



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

## § 3.3 三种组态放大器的中频特性

**lugh@ustc.edu.cn**

**2016年9月23日**

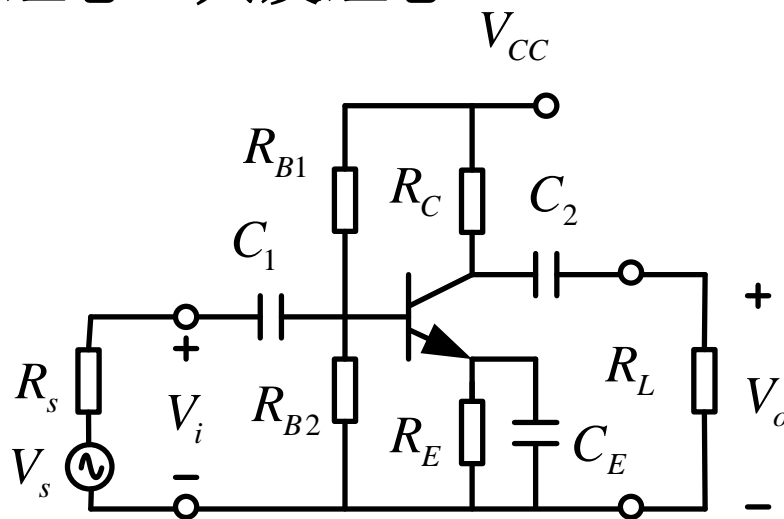
# 提纲

- 1. 单级共发放大器
- 2. 射极串电阻 $R_e$ 的共发放大器
- 3. 共集放大器
- 4. 共基放大器

# 1. 共发射放大器

## ■ 电路结构

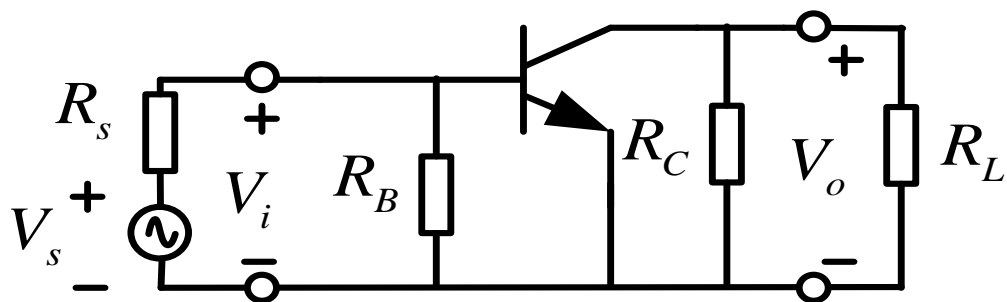
- 直流偏置电路：定基压偏置，并保证BJT处于放大状态
- 交流工作组态：共发组态



# 1. 共发射放大器

## ■ 中频交流通路

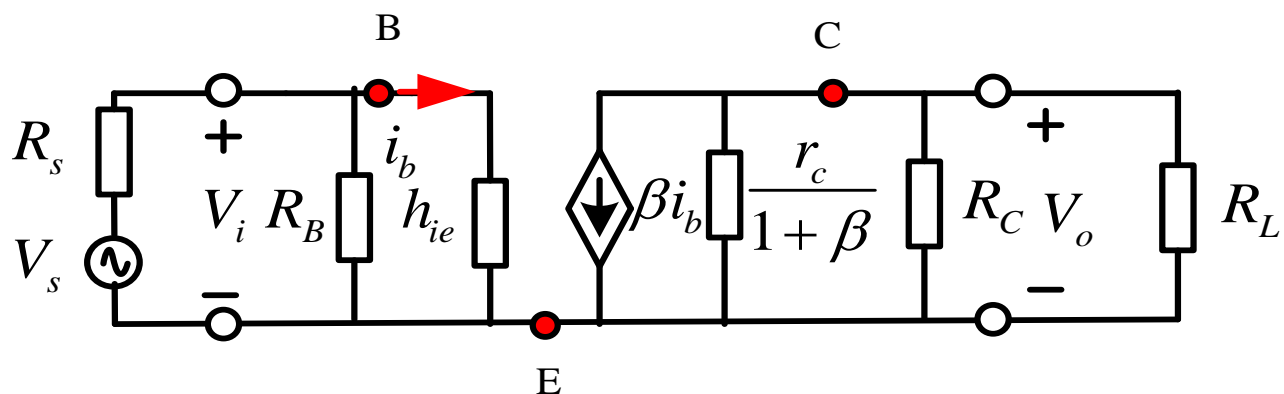
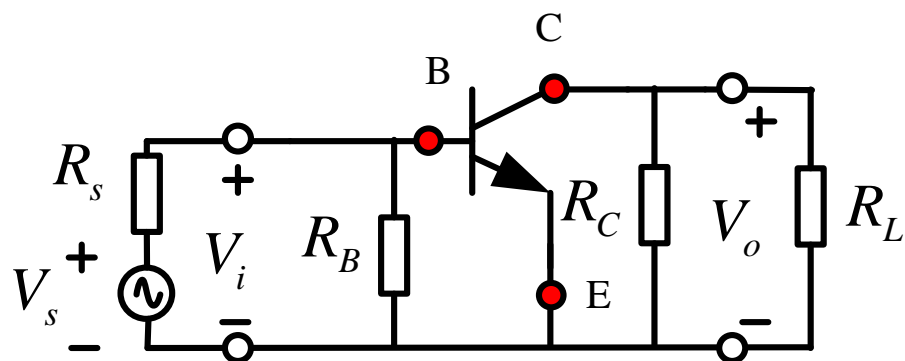
- 直流电压源作交流接地处理
- 耦合电容、旁路电容作交流短路处理



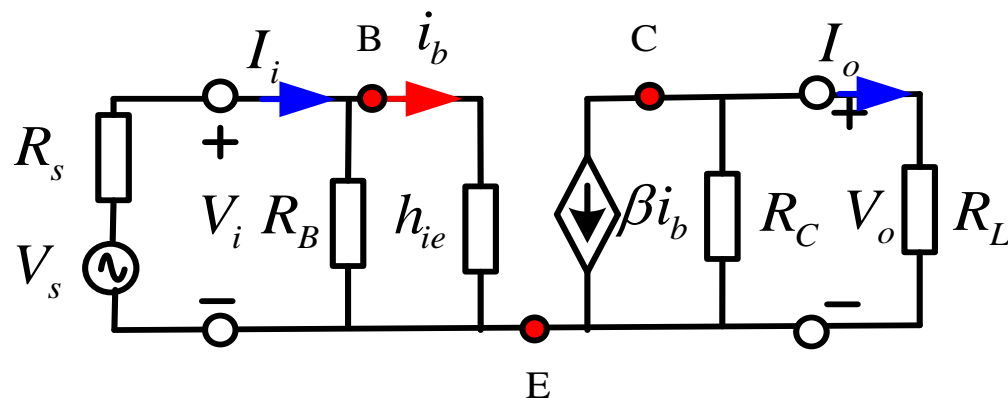
$$R_B = R_{B1} \parallel R_{B2}$$

# 1. 共发射放大器

## ■ 中频交流等效电路



# 1. 共发射放大器



## ■ 说明

- 一般情况下，集电结电阻 $r'_c$ 可以忽略不计，不必画出
- 作中频交流等效电路，并标明输入输出端口的电流、电压及其方向，标明BJT三端口的电流方向

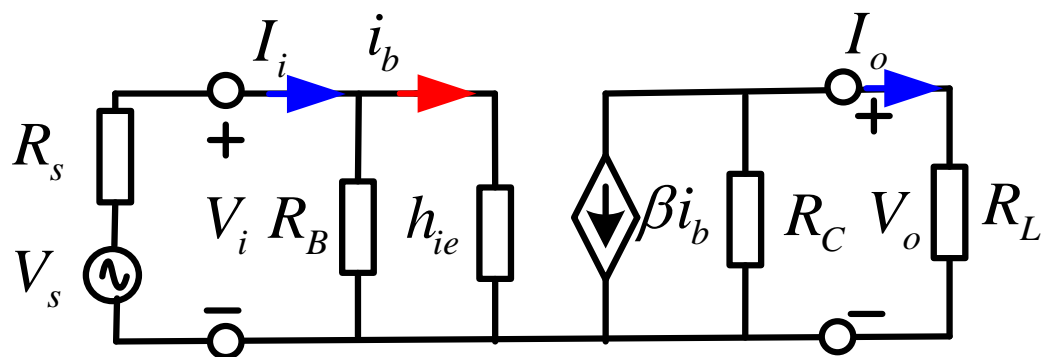
# 1. 共发射放大器

## ■ 中频分析的主要交流指标参数

- ☐ 电压增益
- ☐ 输入阻抗
- ☐ 源电压增益
- ☐ 输出阻抗
- ☐ 电流增益

# 1. 共发射放大器

## ■ 中频电压增益分析



$$\begin{cases} V_o = -\beta i_b (R_C \parallel R_L) \\ V_i = i_b h_{ie} \end{cases} \Rightarrow A_V = \frac{V_o}{V_i} \bigg|_{R_L} = \frac{-\beta (R_C \parallel R_L)}{h_{ie}}$$



# 1. 共发射放大器

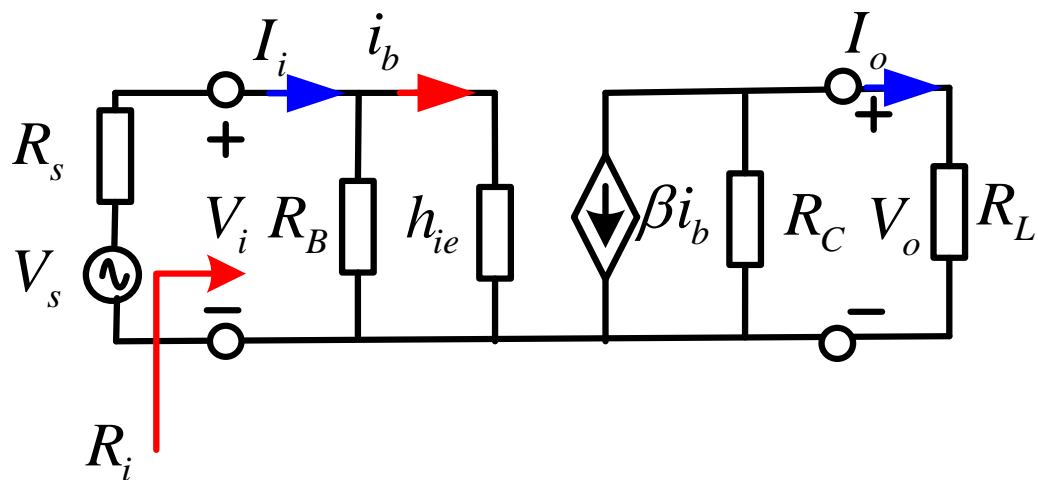
$$A_V = \frac{-\beta(R_C \parallel R_L)}{h_{ie}}$$

## ■ 说明

- 共发射放大器是一个电压反相放大器，输出电压与输入电压反相
- 共发射放大器的电压增益一般可达几十倍

# 1. 共发射放大器

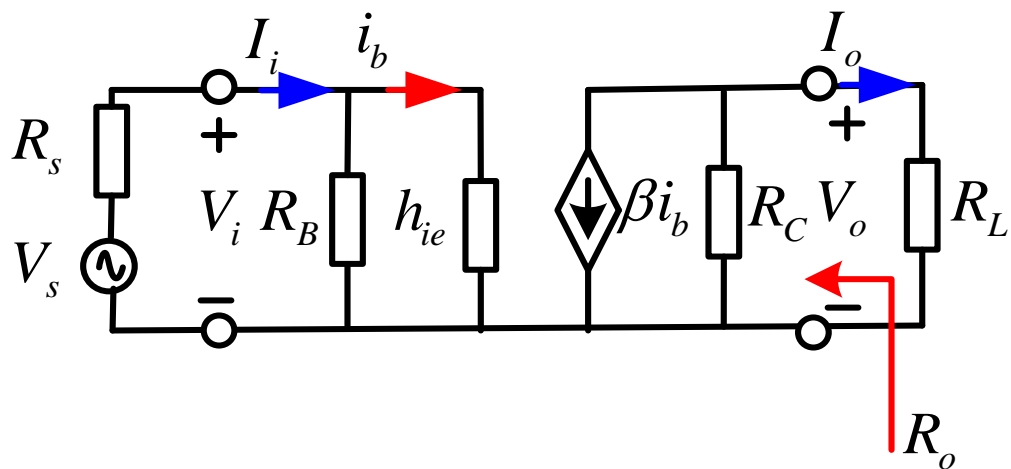
## ■ 输入阻抗分析



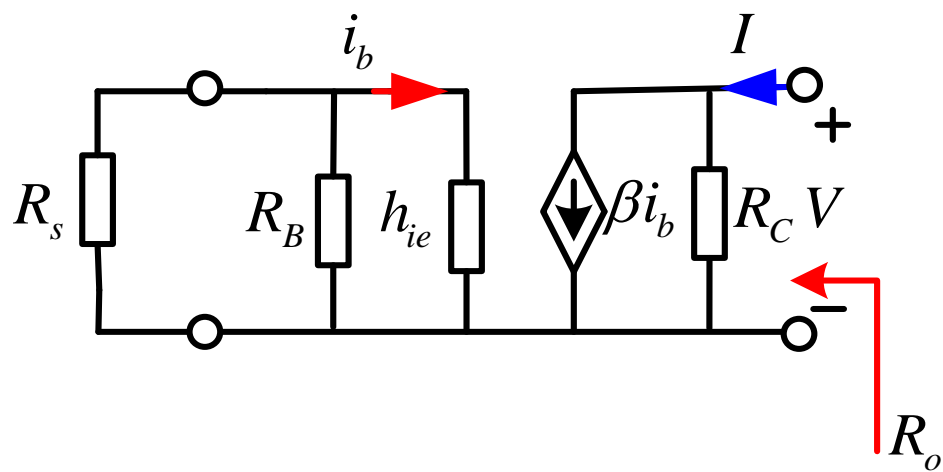
$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = R_B \parallel h_{ie}$$

# 1. 共发射放大器

## ■ 输出阻抗分析



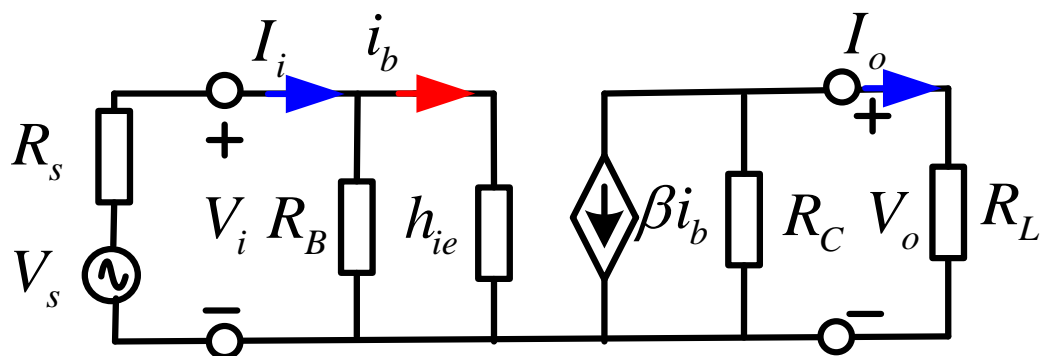
# 1. 共发射放大器



$$R_o = \frac{V}{I} = R_C$$

# 1. 共发射放大器

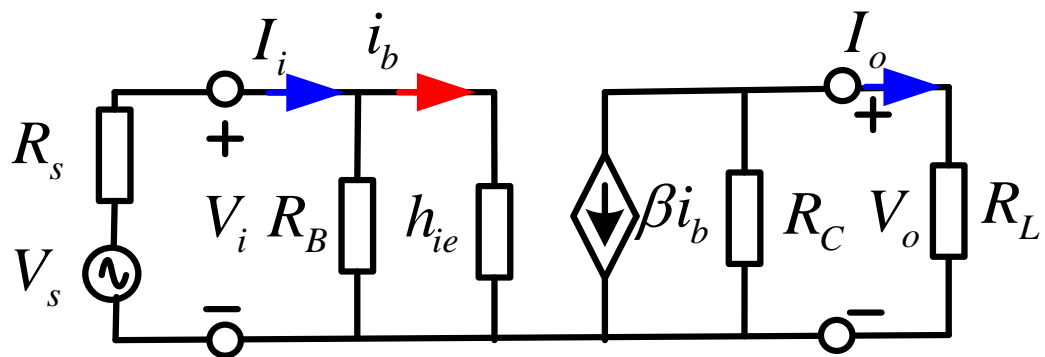
## ■ 中频源电压增益分析



$$A_{V_s} = \left. \frac{V_o}{V_s} \right|_{R_L} = A_V \frac{R_i}{R_i + R_s} = \frac{-\beta(R_C \parallel R_L)}{h_{ie}} \frac{R_B \parallel h_{ie}}{R_B \parallel h_{ie} + R_s}$$

# 1. 共发射放大器

## ■ 中频电流增益分析



$$\left\{ \begin{array}{l} I_o = -\beta i_b \frac{R_C}{R_C + R_L} \\ I_i = i_b \frac{R_B + h_{ie}}{R_B} \end{array} \right. \Rightarrow A_I = \frac{I_o}{I_i} \bigg|_{R_L} = -\beta \frac{R_C}{R_C + R_L} \frac{R_B}{R_B + h_{ie}}$$

# 1. 共发射放大器

$$A_I = -\beta \frac{R_C}{R_C + R_L} \frac{R_B}{R_B + h_{ie}}$$

## ■ 说明

- 共发射放大器也是一个电流反相放大器，输出电流也是与输入电流反相
- 共发射放大器的电流增益一般也有几十倍

# 1. 共发射放大器

## ■ 特点

- 反相放大器
- 电压、电流都有比较大的放大倍数，且放大倍数和  $\beta$  直接相关
- 有中等的输入和输出阻抗



# 1. 共发射放大器

$$A_V = \frac{-\beta(R_C \parallel R_L)}{h_{ie}}$$

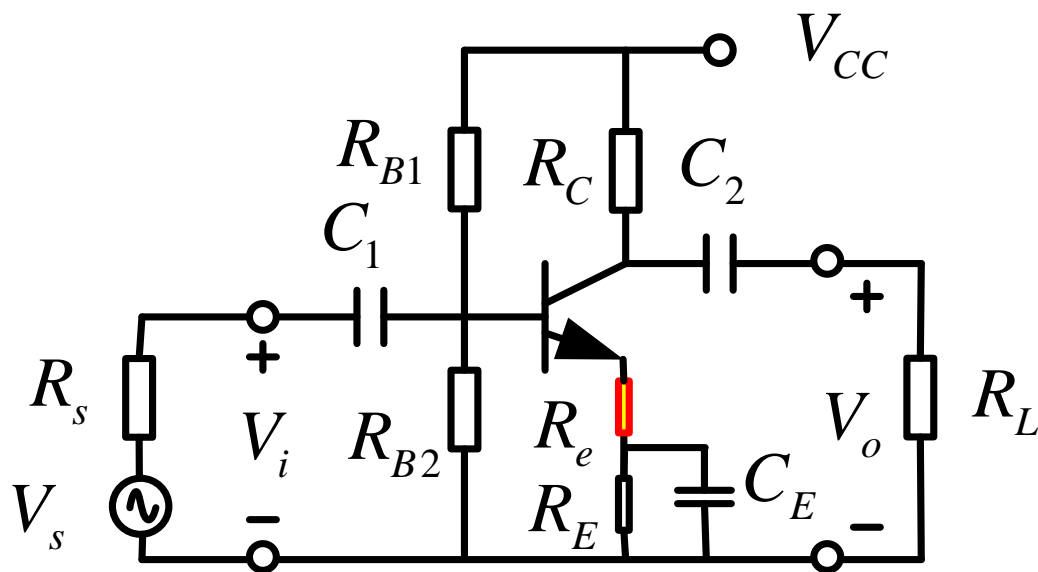
$$A_I = -\beta \frac{R_C}{R_C + R_L} \frac{R_B}{R_B + h_{ie}}$$

## ■ 共发射放大器存在的问题

- 放大器的电压增益和电流增益都与  $\beta$  有线性关系
- 然而，晶体管  $\beta$  参数存在较大的离散性，且与温度密切相关，故该电路交流性能指标的温度稳定性较差

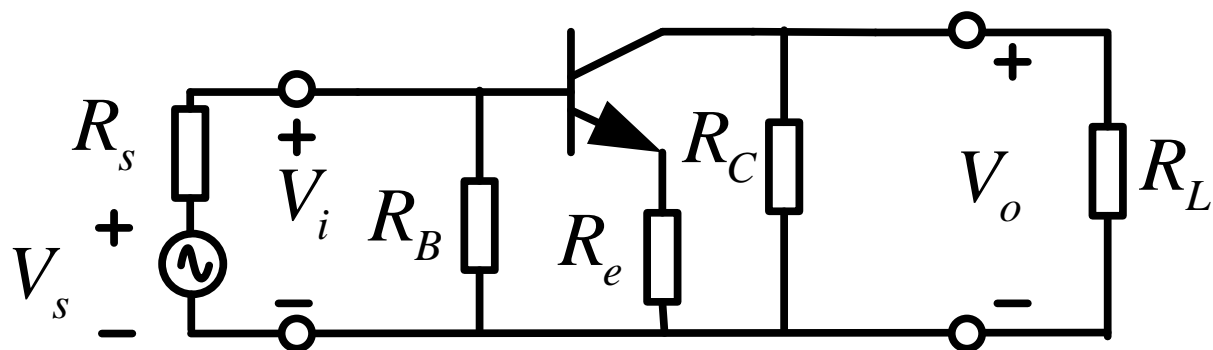
# 1. 共发射放大器

- 解决方法：发射极支路串入交流小电阻 $R_e$

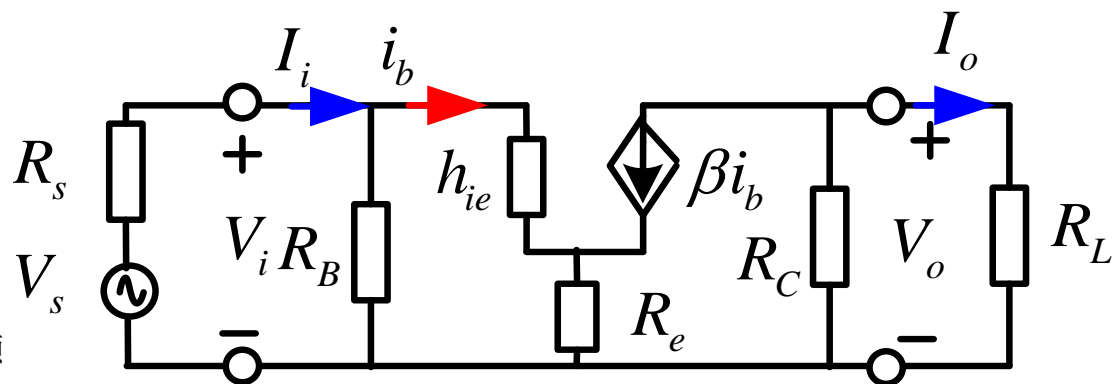


## 2. 射极串电阻 $R_e$ 的共发射放大器

### ■ 中频交流通路

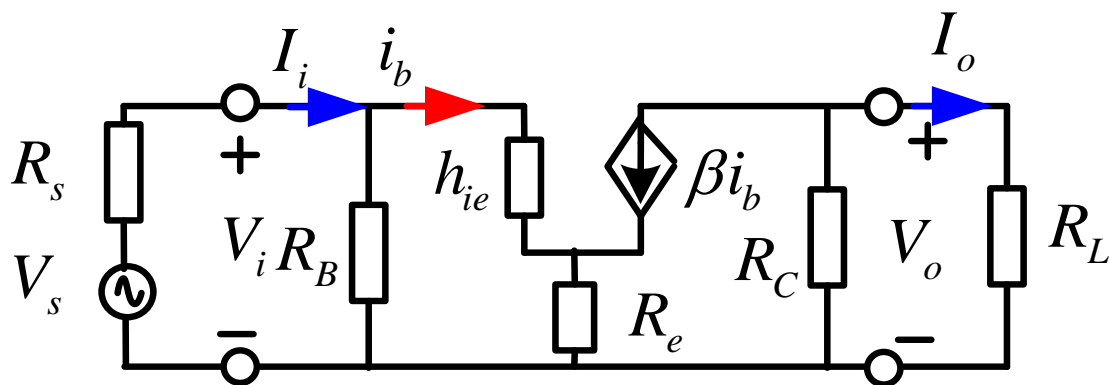


### ■ 中频交流等效电路



## 2. 射极串电阻 $R_e$ 的共发射放大器

### ■ 中频电压增益分析



$$\begin{cases} V_o = -\beta i_b (R_C \parallel R_L) \\ V_i = i_b h_{ie} + (1 + \beta) i_b R_e \end{cases} \Rightarrow A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-\beta (R_C \parallel R_L)}{h_{ie} + (1 + \beta) R_e}$$

## 2. 射极串电阻 $R_e$ 的共发射放大器

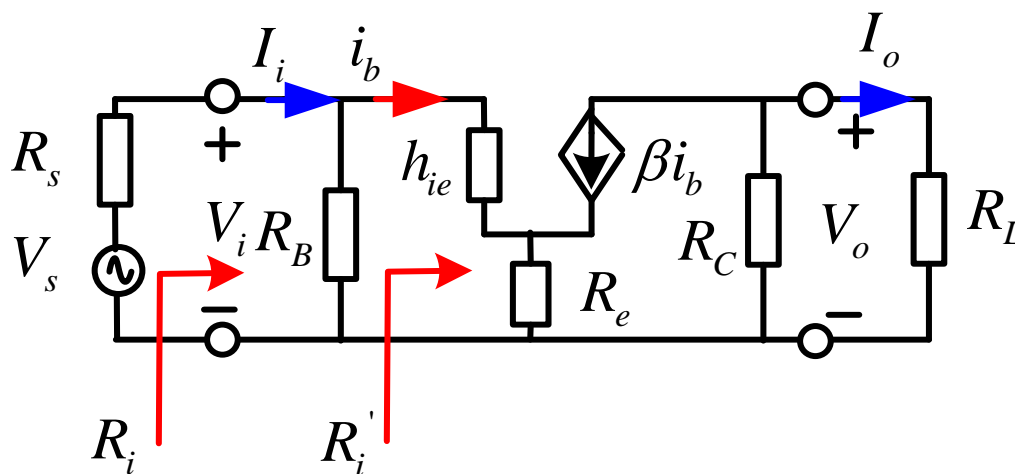
$$r_b = 0 \Rightarrow A_v \approx -\frac{\beta R_L'}{(1 + \beta)(R_e + r_e)} \approx -\frac{R_L'}{r_e + R_e}$$

### ■ 说明

- 发射极支路串入交流小电阻 $R_e$ ，降低了电压增益 $A_v$ ， $R_e$ 越大， $A_v$ 降低的越多
- 发射极支路串入交流小电阻 $R_e$ ，使得电压增益 $A_v$ 与晶体管参数 $\beta$ 几乎无关，改善了中频电压增益的稳定性

## 2. 射极串电阻 $R_e$ 的共发射放大器

### ■ 输入阻抗



$$R_i' = \frac{V_i}{i_b} = h_{ie} + (1 + \beta) R_e$$

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = R_B \parallel R_i' = R_B \parallel (h_{ie} + (1 + \beta) R_e)$$

## 2. 射极串电阻 $R_e$ 的共发射放大器

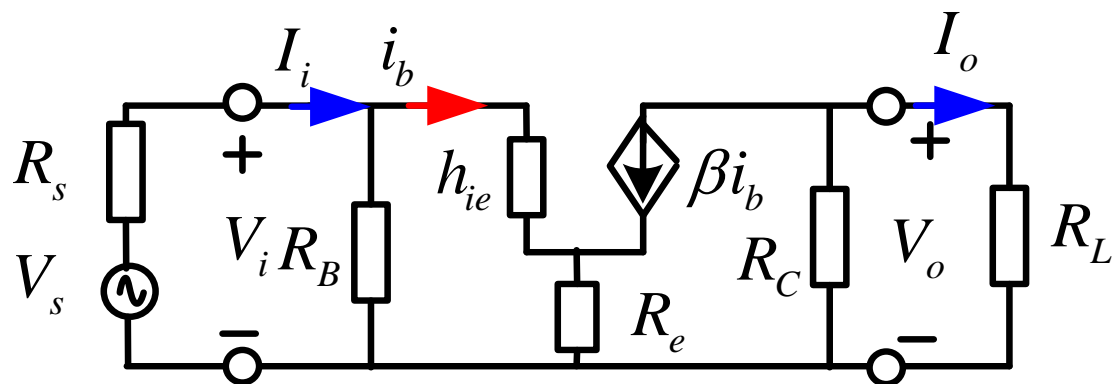
### ■ 说明

- 发射极支路串入交流小电阻 $R_e$ ，增大了共发射放大器的输入阻抗 $R_i$ ，从而降低信号源内阻 $R_s$ 对源电压增益 $A_{Vs}$ 的影响

$$A_{Vs} = A_V \frac{R_i}{R_i + R_s}$$

## 2. 射极串电阻 $R_e$ 的共发射放大器

### ■ 电流增益分析





## 2. 射极串电阻 $R_e$ 的共发射放大器

$$\left. \begin{aligned} I_o &= -\beta i_b \frac{R_C}{R_C + R_L} \\ I_i &= i_b \left( 1 + \frac{h_{ie} + (1 + \beta) R_e}{R_B} \right) \end{aligned} \right\}$$

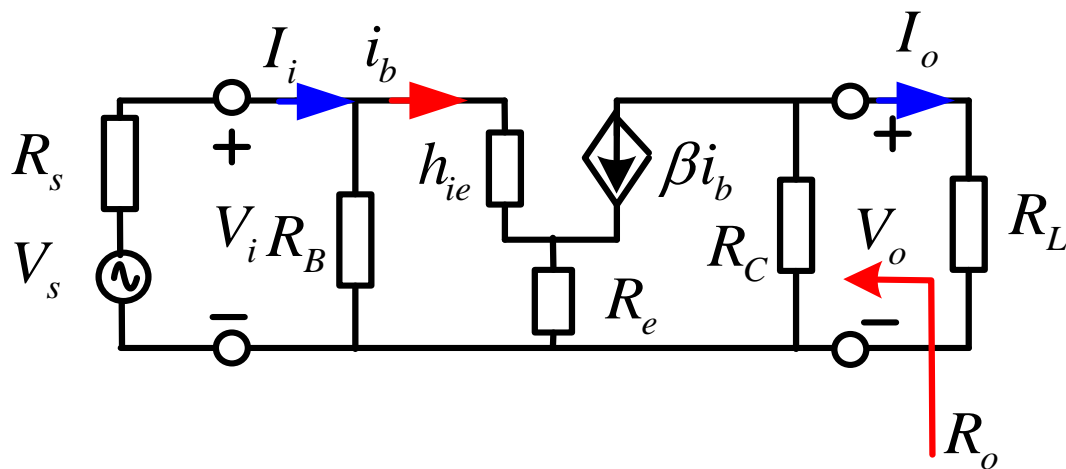
$$\Rightarrow A_I = \frac{I_o}{I_i} \bigg|_{R_L} = -\beta \frac{R_C}{R_C + R_L} \frac{R_B}{R_B + h_{ie} + (1 + \beta) R_e}$$

### ■ 说明

- 发射极支路串入交流小电阻 $R_e$ ，对中频电流增益 $A_I$ 有一定影响，但是影响较小

## 2. 射极串电阻 $R_e$ 的共发射放大器

### ■ 输出阻抗分析

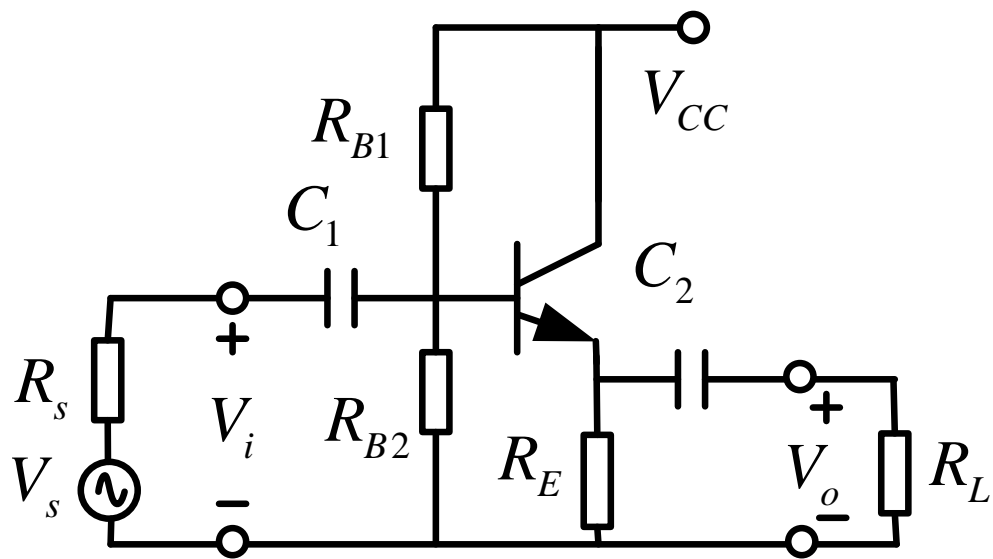


$$R_o = R_C$$

### 3. 共集放大器

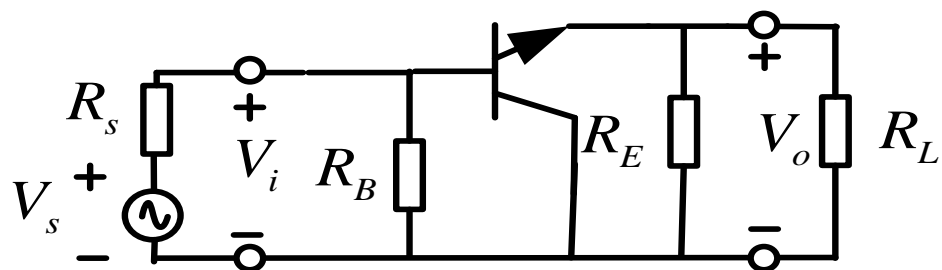
#### ■ 电路结构

- 直流偏置电路：定基压偏置，BJT处于放大状态
- 交流工作组态：共集组态



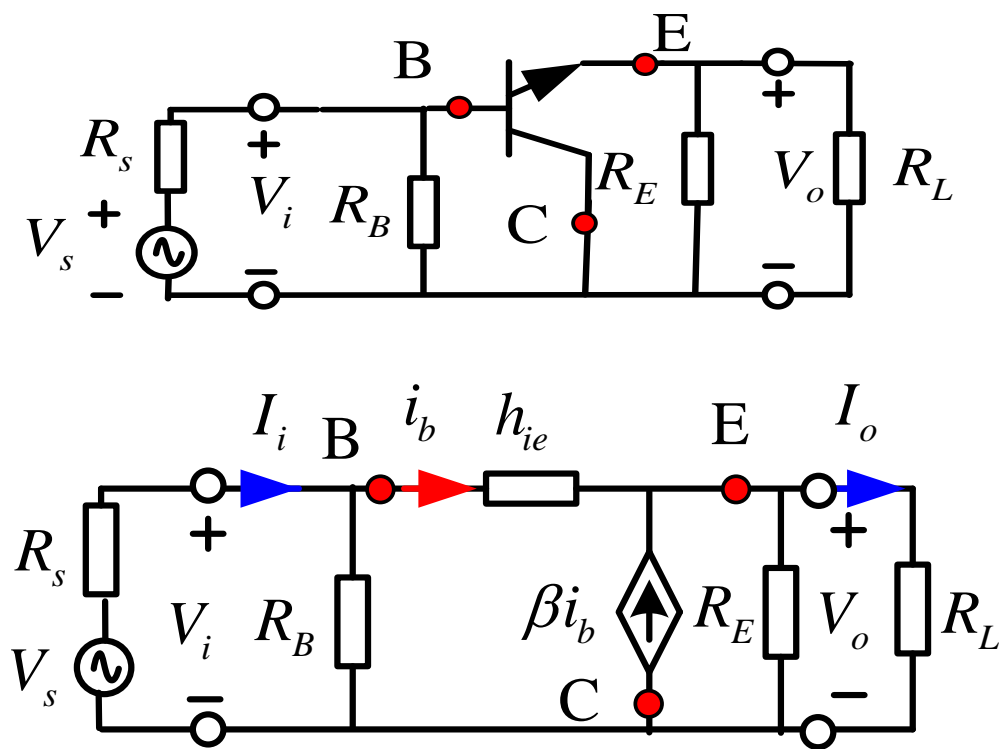
# 3. 共集放大器

## ■ 中频交流通路



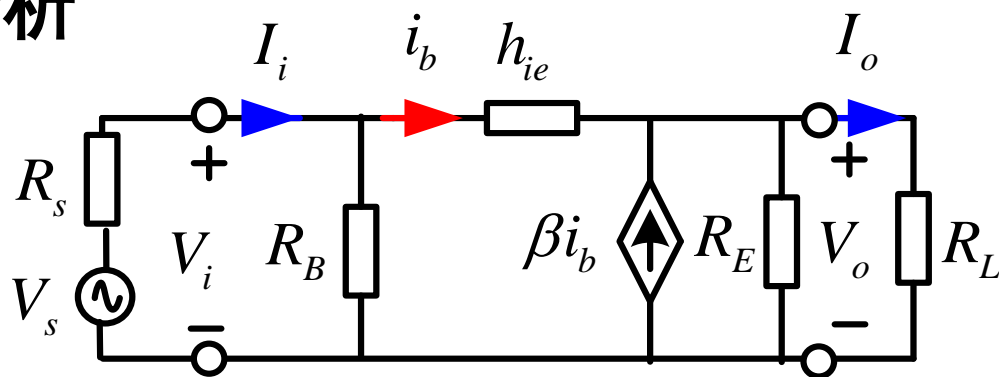
### 3. 共集放大器

#### ■ 中频交流等效电路



### 3. 共集放大器

#### ■ 电压增益分析



$$\left. \begin{aligned} V_o &= (1 + \beta) i_b (R_E \parallel R_L) \\ V_i &= i_b h_{ie} + (1 + \beta) i_b (R_E \parallel R_L) \end{aligned} \right\}$$
$$\Rightarrow A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{(1 + \beta)(R_E \parallel R_L)}{h_{ie} + (1 + \beta)(R_E \parallel R_L)}$$

### 3. 共集放大器

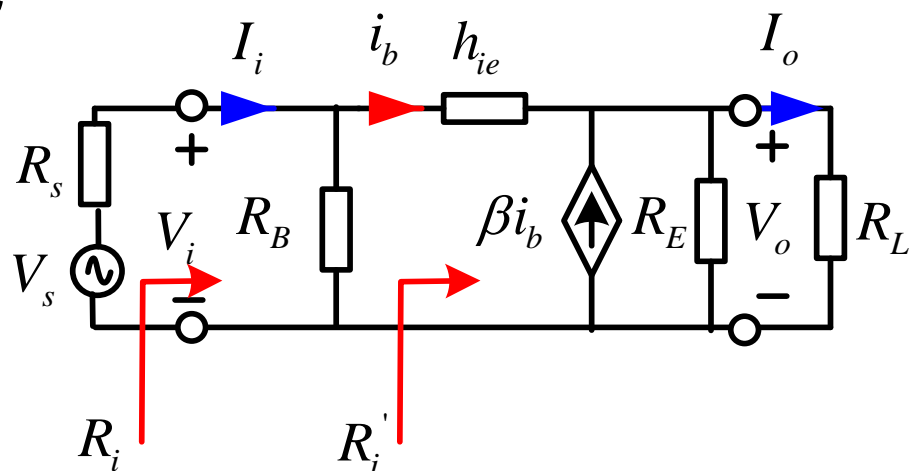
$$A_V = \frac{(1 + \beta)(R_E \parallel R_L)}{h_{ie} + (1 + \beta)(R_E \parallel R_L)} \approx 1$$

#### ■ 射极跟随器

- 共集放大器是电压同相放大器，电压增益小于1，但在一定条件下可接近于1
- 共集放大器称为射极跟随器，即射极的交流电压在幅度和相位上都跟随着基极的交流电压

### 3. 共集放大器

#### ■ 输入阻抗



$$R_i' = \frac{V_i}{i_b} = h_{ie} + (1 + \beta)(R_E \parallel R_L)$$

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = R_B \parallel R_i' = R_B \parallel \left( h_{ie} + (1 + \beta)(R_E \parallel R_L) \right)$$



### 3. 共集放大器

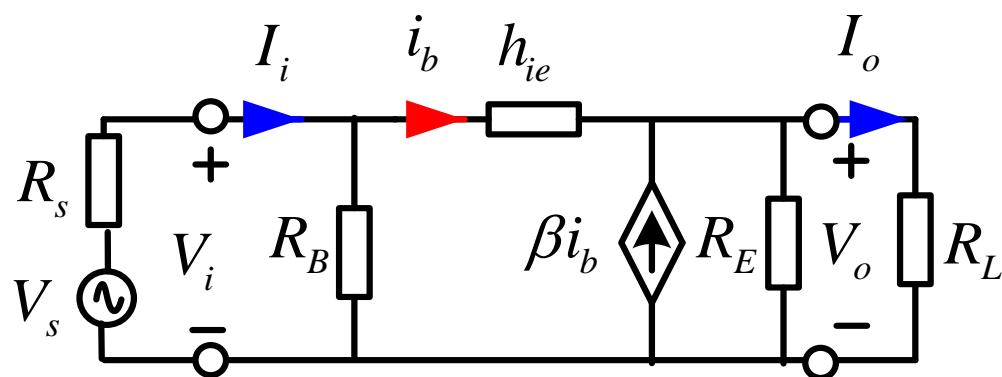
$$R_i = R_B \parallel \left( h_{ie} + (1 + \beta)(R_E \parallel R_L) \right)$$

#### ■ 说明

- 若忽略 $R_B$ 的影响，则与共发射放大器相比，共集放大器的输入阻抗要高得多，而且与负载相关
- 采用两种方法可降低 $R_B$ 的影响，进一步提高输入阻抗
  - 采用定基流偏置电路， $R_B$ 可选得很大
  - 采用自举电路

### 3. 共集放大器

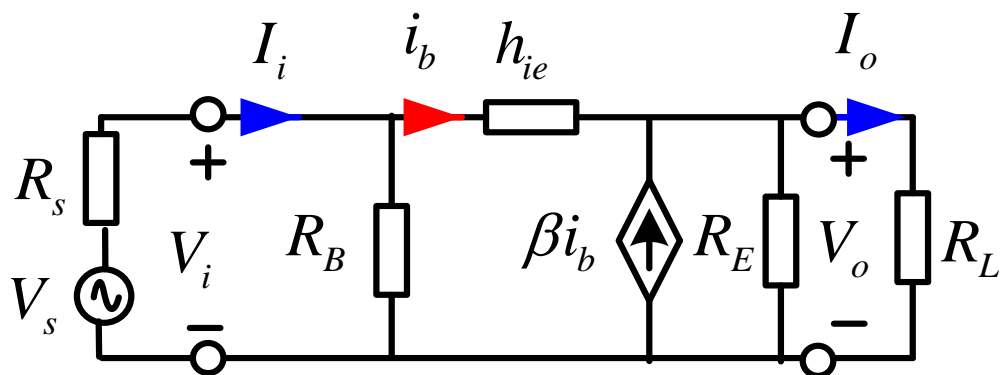
#### ■ 源电压增益分析



$$\begin{aligned} A_{V_s} &= \left. \frac{V_o}{V_s} \right|_{R_L} = A_V \frac{R_i}{R_i + R_s} \\ &= \frac{(1 + \beta)(R_E \parallel R_L)}{h_{ie} + (1 + \beta)(R_E \parallel R_L)} \frac{R_B \parallel (h_{ie} + (1 + \beta)(R_E \parallel R_L))}{R_s + R_B \parallel (h_{ie} + (1 + \beta)(R_E \parallel R_L))} \end{aligned}$$

# 3. 共集放大器

## ■ 电流增益



### 3. 共集放大器

$$\left. \begin{aligned} I_o &= (1 + \beta) i_b \frac{R_E}{R_E + R_L} \\ I_i &= i_b \left( 1 + \frac{h_{ie} + (1 + \beta)(R_E \parallel R_L)}{R_B} \right) \end{aligned} \right\}$$

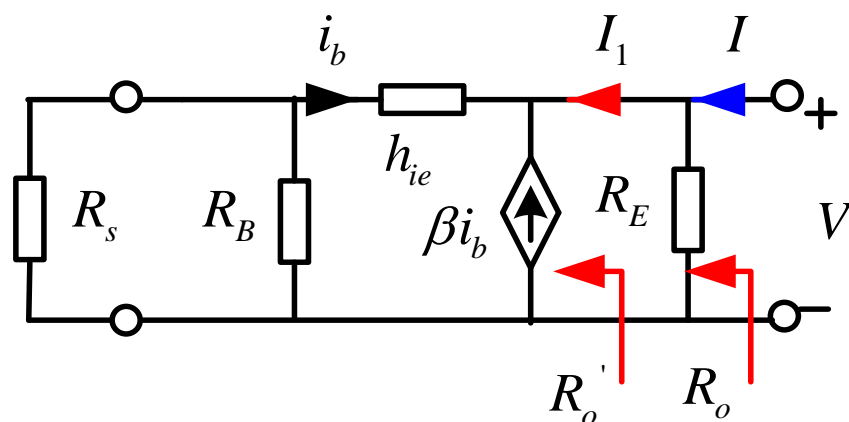
$$\Rightarrow A_I = \frac{I_o}{I_i} \bigg|_{R_L} = (1 + \beta) \frac{R_E}{R_E + R_L} \frac{R_B}{R_B + h_{ie} + (1 + \beta)(R_E \parallel R_L)}$$

#### ■ 说明

- 共集放大器是电流同相放大器
- 电流增益可以做到大于1，即有一定的功率增益

### 3. 共集放大器

#### ■ 输出阻抗



$$R'_o = \frac{V}{I_1} = \frac{-\left((R_s \parallel R_B) + h_{ie}\right)i_b}{-(1 + \beta)i_b} = \frac{(R_s \parallel R_B) + h_{ie}}{1 + \beta}$$

$$R_o = R_E \parallel R'_o = R_E \parallel \frac{(R_s \parallel R_B) + h_{ie}}{1 + \beta}$$

### 3. 共集放大器

$$R_o = \frac{h_{ie} + R_s \parallel R_B}{1 + \beta} \parallel R_E$$

#### ■ 说明

- 共集放大器具有很低的输出阻抗，进一步减小可采用复合管，这说明共集放大器带负载的能力比较强，

# 3. 共集放大器

## ■ 特点

- 同相放大器
- 电压增益小于1、接近1；可以有电流增益
- 输入阻抗高、输出阻抗低

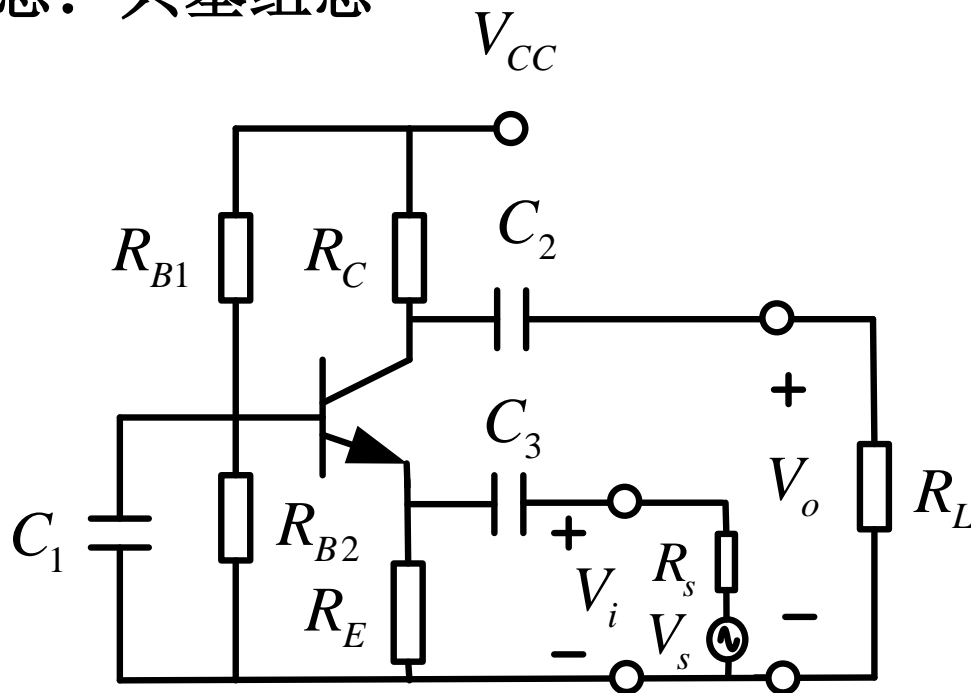
## ■ 射随器的作用

- 用作多级放大器的输入级、输出级、或者作为级间隔离、改善其前后级间的相互干扰

## 4. 共基放大器

### ■ 电路结构

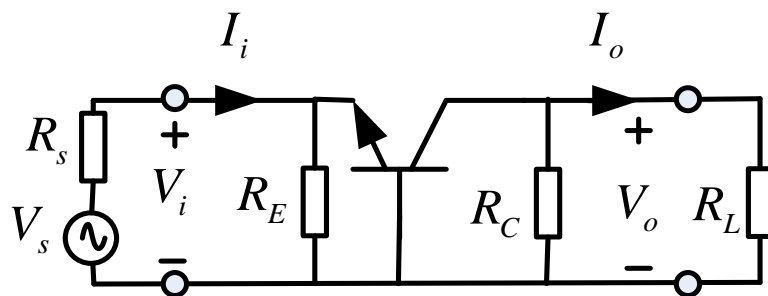
- 直流偏置电路：定基压偏置，BJT处于放大状态
- 交流工作组态：共基组态





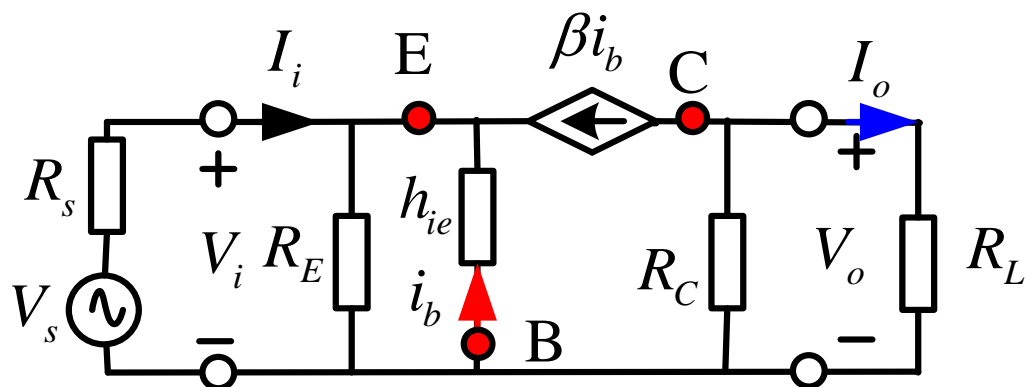
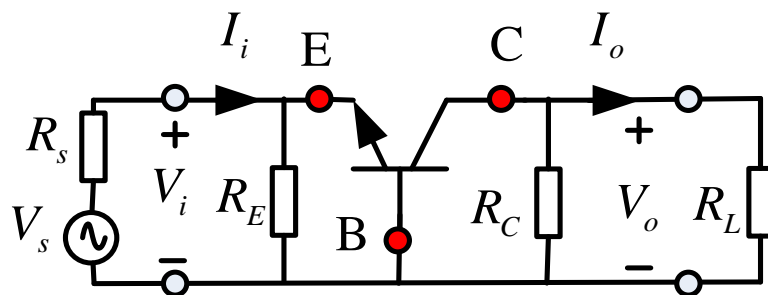
## 4. 共基放大器

### ■ 中频交流通路



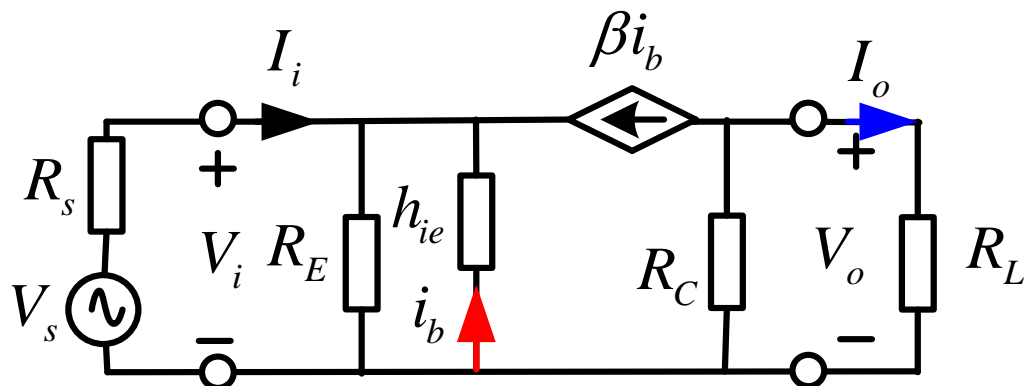
## 4. 共基放大器

### ■ 中频交流等效电路



## 4. 共基放大器

### ■ 电压增益分析



$$\left. \begin{aligned} V_o &= -\beta i_b (R_C \parallel R_L) \\ V_i &= -i_b h_{ie} \end{aligned} \right\} \Rightarrow A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{\beta (R_C \parallel R_L)}{h_{ie}}$$

## 4. 共基放大器

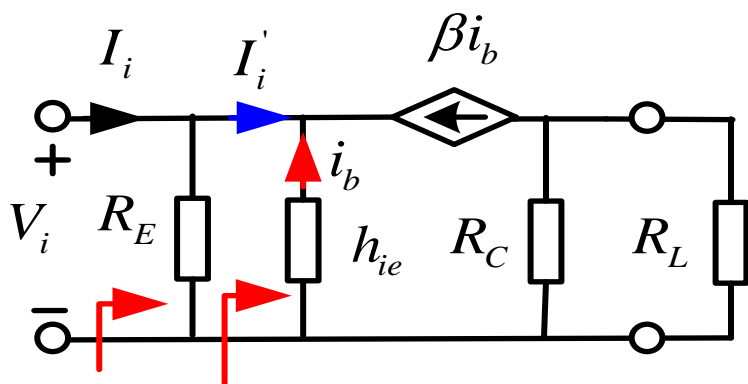
$$A_V = \frac{\beta(R_C \parallel R_L)}{h_{ie}}$$

### ■ 注意

- 与共发射放大器相比，两种组态的电压增益模值一样，但是差了一个负号，共基放大器是电压同相放大器

## 4. 共基放大器

### ■ 输入阻抗



$$R'_i = \frac{V_i}{I'_i} = \frac{h_{ie}}{1 + \beta}$$

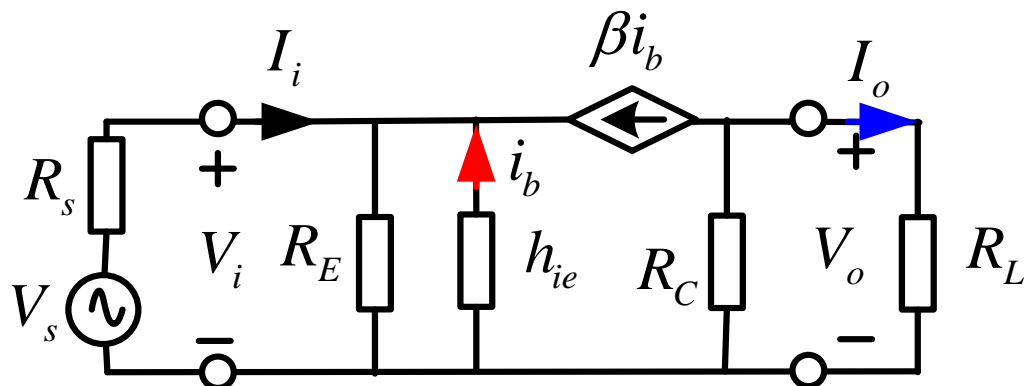
$$R_i = R_E \parallel R'_i = R_E \parallel \frac{h_{ie}}{1 + \beta}$$

### ■ 说明

- 共基放大器的输入阻抗很小，比较适合用电流源驱动

## 4. 共基放大器

### ■ 电流增益分析



$$A_I = \frac{i_o}{i_i} = \frac{R_C}{R_C + R_L} \cdot \alpha \cdot \frac{R_E}{R_E + R_i}'$$

## 4. 共基放大器

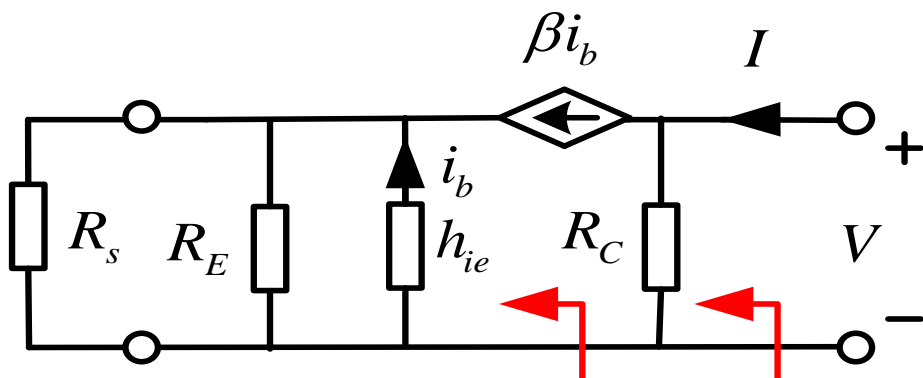
$$A_I = \alpha \frac{R_C}{R_C + R_L} \frac{R_E}{R_E + \frac{h_{ie}}{1 + \beta}}$$

### ■ 电流跟随器

- 共基放大器也是电流的同相放大器，其电流增益小于1，在一定条件下可作为电流跟随器使用

## 4. 共基放大器

### ■ 输出阻抗



$$R_o = R_C$$



## 4.共基放大器

### ■ 说明

- 尽管其输出阻抗不是很高，但是与其输入阻抗相比，仍然是非常高的
- 与共集放大器一样，它也可以作为阻抗变换器来使用，只是它是低输入阻抗，相对高输出阻抗，与共集放大器特性相反

## 4.共基放大器

### ■ 特点

- 同相放大器
- 电流增益小于1、一定条件下接近1；可以有电压增益，大小同CE相当
- 输入阻抗低、输出阻抗较高(相对)

# 小结

组态	$A_v$	$A_i$	$R_i$	$R_o$
共发	反相, $>1$	反相, $>1$	中	中
共集	同相, $=1$	同相, $>1$	高	低
共基	同相, $>1$	同相, $=1$	低	中(相对高)

# 作业

- 3.23
- 3.24
- 3.29