

# 请扫码登记

无线网名称：B3A06， 无线网密码：beihang41



助教：  
芦家琪  
李伟祥



核心专业课  
B3I493220

# 微电子器件实验

彭守仲

北京航空航天大学 微电子学院

第一馆203办公室 [shouzhong.peng@buaa.edu.cn](mailto:shouzhong.peng@buaa.edu.cn)

2020年11月23日

# 回顾：共射放大电路



## ■ 模型参数测量

1. 画出低频小信号电路

并写出  $\beta$ 、 $g_m$ 、 $r_\pi$ 、 $A_v$

计算公式（课堂测试）

2. 使  $I_B = 60\mu\text{A}$ ,  $E_C = 15\text{V}$

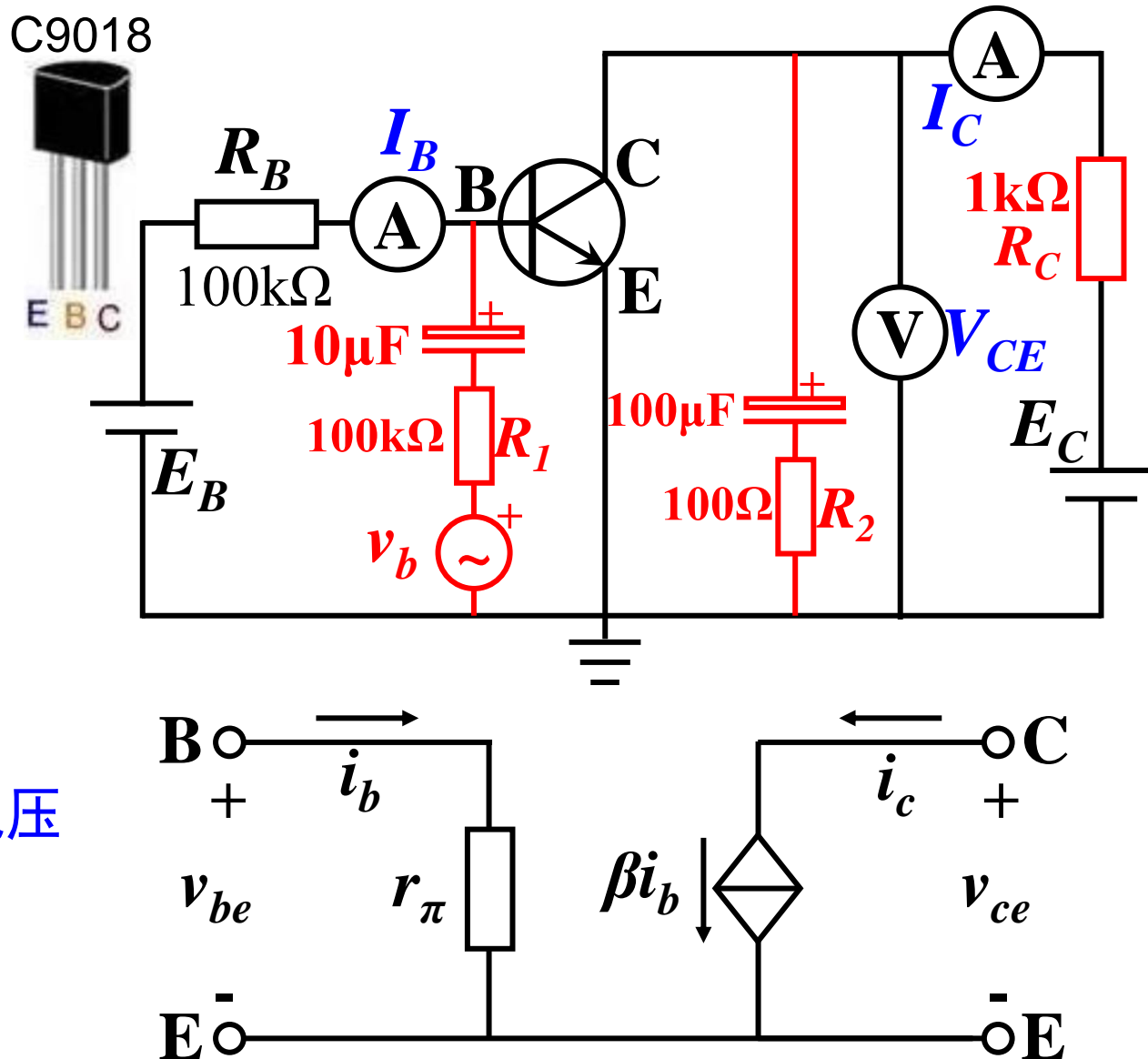
3. 任意波形发生器输出

1KHz、7.5V信号  $v_b$

4. 用示波器测量交流电压

并计算  $\beta$ 、 $g_m$ 、 $r_\pi$ 、 $A_v$

（输出波形不失真）



# 回顾：共射放大电路

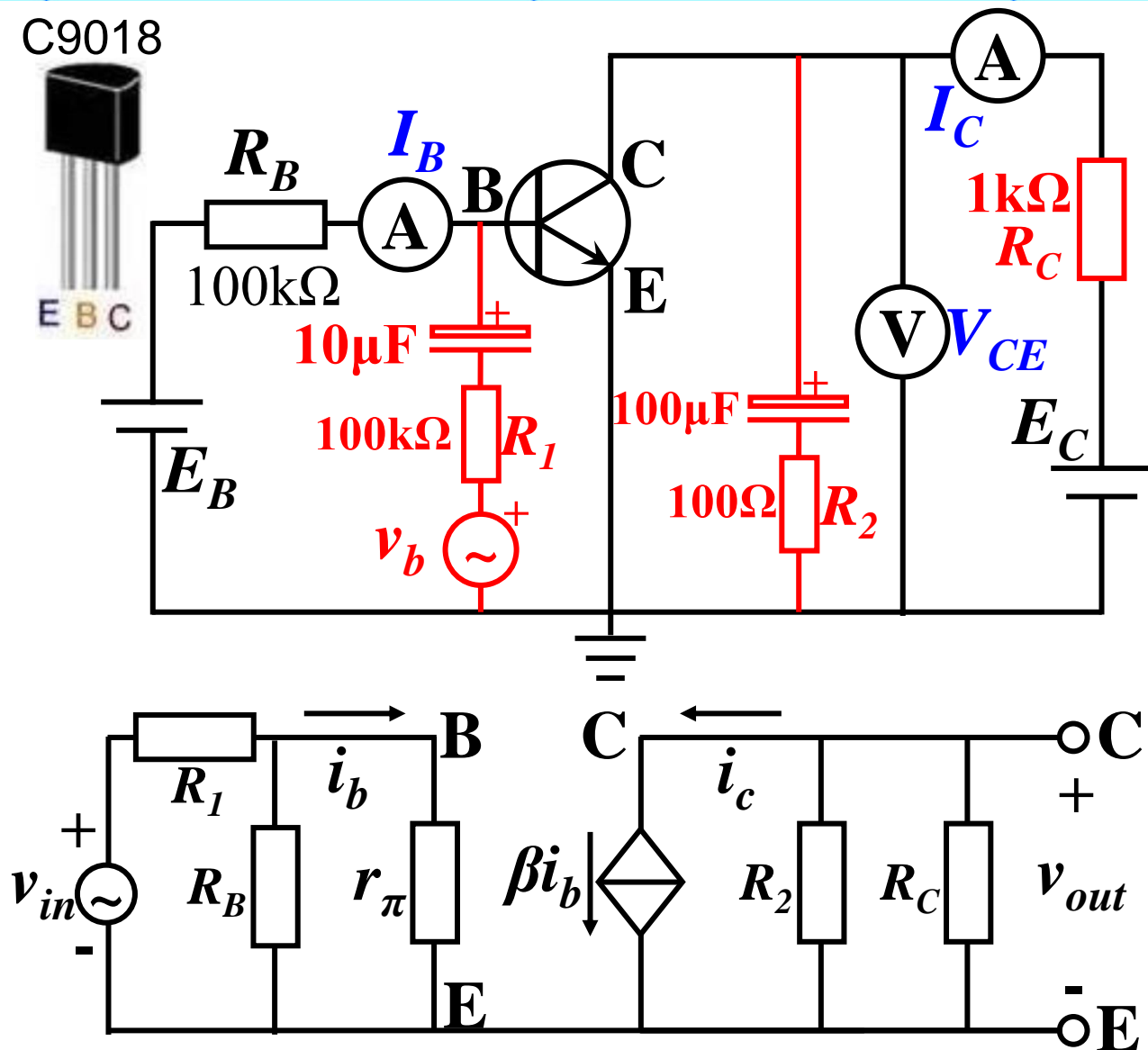


## 模型参数测量

C9018:

$$\beta \approx 100$$

$$r_{\pi} \approx 870 \Omega$$

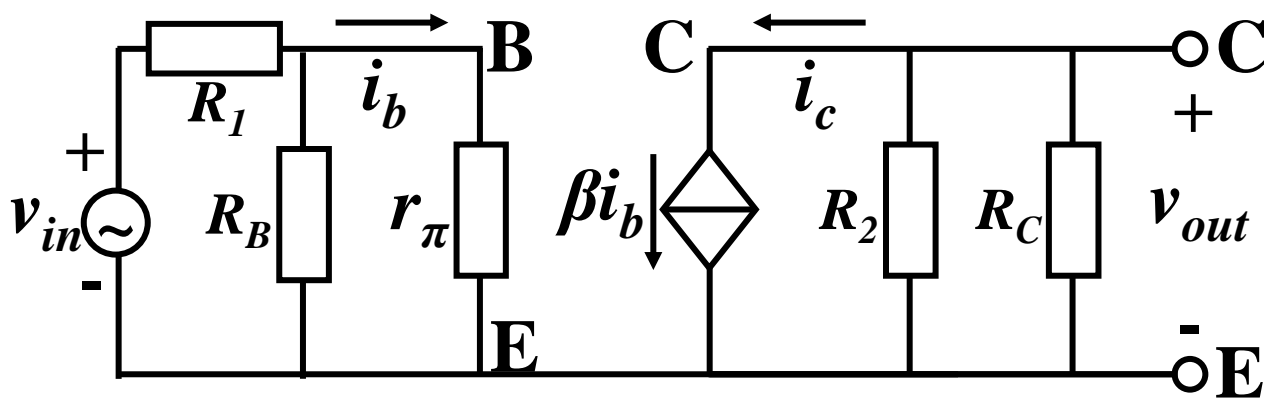


# 基本放大电路



## ■ 晶体管单管放大电路

- 共射放大电路
- 共集放大电路（射随器）
- 共基放大电路
- （交流等效电路中以某一端口为公共端）



共射放大电路

# 基本放大电路



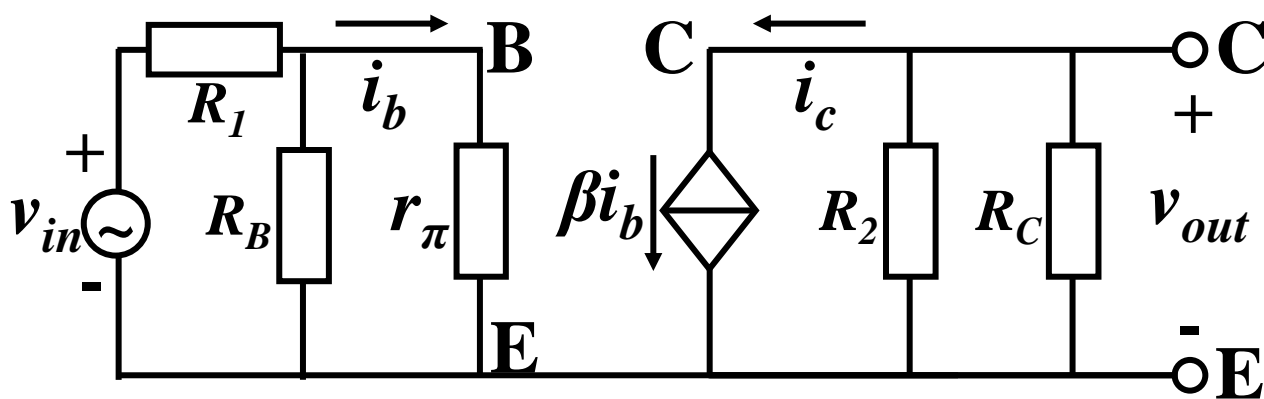
## ■ 晶体管单管放大电路

### ■ 共射放大电路

### ■ 共集放大电路（射随器）

### ■ 共基放大电路

### ■ （交流等效电路中以某一端口为公共端）



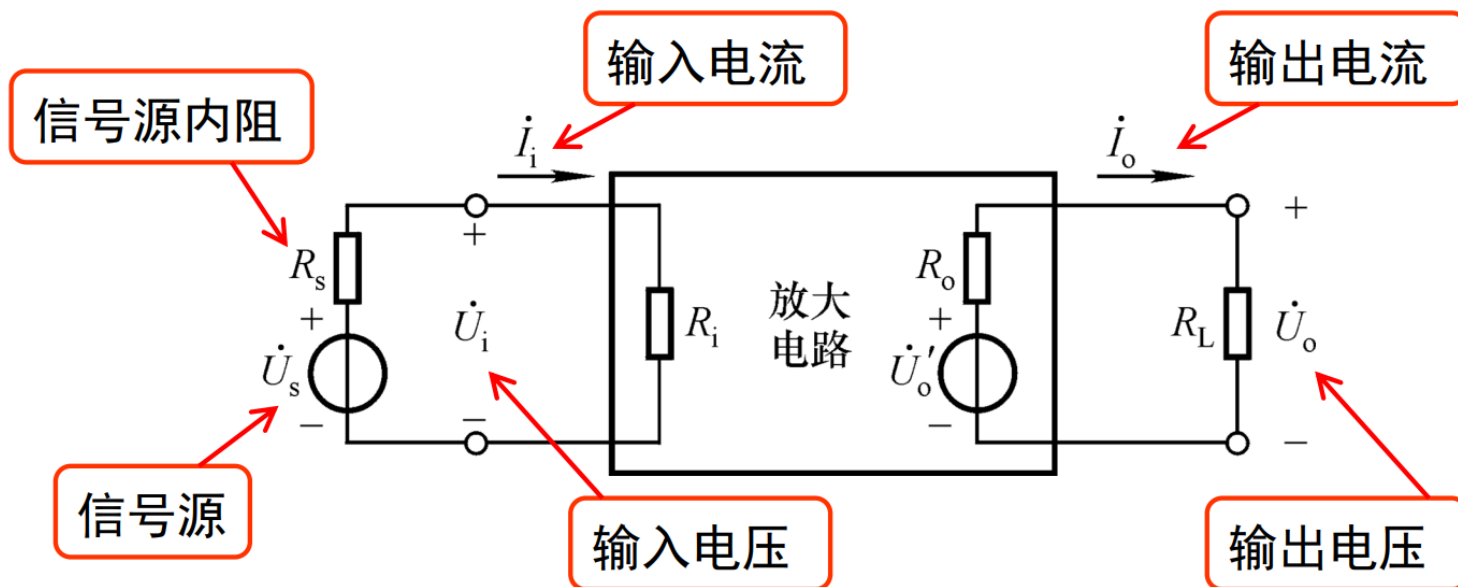
共射放大电路

# 基本放大电路



## ■ 电压或电流放大倍数（增益）的测量方法

任何放大电路均可视为二端口网络。



放大倍数/增益：输出量与输入量之比。注意：是变化量之比。

$$A_v = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \quad \text{最常用}$$

$$A_i = \frac{\dot{I}_o}{\dot{I}_i}$$

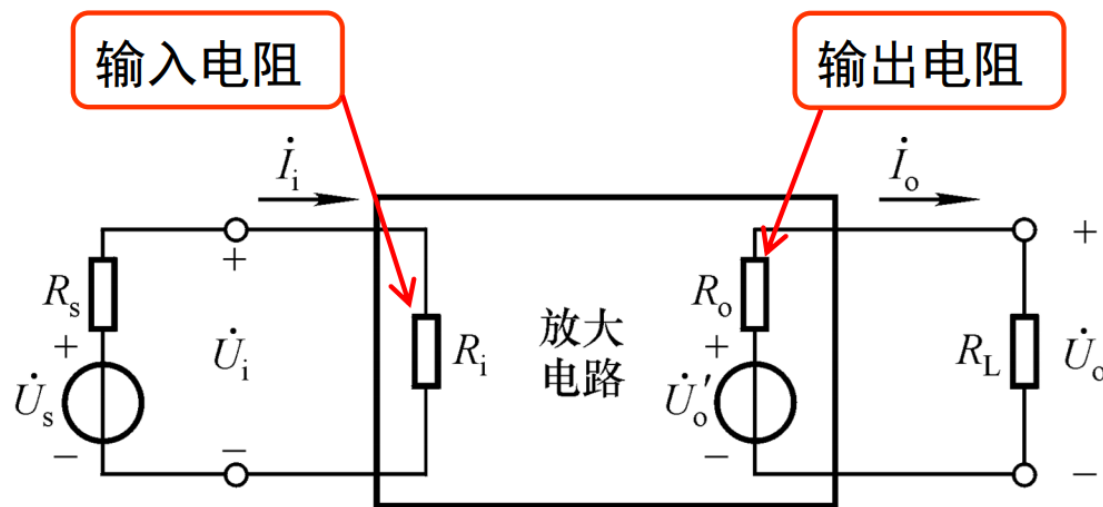
$$A_{ui} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_i}$$

$$A_{iu} = \frac{\dot{I}_o}{\dot{U}_i}$$

# 基本放大电路



## ■ 输入电阻和输出电阻的测量方法



输入电阻  $R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i}$

$\xrightarrow{\text{示波器测量有效值}}$

$\xrightarrow{\text{万用表测量有效值}}$

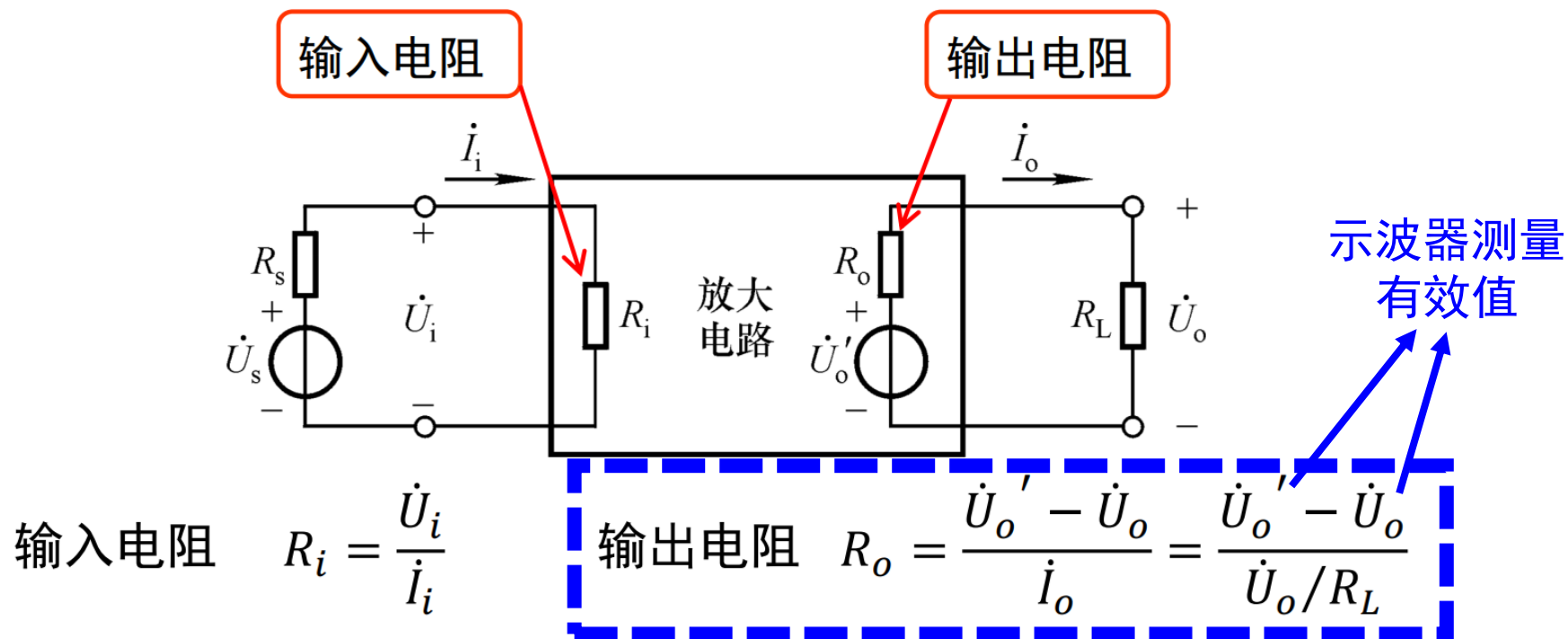
对输出电阻的直观理解：将放大器的输出等效为电压源，其内阻就是输出电阻。可用戴维南定理求解（从负载端看进去，令  $\dot{U}_o' = 0$ ）。



# 基本放大电路



## ■ 输入电阻和输出电阻的测量方法

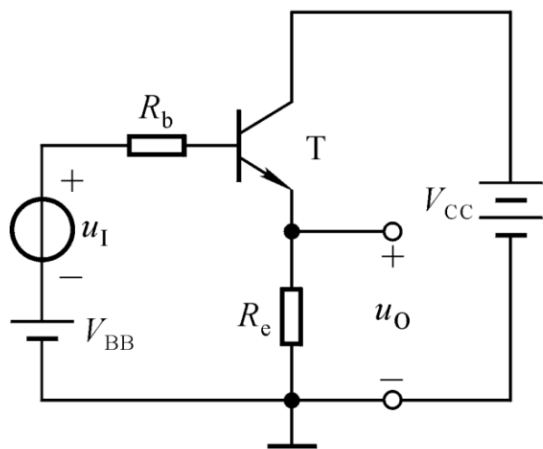


对输出电阻的直观理解：将放大器的输出等效为电压源，其内阻就是输出电阻。可用戴维南定理求解（从负载端看进去，令  $\dot{U}_o' = 0$ ）。

# 基本放大电路



## ■ 共集放大电路：直流通路



注意：

$V_{CC}$ 变化时 $I_B$ 将发生变化  
(例如从 $60\mu\text{A}$ 降为 $30\mu\text{A}$ )

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

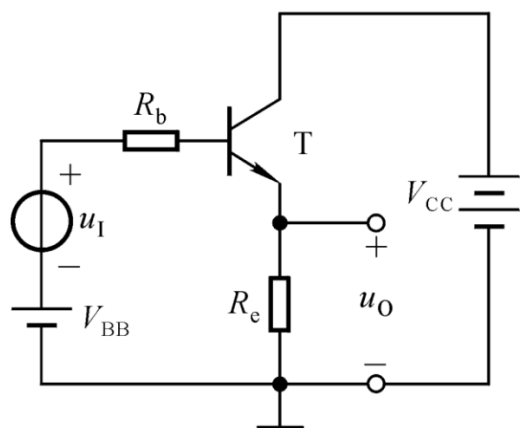
$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_b + (1 + \beta)R_e}$$

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

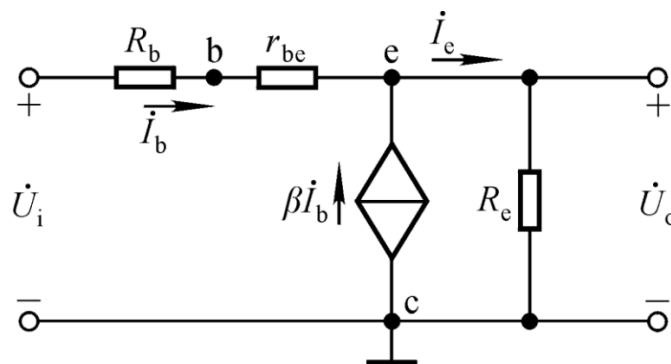
# 基本放大电路



## ■ 共集放大电路：交流通路



交流通路



$$A_v = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{i_e R_e}{i_b (R_b + r_{be}) + i_e R_e} = \frac{(1 + \beta) R_e}{R_b + r_{be} + (1 + \beta) R_e}$$

■ 这是一个同相放大器。  $\Delta u_i \uparrow \Rightarrow \Delta i_B \uparrow \Rightarrow \Delta i_E \uparrow \Rightarrow R_e \Delta i_E \uparrow \Rightarrow \Delta u_o \uparrow$

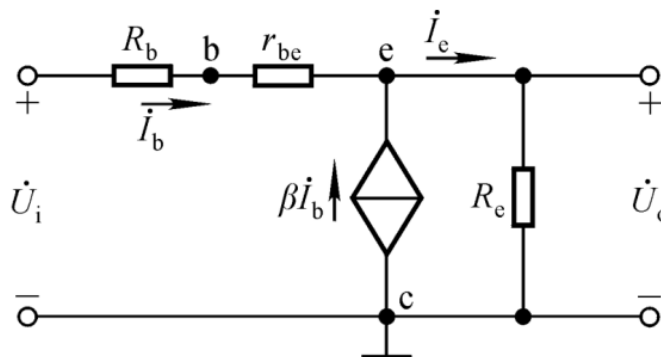
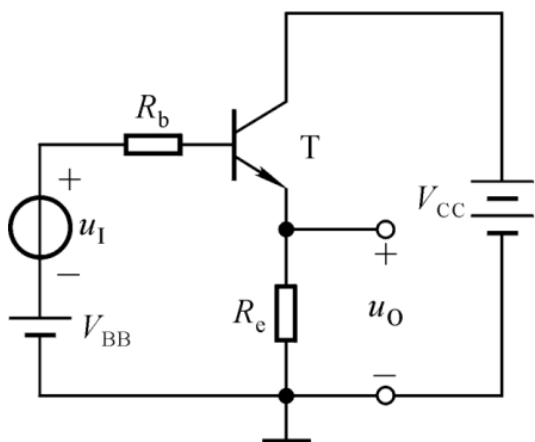
■ 这种放大器的电压增益小于1，不放大电压，但放大电流。

■ 若  $(1 + \beta) R_e \gg R_b + r_{be}$ ，则  $A_v \approx 1$ 。因此共集放大器又称射随器。

# 基本放大电路



## ■ 共集放大电路：输入电阻



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

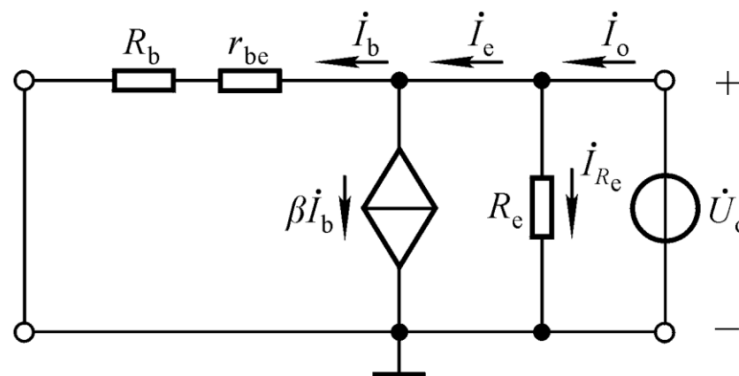
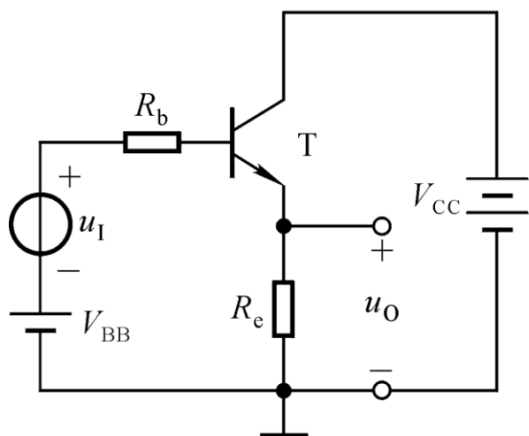
从基极看进去， $R_e$ 被放大 $1 + \beta$ 倍

- 输入电阻较高，能够接收信号源或上一级放大器的大部分电压信号，同时产生较小的输入电流。适合做输入级或缓冲电路。

# 基本放大电路



## ■ 共集放大电路：输出电阻



$$R_o = \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_o} = \frac{\dot{U}_o}{\frac{\dot{U}_o}{R_e} + (1 + \beta) \frac{\dot{U}_o}{R_b + r_{be}}} = R_e \parallel \frac{R_b + r_{be}}{1 + \beta}$$

从发射极看进去， $R_b + r_{be}$  被减小  $1 + \beta$  倍

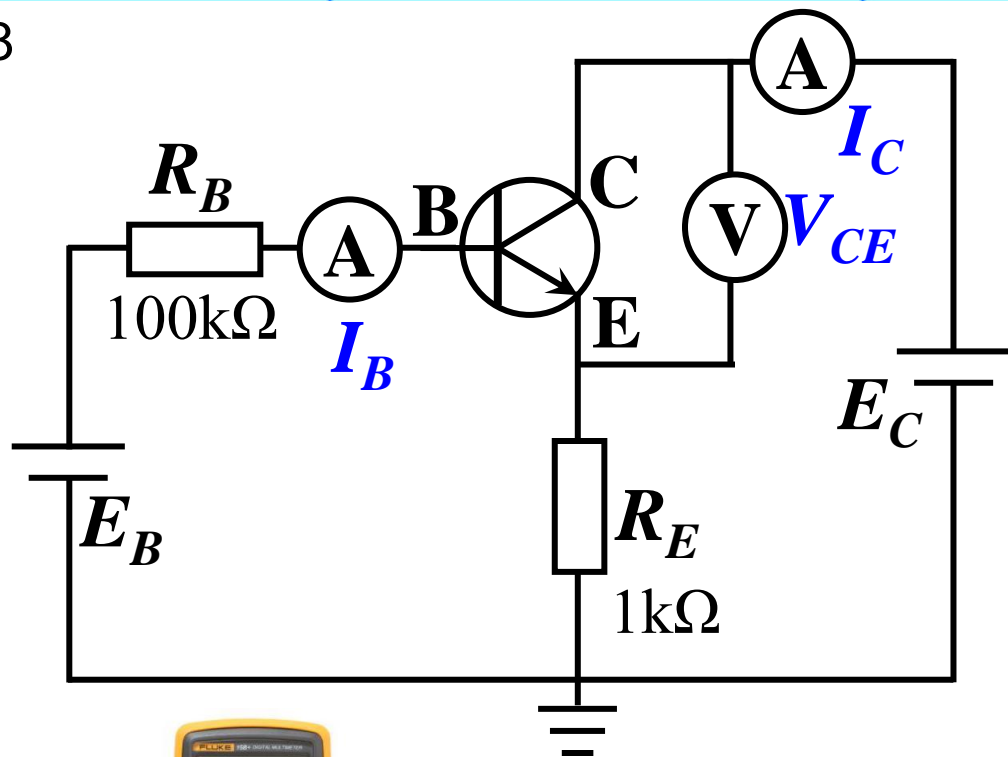
- 输出电阻较小，能够将大部分电压信号传给负载或下一级放大器。适合做输出级或缓冲电路。

# 步骤1: 确保工作在放大区



## ■ 直流输出特性测量

C9018



1. 调节  $E_B$  使  $I_B = 60\mu A$

2. 调节  $E_C$  使

$E_C = 0.1-1V$  以及  $1-15V$

3. 测量  $V_{CE}$  和  $I_C$  并画图, 计算  $I_C/I_B$

4. 思考: 放大电路中  
 $E_C$  应设置为多少伏?



电压源  
产生电压  $E_B$  和  $E_C$



手持式万用表1  
测量电压  $V_{CE}$



手持式万用表2  
测量电流  $I_C$



台式万用表  
测量电流  $I_B$

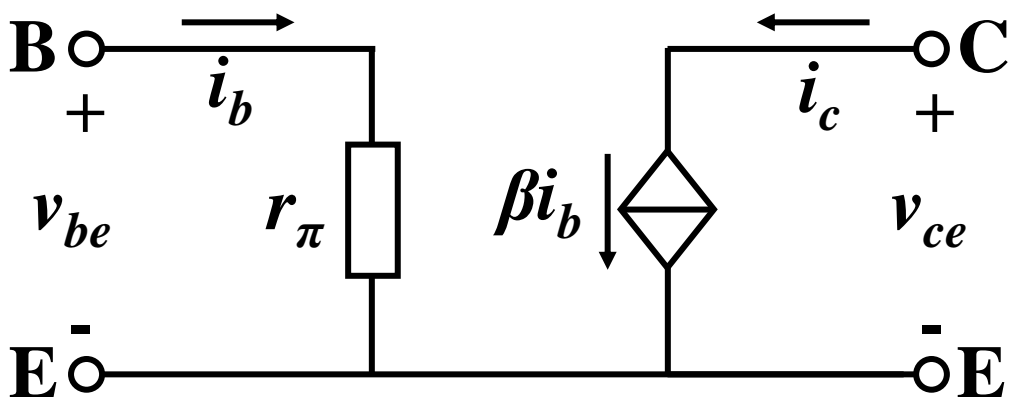
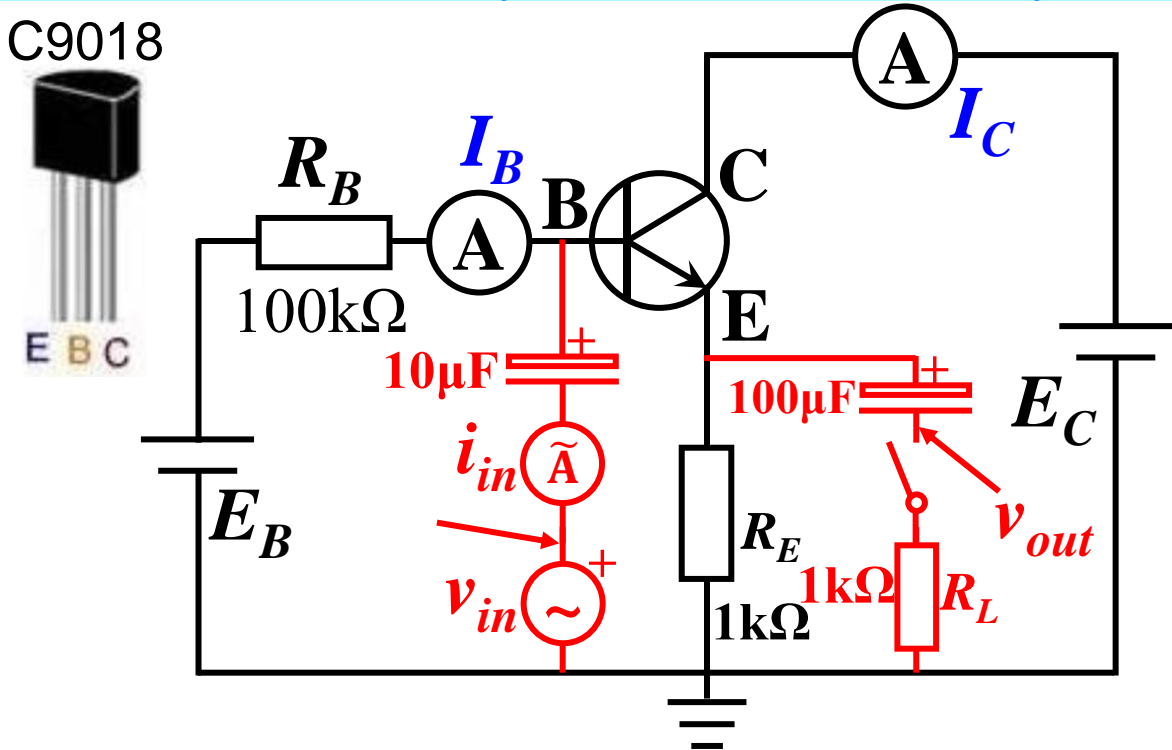
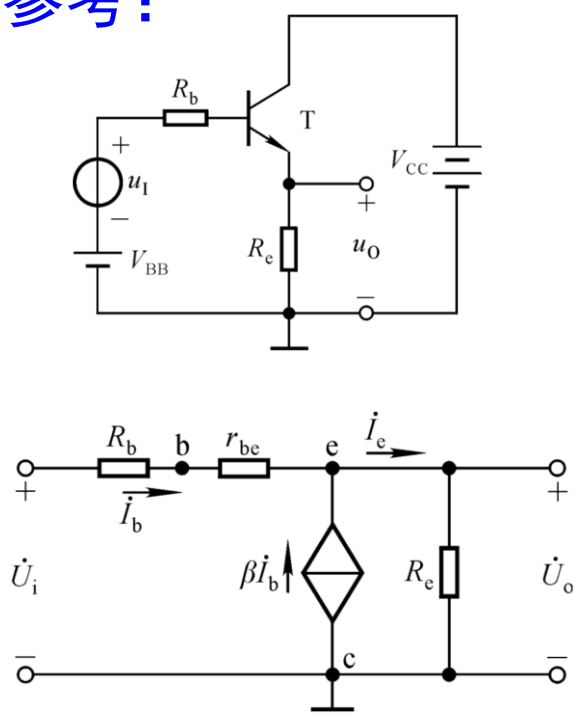
# 步骤2: 放大电路参数测量



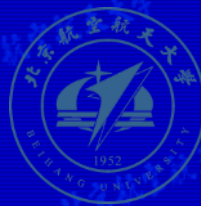
## ■ 放大电路参数测量

画出低频交流小信号  
等效电路（课堂测试）

参考：

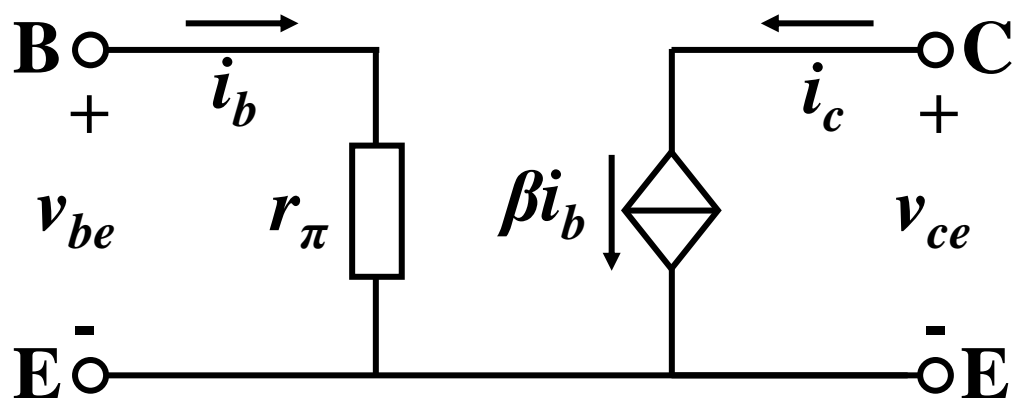
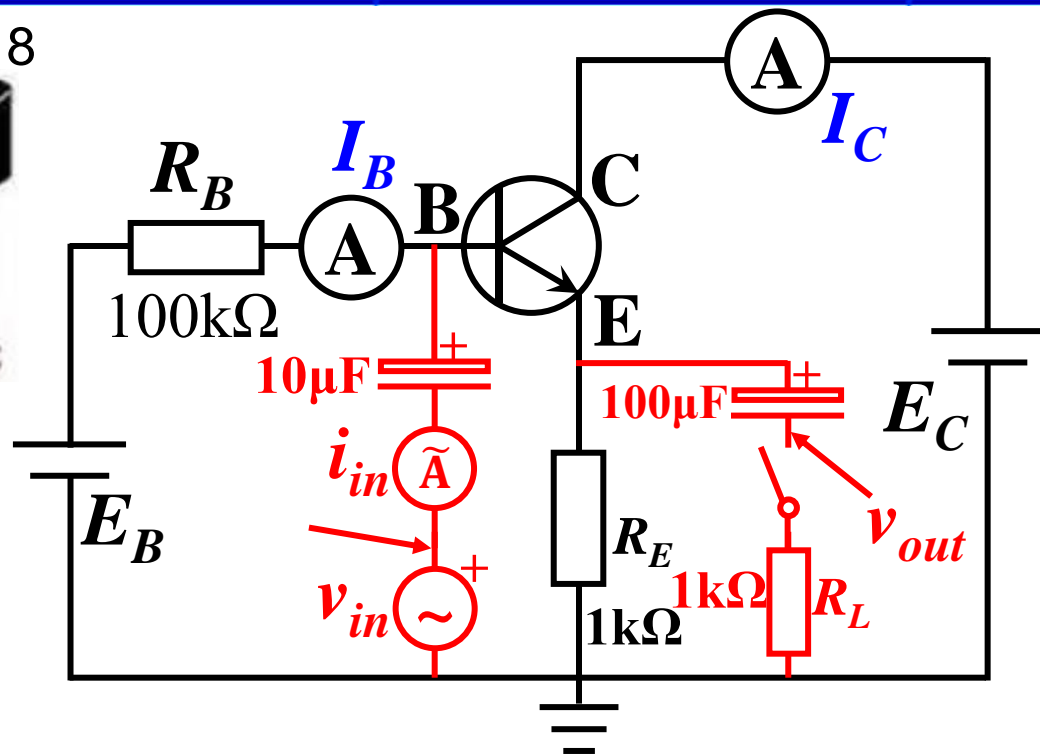


## 步骤2: 放大电路参数测量



### ■ 放大电路参数测量

C9018



1.  $E_B$  不变, 使  $E_C = 12V$
2. 任意波形发生器输出  
1KHz、 $1V_{PP}$  信号  $v_b$
3. 用示波器测量  $v_{in}$  和  $R_L$  的电压波形, 用万用表测量  $i_{in}$
4. 计算电压放大倍数  $A_v$ 、电流放大系数  $A_i$  和输入电阻  $R_{in}$
5. 断开  $R_L$  测量  $v_{out1}$ , 连接  $R_L$  测量  $v_{out2}$ , 计算输出电阻  $R_{out}$



# 课后思考



## ■ 课后思考

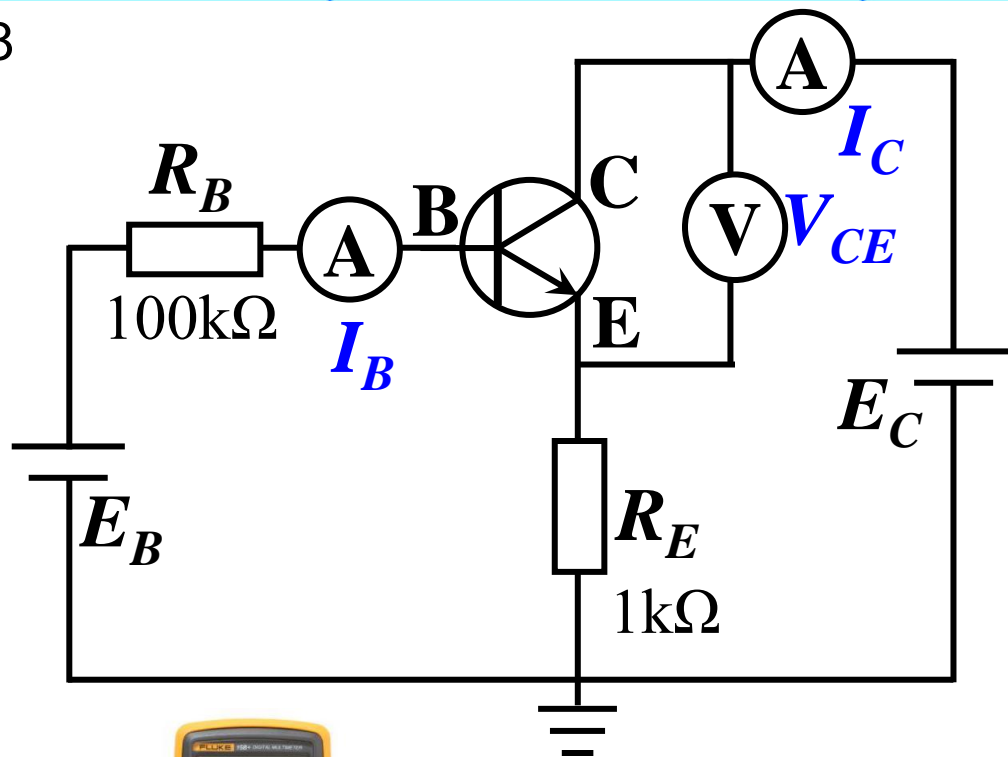
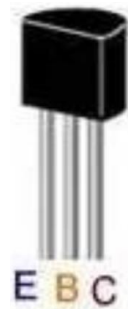
1. 利用交流等效电路计算放大电路的电压放大倍数 $A_v$ 、电流放大系数 $A_i$ 、输入电阻 $R_{in}$ 和输出电阻 $R_{out}$ ，并与实验测量结果进行对比。
2. 对比和分析共集放大电路和共基放大电路的参数和特点。

# 步骤1: 确保工作在放大区



## ■ 直流输出特性测量

C9018



1. 调节  $E_B$  使  $I_B = 60\mu A$

2. 调节  $E_C$  使

$E_C = 0.1-1V$  以及  $1-15V$

3. 测量  $V_{CE}$  和  $I_C$  并画图, 计算  $I_C/I_B$

4. 思考: 放大电路中  
 $E_C$  应设置为多少伏?



电压源  
产生电压  $E_B$  和  $E_C$



手持式万用表1  
测量电压  $V_{CE}$



手持式万用表2  
测量电流  $I_C$



台式万用表  
测量电流  $I_B$

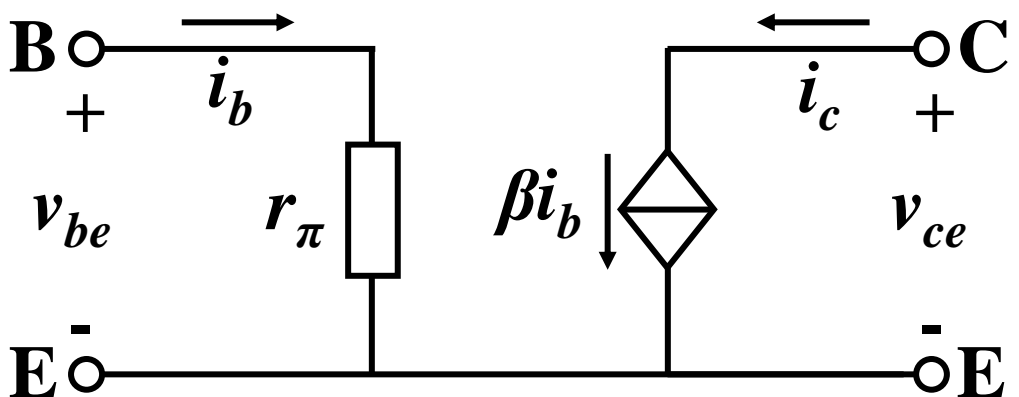
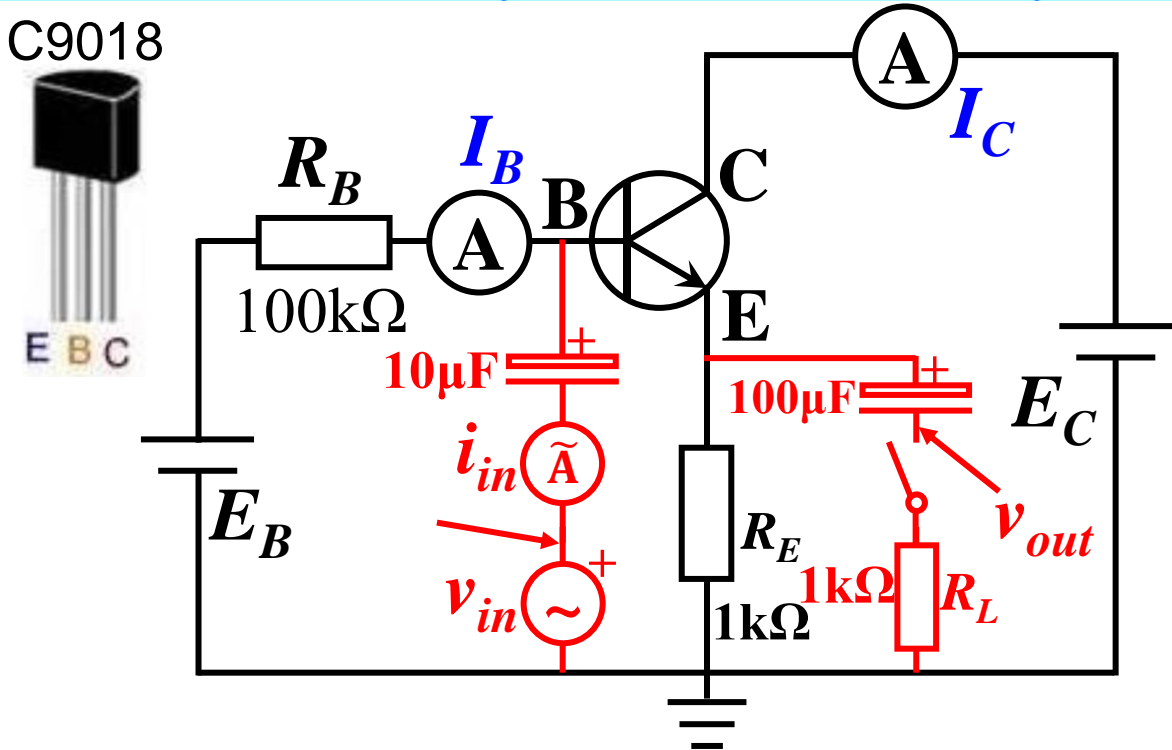
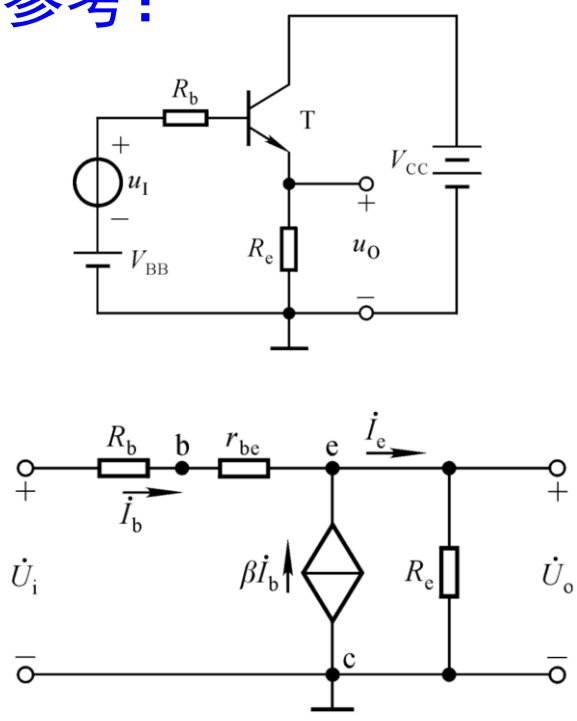
# 步骤2: 放大电路参数测量



## ■ 放大电路参数测量

画出低频交流小信号  
等效电路（课堂测试）

参考：

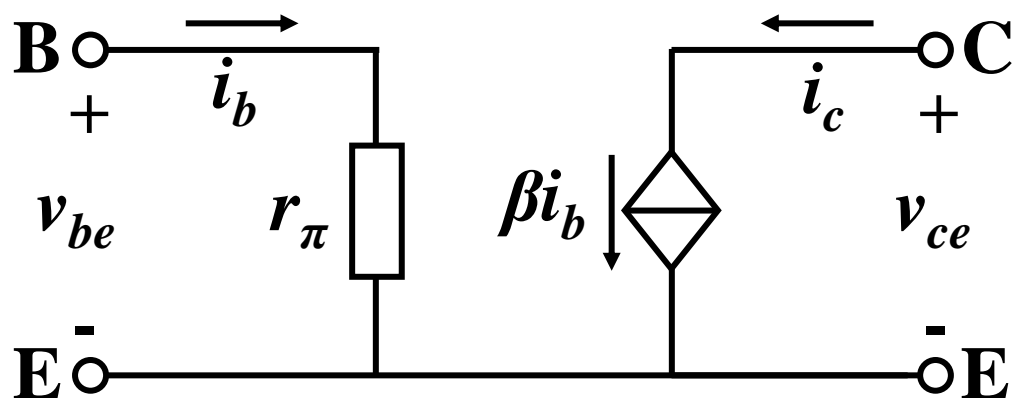
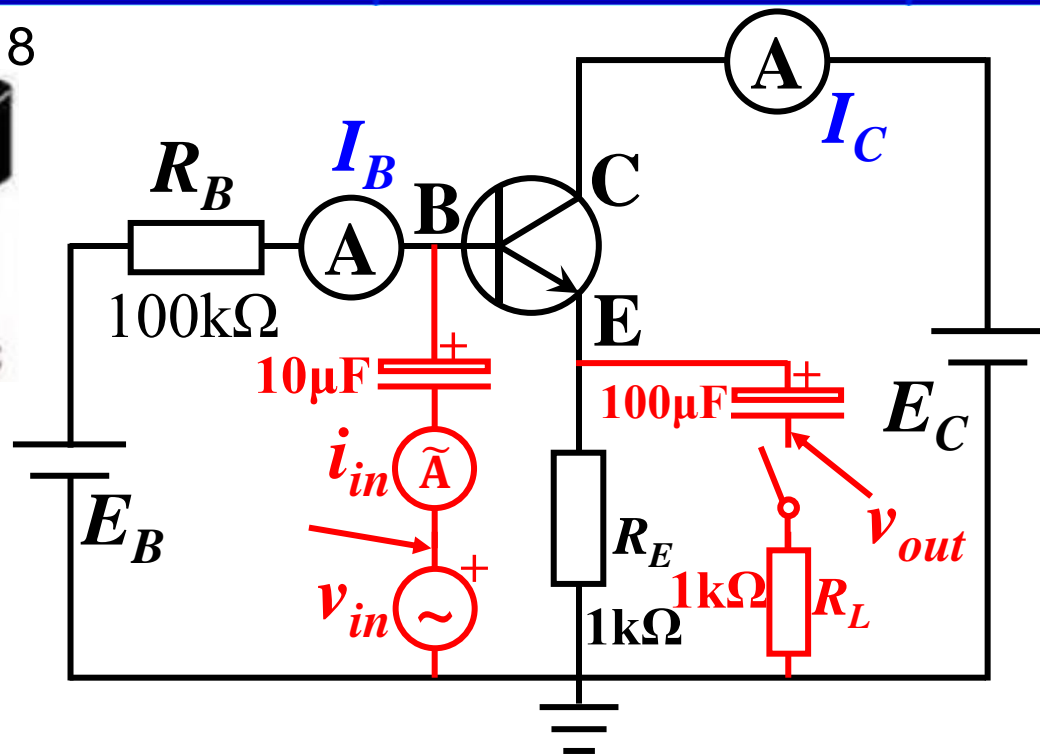


## 步骤2: 放大电路参数测量

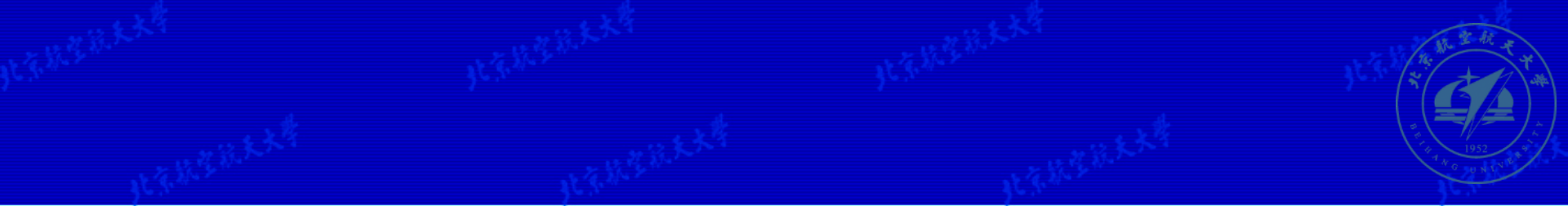


### ■ 放大电路参数测量

C9018



1.  $E_B$  不变, 使  $E_C = 12V$
2. 任意波形发生器输出  
1KHz、 $1V_{PP}$  信号  $v_b$
3. 用示波器测量  $v_{in}$  和  $R_L$  的电压波形, 用万用表测量  $i_{in}$
4. 计算电压放大倍数  $A_v$ 、电流放大系数  $A_i$  和输入电阻  $R_{in}$
5. 断开  $R_L$  测量  $v_{out1}$ , 连接  $R_L$  测量  $v_{out2}$ , 计算输出电阻  $R_{out}$



谢谢！