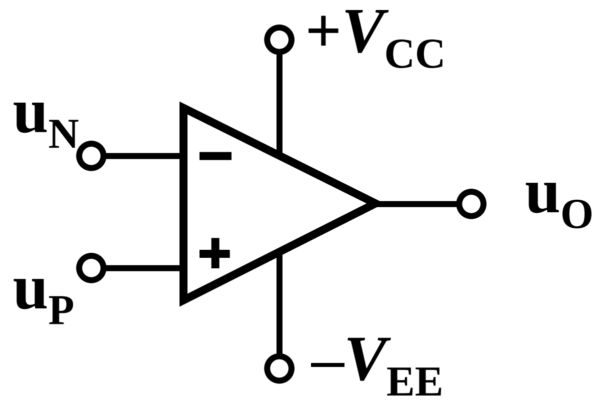
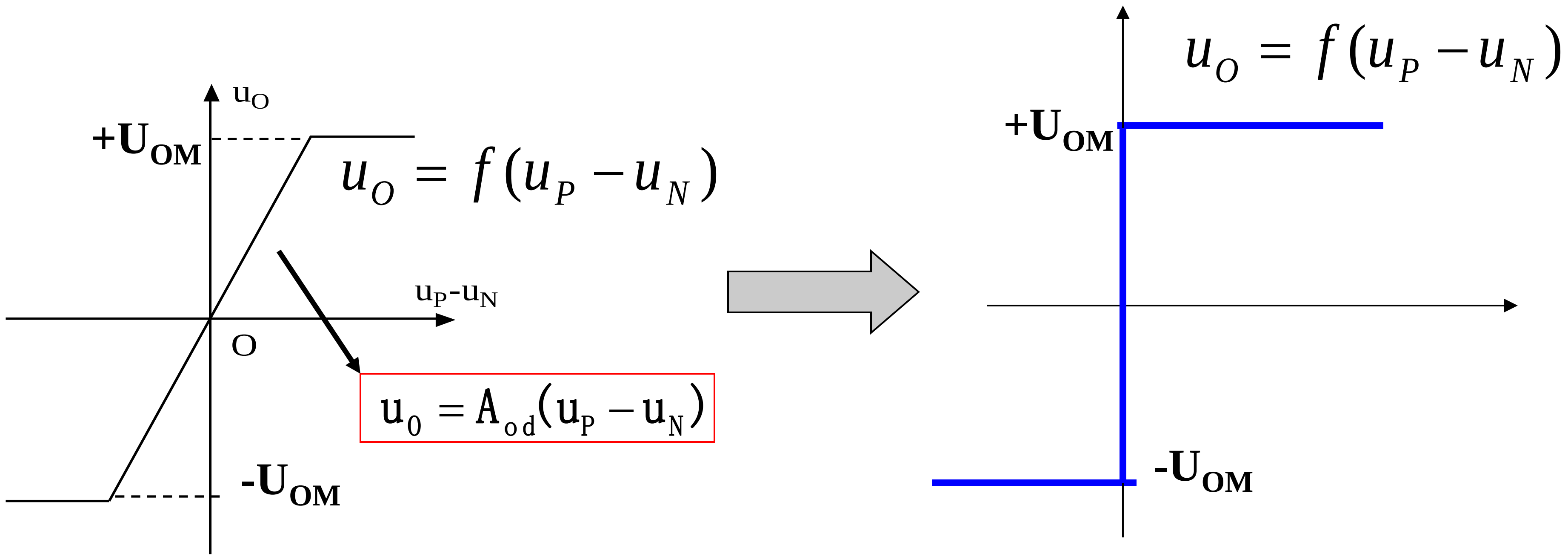
第六章 集成运放应用电路

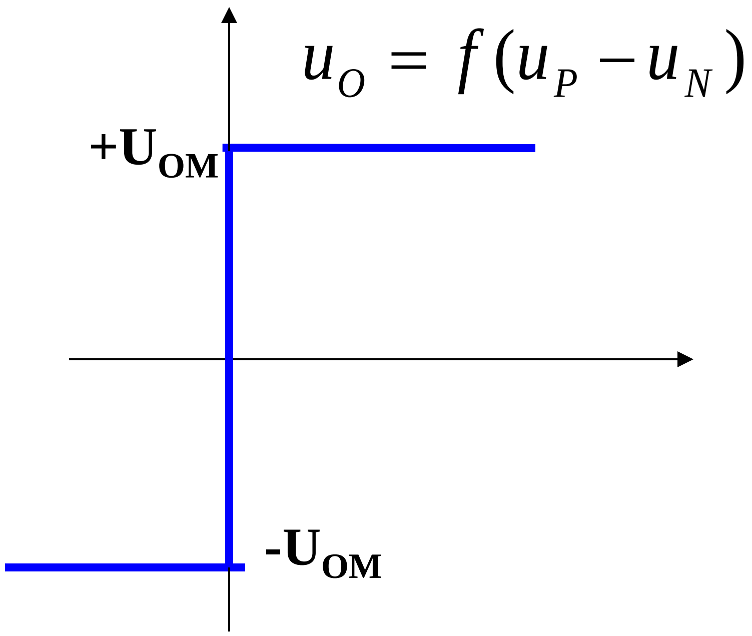
- ❑ 理想集成运放
- ❑ 基本运算电路
- ❑ 模拟乘法器
- ❑ 仪表用放大电路
- ❑ 低通有源滤波电路

6.1 理想集成运放


+VCC
uN
uO
uP
−VEE


uO
+UOM
$u_O = f(u_P - u_N)$
uP-uN
O
$u_O = A_{od}(u_P - u_N)$
-UOM
$u_O = f(u_P - u_N)$
+UOM
-UOM

1、理想化参数



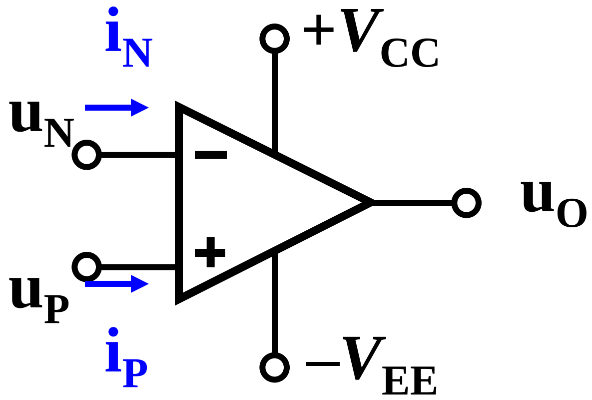
- $R_{id} \to \infty$
- $A_{ud} \to \infty$
- $K_{CMR} \to \infty$
- $R_o \to 0$
- U_{IO}，$I_{IO} \to 0$
- 带宽无限宽

2、工作区域

线性工作：负反馈工作状态

非线性工作：开环工作或正反馈工作状态

3、理想运放的极限条件



理想集成运放线性工作特点：

虚短： $u_N = u_P$

虚断： $i_N = i_P = 0$

理想集成运放非线性工作特点：

虚断： $i_N = i_P = 0$

饱和输出

6.2 基本运算电路

利用理想集成运放可以组成各种运算电路：比例运算、加减运算、积分运算、微分运算、对数运算、指数运算

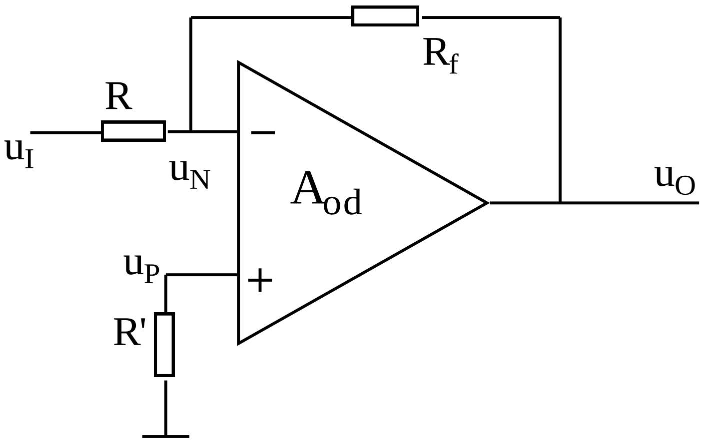
组成运算电路的理想集成运放必须工作在线性区，即运算电路必须组成负反馈电路；

由于理想集成运放的增益为无穷，通常由理想集成运放组成的负反馈电路满足深度负反馈条件；

利用理想集成运放的虚短和虚断的特性来分析各种运算电路，目的只要是得到输出与输入信号之间的关系

1、比例运算电路——输出与输入之间成比例关系

1）反相电路



$$u_0 = -\frac{R_f}{R} u_I$$

电路组成特点：

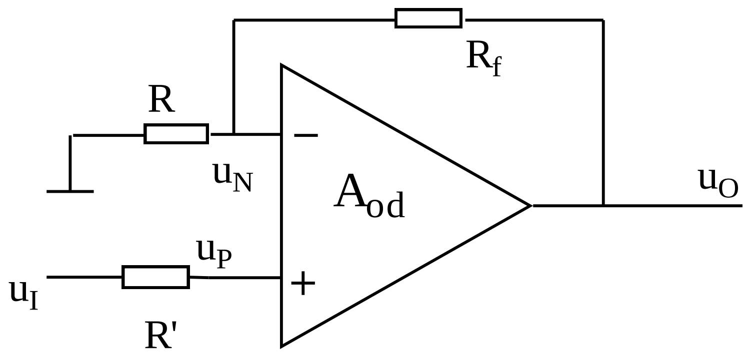
- 深度电压并联负反馈
- 信号从反相输入端输入
- 同相端接地
- R'为平衡电阻

$$A_f = -\frac{R_f}{R} \longrightarrow$$ 反相比例

$$R_i = R \longrightarrow$$ 输入电阻减小

$$R_o = 0 \longrightarrow$$ 具有很强的电压驱动能力

2）同相电路



$$u_O = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) u_I$$

电路组成特点：

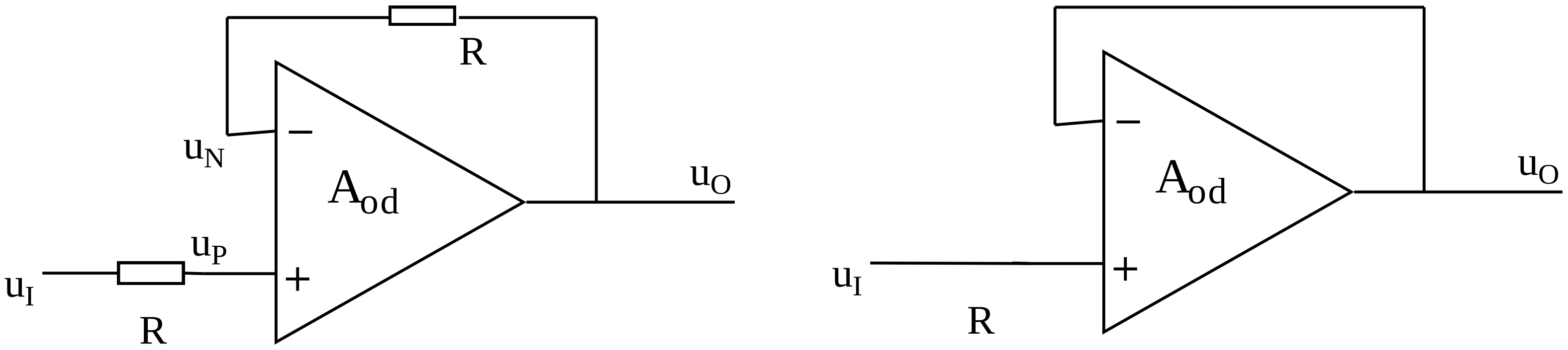
- 深度电压串联负反馈
- 信号从同相输入端输入
- **R’**为平衡电阻

$$A_f = 1 + \frac{R_f}{R} \longrightarrow$$ 同相比例

$$R_i = \infty \longrightarrow$$ 输入电阻无穷

$$R_o = 0 \longrightarrow$$ 具有很强的电压驱动能力

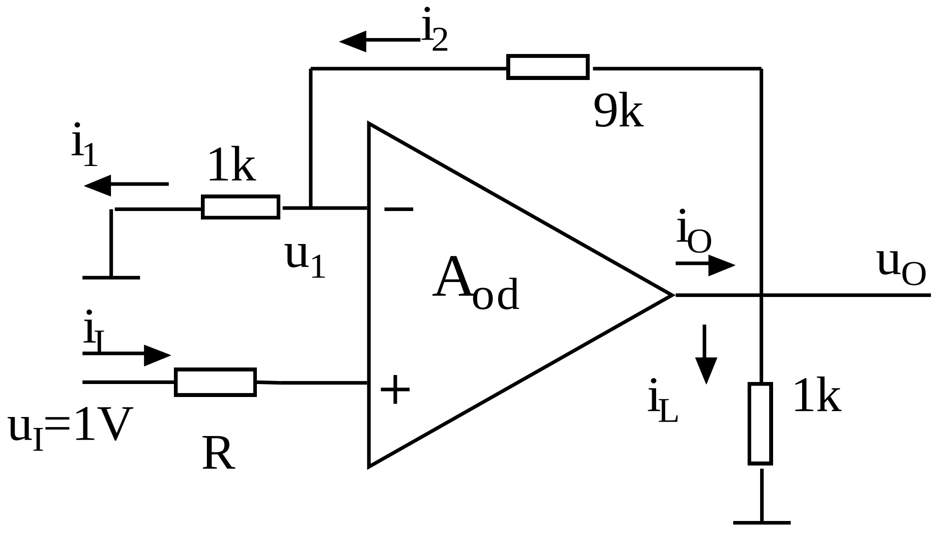
电压跟随器



$$u_0 = u_I$$

输入电阻为无穷大，输出电阻为0，
具有很好的跟随特性

例1：

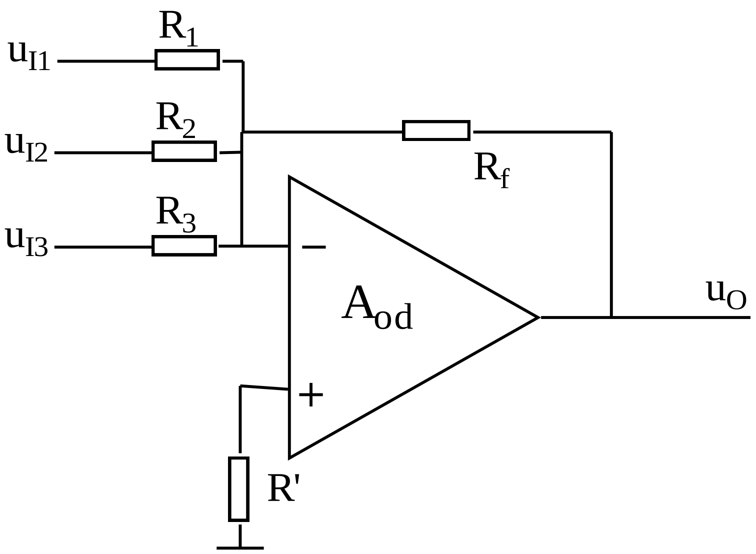


求：

i_I, i_1, i_2, u_1, u_O, i_L, i_O以及电压增益

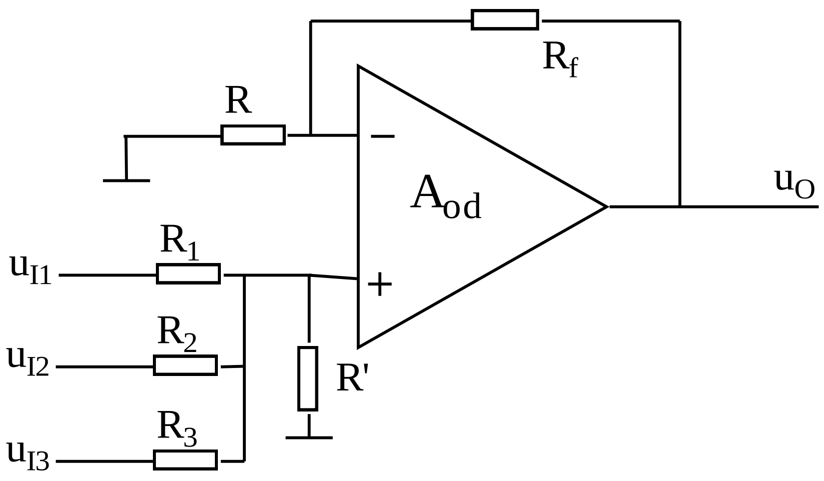
2、加法、减法运算器——输出是输入信号的相加或相减

a) 加法运算器



$$u_0 = -\frac{R_f}{R_1}u_{I1} - \frac{R_f}{R_2}u_{I2} - \frac{R_f}{R_3}u_{I3}$$

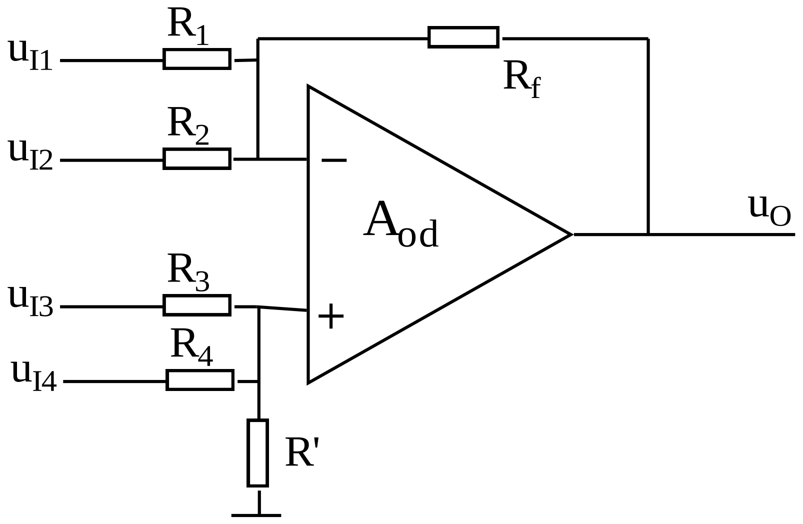
反相求和运算电路



$$u_0 = \frac{R_f}{R_1}u_{I1} + \frac{R_f}{R_2}u_{I2} + \frac{R_f}{R_3}u_{I3}$$

同相求和运算电路

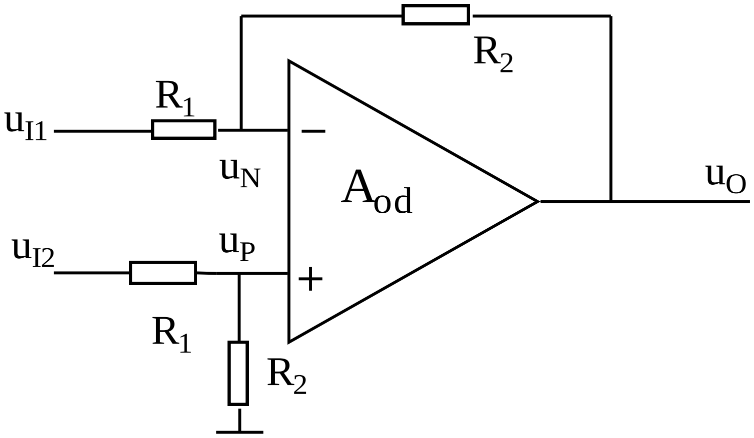
b) 加减法运算器



$$u_0 = R_f\left(\frac{u_{I3}}{R_3} + \frac{u_{I4}}{R_4} - \frac{u_{I1}}{R_1} - \frac{u_{I2}}{R_2}\right)$$

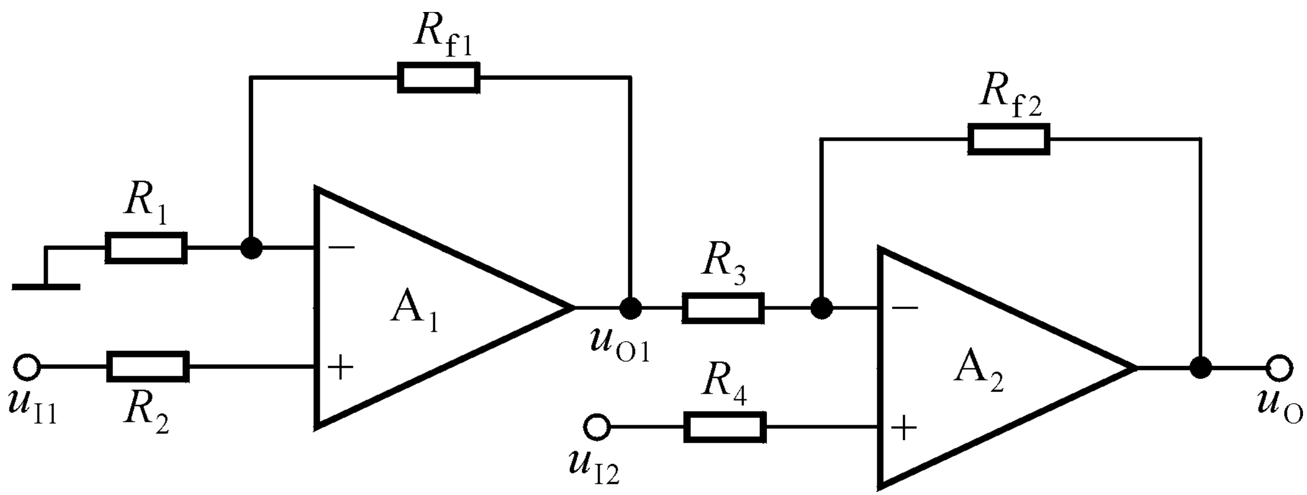
利用集成运放实现输入信号的相加相减运算，如果要求信号相加，则把这些信号加到同一个输入端，否则加到不同的输入端。

c）差动运算电路



$$u_0 = -\frac{R_2}{R_1}(u_{I1} - u_{I2})$$

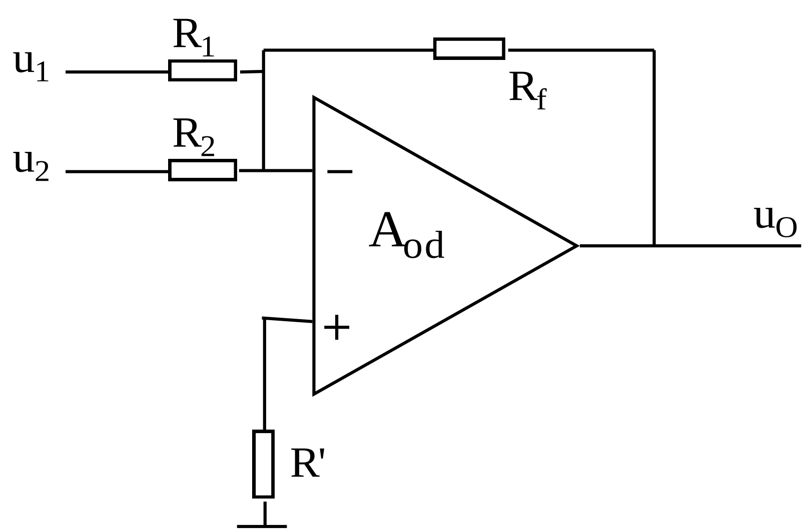
集成运放组成差分放大器



两级运放组成信号相减运算电路

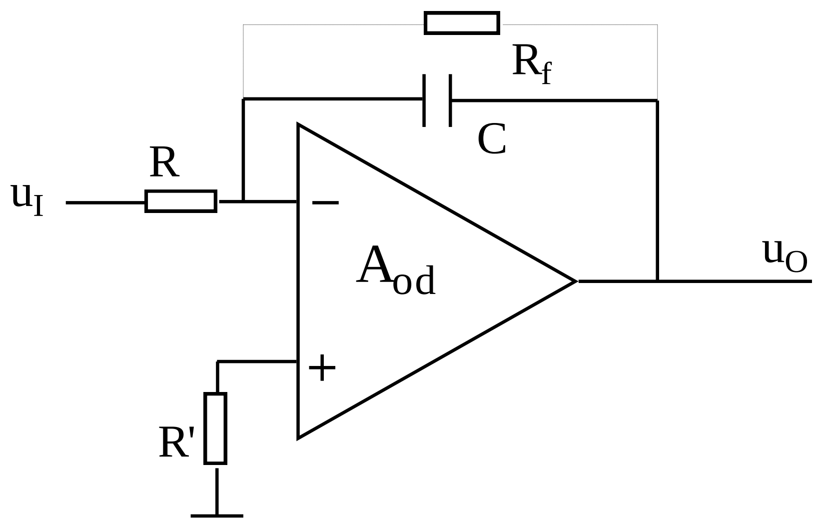
例2：

设计一个反相运放，实现输出是两个输入的加权和，即$u_O=-(u_1+5u_2)$。选择合适的**R1, R2, Rf**电阻，并使在最大输出电压为**10V**时，反馈电阻上的电流不超过**1mA**。



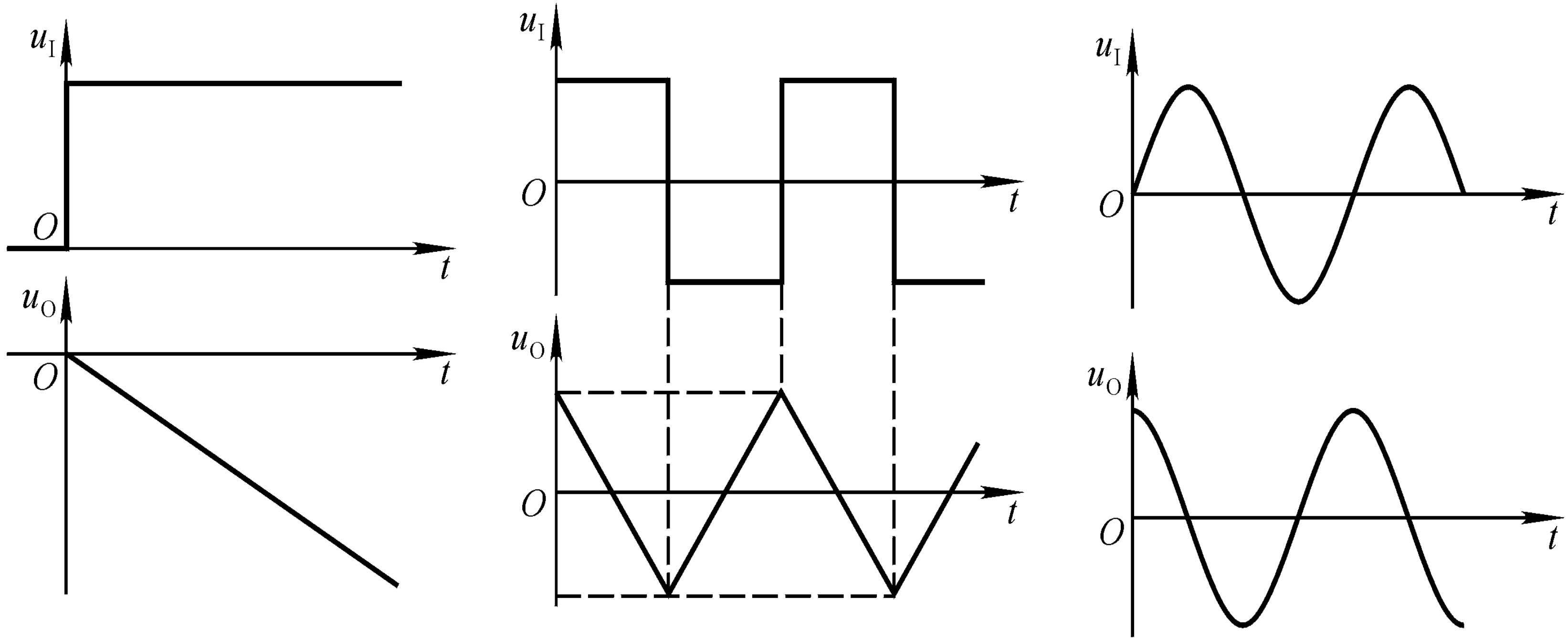
3、积分、微分运算电路——输出是输入的积分或微分

1）积分电路



$$u_0 = -\frac{1}{RC}\int u_I dt$$

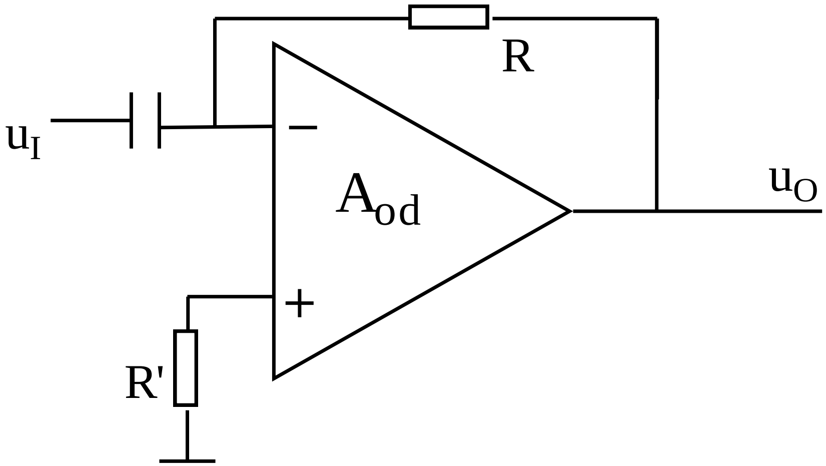
$$u_0(t) = -\frac{1}{RC}\int_{t_0}^{t} u_I dt + u_0(t_0)$$



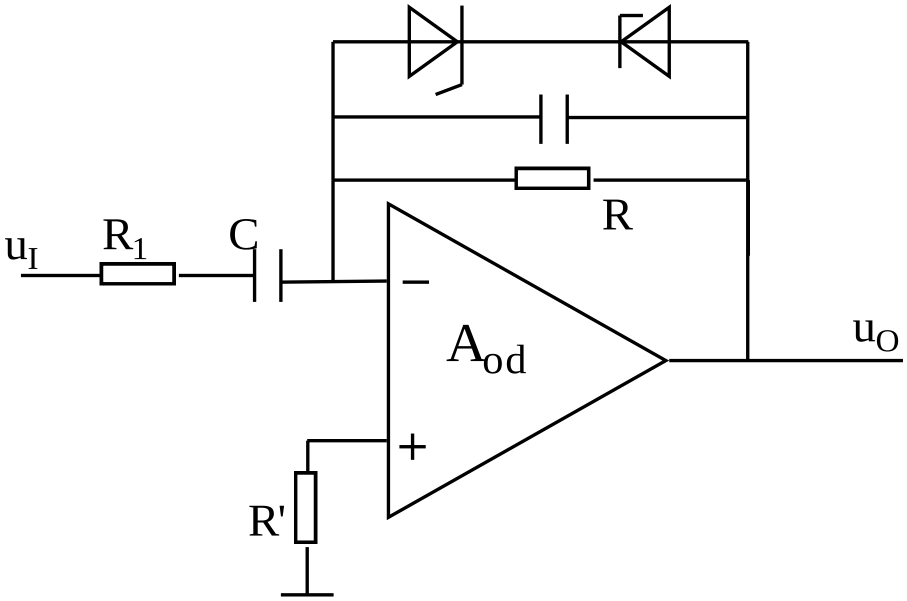
(a) (b) (c)

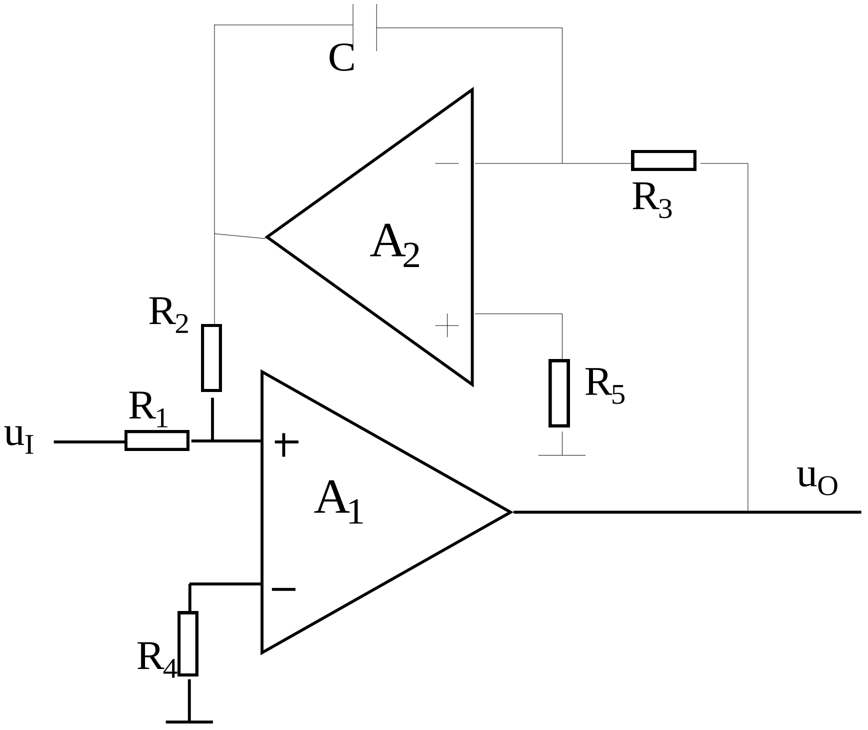
积分电路可以实现波形变换

2）微分电路



$$u_0 = -RC\frac{du_I}{dt}$$

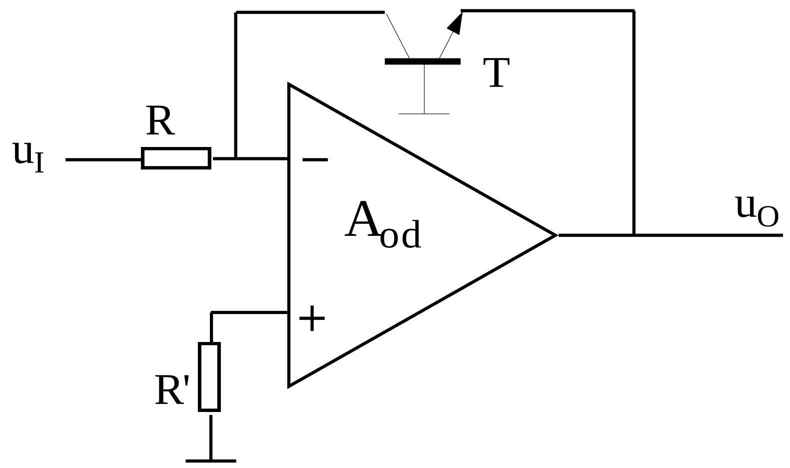




改进型微分运算电路

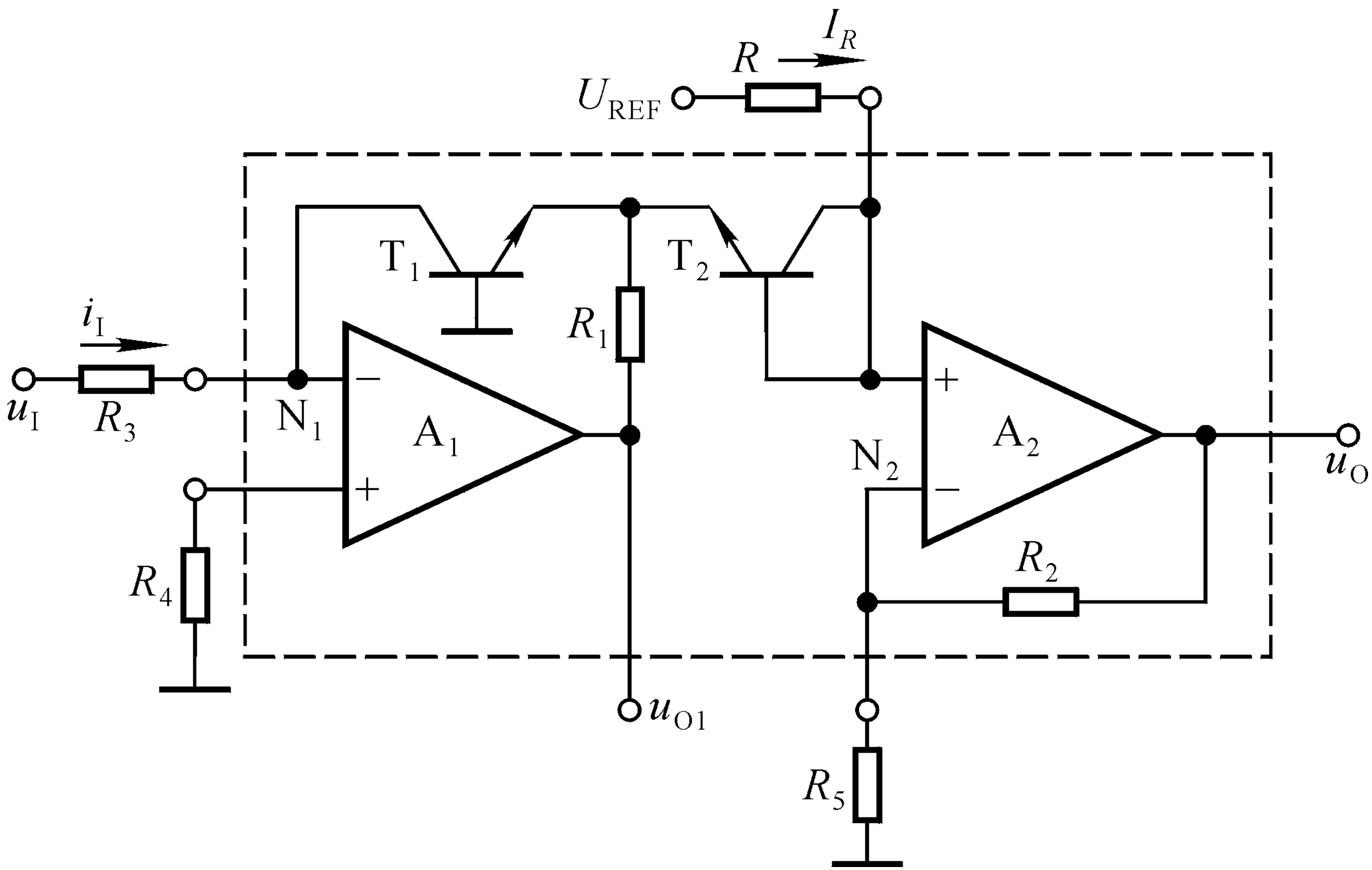
4、对数、指数运算电路

1）对数电路



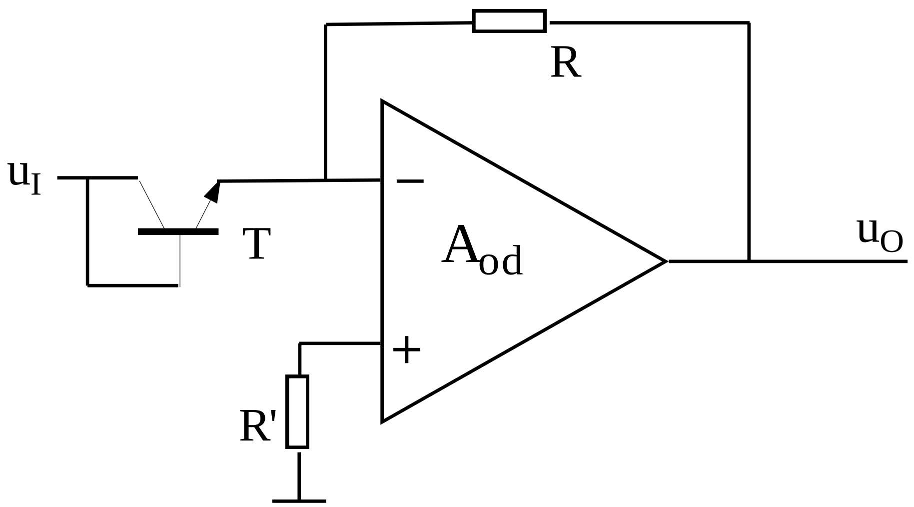
$$i_E \approx i_C = I_{EBS} e^{u_{BE}/U_T} = I_{EBS} e^{-u_0/U_T}$$

$$u_0 = -U_T \ln \frac{u_I}{I_{EBS} R}$$

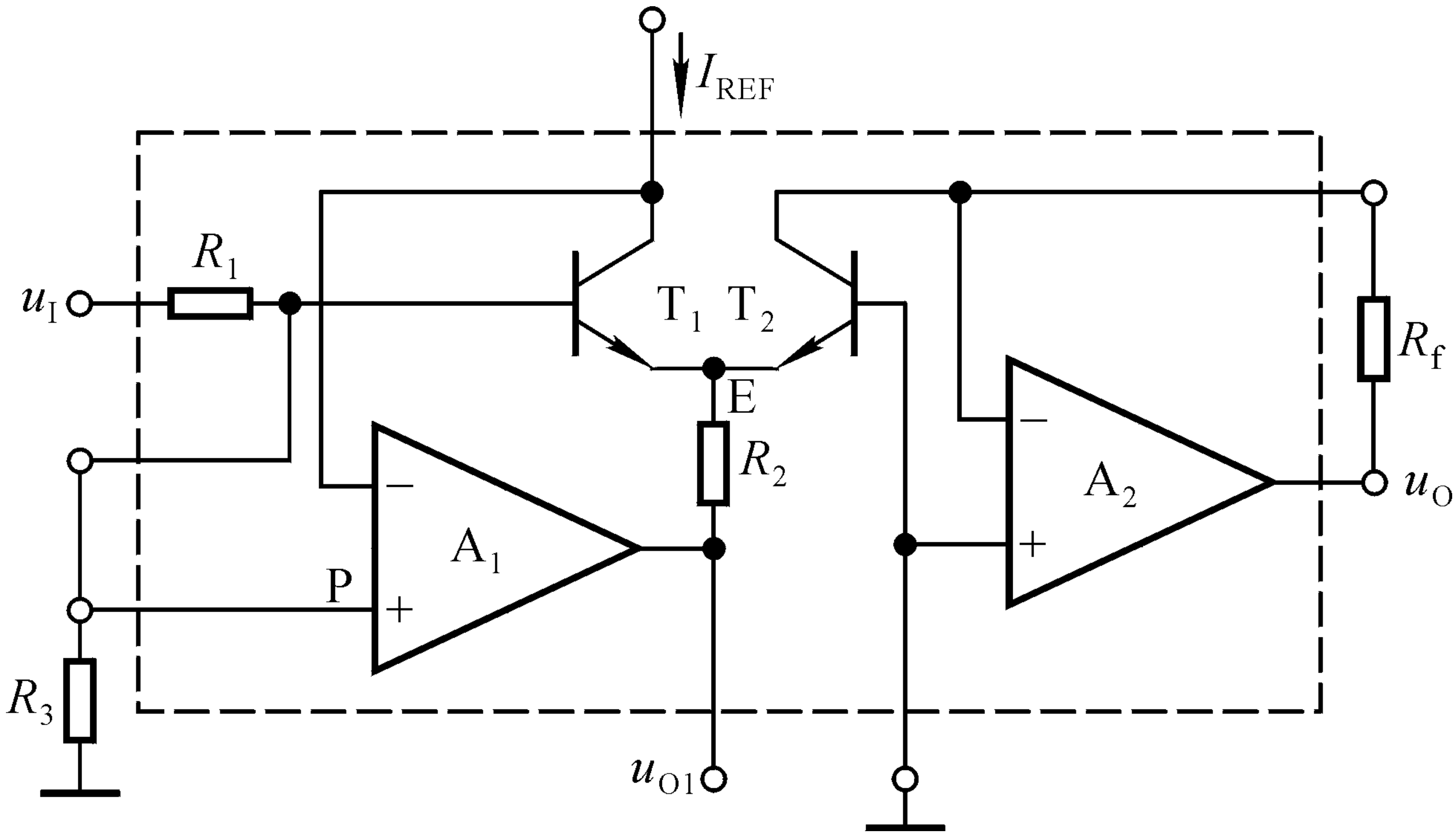


集成对数运算电路

2）指数电路



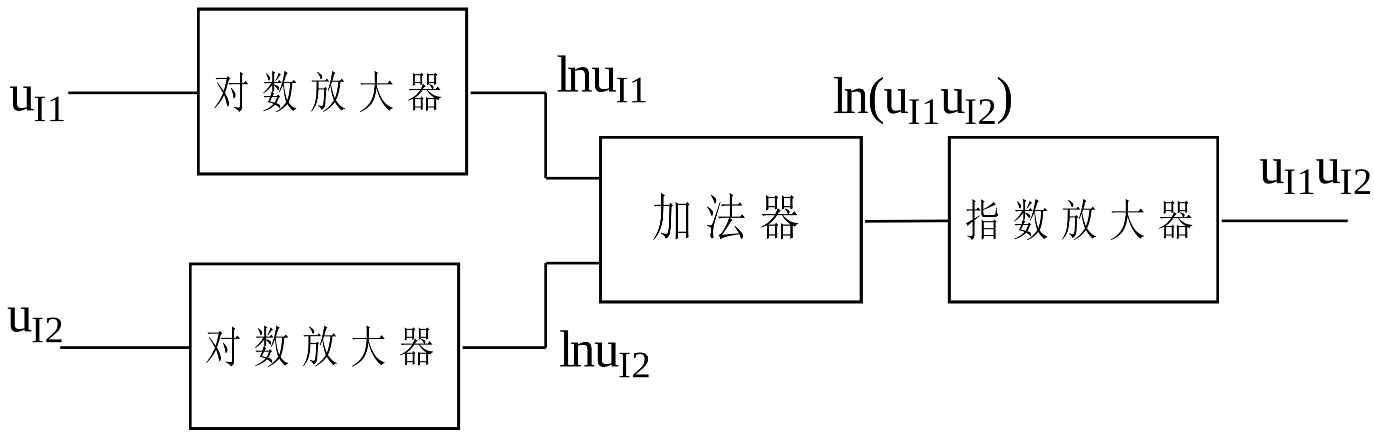
$$u_0 = -I_S e^{\frac{u_I}{U_T}} R$$



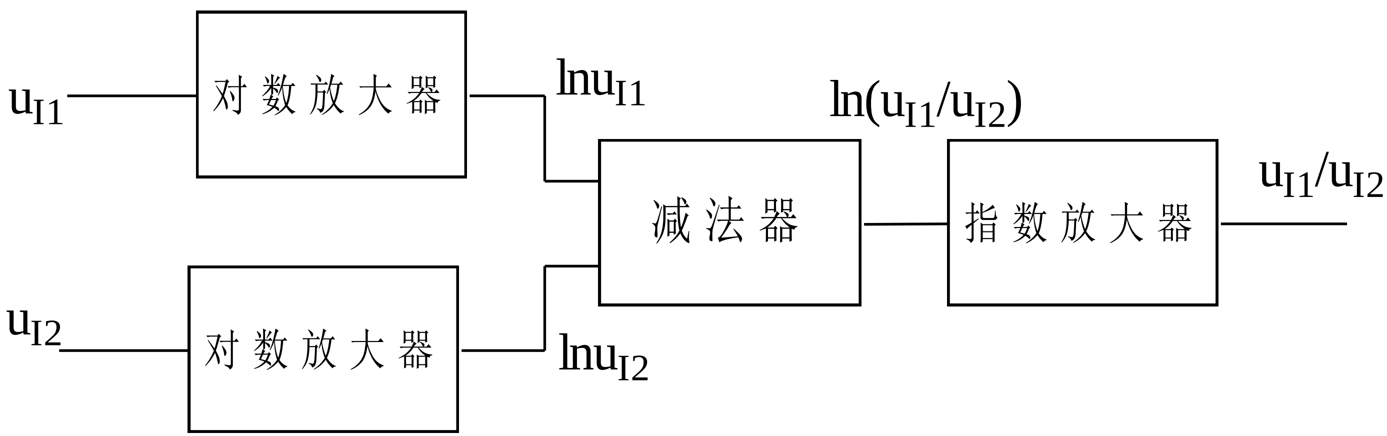
集成指数运算电路

5、乘法器和除法器

乘法器

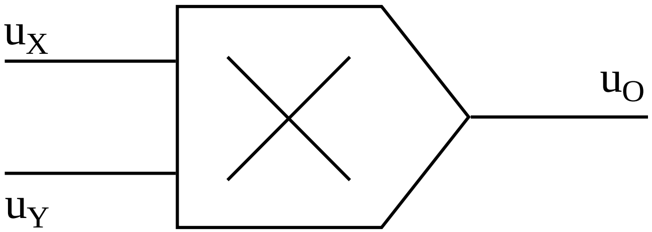


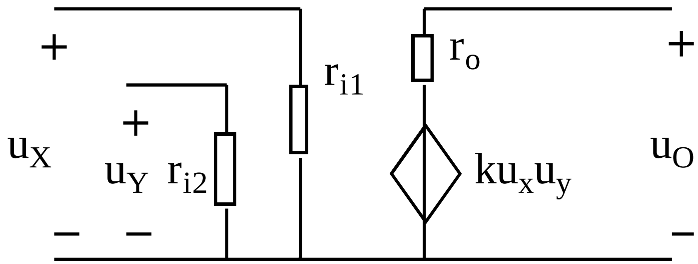
除法器



6.3 模拟乘法器

1、模拟乘法器符号





$$u_0 = ku_X \cdot u_Y$$

k：乘积系数

理想模拟乘法器：

1）输入电阻r_{i1}和r_{i2}为无穷大；

2）输出电阻r_o为0；

3）零输入零输出

4）k值恒定

模拟乘法器类型：

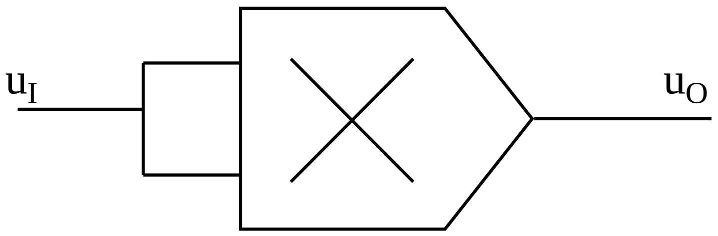
单象限乘法器

两象限乘法器

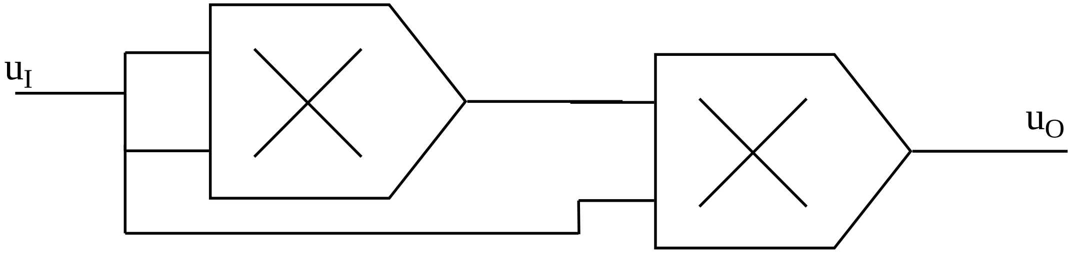
四象限乘法器

2、模拟乘法器的应用

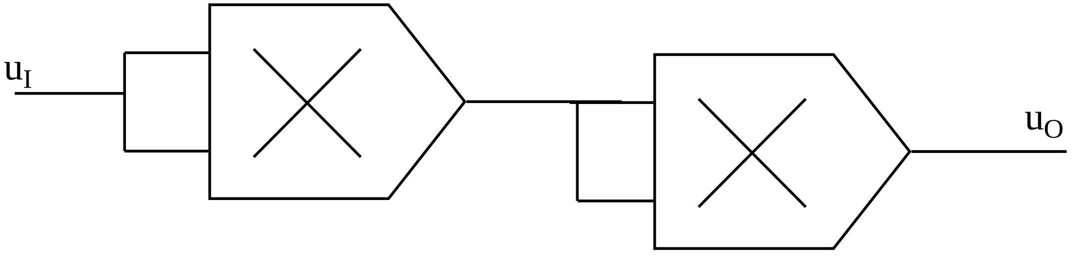
1）乘方运算电路



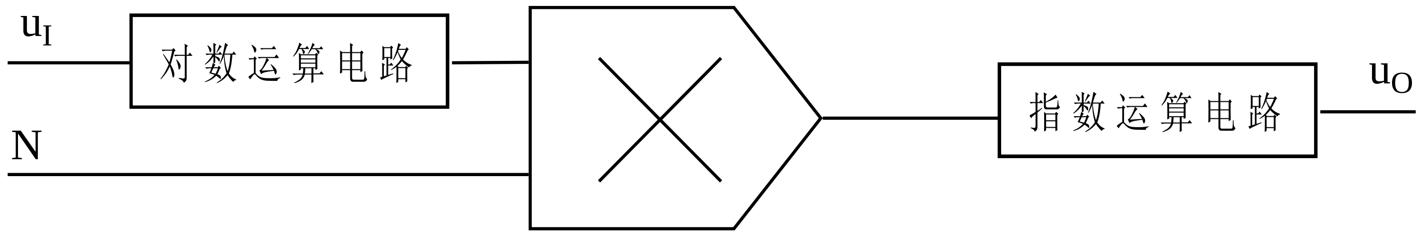
$$u_O = ku_I^2$$



$$u_O = k^2u_I^3$$



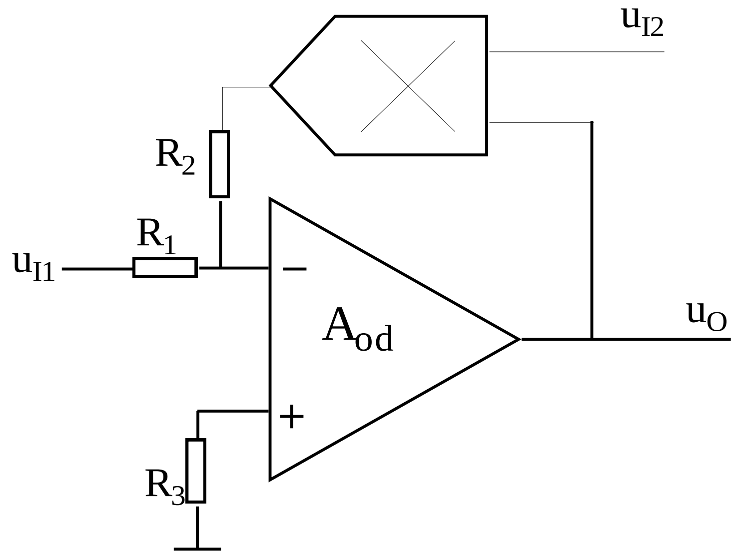
$$u_O = k^2u_I^4$$



N次方运算电路

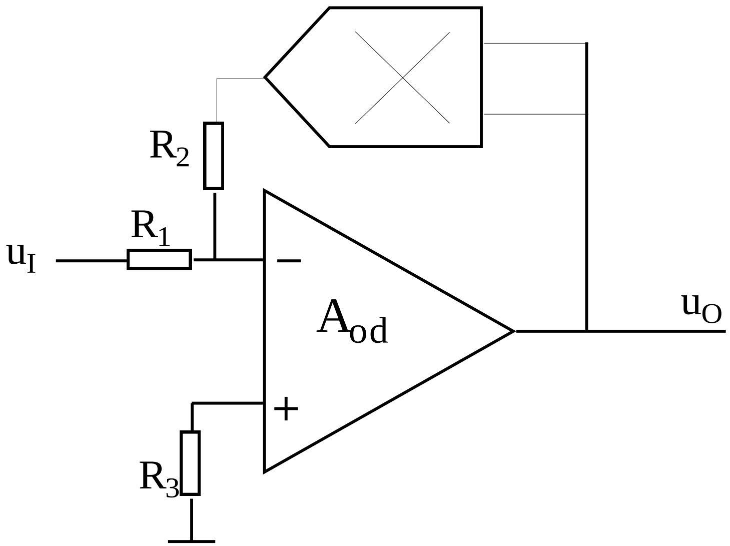
$$u_O = A u_I^{kN}$$

2）除法运算电路

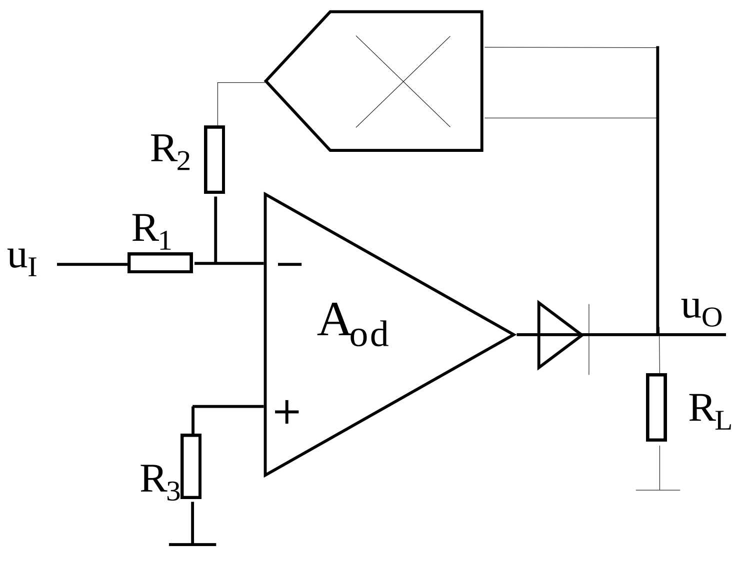


$$u_O = -\frac{R_2}{kR_1} \cdot \frac{u_{I1}}{u_{I2}}$$

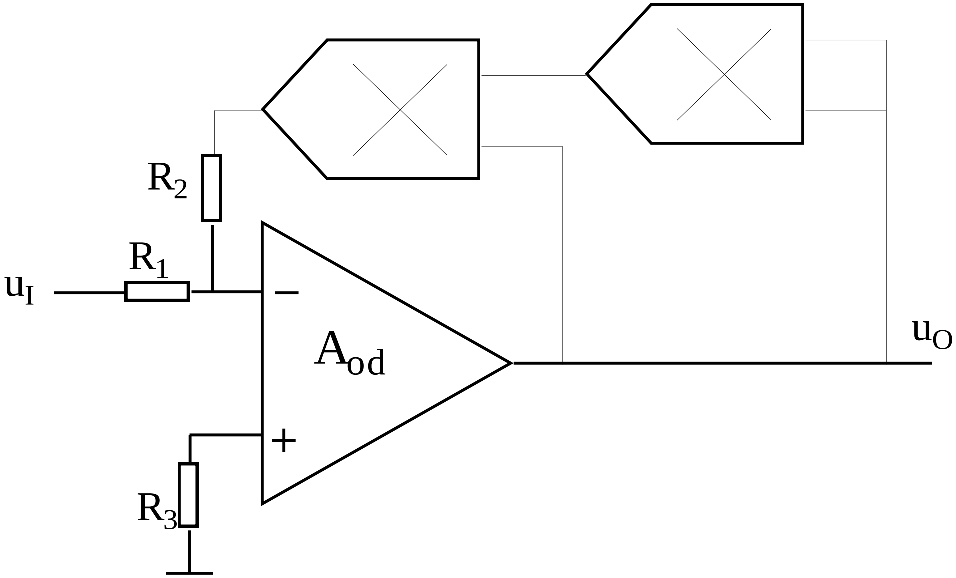
3）开方运算电路



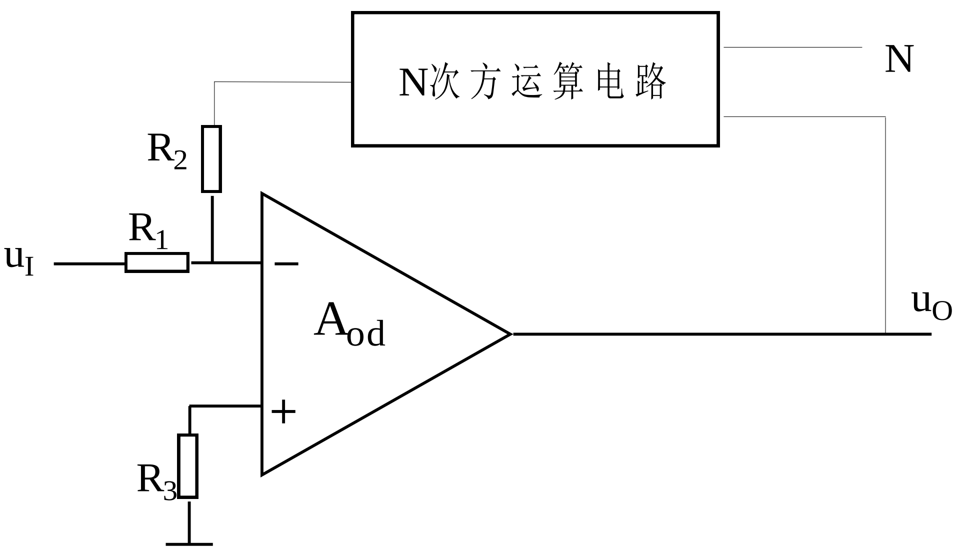
$$u_O = \sqrt{-\frac{R_2}{kR_1} \cdot u_I}$$



改进的开方运算电路

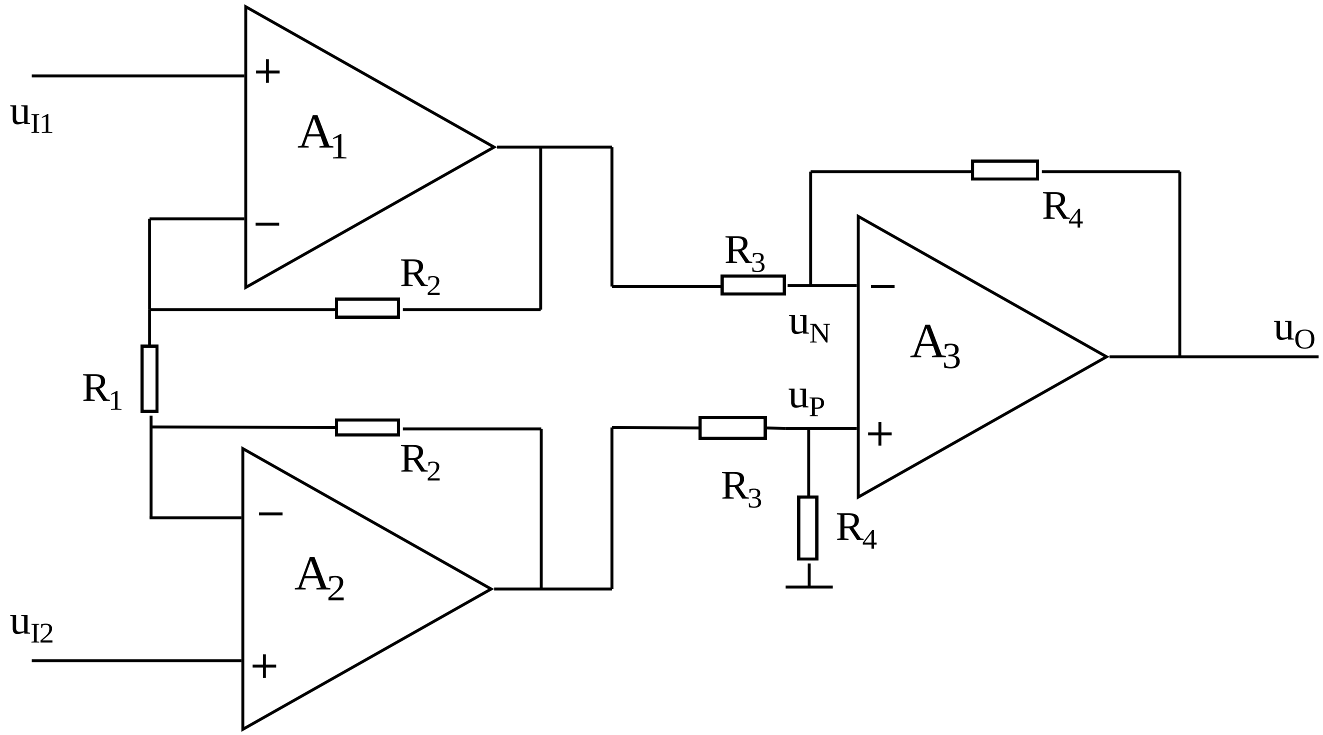


立方根运算电路



N次方根运算电路

6.4 仪表用放大器

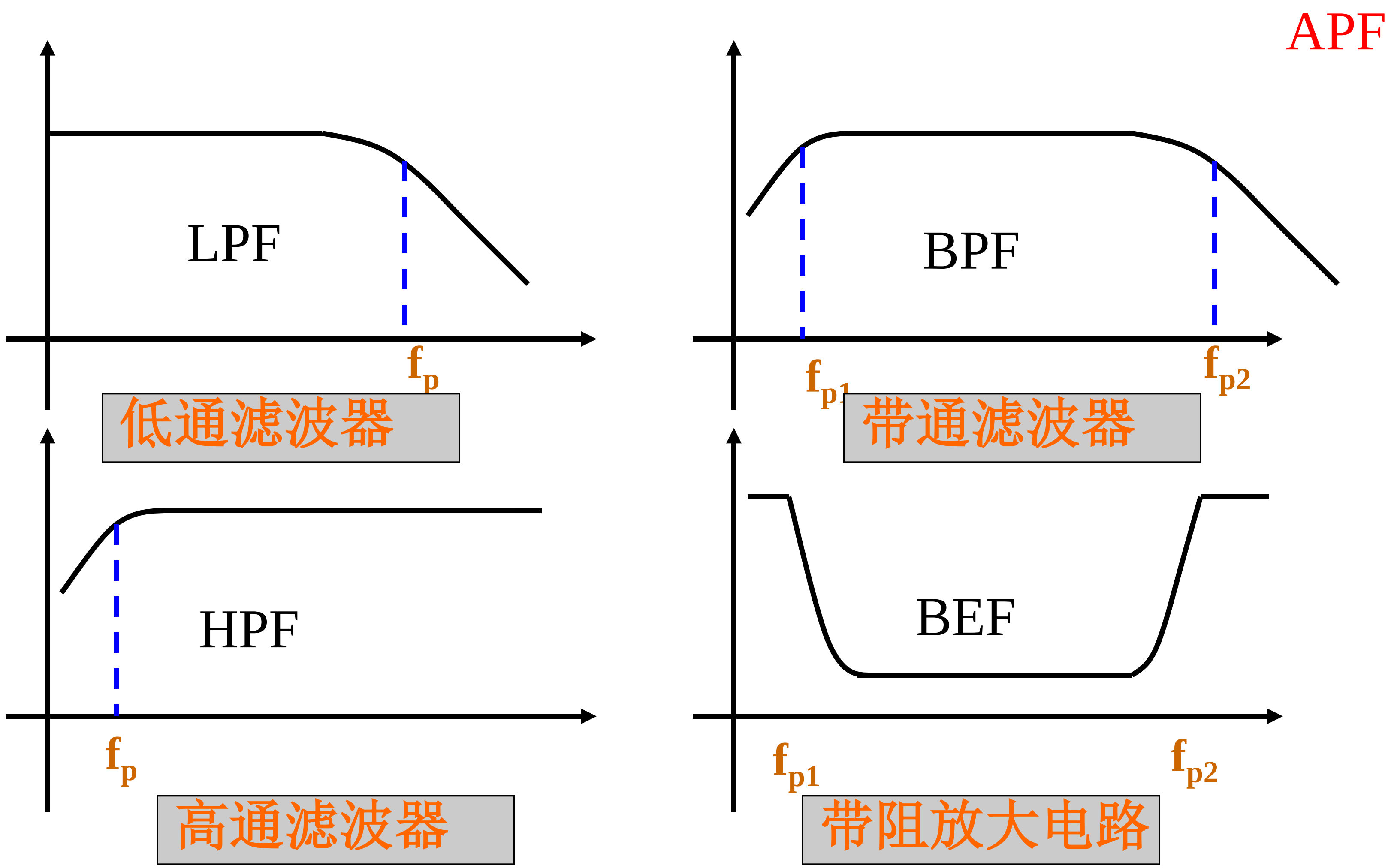


$$u_o = -\frac{R_4}{R_3}\left(1+\frac{2R_2}{R_1}\right)(u_{I1}-u_{I2})$$

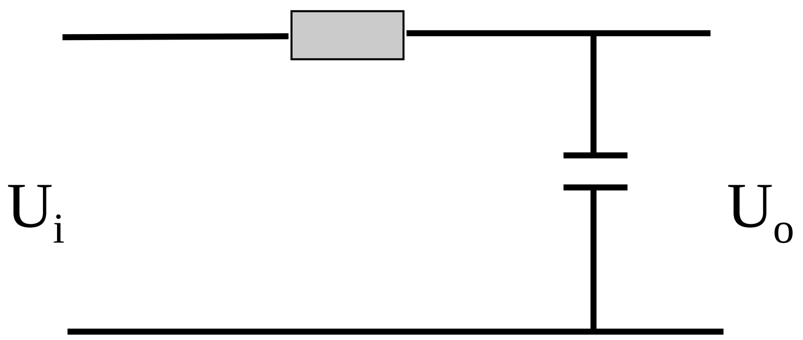
6.5 有源滤波电路

滤波电路：对信号的频率具有选择性的电路。

滤波电路的类型

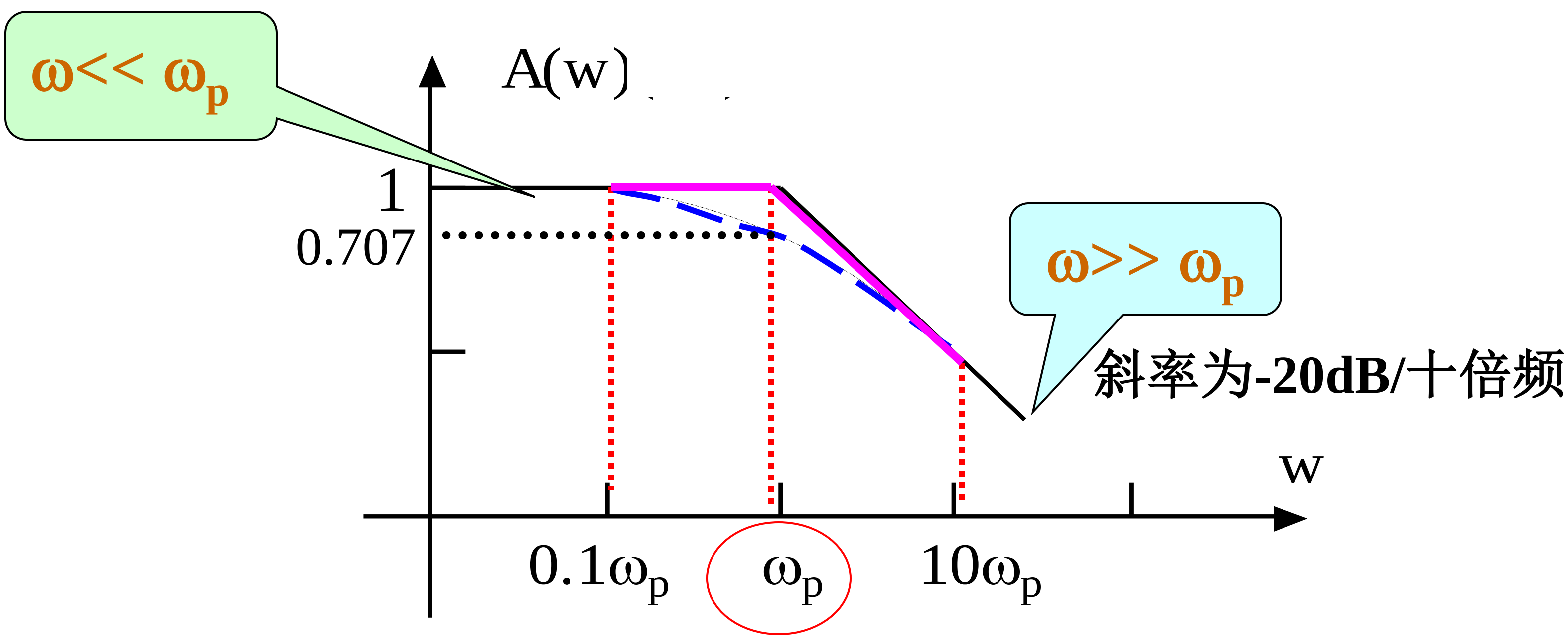


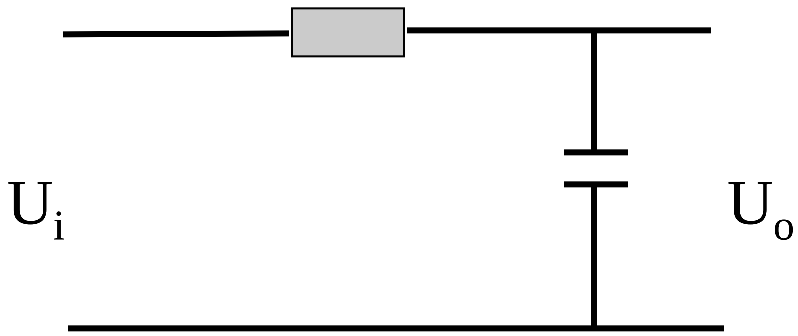
1、无源滤波电路（低通电路）

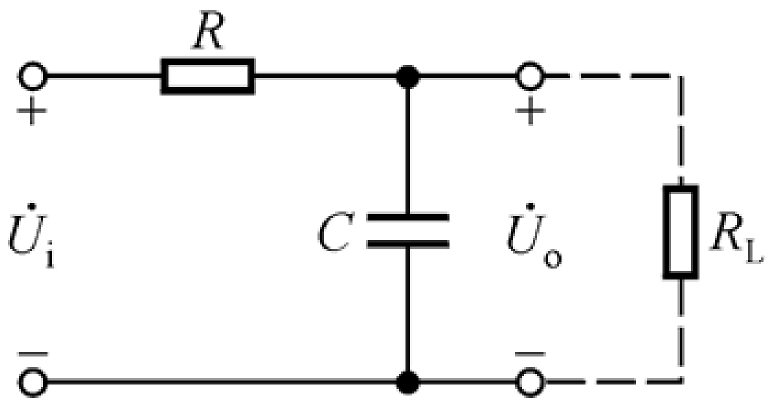


$$A(j\omega)=\frac{1}{1+j\omega RC}=\frac{1}{1+\frac{j\omega}{\omega_p}}$$

无源滤波电路







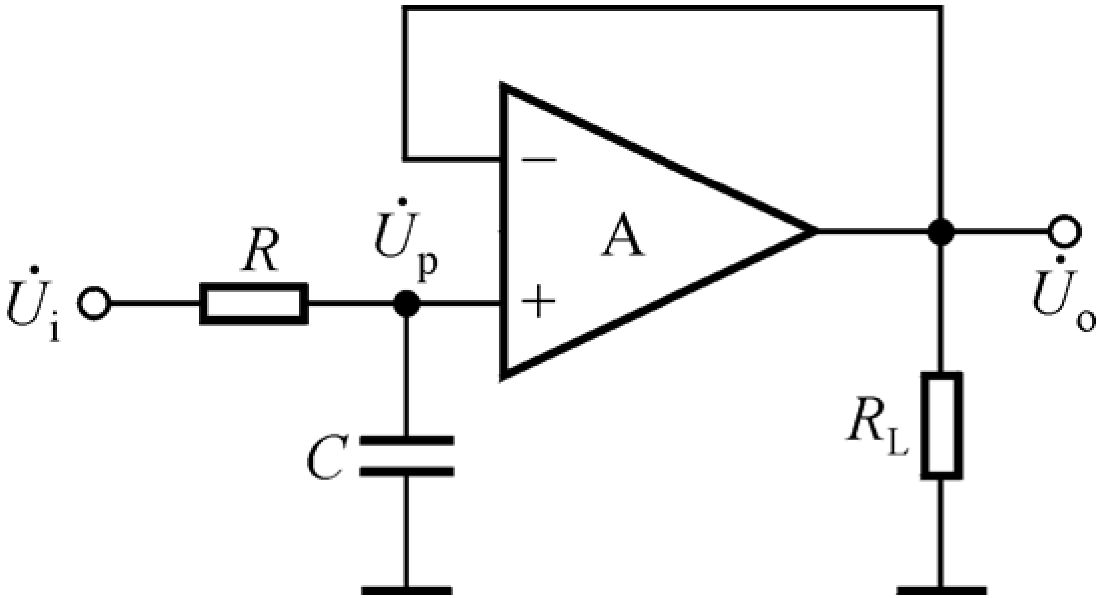
增益变化：减小

截止频率变化：增大

缺点：滤波特性随负载变化

2、有源滤波电路（低通电路）

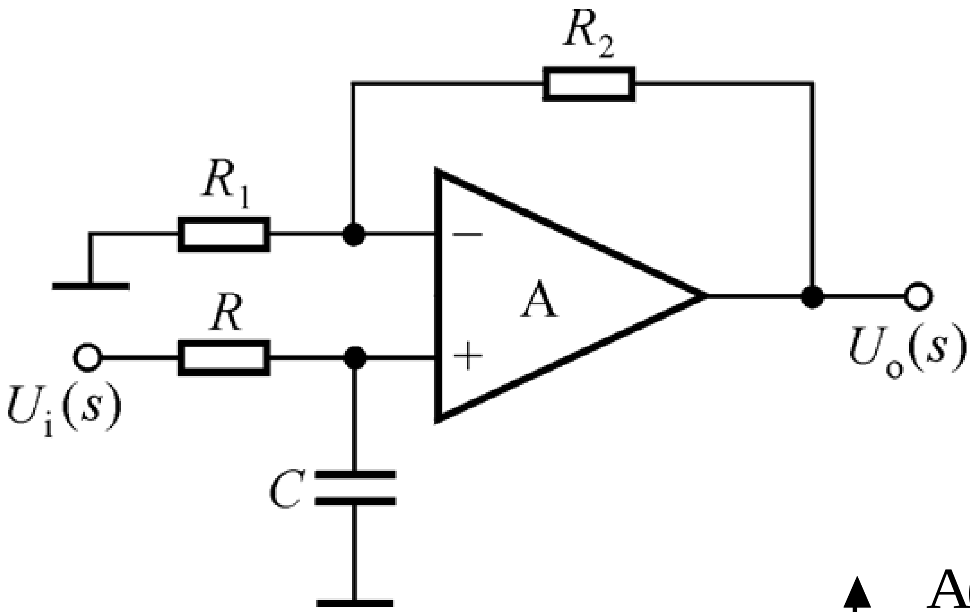
有源滤波电路：由无源元件和有源元件共同组成的滤波电路



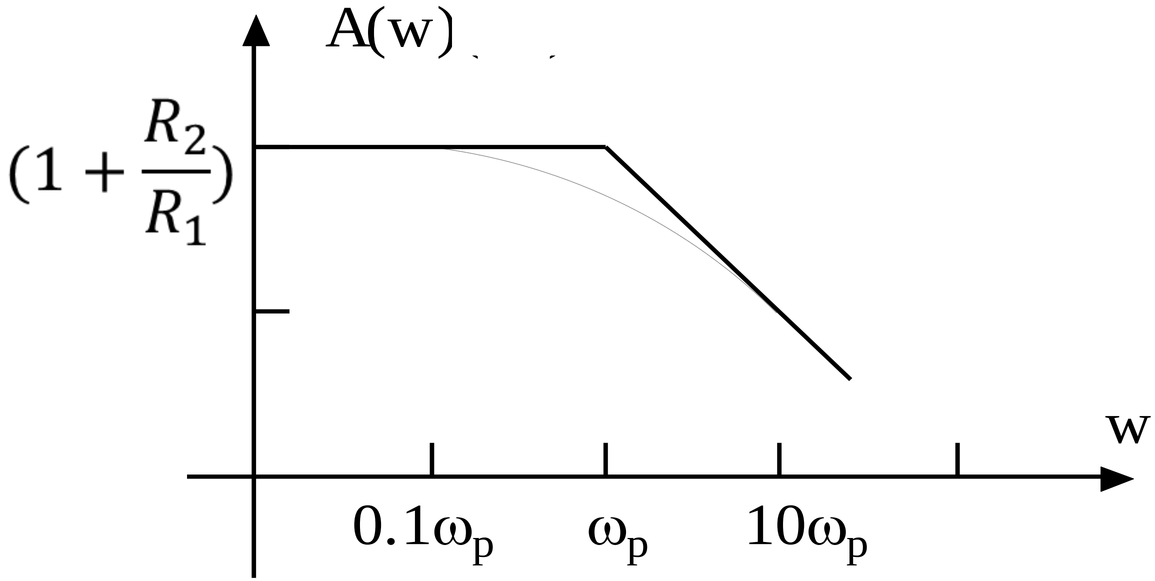
有源滤波电路

滤波特性可不受负载影响

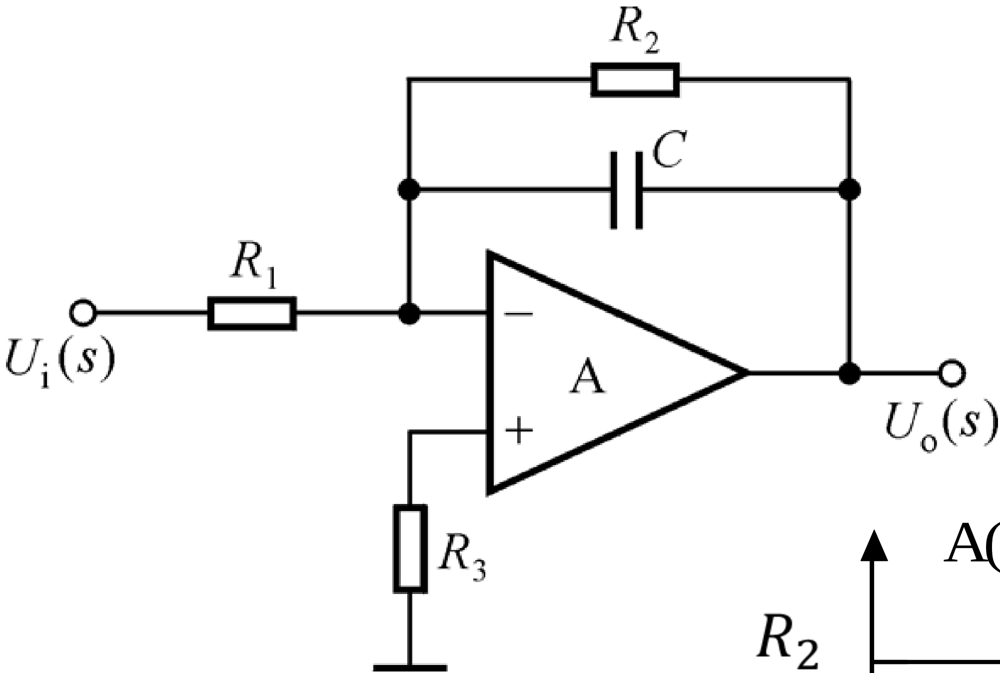
一阶有源低通滤波电路（同相输入）



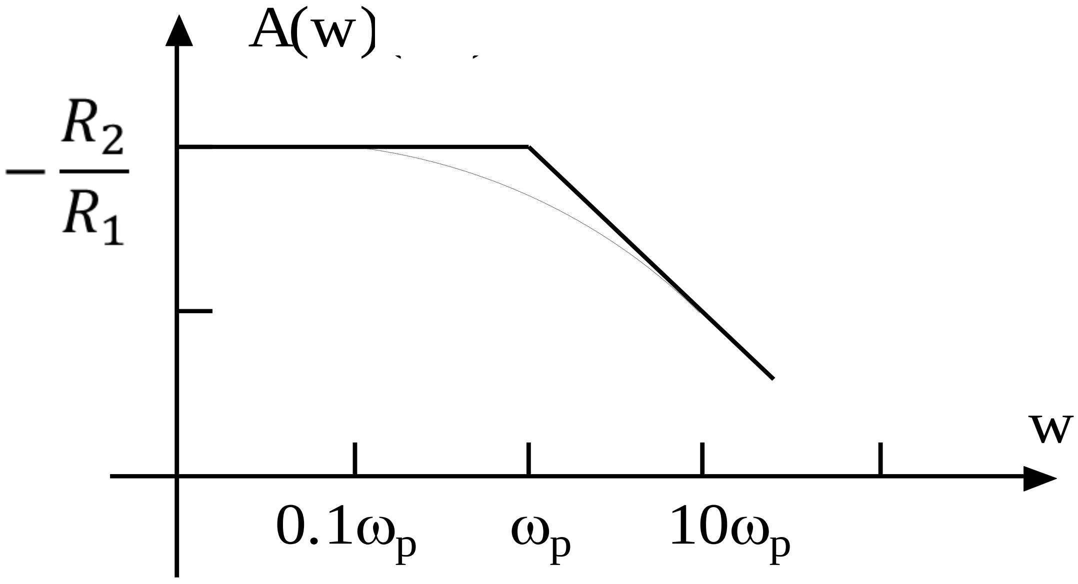
$$A(jw) = (1+\frac{R_2}{R_1})\frac{1}{1+jwRC}$$



一阶有源低通滤波电路（反相输入）



$$A(jw) = -\frac{R_2}{R_1}\frac{1}{1 + jwR_2C}$$



二阶有源低通滤波电路

可改善滤波特性，比如加大衰减

三种类型的有源低通滤波器