基于单片机的模糊PID恒压供水控制系统

朱本坤
(镇江市高等专科学校 实验实训中心，江苏 镇江 212003)

摘 要：鉴于传统泵站供水系统存在耗能大、水压波动大等问题，在对某泵站供水系统作系统研究的基础上，提出了以供水管网的水压、水位、流量等参数为控制对象，采用自适应模糊PID控制策略，通过调整供水水泵的投入台数及转速，来实现恒压供水的快速性和可靠性的解决方案. 对自适应模糊PID算法进行了研究和计算机仿真，给出了基于MATLAB的系统仿真结果，并对该自适应模糊PID控制结果与传统的PID控制仿真结果进行了比较. 仿真与实验结果表明：采用自适应模糊PID变频恒压闭环供水，供水控制系统的稳定性得到了较大的改善，在设定水压值为0.9 MPa时，系统的上升时间为2.76 min，超调量为0.47%，调节时间为2.8 min.

关键词：恒压供水；供水泵站；模糊PID；单片机；变频控制
中图分类号：TN914.3 **文献标志码**：A **文章编号**：1005-6254(2008)01-0043-04

Fuzzy-PID constant-pressure water supply system based on single chip computer

ZHU Ben-kun
(Experiment and Practice Center, Zhenjiang College, Zhenjiang, Jiangsu 212003, China)

Abstract: Traditional pump station for water supply systems consumes much energy and its water pressure fluctuation is big. Based on research of a certain pump station for water supply system, and by adopting the self-adapting Fuzzy-PID constant pressure control strategy, which functions by means of adjustment of the number and rotational speed of operating pumps, the water-supply at constant pressure is realized. The MATLAB-based simulation results for the self-adapting Fuzzy-PID control are compared with the traditional PID control simulation results. The experiment results show that the stability of water supply system is greatly improved.

Key words: constant-pressure water supply; water supply pump station; Fuzzy-PID; single chip computer; frequency-conversion control

在高层建筑、生活小区，集中供热、中央空调，以及园林喷泉等处，还有不少场合采用直接水泵加压方式供水，水泵扬程高，电机一直处于高速运转状态，造成巨大的电能消耗，而且管网的水压波动较大，影响管路的使用寿命. 优化供水控制系统，在节能降耗上具有重要的现实意义[1].

针对小区供水系统的现状，采用多台水泵变频与工频相结合，利用自适应Fuzzy PID控制技术来监控电机运行状态，以实现小区恒压供水. 系统中，上位机使用PC机，下位机使用单片机AT89C51. 因此使系统界面编程能力、数据处理、图表显示、打印和过程控制手段等变得更加人性化、形象化. 此外，还使用了VB 6.0面向对象的编程语言[2,3]，实现了单片机与PC之间的数据通信、数据处理、图表显示和

收稿日期：2007-11-06
基金项目：江苏省自然科学基金资助项目(BK2007094)
作者简介：朱本坤(1962—)，男，江苏沛县人，副教授(zbk@zjc.edu.cn)，主要从事计算机控制的研究.

万方数据

打印等功能.

1 系统的组成及工作原理

供水系统组成如图1所示. 电机控制部分主要对系统的3台150 kW和1台90 kW的水泵进行控制,而每个水泵状态与可变供电网络有关. 可变供电网络由工频电网和变频器提供的变频电网组成,通过控制器将各水泵按一定规律投入工频电网或变频电网,以达到最佳配置状态. 每个水泵都有两种工作状态,即变频和工频.

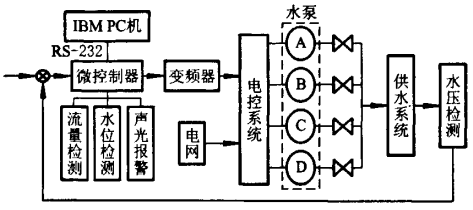


图1 供水系统组成框图

Fig. 1 Structure diagram of water supply systems

系统工作时,首先启动1号泵,使其工作于工频状态,然后根据用户的实际用水量投入适当的水泵台数,自动调节水泵转速以保证供水管网压力维持恒定. 在正常运行时,总有1台泵工作且只有1台泵工作于变频状态,其余泵或者停机,或者工作于工频状态. 若用水量大,使管网压力达不到设定值,则经延时后,使2号泵投入变频工作状态,进行软启动,其速度从零逐渐增加,水压随之逐渐增大. 当2号泵工作于额定转速,且压力仍达不到设定值时,使其投入工频电网,并停止变频器工作,又经延时后,将3号泵投入变频电网并进行软启动.

若此时用水量减少,则水压升高. 当水压高于设定值时,控制器发出信号,将1号泵从工频电网切除,只有2号泵调速运行,然后一直保持该状态,使水压缓慢增加,最终保持水压恒定,直到供水结束,余者类推. 这样在变频方式与市电方式间切换,循环调频,能够合理利用资源. 3台泵全速工作时达到的水压值可满足用户的需要.

此外,本系统还具备报警和自起动功能. 当微处理器执行程序时检查到有水泵损坏,水流太小或水压为0时,就会启动报警程序,打开警示灯,以便工作人员及时发现并处理这些故障. 由于微处理器部分工作在弱电状态下,而水泵工作时需要较大的电流或电压,所以为了保证微处理器控制电路的安全工作和不给微处理器的控制电路带来干扰,可用继电器来隔离强电和弱电部分. 这样既能保护系统免受高电压的损害,又能保证操作人员的安全.

2 自适应模糊PID控制器设计

2.1 控制器结构

常规数字增量式PID控制器见下式:

$$u(k) = u(k-1) + K_p[e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$$

针对不同对象,参数K_p,K_i,K_d需要及时调整. 本控制系统中,参数的调整由模糊推理器来自动完成. 为了满足PID控制器中K_p,K_i,K_d参数能随对象自动调整,使控制达到满意的效果,设计了一个模糊推理器,根据偏差e和偏差变化率e_c实时调整这3个参数.

将PID控制与Fuzzy控制相结合,并加入自适应的思想来构成自适应模糊PID控制器[4]. 自适应模糊PID,就是运用自适应的基本思想、模糊控制的方法,对控制器的参数即PID的参数进行实时调整. 将这种控制器用在供水系统中,构成自适应模糊PID控制恒压供水系统,其控制原理框图见2.

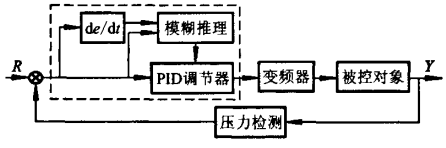


图2 自适应模糊PID控制器框图

Fig. 2 Block diagram of self-adapting Fuzzy - PID controllers

2.2 PID参数模糊调整规则表的建立

一般说来,PID控制器结构和算法已经确定,控制品质的好坏主要取决于控制参数选择得是否合理. 通常,不同的偏差e和偏差变化率e_c对PID控制器参数K_p,K_i,K_d的整定要求不同,一般整定原则是[5,6]:

1) 当$|e|$较大时,取较大的K_p与较小的K_d,使系统具有较好的跟踪性能. 同时,为了避免出现较大的超调,应对积分作用加以限制,通常取$K_i = 0$.

2) 当$|e|$处于中等大小时,为了使系统响应超调较小,K_p应取小些. 该情况下,K_d的取值对系统响应影响较大,K_i的取值要适当.

3) 当$|e|$较小时,为了使系统具有较好的稳定

万方数据

性，K_p 与 K_i 均应取大些. 同时，为了避免系统在设定值附近出现振荡，则 $|e_c|$ 较小时，K_d 取中等大小；$|e_c|$ 较大时，K_d 取小值.

根据上述的 PID 整定原则、操作人员和工程专家的经验知识，建立合适的模糊控制规则表[7,8]，K_p，K_i，K_d 的控制规则表见表 1 ~ 表 3.

表 1　K_p 的模糊规则表

Tab. 1　Fuzzy adjustment rules of K_p

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

表 2　K_i 的模糊规则表

Tab. 2　Fuzzy adjustment rules of K_i

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

表 3　K_d 的模糊规则表

Tab. 3　Fuzzy adjustment rules of K_d

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

在线运行过程中，计算机根据采样得到的实际压力值，与设定值进行比较，得到当前压力偏差值 e；由当前偏差值与前一时刻的偏差值计算得到压力偏差变化率 e_c. 得到 e 与 e_c 的值后，根据隶属度函数得到对应的隶属度，然后根据预先存储在计算机里的控制规则表 1 ~ 表 3，由计算机查表得到 ΔK_p，ΔK_i，ΔK_d. 通过计算可得到 PID 的 3 个控制参数 K_p，K_i，K_d，完成对 PID 参数的在线自调整.

3　系统仿真

调整传统 PID 控制器的 3 个参数，可以得到比较理想的控制结果. 控制结果的优良与这 3 个参数的调节有很大关系，但调整这 3 个参数比较繁琐. 而采用模糊 PID 控制后，通过模糊 PID 控制器对这 3 个参数进行非线性整定，可使系统在快速性和稳定性方面得到比较好的效果.

传统 PID 和模糊 PID MATLAB 仿真所得的曲线分别见图 3 和图 4[8,9]. 改用自适应模糊 PID 控制器后，在设定值为 0.9 MPa 时，系统的上升时间为 2.76 min，超调量为 0.47%，调节时间 2.8 min. 可以看出，采用模糊控制策略整定 PID 参数，相对于普通 PID 控制策略，其系统的稳态性得到了较大的改善，响应时间大大减少，超调量也得到了一定程度的改善.

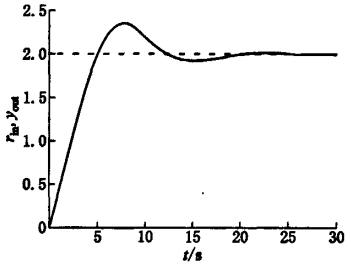


图 3　传统 PID 控制的阶跃响应

Fig. 3　Step response of traditional PID control

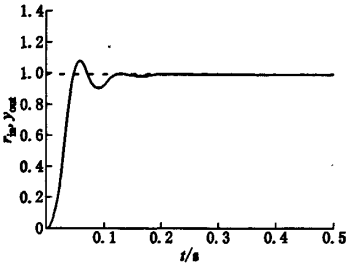


图 4　自适应模糊 PID 控制的阶跃响应

Fig. 4　Step response of self-adapting Fuzzy - PID control

4　结　论

实验结果表明，模糊自适应 PID 控制能够实时调整 K_p，K_i，K_d 这 3 个参数，因此系统超调量小，调节时间短，使系统调节更精确. 与传统 PID 控制相比，模糊自适应 PID 控制器的各项性能指标明显优于传统 PID 控制器. 此外，笔者研究的模糊 PID 供水

万方数据

系统还具有以下一些特点：

1)算法简单实用，本质上不依赖于系统的数学模型；

2)可充分利用单片机的软件资源，可靠性高，开发速度快；

3)克服了传统PID控制器参数调节的困难，提高了系统的智能化程度；

4)模糊PID控制器鲁棒性好，具有专家控制器的特点，并可推广应用于其他工作领域；

5)采用模糊PID变频恒压闭环供水，可在不同季节全面调控水量，消除管路压力的波动，保证了供水质量，起到了节能降耗的作用；

6)上位机采用PC机，且用VB 6.0编程，使得控制界面美观大方，简化了编程.

参考文献(References)

[1] 陶 燕，林 愉. 型料砂浆管道输送系统的自动控制[J]. 南方冶金学院学报，2003，24(1)：65－69.
TAO Yan, LIN Yu. Automatic control of material log-slurry pipeline[J]. *Journal of Southern Institute of Metallurgy*, 2003, 24(1): 65－69. (in Chinese)

[2] 邹宗峰，裴仁清. 用VB 6.0实现OMRON系列PLC与微机的通信[J]. 机电一体化，2003(1)：59－60.
ZOU Zong-feng, PEI Ren-qing. Implementation of the communication between OMRON series PLC and PC [J]. *Mechatronics*, 2003(1): 59－60. (in Chinese)

[3] David J, Pierre B, John D. *Conley Ⅲ. The Waite Group's Visual Basic 6 SuperBible* [M]. Indianapolis: Sams publishing, 1999.

[4] Chen G. Conventional and fuzzy PID controllers: an overview[J]. *International Journal of Intelligent Control and Systems*, 1996, 1(2): 235－246.

[5] 靳兆荣，徐敏杰，魏学良，等. 基于模糊决策的自动喷灌控制器的设计[J]. 排灌机械，2004，22(5)：26－28，48.
JIN Zhao-rong, XU Min-jie, WEI Xue-liang, et al. Study and design of spraying irrigation automatic controller based on fuzzy decision[J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2004, 22(5): 26－28, 48. (in Chinese)

[6] 李琪飞，李仁年，敏 政，等. 水轮机PID调速器最佳参数整定及寻优计算方法[J]. 排灌机械，2006，24(4)：33－36.
LI Qi-fei, LI Ren-nian, MIN Zheng, et al. Optimization method for hydraulic turbine PID governor[J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2006, 24(4): 33－36. (in Chinese)

[7] 庄利锋，杨慧中. 模糊控制器在高阶水位控制中的设计及应用[J]. 东南大学学报：自然科学版，2004，34(S1)：165－168.
ZHUANG Li-feng, YANG Hui-zhong. Design and application of fuzzy controller in high order water level control [J]. *Journal of Southeast University: Natural Science Edition*, 2004, 34(S1): 165－168. (in Chinese)

[8] 齐学义，蔡艾江，吴 疆，等. 变风量空调系统模糊PID控制的仿真[J]. 江苏大学学报：自然科学版，2005，26(4)：364－368.
QI Xue-yi, CAI Ai-jiang, WU Jiang, et al. Simulation of indoor temperature control using fuzzy－PID controller in VAV air conditioning[J]. *Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition*, 2005, 26(4): 364－368. (in Chinese)

[9] 张国良. 模糊控制及其MATLAB应用[M]. 西安：西安交通大学出版社，2002.

(责任编辑 张文涛)

万方数据