



比例运算电路

主讲教师：王香婷 教授





比例运算电路

主要内容:

反相比例运算电路; 同相比例运算电路。

重点难点:

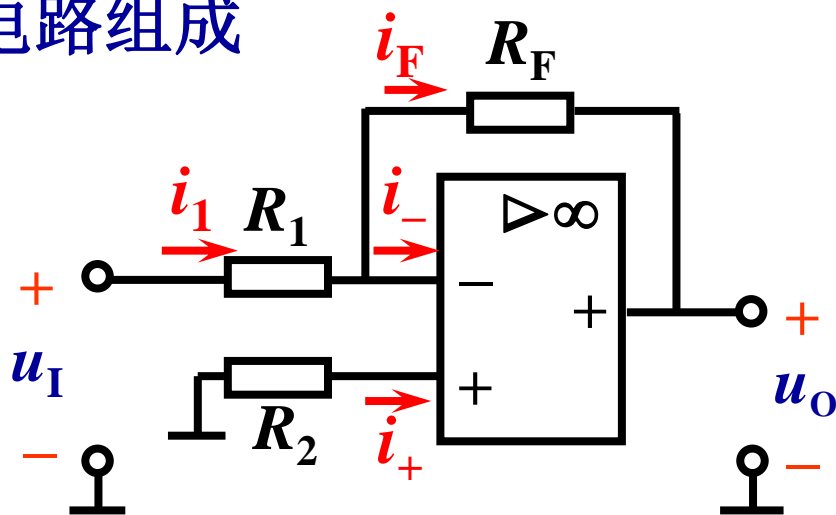
比例运算电路输入电压、输出电压关系。



比例运算电路

1. 反相比例运算

(1) 电路组成



以后如不加说明，输入、输出的另一端均为地(⊥)。

因要求静态时 u_+ 、 u_- 对地电阻相同，所以：
平衡电阻： $R_2 = R_1 // R_F$

(2) 电压放大倍数

因虚断 $i_+ = i_- = 0$ 所以 $i_1 \approx i_F$

$$i_1 = \frac{u_I - u_-}{R_1} \quad i_F = \frac{u_- - u_O}{R_F}$$

因虚短， $u_- \approx u_+ = 0$ ，称反相输入端“虚地”——反相输入的重要特点。

$$u_O = -\frac{R_F}{R_1} u_I$$

$$A_{uf} = \frac{u_O}{u_I} = -\frac{R_F}{R_1}$$



结论:

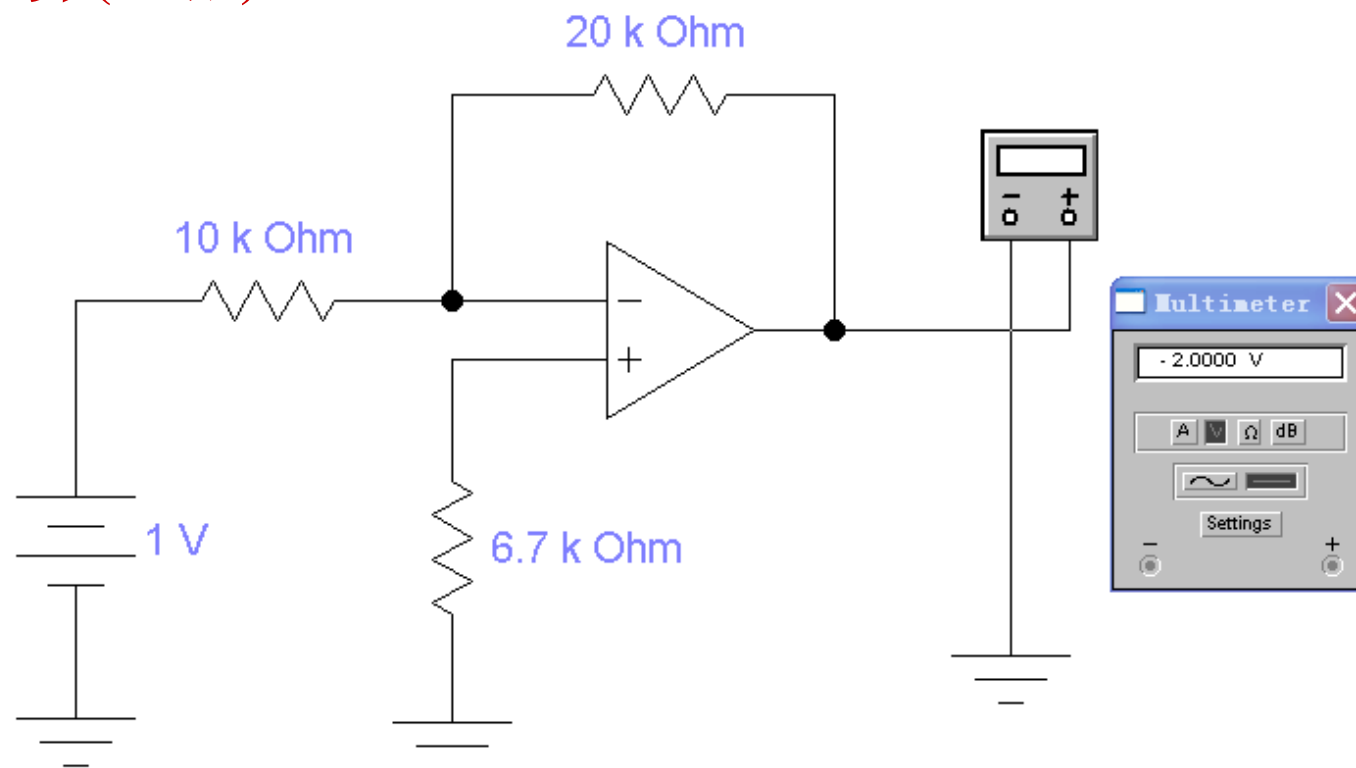
- (1) A_{uf} 为负值, 即 u_o 与 u_i 极性相反。因为 u_i 加在反相输入端。
- (2) A_{uf} 只与外部电阻 R_1 、 R_F 有关, 与运算放大器本身参数无关。
- (3) $|A_{uf}|$ 可大于 1, 也可等于 1 或小于 1。
- (4) 因 $u_- = u_+ = 0$, 所以反相输入端“虚地”。
- (5) 电压并联负反馈, 输入、输出电阻低, $r_i = R_1$ 。共模输入电压低。

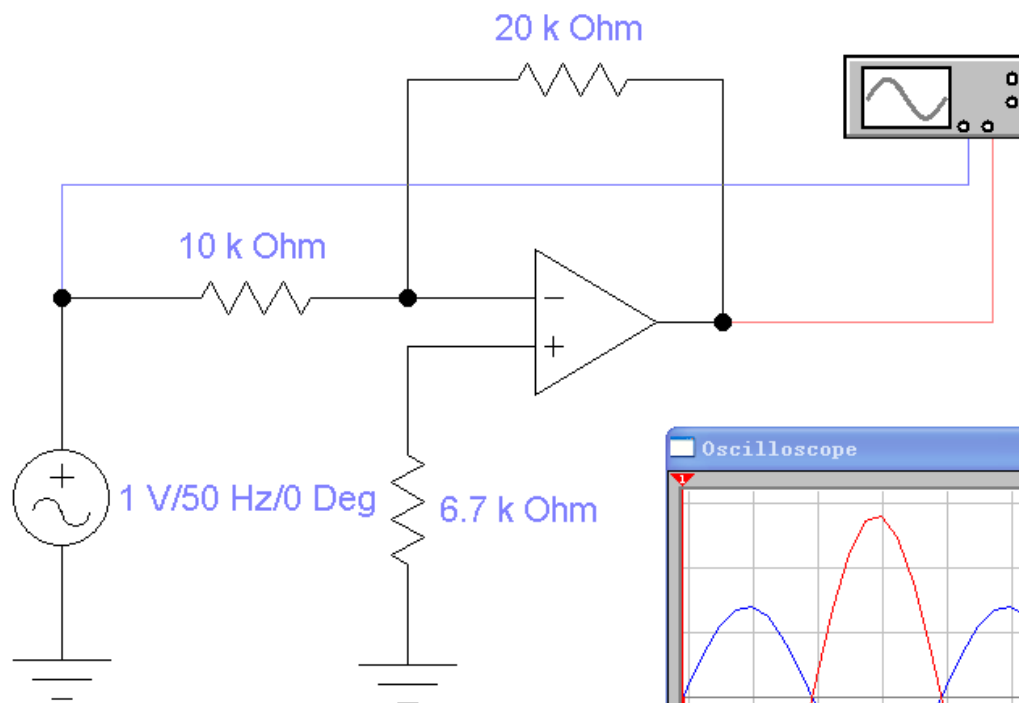
单一信号作用的运算电路分析要点:

- (1) 首先列出关键节点的电流方程 (与输入输出电压产生关系的节点);
- (2) 应用“虚断”、“虚短”的概念进行分析;
- (3) 对所列表达式进行整理得到输出电压的表达式。

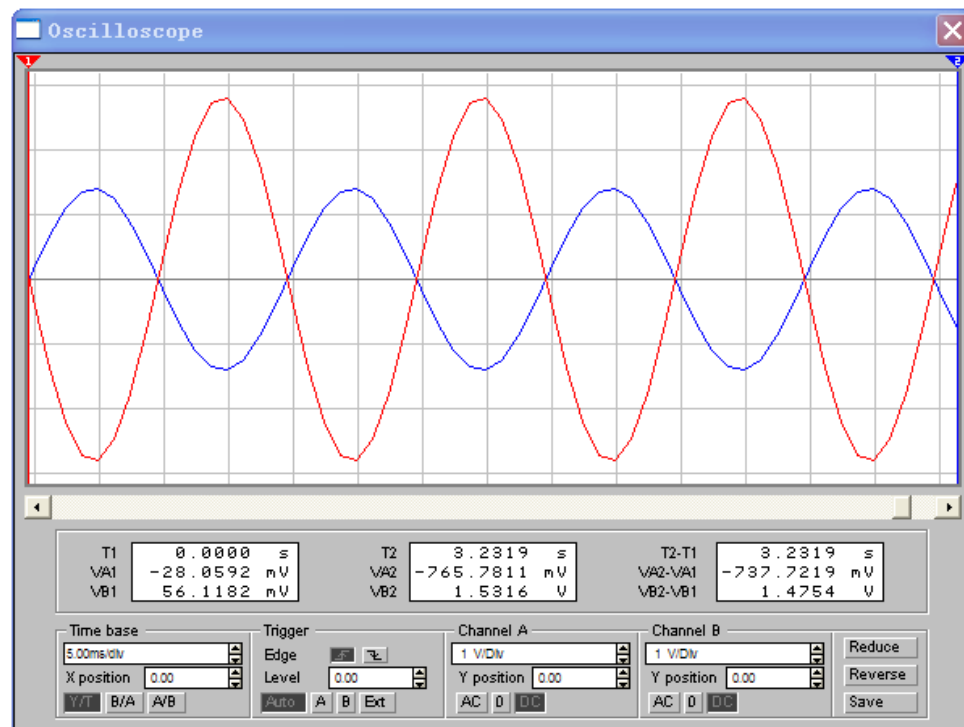


反相比例运算(直流)



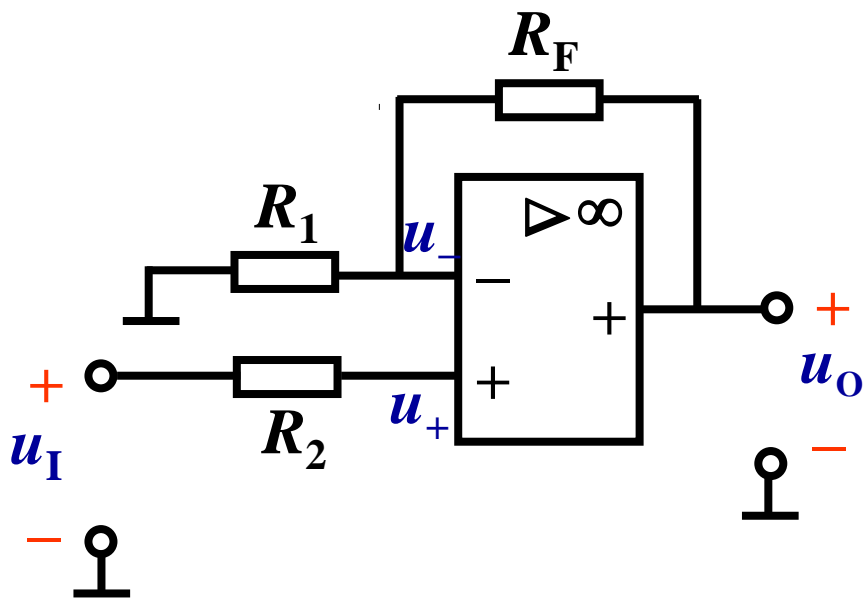


反相比例运算(交流)



2. 同相比例运算

(1) 电路组成



因要求静态时 u_+ 、 u_- 对地电阻相同，所以

平衡电阻 $R_2 = R_1 // R_F$

(2) 电压放大倍数

法一：因虚断，所以 $u_+ = u_I$

$$u_- = \frac{R_1}{R_1 + R_F} u_O$$

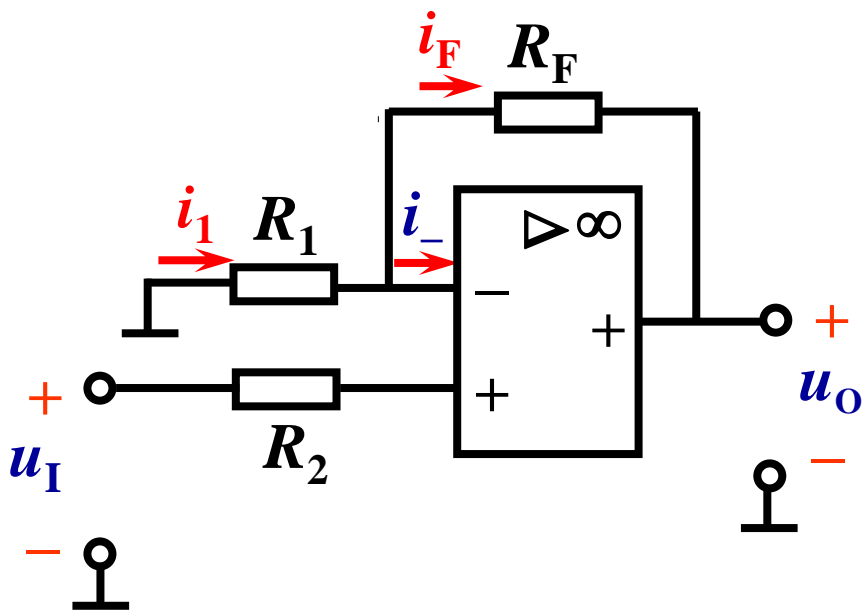
因虚短，所以 $u_- \approx u_+ = u_I$ ，
反相输入端不“虚地”

$$u_O = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) u_I$$

$$A_{uf} = \frac{u_O}{u_i} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$

2. 同相比例运算

(1) 电路组成



因要求静态时 u_+ 、 u_- 对地电阻相同，所以

$$\text{平衡电阻 } R_2 = R_1 // R_F$$

法二：

因虚断， $i_+ = i_- \approx 0$ ，所以 $i_1 \approx i_F$

$$i_1 = \frac{0 - u_-}{R_1} \quad i_F = \frac{u_- - u_O}{R_F}$$

因虚短，所以 $u_- \approx u_I$ ，

$$\therefore \frac{-u_I}{R_1} = \frac{u_I - u_O}{R_F}$$

$$u_O = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) u_I$$

$$A_{uf} = \frac{u_O}{u_I} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$

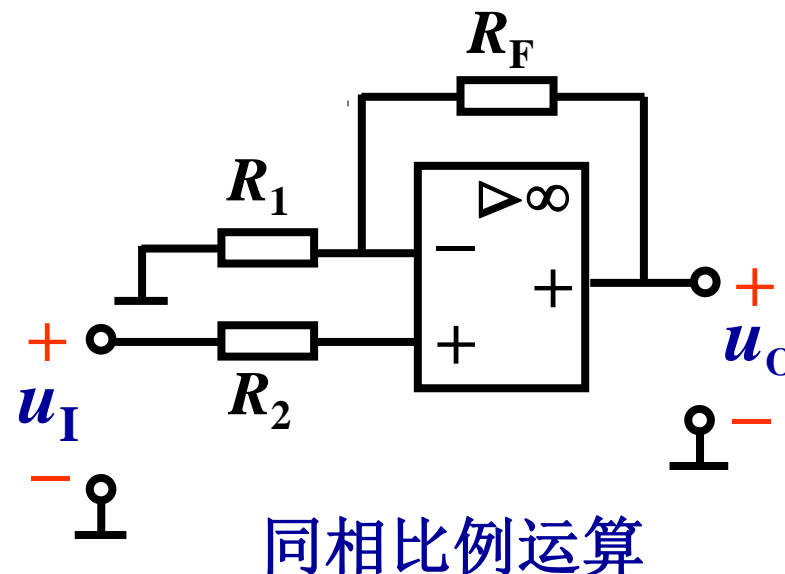
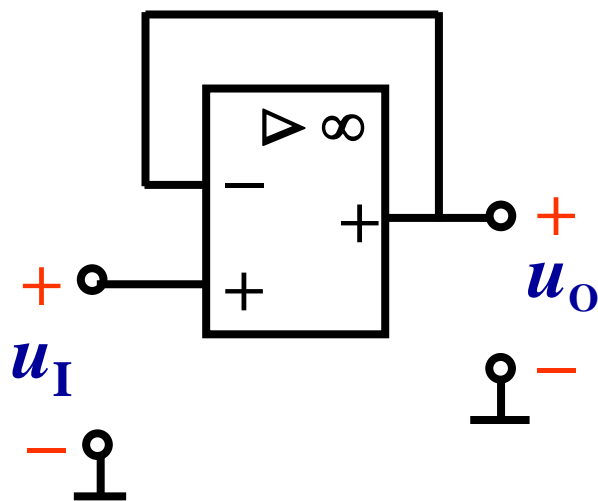


结论:

- (1) A_{uf} 为正值, 即 u_O 与 u_i 极性相同。因为 u_i 加在同相输入端。
- (2) A_{uf} 只与外部电阻 R_1 、 R_F 有关, 与运算放大器本身参数无关。
- (3) $A_{uf} \geq 1$, 不能小于 1。
- (4) $u_- = u_+ \neq 0$, 反相输入端不存在“虚地”现象。
- (5) 电压串联负反馈, 输入电阻高、输出电阻低, 共模输入电压可能较高。



当 $R_1 = \infty$, 且 $R_F = 0$ 时

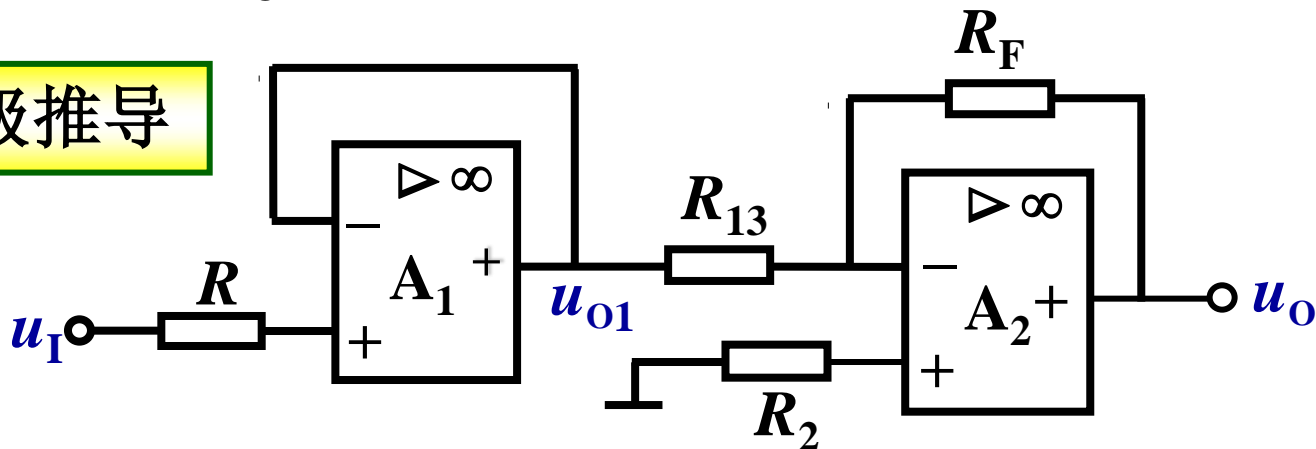


$u_O = u_I$ $A_{uf} = 1$ 称电压跟随器。

由运算放大器构成的电压跟随器输入电阻高、输出电阻低，其跟随性能比射极输出器更好。

例1: 在图示两级运算电路中，若已知 $R_1 = 50\text{k}\Omega$, $R_F = 100\text{k}\Omega$, 若输入电压 $u_I = 1\text{V}$, 求输出电压 u_O 。

利用已知结论，进行逐级推导



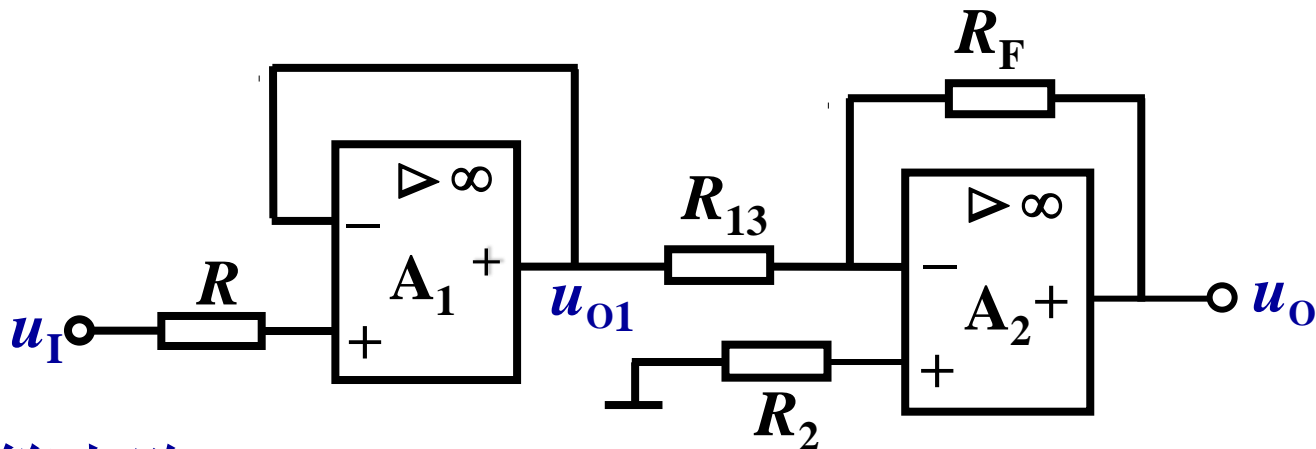
解：第一级为电压跟随器

$$u_{O1} = u_I = 1\text{V}$$

第二级为反相比例运算电路，输出电压为

$$\begin{aligned} u_O &= -\frac{R_F}{R_1} u_{O1} \\ &= -\frac{100\text{k}\Omega}{50\text{k}\Omega} \times 1\text{V} = -2\text{V} \end{aligned}$$

例2: 在图示两级运算电路中，若已知 $R_1=10\text{ k}\Omega$ ， $R_3=100\text{ k}\Omega$ ， $R_{F1}=100\text{ k}\Omega$ ， $R_{F2}=500\text{ k}\Omega$ ，设输入电压已知，求输出电压 u_o 。



解：第一级为同相比例运算电路

$$u_{o1} = \left(1 + \frac{R_{F1}}{R_1}\right) u_I$$

第二级为反相比例运算电路，电路的输出电压为

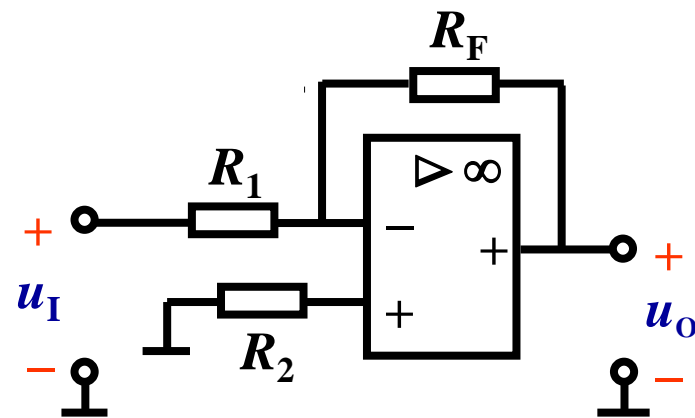
$$u_o = -\frac{R_{F2}}{R_3} u_{o1} = -\frac{R_{F2}}{R_3} \left(1 + \frac{R_{F1}}{R_1}\right) u_I = -5 \times 11 u_I = -55 u_I$$

小结

1. 反相比例运算电路

输出电压: $u_o = -\frac{R_F}{R_1} u_i$

电压放大倍数: $A_{uf} = -\frac{R_F}{R_1}$

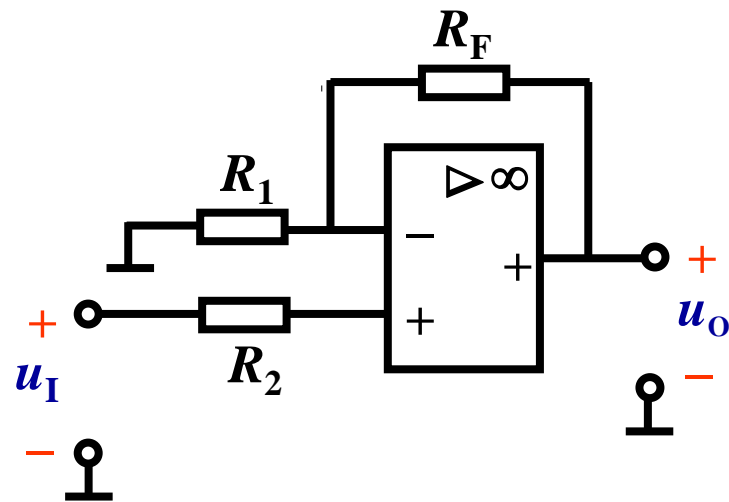


平衡电阻 $R_2 = R_1 // R_F$

2. 同相比例运算电路

输出电压: $u_o = (1 + \frac{R_F}{R_1}) u_i$

电压放大倍数: $A_{uf} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$



平衡电阻 $R_2 = R_1 // R_F$