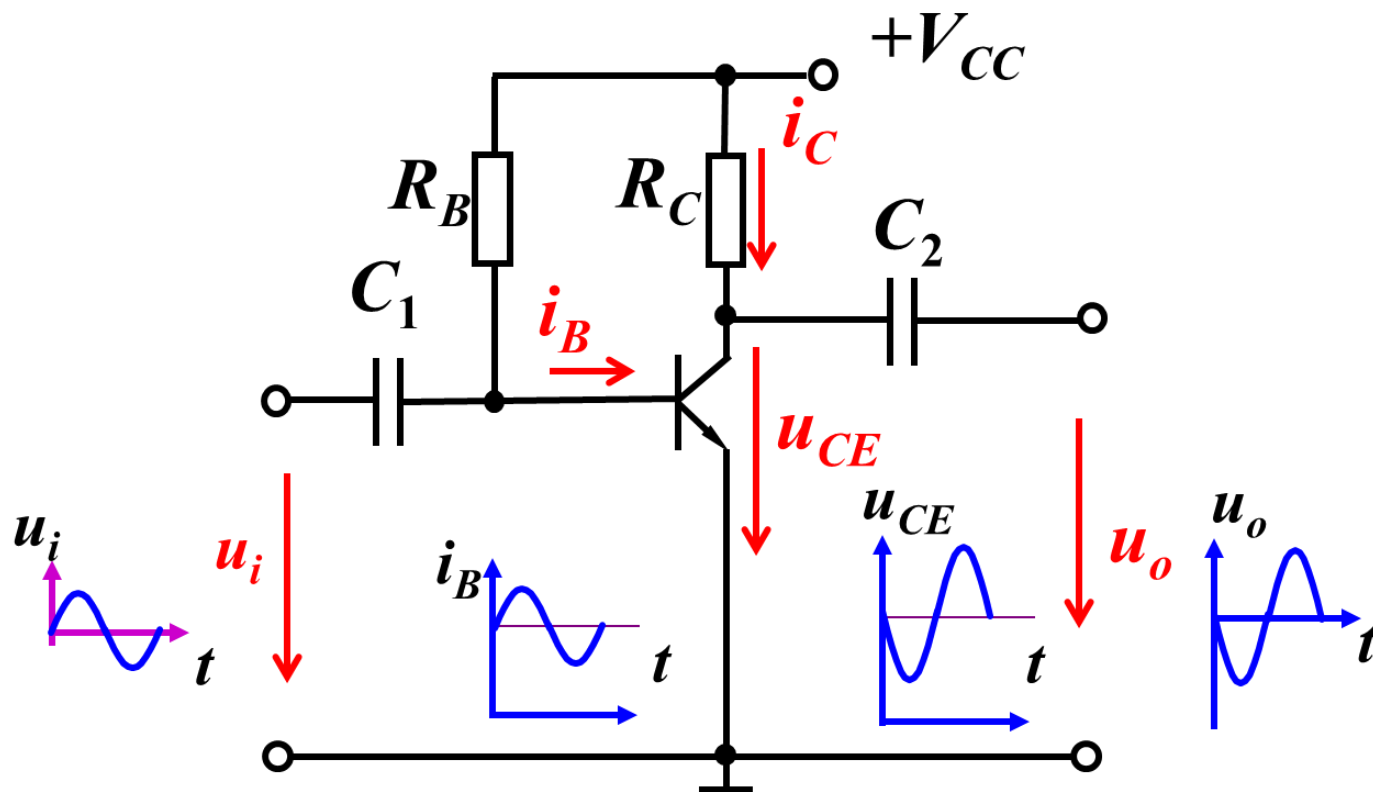




# 第九章 分立元件放大电路

- 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 放大电路的频率特性和其它\*

## § 9.3 放大电路的分析方法



复杂电路，复杂信号，如何求解？



# 工程和科学研究方法:

尝试从简单的、特殊的情况着手，  
再去探讨一般、普遍的情况！

静态分析

动态分析

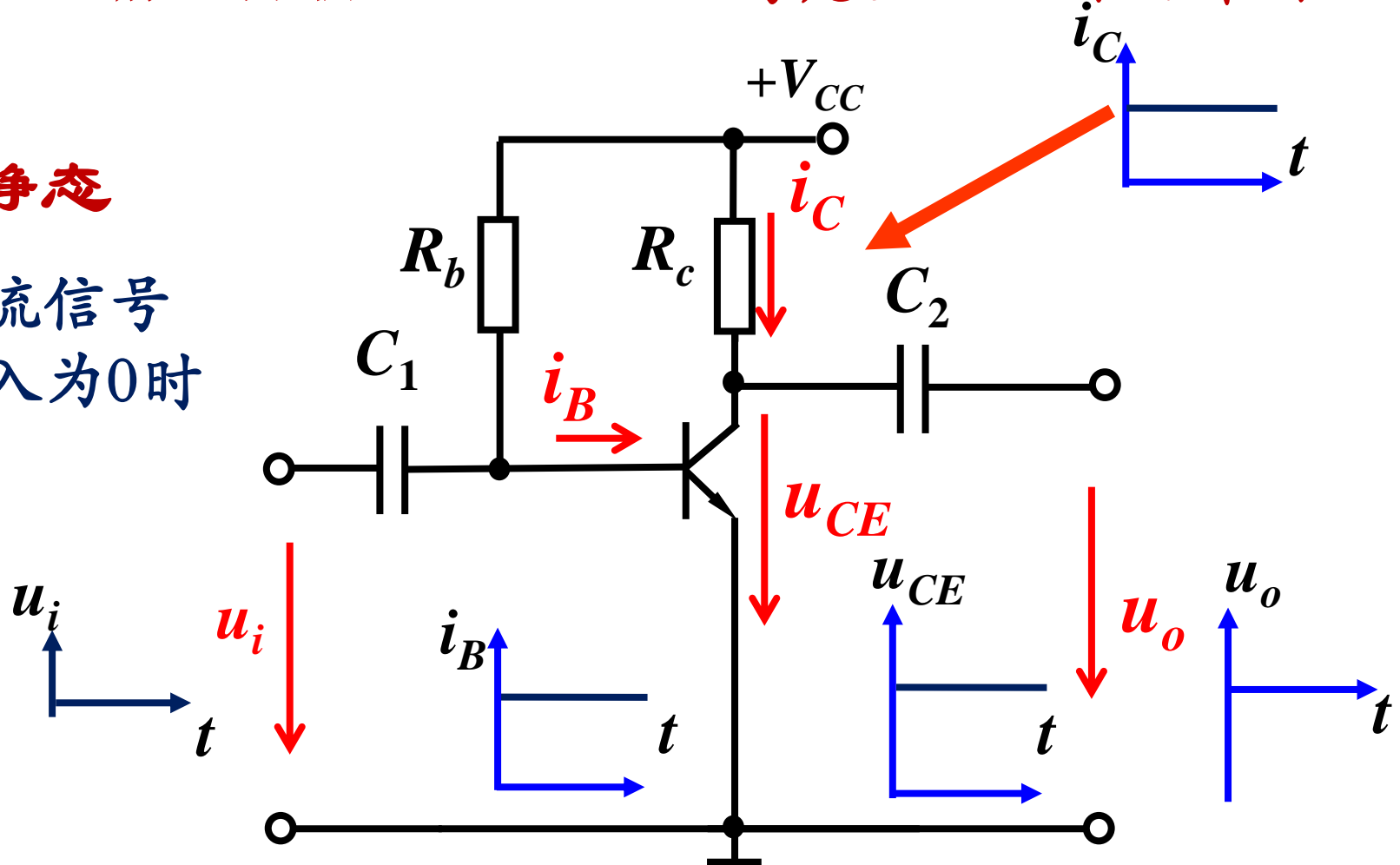


# 一、静态分析

只考虑直流电源的作用

静态

交流信号  
输入为0时

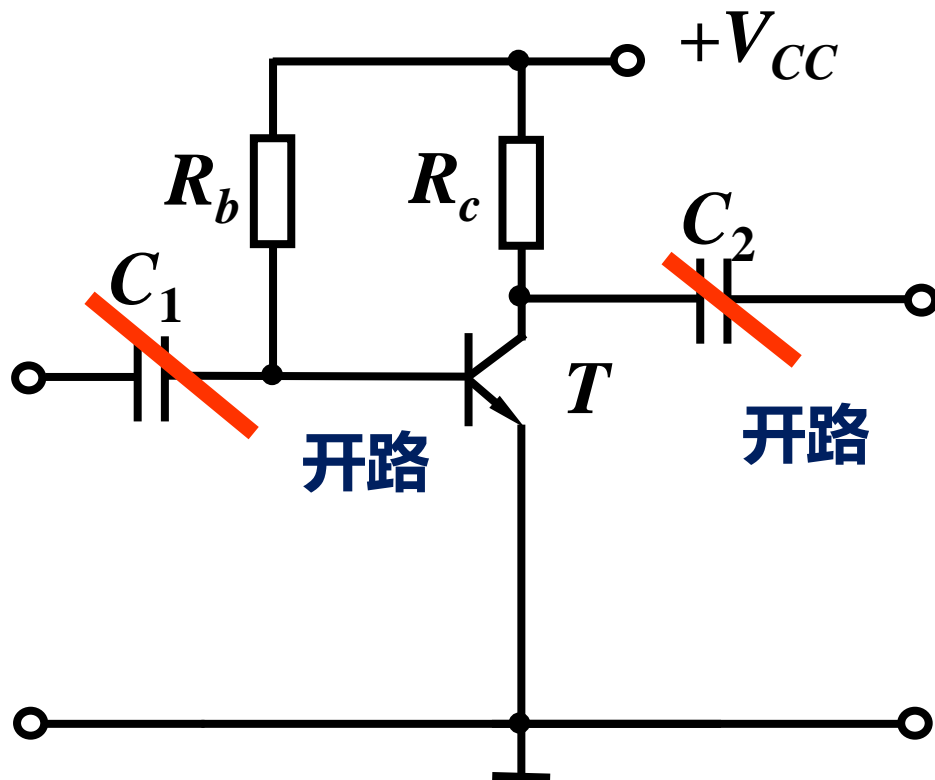


电路中各电流和电压的大小为一不随时间变化的量

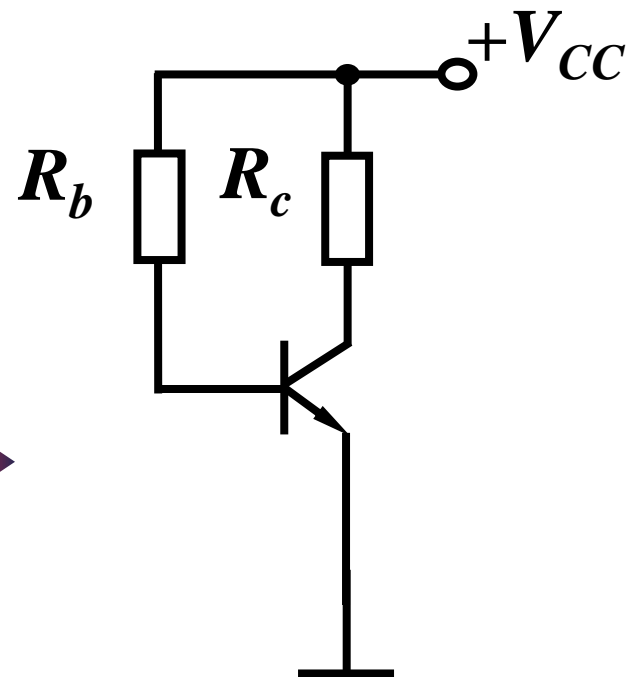


# 直流通路

只考虑直流电源的作用



直流通路

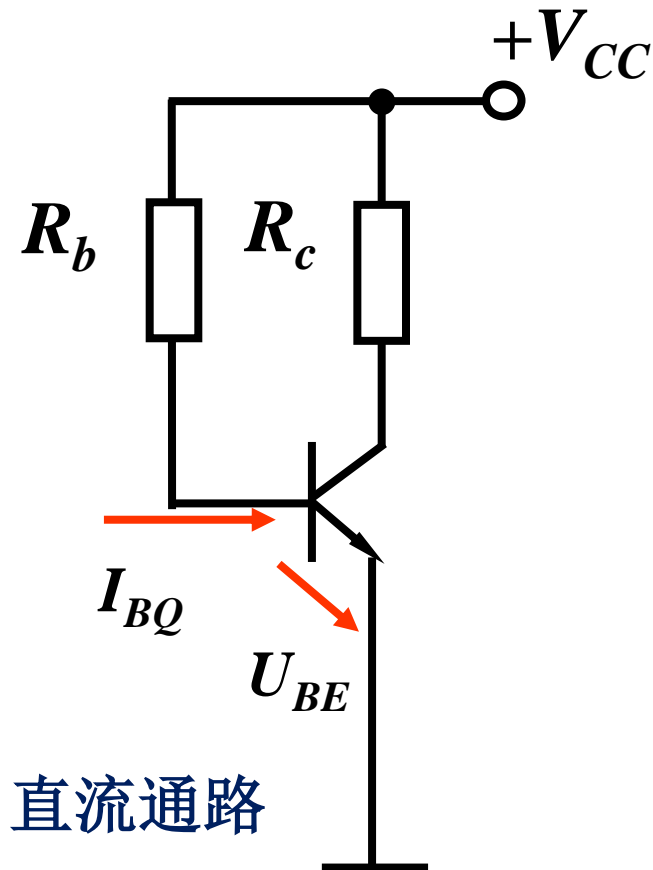


直流通路画法：令输入交流信号为零，电容相当于开路



# 静态分析

估算电路的静态工作点： $I_{BQ}$ 、 $I_{CQ}$ 、 $U_{CEQ}$



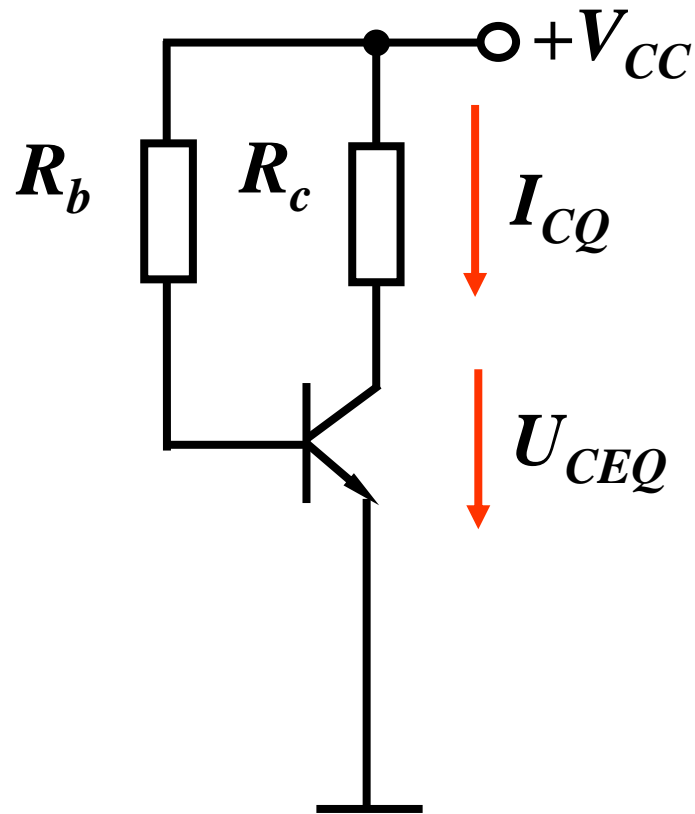
$U_{BE}$  为PN结导通压降，  
近似为常量

➤  $I_{BQ}$

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_b}$$
$$\approx \frac{V_{CC} - 0.7}{R_b} \approx \frac{V_{CC}}{R_b}$$



➤  $U_{CEQ}$ 、 $I_{CQ}$



直流通路

根据电流放大作用

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

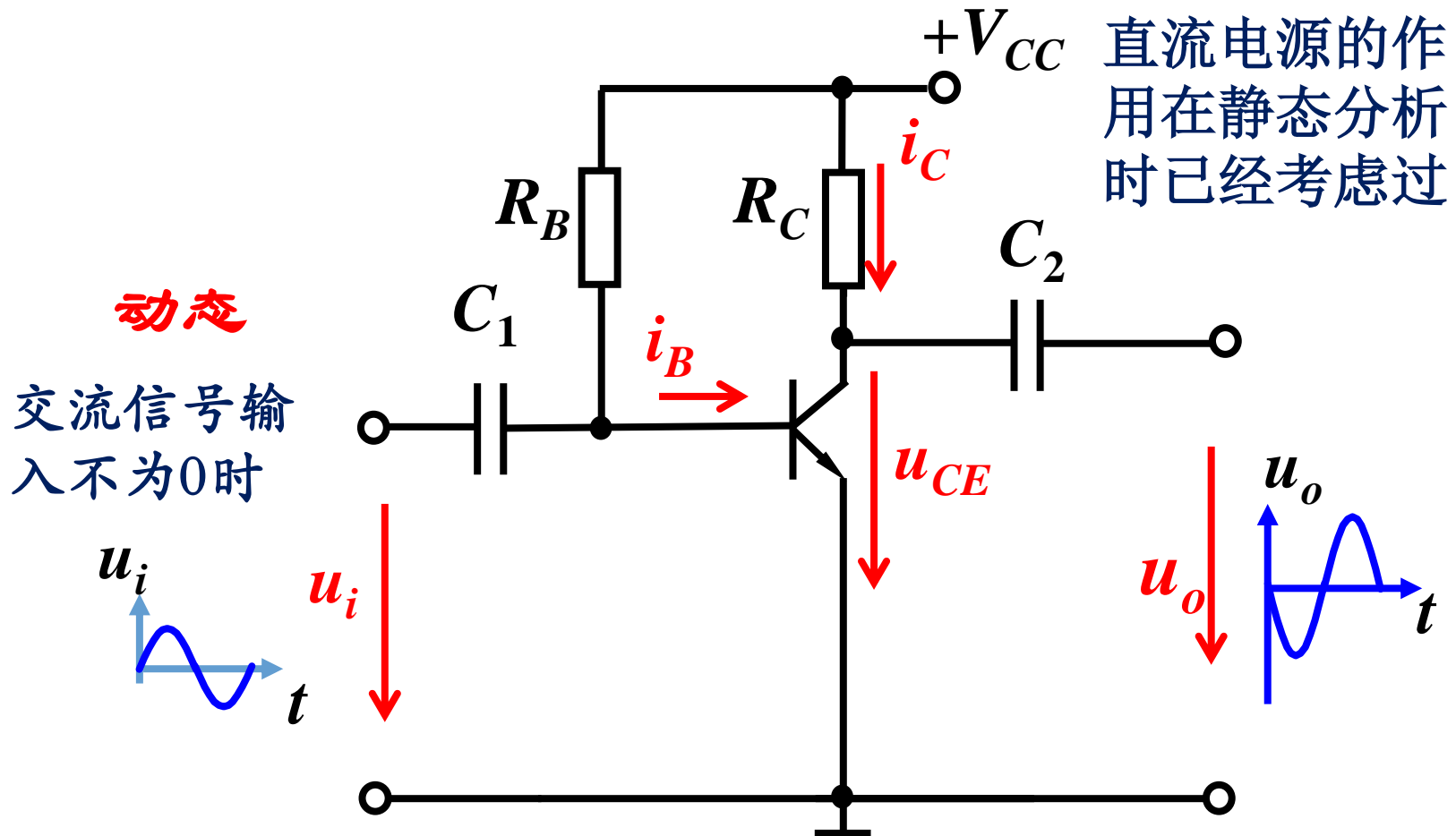
根据KVL

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

设置静态工作点的作用是提供交流信号的工作平台



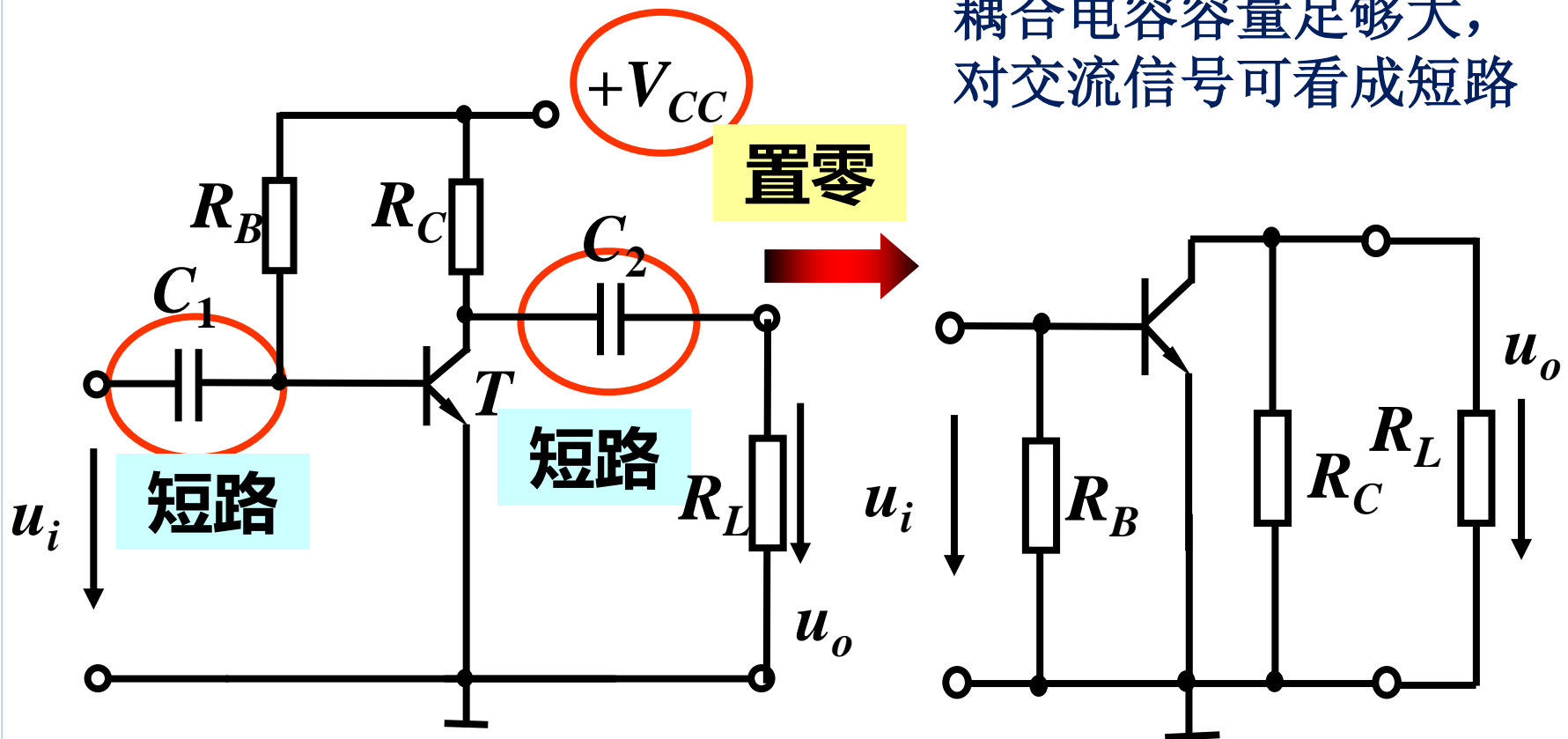
## 二、动态分析







# 交流通路

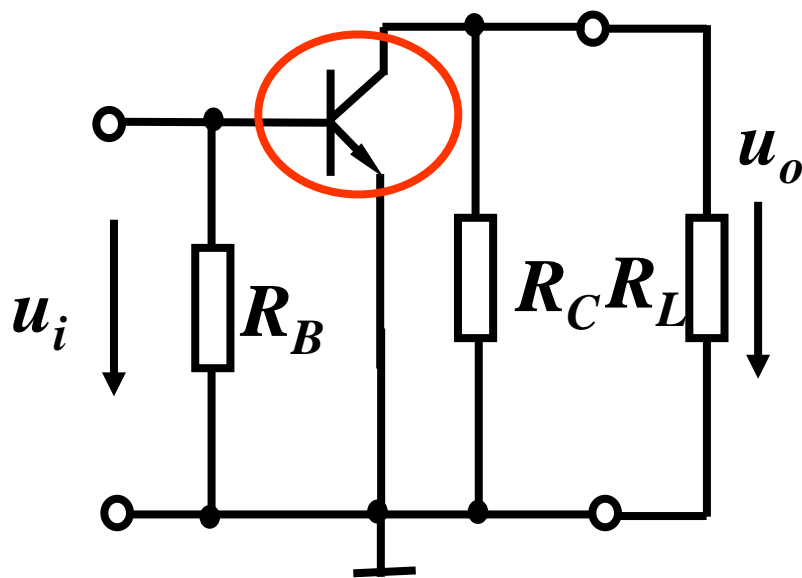


通过交流通路求解电路对交流输入 $u_i$ 的响应



# 交流等效电路

## 交流通路



非线性晶体管

晶体管的微变等效电路

线性化——》交流等效电路

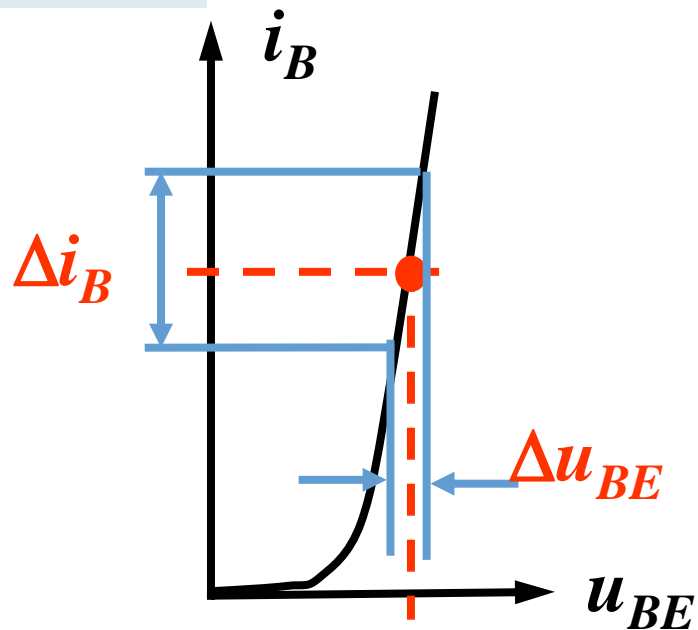
线性化的条件：

晶体管工作于小信号（微变量）情况



# 晶体管的微变等效电路

## 输入端



对输入的交流小信号而言，  
晶体管的输入端电阻 $r_{be}$ 等效

$$r_{be} = \left. \frac{\Delta u_{BE}}{\Delta i_B} \right|_{U_{CE}} = \left. \frac{u_{be}}{i_b} \right|_{U_{CE}}$$

对于小功率三极管： $r_{be} \approx r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26(\text{mV})}{I_E(\text{mA})} (\Omega)$

$r_{bb'}$ 一般取 $200\Omega$

$r_{be}$ 值约几百欧到几千欧



# 晶体管的微变等效电路

## 输出端

输出特性曲线近似平行等距

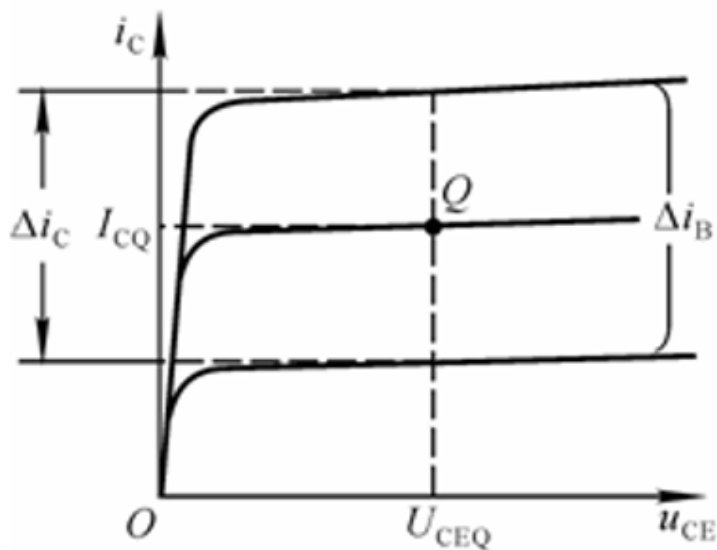
输出端相当于一个受 $i_b$ 控制的电流源

$$\beta = \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \right|_{U_{CE}} = \left. \frac{i_C}{i_b} \right|_{U_{CE}}$$

如考虑 $u_{CE}$ 对 $i_C$ 的影响，输出端还要并联一个大电阻 $r_{ce}$

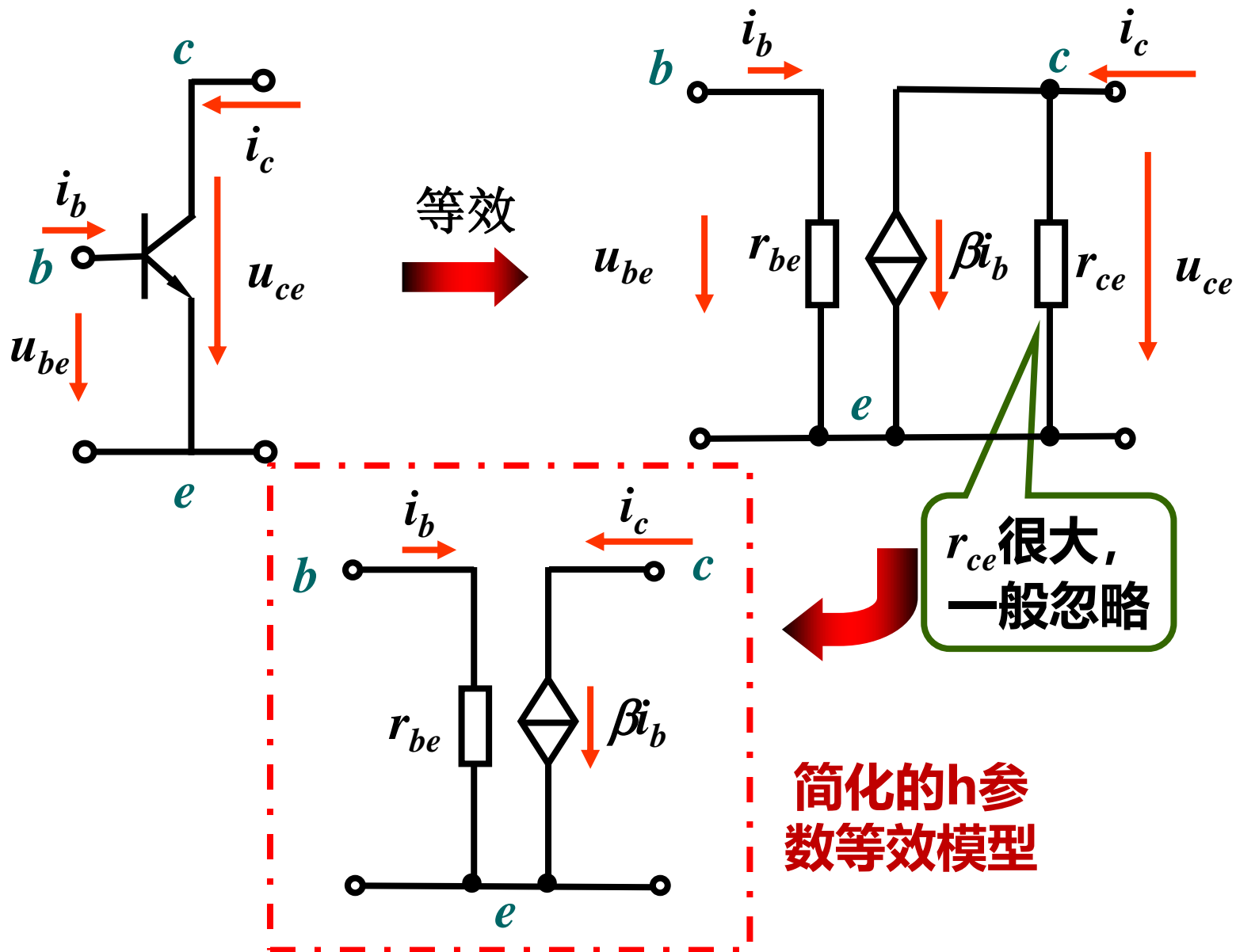
$$r_{ce} = \left. \frac{\Delta u_{CE}}{\Delta i_C} \right|_{I_B} = \left. \frac{u_{ce}}{i_c} \right|_{I_B}$$

$r_{ce}$ 约几十千欧到几百千欧



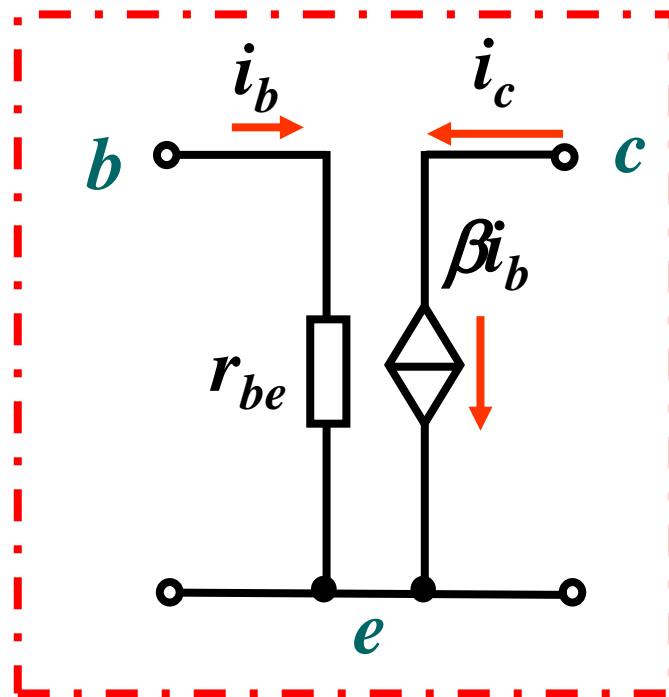
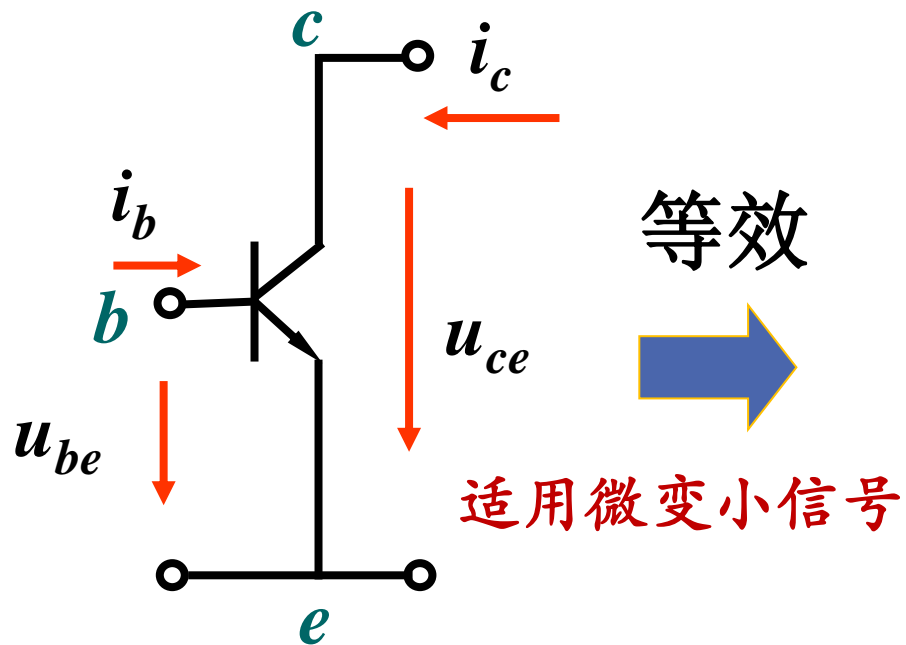


# 简化的h参数等效模型





# 简化的h参数等效模型



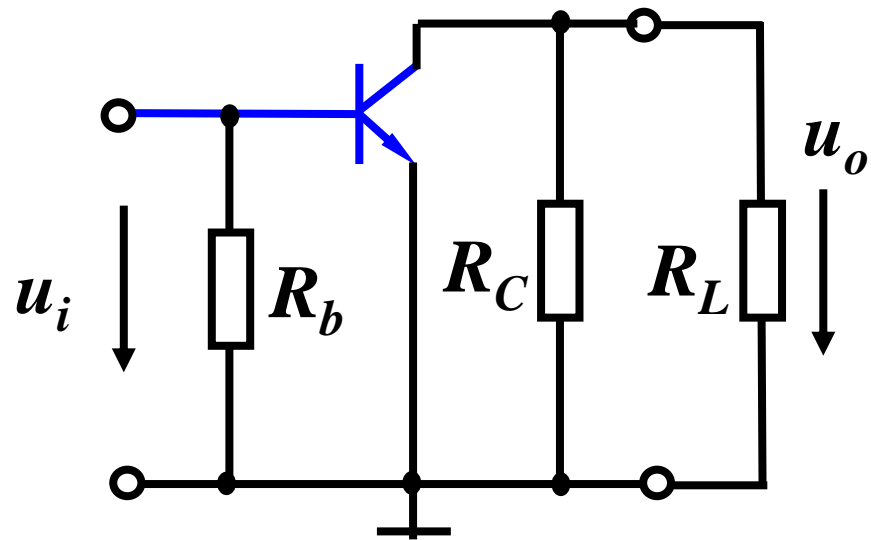
晶体管的b、e之间可用 $r_{be}$ 等效代替

晶体管的c、e之间可用一电流受控源等效代替

弄清楚等效的条件，如何等效？

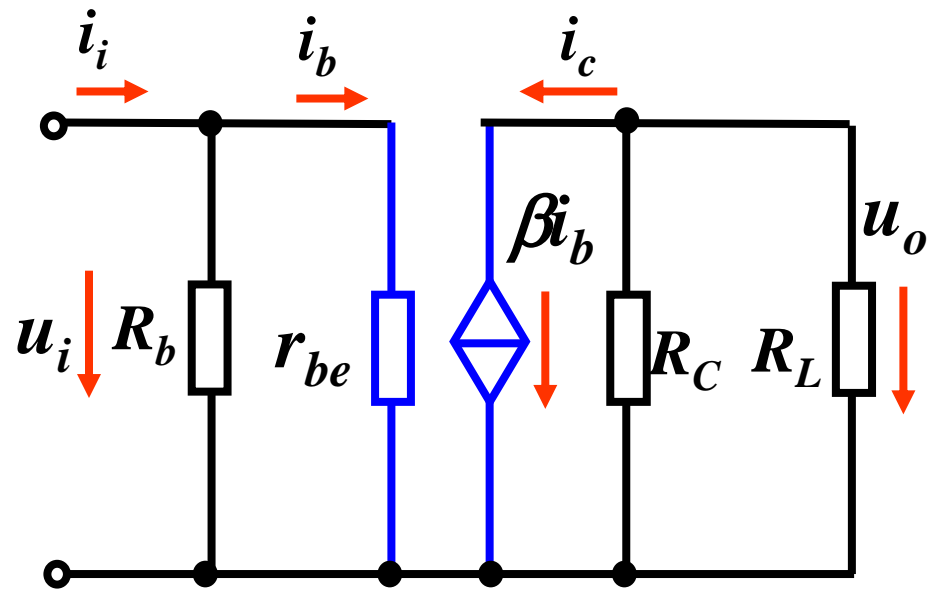


# 放大电路的微变等效电路



交流通路

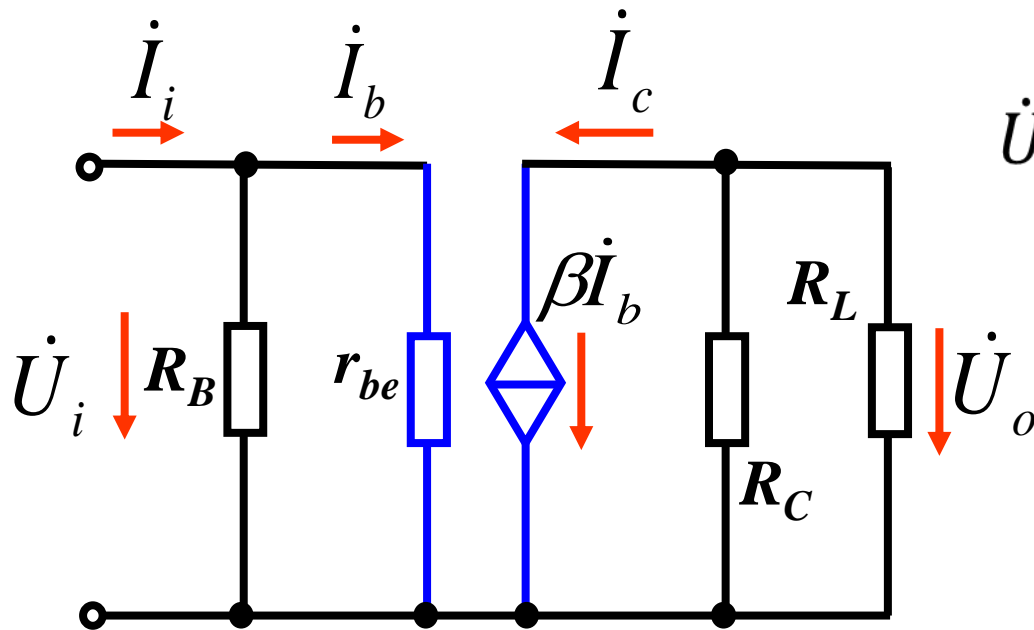
将交流通路中的三极管用简化的h参数等效电路代替





# 放大电路交流性能的计算

## 1. 电压放大倍数



$$\dot{U}_i = \dot{I}_b r_{be}$$

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

其中

$$R'_L = R_C // R_L$$

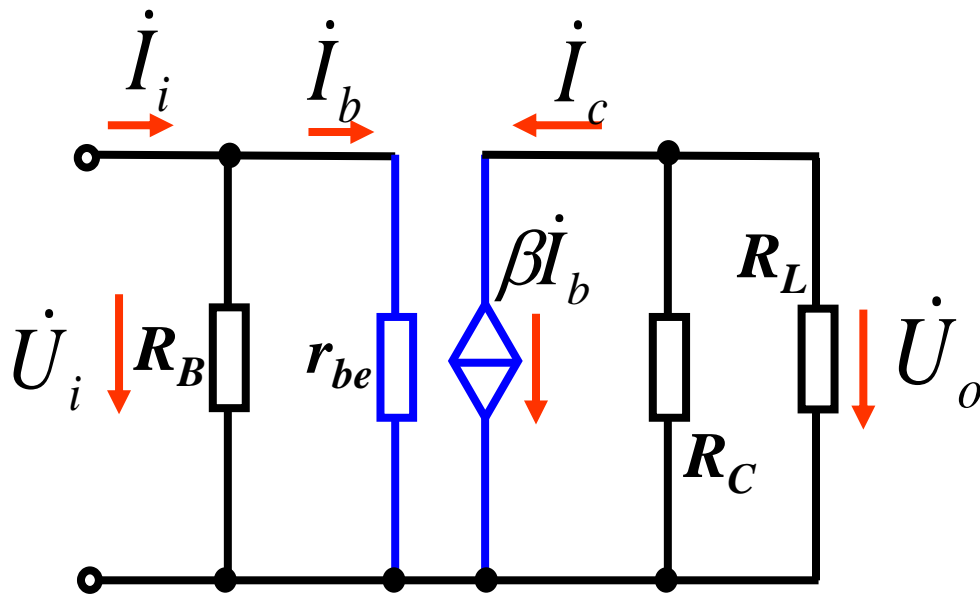
$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}}$$





# 放大电路交流性能的计算

## 2. 输入电阻



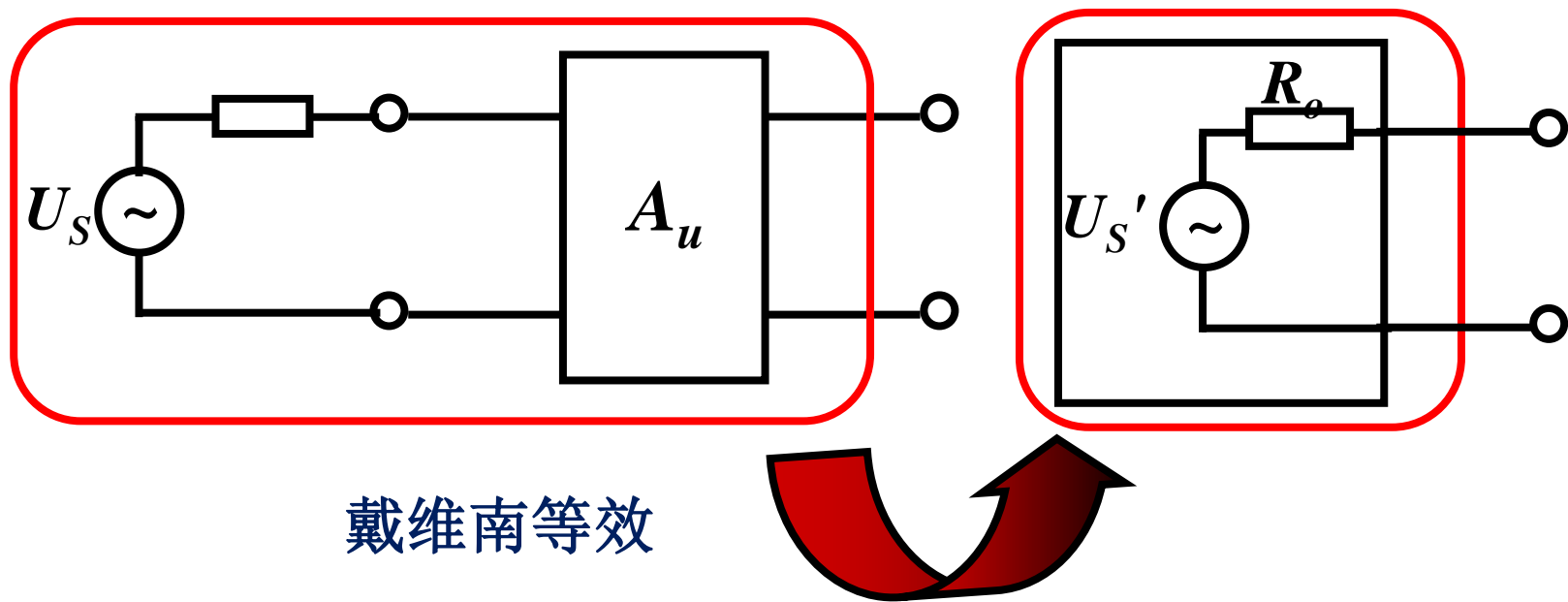
$$\begin{aligned} R_i &= \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i} \\ &= R_B // r_{be} \\ &\approx r_{be} \end{aligned}$$



# 放大电路交流性能的计算

## 3. 输出电阻

放大电路对其负载而言，相当于信号源，其内阻就是放大电路的输出电阻

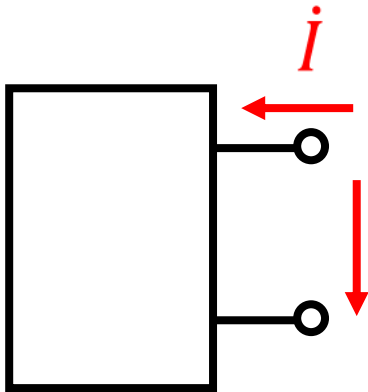


含受控源电路可采用加压求流法求等效电阻



## 加压求流法

1. 去掉负载电阻，令电路中所有的独立电源为零
2. 在输出端加电压求电流



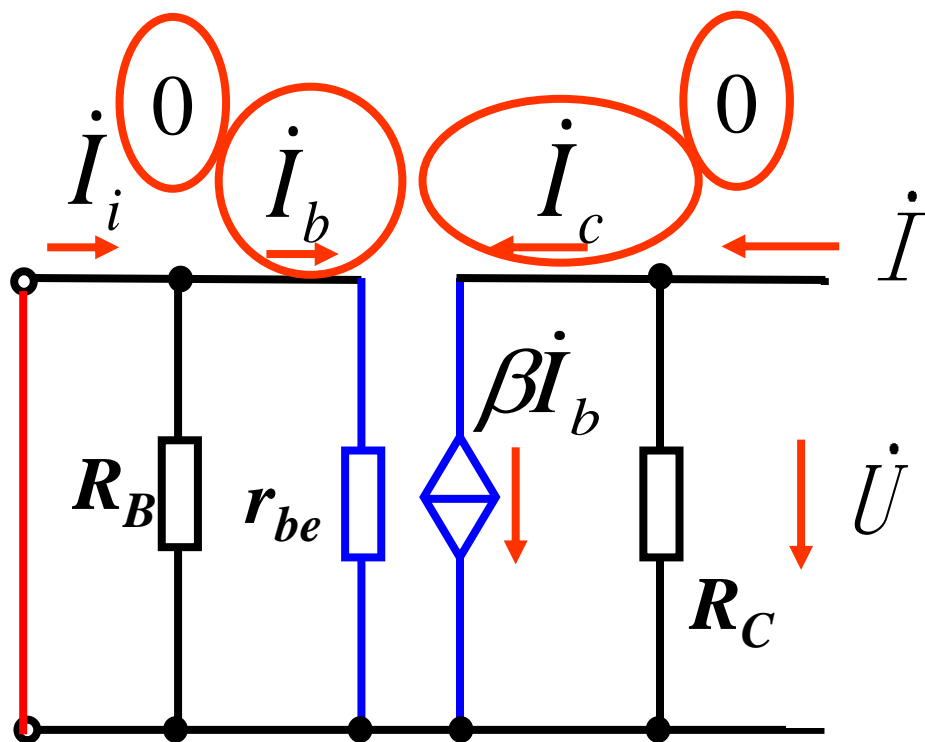
$$R_o = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}$$



# 放大电路交流性能的计算

## 3. 输出电阻

加压求流法

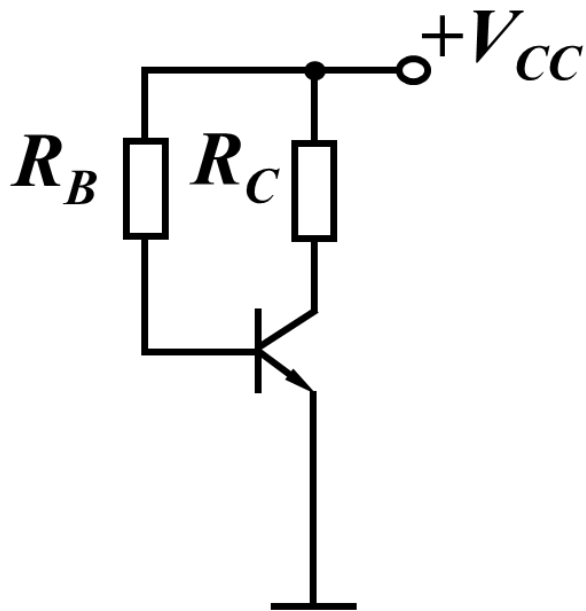


$$R_o = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}$$

$$R_o = R_c$$

例：已知 $V_{CC} = 12V$ ， $R_C = 4k\Omega$ ， $R_B = 300k\Omega$ ， $\beta = 37.5$   
试求单管共射放大电路的静态工作点

直流通路



解：

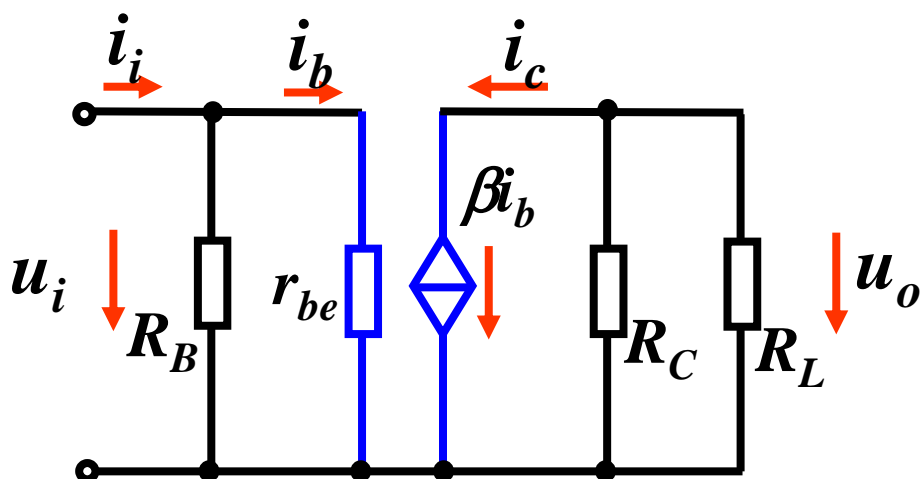
$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - 0.7}{R_b} \approx \frac{V_{CC}}{R_b} = \frac{12}{300 \times 10^3} = 40 \mu A$$

$$I_{CQ} \approx \beta I_{BQ} = 37.5 \times 40 \times 10^{-3} = 1.5 \text{ mA}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 12 - 1.5 \times 4 = 6 \text{ V}$$

例：已知  $U_{CC} = 12V$ ,  $R_C = 4k\Omega$ ,  $R_L = 4k\Omega$ ,  $R_B = 300k\Omega$ ,  $\beta = 37.5$ , 晶体管导通时  $U_{BEQ} = 0.7V$ 。试计算单管共射放大电路的交流性能

解：



$$A_u = -\beta \frac{R'_L}{r_{be}}$$

$$= -37.5 \times \frac{4 // 4}{0.867} = -86.5$$

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26(\text{mV})}{I_E(\text{mA})}$$

$$r_{be} = 0.867K\Omega$$

$$R_i = R_B // r_{be} \approx r_{be}$$

$$R_o = R_C = 4K\Omega$$



# 放大电路的分析方法小结

静态：放大电路无输入信号时的工作状态

动态：放大电路有输入信号时的工作状态

静态分析：直流通路  $\xrightarrow{\text{估算法}}$  放大工作的平台

动态分析：交流通路  $\xrightarrow{\text{等效电路法}}$  交流性能

图解法

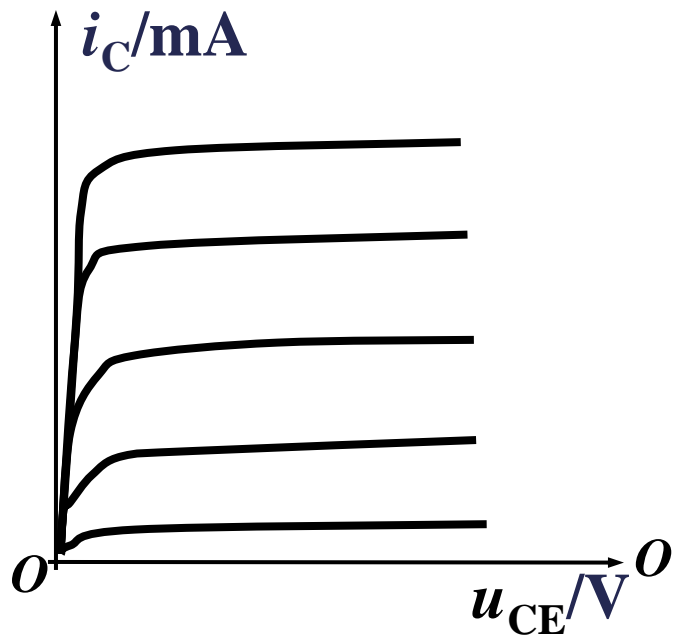


放大电路的交流等效电路

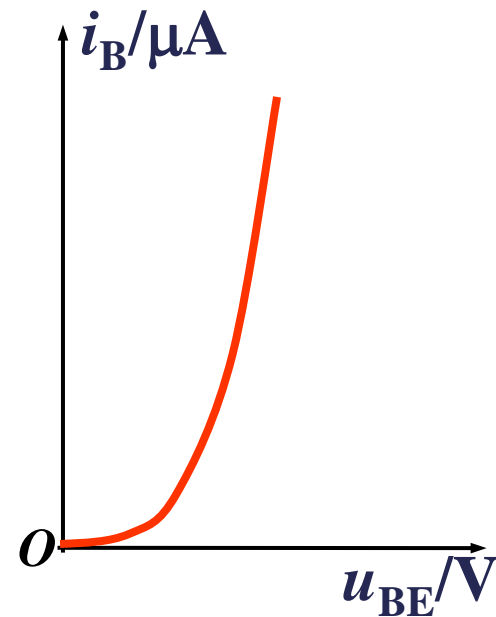


### 三、图解法分析

晶体管输出特性曲线



晶体管输入特性曲线



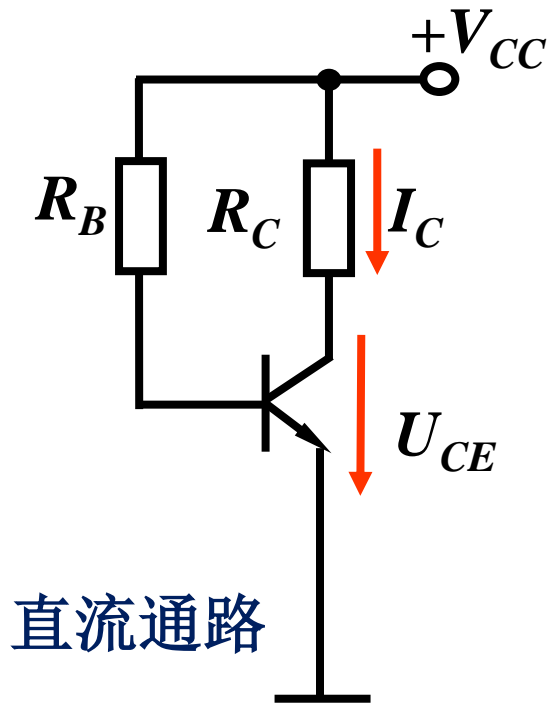
从晶体管特性曲线着手分析放大电路





# 图解法分析

## 静态



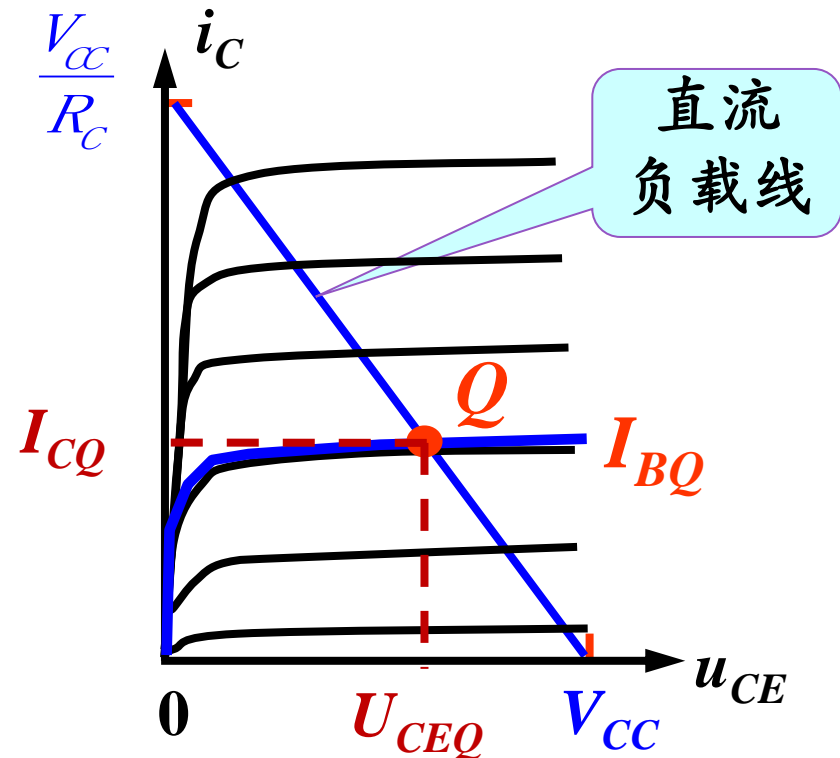
$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_B}$$

$U_{CE} \sim I_C$  满足什么关系?

### 1. 三极管的输出特性

$$i_C = f(u_{CE}) \big|_{I_B = I_{BQ}}$$

### 2. 电路约束方程 $U_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$



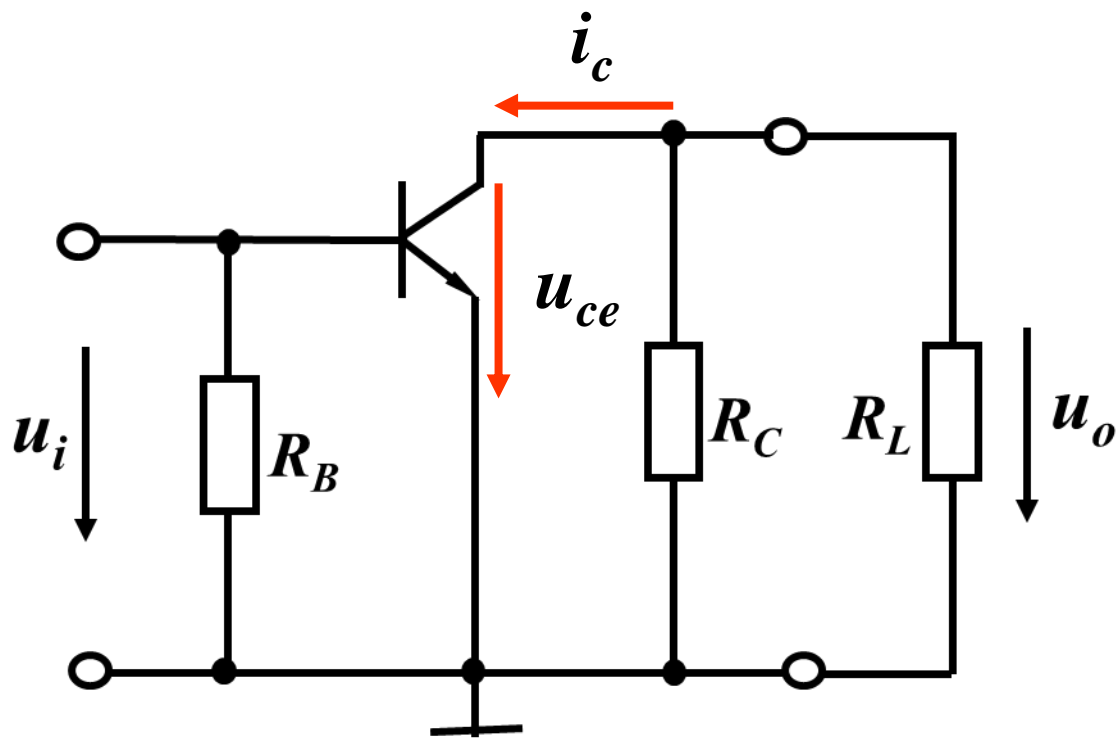


# 图解法分析

动态

动态时  $i_c$  和  $u_{ce}$  的关系？

交流通路

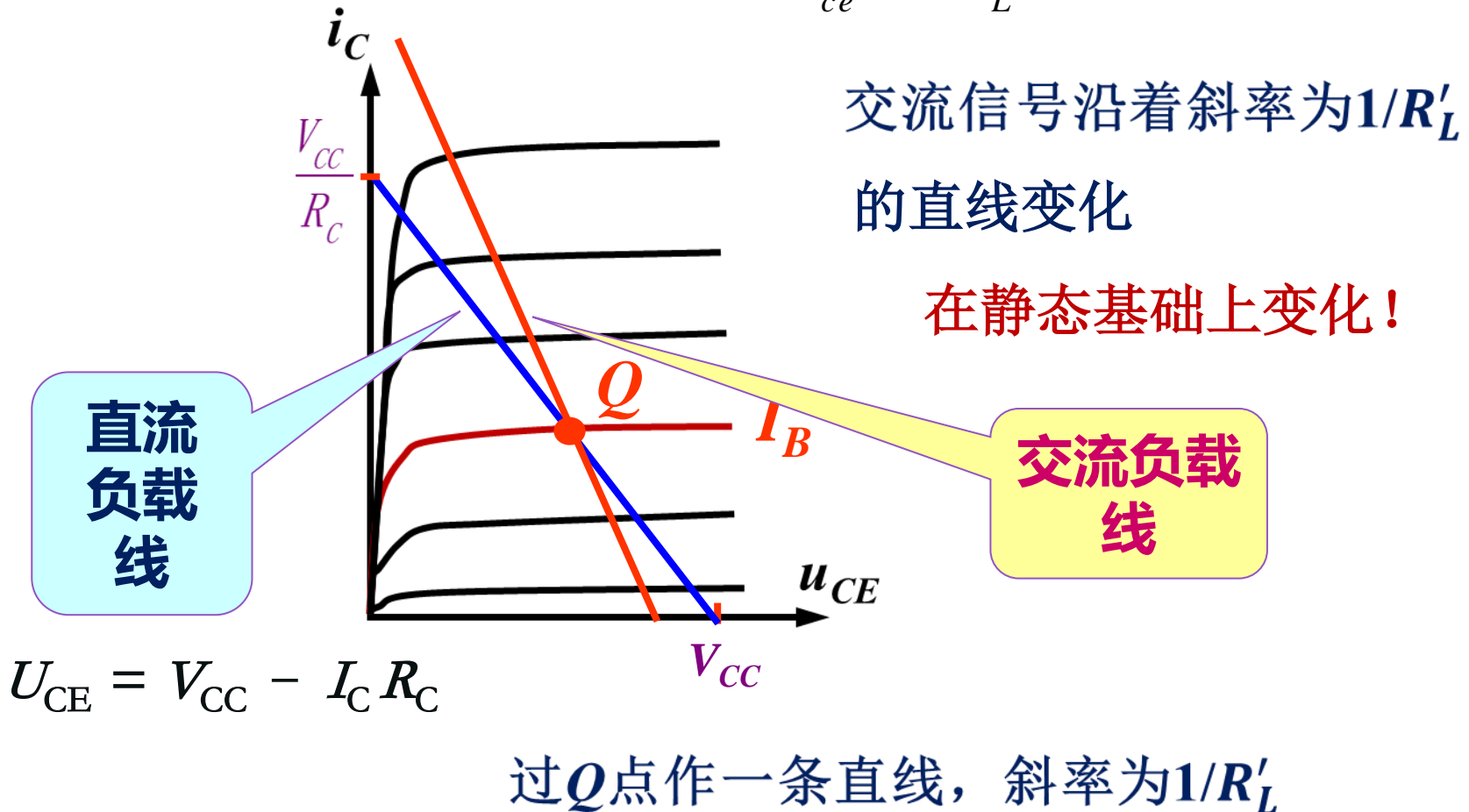


其中：

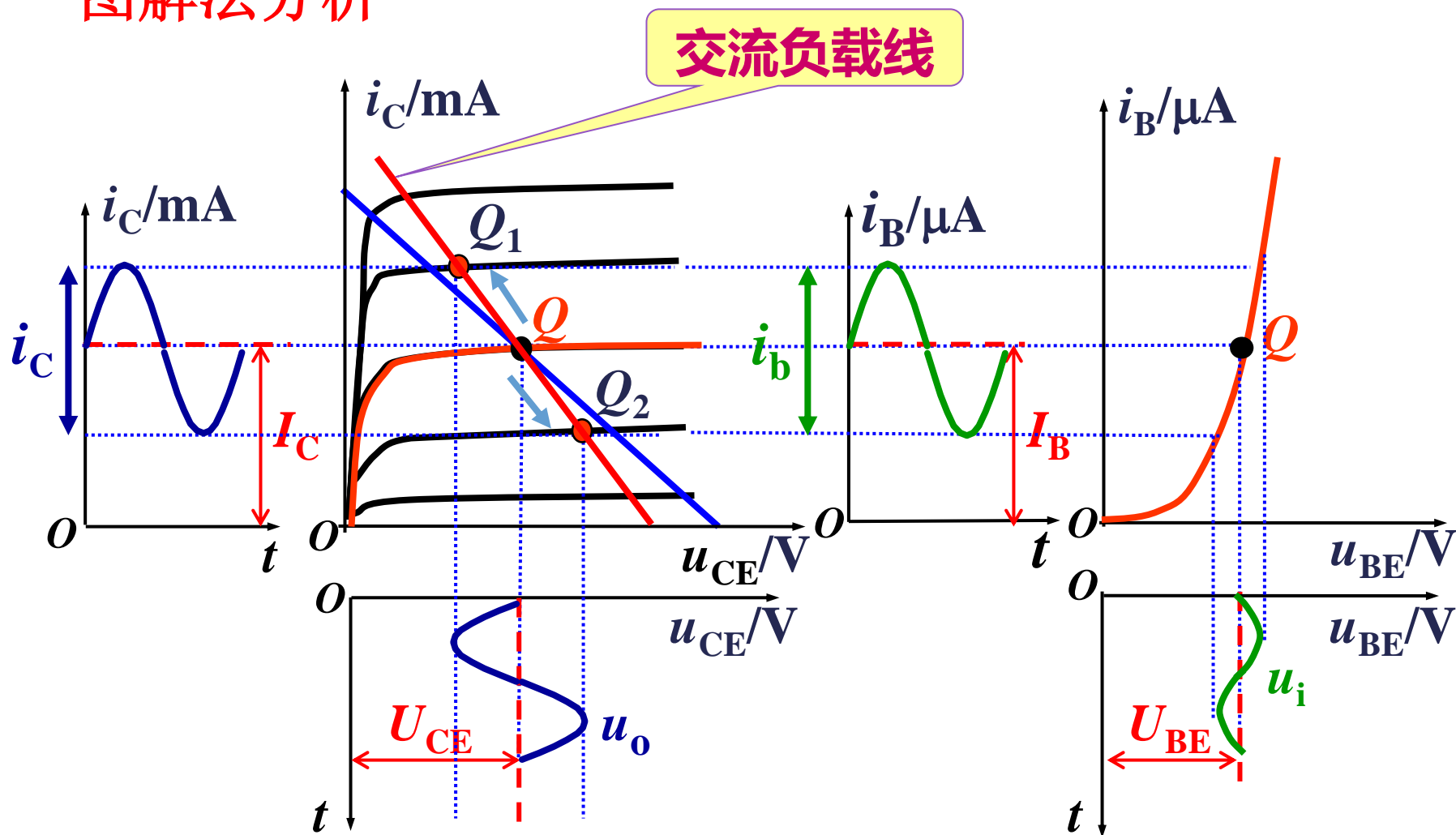
$$R'_L = R_C // R_L$$

## 交流负载线

动态时  $i_c$  和  $u_{ce}$  的变化关系:  $\frac{i_c}{u_{ce}} = -\frac{1}{R'_L}$



## 图解法分析



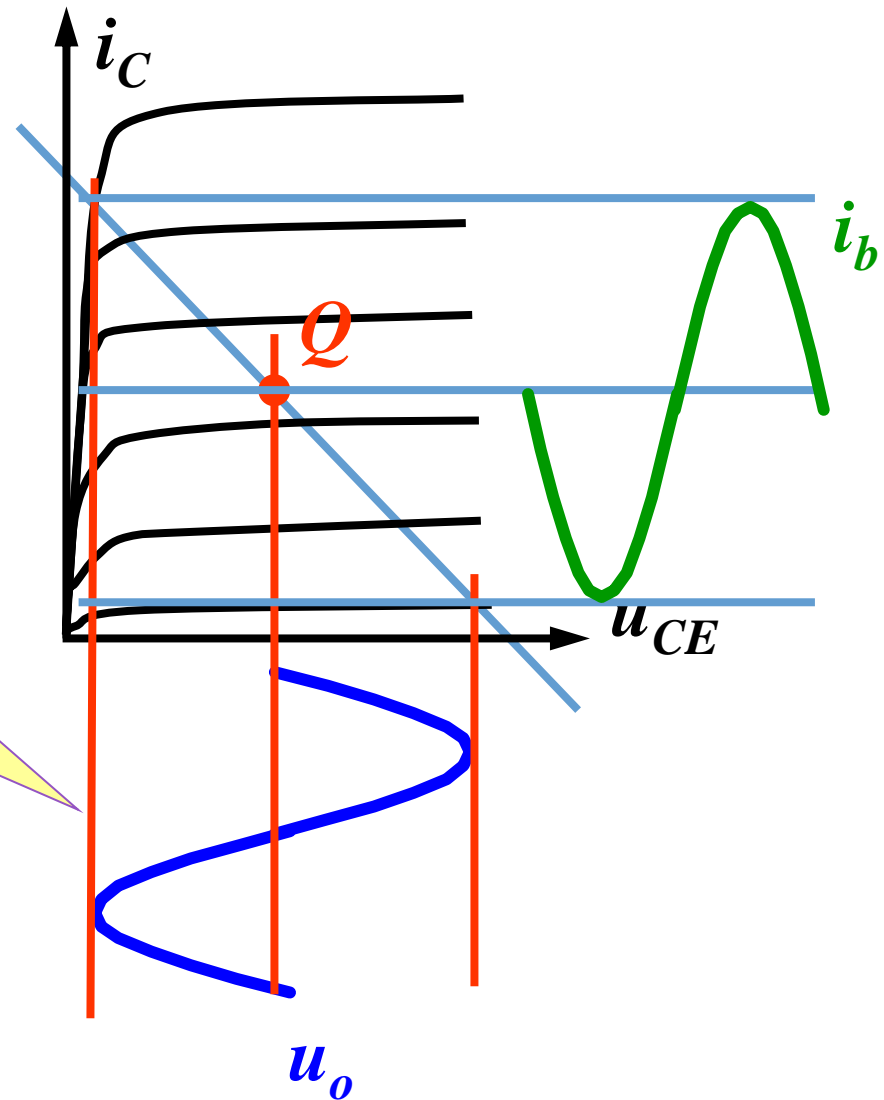
电压放大倍数:  $u_o$ 和 $u_i$ 的峰值之比



# 图解法的应用：放大电路的失真分析

Q点在交流负载线的中间

可输出最大不失真信号



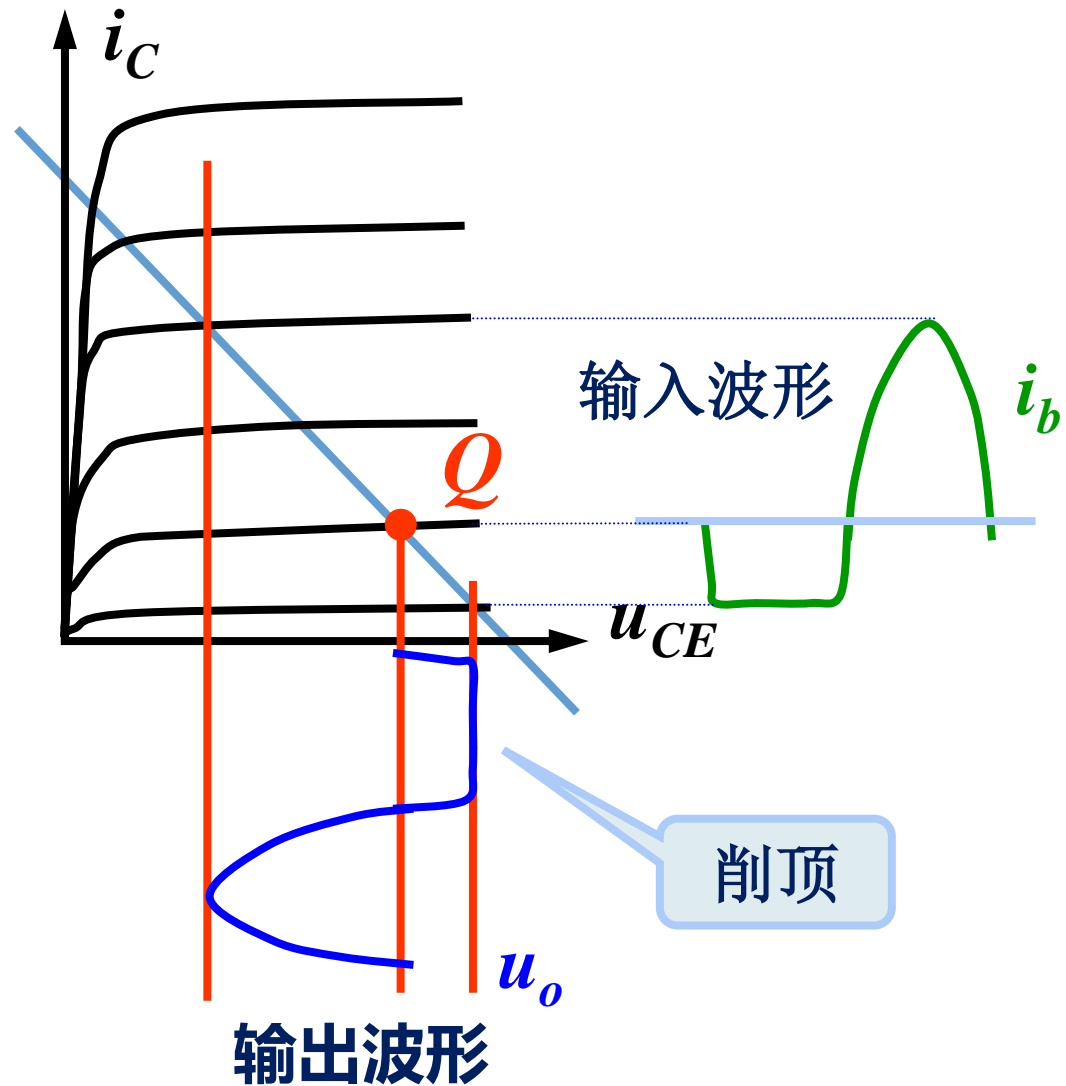


# 图解法的应用：放大电路的失真分析

Q点过低，信号很容易进入截止区

放大电路产生  
截止失真

适当增加基极  
电流可消除截  
止失真



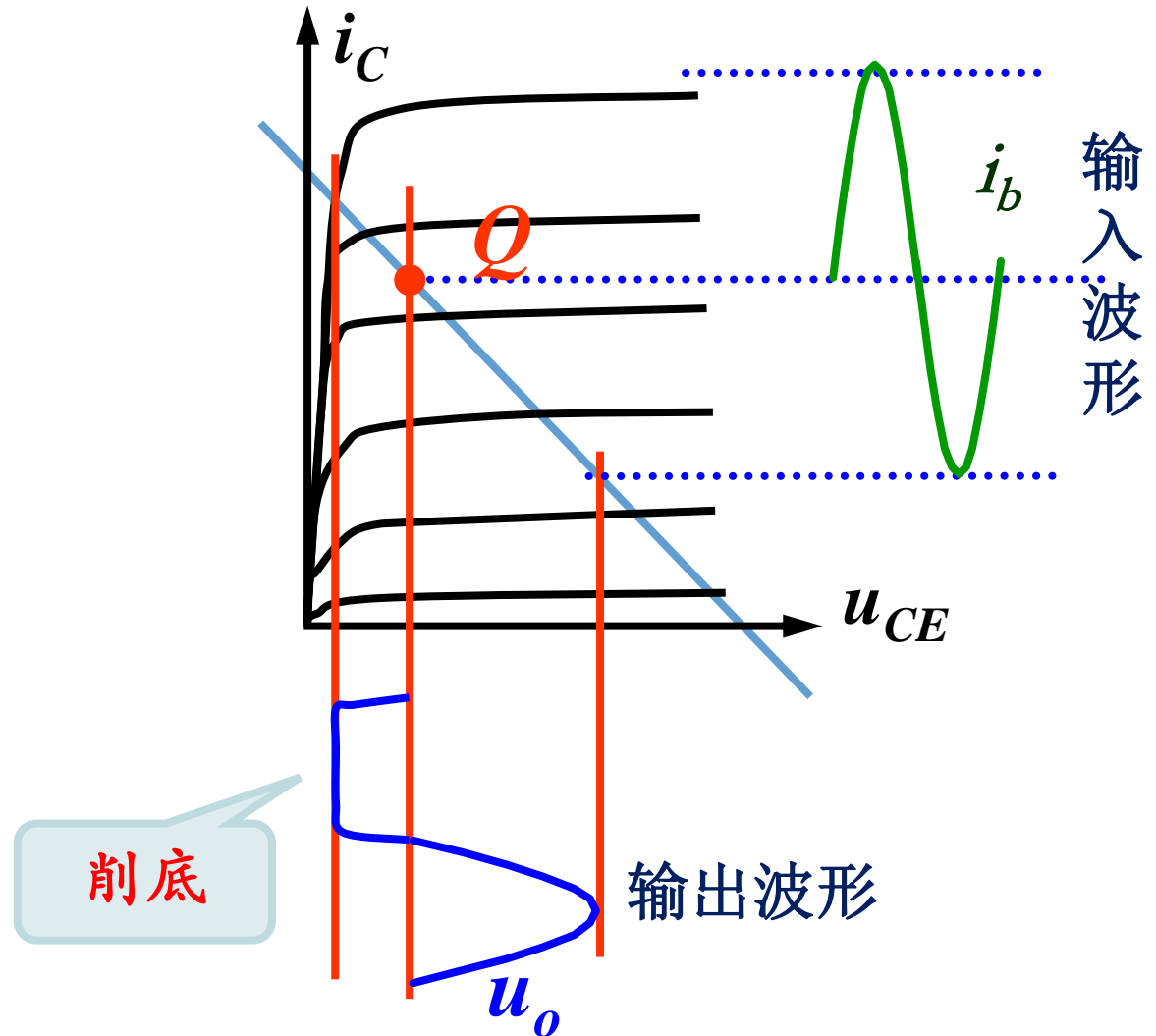


## 图解法的应用：放大电路的失真分析

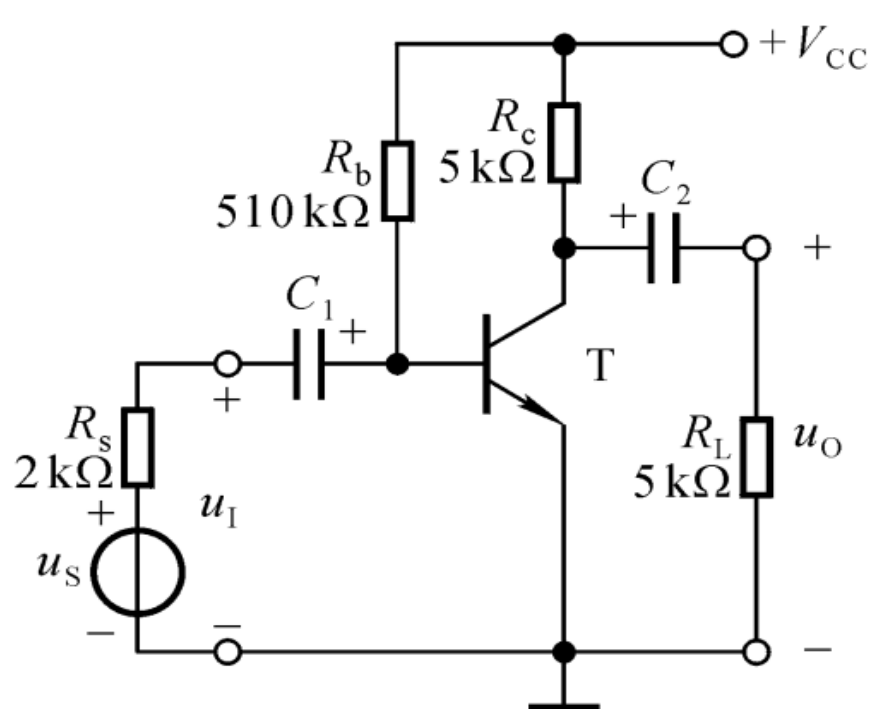
Q点过高，信号进入饱和区

放大电路产生  
饱和失真

适当减小基极  
电流可消除饱和  
和失真



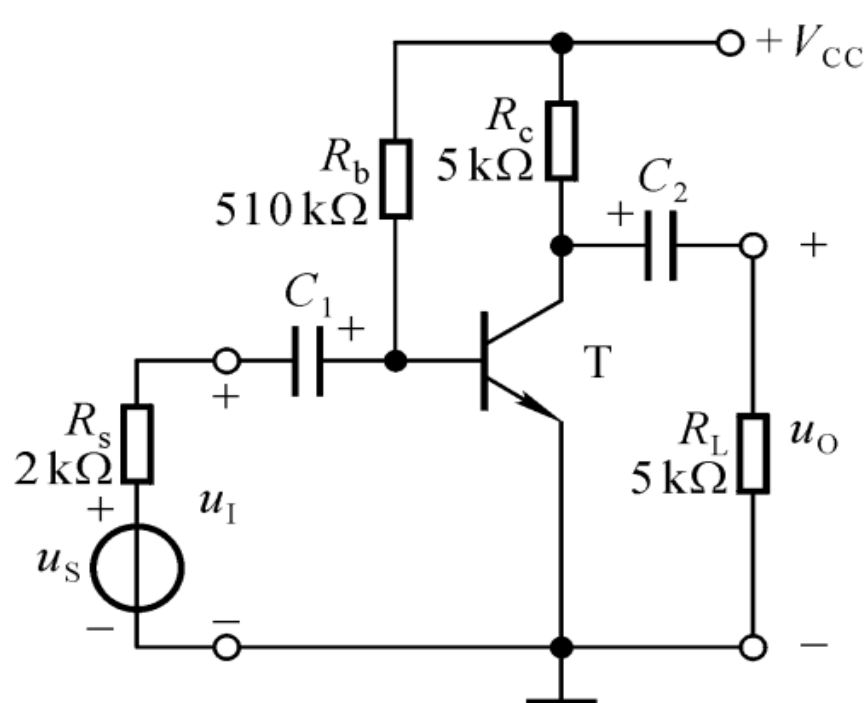
已知晶体管的 $\beta=80$ ,  $r_{be}=1\text{k}\Omega$ ,  $\dot{U}_i=20\text{mV}$ ; 静态时 $U_{BEQ}=0.7\text{V}$ ,  $U_{CEQ}=4\text{V}$ ,  $I_{BQ}=20\mu\text{A}$



- A**  $\dot{A}_u = -\frac{4}{20 \times 10^{-3}} = -200$
- B**  $\dot{A}_u = -\frac{4}{0.7} \approx -5.71$
- C**  $\dot{A}_u = -\frac{80 \times 50}{1} = -400$
- D**  $\dot{A}_u = -\frac{80 \times 2.5}{1} = -200$



已知晶体管的 $\beta=80$ ， $r_{be}=1\text{k}\Omega$ ， $\dot{U}_i=20\text{mV}$ ；静态时 $U_{BEQ}=0.7\text{V}$ ， $U_{CEQ}=4\text{V}$ ， $I_{BQ}=20\mu\text{A}$

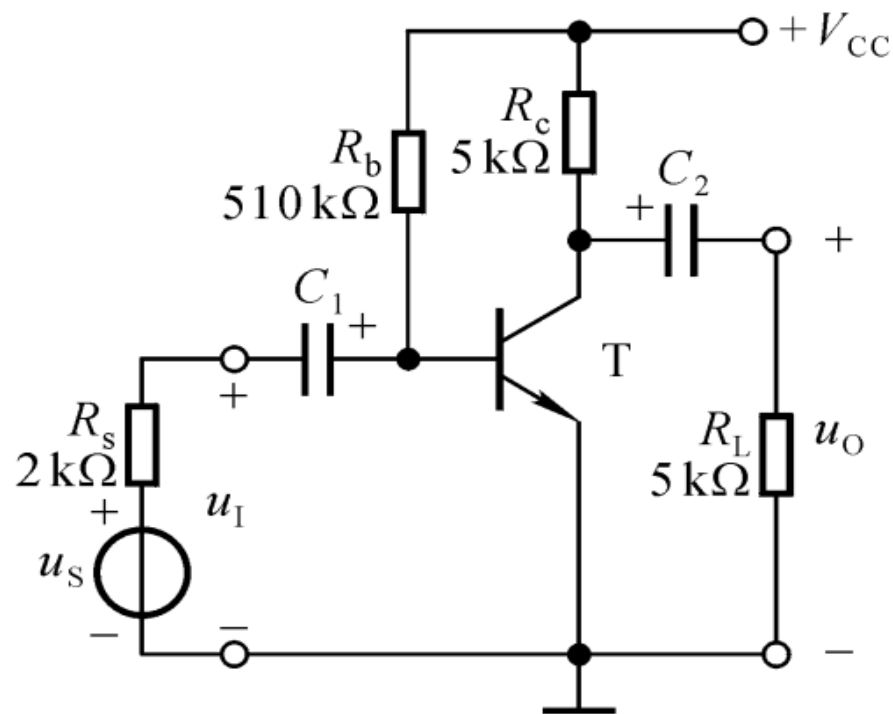


- ☐ A  $R_i = 1\text{k}\Omega$
- ☐ B  $R_i = 35\text{k}\Omega$
- ☐ C  $R_i \gg 3\text{k}\Omega$
- ☒ D  $R_i \approx 1\text{k}\Omega$

提交

# 单选题 1分

已知晶体管的 $\beta=80$ ， $r_{be}=1\text{k}\Omega$ ， $\dot{U}_i=20\text{mV}$ ；静态时 $U_{BEQ}=0.7\text{V}$ ， $U_{CEQ}=4\text{V}$ ， $I_{BQ}=20\mu\text{A}$



**A**

$$R_o \approx 5\text{k}\Omega$$

**B**

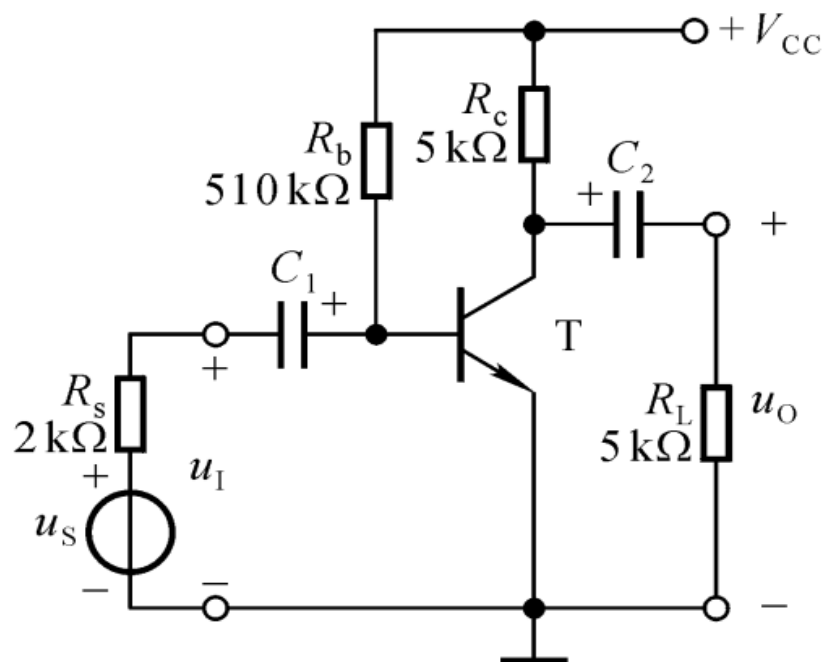
$$R_o \approx 2.5\text{k}\Omega$$

提交

# 单选题 1分



已知晶体管的 $\beta=80$ ,  $r_{be}=1\text{k}\Omega$ ,  $\dot{U}_i=20\text{mV}$ ; 静态时 $U_{BEQ}=0.7\text{V}$ ,  $U_{CEQ}=4\text{V}$ ,  $I_{BQ}=20\mu\text{A}$



A

$\dot{U}_s \approx 20\text{mV}$

B

$\dot{U}_s \approx 60\text{mV}$

提交