

P169 例5-9 技巧：读 r_i 和 r_o 时均是遇到受控源即可停止。

不要求计算时，可直接用估算法：求 $V_B \rightarrow I_E \rightarrow I_B \rightarrow I_C \rightarrow U_{CE}$

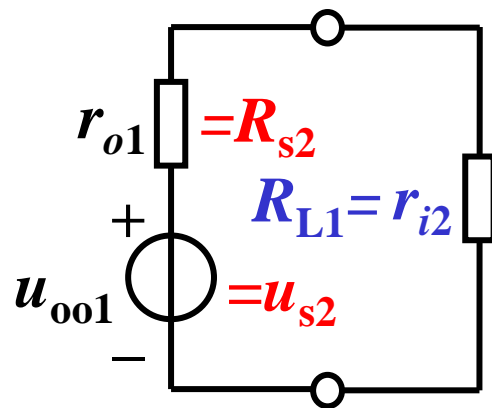
$$A_u = A_{u1} \times A_{u2}$$

$$A_{u1} = \frac{u_{o1}}{u_i} = \frac{i_{e1}(R_{e1} // r_{i2})}{i_{b1}r_{be1} + i_{e1}(R_{e1} // r_{i2})}$$

$$= \frac{(1 + \beta_1)i_{b1}(R_{e1} // r_{i2})}{i_{b1}r_{be1} + (1 + \beta_1)i_{b1}(R_{e1} // r_{i2})}$$

$$A_{u2} = \frac{-i_{c2}(R_{c2} // R_L)}{i_{b2}r_{be2}}$$

$$= \frac{-\beta i_{b2}(R_{c2} // R_L)}{i_{b2}r_{be2}}$$

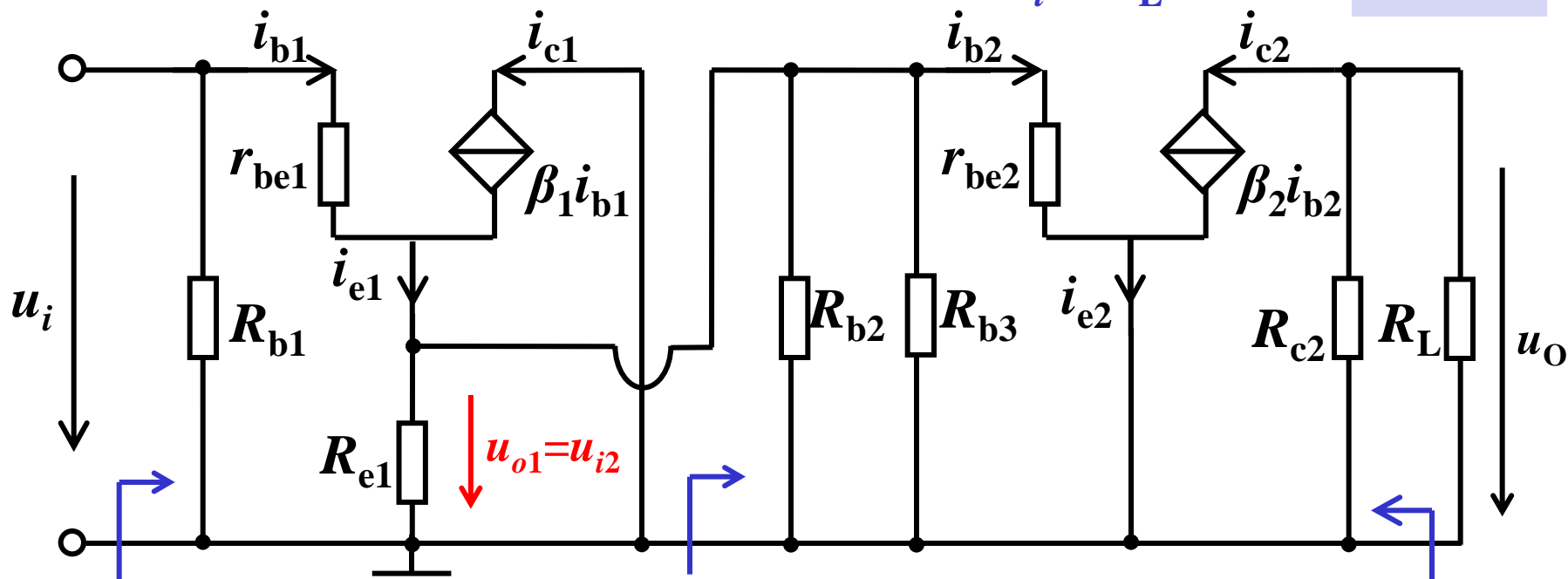


$$r_{i2} = R_{b2} // R_{b3} // r_{be2}$$

$$r_i = R_{b1} // [r_{be1} + (1 + \beta_1)(R_{e1} // r_{i2})]$$

注意：共集的 r_i 和 R_L 有关；

$$r_o = R_{c2}$$



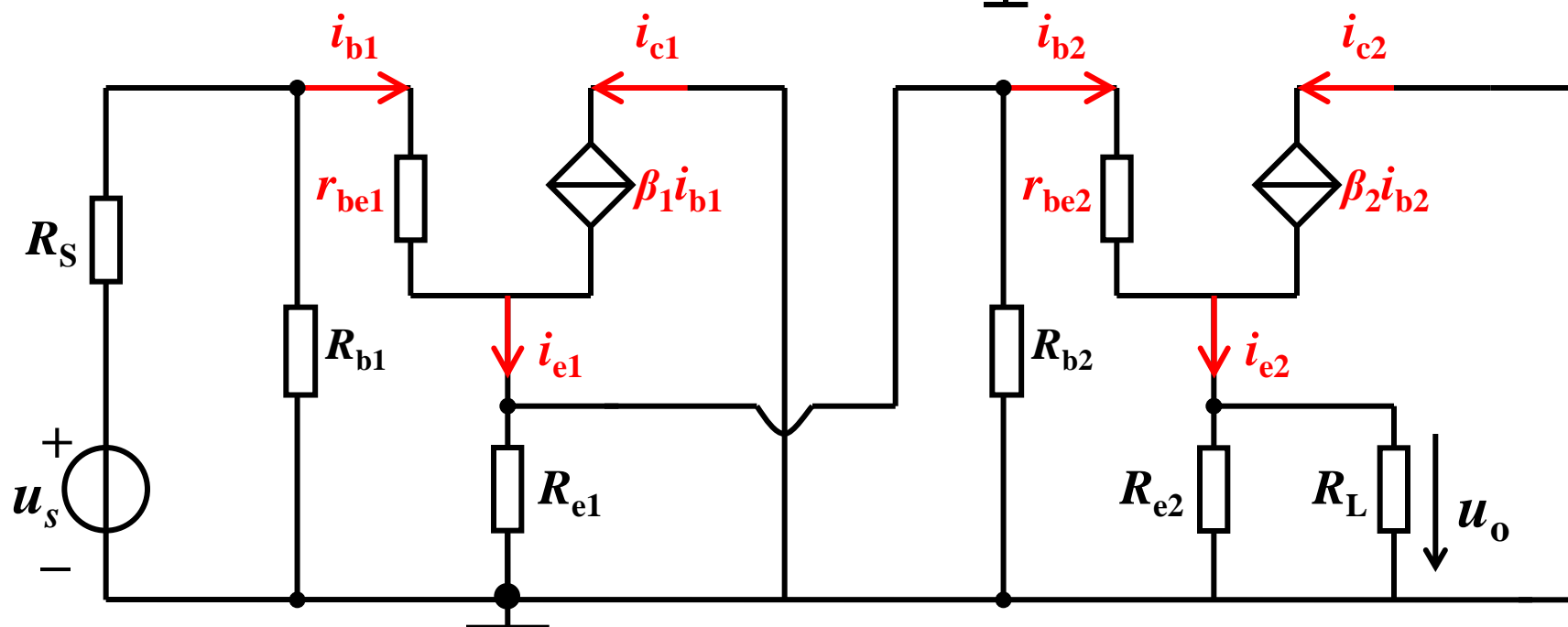
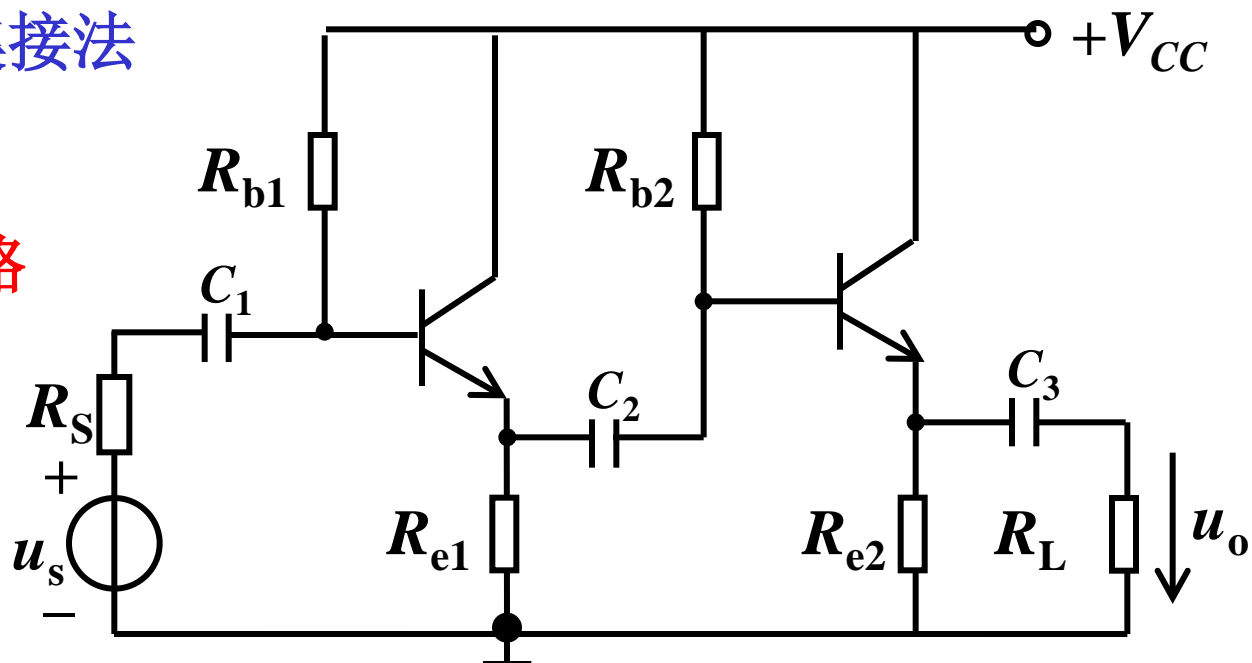
作业： 两级都是共集接法

动态分析：

1) 画出微变等效电路

$$r_{be1} = r_{bb}' + (1 + \beta_1) \frac{26(mV)}{I_{E1}(mA)}$$

$$r_{be2} = r_{bb}' + (1 + \beta_2) \frac{26(mV)}{I_{E2}(mA)}$$



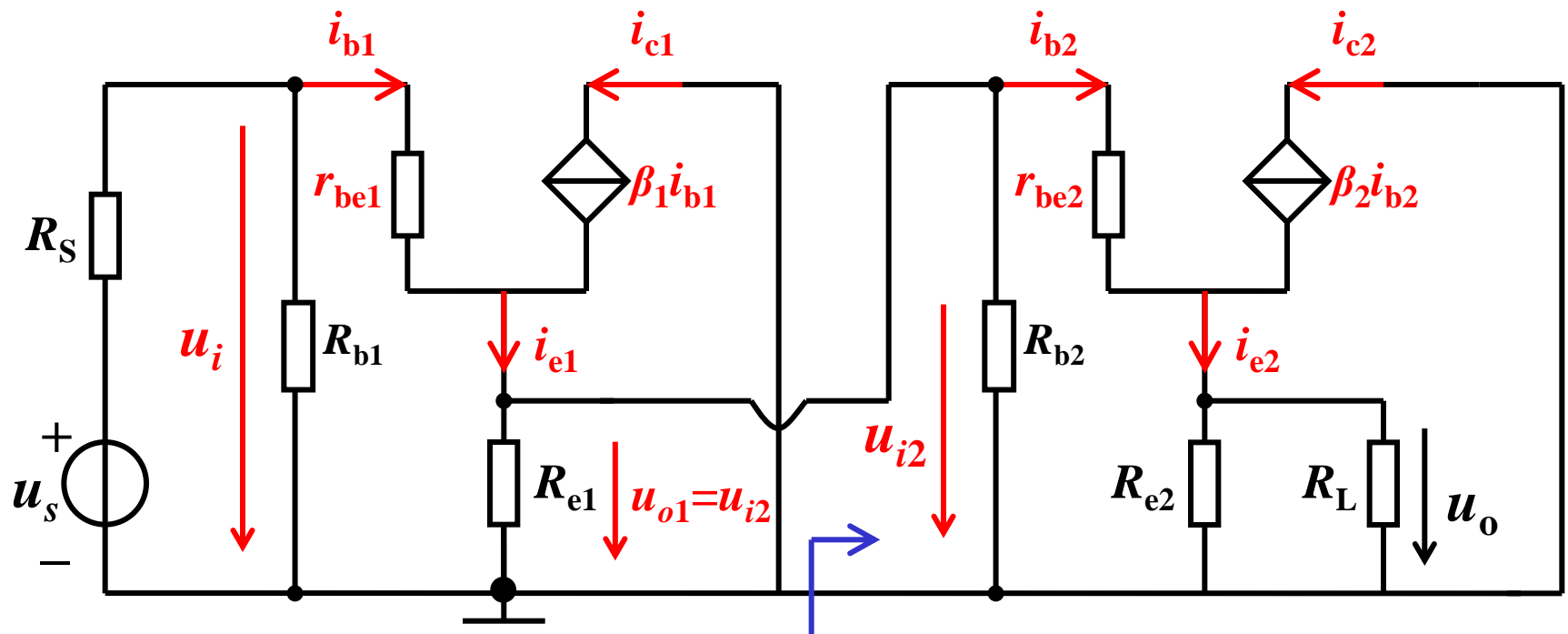
2) 求 A_u , A_{us} , r_i , r_o ① 电压放大倍数 $A_u = A_{u1} \times A_{u2}$

$$A_{u1} = \frac{u_{o1}}{u_i} = \frac{i_{e1}(R_{e1} // r_{i2})}{i_{b1}r_{be1} + i_{e1}(R_{e1} // r_{i2})} = \frac{(1+\beta_1)\cancel{i_{b1}}(R_{e1} // r_{i2})}{\cancel{i_{b1}}r_{be1} + (1+\beta_1)\cancel{i_{b1}}(R_{e1} // r_{i2})}$$

$$r_{i2} = R_{b2} // [r_{be2} + (1+\beta_2)(R_{e2} // R_L)]$$

$$A_{u2} = \frac{u_o}{u_{i2}} = \frac{i_{e2}(R_{e2} // R_L)}{i_{b2}r_{be2} + i_{e2}(R_{e2} // R_L)} = \frac{(1+\beta_2)\cancel{i_{b2}}(R_{e2} // R_L)}{\cancel{i_{b2}}r_{be2} + (1+\beta_2)\cancel{i_{b2}}(R_{e2} // R_L)}$$

求 A_{u2} 时 u_{i2} 不能用 u_{o1} 的公式，应找 u_{i2} 和 i_{b2} 的关系！



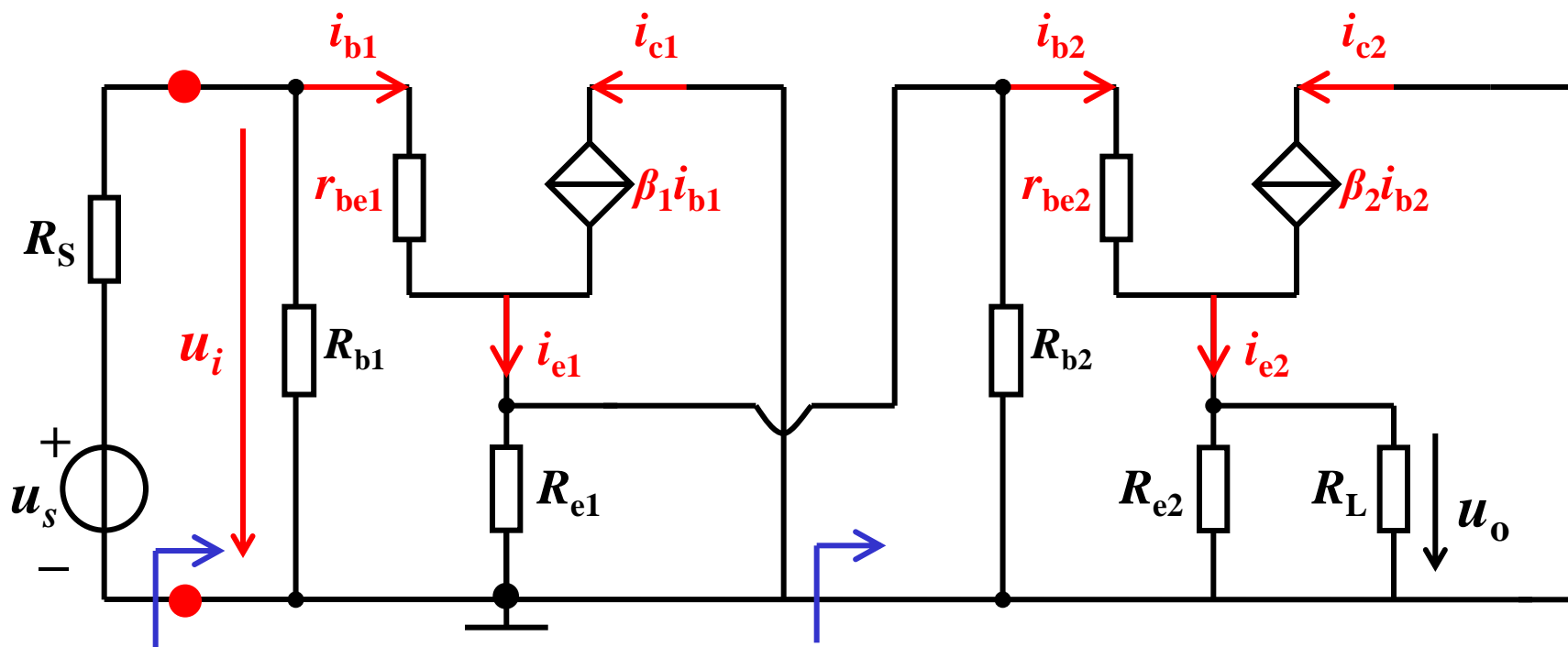
2) 求 A_u , A_{us} , r_i , r_o ① 电压放大倍数 $A_u = A_{u1} \times A_{u2}$

② 电源电压放大倍数 $A_{us} = \frac{u_o}{u_s} = \frac{u_o \times u_i}{u_s \times u_i} = \frac{u_o}{u_i} \times \frac{u_i}{u_s} = A_u \times \frac{r_i}{R_s + r_i}$

③ 输入电阻 r_i $r_i = R_{b1} // [r_{be1} + (1 + \beta_1)(R_{e1} // r_{i2})]$

R_s 不属于 r_i $r_{i2} = R_{b2} // [r_{be2} + (1 + \beta_2)(R_{e2} // R_L)]$

注意：读 r_i 和 r_o 时没有遇到受控源不能停，要一直读到遇到为止

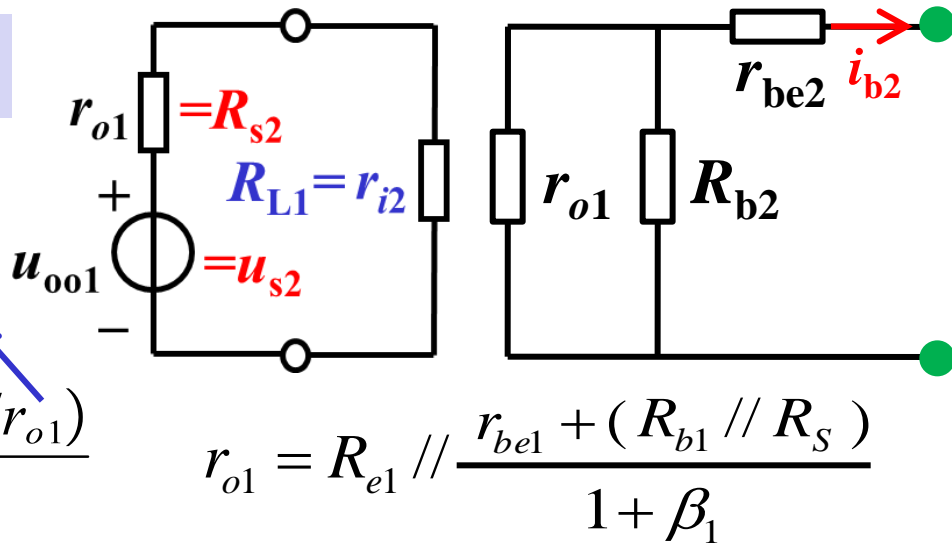


注意：共集电路的 r_o 和 R_s 有关

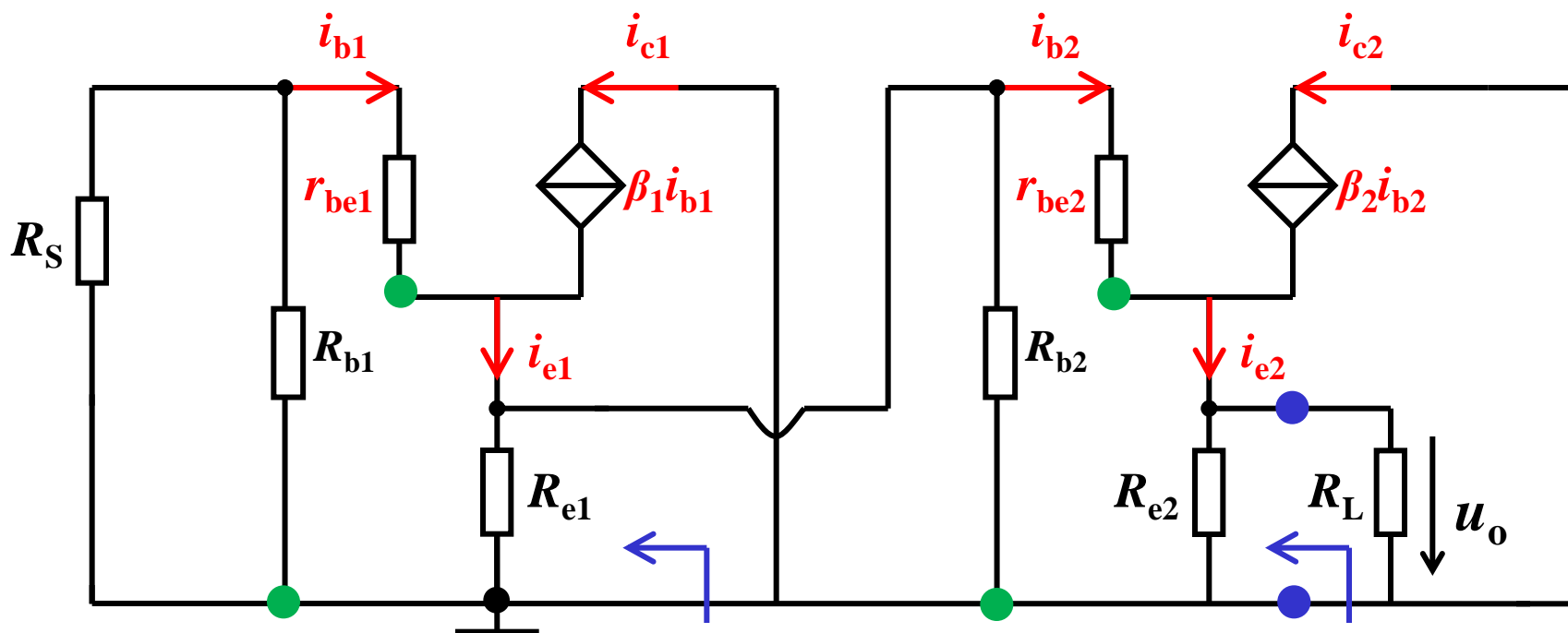
④ 输出电阻 r_o R_L 不属于 r_o

流过 i_{e2} 的等效电阻 $R_{s2} = r_{o1}$

$$r_o = R_{e2} // R' = R_{e2} // \frac{r_{be2} + (R_{b2} // r_{o1})}{1 + \beta_2}$$

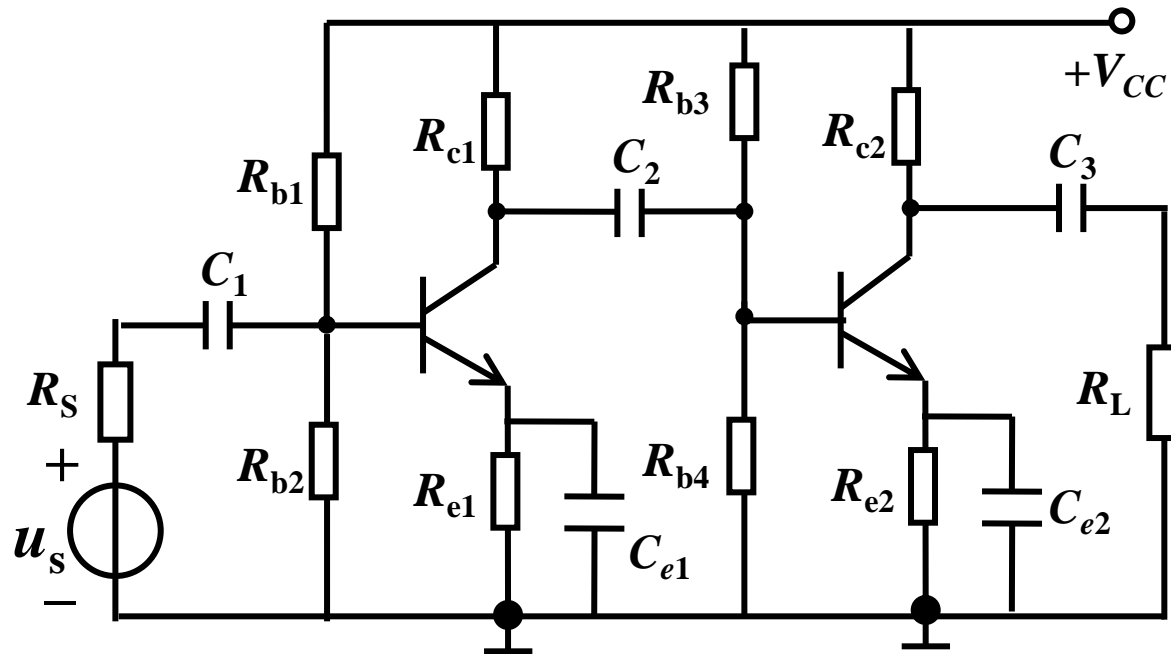


注意：读 r_i 和 r_o 时没有遇到受控源不能停，要一直读到遇到为止



作业1：复习多级电路的**四道例题**（包括静态分析和动态分析）；

作业2：对P187图5-96进行静态分析和动态分析；



估算法求两级Q点

求 A_u , A_{us} , r_i , r_o

只要求写出表达式，不需要计算

作业3：对实验六的理论题进行分析（需要计算，通过实验验证）

验证1：读 r_i 时如果发射极有电阻，需要考虑发射极电阻的折算。

验证2：共射接法的 $r_o = R_C$ ；共集接法的 r_o 需考虑基级电阻的折算。

验证3：读 r_i 和 r_o 时没有遇到受控源不能停，要一直读到遇到为止。

下 篇 模拟电路

第一章 常见半导体器件

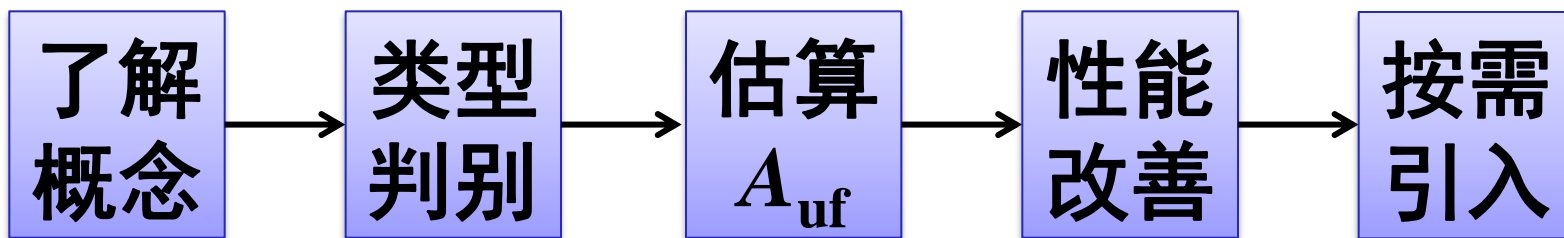
第二章 基本放大电路

第三章 负反馈放大电路

静态工作点不稳定
输出信号 u_o 不稳定
输入电阻 r_i 不够大
输出电阻 r_o 不够小
通频带 f_{BW} 不够宽

通过引入合适的负反馈
来改善放大电路的性能

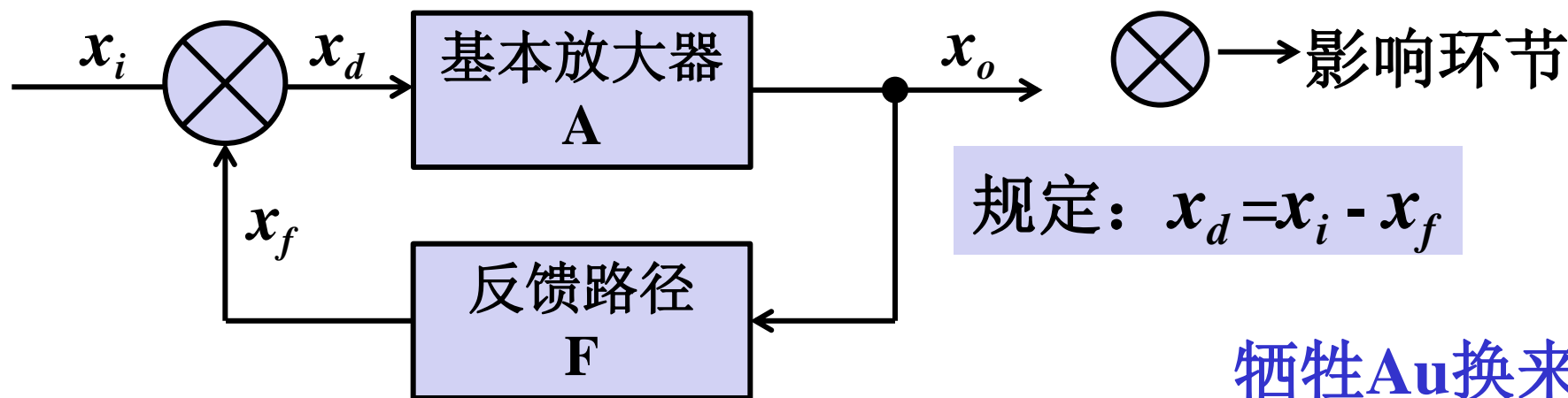
学习内容:



第三章 负反馈放大电路 电压or电流

一、反馈的概念 采集→返送→影响 统一用 x 表示信号

反馈：先**采集输出信号**（电压或电流）的一部分，再通过某些反馈元件**返送回**输入回路，去**影响输入信号**（电压或电流）的过程。



假设某瞬间 $x_i > 0$ ，问题： x_i 和 x_d 谁更大？ 牺牲 A_u 换来 其他性能改善

$x_f > 0 \rightarrow x_d$ 减小 \rightarrow 负反馈 \rightarrow 电压放大倍数 $|A_u|$ 下降 \rightarrow

$x_f < 0 \rightarrow x_d$ 增大 \rightarrow 正反馈 \rightarrow 电压放大倍数 $|A_u|$ 上升 不要求

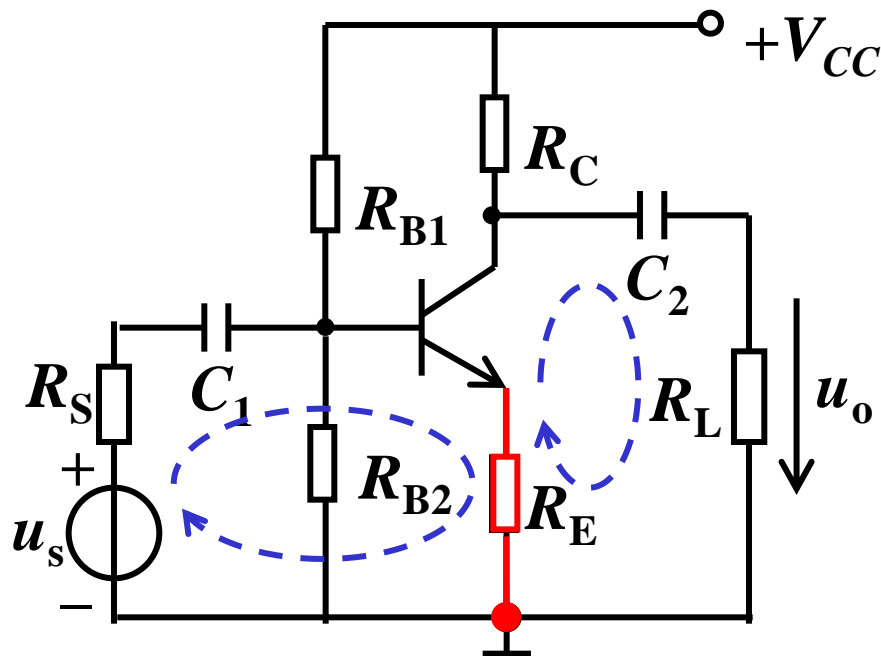
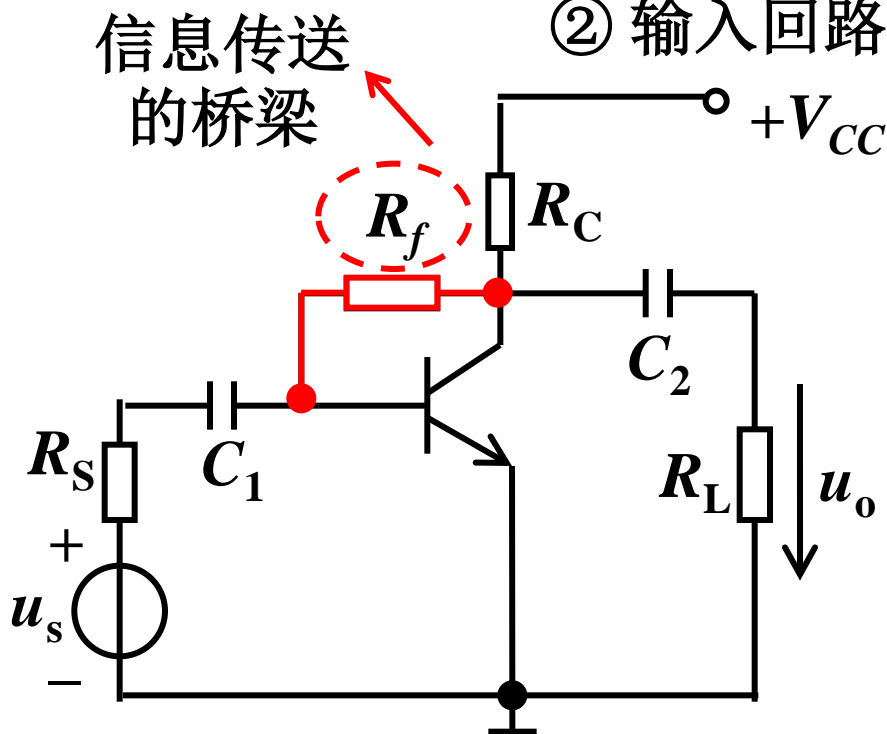
第三章 负反馈放大电路

二、反馈类型的判断 → 步骤1: 找到反馈元件

反馈：采集输出信号的一部分返送到输入端去影响输入信号

反馈元件必须既和输出回路有关，又和输入回路有关。

反馈元件的接法：① 一端接输出回路，一端接输入回路
② 输入回路和输出回路所共有的元件



步骤2：作四项判断

判断1：判断反馈元件与输出信号的关系

反馈：采集输出信号的一部分返送到输入端去影响输入信号

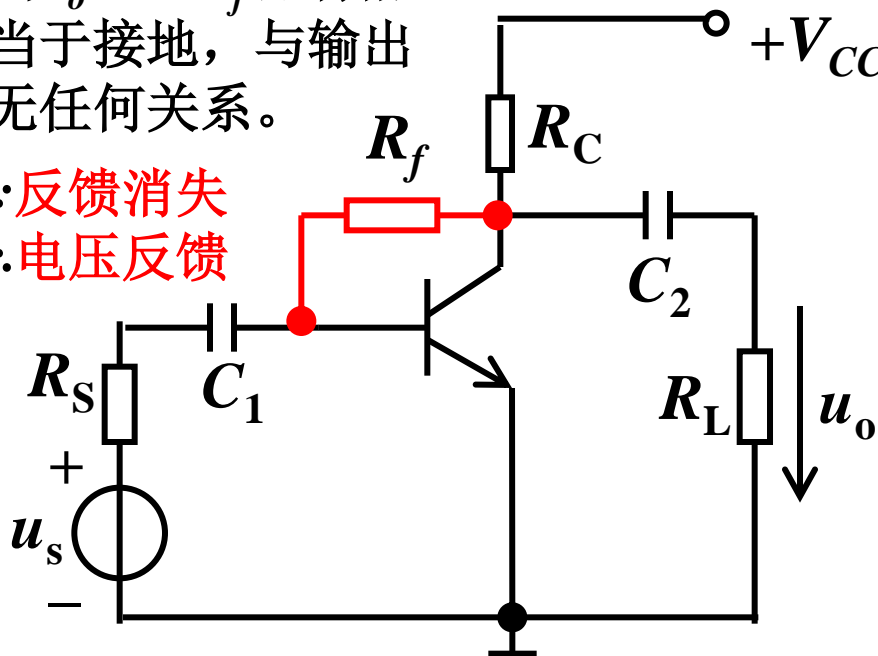
首先要判断反馈元件采集的是输出端的电压信号还是电流信号？

方法：看 R_f 和 u_o 的联接
—— R_f 接在同一极 → 采集电压(电位) → 电压反馈
—— R_f 接在不同极 → $i_C \approx i_E$ 采集电流 → 电流反馈

验证：假设输出端电压 $u_o = 0$ ，看反馈是否消失？

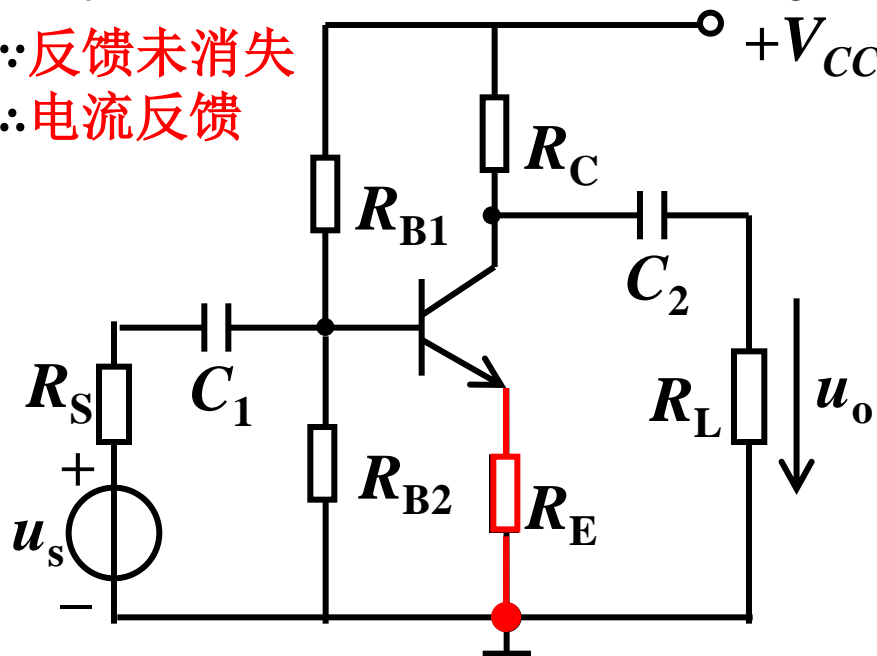
当 $u_o = 0$ ， R_f 右端相当于是接地，与输出无任何关系。

∴ 反馈消失
∴ 电压反馈



当 $u_o = 0$ ， R_E 仍能采集输出电流 ($i_C \approx i_E$)

∴ 反馈未消失
∴ 电流反馈



步骤2：作四项判断

判断1：判断反馈元件与输出信号的关系

判断2：判断反馈元件与输入信号的关系 \longrightarrow 造成信号的分压还是分流？

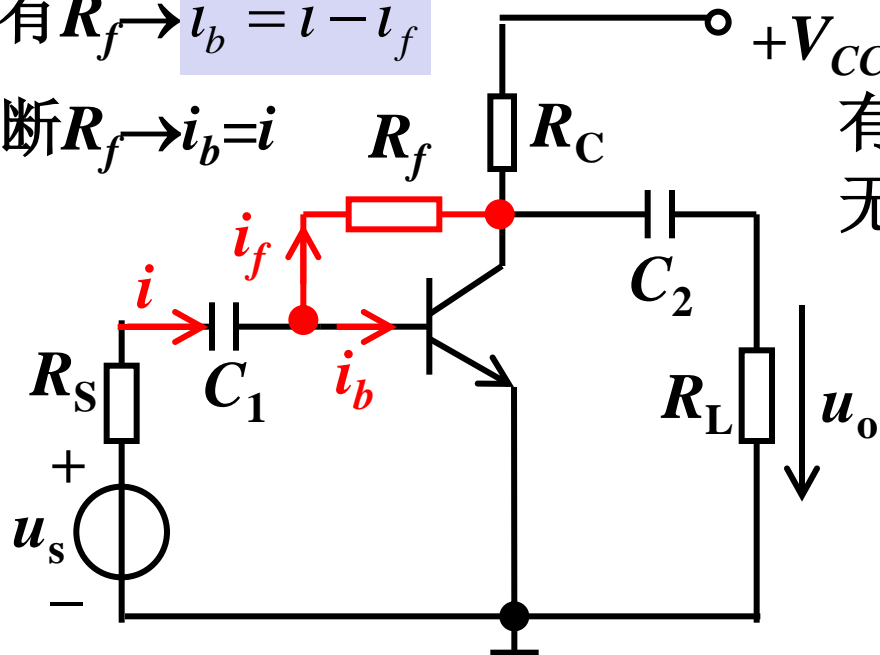
(R_f 接在基极)

方法：根据 R_f 和 u_i 和 R_f 接在 **同一极** \longrightarrow 信号 **分流** \longrightarrow **并联反馈**
 u_i 的联接 \searrow u_i 和 R_f 接在 **不同极** \longrightarrow 信号 **分压** \longrightarrow **串联反馈**

判断3：判断是正反馈还是负反馈（净输入信号增大or减小？）

有 $R_f \rightarrow i_b = i - i_f$

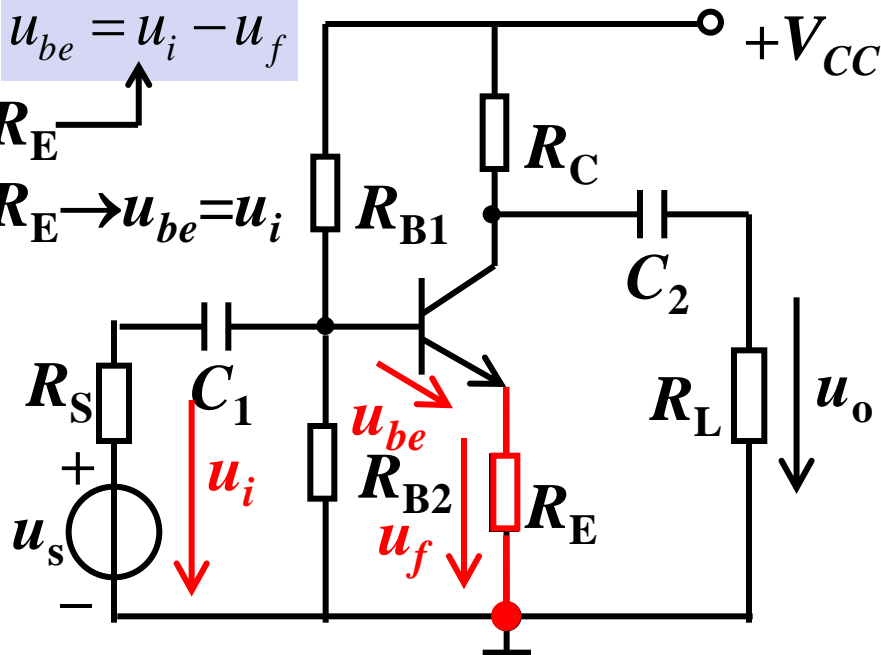
断 $R_f \rightarrow i_b = i$



$u_{be} = u_i - u_f$

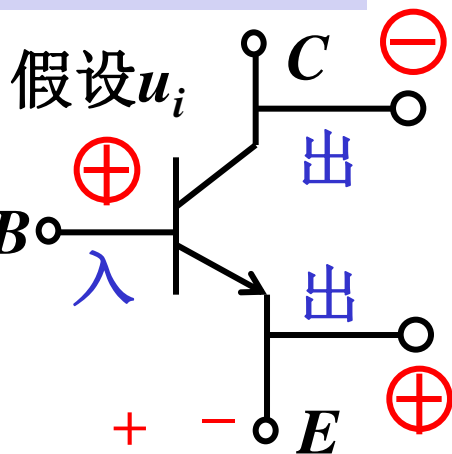
有 R_E

无 $R_E \rightarrow u_{be} = u_i$



瞬时极性法

对同一瞬间电路中各点的电位用 \oplus 或 \ominus 标识



$\oplus \rightarrow$ 在某个瞬间 $u > 0$ 或称 u 处于正半周期

$\ominus \rightarrow$ 在某个瞬间 $u < 0$ 或称 u 处于负半周期

共发射极接法

区别

共集电极接法

电压的反相放大

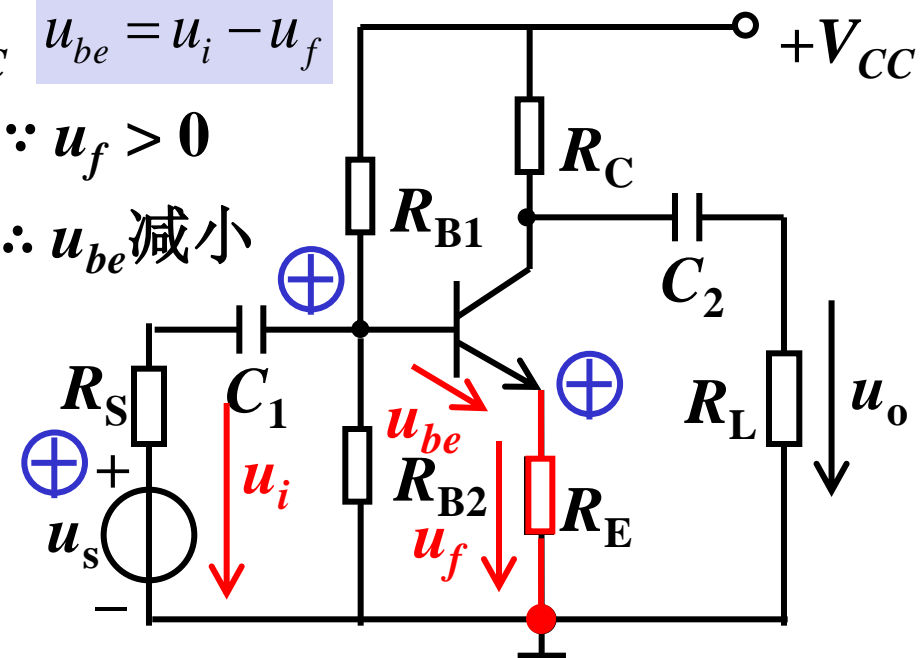
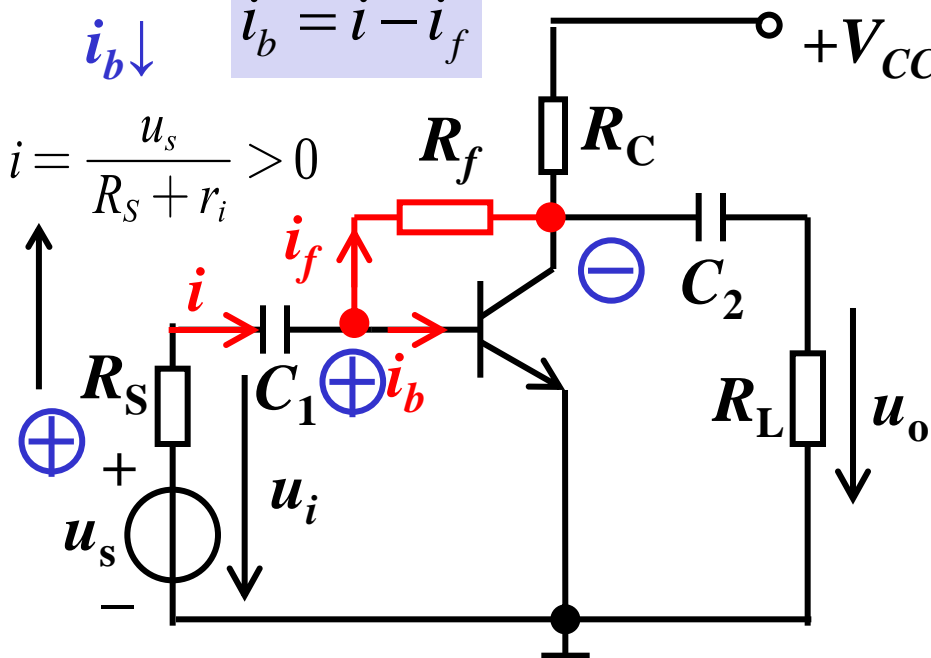
电压的同相跟随

电压并联负反馈

电流串联负反馈

$$i_f = \frac{u_i - u_o}{R_f} > 0$$

$$i_b = i - i_f$$



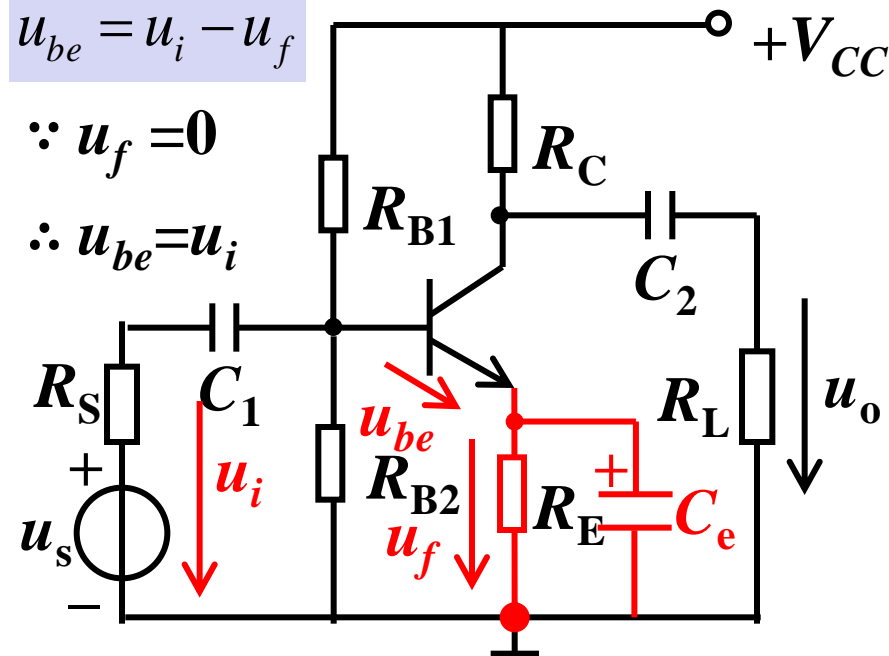
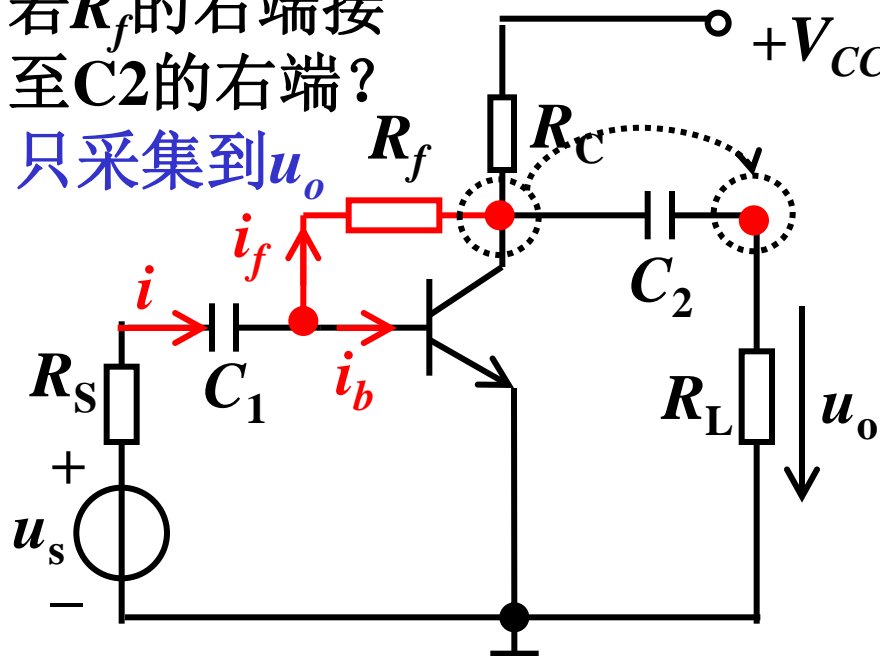
判断4：判断反馈对直流成分还是交流成分起作用

直流负反馈：只对直流成分起作用；
交流负反馈：只对交流成分起作用；
交直流负反馈：既对直流也对交流起作用；
反馈：采集输出信号的一部分返送到输入回路去影响输入信号

利用电容隔直通交的效果来进行区分

电压并联交流负反馈 缺一不可 电流串联直流负反馈

若 R_f 的右端接至 C_2 的右端？
只采集到 u_o



$$u_{be} = u_i - u_f$$

$$\because u_f = 0$$

$$\therefore u_{be} = u_i$$

例1：请判断该电路反馈类型

思考1：反馈元件是什么？

思考2：若 R_{E1} 不存在？

$u_{be} = u_i$ ，不受 u_o 影响

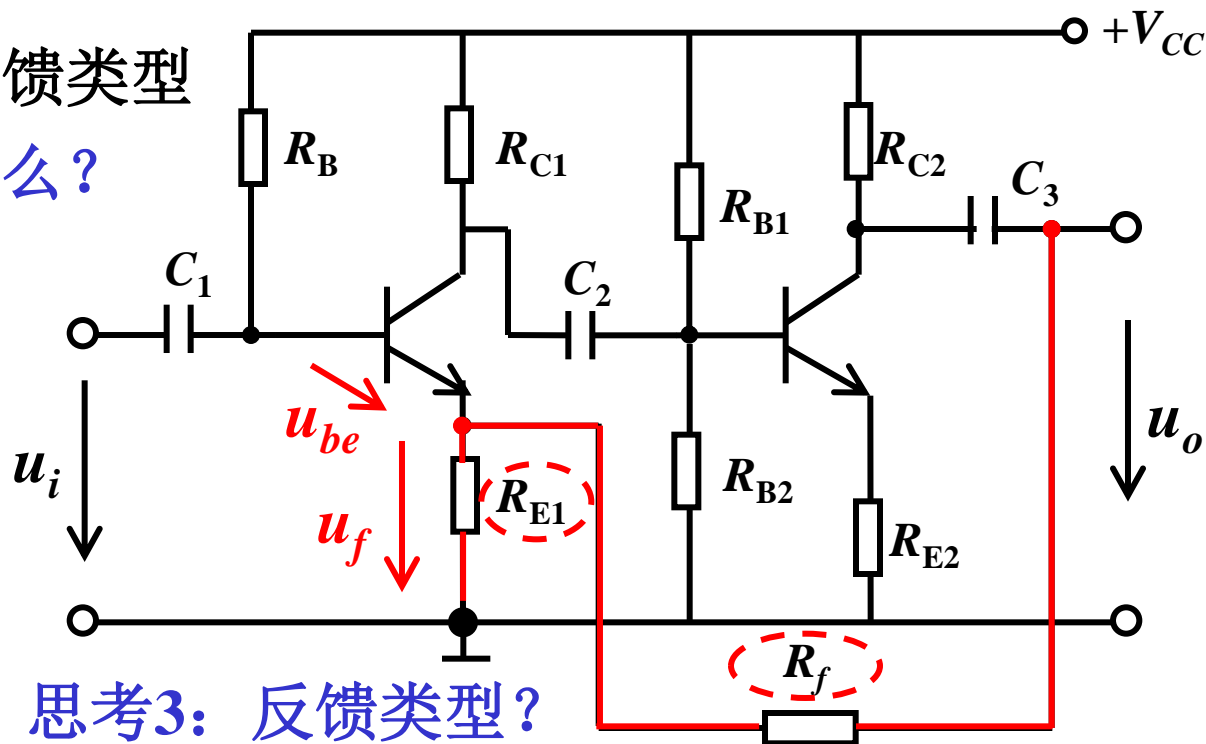
$$u_{be} = u_i - u_f$$

∴反馈元件： $R_f + R_{E1}$

$$u_f \neq u_{Rf}$$

$$u_f = u_{RE1}$$

思考3：反馈类型？



1、根据**输出量**的采集方式，判断是**电压**反馈或**电流**反馈

∵ u_o 和 R_f 接在同一极 ∴可采集电压(电位)，属于**电压**反馈

2、根据**输入量**是被分压或被分流，判断是**串联**反馈或**并联**反馈

∵ u_i 和 R_{E1} 接在不同极 ∴输入量是**被分压**，属于**串联**反馈

3、根据**净输入量**是变大还是变小，判断是**正**反馈或**负**反馈

反馈：采集输出信号的一部分**返送**到输入回路去**影响**输入信号

瞬时极性法 假设某瞬间 $u_i > 0$

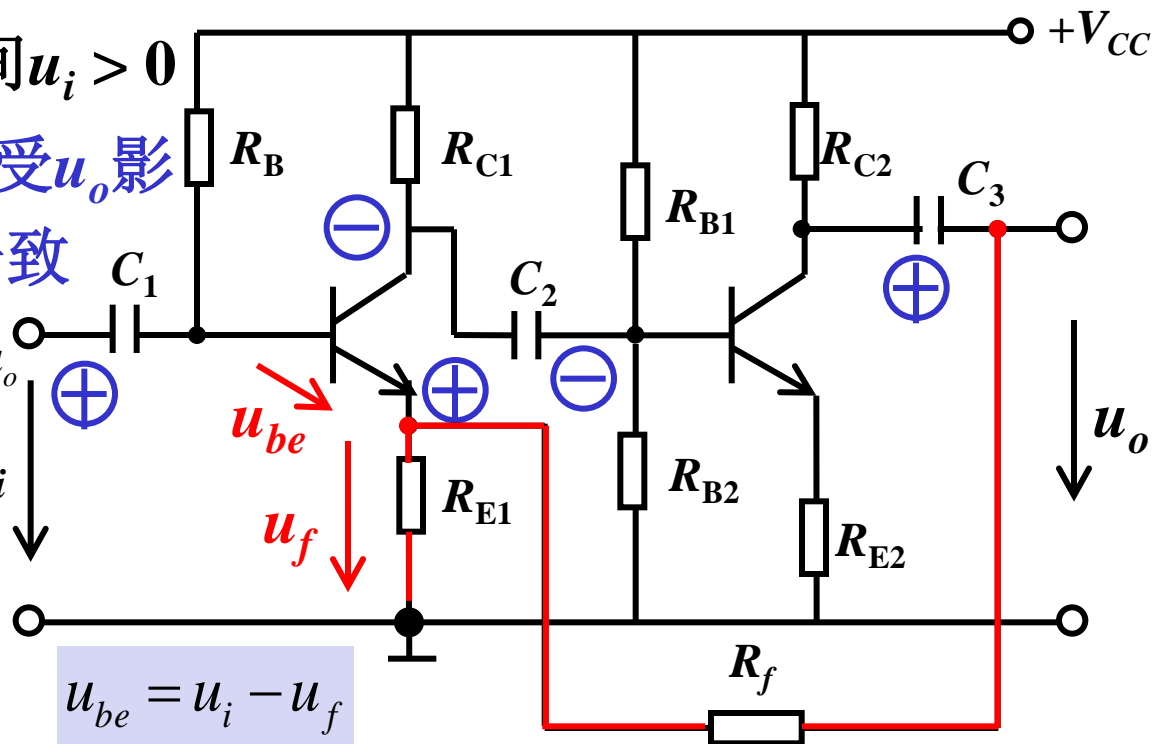
u_f 受 u_i 和 u_o 共同影响，但受 u_o 影响更大， u_f 极性应与 u_o 一致

当 $u_o \gg u_i$ 时 $\rightarrow u_f \approx \frac{R_{E1}}{R_{E1} + R_f} u_o$

有 $R_{E1} \rightarrow u_{be}$ 减小($u_f > 0$)

\therefore 返送的仅有交流电压

\therefore **电压串联交流负反馈**



$$u_{be} = u_i - u_f$$

1、根据**输出量**的采集方式，判断是**电压**反馈或**电流**反馈

$\therefore u_o$ 和 R_f 接在同一极 \therefore 可采集电压(电位)，属于**电压**反馈

2、根据**输入量**是被分压或被分流，判断是**串联**反馈或**并联**反馈

$\therefore u_i$ 和 R_{E1} 接在不同极 \therefore 输入量是**被分压**，属于**串联**反馈

3、根据**净输入量**是变大还是变小，判断是**正**反馈或**负**反馈

4、根据**反馈**对何种信号起作用，判断是**直流**反馈或**交流**反馈

例2：思考：反馈元件是什么？

反馈元件： R_f 、 R_{E1} 和 R_{E2}

若 R_{E2} 不存在，反馈不存在

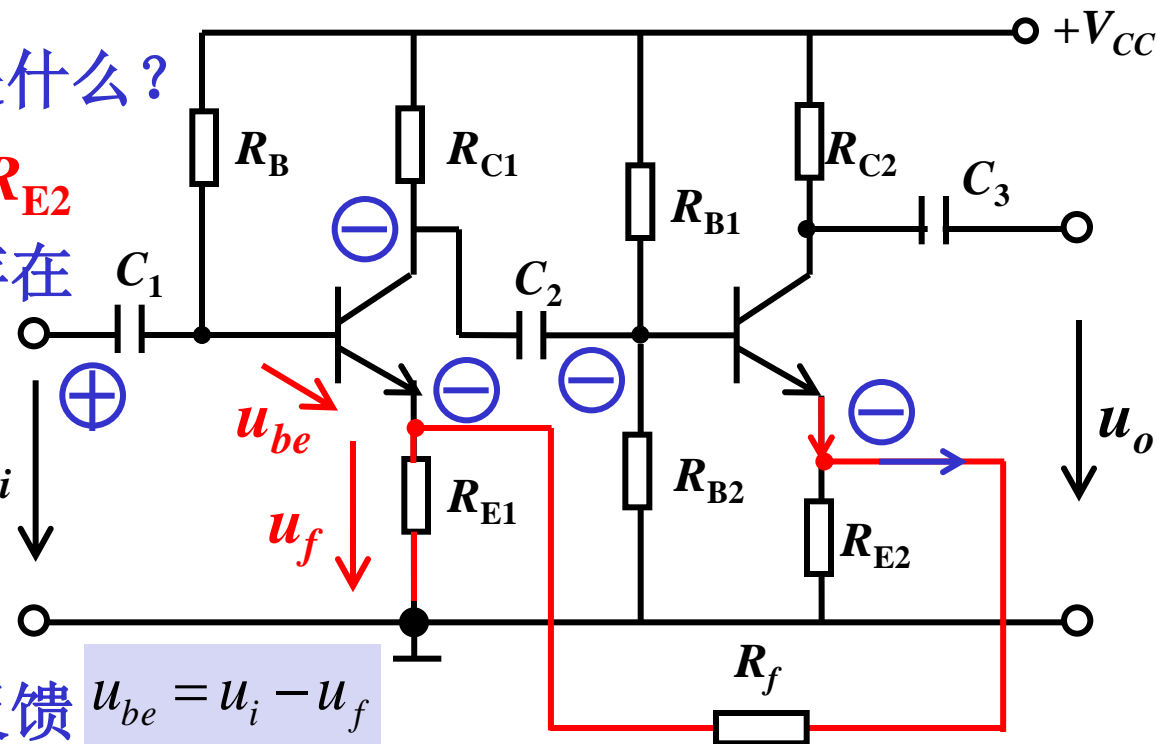
首先假设某瞬间 $u_i > 0$

有 $R_{E1} \rightarrow u_{be}$ 增大($u_f < 0$)

\therefore 反馈不经过电容

\therefore 电流串联交直流正反馈

$$u_{be} = u_i - u_f$$



1、根据输出量的采集方式，判断是电压反馈或电流反馈

$\therefore u_o$ 和 R_f 接在不同极 \therefore 只能利用 $i_C \approx i_E$ 采集电流，属于电流反馈

2、根据输入量是被分压或被分流，判断是串联反馈或并联反馈

$\therefore u_i$ 和 R_{E1} 接在不同极 \therefore 输入量是被分压，属于串联反馈

3、根据净输入量是变大还是变小，判断是正反馈或负反馈

4、根据反馈对何种信号起作用，判断是直流反馈或交流反馈

例3：反馈元件： R_f 和 R_{E2}

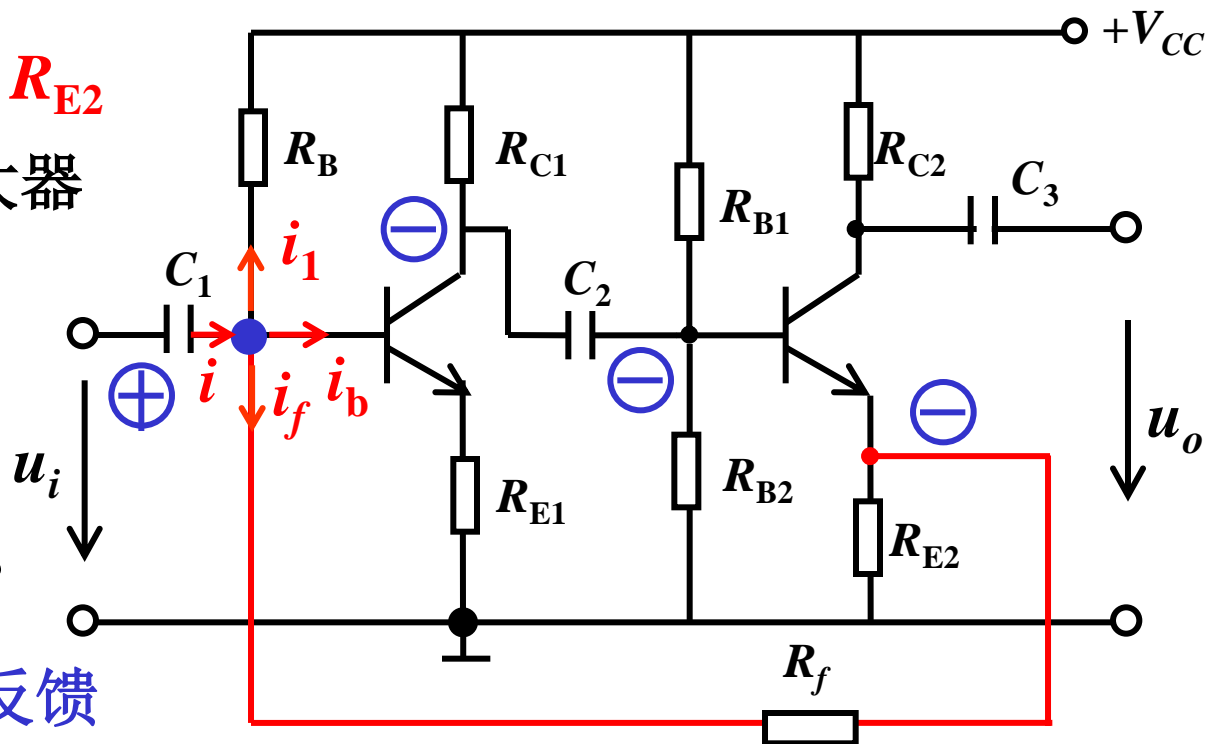
其余元件属于基本放大器

$$i_b = i - i_1 - i_f \quad i > 0$$

首先假设某瞬间 $u_i > 0$

$$i_f = \frac{u_i - u_{e2}}{R_f} > 0 \rightarrow i_b \text{减小}$$

∴ 电流并联交直流负反馈



1、根据输出量的采集方式，判断是电压反馈或电流反馈

∵ u_o 和 R_f 接在不同极 ∴只能利用 $i_C \approx i_E$ 采集电流，属于电流反馈

2、根据输入量是被分压或被分流，判断是串联反馈或并联反馈

∵ u_i 和 R_f 接在同一极 ∴输入量是被分流，属于并联反馈

3、根据净输入量是变大还是变小，判断是正反馈或负反馈

4、根据反馈对何种信号起作用，判断是直流反馈或交流反馈

例4： 反馈元件： R_f

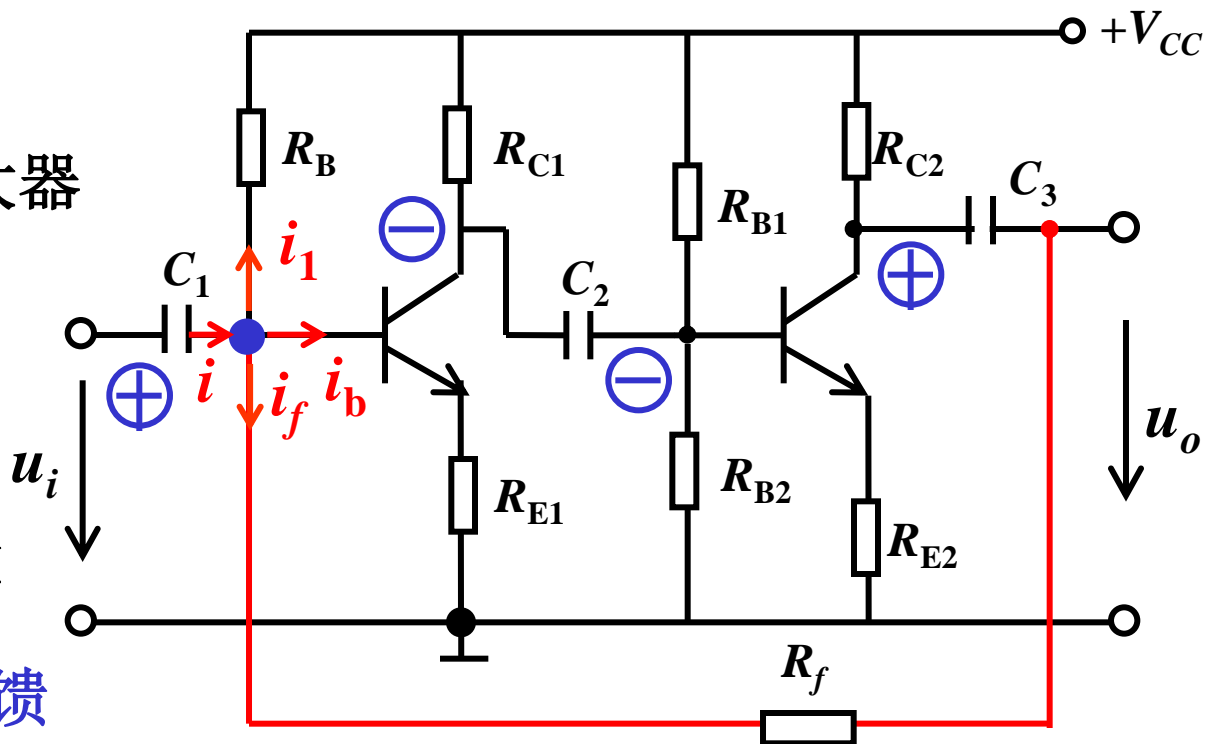
其余元件属于基本放大器

$$i_b = i - i_1 - i_f \quad i > 0$$

首先假设某瞬间 $u_i > 0$

$$i_f = \frac{u_i - u_o}{R_f} < 0 \rightarrow i_b \text{ 增大}$$

∴ 电压并联交流正反馈



1、根据输出量的采集方式，判断是电压反馈或电流反馈

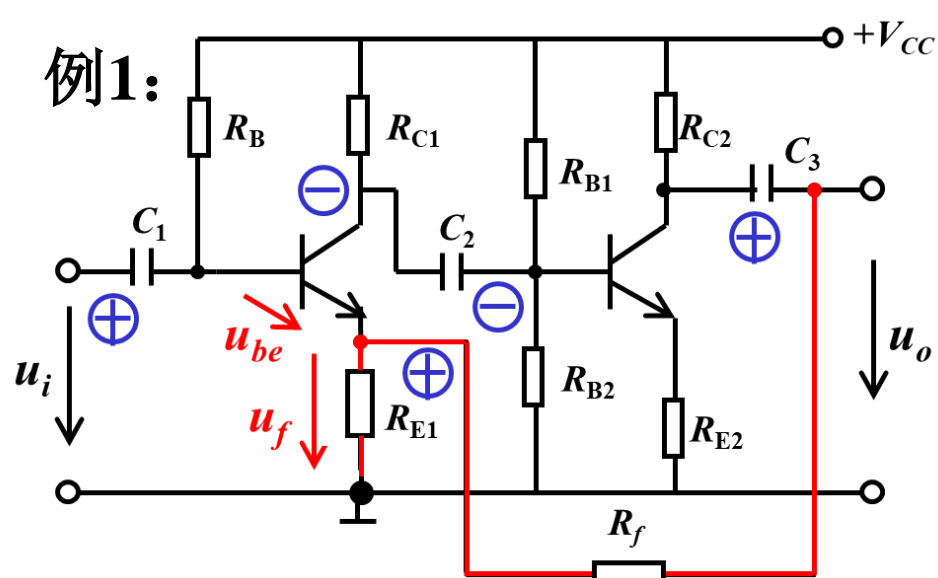
∵ u_o 和 R_f 接在同一极 ∴ 可采集电压，属于电压反馈

2、根据输入量是被分压或被分流，判断是串联反馈或并联反馈

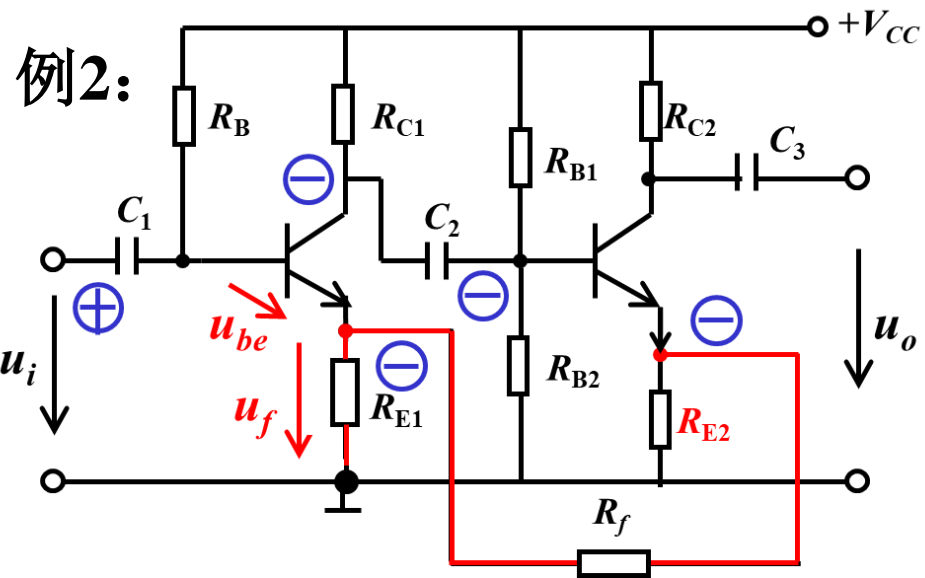
∵ u_i 和 R_f 接在同一极 ∴ 输入量是被分流，属于并联反馈

3、根据净输入量是变大还是变小，判断是正反馈或负反馈

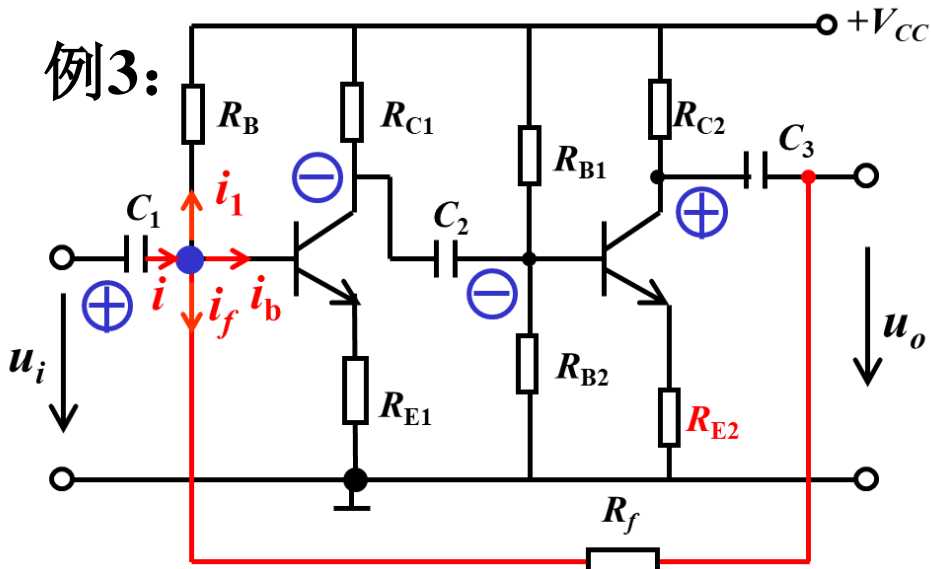
4、根据反馈对何种信号起作用，判断是直流反馈或交流反馈



$$u_{be} = u_i - u_f$$

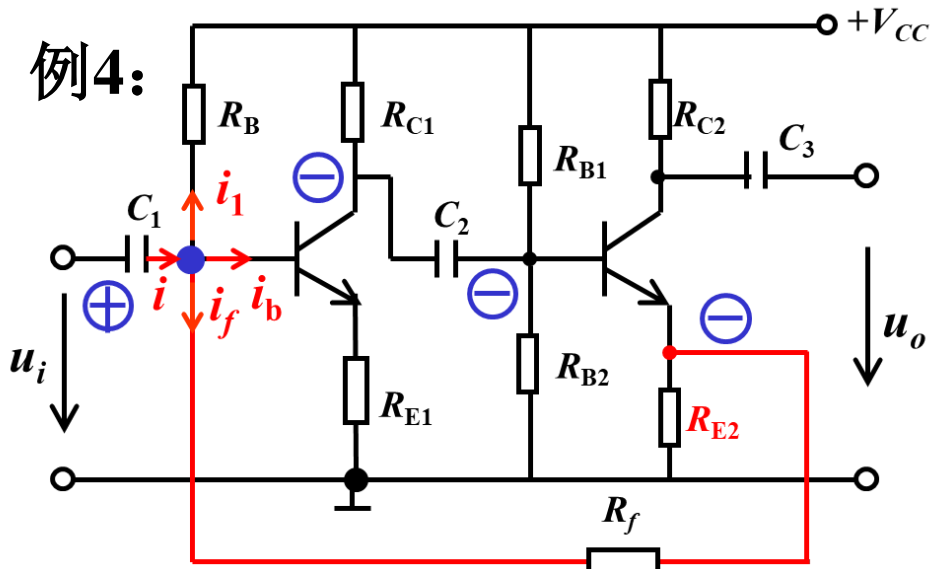


电流串联 正反馈



$$i_b = i - i_1 - i_f$$

$$i_f = \frac{u_i - u_o}{R_f}$$



电流并联 负反馈