

文章编号:1671-6833(2010)06-0108-04

基于 PIC 单片机的渗碳炉模糊 PID 温度控制系统

刘景艳,张素妍,郭顺京

(河南理工大学 电气工程与自动化学院,河南 焦作 454000)

摘 要: 由于渗碳炉温度控制系统具有大惯性、纯滞后和时变性大等特点,采用常规的 PID 控制器存在着控制精度低、超调量大等缺点.设计了一种基于 PIC 单片机的模糊 PID 控制器,应用于渗碳炉温度控制系统中.通过模糊推理求解 PID 参数的变化量,对 PID 参数进行自动整定,从而使控制器具备更强的自适应能力,最后采用 Matlab 软件进行了仿真.仿真结果表明,该系统既可保持 PID 控制器良好的稳态响应特性,又具有模糊控制灵活和响应快的优点,使系统能有效抑制纯滞后的影响,并具有较高的控制精度和较好的鲁棒性.

关键词: PIC 单片机;渗碳炉;模糊 PID 控制

中图分类号: TP273

文献标识码: A

0 引言

渗碳炉作为一种重要的热加工设备,已经在冶金、化工、机械等各类工业控制中得到了广泛的应用.其温度控制具有非线性、大滞后和时变等特点,很难用数学方法建立精确的数学模型,因此采用常规的 PID 控制器很难达到好的控制效果.近年来,模糊控制技术在渗碳炉温度控制系统中得到了广泛的应用^[1].但在实际应用中,很难正确选取模糊变量的隶属函数,模糊控制规则的形成带有一定的主观性,从而影响了模糊控制的效果.针对以上问题,设计了一种以 PIC16F877 单片机为核心的温度控制系统,采用模糊 PID 控制方法,模糊推理的结果作为 PID 控制器参数的调整量, PID 控制器随着系统的误差和误差变化的情况而采用不同的参数进行计算,实现了 PID 控制器的自调整,从而改善了系统的调节特性,使渗碳炉温度控制系统具有控制灵活、适应性强的优点,而且具有较好的动态性能和较强的鲁棒性.

1 温度控制系统的硬件组成

系统的硬件电路原理图如图 1 所示.本系统采用美国 Microchip 公司生产的 PIC16F877 单片机为核心,由温度测量电路、A/D 转换电路、复位电路、键盘控制驱动电路、双向晶闸管触发电路和报警电路等组成^[2-3].

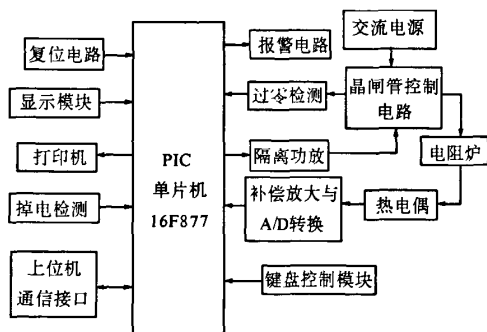


图 1 温度控制系统硬件电路原理图

Fig.1 The hardware circuit principle diagram of the temperature control system

该温度控制系统的被控对象是渗碳炉,被控参数为炉内温度,采用单闭环控制.用热电偶检测渗碳炉内的实际温度,热电偶输出的电信号经变送器、A/D 转换电路送入模糊自适应 PID 控制器,根据模糊自适应 PID 控制器运算结果,单片机通过 I/O 口去改变控制脉冲宽度,从而改变双向晶闸管在一个固定的控制周期内的导通时间,即改变电阻炉的平均输入功率,以达到控制温度的目的.

1.1 温度检测电路

选用镍铬-镍硅热电偶作为温度传感器,它测温范围适中,线性度较好,价格较便宜,输出热电势较大,便于测量放大器选型.热电偶冷端补偿

收稿日期:2010-05-17;修订日期:2010-07-19

作者简介:刘景艳(1980-),女,河南焦作人,河南理工大学讲师,研究方向为智能控制与虚拟仪器, E-mail:liujy_eeec@126.com.

采用集成温度传感器 AD590,流过 AD590 的电流 $I_e = 273 \mu A + \theta_0 \text{ } ^\circ C \times 1 \mu A / ^\circ C$, $\theta_0 (^\circ C)$ 为室温. 这种测量冷端温度准确,克服了常规方法补偿误差大和不便的缺点. 温度检测电路如图 2 所示^[4].

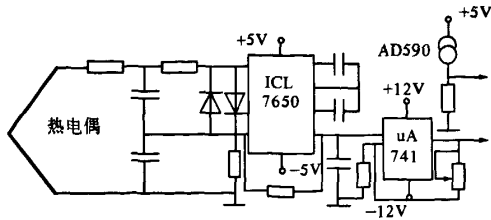


图 2 温度检测电路

Fig. 2 The temperature detecting circuit

1.2 数据显示与报警

数据显示采用 MAX7219 驱动 4 个七段 LED 数码管实现,上下限报警用 2 个红色亮度 LED 指示灯. MAX7219 是美国 MAXIM 公司推出的多功能串行 LED 显示驱动芯片. 它能驱动 8 位七段数码管与 64 个独立的 LED. 采用 3 线串行接口传输数据,可方便地与单片机连接. 显示与报警电路如图 3 所示^[5-7].

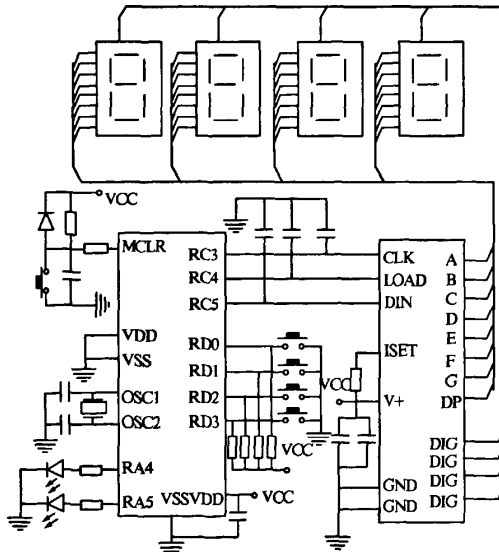


图 3 显示与报警电路

Fig. 3 The display and alarm circuit

1.3 键盘接口

当前使用的键盘一般采用机械式触点. 在实际应用中键盘上的电压有时会出现瞬间的电平波动而并非有键按下,必须采用有效的按键去抖动措施. 本系统采用软件防抖措施,通过软件延时来消除抖动. 即在检测到有按键按下时,执行一个

10 ms 的延时子程序,然后再判断与按键相应的电平信号是否仍然保持在闭合状态,如果是,即确认为有按键按下^[6-7].

2 模糊 PID 控制器的设计

模糊 PID 控制器的输入为系统的误差 e 和系统误差的变化率 ec ,输出为 PID 3 个参数的调整量,输出变量经过解模糊得到调整量的精确值. 这样 PID 控制器就随着系统的误差和误差变化的情况而采用不同的参数进行计算,实现了 PID 控制器的自调整. 模糊 PID 控制器的原理如图 4 所示^[8].

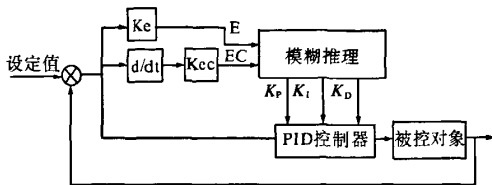


图 4 模糊自适应 PID 控制器原理图

Fig. 4 Principle diagram of the fuzzy self-adaptive PID controller

2.1 确定输入输出变量

模糊推理系统为 2×3 的 Mamdani 推理系统,选取渗碳炉温度偏差的大小 e ,以及温度偏差变化率 ec 作为控制器的输入变量,以 PID 控制器的参数 k_p, k_i, k_d 为输出变量.

2.2 变量的模糊化和隶属函数的确定

设偏差 e 的语言变量为 E ,偏差变化率 ec 的语言变量为 EC ,输出 k_p, k_i, k_d 的语言变量分别为 K_p, K_i 和 K_d . 将输入输出变量的变化范围均划分为 13 个等级,各模糊变量可用正大 (PB)、正中 (PM)、正小 (PS)、一致 (ZE)、负小 (NS)、负中 (NM) 和负大 (NB) 来表示,输入输出变量的隶属度函数均选用灵敏度较高的三角形函数,其隶属度函数分别如图 5、图 6 所示.

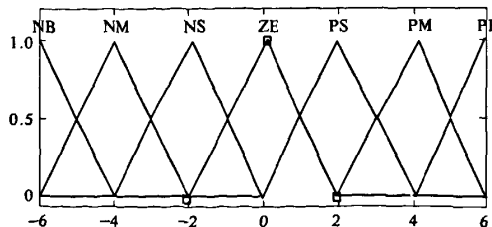


图 5 输入变量的隶属函数

Fig. 5 Membership function curve of input variables

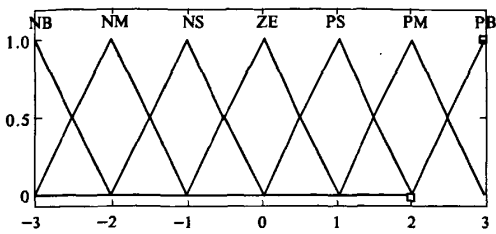


图 6 输出变量的隶属函数
Fig. 6 Membership function curve of output variables

2.3 控制规则的确定

从系统的稳定性、响应速度、超调量和稳态精度等特性考虑,通过 K_p , K_i 和 K_d 3 个参数对系统控制品质的影响进行归纳,可以得到 PID 参数自整定原则.当 $|e|$ 较大时,为使系统有较好的跟踪性,应取较大的 K_p 与较小的 K_d ,同时为避免系统响应出现较大的超调,通常取 $K_i = 0$.当 $|e|$ 中等大小时,为使系统有较小的超调, K_p 应取小些.在这种情况下 K_d 取值对系统的影响较大,应取小一些, K_i 取值要适当.当 $|e|$ 较小时, K_p 与 K_i 均应取大些;当 $|ec|$ 较大时, K_d 可取小些; $|ec|$ 较小时, K_d 可取大一些.针对渗碳炉温度控制的特性,由上述的 PID 参数自整定原则, K_p , K_i 和 K_d 3 个参数相应的模糊控制规则如表 1、表 2 和表 3 所示^[9-10].

表 1 K_p 的模糊控制规则表
Tab. 1 Fuzzy control rules of K_p

E	EC						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZE	ZE
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZE	ZE
NS	PM	PM	PM	PM	ZE	NS	NS
ZE	PM	PM	PS	ZE	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZE	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZE	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZE	ZE	NM	NM	NM	NB	NB

表 2 K_i 的模糊控制规则表
Tab. 2 Fuzzy control rules of K_i

E	EC						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZE	ZE
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZE	ZE
NS	NB	NM	NS	NS	ZE	PS	PS
ZE	NM	NM	NS	ZE	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZE	PS	PS	PM	PB
PM	ZE	ZE	PS	PS	PM	PB	PB
PB	ZE	ZE	PS	PM	PM	PB	PB

表 3 K_d 的模糊控制规则表

Tab. 3 Fuzzy control rules of K_d

E	EC						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NS	ZE	NS	NM	NM	NS	NS	ZE
ZE	ZE	NS	NS	NS	NS	NS	ZE
PS	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
PM	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

2.4 模糊推理与解模糊化

模糊决策采用 Mamdani 推理方法,其关系矩阵 $R = (e \times \Delta e)^T \times c$;模糊控制器的输出 $c = (e \times \Delta e)^T \times R$.解模糊化是将模糊控制器输出的模糊量转化为清晰量,采用 Max-Min 重心法解模糊^[10].

3 系统的软件设计

系统的应用程序主要包括主程序、控制程序和一些子程序.为便于程序的设计使用,系统软件采用模块化编程方法.主程序主要完成系统的初始化功能,并调用键盘扫描子程序、显示子程序,完成对温度设定值的修改和实时显示采样温度.其中温度控制程序流程如图 7 所示^[11].

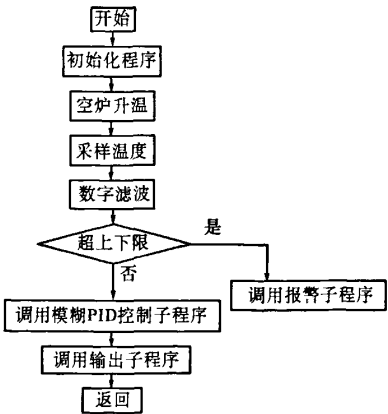


图 7 温度控制程序流程图

Fig. 7 The program frame of temperature control

4 仿真研究

由于渗碳炉温控系统可以看作是带有纯滞后的一阶对象,因此在某一特定的试验环境下,通过试验和阶跃曲线,可人工测出对象的增益 K 、对象的时间常数 T 和滞后时间 τ ,用曲线拟合的方法

将阶跃响应数据拟合合成近似的惯性加纯滞后环节的模型^[12],从而可以获得一个它的传递函数(单通道)为:

$$G(s) = \frac{Ke^{-\tau s}}{Ts + 1} \quad (1)$$

由于温度控制系统时间常数大、纯滞后时间长特点,取 K 为 1.2, τ 为 30, T 为 150. 使用 Matlab 软件的 Simulink 工具箱和模糊控制工具箱设计控制器,分别采用 PID 控制和模糊 PID 控制进行仿真.

4.1 常规 PID 控制

在加入阶跃信号后,采用 PID 控制方式,渗碳炉温度控制系统的 PID 控制仿真模型如图 8 所示,通过对 PID 模块中对 3 个参数进行设定,得到其阶跃响应曲线如图 9 所示.

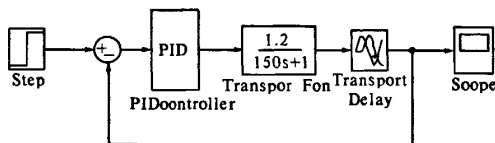


图 8 PID 控制仿真图

Fig. 8 The structure of PID control simulation

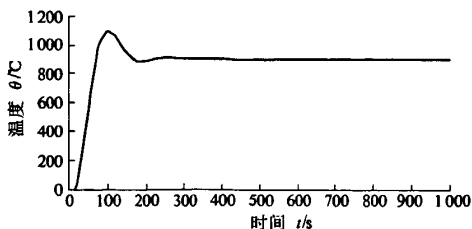


图 9 PID 控制的阶跃响应

Fig. 9 The step response with the PID controller

4.2 模糊自适应 PID 控制

在加入阶跃信号后,采用模糊自适应 PID 控制方式,渗碳炉温度控制系统的模糊自适应 PID 控制仿真模型如图 10 所示,其阶跃响应曲线如图 11 所示.

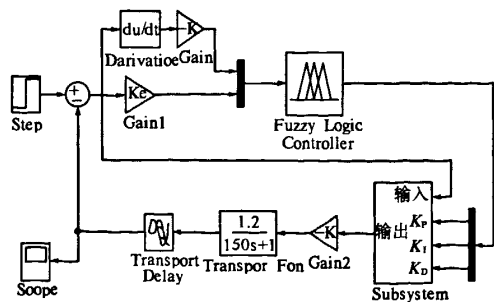


图 10 模糊自适应 PID 控制仿真图

Fig. 10 The structure of fuzzy self-adaptive PID control simulation

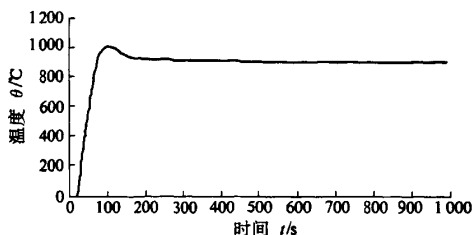


图 11 模糊自适应 PID 控制的阶跃响应

Fig. 11 The step response with the fuzzy self-adaptive PID controller

5 结论

在渗碳炉的参数和结构非线性的情况下,基于 PIC 单片机的模糊 PID 温度控制系统较好地实现了对渗碳炉温度的控制.从系统的仿真结果可以看出,模糊 PID 控制应用于渗碳炉的温度控制系统,比运用常规的 PID 控制具有较好的稳定性和鲁棒性,调节速度更快,调节精度更高,从根本上提高了温度控制系统的动态品质和稳态精度.

参考文献:

- [1] 赵国强,李新春,贾树良.电阻炉温控系统模糊控制器[J].辽宁工程技术大学学报,2004,23(3):370-371.
- [2] 贺丹丹,杨磊,伍铁斌.基于混沌 PID 控制的高精度电阻炉温度控制系统研究[J].科技情报开发与经济,2006,16(8):170-172.
- [3] 路康,闫文科,周淑娟.真空干燥箱的温度模糊控制系统[J].仪表技术与传感器,2008(5):99-103.
- [4] 孙凯,李元科.电阻炉温度控制系统[J].传感器技术,2003,22(2):50-52.
- [5] 闫庆魁,徐超,李正平,等.基于 PIC16F877 的智能温度、湿度测量与报警系统的设计[J].电脑知识与技术(学术交流),2008,1(4):770-773.
- [6] 王颖,党瑞荣.一种基于 PIC16F877 的温度显示报警装置的设计与实现[J].计量与测试技术,2009,36(11):59-60.
- [7] 夏彬彬,任明全,屈金学. PIC 单片机常用模块与综合系统设计实例精讲[M].北京:电子工业出版社,2009:94-96.
- [8] 王建伟,段爱霞,侯树文.基于遗传算法的水轮发电机组模糊 PID 控制研究[J].水力发电,2007,33(7):60-62.
- [9] 邢伟,潘海鹏.电阻炉智能温度控制系统的设计与仿真研究[J].浙江理工大学学报,2008,25(5):606-610.

(下转第 115 页)

京:水利电力出版社,1982.

2004,9(1):37-38.

[8] 侯海森.谈变压器的经济运行[J].安阳大学学报,

Calculation of Reduced Power Consumption of Enterprise Internal Power Supply Lines using Reactive Power Compensation

YANG Yu-xia¹, HOU Hai-sen²

(1. College of Electric Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Zhongfa Raw Water Co. Ltd. Company, Zhengzhou 450045, China)

Abstract: The necessity and feasibility of the further reduction of power consumption with the reactive power compensation mandated by power administrative department for industry consumer of high-voltage power is presented in this paper. After analyzing the distributed var-power compensation of low voltage sides of 5 three-phase squirrel-age induction motors owned by one pump station of Zhengzhou ZHONGFA raw-water Co. Ltd, a formula of electric current using power compensation of low-voltage side is given. Using the proposed basic variables of electric current, this work therefore gives a practical solution to calculate the reduced power consumption of electricity supply. The proposed solution, calculating the reduced power consumption of enterprise internal power supply lines with the reactive power compensation, provides the enterprise a reliable investment decision for making basis for reactive power compensation.

Key words: reactive power compensation; power factor; active current; reactive current; apparent power

(上接第111页)

[10] 薛定宇. 控制系统计算机辅助设计——MATLAB 语言与应用[M]. 2版. 北京:清华大学出版社,2006: 260-275.

2007,34(1):71-73.

[12] 王巍,侯利民.基于混沌优化PID控制的渗碳炉温度控制系统的研究[J].机电工程技术,2008,37(3):22-23.

[11] 路桂明,周美兰,林治楠,等.采用PIC单片机的电锅炉智能控制系统的研究[J].黑龙江水专学报,

Fuzzy PID Temperature System Control of Carburization Furnace Based on PIC Single Chip

LIU Jing-yan, ZHANG Su-yan, GUO Shun-jing

(School of Electricity & Automation Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: Carburization furnace temperature control system is a nonlinear one, which has characteristics of big inertia and great delay. It has low control accuracy and high overshoot with the conventional PID control. The fuzzy PID controller based on PIC single chip is presented, which is used in the carburization furnace temperature control system. The variations of PID parameters are solved by fuzzy inference and the parameters can be self-tuned. So the controller has stronger self-adaptive ability. And the system is simulated with Matlab software. The simulation results show that the system can maintain a good steady-state response characteristics of PID controller, but also has the flexibility and fast response characteristics of fuzzy controller, which can effectively restrain the impact of great delay. And this system is more dynamic and highly precise.

Key words: PIC single chip; carburization furnace; fuzzy PID control