



北京交通大学

信号与系统



主讲人：陈后金
电子信息工程学院



连续时间系统的模拟

◆ 系统的基本联接

系统的级联

系统的并联

反馈环路

◆ 系统的模拟框图

直接型结构

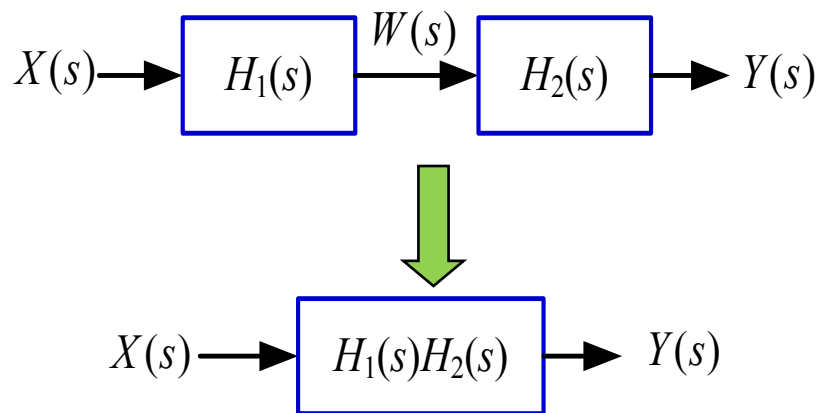
级联型结构

并联型结构



连续时间系统的模拟

※ 系统的级联

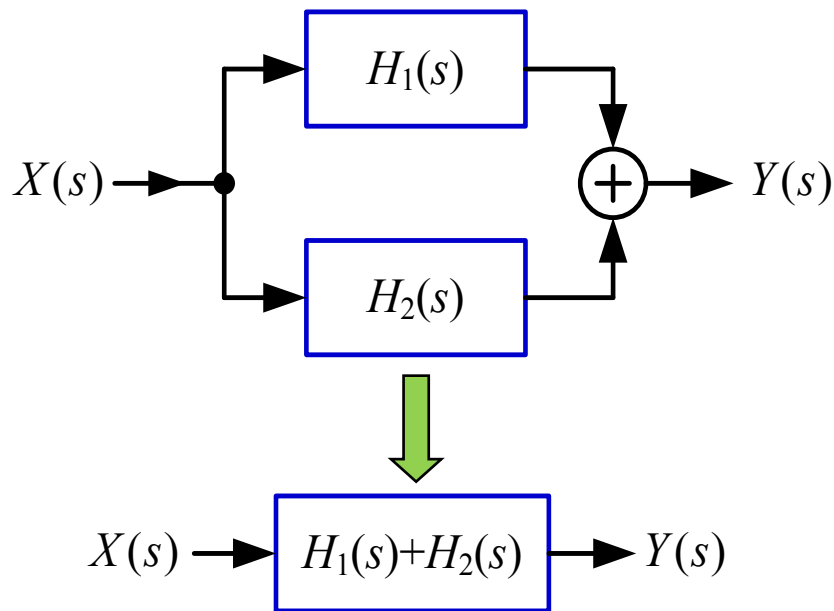


$$Y(s) = H_2(s)W(s) = H_2(s)H_1(s)X(s)$$



连续时间系统的模拟

※ 系统的并联

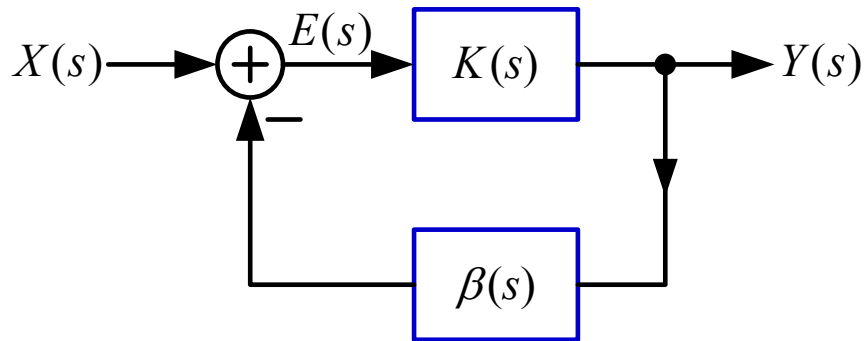


$$Y(s) = H_1(s)X(s) + H_2(s)X(s) = [H_1(s) + H_2(s)]X(s)$$



连续时间系统的模拟

※ 系统的反馈环路



$$Y(s) = E(s)K(s)$$

$$E(s) = X(s) - \beta(s)Y(s)$$

$$Y(s) = \frac{K(s)}{1 + \beta(s)K(s)} X(s)$$

$$H(s) = \frac{K(s)}{1 + \beta(s)K(s)}$$



连续时间系统的模拟

n 阶连续时间LTI系统的系统函数为

$$H(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \cdots + b_1 s + b_0}{s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \cdots + a_1 s + a_0}$$

设 $m=n$, 并将 $H(s)$ 看成两个子系统的级联, 即

$$H(s) = \frac{1}{\underbrace{\sum_{i=0}^n a_i s^i}_{H_1(s)}} \cdot \underbrace{\sum_{j=0}^n b_j s^j}_{H_2(s)}, \quad a_n = 1$$



连续时间系统的模拟

※ 直接型结构

$$H(s) = \frac{1}{\underbrace{\sum_{i=0}^n a_i s^i}_{H_1(s)}} \cdot \underbrace{\sum_{j=0}^n b_j s^j}_{H_2(s)}$$

$$H_1(s) = \frac{1}{\sum_{i=0}^n a_i s^i} = \frac{W(s)}{X(s)}$$

$$H_2(s) = \sum_{j=0}^n b_j s^j = \frac{Y(s)}{W(s)}$$

这两个子系统的微分方程为

$$w^{(n)}(t) + a_{n-1}w^{(n-1)}(t) + \cdots + a_1w'(t) + a_0w(t) = x(t) \quad ①$$

$$y(t) = b_nw^{(n)}(t) + b_{n-1}w^{(n-1)}(t) + \cdots + b_1w'(t) + b_0w(t) \quad ②$$



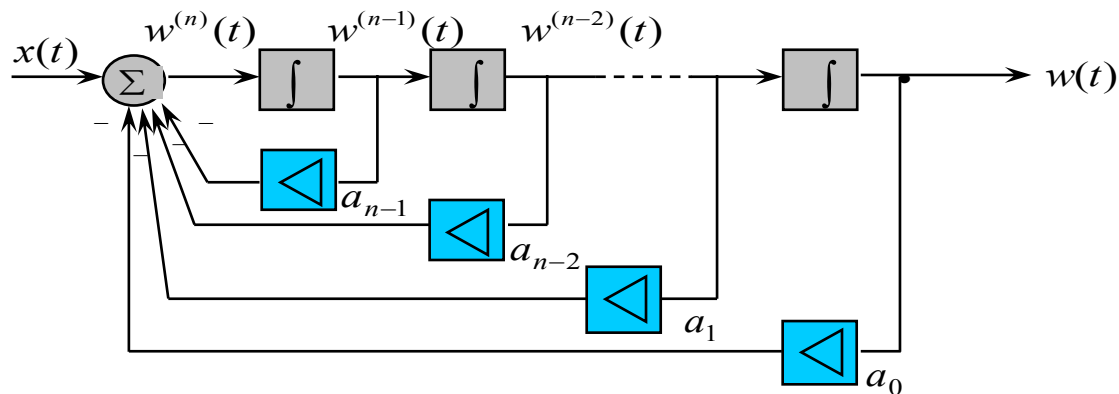
连续时间LTI系统的模拟框图

※ 直接型结构

将①式改写为

$$w^{(n)}(t) = x(t) - a_{n-1}w^{(n-1)}(t) - \cdots - a_1w'(t) - a_0w(t)$$

用加法器、乘法器和积分器实现该方程



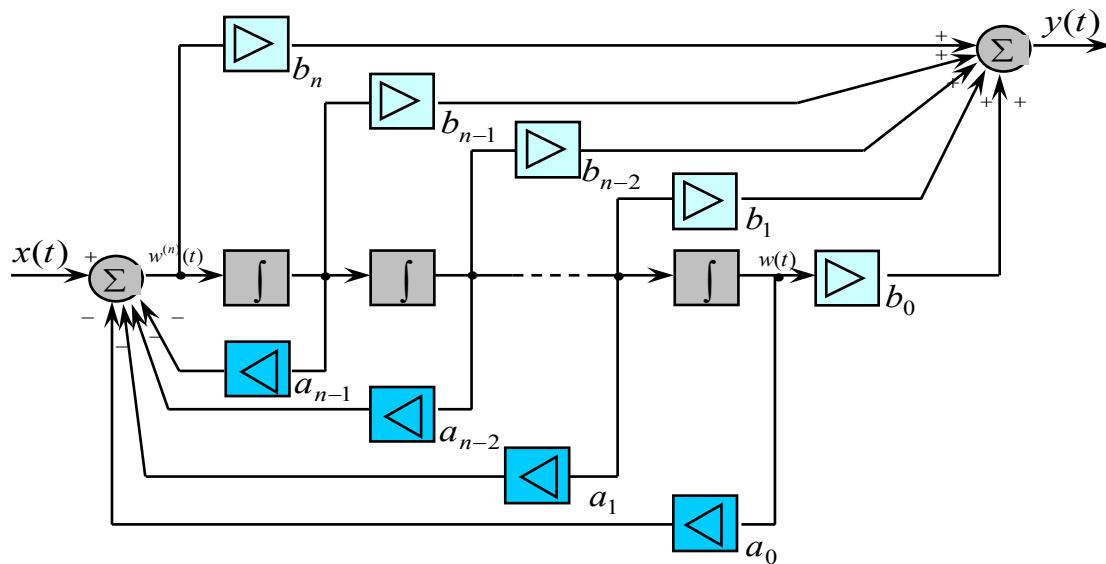


连续时间LTI系统的模拟框图

※ 直接型结构

再由②式即得直接型模拟框图

$$y(t) = b_n w^{(n)}(t) + b_{n-1} w^{(n-1)}(t) + \cdots + b_1 w'(t) + b_0 w(t)$$





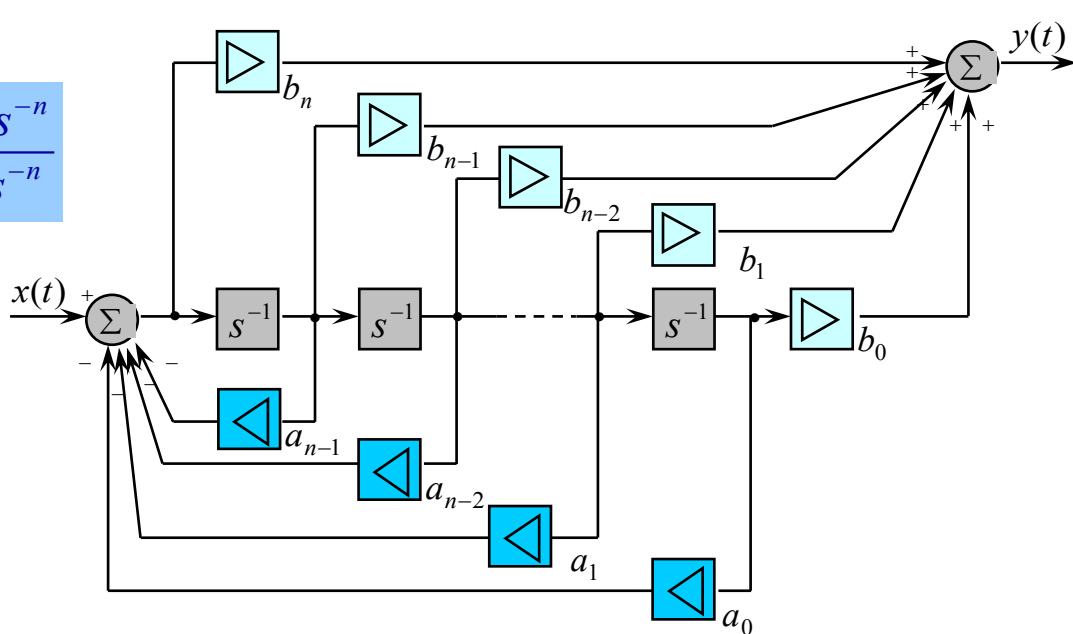
连续时间LTI系统的模拟框图

※ 直接型结构

$$H(s) = \frac{b_n + b_{n-1}s^{-1} + \dots + b_1s^{-(n-1)} + b_0s^{-n}}{1 + a_{n-1}s^{-1} + \dots + a_1s^{-(n-1)} + a_0s^{-n}}$$

分母对应反馈回路

分子对应前向通路





连续时间系统的模拟

※ 级联型结构

将系统函数的 $N(s)$ 和 $D(s)$ 分解为一阶或二阶实系数因子形式，然后将它们组成一阶或二阶子系统，即

$$H(s) = H_1(s) H_2(s) \dots H_n(s)$$

画出每个子系统直接型模拟框图，然后将各子系统级联。



连续时间LTI系统的模拟框图

※ 并联型结构

将系统函数展开成部分分式之和的形式，形成一阶或二阶子系统并联的形式，即

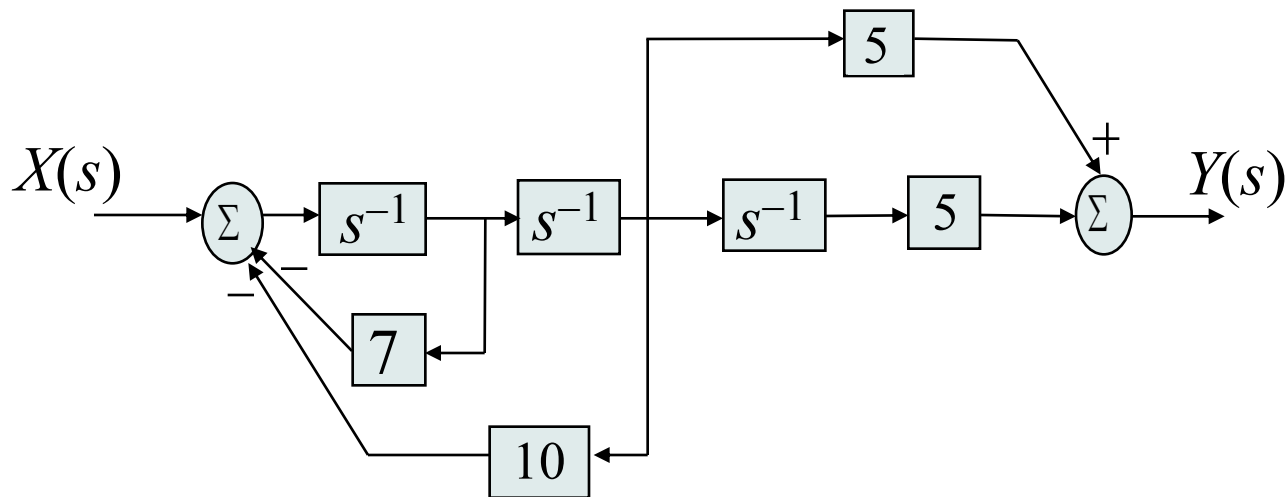
$$H(s) = H_1(s) + H_2(s) + \dots + H_n(s)$$

画出每个子系统直接型模拟框图，然后将各子系统并联。



例：已知某连续时间LTI系统的系统函数 $H(s) = \frac{5s+5}{s^3+7s^2+10s}$
画出该系统的模拟框图。

解：(1)直接型框图 $H(s) = \frac{5s^{-2} + 5s^{-3}}{1 + 7s^{-1} + 10s^{-2}}$

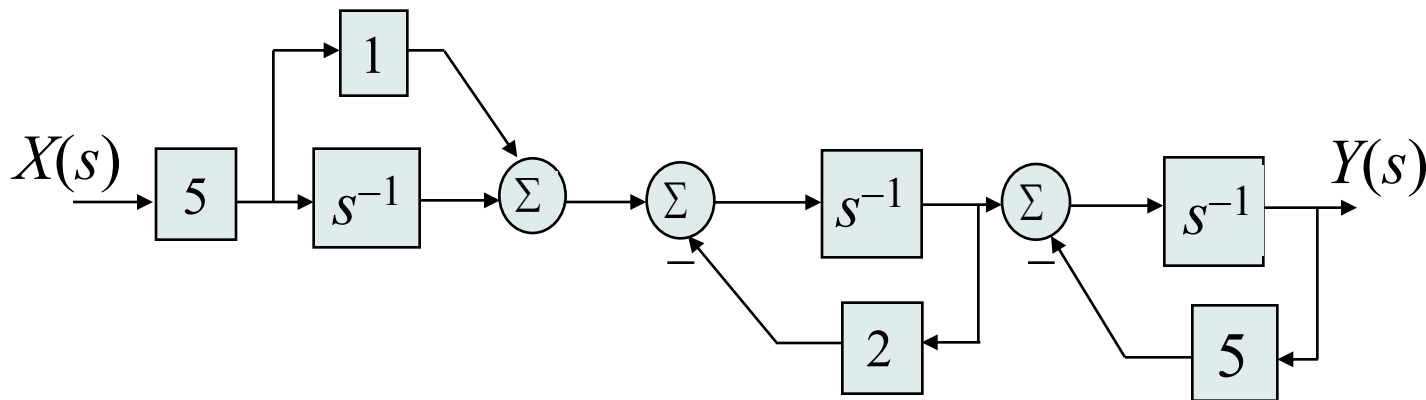




例：已知某连续时间LTI系统的系统函数 $H(s) = \frac{5s+5}{s^3+7s^2+10s}$
画出该系统的模拟框图。

解：(2)级联型框图 $H(s) = \frac{5s+5}{s} \times \frac{1}{s+2} \times \frac{1}{s+5}$

$$H(s) = (5 + 5s^{-1}) \times \frac{s^{-1}}{1 + 2s^{-1}} \times \frac{s^{-1}}{1 + 5s^{-1}}$$



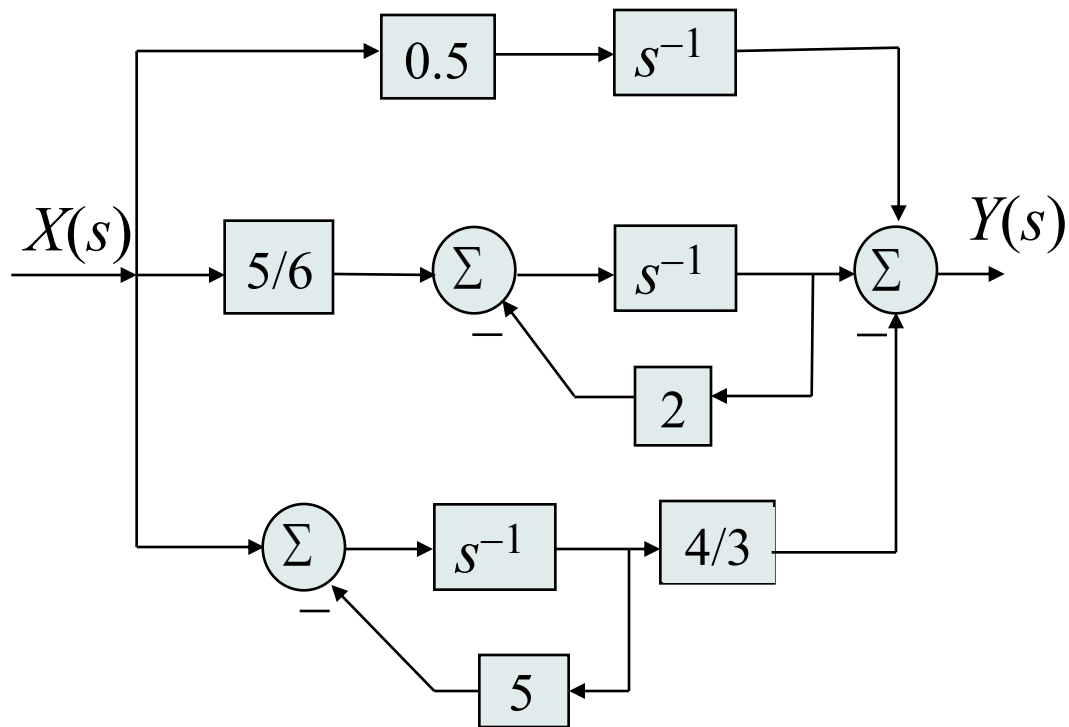


例：已知某连续时间LTI系统的系统函数 $H(s) = \frac{5s+5}{s^3+7s^2+10s}$
画出该系统的模拟框图。

解：(3) 并联型框图

$$H(s) = \frac{1}{2s} + \frac{5}{6s+12} - \frac{4}{3s+15}$$

$$H(s) = \frac{s^{-1}}{2} + \frac{(5/6)s^{-1}}{1+2s^{-1}} - \frac{(4/3)s^{-1}}{1+5s^{-1}}$$





连续时间LTI系统的模拟

谢 谢

本课程所引用的一些素材为主讲老师多年的教学积累，来源于多种媒体及同事、同行、朋友的交流，难以一一注明出处，特此说明并表示感谢！