

# 电液比例控制系统的参数模糊自整定 PID 控制研究

张莉, 张俊俊

## Parameters Fuzzy Self-tune PID Control in Electro-hydraulic Proportional Control System

ZHANG Li, ZANG Jun-jun

(西南科技大学 制造科学与工程学院, 四川 绵阳 621010)

**摘要:**在对 PID 控制的响应特性进行详细分析的基础上,应用模糊控制技术,提出了一种 PID 参数模糊自整定控制算法,这种控制算法占用的存储空间小,CPU 进行运算处理时间短,适合在单片机内运行。

**关键词:**PID 控制算法;电液比例控制;单片机

中图分类号:TH137;TP273+.4 文献标识码:B 文章编号:1000-4858(2007)11-0011-03

### 0 引言

电液比例控制系统已经广泛应用于精度要求较高的行业。其传统的控制方式大多采用 PID 控制技术,它具有简单、可靠、参数整定方便等优点。但电液比例控制阀的工作环境变化很大,其负载千差万别,而且电液比例控制系统是复杂的非线性高阶系统,很难在设计时建立准确的数学模型,因此在控制性能要求高的场合,常规的 PID 控制难以取得良好的控制效果。模糊控制是一种比较先进的控制方法,它可以弥补常规 PID 控制不能在线整定参数、对于模型不清楚的复杂系统无法整定等缺点<sup>[1]</sup>。本文将这两种控制思想有机地结合起来,提出了一种模糊自整定 PID 控制算法,这种算法占用的存储空间小,只需少量的 CPU 时间进行运算处理,适合在单片机内运行。

### 1 PID 控制的系统结构

为了减少系统的内存占用,节省运算时间。本文将采用增量式 PID 控制器。它的具体结构如图 1 所示。其设计思想是根据系统的实际工况,自动实现 PID 参数的最佳调整。即系统的基本控制规律仍为 PID 控制,采用 PID 的 3 个控制参数  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  与误差  $e$  和误差变化率  $\Delta e(ec)$  之间的模糊关系,在系统运

行过程中不断地检测  $e$  和  $\Delta e$ ,根据模糊控制原理对 3 个控制参数进行在线修改,以满足不同暂态过程对控制参数的不同要求,从而使被控对象具有良好的动、静态特性。

### 2 参数模糊自整定 PID 算法原理

PID 控制器是一种线性控制器,它根据给定值  $r$  与实际输出值  $y$  构成控制偏差  $e = r - y$ ,将偏差的比例 P、积分 I 和微分 D 通过线性组合构成控制量,一般增量式 PID 控制的输出可用下式表示:

$$\Delta U(k) = K_p[e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (1)$$

式中  $\Delta U(k)$ ——第  $k$  次调节量

$e(k)$ ——第  $k$  次误差信号

$K_p$ ——比例系数

$K_i$ ——积分系数

$K_d$ ——微分系数

从上式可以看出,  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  的变化可直接导致  $\Delta u$  的改变。从图 1 可以看出,参数  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  是随着偏差  $e$  和偏差变化率  $ec$  的变化而变化的,所以必须首先明确两者之间的关系。这种二元关系在模糊系统中主要表现如下。

在常规 PID 控制中,当对象的负载出现阶跃变化时,被调量的变化曲线会出现阻尼振荡,如图 2 所示。

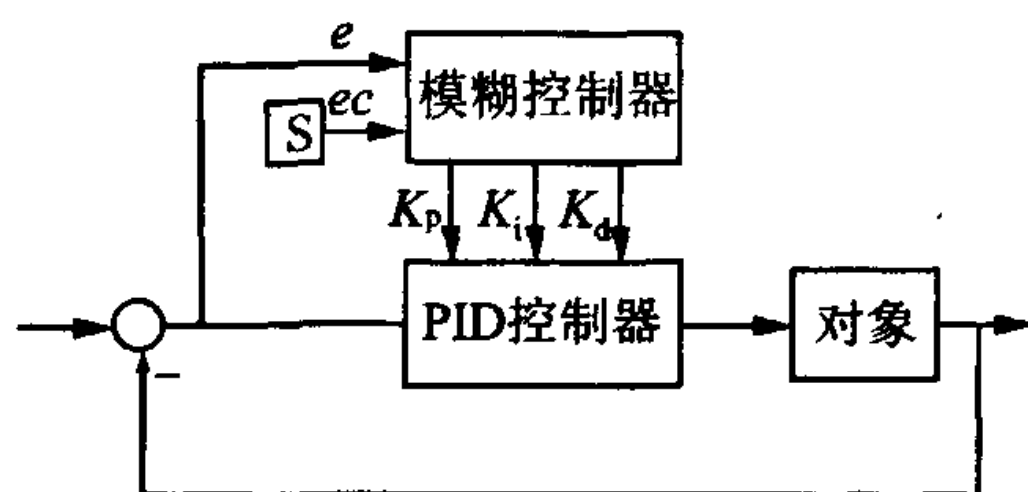


图 1 增量式 PID 控制器结构图

收稿日期:2007-04-24

作者简介:张莉(1982—),女,四川德阳人,硕士研究生,主要从事液压控制方面的科研工作。

当  $e$  逐渐减小,即被调量的变化趋向于设定值时,应减小控制参数值,降低控制强度,就可以减小振荡的幅度;而当被调量的变化是远离设定值的,即  $e$  增大时,便需要加大控制参数值,增强其控制作用,以便将被调量拉回到设定值,尽快达到平衡。

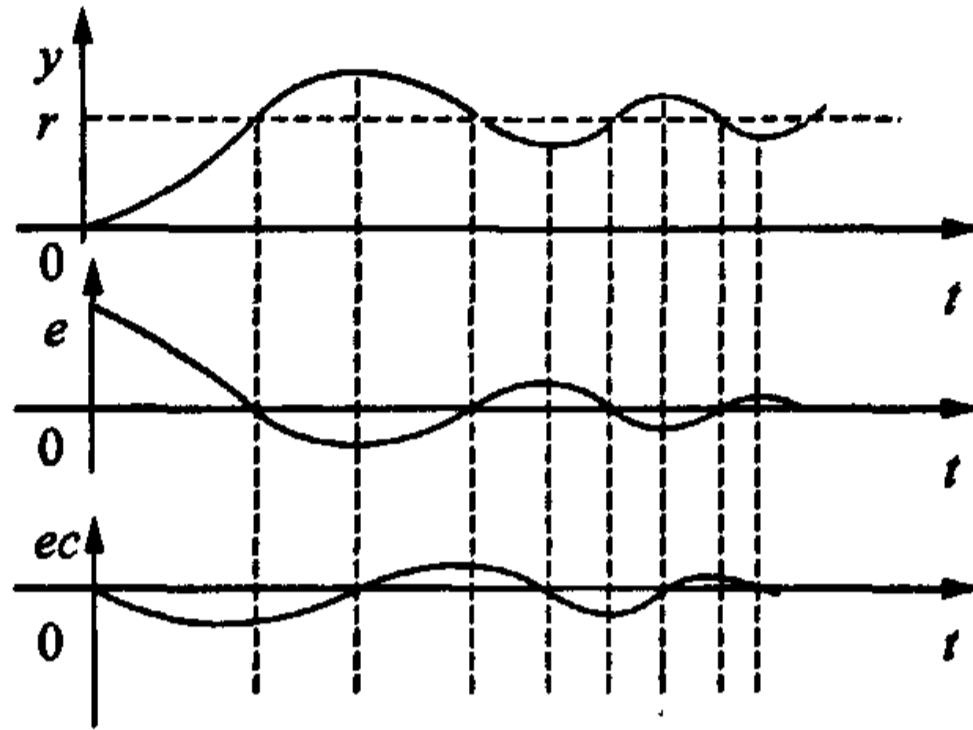


图2 常规PID控制的阶跃响应曲线

从这一思想出发,分析PID控制算法的增量算式(1)可得到:

$$\Delta U(k) = K_p \Delta e(k) + K_i e(k) + K_d \Delta^2 e(k) \quad (2)$$

在此算式中,当控制系统的对象发生变化、出现偏差时,算法的3个参数  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  分别对偏差值、偏差变化率及偏差变化加速度进行控制,并且在偏差变化的不同阶段,算式中的3个参数对控制输出的影响

也是不同的<sup>[5]</sup>,如表1所示。

从表中可以看出,当  $e_k > 0$  时,被调量的变化趋势与偏差的变化趋势相同,即  $\Delta e_k > 0$  时则远离,而  $\Delta e_k < 0$  时则逼近。而  $e_k < 0$  时,被调量的变化趋势与偏差的变化趋势相反,即  $\Delta e_k > 0$  时则逼近,而  $\Delta e_k < 0$  时则远离。在分析并建立数学模型时,为了做到简单易行,可以大致认为控制参数的调整趋势在不同情况下分别与  $\Delta e_k$  和  $-\Delta e_k$  成正比关系。考虑到偏差  $\Delta e_k$  也是有符号的,因此引入符号函数  $\text{sign}(e_k) = \begin{cases} 1, & \text{当 } e_k > 0 \text{ 时} \\ -1, & \text{当 } e_k < 0 \text{ 时} \end{cases}$ ,用  $\text{sign}(e_k)$  与  $\Delta e_k$  的积来表示并控制参数的修正系数  $Q_p$ 、 $Q_i$ 、 $Q_d$ ,得到如下参数修正算法:

$$\begin{cases} K_p' = K_p + Q_p [\text{sign}(e_k) \Delta e_k] \\ K_i' = K_i + Q_i [\text{sign}(e_k) \Delta e_k] \\ K_d' = K_d + Q_d [\text{sign}(e_k) \Delta e_k] \end{cases} \quad (3)$$

在控制过程中,对修正系数  $Q_p$ 、 $Q_i$  和  $Q_d$  的调整可以按如下规则进行:

- (1) 如果被控对象响应特性出现上升时间短,但超调量大,应减小  $Q_i$ ;反之则加大  $Q_i$ ,同时  $Q_p$  和  $Q_d$  保持不变;

表1 控制作用与系统变化之间的关系及控制项对控制增量的影响

系统状态		控制项目变化			被调量的变化趋势	期望的控制作用	
		$K_d \Delta^2 e_k$	$K_p \Delta^2 e_k$	$K_i e_k$			
$e_k > 0$	$e_k < e_{k-1} < e_{k-2}$ ( $\Delta e_k < 0$ )	$\Delta e_k > \Delta e_{k-1}$	+	-	+	逼近	较弱
		$\Delta e_k < \Delta e_{k-1}$	-	-	+	逼近	弱
	$e_k > e_{k-1} > e_{k-2}$ ( $\Delta e_k > 0$ )	$\Delta e_k > \Delta e_{k-1}$	+	+	+	远离	强
		$\Delta e_k < \Delta e_{k-1}$	-	+	+	远离	较强
	$e_k < e_{k-1}$ 且	( $\Delta e_k < 0$ )	-	-	+	逼近	较弱
$e_k > e_{k-1}$ 且	( $\Delta e_k > 0$ )	+	+	+	不存在	—	
$e_k < 0$	$e_k < e_{k-1} < e_{k-2}$ ( $\Delta e_k < 0$ )	$\Delta e_k > \Delta e_{k-1}$	+	-	-	远离	较强
		$\Delta e_k < \Delta e_{k-1}$	-	-	-	远离	强
	$e_k > e_{k-1} > e_{k-2}$ ( $\Delta e_k > 0$ )	$\Delta e_k > \Delta e_{k-1}$	+	+	-	逼近	较弱
		$\Delta e_k < \Delta e_{k-1}$	-	+	-	逼近	弱
	$e_k < e_{k-1}$ 且	( $\Delta e_k < 0$ )	-	-	-	不存在	—
$e_k > e_{k-1}$ 且	( $\Delta e_k > 0$ )	+	+	-	逼近	较弱	
$e_k = 0$	$e_{k-2} < e_{k-1} < 0$	$\Delta e_k > \Delta e_{k-1}$	+	+	0	远离	较强
		$\Delta e_k < \Delta e_{k-1}$	-	+	0	远离	较强
	$e_{k-2} > e_{k-1} > 0$	$\Delta e_k > \Delta e_{k-1}$	+	-	0	远离	较强
		$\Delta e_k < \Delta e_{k-1}$	-	-	0	远离	较强
	$e_{k-1} = 0$	$e_{k-2} > 0$	-	0	0	逼近	极弱
		$e_{k-2} < 0$	+	0	0	逼近	极弱
$e_{k-2} = 0$		0	0	0	逼近	0	

# 液压阻尼器真空注油系统的研制

唐群国,李塔,姜静,刘银水

## Design of an Oil Charging System by Vacuum for Hydraulic Dampers

TANG Qun-guo, LI Ta, JIANG Jing, LIU Yin-shui

(华中科技大学机械学院液压与气动中心,湖北武汉 430074)

**摘要:** 液压阻尼器注油不充分或油中存在气泡将降低阻尼器的动静态性能。该文介绍了一种液压阻尼器真空注油系统的设计方法和工作原理,该系统可以自动完成对阻尼器抽真空、注油和排气等工作。

**关键词:** 液压阻尼器;真空系统;压力损失

中图分类号:TH137 文献标识码:B 文章编号:1000-4858(2007)11-0013-02

液压阻尼器是一种在军用和民用工程中有广泛应用的减震缓冲元件,常用以保护电站、桥梁、摩天大楼等大型建筑物,及核电厂、火电厂、石化工厂中的管道和关键设备免遭由于地震、爆炸、自然风力等引起的振动冲击破坏<sup>[1~3]</sup>。液压阻尼器是利用充满液压油的液压缸,通过阻尼控制阀和阻尼节流孔,在液压缸两腔产生压力差,从而对负载产生阻尼力。为了提高减振效果,液压阻尼器中通常灌装黏度较高(大于  $100 \text{ mm}^2/\text{s}$ )的硅油,由于油液的流动性差,而阻尼器内部存在较多尺度很小的配合间隙和阻尼结构,在灌装后内部可能存在空隙或气泡,由此影响油液的可压缩性系数,进而对阻尼器的动静态性能产生不利影响。本文设计了一套液压阻尼器真空注油系统,不仅提高了灌装效率,而且较好地解决了阻尼器灌装时存在死角的问题。

### 1 真空注油系统的组成及工作原理

图1是真空注油系统的工作原理图。该系统主要由3个工作回路组成:阻尼器抽真空回路、阻尼器注油回路和油箱补油回路。系统工作时,先开启阻尼器抽真空回路,对阻尼器抽真空,当阻尼器的真空度达到设定值时,关闭抽真空回路,开启注油回路,直至阻尼器的工作腔内充满液压油。当油箱的液压油达到最低限时,开启油箱补油回路,从外部油桶注入足够的液压油到油箱。

#### 1) 阻尼器抽真空回路

收稿日期:2007-04-27

作者简介:唐群国(1969—),男,山东潍坊人,副教授,博士,主要从事液压传动和纯水液压传动方面的研究工作。

(2) 如果系统阶跃响应出现多次正弦衰减,应减小  $Q_p$ ,同时  $Q_i$  和  $Q_d$  保持不变;

(3) 如果被控对象上升时间长,而增大  $Q_i$  会导致超调量过大,可适当增大  $Q_p$ ,同时  $Q_i$  和  $Q_d$  保持不变。

### 3 结论

从对模糊PID参数自整定系统的研究和算法分析中可以看出,参数自整定模糊PID系统具有良好的适应能力,相对于常规PID控制而言,在稳态精度方面具有明显的优势,更能满足高精度要求的工况需求。同时,从算法的差分方程可以看出,运算过程十分简便,与常规PID控制算法相比,只增加了3个修正系数  $Q_p$ 、 $Q_i$ 、 $Q_d$  的存储,因此非常适用于单片机系统中

构成智能电液比例控制系统。

#### 参考文献:

- [1] 周恩涛,廖行生,等. 电液比例阀控系统模糊-PID控制的研究[J]. 机床与液压,2003(6):225-227.
- [2] 张奕,申晓龙,等. 智能压路机振频控制系统的模糊自适应PID控制[J]. 压实机械与施工技术,2006(8):48-50.
- [3] 罗小梅. 电液比例变量泵控马达控制系统的分析研究[D]. 西安:长安大学,2005.
- [4] 巨永锋,龙水根,等. 智能压路机控制系统数据通讯的实现[J]. 筑路机械与施工机械化,2005(9):51-53.
- [5] 何宁. 基于现场总线的智能PID调节器的研制与开发[D]. 南京:东南大学,1999.