

小型电加热反应器温度的模糊自适应整定PID控制

邹志云^{1,2*}, 赵丹丹¹, 郭宁¹, 刘建友¹, 于德弘², 桂新军¹

(1. 防化研究院, 北京, 102205; 2. 西安交通大学机械工程学院, 陕西, 西安, 710049)

摘要: 小型电加热反应器系统具有较大的纯滞后、惯性滞后、非线性和时变特性, 参数固定不变的普通PID控制器难以进行精确温控。通过把操作人员积累的PID参数整定经验知识总结成模糊规则, 利用模糊逻辑推理进行在线实时整定, 设计了电加热反应器温度模糊自适应整定PID控制算法。通过Matlab与组态软件“组态王”KINGVIEW的动态数据交换, 在Matlab上编程实现了模糊自适应整定PID控制算法。进行了一般情况下和具有较强非线性和时变特性情况下温度控制实验, 实验结果表明, 模糊自适应整定PID控制取得了比普通PID更好的控制结果, 模糊自适应整定PID控制对过程非线性和时变特性具有更强的适应性。

关键词: 模糊控制; PID自整定; 电加热反应器; Matlab; 组态王; 动态数据交换

中图分类号: TQ015.9; TP391.9; TP273; TP391.75

文献标识码: A

文章编号: 1001-4160(2009)08-1008-1012

1 引言

小型电加热反应器采用电热功率元件加热, 使用较方便, 是理化试验和精细化学品开发及生产中常用的1种设备。但由于电加热系统具有较大的纯滞后、非线性和惯性滞后, 而且化学反应过程特性复杂, 具有时变、非线性等难控特性, 故电加热反应器温度的控制具有较大的技术难度, 一般的PID控制器难以对其进行精确的控制^[1-2]。

文献[2]采用基于继电反馈的自整定PID控制器对小型电加热反应器温度进行了控制实验, 在温度设定值变化不大时可获得较好的控制结果。但在实际试验或生产时, 温度设定值常需按工艺要求做大范围变化, 这时由于电加热反应过程的非线性, 常需人工干预, 重新进行自整定, 耗时较长, 且对反应过程会产生干扰; 对电加热反应过程的时变特性及反应负荷的变化, 人工难以长期对过程特性进行监视和干预, 因此基于继电反馈的自整定PID控制器对时变特性难以有效克服。并且基于Ziegler-Nichols PID整定算法的继电反馈自整定算法^[3-6]对大滞后、非自衡系统也难以有效应用, 需要进行改进。

因此, 为了获得满意的控制效果, 就需要对PID参数不断地进行在线自适应调整。由于PID参数的调整没有确定不变的数学模型和规律可循, 把操作人员长期实践积累的成功经验知识整理总结成模糊控制规则, 利用模糊控制器进行逻辑推理, 是进行PID参数在线自适应调整的1种实用、简便、可行的选择。已有多篇应用Matlab的模糊工具箱成功进行PID参数模糊自适应调整仿真试

验的报道^[7-14], 但进行实验和实际应用验证的研究报道还较少。

对小型电加热反应器等精细化工生产过程, 常在工控机上用组态软件进行数据采集和过程监控, 由于组态软件的命令语言难以进行复杂的模糊推理运算, 因此需要应用动态数据交换(dynamic data exchange, DDE)等方法实现组态软件与Matlab等大型科学计算软件的实时数据通讯^[15-18], 把组态软件采集的实时数据送到Matlab中, 用Matlab进行PID参数的模糊自适应整定, 实现小型电加热反应器的模糊自适应整定PID控制。

2 小功率电加热反应器简介

理化试验和精细化工产品开发生产中常用的小功率电加热间歇反应实验装置的系统组成见图1。反应原料1次性加入玻璃三口瓶反应器中, 用单相电热套加热, 上升尾气经回流冷凝器冷却回流, 进行化学反应。其控制系统使用PC总线工业控制计算机为上位机和FP93等数字调节器作为基础控制器, 以及PAC15单相调压板组成自动控制系统来实现对反应温度的控制。

整套反应实验装置加热温控的工作原理如下: 铂热电阻(分度号: Pt100)测量到加热温度后, 将该温度信号送至FP93等基础控制器, 经基础控制器进行采集后, 通过RS485/RS232转换器送到上位工业PC机IPC610中组态软件KINGVIEW(组态王)进行显示、记录, KINGVIEW再用DDE方法送至Matlab进行模糊自适应整定PID控制运算, 运算后输出值用DDE送至

收稿日期: 2009-06-01; 修回日期: 2009-07-16

基金资助: 国家留学基金资助项目(21302095)。

作者简介: 邹志云(1965—), 男, 江西瑞金人, 博士, 研究员, 博导, 过程控制专业。

联系人: 邹志云 E-mail: zouzhiyun@sohu.com

KINGVIEW, 遥控 FP93 输出(4~20) mA 的电流信号。该电流信号经单相调压板 PAC15 和双向可控硅 MTC 调节加热电压。温度低于设定温度时加大加热电压, 温度高时降低加热电压, 使加热温度保持恒定。

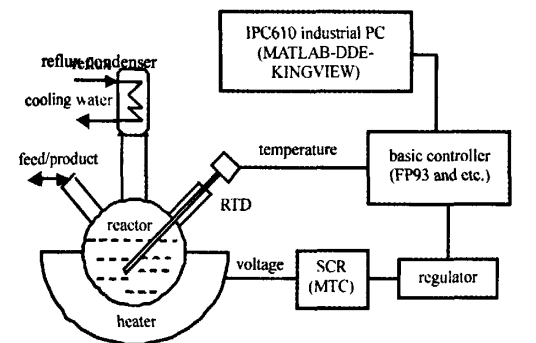


Fig.1 Schematic diagram of the small electric-heating reactor and its control system.

图1 小型电加热反应器及其控制系统示意图

3 模糊自适应整定 PID 控制算法

设计的小型电加热反应器温度模糊自适应整定 PID 控制器的工作原理见图 2。其以控制偏差 e 和偏差变化率 ec 作为输入, 在模糊整定算法中利用 PID 参数模糊整定规则, 在线对 PID 参数进行修改, 送至增量式 PID 控制器进行控制运算, 实现对电加热反应器温度的模糊自适应整定 PID 控制。

增量式 PID 控制器的输出计算式为:

$$u(k) = u(k-1) + k_p[e(k) - e(k-1)] + k_i e(k) + k_d[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$$

(1)

式(1)中: k 为采样时刻, u 为控制输出, e 为设定值与测量值的偏差, k_p 为比例系数, k_i 为积分作用系数, k_d 为微分作用系数。

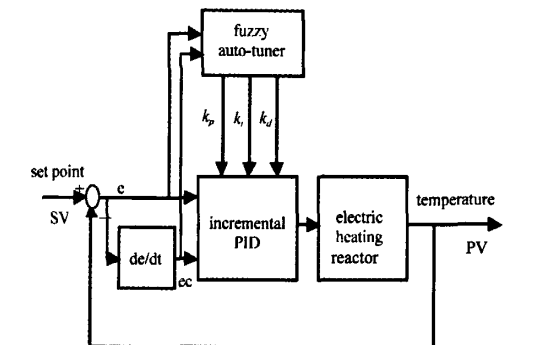


Fig.2 The structure diagram of the fuzzy auto-tuning PID controller.

图2 模糊自适应整定 PID 控制器原理框图

PID 参数模糊自适应整定是找出 PID 3 个参数与 e 和 ec 之间的模糊关系, 在控制系统运行中循环计算 e 和

ec , 根据模糊控制原理对 k_p 、 k_i 和 k_d 3 个参数进行在线修改, 满足不同 e 和 ec 时对控制参数的不同要求, 使被控对象具有良好的动态、静态性能。整定时应从系统稳定性、响应速度、超调量和稳态精度等各方面综合考虑 k_p 、 k_i 和 k_d 3 个参数的作用。比例系数 k_p 的作用是加快系统的响应速度, 提高系统的调节精度; 积分作用系数 k_i 的作用为消除系统的稳态误差; 微分作用系数 k_d 的作用是改善系统的动态特性^[7]。

总结人工整定经验, 结合操作历史数据处理和理论分析结果, 可归纳出 e 和 ec 与 k_p 、 k_i 和 k_d 3 个参数间存在如下关系^[8-9]:

(1) 当 $|e(k)|$ 较大时, 为加快系统响应速度, 应取较大的 k_p , 这样可使系统的时间常数和阻尼系数减小。当然不得过大, 否则会导致系统不稳定; 为避免系统在开始时可能引起的超范围控制作用, 应取较小的 k_d , 以便加快系统响应; 为避免出现较大的超调, 可去掉积分作用。

(2) 当 $|e(k)|$ 处于中等大小时, 应取较小的 k_p , 使系统响应的超调稍小一点; 此时 k_d 的取值对系统较为关键, 为保证系统的响应速度, k_d 的取值要恰当; 此时可适当增加一点 k_i , 但不得过大。

(3) 当 $|e(k)|$ 较小时, 为使系统具有良好的稳态性能, 可取较大的 k_p 和 k_i , 为避免系统在平衡点出现振荡, k_d 的取值要恰当。

基于以上总结出的输入变量 e 和 3 个参数 k_p 、 k_i 和 k_d 的定性关系, 结合工程人员的分析和实际整定经验, 考虑偏差变化率 ec 的影响, 可综合设计出调节 k_p 、 k_i 和 k_d 3 个参数的模糊规则, 其中比例系数 k_p 的整定规则见表 1。

表1 k_p 整定模糊规则表
Table 1 The fuzzy tuning rule of k_p

$\begin{matrix} ec \\ \Delta k_p \end{matrix}$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO

4 模糊自适应整定 PID 控制的实现

根据操作人员对小型电加热反应器温度控制的操作经验, 将温度控制偏差 e 、偏差变化率 ec 、PID 控制器的 k_p 、 k_i 和 k_d 3 个参数的变化范围 Δk_p 、 Δk_i 和 Δk_d 定义为模糊集上的论域:

$e, ec = \{-6, -4, -2, 0, 2, 4, 6\}$; $\Delta k_p = \{-30, -20, -10, 0, 10, 20, 30\}$;
 $\Delta k_i = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$; $\Delta k_d = \{-0.6, -0.4, -0.2, 0, 0.2, 0.4, 0.6\}$

其模糊子集为{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}, 子集中元素分别代表负大(NB)、负中(NM)、负小(NS)、零(ZO)、正小(PS)、正中(PM)和正大(PB)。设 e 、 ec 、 k_p 、 k_i 和 k_d 均服从正态分布, 设置它们的隶属函数分别为Z型zmf(NB)、三角形trimf(NM、NS、ZO、PS、PM)、S型smf(PB)。

根据各模糊子集的隶属度赋值表和各参数模糊控制规则及模型, 使用Matlab中模糊控制仿真工具箱fuzzy建立和生成的PID参数自整定Mamdani型模糊推理系统fuzzpid1, 包括2个输入(e 、 ec)、3个输出(Δk_p 、 Δk_i 和 Δk_d)和49条模糊推理规则。

在Matlab中实现该模糊自整定PID控制算法时, 需先在组态软件KINGVIEW^[19]中定义好Matlab需要用到的DDE传送的过程变量(连接设备、寄存器), 包括经FP93调节器采集的PV温度测量值(FP93.Data0100)、设置的设定值SV(FP93.Data0101)和遥控输出的调压板控制输出值MV(FP93.Data0102、FP93.Data0182)等。用Matlab内置的M语言^[20]编写了主程序Ini_FPID1.m和模糊自整定PID控制子程序fuzzyPID1.m。主程序Ini_FPID1.m通过ddeinit('VIEW', 'TAGNAME')命令进行Matlab和KINGVIEW DDE通讯的初始化, 使用rc1=ddeadv(channel, 'FP93.Data0100', 'fuzzyPID1(x)', 'x')等命令建立Matlab和KINGVIEW的DDE热链接, 当PV温度测量值有变化时, Ini_FPID1.m自动启动子程序fuzzyPID1.m应用模糊推理设计PID参数的模糊矩阵表, 通过对模糊逻辑规则的结果处理、查表和运算, 进行PID参数的模糊自适应整定, 并用以下算式计算 k_p 、 k_i 和 k_d 的整定值:

$$k_p = k_{p0} + \Delta k_p, \quad k_i = k_{i0} + \Delta k_i, \quad k_d = k_{d0} + \Delta k_d \quad (2)$$

然后, fuzzyPID1.m用式(2)计算得到的新的 k_p 、 k_i 和 k_d 的整定值, 按式(1)增量PID控制算法计算控制输出值, 使用ddepoke(channel, 'FP93.Data0182', 'u1')等命令输出加热电压调节信号, 实现对电加热反应器温度的模糊自适应整定PID控制。

fuzzyPID1.m程序的主要工作流程为: 定义全局变量、创建PID参数模糊自整定系统fuzzpid1、Matlab与KingVIEW DDE通讯初始化; 判断Matlab与KingVIEW DDE通讯是否成功, 如不成功则显示“DDE通讯失败”; 如成功, 则从KingVIEW获取PV、SV等参数; 计算 e 、 ec ; 调用fuzzpid1整定PID参数; 用增量PID算式计算控制输出; 输出限幅; 输出控制作用; 绘制过程变量曲线图; 存储过程数据文件; 终止DDE通讯。

5 温度控制实验结果

为了验证以上设计的模糊自整定PID控制器(fuzzy auto-tuning PID, FA-PID)的有效性, 在1套电热功率为500W、容积为5L的3口瓶反应装置上进行了温度控制实验, 包括一般的设定值(SV)跟踪控制实验和定值控制实验, 以及温度设定值大范围变化时FA-PID对过程非线性和时变性的适应性控制实验, 对FA-PID和普通PID的控制结果进行了比较。

5.1 一般控制实验

图3给出了设定值SV=54℃的FA-PID和普通PID给定值跟踪响应曲线, 普通PID采用的PID参数为由FP93调节器1次整定获得的: $k_p=40$; $k_i=7.5$; $k_d=1.5$ 。从图3可见, FA-PID给定值跟踪更快速, 过渡过程响应时间短, FA-PID超调2.9℃比PID超调5.1℃要小很多, 最后FA-PID无余差, 而PID还有约0.4℃的余差。图4给出了SV=54℃给定值跟踪响应时比例系数 k_p 的模糊自适应整定曲线, 可见 k_p 随着电加热反应过程工况及负荷等的变化, 自动调整 k_p 值, 最终稳定收敛, 这使FA-PID控制稳定, 能有较小的超调、无控制余差。其他多次给定值跟踪和定值控制等实验结果也表明, FA-PID控制结果明显优于普通PID。

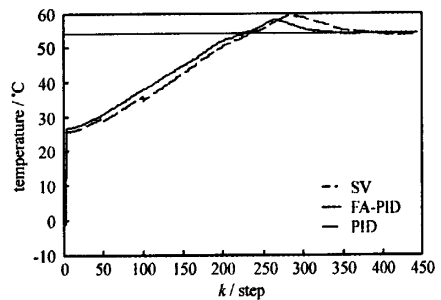


Fig.3 The set point tracking curves of FA-PID and PID.

图3 FA-PID 和 PID 给定值跟踪响应曲线

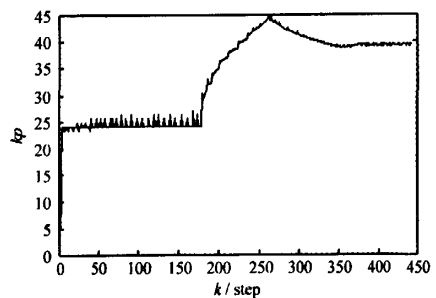


Fig.4 The fuzzy auto-tuning curve of k_p .

图4 k_p 模糊自适应整定曲线

5.2 对过程非线性和时变性的适应性控制实验

为了考察 FA-PID 对电加热反应器非线性和时变性

的适应性, 按照反应工艺曲线升温要求, 让反应器内温设定值按图 5 折线从 20℃ 分 6 步升温至 80℃。

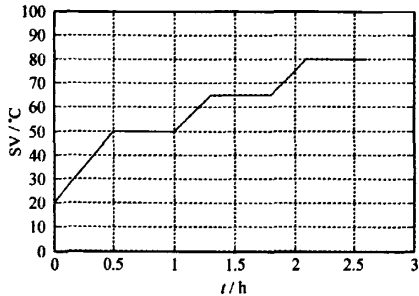


Fig.5 The set point curve of adaptability controlling test.
图 5 适应性控制时的给定值曲线

6 步中有 3 段温度上升步: (0~0.5) h、(1.0~1.3) h 和 (1.8~2.1) h, 有 3 段保温平台步: (0.5~1.0) h、(1.3~1.8) h 和 (2.1~2.6) h。因为电加热反应器内温的大范围变化, 会引起反应过程特性包括过程增益和惯性滞后时间常数等的大变化, 因此这时过程体现出较强的非线性和时变性, 这时可对 FA-PID 的适应性做出较好的测试。分别用 FA-PID 和普通 PID 按图 5 给定值曲线要求对小型电加热反应器进行温控实验, 得到的控制结果见表 2。

表 2 适应性控制实验结果
Table 2 The results of adaptability controlling test.

步 号 step	时间/h time/h	设定值 /℃ SV/℃	上升步最大跟 踪误差/℃ maximum tracking error at ascending step/℃		平台步最大 控制误差/℃ maximum control error at flat step/℃	
			FA-PI D	PID	FA-PID	PID
1	0~0.5	20~50	2.8	5.2		
2	0.5~1.0	50			0.4	1.3
3	1.0~1.3	50~65	2.0	3.7		
4	1.3~1.8	65			0.4	1.1
5	1.8~2.1	65~80	1.8	2.6		
6	2.1~2.6	80			0.4	0.9

从表 2 可见, FA-PID 的上升步跟踪误差和平台步控制误差都远远小于普通 PID。实验中发现, FA-PID 能针对过程非线性和时变性, 通过模糊自适应整定对 k_p 、 k_i 和 k_d 做出相应调整, 取得较高的控制精度; 而普通 PID 参数固定不变, 不能较好地适应过程特性变化, 控制误差较大。

6 结论

电加热反应器温度控制实验结果表明, 本文设计和实现的模糊自适应 PID 控制器 (FA-PID) 的温度控制回

路运行稳定, 整定的 k_p 、 k_i 和 k_d 的参数值在工况稳定时能有效收敛, 其温度控制精度要明显优于普通 PID 控制器, 响应速度快、超调小、无余差。当反应器温度给定值大范围变化, 过程体现较强非线性和时变性时, FA-PID 也能得到较好控制结果, 其上升步跟踪误差和平台步控制误差都远远小于普通 PID。这是因为模糊自适应 PID 控制器通过在线实时调整 PID 参数值, 能有效适应电加热反应过程的非线性、时变性等动态特性和动态工况变化。而普通 PID 采用的 PID 参数固定不变, 不能较好地适应过程动态特性和工况的变化, 温度控制精度较差。

References:

1 Zhao D D, Zou Z Y, Han D W, et al. Design of electric heating temperature control system using programmable logic controller and industrial Ethernet. Computers and Applied Chemistry, 2006, 23(11):1166-1168.

2 Zhao D D, Zou Z Y, Han D W, and Feng W Q. Auto-tuning and program temperature control of electric heating water bath test rig. Journal of Zhejiang University(Engineering Science), 2007, 41 (Suppl) :130-133.

3 Hang C C, Astrom K J, and Wang Q G. Relay feedback auto-tuning of process controllers—a tutorial review. Journal of Process Control, 2002, 12(1):143-162.

4 Astrom K J and Hagglund T. Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margins. Automatica, 1984, 20(5):645-651.

5 Yu C C. Autotuning of PID controllers. London:Springer, 1999.

6 Astrom K J and Hagglund T. PID Controllers. 2ed. New York:ISA, 1995.

7 Liu J K. MATLAB Simulation of Advanced PID Control. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006.

8 Shi X M and Hao Z Q. Fuzzy Control and its MATLAB Simulation. Beijing:Tsinghua University Press, 2008.

9 Xi A M. Fuzzy Control Technology. Xian:Xian Electronics Science and Technology University Press, 2008.

10 Sun Z J, Xing R T, Zhao C S, and Huang W Q. Fuzzy auto-tuning PID control of multiple joint robot driven by ultrasonic motors. Ultrasonics, 2007, 46(2):303-312.

11 Blanchett T P, Kember G C and Dubay R. PID gain scheduling using fuzzy logic. ISA Transactions, 2000, 39(4):317-325.

12 Kim D Y and Seong P H. Fuzzy gain scheduling of velocity PI controller with intelligent learning algorithm for reactor control. Ann Nucl Energy, 1997, 24(10):819-827.

13 Kovacic Z and Bogdan S. Fuzzy Controller Design, Theory and Applications. NJ:Taylor & Francis, CRC Press, 2006.

14 Li H X and Tso S K. A fuzzy PLC with gain-scheduling control resolution for a thermal process:a case study. Control Engineering Practice, 1999, 7(4):523-529.

- 15 Huo H, Bi X H, Xu X W and Zhao W. Establishment of predictive control experiment platform based on Matlab and "KingView". Automation Information, 2009, 9(1-2):39-40,51.
- 16 Hu D B, Hu J H and Wu F. Realization of control software based on KINGVIEW and MATLAB. Journal of Wuhan University of Technology, 2005, 29(2):234-237.
- 17 Xu J H, Sun R and Shao H H. Simulation software of PID self-tuning based on Kingview, Excel and Matlab. Computer Engineering, 2003, 29(3):27-29.
- 18 Cui H, Pang Z H and Liu J. Real-time monitoring system based on KINGVIEW and MATLAB. Journal of Qingdao University of Science and Technology, 2005, 26(2):173-176.
- 19 Beijing Asiacontrol Technology Development Co. Ltd. Operation manual of KINGVIEW 6.5. Beijing:Asiacontrol Co. Ltd., 2005.
- 20 Zhang Z Y and Xu Y Q. MATLAB tutorial—based on 6.X edition. Beijing:Beijing University of Aviation and Aerospace, 2005.
- 21 霍浩, 毕效辉, 徐晓伟, 赵伟. 基于 Matlab 和“组态王”的预测控制实验平台的建立[J]. 自动化信息, 2009, 9(1-2):39-40,51.
- 22 胡大斌, 胡锦晖, 吴峰. 基于组态王与 MATLAB 的监控软件实现[J]. 武汉理工大学学报 (交通科学与工程版), 2005, 29(2):234-237.
- 23 徐江华, 孙荣, 邵惠鹤. 基于组态王、Excel 和 Matlab 的 PID 自整定仿真软件[J]. 计算机工程, 2003, 29(3):27-29.
- 24 崔红, 庞中华, 刘军. 基于组态王 6.0 和 MATLAB 的实时监控系統[J]. 青岛科技大学学报, 2005, 26(2):173-176.
- 25 北京亚控科技发展有限公司. 组态王 KINGVIEW 6.5 使用手册 [C]. 2005.
- 26 张志涌, 徐彦琴. MATLAB 教程——基于 6.X 版本[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2005.

中文参考文献

- 1 赵丹丹, 邹志云, 韩大伟, 等. 基于可编程控制器和工业以太网的电加热温控系统设计[J]. 计算机与应用化学, 2006, 23(11):1166-1168.
- 2 赵丹丹, 邹志云, 韩大伟, 冯文强. 电加热水浴实验装置的自整

Fuzzy auto-tuning PID control of the temperature of a small electric-heating reactor

Zou Zhiyun^{1,2*}, Zhao Dandan¹, Guo Ning¹, Liu Jianyou¹, Yu Dehong² and Gui Xinjun¹

(1. Research Institute of Chemical Defense, Beijing, 102205, China; 2. School of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xian, 710049, Shanxi, China)

Abstract: Small electric-heating reactors are widely used in chemical experiments, fine and special chemical production processes. Because of their large time-delay, strong nonlinearity and time-varying properties, they are difficult to control accurately using the ordinary PID controller with fixed PID parameters. By summarizing the PID tuning experience and knowledge of human operators into fuzzy tuning rules, a fuzzy auto-tuning PID (FA-PID) control algorithm was developed for the temperature control of a small electric-heating reactor using the fuzzy logical inference to tune PID parameters real-time on-line. The FA-PID control algorithm was successfully implemented in Matlab software using its M programming language, and integrated tightly with configuration software KINGVIEW through their dynamic data exchange (DDE) channel. The FA-PID control system was applied to the temperature control experiments of a small electric-heating reactor with strong nonlinear and time-varying properties, and it achieved much better control performance than the ordinary PID controller. It demonstrates that FA-PID has good adaptability to process changes.

Keywords: Fuzzy control, PID auto-tuning, Electric-heating Reactor, Matlab, KINGVIEW, DDE

(Received: 2009-06-01; Revised: 2009-07-16)

作者: 邹志云, 赵丹丹, 郭宁, 刘建友, 于德弘, 桂新军, Zou Zhiyun, Zhao Dandan, Guo Ning, Liu Jianyou, Yu Dehong, Gui Xinjun

作者单位: 邹志云, Zou Zhiyun(防化研究院, 北京, 102205; 西安交通大学机械工程学院, 陕西, 西安, 710049), 赵丹丹, 郭宁, 刘建友, 桂新军, Zhao Dandan, Guo Ning, Liu Jianyou, Gui Xinjun(防化研究院, 北京, 102205), 于德弘, Yu Dehong(西安交通大学机械工程学院, 陕西, 西安, 710049)

刊名: 计算机与应用化学 **ISTIC PKU**

英文刊名: COMPUTERS AND APPLIED CHEMISTRY

年, 卷(期): 2009, 26(8)

参考文献(31条)

1. Zhao D D; Zou Z Y; Han D W Design of electric heating temperature control system using programmable logic controller and industrial Ethernet[期刊论文]-Computers and Applied Chemistry 2006(11)
2. Zhao D D; Zou Z Y; Hart D W; Feng W Q Auto-tuning and program temperature control of electric heating water bath test rig 2007(zk)
3. Hang C C; Astrom K J; Wang Q G Relay feedback auto-tuning of process controllers—a tutorial review [外文期刊] 2002(01)
4. Astrom K J; Hagglund T Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margins 1984(05)
5. Yu C C Autotuning of PID controllers 1999
6. Astrom K J; Hagglund T PID Controllers 1995
7. Liu J K MATLAB Simulation of Advanced PID Control 2006
8. Shi X M; Hao Z Q Fuzzy Control and its MATLAB Simulation 2008
9. Xi A M Fuzzy Control Technology 2008
10. Sun Z J; Xing R T; Zhao C S; Huang W Q Fuzzy auto-tuning PID control of multiple joint robot driven by ultrasonic motors[外文期刊] 2007(02)
11. Blanchett T P; Kember G C; Dubay R PID gain scheduling using fuzzy logic[外文期刊] 2000(04)
12. Kim D Y; Seong P H Fuzzy gain scheduling of velocity PI controller with intelligent learning algorithm for reactor control 1997(10)
13. Kovacic Z; Bogdan S Fuzzy Controller Design, Theory and Applications 2006
14. Li H X; Tso S K A fuzzy PLC with gain-scheduling control resolution for a thermal process: a case study[外文期刊] 1999(04)
15. Huo H; Bi X H; Xu X W; Zhao W Establishment of predictive control experiment platform based on Matlab and "KingView" 2009(1-2)
16. Hu D B; Hu J H; Wu F Realization of control software based on KINGVIEW and MatLAB[期刊论文]-武汉大学学报 2005(02)
17. Xu J H; Sun R; Shao H H Simulation software of PID self-tuning based on Kingview, Excel and Matlab[期刊论文]-Computer Engineering 2003(03)
18. Cui H; Pang Z H; Liu J Real-time monitoring system based on KINGVIEW and MATLAB[期刊论文]-Journal of Qingdao University of Science and Technology 2005(02)

19. [Beijing Asiacontrol Technology Development Co Ltd Operation manual of KINGVIEW 6.5](#) 2005
20. [Zhang Z Y;Xu Y Q MATLAB tutorial-based](#) 2005
21. [赵丹丹;邹志云;韩大伟 基于可编程控制器和工业以太网的电加热温控系统设计](#)[期刊论文]-[计算机与应用化学](#) 2006(11)
22. [赵丹丹;邹志云;韩大伟;冯文强 电加热水浴实验装置的自整定程序温度控制](#) 2007(zk)
23. [刘金琨 先进PID控制MATLAB仿真](#) 2006
24. [石辛民;郝整清 模糊控制及其MATLAB仿真](#) 2008
25. [席爱民 模糊控制技术](#) 2008
26. [霍浩;毕效辉;徐晓伟;赵伟 基于Matlab和“组态王”的预测控制实验平台的建立](#) 2009(1-2)
27. [胡大斌;胡锦涛;吴峰 基于组态王与MATLAB的监控软件实现](#)[期刊论文]-[武汉理工大学学报\(交通科学与工程版\)](#) 2005(02)
28. [徐江华;孙荣;邵惠鹤 基于组态王、Excel和Matlab的PID自整定仿真软件](#)[期刊论文]-[计算机工程](#) 2003(03)
29. [崔红;庞中华;刘军 基于组态王6.0和MATLAB的实时监控系統](#)[期刊论文]-[青岛科技大学学报\(自然科学版\)](#) 2005(02)
30. [北京亚控科技发展有限公司 组态王KINGVIEW 6.5使用手册](#) 2005
31. [张志涌;徐彦琴 MATLAB教程—基于](#) 2005

本文读者也读过(1条)

1. [何继爱. 田亚菲 模糊自适应整定PID控制及其仿真](#)[期刊论文]-[甘肃科学学报](#)2004, 16(1)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jsjyyyhx200908011.aspx