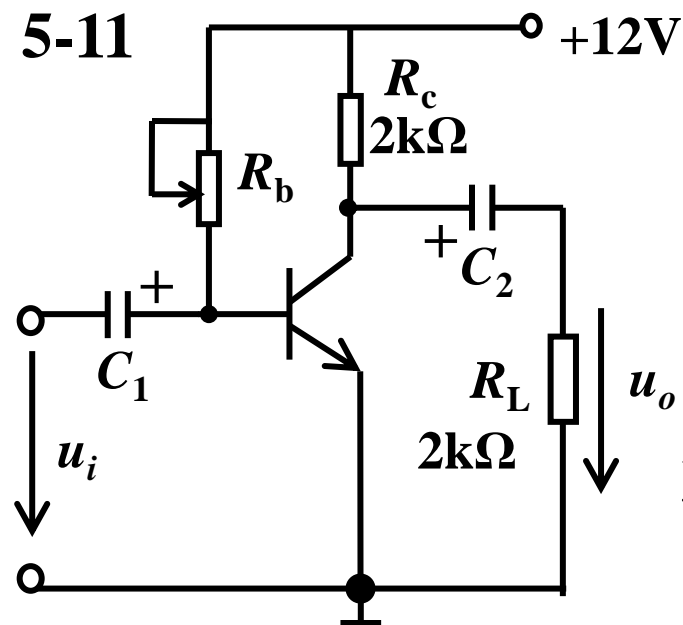


5-11



假设 $\beta=50$, $U_{BE}=U_{CES}=0V$ 。

(1) 若要有最大输出动态范围, 问 $R_b=?$

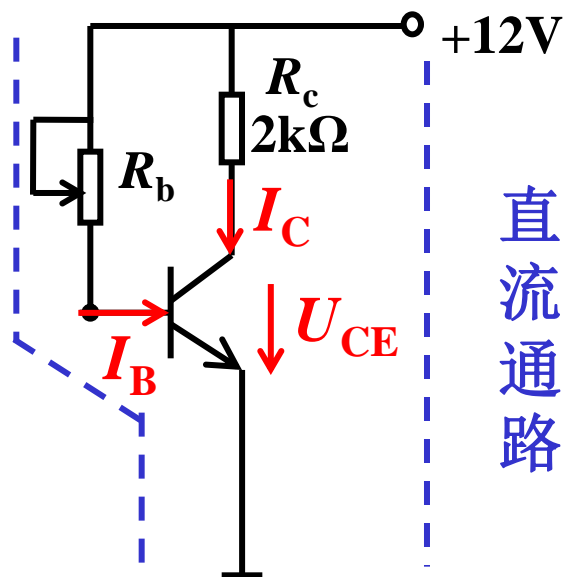
$$\therefore U_{omax} = \min\{U_{Rm}, U_{Fm}\}$$

\therefore 当 $U_{Rm}=U_{Fm}$ 时可达到最大动态范围

不出现饱和失真的最大输出电压幅值 U_{Rm}

$$\therefore U_{CES}=0 \quad \therefore U_{Rm} = U_{CE} - U_{CES} = U_{CE}$$

\therefore 有载 \rightarrow 不出现截止失真的最大输出电压幅值 $U_{Fm} = I_C (R_c // R_L)$



$$\text{令 } U_{Rm}=U_{Fm} \longrightarrow U_{CE} = V_{CC} - I_C R_c = I_C (R_c // R_L)$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = 80 \mu A \leftarrow \text{求出 } I_C = 4 \text{ mA}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_b} \longrightarrow R_b = 150 \text{ k}\Omega$$

问题2：如何用图解法画出输出电压 u_o 的非线性失真波形？

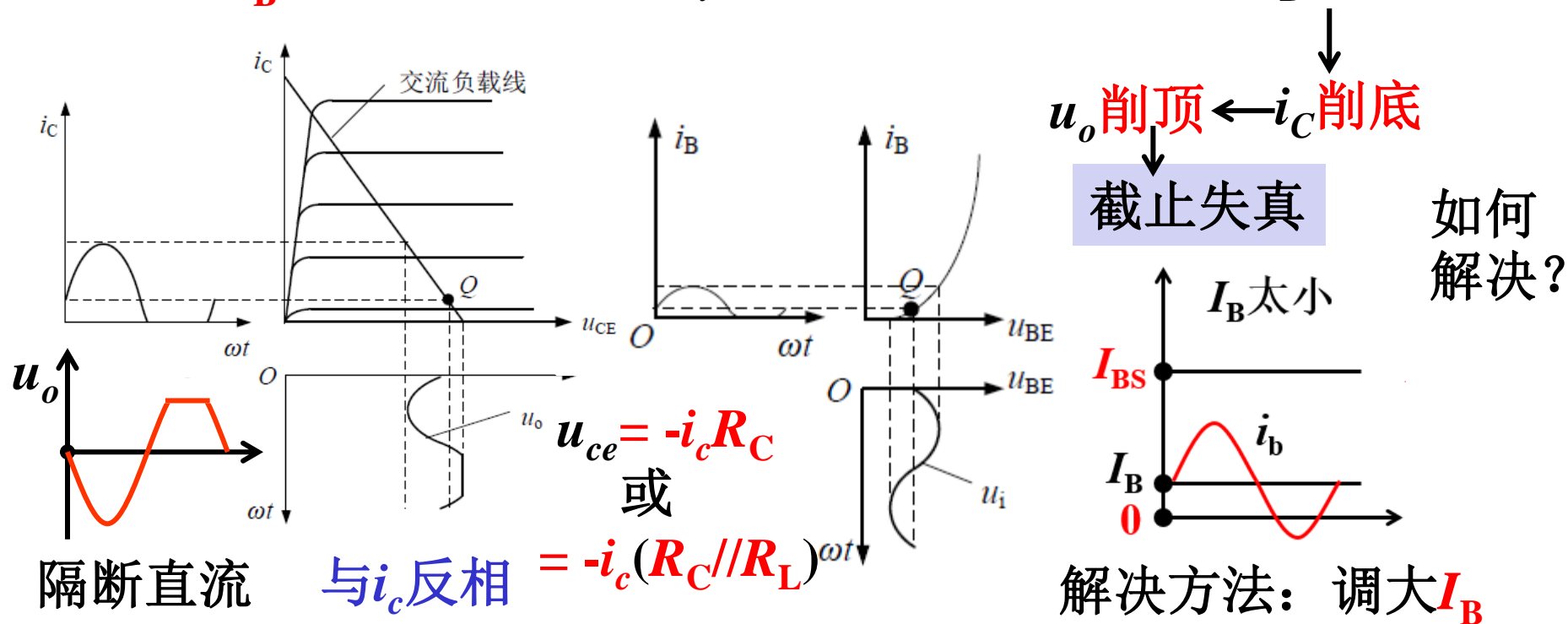
造成放大电路出现非线性失真的原因是由于三极管是非线性器件。

三极管有三种工作状态：放大状态、截止状态和饱和状态。

只有处于放大状态时，才有 $i_C = \beta i_B$ $i_C \neq \beta i_B$

∴ 放大范围为 $0 < i_B = I_B + i_b \leq I_{BS}$ ∴ 直流或交流不合适就会产生失真

情况一： I_B 太小 → Q太低 → u_i 的负半周进入截止区 → i_B 削底



问题2：如何用图解法画出输出电压 u_o 的非线性失真波形？

造成放大电路出现非线性失真的原因是由于三极管是非线性器件。

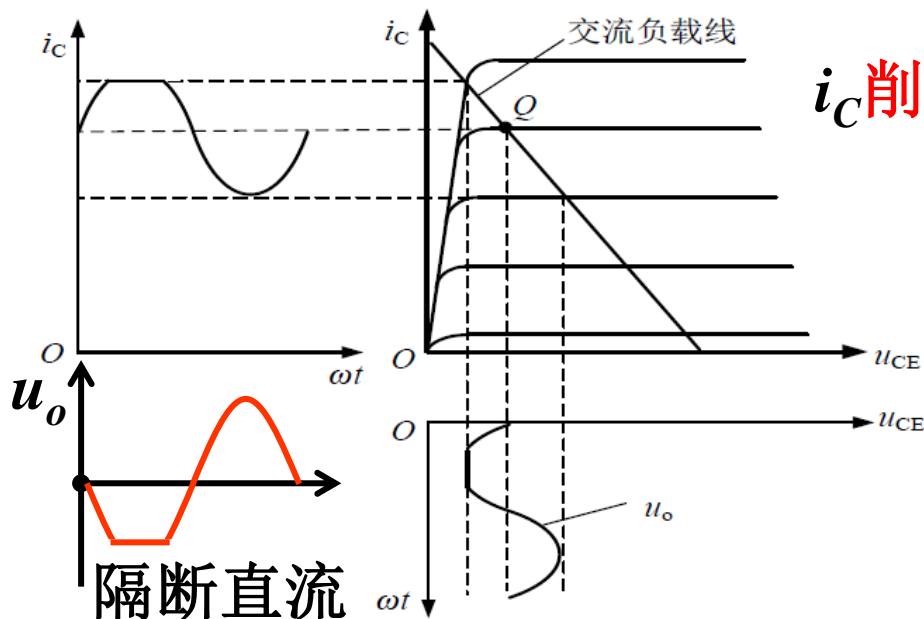
三极管有三种工作状态：放大状态、截止状态和饱和状态。

只有处于放大状态时，才有 $i_C = \beta i_B$ $i_C \neq \beta i_B$

∴ 放大范围为 $0 < i_B = I_B + i_b \leq I_{BS}$ ∴ 直流或交流不合适就会产生失真

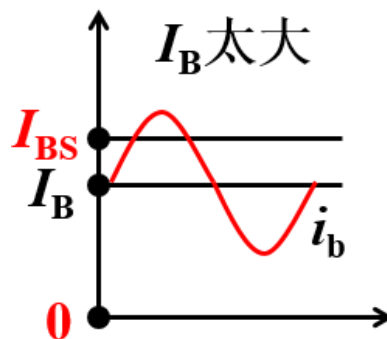
情况一： I_B 太小→Q太低←解决方法：调小 R_B 考题：选波形？

情况二： I_B 太大→Q太高←解决方法：调大 R_B 解决方案？

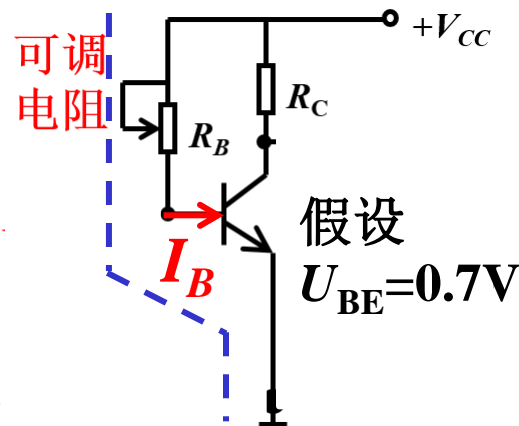


i_C 削顶 → u_o 削底

饱和失真



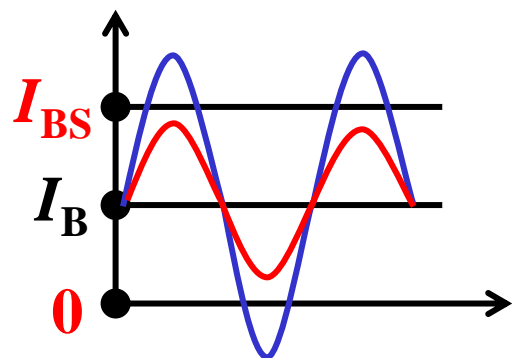
$$I_B = \frac{V_{CC} - 0.7}{R_B}$$



问题2：如何用图解法画出输出电压 u_o 的非线性失真波形？

注意：① I_B 不合适不一定会出现失真 ② I_B 合适也可能出现失真

情况三



交流信号太大

失真原因及解决：

① Q 不合适

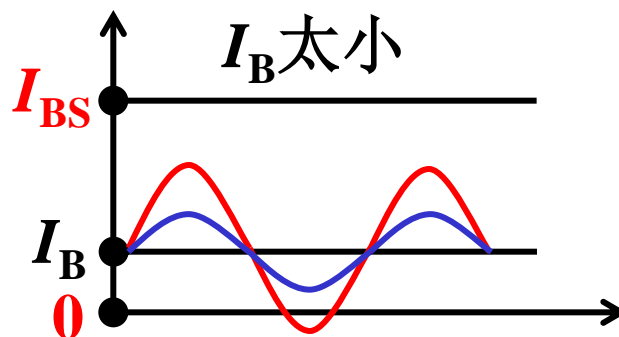
截止失真 \rightarrow 调大 I_B

饱和失真 \rightarrow 调小 I_B

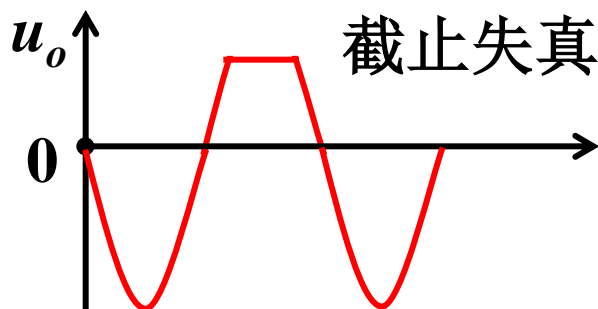
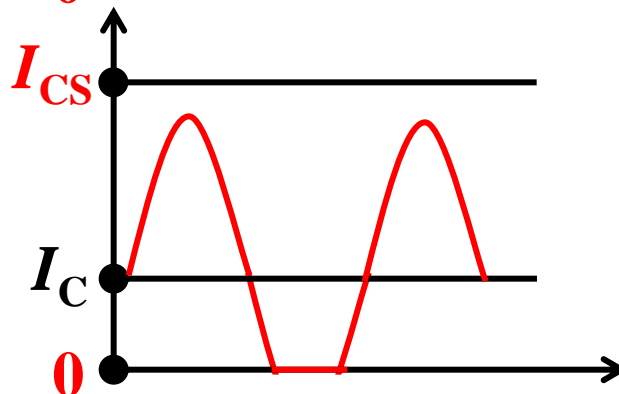
② u_i 不合适

解决方法：调小 u_i

情况一

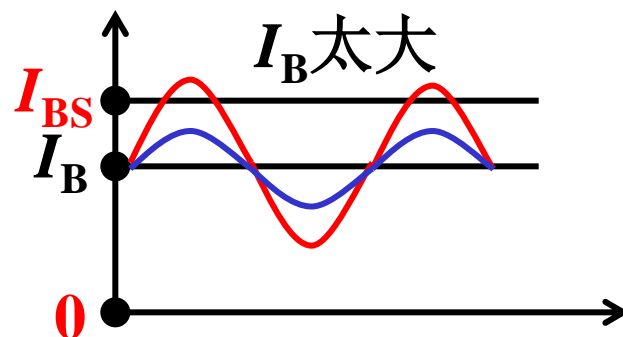


I_B 太小

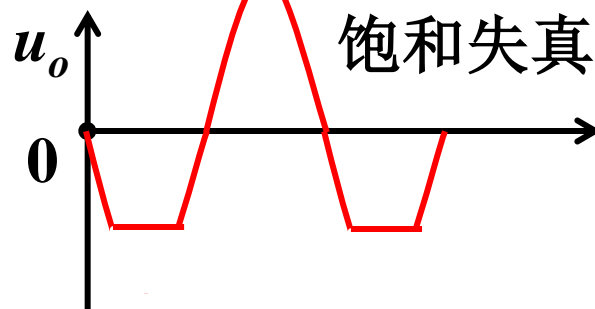
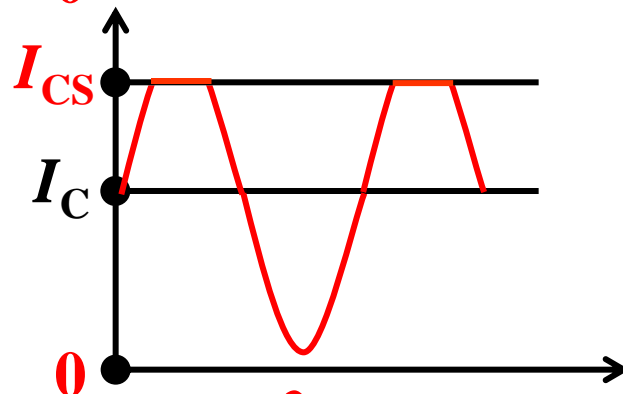


截止失真

情况二



I_B 太大



饱和失真

放大电路的图解法 → 定性分析

优点: 1、直观地了解放大电路的**工作原理和非线性失真**;
2、帮助求解最大不失真输出电压幅值 U_{omax} ;

缺点: 不适合定量分析, 因为不易计算放大电路的**性能指标**

放大电路的估算法 ←

包括: 静态估算和动态估算 (先静态后动态)

↓
步骤1: 画出直流通路;

步骤2: 估算静态工作点;

令 $U_{BE}=0.7V \rightarrow I_B, I_C, U_{CE}$

采用特殊方法: **微变等效法**

步骤1: 将交流通路转换成
微变等效电路图;

步骤2: 估算动态性能指标;

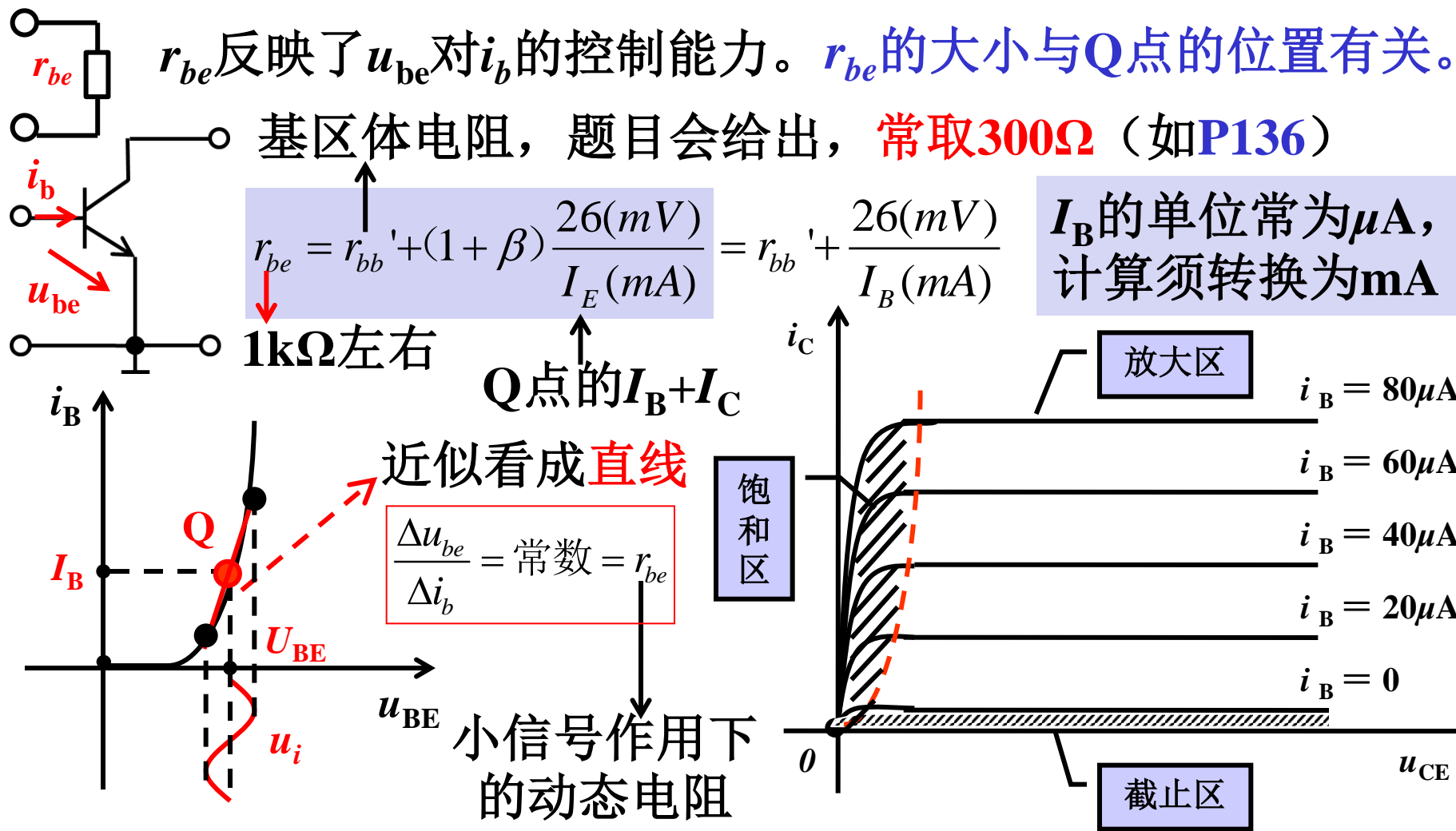
① 电压放大倍数 $A_u = u_o / u_i \rightarrow$ 衡量放大电路**放大交流电压**的能力

② 输入电阻 $r_i \rightarrow$ 衡量放大电路从信号源中**采集电压信号**的能力

③ 输出电阻 $r_o \rightarrow$ 衡量放大电路向负载**输出电压信号**的能力

微变等效法的思想：在微小交流输入时，将处于放大状态的T等效为一个线性模型，再使用线性电路的分析方法进行求解。

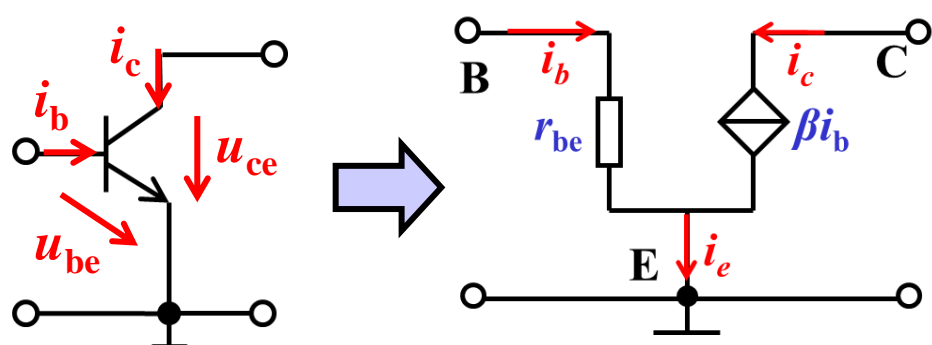
关键：根据输入输出特性曲线得到放大区的微变线性等效模型



微变等效法的思想：在微小交流输入时，将处于放大状态的T等效为一个线性模型，再使用线性电路的分析方法进行求解。

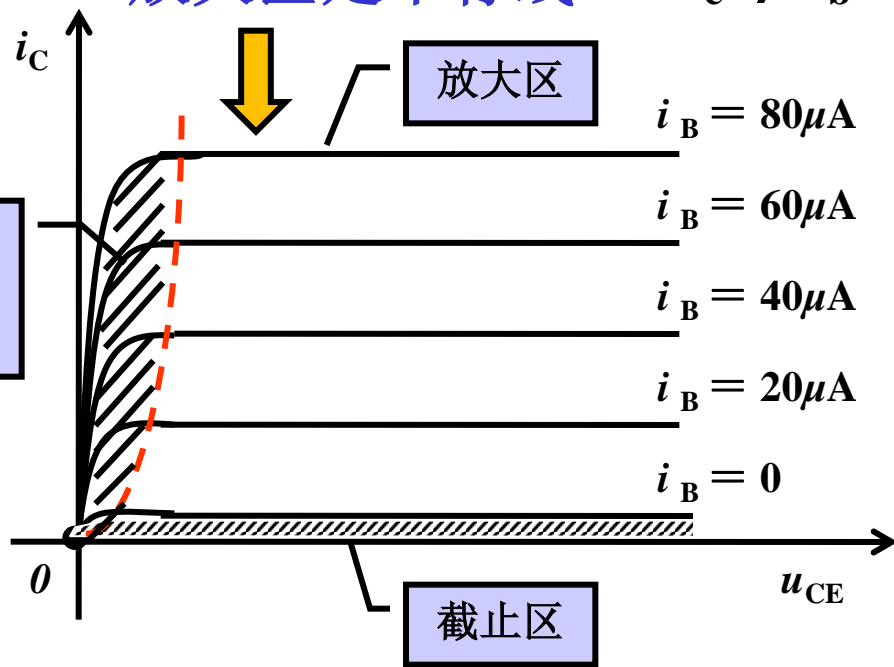
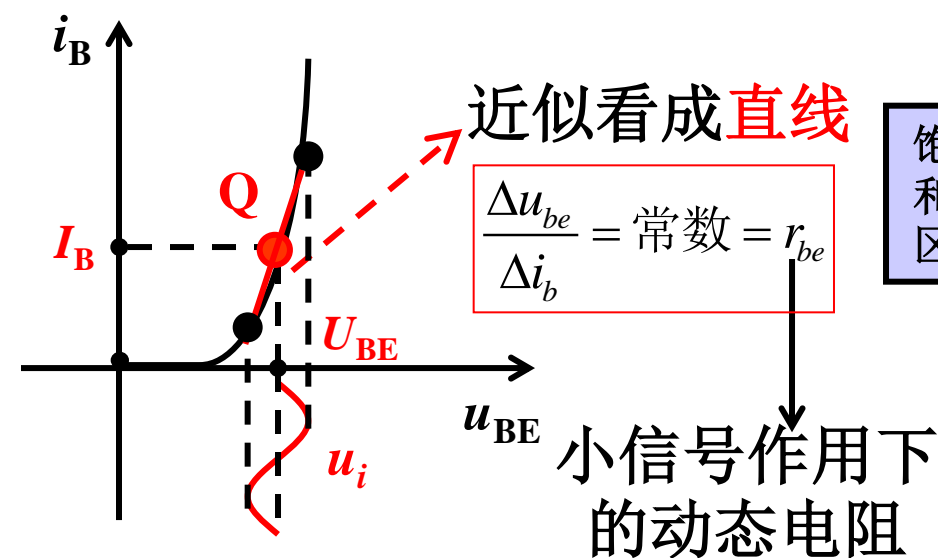
关键：根据输入输出特性曲线得到放大区的微变线性等效模型

注意：所有符号必须采用小写符号+小写下标且方向不变



只用于动态估算不用于静态
受电流控制的电流源CCCS

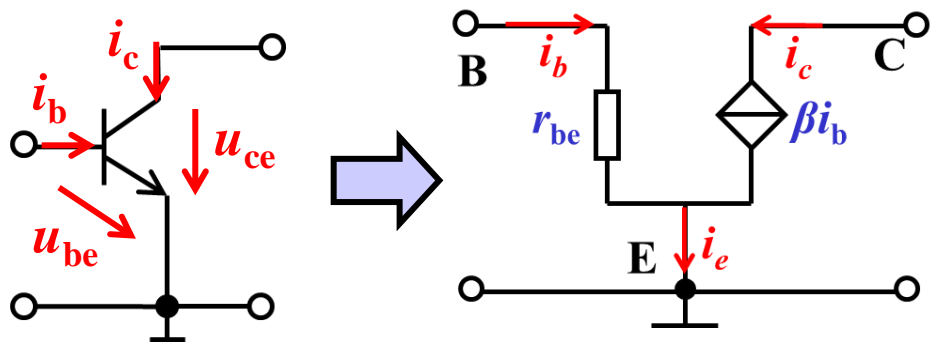
放大区是平行线 $\rightarrow i_c = \beta i_b$



微变等效法的思想：在微小交流输入时，将处于放大状态的T等效为一个线性模型，再使用线性电路的分析方法进行求解。

关键：根据输入输出特性曲线得到放大区的微变线性等效模型

注意：所有符号必须采用小写符号+小写下标且方向不变



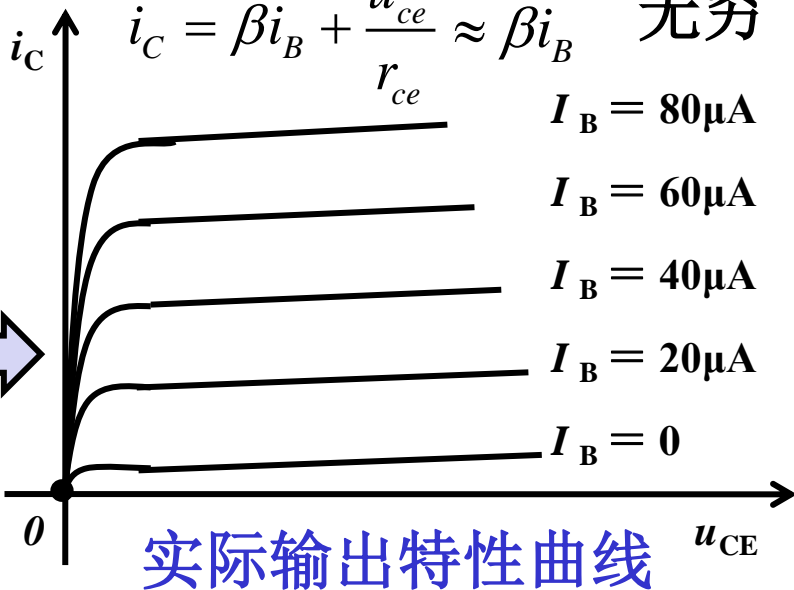
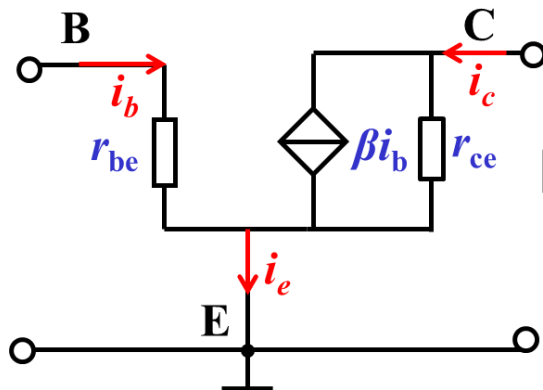
常采用左边的简易模型估算

$$\frac{\Delta u_{ce}}{\Delta i_c} = \text{常数} = r_{ce} \rightarrow \text{很大近似无穷}$$
$$i_c = \beta i_B + \frac{u_{ce}}{r_{ce}} \approx \beta i_B$$

考虑平行线的上翘则采用下面的模型

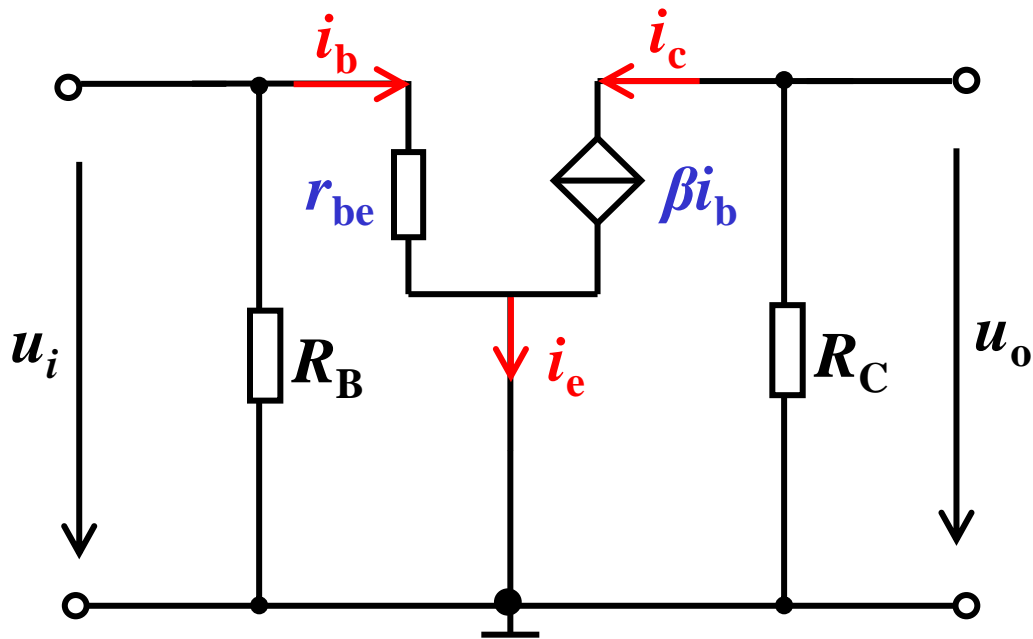
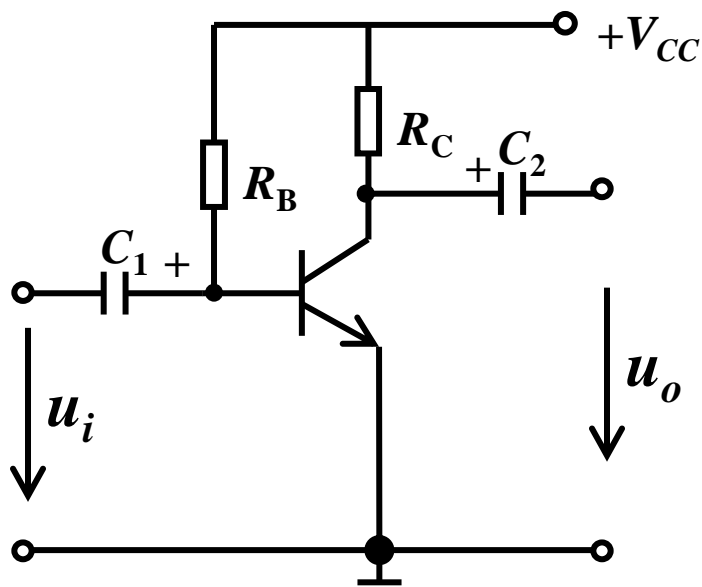
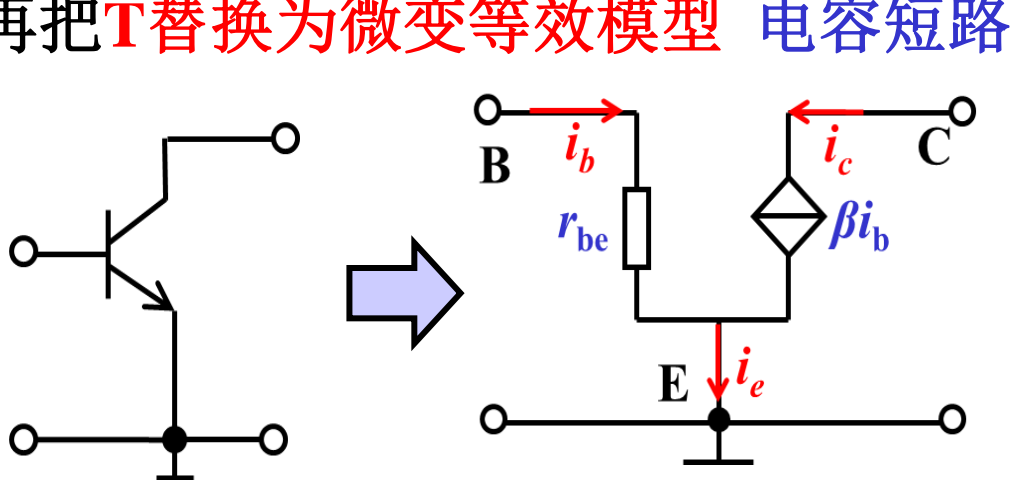
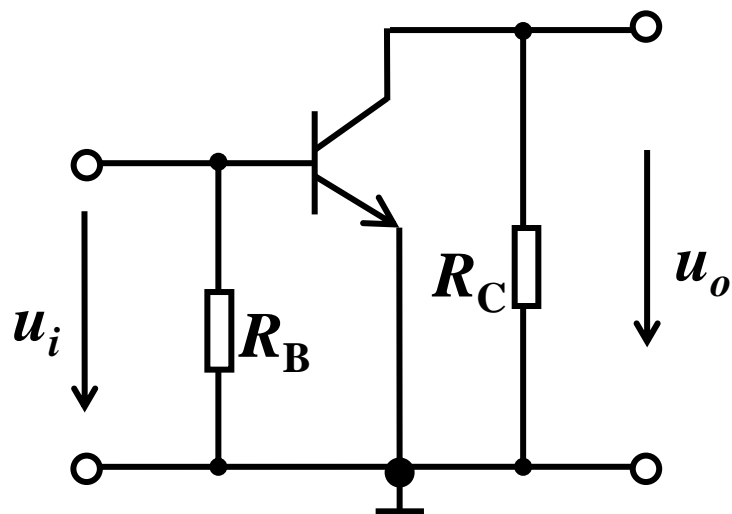
微变等效前提：

- ①放大状态下
- ②小交流输入



微变等效法 → 假设已经做完了静态估算（已知 I_B 、 I_C 、 U_{CE} ）

步骤1: 画出微变等效电路 方法1: 先画出**交流通路** → **直流除源**
再把**T**替换为微变等效模型 **电容短路**



微变等效法 → 假设已经做完了静态估算（已知 I_B 、 I_C 、 U_{CE} ）

步骤1：画出微变等效电路 方法2：直接画出

画图顺序：

① 画 T 的微变等效模型

② 画发射极电路

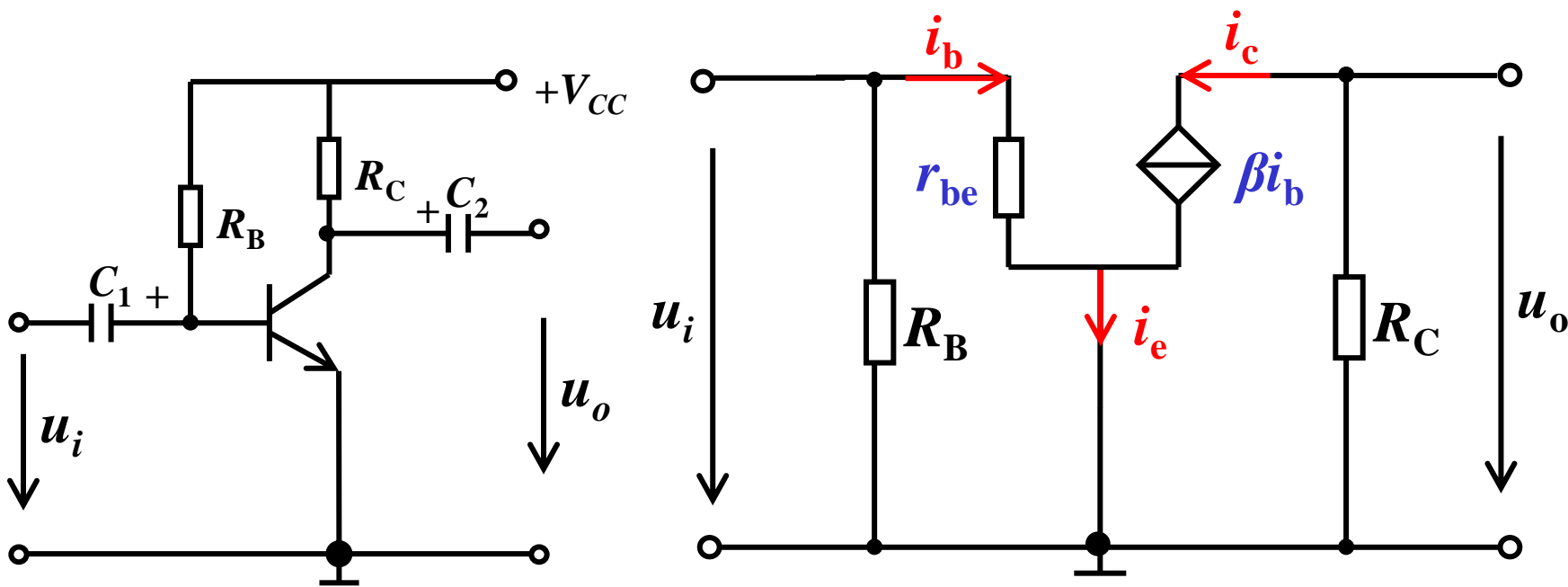
③ 画基极电路

④ 画集电极电路

注意事项

- 1、采用小写符号和下标
- 2、遇到 $+V_{CC}$ 做接地处理
- 3、遇到电容做短路处理

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



微变等效法 → 动态指标和静态参数有关，静态变则动态变

步骤1: 画出微变等效电路

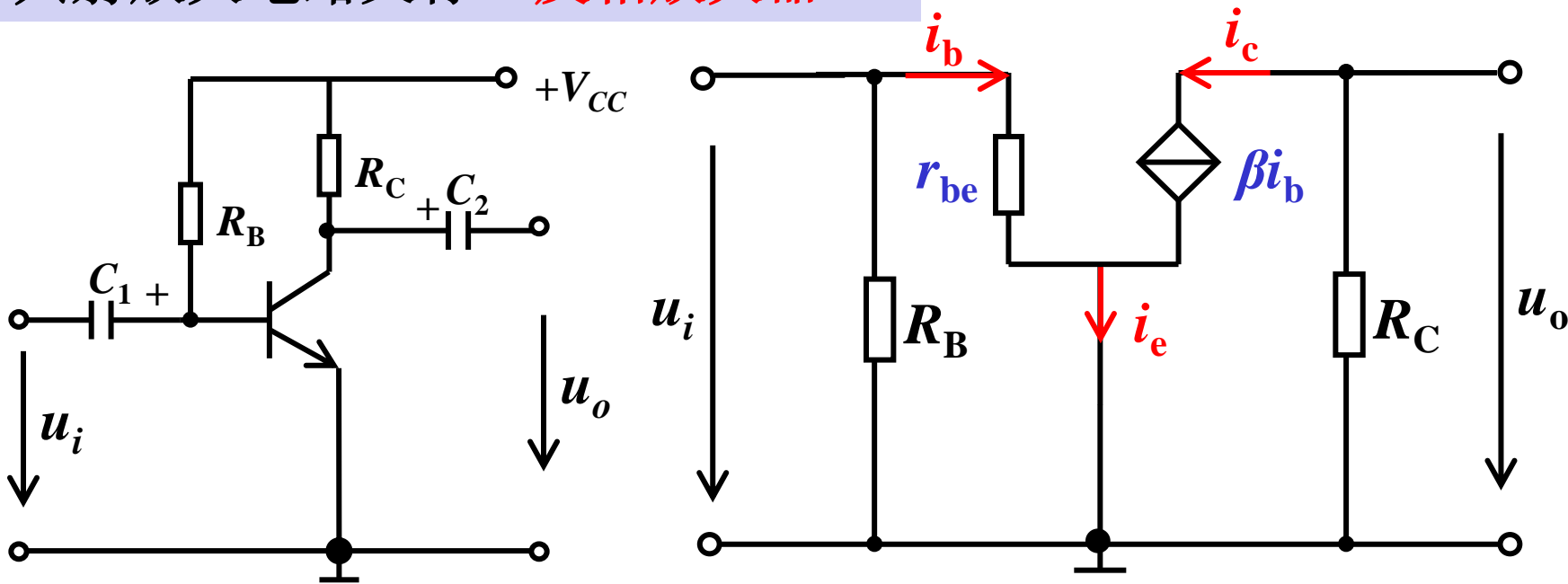
步骤2: 求解动态性能指标 → A_u , r_i 和 r_o → 建议采用小写符号

① 电压放大倍数 A_u → 衡量放大电路对净输入电压的放大能力

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{-i_c R_C}{i_b r_{be}} = \frac{-\beta i_b R_C}{i_b r_{be}} = \frac{-\beta R_C}{r_{be}} < -1$$

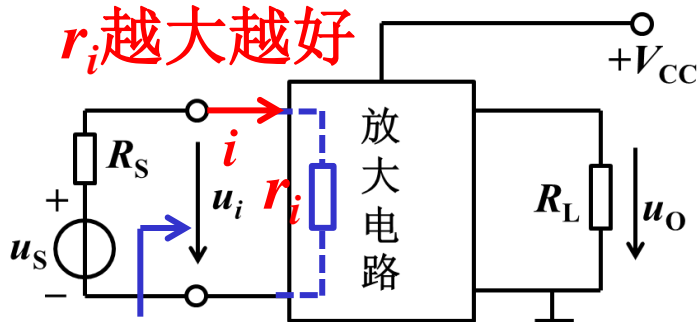
共射放大电路又称“反相放大器”

与静态 I_B 有关



② 输入电阻 r_i → 衡量放大电路从信号源中采集电压信号的能力

r_i 越大越好



r_i : u_i 两端后面电路除源后的等效电阻

∴ 微变等效电路已经除去直流电源

∴ 直接在微变电路上求输入电阻 $r_i = ?$

$$u_i = \frac{r_i}{R_s + r_i} \times u_s$$

$$r_i = R_B // r_{be}$$

$$r_i = \frac{u_i}{i} = \frac{u_i}{i_{RB} + i_b} = \frac{u_i}{\frac{u_i}{R_B} + \frac{u_i}{r_{be}}} = \frac{1}{\frac{1}{R_B} + \frac{1}{r_{be}}}$$

$R_B \gg r_{be}$

$r_i \approx r_{be}$ 较小

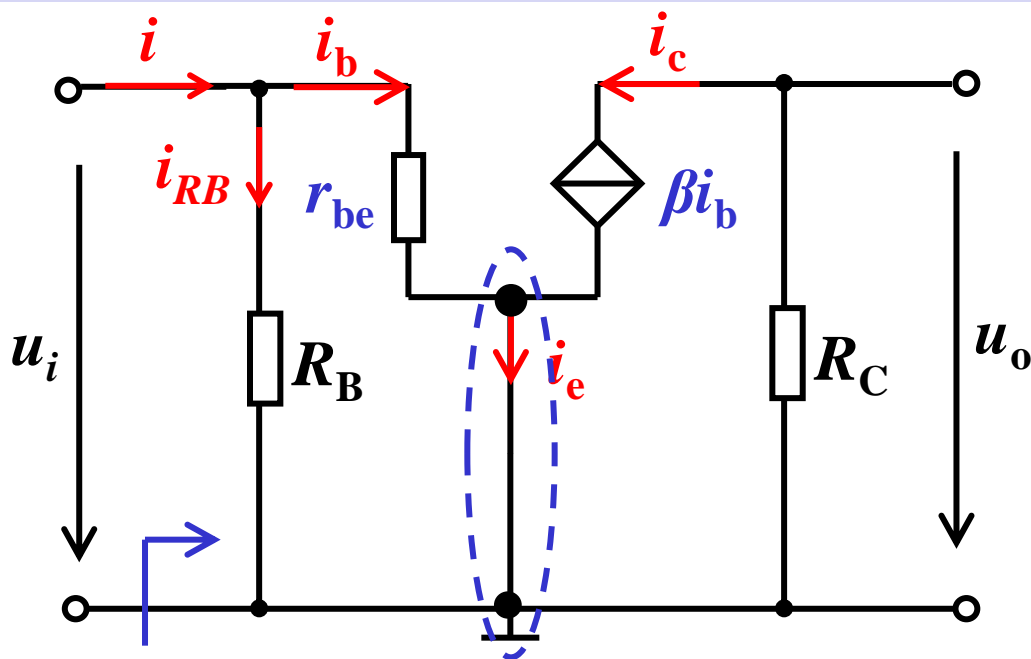
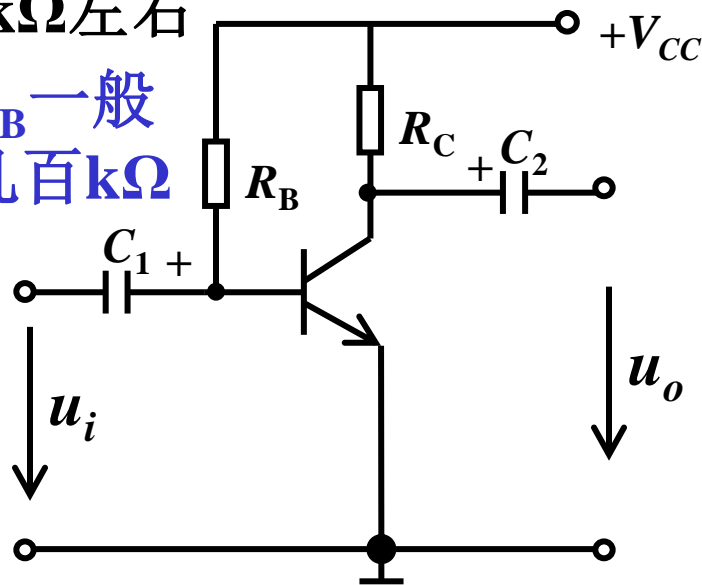
共射放大电路的缺点1: 输入电阻偏小, 不够理想

r_{be} 一般

1kΩ左右

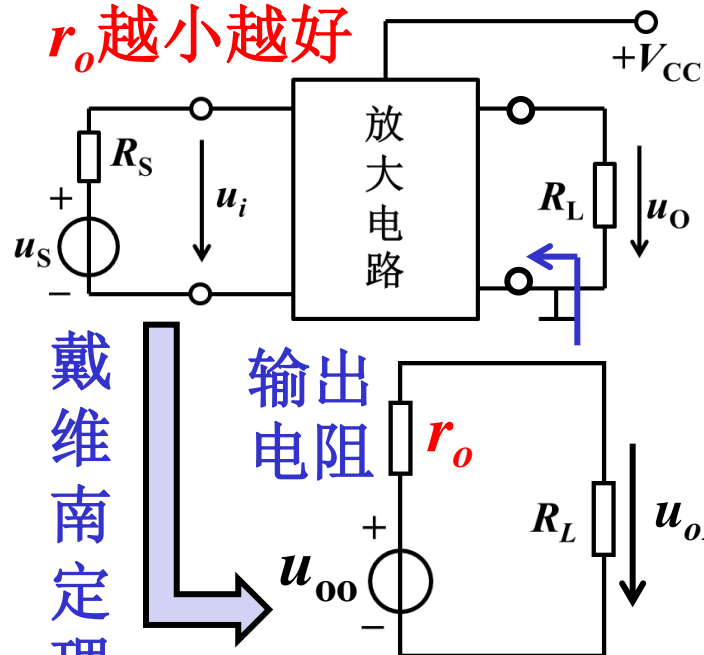
R_B 一般

几百kΩ



③ 输出电阻 r_o → 衡量放大电路输出电压信号（带负载）的能力

r_o 越小越好



∴ 放大电路最终要把能量传递给负载

∴ 对 R_L 而言，放大电路相当一个电源

r_o : R_L 两端往左除源后的等效电阻

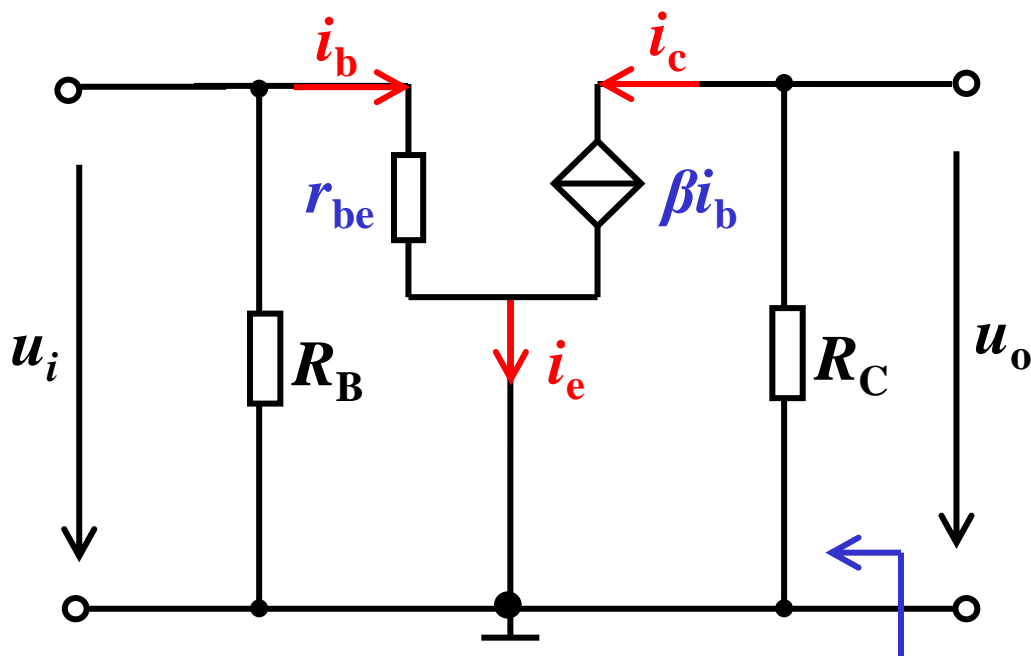
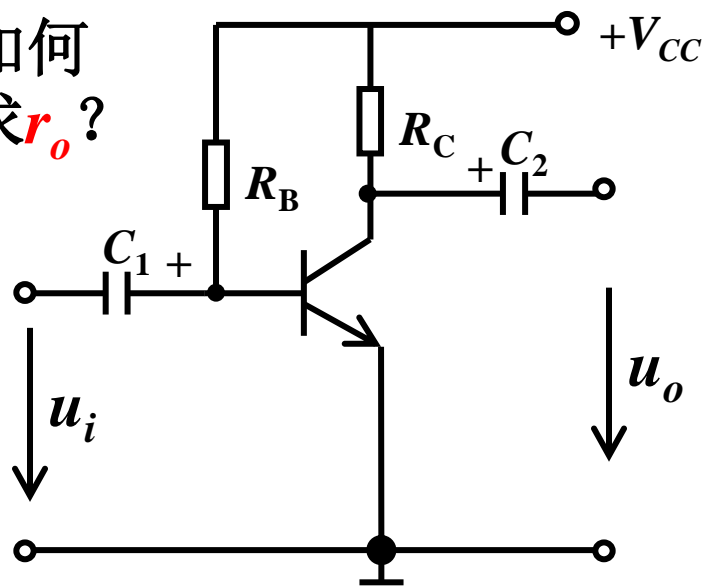
r_o 是交流动态电阻，直接在微变图上求

电路中含有受控源需要采用特殊方法

开路短路法或外加电源法

戴维南定理

如何求 r_o ?



③ 输出电阻 $r_o \rightarrow$ 衡量放大电路输出电压信号（带负载）的能力

方法一：开路短路法

① 求开路电压 $u_{oo} = -i_c R_C$

② 求短路电流 i_s

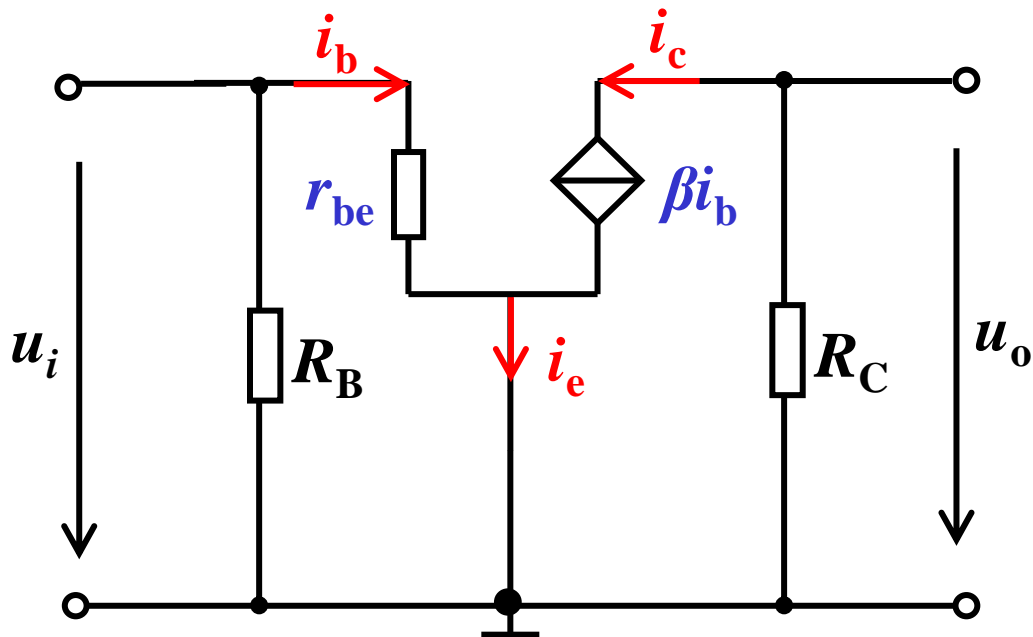
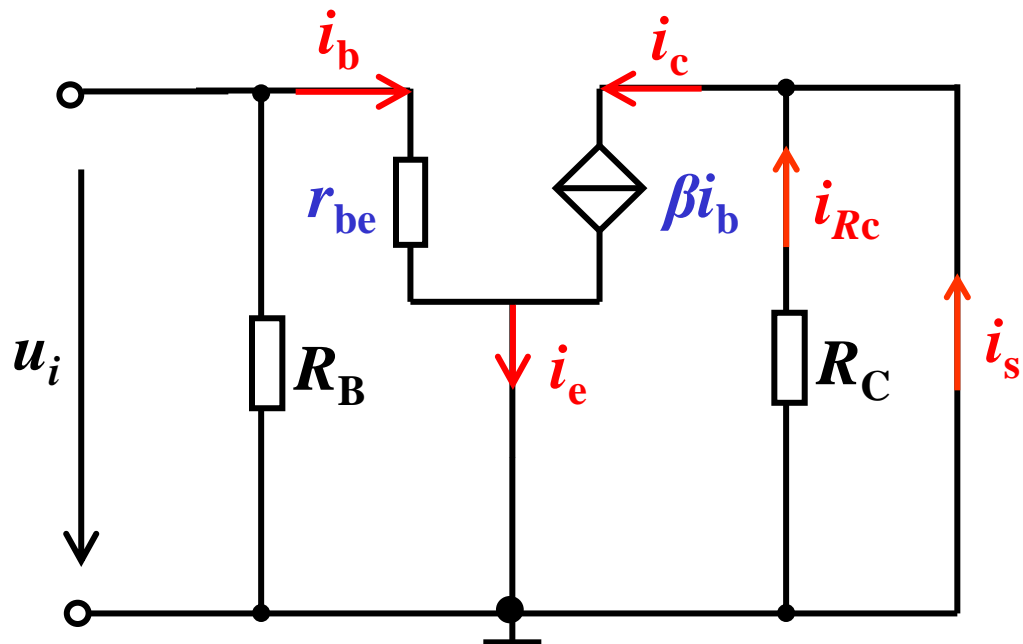
$$\textcircled{3} \quad r_o = \pm u_{oo} / i_s$$

$\therefore R_C$ 的两端被导线短接

$\therefore i_{Rc} = 0 \quad \therefore \text{KCL: } i_s = i_c$

$\therefore i_s$ 与 u_{oo} 方向相反

$$\therefore r_o = -u_{oo} / i_s = R_C$$



方法二：外加电源法（加压求流法）

① 除去内部独立源

$$i' = i_{R_C} = u' / R_C$$

② 外加 u' ，求 $i' = i_{R_C} + i_c = i_{R_C} + \beta i_b$ 问题： $i_b = ?$

发射极直接接地 $\rightarrow i_b = 0 \rightarrow i_c = 0 \rightarrow$ 受控源除源

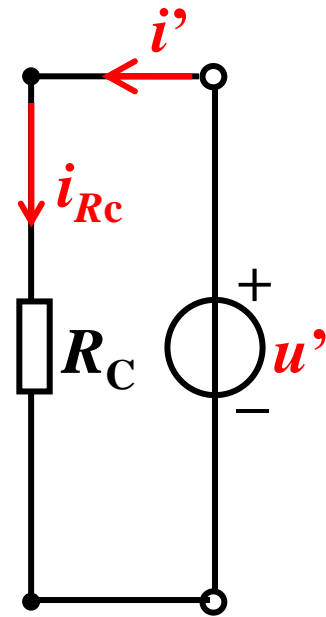
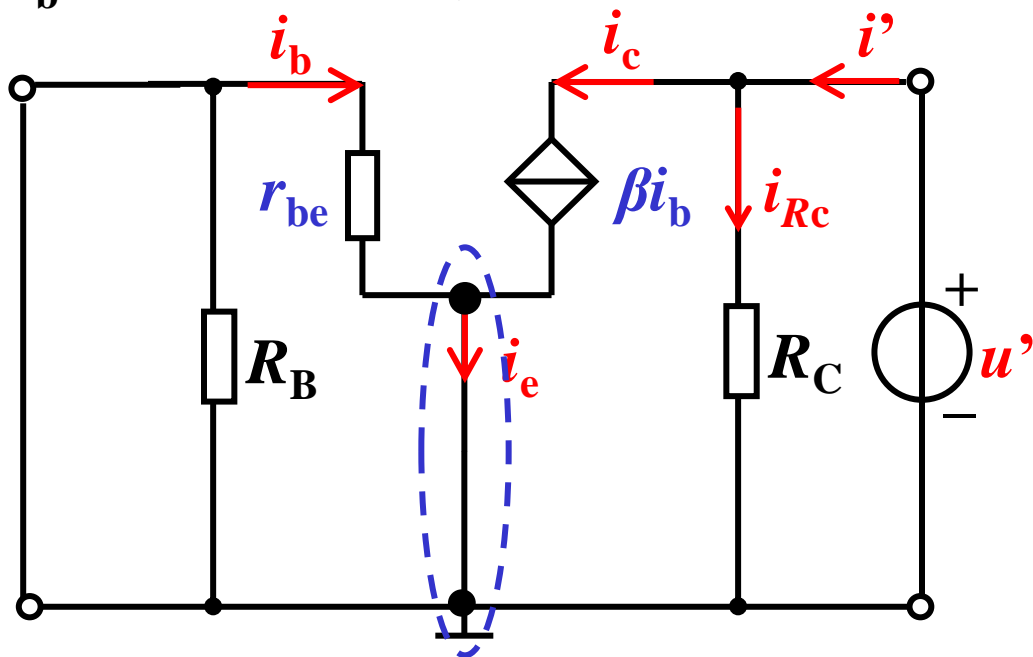
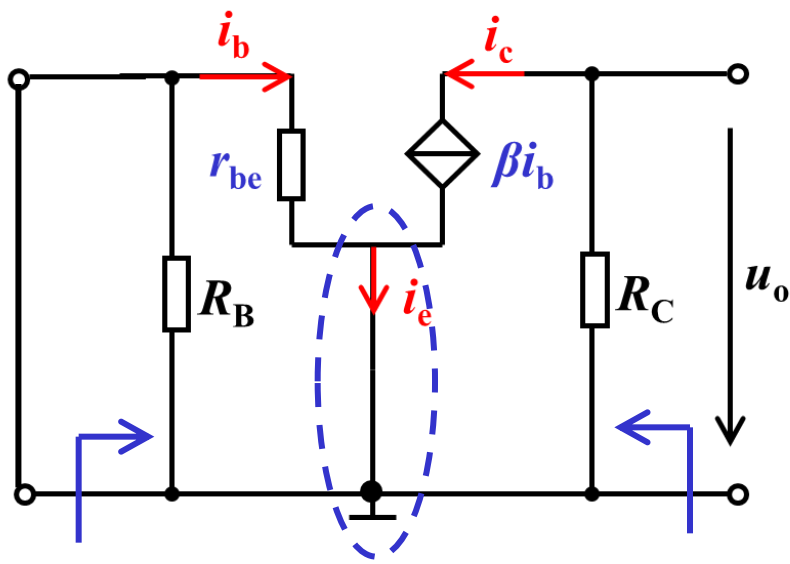
③ $r_o = u' / i' = R_C \quad \because R_C$ 一般有几 $k\Omega$

共射放大电路的缺点2：输出电阻偏大，不够理想

方法三：直接读输出电阻 $\because i_b = 0 \therefore$ 受控源可除源

$$r_i = R_B // r_{be}$$

$$r_o = R_C$$



作业：分析实验四的电路图

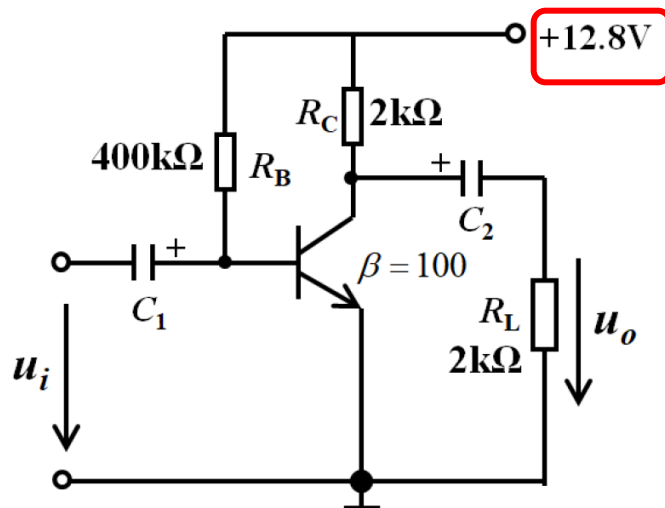
第1题：电路如右图所示，本次实验采用**虚拟三极管**，其参数为： $U_{BE}=U_{CES}=0.8V$ ， $\beta=100$ ， $r'_{bb}=40\Omega$

- 1) 该电路采用的是**什么接法**？
- 2) 请求解静态工作点 Q 的相关参数；
- 3) 请画出微变等效电路并按下式计算 $r_{be}=?$ **k Ω**

$$r_{be} = r'_{bb} + (1 + \beta) \frac{26(mV)}{I_E(mA)} = 40 + \frac{26(mV)}{I_B(mA)}$$

单位用**k Ω**

- 4) 请求解 A_u ， r_i 和 r_o ；
- 5) 若希望该电路具有最大动态范围，应调整 $R_B=?$



第1题的电路图

求解过程请手写在 A4 纸上，**先写公式后带入数据计算。**

调 R_B 意味着改变静态工作点

第(2)题的静态参数不能用于第(5)题的求解

若 $U_{Rm} = U_{Fm}$ 则电路具有**最大输出动态范围**

$U_{CE}' - U_{CES} = I_C' (R_C // R_L)$ 利用**直流通路**找 U_{CE}' 和 I_C' 的第二个关系

求出最好的 I_C' \rightarrow 利用 I_C' / β 求出最好的 I_B' \rightarrow 求出最好的 R_B