

基于 Fuzzy-PID 的电阻炉温度控制系统

雷建军¹ 朱华¹ 顾德英²

¹ (辽宁工程技术大学电气工程系 辽宁 阜新 123000)

² (东北大学秦皇岛分校自动化系 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 本文将 Fuzzy-PID 算法应用于电阻炉温度控制系统, 阐述了 Fuzzy-PID 控制器设计、硬件构成和软件设计, 实现了一套温度采集和控制的设计方案。整个系统具有体积小、成本低、功能强、智能化等特点, 且现场运行效果良好。

关键词: 电阻炉; 温度控制; Fuzzy-PID

中图分类号: TP273 文献标识码: A

Temperature Control System of Resistance Furnace Based on Fuzzy-PID

Leijianjun¹ zhuhua¹ Gudeying²

¹ (Electric Department of Liaoning Technical University Liaoning Fuxin 123000)

² (Automatic Department of Northeastern University at Qinhuangdao Hebei Qinhuangdao)

Abstract: This article applies Fuzzy-PID arithmetic to temperature control system of resistance furnace, and introduces the design of Fuzzy-PID controller, hardware circuit and software structure. The system realizes gathering and control of temperature. The merit of the whole system is small, low cost; the function is strong and intelligent. The running effect is also satisfactory.

Keywords: Resistance Furnace; Temperature Control; Fuzzy-PID

1 引言

电阻炉温度是生产过程和科学试验中普遍存在的被控物理参数, 而温度系统为大滞后系统, 较大的纯滞后可引起系统不稳定。大量的应用实践表明, 采用传统的 PID 控制稳态响应特性较好, 但难以得到满意的动态响应特性。模糊控制的优点是能够得到较好的动态响应特性, 并且无需知道被控对象的数学模型, 适应性强, 鲁棒性好。但模糊控制也存在固有的缺点, 容易受模糊规则有限等级的限制而引起误差。设计中采用 AT89C52 作为控制内核, 并采用了 Fuzzy-PID 复合控制, 其主要设计思想是当温度偏差较大的时候采用 Fuzzy 控制, 以加快响应速度; 当温度偏差较小进入稳态过程后, 则由程序切换到 PID 控制, 消除静差, 提高控制精度。

2 控制器的设计

Fuzzy-PID 温度控制系统的结构框图如图 1 所示。系统由被控对象、温度传感器、比较器、Fuzzy-PID 控制器和执行机构等 5 部分组成。

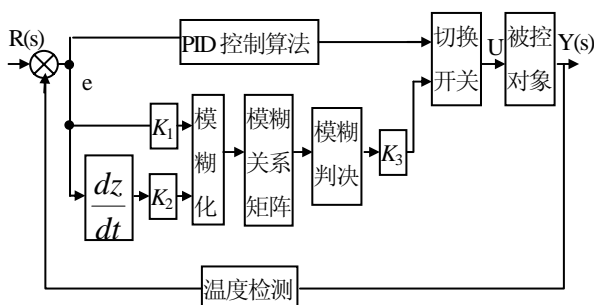


图 1 Fuzzy-PID 控制系统框图

2.1 模糊控制器的结构设计

模糊控制器输入变量的 e 、 ec 分别表示温度偏差和偏差变化率, 规定论域由 7 个元素组成:

$$a = [-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3]$$

设输入量的语言变量分别为 E , EC , 它们的词集相同, 定义为:

$$A = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$$

其含义依次为负大、负中、负小、零、正小、正中、正大。

输出变量 U 用以确定控制量, 并规定其论域由 13 个元素主成:

$$b = [-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6]$$

设输出量的语言变量为 U , 它的词集定义为:

$$B = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$$

其含义依次为负大、负中、负小、零、正小、正中、正大。论域中语言变量均采用离散型隶属度函数, 并设现场语言变量的范围和比例因子分别为

$$E \in [-6,6], k_1 = 6/3 = 2$$

$$EC \in [-12,12], k_1 = 12/3 = 4$$

根据现场调节经验,控制器采用如表1所示的语言控制规则。

表1 控制规则表

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

根据模糊控制器控制规则,求取二维输入的模糊关系:

$$\text{if } E_i \text{ and } EC_j \text{ then } U_{ij} (i, j = 1, 2, \Lambda 7)$$

用模糊关系R描述为

$$R_{ij} = E_i \cdot EC_j \cdot U_{ij}$$

R_{ij} 的隶属函数为

$$\mu R_{ij}(e, ec, u) = \mu E_i(e) \cdot \mu EC_j(ec) \cdot \mu U_{ij}$$

在按合成运算法求得模糊控制的输出模糊子集:

$$U = (E \times EC) \circ R$$

式中的“o”为合成运算。

由于上式给出的控制策略U是一个模糊量,故在具体执行时,应通过判决转化为精确量,本系统中采用加权平均判决法,可得Fuzzy控制器的输出:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i(U_i) \cdot U_i}{\sum_{i=1}^n \mu(U_i)}$$

对于所有 $i = 1, 2, \Lambda$ 的观测值,均根据上式求出对应的U,组成控制查询表。采用计算查表法可提高查表速度,为此把作用e,ec的7个等级,从小到大按E,EC的顺序排列,依次存放相应

的U。需要指出的是,正确选择比例因子对整个系统合理运行是至关重要的。设控制量的比例因子为 k_3 , 精确控制量: $\Delta u = k_3 \times U$ 。

2.2 PID 控制器的设计

利用脉冲响应法测量被控对象的传递函数为一阶惯性环节加纯滞后。

$$G(S) = \frac{K e^{-\tau s}}{TS + 1}$$

其中:K为对象放大系数 $K = 300^\circ\text{C}/100\text{V}$; τ 为纯滞后时间, $\tau = 50\text{s}$; T为对象时间常数, $T = 200\text{s}$ 。

增量式数字PID控制算法为:

$$\begin{aligned} \Delta u(n) &= U(n) - U(n-1) \\ &= a_0 e(n) - a_1 e(n-1) + a_2 e(n-2) \end{aligned}$$

$$a_0 = k_p (1 + T/T_I + T_D/T)$$

$$a_1 = k_p (1 + 2T_D/T)$$

$$a_2 = k_p T_D/T$$

式中: T为采样周期。参照响应曲线选择,最后结和实验确定为采样周期T。利用控制软件实现增量式控制算法,并输出控制量U(n)。

3 系统硬件结构

控制系统硬件结构如图2所示,是由智能部件AT89C52、传感器、执行机构与被控对象组成的闭环控制系统。

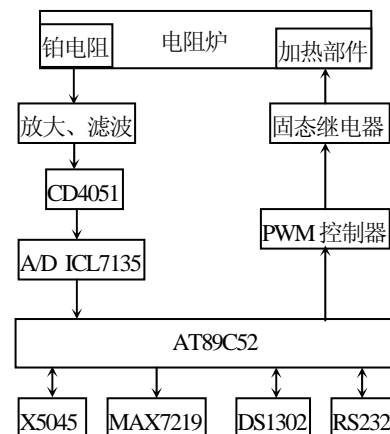


图2 系统硬件结构图

控制系统中,采用了高精度集成运放 OP07 对铂电阻的毫伏级热电势进行差动放大、滤波,经多路开关 CD4051 将检测的电压信号送至高精度双积分型模数转换器 ICL7135。采样此值并通过查取 E²PROM 中温度与电压之间的对应关系表,得到温度值。然后通过 Fuzzy-PID 控制器计算得到 PWM 脉冲的占空比,对加载电压进行控制,最终完成对电阻炉炉温的控制。

系统配置了带有看门狗和串行 E²PROM 的集成芯片 X5045,它集上电复位、看门狗、E²PROM 功能于一体,E²PROM 用来存放铂电阻的误差校正和各段定标系数,实现对铂电阻的误差校正和非线性补偿。MAX7219 为集驱动、译码、扫描于一身的串行接口共阴极 LED 显示驱动器,由于它驱动 8 个 LED 动态显示时只需要三个端口线,因此可以节省单片机 I/O 端口。DS1302 为串行接口实时时钟芯片,它为跨越 2000 年的时钟芯片,而且与并行时钟芯片相比又可以节省大量 I/O 端口。RS232 通讯接口采用 MAX232 芯片与上位机进行通讯,一方面完成向上位机传送带有实时时钟的温度值,以备查询;另一方面还可以从上位机完成温度给定,然后传送给 AT89C52。

4 软件设计

设计中程序采用模块化结构编制,键盘输入、显示输出、被测数据处理、Fuzzy-PID 控制算法、RS232 通信等功能的实现由各子程序完成。Fuzzy-PID 控制算法的设计思想是:在大偏差范围采用 Fuzzy 控制,在小偏差范围内转换成 PID 控制,由程序根据事先给定的偏差范围自动实现切换。软件流程图如图 3 所示。

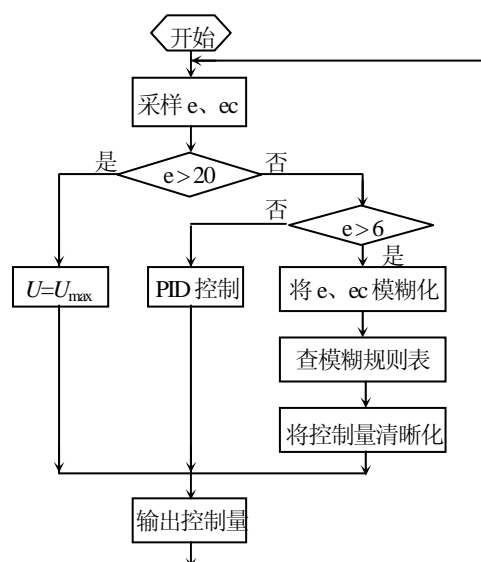


图3 控制算法软件流程图

5 结论

本文将 Fuzzy-PID 算法应用于电阻炉温度控制系统,设计目标是在同样的控制精度条件下,使系统的过渡时间尽可能短,改善控制效果。采用复合控制,即具有模糊控制灵活、响应快和适应性能强的优点,又具有 PID 控制精度高的特点、使系统能有效抑止纯滞后的影响,而且鲁棒性强,当参数变化较大及有干扰时,仍能取得较好的控制效果。系统经调试和实际现场运行,得到了预期效果。当温度值为 300⁰C 时,采用单纯的 PID 控制时:最大超调量为 8.6%,调节时间 t_s=56min。采用 Fuzzy-PID 复合控制时:最大超调量为 0.58%,调节时间 t_s=32min。实验结果表明,采用 Fuzzy-PID 复合控制算法过渡过程时间、最大超调量均优于 PID 控制算法。

参考文献:

- 1 李士勇.模糊控制·神经控制和智能控制论[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社.
- 2 李友善,李军.模糊控制理论及其在过程控制中的应用[M].北京:国防工业出版社.
- 3 何立民.单片机应用系统设计[M].北京:北京航空航天大学出版社.

作者简介: 雷建军,男,1980年1月生,辽宁工程技术大学,硕士生,控制理论与控制工程,主要从事工业自动化控制及 PLC、单片机的应用研究。联系电话:0418-3337377, Email: jilei@etang.com

通信地址:

(123000 辽宁 阜新 辽宁工程技术大学 296#)
雷建军

Author's brief introduction: leijianjun, male, January of 1980, the master, Chinese, Liaoning technical university, Control theory and project of controlling, is engaged in the application study of industry automatically control and PLC, microcontroller mainly.