



北京航空航天大学
BEIHANG UNIVERSITY

自动化科学与电气工程学院

模拟电子技术基础

第5章 放大电路中的反馈

第5章 放大电路中的反馈

- 5.1 反馈的基本概念及判断方法
- 5.2 负反馈放大电路的四种基本组态
- 5.4 深度负反馈放大电路放大倍数的分析
- 5.5 负反馈对放大电路性能的影响

5.1 反馈的基本概念及判断方法

x_i — 输入信号

x_o — 输出信号

x_f — 反馈信号

x_d — 净输入信号

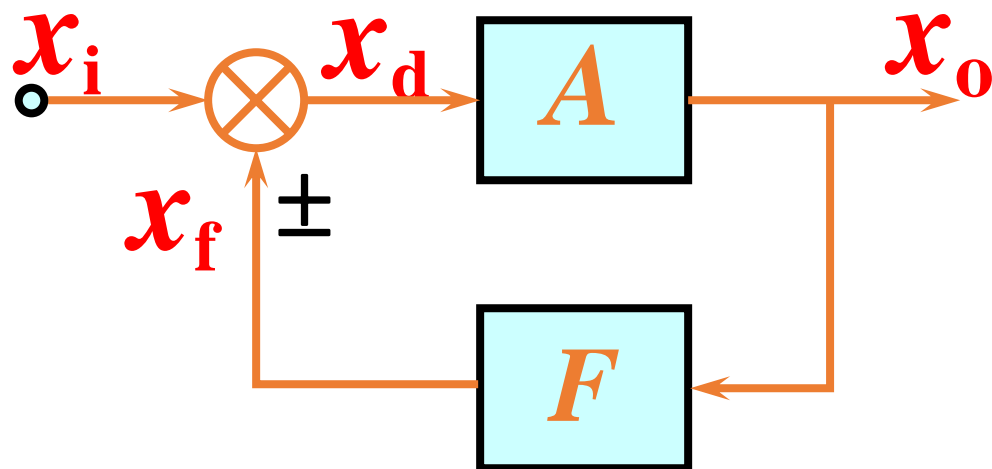
正反馈 $x_d = x_i + x_f$

负反馈 $x_d = x_i - x_f$

开环放大倍数 $A = x_o / x_d$

反馈系数 $F = x_f / x_o$

闭环放大倍数 $A_f = \frac{x_o}{x_i}$

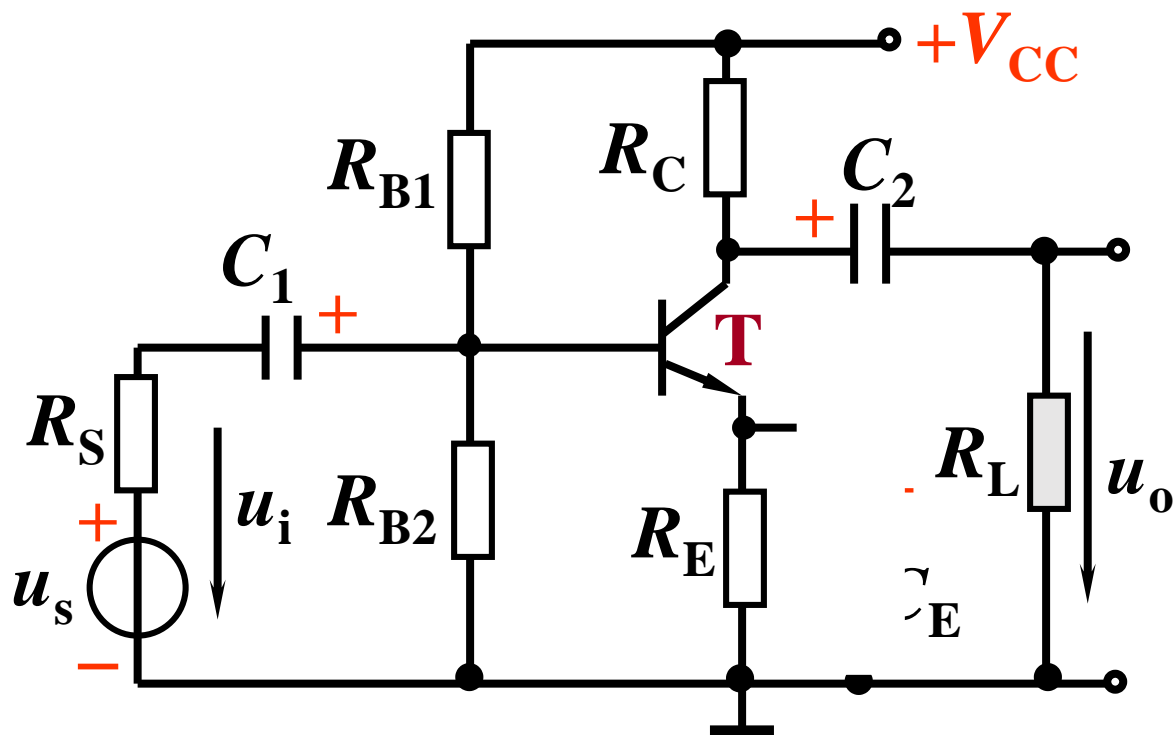


反馈：将输出信号的一部分或全部经反馈网络作用到输入回路。

5.1 反馈的基本概念及判断方法

直流反馈和交流反馈

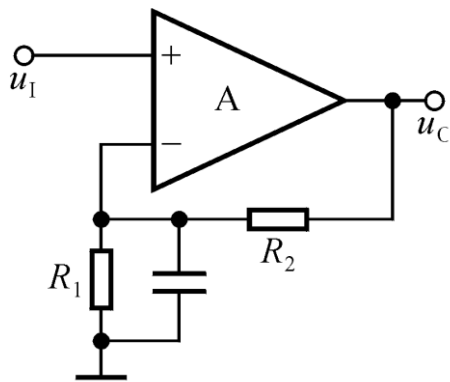
直流负反馈主要用于稳定放大电路的静态工作点



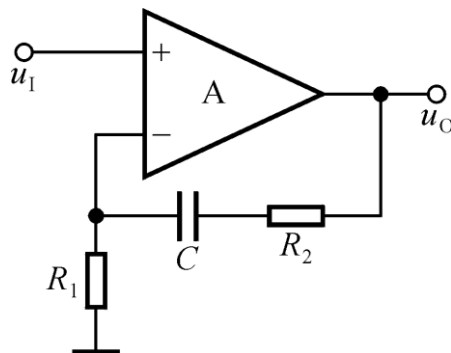
5.1 反馈的基本概念及判断方法

直流反馈和交流反馈的判断

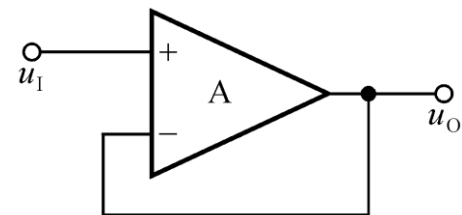
电路中所有电容对交流信号均可视为短路



仅有直流反馈,
交流通路下 R_2
短路接地

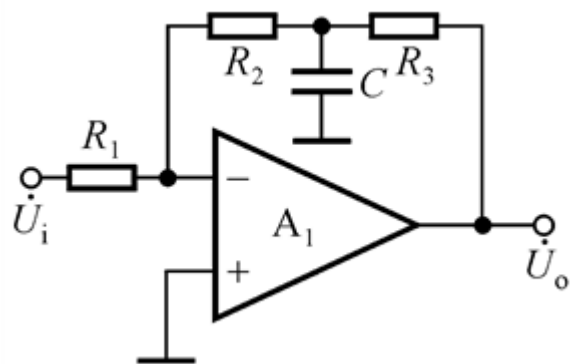


仅有交流反馈,
直流通路下 C 导
致断路



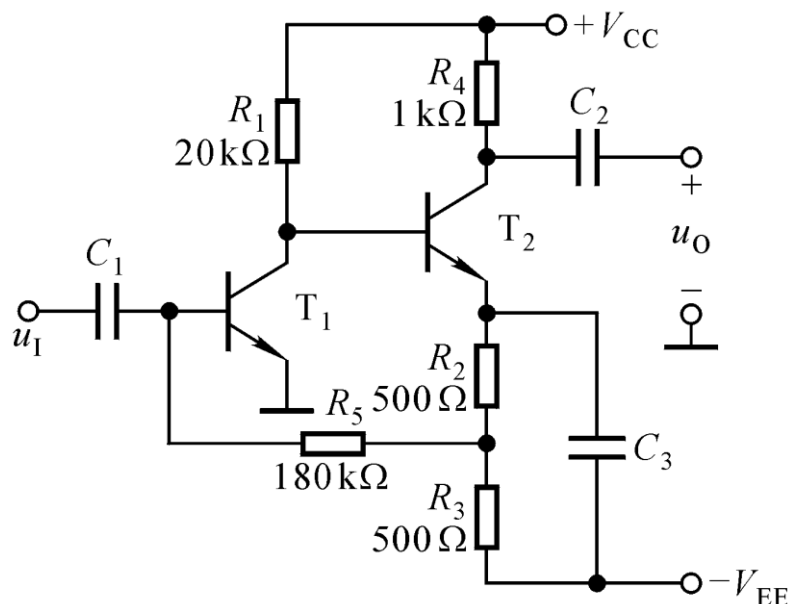
交流与直流反
馈共存

5.1 反馈的基本概念及判断方法



有直流反馈

无交流反馈



两级共射放大电路，在交流通路中， C_3 导通使得 R_2 、 R_3 和 R_5 组成的电路接地，无交流的反馈通路。

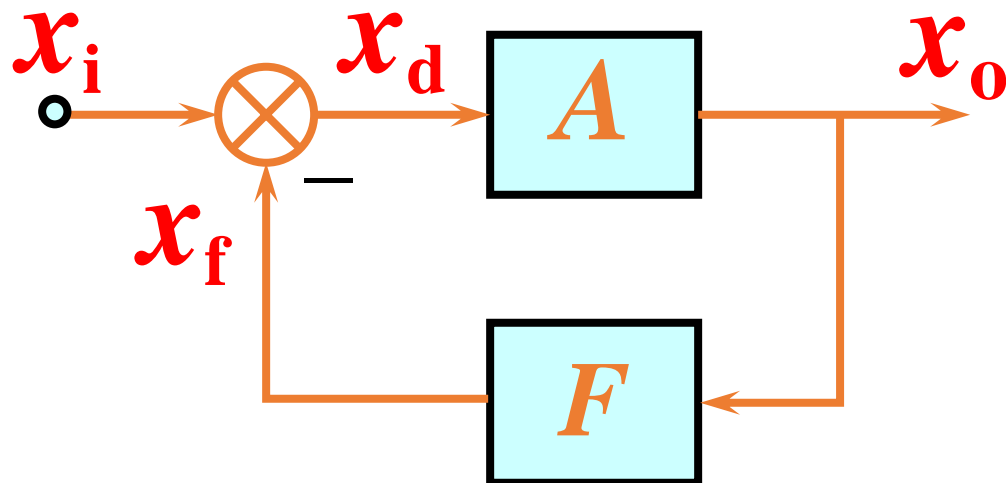
5.1 反馈的基本概念及判断方法

负反馈

$$x_d = x_i - x_f$$

闭环放大倍数

$$\begin{aligned} A_f = \frac{x_o}{x_i} &= \frac{A x_d}{x_d + x_f} \\ &= \frac{A x_d}{x_d + AF x_d} \\ &= \frac{A}{1 + AF} \end{aligned}$$



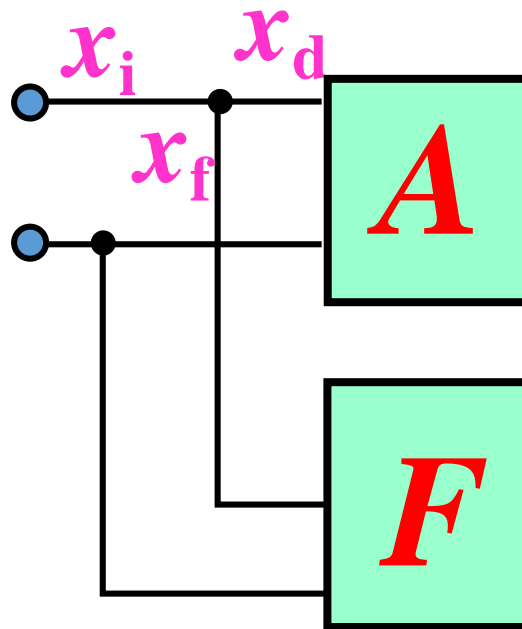
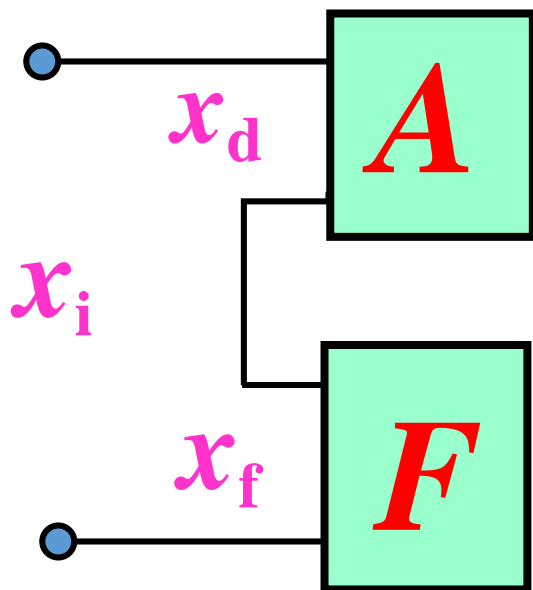
AF : 反馈深度

$AF \gg 1$ 深度负反馈

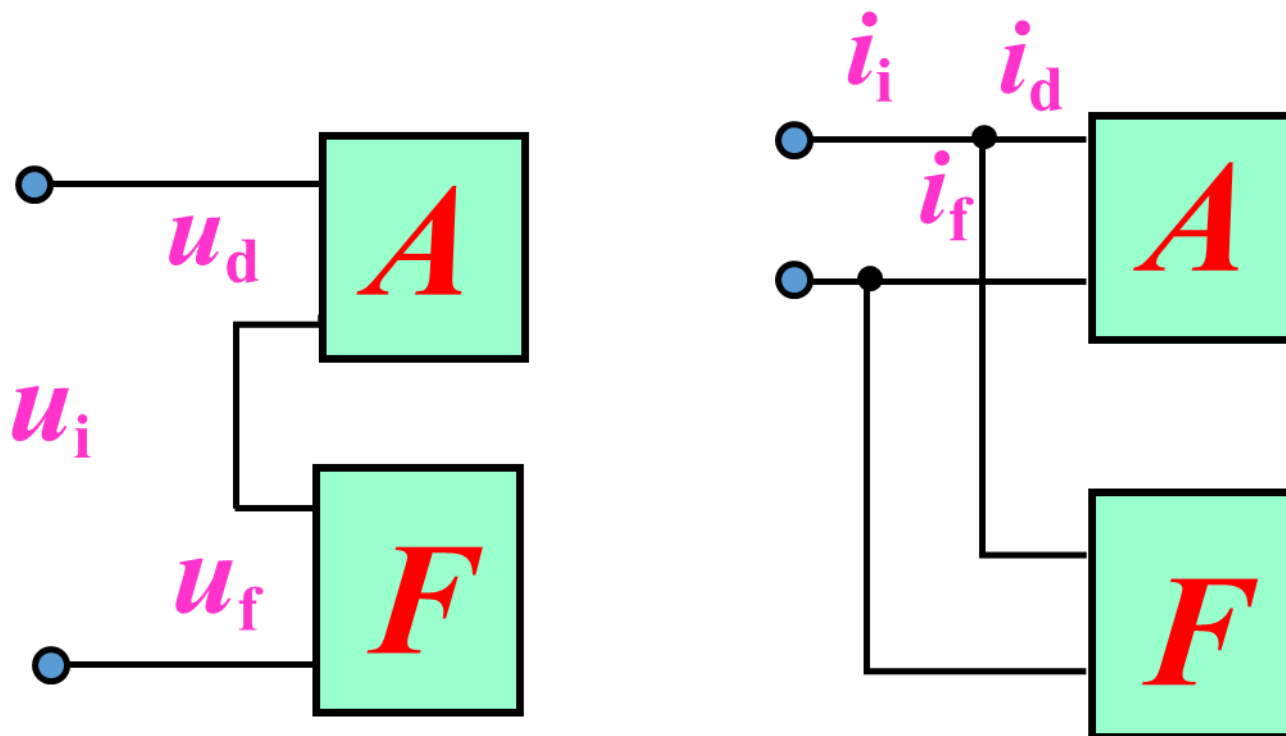
$$A_f \approx \frac{1}{F}$$

5.2 负反馈放大电路的四种基本组态

1、串联反馈与并联反馈



5.2 负反馈放大电路的四种基本组态

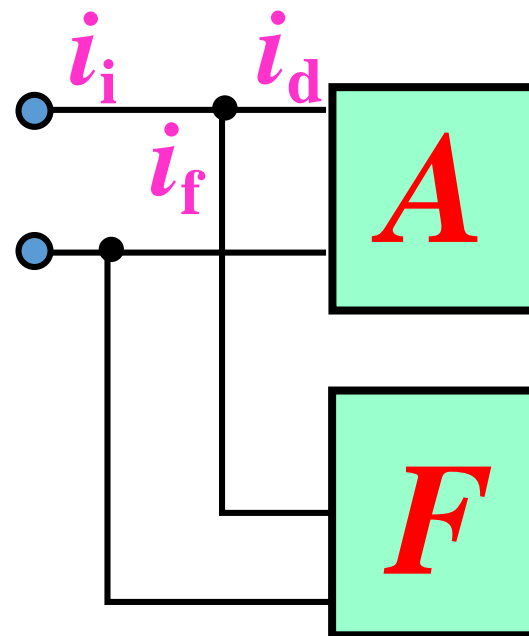
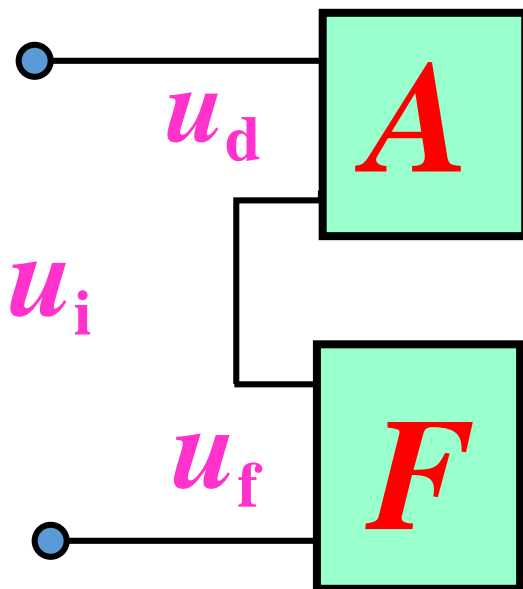


串联反馈：反馈量与输入量以电压方式叠加

并联反馈：反馈量与输入量以电流方式叠加

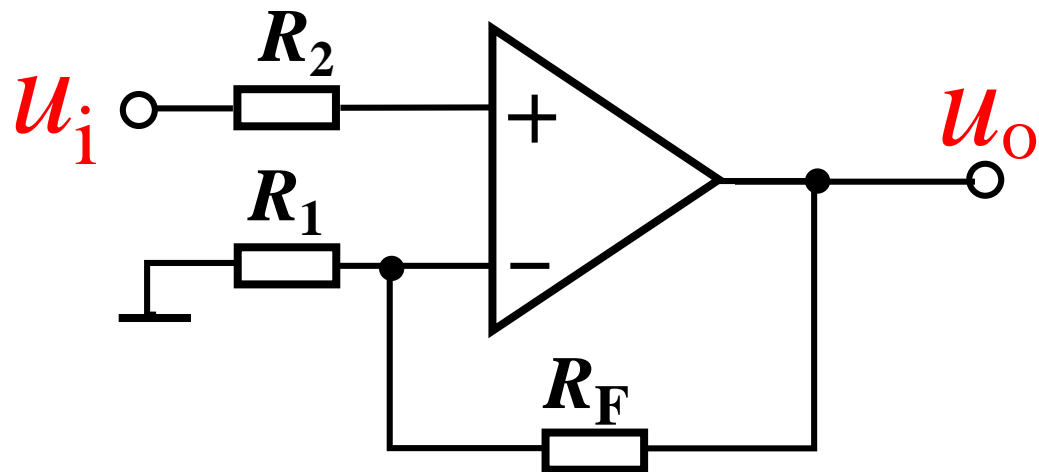
5.2 负反馈放大电路的四种基本组态

串联反馈与并联反馈判定方法

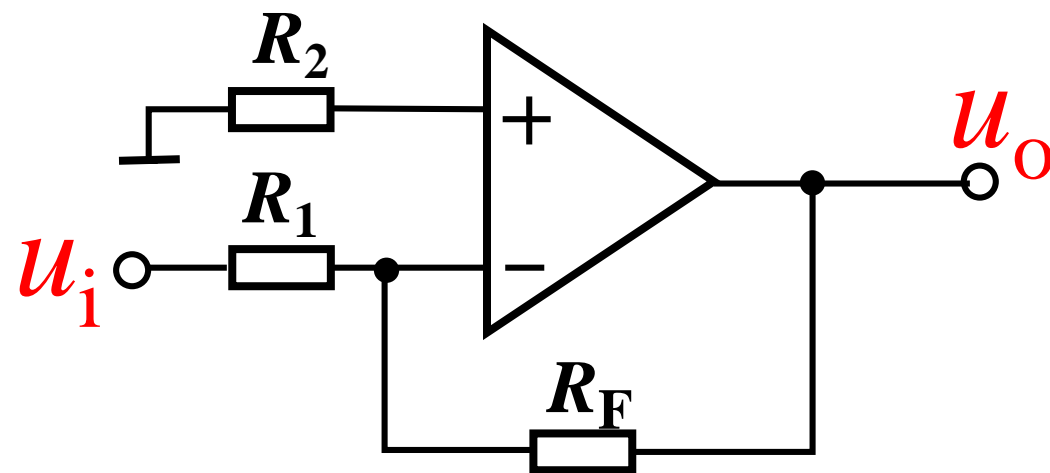


反馈支路与输入端的连接情况

5.2 负反馈放大电路的四种基本组态

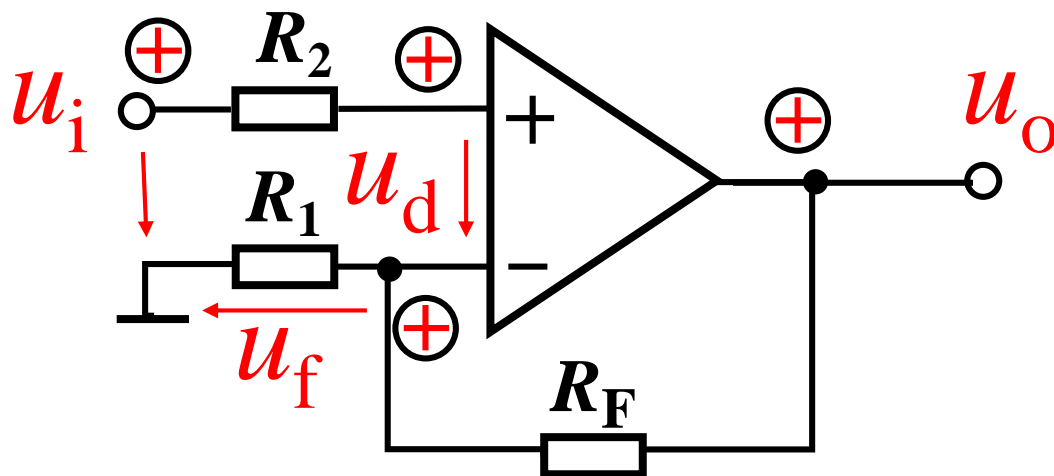


串联反馈



并联反馈

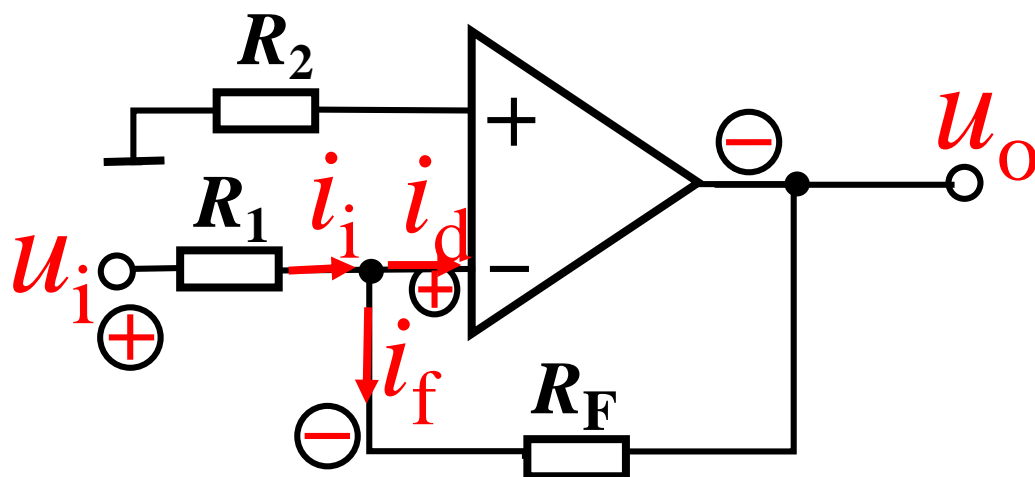
5.2 负反馈放大电路的四种基本组态



串联反馈

$$u_d = u_i - u_f < u_i$$

负反馈



并联反馈

$$i_d = i_i - i_f < i_i$$

负反馈

5.2 负反馈放大电路的四种基本组态

正反馈与负反馈的判定

$$\mathbf{x_d} = \mathbf{x_i} + \mathbf{x_f} \quad \text{净输入量增加 正反馈}$$

$$\mathbf{x_d} = \mathbf{x_i} - \mathbf{x_f} \quad \text{净输入量减小 负反馈}$$

判断方法：瞬时极性法

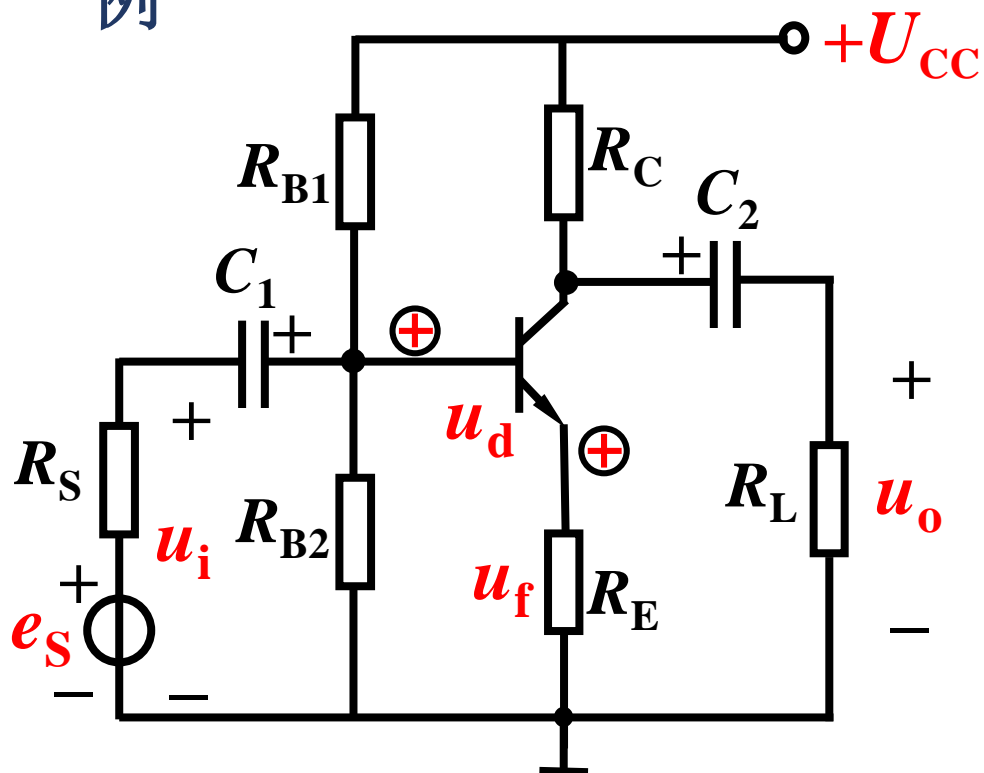
给定 $\mathbf{x_i}$ 的瞬时极性，以此为依据分析电路中各电流、电位的极性从而得到 $\mathbf{x_o}$ 的极性,再根据 $\mathbf{x_o}$ 的极性确定 $\mathbf{x_f}$ 的极性，利用 $\mathbf{x_i}$ 和 $\mathbf{x_f}$ 的叠加关系，确定反馈的类型。

串联反馈：反馈量与输入量以电压方式叠加

并联反馈：反馈量与输入量以电流方式叠加

5.2 负反馈放大电路的四种基本组态

例



串联反馈

$$u_d = u_i - u_f < u_i$$

负反馈

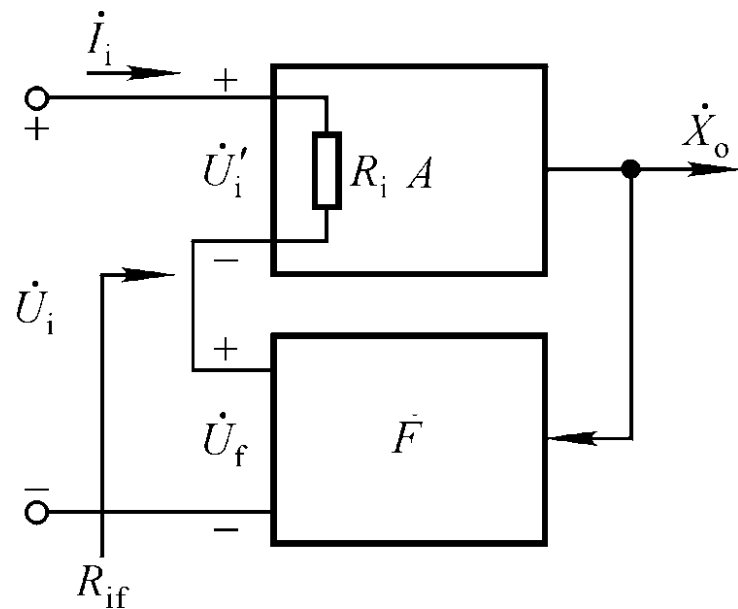
5.2 负反馈放大电路的四种基本组态

改变输入电阻

串联负反馈增大输入电阻

$$R_i = \frac{U_i'}{I_i}$$

$$R_{if} = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i' + U_f}{I_i} = \frac{U_i' + AFU_i'}{I_i}$$



$$R_{if} = (1 + AF)R_i$$

$$(1 + AF) \rightarrow \infty, R_{if} \rightarrow \infty$$

引入串联负反馈，使引入反馈支路的等效电阻增大到原来电路的 $(1 + AF)$ 倍。

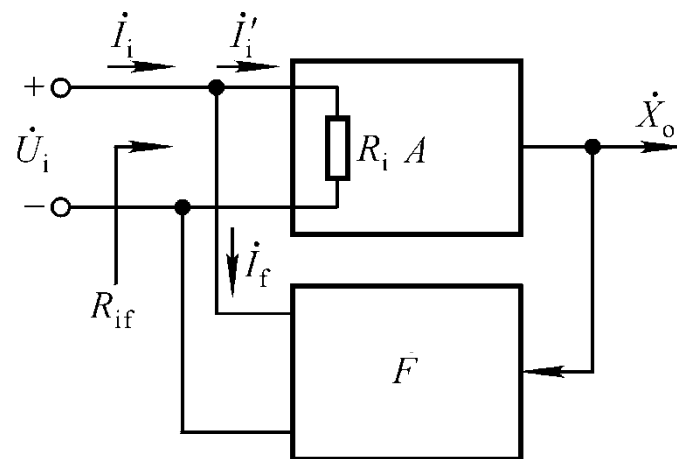
5.2 负反馈放大电路的四种基本组态

并联负反馈减小输入电阻

$$R_i = \frac{U_i}{I_i'}$$

$$R_{if} = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{I_i' + I_f} = \frac{U_i}{I_i' + AFI_i'}$$

$$R_{if} = \frac{R_i}{1 + AF}$$

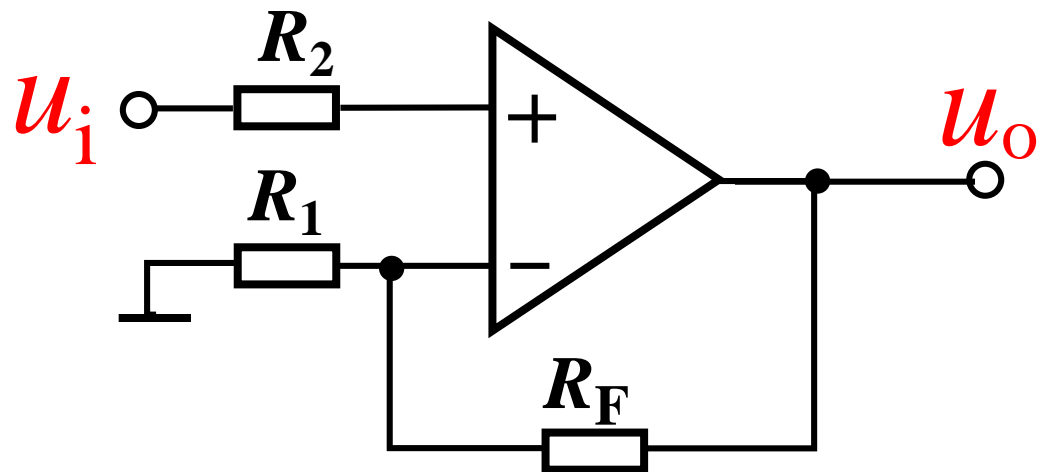


$$(1 + AF) \rightarrow \infty, R_{if} \rightarrow 0$$

引入并联负反馈，引入反馈支路的等效电阻变到原来电路的 $1/(1 + AF)$ 。

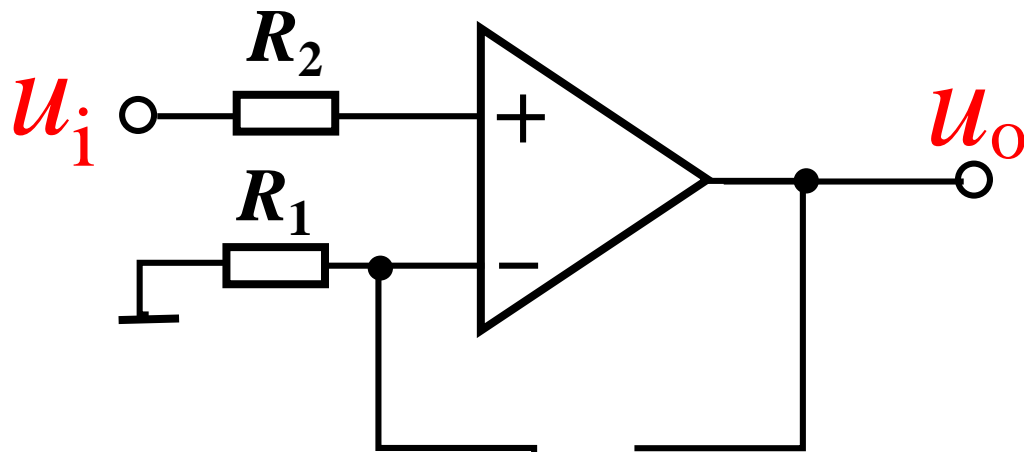
结论：串联负反馈增大输入电阻
并联负反馈减小输入电阻

5.2 负反馈放大电路的四种基本组态



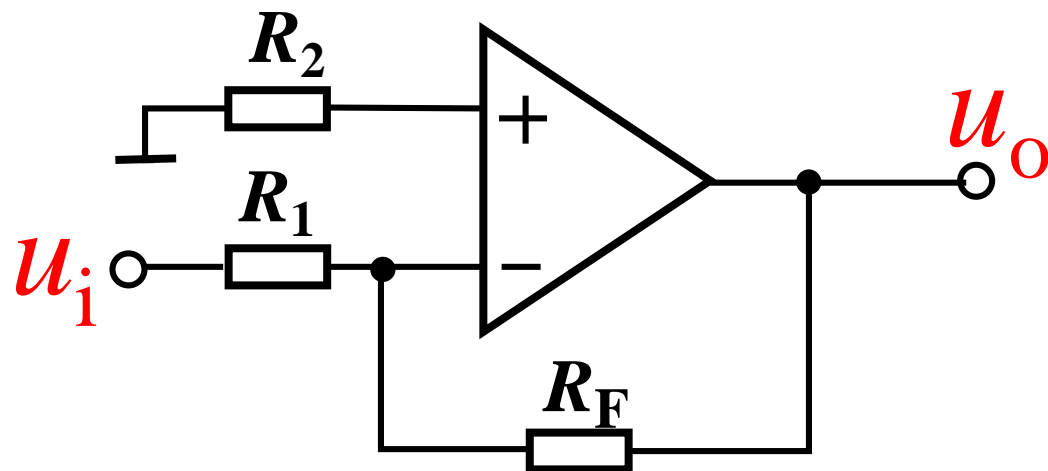
串联反馈

$$R_i = \infty$$



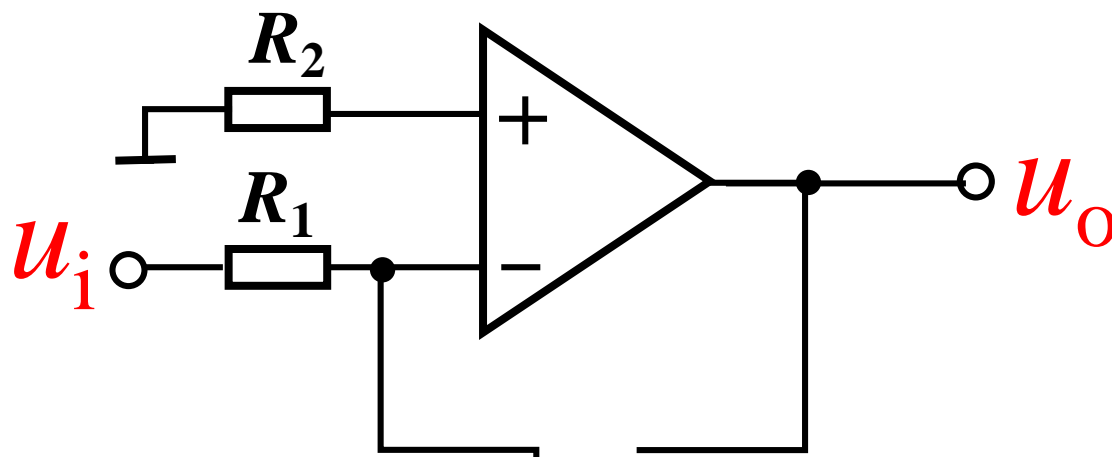
$$R_i = \infty$$

5.2 负反馈放大电路的四种基本组态



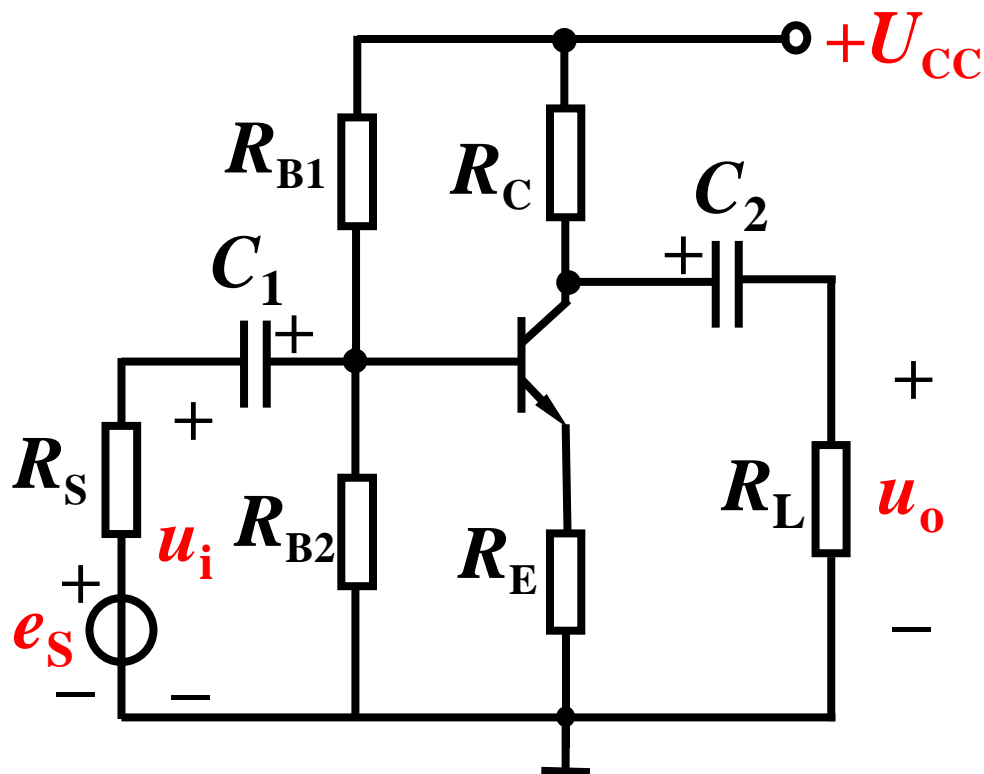
并联反馈

R_i 减小



$R_i = \infty$

5.2 负反馈放大电路的四种基本组态



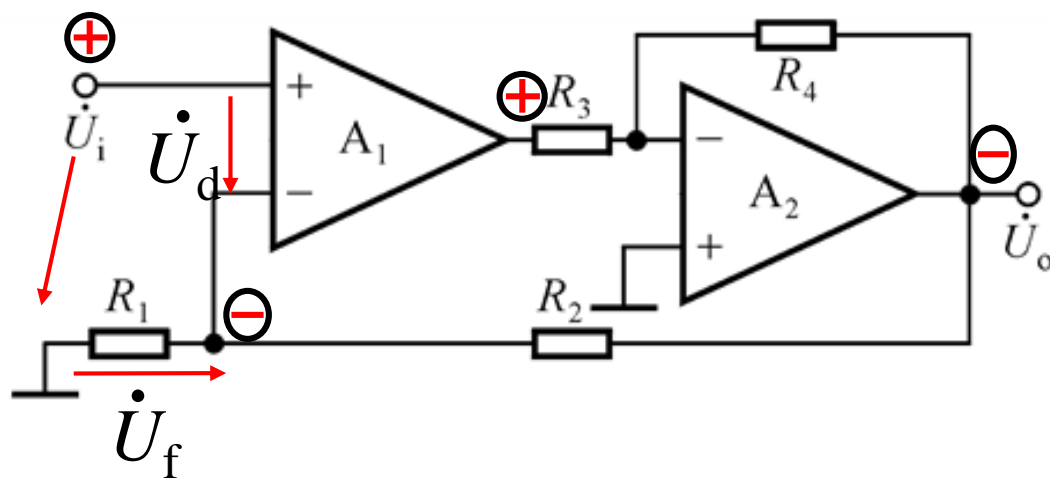
串联反馈

无反馈 $r_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be}$

有反馈 $r_i = R_{B1} // R_{B2} // [r_{be} + (1 + \beta)R_E]$ 增大

5.2 负反馈放大电路的四种基本组态

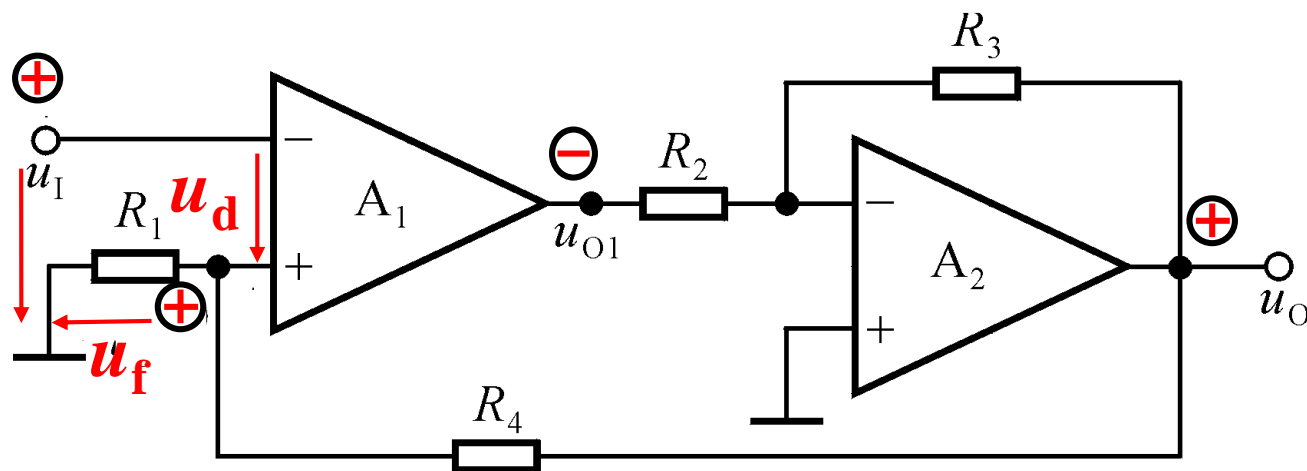
例：判断电路图是否引入了反馈，是直流反馈还是交流反馈，是正反馈还是负反馈。



$$u_d = u_i + u_f > u_i$$

正反馈

5.2 负反馈放大电路的四种基本组态



$$u_d = u_i - u_f < u_i$$

负反馈