

第4章 计算机控制系统的基本控制策略

4.1 计算机控制系统数学基础

4.2 离散系统的模拟化设计方法

4.3 数字PID控制算法

4.4 直接数字设计方法

4.5 复杂计算机控制系统设计方法

4.6 先进PID控制系统设计方法

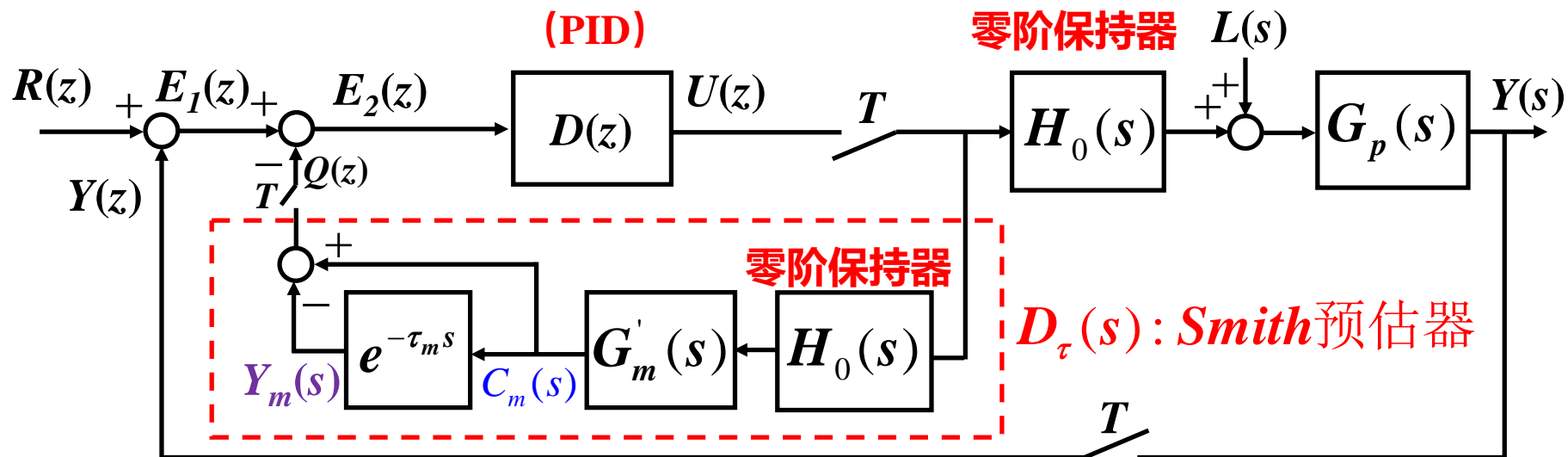
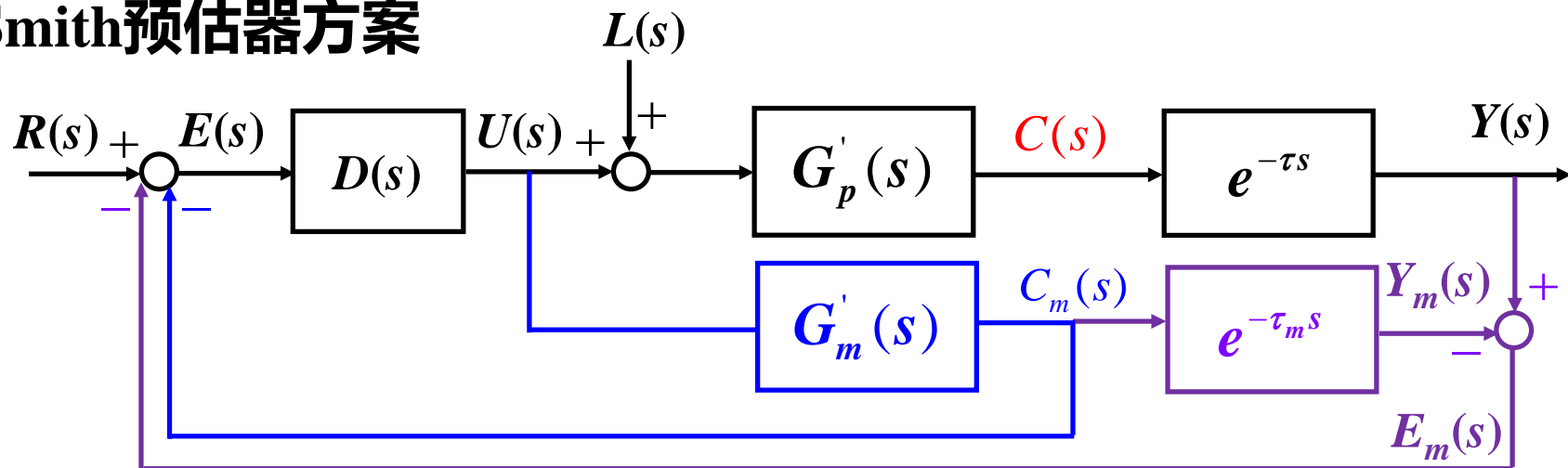
主要学习内容

复杂计算机控制系统设计方法

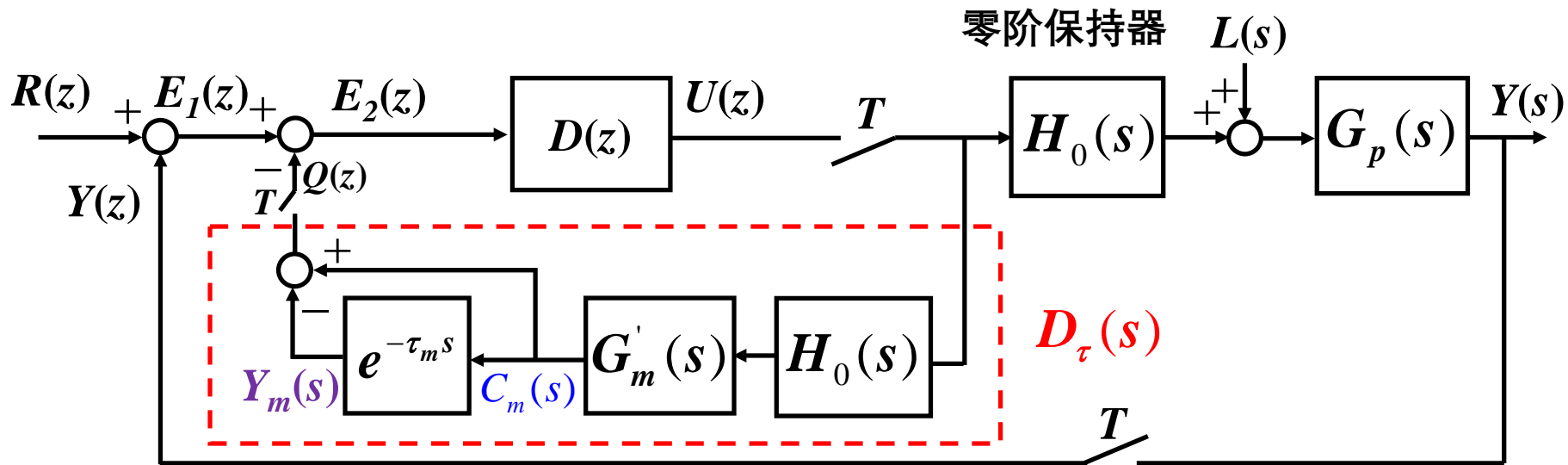
- ◆ 大纯延迟Smith预估控制
- ◆ 串级控制
- ◆ 前馈控制

大纯延迟Smith预估控制 (复习)

Smith预估器方案



大纯延迟Smith预估控制（复习）

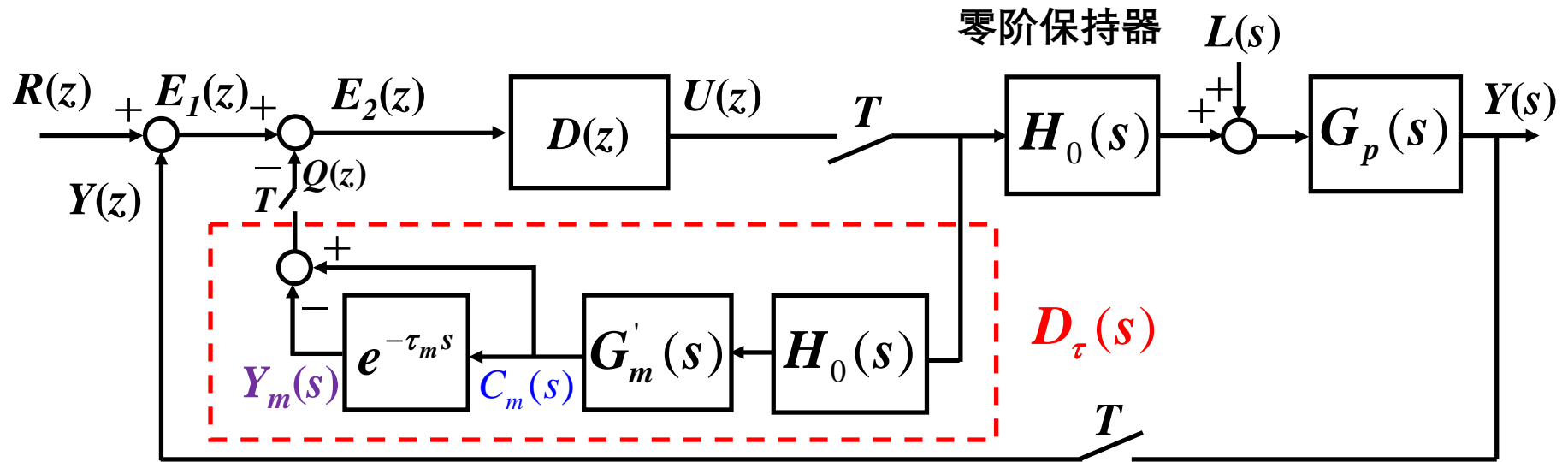


➤ 带纯延迟的**一阶对象**:
$$\begin{cases} C_m(k) = a_1 \cdot C_m(k-1) + b_1 \cdot u(k-1) \\ q(k) = C_m(k) - C_m(k-N) \end{cases}$$

➤ 带纯延迟的**二阶惯性对象**:

$$\begin{cases} C_m(k) = a_1 \cdot C_m(k-1) + a_2 \cdot C_m(k-2) + b_1 \cdot u(k-1) + b_2 \cdot u(k-2) \\ q(k) = C_m(k) - C_m(k-N) \end{cases}$$

大纯延迟Smith预估控制-纯延迟信号



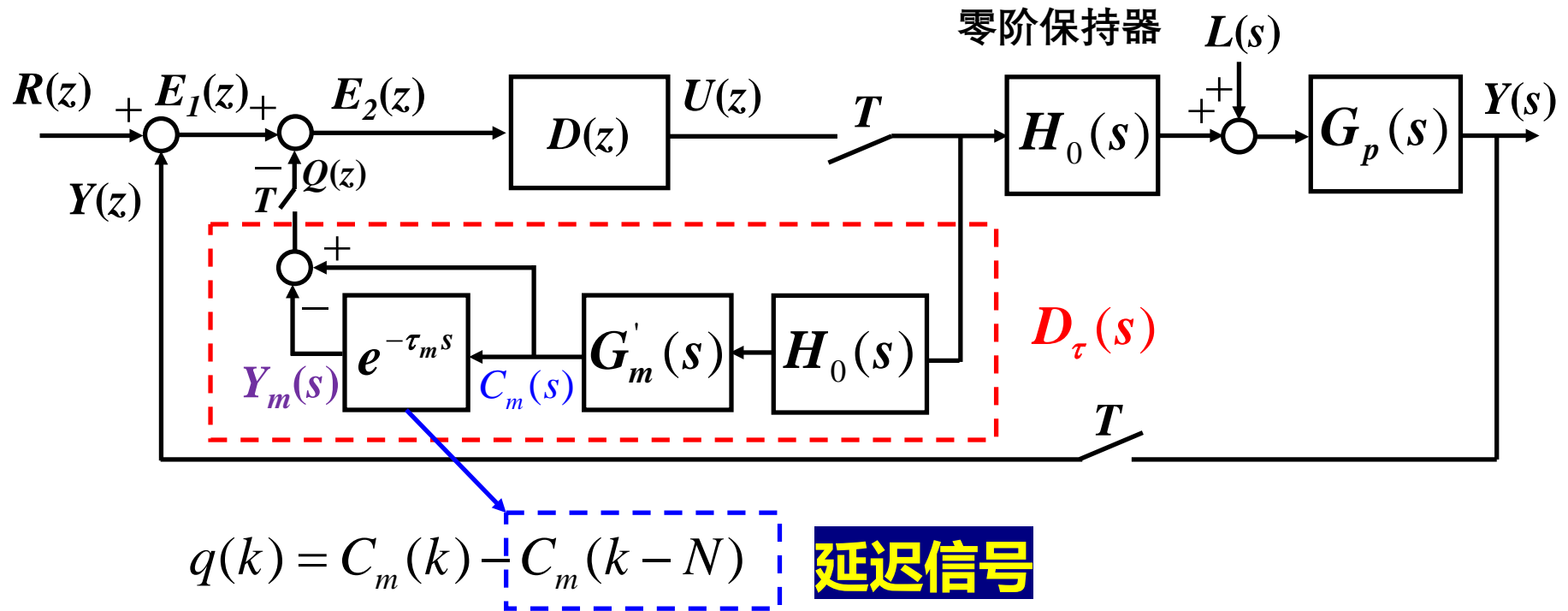
➤ 存储单元法: $q(k) = C_m(k) - C_m(k - N)$ 延迟信号

1) 开辟 $N+1$ 个单元存放历史数据: $C_m(k), C_m(k-1), \dots, C_m(k-N)$

2) 每次采样后各单元内容平移:

$$\begin{cases} \text{当前值} \rightarrow C_m(k), \\ C_m(k) \rightarrow C_m(k-1) \\ \dots \\ C_m(k-N+1) \rightarrow C_m(k-N) \end{cases}$$

大纯延迟Smith预估控制-纯延迟信号

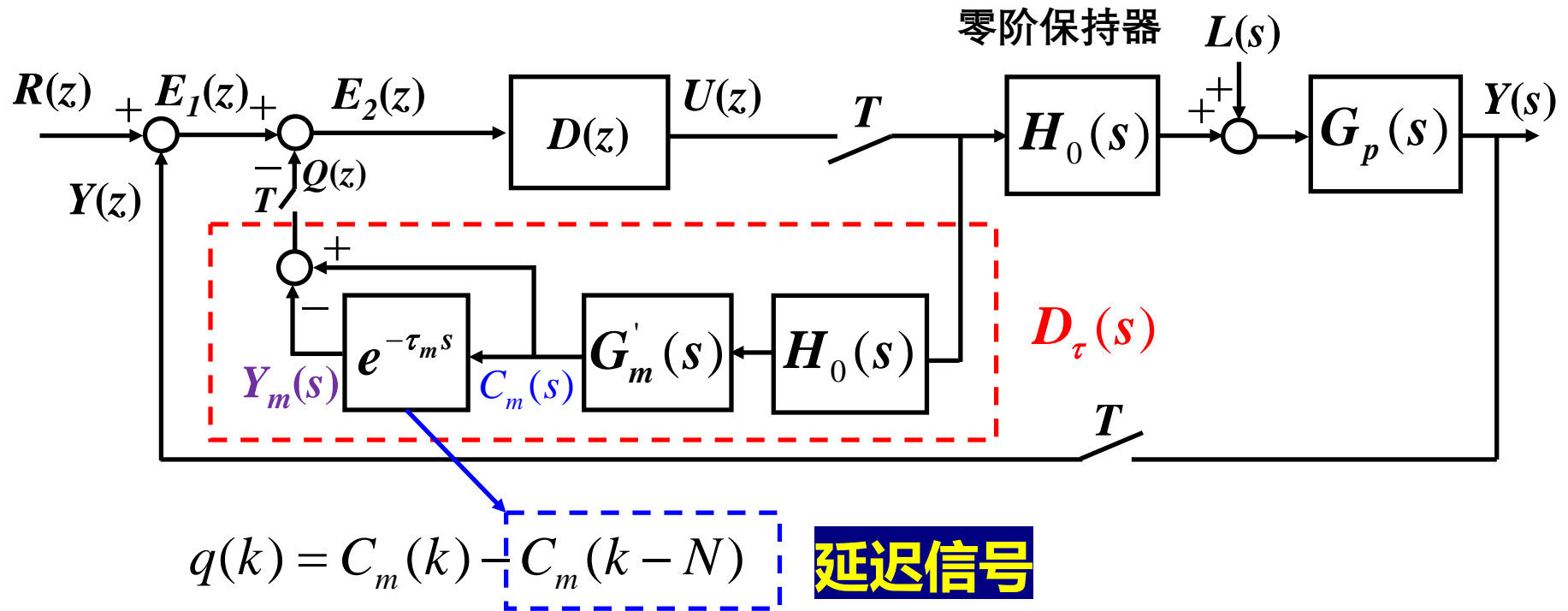


➤近似法:

$$e^{-\tau s} \approx \frac{e^{-\frac{\tau s}{2}}}{e^{\frac{\tau s}{2}}} = \frac{1 - 0.5\tau s + \frac{1}{2} \cdot (0.5\tau s)^2 + \dots}{1 + 0.5\tau s + \frac{1}{2} \cdot (0.5\tau s)^2 + \dots}$$

可取一阶或二阶

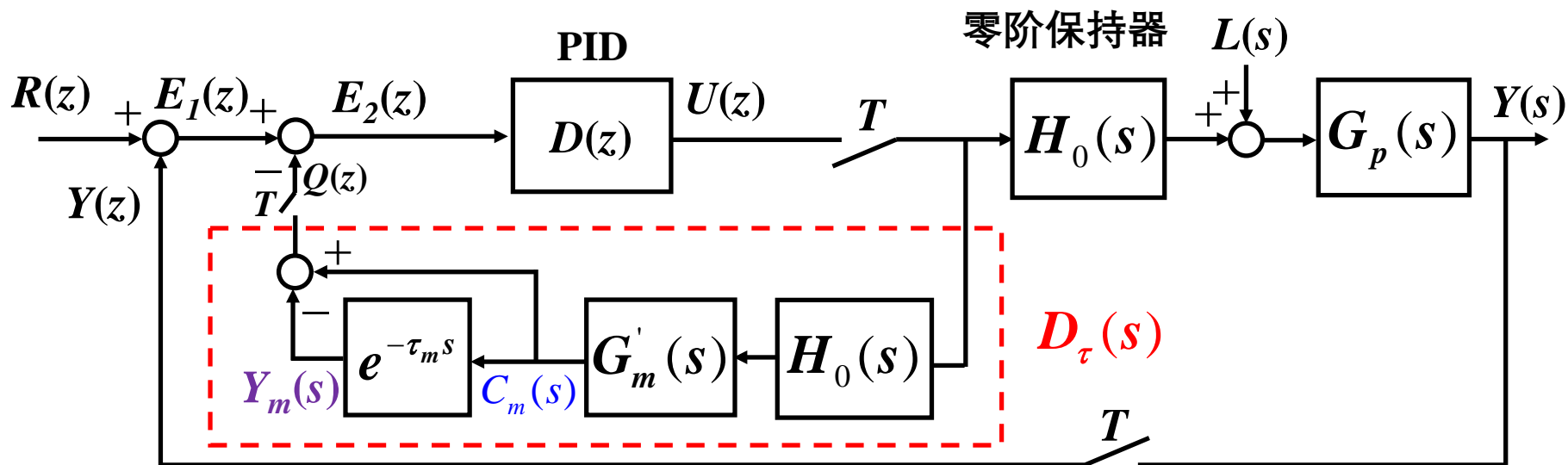
大纯延迟Smith预估控制-纯延迟信号



➤ 近似法（取一阶）：

$$e^{-\tau s} = \frac{1 - 0.5\tau s}{1 + 0.5\tau s} \quad \longrightarrow \quad D_\tau(s) = \left(1 - \frac{1 - 0.5\tau s}{1 + 0.5\tau s}\right) \cdot G'_p(s) \cdot H_0(s)$$

大纯延迟Smith预估控制-算法步骤



- (1) 计算系统偏差 $E_1(k)$
- (2) 计算补偿器输出 $C_m(k)$ 、 $q(k)$
- (3) 计算反馈控制器输入 $E_2(k)$
- (4) 计算 (PID) 控制器输出 $u(k)$

$$u(k) = u(k-1) + K_p[E_2(k) - E_2(k-1)] + K_I E_2(k) + K_D[E_2(k) - 2E_2(k-1) + E_2(k-2)]$$

- (5) 存储单元移位, 产生纯延迟信号 (采用近似法忽略此步骤)

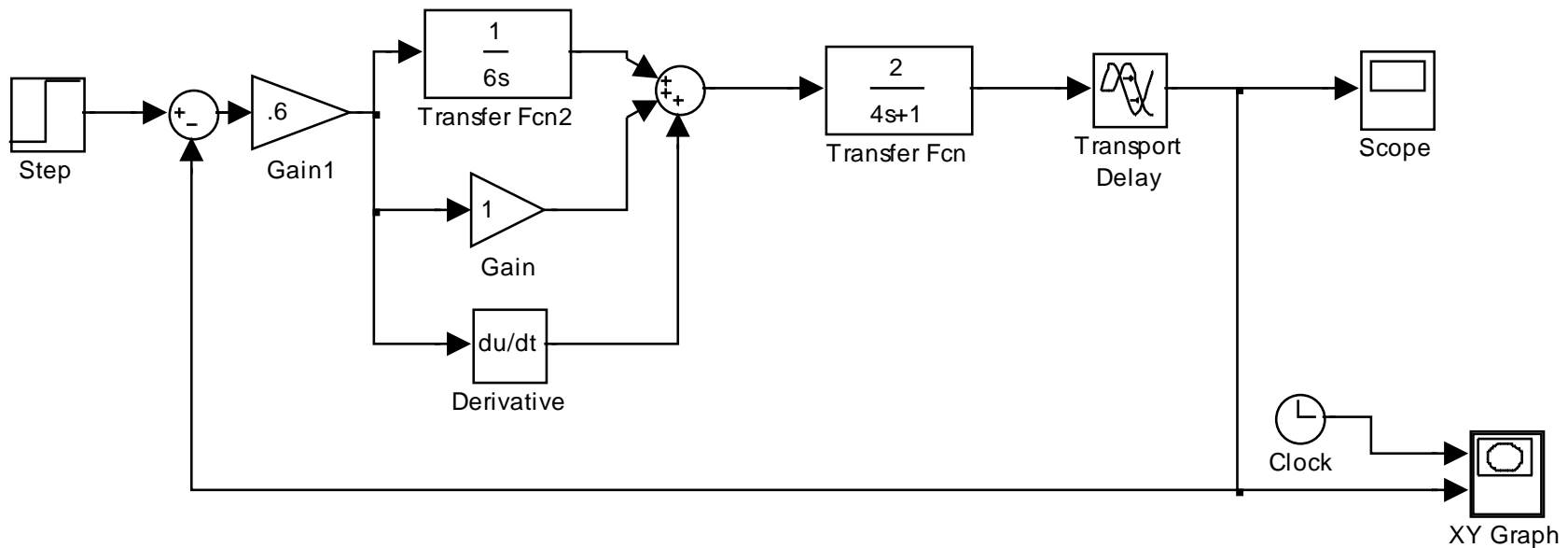
大纯延迟Smith预估控制-效果比较

➤ 纯延迟对象: $w_o(s) = \frac{2}{4s + 1} e^{-4s}$

➤ 控制方案:

- PID
- 微分先行
- 中间反馈
- Smith预估控制

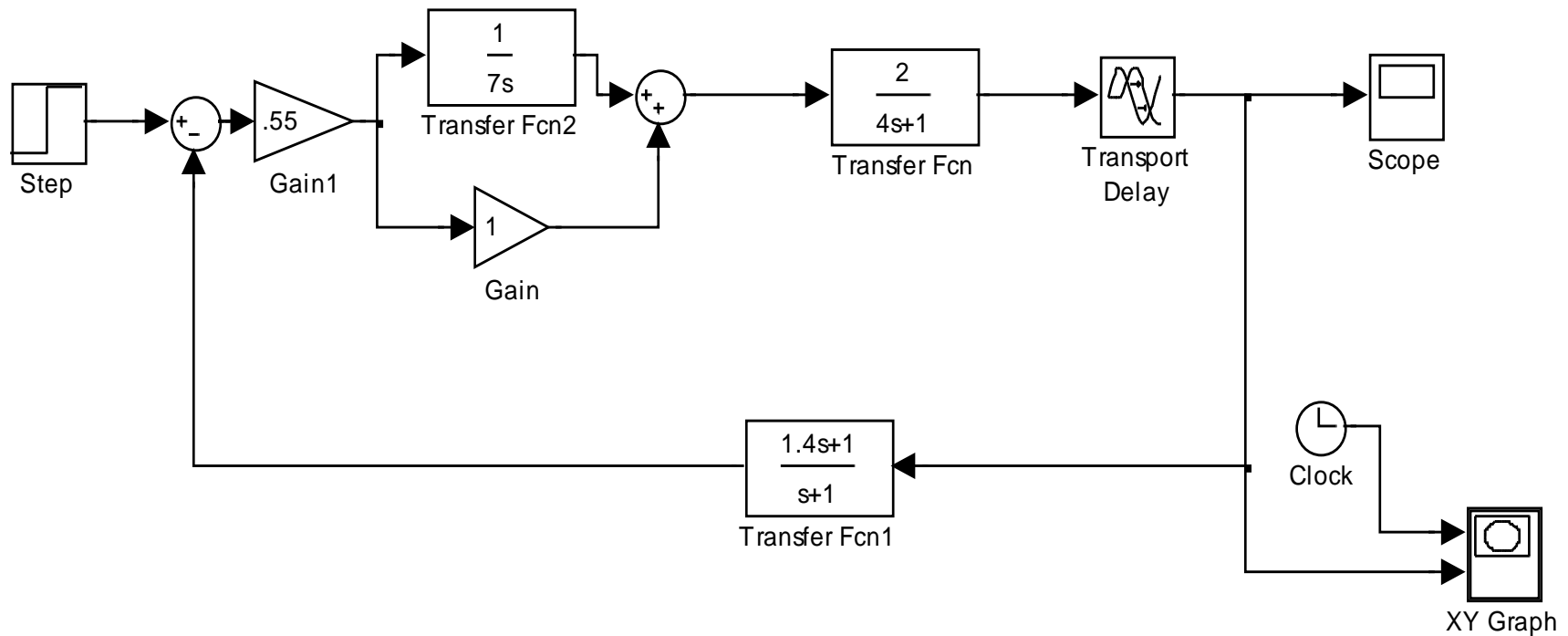
大纯延迟Smith预估控制-效果比较



PID控制方案

$$K_P=0.6, T_i=6, T_d=1$$

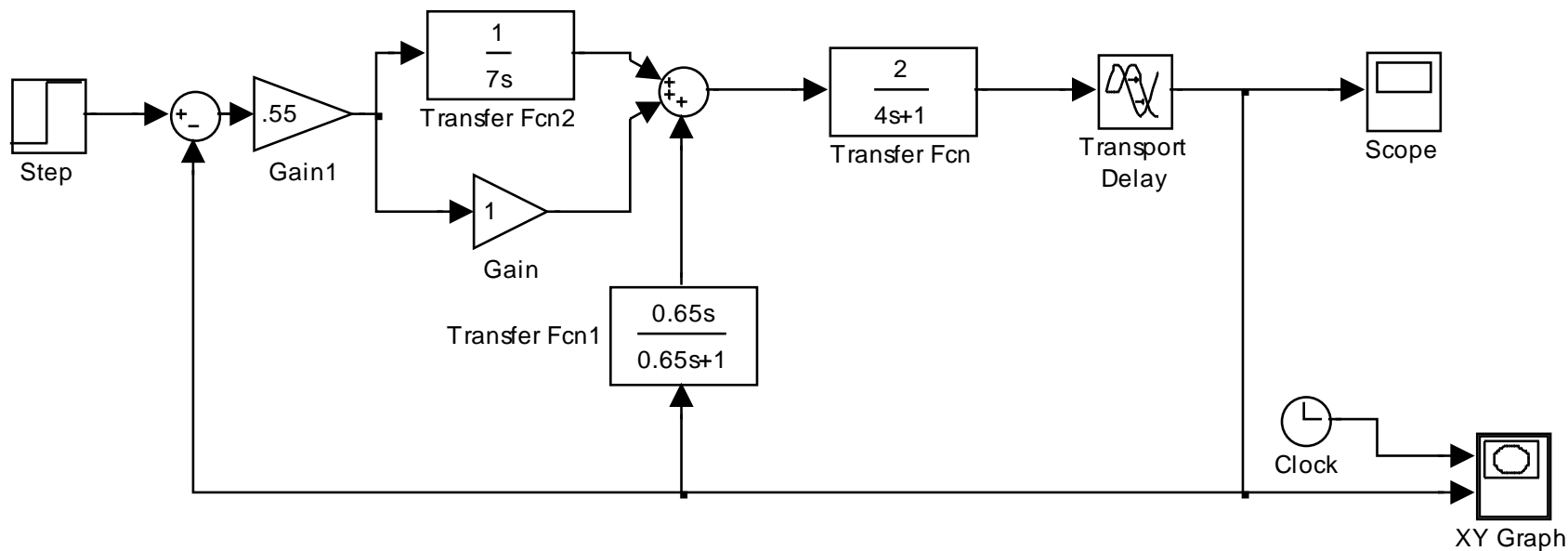
大纯延迟Smith预估控制-效果比较



微分先行控制方案

$$K_p=0.55, T_i=7, T_3=1.4, T_4=1$$

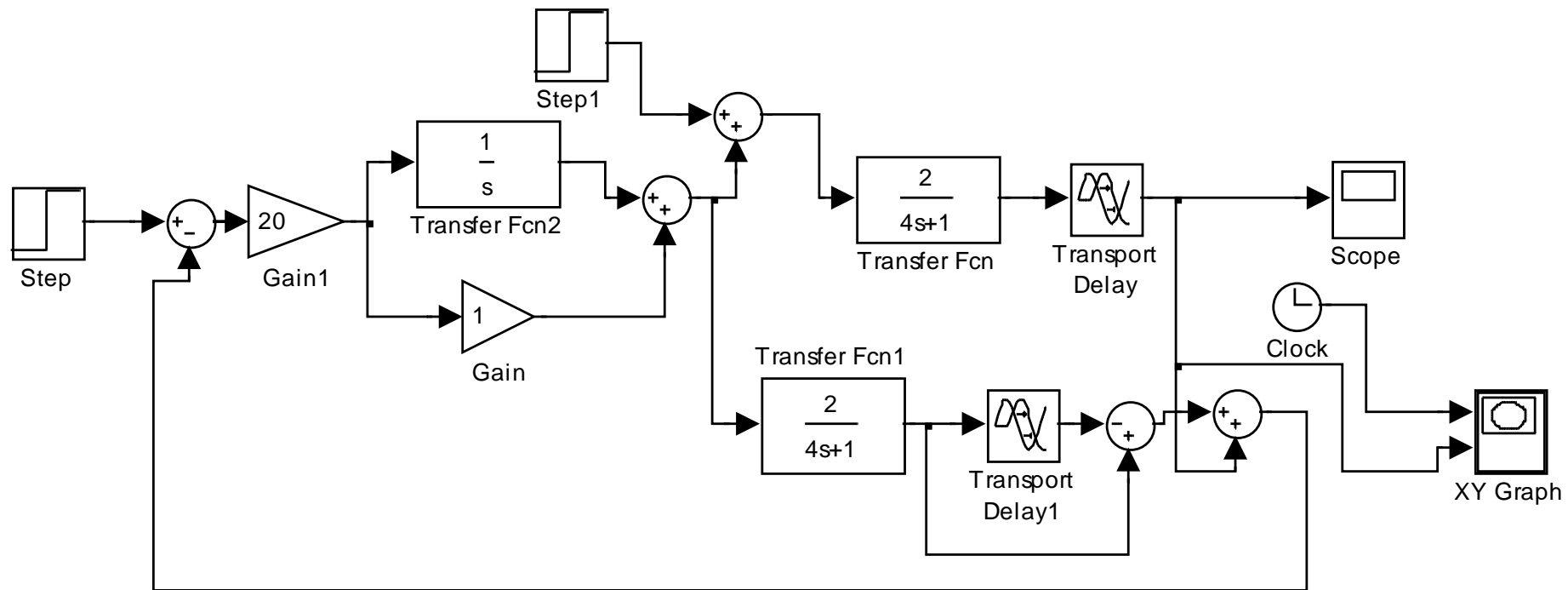
大纯延迟Smith预估控制-效果比较



中间反馈控制方案

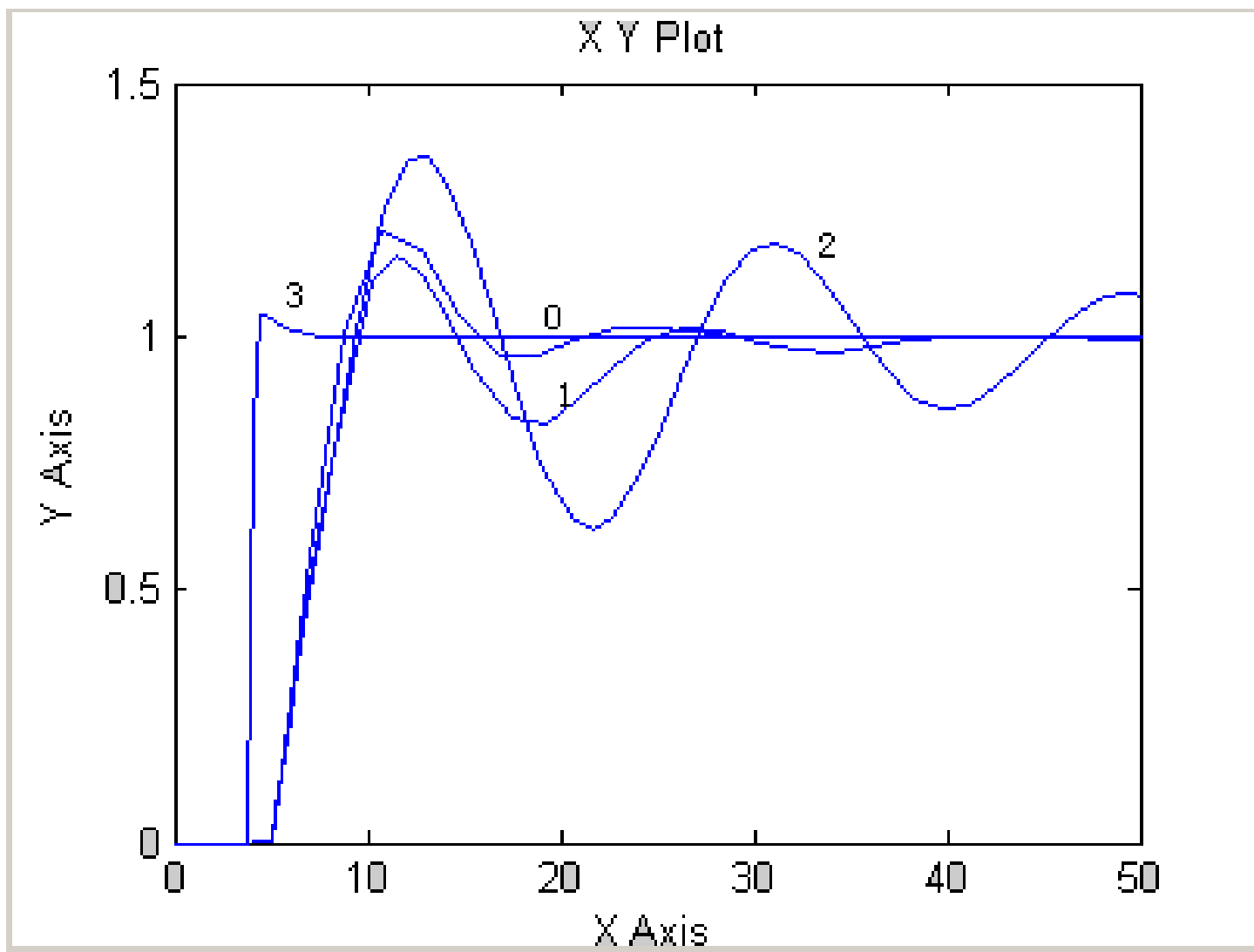
$$K_p=0.55, T_i=7, K_d=1, T_d=0.65$$

大纯延迟Smith预估控制-效果比较



Smith预估器控制方案

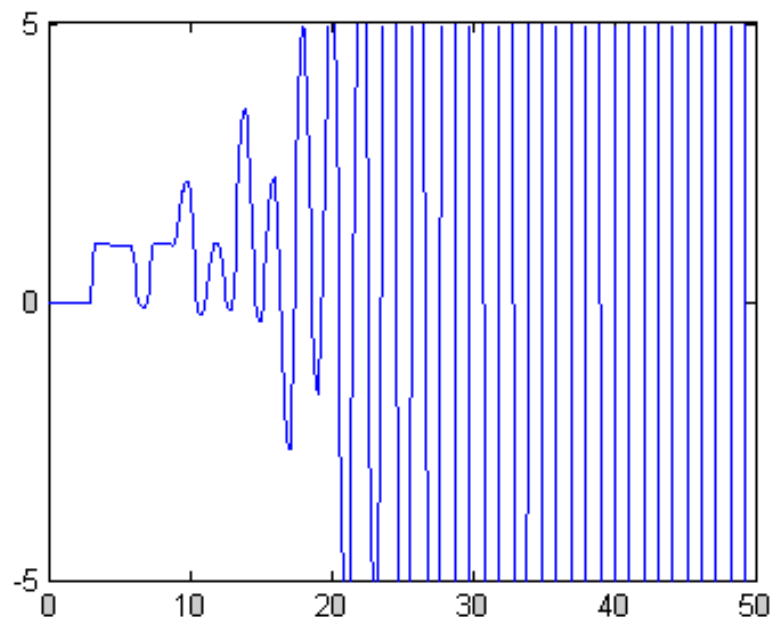
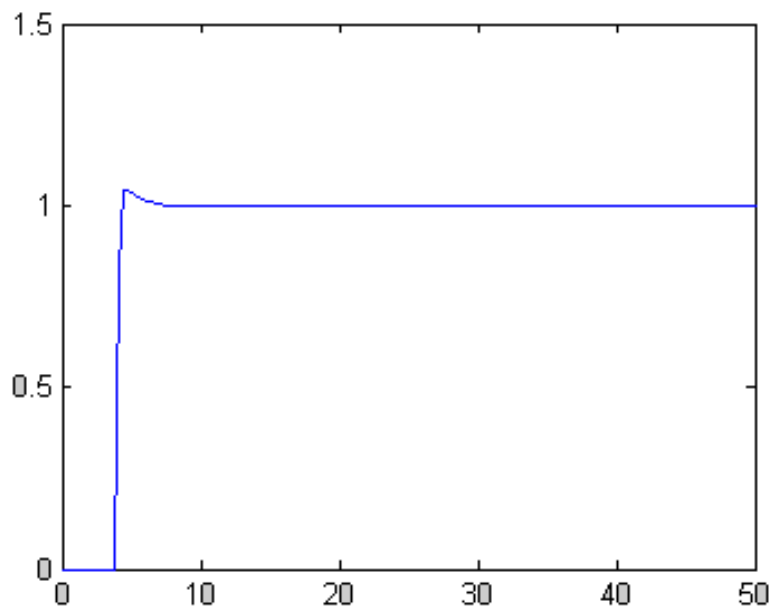
大纯延迟Smith预估控制-效果比较



- 0: 微分先行
- 1: 中间反馈
- 2: PID
- 3: Smith预估

大纯延迟Smith预估控制-效果比较

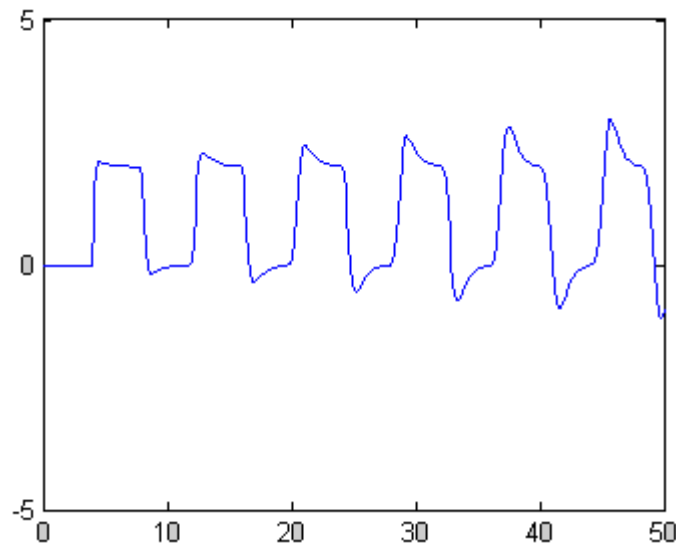
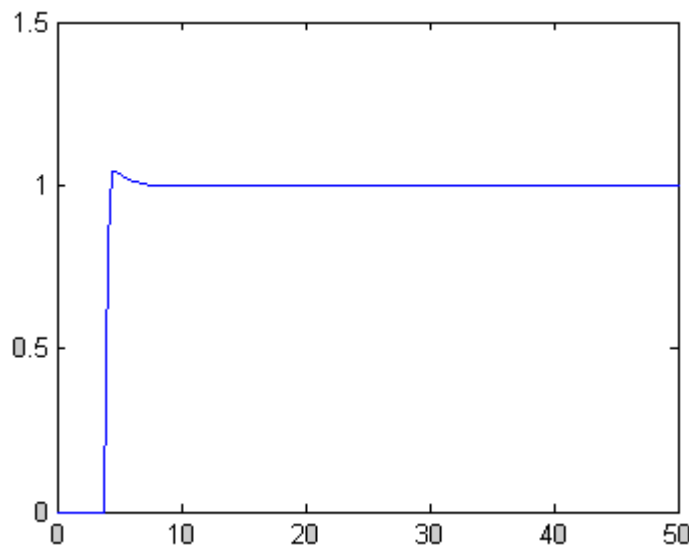
对象参数改变: $\tau = 4 \Rightarrow \tau = 3$



Smith预估器控制

大纯延迟Smith预估控制-效果比较

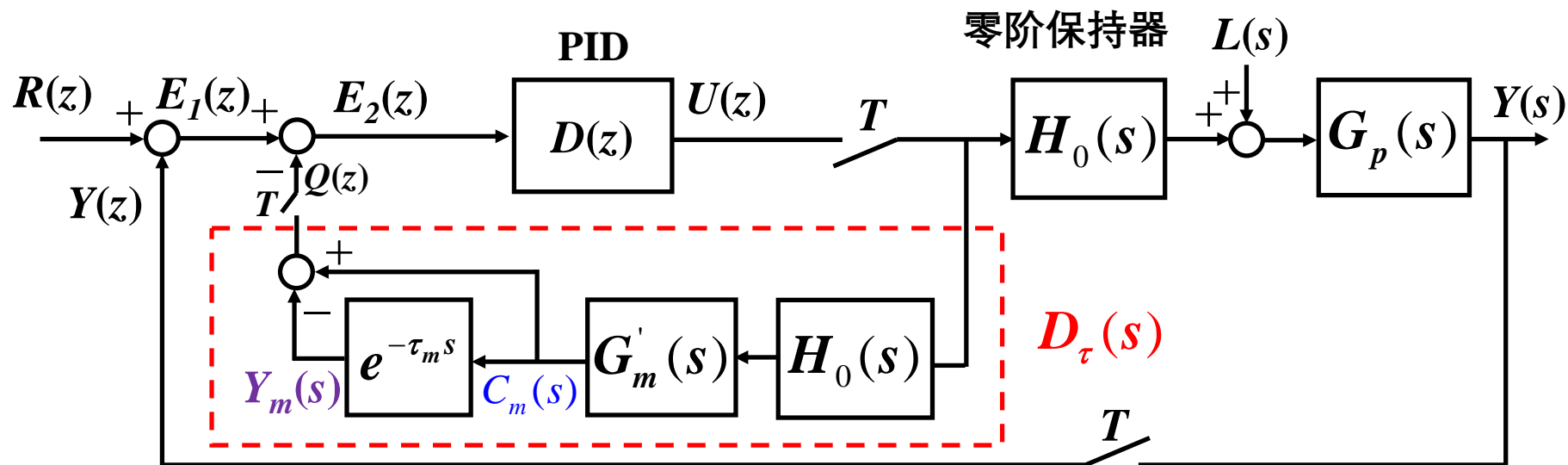
对象参数改变: $K_p = 20 \Rightarrow K_p = 40$



Smith预估器控制

- 系统出现不稳定的渐扩振荡
- Smith补偿器对过程动态特性的精确度要求很高
- 如有偏差，则可能产生右半平面极点。

大纯延迟Smith预估控制-总结



- (1) 基本思想
- (2) 计算机实现-递推公式
- (3) 存延迟信号如何处理
- (4) 算法步骤

作业

设被控对象的传递函数为： $G(s) = \frac{10}{s+1} e^{-5s}$

采样周期 $T=1s$ 。

(1) 采用Smith预估控制，求出预估器输出的递推形式；

(2) 主控制器采用数字PID，给出Smith预估控制算法实现的步骤。