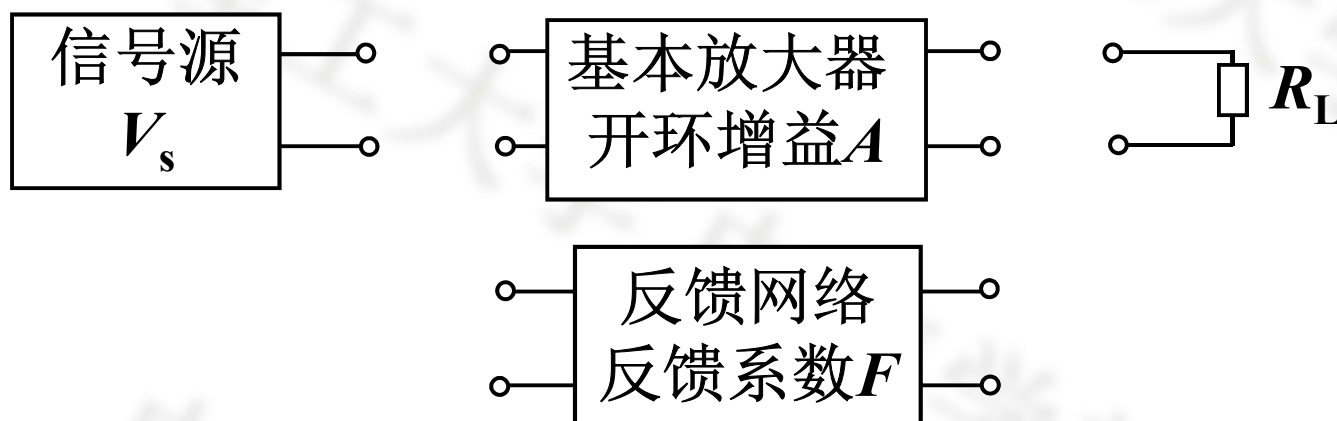


7.2 负反馈放大电路的四种组态

1. 反馈信号的连接方式

当考虑到信号源和负载时，负反馈放大器包含四个部分：



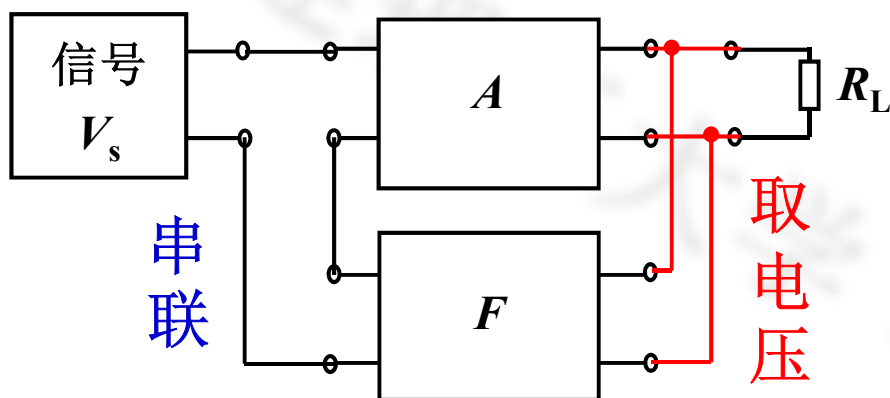
根据反馈信号的连接方式分类：

- 输入端：串联、并联
- 输出端：取电压、电流

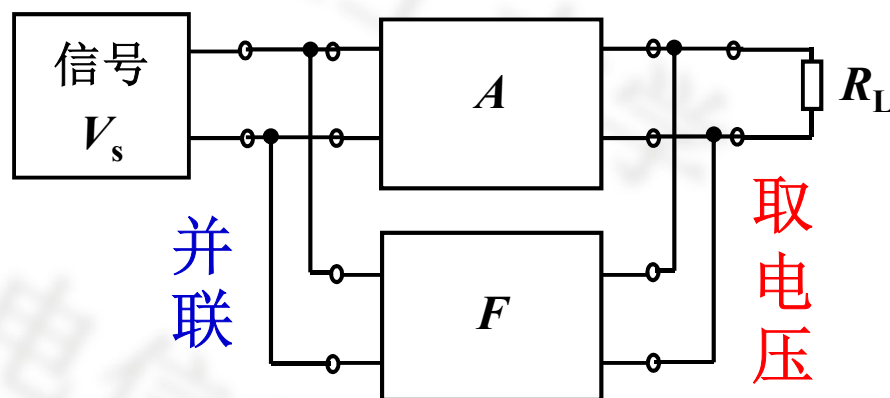
2. 反馈的四种基本组态

根据反馈的连接方式的组合，得到四种基本组态：

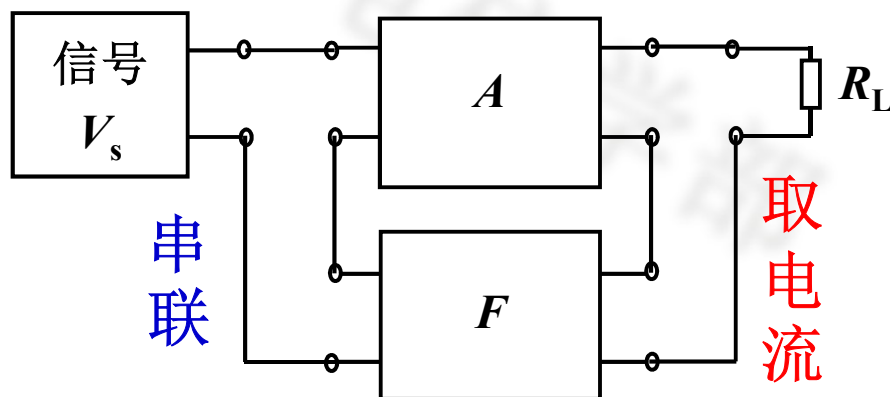
电压串联反馈



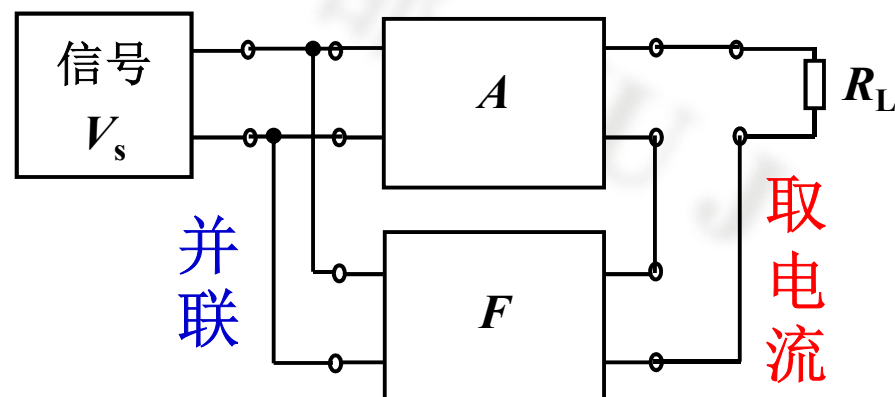
电压并联反馈



电流串联反馈



电流并联反馈



3. 判断反馈的基本组态的方法

1) 输出端获取反馈信号类型：电压？电流？

电压反馈

$$\dot{X}_o \rightarrow \dot{V}_o$$

电流反馈

$$\dot{X}_o \rightarrow \dot{I}_o$$

如何判别？

直接观察输出连接方式；

或采用负载短路法：

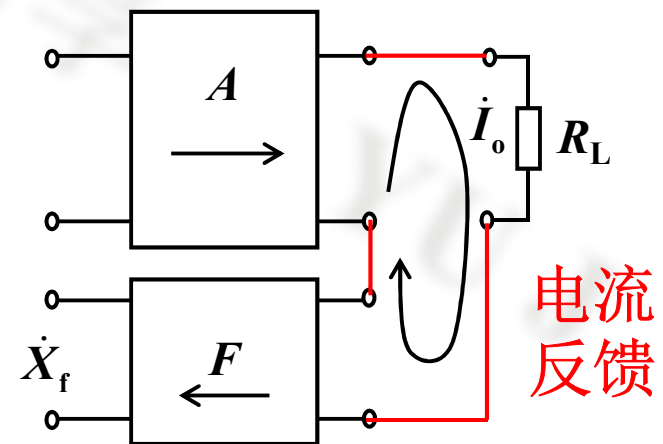
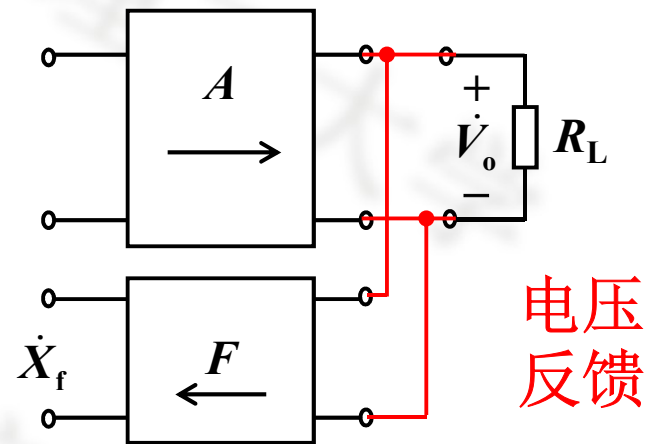
令 $R_L=0$ ，则：

$$\dot{V}_o = 0$$

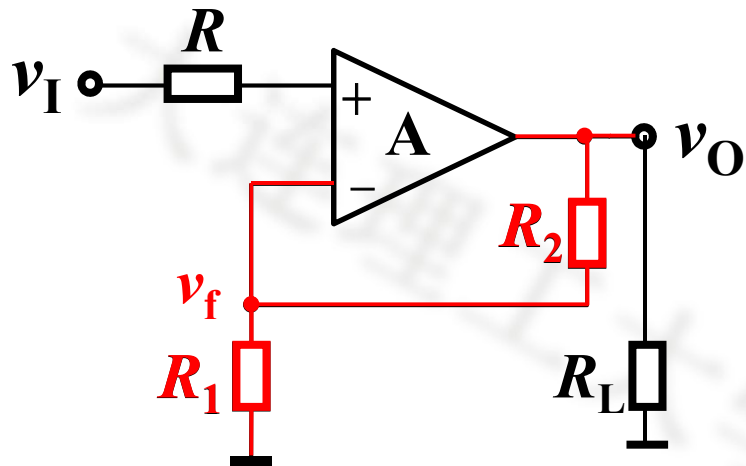
$$\begin{aligned}\dot{X}_f &= F \cdot \dot{V}_o \\ &= 0\end{aligned}$$

仍存在反馈电流

$$\begin{aligned}\dot{X}_f &= F \cdot \dot{I}_o \\ &\neq 0\end{aligned}$$



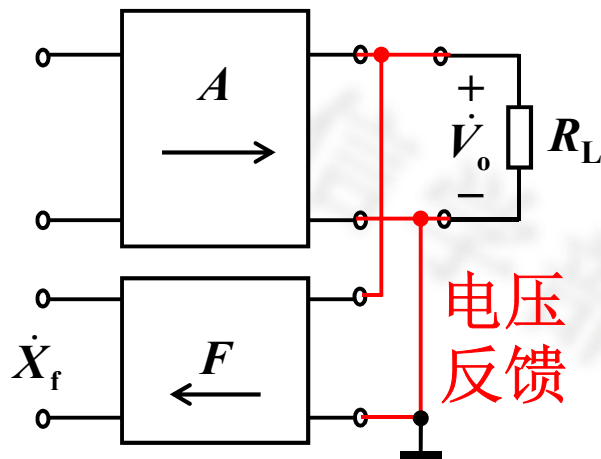
Example 1: 判别输出反馈类型



找出反馈通路: R_2 、 R_1 通路
判断正/负反馈: 负反馈

电压反馈: 反馈点同时连接
运放输出和 R_L 。

方法1: 观察输出连接方式;



方法2: 负载短路法;

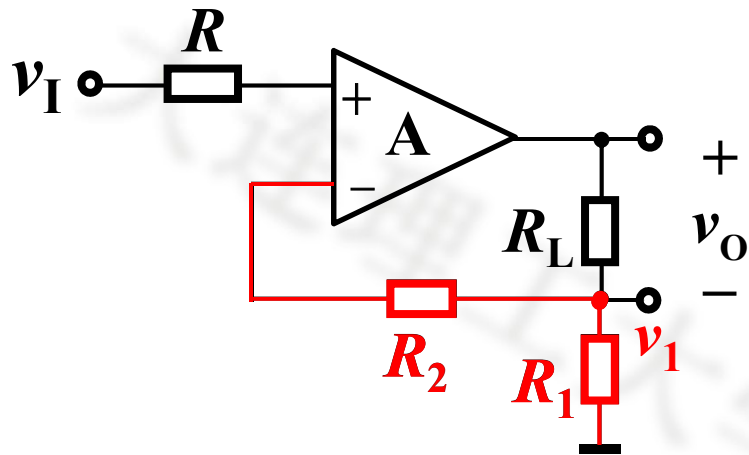
令 $R_L=0$

$\rightarrow v_o=0$

$\rightarrow v_f=0$

反馈消失, 是电压反馈。

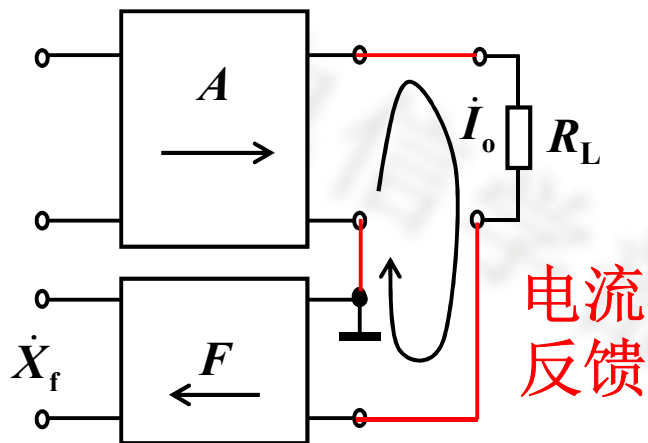
Example 2: 判别输出反馈类型



找出反馈通路: R_2 、 R_1 通路
判断正/负反馈: 负反馈

电流反馈: 反馈点没有同时
连接运放输出和 R_L 。

方法1: 观察输出连接方式;



方法2: 负载短路法;

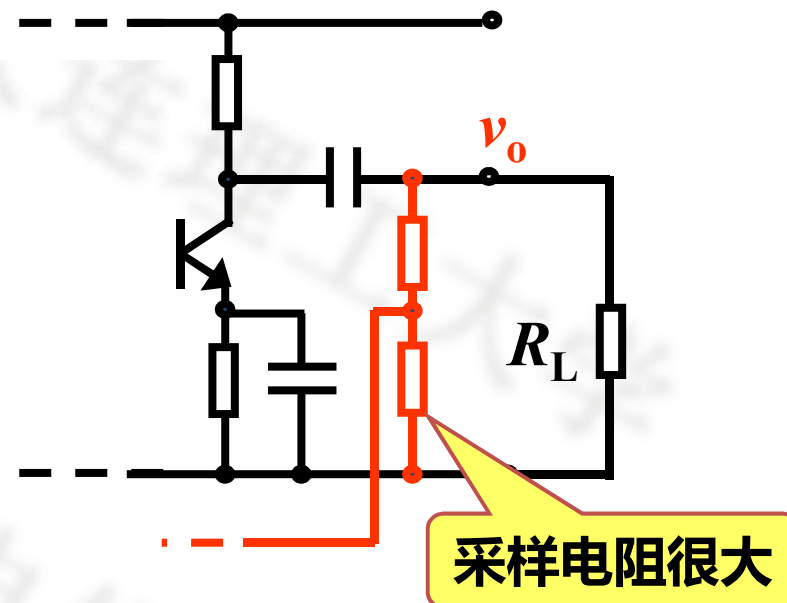
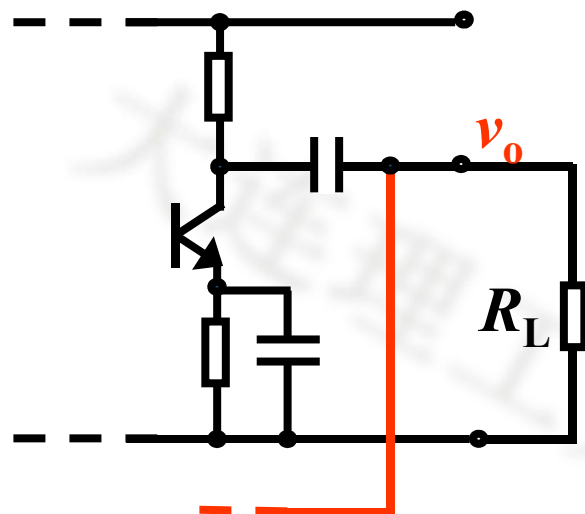
令 $R_L=0$

$\rightarrow v_o=0$

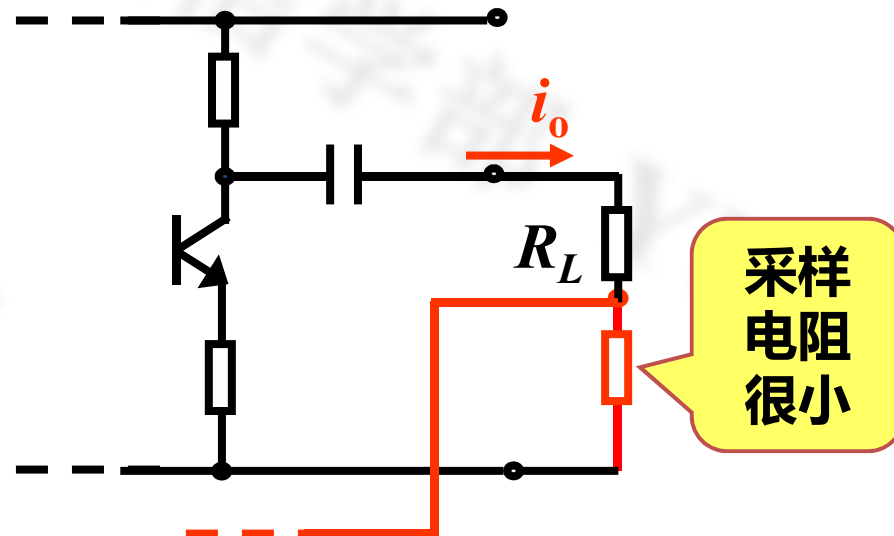
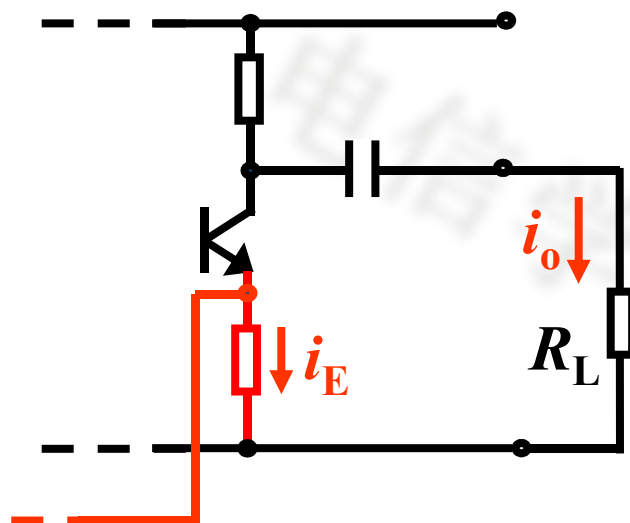
$\rightarrow v_1 \neq 0$ (接运放输出)

反馈仍存在, 是电流反馈。

BJT电路的电压反馈采样的两种形式：❤



BJT电路的电流反馈采样的两种形式：❤



3. 判断反馈的基本组态的方法

2) 输入端反馈类型：串联？并联？

串联反馈

$$\dot{X}_i \rightarrow \dot{V}_i$$

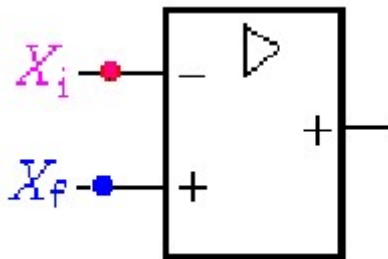
并联反馈

$$\dot{X}_i \rightarrow \dot{I}_i$$

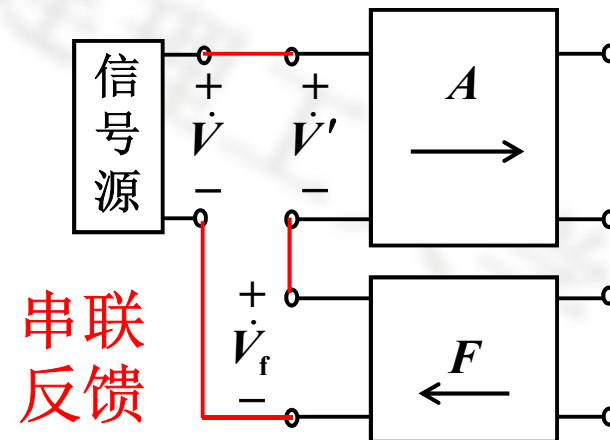
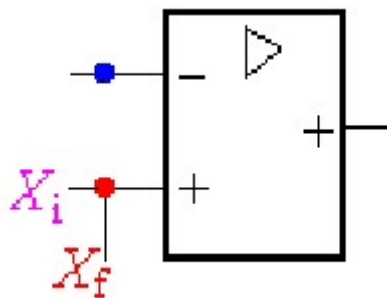
如何判别？

直接观察输入连接方式；

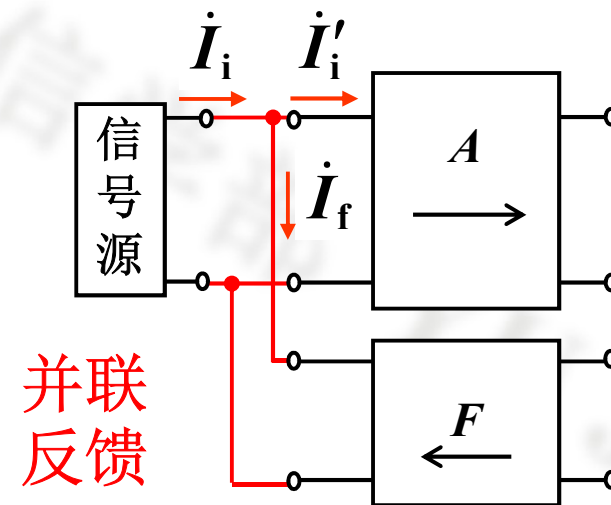
\dot{X}_i 和 \dot{X}_f 接
不同输入端



\dot{X}_i 和 \dot{X}_f 接
相同输入端



串联
反馈



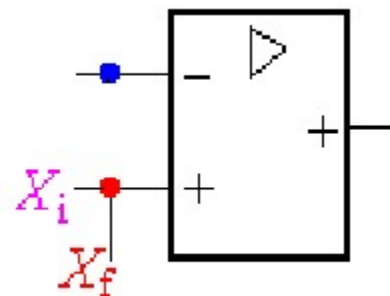
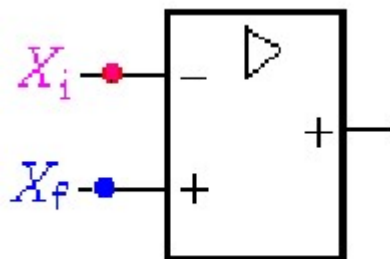
并联
反馈

放大电路的两个输入端:

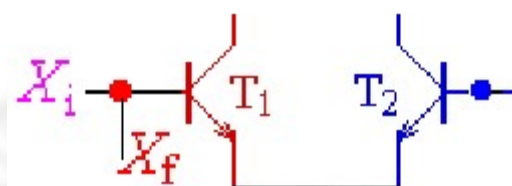
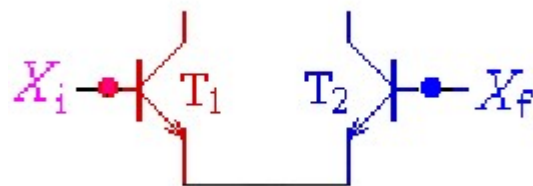
串联反馈

并联反馈

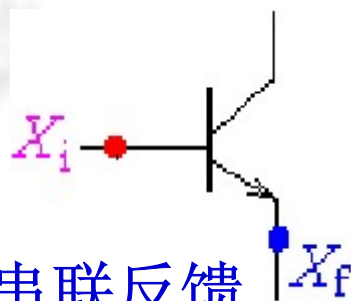
Op-amp



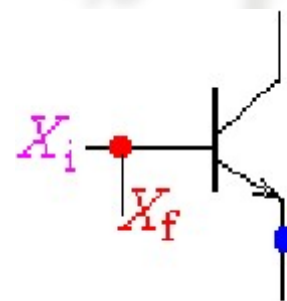
Diff-amp



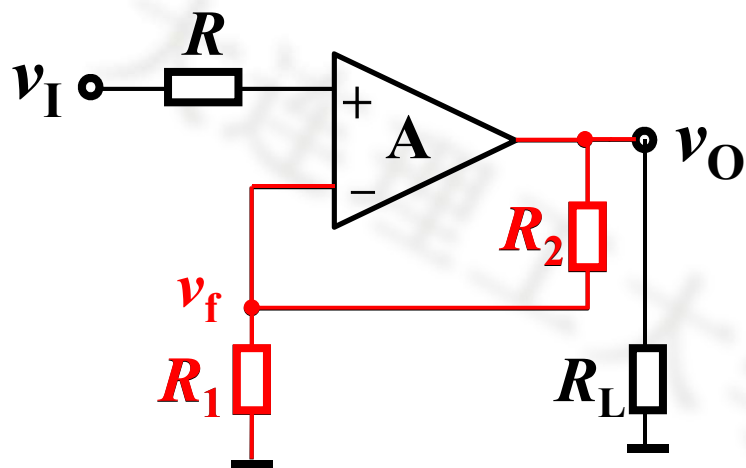
BJT
FET



R_e 引入串联反馈



Examples: 判别输入反馈类型（串联？并联？）



电压串联负反馈

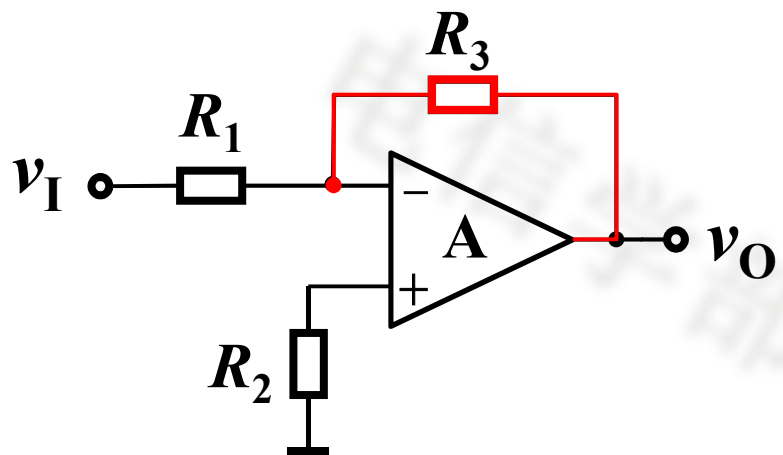
反馈通路: R_2 、 R_1 通路

正/负反馈: 负反馈

电压反馈

\dot{X}_i 和 \dot{X}_f 接不同输入端

串联反馈



电压并联负反馈

反馈通路: R_3 通路

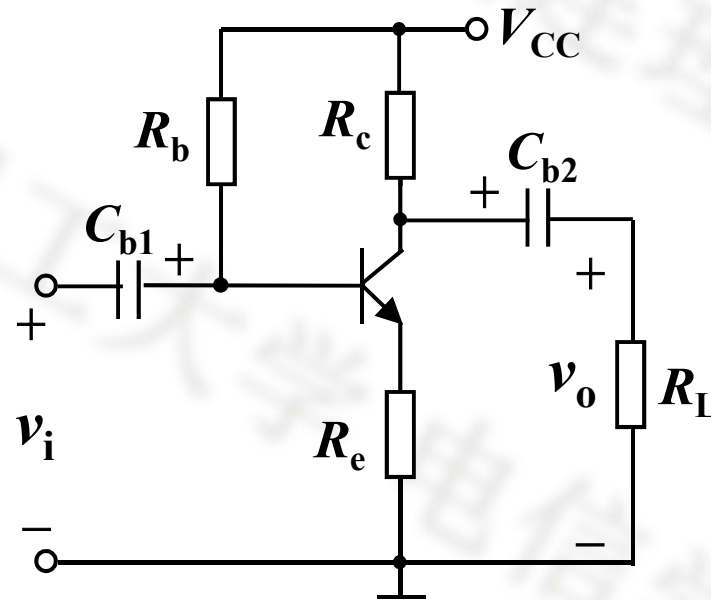
正/负反馈: 负反馈

电压反馈

\dot{X}_i 和 \dot{X}_f 接相同输入端

并联反馈

Examples: 判别输入反馈类型（串联？并联？）



R_e 反馈通路

电流串联负反馈

4. 反馈放大器类型描述

类型 = (交、直流) + 输出 + 输入 + 极性

有	交流反馈	电压反馈	串联反馈	负反馈
反				
馈?	直流反馈	电流反馈	并联反馈	正反馈

例如：交流电压串联负反馈

交直流电流串联负反馈

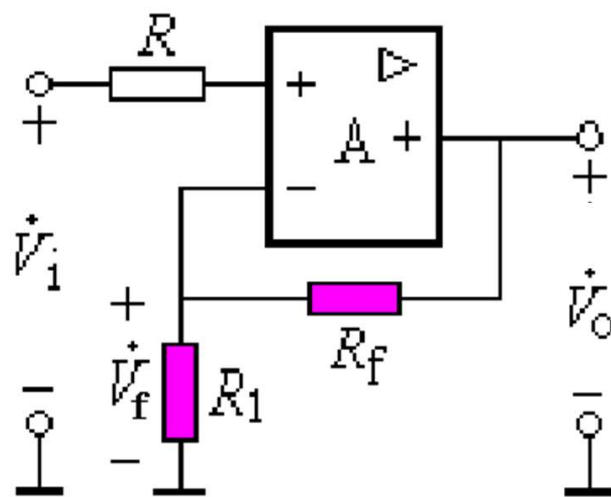
正反馈

综合：反馈放大器类型描述：

类型 = (交、直流) + 输出 + 输入 + 极性

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
有反馈?	交流反馈	电压反馈	串联反馈	负反馈
	直流反馈	电流反馈	并联反馈	正反馈

类型判别举例：——五步法



交直流电压串联负反馈

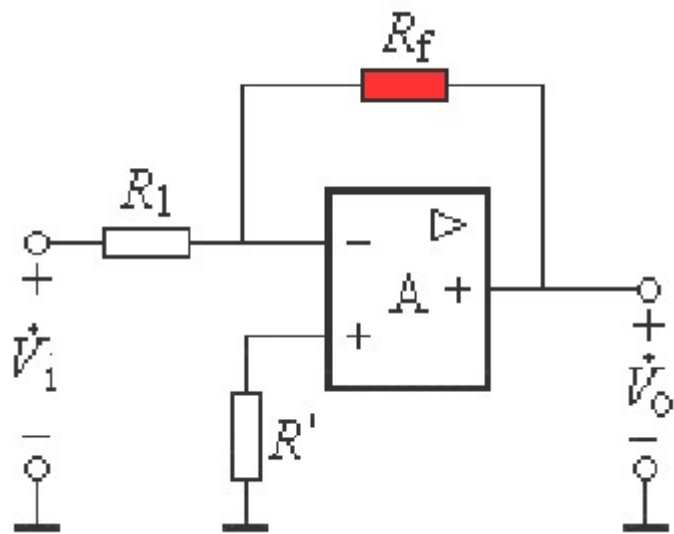
- (1)有反馈 R_f 、 R_1
- (2)交直流反馈
- (3)电压反馈
- (4)串联反馈
- (5)负反馈

综合：反馈放大器类型描述：

类型 = (交、直流) + 输出 + 输入 + 极性

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
有反馈?	交流反馈	电压反馈	串联反馈	负反馈
	直流反馈	电流反馈	并联反馈	正反馈

类型判别举例：——五步法



交直流电压并联负反馈

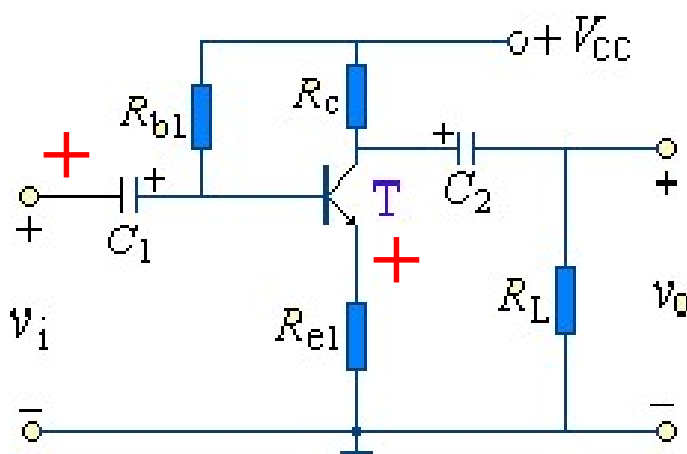
- (1)有反馈 R_f
- (2)交直流反馈
- (3)电压反馈
- (4)并联反馈
- (5)负反馈

综合：反馈放大器类型描述：

类型 = (交、直流) + 输出 + 输入 + 极性

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
有反馈?	交流反馈	电压反馈	串联反馈	负反馈
	直流反馈	电流反馈	并联反馈	正反馈

类型判别举例：——五步法



- (1) 有反馈 R_{e1}
- (2) 交直流反馈
- (3) 电流反馈
- (4) 串联反馈
- (5) 负反馈

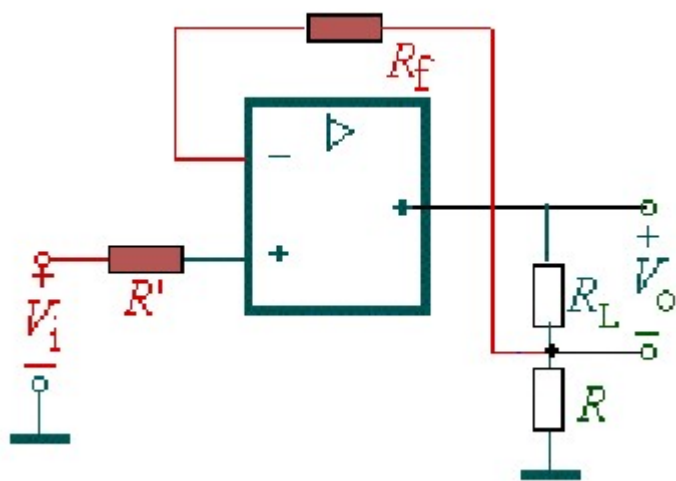
交直流电流串联负反馈

综合：反馈放大器类型描述：

类型 = (交、直流) + 输出 + 输入 + 极性

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
有反馈?	交流反馈	电压反馈	串联反馈	负反馈
	直流反馈	电流反馈	并联反馈	正反馈

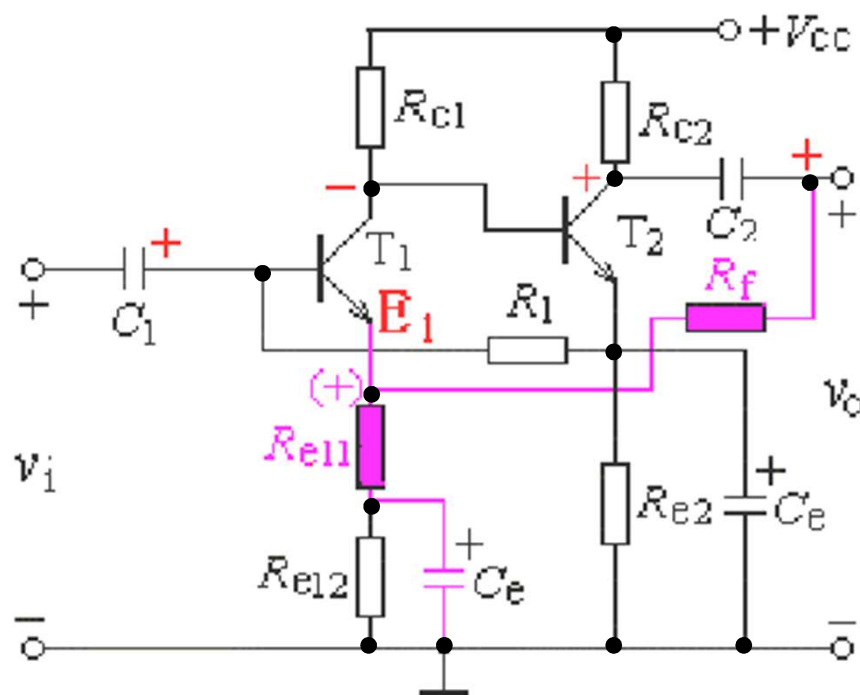
类型判别举例：——五步法



- (1)有反馈 R_f
- (2)交直流反馈
- (3)电流反馈
- (4)串联反馈
- (5)负反馈

交直流电流串联负反馈

例: 试判断图示电路 R_1 、 R_f 各引入何种反馈?



解: 1、 R_1 加在 B_1 上:

(1) 直流反馈

(2) 电流反馈

(3) 并联反馈

(4) 负反馈

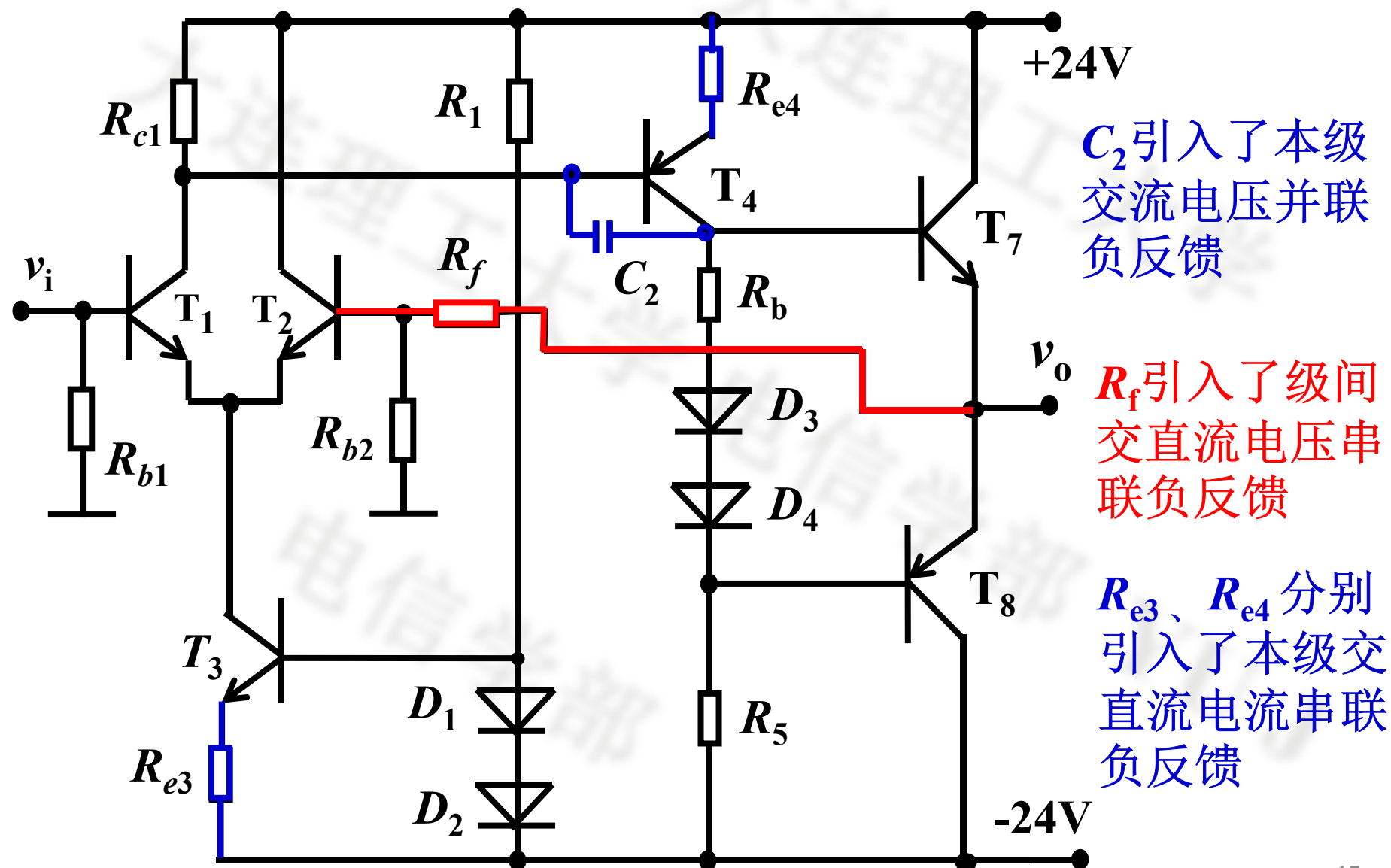
引入直流
电流并联负反馈

2、 R_f 加在 E_1 上:

(1) 交流 (2) 电压 (3) 串联 (4) 负反馈

引入交流电压串联负反馈

例：试判断图示电路中的反馈类型

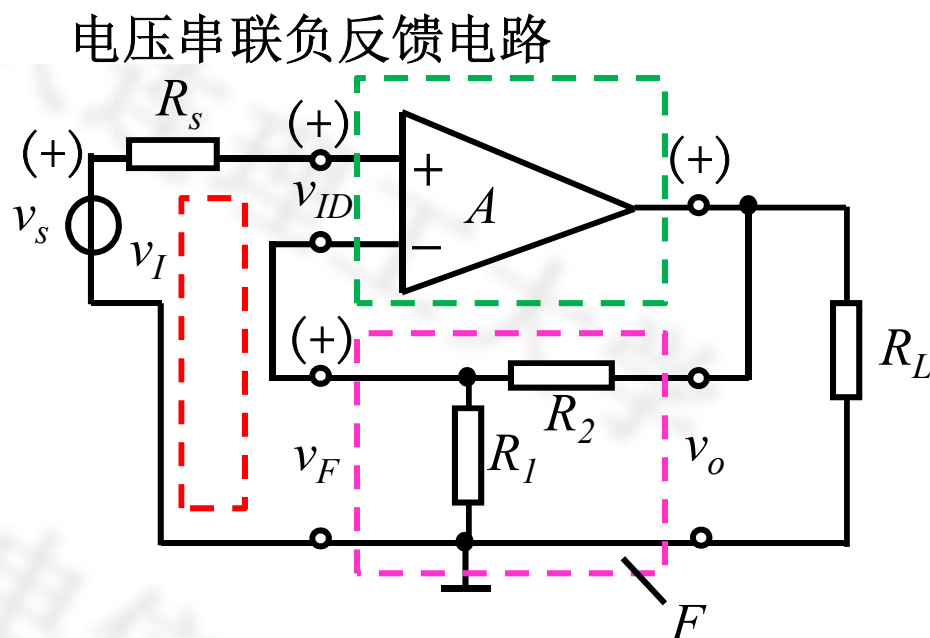


讨论：信号源对反馈效果的影响（P374：7.1.3）

串联负反馈 $v_{ID} = v_I - v_F$

希望 v_F 变化不影响 v_I 。

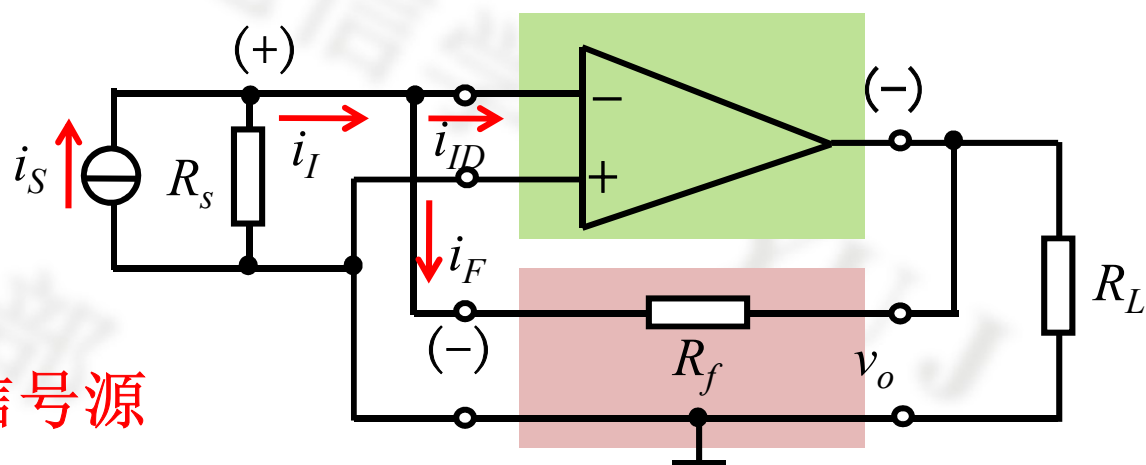
则 v_I 应为电压源，即信号源
内阻 R_S 越小越好。



并联负反馈 $i_{ID} = i_I - i_F$

希望 i_F 变化不影响 i_I 。

则 i_I 最好为电流源，即信号源
内阻 R_S 越大越好。



电压并联负反馈电路

7.3 负反馈放大电路增益的计算方法 P339

- 1 闭环放大倍数的一般表达式
- 2 反馈深度
- 3 环路增益

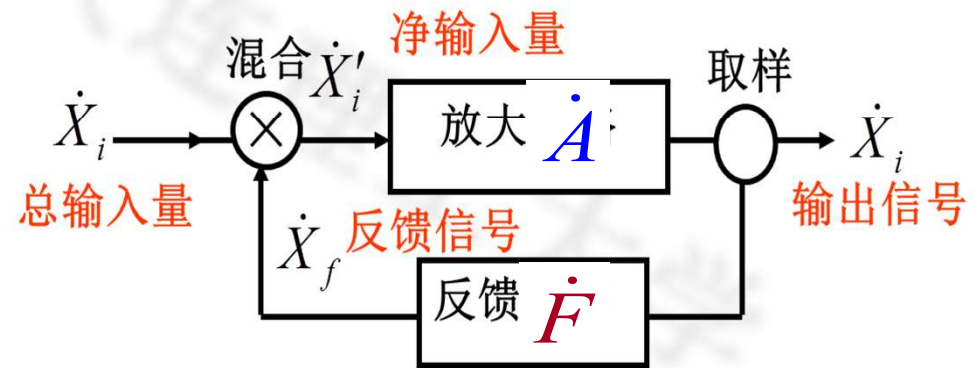
1 闭环放大倍数的一般表达式

开环增益：
Open loop gain

$$\dot{A} = \frac{\dot{X}_o}{\dot{X}'_i}$$

反馈系数：
Feedback
transfer function

$$\dot{F} = \frac{\dot{X}_f}{\dot{X}_o}$$



闭环增益：
Closed-loop
signal gain

$$\begin{cases} \dot{A}_f = \frac{\dot{X}_o}{\dot{X}_i} \\ \dot{X}'_i = \dot{X}_i - \dot{X}_f \end{cases}$$

量纲说明

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

四种负反馈类型各物理量的含义

A_f 量纲说明(P341 表7.3.1)

负反馈类型	输入量 $x_i \ x_f \ x_{id}$	输出量 x_o	$A=x_o/x_{id}$	$A_f=x_o/x_i$	$F=x_f/x_o$
电压 串联	电压	电压	A_v	A_{vf}	F_v
电压 并联	电流	电压	A_r	A_{rf}	F_g
电流 串联	电压	电流	A_g	A_{gf}	F_r
电流 并联	电流	电流	A_i	A_{if}	F_i

2 反馈深度

$1 + \dot{A}\dot{F}$ 称为反馈深度

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

反映反馈对放大电路影响的程度

三种情况：

(1) 当 $|1 + \dot{A}\dot{F}| > 1$ 时， $|\dot{A}_f| < |\dot{A}|$ ， 相当负反馈

(2) 当 $|1 + \dot{A}\dot{F}| < 1$ 时， $|\dot{A}_f| > |\dot{A}|$ ， 相当正反馈

(3) 当 $|1 + \dot{A}\dot{F}| = 0$ 时， $|\dot{A}_f| = \infty$ ， “自激状态”

2 反馈深度 $|1 + \dot{A}\dot{F}|$

$$\dot{A}_f = \frac{\dot{A}}{1 + \dot{A}\dot{F}} \quad \text{负反馈: } |1 + \dot{A}\dot{F}| > 1$$

$$|1 + \dot{A}\dot{F}| \gg 1 \quad \text{称为深度负反馈} \quad \dot{A}_f \approx \frac{1}{\dot{F}}$$

反馈电路通常采用标准电阻或电容，反馈系数稳定。
因此，运放开环增益越大，闭环增益越精确。

当 A 非常大，满足 $1/A \ll F$ 时：

$$A_f = \frac{x_o}{x_s} = \frac{1}{F}$$

例如 $A=10000, F=0.1$, 则 $\frac{1}{1/A + F} = \frac{1}{0.1001} \approx 9.99$

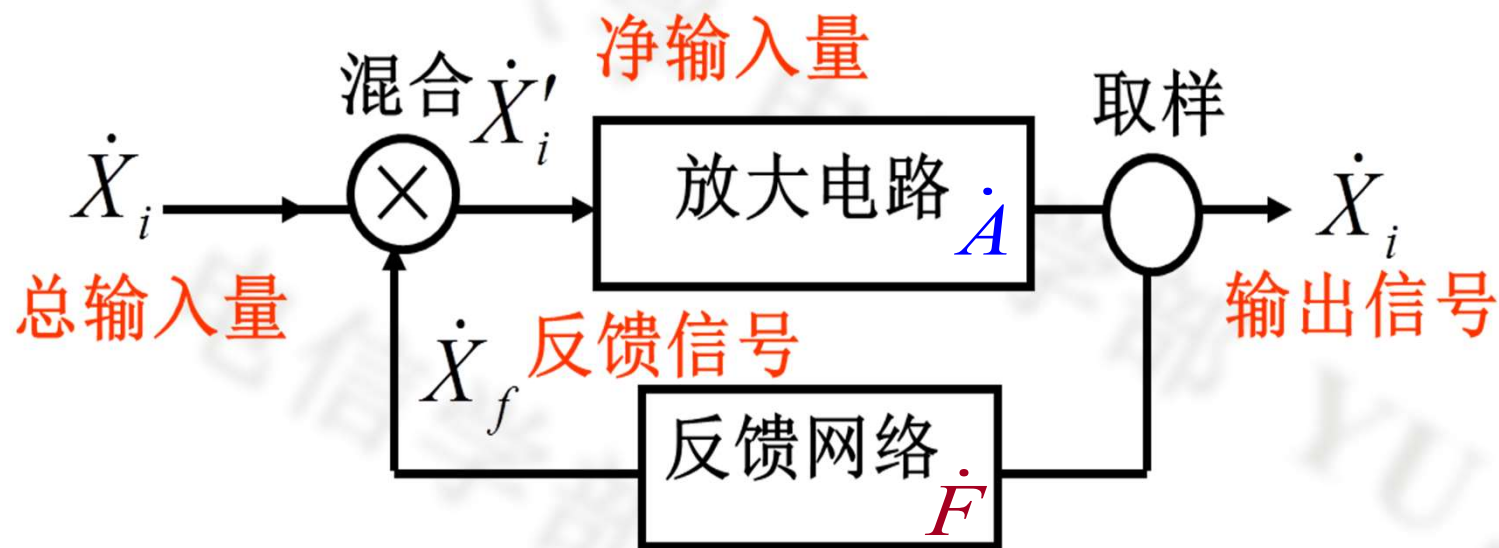
$A=1000, F=0.1$, 则 $\frac{1}{1/A + F} = \frac{1}{0.101} \approx 9.9$

设计高增益运放，引入负反馈后，闭环增益稳定可调！

3 环路增益 $|\dot{A}\dot{F}|$

Loop Gain

是指放大电路和反馈网络所形成环路的增益。



7.2 & 7.3 反馈类型判断与负反馈增益计算

小结

掌握：判断反馈放大电路的类型

掌握：负反馈放大电路增益的相关基本概念

预习：反馈放大电路的闭环增益计算

作业

P374: 7.1.1, 7.1.2, 7.2.4



群名称:模电2018_生医和计算机
群 号:561745191