

# 基于 Matlab 的模糊 PID 控制系统设计及仿真

窦艳艳, 钱 蕾, 冯金龙

(南京高等职业技术学校 电气工程系, 江苏 南京 210019)

**摘 要** 模糊 PID 控制是利用 PID 参数整定经验来使模糊控制器自动整定其参数, 从而使 PID 控制器以变应变。文中采用 Matlab 软件设计模糊 PID 控制器, 并应用于控制锅炉液位。通过实验仿真比较研究 PID 控制、模糊控制及模糊 PID 控制的控制效果。实验结果显示, 模糊 PID 控制效果理想, 具有较好的应用前景。

**关键词** 模糊控制; PID 控制; Matlab 仿真; 锅炉液位

中图分类号 TP273<sup>+</sup>.4 文献标识码 A 文章编号 1007-7820(2015)02-119-04

## Design and Simulation of Fuzzy PID Control System Based on Matlab

DOU Yanyan, QIAN Lei, FENG Jinlong

(Department of Electrical Engineering, Nanjing Technical Vocational College, Nanjing 210019, China)

**Abstract** Fuzzy PID controllers automatically adjust the PID parameters by fuzzy controller based on PID parameters adjustment experience. The fuzzy PID controller designed by Matlab software is adopted in the paper to control the boiler level. The control effects by PID controller, fuzzy controller and fuzzy PID controller are compared by simulation experiment. The experimental results show that the fuzzy PID controller is significantly better than other methods.

**Keywords** fuzzy control; PID; Matlab simulation; boiler level

PID 控制作为经典控制至今仍被广泛应用, 面对精确数学模型时, PID 控制能取得令人满意的效果。但在实际应用中, 当被控对象数学模型变化时, 难以实时调整 PID 参数, 且大量被控过程机理复杂, 被控对象数学模型建立复杂, 其控制效果并不理想<sup>[1]</sup>。模糊控制拥有智能化的特点, 它不依赖对象的数学模型, 对受控对象的时滞、非线性和时变性具有一定的适应能力。然而模糊控制的精度受到控制规则的限制还始终存在静差<sup>[2]</sup>。模糊 PID 控制利用整定 PID 参数的经验来设计模糊控制器自动整定 PID 控制器的参数, 从而使 PID 控制器以变应变<sup>[3]</sup>。本文采用基于 Matlab 的模糊 PID 控制器控制锅炉液位, 通过实验仿真比较传统 PID 控制、模糊控制以及模糊 PID 控制的效果。

### 1 被控对象选择

被控对象选择经典的锅炉液位控制, 国内外的电热锅炉液位控制主要采用传统 PID 控制<sup>[4]</sup>。维持锅炉液位在预期正常范围内是锅炉系统安全运行的必要条件, 也是衡量锅炉汽水系统物质是否平衡的标志。由

文献[5]得到某汽包水位在给水量下的动态特性传递函数为

$$G(s) = \frac{3.75}{s(660s + 1)} \quad (1)$$

### 2 模糊 PID 控制器设计

自适应模糊 PID 控制器结构如图 1 所示, 其以常规 PID 控制为基础, 采用模糊推理的思想, 将被控量的偏差  $e$  和偏差变化率  $e_c$  作为二维模糊控制器的输入变量, PID 中  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  的变化值作为输出, 利用模糊控制规律在线整定 PID 各个参数, 其中模糊控制部分包括模糊化、模糊推理计算和解模糊化<sup>[6]</sup>。

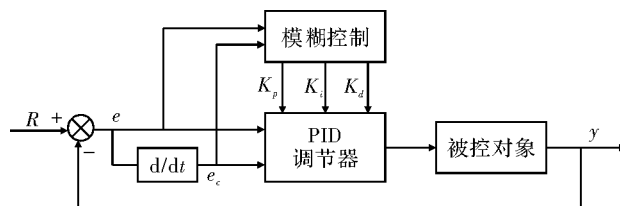


图1 模糊 PID 控制器结构

在锅炉液位模糊 PID 控制系统中, 模糊控制器采用二维的 Mamdani 控制器, 模糊控制决策采用 Max - Min, 解模糊采用重心法。

收稿日期: 2014-08-03

作者简介: 窦艳艳 (1988—), 女, 硕士, 助教。研究方向: 计算机应用, 图像处理。E-mail: douyanyand@163.com

## 2.1 确定输入输出变量

将偏差  $e$  和偏差变化率  $e_c$  作为模糊控制器的输入,  $PID$  控制器  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  的变化量作为输出。 $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  的调整公式为

$$\begin{cases} K_p = K'_p + \{e, e_c\} K_p = K'_p + \Delta K_p \\ K_i = K'_i + \{e, e_c\} K_i = K'_i + \Delta K_i \\ K_d = K'_d + \{e, e_c\} K_d = K'_d + \Delta K_d \end{cases} \quad (2)$$

式中  $K'_p$ 、 $K'_i$ 、 $K'_d$  是  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  的初始参数,其由常规方法得到。将{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB} 设置为输入变量  $e$  及  $e_c$ 、输出变量  $K_p$ 、 $K_i$  和  $K_d$  的模糊子集。输入变量  $e$  和  $e_c$  的量化论域均为  $[-6, 6]$  输出变量  $K_p$ 、 $K_i$  和  $K_d$  的基本论域和量化论域均定为  $[-3, 3]$ ,比例因子均为 1。三角形函数在论域范围内分布均匀,其灵敏度较高,将其选作系统的隶属度函数。

## 2.2 建立模糊控制规则

根据实际经验,参数  $K_p$ 、 $K_i$  和  $K_d$  在不同  $e$  和  $e_c$  下

表 1 参数  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  控制规则调整表

$e$	$e_c$						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PM/NM/NB	PS/NS/NB	ZO/ZO/NM	ZO/ZO/PS
NM	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PS/NS/NM	PS/NS/NM	ZO/ZO/NS	NS/PS/ZO
NS	PM/NB/ZO	PM/NM/NS	PM/NS/NM	PS/NS/NM	ZO/ZO/NS	NS/PM/NS	NS/PM/ZO
ZO	PM/NM/ZO	PM/NM/NS	PS/NS/NS	ZO/ZO/NS	NS/PS/NS	NM/PM/NS	NM/PM/ZO
PS	PS/NM/ZO	PS/NS/ZO	ZO/ZO/ZO	NS/PS/ZO	NS/PS/ZO	NM/PM/ZO	NM/PB/ZO
PM	PS/ZO/PB	ZO/ZO/PM	NS/PS/PM	NM/PS/PM	NM/PM/PS	NM/PB/PS	NB/PB/PB
PB	ZO/ZO/PB	ZO/ZO/PM	NM/PS/PM	NM/PM/PM	NM/PM/PS	NB/PB/PS	NB/PB/PB

将 Mamdani 型模糊控制规则写成 49 条 “if...then...” 语言的格式如下:

rule1: if ( E is NB) and ( EC is NB) then (  $\Delta K_p$  is PB) (  $\Delta K_i$  is NB) (  $\Delta K_d$  is PS)

⋮

rule49: if ( E is PB) and ( EC is PB) then (  $\Delta K_p$  is NB) (  $\Delta K_i$  is PB) (  $\Delta K_d$  is PB)

在线运行过程中,锅炉液位控制系统利用上述模糊控制规则完成对  $PID$  参数的在线自校正,不断检测  $e$  和  $e_c$ ,以最快速度找出  $PID$  三个参数与  $e$  和  $e_c$  的模糊关系,通过参数在线实时调整使模糊  $PID$  控制系统的响应速度、超调量、稳态误差都比单一的  $PID$  控制或模糊控制优越。

## 2.3 建立模糊推理系统

在 Matlab 环境中使用具有交互式图形界面的模糊推理系统编辑器和隶属函数编辑器。依照上述结果,选择输入输出模糊变量的论域范围、各语言变量的

自调整需满足如下调整原则<sup>[1]</sup>:

(1) 当误差  $|e|$  较大时,为使系统具有较好的快速跟踪性能,无论误差的变化趋势如何均应取较大的  $K_p$  和较小的  $K_d$ ,同时为避免系统响应出现较大超调,应对积分作用加以限制,取较小的  $K_i$  值。

(2) 当误差  $|e|$  处于中等大小时,为使系统响应具有较小的超调,  $K_p$  应取小些,同时为保证系统的响应速度,  $K_i$  和  $K_d$  大小要适中。其中  $K_d$  的取值对系统响应的影响较大。

(3) 当误差  $|e|$  较小时,为保证系统具有较好的稳态性能,  $K_p$  和  $K_i$  应取的大些,同时为避免系统在设定值附近出现振荡,并考虑系统的抗干扰性能,当  $|e_c|$  较小时  $K_d$  可取大些;当  $|e_c|$  较大时  $K_d$  应取小些。

在专家经验的基础上,通过仿真实验进行调整,可以归纳出模糊控制规则表如表 1 所示。

隶属函数形状等参数,解模糊方法选用默认的重心法,模糊推理系统中变量的定义和各变量隶属函数的设置完成后,界面如图 2 所示。

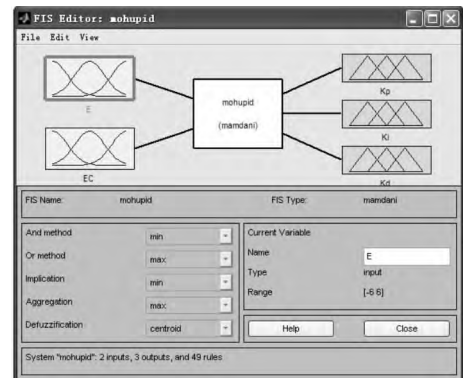


图 2 模糊推理系统

按表 1 所示在规则编辑器中输入控制规则,完成后模糊规则编辑器界面如图 3 所示。

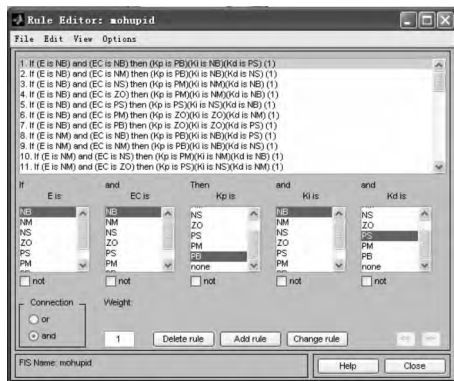


图3 模糊规则的确定与修改

### 3 模糊 PID 控制仿真及其比较研究

在本系统中,设定锅炉液位从 30 cm 升至 50 cm,量化因子  $K_e$  取 0.4,  $K_{ec}$  取 5,比例因子  $U_p$ ,  $U_i$  和  $U_d$  均取 1。根据经验, PID 参数初值  $K_p = 80$ ,  $K_i = 9$ ,  $K_d = 80$ 。为更好地显示模糊 PID 控制的控制效果,将其仿真模型同 PID 控制、模糊控制放在一起,如图 4 所示。

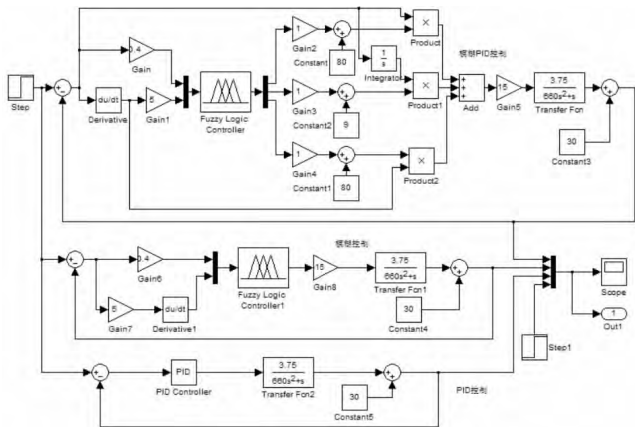


图4 3种控制方案仿真框图

仿真时间为 60 s 时,系统的阶跃响应输出曲线如图 5 所示。

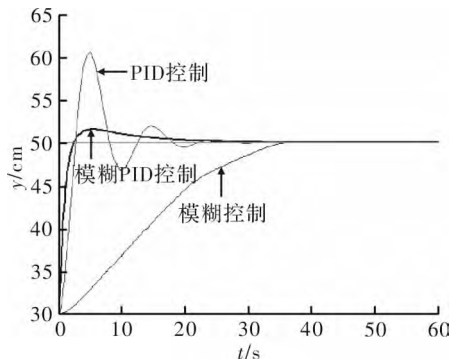


图5 锅炉液位控制系统仿真结果

由图 5 可得到 3 种不同控制方案的性能指标,如表 2 所示。

表2 锅炉液位控制系统 3 种控制方案的性能指标

控制方式	超调量 $\sigma\%$	上升时间 $t_r/s$	调节时间 $t_s/s$	静差
PID 控制	20%	2.5	30	无
模糊控制	0	35	35	有
模糊 PID 控制	4%	4	24	无

由此可见,模糊 PID 控制虽结构复杂,但控制效果的优势明显,超调量较小,上升时间短,系统响应速度快,调节时间短,稳态性能好,充分体现了模糊 PID 参数自整定的效果。

图 6 和图 7 是锅炉液位控制系统的数学模型参数改变后的单位阶跃响应输出仿真结果,以此研究模糊 PID 控制的鲁棒性。

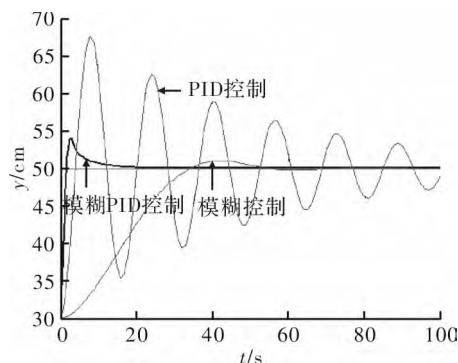


图6 锅炉液位控制系统仿真结果( $K = 1.5$ ,  $T = 800$ )

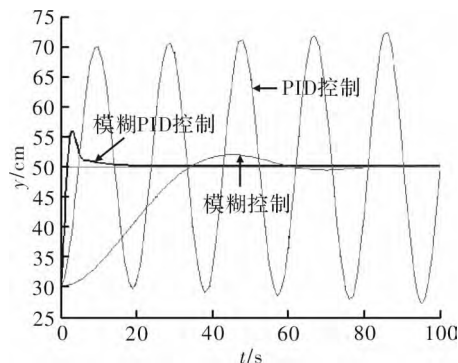


图7 锅炉液位控制系统仿真结果( $K = 1$ ,  $T = 760$ )

由图可见,在被控对象的数学模型参数变化后,模糊 PID 控制的控制效果最佳,其响应速度最快,超调量小,调节时间最短。

在实际工作环境中,锅炉液位控制系统不可避免地会受到各种扰动的影响。在仿真时间为 55 s 时,加入 50 阶跃响应扰动,系统响应曲线如图 8 所示。

由图 8 可见,模糊 PID 控制的抑制扰动性能最理想,受到 100% 的阶跃扰动时基本无影响。在仿真时间为 50 s 时加入 500 阶跃扰动时,实验发现模糊控制的静差较大,已失去实际意义,传统 PID 控制和模糊 PID 控制的响应曲线如图 9 所示。

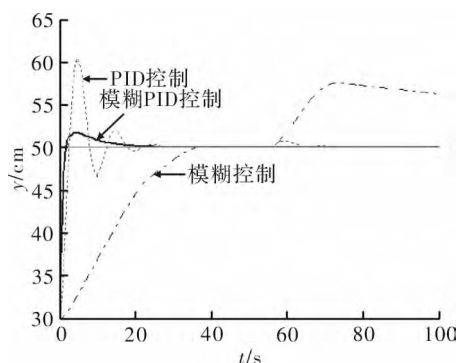


图8 锅炉液位控制系统抑制扰动仿真曲线

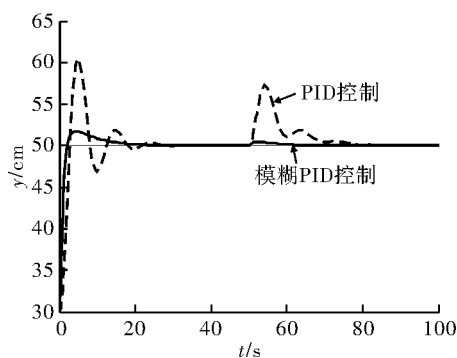


图9 锅炉液位控制系统抑制扰动仿真曲线

由图9可见,加入1 000%的阶跃扰动时,模糊PID控制系统不会受到过大影响,超调量为2%,不到20 s便可使系统输出值达到预期的理想值,鲁棒性好,而PID控制系统的超调量明显偏高,且调节时间偏长。一系列仿真实验验证了模糊PID控制的灵活性、适应性、鲁棒性等性能均较为理想。

## 4 结束语

模糊PID控制是在常规PID算法的基础上,通过计算当前系统误差 $e$ 和误差变化率 $e_c$ ,利用模糊推理系统查询模糊矩阵表进行参数调整,该方法实现简单、方便易用,对实际控制有重要指导意义。用模糊推理的方法在动态过程中改变PID的参数,能够发挥两种控制方式的优点,克服两者的缺点,提高控制质量。仿真结果表明,应用模糊PID控制方式对锅炉液位进行控制,适应力强,鲁棒性好,取得了令人满意的控制效果。

## 参考文献

- [1] 刘金琨. 先进PID控制的Matlab仿真[M]. 3版. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [2] 石辛民, 郝整清. 模糊控制及其Matlab仿真[M]. 4版. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [3] 李茜, 李彬, 朱雪丹. 模糊自整定PID控制器的设计与仿真[J]. 化工自动化及仪表, 2010, 37(3): 25-28.
- [4] 杨晓武, 李劲松, 李干荣, 等. 基于Matlab的锅炉液位模糊控制系统设计[J]. 化学工程与设备, 2014(1): 11-14.
- [5] 王红旗. 工业锅炉汽包水位智能控制器研究与设计[D]. 焦作: 河南理工大学, 2003.
- [6] 李东亮, 毋玉芝. 模糊自适应PID控制器在足球机器人中的应用[J]. 微计算机信息, 2008(24): 282-283.
- [7] 田琦, 李琪, 姚鹏, 等. 基于模糊PID的全方位移动机器人运动控制[J]. 电子科技, 2011, 24(9): 131-133, 139.
- [8] 范振瑞. 基于Matlab的PID温度控制系统设计[J]. 电子科技, 2013, 26(8): 164-167.

(上接第101页)

## 参考文献

- [1] Eric Bogatin. 信号完整性分析[M]. 李玉山, 李丽平, 译. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [2] Bryan K Casper, Matthew Haycock, Randy Mooney. An accurate and efficient analysis method for Multi-Gb/s chip-to-chip signaling schemes [C]. IEEE Conference Publications, VLSI Circuits Digest of Technical Papers, 2002: 54-57.
- [3] Lambrecht F, Huang C C, Fox M. Technique for determining performance characteristics of electronic systems [P]. USA: Patent 6775809, 2002.
- [4] Drabkin V, Houghton C, Kantorovich I, et al. A periodic resonant excitation of microprocessor power distribution systems and the reverse pulse technique [C]. IEEE Electrical Performance of Electronic Packaging Conference, 2002.
- [5] Shi Rui, Yu Wenjian, Cheng Chungkuan, et al. Efficient and accurate eye diagram prediction for high speed signaling [C]. IEEE/ACM International Conference, 2008.
- [6] Ren J, Oh D. Multiple edge responses for fast and accurate system simulations [J]. IEEE Transactions on Advanced Packaging, 2008, 31(4): 741-748.