10.2集成运放在线性区的应用 ---运 算 电 路

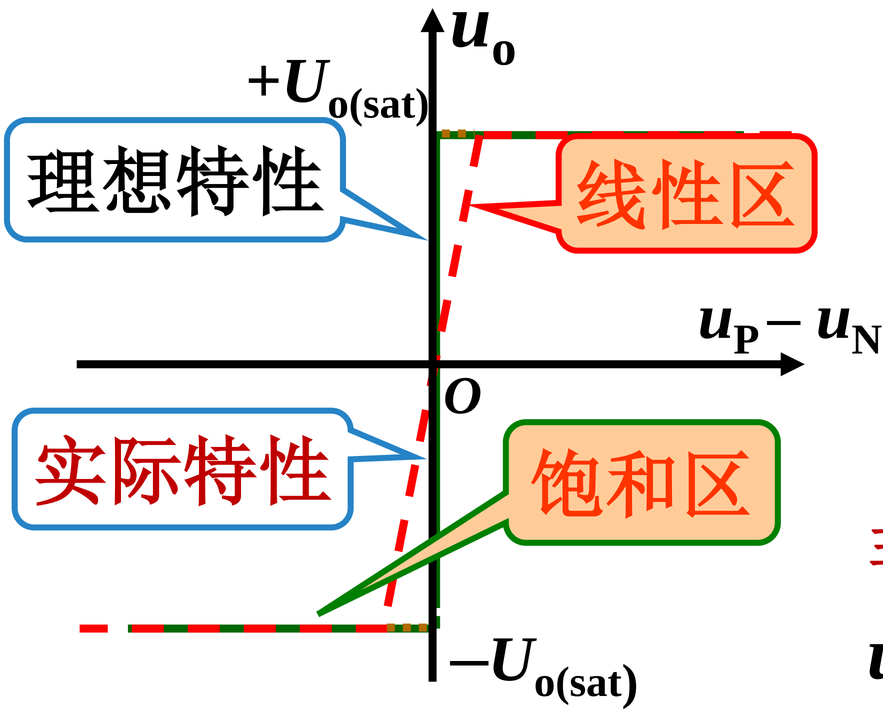
10.2.1 比例运算电路

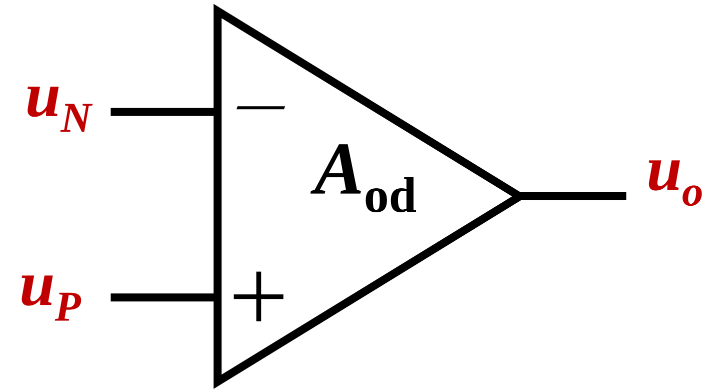
10.2.2 加减运算电路

10.2.3 积分和微分电路

集成运放的两种工作状态

电压传输特性 $u_o = f(u_i)$





非线性区（饱和区）：

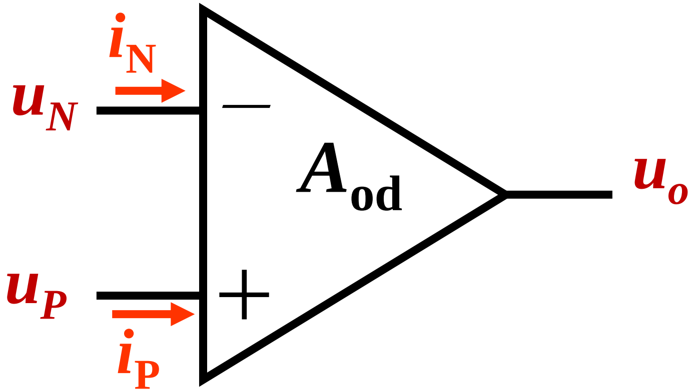
$u_P > u_N$ 时， $u_o = +U_{o(sat)}$

$u_P < u_N$ 时， $u_o = -U_{o(sat)}$

线性区：

$u_o = A_{od}(u_P - u_N)$

运放工作在线性区的特点



为保证运放工作在线性区，运算电路都引入了深度负反馈

$$u_O = A_{od}(u_P - u_N)$$

$A_{od} \approx \infty$ ⇒ $u_P \approx u_N$ 虚短路（虚短）

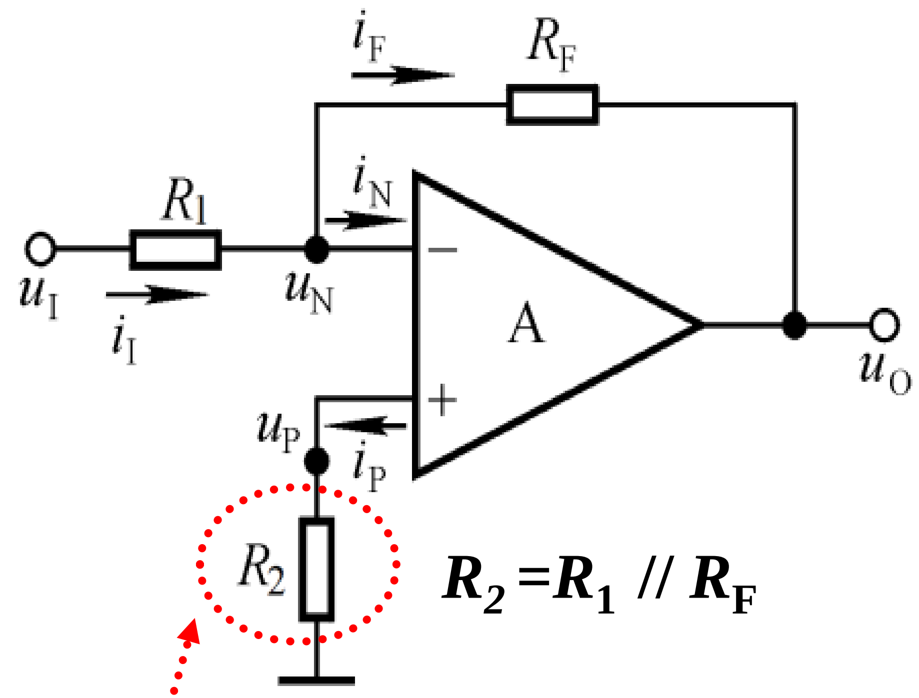
$r_{id} \approx \infty$ ⇒ $i_P = i_N \approx \mathbf{0}$ 虚开路（虚断）

$r_o \approx \mathbf{0}$ ⇒ 放大倍数与负载无关

分析多个运放级联的电路时可不考虑前后级的相互影响

10.2.1 比例运算电路

反相比例电路



$R_2 = R_1 \ // \ R_F$

<u>结构特点：</u>

反馈电阻R_F跨接在输出端和反相输入端间

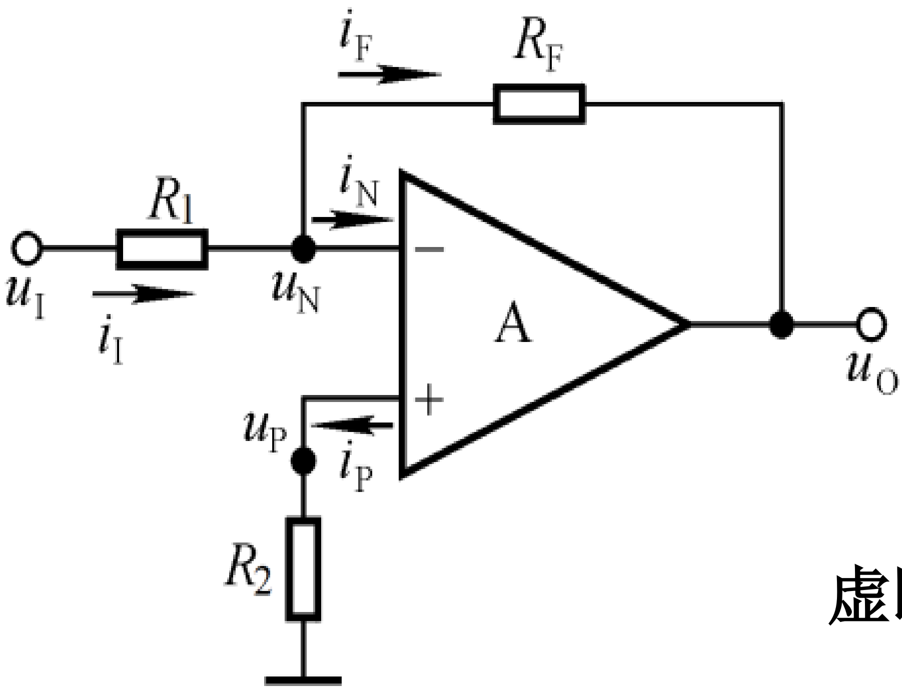
信号从反相端输入，同相输入端通过电阻R_2接地

平衡电阻

使输入端对地的静态电阻相等

消除静态基级电流对输出的影响

1）电压放大倍数



$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} =$$

虚断 $i_P \approx 0$ ➡ $u_P \approx 0$

虚短 $u_N \approx u_P \approx 0$

虚地

虚断 $i_1 \approx i_f$

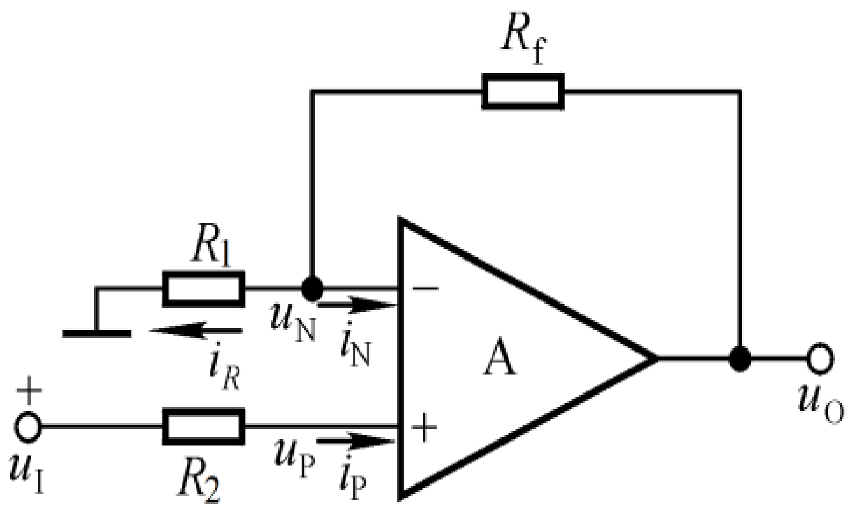
➡ $$\frac{u_I}{R_1} \approx \frac{-u_O}{R_F}$$

➡ $$u_O \approx -\frac{R_F}{R_1} u_I$$

2）输入电阻

$$R_i \approx R_1$$

同相比例运算电路



$R_2 = R_1 // R_F$

结构特点：

✓反馈引到反相输入端

✓信号从同相端输入

1）电压放大倍数

由虚短和虚断有

$$u_N = u_P = u_I$$

$$u_N = \frac{R_1}{R_1 + R_F} u_O$$

$$u_o = (1 + \frac{R_F}{R_1}) u_i$$

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

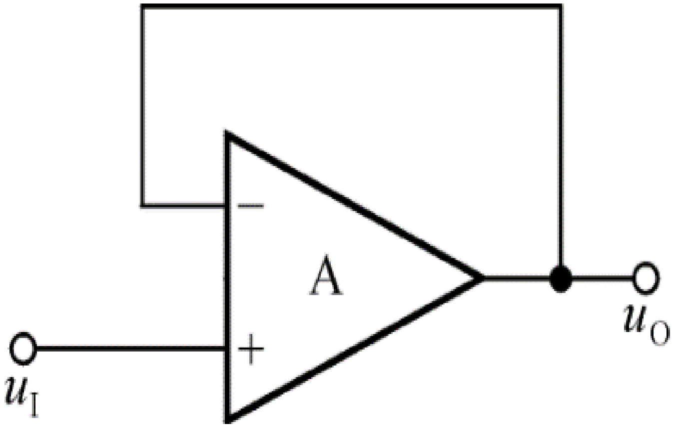
2）输入电阻 $R_i = \infty$

同相比例运算电路的特例---电压跟随器

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

当$R_F=0$或$R_1=\infty$时，

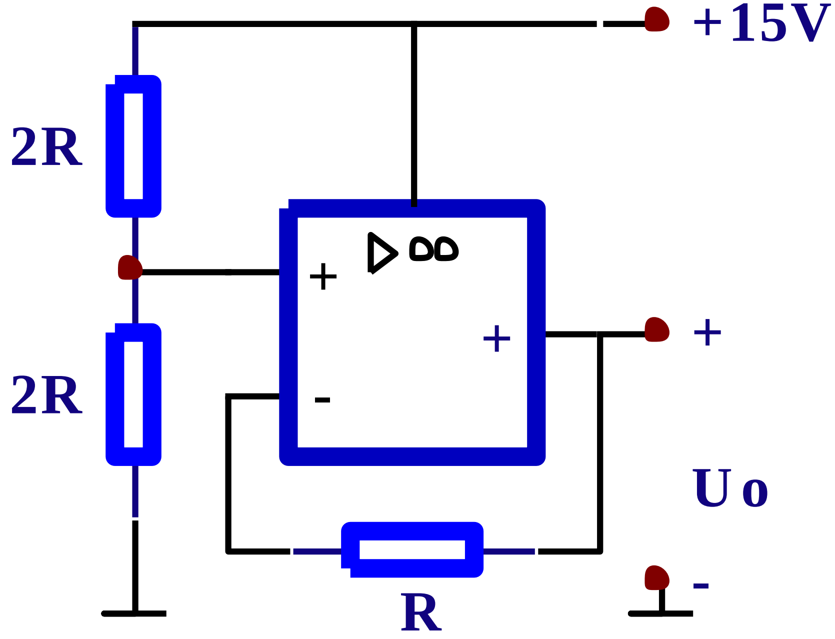
$$A_{uf}=1$$



$$u_o=u_-=u_+=u_i$$

作用与分离元件的射极输出器相同，
电压跟随性能更好

例：试计算Uo

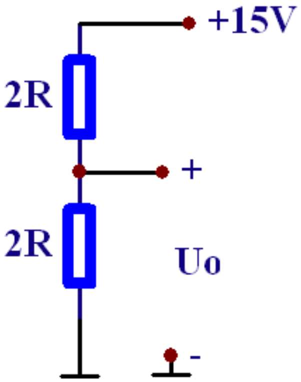


解： **电压跟随器**

$U_+ = 15 / 2 = 7.5V$

$U_o = U_+ = 7.5V$

用两个电阻直接分压可以吗？



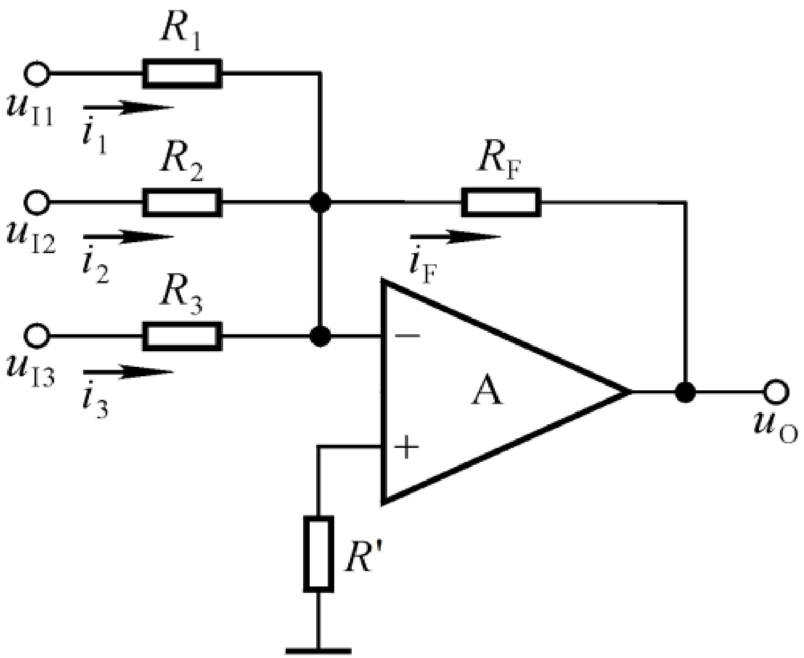
当负载R_L变化时，u_o会随之变化

当负载R_L变化时，其两端电压 u_o不会随之变化!

电压跟随器

10.2.2 加减运算电路

反相输入求和电路



$R' = R_1 // R_2 // R_3 // R_F$

实际应用时可适当增加或减少输入端的个数

虚断 $i_1 + i_2 + i_3 = i_F$

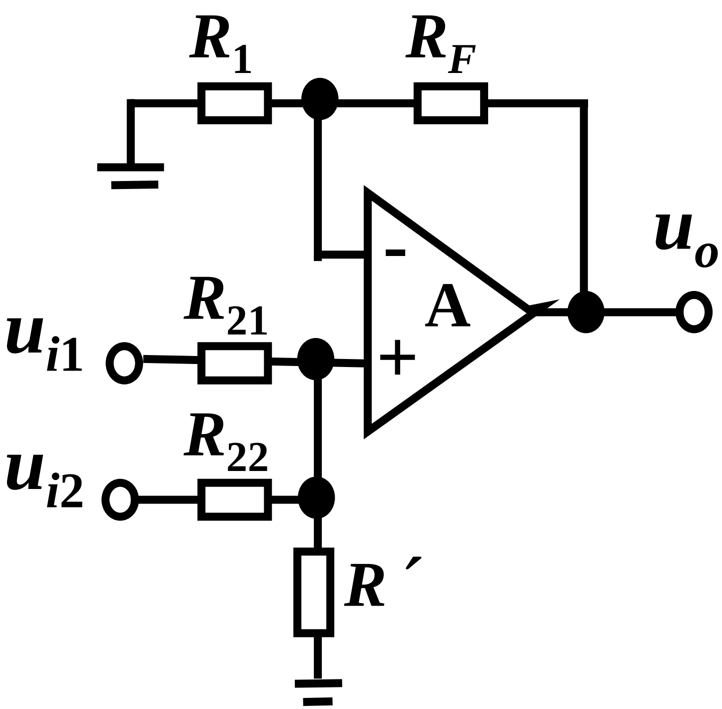
虚地

$$\frac{u_{I1}}{R_1} + \frac{u_{I2}}{R_2} + \frac{u_{I3}}{R_3} = -\frac{u_O}{R_F}$$

$$u_O = -\left(\frac{R_F}{R_1}u_{I1} + \frac{R_F}{R_2}u_{I2} + \frac{R_F}{R_3}u_{I3}\right)$$

同相输入求和电路

$$u_o = (1+\frac{R_F}{R_1})u_+$$



u_+ 与 u_{i1} 和 u_{i2}的关系?

结点电位法

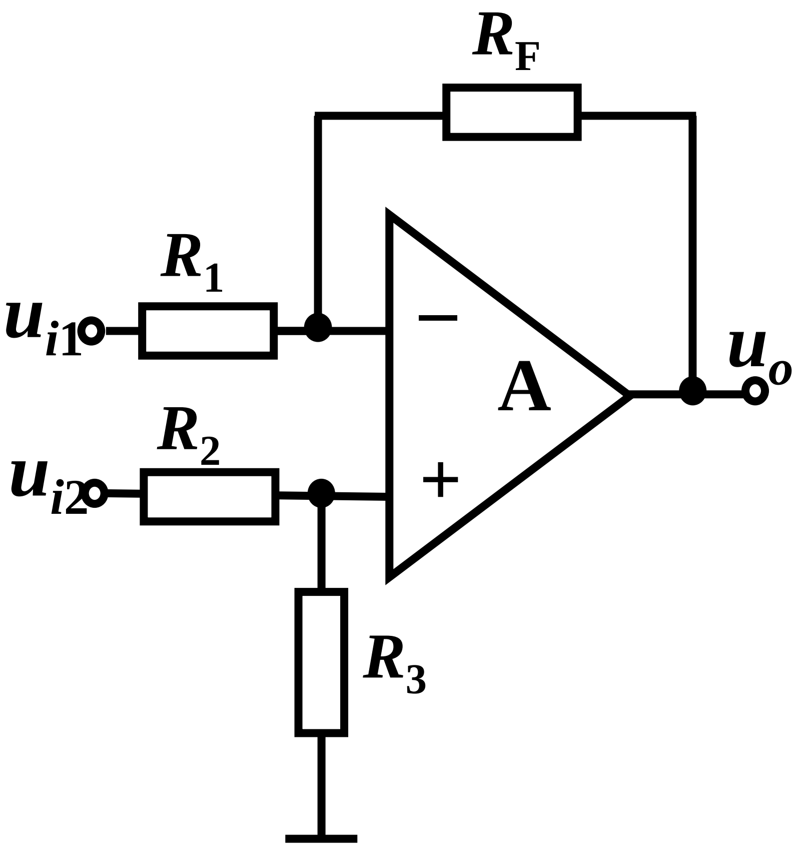
$$u_+ = \frac{\frac{u_{i1}}{R_{21}}+\frac{u_{i2}}{R_{22}}}{\frac{1}{R_{21}}+\frac{1}{R_{22}}+\frac{1}{R'}}$$

$$R_1//R_F = R_{21}//R_{22}//R'$$

$$u_O = \left(\frac{R_F}{R_{21}}u_{I1} + \frac{R_F}{R_{22}}u_{I2}\right)$$

差分运算电路

叠加定理



$R_1 = R_2$和$R_3 = R_F$时

u_{i1}单独作用: $u_{o1} = -\frac{R_F}{R_1} u_{i1}$

u_{i2}单独作用:

$$u_- = u_+ = \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_{i2}$$

$$u_{o2} = (1 + \frac{R_F}{R_1}) \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_{i2}$$

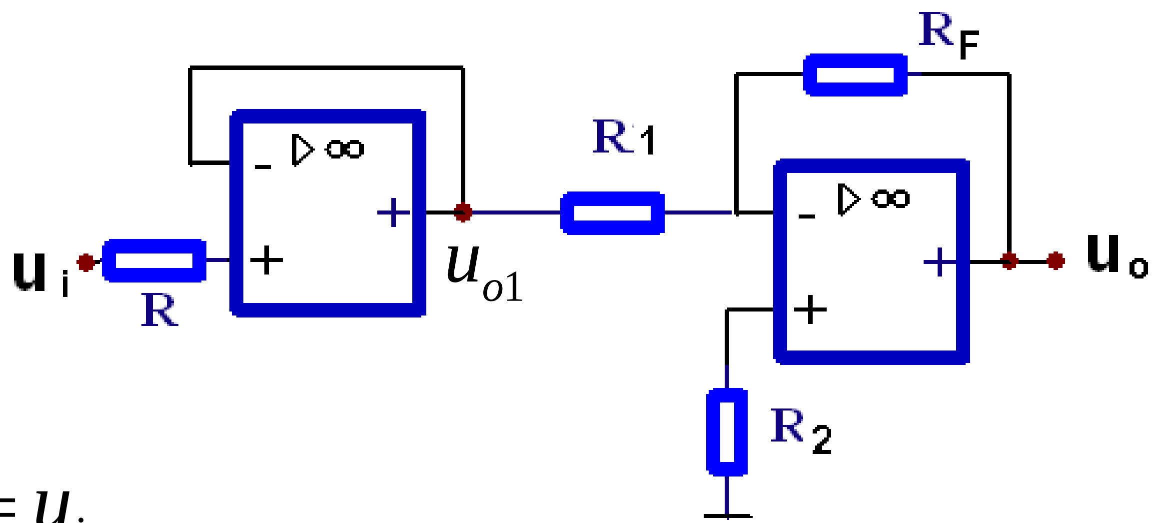
$$u_o = u_{o1} + u_{o2}$$

$$= (1 + \frac{R_F}{R_1}) \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_{i2} - \frac{R_F}{R_1} u_{i1}$$

$$\boxed{u_o = \frac{R_F}{R_1}(u_{i2} - u_{i1})}$$

两级运算电路

例：R_1=50KΩ, R_F=100KΩ，若输入电压u_i=1V, 求输出u_o



解：

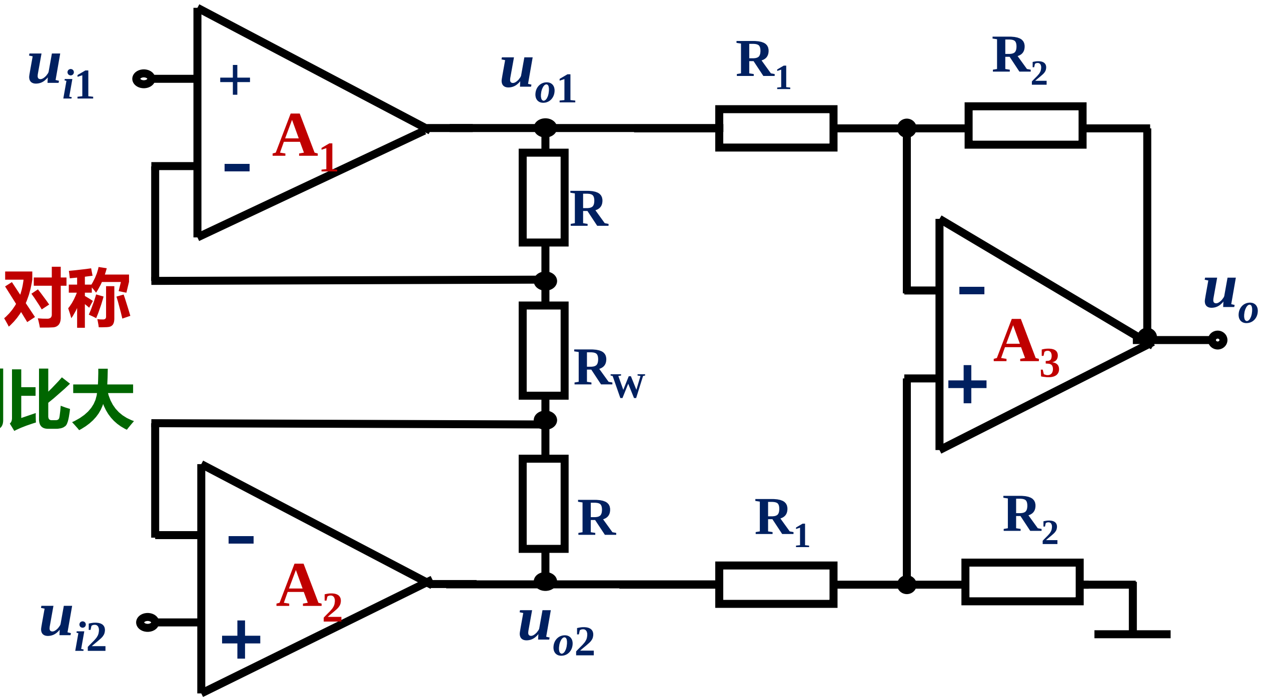
$$u_{o1} = u_i$$

$$u_o = -\frac{R_F}{R_1} u_{o1}$$

$$u_o = -\frac{R_F}{R_1} u_i = -2V$$

三运放构成的测量放大电路

用于放大从测量电路或传感器送来的微弱信号



电路结构对称

共模抑制比大

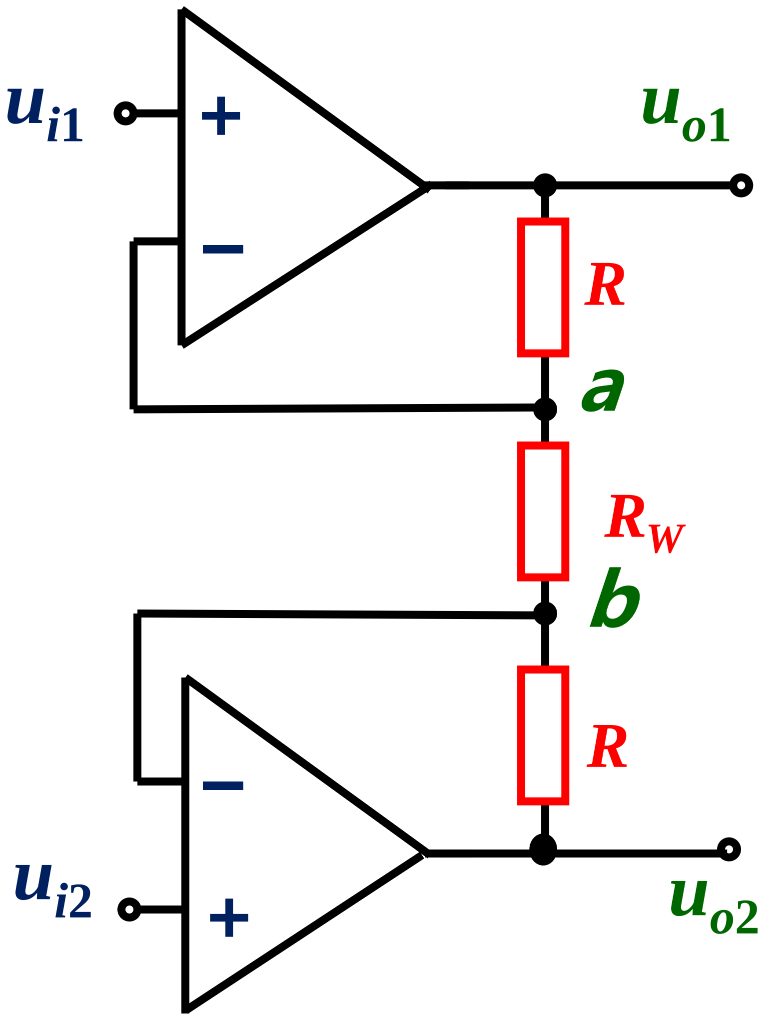
两个同相输入运算电路

输入电阻高

对被测电路的影响小

差分运算电路

放大差模信号



虚短

$$u_a = u_{i1} \qquad u_b = u_{i2}$$

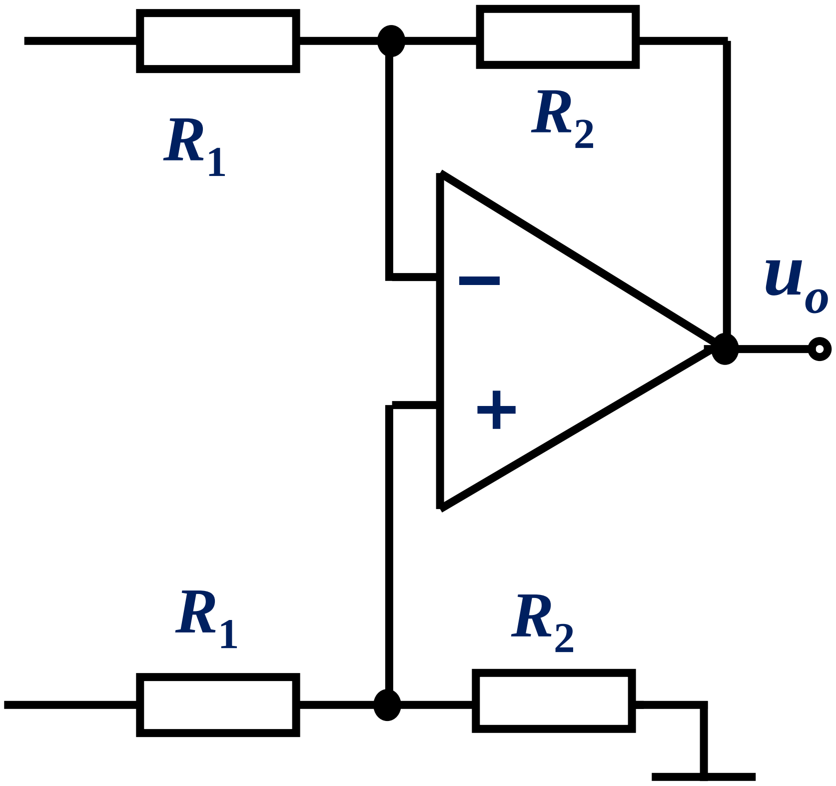
虚断

$$\frac{u_{o1} - u_{o2}}{2R + R_W} = \frac{u_a - u_b}{R_W}$$

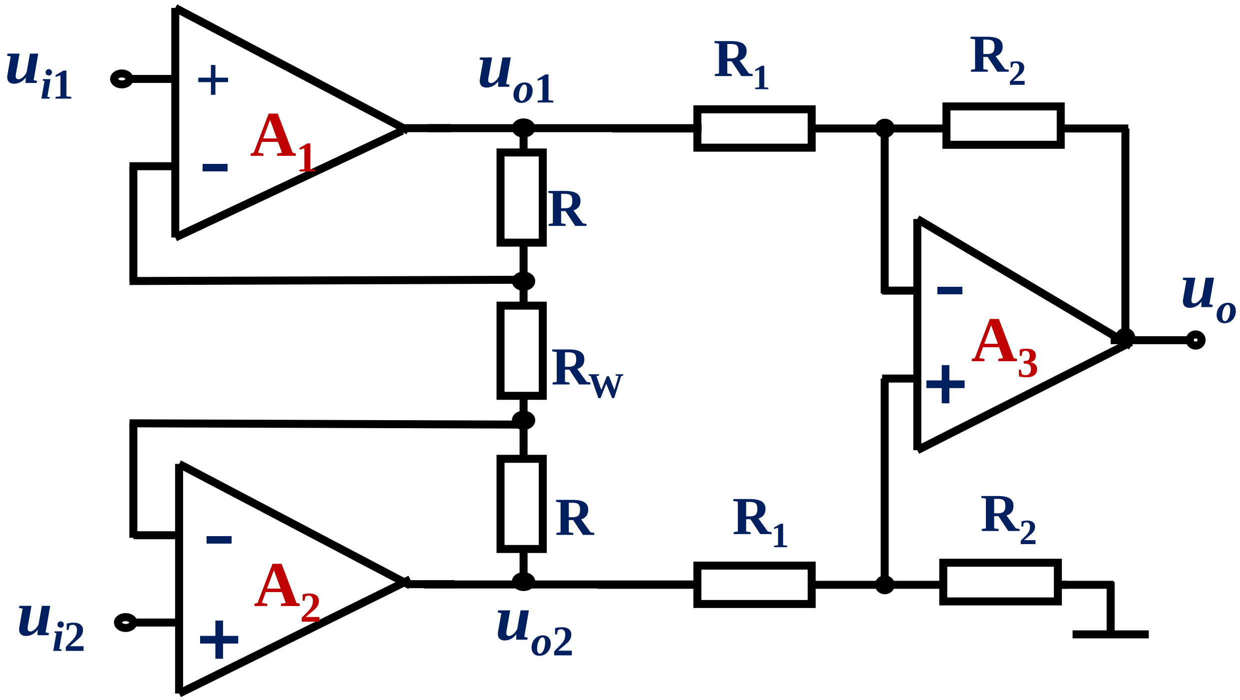
$$u_{o2} - u_{o1}$$

$$= \frac{2R + R_W}{R_W}(u_{i2} - u_{i1})$$

$$u_o = \frac{R_2}{R_1}(u_{o2} - u_{o1})$$



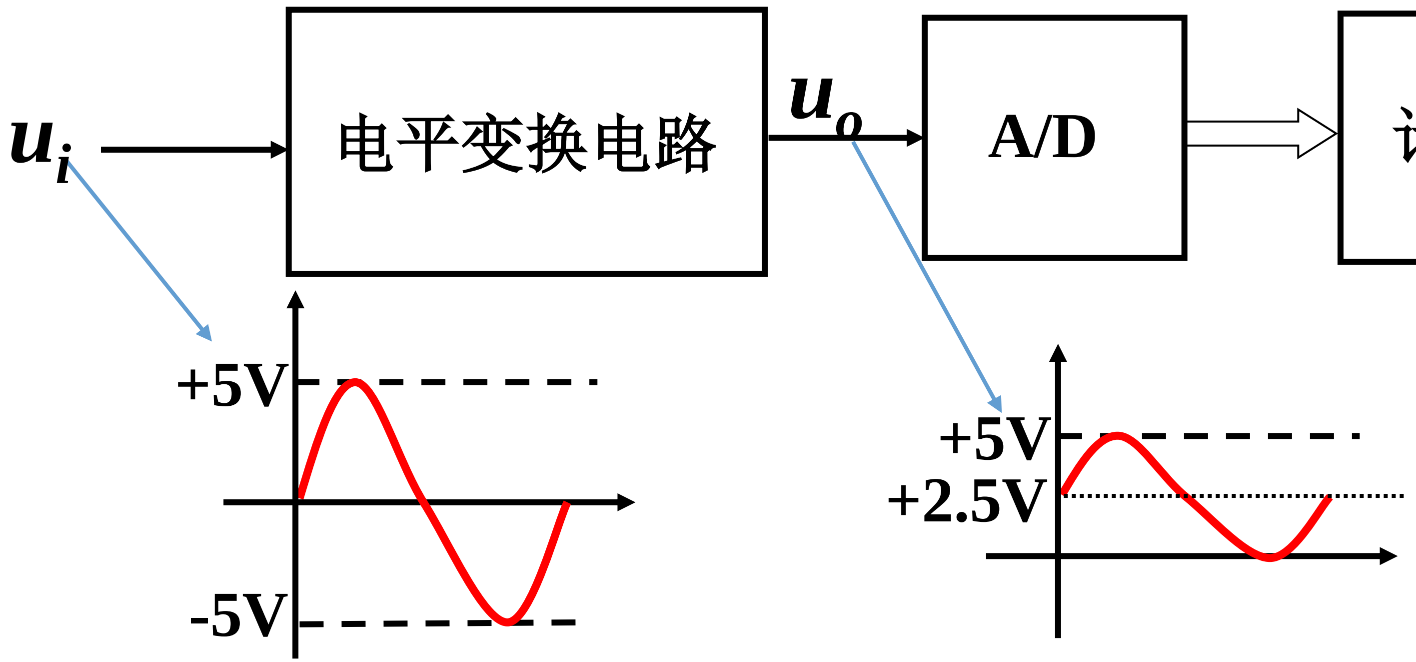
三运放构成的测量放大电路



$$u_o = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{2R + R_W}{R_W}(u_{i2} - u_{i1})$$

电平变换电路

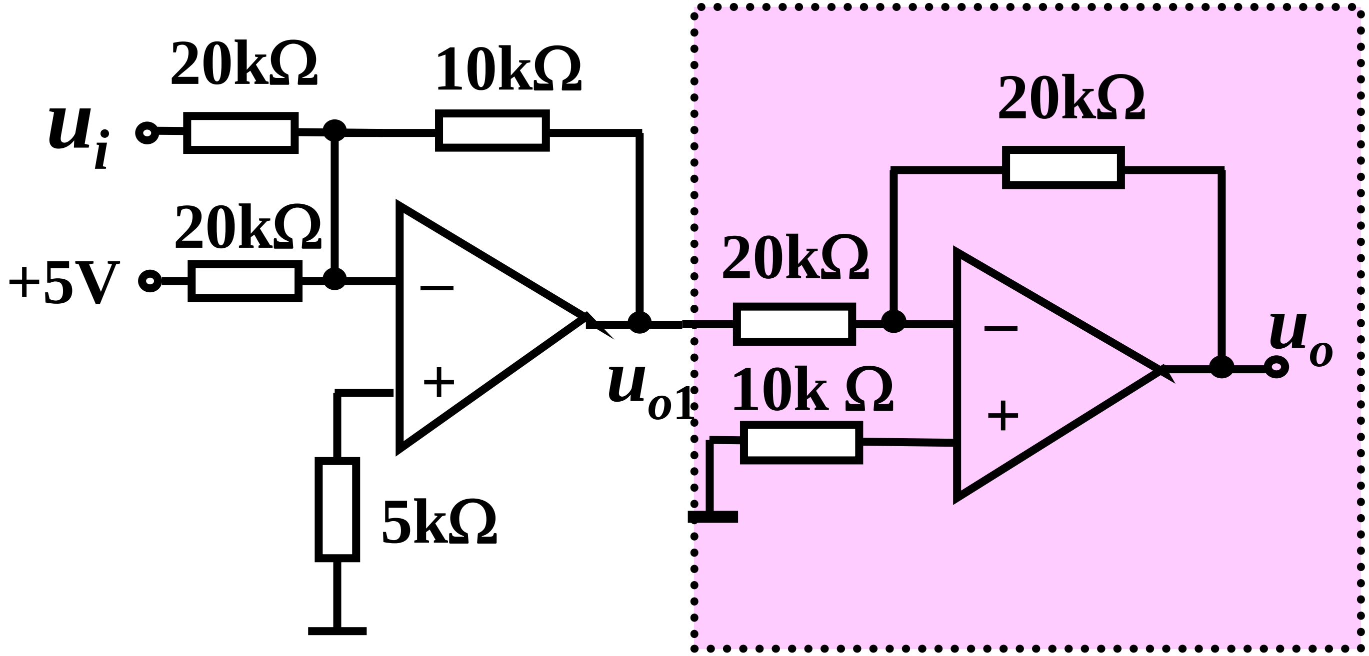
A/D变换器要求其输入电压的幅度为0 ~ +5V，现有信号变化范围为-5V~+5V。试设计一电平变换电路，将其变化范围变为0~+5V。



$$u_o = 0.5u_i + 2.5\ \text{V}$$

$$u_o = 0.5u_i + 2.5 \quad \text{V}$$

$$= 0.5\,(u_i + 5) \quad \text{V}$$

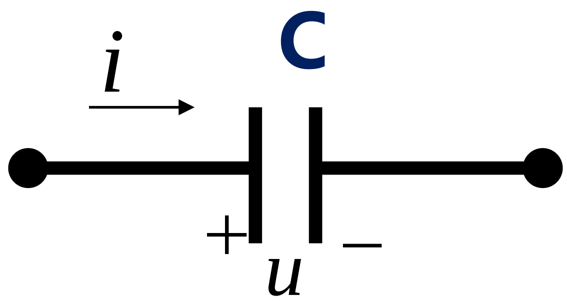


$$u_{o1} = -\frac{10}{20} \times (u_i + 5) = -0.5(u_i + 5)$$

$$u_o = -\frac{20}{20} \times u_{o1} = 0.5(u_i + 5)$$

10.2.3 积分和微分运算电路

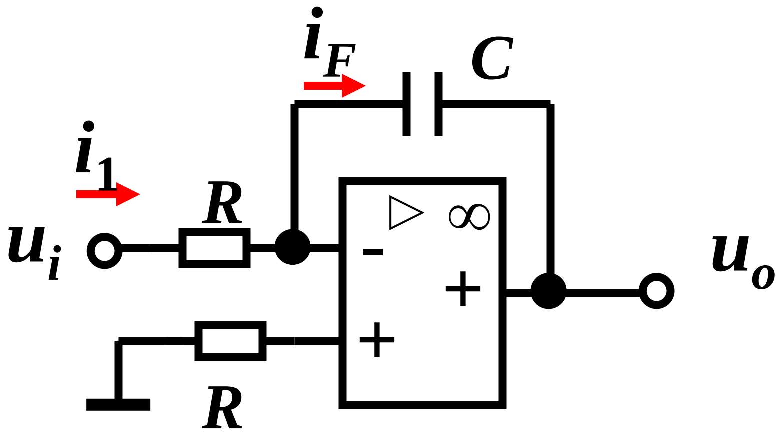
复习：电容器上的电容量, 电流, 电压的关系



$$i = c\frac{du}{dt}$$

$$u = \frac{1}{c}\int i\,dt$$

积分运算电路



应用：

1. 波形变换

2. 移相

$$i_1 = i_F$$

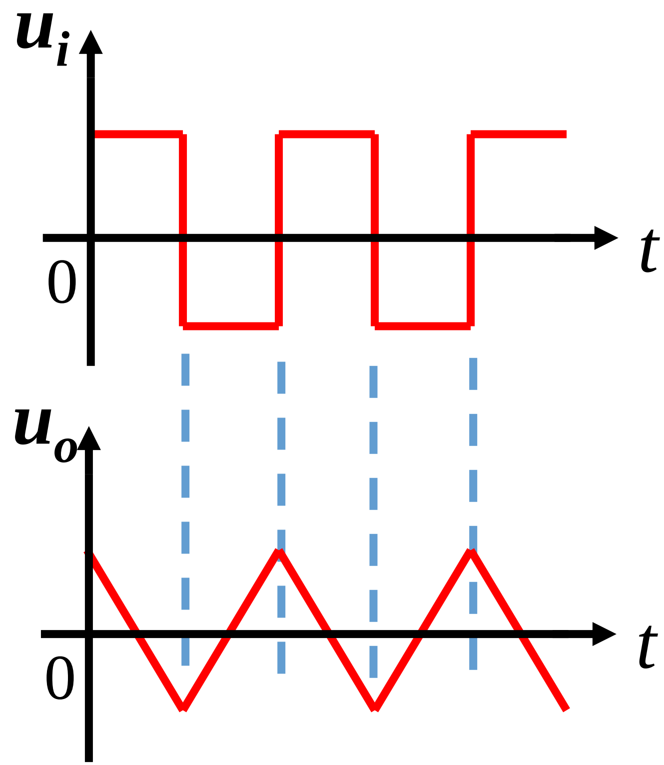
$$i_1 = \frac{u_i}{R}$$

$$i_F = -C\frac{\mathrm{d}u_o}{\mathrm{d}t}$$

$$\boxed{u_o = -\frac{1}{RC}\int u_i dt}$$

波形变换

输入方波



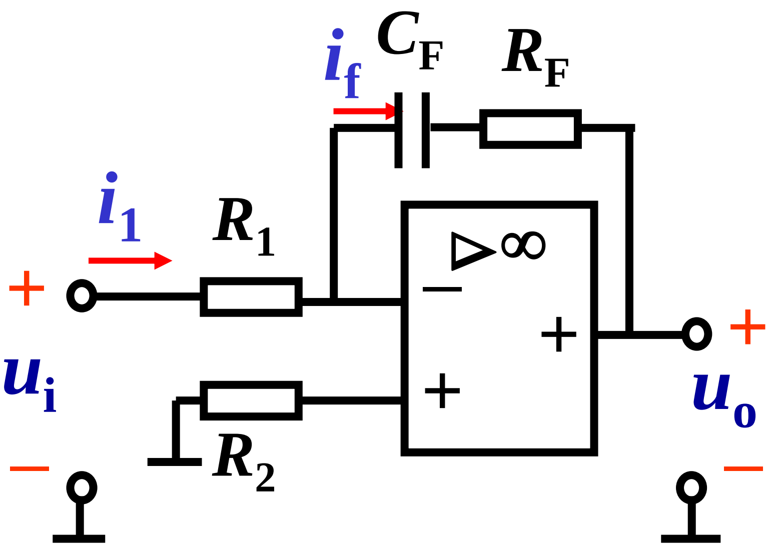
输出?

三角波

如果输入是正弦波，输出波形怎样?

移相

比例-积分运算电路



$$i_1 = i_f$$

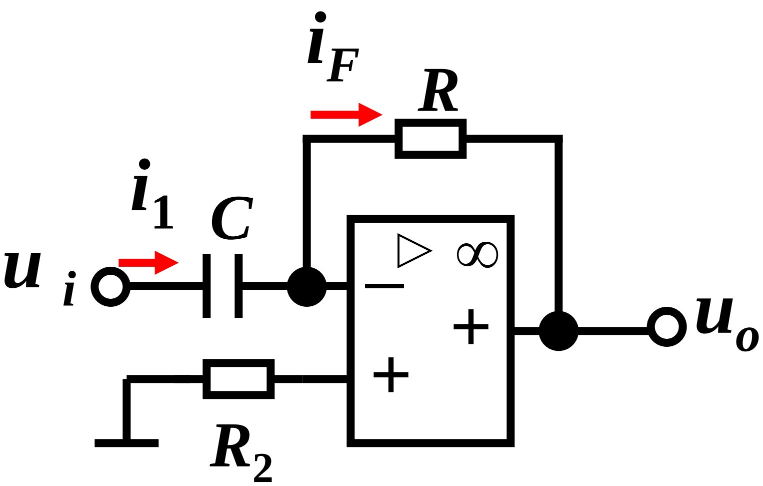
$$u_o = -(R_F i_f + u_C)$$

$$= -(R_F i_1 + \frac{1}{C_F}\int i_1 \mathrm{d}t)$$

$$= -(\frac{R_F}{R_1} u_i + \frac{1}{R_1 C_F}\int u_i \mathrm{d}t)$$

自动控制系统中的 PI 调节器

微分运算电路



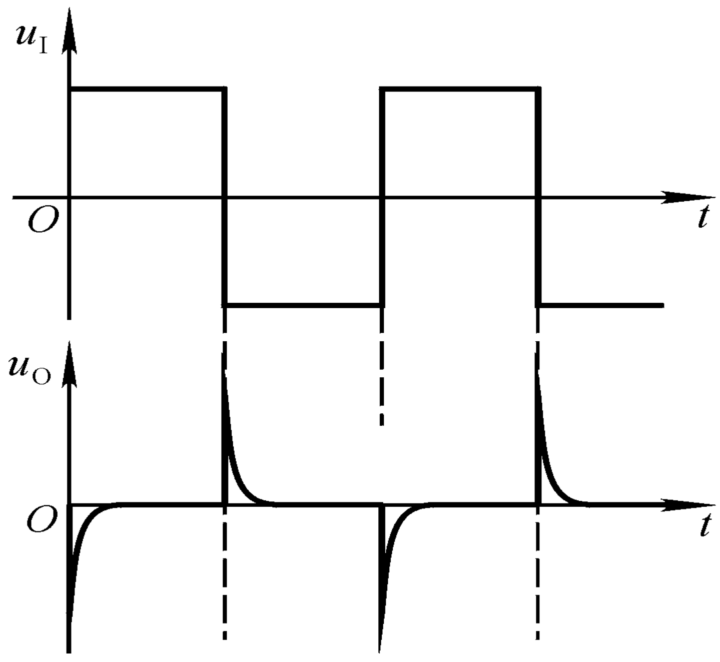
$$i_1 = i_F$$

$$\left.\begin{aligned} i_F &= -\frac{u_o}{R} \\ i_1 &= C\frac{\mathrm{d}u_i}{\mathrm{d}t} \end{aligned}\right\} \boxed{u_o = -RC\frac{\mathrm{d}u_i}{\mathrm{d}t}}$$

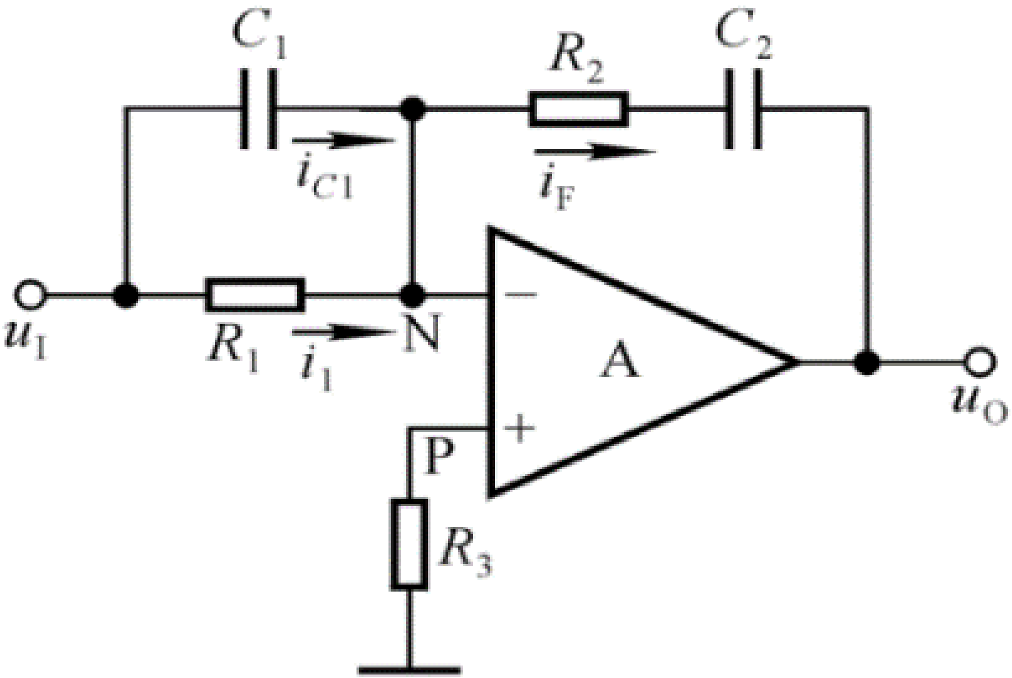
若输入 $u_i = \sin \omega t$

则 $u_o = -RC\omega\cos\omega t$

$= RC\omega\sin(\omega t - 90^\circ)$



比例-积分-微分运算电路



工程中应用最为广泛的控制调节器

PID调节器

$$u_O = -\left(\frac{R_2}{R_1}+\frac{C_1}{C_2}\right)u_I - R_2C_1\frac{\mathrm{d}u_I}{\mathrm{d}t} - \frac{1}{R_1C_2}\int u_I\,\mathrm{d}t$$