

连续系统的运算放大器模拟实现方法

LTI 系统实现的三个基本单元数乘器、积分器和加法器，都可以用运算放大器电路实现。本节将介绍采用运算放大器的系统实现方法。

1. 运算放大器电路

图 3-41 所示由理想运算放大器构成的电路。由于理想运算放大器的“虚短”和“虚断”特性，即理想运算放大器的输入电压为零，输入电流也为零，因此有

$$U_0(s) = -I(s)Z_f(s)$$

$$I(s) = \frac{U_i(s)}{Z(s)}$$

即有输出电压为

$$U_0(s) = -\frac{Z_f(s)}{Z(s)}U_i(s)$$

系统函数为

$$H(s) = -\frac{Z_f(s)}{Z(s)}$$

通过适当选取 $Z(s)$ 和 $Z_f(s)$ 能得到各种系统函数。

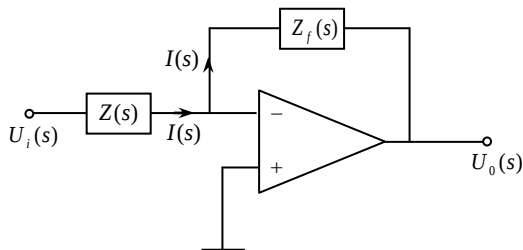


图 3-41 运算放大器电路

2. 数乘器电路

图 3-42(a) 所示由理想运算放大器构成的反比例放大电路。由于 $Z_f(s) = R_f$ 和 $Z(s) = R$ ，因此有

$$H(s) = -\frac{R_f}{R} \quad (3-99)$$

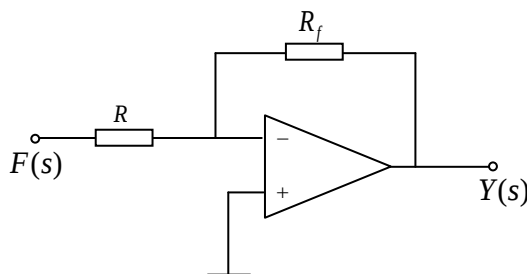
图 3-42(b) 还给出了数乘器的简单符号。

3. 积分器电路

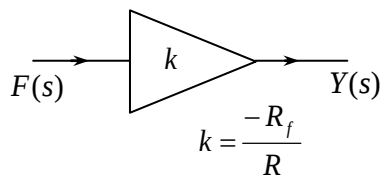
图 3-43(a) 所示由理想运算放大器构成的积分电路。由于 $Z_f(s) = 1/(sC)$ 和 $Z(s) = R$ ，因此有

$$H(s) = \left(-\frac{1}{RC}\right)\frac{1}{s} \quad (3-100)$$

图 3-43(b) 还给出了积分器的简单符号。



(a) 反比例放大电路



(b) 数乘器简单符号

图 3-42 运算放大器构成数乘器

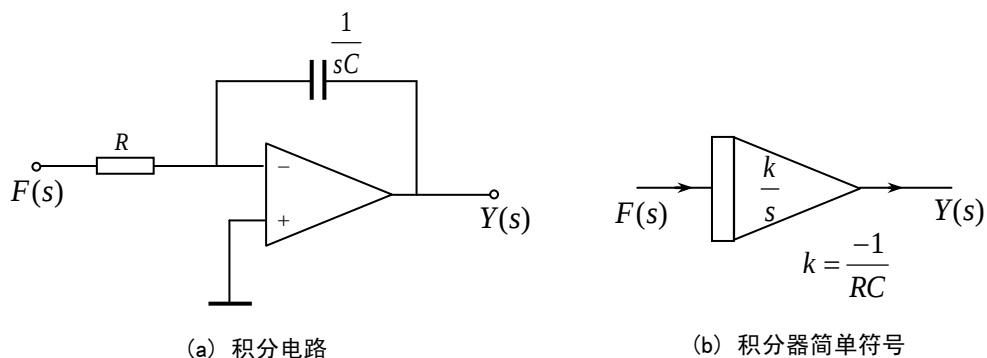


图 3-43 运算放大器构成积分器

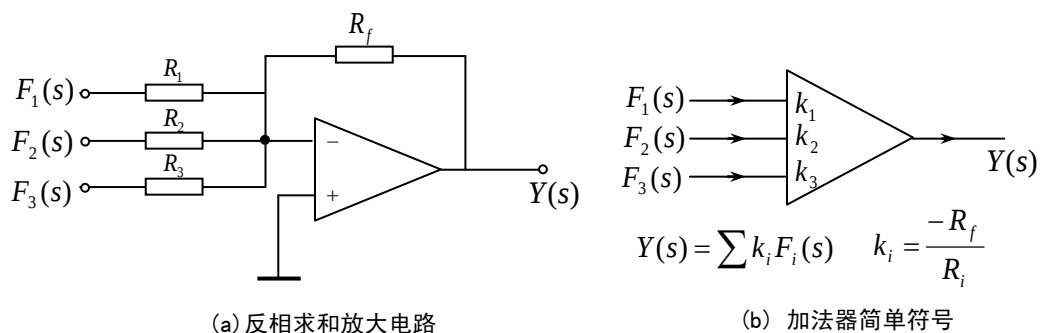


图 3-44 运算放大器构成加法器

4. 加法器电路

图 3-44(a) 所示由理想运算放大器构成的反相求和放大电路。根据叠加定理可知：

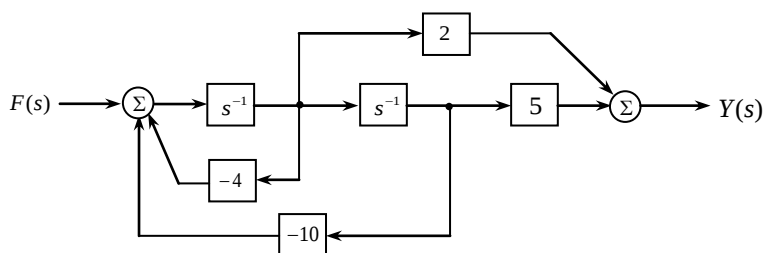
$$\begin{aligned}
 Y(s) &= -\frac{R_f}{R_1} F_1(s) - \frac{R_f}{R_2} F_2(s) - \frac{R_f}{R_3} F_3(s) \\
 &= -k_1 F_1(s) - k_2 F_2(s) - k_3 F_3(s)
 \end{aligned} \quad (3-101)$$

图 3-44(b) 还给出了加法器的简单符号。

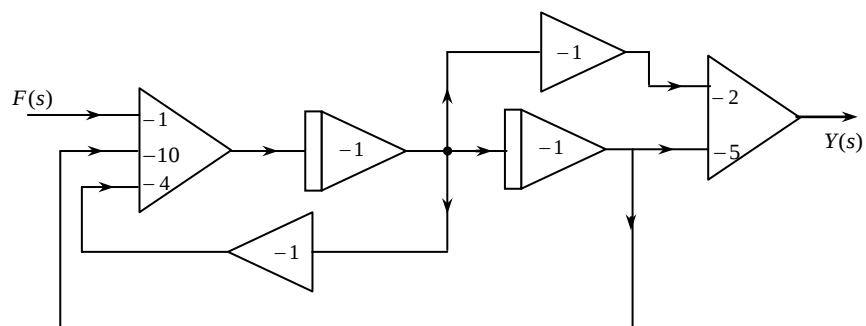
例 利用运算放大器电路实现系统函数为 $H(s) = \frac{2s+5}{s^2+4s+10}$ 的系统。

解 可以先画出系统框图如图 3-45(a) 所示。图 3-45(b) 给出了它的简单符号形式，图 3-45(c) 给出了它的硬件实现的原理图。

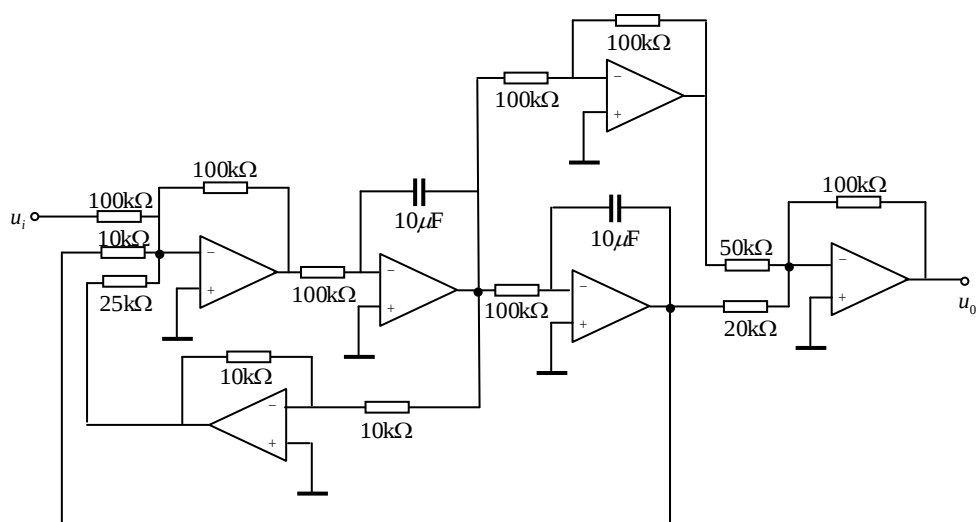
两个积分器都有单位增益，这要求 $RC=1$ ，选用 $R=100\text{k}\Omega$ ， $C=10\mu\text{F}$ 。在加法器中选取该加法器的反馈电阻是 $100\text{k}\Omega$ 和输入电阻 $10\text{k}\Omega$ 可以得到外反馈路径的增益 10。同理，可以得到各加法器的反馈系数。



(a) 系统框图的直接实现形式



(b) 系统实现的简单符号形式



(c) 系统实现的硬件原理图

图 3-45 二阶系统的运算放大器实现