

自整定 PI 型模糊控制器设计方法

Method for Designing Self-Tuning PI-Type Fuzzy Logic Controller

北京航空航天大学航空科学与工程学院 蔺永良 袁修干

[摘要] 提出了一种新的自整定 PI 型模糊控制器, 该控制器可实现 PI 型模糊控制器的控制参数的自整定, 使模糊控制器的设计和使用简化, 保证模糊控制器的性能。理论分析和仿真结果证明了自整定模糊控制器的控制性能。

关键词: 模糊控制 自整定控制 PI 控制

[ABSTRACT] A novel self-tuning PI-type fuzzy logic controller (FLC) is presented. The controller can realize the self-tuning of controlling parameters and simplify the design and utilization progress to guarantee the performance of fuzzy controller. The theoretical analysis and simulation results prove the performance of self-tuning FLC is better than its conventional counterpart.

Keywords: Fuzzy logic controller Self-tuning control PI control

模糊控制已成功地应用于许多复杂及非线性系统。近些年来许多学者又提出自组织和自适应模糊控制器^[1,2], 也有许多学者论述了模糊控制与 PID 控制的内在联系^[3,4]。由于 PI 型模糊控制器具有稳定性和消除偏差的特点, 所以常为设计者所采用, 当然, 应用于高阶系统时它也存在一定的局限性^[5]。

常规的模糊控制器结构如图 1 所示, 许多文献都讨论了如何整定比例因子 K_e 、 K_c 和 K_u ^[6], 但是它们都是基于专家知识思想的动态在线整定方法, 即这 3 个因子在整个控制过程中呈现为时变值。这种时变的整定方法给实际的控制带来很大困难, 并使系统的鲁棒性变差, 限制了它们的应用。

本文在分析 PID 与模糊控制器的内在联系的基础

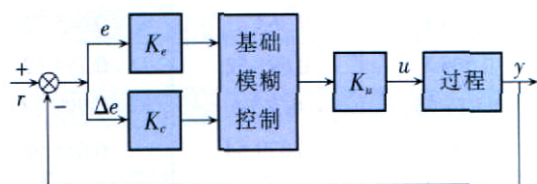


图 1 模糊控制器结构

Fig.1 Structure of FLC

础上, 提出一种全新的自整定模糊控制器设计方法, 以实现算法简单、鲁棒性强和易于应用等特点。

1 自整定模糊控制器

模糊控制器与传统 PID 具有密切的内在联系, 许多文献中都论述模糊控制器在某种意义上是离散的 PID 控制器^[4], 因此它们在参数整定方面一定具有某些共性。本文在研究 PID 整定技术的基础上, 提出了一种新的自整定模糊控制器。图 2 是它的结构图, 基本结构用虚线标出。整定的参数包括 K_e 、 K_c 和 K_u 。

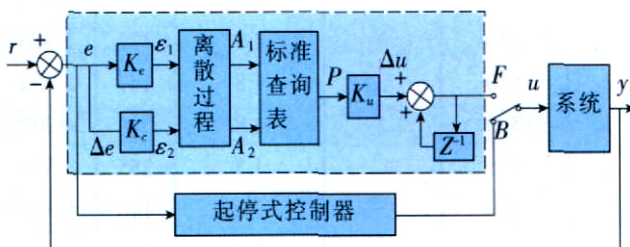


图 2 自整定模糊控制器结构

Fig.2 Structure of self-tuning FLC

它具有如下特点: (1) 含有一个起停式控制器环节, 其作用是根据不同的控制系统, 在线整定出各比例因子; (2) 采用离散过程和标准的输出查询相结合的方式, 没有隶属函数、模糊控制规则、模糊化和去模糊过程; (3) 不是动态整定, 一旦参数在线整定后, 参数不再变化。

由于是 PI 型模糊控制器, 实际的输出为

$$u_k = u_{k-1} + \Delta u_k, \quad (1)$$

式中, k 是采样次数, u_k 是控制输出增量。

1.1 标准查询表

本设计采用二分法生成标准查询表, 而不采用模糊规则和隶属函数。由图 2 可知, 查询表的输入为 ε_1 和 ε_2 , 输出 P 的论域为 $[-1, 1]$ 。e、 ε_1 和 ε_2 的关系为:

$$\varepsilon_1 = K_e e, \quad \varepsilon_2 = K_c \Delta e, \quad (2)$$

A_1 和 A_2 是 ε_1 和 ε_2 的离散值, 其论域为 $[-1/2, 1/2]$ 。离散过程如表 1 所示。分析表 1 得 $A = (0.5 \sim 1) \times$ 。

标准查询表可以用下面的公式表述:

$$P_{i,j} = A_{1,i} + A_{2,j}, \quad (3)$$

式中, $P_{i,j}$ 为标准查询表的单一输出值, $i=1, 2, \dots, 31$; $j=1, 2, \dots, 31$ 。

注意式(3)蕴涵了一个相加的关系。这样, 实际控制器的输出增量 u 满足

$$u = K_u P. \quad (4)$$

表 1 q, p 的离散值 $A_{q,p}$ 的选取

p	q, p	$A_{q,p}$
1	$(-, -\frac{1}{2}]$	$-\frac{1}{2}$
2	$(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2^2}]$	$-\frac{1}{2^2}$
...
15	$(-\frac{1}{2^{14}}, -\frac{1}{2^{15}}]$	$-\frac{1}{2^{15}}$
16	$(-\frac{1}{2^{15}}, \frac{1}{2^{15}})$	0
17	$[\frac{1}{2^{15}}, \frac{1}{2^{14}}]$	$\frac{1}{2^{15}}$
...
30	$[\frac{1}{2^2}, \frac{1}{2})$	$\frac{1}{2^2}$
31	$[\frac{1}{2}, +)$	$\frac{1}{2}$

注: 表中 $q=1, 2$; $p=1, 2, \dots, 31$ 。

1.2 自整定模糊控制参数整定机理

自整定过程如下: (1) 整定比例系数 K_p 和积分系数 K_i ; (2) 整定模糊控制器的比例因子 K_e, K_c 和 K_u 。

(1) 整定 K_p 和 K_i 。

利用起停式控制器整定出参数 K_p 和 K_i 。将图 2 中的开关转换到 B 处, 系统变成一个具有延迟特性的非线性系统, 产生极限振荡, 这样可以获得被控制系统的临界增益 k_c 和临界周期 t_c , 进而整定出 K_p 和 K_i 。本文采用的 Ziegler-Nichols 整定方法是较为成熟的整定 PID 控制器的方法^[6-8]。对于 PI 控制器来说,

$$\begin{cases} K_p = 0.45k_c, \\ T_i = 0.85t_c, \\ K_i = K_p \frac{T_c}{T_i}, \end{cases} \quad (5)$$

式中, T_i 为积分常数, T_c 是采样周期。

(2) 整定 K_e, K_c 和 K_u 。

当整定出 K_p 和 K_i 后, 将图 2 中的控制开关转换

到 F 位, 则控制系统变为 PI 型模糊控制系统。定义图 2 中的模糊控制器输入-输出关系满足非线性方程^[2] $u=f(e, \dot{e}, t)$, 并由式(2)-(5)和关系 $A=(0.5 \sim 1) \times$ 得

$$u = K_u \sum_k [K_e e_k + K_c (e_k - e_{k-1})], \quad (6)$$

可见它近似于一个非线性的 PI 控制器, 令 $K_p = K_u K_c$, $K_i = K_u K_e$ 。当已知 K_p 和 K_i 时, 并令 $K_e=1$, 得到下面的模糊控制器比例因子的整定公式:

$$K_e=1, K_u=K_i/K_e, K_c=K_p/K_u. \quad (7)$$

2 仿真

控制对象的模型为

$$\frac{e^{-10s}}{(10s+1)(100s+1)}, \quad (8)$$

式中, s 为拉普拉斯因子。若 T_c 采样周期为 1s, 采用本文提出的整定方法确定各参数值为: $K_p=5.217, K_i=0.086, K_e=1, K_u=0.086, K_c=60.663$ 。

(1) 正常情况下的控制效果比较如图 3。

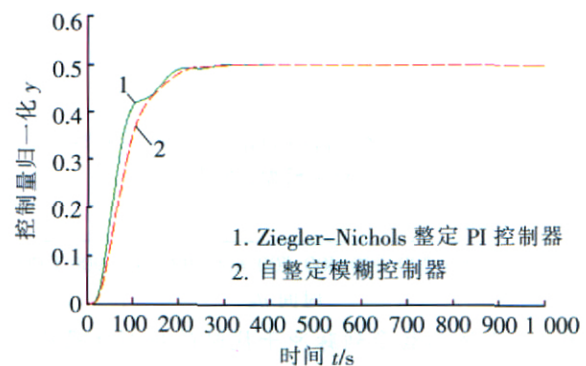


图 3 控制效果比较

Fig.3 Comparison between control effects

(2) 系统参数发生变化, 变化后模型为

$$\frac{e^{-10s}}{(10s+1)(50s+1)}, \quad (9)$$

整定参数不变, 2 种控制器的比较结果如图 4 所示。

(3) 系统受到脉冲干扰, 干扰脉冲为

$$0.2[u(t-500) - u(t-600)], \quad (10)$$

干扰通道模型为 $25s+1$ 。整定参数不变, 2 种控制器的比较结果如图 5 所示。

(4) 系统设定点发生变化, y 从 0.5 变到 0.6。整定参数不变, 2 种控制器的比较结果如图 6。

从仿真结果可以得到如下结论:

(1) 自整定模糊控制器能实现较高的控制精度和

较小的超调量;

(2) Ziegler-Nichols 整定的 PI 控制器与自整定模糊控制器均能在小滞后的系统中实现良好的控温效

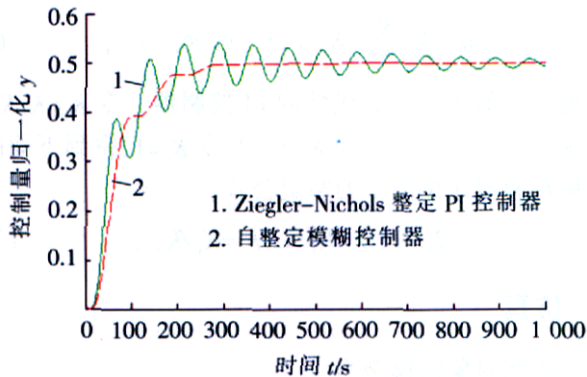


图 4 系统参数变化时的控制效果比较
Fig.4 Comparison between control effects with changed parameters

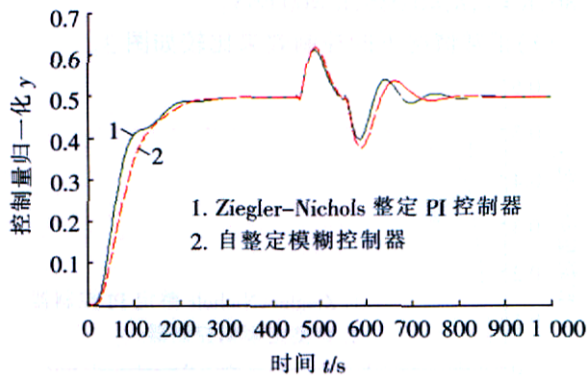


图 5 系统参数受到脉冲干扰时的控制效果比较
Fig.5 Comparison between control effects with pulse-type disturbance

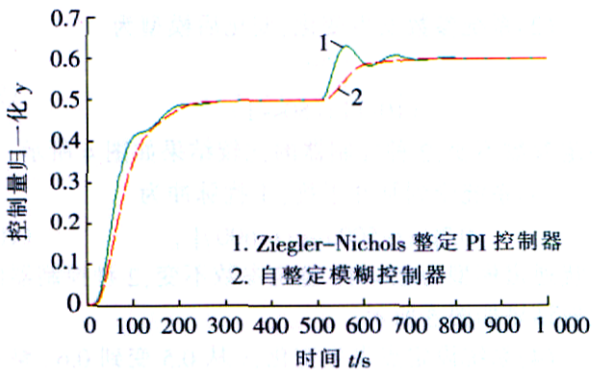


图 6 设定点发生变化时的控制效果比较
Fig.6 Comparison between control effects with changed set points

果;模糊控制器在大滞后系统中显示出更好的控制效果,但系统响应时间较长;

(3) 自整定模糊控制器对参数变化和负荷变化均具有良好的鲁棒性和适应性;

(4) 自整定模糊控制器会出现静态偏差,可以通过增加表 1 中 p 的分级数来加以改进。

Ziegler-Nichols 整定方法是基于近似的一阶系统,因此对于高阶或大滞后的系统并不能收到良好的控制效果。但本文提出的自整定模糊控制器对于上述预计中的情况确能保证良好的控制。从上述结果可以看出,本文提出的自整定模糊控制器拓展了 Ziegler-Nichols 整定方法的使用范围,尽管带有小的静态偏差,但对大多数控制系统能实现良好的控制效果。

3 结束语

本课题提出一种新的 PI 型模糊控制器,采用起停式整定技术获得系统特性,使用文中提出的整定公式在线整定出模糊控制器的量化因子和比例因子,与标准查询表相结合构成模糊控制器用于控制系统。该控制器的最大特点是依据不同的控制过程在线整定出固定的控制参数,方法简单。仿真结果表明该控制器具有良好的控制性能、鲁棒性好、对参数变化不敏感等特点。

参 考 文 献

- [1] Rajani K M. A self-tuning fuzzy PI controller. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 115: 327-338.
- [2] Alonge F. Method for designing PI-type fuzzy controllers for induction motor drives. IEE Proc-control Theory Appl, 2001, 148(1): 61-68.
- [3] Javier Aracil, Francisco Gordillo. Describing function method for stability analysis of PD and PI fuzzy controllers. Fuzzy Sets and Systems, 2004, 143:233-249.
- [4] Byung S M. Equivalence between fuzzy logic controllers and PI controllers for single input systems. Fuzzy Sets and Systems, 1995, 69: 105-113.
- [5] Lee J. On methods for improving performance of PI-type fuzzy logic controllers, IEEE Trans. Fuzzy Syst, 1993(1): 298-301.
- [6] Tong Bingyong. Fuzzy control theory and its application. Beijing: Tsinghua University Press, 2002. 50-54.
- [7] He Ping. The design and application of fuzzy controller. Beijing: Science Press, 1997. 278-280.
- [8] Xue Xinmin. Adaptive control system. Beijing: Tsinghua University Press, 2002. 151-161.

(责编 侧卫)