

计算机控制系统

教学模块4 数字控制器 的模拟化设计方法

东北大学 · 刘建昌

liujianchang@ise.neu.edu.cn



信息科学与工程学院
COLLEGE OF INFORMATION SCIENCE AND ENGINEERING

本教学模块内容:

- 教学单元1-模块导学
- 教学单元2-连续控制器的离散化方法
- 教学单元3-数字PID控制器
- 教学单元4-Smith预估控制



教学模块4 数字控制器的模拟化设计方法

教学单元1 模块导学

东北大学 · 刘建昌
liujianchang@ise.neu.edu.cn



信息科学与工程学院
COLLEGE OF INFORMATION SCIENCE AND ENGINEERING

1.1 学习本教学模块所需掌握的基础知识

◆ 需要熟悉的基础知识:

模拟系统控制器设计的基本方法（频率设计法、根轨迹设计法）

控制系统的性能指标

◆ 需要掌握的基础知识:

z 变换与 z 反变换

s 平面与 z 平面的频率特性分析方法

控制系统的稳定性分析方法



1.2 本教学模块中控制器的设计策略

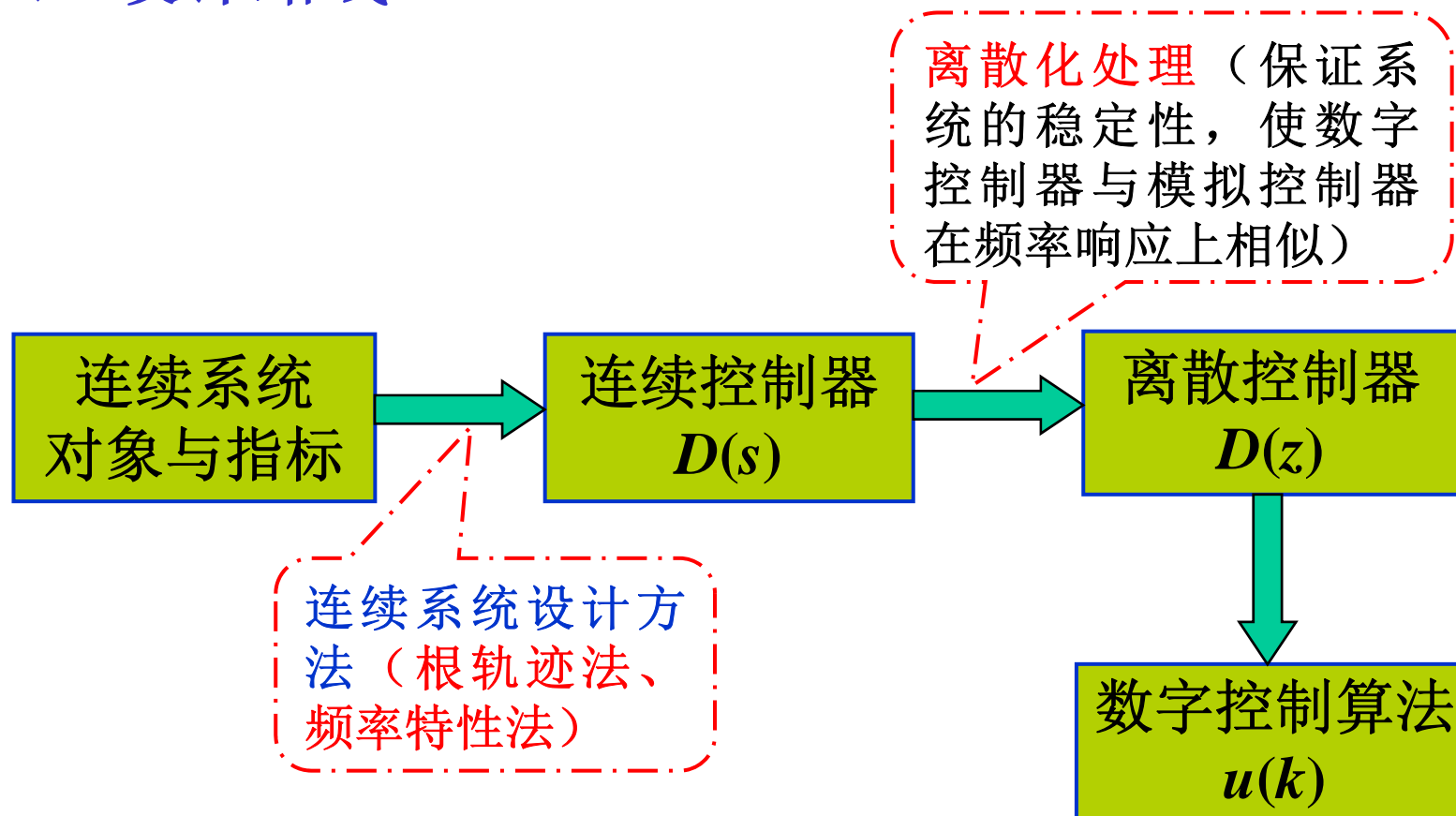
◆ 设计思想:

采用经典的连续系统控制器设计理论进行数字控制器的设计，达到控制器设计过程简单实用、便于掌握的目的。

此即为模拟化设计方法。



◆ 设计路线



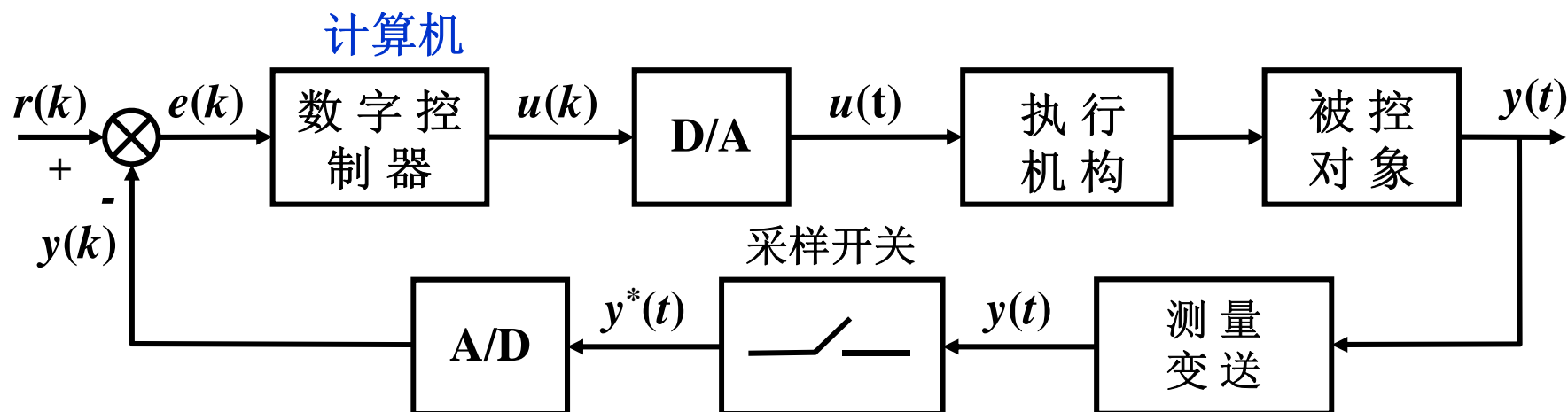
核心问题是什么？——连续控制器的离散化



信息科学与工程学院
COLLEGE OF INFORMATION SCIENCE AND ENGINEERING

1.3 模拟化设计方法原理分析

◆ 典型计算机控制系统的基本结构



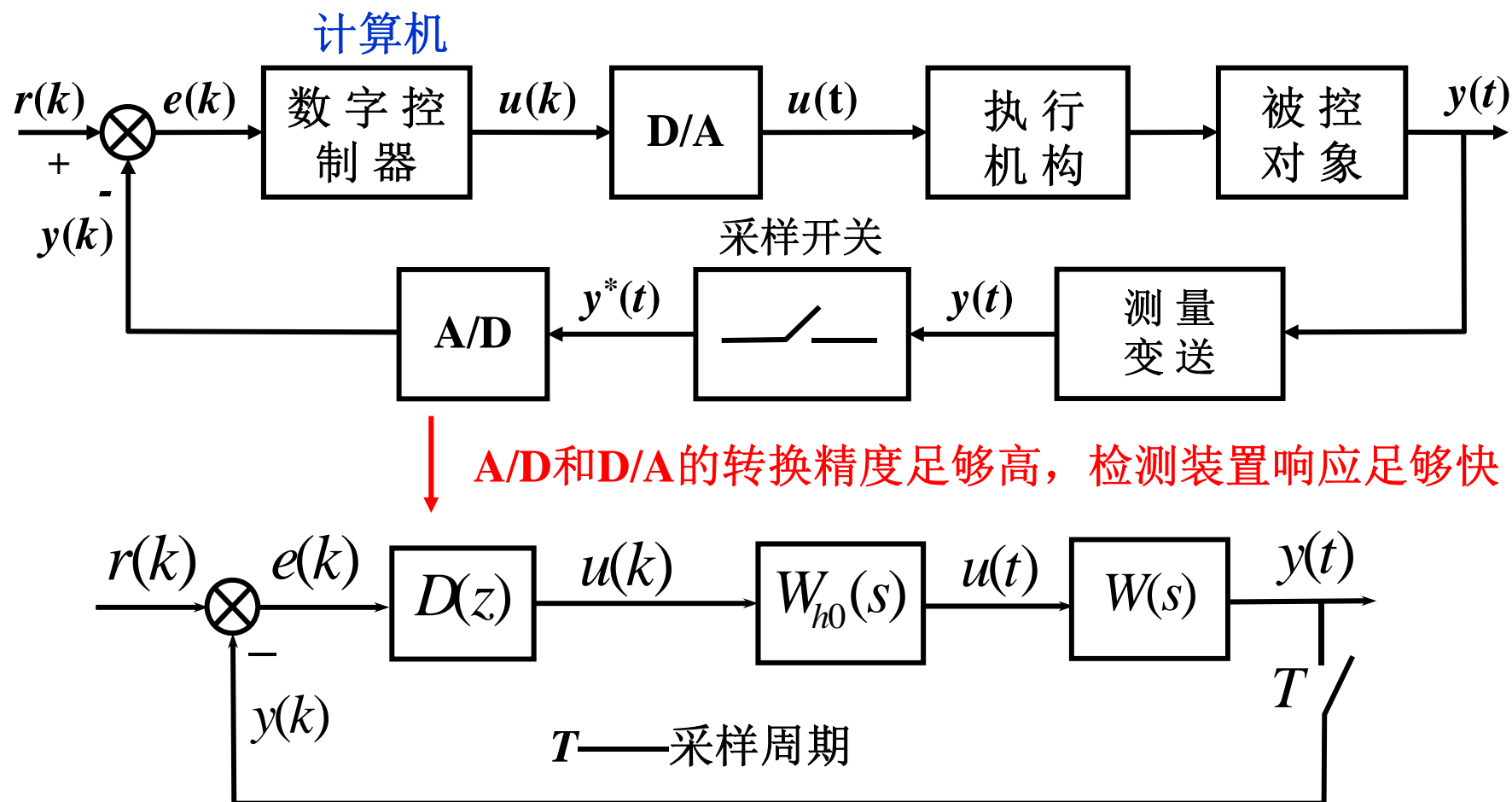
数字信号（时间上离散、幅值上量化）： $r(k)$ ——给定输入， $y(k)$ ——系统输出， $e(k)=r(k)-y(k)$ ——偏差信号， $u(k)$ ——控制信号；

模拟信号（时间上连续、幅值上连续）： $y(t)$ ——系统输出（被控量）， $u(t)$ ——控制量；

离散模拟信号（时间散上离散，幅值上连续）： $y^*(t)$ ——被控量信号。



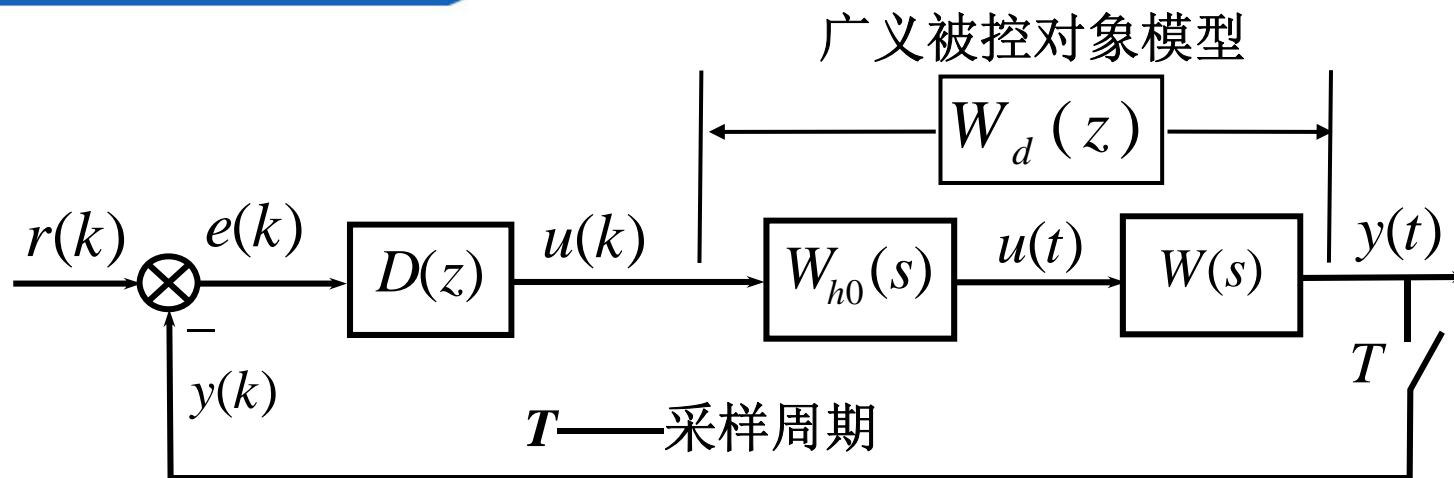
◆ 数字控制系统的简化结构



$D(z)$ ——离散部分的数字控制器； $W_{h0}(s)$ ——零阶保持器；
 $W(s)$ ——连续部分的被控对象。



◆ 离散化直接设计方法（直接设计方法）

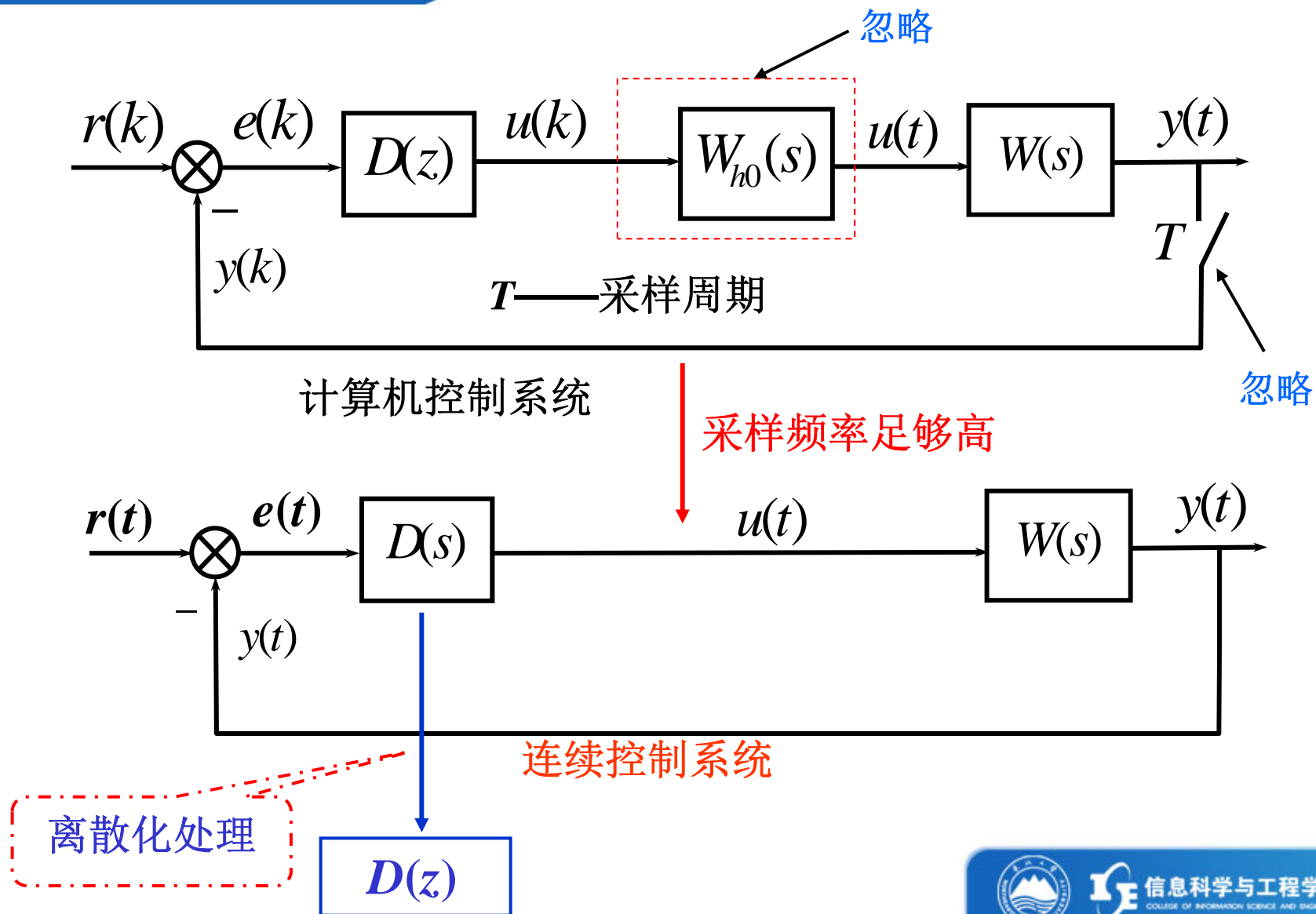


——把连续部分离散化，把整个系统变成离散化系统，直接设计数字控制器 $D(z)$ —— $W_d(z)$ 已知，根据系统性能指标要求[比如最小拍]确定整个系统的闭环脉冲传递函数 $W_B(z)$ ，确定数字控制器 $D(z)$ 。

直接设计方法包括：根轨迹设计法、频率响应设计法、解析设计法（最小拍……）



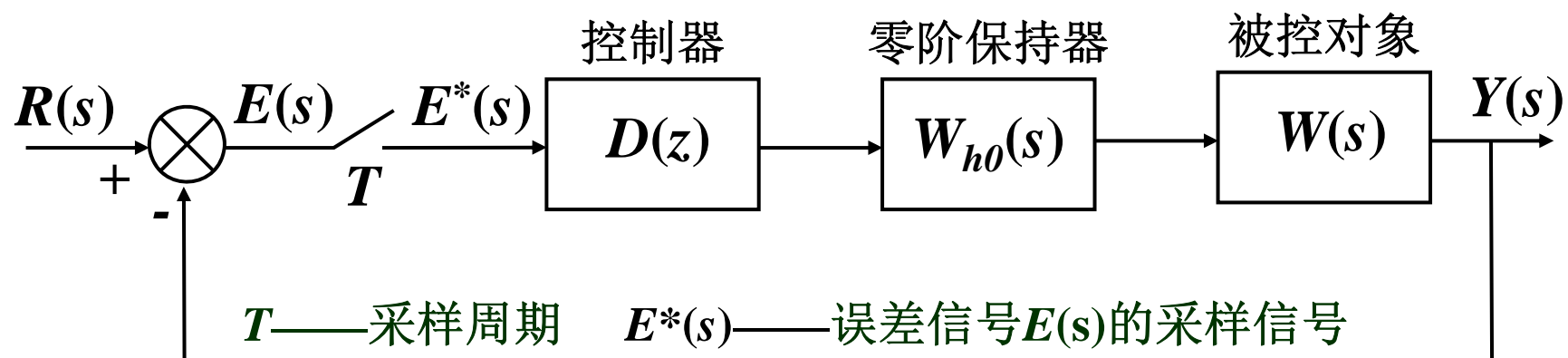
◆ 模拟化设计方法



◆ 模拟化设计中忽略因素的影响分析

➤ 采样开关和零阶保持器的影响

计算机控制系统的典型结构也可以表示为：



$$\tilde{D}(s) = Z^{-1}[D(z)]$$

等效计算机控制系统的开环输出为：

$$\begin{aligned} Y(s) &= \tilde{D}(s)W_{h0}(s)W(s)E^*(s) \\ &= \tilde{D}(s)W_{h0}(s)W(s) \cdot \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} E(s + jn\omega_s) \end{aligned}$$

ω_s —— 采样频率



信息科学与工程学院
COLLEGE OF INFORMATION SCIENCE AND ENGINEERING

➤ 采样开关和零阶保持器的影响

$$\begin{aligned} Y(s) &= \tilde{D}(s)W_{h0}(s)W(s)E^*(s) \\ &= \tilde{D}(s)W_{h0}(s)W(s) \cdot \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} E(s + jn\omega_s) \end{aligned}$$

$$D(s) \approx \tilde{D}(s)$$

采样周期T很小

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} E(s + jn\omega_s) \approx E(s)$$

零阶保持器具有低通滤波器特性

$$Y(s) = \frac{1}{T} D(s)W_{h0}(s)W(s)E(s)$$

计算机控制系统的等效开环传递函数:

$$W_{k0}(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = \frac{1}{T} D(s)W_{h0}(s)W(s) = D(s)W^*(s)$$

考虑了零阶保持器和采样开关的被控对象广义模型



被控对象广义模型

$$\begin{aligned} W^*(s) &= \frac{1}{T} W_{h0}(s) W(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{Ts} W(s) = \frac{e^{\frac{Ts}{2}} - e^{-\frac{Ts}{2}}}{Ts \cdot e^{\frac{Ts}{2}}} W(s) \\ &= \frac{(1 + \frac{Ts}{2} + \dots) - (1 - \frac{Ts}{2} + \dots)}{Ts \cdot e^{\frac{Ts}{2}}} W(s) \approx e^{-\frac{Ts}{2}} W(s) \end{aligned}$$

泰勒级数展开并取前2项

等效开环传递函数：

$$W_{k0}(s) = D(s) W^*(s) = e^{-\frac{Ts}{2}} D(s) W(s)$$

连续系统的开环传递函数为：

$$W_K(s) = D(s) W(s)$$

结论： 零阶保持器和采样开关的影响大体相当于系统中附加了一个 $T/2$ 的延时环节。因此，模拟化设计方法只适用于采样周期较小的情况。



1.4 本教学模块的体系设计

(1) 数字控制器模拟化设计方法的**核心问题**是**连续控制器的离散化**，这也是本模块的重点，所以在教学单元2中介绍了**连续控制器的离散化方法**。

(2) **两种典型的控制器及其工程化改进**：对典型连续控制器进行离散化处理，得到典型控制器的离散形式（数字控制器）：

- ◆ **PID控制器**—常用的经典控制器（教学单元3）
- ◆ **Smith预估控制**—解决大滞后问题的经典控制器（教学单元4）



• 教学单元一结束 •



信息科学与工程学院
COLLEGE OF INFORMATION SCIENCE AND ENGINEERING