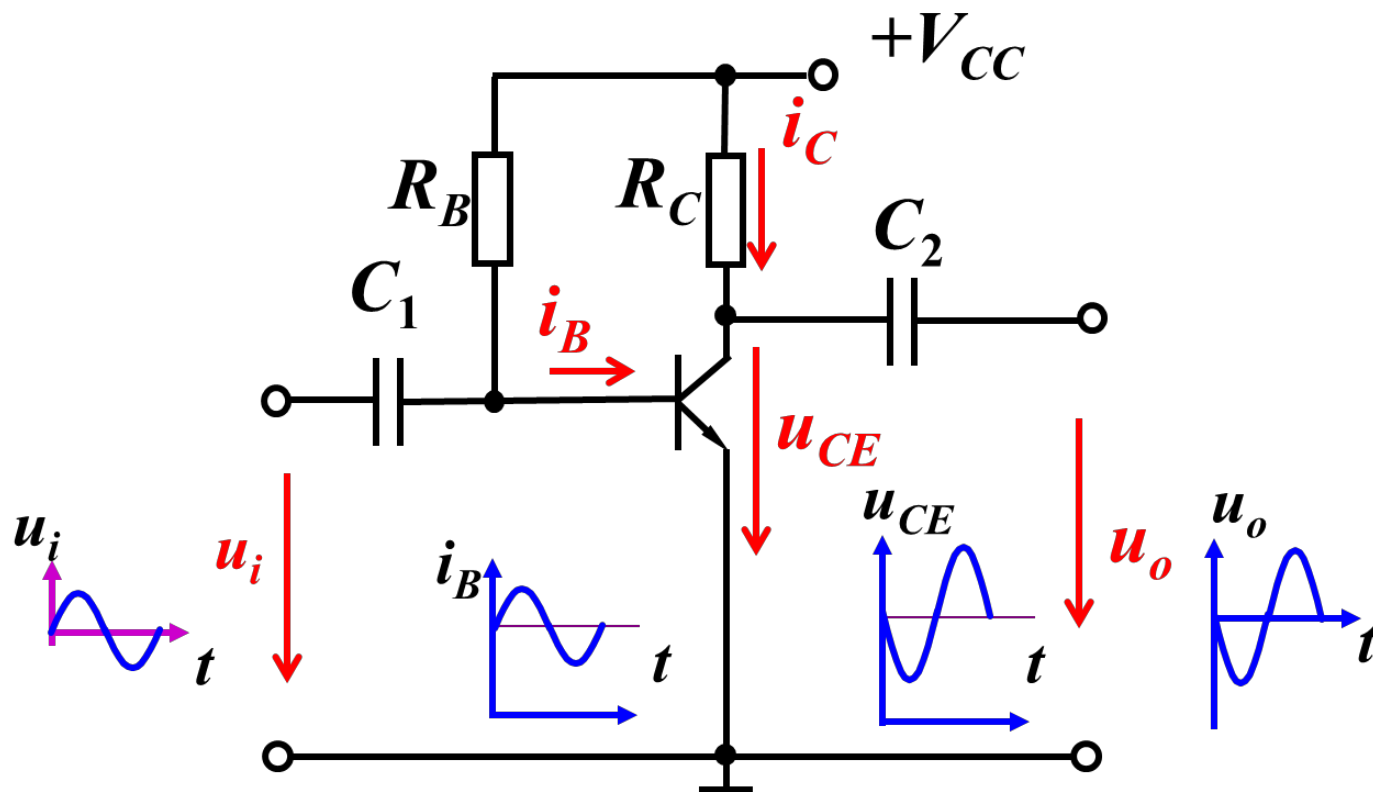




第九章 分立元件放大电路

- 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 多极放大和其它*

§ 9.2 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

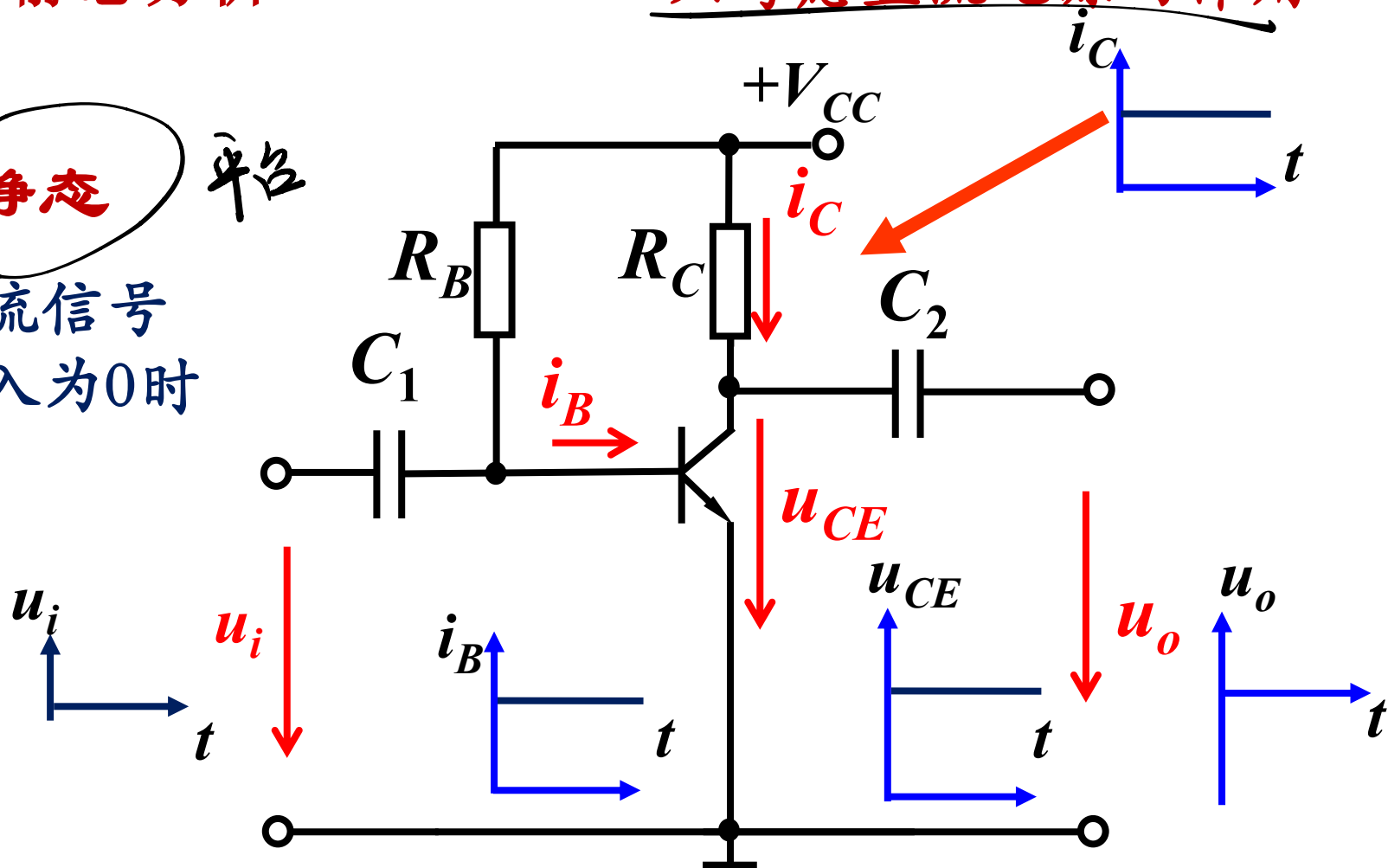
动态分析

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

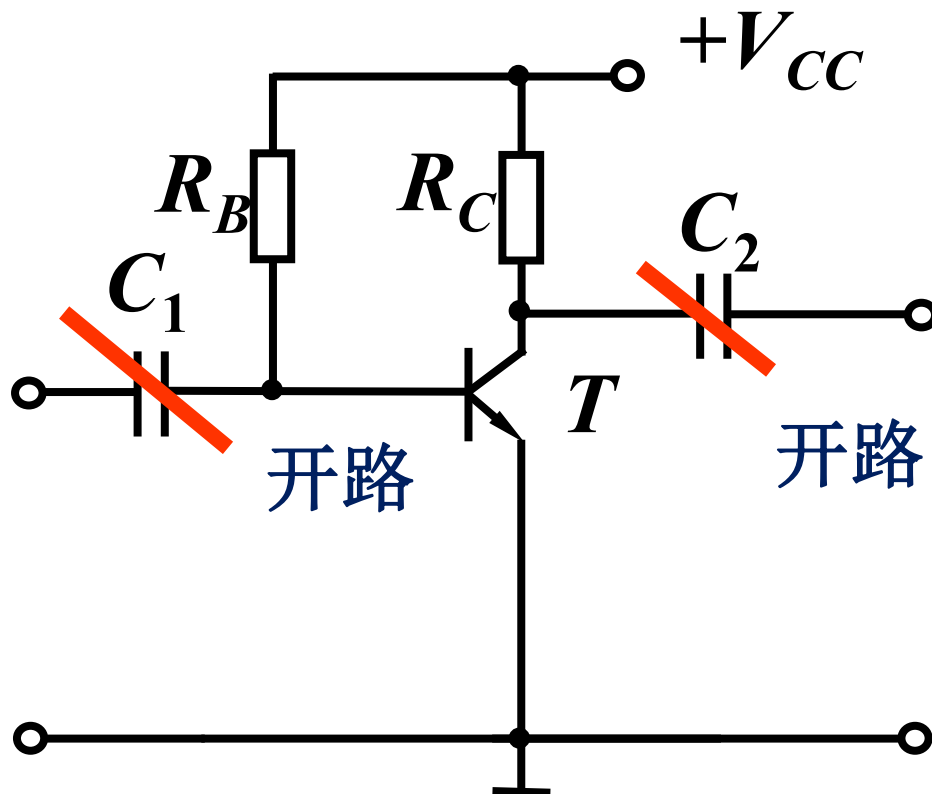


电路中各电流和电压的大小为一不随时间变化的量

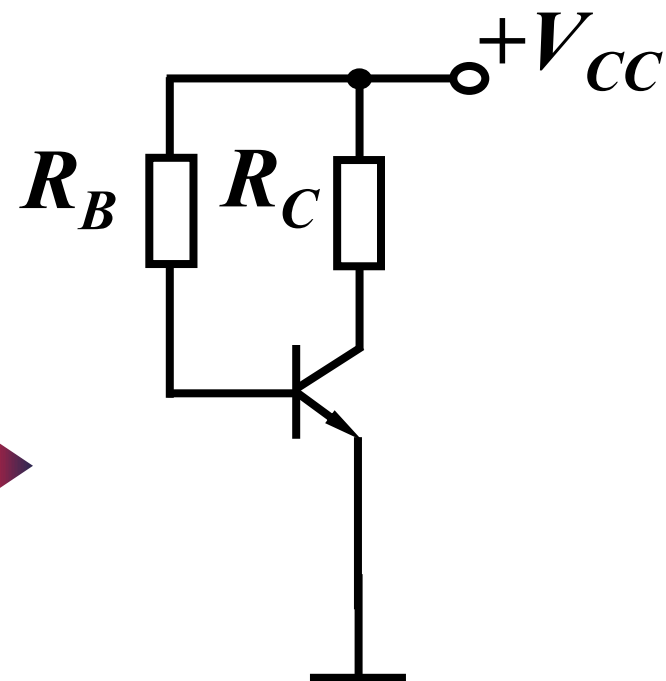


直流通路

只考虑直流电源的作用



直流通路

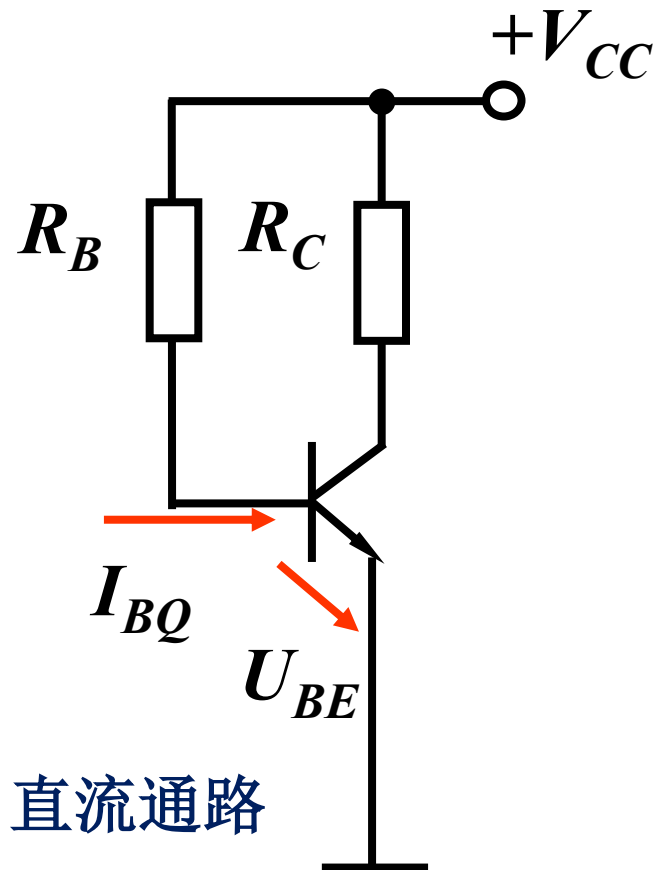


直流通路画法：令输入交流信号为零，电容相当于开路



静态分析

估算电路的静态工作点： I_{BQ} 、 I_{CQ} 、 U_{CEQ}



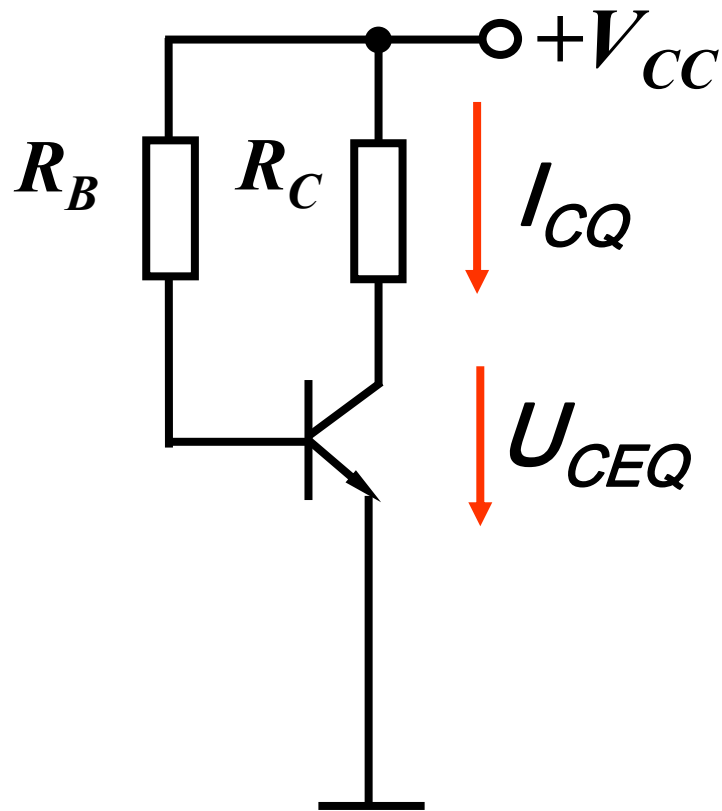
U_{BE} 为PN结导通压降，
近似为常量

➤ 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

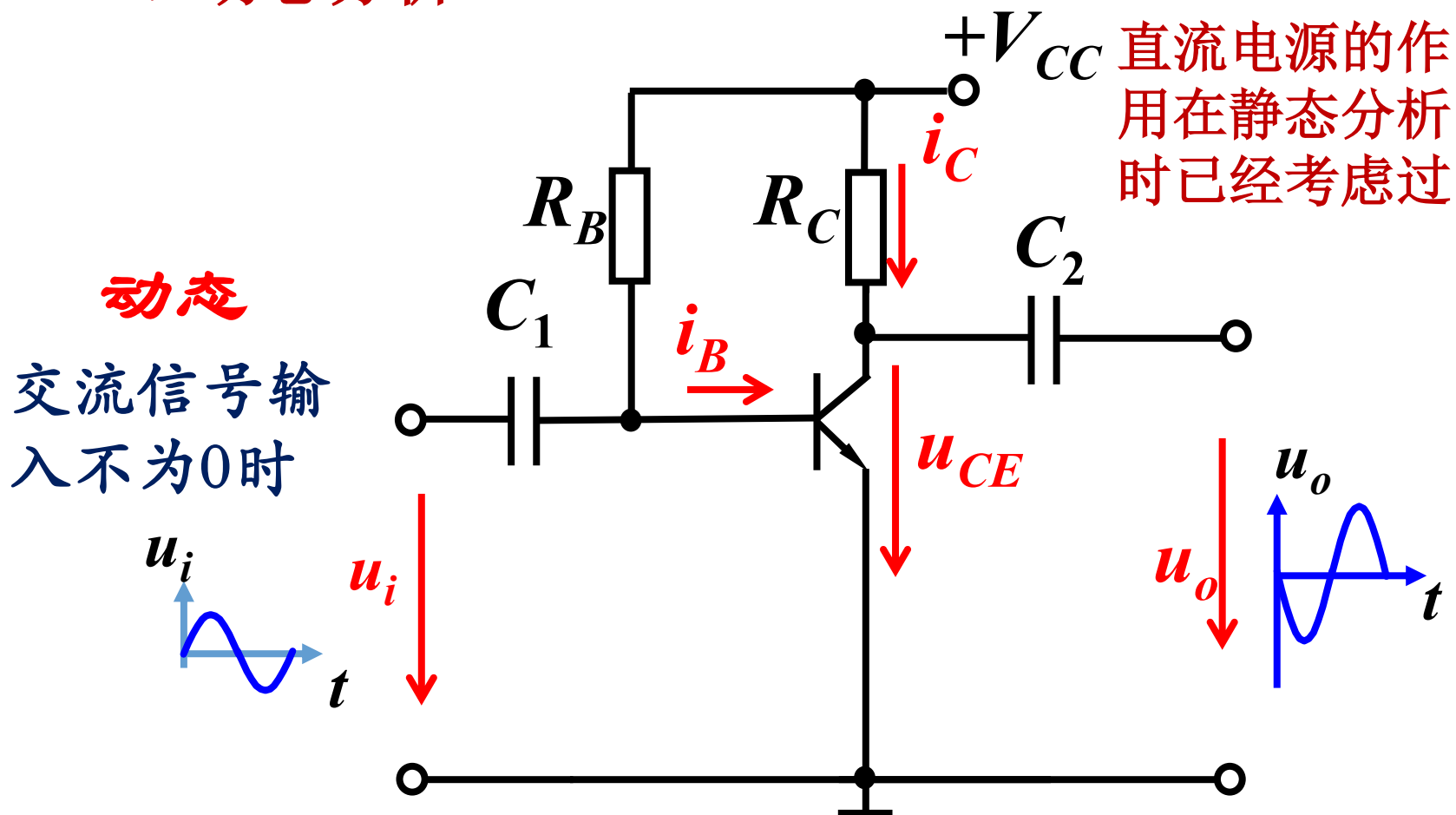
$$I_{CQ} \approx \beta I_{BQ}$$

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

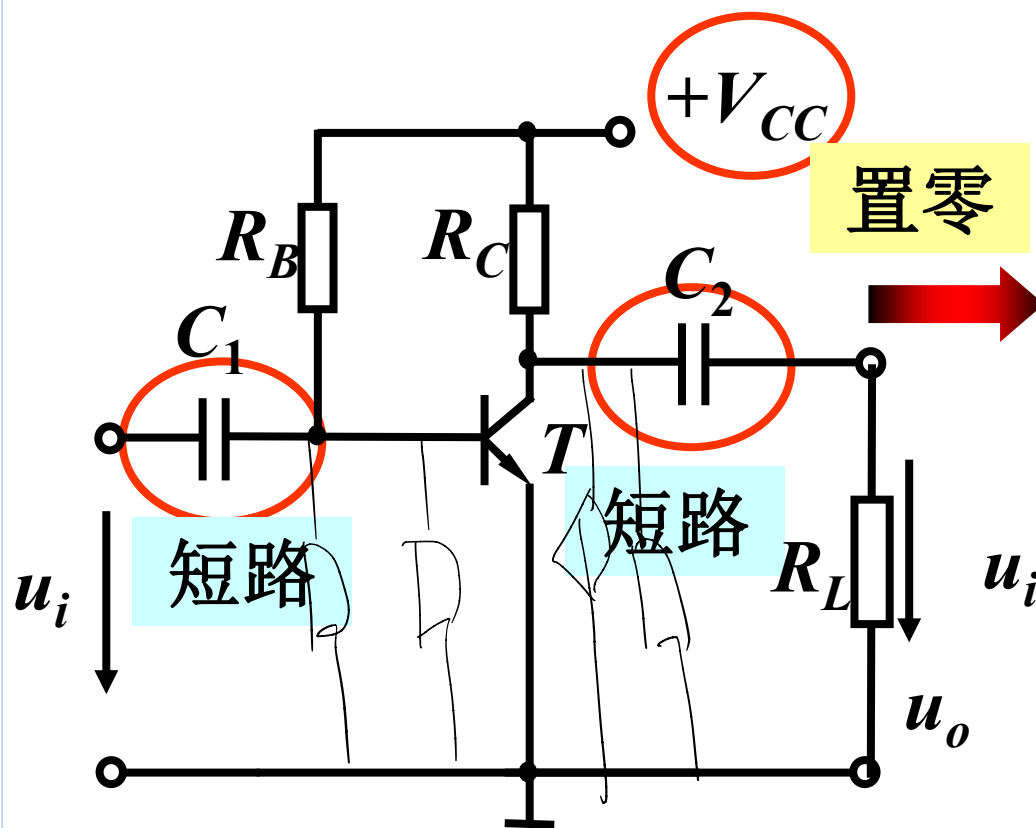
二、动态分析



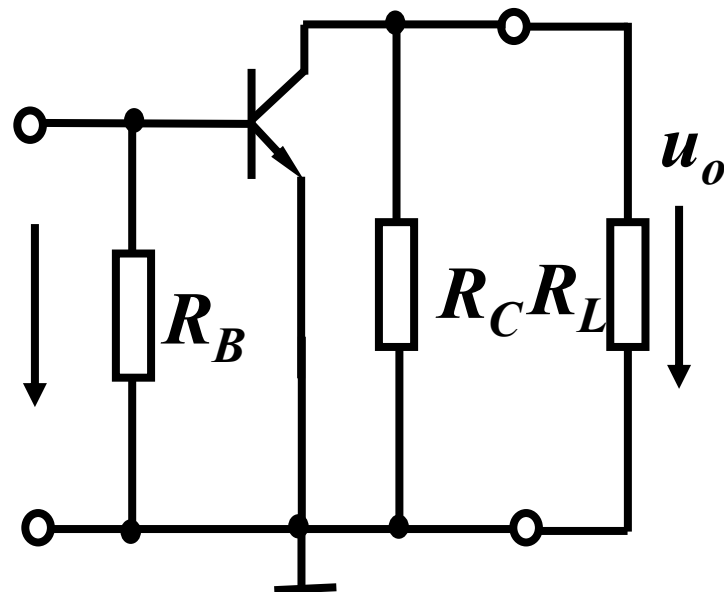
只讨论电路在静态工作点基础上对交流输入 u_i 的交流响应 u_o



交流通路



耦合电容容量足够大，
对交流信号可看成短路

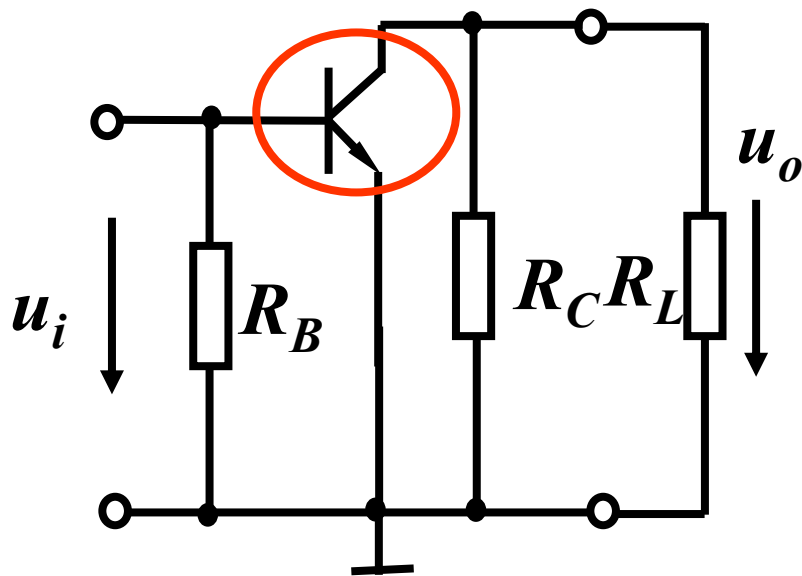


通过交流通路求解电路对交流输入 u_i 的响应



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

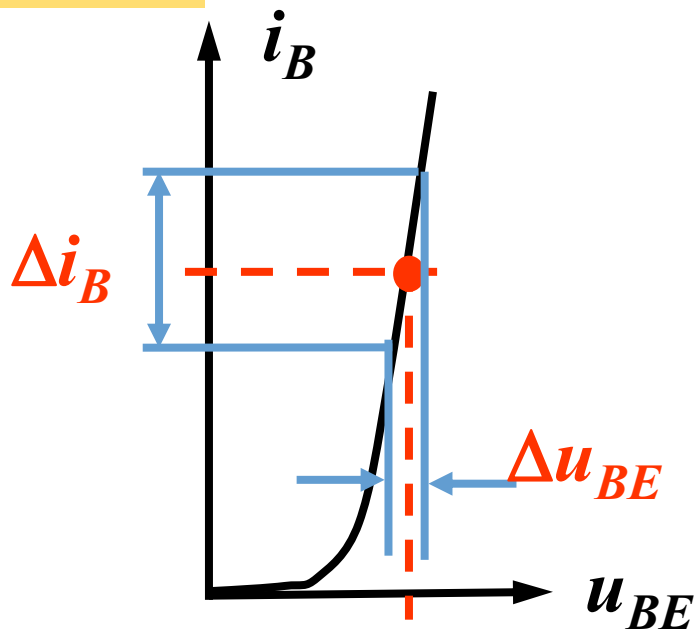
线性化的条件：

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 200Ω

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

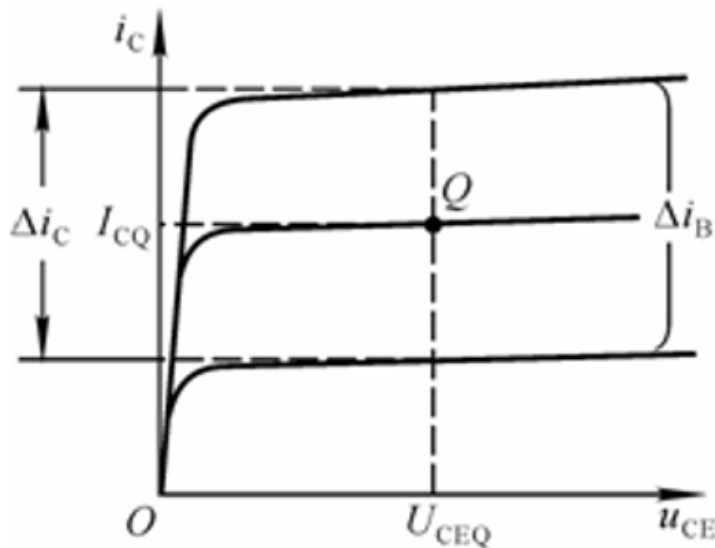
输出端相当于一个受 i_b 控制的电流源

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

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}

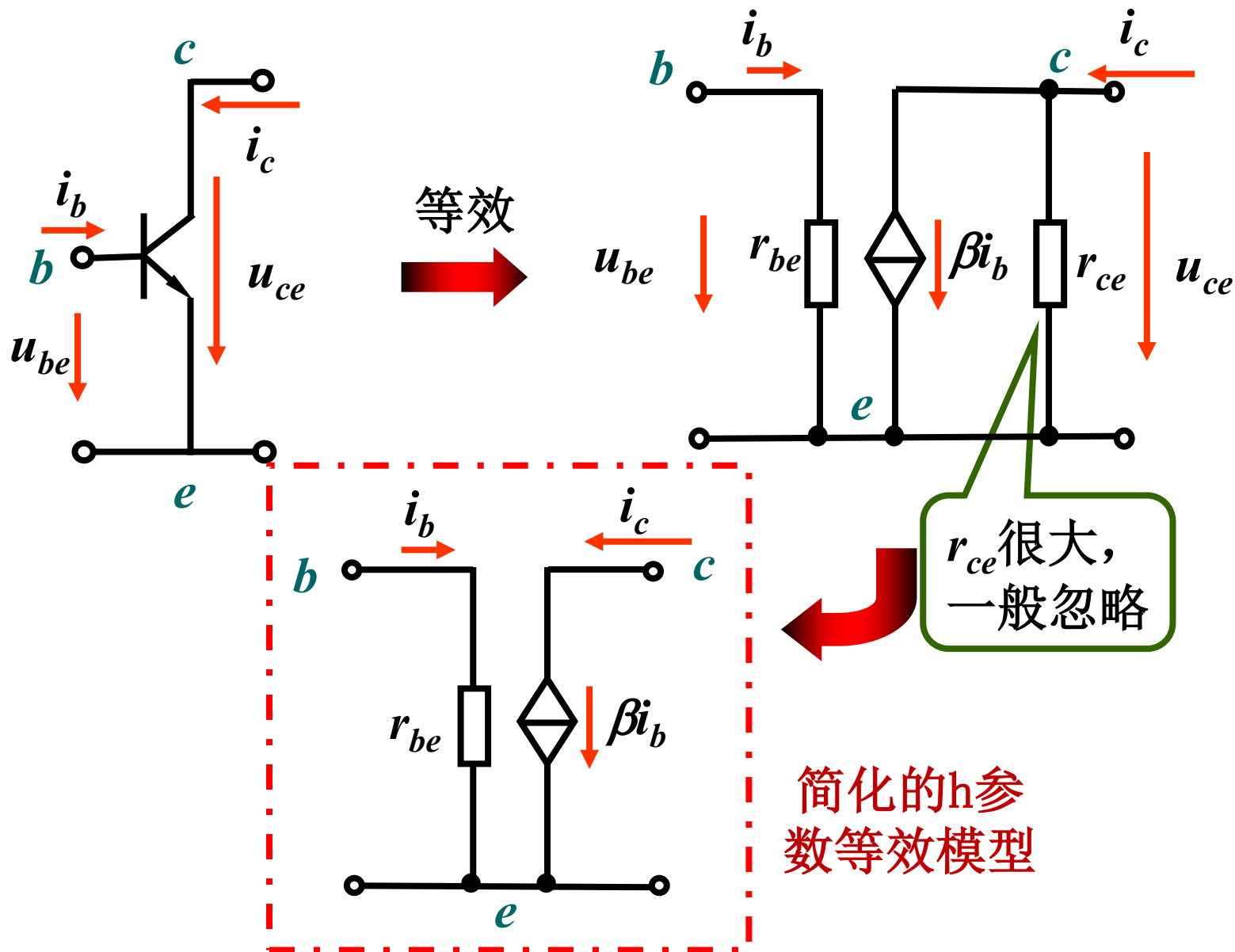
$$r_{ce} = \left. \frac{\Delta u_{CE}}{\Delta i_C} \right|_{I_B} = \left. \frac{u_{ce}}{i_c} \right|_{I_B}$$

r_{ce} 约几十千欧到几百千欧



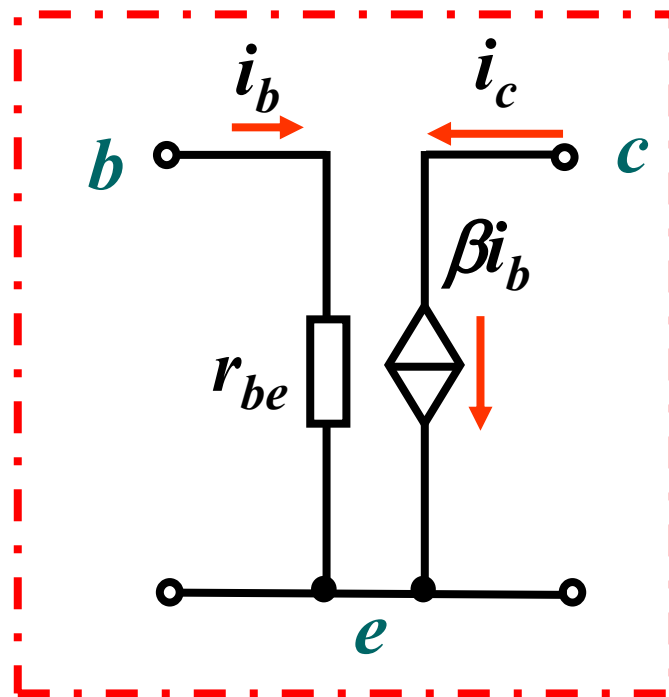
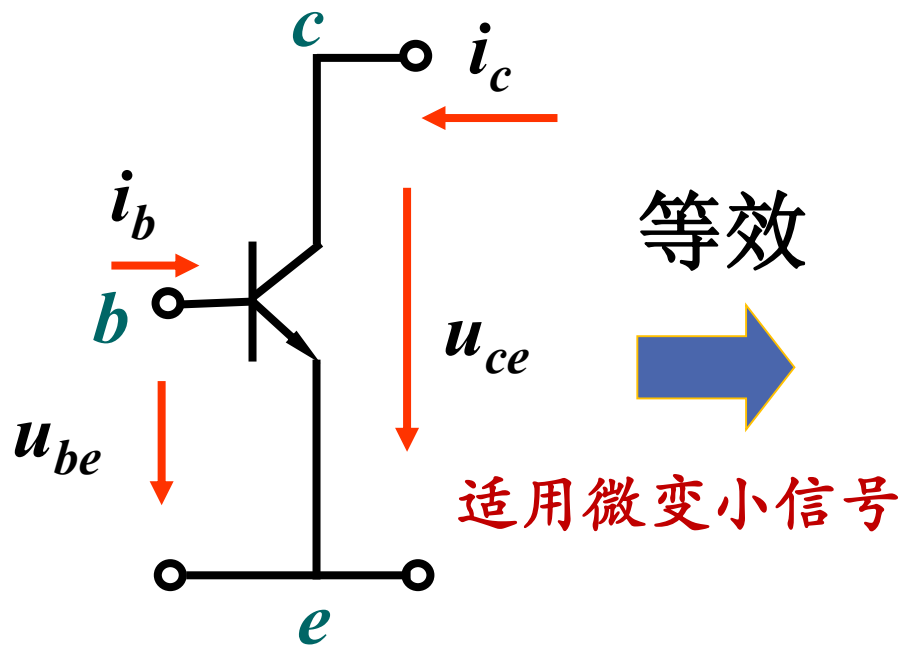


简化的h参数等效模型





简化的h参数等效模型



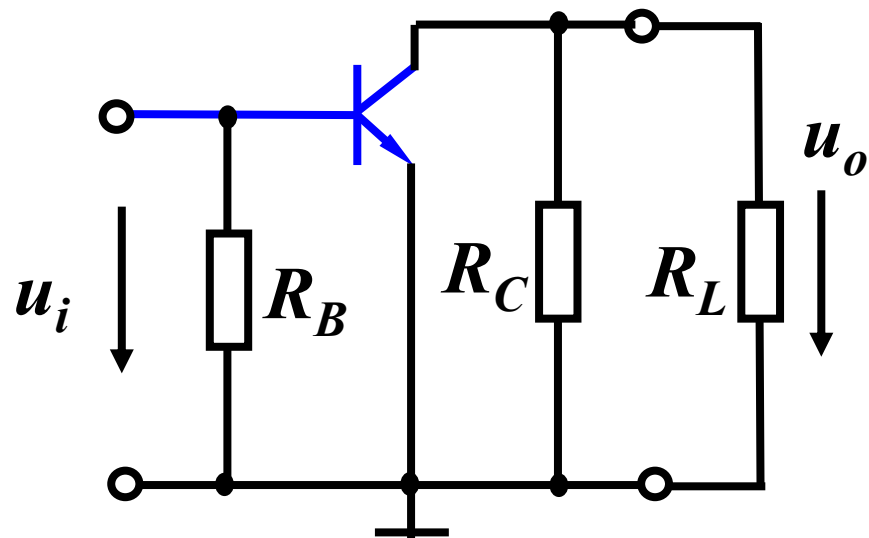
晶体管的b、e之间可用 r_{be} 等效代替

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？

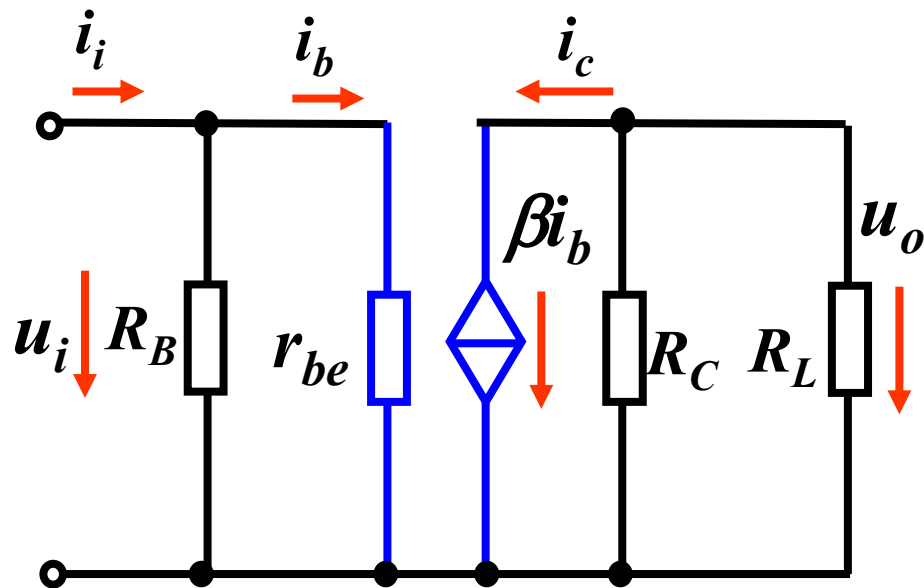


放大电路的微变等效电路



交流通路

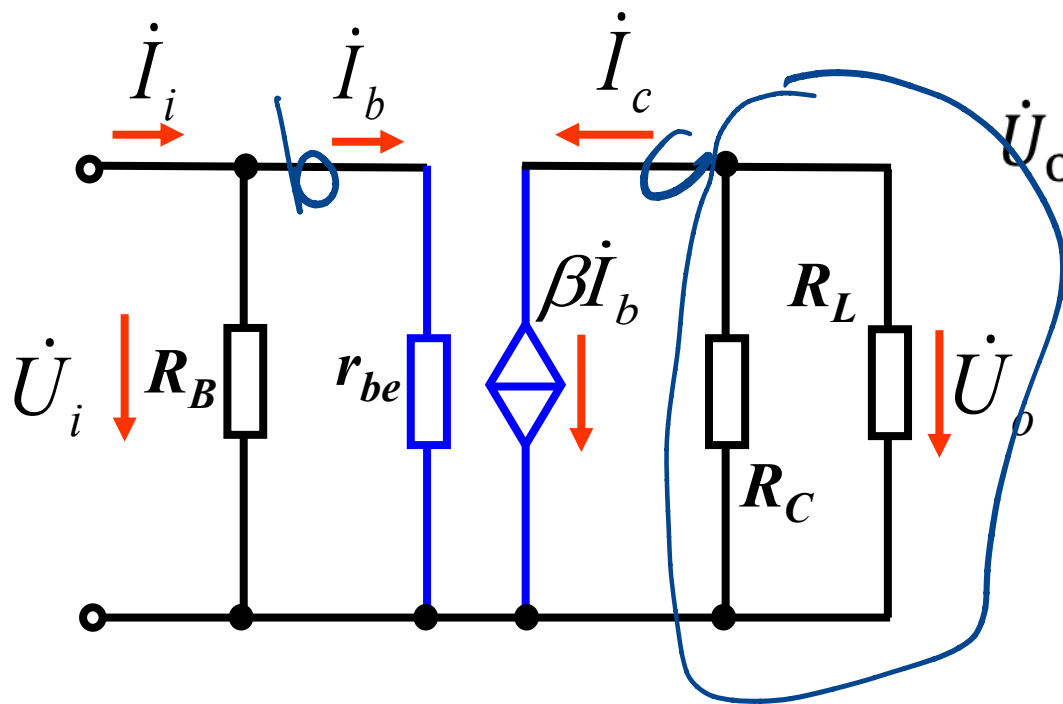
将交流通路中的三极管用简化的h参数等效电路代替





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

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

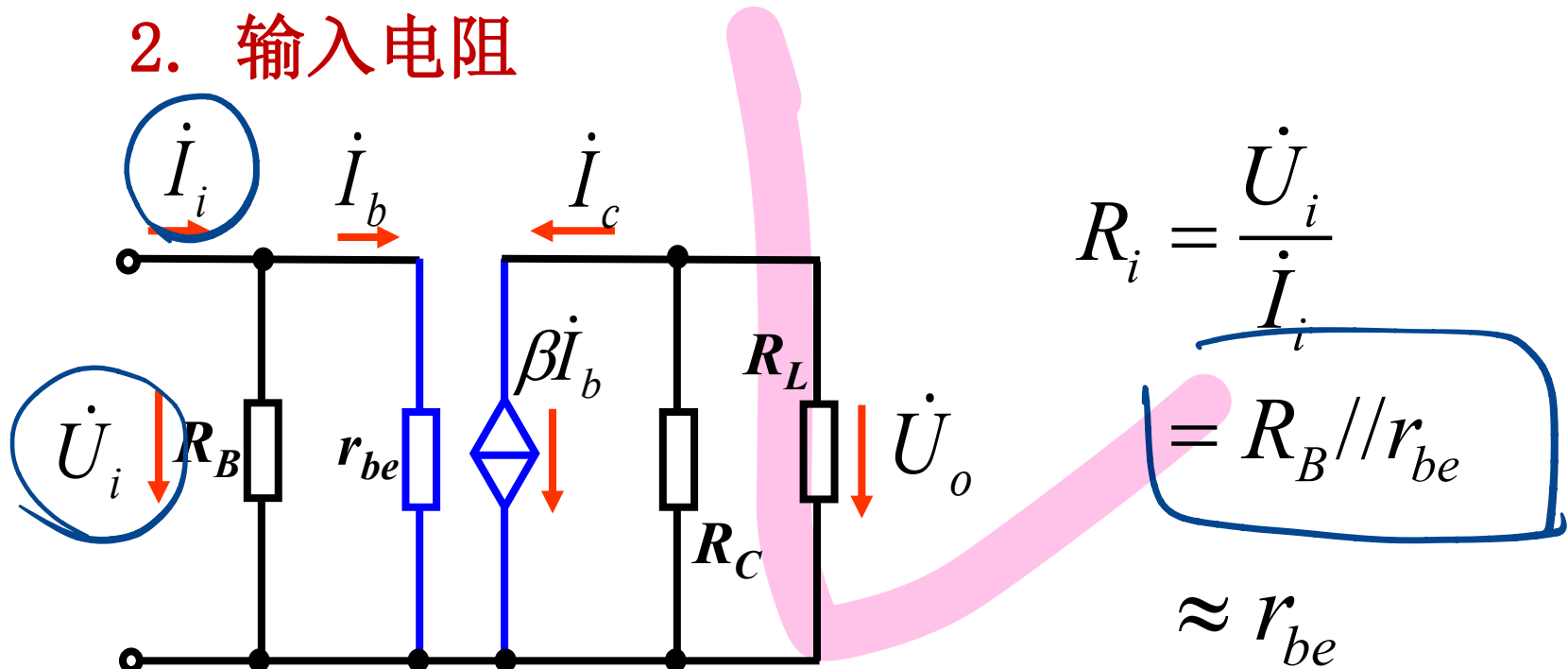
$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}}$$

太机智了!



放大电路交流性能的计算

2. 输入电阻

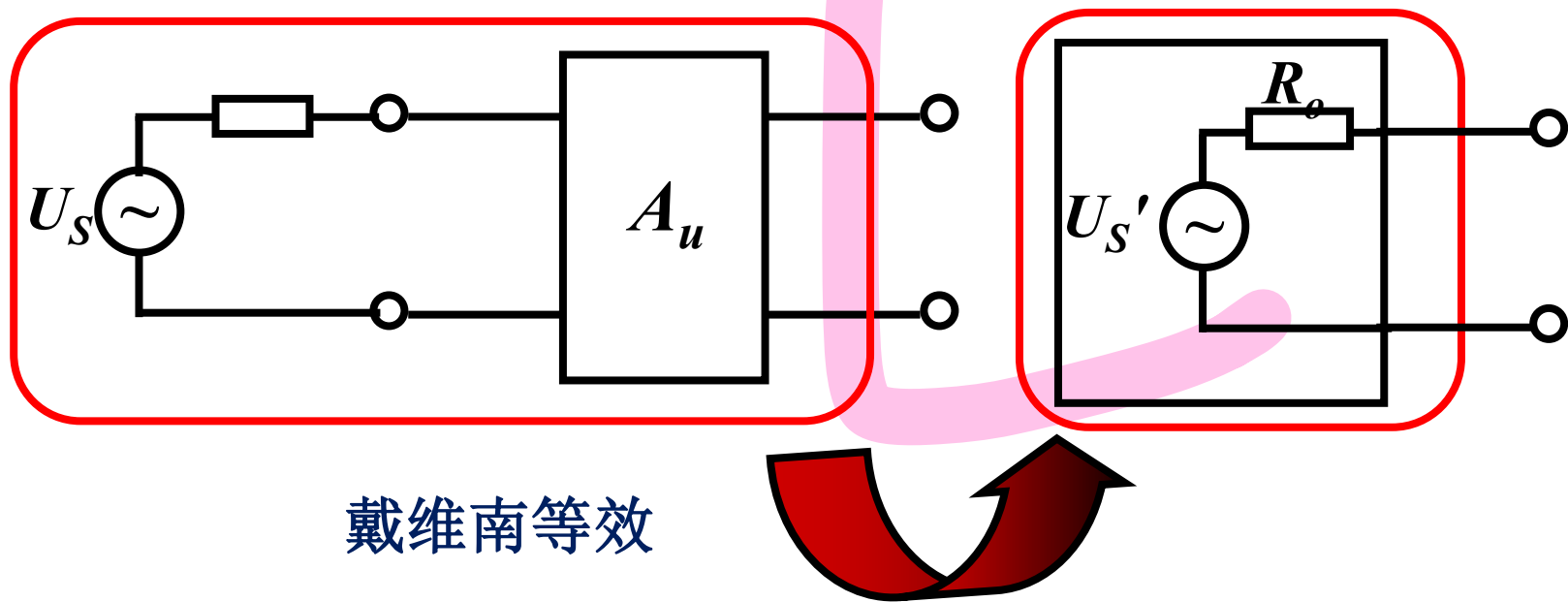




放大电路交流性能的计算

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

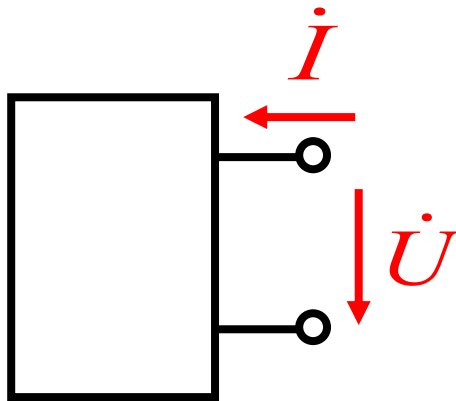


含受控源电路可采用加压求流法求等效电阻



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



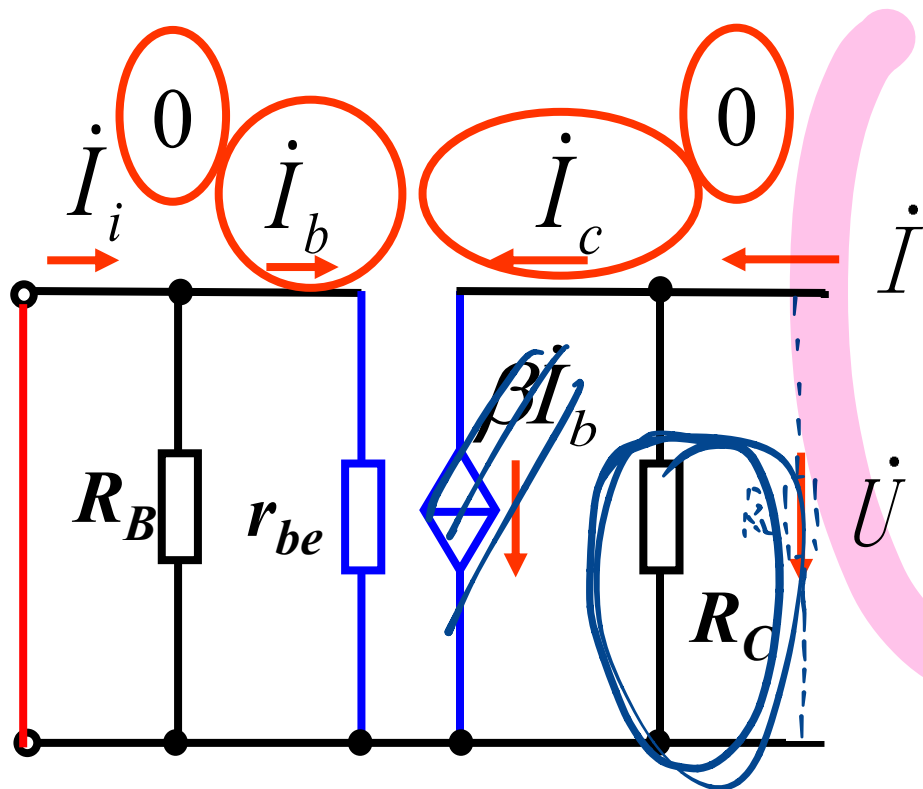
$$r_o = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}$$



放大电路交流性能的计算

3. 输出电阻

加压求流法

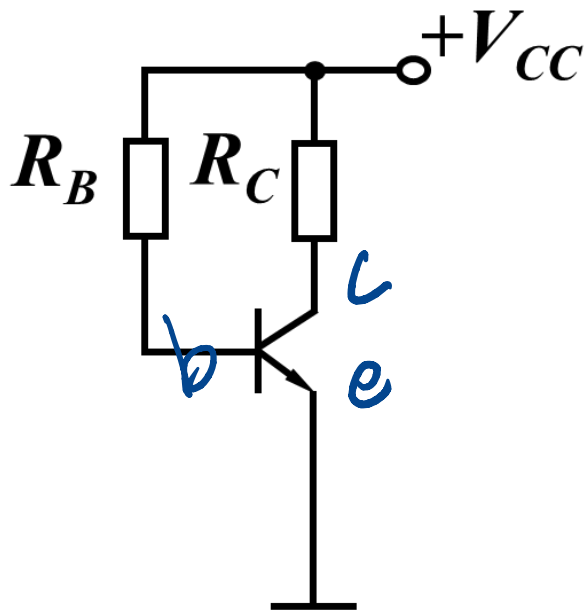


$$R_o = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}$$

$$R_o = R_c$$

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

直流通路



解：

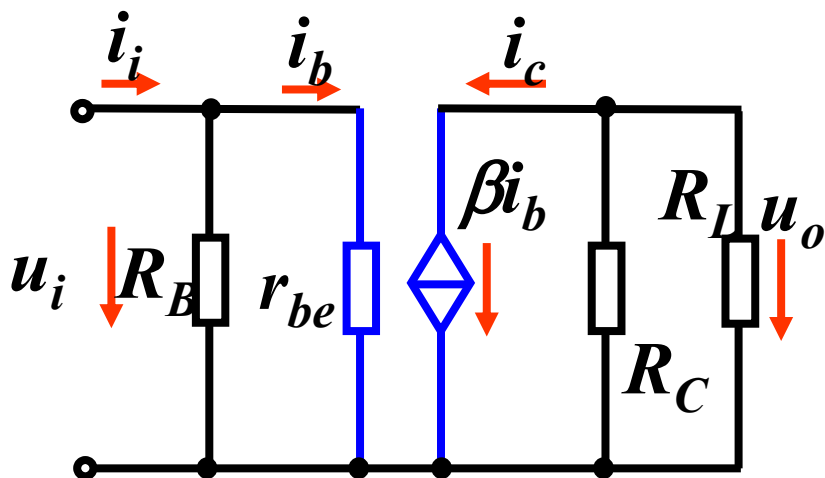
$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_B} \approx \frac{V_{CC}}{R_B} \\ = \frac{12}{300} = 0.04 \text{ mA} = 40 \mu\text{A}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} \\ = 37.5 \times 0.04 = 1.5 \text{ mA}$$

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

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

解：



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

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

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

$$I_E \approx I_C = 1.5 \text{ mA}$$

$$r_i = R_B // r_{be} \approx r_{be} = 0.867\text{k}\Omega$$

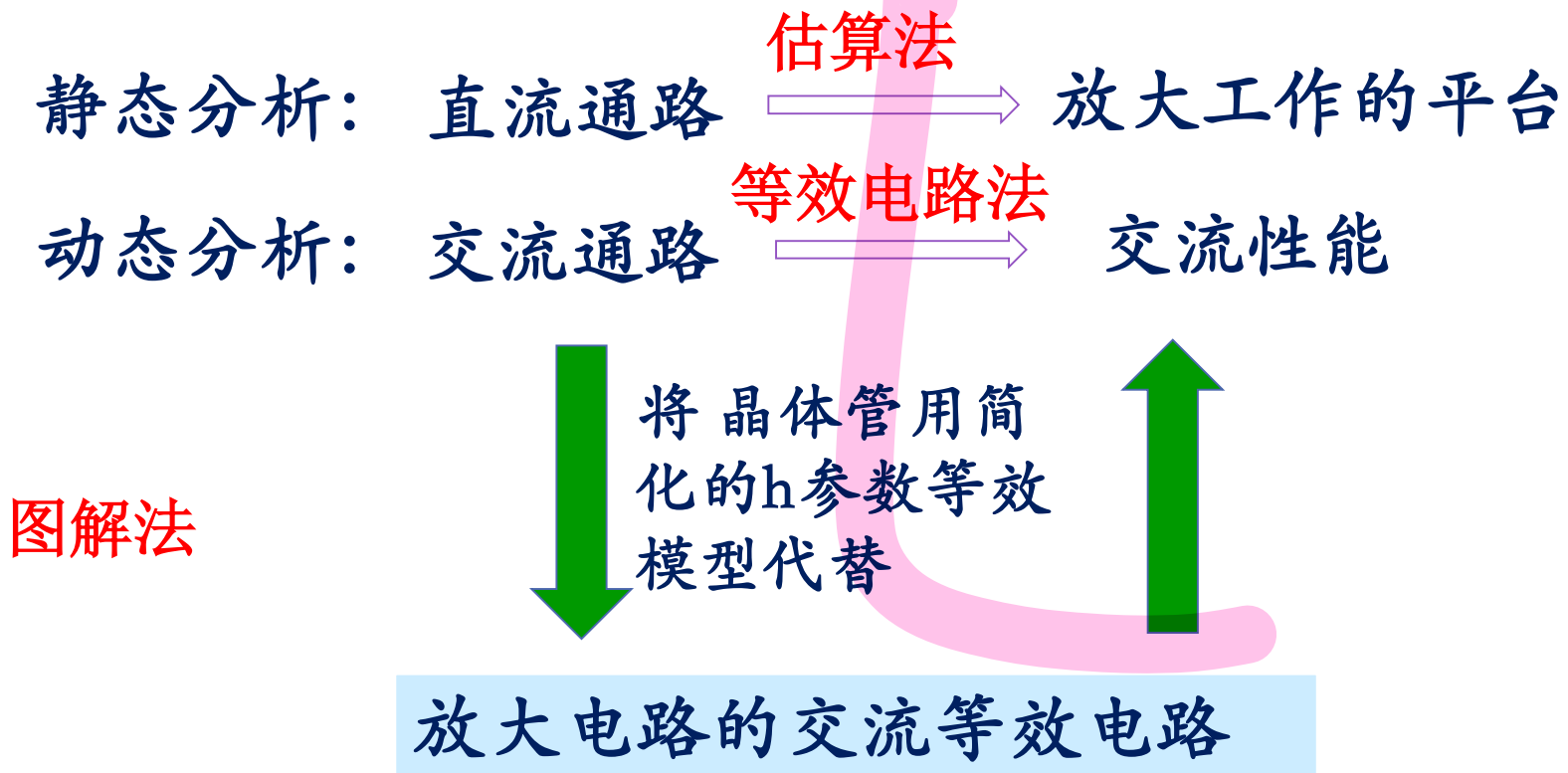
$$r_o = R_C = 4\text{k}\Omega$$



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

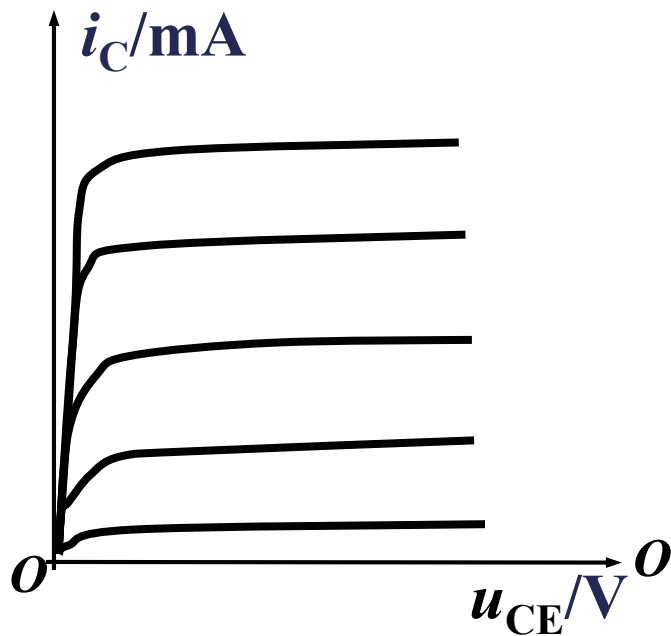
动态：放大电路有输入信号时的工作状态



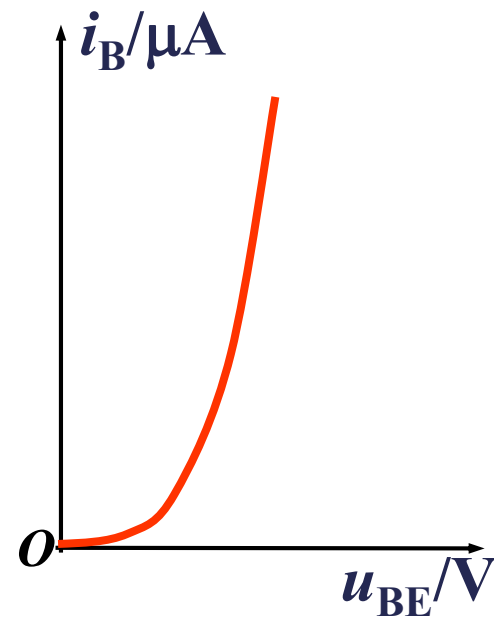


三、图解法分析

晶体管输出特性曲线



晶体管输入特性曲线

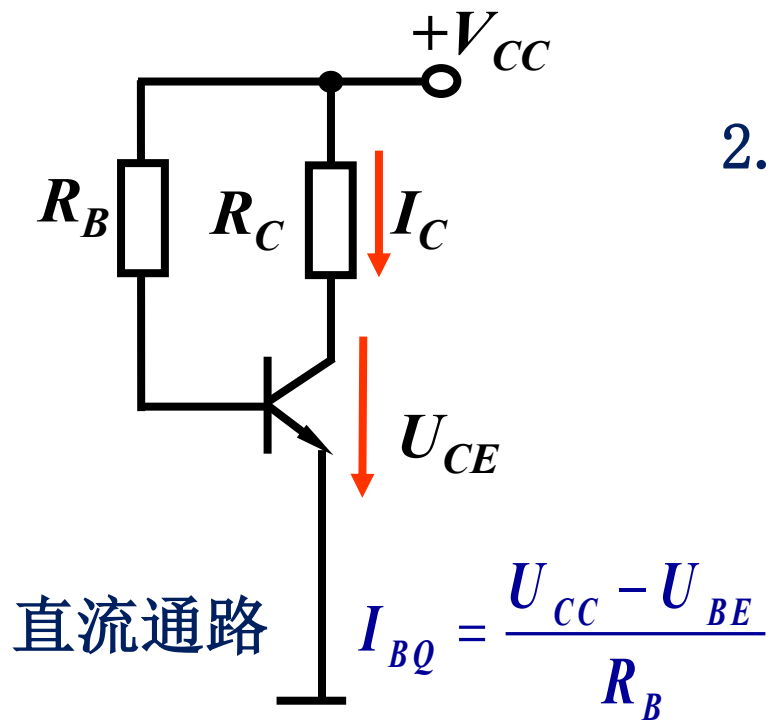


从晶体管特性曲线着手分析放大电路



图解法分析

静态

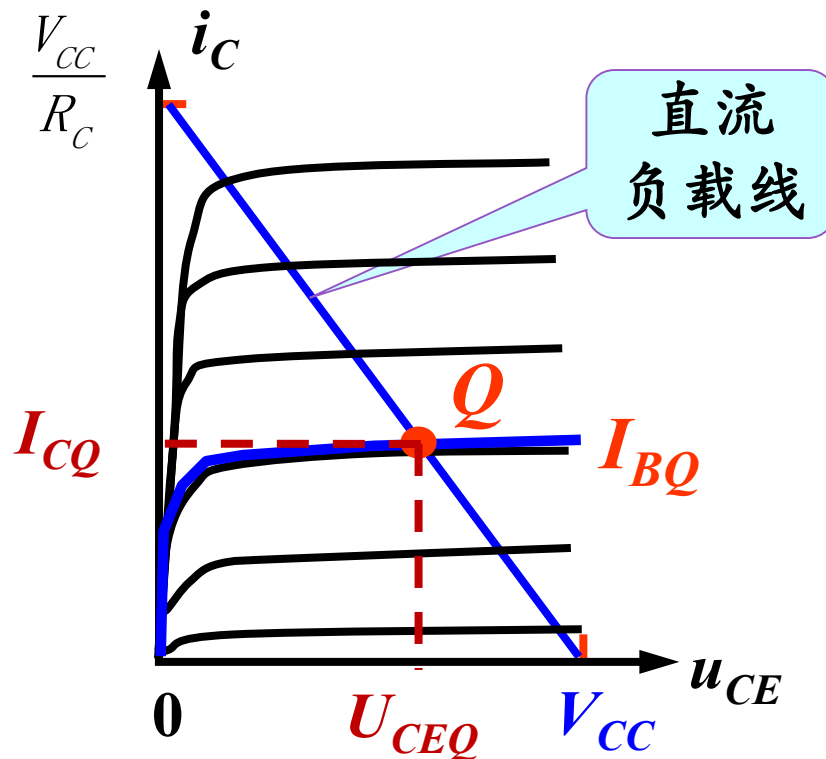


$U_{CE} \sim I_C$ 满足什么关系?

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 $U_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$



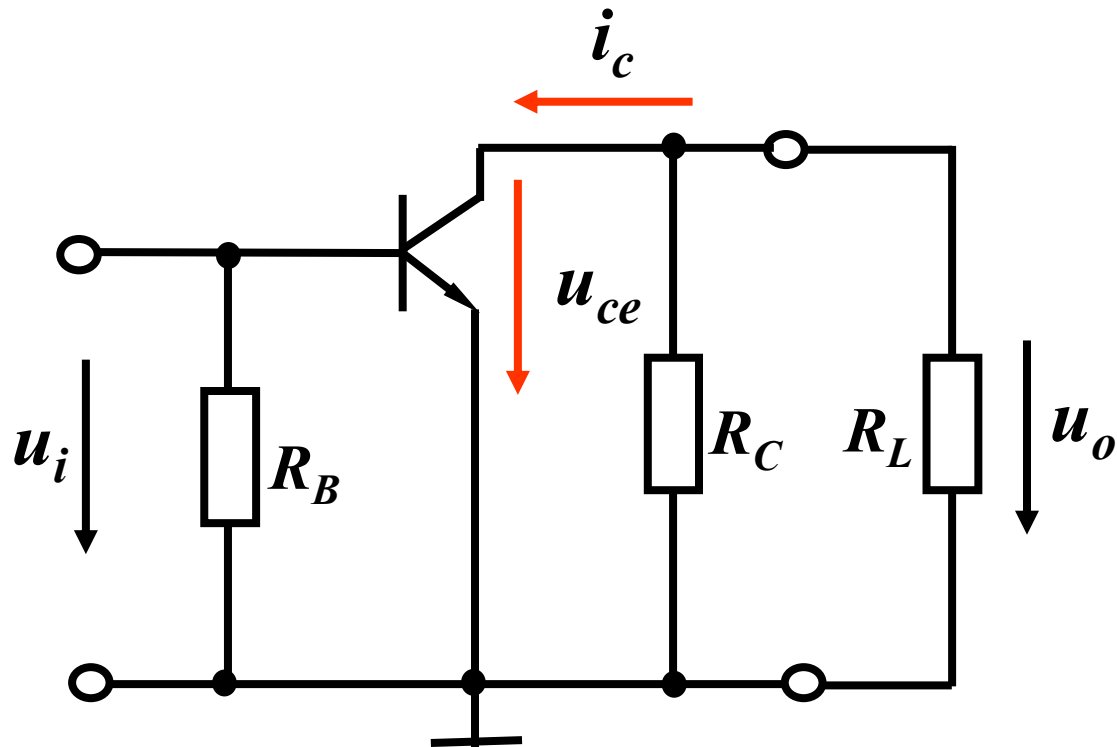


图解法分析

动态

动态时 i_c 和 u_{ce} 的关系？

交流通路



$$\frac{i_c}{u_{ce}} = -\frac{1}{R'_L}$$

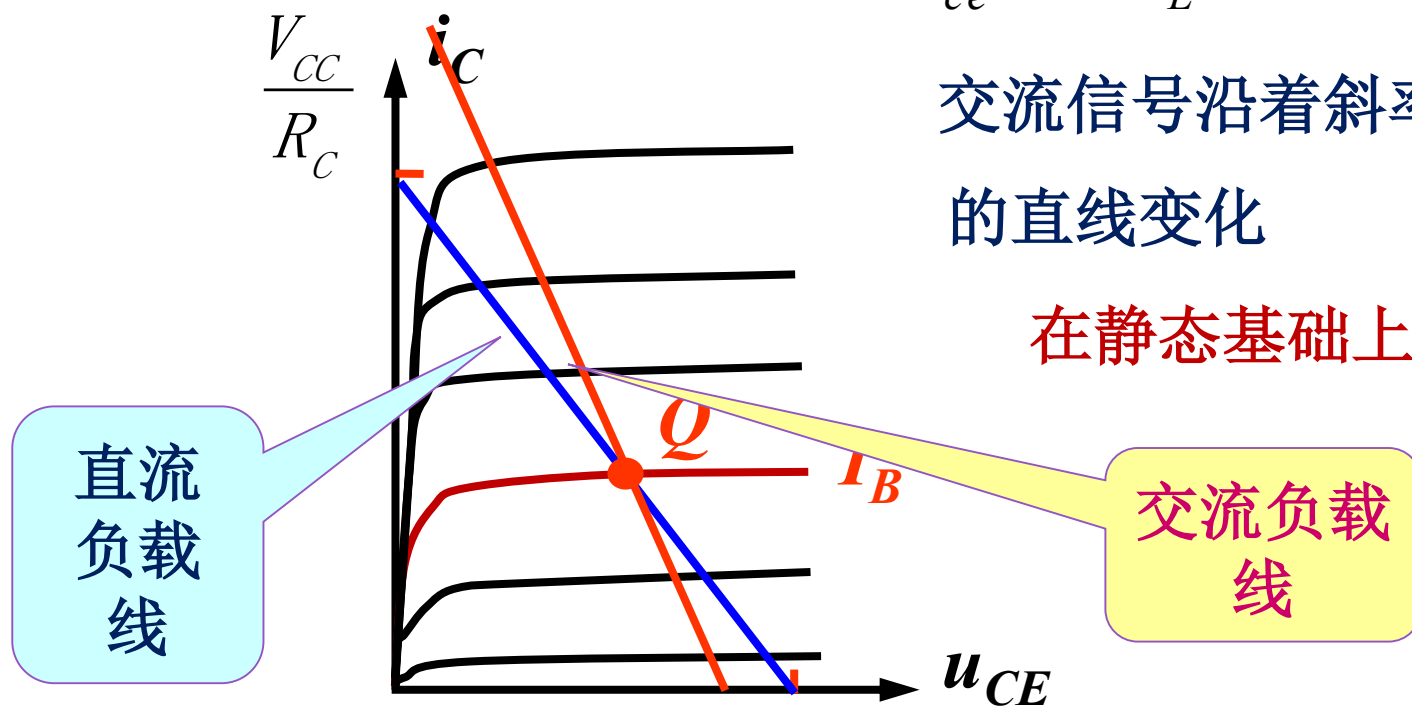
其中： $R'_L = R_L // R_C$

交流负载线

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

交流信号沿着斜率为 $-\frac{1}{R'_L}$ 的直线变化

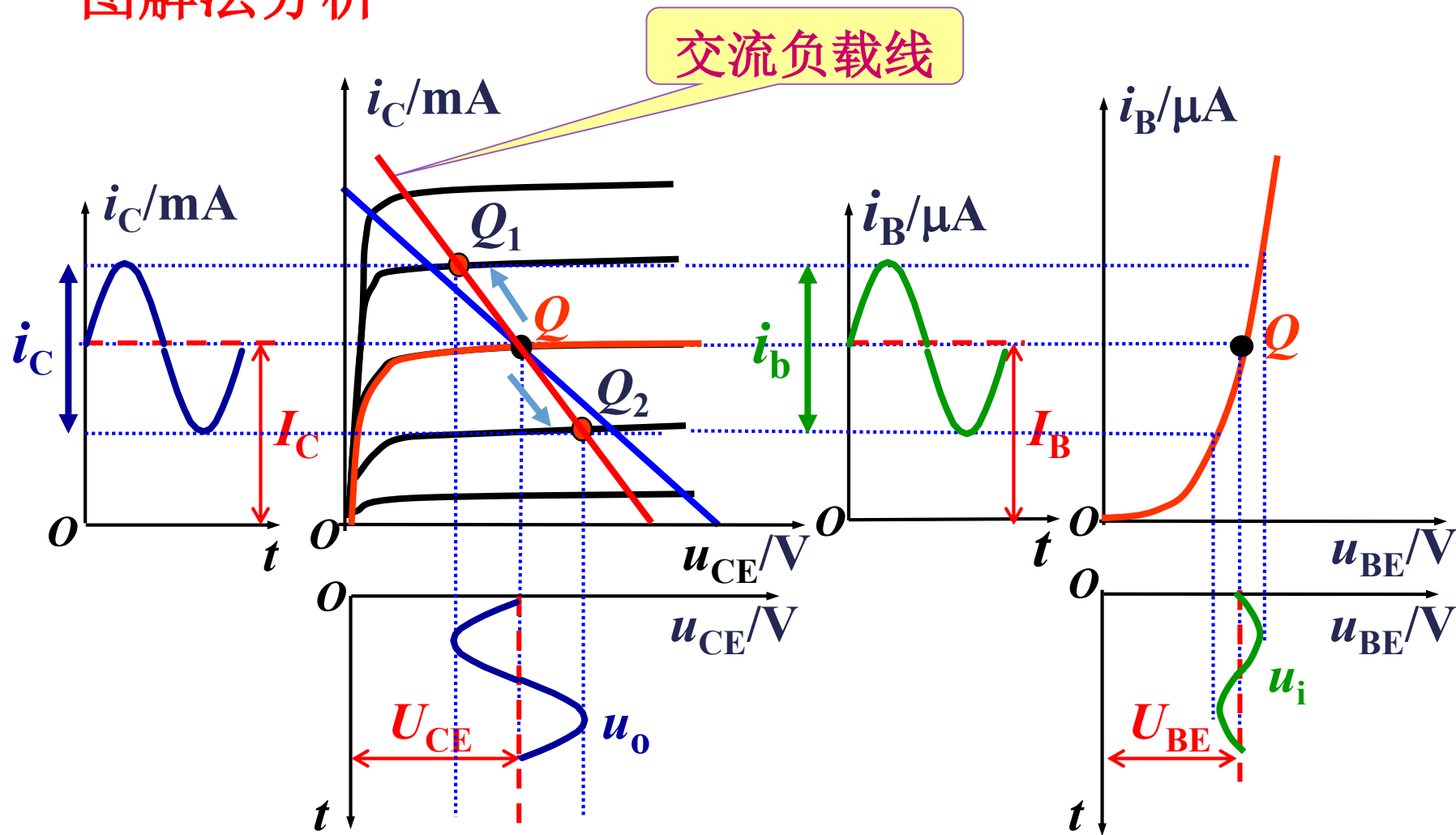
在静态基础上变化！



$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C$$

过 Q 点作一条直线，斜率为 $-\frac{1}{R'_L}$

图解法分析



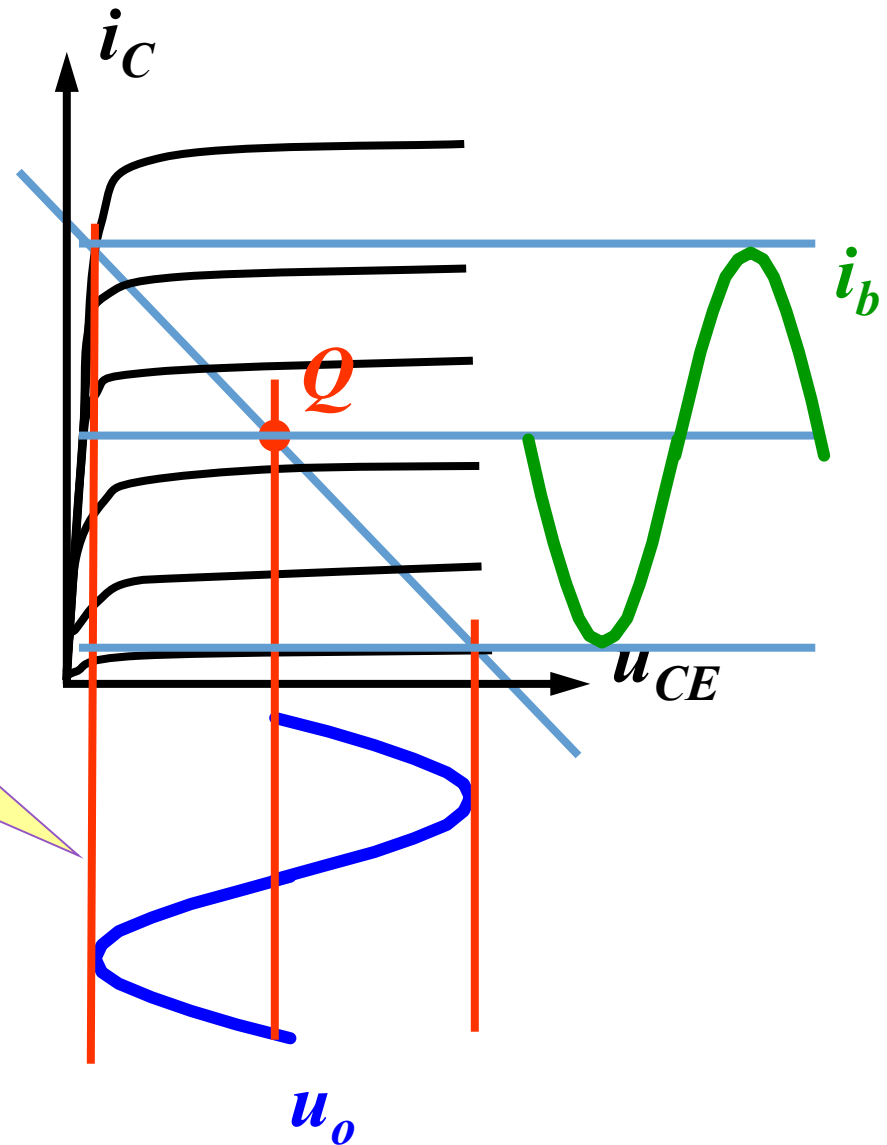
电压放大倍数: u_o 和 u_i 的峰值之比



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



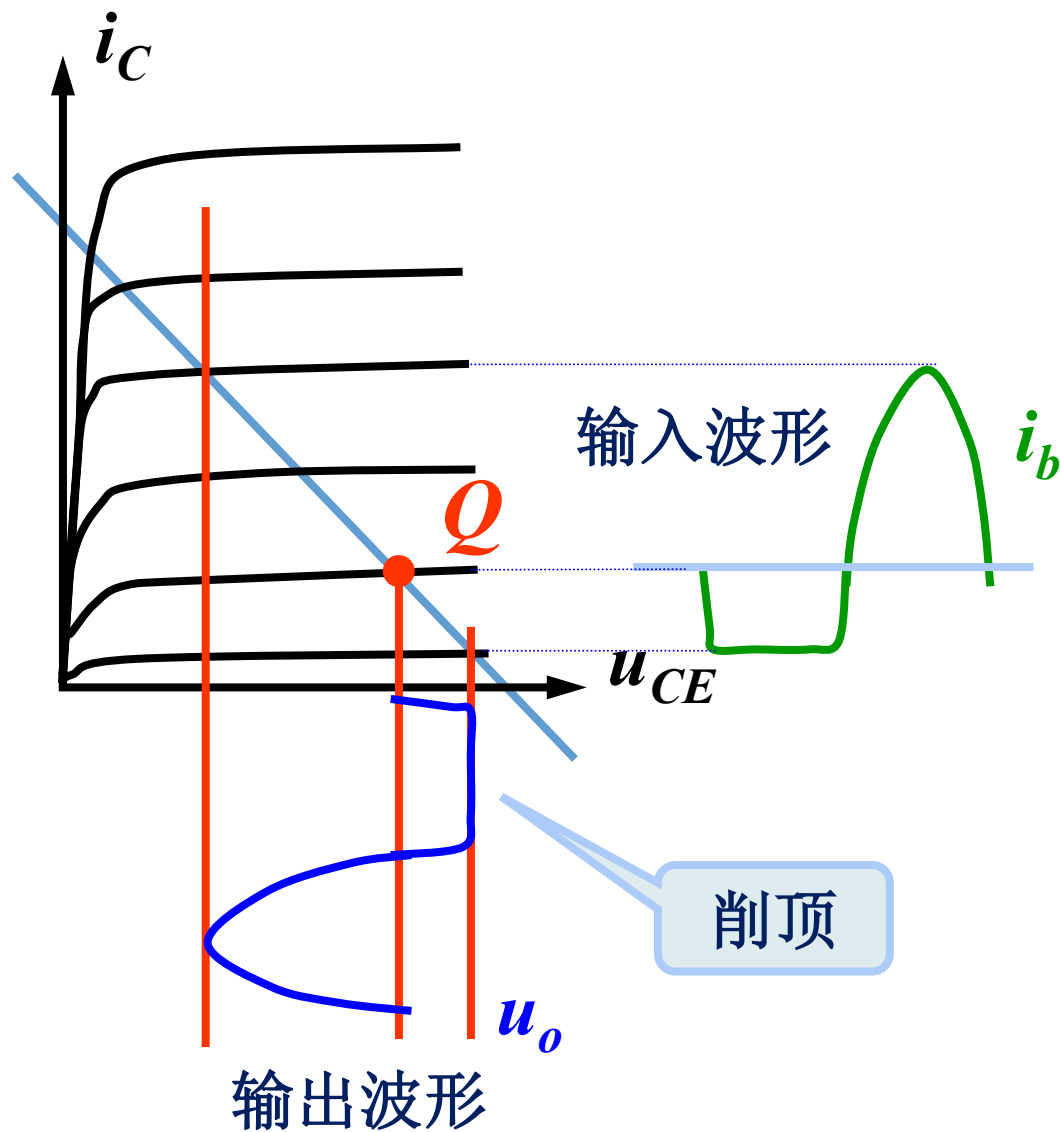


图解法的应用：放大电路的失真分析

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



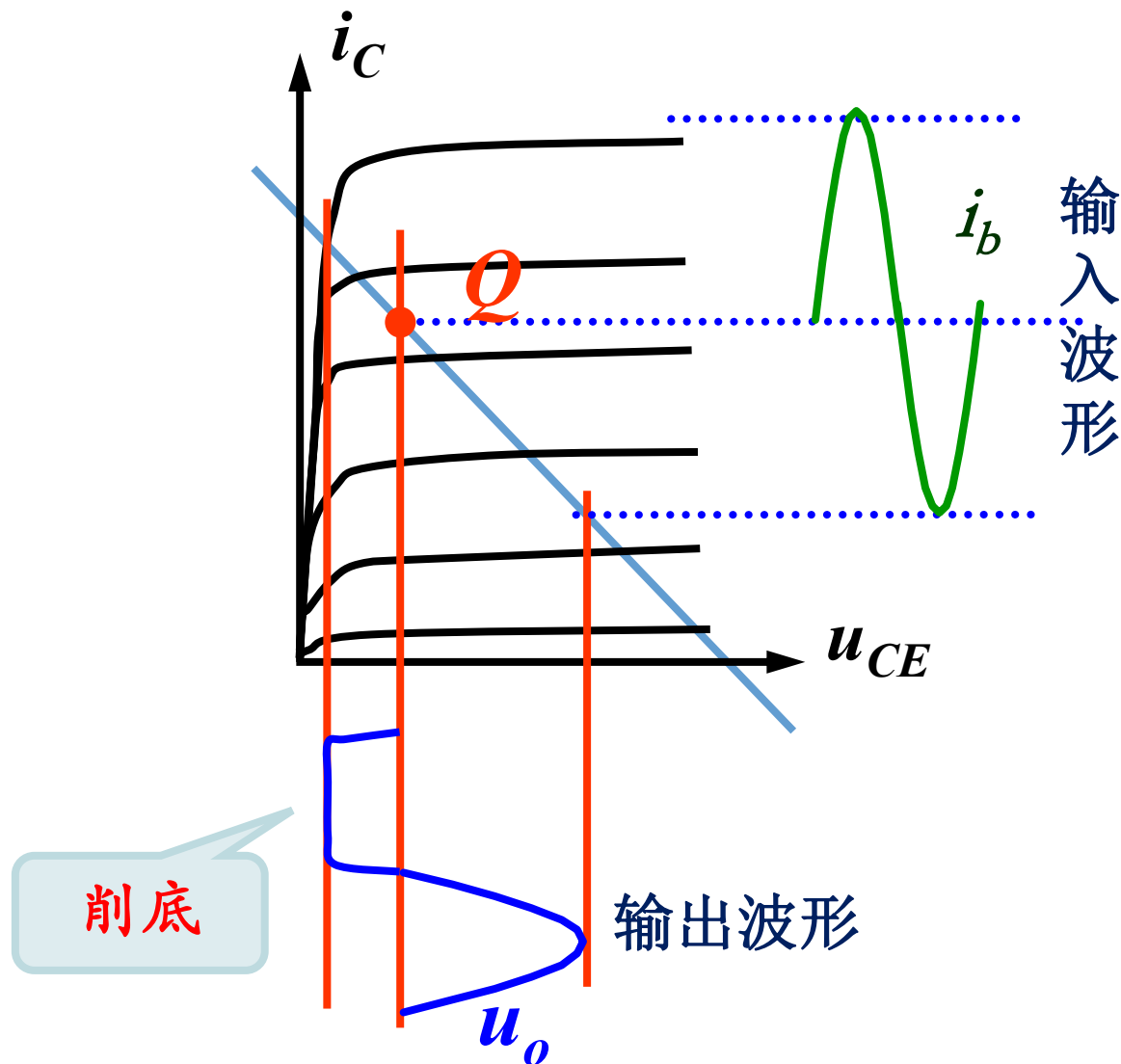


图解法的应用：放大电路的失真分析

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
和失真

