

# 模拟电子技术基础

# 第5章 放大电路基础

5.1 放大电路的组成及工作原理 → 定性

5.2 图解分析法  
5.3 计算分析法 } 定量

补充：阻容耦合放大电路

5.4 放大电路的三种接法

5.5 稳定工作点的放大电路

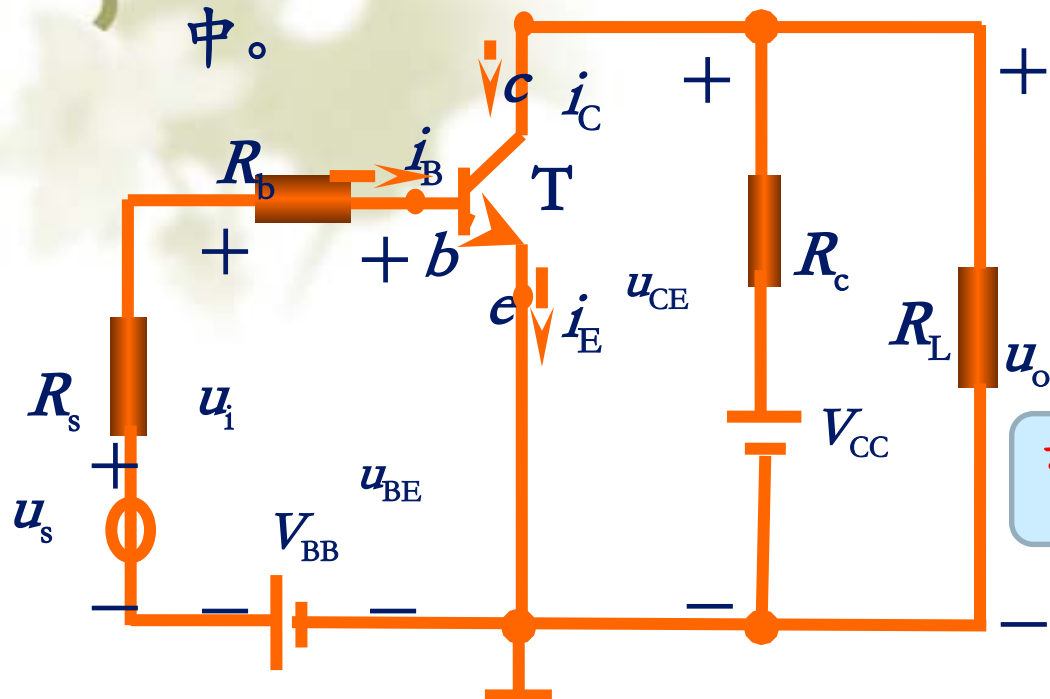
5.6 场效应管放大电路

5.7 多级放大电路

5.8 放大器的通频带

# 阻容耦合放大电路

直接耦合放大电路：输入和输出信号直接加载到放大电路中。



影响静态  
工作点

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_s + R_b}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} + I_{CEO} \approx \beta I_{BQ}$$

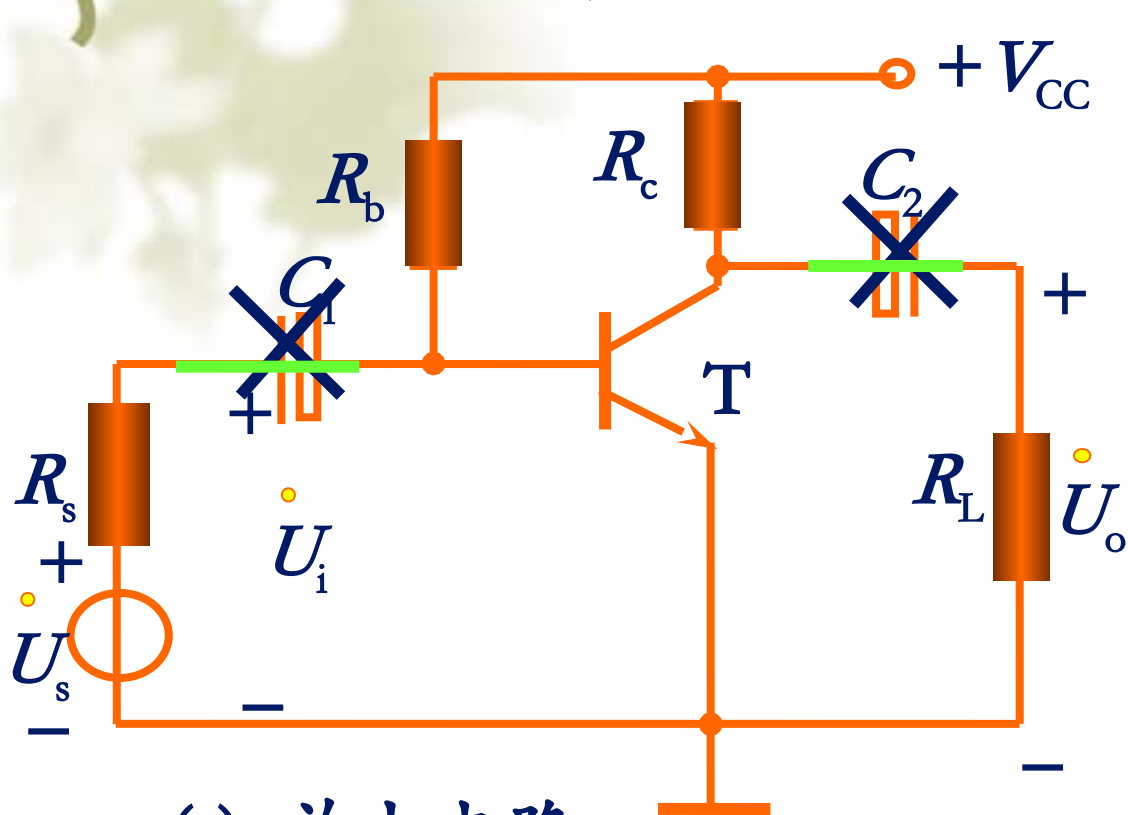
$$I_{R_c} = \frac{V_{CC} + I_{CQ} R_L}{R_c + R_L}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{R_c} \cdot R_c$$

如何避免  $R_s$ 、 $R_L$  影响  
静态工作点

# 阻容耦合放大电路

## 1. 阻容耦合基本共射极放大电路



(a) 放大电路

● 大电容  $C_1$  和  $C_2$  把放大电路与信号源及负载连接起来。  $C_1$  和  $C_2$  叫做**耦合电容**，亦称**隔直电容**。

● 隔离直流

对于直流，电容视为**断路**。对交流信号，视为**短路**

交流，频率  $\omega$  较大时，容抗  $\frac{1}{\omega C} \rightarrow 0$ ，电容视为短路

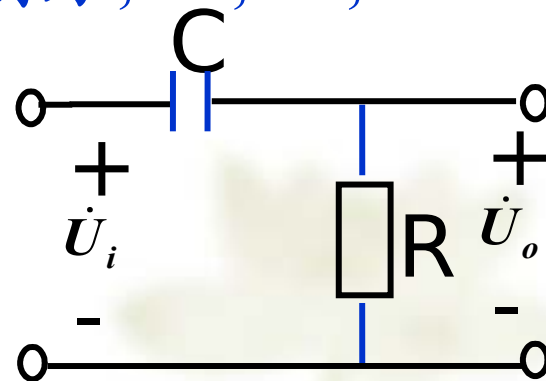
直流， $\omega=0$ ，容抗  $\frac{1}{\omega C} \rightarrow \infty$ ，电容视为断路

# 简单的交流信号处理电路

## 2、高通电

输入信号  $u_i = \sqrt{2}\sin\omega t$ ，输出信号  $u_o$ ，电阻  $R=1$  欧姆，大电容  $1\text{mF}$ ，求输入信号角频率分别为  $10^2, 10^4, 10^6, 10^8$  时，输出电压的有效值。

$$\dot{U}_o = \frac{\dot{U}_i}{R + \frac{1}{j\omega C}} R = \frac{1\angle 0^\circ}{1 + \frac{1}{j\omega RC}} = \frac{1\angle 0^\circ}{1 + \frac{1}{j10^{-3}\omega}}$$



角频率分别为

$$10^2 : \dot{U}_o \approx 0.1\angle 90^\circ \approx 0$$

$$10^4 : \dot{U}_o \approx 1\angle 0^\circ$$

$$10^6 : \dot{U}_o \approx 1\angle 0^\circ$$

$$10^8 : \dot{U}_o \approx 1\angle 0^\circ$$

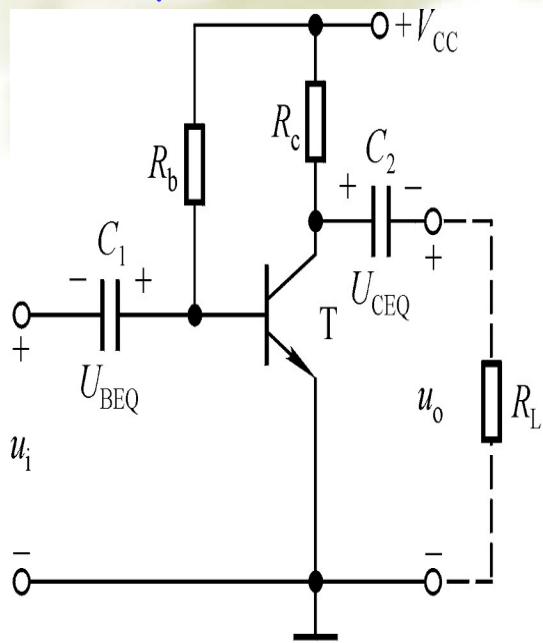
$\dot{U}_o$  超前  $\dot{U}_i$

当  $f \rightarrow 0$  时； $|\dot{U}_o| \rightarrow 0$ 。

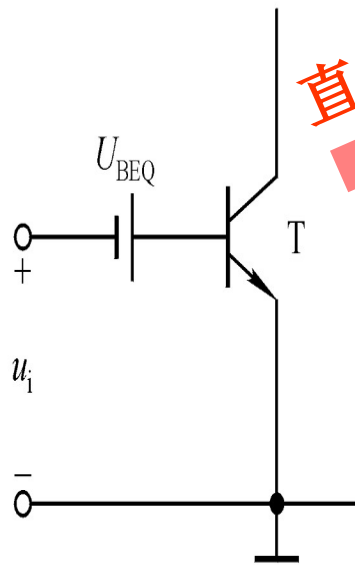
当  $f \rightarrow \infty$  时； $\dot{U}_o \rightarrow \dot{U}_i$ 。

高通电路：高频信号能基本无失真通过，低频信号衰减很厉害

# 例 5-1：阻容耦合共射放大电路



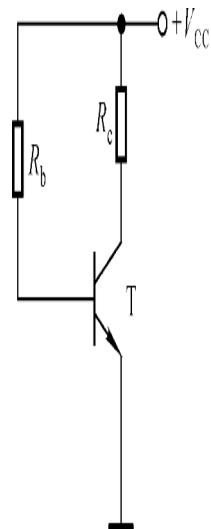
(a)



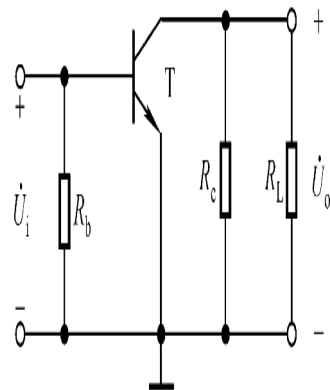
(b)

直流通路

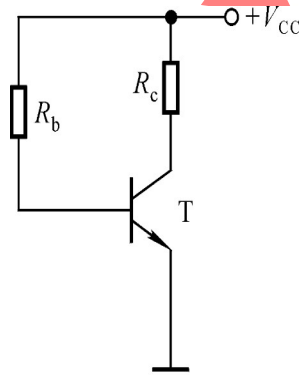
交流通路



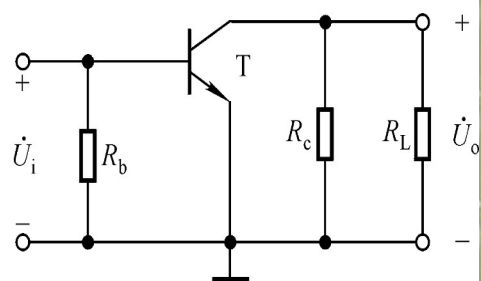
(a)



(b)



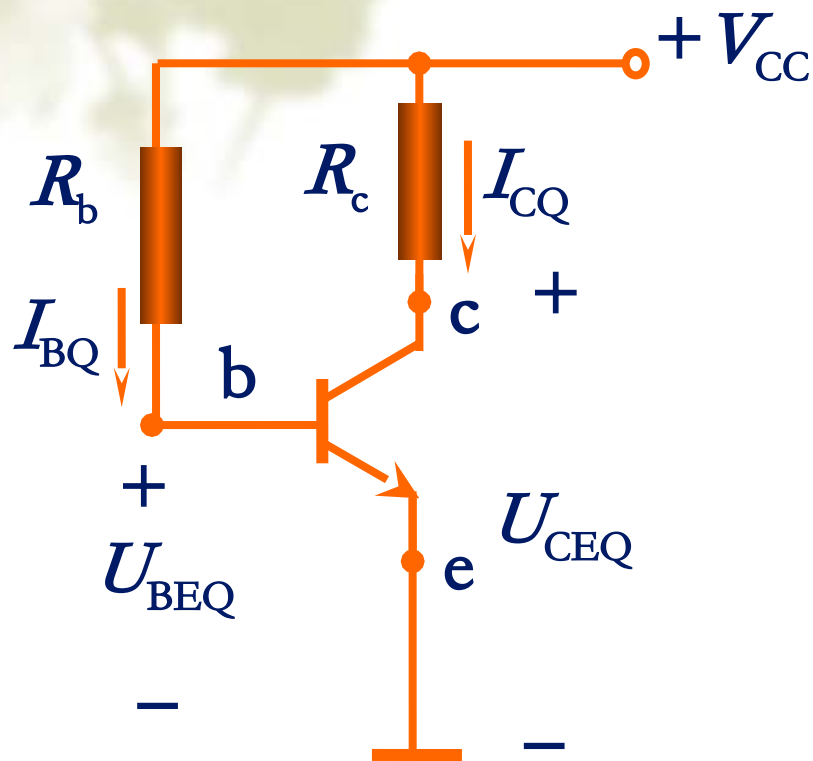
(a)



(b)

# 阻容耦合放大电路

## (1) 静态工作点的计算



(b) 直流通路

直流通路中电容看成断路，则直流通路如图 (b) 所示。

据直流通路可以写出

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

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

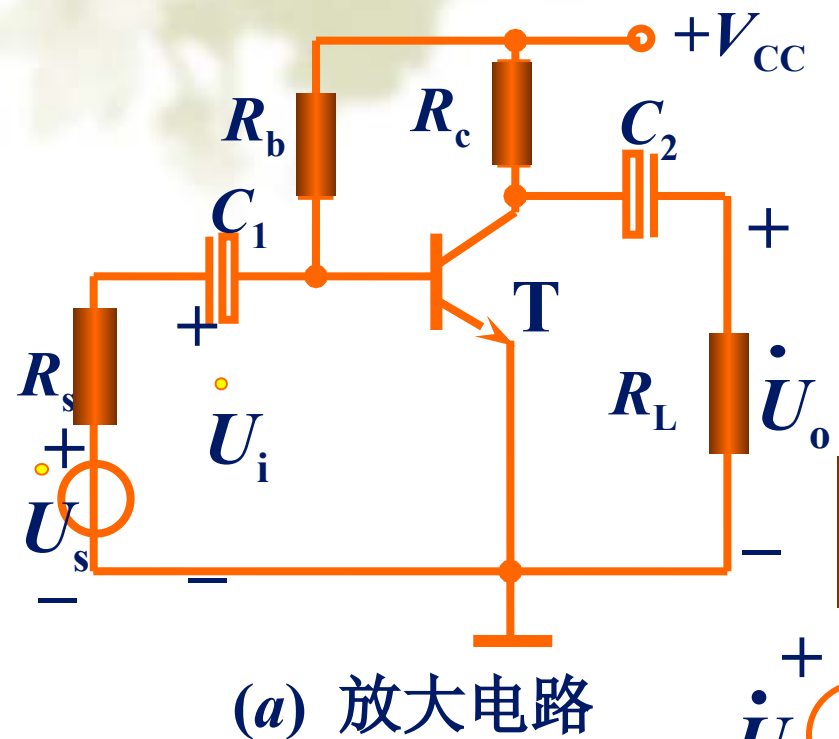
$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_c$$

优点：信号内阻  $R_s$ 、负载  $R_L$  不影响静态工作点。



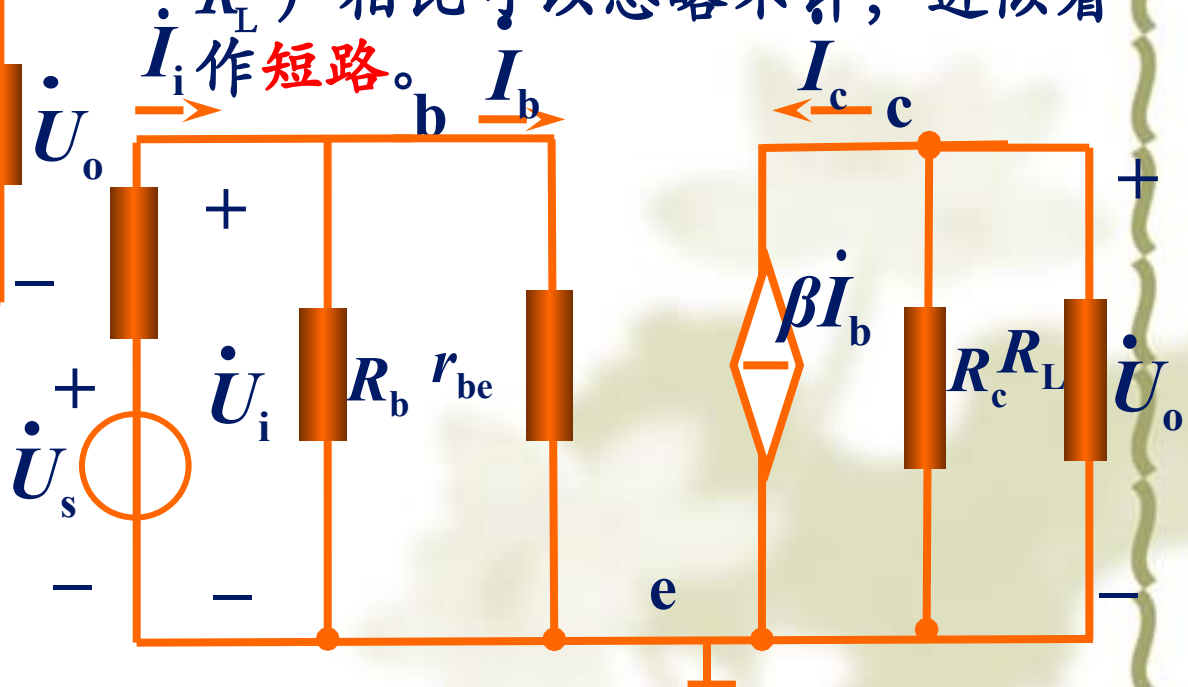
# 阻容耦合放大电路

## (2) 交流通路



信号源直接加载到 BE 极上，不衰减。

电容  $C_1$  和  $C_2$  的容量大，在信号频率足够大的情况下，容抗非常小，同与之串联的电阻 ( $R_1$ 、 $R_L$ ) 相比可以忽略不计，近似看作短路。



微变等效电路



# 阻容耦合放大电路

## 结论：

### 阻容耦合放大电路优点

- 直流通路中，避免  $R_s$ 、 $R_L$  影响静态工作点
- 交流通路中，避免信号源被  $R_b$  衰减

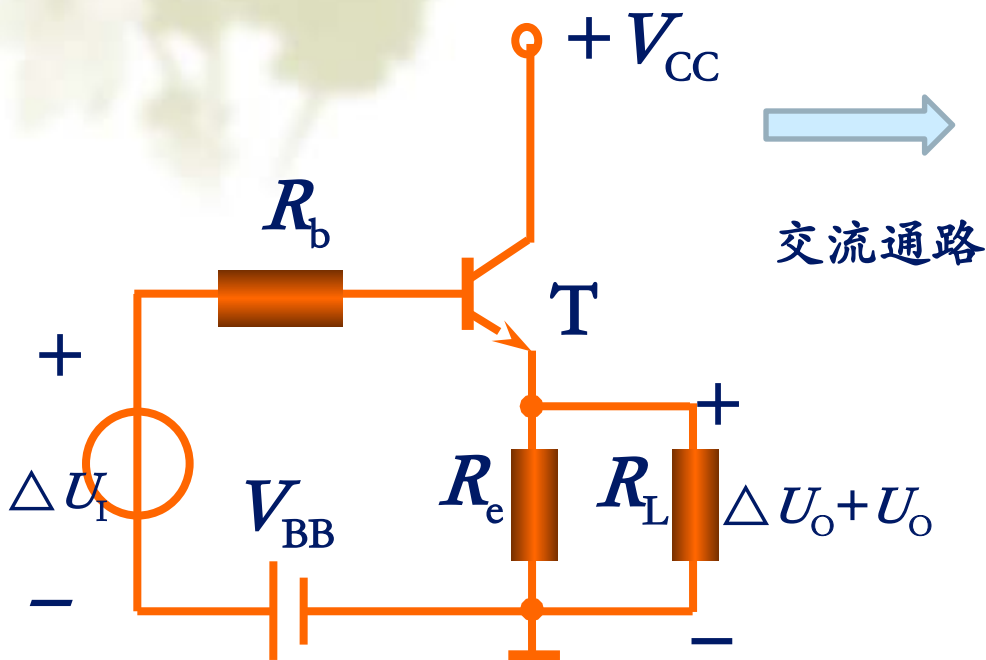
### 阻容耦合放大电路缺点

- 会阻碍缓慢变化（低频）的信号信号的传递
- 集成电路内部制作大电容很困难

## 5.4 放大电路的三种接法

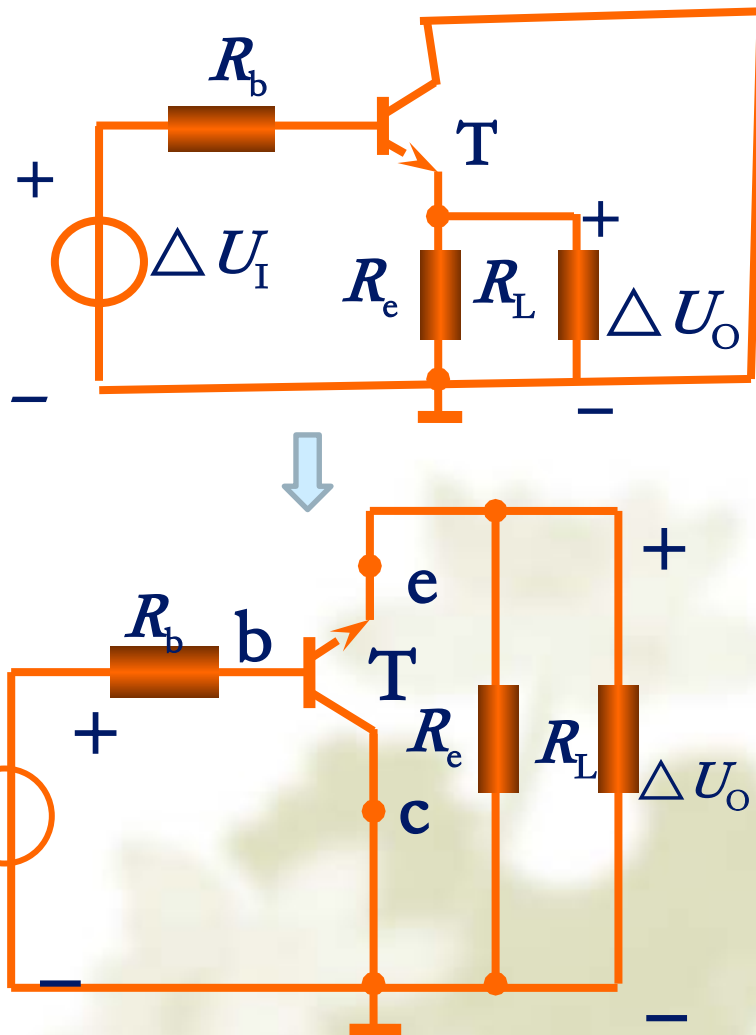
### 1. 共集电极放大电路

思考：为什么称为共集？



(a) 放大电路

共集电极放大电路：交流信号 B 输入和 E 输出，共用集电极 (B 入 E 出)。

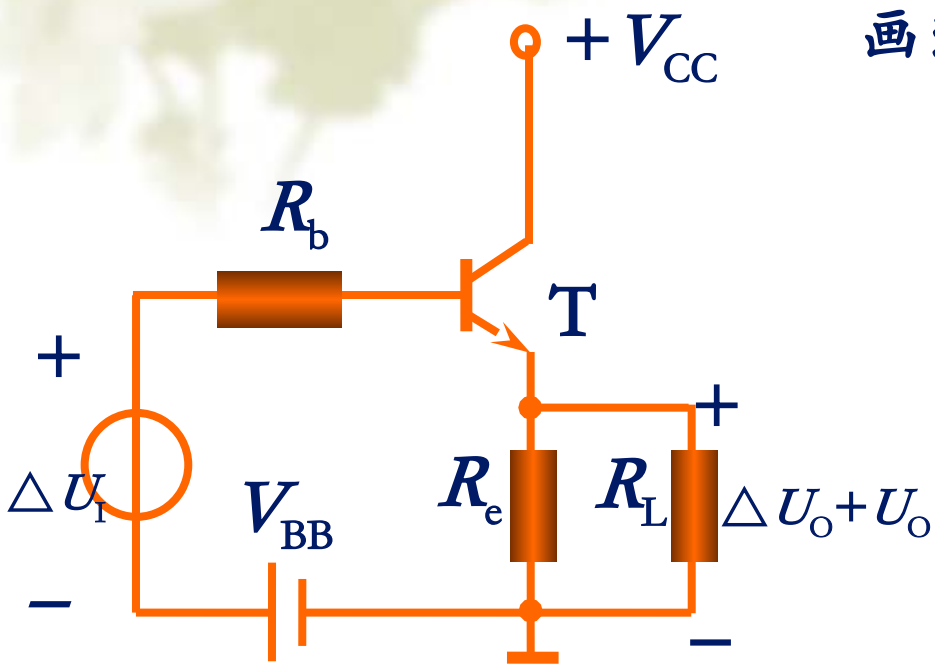


(b) 交流通路

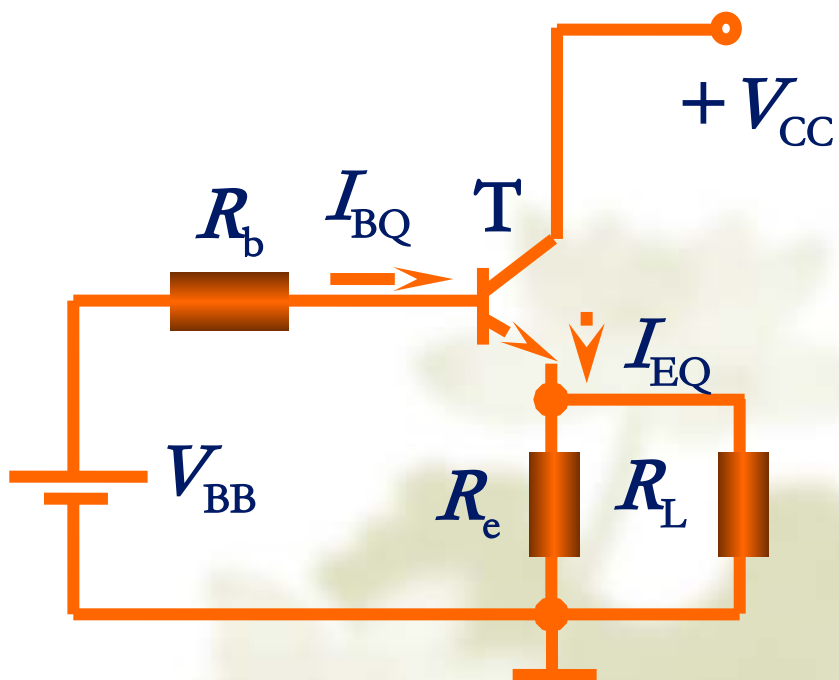
# 1. 共集电极放大电路

## (1) 静态工作点的分析计算

画出图 (a) 中放大电路的直流通路。



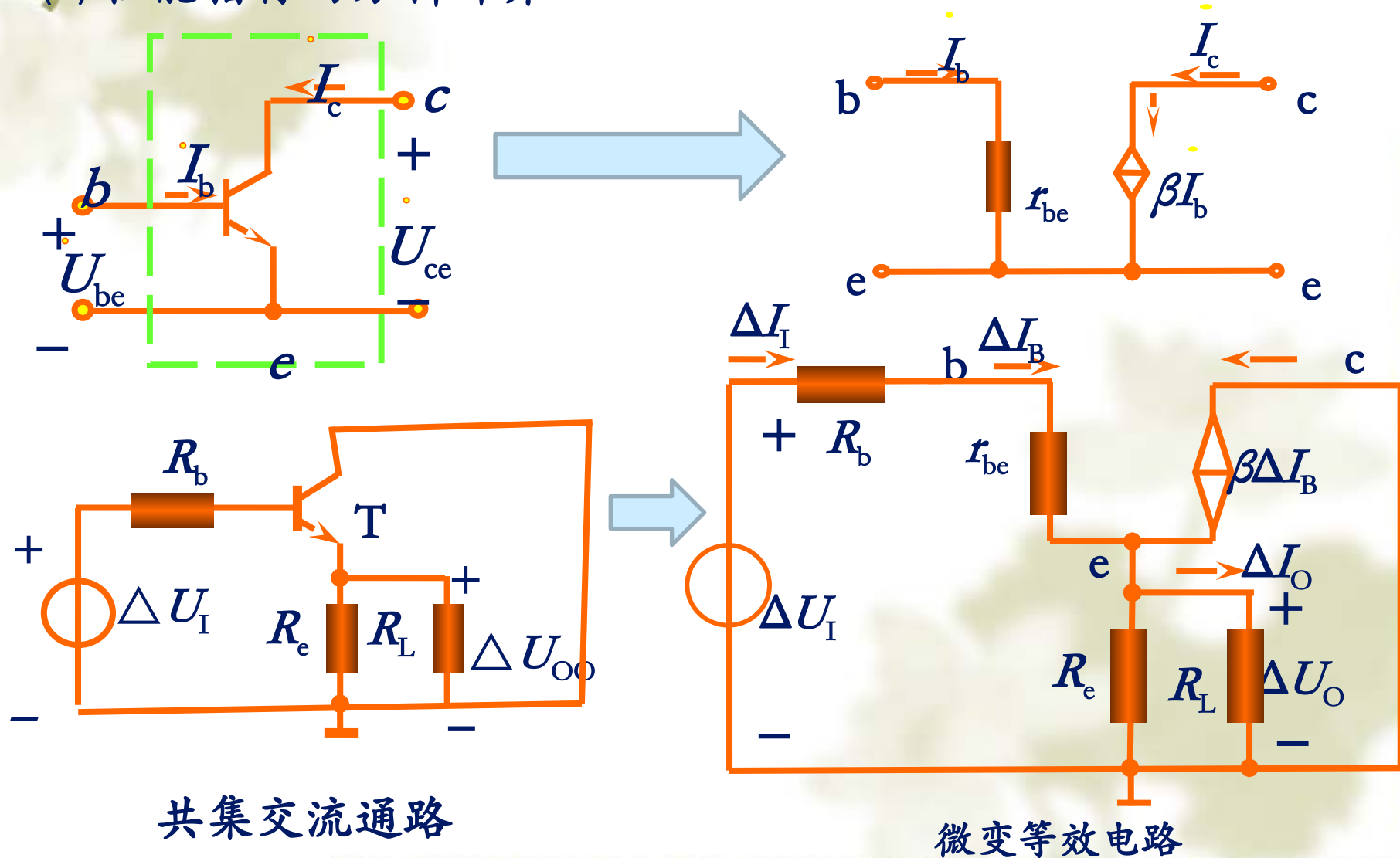
(a) 放大电路



(b) 直流通路

# 1. 共集电极放大电路

## (2) 性能指标的分析计算

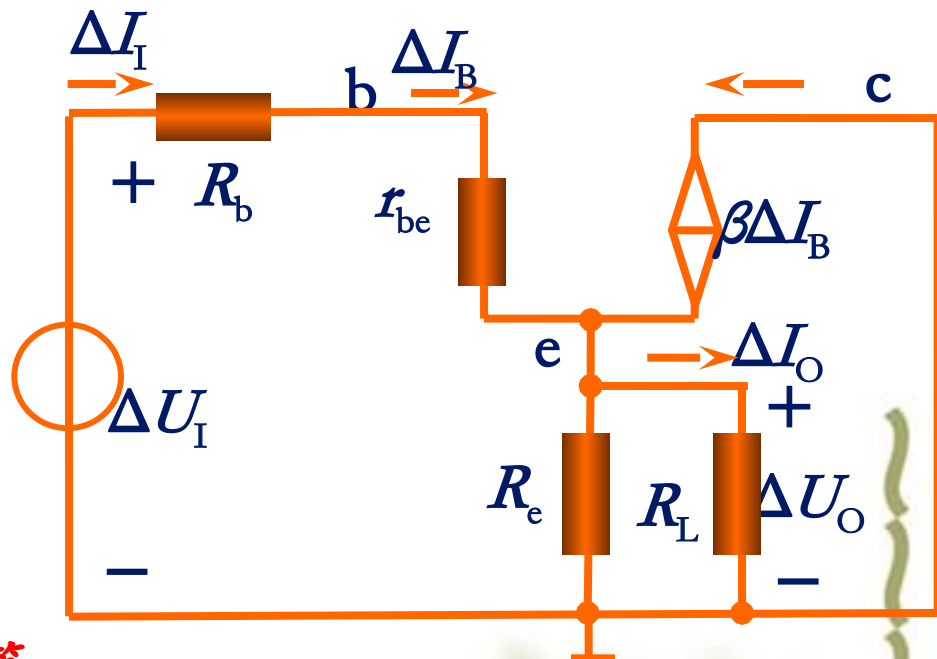


# 1. 共集电极放大电路

## (2) 性能指标的分析计算

### 1 电压放大倍数

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



微变等效电路

- 电压放大倍数小于 1，但约等于 1，于输出信号电压  $\Delta U_o$  与输入信号电压  $\Delta U'_I$  同相。

### 2 电流放大倍数

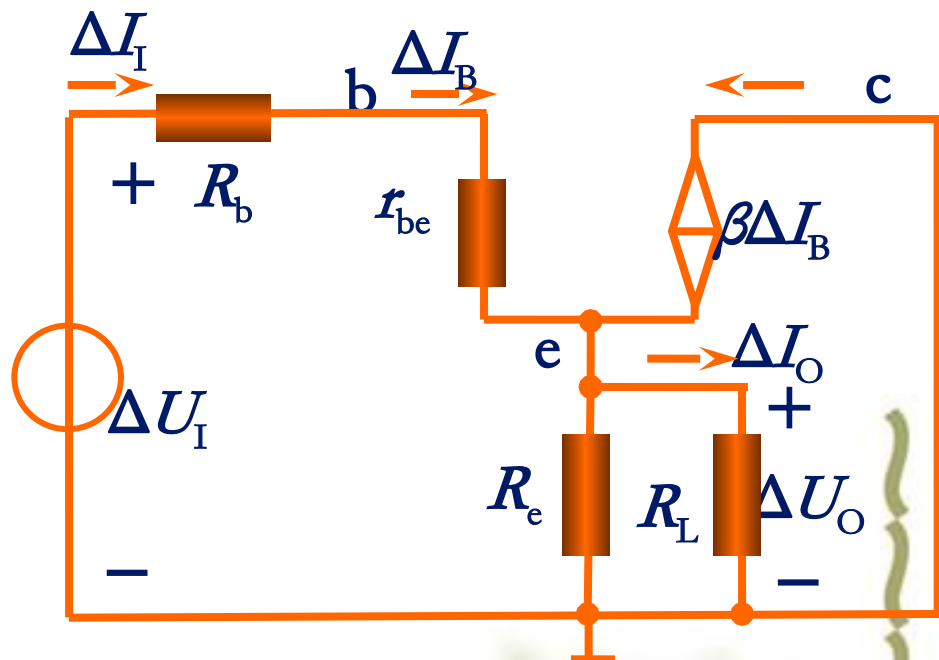
$$A_i = \frac{\Delta I_o}{\Delta I_i} = \frac{(1 + \beta) R_e}{R_e + R_L}$$

- 尽管共集电极放大电路的  $A_u$  小于 1，不能放大电压信号，但这种放大电路可以放大电流信号，放大功率。

# 1. 共集电极放大电路

## (2) 性能指标的分析计算

### 3 输入电阻 $R_i$ 和输出电阻 $R_o$



微变等效电路

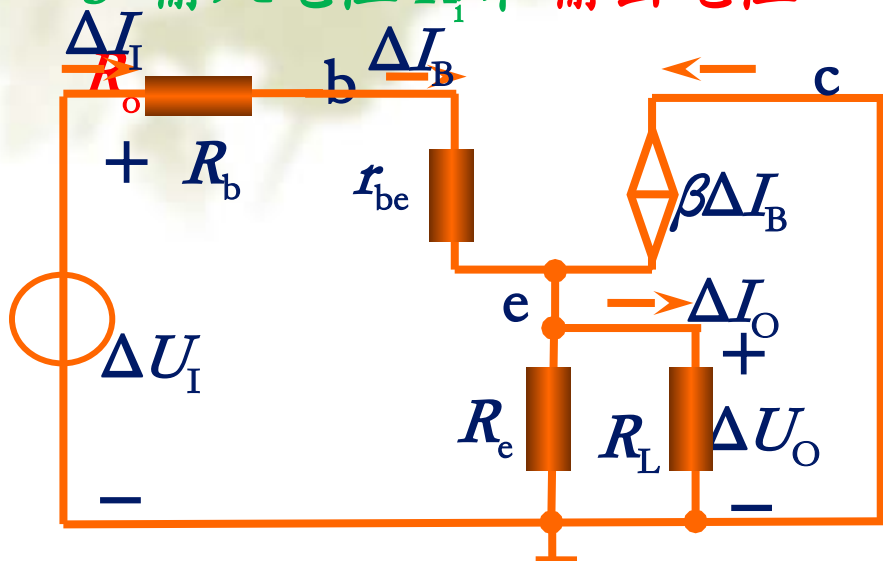
$$R_i = \frac{\Delta U_I}{\Delta I_I} = R_b + r_{be} + (1 + \beta)(R_e // R_L)$$

从上式可见，共集电极放大电路具有输入电阻大

# 1. 共集电极放大电路

## (2) 性能指标的分析计算

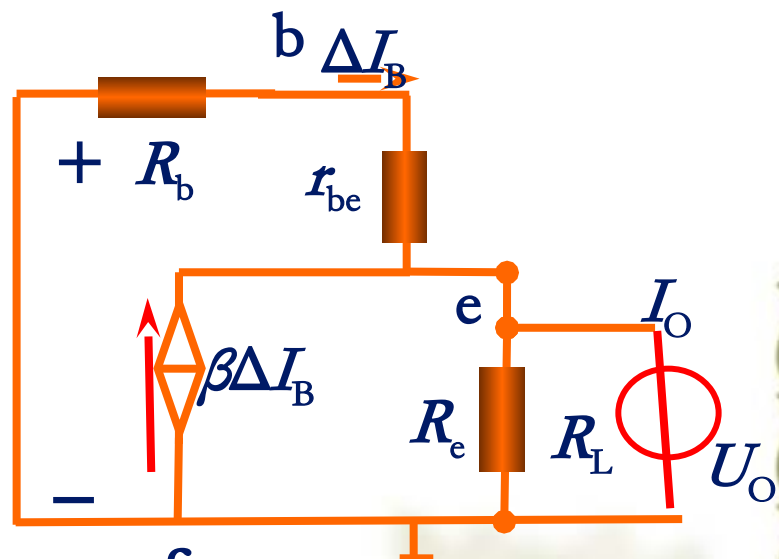
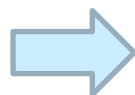
### 3 输入电阻 $R_i$ 和输出电阻



微变等效电路

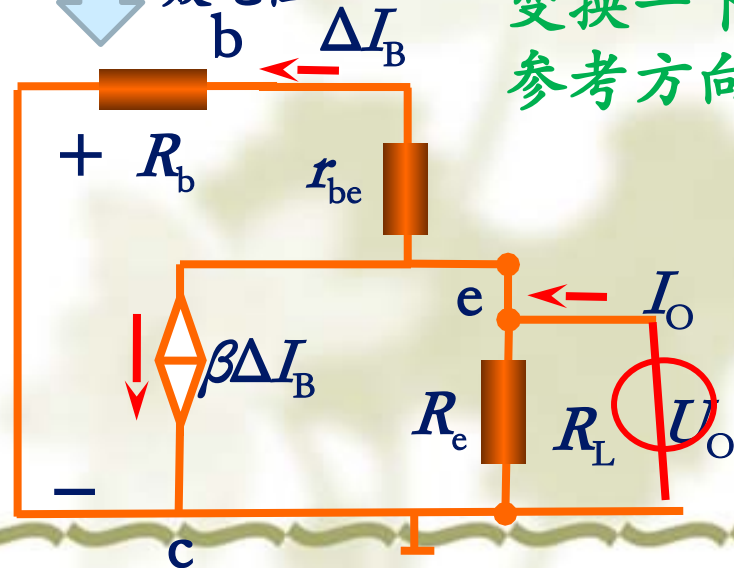
$$R_o = \frac{U_o}{I_o} = \frac{U_o}{\frac{U_o}{R_e} + \frac{U_o}{r_{be} + R_b} + \beta \frac{U_o}{r_{be} + R_b}}$$

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



除源，加压，求输出等效电阻

变换一下  
参考方向





# 1. 共集电极放大电路

## (2) 性能指标的分析计算

### 3 输入电阻 $R_i$ 和输出电阻

$R_o$

$$R_o = \frac{1}{\frac{1}{R_e} + \frac{1 + \beta}{r_{be} + R_b}}$$

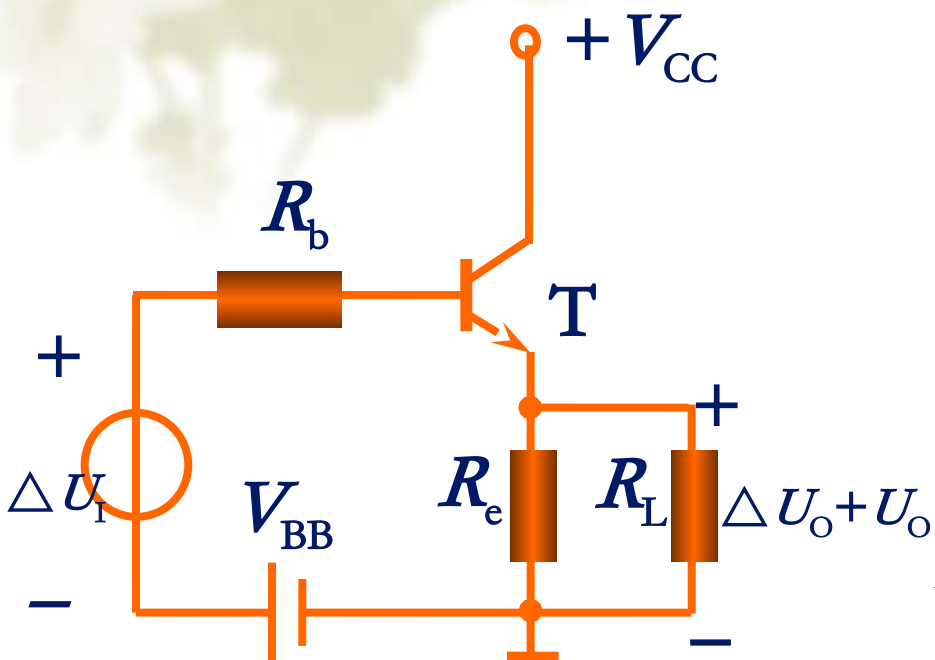
通常  $\frac{1}{R_e} \ll \frac{1 + \beta}{r_{be} + R_b}$

则  $R_o \approx \frac{r_{be} + R_b}{1 + \beta}$

从上式可见，共集电极放大电路具有很小的输出电阻，一般为几欧姆至几百欧姆。

# 1. 共集电极放大电路

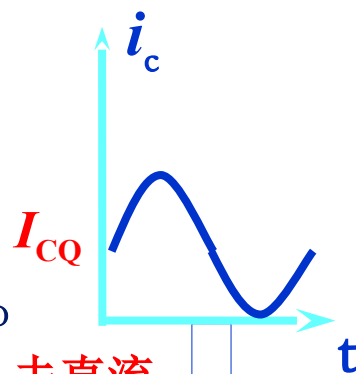
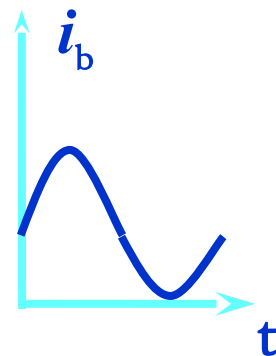
## (1) 最大输出电压幅度 $U_{omax}$



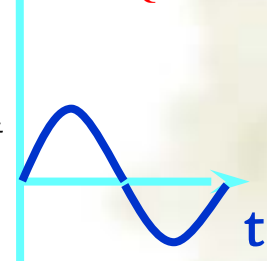
(a) 放大电路

$$u_o = -I_{CQ} R'_L \sin \omega t$$

$$I_{CQ} R'_L$$

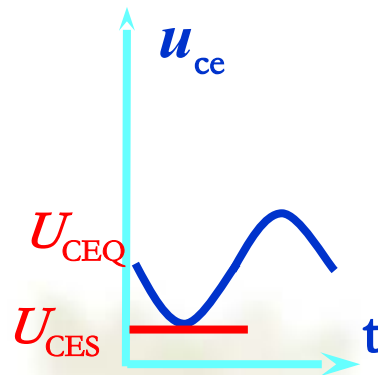


$$i_c = I_{CQ} \sin \omega t$$



$$u_{ce} = U_{CEQ} - I_C \sin \omega t \cdot R'$$

$$= U_{CEQ} - U_{OM} \sin \omega t \geq U_{CES}$$



$$U_{OM} \leq U_{CEQ} - U_{CES}$$

$$U_{omax} = \min \{ U_{CEQ}$$

$$- U_{CES},$$

$$I_{CQ} R'_L \}$$

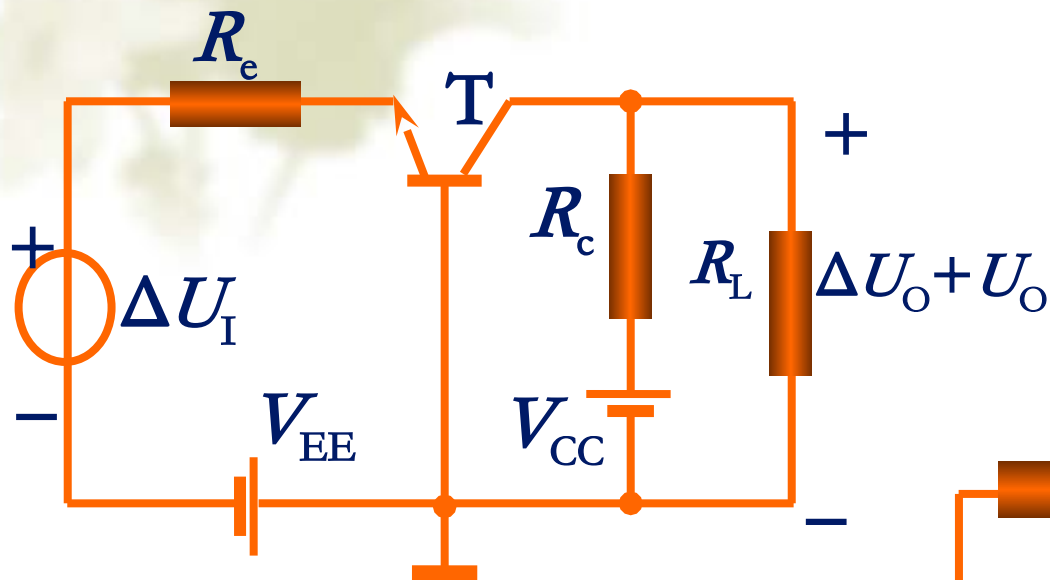
# 1. 共集电极放大电路

## 共集电极放大电路的特点

- (1) **电压放大倍数小于 1**。输出信号电压  $\Delta U_O$  与输入信号电压  $\Delta U_I$  同相。
- (2) **电流放大倍数可大于 1**，具有电流放大和功率放大的能力。
- (3) **输入电阻大**，向信号源取的电流小。**输出电阻小**，带负载能力强。

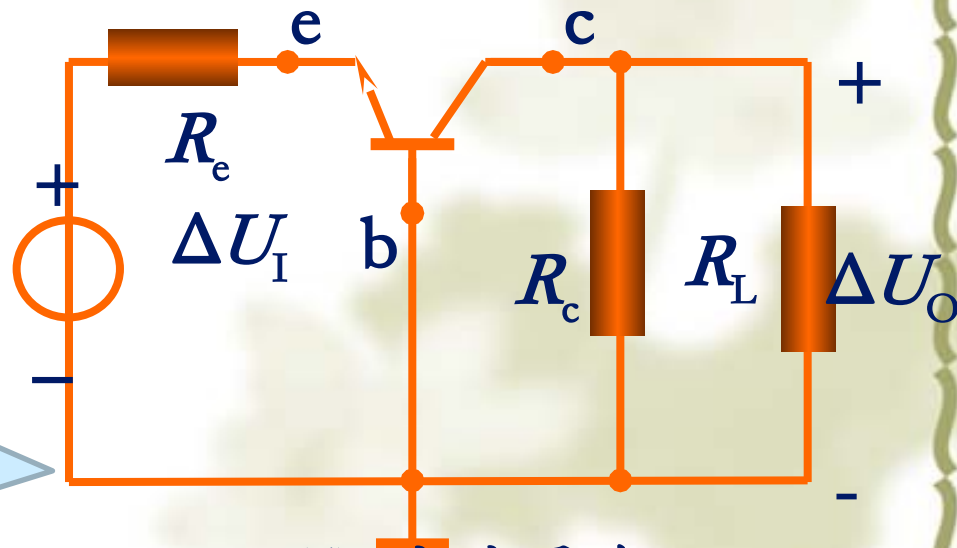
## 2. 共基极放大电路 (不要求掌握)

图 (a) 是一个共基极放大电路。



(a) 放大电路

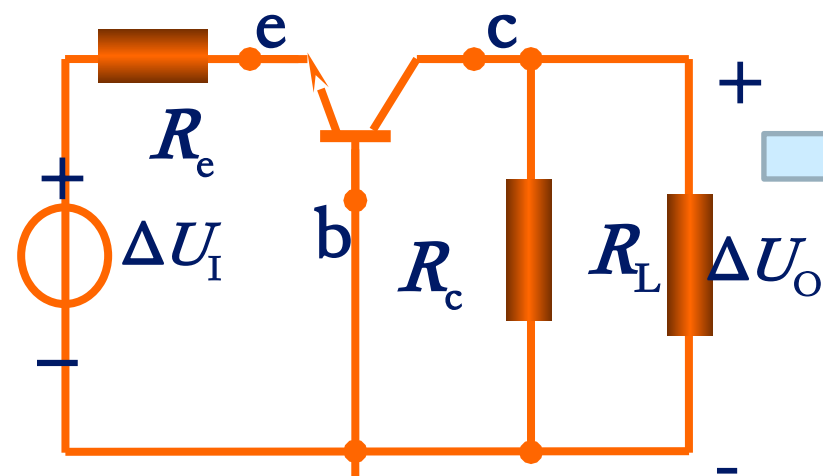
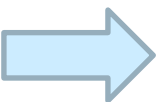
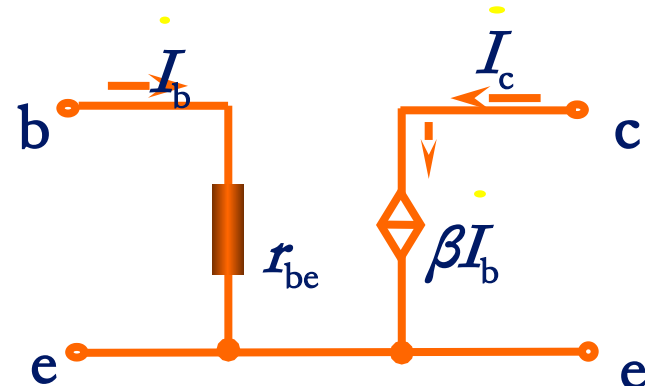
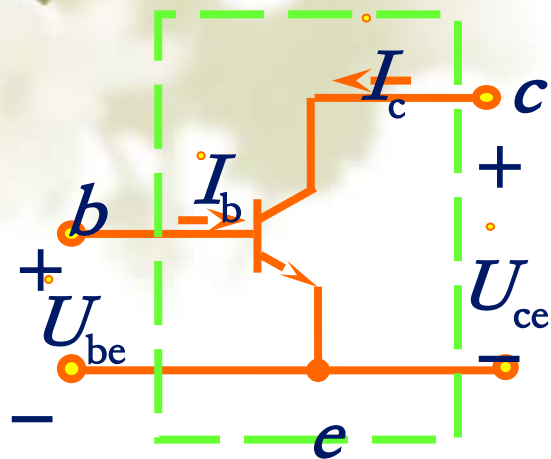
交流输入和输出信号共用基极，E 入 C 出



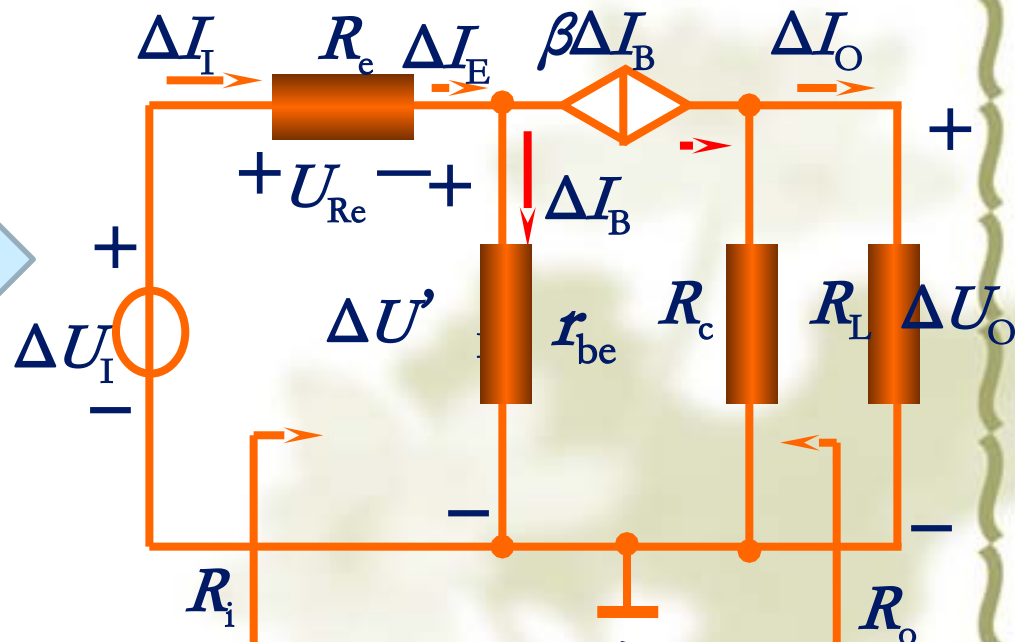
(b) 交流通路

## 2. 共基极放大电路

### (2) 性能指标的分析计算



交流通路



(b) 微变等效电路

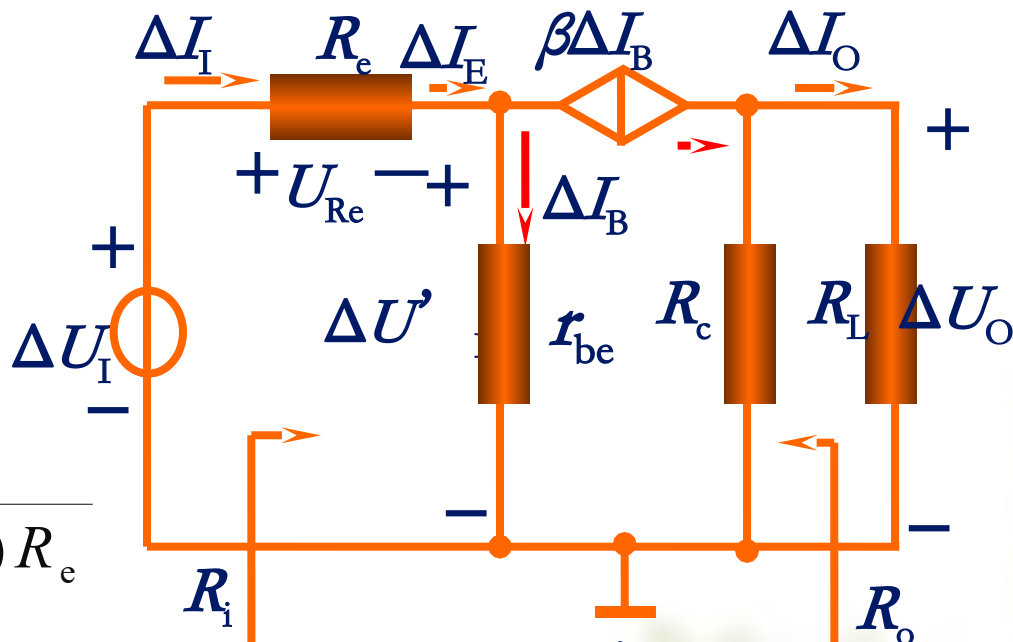
## 2. 共基极放大电路

### (2) 性能指标的分析计算

#### 1 电压放大倍数

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

式中  $R'_L = R_c // R_L$ 。



(b) 微变等效电路

#### 2 电流放大倍数

$$A_i = \frac{\Delta I_o}{\Delta I_i} = \frac{R_c}{R_c + R_L} \cdot \frac{\beta \Delta I_B}{\Delta I_E} = \frac{\beta R_c}{(1 + \beta)(R_c + R_L)}$$

电流放大  
倍数小于

1

#### 3 输入电阻 $R_i$ 和输出电阻

$$R_i = \frac{\Delta U_i}{\Delta I_i} = R_e + \frac{r_{be}}{1 + \beta}$$

输入电  
阻较低

$$R_o = R_c$$

## 2. 共基极放大电路

### (2) 性能指标的分析计算

- (1) 电压放大倍数较大，输出信号电压  $\Delta U_o$  与输入信号电压  $\Delta U_i$  同相。
- (2) 电流放大倍数小于 1。
- (3) 输入电阻较低，输出电阻与共发射极放大电路一样为  $R_c$ 。



### 3. 三种基本放大电路的比较

共射

$A_u$  大,  $U_o$  与  $U_i$  反相

$A_i$  大,

$R_o$ 、 $R_i$  适中

共集

$A_u < 1$ ,  $U_o$  与  $U_i$  同相

$A_i > 1$ , 大

$R_i$  很大、 $R_o$  很小

共基

$A_u$  大,  $U_o$  与  $U_i$  同相

$A_i < 1$

$R_i$  很小、 $R_o$  适中, 频率特性好