



# 第九章 分立元件放大电路

- 9.1 放大概述
- 9.2 放大电路的组成和工作原理
- 9.3 放大电路的分析方法
- 9.4 常用单管放大电路
- 9.5 放大电路的频率响应和其它\*



## 9.4.1分压偏置放大电路(共射放大电路)

### 静态工作点稳定

合理设置静态工作点是保证放大电路正常工作的条件

放大电路的静态工作点常因外界条件的变化而发生变动

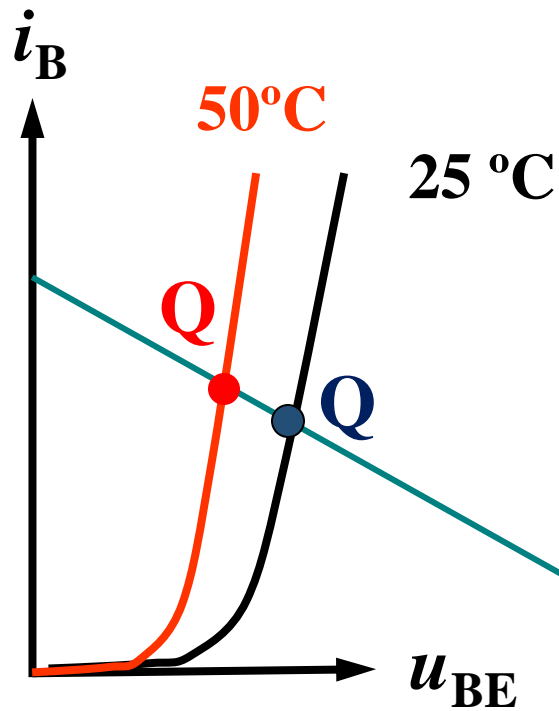
温度变化、三极管老化、电源电压波动等

如： 早期冬天生产出的收音机夏天不好用  
夏天生产出的冬天不好用

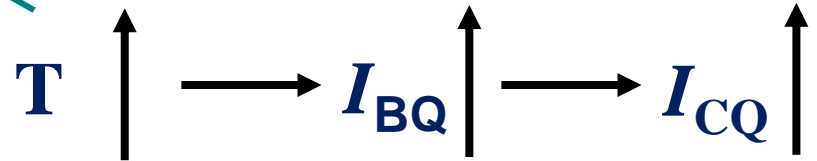
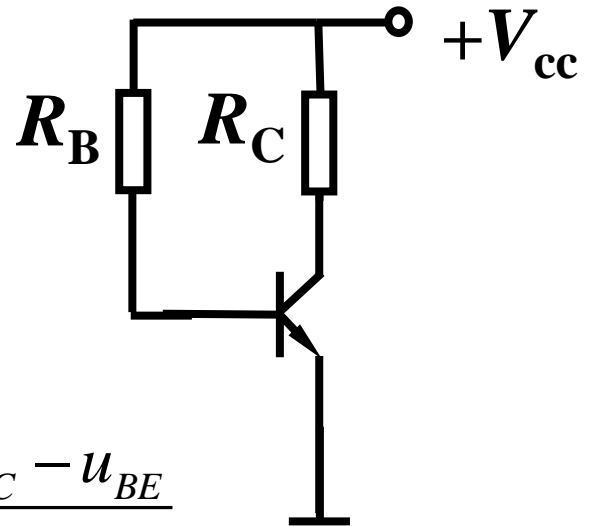


# 温度对Q点的影响

## 温度对 $U_{BE}$ 的影响



$$i_B = \frac{V_{CC} - u_{BE}}{R_B}$$

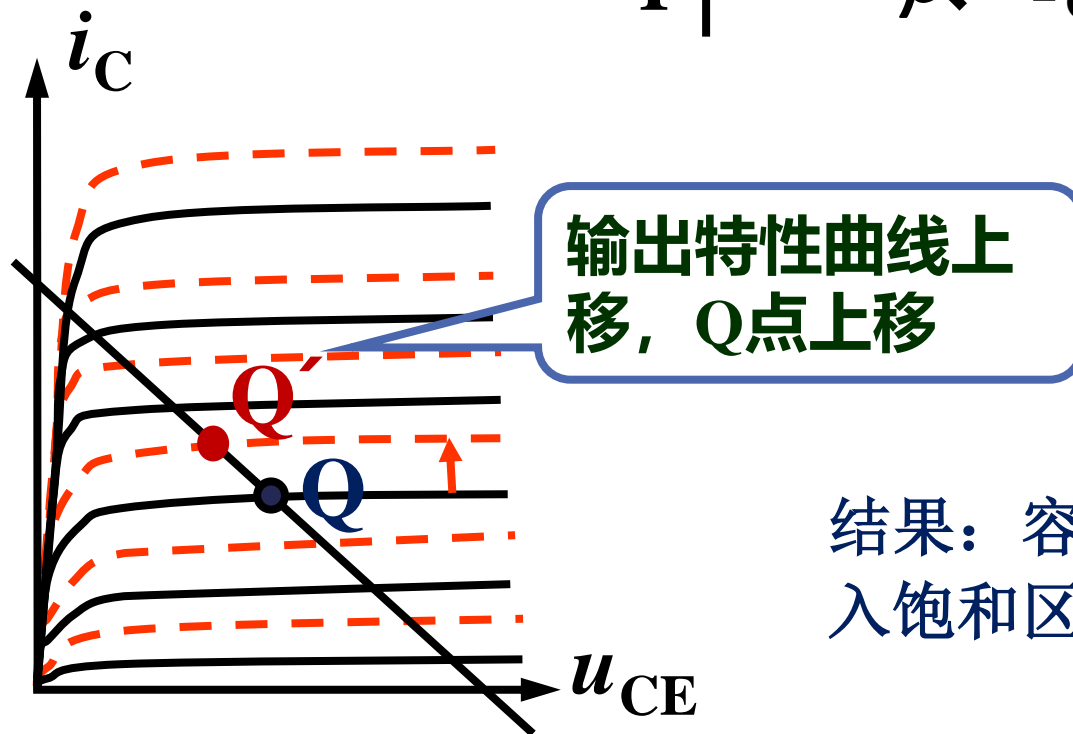




## 温度对Q点的影响

温度对 $\beta$ 值,  $I_{CEO}$  的影响

$$T \uparrow \longrightarrow \beta, I_{CEO} \uparrow \longrightarrow I_C \uparrow$$



结果: 容易使晶体管进入饱和区造成饱和失真

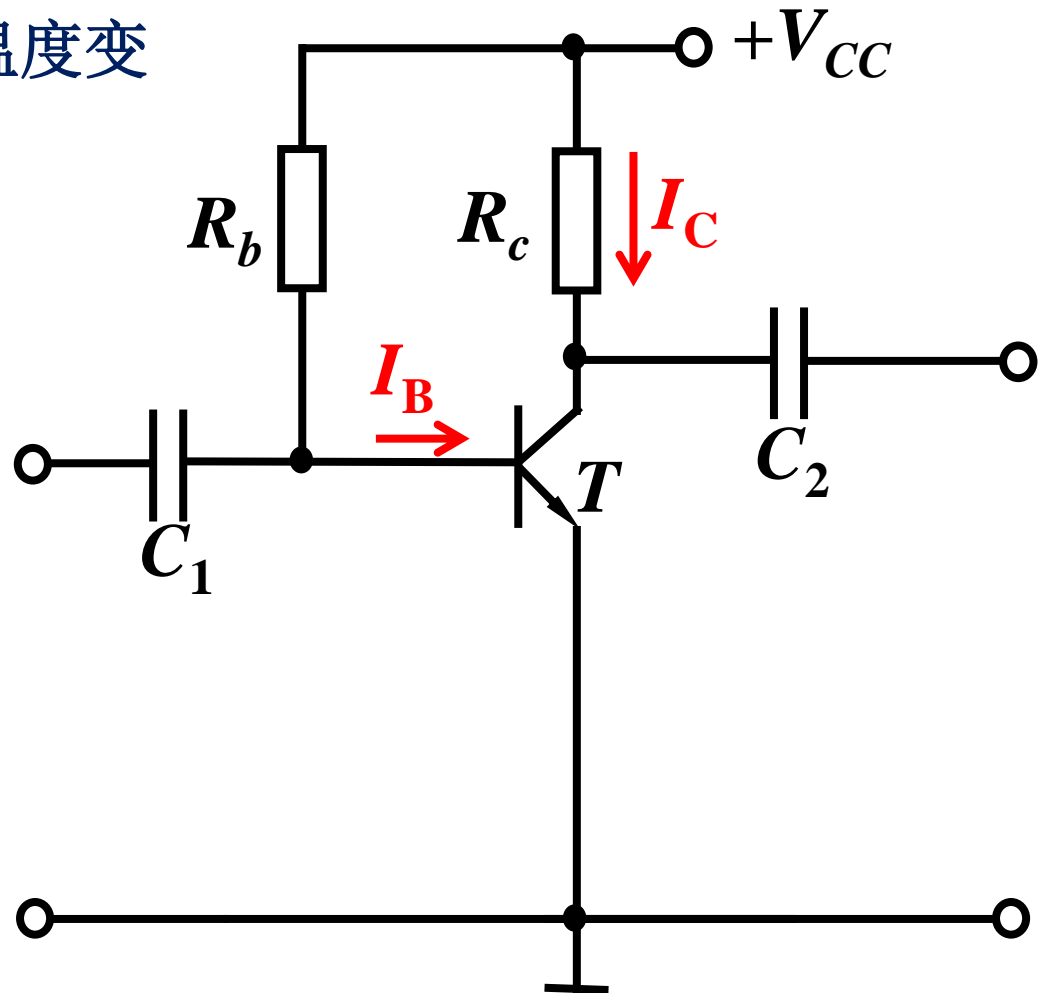


## 电路改进

固定偏置电路的 $Q$ 点随温度变化而变化，不稳定

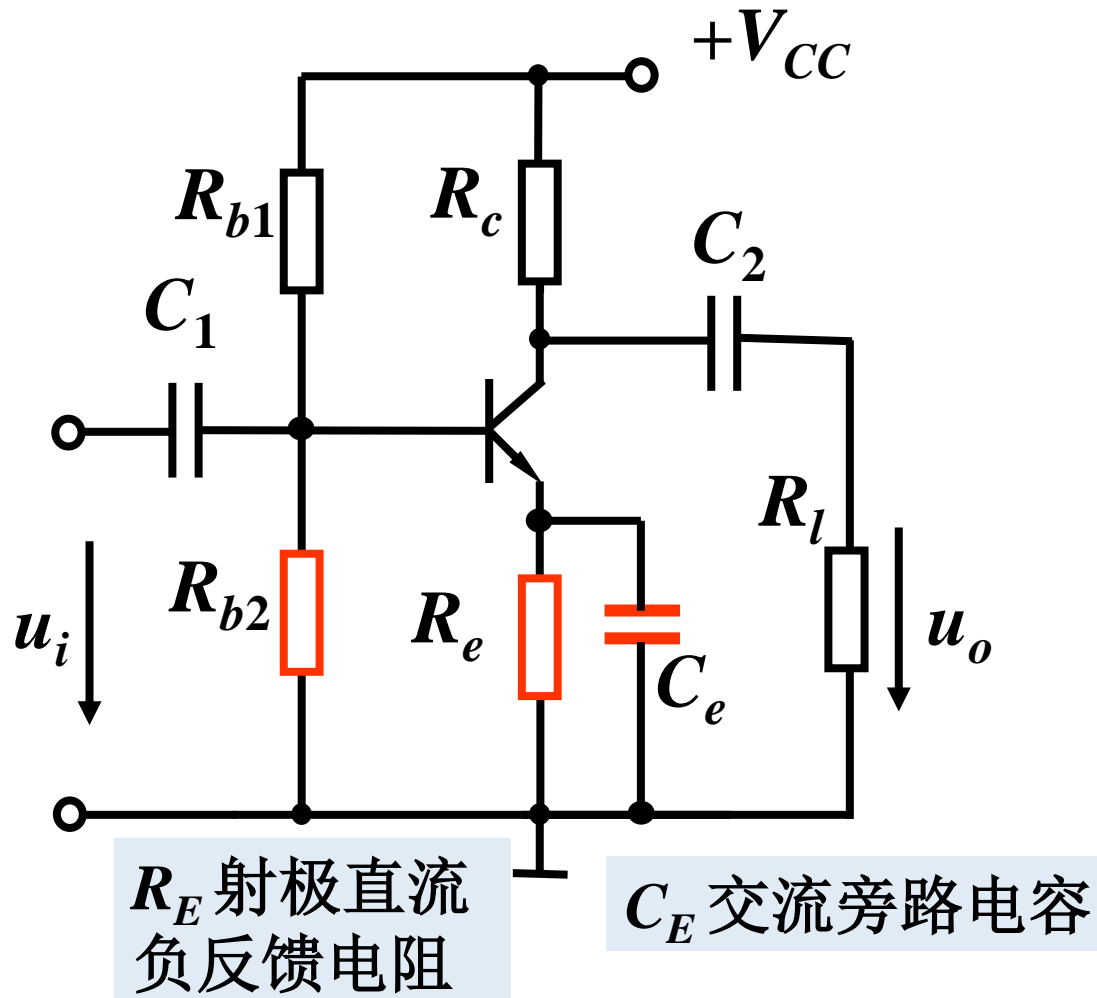
改进目标：

当温度升高使 $I_C$ 增加时，能够自动减少 $I_B$ ，从而抑制 $Q$ 点的变化，保持 $Q$ 点基本稳定



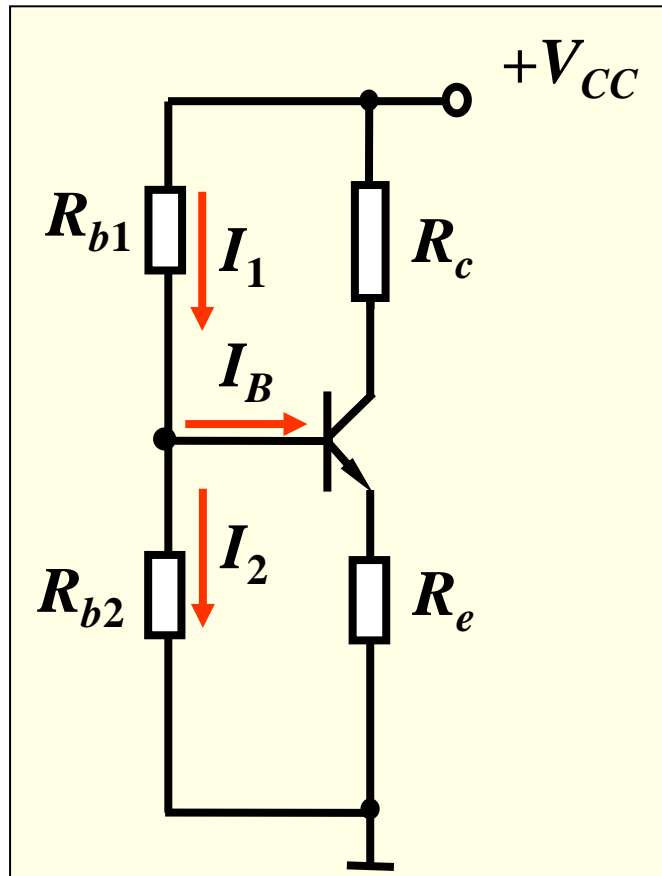


## 分压式偏置电路





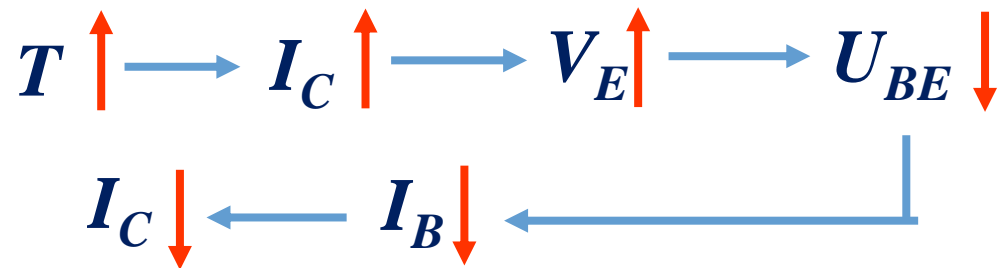
## 分压式偏置电路稳定 $Q$ 点的原因



在 $I_1 \gg I_B$  的情况下

$$V_B \approx \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}} \cdot V_{CC}$$

基极电位 $V_B$ 在温度变化时基本不变

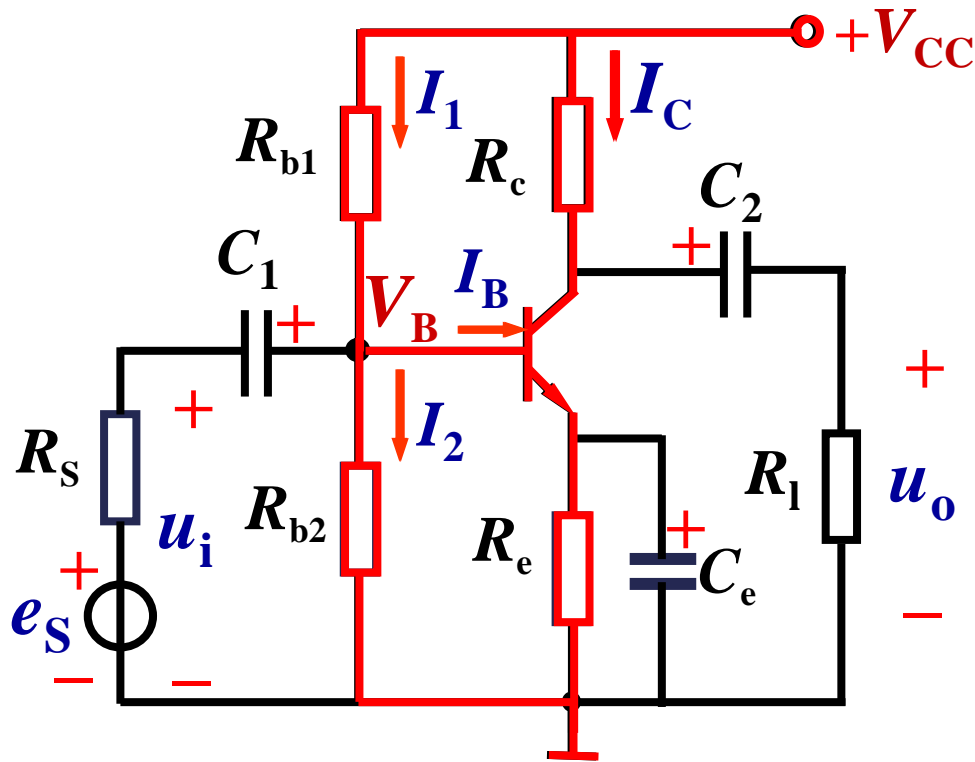


$T$  变化时,  $I_C$  基本不变



# 静态工作点的计算

估算法:



$$V_B \approx \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}} \cdot V_{CC}$$

$$I_C \approx I_E = \frac{V_B - U_{BE}}{R_e}$$

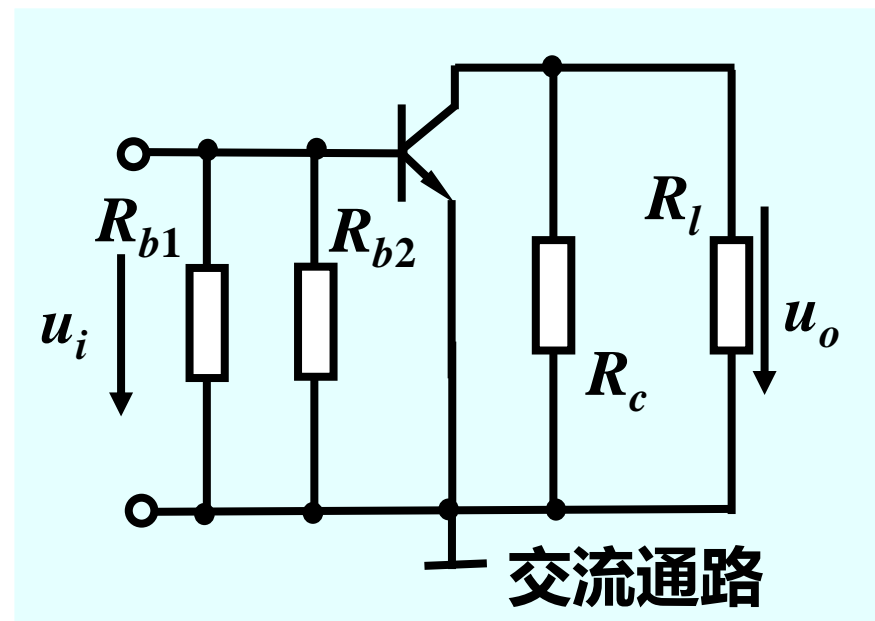
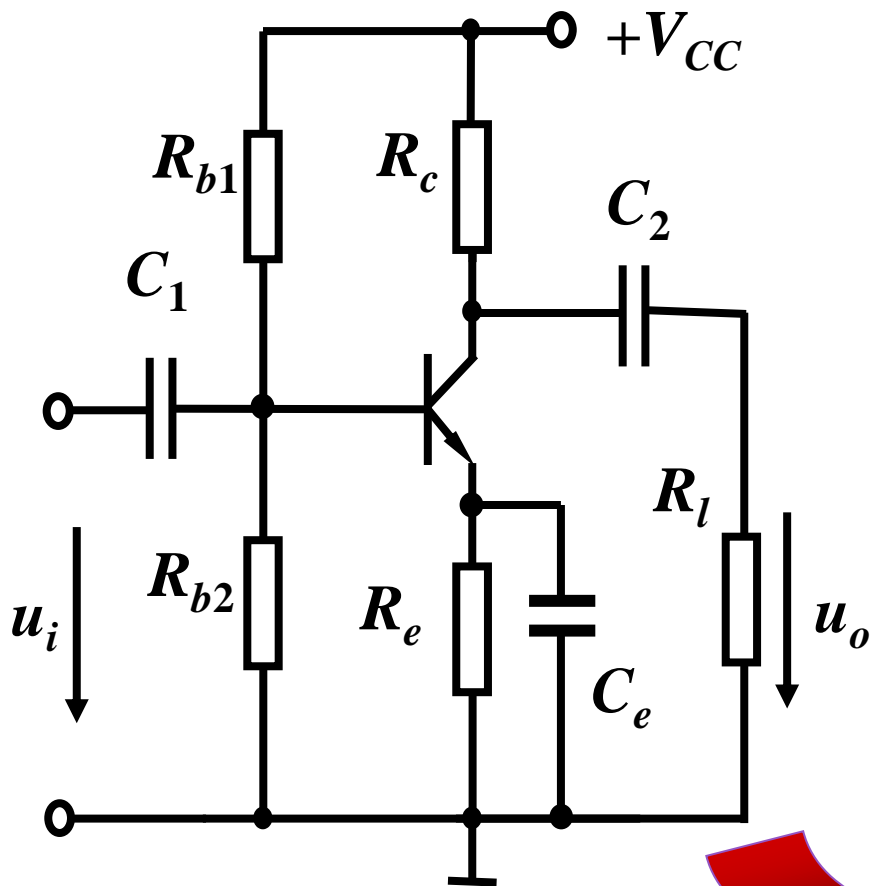
$$I_B \approx \frac{I_C}{\beta}$$

$$U_{CE} = V_{CC} - I_C R_c - I_E R_e$$



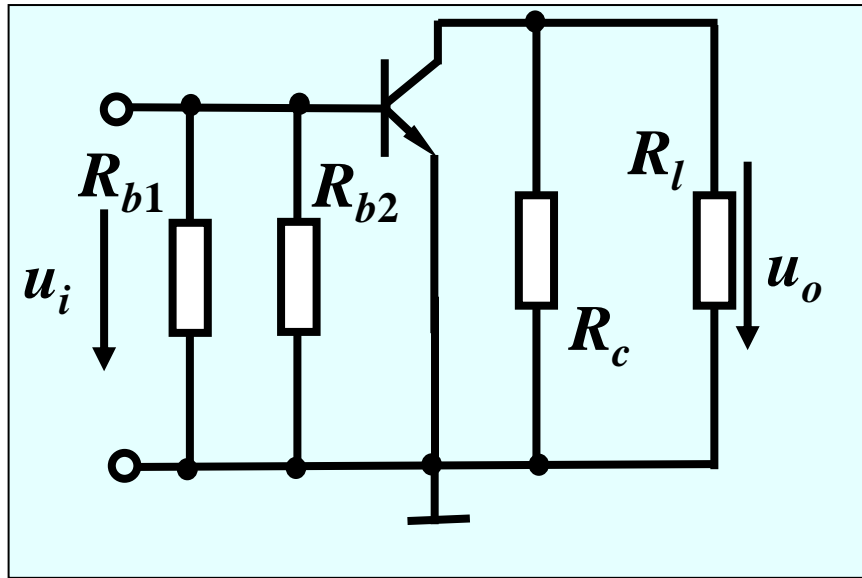


# 动态分析

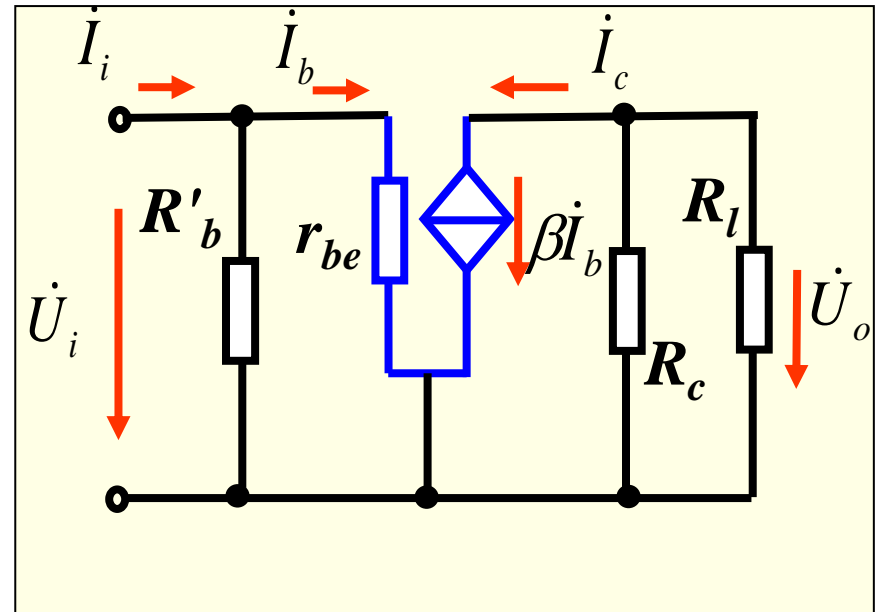




## 交流通路



## 交流等效电路



$$\dot{A}_u = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}} \quad (R'_L = R_c // R_L)$$

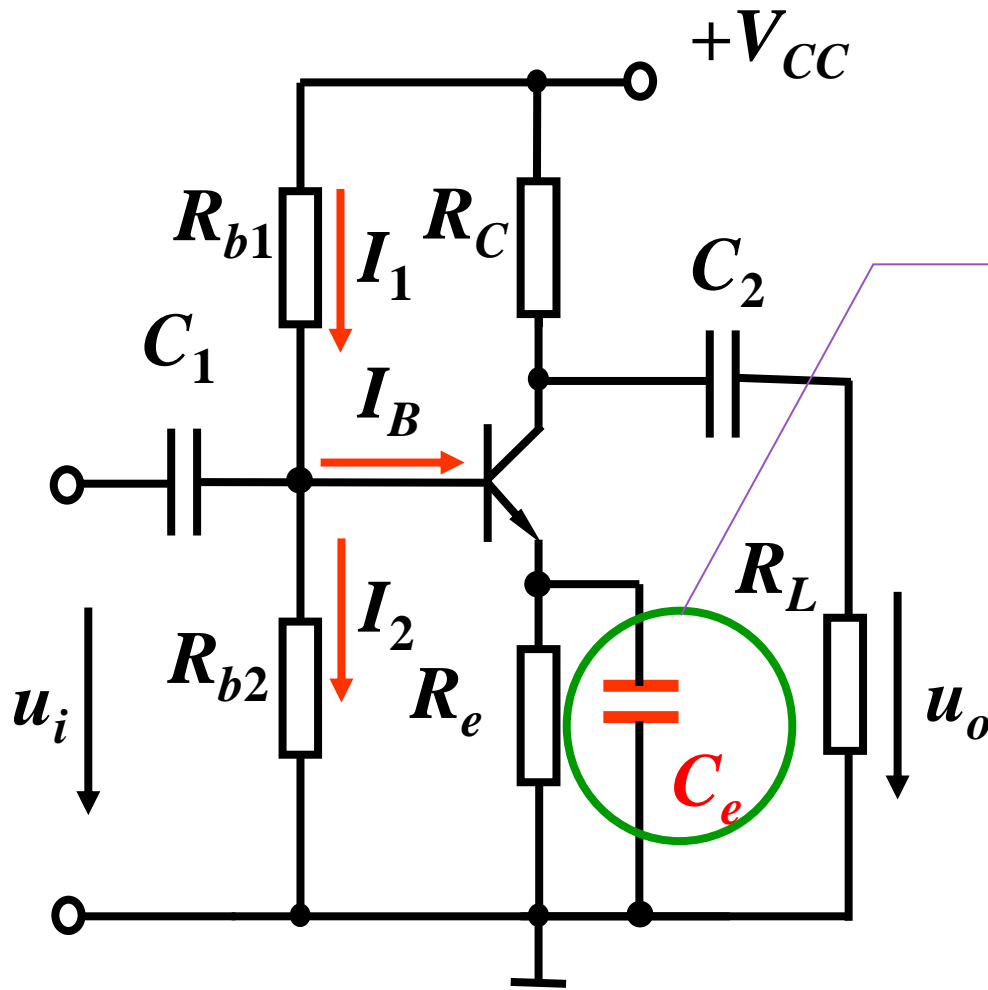
$$R_i = R'_b // r_{be} = R_{b1} // R_{b2} // r_{be} \approx r_{be}$$

$$R_o = R_c$$



## 思考及讨论

问题1：如果去掉 $C_E$ ，放大倍数如何变化？

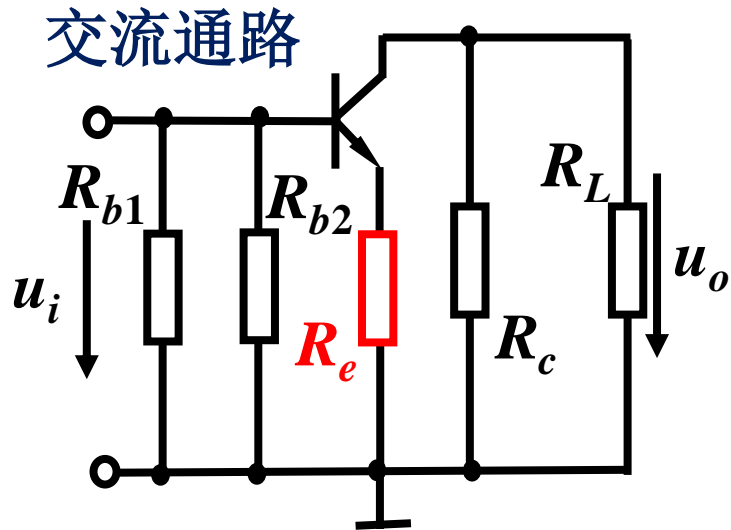


$C_e$ 的作用？

交流通路中，它可将 $R_e$ 短路，使 $R_e$ 对交流信号不起作用，放大倍数不受影响。



去掉  $C_e$  后

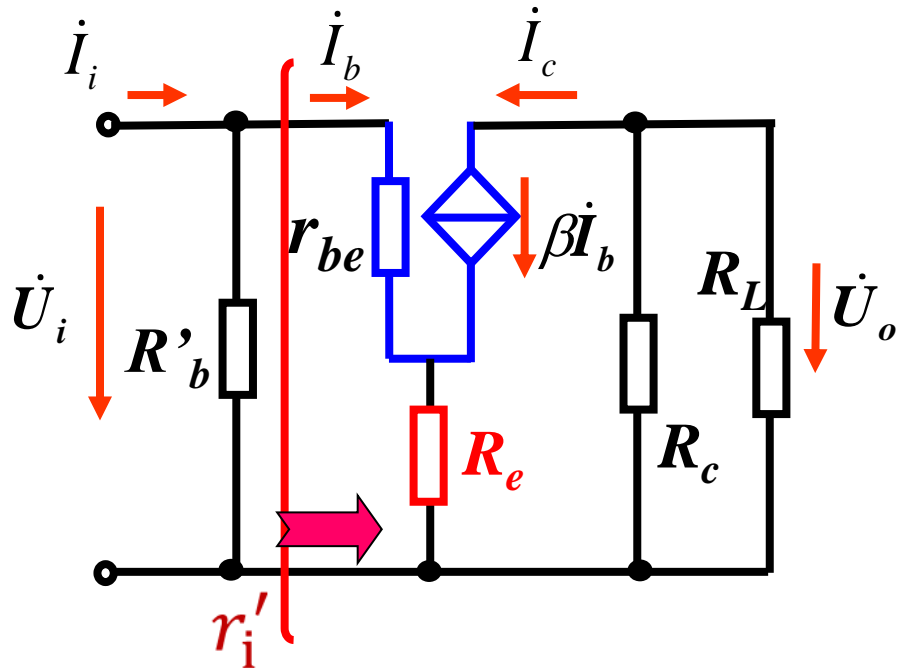


$$\dot{U}_i = \dot{I}_b r_{be} + \dot{I}_b (1 + \beta) R_e$$

$$\dot{U}_o = -\beta \dot{I}_b R'_L$$

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

等效电路

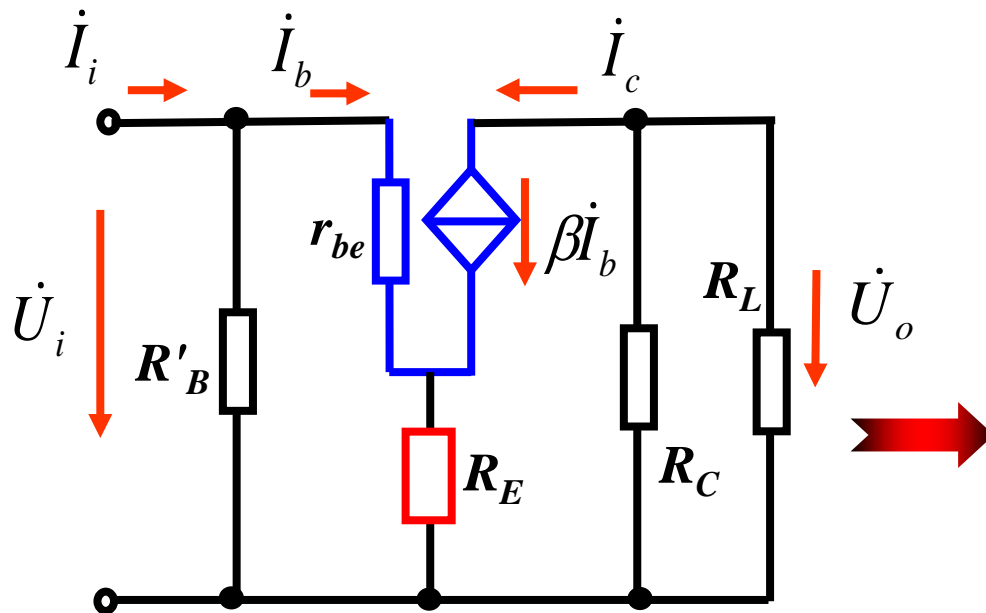


$$R_i = R'_b // [r_{be} + (1 + \beta) R_e]$$

放大倍数下降，输入电阻增大

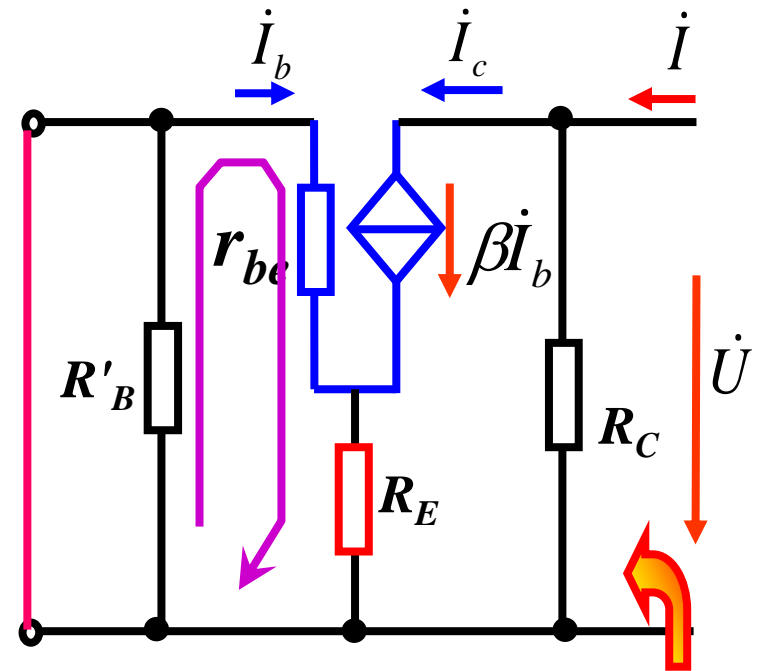


去掉  $C_e$  后  
输出电阻  $R_o$



$$R_o = R_C$$

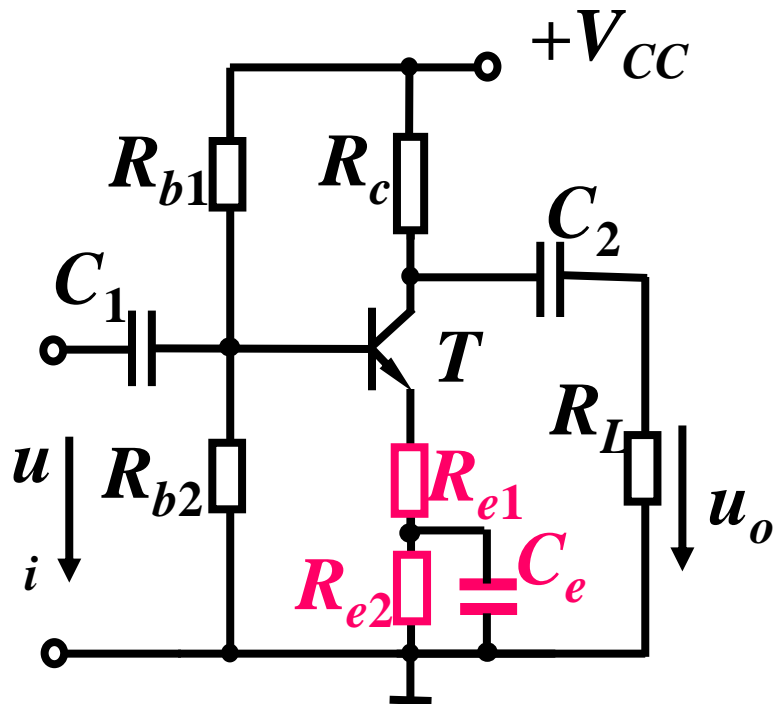
用加压求流法求解



输出电阻不变



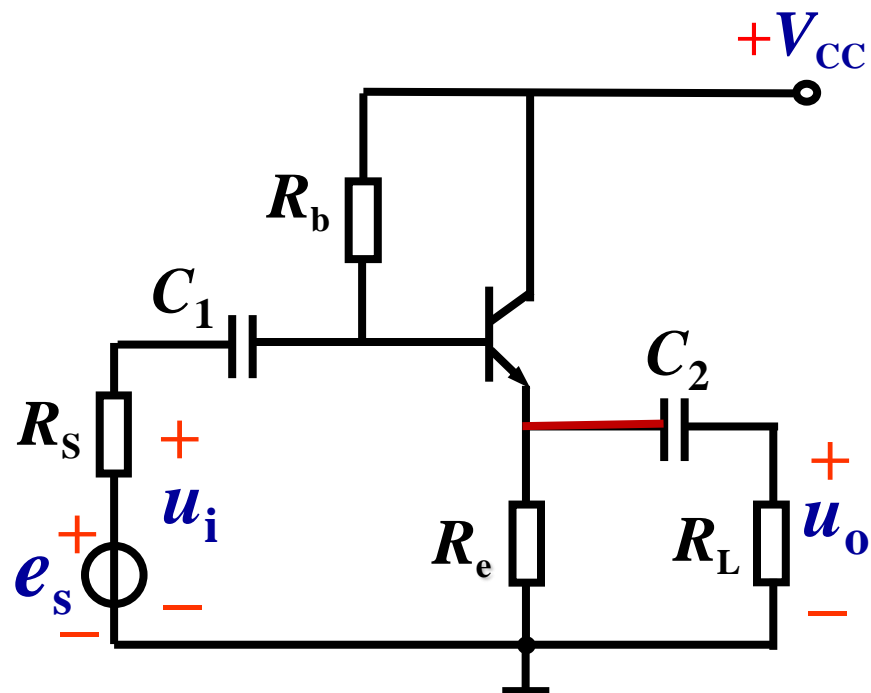
问题2：如果电路如下图所示，如何分析？



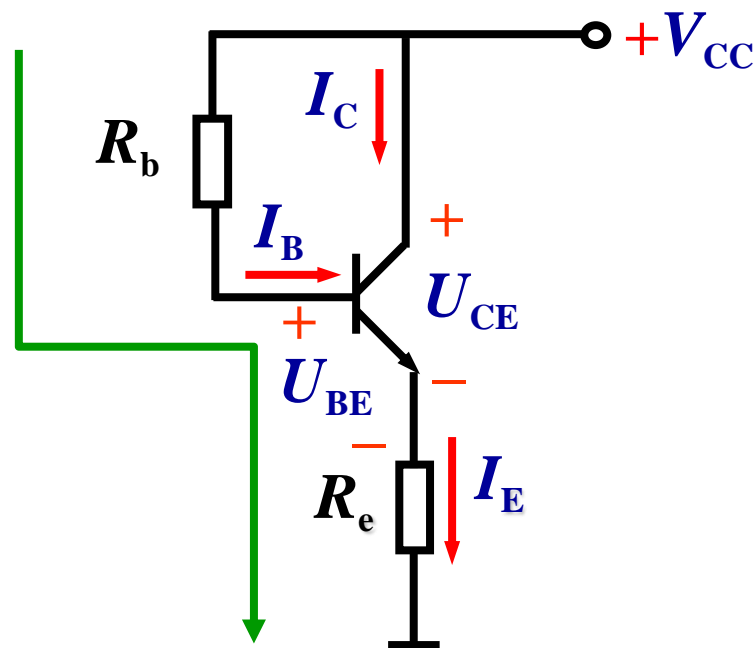
- 分压偏置放大电路为什么可以起到稳定静态工作点的作用？
- 分压偏置放大电路中的旁路电容  $C_E$  起什么作用？



## 9.4.2 射极输出器(共集放大电路)



直流通路



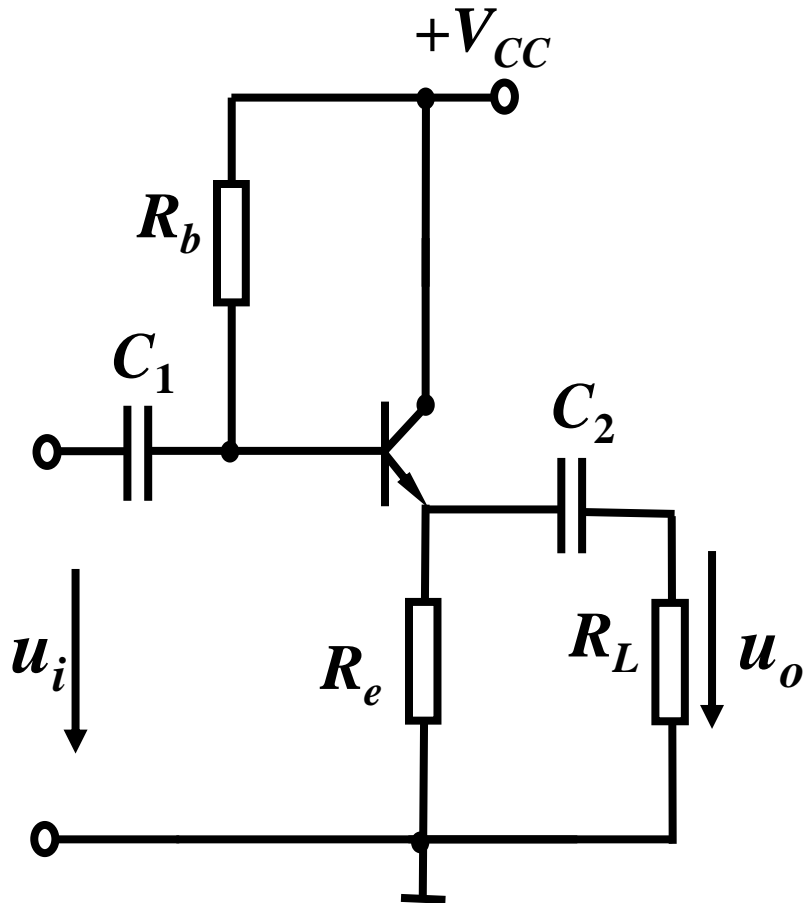
一、静态分析

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b + (1 + \beta)R_e}$$

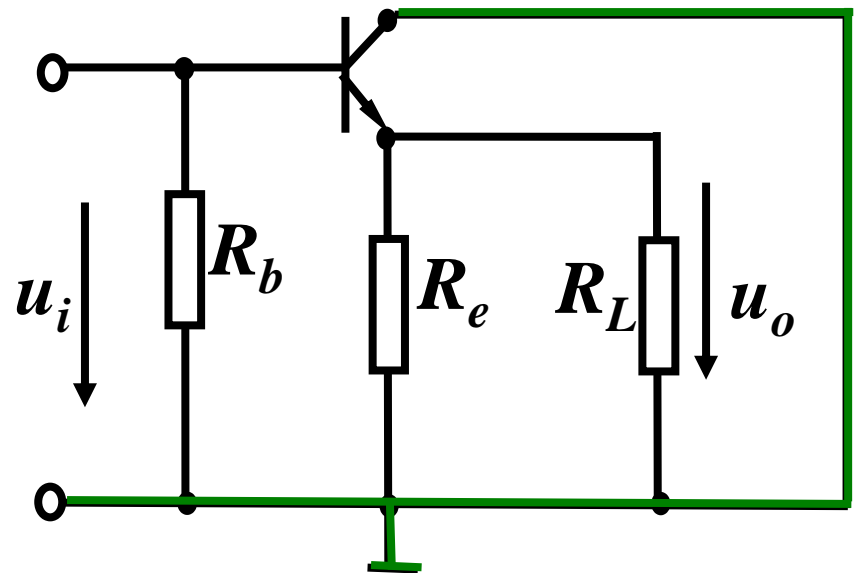
$$I_{EQ} = (1 + \beta)I_{BQ} \quad U_{CEQ} = V_{CC} - I_{EQ}R_e$$



## 二、动态分析

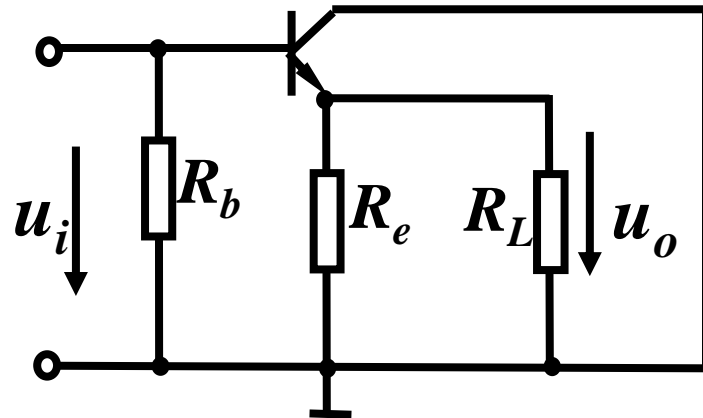


### 交流通路



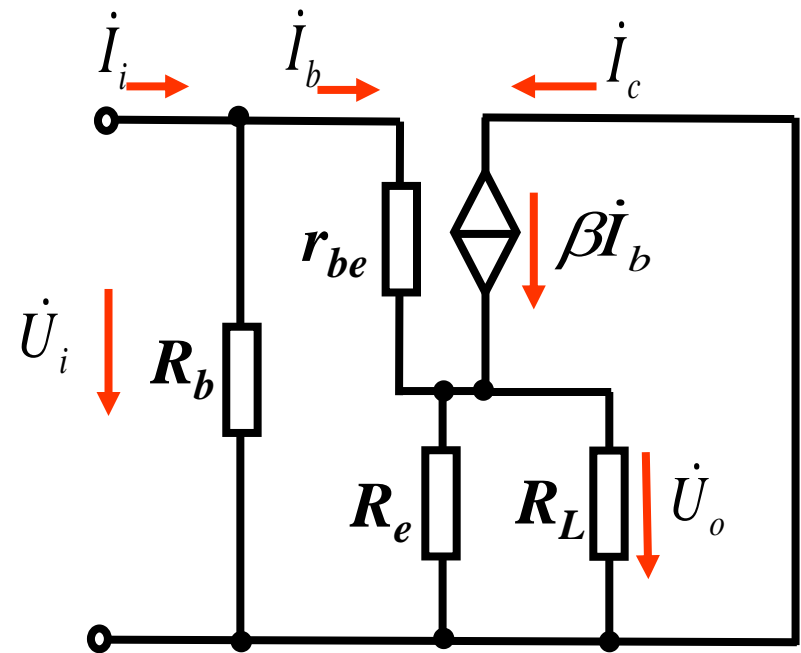
### 共集放大电路

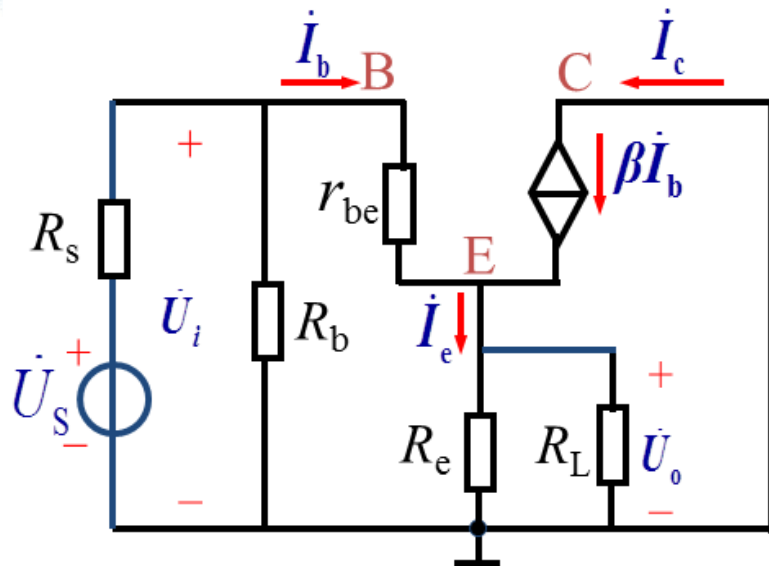




交流通路

交流等效电路





射级输出器输出输入同相，  
输出电压跟随输入电压

## 电压跟随器

虽没有电压放大能力， 但具有电流放大能力

### 1. 电压放大倍数 $\dot{A}_u$

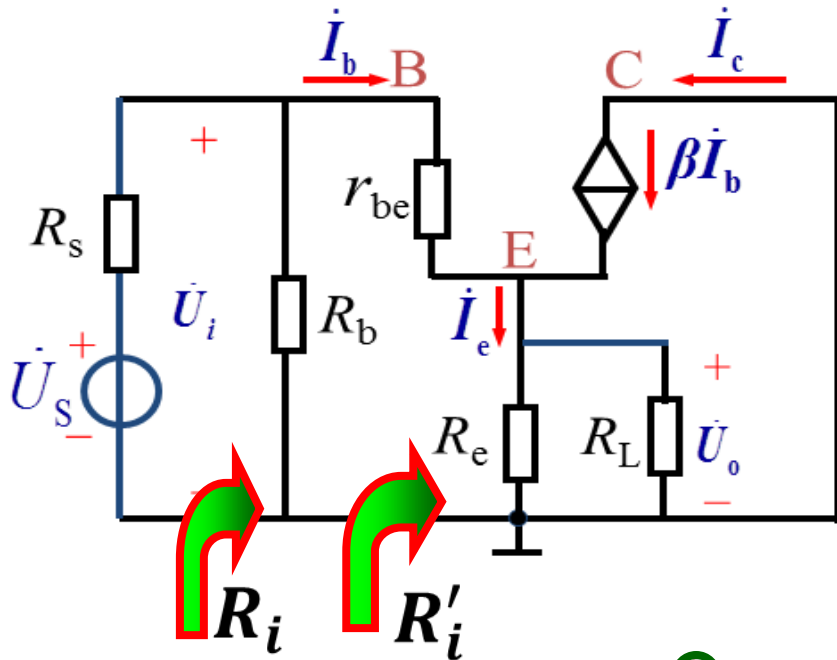
$$\begin{aligned}\dot{A}_u &= \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{\dot{I}_e R'_L}{\dot{I}_b r_{be} + \dot{I}_e R'_L} \\ &= \frac{(1 + \beta) \dot{I}_b R'_L}{\dot{I}_b r_{be} + (1 + \beta) \dot{I}_b R'_L}\end{aligned}$$

$$\approx 1$$

$$R'_L = R_e // R_L$$



## 2. 输入电阻 $R_i$



射极输出器输入  
电阻较大，与负  
载有关

$$R_i = R_b // R'_i$$

$$R'_i = \frac{I_{be} r_{be} + I_e R'_L}{I_b}$$

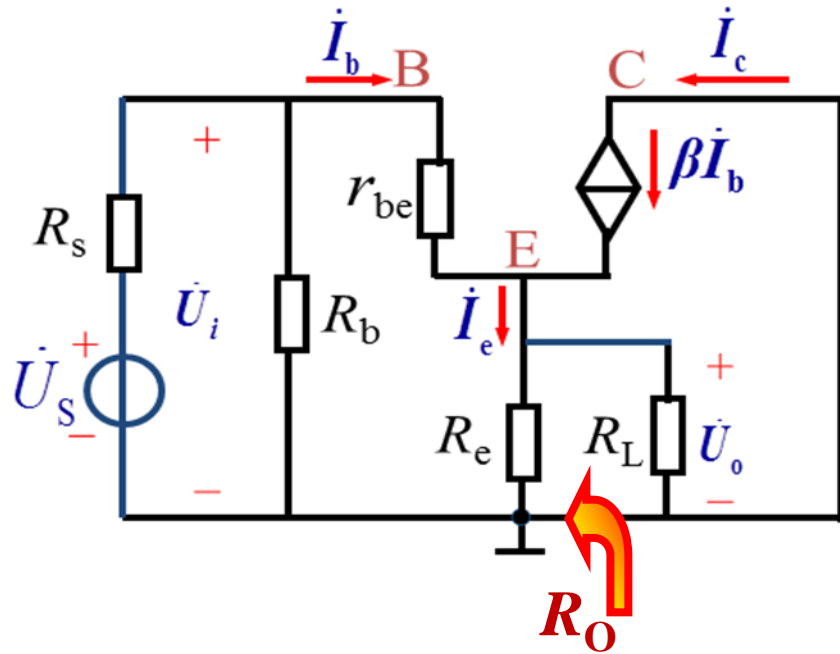
$$= r_{be} + I_e R'_L$$

$$(R'_L = R_e // R_L)$$

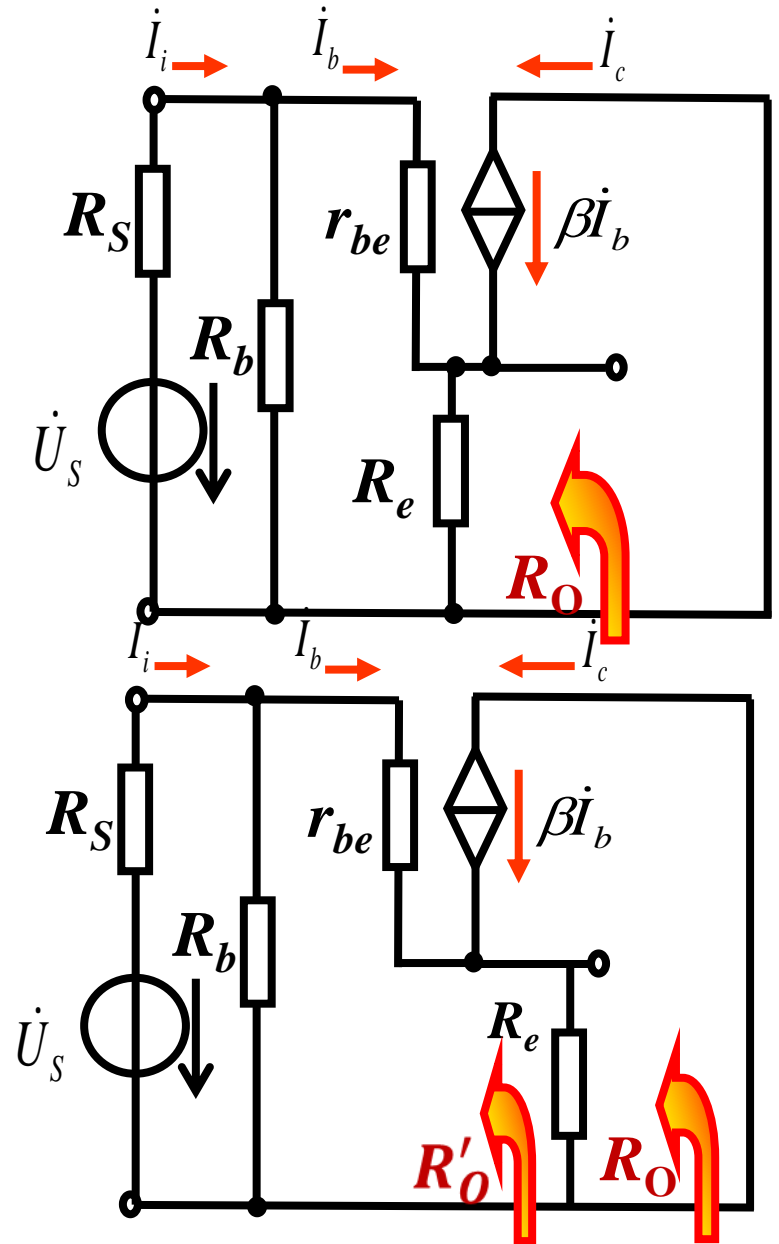
$$R_i = R_b // [r_{be} + (1 + \beta) R'_L]$$



### 3. 输出电阻 $R_O$

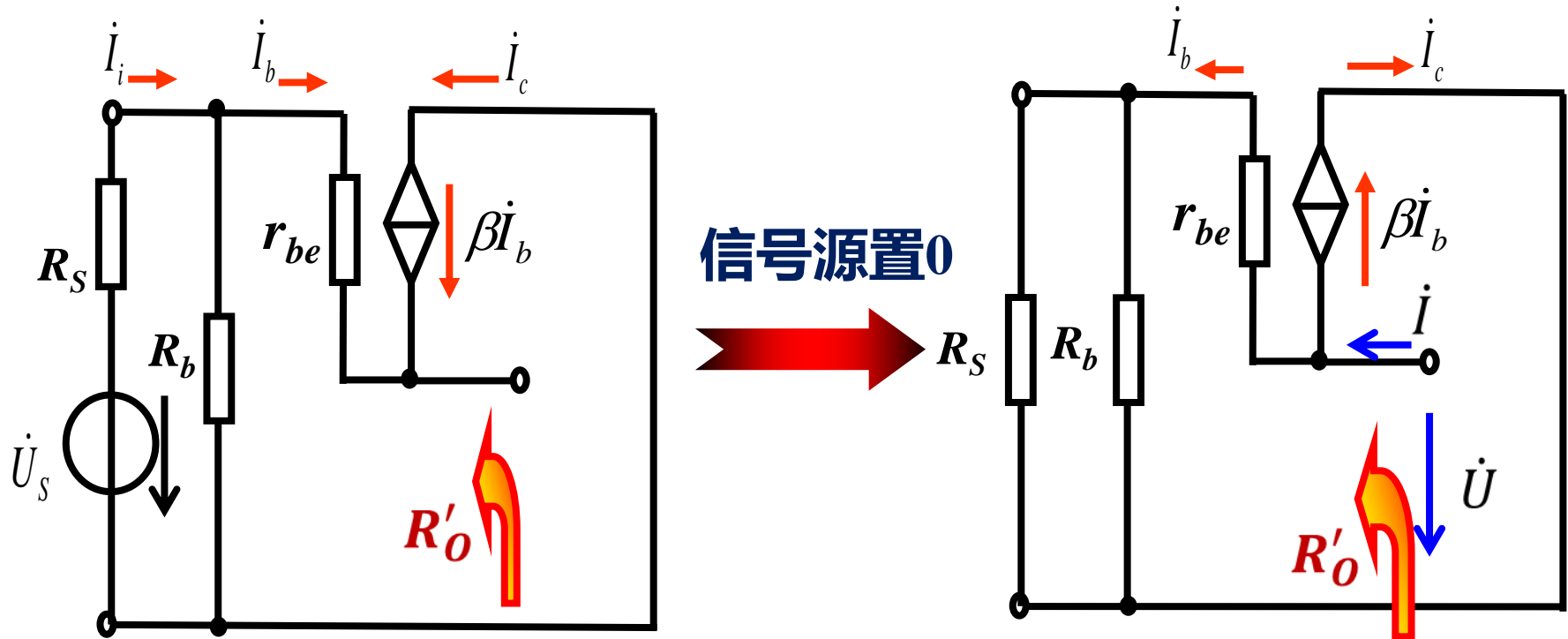


$$R_O = R_E // \frac{R_B // R_S + r_{be}}{1 + \beta}$$





## 用加压求流法求 $R'_o$





$$\dot{I} = \dot{I}_b + \dot{I}_c = (1 + \beta)\dot{I}_b$$

$$\dot{U} = \dot{I}_b(r_{be} + R'_S)$$

$$R'_S = R_S // R_B$$

$$R'_O = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{r_{be} + R'_S}{1 + \beta}$$

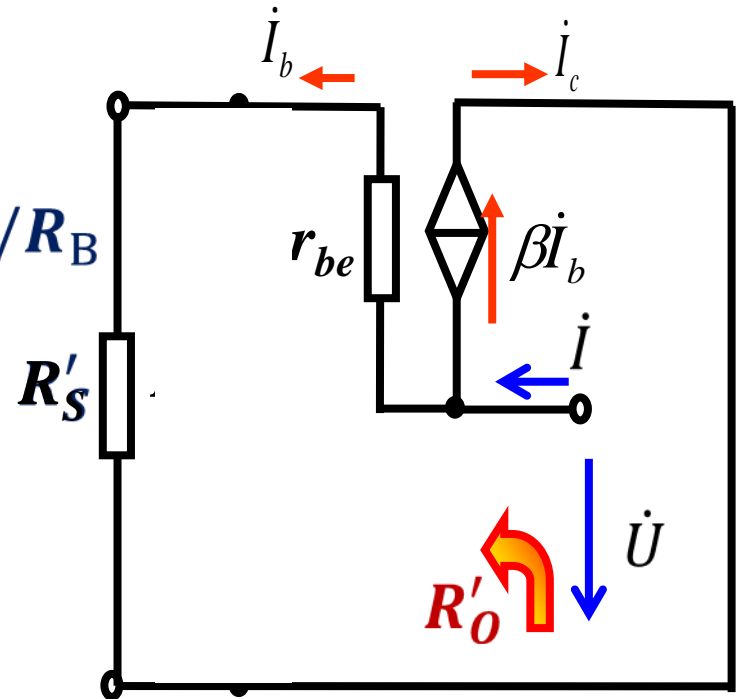
$$R_O = R'_O // R_E = \frac{r_{be} + R'_S}{1 + \beta} // R_E$$

一般  $R_E \gg \frac{r_{be} + R'_S}{1 + \beta}$   $R_O \approx \frac{r_{be} + R'_S}{1 + \beta}$

举例：如某放大电路  $\beta=40$ ,  $r_{be}=0.8\text{k}\Omega$ ,  $R_S=50\Omega$ ,  $R_B=120\text{k}\Omega$

$$r_o \approx \frac{800 + 50}{40} \Omega = 21.3\Omega$$

射极输出器输出电阻小





## 射级输出器的特点

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

小于1，约等于1，输出与输入同相  
具有电流放大能力，可用于功率的放大

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

输入电阻高

常被用在多级放大电路的第一级，减轻信号源负担

$$R_o = R_e // \frac{R_B // R_S + r_{be}}{1 + \beta}$$

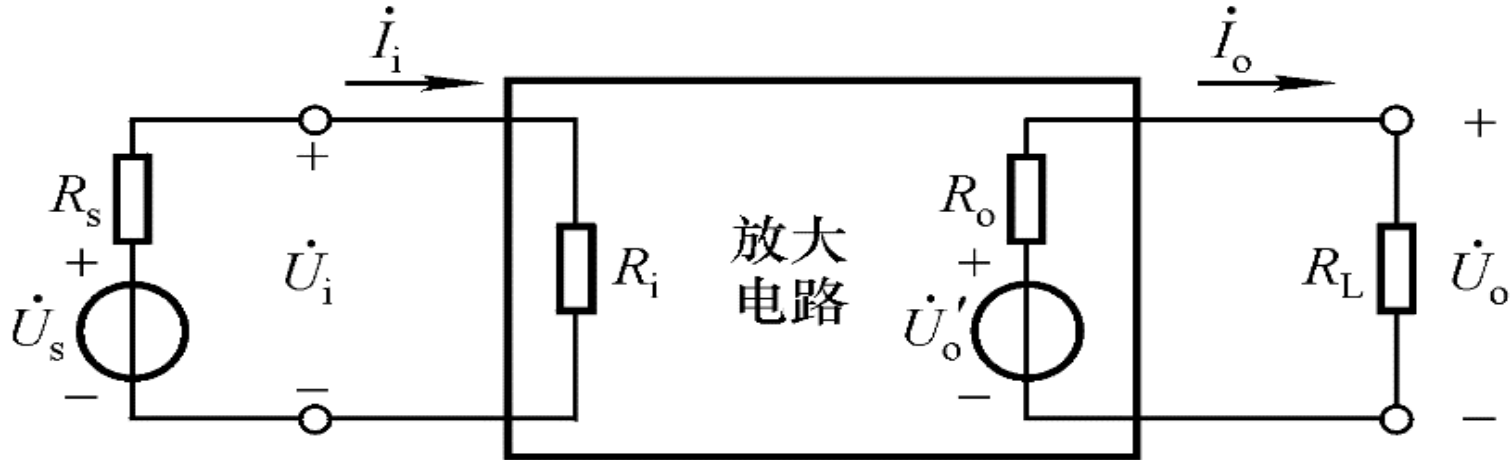
输出电阻低

常被用在多级放大电路的末级，提高带负载能力

常用在放大电路的两级之间，起到阻抗匹配作用，称为缓冲级或中间隔离级



# 输入输出电阻对放大电路性能的影响



$$\dot{U}_i = \frac{R_i}{R_i + R_s} \dot{U}_s$$

输入电阻大有利于放大电路从信号源取电压

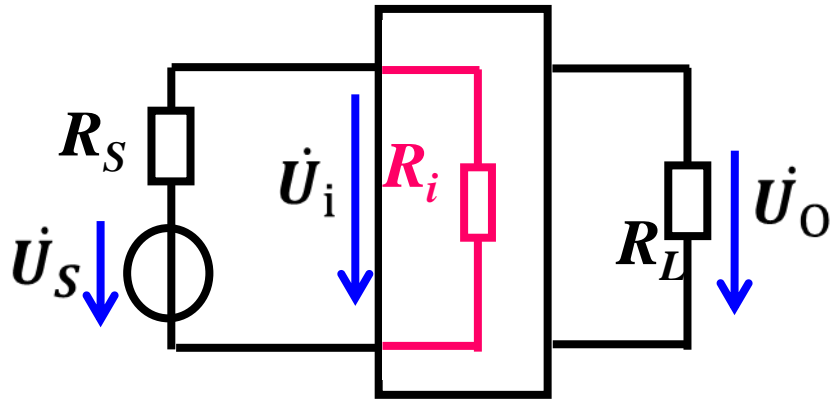
$$\dot{U}_o = \frac{R_L}{R_L + R_o} \cdot \dot{U}'_o$$

输出电阻小有利于负载上得到尽可能高的输出电压





## 放大电路对信号源的放大倍数 $A_{us}$



$$A_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i}$$

$$A_{us} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s}$$

$A_u$  和  $A_{us}$  的关系如何?

$$A_{us} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \frac{\dot{U}_i}{\dot{U}_s}$$

$$\dot{U}_i = \frac{R_i}{R_s + R_i} \dot{U}_s$$

$$A_{us} = \frac{R_i}{R_s + R_i} A_u$$



## 第9章作业

**P222:**

- 1. 9.3放大电路分析方法（静态+动态）**
- 2. 9.5 放大电路性能指标和参数的关系**