

第4章 放大电路中的负反馈

4.1 反馈的基本概念及分类

* 4.2 负反馈放大电路的分类及判断方法

* 4.3 深度负反馈放大电路的分析

* 4.4 负反馈对放大电路性能的影响

4.5 负反馈放大电路的自激振荡

学习目标：

会判，会判断反馈的类型和极性,会定性分析其作用。

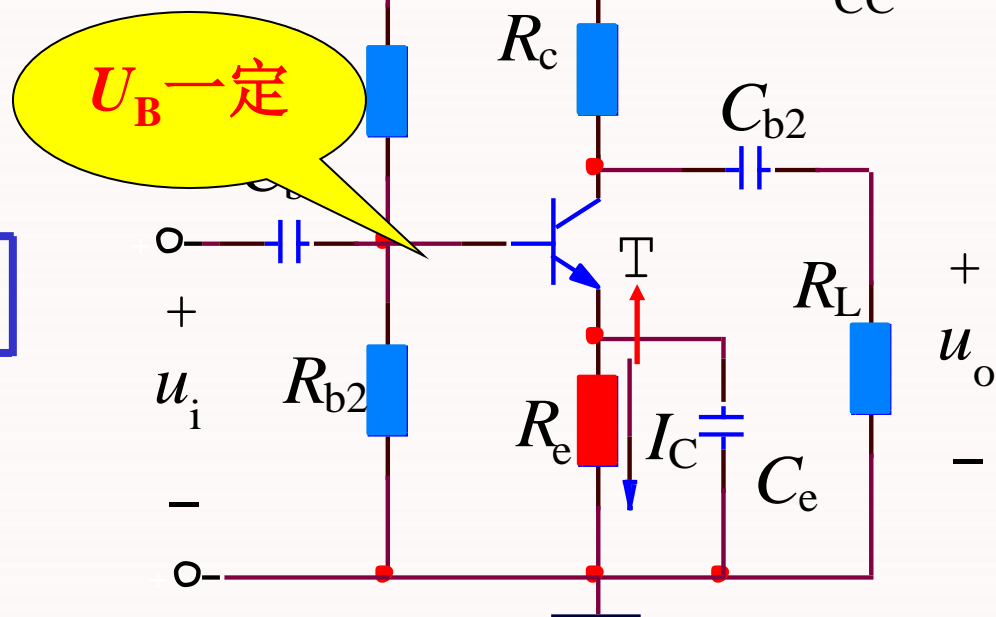
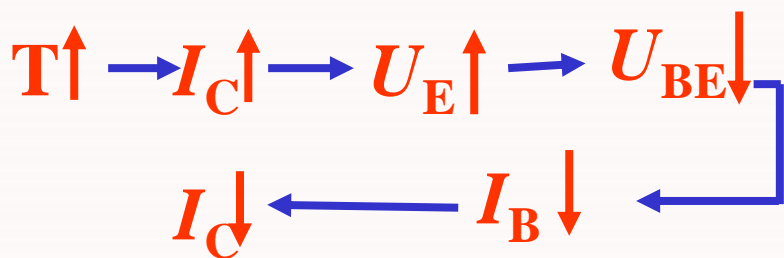
会引，会根据需要正确引入反馈。

会算，会估算深度负反馈放大电路的闭环增益。

4.1 反馈的基本概念及分类

一、从一个例子说起

稳定工作点电路：

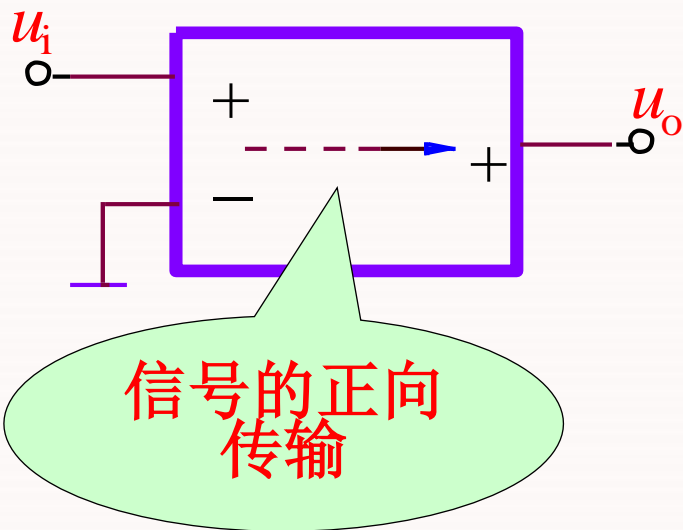


反馈——将电子系统输出回路的电量（电压或电流），以一定的方式送回到输入回路的过程。

二. 几个基本概念

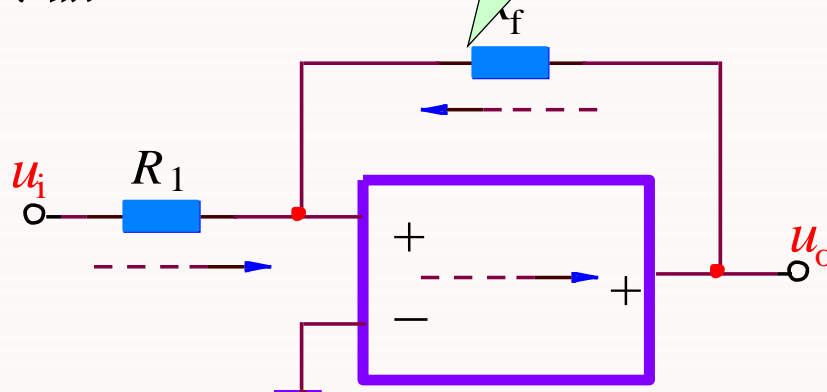
1. 开环与闭环

正向传输——信号从输入端到输出端的传输



电路中只有正向传输，没有反向传输，称为**开环状态**。

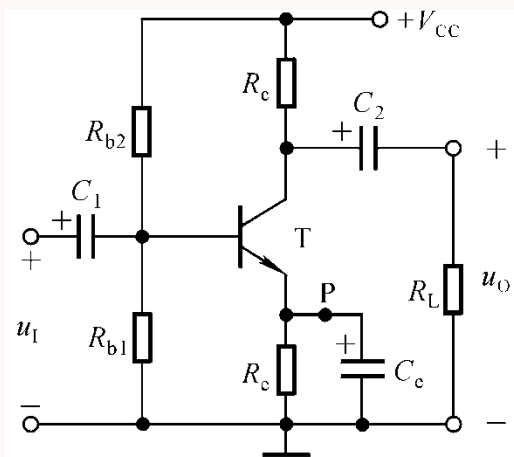
反向传输——信号从输出端到输入端的传输



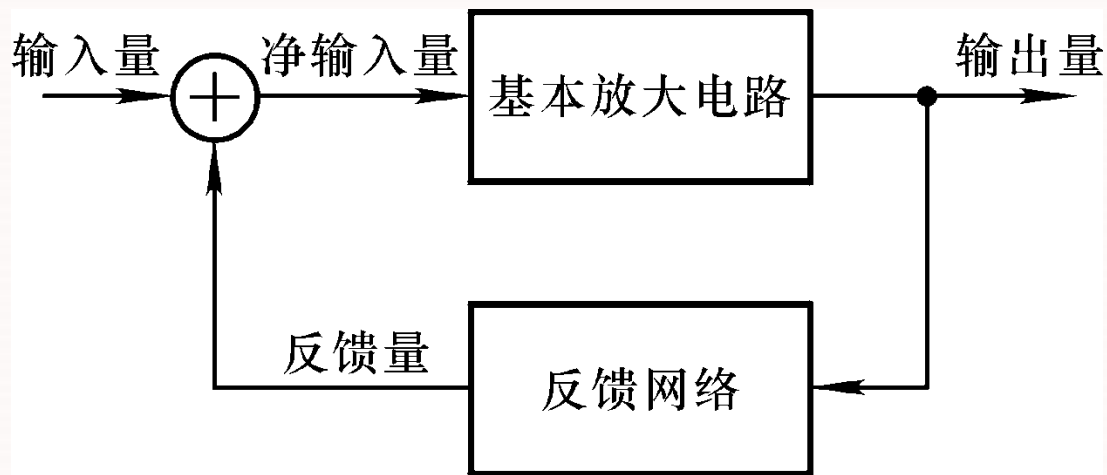
既有正向传输，又有反馈称为**闭环状态**。

第五章：放大电路中的反馈

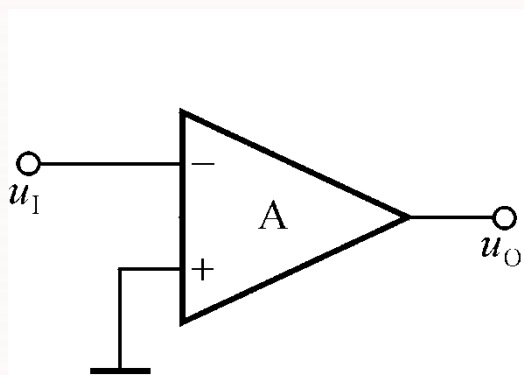
反馈框图：



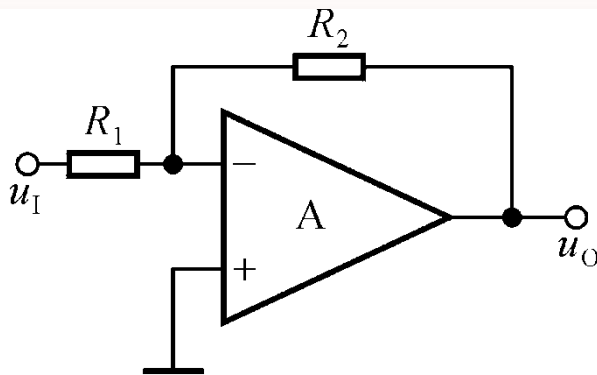
(b)



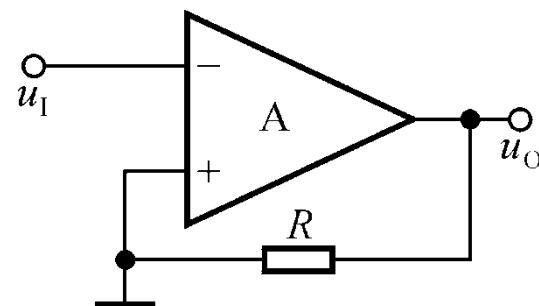
判断 有无反馈？



(a)



(b)



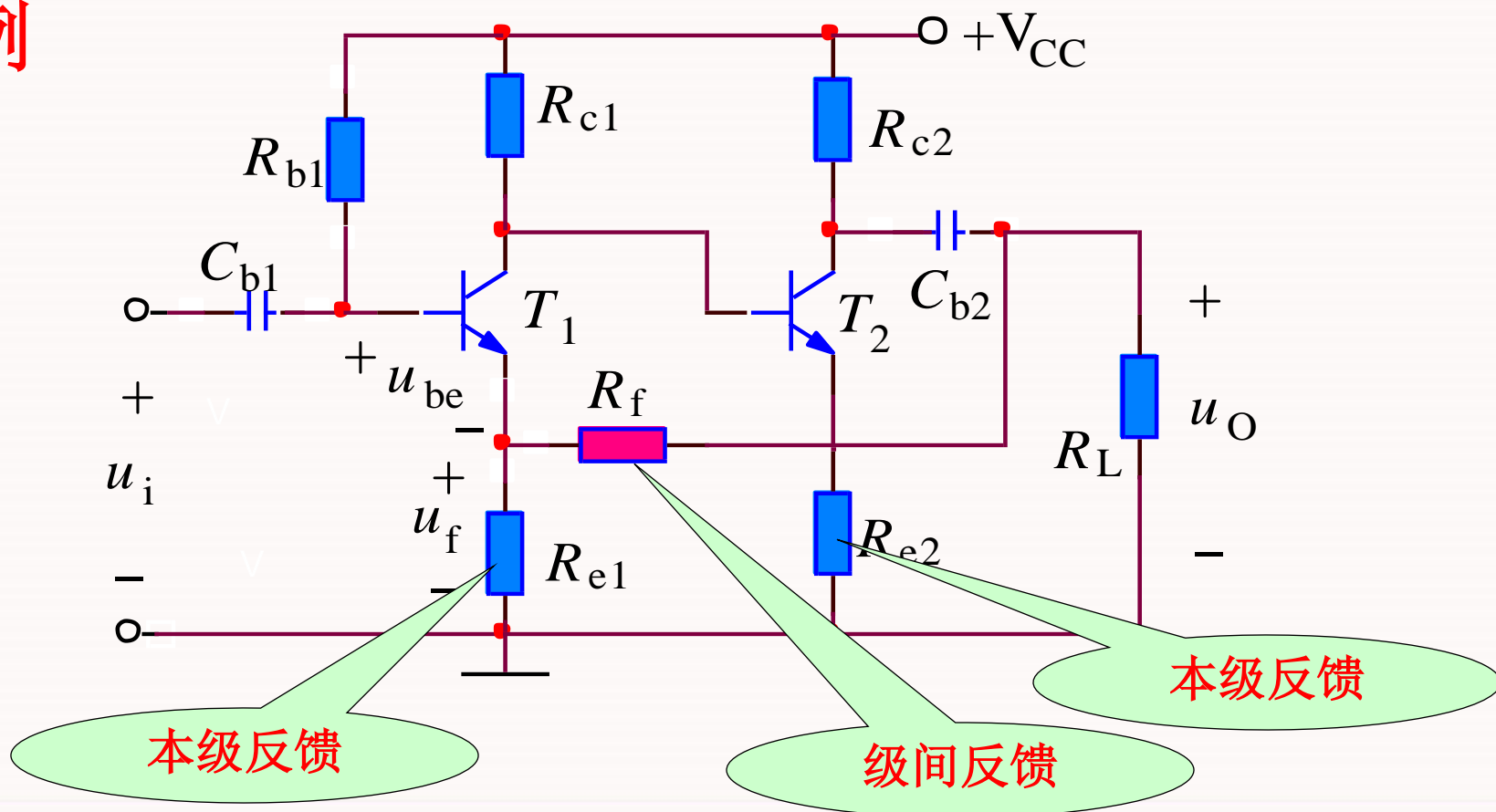
(c)

2. 本级反馈与级间反馈

本级反馈——反馈只存在于某一级放大器中

级间反馈——反馈存在于两级以上的放大器中

例



第五章：放大电路中的反馈

4.1.2 反馈的分类 一、正反馈和负反馈

负反馈——输入量不变时，引入反馈后使净输入量减小，放大倍数减小。

正反馈——输入量不变时，引入反馈后使净输入量增加，放大倍数增加。

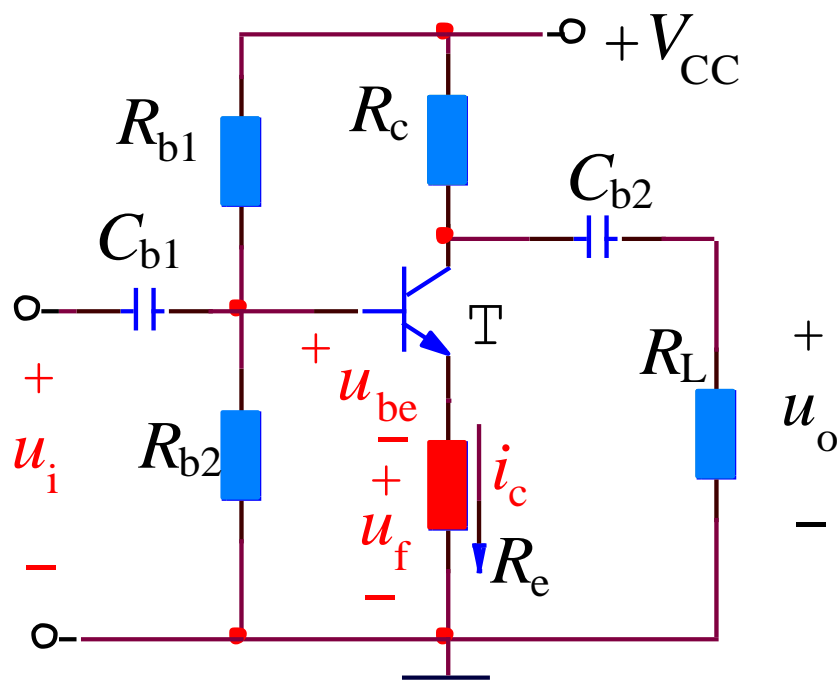
例：基本放大器，无反馈，净输入量 $u_{be}=u_i$ ，电压放大倍数为：

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

引入反馈后，净输入量 $u_{be}=u_i - u_f$ ，
电压放大倍数为：

$$A_u = \frac{-\beta R'_L}{r_{be} + (1 + \beta)R_e}$$

可见，净输入量减小，放大倍数减小，所以是负反馈。

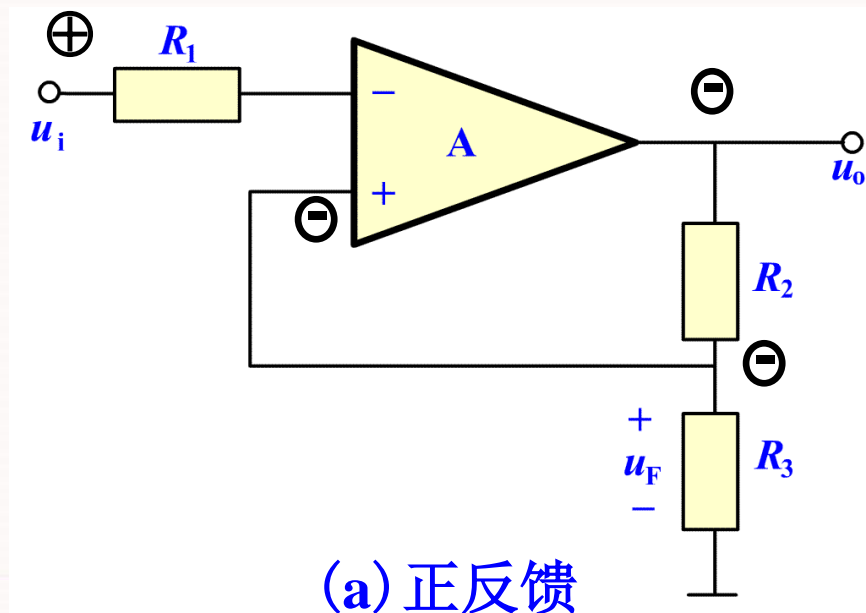
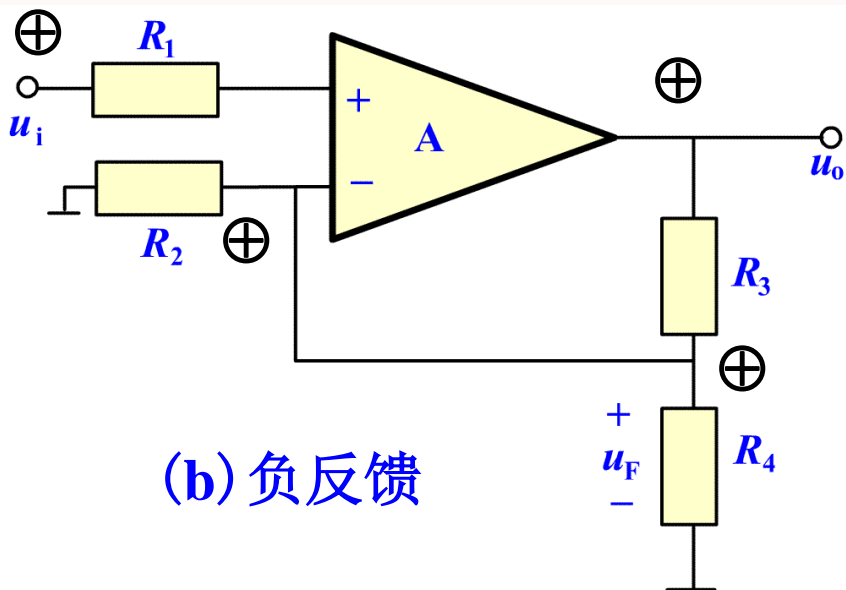


第五章：放大电路中的反馈

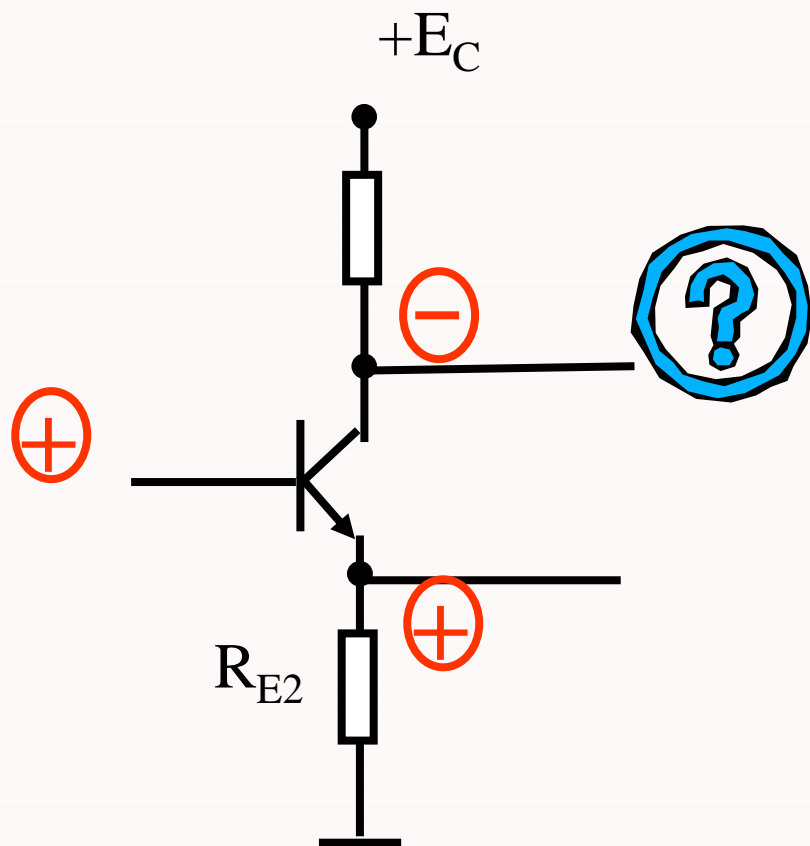
反馈极性的判断方法：**瞬时极性法**。

先假定某一瞬间输入信号的极性，然后按信号的放大过程，逐级推出输出信号的瞬时极性，最后根据反馈回输入端的信号对原输入信号的作用，判断出反馈的极性。

例：用瞬时极性法判断电路中的反馈极性。



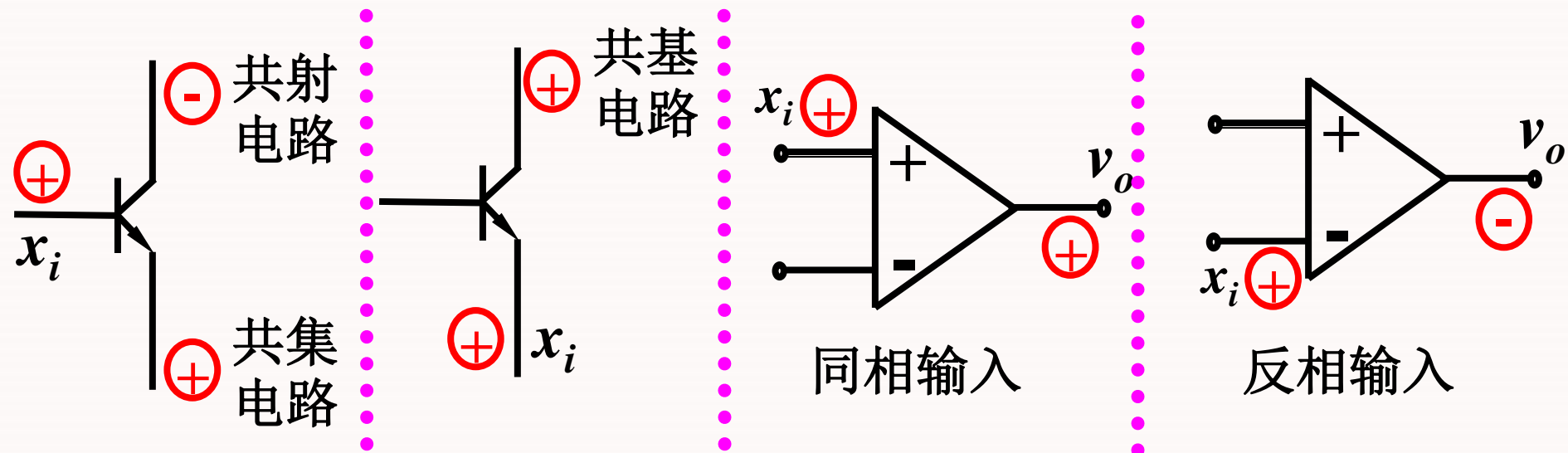
三极管B、C、E的极性关系：



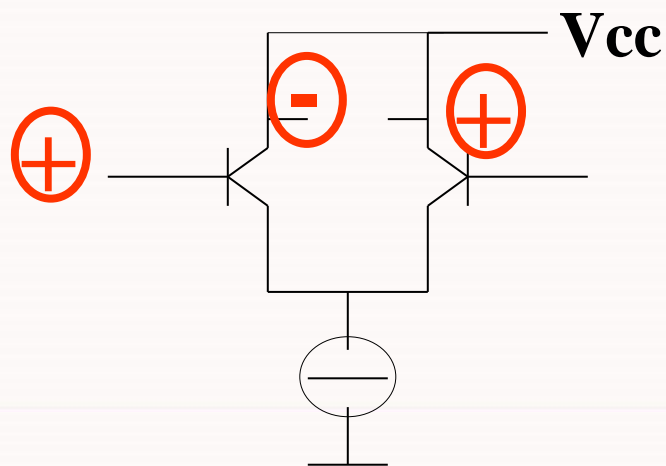
若为共基极放大，瞬时极性如何？

这里分析的是交流变化量，不要与直流信号混淆。

第五章：放大电路中的反馈

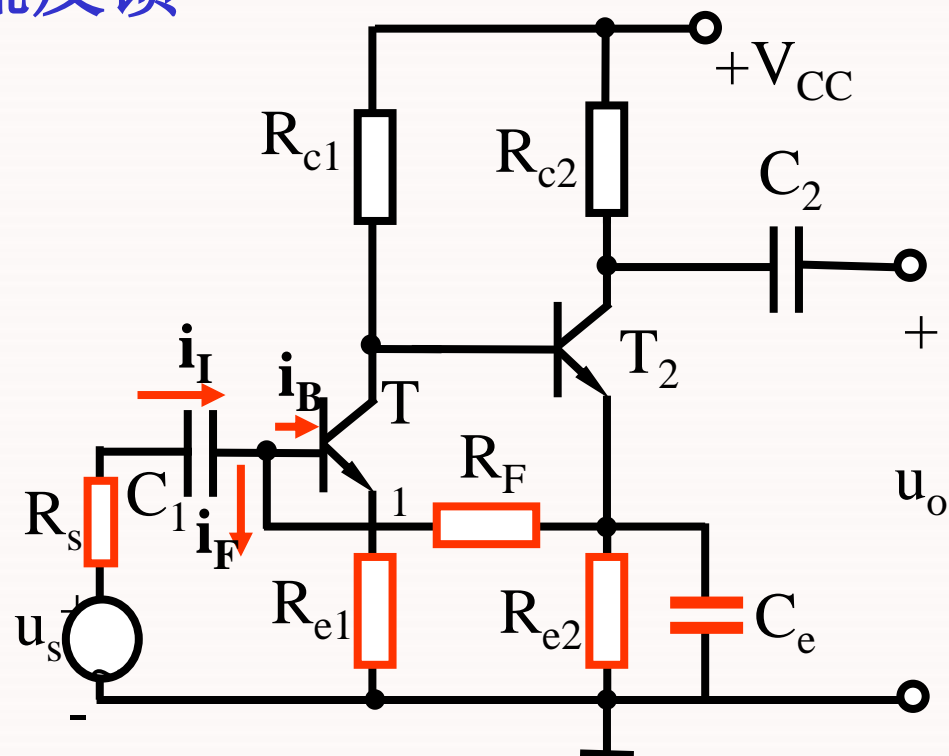
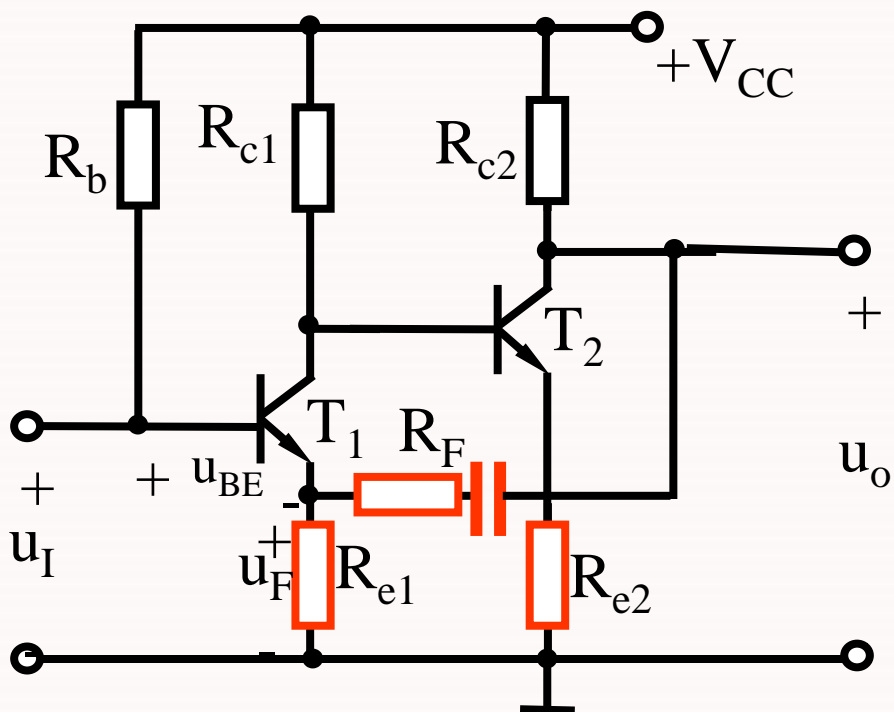


了解差动放大电路的相位关系



第五章 放大电路中的反馈

二、直流反馈和交流反馈



直流负反馈：反馈信号中只包含直流成分(直流通路)。

交流负反馈：反馈信号中只包含交流成分(交流通路)。

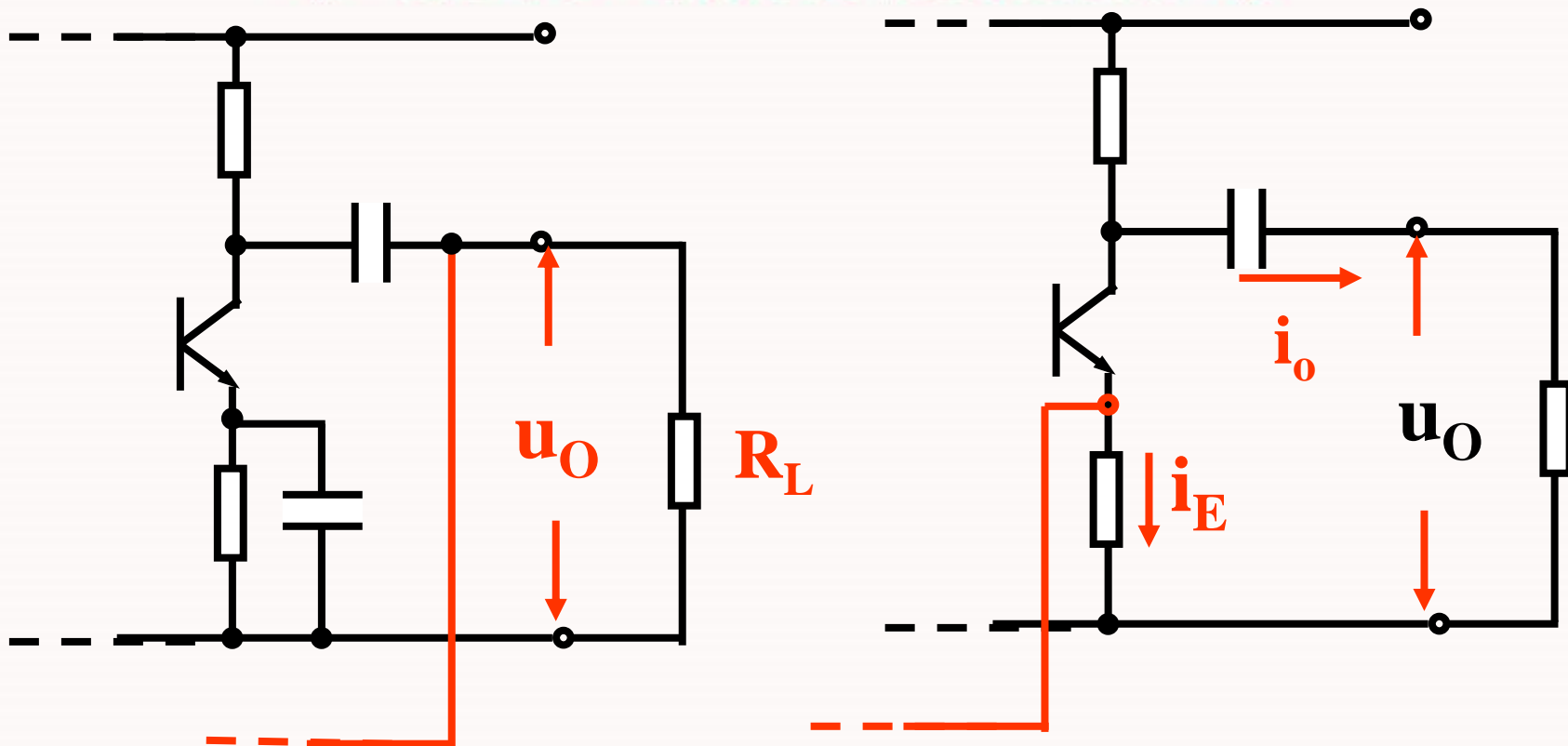
直流负反馈可稳定静态工作点，交流负反馈用以改善放大电路的性能。

三、电压反馈和电流反馈

如果反馈信号取自输出电压，则为**电压反馈**；电压负反馈的反馈信号与输出电压成比例；

反馈信号取自输出电流，则为**电流反馈**，电流负反馈的反馈信号与输出电流成比例。

第五章：放大电路中的反馈

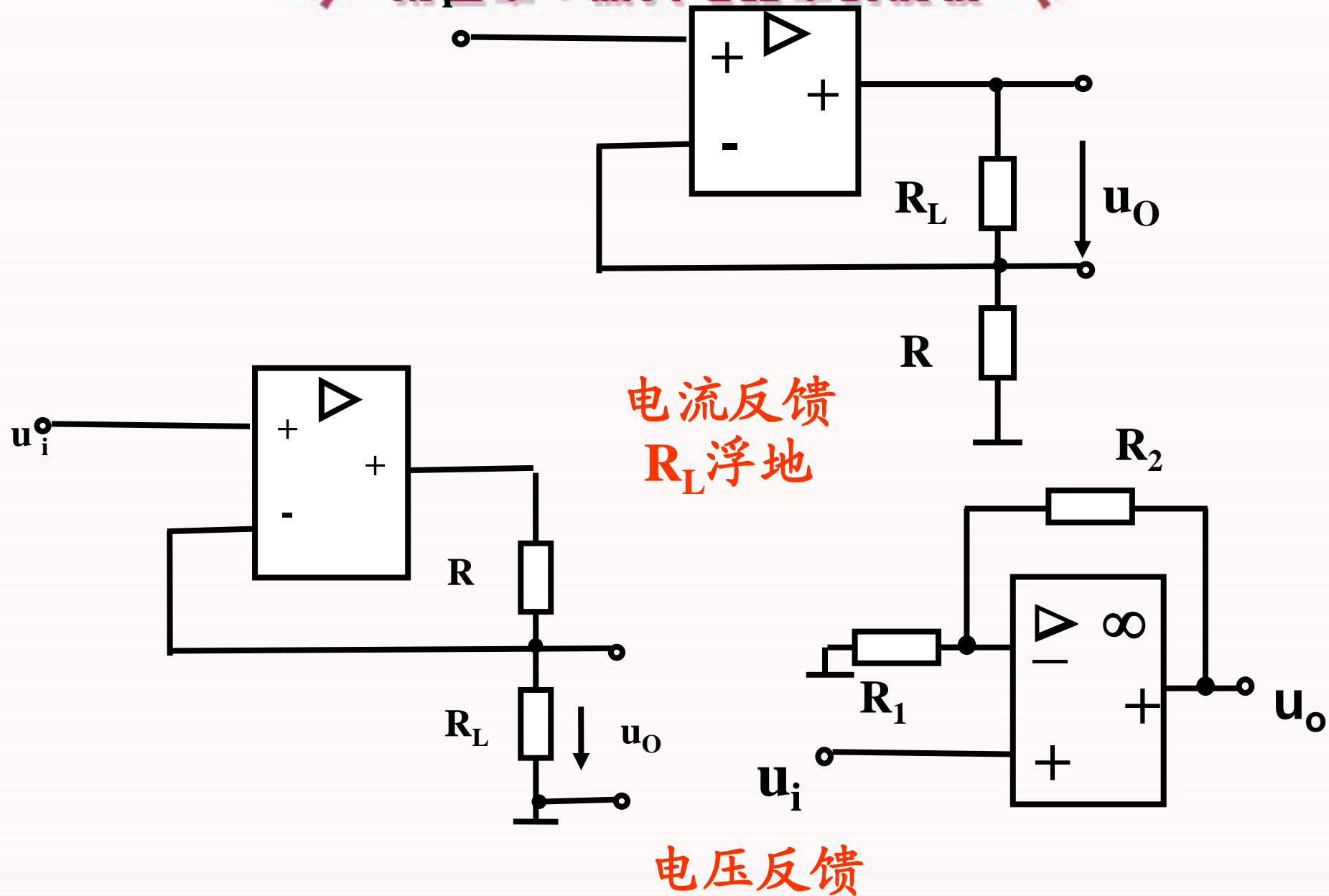


判断方法：输出短路法。

$u_0=0$ 反馈不存在，则为电压反馈。反之为电流反馈。

直观判断：输出端和反馈引回端在放大器不同端为电流反馈，相同为电压反馈。

第五章：放大电路中的反馈

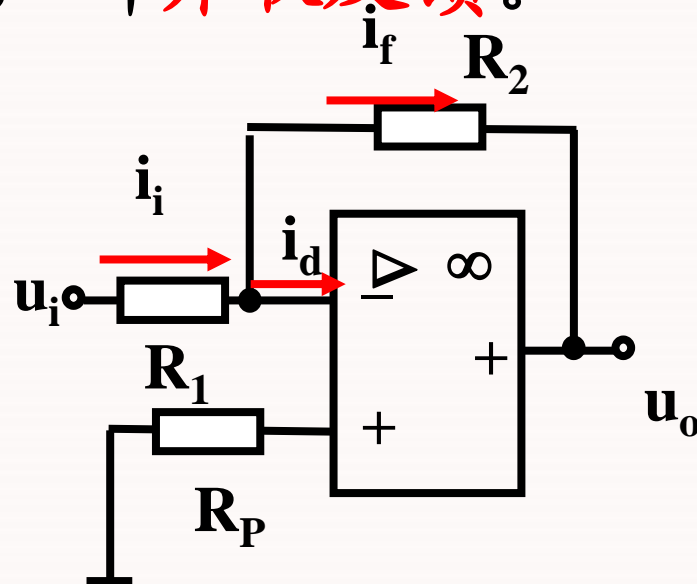
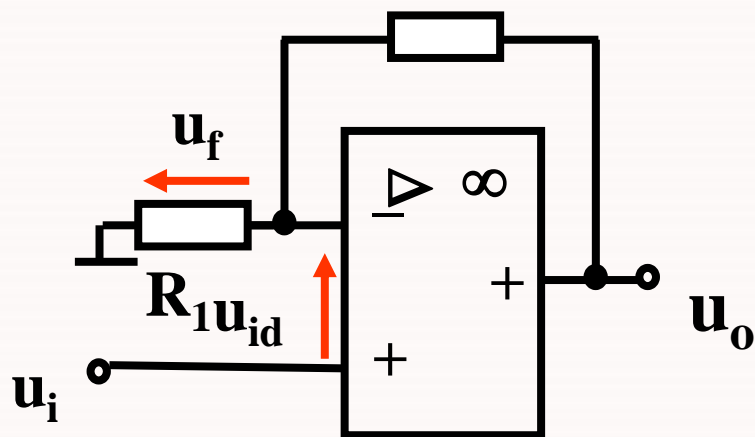


第五章：放大电路中的反馈

四、从输入端看,可分为串联反馈和并联反馈

反馈信号与输入信号以电压串联形式出现, 即 $u_{id}(u_{be}) = u_i - u_f$, 叫**串联反馈**。

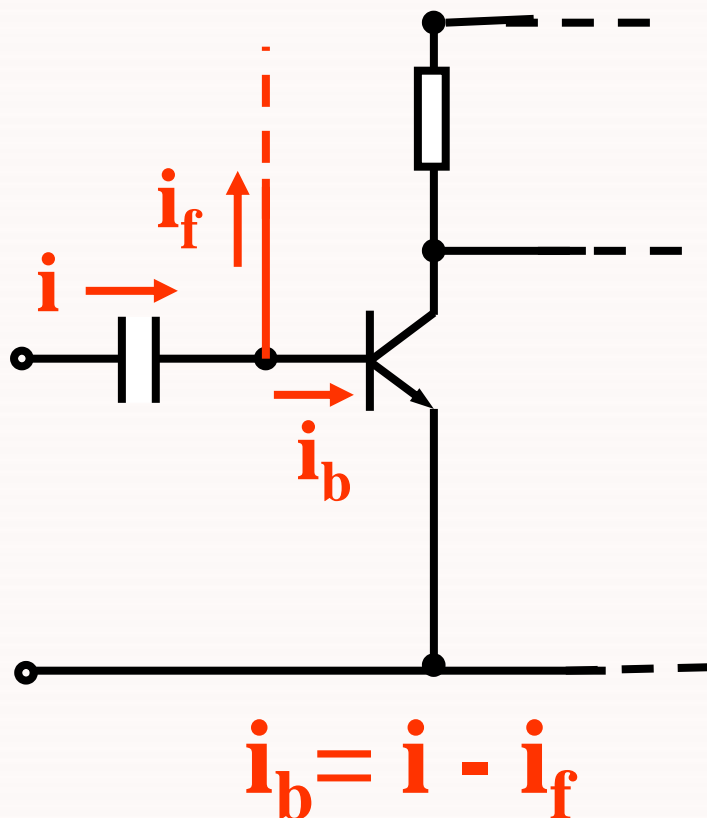
反馈信号与输入信号以电流并联形式出现, 即 $i_{id}(i_b) = i_i - i_f$, 叫**并联反馈**。



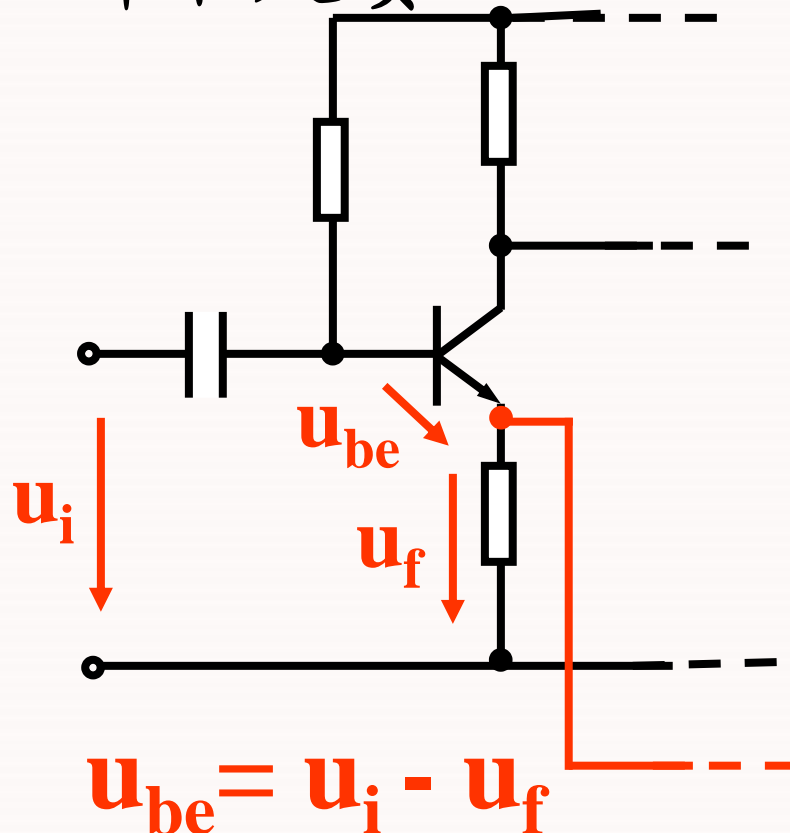
直观： 输入信号与反馈信号加在基本放大器的两不同输入端为串联反馈；加在相同输入端为并联反馈。

第五章：放大电路中的反馈

并联反馈

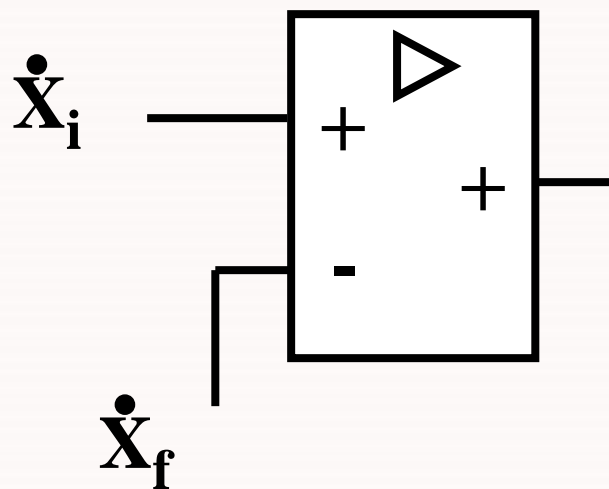
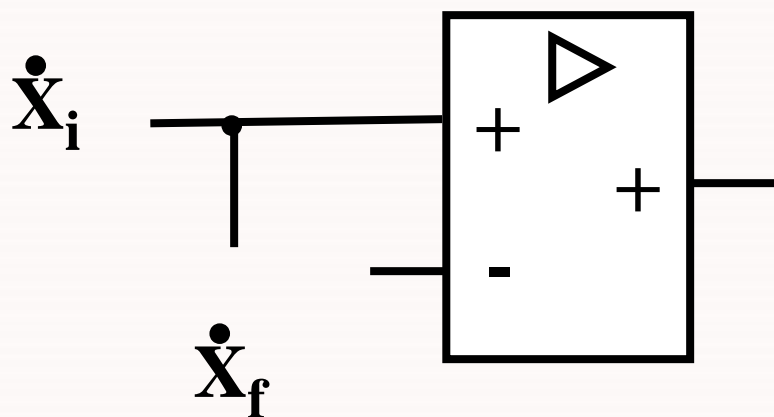
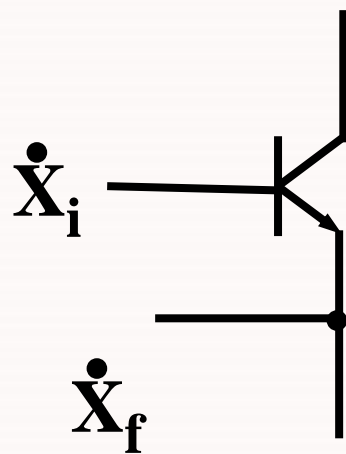
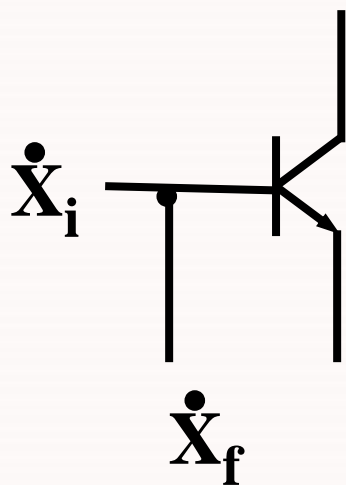


串联反馈



直观： 输入信号与反馈信号加在基本放大器的两不同输入端为串联反馈；加在相同输入端为并联反馈。

第五章：放大电路中的反馈



并联反馈

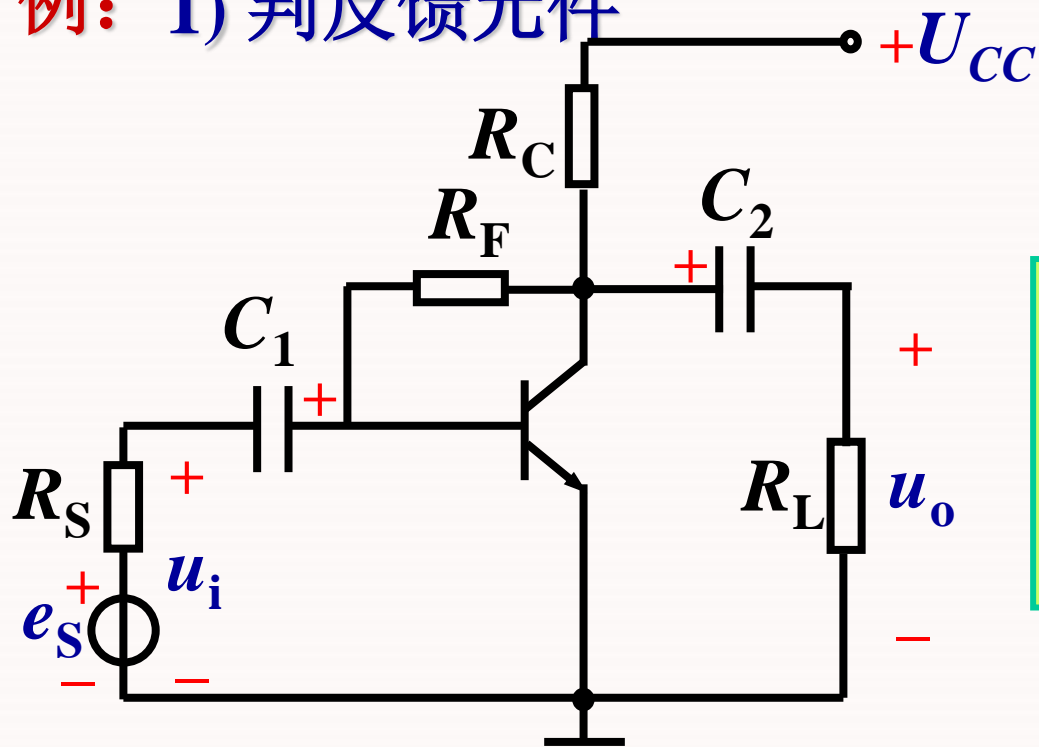
串联反馈

负反馈的分析方法

分析步骤：

- 1、根据信号流，找出反馈网络。
- 2、是交流反馈还是直流反馈？（注意电容）
- 3、是交流反馈，是何种类型的反馈？
根据输入确定串联或并联？确定反馈信号 u_f 或 i_f 。根据输出确定电压或电流反馈？
- 4、根据瞬时极性法判别反馈信号是
增强净输入信号——正反馈
削弱净输入信号——负反馈

例：1) 判反馈元件



电阻 R_F 连接在输入与输出之间，所以 R_F 是反馈元件。

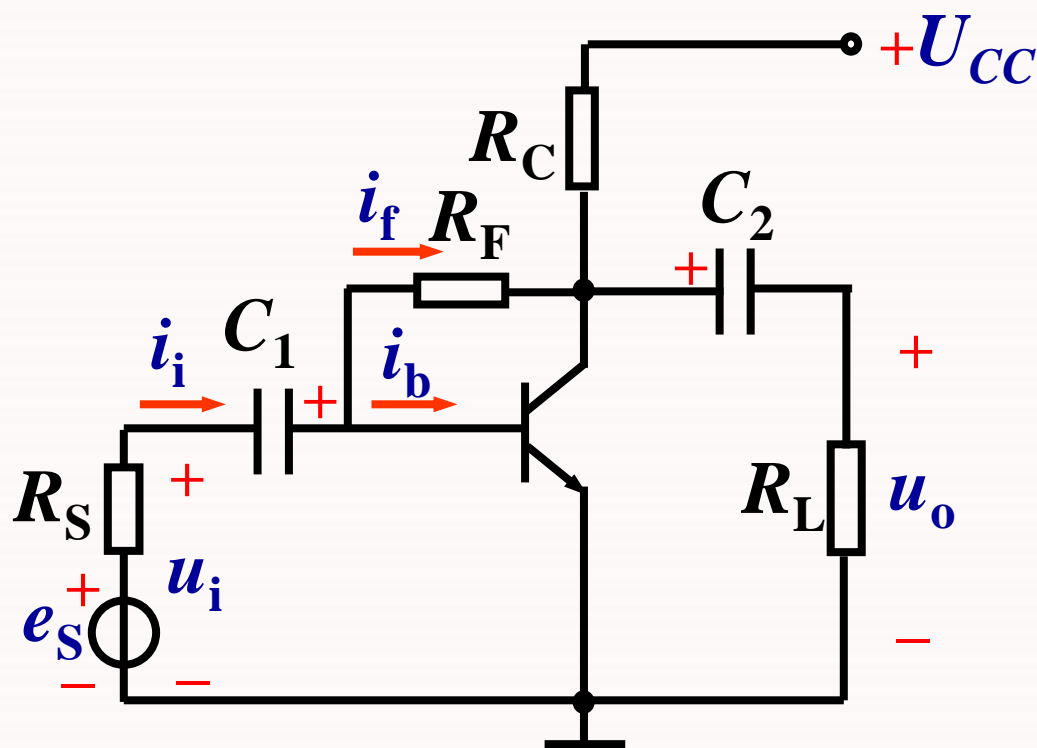
2) 判断是交流反馈还是直流反馈

交、直流分量的信号均可通过 R_F ，
所以 R_F 引入的是交、直流反馈。

第五章：放大电路中的反馈

3) 判断反馈类型

——并联电压负反馈



i_i 与 i_f 并联，
以电流形式比较

——并联反馈

净输入信号：

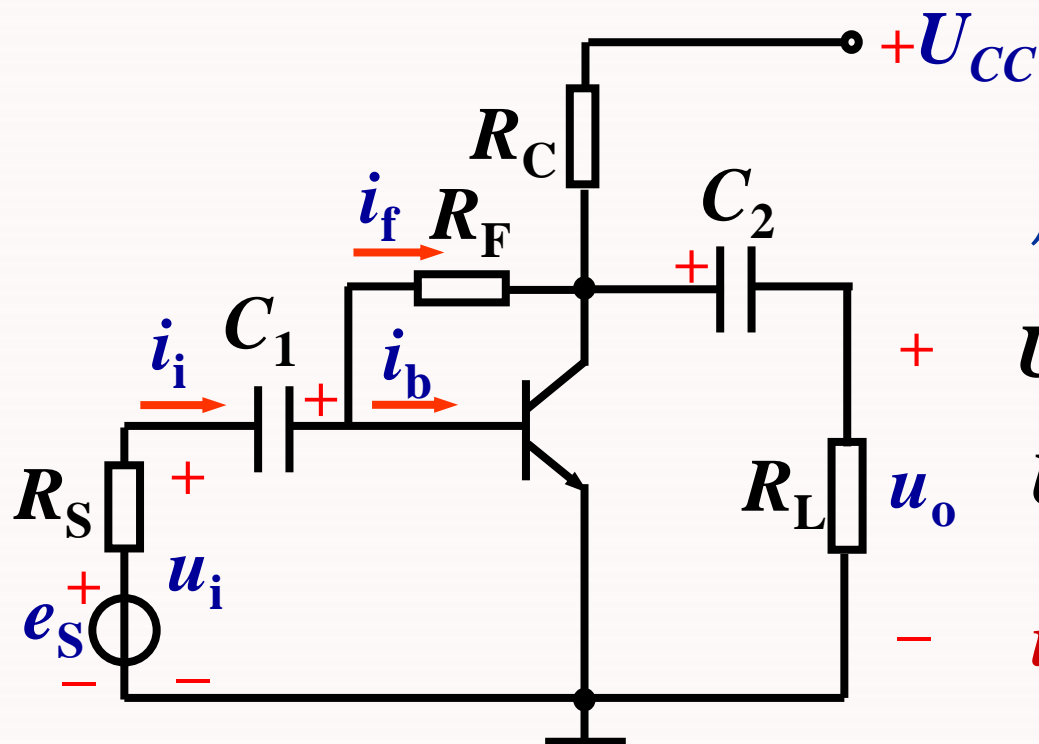
$$i_b = i_i - i_f$$

反馈电流 i_f 削弱了净输入电流

i_f 正比于输出电压——电压反馈

$$i_f = \frac{u_{be} - u_o}{R_F} \approx \frac{-u_o}{R_F}$$

反馈类型——并联电压负反馈



反馈过程：

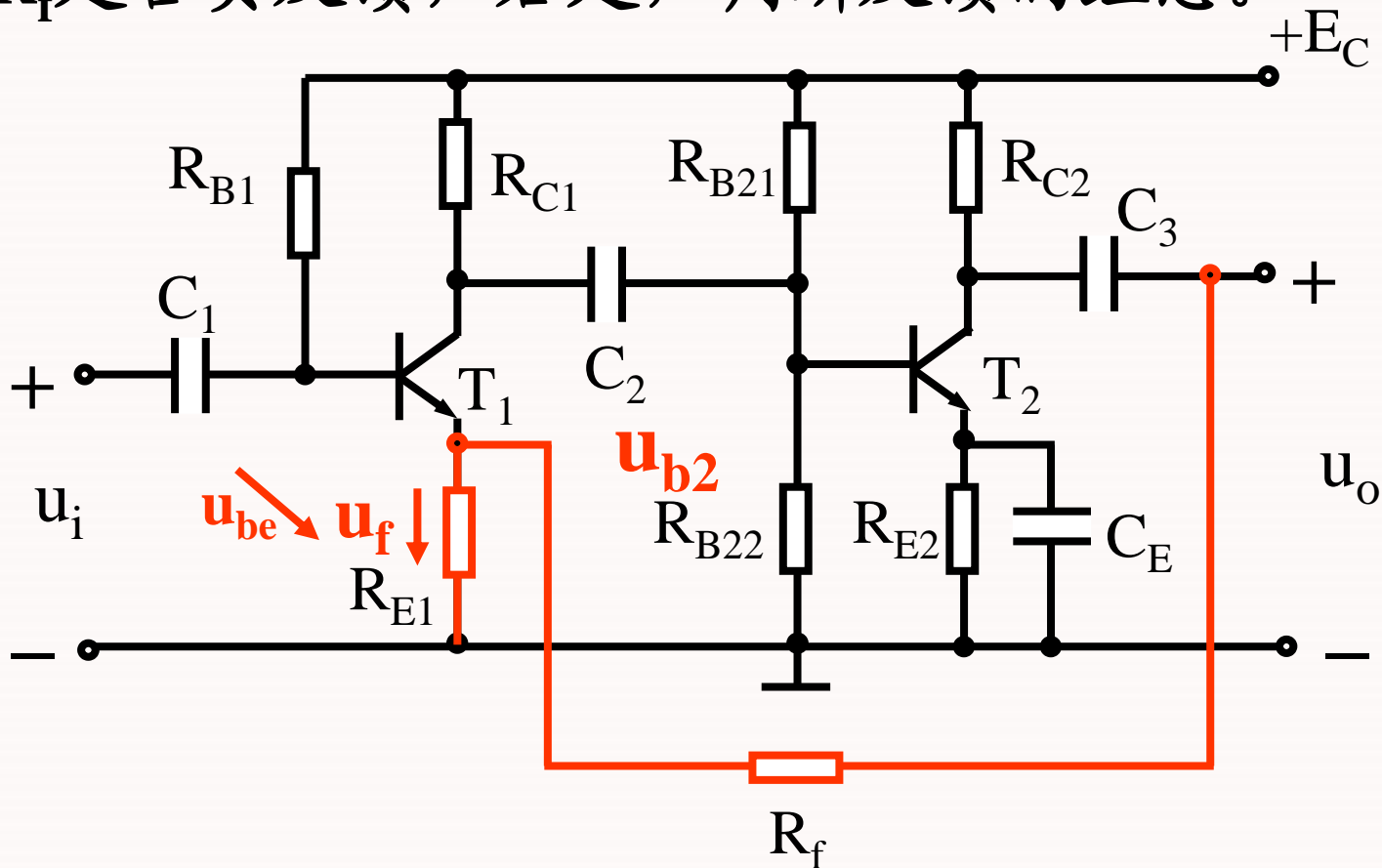
$$U_o \downarrow \rightarrow i_f \downarrow \rightarrow i_b \uparrow \rightarrow i_c \uparrow \rightarrow U_o \uparrow$$

$$i_f \approx \frac{-u_o}{R_F} \quad i_b = i_i - i_f$$

电压负反馈具有稳定输出电压的作用

第五章：放大电路中的反馈

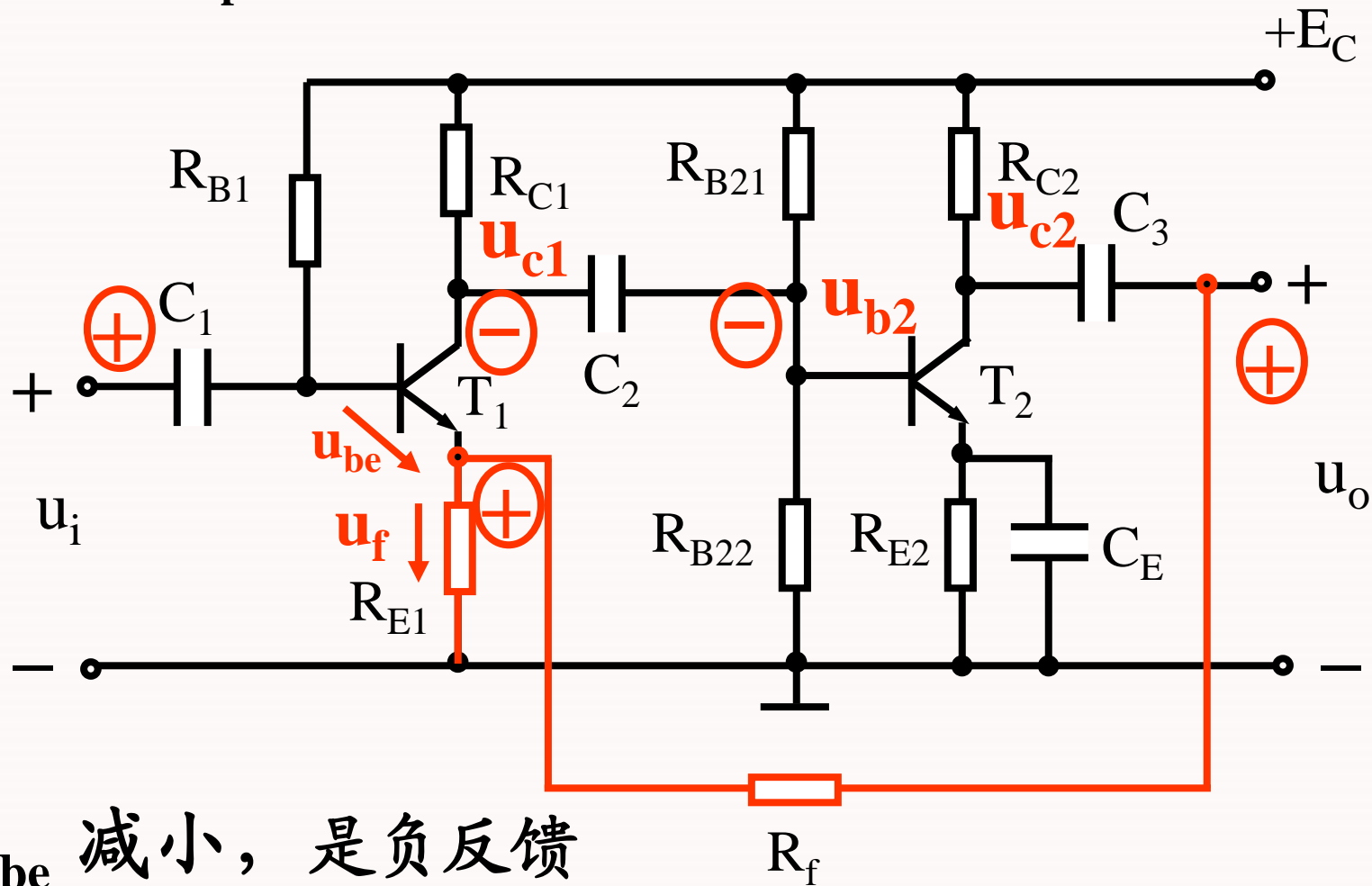
例：判断 R_f 是否负反馈，若是，判断反馈的组态。



此电路是电压串联反馈，对直流不起作用。

第五章：放大电路中的反馈

例：判断 R_f 是否负反馈，若是，判断反馈的组态。

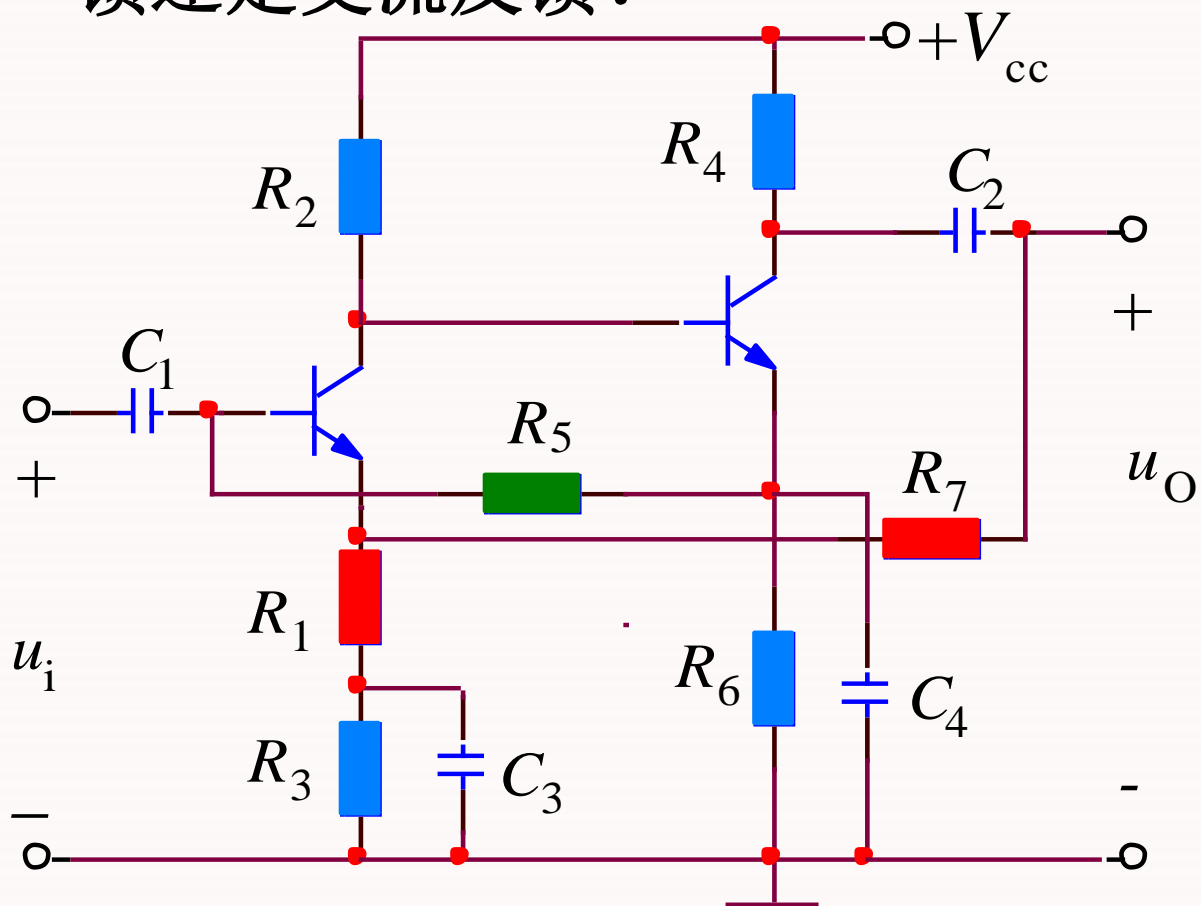


u_{be} 减小，是负反馈

此电路是电压串联交流负反馈

第五章：放大电路中的反馈

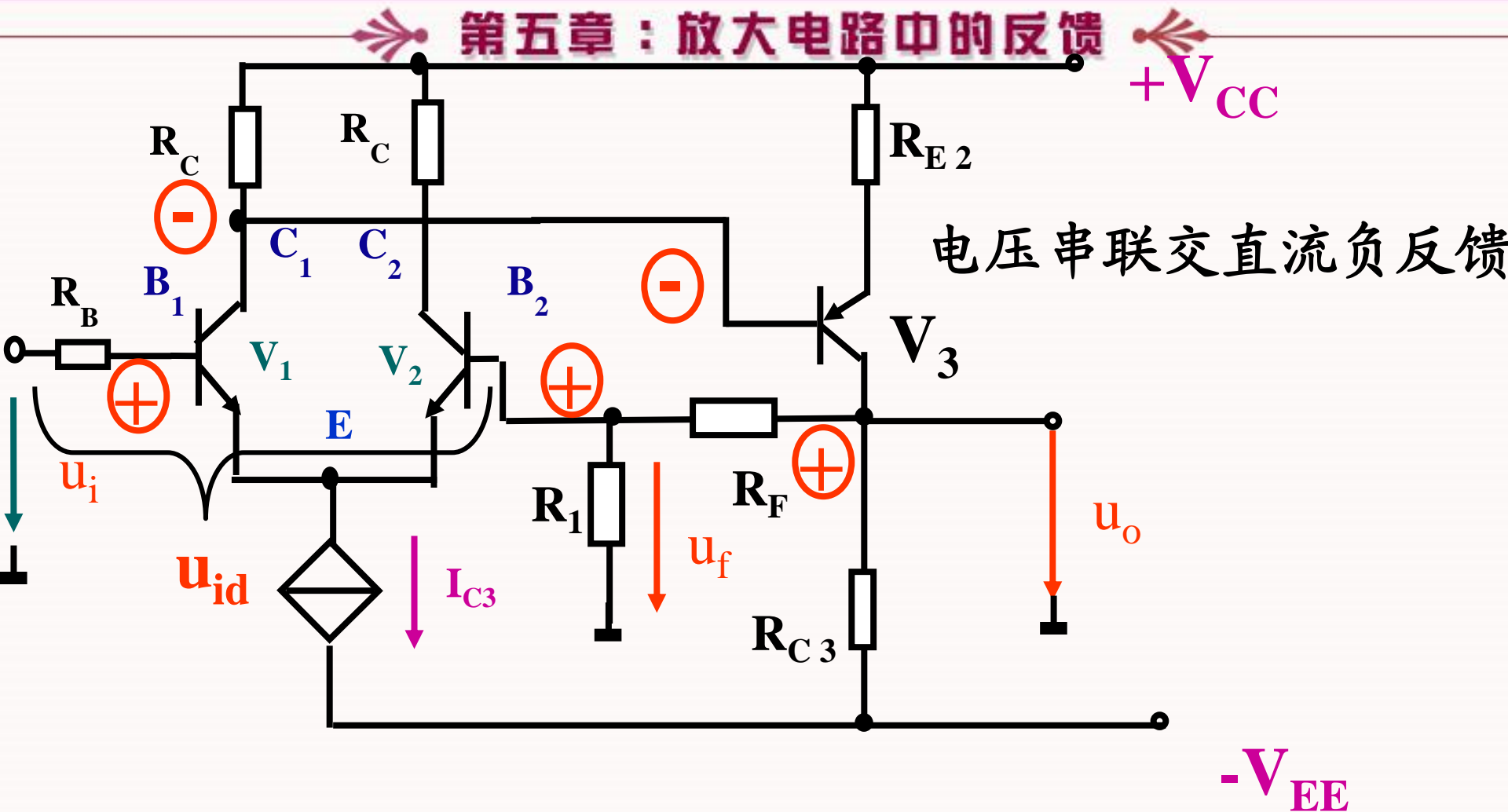
试判断下图电路中有哪些反馈支路，各是直流反馈还是交流反馈？



R_5 、 R_3 是直流反馈

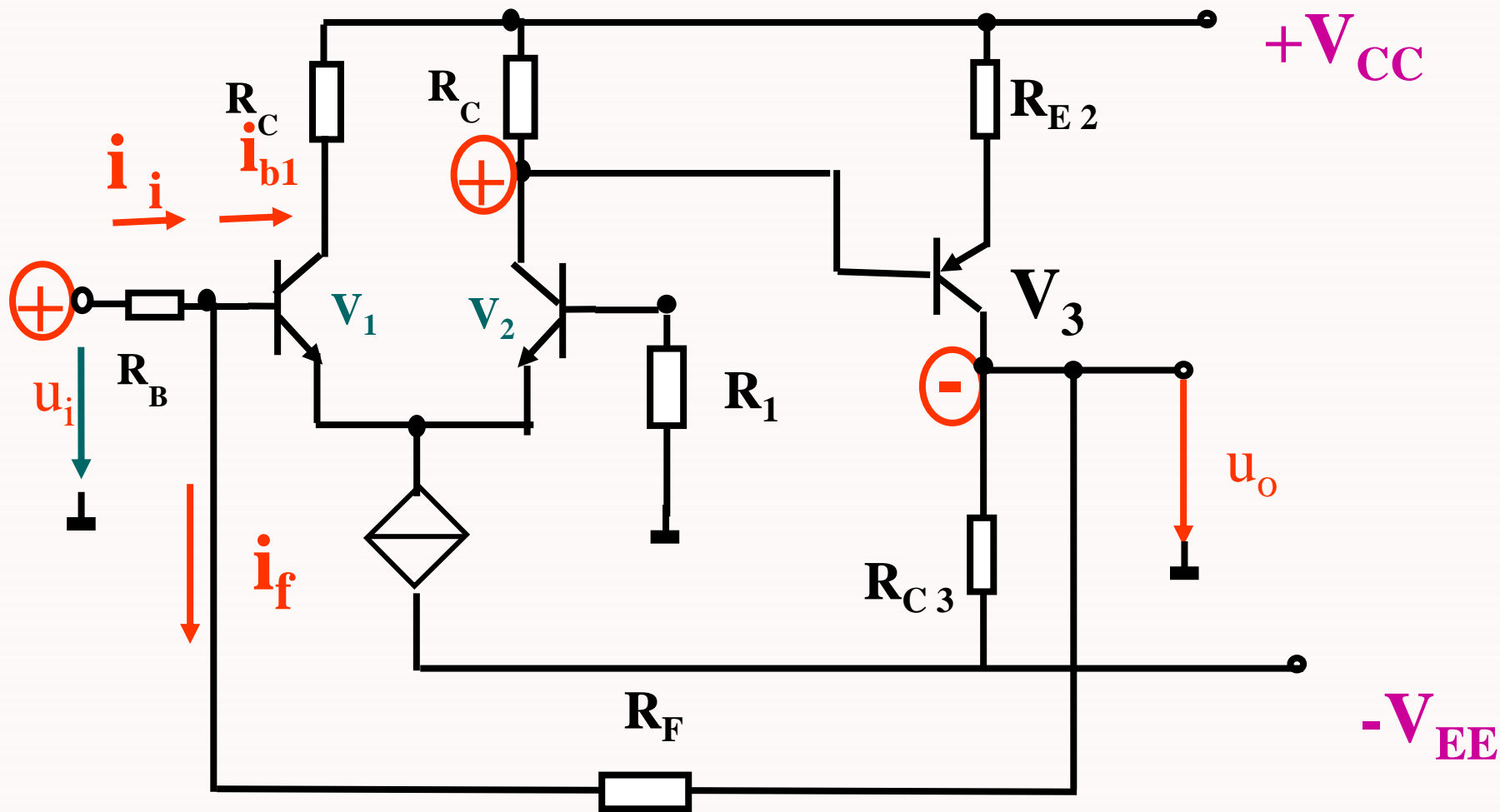
R_7R_1 交直流电压串联负反馈

第五章：放大电路中的反馈



如果是串联反馈，则在输入端要用电压比较，净输入信号 (u_{BE} , u_{id}) 是电压信号。如果是并联反馈，则要用电流比较净输入信号 (i_B , i_d) 是电流信号。

第五章：放大电路中的反馈



电压并联负反馈

第五章：放大电路中的反馈

四种负反馈组态的电压放大倍数、反馈系数之比较

	输出信号	反馈信号	放大网络的放大倍数	反馈系数
电压串联式	\dot{U}_o	\dot{U}_f	电压放大倍数 $\dot{A}_{uu} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i'}$	$\dot{F}_{uu} = \frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_o}$
电压并联式	\dot{U}_o	\dot{I}_f	转移电阻 $\dot{A}_{ui} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_i'} (\Omega)$	$\dot{F}_{iu} = \frac{\dot{I}_f}{\dot{U}_o} (S)$
电流串联式	\dot{I}_o	\dot{U}_f	转移电导 $\dot{A}_{iu} = \frac{\dot{I}_o}{\dot{U}_i'} (S)$	$\dot{F}_{ui} = \frac{\dot{U}_f}{\dot{I}_o} (\Omega)$
电流并联式	\dot{I}_o	\dot{I}_f	电流放大倍数 $\dot{A}_{ii} = \frac{\dot{I}_o}{\dot{I}_i'}$	$\dot{F}_{ii} = \frac{\dot{I}_f}{\dot{I}_o}$

4.1.4 反馈的一般表达式

$\dot{X}_i, \dot{X}_o, \dot{X}_f$ 分别为输入信号、输出信号和反馈信号；

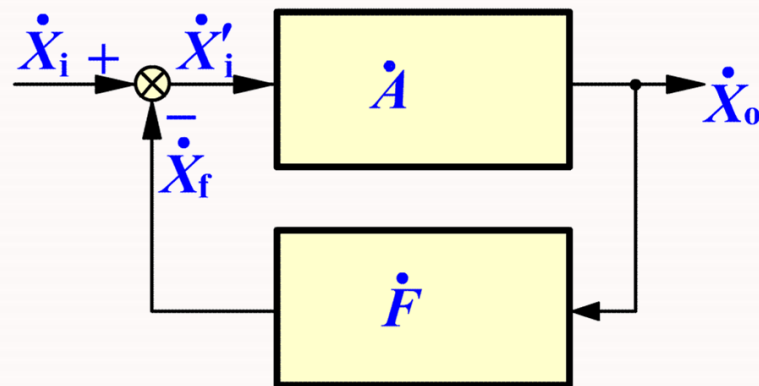
开环放大倍数 \dot{A} ：

无反馈时放大网络的放大倍数；

$$\text{因为: } \dot{A} = \frac{\dot{X}_o}{\dot{X}_i'} \quad \dot{F} = \frac{\dot{X}_f}{\dot{X}_o} \quad \dot{X}_i' = \dot{X}_i - \dot{X}_f$$

$$\text{所以: } \dot{X}_o = \dot{A} \dot{X}_i' = \dot{A}(\dot{X}_i - \dot{X}_f) = \dot{A}(\dot{X}_i - \dot{F} \dot{X}_o)$$

$$\text{得: 闭环放大倍数 } \dot{A}_f : \quad \dot{A}_f = \frac{\dot{X}_o}{\dot{X}_i} = \frac{\dot{A}}{1 + \dot{A}\dot{F}}$$



第五章：放大电路中的反馈

$$\dot{A}_f = \frac{\dot{X}_o}{\dot{X}_i} = \frac{\dot{A}}{1 + \dot{A} \dot{F}}$$

(1) 若 $|1 + \dot{A} \dot{F}| > 1$, 则 $|\dot{A}_f| < |\dot{A}|$

负反馈使放大倍数下降。

(2) 若 $|1 + \dot{A} \dot{F}| < 1$, 则 $|\dot{A}_f| > |\dot{A}|$

正反馈使放大倍数增加。

(3) 若 $|1 + \dot{A} \dot{F}| = 0$, 则 $|\dot{A}_f| \rightarrow \infty$

放大电路自激。

第五章：放大电路中的反馈

$|1 + \dot{A}\dot{F}|$ ——— 反馈深度

$|\dot{A}\dot{F}|$ ——— 环路增益



深度负反馈时: $|1 + \dot{A}\dot{F}| \gg 1$

$$\dot{A}_f = \frac{\dot{X}_o}{\dot{X}_i} = \frac{\dot{A}}{1 + \dot{A}\dot{F}} \quad \Rightarrow \quad \dot{A}_f = \frac{1}{\dot{F}}$$

在深度负反馈的情况下，放大倍数只与反馈网络有关，能保持稳定。

4.2 负反馈对放大电路性能的影响

4.2.1 提高放大倍数的稳定性

引入负反馈后，在输入信号一定的情况下，当电路参数变化、电源电压波动或负载发生变化时，放大电路输出信号的波动减小，即放大倍数的稳定性提高。

$$\dot{A}_f = \frac{\dot{A}}{1 + \dot{A}F} \quad \text{在中频范围内,} \quad A_f = \frac{A}{1 + AF}$$

放大倍数的相对变化量：

$$\frac{dA_f}{A_f} = \frac{1}{1 + AF} \times \frac{dA}{A}$$

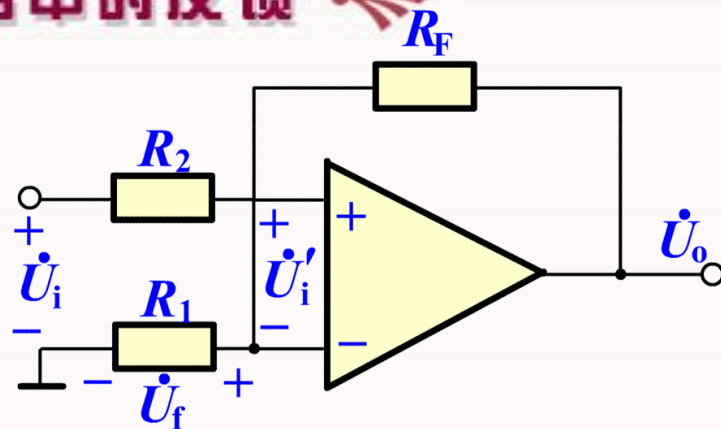
结论：引入负反馈后，放大倍数的稳定性提高了 $(1 + AF)$ 倍

第五章：放大电路中的反馈

例：在电压串联负反馈放大电路中，

$$\dot{A} = 10^5, \quad R_1 = 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_F = 18 \text{ k}\Omega$$



① 估算反馈系数 \dot{F} 和反馈深度 $(1 + \dot{A}\dot{F})$;

② 估算放大电路的闭环电压放大倍数 \dot{A}_f ;

③ 如果开环差模电压放大倍数 A 的相对变化量为 $\pm 10\%$ ，此时闭环电压放大倍数 A_f 的相对变化量等于多少？

解：① 反馈系数
$$\dot{F} = \frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_o} = \frac{R_1}{R_1 + R_F} = \frac{2}{2 + 18} = 0.1$$

反馈深度
$$1 + \dot{A}\dot{F} = 1 + 10^5 \times 0.1 \approx 10^4$$

② 闭环放大倍数

$$\dot{A}_f = \frac{\dot{A}}{1 + \dot{A}\dot{F}} \approx \frac{10^5}{10^4} = 10$$

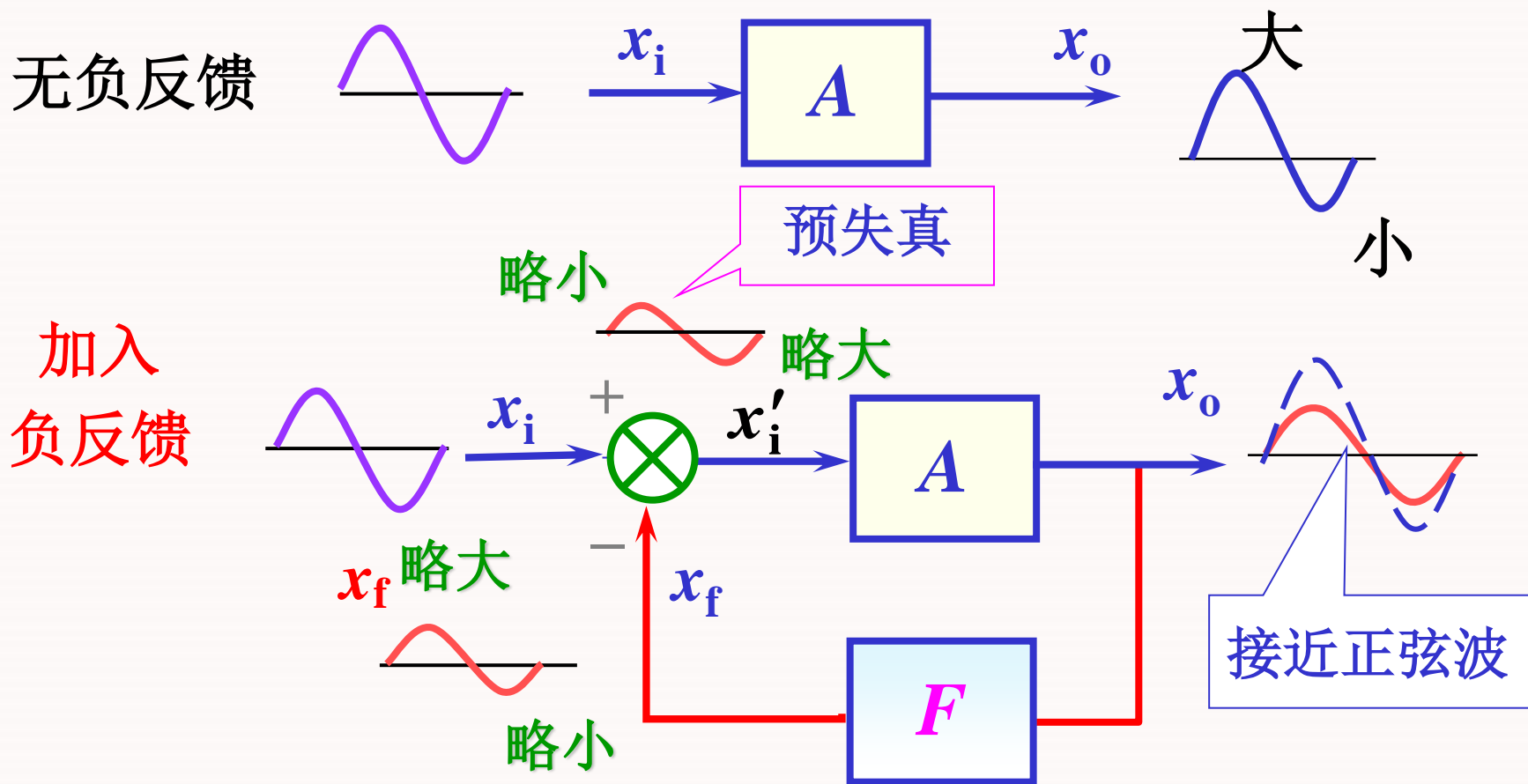
③ A_f 的相对变化量

$$\frac{dA_f}{A_f} = \frac{1}{1 + AF} \times \frac{dA}{A} = \frac{\pm 10\%}{10^4} = \pm 0.001\%$$

结论：当开环差模电压放大倍数变化 $\pm 10\%$ 时，电压放大倍数的相对变化量只有 $\pm 0.0001\%$ ，而稳定性提高了一万倍。

第五章：放大电路中的反馈

4.2.2 减小非线性失真和抑制干扰



负反馈减小了波形失真

同样道理，负反馈可抑制放大电路内部噪声。

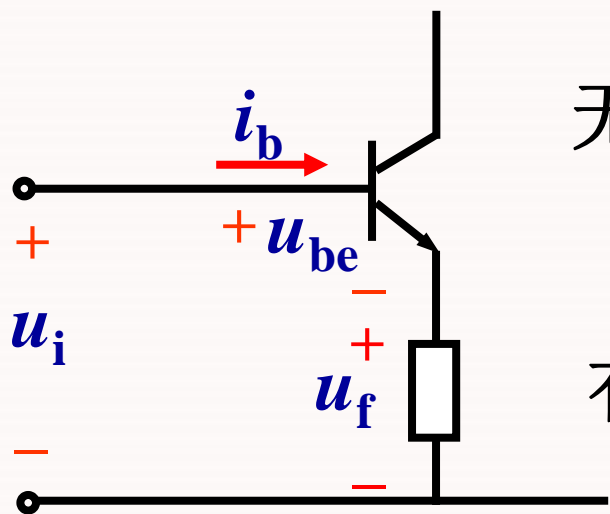
第五章：放大电路中的反馈

4.2.4 改变输入电阻和输出电阻

不同类型的负反馈，对输入电阻、输出电阻的影响不同。

一、负反馈对输入电阻的影响

1. 串联负反馈使输入电阻增大 $R_{if} = (1 + |A_0 F|) R_i$

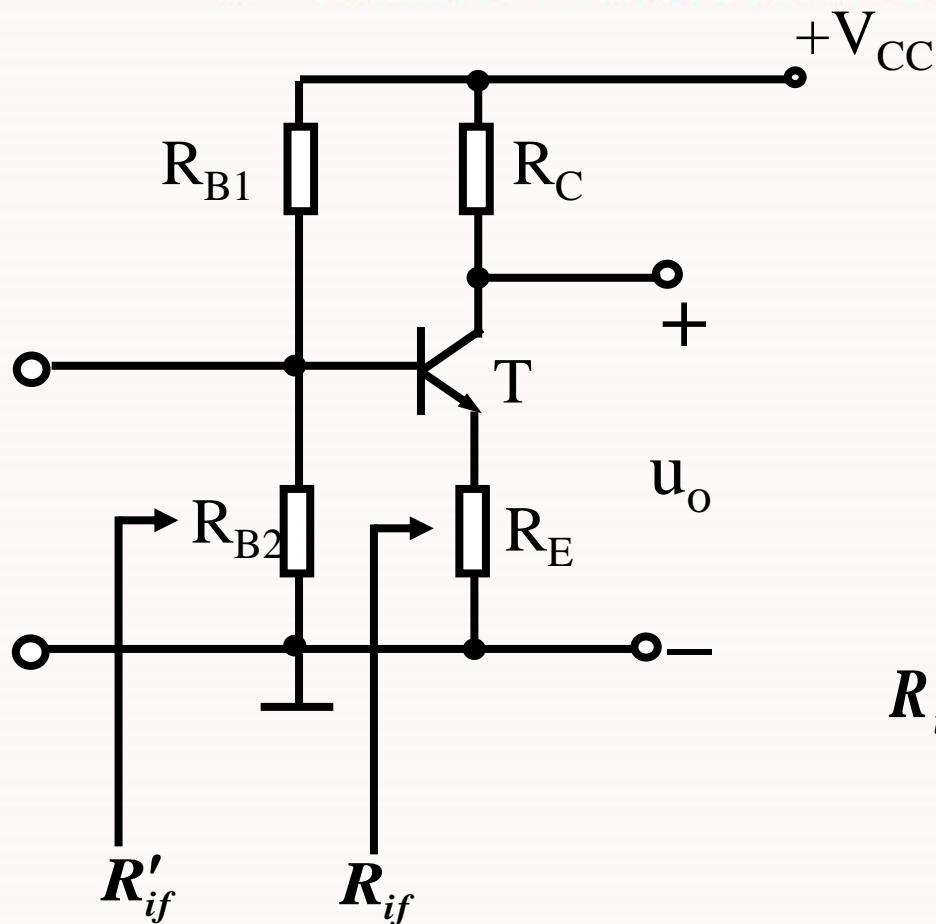


无负反馈时: $R_i = \frac{u_i}{i_b} = \frac{u_{be}}{i_b}$

有负反馈时: $R_{if} = \frac{u_i}{i_b}$

在同样的 i_b 下, $u_i = u_{be} + u_f > u_{be}$, 所以 R_{if} 提高。

第五章：放大电路中的反馈



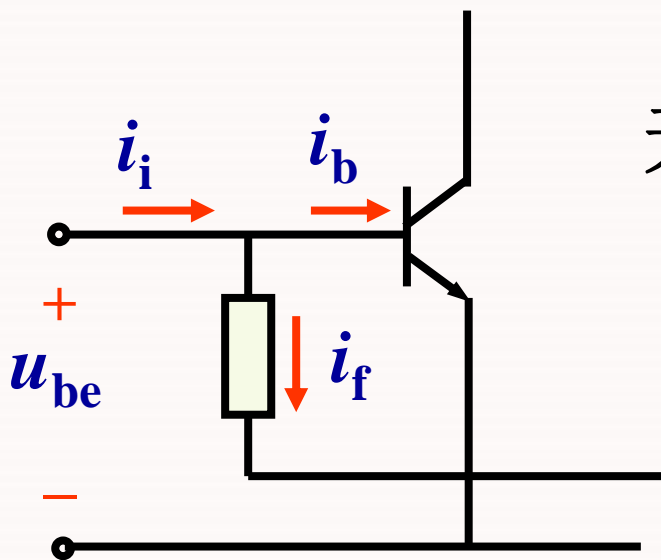
$$R'_{if} = R_{B1} // R_{B2} // R_{if}$$

串联负反馈只增大反馈环路内的输入电阻

第五章：放大电路中的反馈

2、并联负反馈 使电路的输入电阻降低

$$R_{if} = \frac{R_i}{1 + |A_0 F|}$$



无负反馈时： $R_i = \frac{u_{be}}{i_b}$

有负反馈时： $R_{if} = \frac{u_{be}}{i_i}$

在同样的 u_{be} 下， $i_i = i_b + i_f > i_b$ ，所以 R_{if} 降低。

二、负反馈对输出电阻的影响

1) 电压负反馈使电路的输出电阻降低

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + |A_0 F|}$$

电压负反馈具有稳定输出电压的作用，
即有恒压输出特性，故输出电阻降低。

2) 电流负反馈使电路的输出电阻提高

$$R_{of} = (1 + |A_0 F|) R_o$$

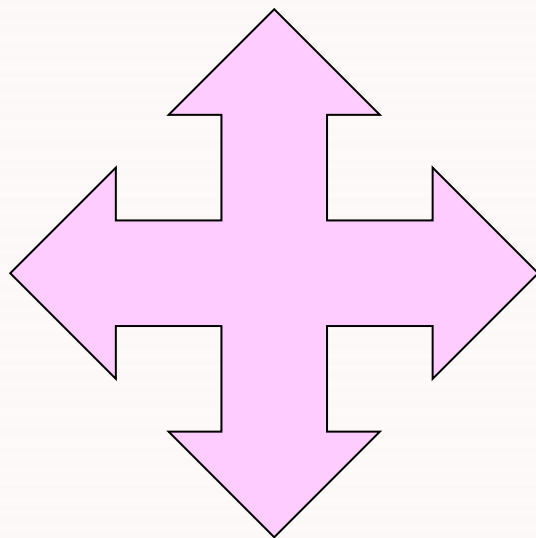
电流负反馈具有稳定输出电流的作用，
即有恒流输出特性，故输出电阻提高。

负反馈对放大电路工作性能的影响

放大倍数下降

减小非线性失真

改变输入输出电阻



放大倍数的稳定性提高

放大电路中引入负反馈的一般原则

(1) 为了稳定静态工作点，应引入直流负反馈。为了改善电路的动态特性，应引入交流负反馈。

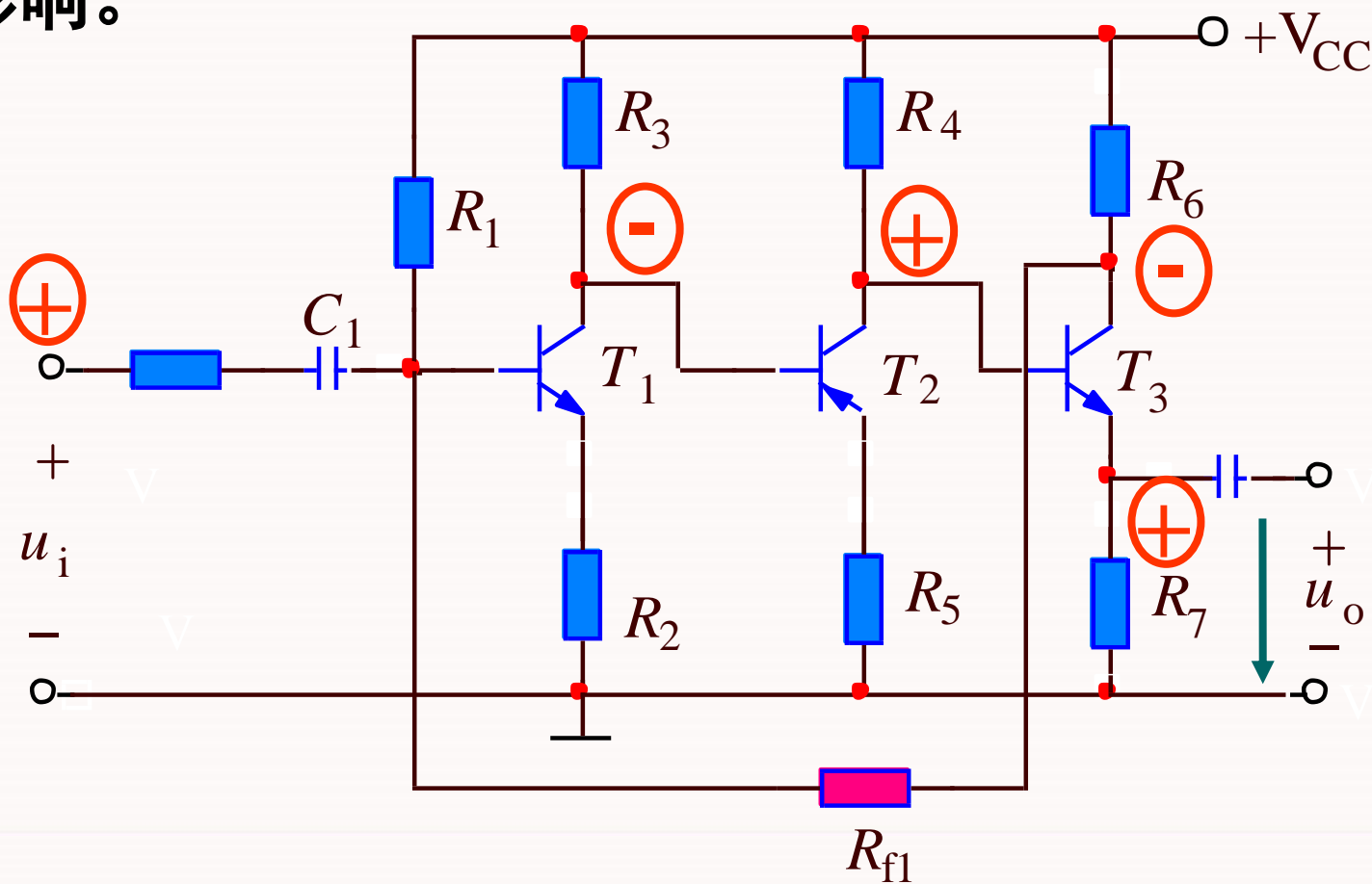
(2) 根据信号源的性质决定引入串联负反馈或并联负反馈。当信号源为恒压源或内阻较小的电压源时，为增大放大电路的输入电阻，应引入串联负反馈。当信号源为恒流源或内阻较大的电流源时，为减小放大电路的输入电阻，应引入并联负反馈。

(3) 根据负载对放大电路输出量的要求决定引入电压负反馈或电流负反馈。当负载需要稳定的电压信号时，应引入电压负反馈。当负载需要稳定的电流信号时，应引入电流负反馈。

第五章：放大电路中的反馈

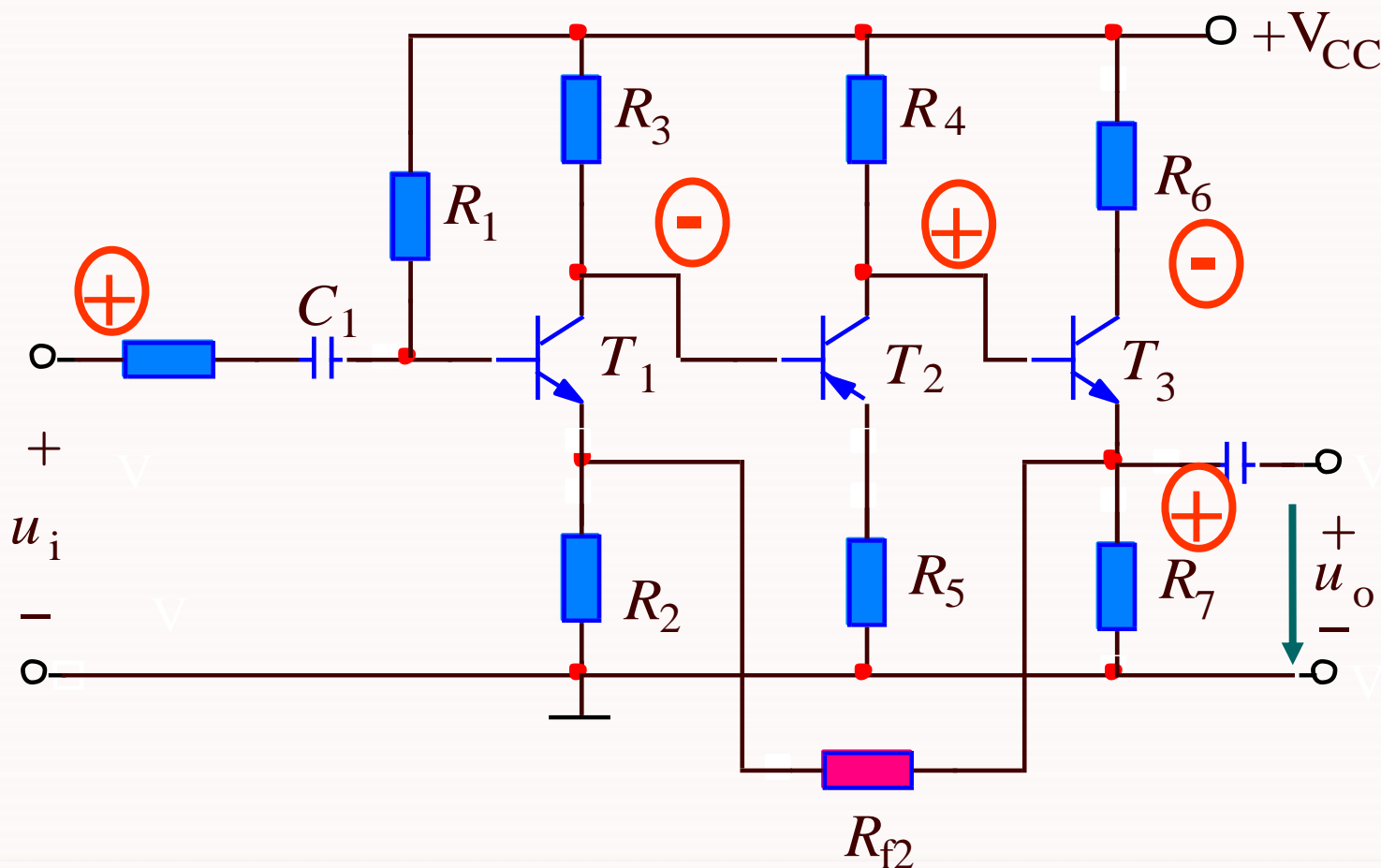
举例： 在下面的放大器中按要求引入适当的反馈。

(1) 希望加入信号后， i_{c3} 的数值基本不受 R_6 改变的影响。



第五章：放大电路中的反馈

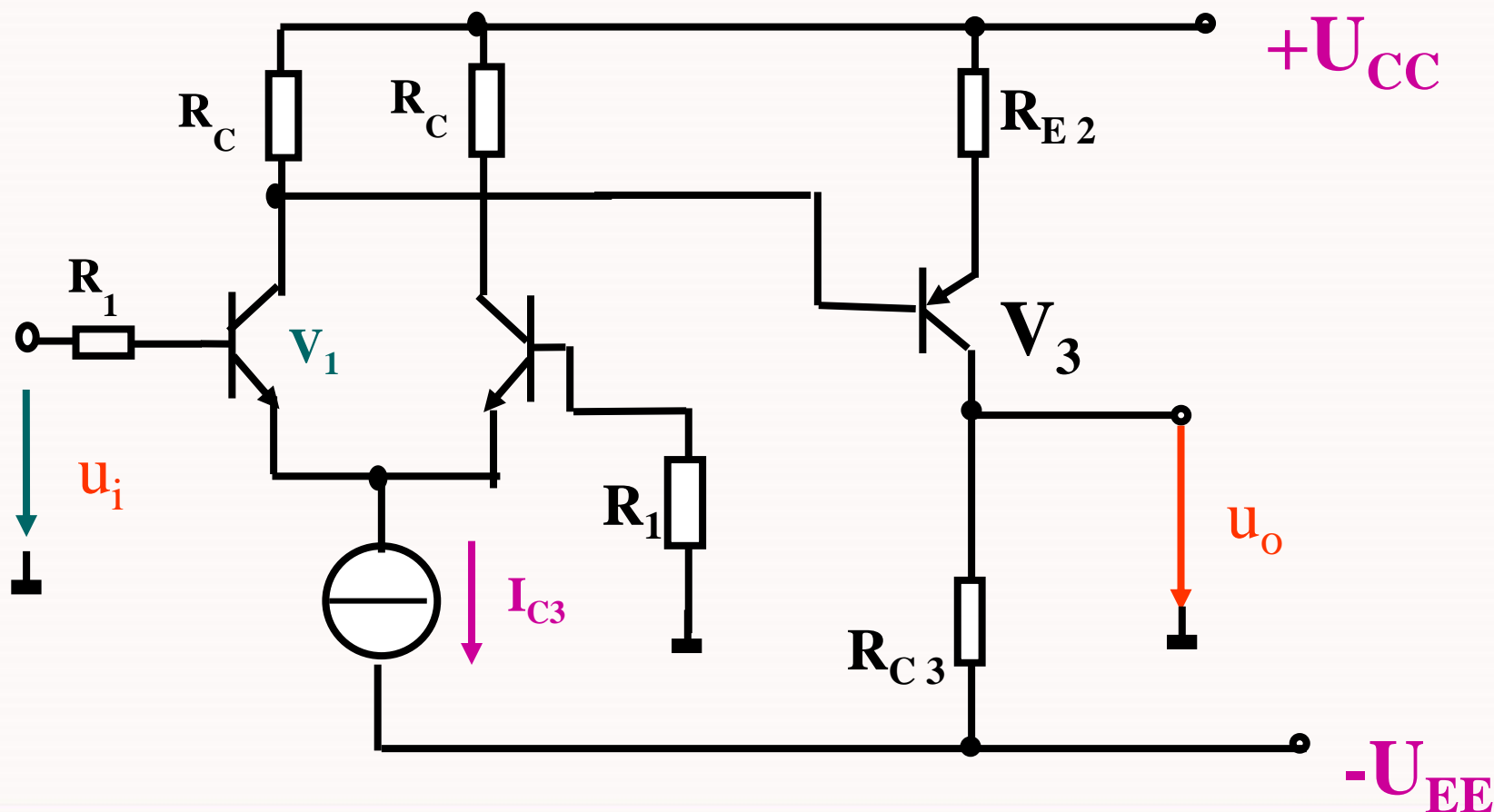
- (2) 希望接入负载后，输出电压 U_O 基本稳定。
- (3) 希望输入端向信号源索取的电流小。



第五章：放大电路中的反馈

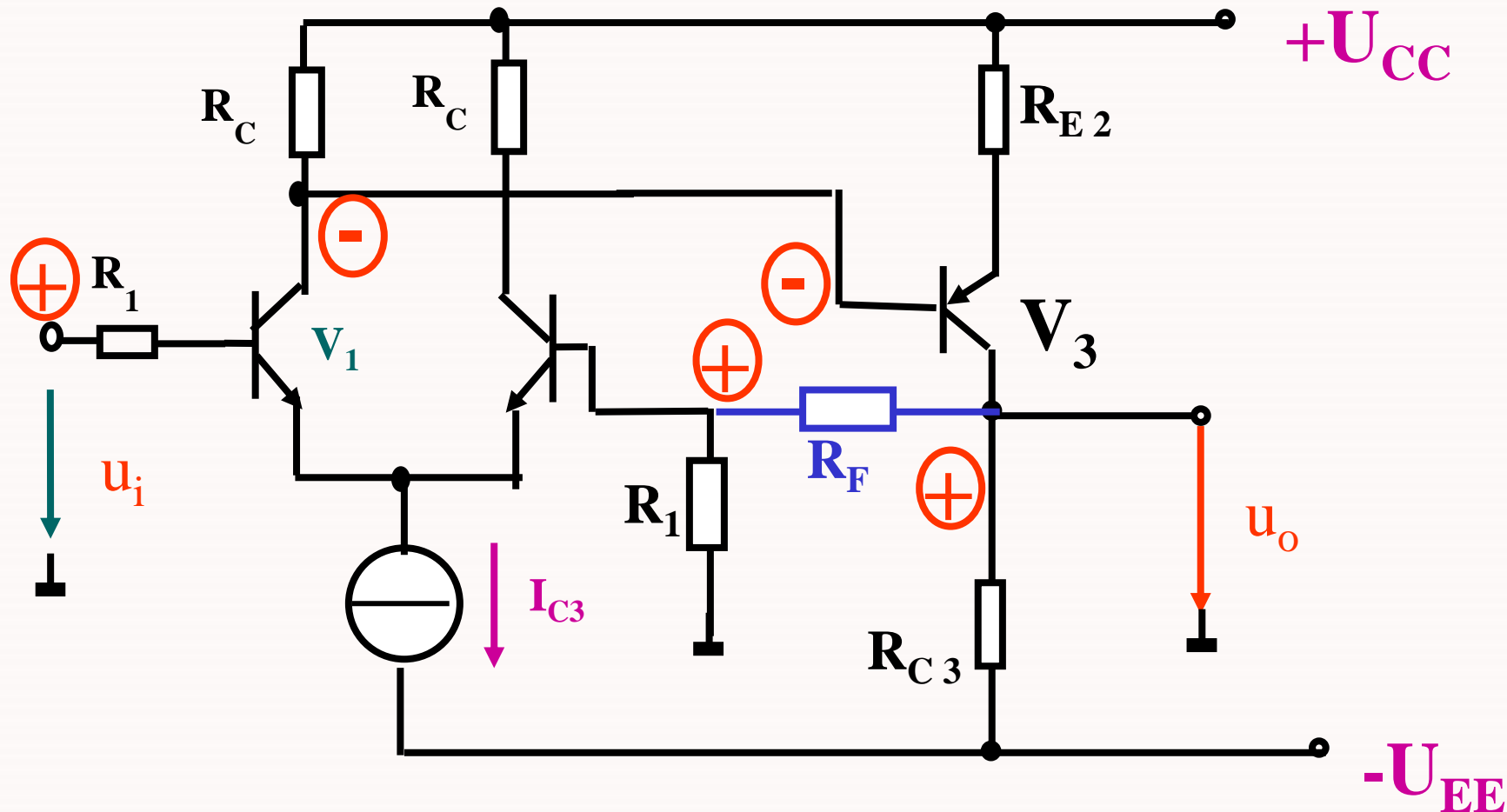
为了分别实现下列要求，试说明应分别引入何种级间反馈。

- 1) 提高输入电阻；
- 2) 稳定输出电流；



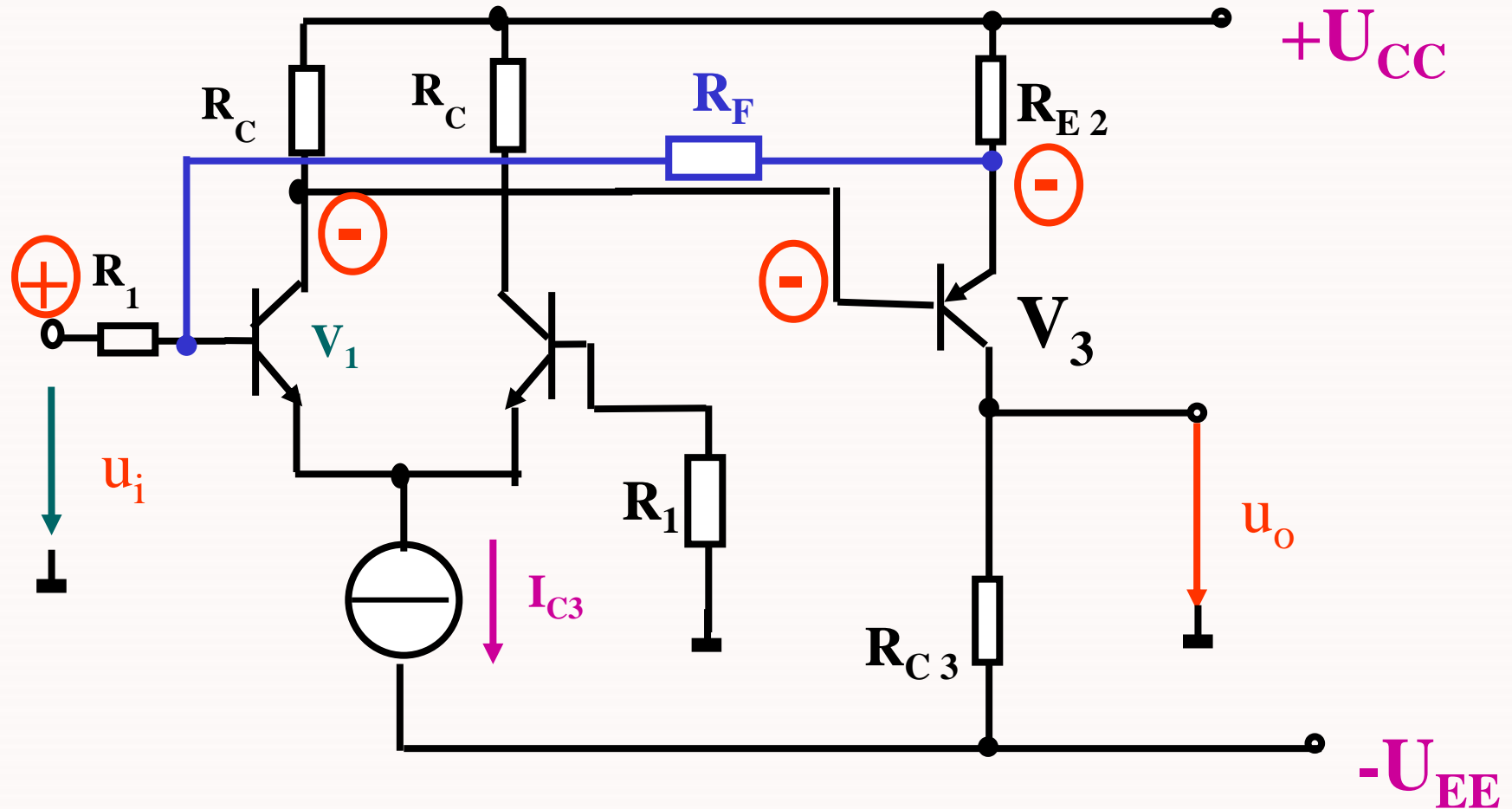
第五章：放大电路中的反馈

1) 提高输入电阻（减小放大电路向信号源索取的电流）



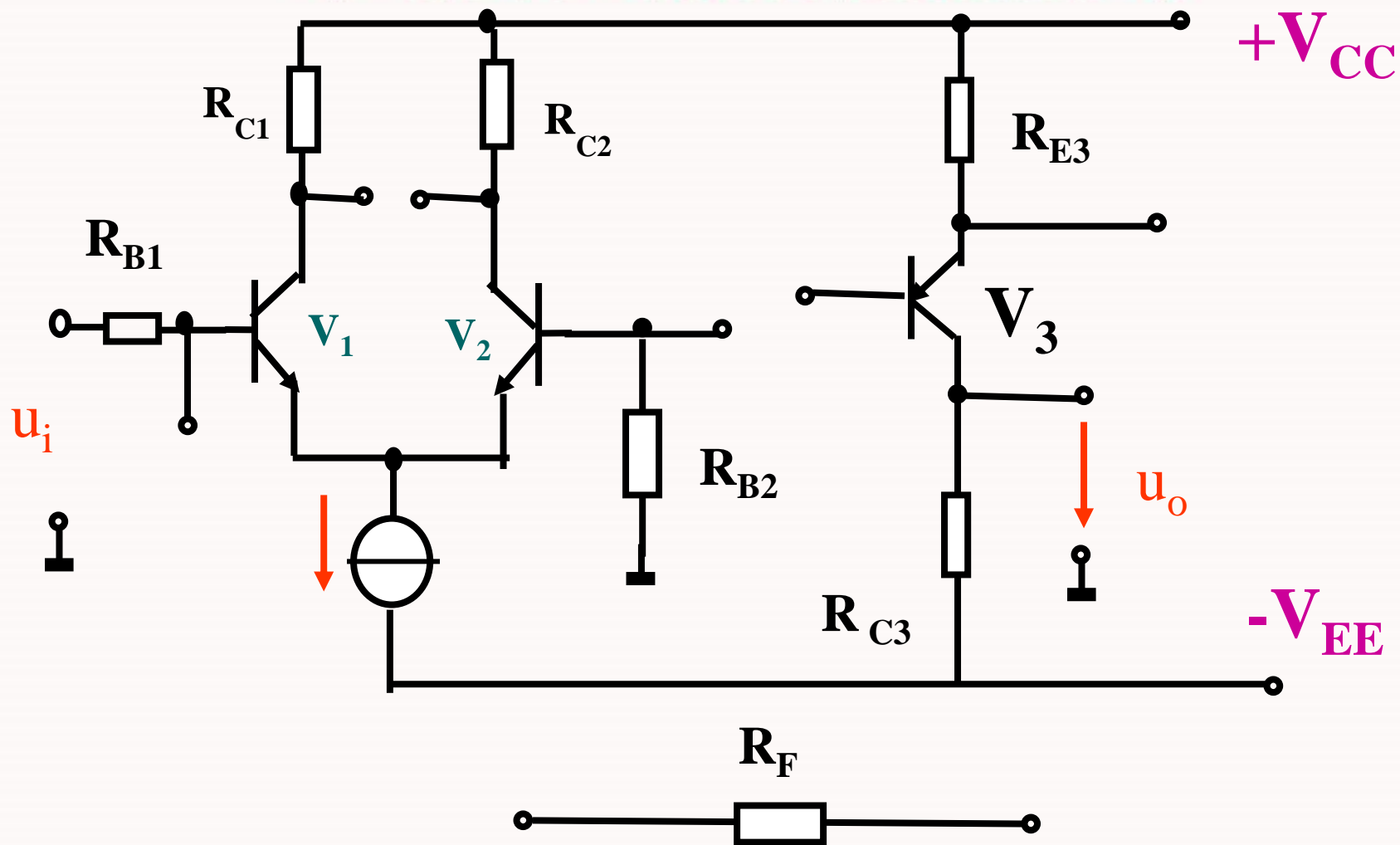
提高输入电阻：引入串联负反馈

2) 稳定输出电流;



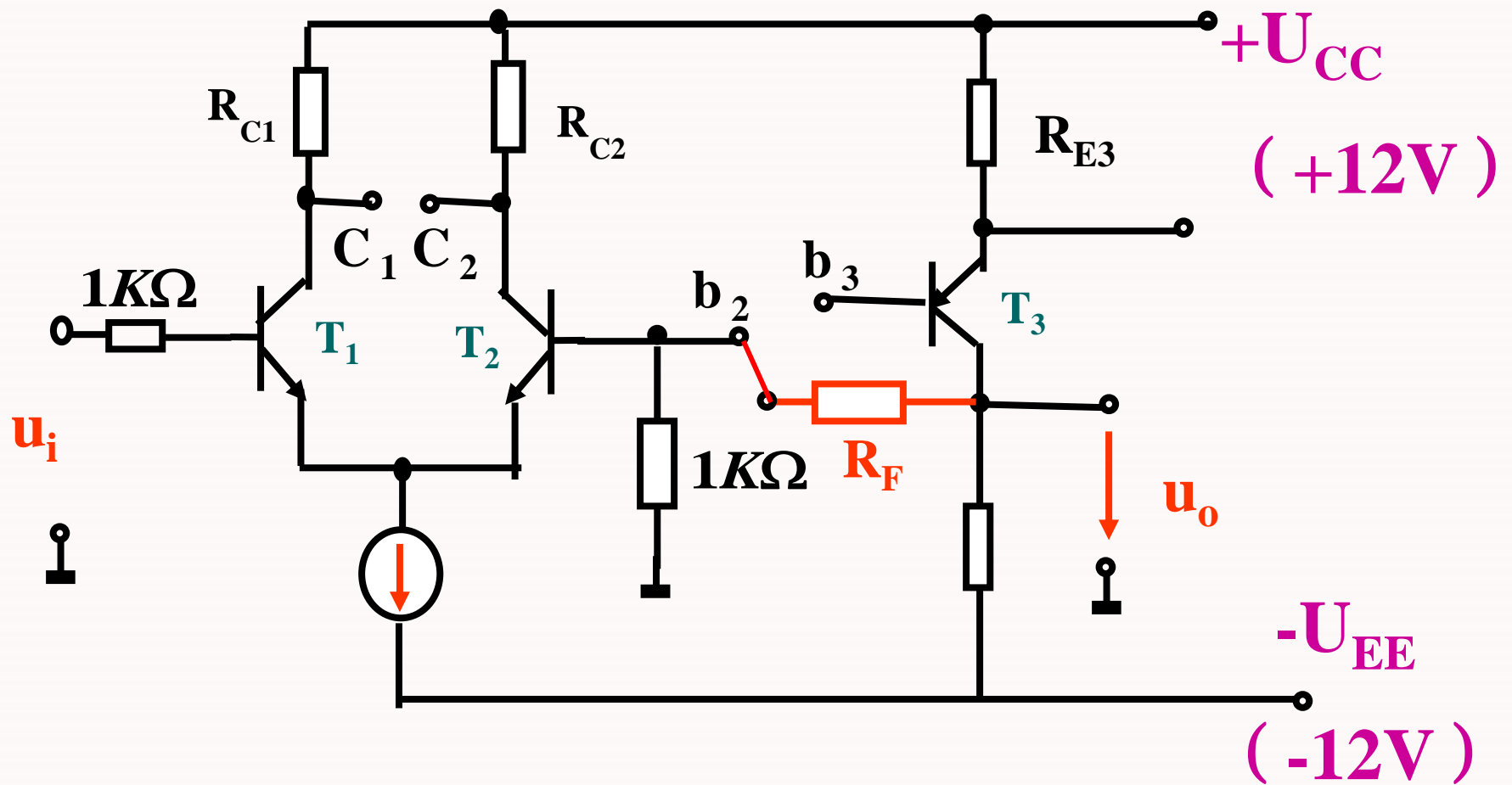
稳定输出电流：引入电流负反馈

第五章：放大电路中的反馈

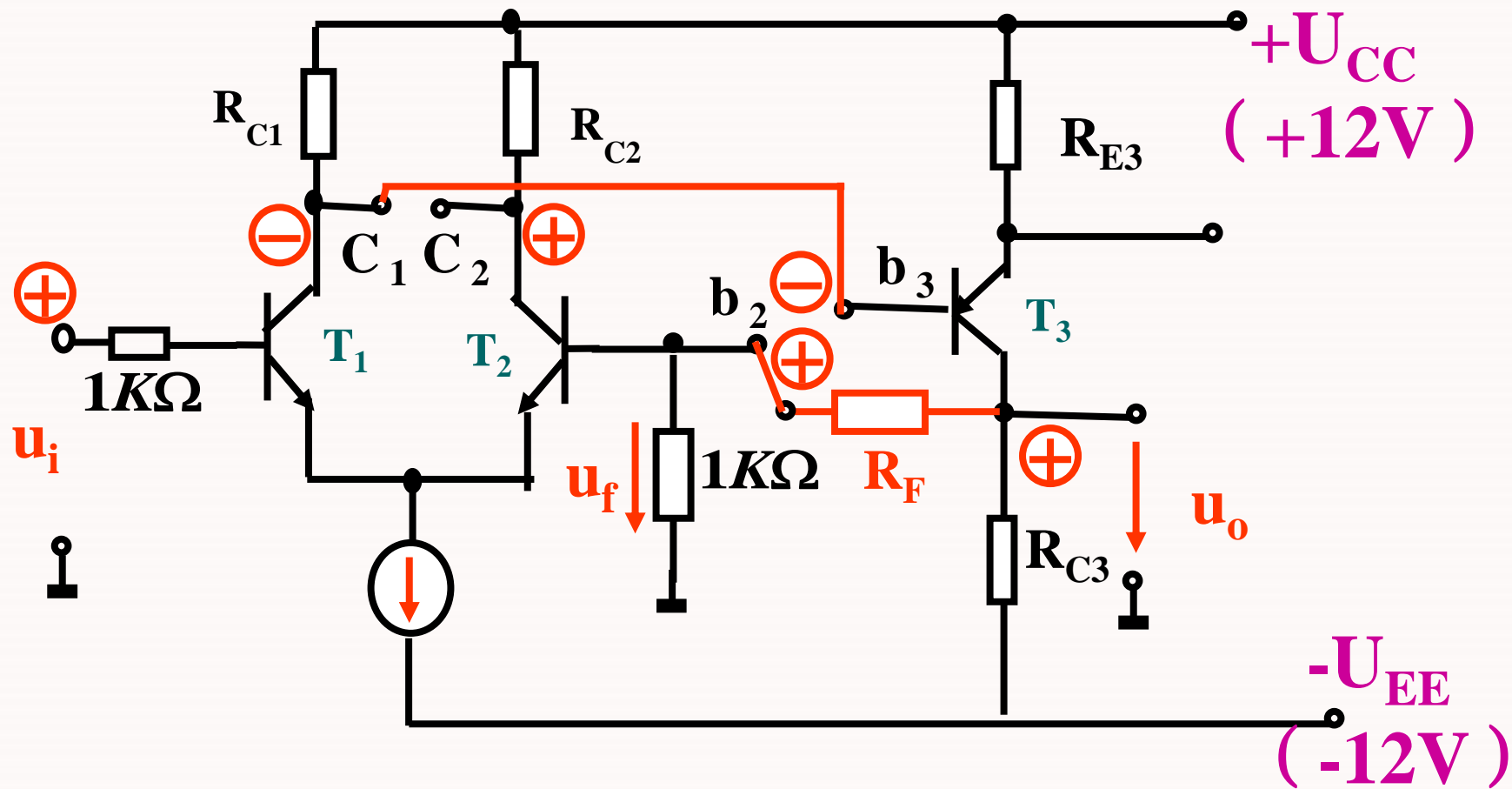


为同时实现：(1)减小放大电路向信号源索取的电流
(2) 稳定输出电压，应如何连接？

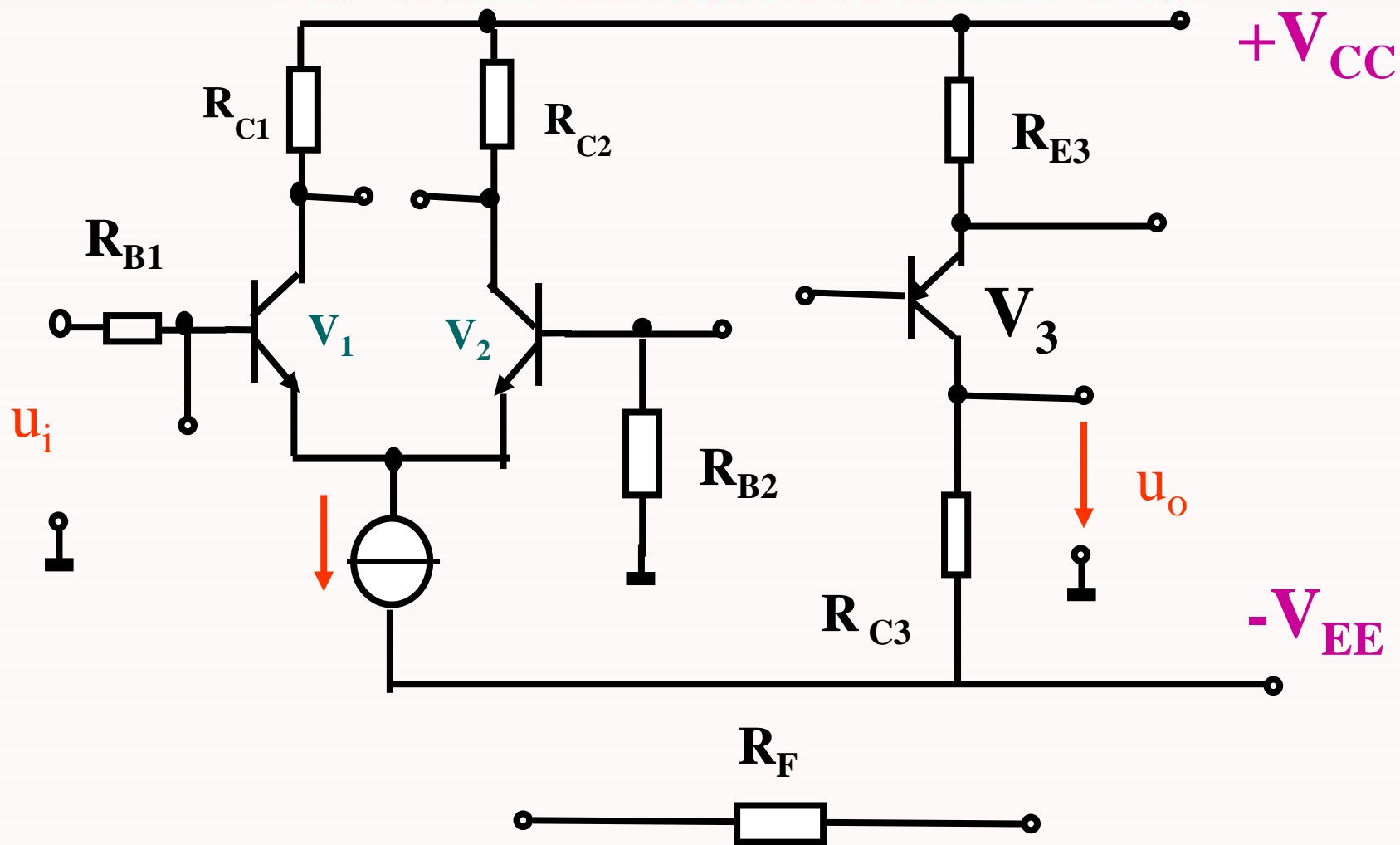
第五章：放大电路中的反馈



第五章：放大电路中的反馈

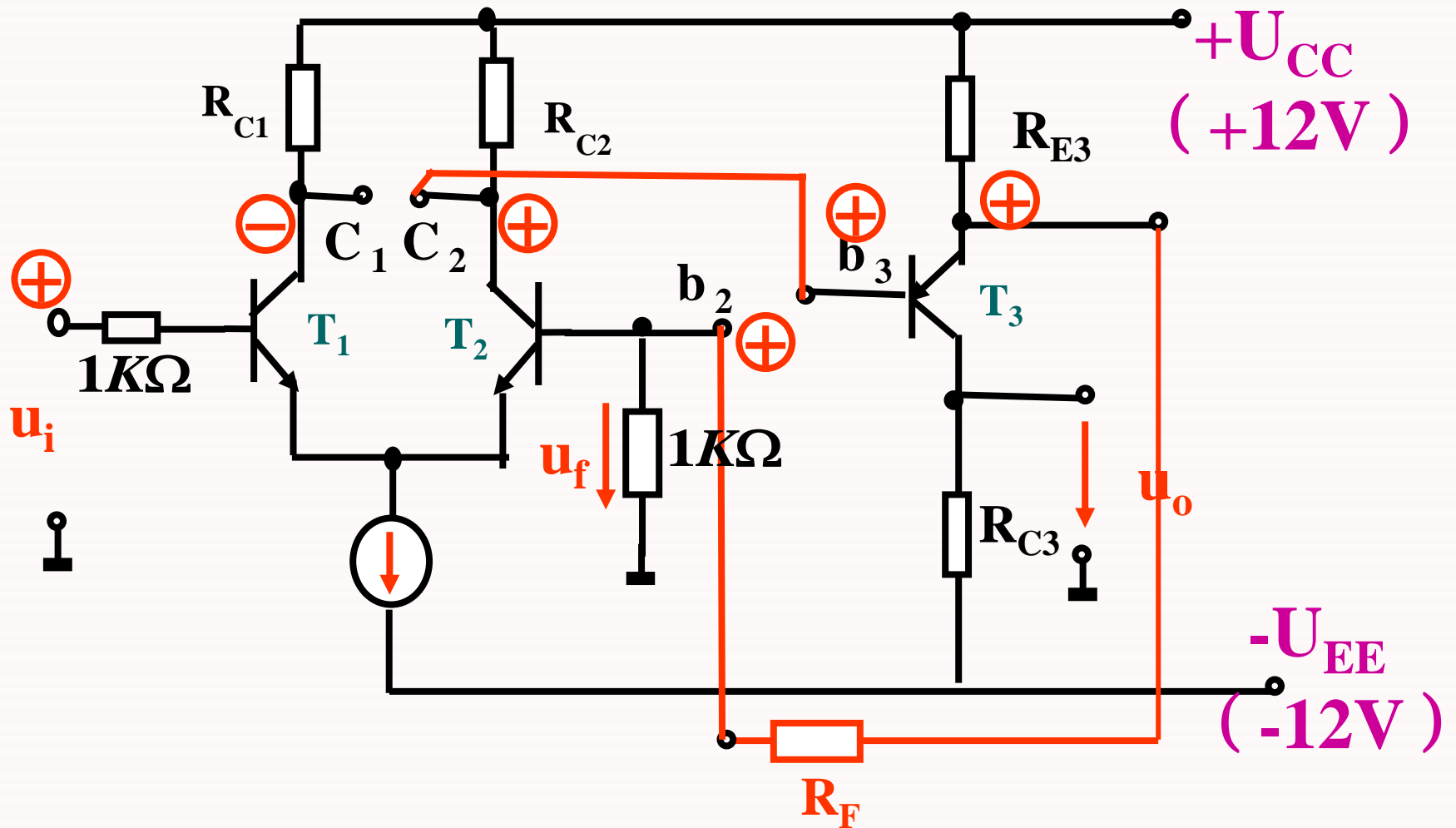


第五章：放大电路中的反馈



为同时实现：(1)减小放大电路向信号源索取的电流
(2) 稳定输出电流，应如何连接？

第五章：放大电路中的反馈



4.3 负反馈放大电路的分析计算

本节重点讨论深度负反馈条件下的近似计算

一. 估算电压增益

1. 估算的依据 深度负反馈： $|1 + \dot{A}\dot{F}| \gg 1$

方法一：

$$\text{由 } |1 + \dot{A}\dot{F}| \gg 1 \text{ 得 } \dot{A}_F = \frac{\dot{A}}{1 + \dot{A}\dot{F}} \approx \frac{\dot{A}}{\dot{A}\dot{F}} = \frac{1}{\dot{F}}$$

即，深度负反馈条件下，闭环增益只与反馈系数有关。

只有当负反馈的组态是电压串联时， \dot{A}_f 才代表闭环电压放大倍数：

$$\dot{A}_{uuf} \approx \frac{1}{\dot{F}_{uu}}$$



方法二：

根据 $\dot{A}_F = \frac{\dot{A}}{1 + \dot{A}\dot{F}} \approx \frac{\dot{A}}{\dot{A}\dot{F}} = \frac{1}{\dot{F}}$

将 $\dot{A}_F = \frac{\dot{X}_o}{\dot{X}_i}$ $\dot{F} = \frac{\dot{X}_f}{\dot{X}_o}$ 代入上式

得 $\dot{X}_f \approx \dot{X}_i$ 即：输入量近似等于反馈量

或 $\dot{X}_d = \dot{X}_i - \dot{X}_f \approx 0$ 净输入量近似等于零

由此可得深度负反馈条件下，基本放大电路
“虚短”、“虚断”的概念

深度负反馈的特点

深度负反馈条件下

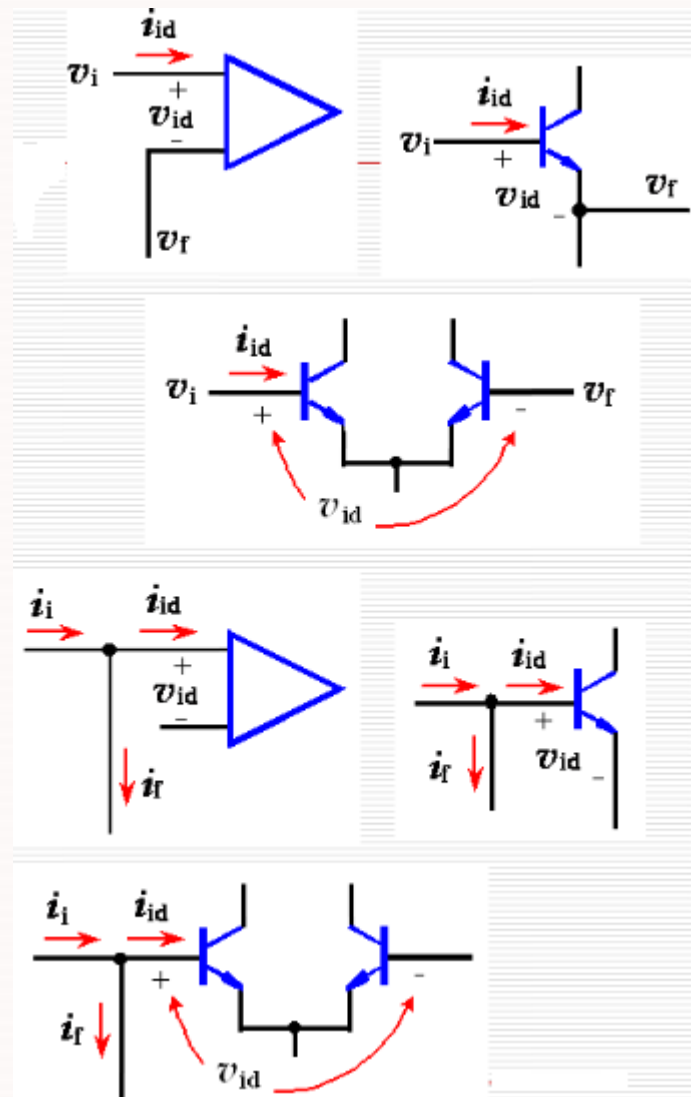
$$x_{id} = x_i - x_f \approx 0$$

串联负反馈，输入端电压求和

$$\begin{cases} v_{id} = v_i - v_f \approx 0 & \text{虚短} \\ i_{id} = \frac{v_{id}}{r_i} \approx 0 & \text{虚断} \end{cases}$$

并联负反馈，输入端电流求和

$$\begin{cases} i_{id} = i_i - i_f \approx 0 & \text{虚断} \\ v_{id} = i_{id} r_i \approx 0 & \text{虚短} \end{cases}$$



结论：在深度负反馈中，虚短和虚断同时存在。

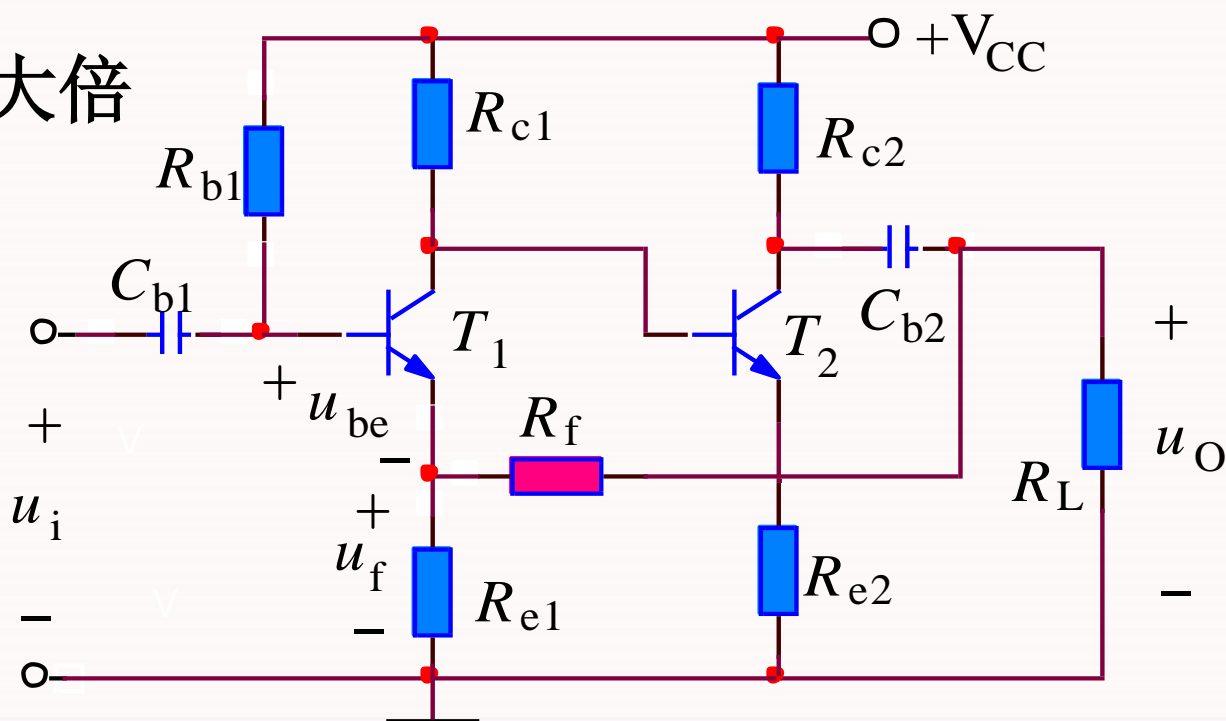
2. 举例

例1. 分立电路电压串联负反馈

解：用方法一。

求反馈系数：
$$F_{uu} = \frac{u_f}{u_o} = \frac{R_{e1}}{R_{e1} + R_f}$$

求闭环电压放大倍数：
$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = \frac{1}{F_{uu}} = \frac{R_{e1} + R_f}{R_{e1}}$$



第五章：放大电路中的反馈

例2.运放组成的电压串联负反馈电路

解：用方法二。

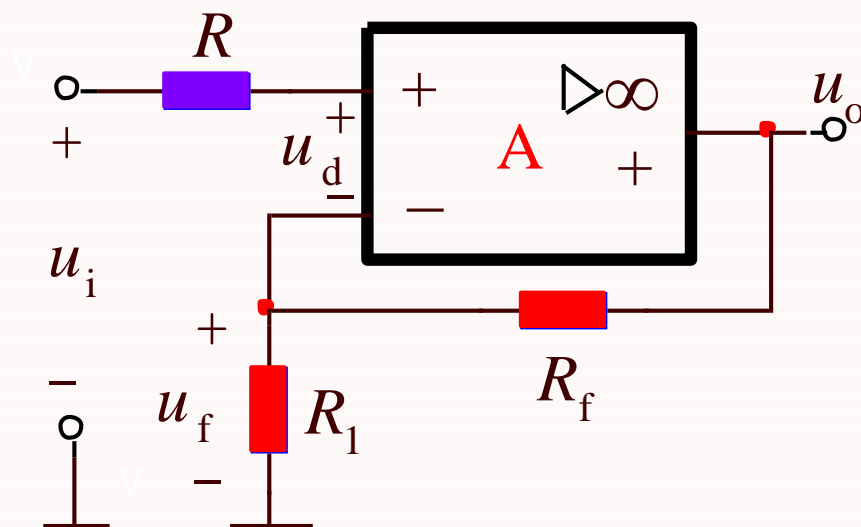
利用虚短和虚断的概念 $u_d \approx 0$ $i_i \approx 0$

得知

$$\text{则 } u_i = u_f = u_o \frac{R_1}{R_1 + R_f}$$

闭环电压增益

$$\begin{aligned} \dot{A}_{\text{UF}} &= \frac{u_o}{u_i} = \frac{u_o}{u_f} = \frac{R_1 + R_f}{R_1} \\ &= 1 + \frac{R_f}{R_1} \end{aligned}$$



例3. 分立电路电流并联负反馈

解：用方法一。

$$i_f \approx i_{c2} \frac{R_{e2}}{R_f + R_{e2}}$$

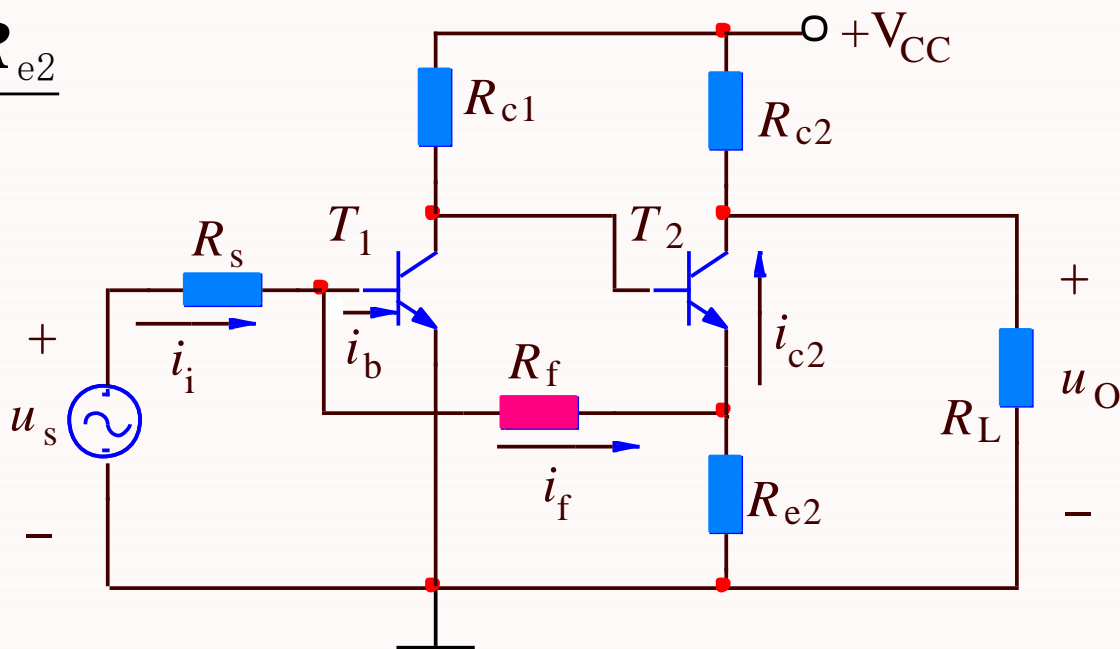
$$\text{反馈系数: } F_{ii} = \frac{i_f}{i_{c2}} = \frac{R_{e2}}{R_f + R_{e2}}$$

闭环增益

$$A_{iif} = \frac{i_{c2}}{i_f} \approx \frac{1}{F_{ii}} = \frac{R_f + R_{e2}}{R_{e2}}$$

闭环电压增益

$$\begin{aligned} A_{usf} &= \frac{u_o}{u_s} = \frac{i_{c2} \cdot R'_L}{i_i \cdot (R_s + R_{if})} \\ &\approx \frac{R_f + R_{e2}}{R_{e2}} \cdot \frac{R'_L}{R_s} \end{aligned}$$



第五章：放大

解：用方法二。

利用虚短和虚断的概念
得知 $u_d \approx 0$ $i_i \approx 0$

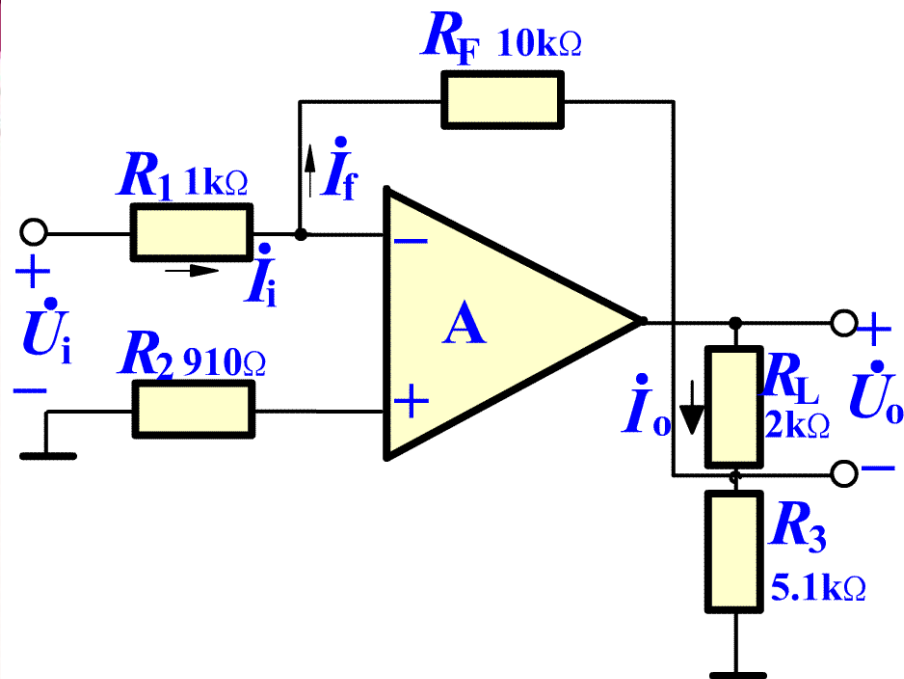
闭环电压放大倍数为：

$$\dot{A}_{uuf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx \frac{\dot{I}_o R_L}{\dot{I}_f R_1}$$

$$\dot{I}_f = -\frac{\dot{I}_o R_3}{R_3 + R_F} = -\frac{\dot{U}_o}{R_L} \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_F}$$

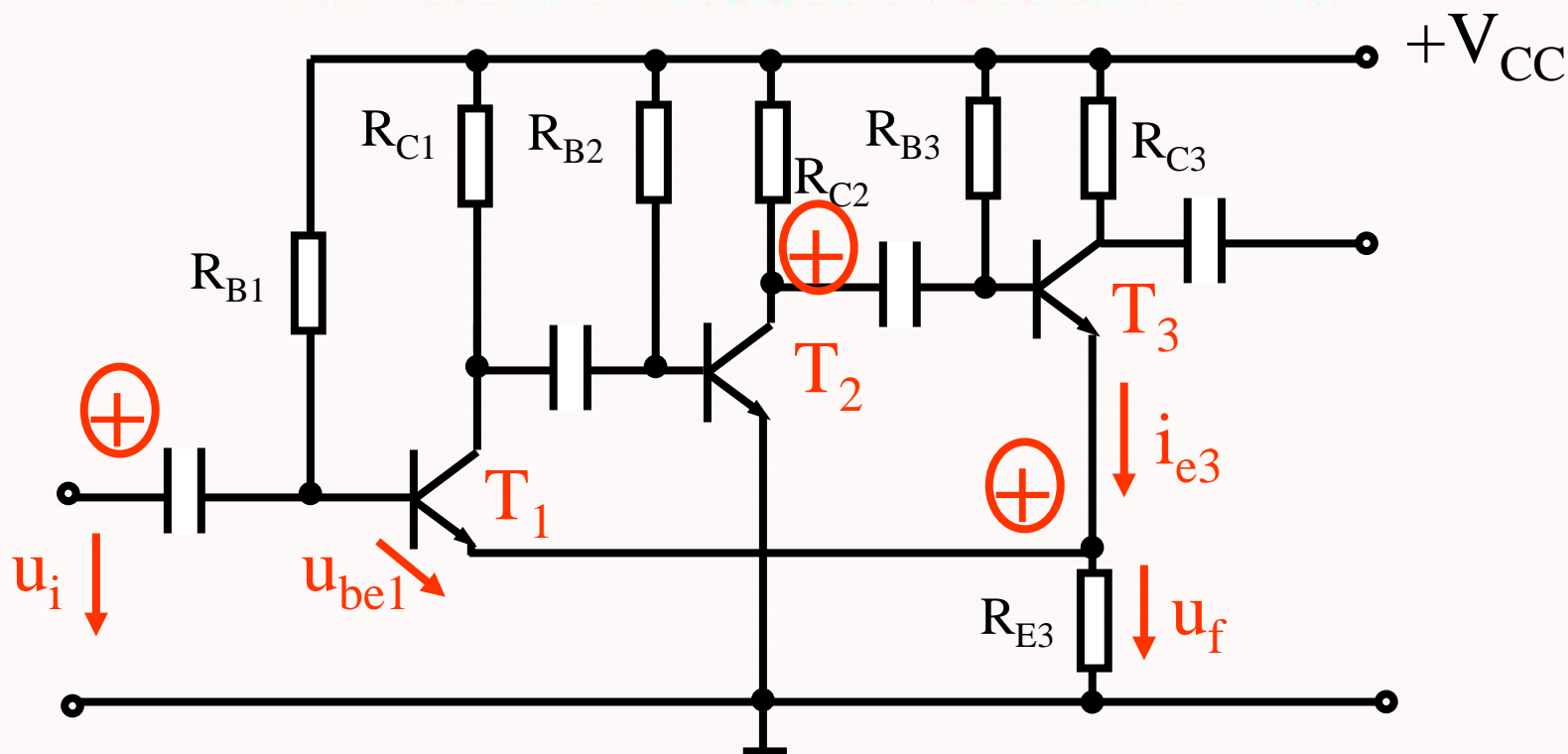
故：

$$\dot{A}_{uuf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx -\frac{R_L (R_3 + R_F)}{R_1 R_3} = -\frac{2 \times (5.1 + 10)}{1 \times 5.1} = -5.9$$



该电路为电流并联负反馈

第五章：放大电路中的反馈

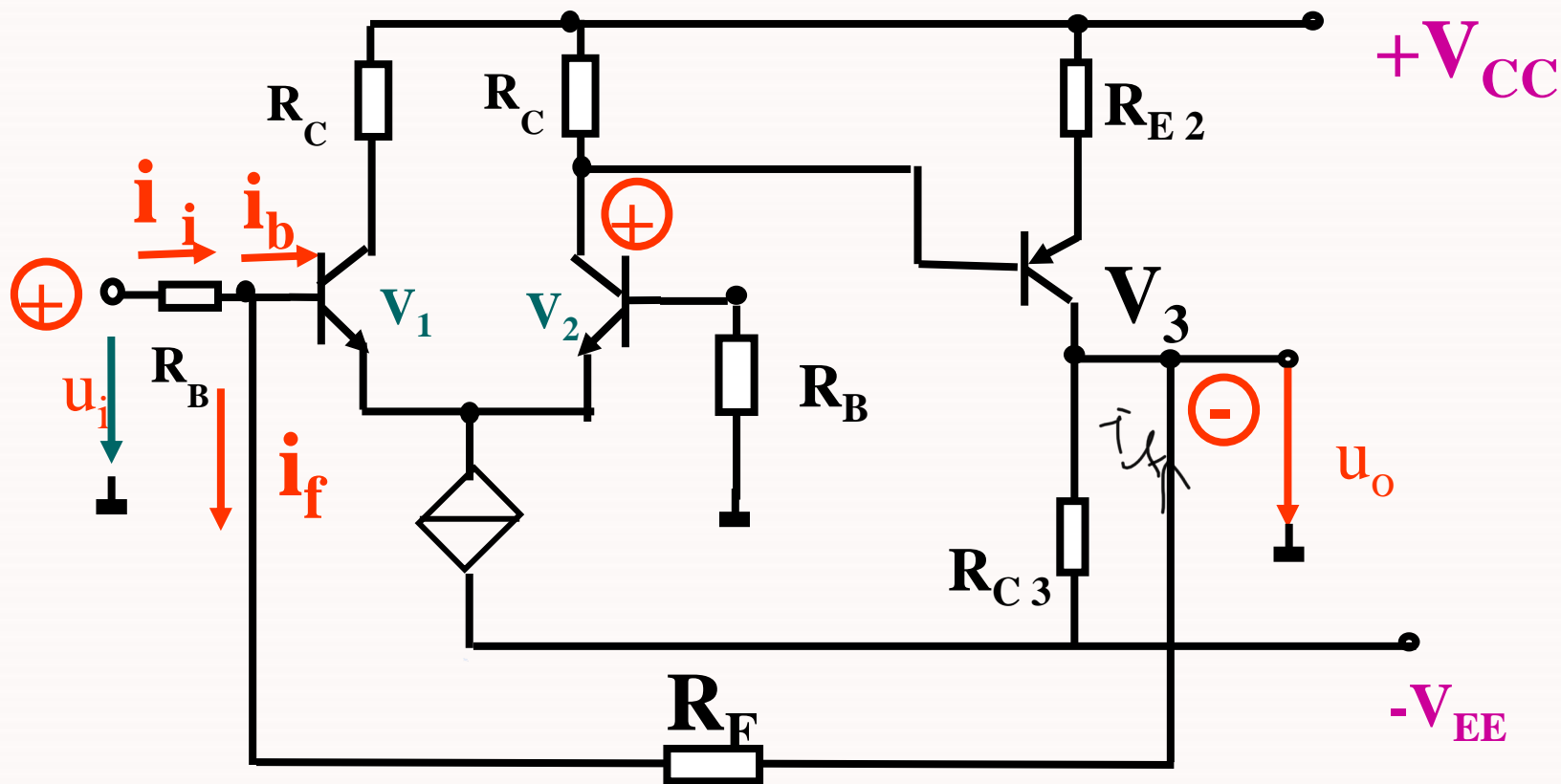


串联电流串联负反馈

$$u_d \approx 0 \quad i_i \approx 0 \quad \Rightarrow \quad u_{be1} \approx 0 \quad i_{b1} \approx 0, i_{e1} \approx 0$$

$$\dot{A}_{uf} = \frac{\dot{U}_O}{\dot{U}_i} \approx \frac{-\dot{I}_{c3} R_{C3}}{\dot{U}_f} = \frac{-\dot{I}_{c3} R_{C3}}{\dot{I}_{e3} R_{E3}} = \frac{-R_{C3}}{R_{E3}}$$

第五章：放大电路中的反馈



$$\dot{A}_{uf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_i R_B} \approx \frac{-\dot{I}_f R_f}{\dot{I}_f R_B} = \frac{-R_f}{R_B}$$

电压并联负反馈

第五章：放大电路中的反馈

小结

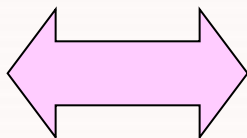
正反馈

引入的信号增强外加信号，使放大电路的放大倍数增加

负反馈

引入的信号削弱外加信号，使放大电路的放大倍数降低

反馈分类



直流反馈

反馈信号只有直流成分

交流反馈

反馈信号只有交流成分

电压反馈

反馈信号取自输出电压

从输出端看



电流反馈

反馈信号取自输出电流

串联反馈

反馈信号与输入信号在电路中串联

从输入端看



并联反馈

反馈信号与输入信号在电路中并联

4.4 负反馈放大电路的自激振荡

对于多级放大电路，如果引入过深的负反馈，可能引起自激振荡。

4.4.1 产生自激振荡原因

一、自激振荡的幅度条件和相位条件

放大电路的闭环放大倍数为：

$$\dot{A}_f = \frac{\dot{A}}{1 + \dot{A}\dot{F}}$$

在中频段， $|\dot{A}\dot{F}| > 1$

在高、低频段，放大倍数 \dot{A} 和反馈系数 \dot{F} 的模和相角都随频率变化，使 $|\dot{A}\dot{F}| < 1$ 。当 $1 + \dot{A}\dot{F} = 0$ $\dot{A}_f = \infty$ 时说明，此时放大电路没有输入信号，但仍有一定的输出信号，因此产生了自激振荡。

第五章：放大电路中的反馈

所以，负反馈放大电路产生自激振荡的条件是：

$$1 + \dot{A}\dot{F} = 0 \quad \text{即：} \quad \dot{A}\dot{F} = -1$$

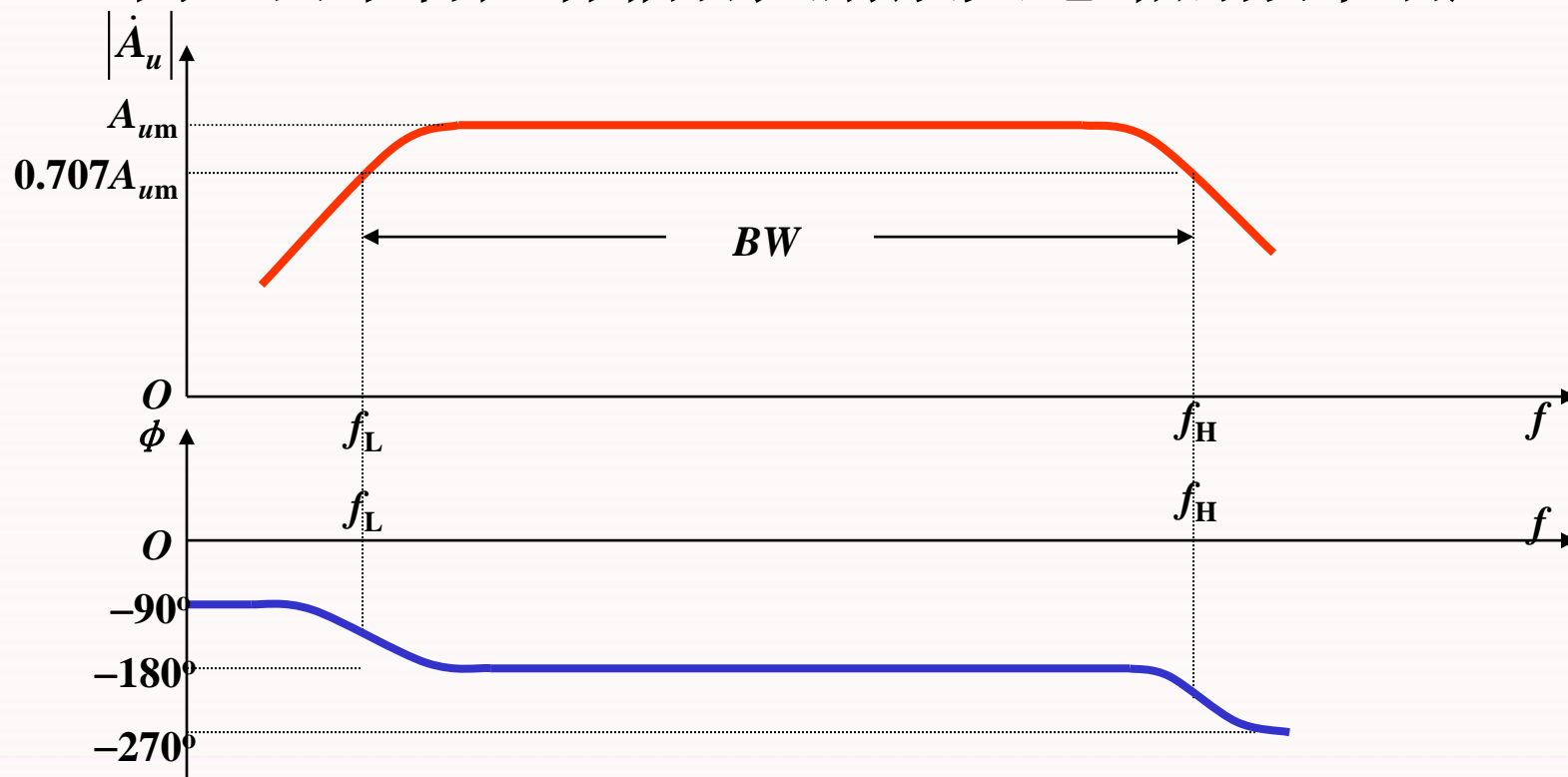
$$|\dot{A}\dot{F}| = 1$$

幅度条件

$$\arg \dot{A}\dot{F} = \pm(2n+1)\pi \quad (n=0,1,2,\dots)$$

相位条件

例：由单管阻容耦合共射放大电路的频率响应



第五章：放大电路中的反馈

可见，在低、高频段，放大电路分别产生了 $0^\circ \sim +90^\circ$ 和 $0^\circ \sim -90^\circ$ 的附加相移。

两级放大电路将产生 $0^\circ \sim \pm 180^\circ$ 附加相移；三级放大电路将产生 $0^\circ \sim \pm 270^\circ$ 的附加相移。

对于多级放大电路，如果某个频率的信号产生的附加相移为 180° ，而反馈网络为纯电阻，则：

$$\arg \dot{A}\dot{F} = 180^\circ$$

满足自激振荡的相位条件，如果同时满足自激振荡的幅度条件，放大电路将产生自激振荡。

第五章：放大电路中的反馈

结论，单级放大电路不会产生自激振荡；两级放大电路当频率趋于无穷大或趋于零时，虽然满足相位条件，但不满足幅度条件，所以也不会产生自激振荡；但**三级放大电路**，在深度负反馈条件下，对于**某个频率**的信号，既满足相位条件，也满足幅度条件，可以产生**自激振荡**。

二、自激振荡的判断方法

利用负反馈放大电路回路增益 $\dot{A}\dot{F}$ 的波特图，分析是否同时满足自激振荡的幅度和相位条件。

4.4.2 常用的校正措施

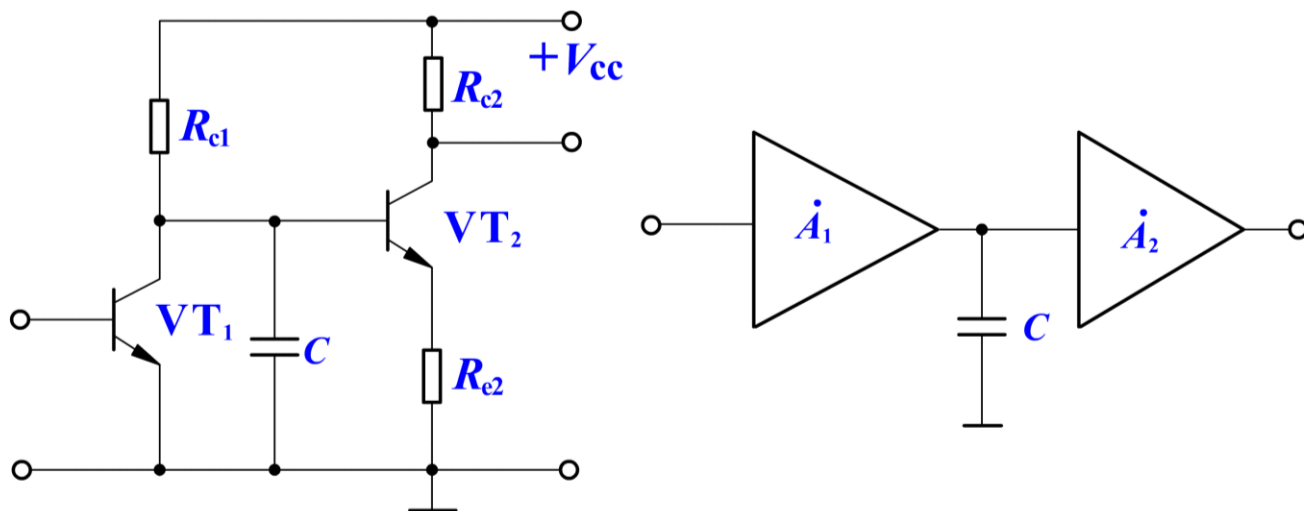
为保证放大电路稳定工作，对于三级或三级以上的负反馈放大电路，需采取适当措施破坏自激振荡的幅度条件和相位条件。

最简单的方法是减小反馈系数或反馈深度，使得在满足相位条件时不满足幅度条件。

但是，由于反馈深度下降，不利于放大电路其他性能的改善，因此通常采用接入电容或 RC 元件组成校正网络，以消除自激振荡。

一、电容校正

比较简单的消振措施是在负反馈放大电路的适当地方接入一个电容。

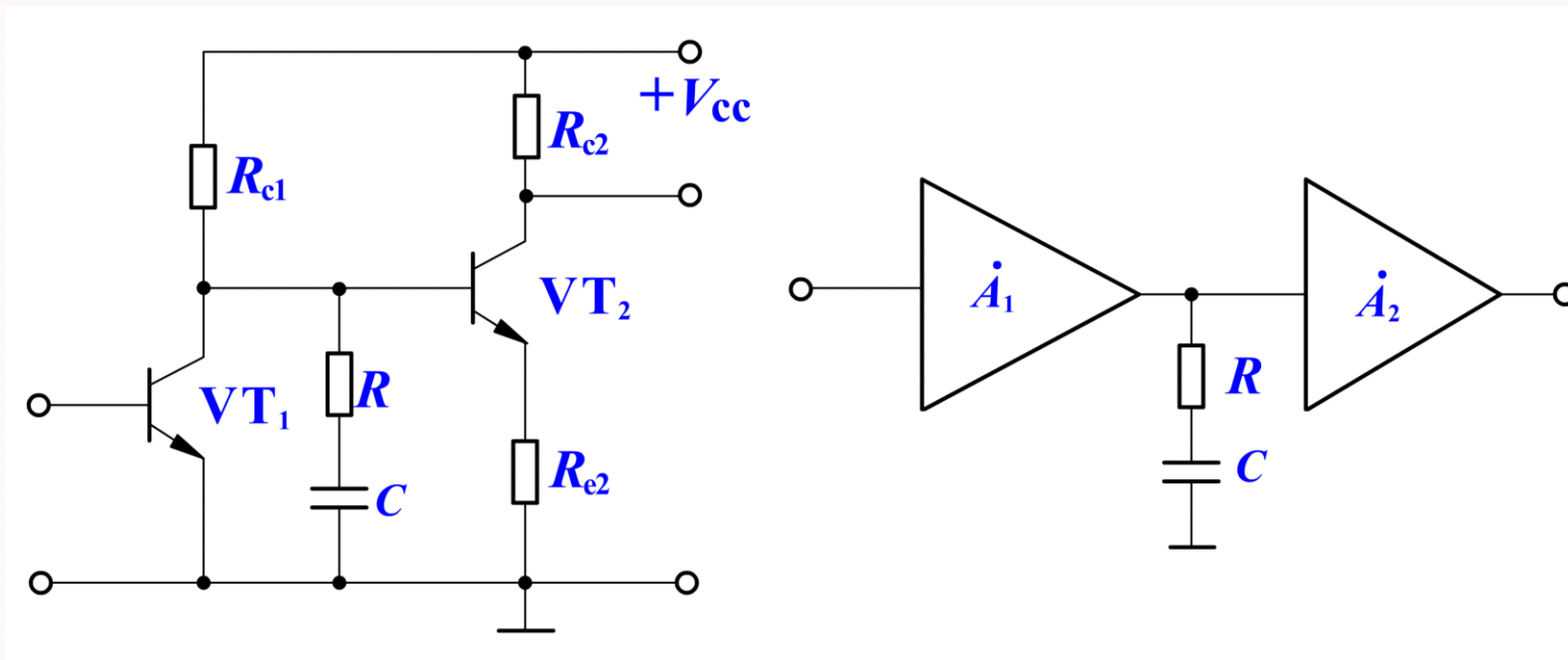


接入的电容相当于并联在前一级的负载上，在中、低频时，容抗很大，所以这个电容基本不起作用。

高频时，容抗减小，使前一级的放大倍数降低，从而破坏自激振荡的条件，使电路稳定工作。

二、RC 校正

除了电容校正以外，还可以利用电阻、电容元件串联组成的 RC 校正网络来消除自激振荡。



利用 RC 校正网络代替电容校正网络，将使通频带变窄的程度有所改善。