

国家精品课程/ 国家精品资源共享课程/ 国家级精品教材

国家级十一(二)五规划教材/ 教育部自动化专业教学指导委员会牵头规划系列教材

# 控制系统仿真与CAD

## 第八章：PID控制器设计方法

Chapter 8 Design Methods for PID Controllers



Professor Dingyu Xue, [xuedingyu@mail.neu.edu.cn](mailto:xuedingyu@mail.neu.edu.cn)  
School of Information Science and Engineering,  
Northeastern University, Shenyang, CHINA



# 本章主要内容

- PID控制器简介
- PID控制器的经典设计方法
- 最优PID控制器设计界面
  - OptimPID界面简介
  - PID控制器设计举例
  - 开放的界面设计框架

国家精品课程/ 国家精品资源共享课程/ 国家级精品教材

国家级十一(二)五规划教材/ 教育部自动化专业教学指导委员会牵头规划系列教材

控制系统仿真与CAD

# 第八章 PID控制器设计方法

## PID控制器简介

An Introduction to PID Controllers

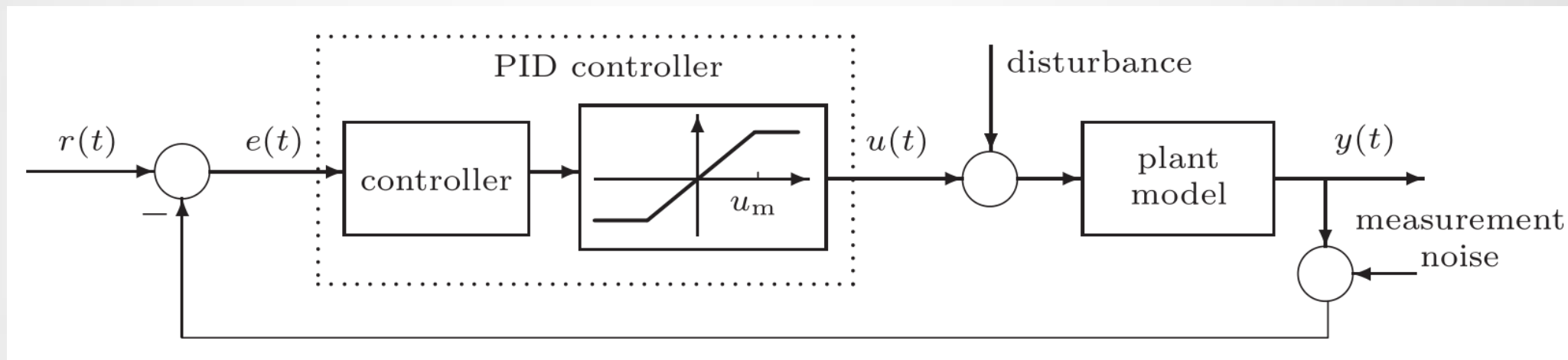


主讲：薛定宇教授



# PID控制器设计概述

## ➤ PID控制结构



## ➤ 本节主要内容

- 连续PID控制器与离散PID控制器
- PID控制器的变形



# 连续PID控制器的数学模型

## ➤ PID控制器的一般形式

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

## ➤ 两种基本表示模型

### ➤ 标准型PID控制器

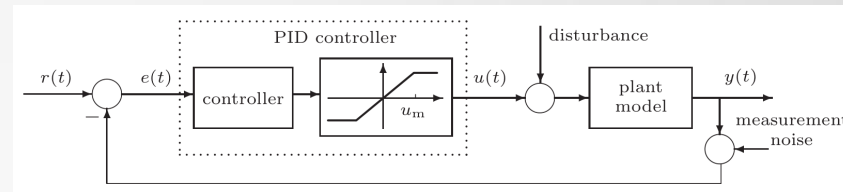
$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{T_d / N s + 1} \right)$$

$$G_c = \text{pidstd}(K_p, T_i, T_d, N)$$

### ➤ 并联型PID控制器

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + \frac{K_d s}{T_f s + 1}$$

$$G_c = \text{pid}(K_p, K_i, K_d, T_f)$$





# 离散PID控制器

➤ 微积分的离散近似  $\frac{de(t)}{dt} \simeq \frac{e(kT) - e[(k-1)T]}{T}$

$$\int_0^{kT} e(t)dt \simeq T \sum_{i=0}^k e(iT) = \int_0^{(k-1)T} e(t)dt + Te(kT)$$

➤ 离散PID控制器的一般形式

$$u(kT) = K_p e(kT) + K_i T \sum_{m=0}^k e(mT) + \frac{K_d}{T} [e(kT) - e[(k-1)T]]$$

➤ 简记  $u_k = K_p e_k + K_i T \sum_{m=0}^k e_m + \frac{K_d}{T} (e_k - e_{k-1})$



# 两种不同的微分近似及**PID**控制器

## ➤ 后向Euler微分

$$u_k = K_p e_k + K_i T \sum_{m=0}^k e_m + \frac{K_d}{T} (e_k - e_{k-1})$$

$$G_c(z) = K_p + \frac{K_i T z}{z - 1} + \frac{K_d (z - 1)}{T z}$$

## ➤ 前向Euler微分

$$u_k = K_p e_k + K_i T \sum_{m=0}^{k+1} e_m + \frac{K_d}{T} (e_{k+1} - e_k)$$

$$G_c(z) = K_p + \frac{K_i T}{z - 1} + \frac{K_d (z - 1)}{T}$$





## 例8-1 不同PID控制器输入

### ➤ 不同的控制器 $T = 0.1s$

$$C_1(s) = 1.5 + \frac{5.2}{s} + 3.5s, \quad C_2(s) = 1.5 \left( 1 + \frac{3.5s}{1 + 0.035s} \right)$$

$$C_3(z) = 1.5 + \frac{5.2}{z-1} + 3.5(z-1), \quad C_4(z) = 1.5 \left( 1 + \frac{z}{5.2(z-1)} + \frac{3.5(z-1)}{z} \right)$$

### ➤ MATLAB输入语句



```
>> C1=pid(1.5,5.2,3.5,0), C2=pidstd(1.5,inf,3.5,100)  
C3=pid(1.5,52,0.35,0,0.1)  
C4=pidstd(1.5,52,0.35,inf,0.1,'IFormula','backward')
```





# 变形的PID控制器

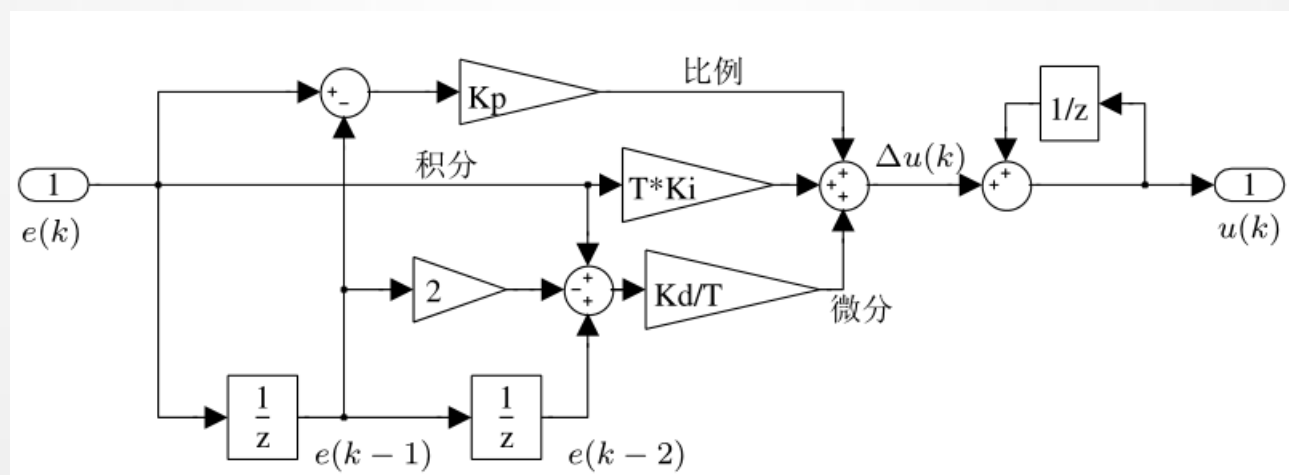
- 积分分离式PID控制器
  - 误差大时关闭 I , 快速跟踪
  - 误差小时开启 I , 消除静态误差
- 离散增量式PID控制器
  - 误差的积分累加计算麻烦
  - 可以引入增量来计算积分量
  - 控制量的增量

$$u_k - u_{k-1} = K_p(e_k - e_{k-1}) + K_i T e_k + \frac{K_d}{T}(e_k + e_{k-2} - 2e_{k-1})$$



# 增量式PID控制器

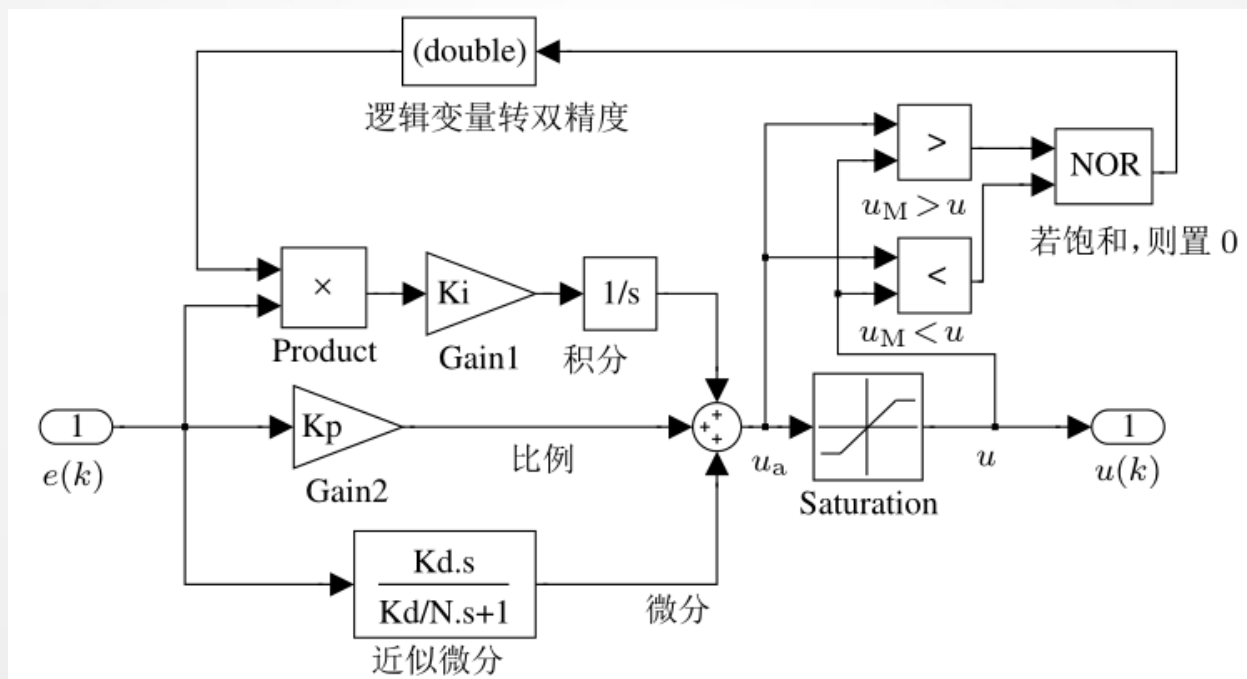
- 控制量计算  $u_k = u_{k-1} + \Delta u_k$
- 增量式PID控制器Simulink框图
- 文件名：c8mdpid1.mdl





# 抗积分饱和和PID控制器

- 抗积分饱和 ( anti-windup )
- PID控制器结构：c8mantiw.mdl





# PID控制器小结

- 两种不同的连续PID控制器
  - 直接输入方法：pid, pidstd
- 离散PID控制器
  - 积分算法
  - 特殊结构

