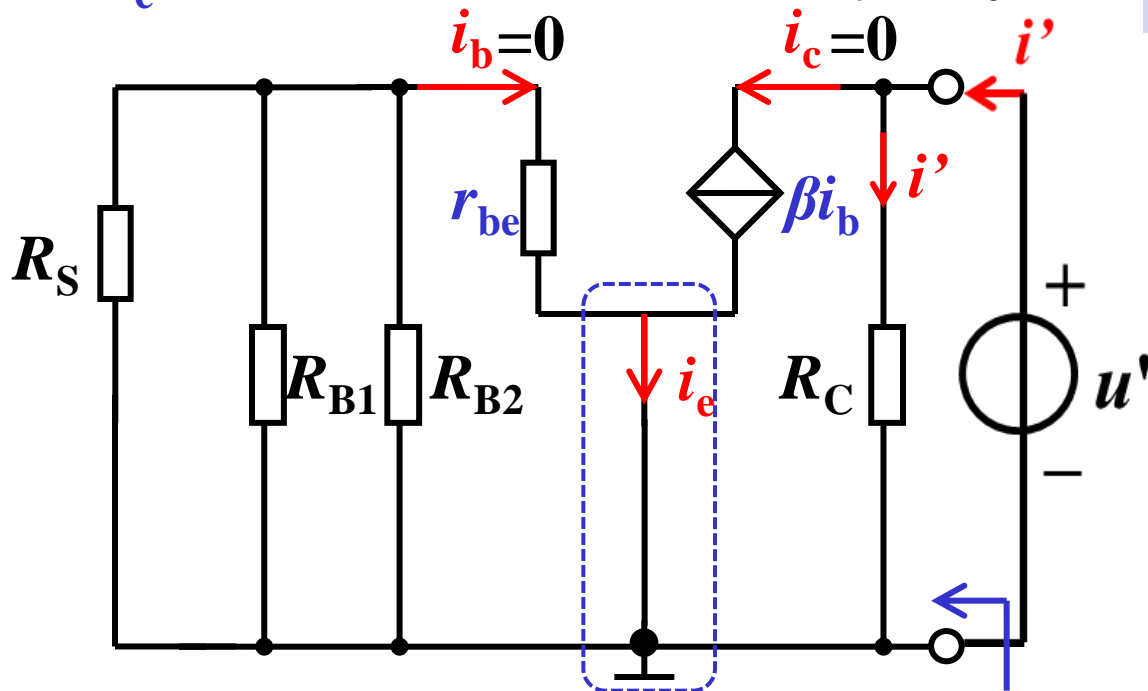


③ 输出电阻 r_o r' 与 r_{ce} 有关 $\because r' > r_{ce} \approx \infty \therefore r_o \approx R_C$ **P152**

无 C_e : $r_o = R_C // r'$ r' 的求解不要求 对于左图而言可认为 $r_o = R_C$



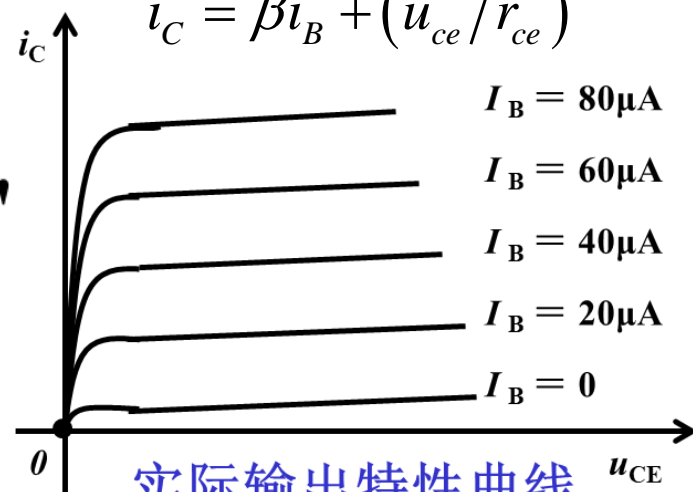
有 C_e : \because 导线把后面短路 $\rightarrow r_o = R_C$



所有共射接法的 $r_o = R_C$

$$r_{ce} = \Delta u_{ce} / \Delta i_c \approx \infty$$

$$i_C = \beta i_B + (u_{ce} / r_{ce})$$



实际输出特性曲线

总结： § 3 分压偏置共射放大电路

优点：可以稳定静态工作点 P150

关键： R_E 引入负反馈； V_B 固定不变

特点： R_{B1} 和 R_{B2} 可近似看成串联关系

静态分析：无特殊说明采用估算法

求 $V_B \rightarrow$ 求 $I_E \rightarrow$ 求 $I_B \rightarrow$ 求 $I_C \rightarrow$ 求 U_{CE}

动态分析： R_E 对交流有负反馈

有旁路电容 C_e | 无旁路电容 C_e | $|A_u|$ 小但稳定

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

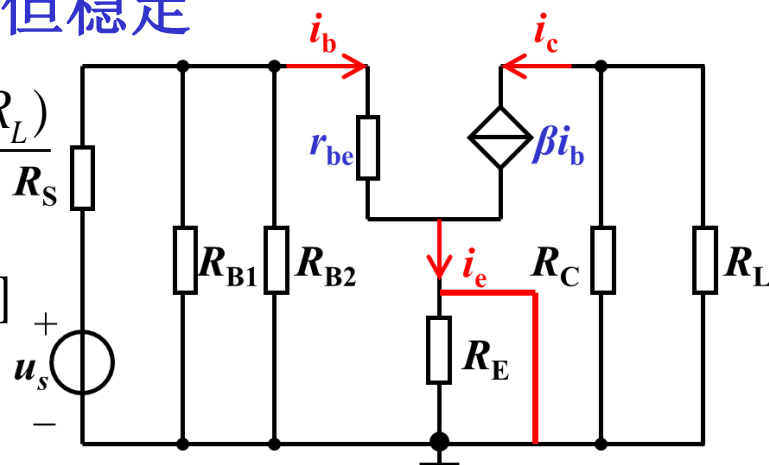
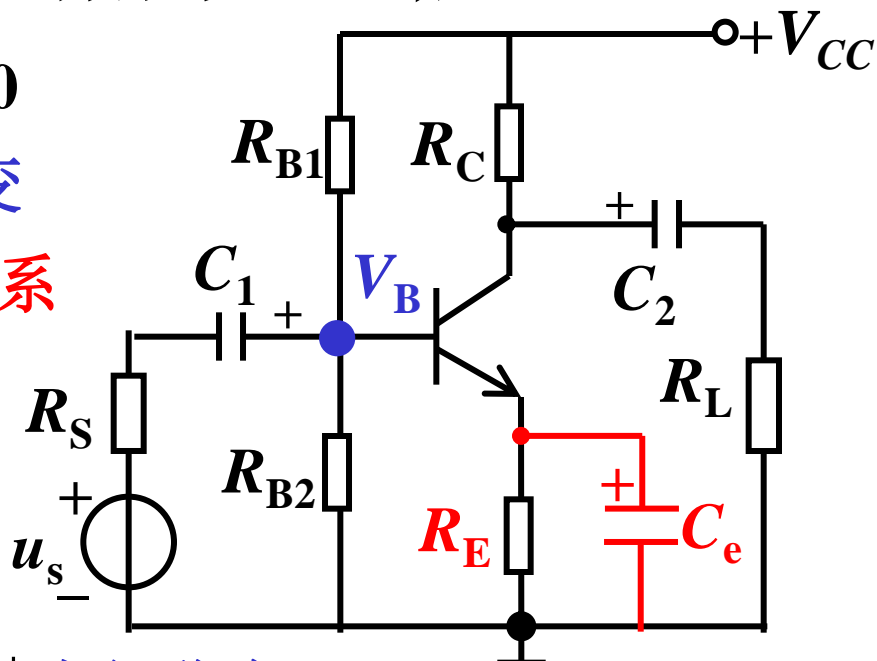
$$r_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be}$$

$$r_o = R_C$$

$$A_u = \frac{-\beta(R_C // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_E} \approx \frac{-(R_C // R_L)}{R_E} \frac{R_s}{R_s}$$

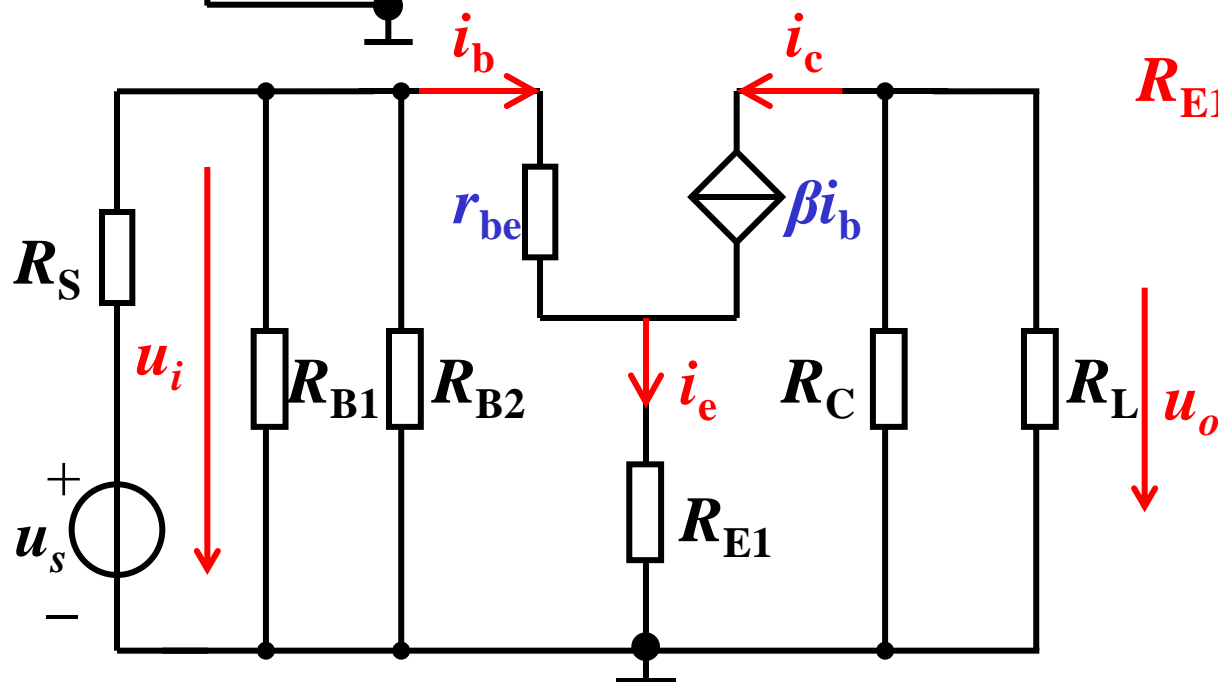
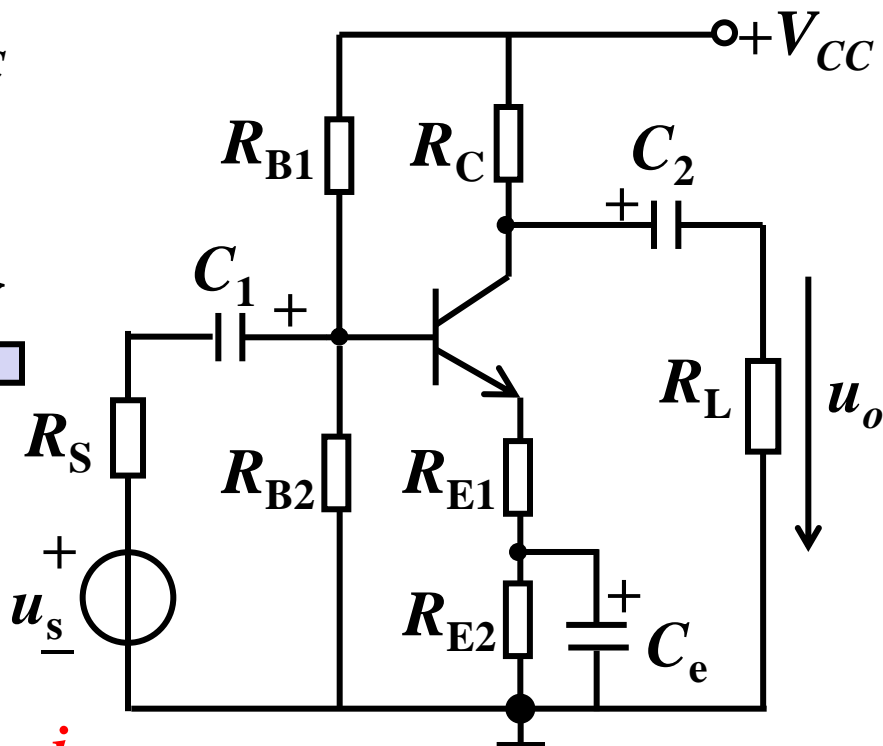
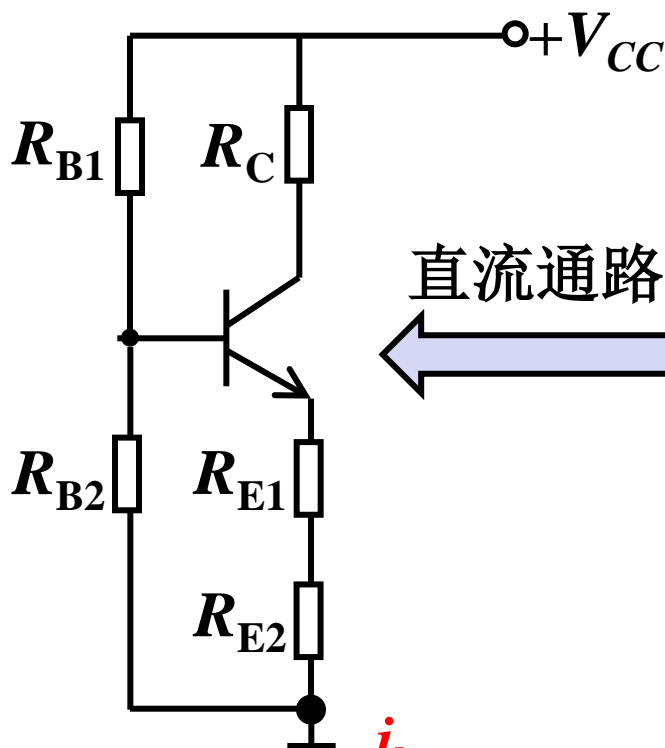
$$r_i = R_{B1} // R_{B2} // [r_{be} + (1 + \beta)R_E]$$

$$r_o = R_C$$



如果希望 R_E 不影响动态指标，可在 R_E 两端并联旁路电容 C_e

发射极电阻越大，
稳定静态
工作点的
效果越好



$$R_{E1} < R_{E2}$$

R_{E1} 较小，对
 A_u 影响较小

牺牲少量 A_u
来稳定 A_u 和
增大 r_i

	基本共发射极放大电路（固定偏置）	分压偏置共发射极放大电路	共集电极放大电路（射极偏置）
电路图			
静态工作点 Q			
微变等效电路	只要写公式，不要求计算，尽量写标准表达式		
电压放大倍数			
输入电阻			
输出电阻			