

模糊自适应 PID 控制器在集中供热系统中的应用

许青松,高经伍,刘冰,杜娟

(东北电力大学 自动化工程学院,吉林 吉林 132012)

摘要: 基于对集中供热系统进行的数学模型辨识,并对常规 PID 控制器进行了调整,加入了模糊自适应控制,采用模糊工具箱进行了仿真试验。结果表明,模糊自适应 PID 控制器较常规的 PID 控制器,具有更好的鲁棒性和自适应能力。在复杂的集中供热系统中,达到了令人满意的控制效果。

关键词: 集中供热;数学模型;模糊 PID

中图分类号: TP273.3

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)17-0076-03

The application of fuzzy adaptive PID controller in central heating system

Xu Qingsong, Gao Jingwu, Liu Bing, Du Juan

(School of Automation Engineering, Northeast Dianli University, Jilin 132012, China)

Abstract: This paper firstly established a mathematical model of central heating system, on the basis of which the general PID controller was adjusted. The fuzzy adaptive control was joined, and simulation experiment was made with the fuzzy simulation toolbox. The simulation results show that the fuzzy adaptive PID control is better than the general PID control in robustness and self-adaptability, and achieved the satisfying effect in the complex central heating system.

Key words: central heating; mathematical model; fuzzy PID

随着供热事业的迅猛发展,对供热系统提出了更高的要求。因此有必要对集中供热进行深入研究,以提高集中供热系统的自动化程度,不断增强供热系统运行的鲁棒性、准确性、节能性和自适应能力。

集中供热系统是个非常复杂的动力学系统,具有大时滞、大惯性、非线性、时变及不确定等特点^[1]。采用模糊控制技术与 PID 控制技术相结合而构成模糊自适应 PID 控制器的方法^[2],在集中供热系统中得到了广泛的应用。

1 集中供热系统的数学模型辨识

1.1 数学模型的辨识

根据集中供热系统的特点,其数学模型可表示为:

$$G(x) = \frac{K_p e^{-\tau s}}{(1+Ts)^n} \quad (1)$$

式中, n 为系统的阶数, T 为时间常数, K_p 为比例放大系数, τ 为滞后时间常数, s 为采样时间。

由于本文中热工对象的复杂性,用解析的方法很难得出动态特性的精确数学表达式,因此采用在运行的条件下通过实验来获得对象的动态特性的方法,根据对象动态响应曲线的特质求取相关特性参数。实验中的输入信号为

阶跃信号,在阶跃输入下得到对象的阶跃响应曲线。

该实验是在调试吉林市某换热站设备时进行的一次试验,操作步骤如下:改变一次网供水阀门开度,阀门开度在某一时刻由 35% 开至 60%,一次网供水流量由 60 t/h 跃升为 80 t/h,然后每隔 10 s 采样一个二次网供水和回水温度数据,共采样 100 次,即 1 000 s 的温度数据,再取它们的平均值。实验数据如图 1 所示。

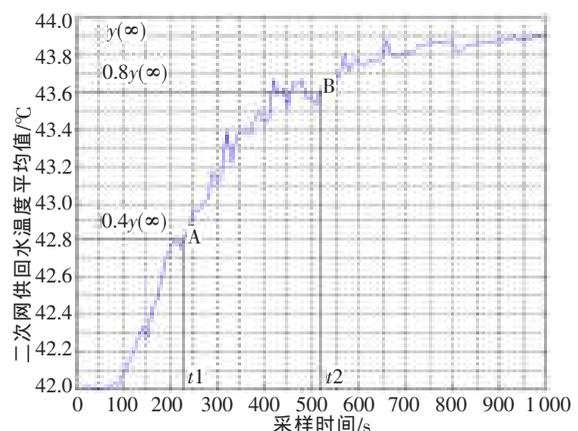


图1 系统阶跃响应曲线

技术与方法 Technique and Method

根据先验知识,系统的阶跃响应曲线具有自平衡能力,可采用两点法求取特性参数。

两点法不需要画出整个阶跃响应曲线,只根据最终稳态值 $y(\infty)$, 分别估计出 $0.4y(\infty)$ 和 $0.8y(\infty)$ 所对应的时间 t_1 和 t_2 , 由近似公式计算特性参数。两点法适用于对象传递函数阶数 $n < 6$ 的情况。

方法如下:

- (1) 测定或估计阶跃响应曲线的最终稳态值 $y(\infty)$;
- (2) 在阶跃响应曲线上求取 $y(t_1)=0.4y(\infty)$ 所对应的时间 t_1 ;
- (3) 在阶跃响应曲线上求取 $y(t_2)=0.8y(\infty)$ 所对应的时间 t_2 ;
- (4) 由近似公式计算特性参数:

比例放大系数: $K_p = \frac{y(\infty)}{q}$, q 为输入值 (2)

$$\text{系统的阶数: } n \approx \left[\frac{1.075 \times \frac{t_1}{t_2}}{1 - \frac{t_1}{t_2}} + 0.5 \right]^2 \quad (3)$$

时间常数: $T \approx \frac{t_1 + t_2}{2.16n}$ (4)

滞后时间常数 τ : 根据阶跃响应曲线脱离起始的毫无反应的阶段, 开始出现变化的时刻, 就可以确定参数 τ 。

观察图 1 可以得出, $t_1=230$ s, $t_2=520$ s, 并将 t_1 和 t_2 带入式(3)得 $n=1.83$, 取与之最接近的整数得 $n=2$; 再将 t_1 , t_2 和 n 带入式(4)得 $T=173.61$ 。该系统输入为 $q=23$, 则比例系数 $K_p=1.91$, 滞后时间常数 $\tau=60$ s 可直接观察得出。如此, 该系统的数学模型可用带纯滞后环节的二阶系统来表示:

$$G(x) = \frac{1.91e^{-60}}{(1+173.61)^2} \quad (5)$$

1.2 验证模型的合理性

表 1 给出了高阶惯性对象 $1/(T_s+1)^n$ 中阶数与比值 t_1/t_2 的关系, 由计算可得 $t_1/t_2 \approx 0.4423$, 查表可知与 0.46 最接近。因此, 该系统可以用二阶系统来近似。

表 1 高阶惯性对象 $1/(T_s+1)^n$ 中阶数与比值 t_1/t_2 的关系

n	t_1/t_2	n	t_1/t_2	n	t_1/t_2	n	t_1/t_2
1	0.32	5	0.62	9	-	13	-
2	0.46	6	0.65	10	0.71	14	0.75
3	0.53	7	0.67	11	-	-	-
4	0.58	8	0.685	12	0.735		

2 模糊自适应 PID 控制器设计

2.1 PID 控制原理

PID 控制算式表示为:

$$u(k) = K_p e(t) + K_i \sum_{i=1}^{\infty} e(i) + K_d [e(k) - e(k-1)] \quad (6)$$

式(6)中, K_p 、 K_i 、 K_d 分别表示比例增益、积分增益和

微分增益。 K_p 的作用在于加快系统的响应速度, 提高系统的调节精度。 K_p 越大, 响应速度越快, 调节精度越高。但 K_p 过大将产生超调, 甚至导致系统不稳定。 K_i 的作用在于消除系统稳态误差, K_i 越大, 静差消除越快。但过大会产生积分饱和而引起大的超调, 影响系统的动态性能。 K_d 越大, 系统抑制超调能力越强, 但过大会使被控量调节时间变长并使系统抗干扰能力下降^[3]。

2.2 模糊自适应 PID 控制器设计

模糊自适应 PID 控制器主要由参数可调整的 PID 控制器和模糊推理器两部分组成。模糊推理器以偏差 e 和偏差变化率 e_c 作为输入, 以常规 PID 控制器的三个参数 K_p 、 K_i 、 K_d 为输出, 采用模糊推理方法实现对参数 K_p 、 K_i 、 K_d 的调整, 以满足不同时刻偏差 e 和偏差变化率 e_c 对 PID 参数自调整的要求, 其基本结构如图 2 所示。

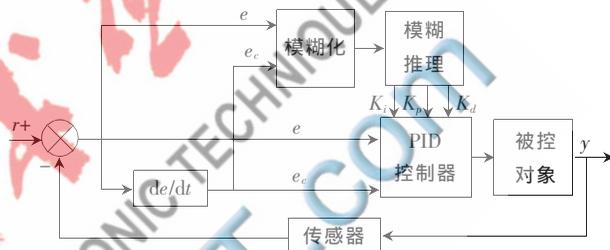


图 2 模糊自适应 PID 控制器的结构

模糊自适应 PID 控制是通过计算当前系统偏差 e 和偏差变化率 e_c , 考虑 K_p 、 K_i 、 K_d 三者的关联, 根据工程设计人员的技术知识和实际操作经验, 选择输入语言变量为偏差 e 和偏差变化率 e_c , 语言变量值选取七个模糊子集{负大(NB), 负中(NM), 负小(NS), 零(ZO), 正小(PS), 正中(PM), 正大(PB)}; 选择输出语言变量为 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d , 输出语言变量值也取{负大(NB), 负中(NM), 负小(NS), 零(ZO), 正小(PS), 正中(PM), 正大(PB)}。模糊论域均为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, 隶属度函数均为三角形型、S 型、Z 型隶属度函数。

表 2 为根据上述规则制定的输出变量 ΔK_p (ΔK_i 、 ΔK_d 同理) 的模糊控制规则表。

表 2 输出变量 ΔK_p 的模糊控制规则表

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

根据模糊控制规则表, 选择适当的模糊化和去模糊化方法, 可以对 K_p 、 K_i 、 K_d 进行在线动态调整, 设 K'_p 、 K'_i 、 K'_d 为采用常规 PID 控制器的预整定值, 计算公式如下:

$$K_p = K'_p + \Delta K_p \quad (7)$$

技术与方法 Technique and Method

$$K_i = K'_i + \Delta K_i \quad (8)$$

$$K_d = K'_d + \Delta K_d \quad (9)$$

在线运行过程中,控制系统通过对模糊控制规则的结果处理、查表和运算,完成对 PID 参数的在线自调整。

3 模糊自适应 PID 控制器 MATLAB 实现

本模糊控制器仿真程序是以 m 文件的形式给出的,需要运行时,只要把此 m 文件程序放到 Matlab 软件中直接运行即可,不需要其他任何操作^[4]。

运行仿真程序,Matlab 中仿真模糊推理和模糊判决生成的比例积分微分调节量观察曲面如图 3 所示。

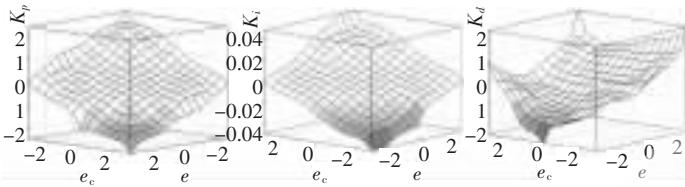


图3 比例积分微分调节曲面

在 0.3 s 时刻加入一个扰动信号,常规 PID 控制器和模糊自适应 PID 控制器输出的阶跃响应曲线分别如图 4、图 5 所示。

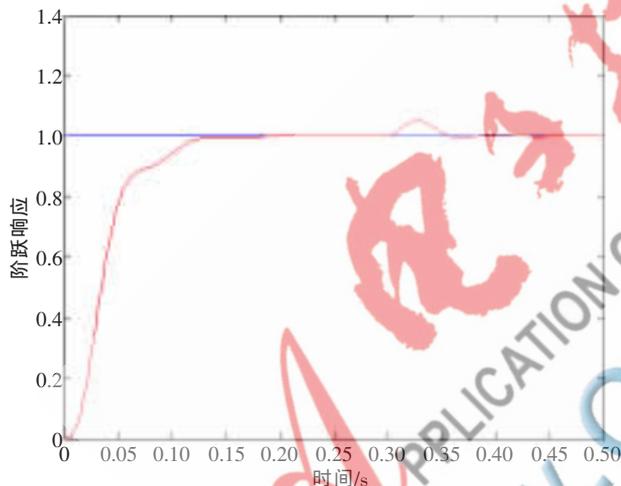


图4 常规 PID 控制器的输出曲线

由图 4、图 5 比较可以得出,模糊自适应 PID 控制器较常规 PID 控制器对扰动具有更好的适应性、鲁棒性和稳态特性。应用于集中供热这种模型比较复杂、控制精

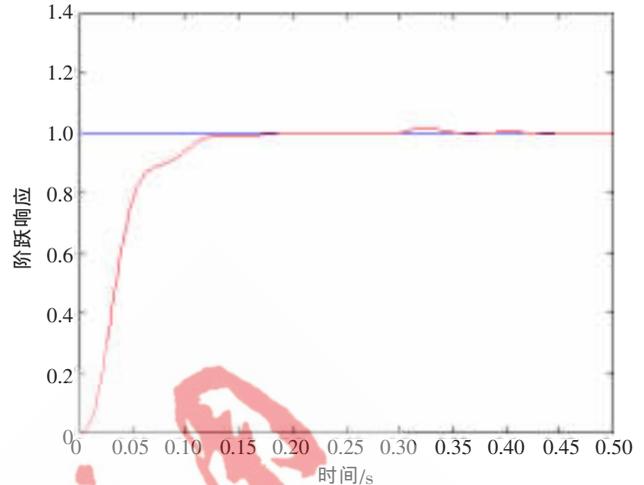


图5 模糊自适应 PID 控制器的输出曲线

度要求不高的系统,达到了预期的调节效果。

模糊自适应 PID 控制器可用模糊推理的方法在线动态调整 PID 参数,能够发挥 PID 和模糊控制两者的优点,对被控系统的适应性强、鲁棒性好。特别在集中供热这样参数易发生时变的复杂系统中,可以获得令人满意的控制效果,能很好地适应了实际生产过程中的控制要求,而且达到节能减排的目的。由此可见,模糊自适应 PID 调节方式在集中供热系统应用中的合理性。

参考文献

- [1] 张永明,朱学莉.供热负荷时间序列混沌特性识别及区间预报[J].暖通空调,2009,39(11):50-53.
- [2] 袁凤莲.Fuzzy 自整定 PID 控制器设计及其 MATLAB 仿真[J].沈阳航空工业学院学报,2006,23(1):71-73.
- [3] 刘金琨.先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [4] 黄忠霖,黄京.控制系统 Matlab 计算及其仿真[M].北京:国防工业出版社,2009.

(收稿日期:2011-04-13)

作者简介:

许青松,男,1984 年生,在读硕士研究生,主要研究方向:控制理论与控制工程。

高经伍,男,1955 年生,高级工程师,硕士生导师,主要研究方向:检测与传感技术。