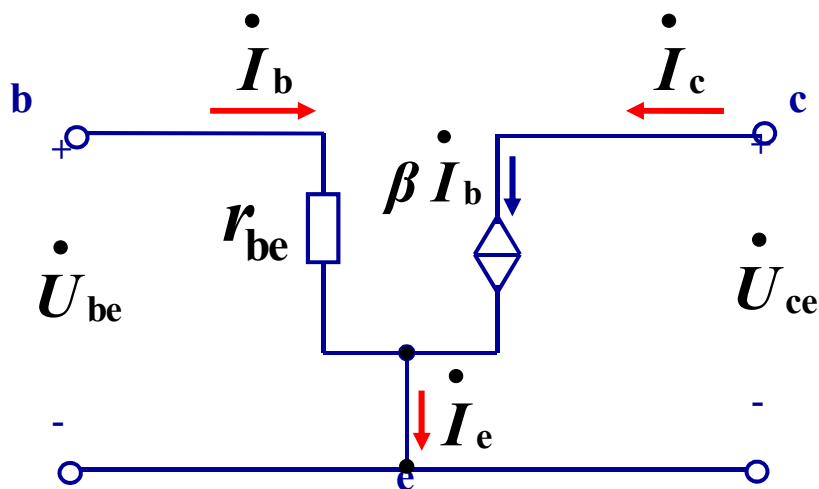
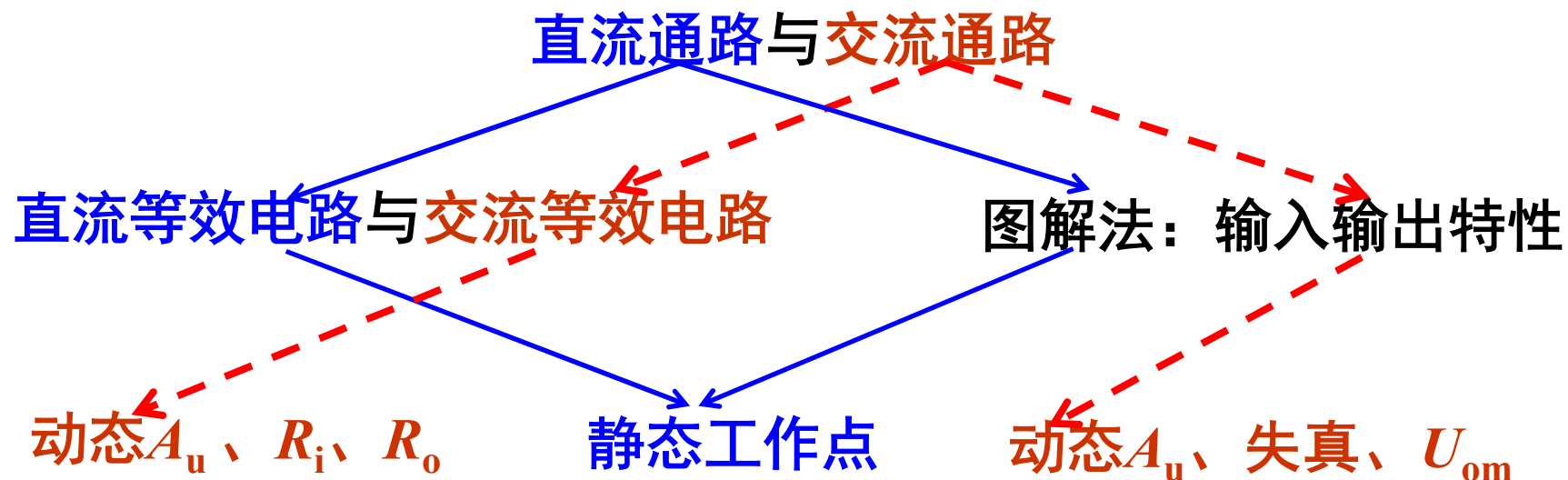


**放大电路特点：**（1）交直流量共存，交流负载在直流上  
（2）晶体管具有非线性特性

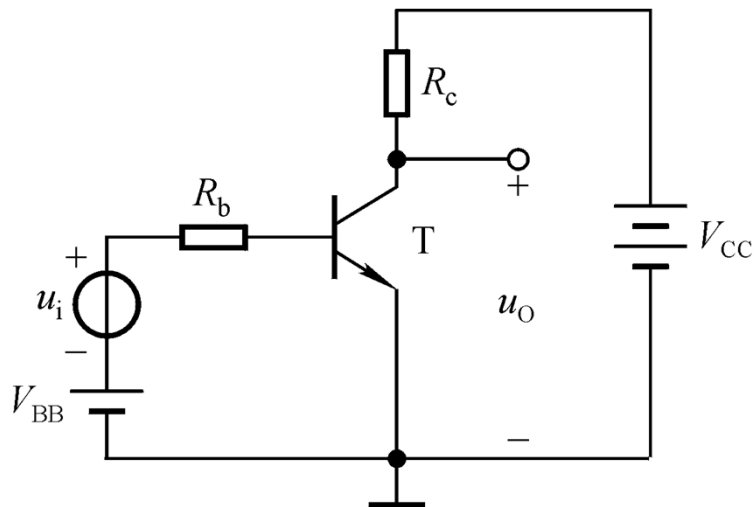


$$r_{be} \approx r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{U_T}{I_{EQ}}$$

# 一、基本共射放大电路分析

① 求 $Q$ 点: 
$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_b}$$

## 1. 基本共射放大电路



### • 画交流等效电路 (AC Equivalent Circuit)

$h$ 参数等效模型

→ 交流通路中的晶体管

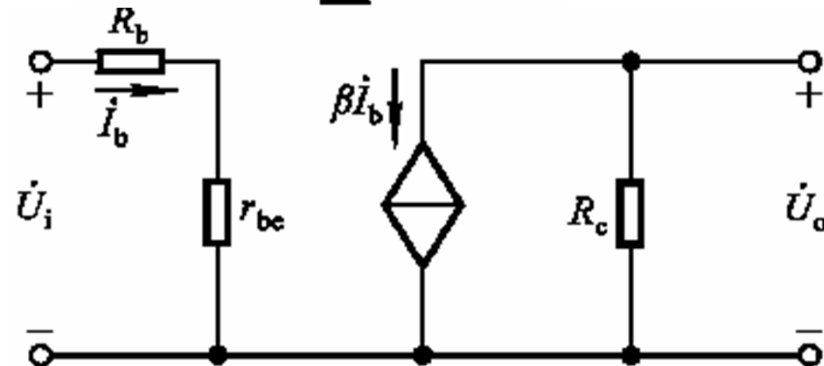
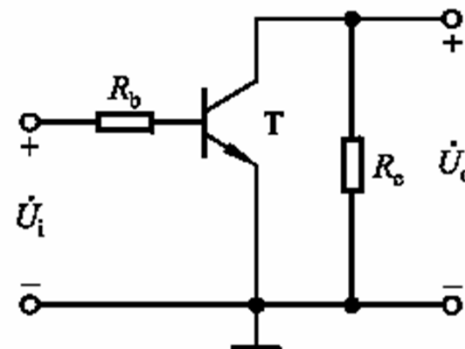
→ 交流等效电路

直流通路  $I_{CQ} \approx \beta I_{BQ} \approx I_{EQ}$

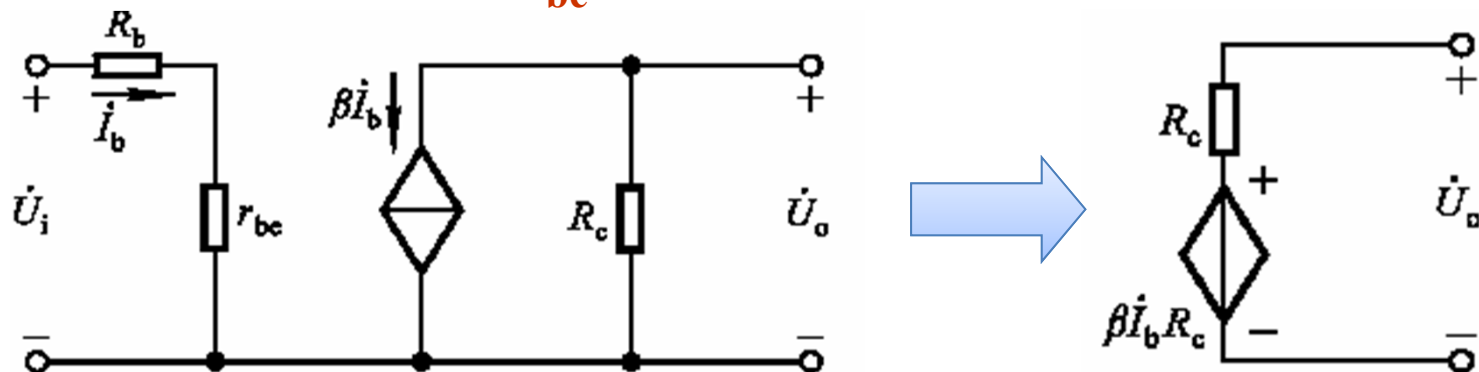
$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_c$$

② 动态: 求 $A_u$ 、 $R_i$ 、 $R_o$ .

### • 画交流通路



- 求动态参数 先求  $r_{be}$



$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-\dot{I}_c R_c}{\dot{I}_b (R_b + r_{be})}$$

$$\dot{A}_u = \frac{-\beta R_c}{R_b + r_{be}}$$

负号表示  $U_o$  与  $U_i$  反相

正弦向量，也可用有效值

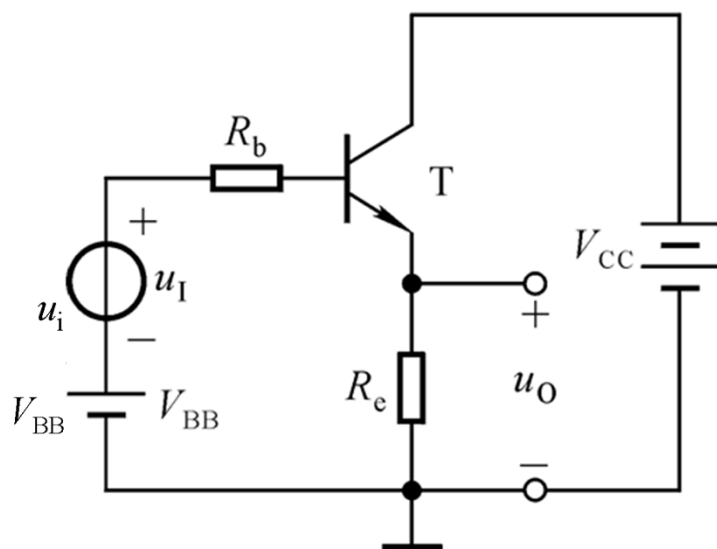
$$R_i = \dot{U}_i / \dot{I}_b = R_b + r_{be}$$

$$R_o = R_c$$

- 特点：**
- 既能放大电压，又能放大电流；
  - $U_o$  与  $U_i$  反相；
  - 电压放大倍数  $|A_u|$  大，且与静态  $Q$  点有关。

## 二、共集放大电路(Common-Collector Circuit)

又称射极输出器、射极跟随器



### 1. 求Q点：直流通路

• 输入回路

$$V_{BB} = I_{BQ} R_b + U_{BEQ} + I_{EQ} R_e$$

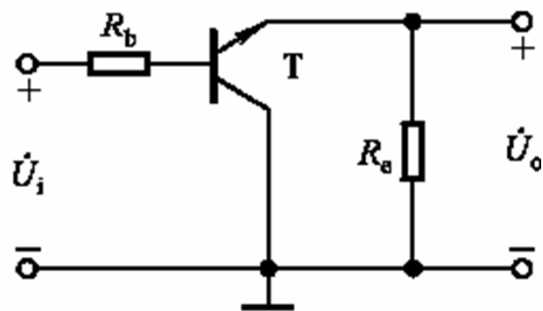
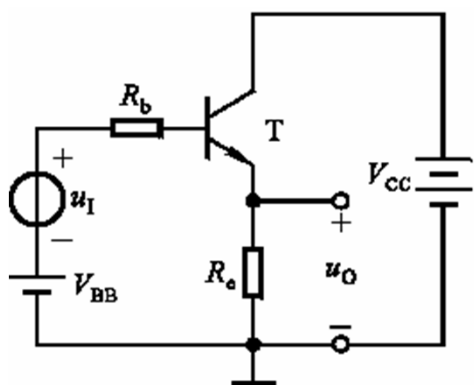
$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_b + (1 + \beta) R_e}$$

• 输出回路

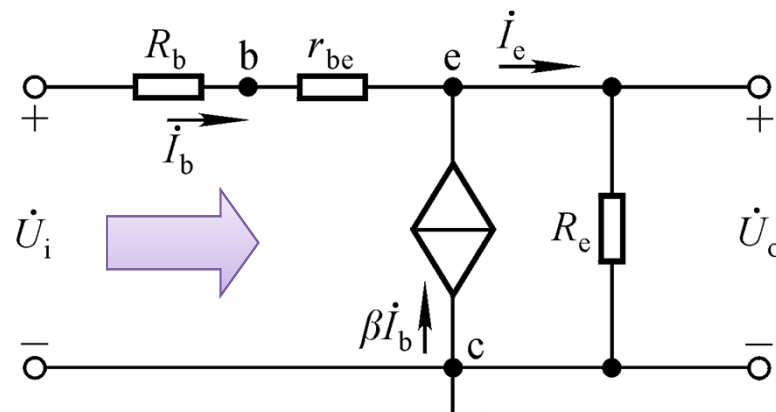
$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} \approx I_{EQ}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{EQ} R_e$$

## 2. 求 $A_u$ 、 $R_i$ 、 $R_o$ ：交流等效电路



交流通路



交流等效电路

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{\dot{I}_e R_e}{\dot{I}_b (R_b + r_{be}) + \dot{I}_e R_e}$$

$$= \frac{(1 + \beta) R_e}{R_b + r_{be} + (1 + \beta) R_e} < 1$$

$U_o$  与  $U_i$   
同相

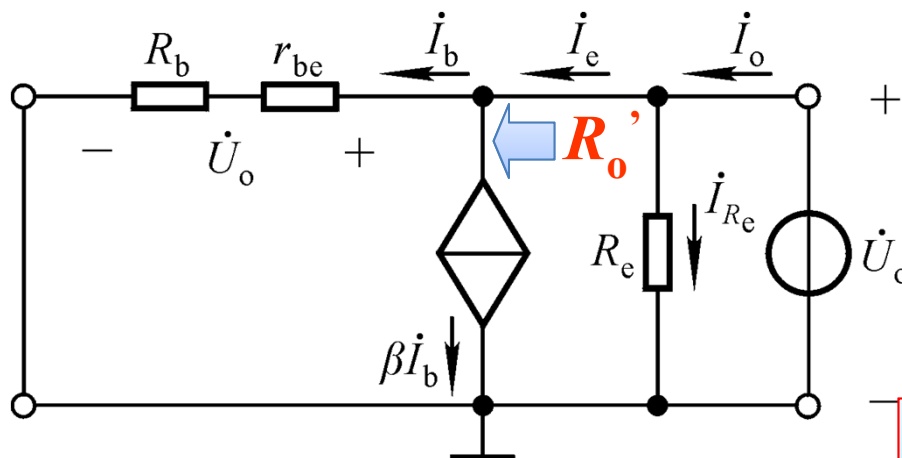
$$R_i = \frac{\dot{I}_b (R_b + r_{be}) + \dot{I}_e R_e}{\dot{I}_b}$$

$$= R_b + r_{be} + (1 + \beta) R_e$$

射极电阻等效到基极回路乘以 $(1 + \beta)$

$R_i$  大!

当 $(1 + \beta) R_e \gg (R_b + r_{be})$ 时,  $A_u \approx 1$   
称为射极跟随器(emitter follower)



加压求流法:

$$R_o = \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_o} \Big|_{(\dot{U}_i=0, R_L=\infty)}$$

基极电阻等效到射极回路除以 $(1+\beta)$

$$R_o = R_e // R_o'$$

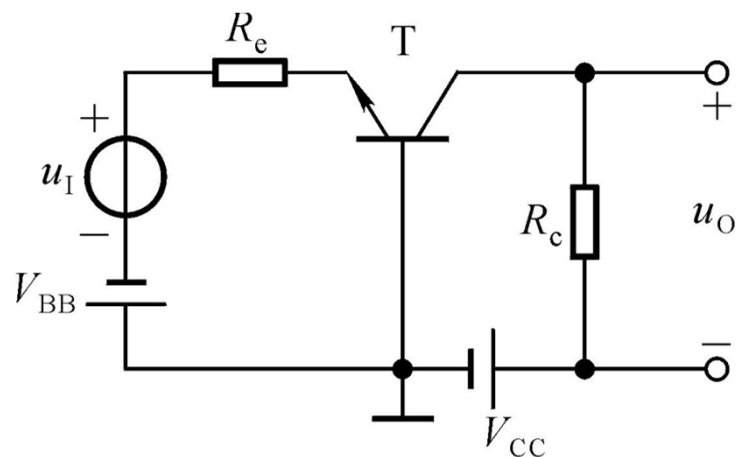
$$R_o' = \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_e} = \frac{\dot{I}_b(R_b + r_{be})}{(1 + \beta)\dot{I}_b} = \frac{R_b + r_{be}}{(1 + \beta)}$$

$$R_o = R_e // \frac{R_b + r_{be}}{(1 + \beta)} \quad R_o \text{ 小!}$$

### 共集放大电路特点:

- 具有电压跟随作用( $A_u \approx 1$ ),  $U_o$ 、 $U_i$ 同相;
- $R_i$ 大(几十到几百 $k\Omega$ ), 对电压信号源影响小;
- $R_o$ 小(几十到几百 $\Omega$ ), 带(电压)负载能力强。
- 一般作为输入级、输出级或者中间缓冲电路。

## 二、共基放大电路(Common-Base Circuit)

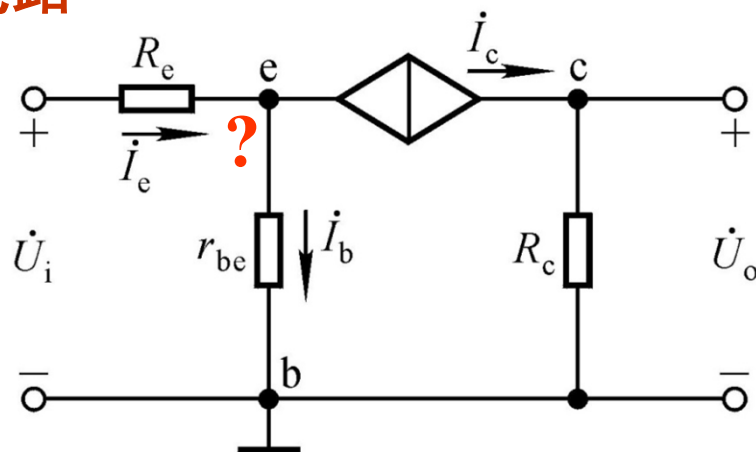
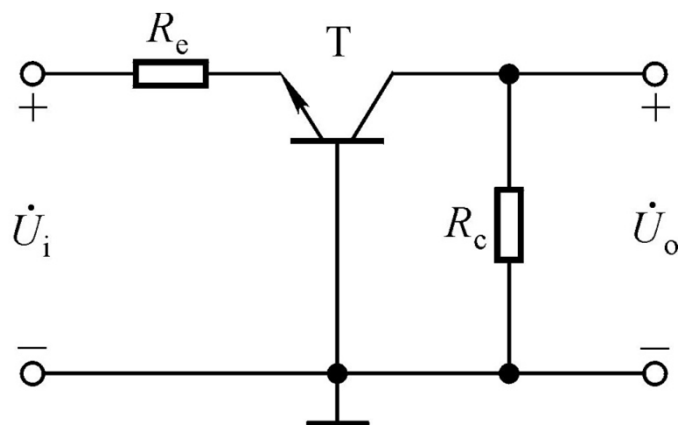


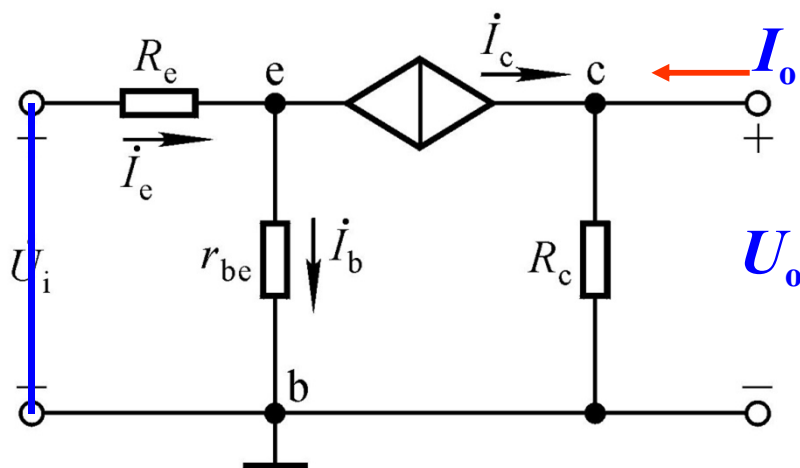
### 1. 求Q点：直流通路

$$I_{EQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_e} \approx I_{CQ}$$

$$U_{CEQ} = U_C - U_E \\ = V_{CC} - I_{CQ}R_c + U_{BEQ}$$

### 2. 求 $A_u$ 、 $R_i$ 、 $R_o$ ：交流等效电路





$$\dot{I}_e = \dot{I}_b = \dot{I}_c = 0$$

$$R_o = R_c$$

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{\dot{I}_c R_c}{\dot{I}_e R_e + \dot{I}_b r_{be}}$$

$$R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_e} = \frac{\dot{I}_e R_e + \dot{I}_b r_{be}}{\dot{I}_e}$$

$$= \frac{\beta R_c}{r_{be} + (1 + \beta) R_e}$$

$U_o$ 与 $U_i$ 同相

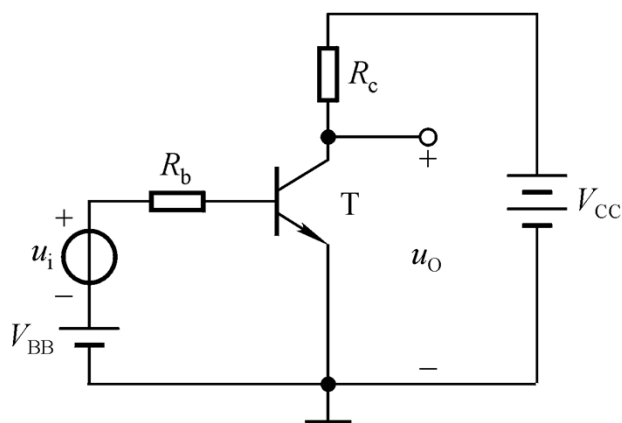
$$= R_e + \frac{r_{be}}{1 + \beta} \quad R_i \text{小!}$$

### 共基放大电路主要特点

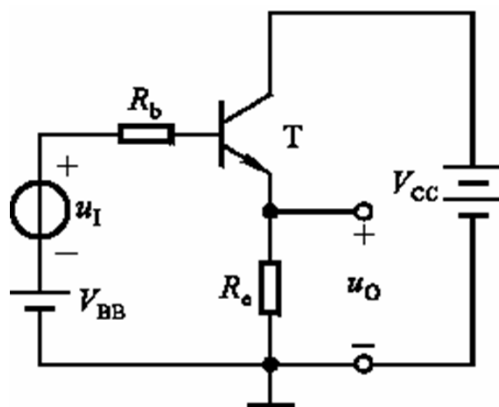
- $U_o$ 与 $U_i$ 同相；
- $R_i$ 较小， $|A_u|$ 、 $R_o$ 与共射放大电路相当；
- 频带较宽，主要用于宽频带放大电路。



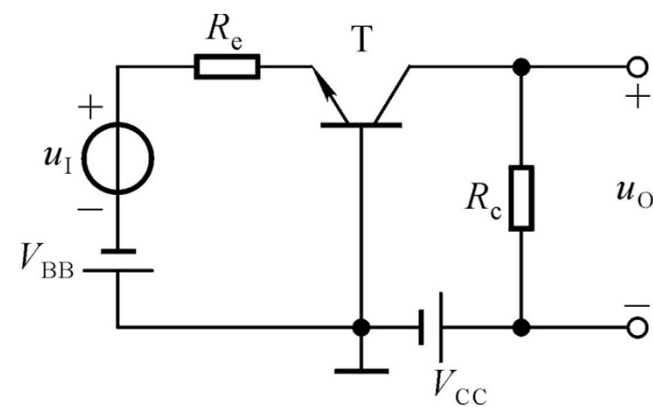
## 三种接法电路的比较



共射



共集



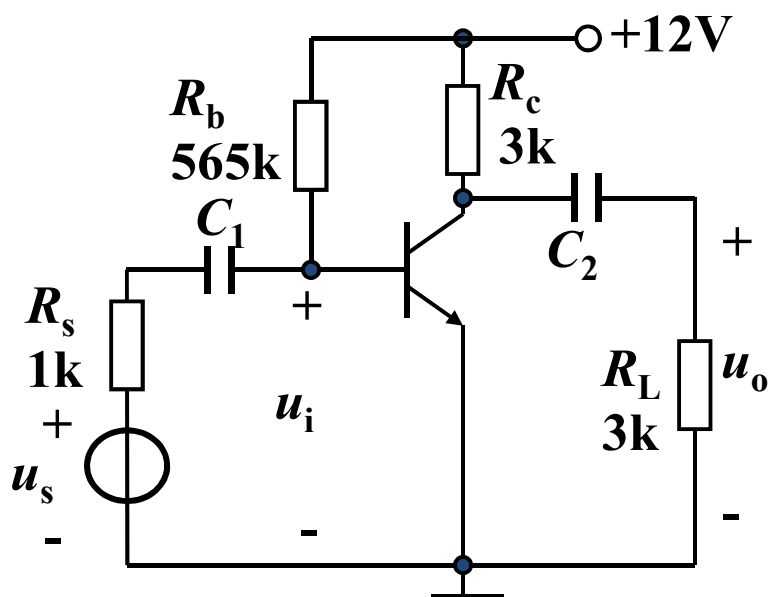
共基

基本接法	CE	CC	CB
$ A_u $	大( $U_o$ 与 $U_i$ 反相)	$<1$ ( $U_o$ 与 $U_i$ 同相)	中( $U_o$ 与 $U_i$ 同相)
$A_i$	$\beta$	$1+\beta$	$\alpha=\beta/(1+\beta)<1$
$R_i$	中	大	小
$R_o$	$R_c$	小	$R_c$
$f_w$	窄	中	宽
主要用途	用于低频电压放大	输入级和输出级	宽频带放大电路

## 讨论1:

- 放大幅值为 $2\text{mV}$ 的缓慢变化的温度信号，应选什么放大电路？直接耦合还是阻容耦合？
- 放大幅值为 $10\text{mV}$ 、频率为 $20 \sim 20\text{kHz}$ 的语音信号，应选什么放大电路？直接耦合还是阻容耦合？
- 将内阻为 $10\text{k}\Omega$ 的电压信号源转换成内阻小于 $200\Omega$ 的电压信号源，应选什么放大电路？
- 将 $4 \sim 10\text{mA}$ 的温度信号转换成电压信号，应选什么放大电路？
- 设计宽频带放大器，应选什么放大电路？

## 讨论2：阻容耦合共射放大电路动态分析



已知  $\beta=100$ ,  $r_{bb'}=100\Omega$

求  $A_u$ 、 $R_i$ 、 $R_o$ 、源电压放大倍数  $A_{us}$

(1) 画直流通路，估算静态工作点

$$I_{BQ} \approx \frac{12 - 0.7}{R_b} \approx 20\mu A$$

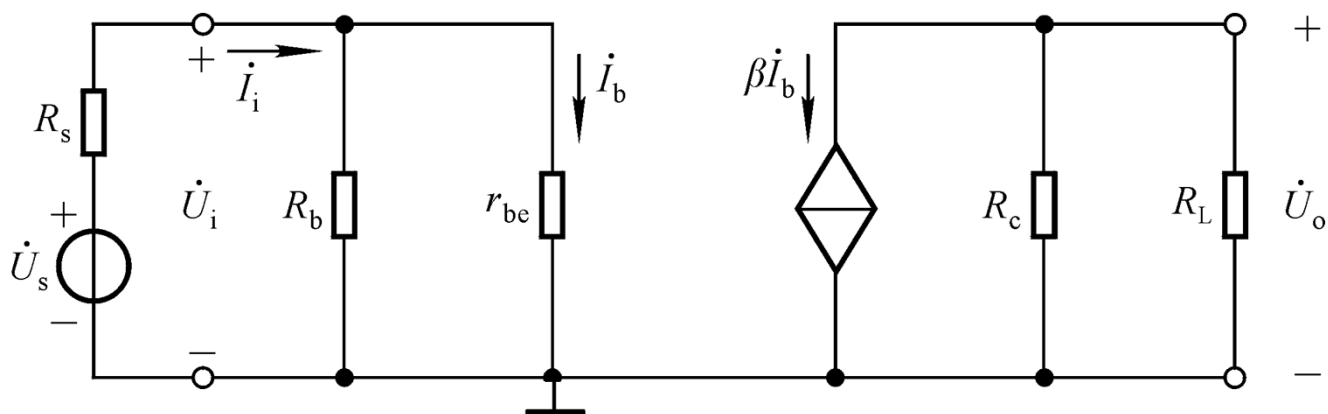
$$I_{CQ} \approx \beta I_{BQ} \approx 2mA$$

$$U_{CEQ} = 12 - I_{CQ} \cdot R_c \approx 6V$$

(2) 由  $r_{bb'}$ 、 $I_{CQ}$  估算  $r_{be}$

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{U_T}{I_{EQ}} = 1.4k\Omega$$

(3) 画交流等效电路, 估算 $A_u$ 、 $R_i$ 、 $R_o$



$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-\dot{I}_c(R_c // R_L)}{\dot{I}_b r_{be}} \quad \boxed{\dot{A}_u = \frac{-\beta(R_c // R_L)}{r_{be}} \approx -107}$$

**问题:** 1)  $R_c \uparrow$ ,  $|A_u|$ 如何变化?

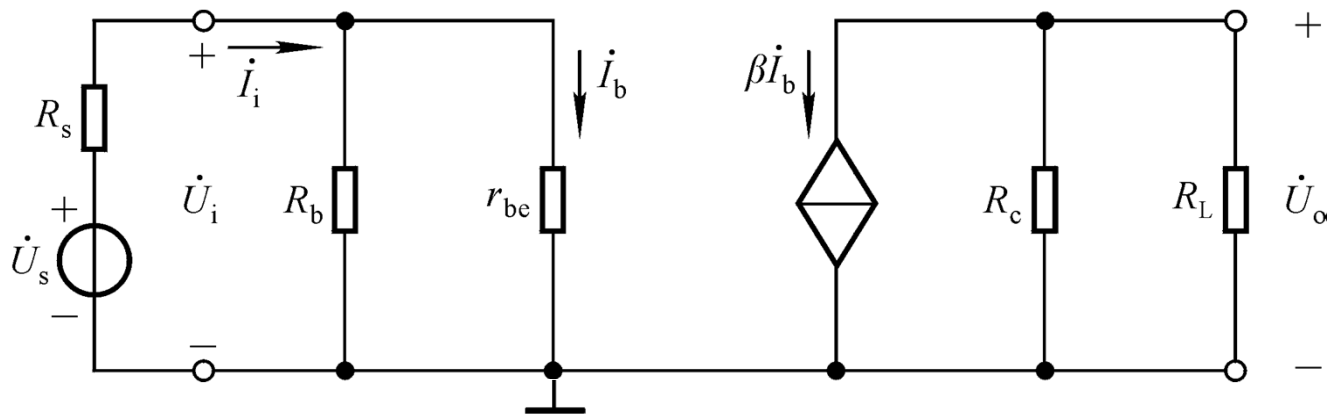
2)  $R_L \uparrow$ ,  $|A_u|$ 如何变化?

3)  $R_b \uparrow$ ,  $|A_u|$ 如何变化?

4)  $\beta$  增大能使 $|A_u|$ 增大吗?

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

**静态影响动态!**



$$R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i} = R_b // r_{be} \approx 1.4\text{k}\Omega \quad R_i \text{ 与 } R_s \text{ 无关}$$

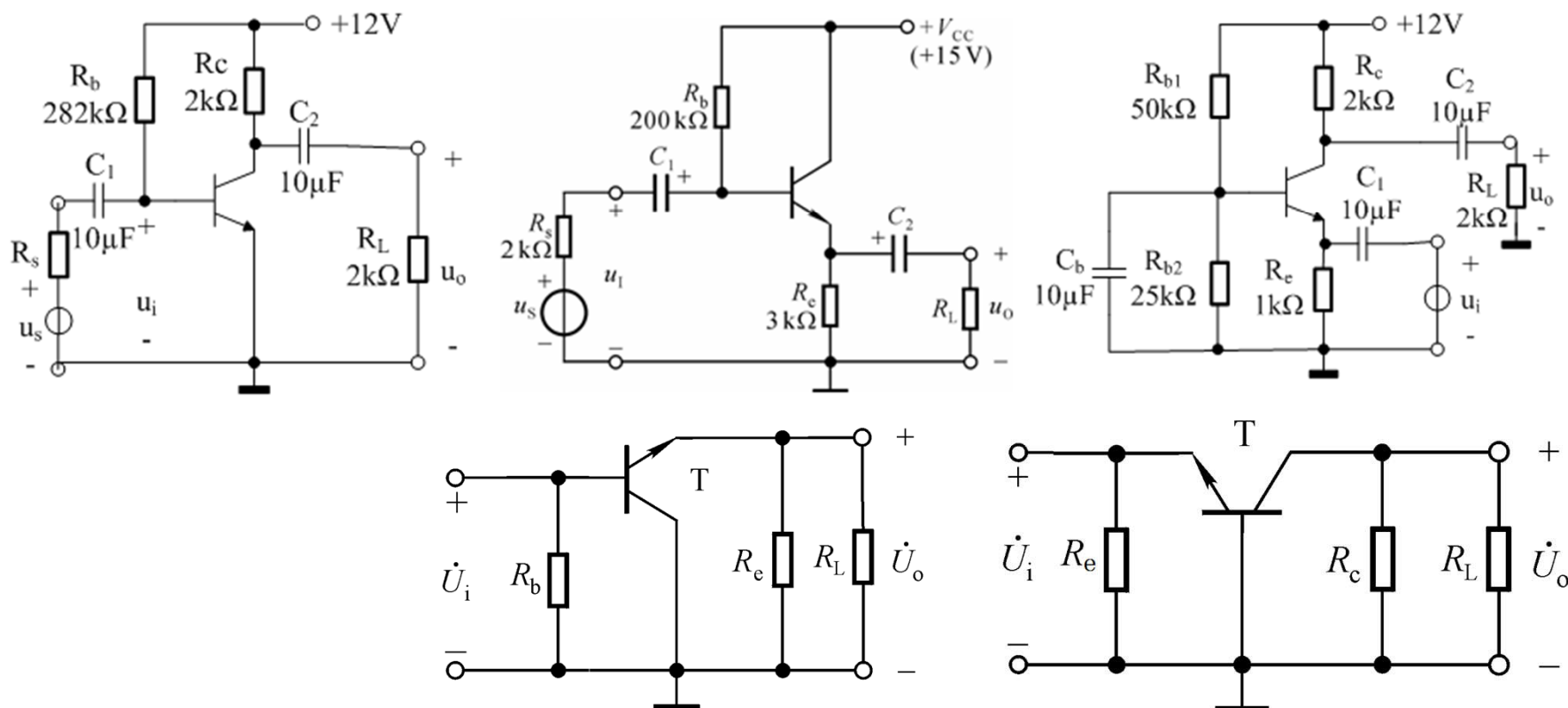
$$R_o = R_c = 3\text{k}\Omega \quad R_o \text{ 与负载 } R_L \text{ 无关}$$

$$\text{源电压放大倍数 } \dot{A}_{us} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \times \frac{\dot{U}_i}{\dot{U}_s} = \dot{A}_u \times \frac{R_i}{R_i + R_s} \approx -62.4$$

$R_i$  影响放大电路对信号源电压的放大能力

### 讨论3：单电源三种接法电路分析

- 三个电路分别为何种接法，总结判断方法。



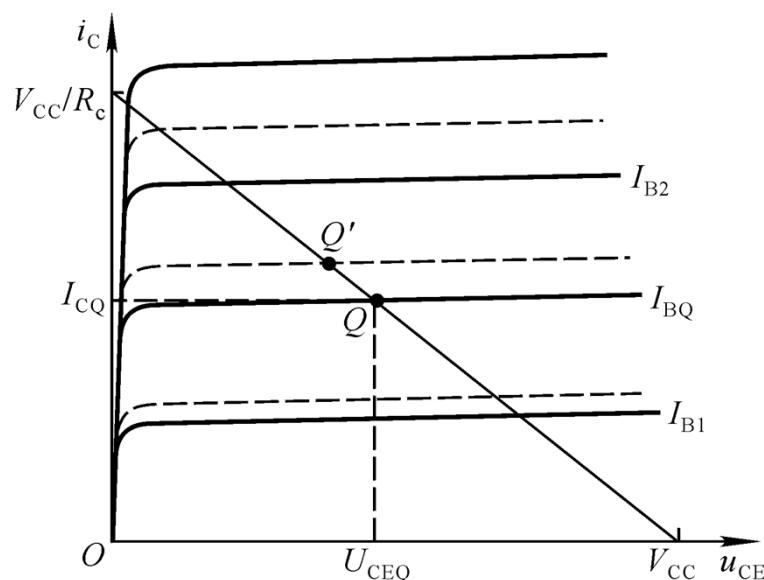
### 讨论4：

- CC、CB电路的 $Q$ 点、 $A_u$ 、 $R_i$ 、 $R_o$ 、 $U_{om}$ 应如何求？
- CC、CB电路如何根据波形判断截止失真和饱和失真？



## 2.5 放大电路静态工作点的稳定

### 一、静态工作点的稳定



• 温度对 $Q$ 点的影响:

$$T(^{\circ}\text{C}) \uparrow \rightarrow I_{BQ} \uparrow, \quad I_{CQ} \uparrow$$

$$\rightarrow \beta \uparrow$$

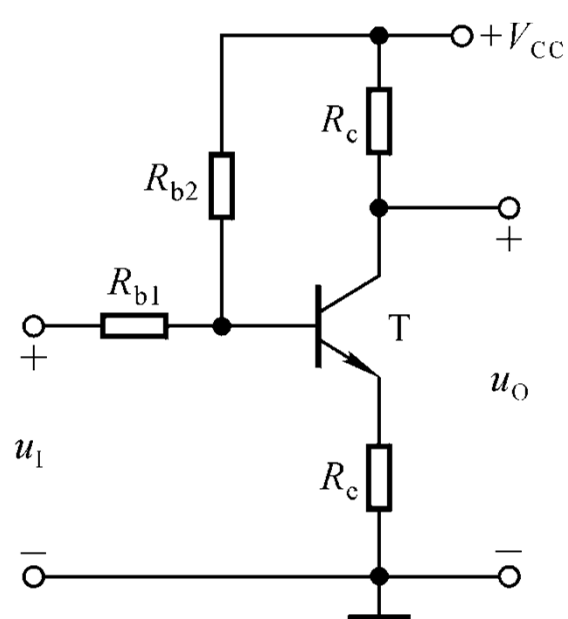
$$\rightarrow I_{CBO} \uparrow \rightarrow I_{CQ} \uparrow$$

• 稳定 $Q$ 点: 使 $I_{CQ}$ 、 $U_{CEQ}$ 基本不变

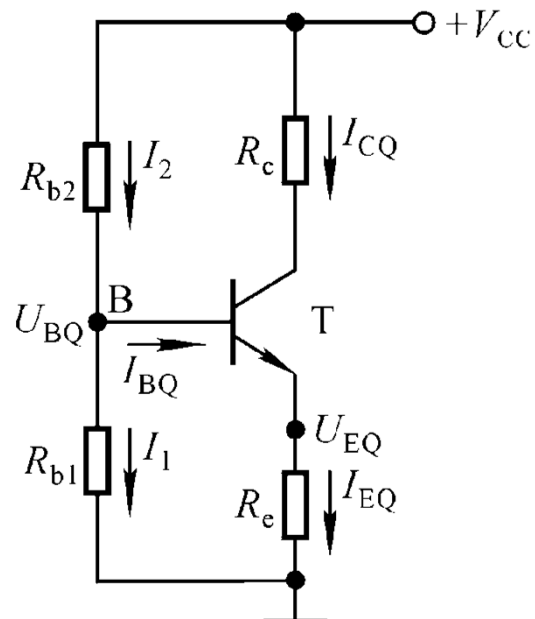
• 稳定 $Q$ 点思路:

$T(^{\circ}\text{C}) \uparrow$ 时若使 $I_{BQ} \downarrow$ , 则 $I_{CQ}$ 、 $U_{CEQ}$ 在输出特性上就基本不变

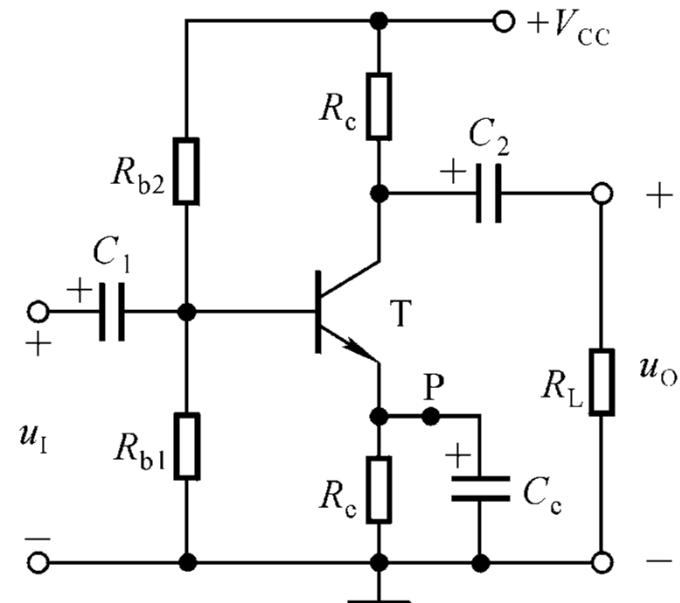
## 二、典型的稳 $Q$ 电路



直接耦合



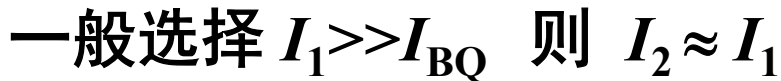
直流通路



阻容耦合

$C_e$ 为旁路电容





$U_{BQ}$ 基本不随温度变化

(使 $I_{CO}$ 基本稳定)

## 有差调节！