数字 PID 简介

简介

在连续-时间控制系统中，PID 控制器应用得非常广泛。其设计技术成熟，长期以来形成了典型的结构，参数整定方便，结构更改灵活，能满足一般的控制要求。

数字 PID 控制比连续 PID 控制更为优越，因为计算机程序的灵活性，很容易克服连续 PID 控制中存在的问题，经修正而得到更完善的数字 PID 算法。

本章将详细地讨论数字 PID 控制器的设计和调试问题。

学习重点

数字 PID 控制

数字 PID 控制器参数选择

数字 PID 控制

PID 控制系统

连续一时间 PID 控制系统如图 3-1 所示。图中，D（s）为控制器。在 PID 控制系统中，D（s）完成 PID 控制规律，称为 PID 控制器。 PID 控制器是一种线性控制器，用输出量 y（t）和给定量 r（t）之间的误差的时间函数。e(t)=r(t)-y(t)

(3-1)的比例，积分，微分的线性组合，构成控制量 u（t）称为比例（Proportional）

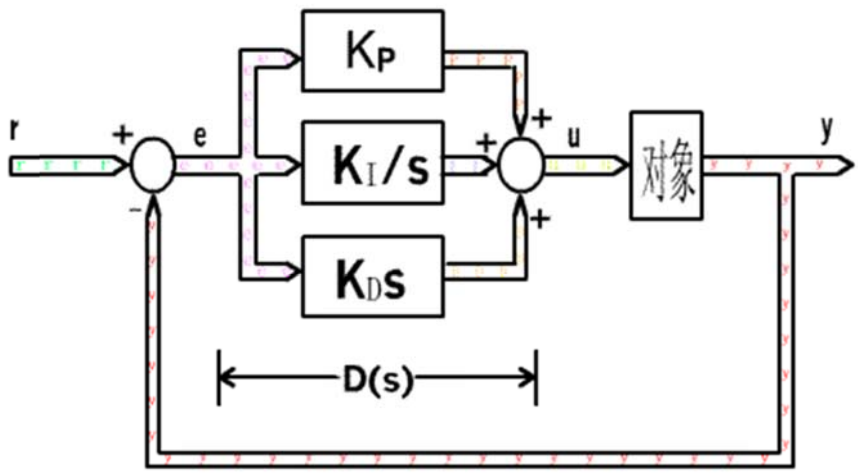

图3-1　连续-时间PID控制系统

积分（Integrating）
微分（Differentiation）控制，简称 PID 控制。

控制器

实际应用中，可以根据受控对象的特性和控制的性能要求，灵活地采用不同的控制组合，构成
比例（P）控制器

$$u(t) = K_p e(t)$$

(3-2)

比例十积分（PI）控制器

$$u(t) = K_p[e(t) + \frac{1}{T_I}\int_0^t e(\tau)d\tau]$$

(3-3)

比例十积分十微分（PID）控制器

$$u(t) = K_p[e(t) + \frac{1}{T_I}\int_0^t e(\tau)d\tau + T_D\frac{d(e(t))}{dt}]$$

(3-4)

式中 KP——比例放大系数；TI——积分时间； TD——微分时间。

控制 作用

比例控制能迅速反应误差，从而减小稳态误差。但是，比例控制不能消除稳态误差。比例放大系数的加大，会引起系统的不稳定。积分控制的作用是，只要系统有误差存在，积分控制器就不断地积累，输出控制量，以消除误差。因而，只要有足够的时间，积分控制将能完全消除误差，使系统误差为零，从而消除稳态误差。积分作用太强会使系统超调加大，甚至使系统出现振荡。微分控制可以减小超调量，克服振荡，使系统的稳定性提高，同时加快系统的动态响应速度，减小调整时间，从而改善系统的动态性能。

应用 PID 控制，必须适当地调整比例放大系数 KP，积分时间 TI 和微分时间 TD，使整个控制系统得到良好的性能。

数字 PID 控制算法

PID 控制器的实现

在电子数字计算机直接数字控制系统中，PID 控制器是通过计算机 PID 控制算法程序实现的。计算机直接数字控制系统大多数是采样-数据控制系统。进入计算机的连续-时间信号,必须经过采样和整量化后，变成数字量，方能进入计算机的存贮器和寄存器，而在数字计算机中的计算和处理，不论是积分还是微分，只能用数值计算去逼近。

在数字计算机中，PID 控制规律的实现，也必须用数值逼近的方法。当采样周期相当短时，用求和代替积分，用差商代替微商，使 PID 算法离散化，将描述连续-时间 PID 算法的微分方程，变为描述离散-时间 PID 算法的差分方程。

位置式PID控制算法

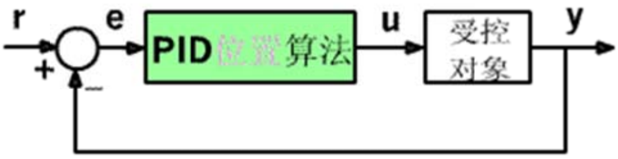

图3-2 位置式PID控制算法的简化示意图

$$\frac{1}{T_I}\int_0^t e(\tau)\,d\tau = \frac{T_s}{T_i}\sum_{j=0}^{k} e(j)$$

考虑式（3-4），用矩形积分时，有

(3-5)

用差分代替微分

$$T_d\,\frac{de(t)}{dt} = \frac{T_D}{T_S}[e(k) - e(k-1)]$$

(3-6)

$$u(k) = K_p + [e(k) + \frac{T_S}{T_I}\sum_{j=0}^{k} e(j) + \frac{T_D}{T_S}(e(k) - e(k-1))] + u_0$$

将式（3 一 5）、（3 一 6）代入式（3 一 4），PID 算法变为

(3-7)

或

$$u(k) = K_p e(k) + K_I\sum_{j=0}^{k} e(j) + K_D[e(k) - e(k-1)] + u_0$$

式中 u 0——控制量的基值，即 k=0 时的控制；

u（k）——第 k 个采样时刻的控制； KP——比例放大系数； KI——积分放大系数；

$$K_I = \frac{K_P T_S}{T_I}$$

$$K_D = \frac{K_P T_D}{T_S}$$

KD——微分放大系数；

TS——采样周期。

式（3-7）是数字 PID 算法的非递推形式，称全量算法。算法中，为了求和，必须将系统偏差的全部过去值 e（j）（j=1，2，3，...，k）都存储起来。这种算法得出控制量的全量输出 u（k），是控制量的绝对数值。在控制系统中，这种控制量确定了执行机构的位置，例如在阀门控制中，这种算法的输出对应了阀门的位置（开度）。所以，将这种算法称为“位置算法”。

增量式PID控制算法

当执行机构需要的不是控制量的绝对值，而是控制量的增量（例如去驱动步进电动机）时，需要用 PID 的“增量算法”。

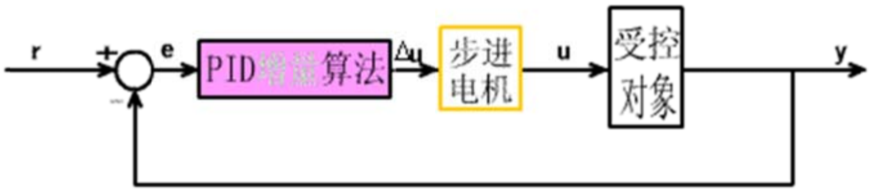

图3-2(b) 增量式PID控制算法的简化示意图

$$u(k)=K_P[e(k)+\frac{T_S}{T_I}\sum_{j=0}^{k}e(j)+\frac{T_D}{T_S}(e(k)-e(k-1))]+u_0$$

由位置算法求出

再求出

$$u(k-1)=K_P[e(k-1)+\frac{T_S}{T_I}\sum_{j=0}^{k-1}e(j)+\frac{T_D}{T_S}(e(k-1)-e(k-2))]+u_0$$

$$\begin{aligned}\Delta u(k)&=u(k)-u(k-1)\\&=K_P\{e(k)-e(k-1)+\frac{T_S}{T_I}e(k)+\frac{T_D}{T_S}[e(k)-2e(k-1)+e(k-2)]\}\end{aligned}$$

两式相减，得出控制量的增量算法

（3-8）

式(3-8)称为增量式 PID 算法。

$$\Delta u(k)=q_0e(k)+q_1e(k-1)+q_2e(k-2)$$

对增量式 PID 算法（3-8）归并后，得

(3-9)

其中

$$q_0=K_P[1+\frac{T_S}{T_I}+\frac{T_D}{T_S}]$$

$$q_1=-K_P[1+2\frac{T_D}{T_S}]$$

$$q_2=K_P\frac{T_D}{T_S}$$

（3-9）已看不出是 PID 的表达式了，也看不出 P、I、D 作用的直接关系，只表示了各次误差量对控制作用的影响。从式（3-9）看出，数字增量式 PID 算法，只要贮存最近的三个误差采样值 e（k）、e（k-1）、e（k-2）就足够了。

PID控制系统

单回路PID控制系统

串级控制

这就是我们前面涉及的系统，系统中只有一个 PID 控制器，如图 3-13 所示表示。

计算机串级控制系统的典型结构如下图 3-14 所示。。

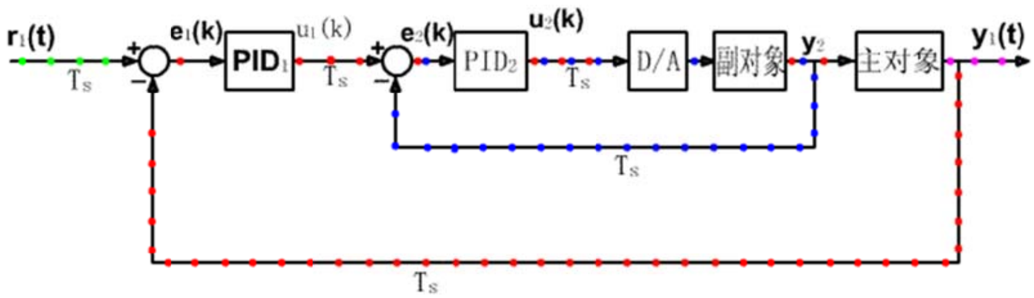

图3-14 串级控制系统
（以同步采样控制为例）

系统中有两个 PID 控制器，其中一个控制器的输出，作为另一个控制器的给定。图中，控制器 PID2 称副控制器，内环称副回路；PID1 称主控制器，包围 PID2 的外环称主回路。主控器的输出控制作为副回路的给定量。串级控制系统的计算顺序是先主回路（PID1）后副回路（PID2）。控制方式有两种：异步采样控制和同步采样控制。