

Chapter 5

信号的运算、测量与处理电路



集成运放与外部不同形式的反馈电路相配合，能够实现输入量与输出量之间的多种特定函数关系，即可完毕对信号的**运算、处理、变换**等模拟功能。

集成运放的基本应用可分为： $\left\{ \begin{array}{l} \text{线性应用} \\ \text{非线性应用} \end{array} \right.$

线性应用：外加深度负反馈电路，使运放工作在线性区，可构成模拟运算电路、滤波电路等。分析时采用**虚短、虚断**的概念。

非线性应用：开环或引入正反馈，使运放工作非线性区，可构成比较器、波形发生电路等，此时运放体现出**开关特征**。





- ⊗ 基本运算电路
- ⊗ 对数、指数与乘法运算电路
- ⊗ 电压电流转换器
- ⊗ 信号测量与放大电路
- ⊗ 有源滤波器





§5.1 基本运算电路

- 百分比运算
- 求和运算
- 微分运算
- 积分运算



5.1.1 百分比运算电路

根据输入信号接法不同，百分比运算电路有三种基本形式：**反相输入**、**同相输入**及**差分输入**百分比电路。**反相百分比运算电路**

∵ **虚短**，有 $u_- = u_+ = 0$ **虚地**

又∵ **虚断**，有 $i_i = i_f$

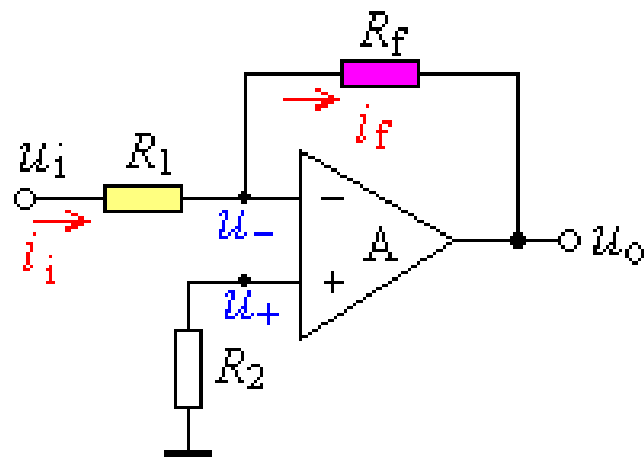
$$\frac{u_i - u_-}{R_1} = \frac{u_- - u_o}{R_f}$$

电压增益： $A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{R_f}{R_1}$

$$u_o = -\frac{R_f}{R_1} u_i$$

输入电阻： $r_{if} = \frac{u_i}{i_i} = R_1$

输出电阻： $r_{of} = 0$



结论:

1) 加在集成运放输入端的共模输入电压为零。

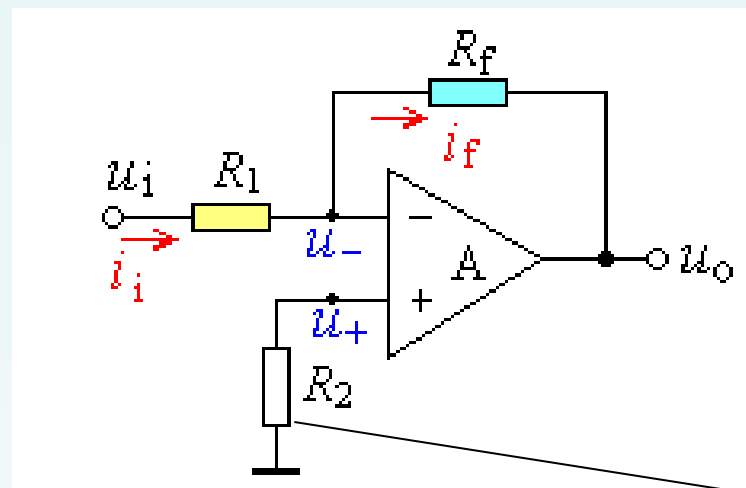
$$u_- = u_+ = 0$$

2) 电路实现反相百分比运算。

$$u_o = -\frac{R_f}{R_1} u_i$$

当 $R_f=R_1$ 时, $A_{uf}=-1$, 称**单位增益反相器**。

3) 电路的输入电阻不大, 输出电阻为零。



为使运放的两个输入端对地的电阻对称和平衡, 取 $R_2=R_1//R_f$

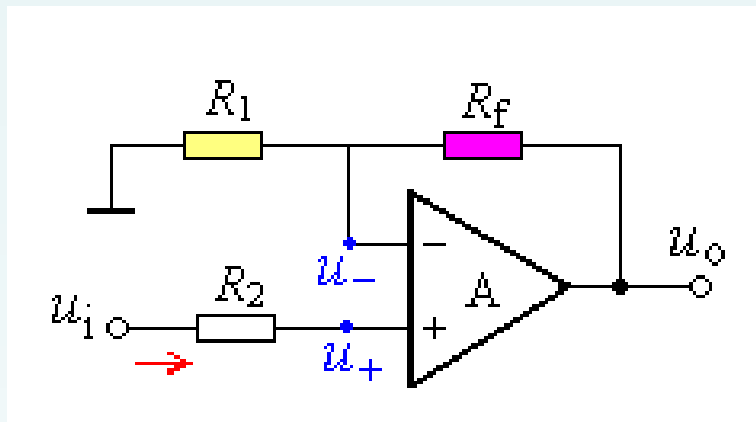


2、同相百分比运算电路

根据虚短和虚断的特点

$$i_- = i_+ = 0$$

$$u_- = \frac{R_1}{R_1 + R_f} \cdot u_o$$



$$R_2 = R_1 // R_f$$

又因 $u_- = u_+ = u_i \Rightarrow \frac{R_1}{R_1 + R_f} \cdot u_o = u_i$

$$A_{uf} \geq 1$$

电压增益: $A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$

$$u_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) u_i$$

输入电阻: $r_{if} = \frac{u_i}{i_i} = \infty$

输出电阻: $r_{of} = 0$

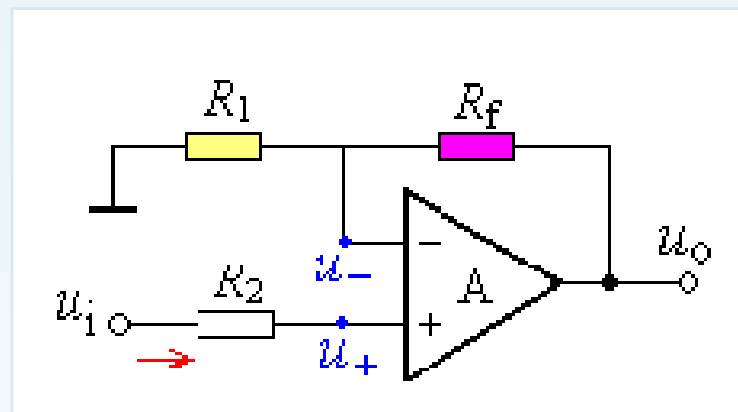


结论:

1) 同相百分比运算电路有

$$u_+ = u_- = u_i$$

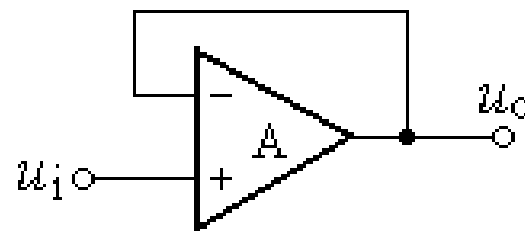
不存在虚地现象，在选用集成运放时要考虑输入端可能有较高的共模输入电压。



2) 电路实现同相百分比运算。

$$u_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) u_i$$

当 $R_f=0$, $R_1=\infty$ 时, $A_{uf}=1$, 称**电压跟随器**。



3) 电路的输入电阻无穷大, 输出电阻为零。

5.1.2 求和与减法运算电路

1、反相求和运算电路

因为**虚断**， $i_- = 0$ ，

则 $i_1 + i_2 + i_3 = i_f$

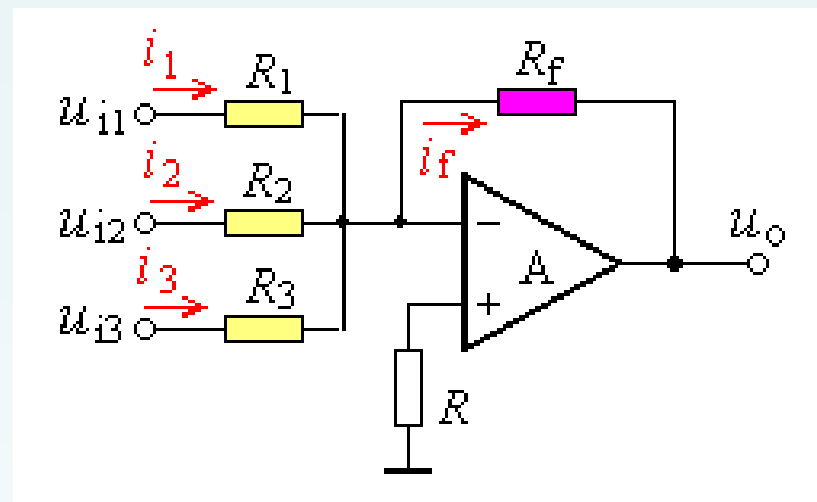
又因**虚短(虚地)**，可得：

$$\frac{u_{i1}}{R_1} + \frac{u_{i2}}{R_2} + \frac{u_{i3}}{R_3} = -\frac{u_o}{R_f}$$

$$u_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} u_{i1} + \frac{R_f}{R_2} u_{i2} + \frac{R_f}{R_3} u_{i3} \right)$$

当 $R_1 = R_2 = R_3 = R$ 时

$$u_o = -\frac{R_f}{R} (u_{i1} + u_{i2} + u_{i3})$$



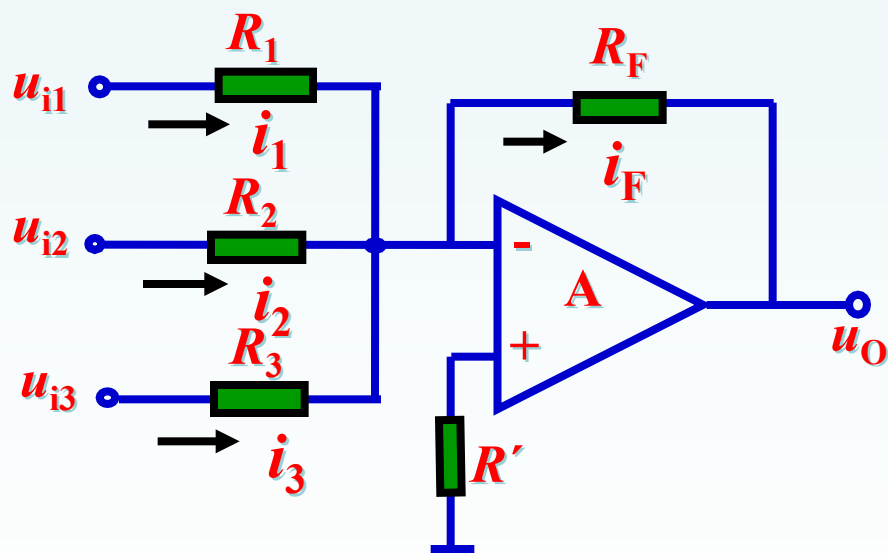
$$R = R_1 // R_2 // R_3 // R_f$$

优点：

- 1) 电路调整灵活以便。变化某一路电阻时，仅变化 u_o 与该路 u_i 间关系。
- 2) 共模输入电压为零。



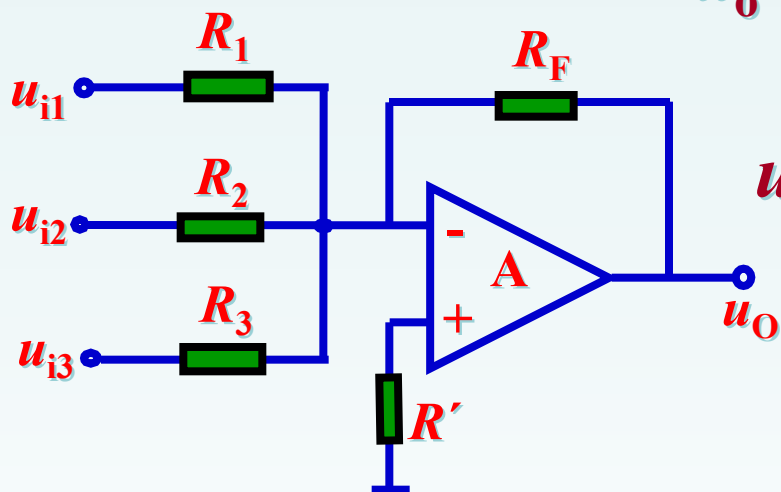
[例5.1] 假设一种控制系统中，要求其输出、输入电压之间的关系为 $u_o = -3u_{i1} - 10u_{i2} - 0.53u_{i3}$ 。



现采用上图所示的求和电路，
试选择电路中的参数以满足以上关系。



解:



$$u_o = - \left(\frac{R_F}{R_1} u_{i1} + \frac{R_F}{R_2} u_{i2} + \frac{R_F}{R_3} u_{i3} \right)$$

$$u_o = - 3u_{i1} - 10u_{i2} - 0.53u_{i3}$$

$$\begin{cases} \frac{R_F}{R_1} = 3 & \frac{R_F}{R_2} = 10 \\ \frac{R_F}{R_3} = 0.53 \\ R' = R_1 // R_2 // R_3 // R_F \end{cases}$$

取 $R_F = 20 \text{ k}\Omega$

$$R_1 = 6.67 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 37.74 \text{ k}\Omega$$

$$R' = 0.3 \text{ k}\Omega$$



2、同相求和运算电路

因为**虚断**， $i_+ = 0$ ，则

$$\frac{u_{i1} - u_+}{R_1} + \frac{u_{i2} - u_+}{R_2} + \frac{u_{i3} - u_+}{R_3} = \frac{u_+}{R'}$$

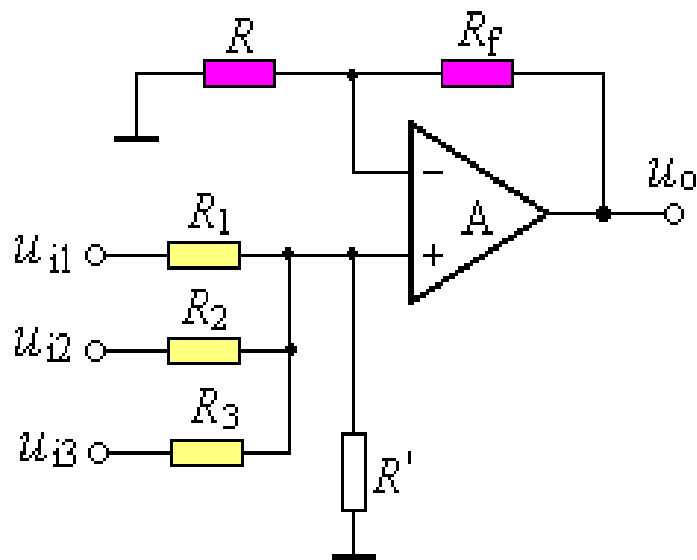
$$\rightarrow u_+ = \frac{R_+}{R_1} u_{i1} + \frac{R_+}{R_2} u_{i2} + \frac{R_+}{R_3} u_{i3}$$

其中 $R_+ = R_1 // R_2 // R_3 // R'$

又因**虚短**，则有

$$u_o = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) u_- = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) u_+$$

$$= \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) \cdot \left(\frac{R_+}{R_1} u_{i1} + \frac{R_+}{R_2} u_{i2} + \frac{R_+}{R_3} u_{i3}\right) \quad \text{——同相求和}$$



1) R_+ 与各输入支路电阻都有关，对电路参数估算和调试不便。

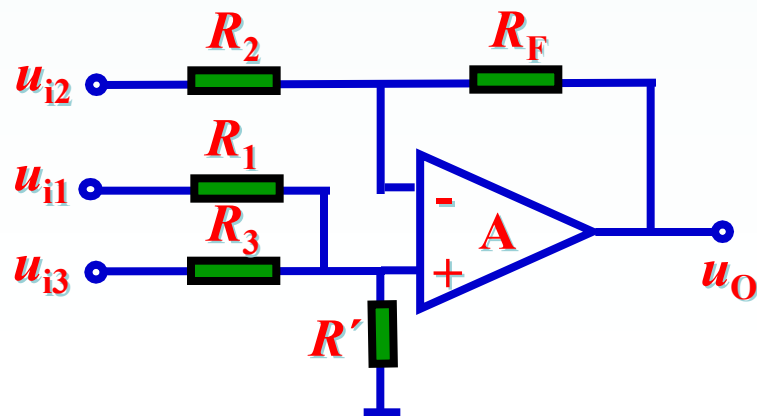
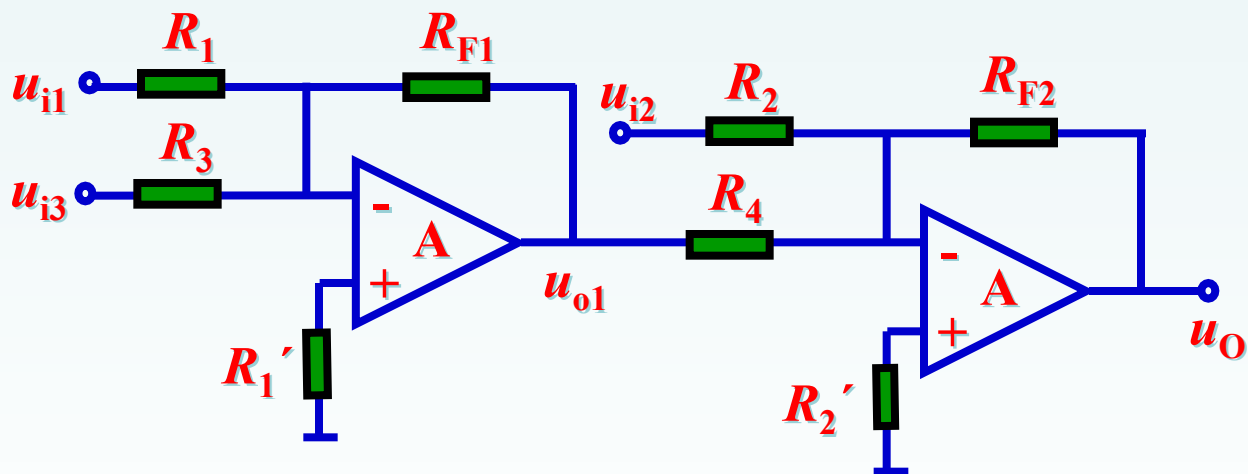
2) 有共模输入电压。



[例5.2] 试用集成运放实现下列运算关系:

$$u_o = 0.2 u_{i1} - 10 u_{i2} + 1.3 u_{i3}$$

解题参照:



3、减法电路

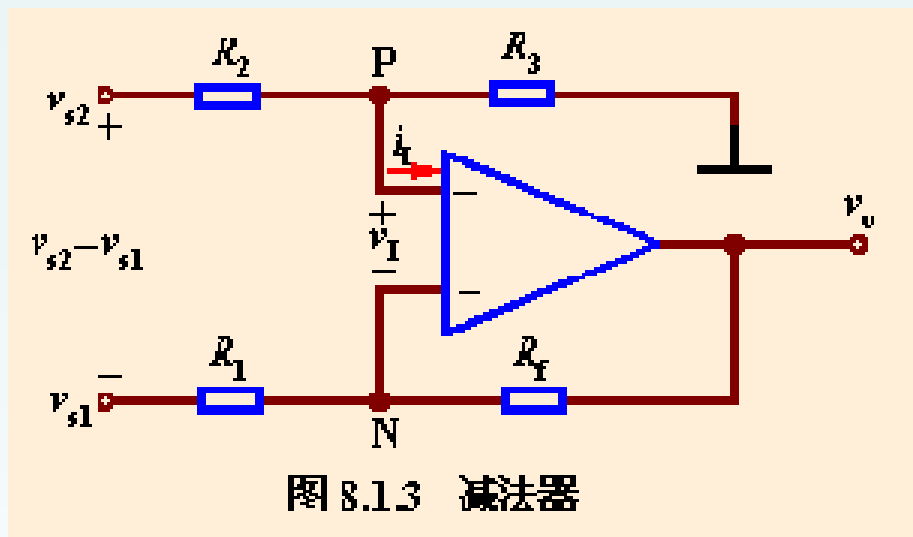
从构造上看，它是反相输入和同相输入相结合的放大电路。

根据**虚短**、**虚断**和N、P点的KCL得：

$$\begin{cases} v_N = v_P \\ \frac{v_{S1} - v_N}{R_1} = \frac{v_N - v_O}{R_f} \\ \frac{v_{S2} - v_P}{R_2} = \frac{v_P - 0}{R_3} \end{cases} \Rightarrow v_O = \left(\frac{R_1 + R_f}{R_1}\right) \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right) v_{S2} - \frac{R_f}{R_1} v_{S1}$$

当 $\frac{R_f}{R_1} = \frac{R_3}{R_2}$ ，则 $v_O = \frac{R_f}{R_1} (v_{S2} - v_{S1})$

若有 $R_f = R_1$ ，则 $v_O = v_{S2} - v_{S1}$



5.1.3 微分和积分运算

1、积分电路

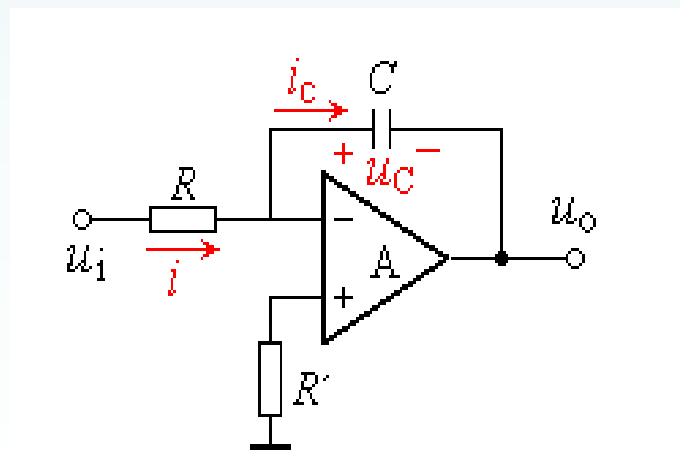
积分电路是构成**模拟计算机**的基本单元，用以实现对**微分方程**的模拟。也常用于控制和测量系统，其充放电过程可实现**延时、定时及多种波形的产生**。

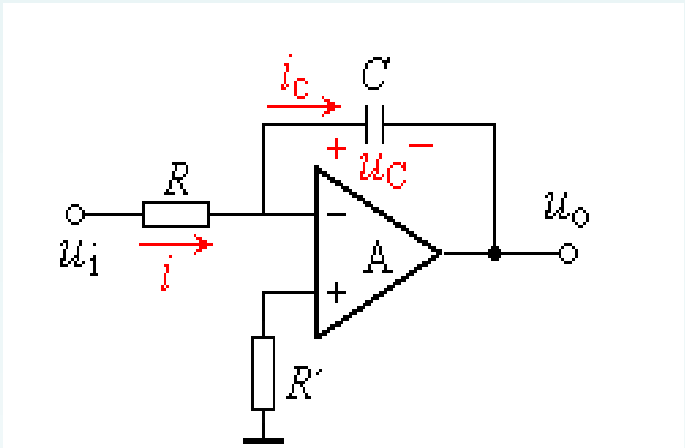
因输入端**虚地**，有

$$u_o = -u_C$$

又因**虚断**，则有

$$i = i_C$$





$$\frac{u_i}{R} = C \frac{du_C}{dt} = -C \frac{du_o}{dt}$$

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

积分时注意初始条件

$$u_o = -\frac{1}{RC} \int u_i dt + U_o(0)$$





积分电路的应用

(1) 波形变换

当 $t \leq t_0$ 时, $u_i = 0$, 故 $u_o = 0$;

当 $t_0 < t \leq t_1$ 时, $u_i = U_i = \text{常数}$;

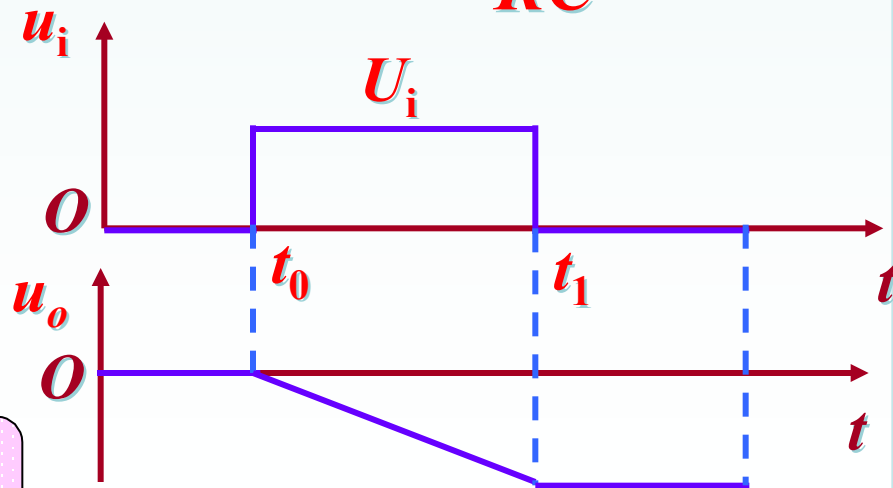
当 $t > t_1$ 时, $u_i = 0$,

故 $u_o = u_o(t_1)$ 。

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

$$u_o = - \frac{U_i}{RC} (t - t_0)$$

$$= - \frac{U_i}{RC} \Delta t$$



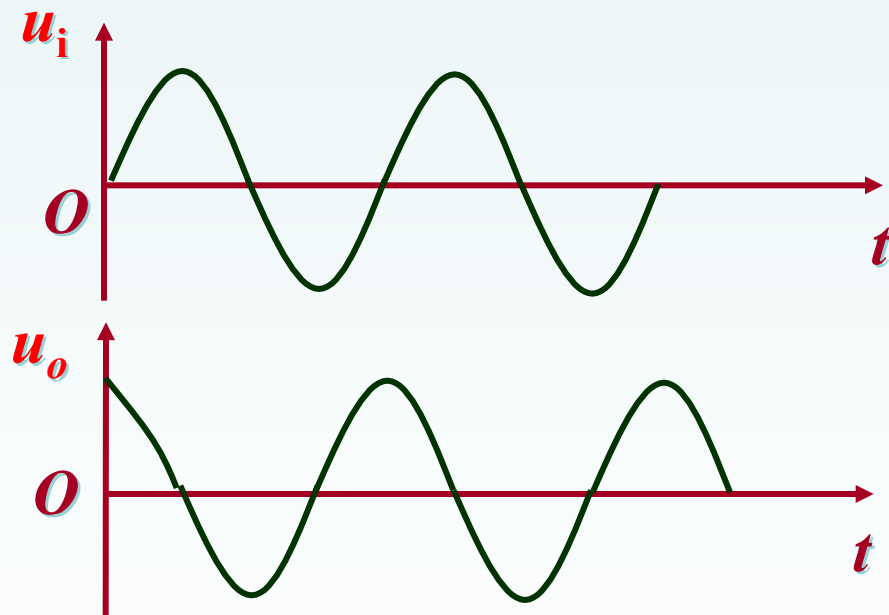
可将矩形波转换成三角波。





(2) 移相

若 $u_i = U_m \sin \omega t$ ，由积分电路输出体现式可得：



$$\begin{aligned} u_o &= -\frac{1}{RC} \int U_m \sin \omega t \, dt \\ &= \frac{U_m}{\omega RC} \cos \omega t \end{aligned}$$

电路的输出电压是一种余弦波。

u_o 的相位比 u_i 领先 90° 。

积分电路具有移相作用





[例5.3] 基本积分电路的输入电压为矩形波，
若积分电路的参数分别为下列三种情况，
试分别画出相应的输出电压波形。

① $R = 100 \text{ k}\Omega$, $C = 0.5 \text{ }\mu\text{F}$;

② $R = 50 \text{ k}\Omega$, $C = 0.5 \text{ }\mu\text{F}$;

③ $R = 10 \text{ k}\Omega$, $C = 0.5 \text{ }\mu\text{F}$ 。

已知 $t = 0$ 时积分电容上的初始电压等于零，
集成运放的最大输出电压 $U_{\text{opp}} = \pm 14 \text{ V}$ 。



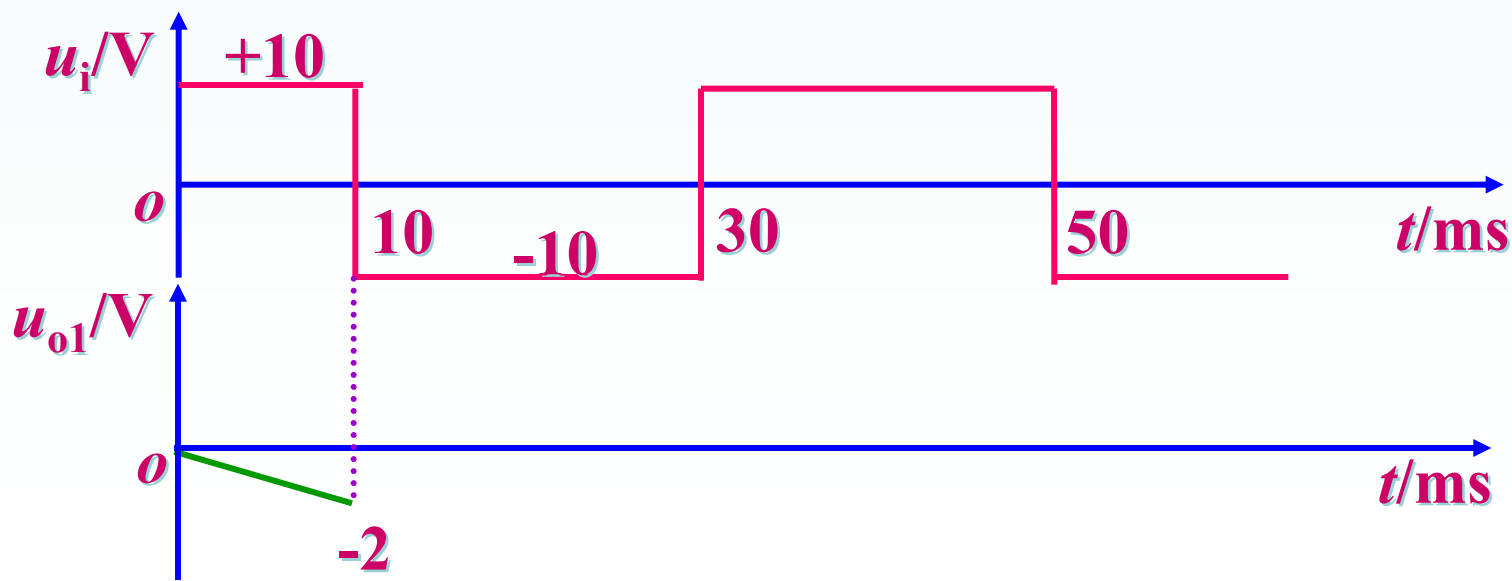
解: ① $R = 100 \text{ k}\Omega$, $C = 0.5 \mu\text{F}$

$t = (0 \sim 10)\text{ms}$ 期间, $u_i = +10\text{V}$, $U_o(0) = 0$,

$$u_{o1} = -\frac{U_i}{RC}(t - t_0) + U_o(0) = (-200t) \text{ V}$$

u_{o1} 将以每秒 200 V 的速度负方向增长。

当 $t = 10\text{ms}$ 时, $u_{o1} = (-200 \times 0.01) \text{ V} = -2 \text{ V}$



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/707010021045006156>