

文章编号:1671-6833(2011)01-0085-04

城市恒压变频供水系统的一种智能优化控制策略

冯冬青¹,孔祥伟¹,许 仿²

(1. 郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001 2. 河南省电子规划研究院有限责任公司, 河南 郑州 450008)

摘 要: 城市恒压变频供水系统具有纯滞后时间长、扰动量多的特点, 常规 PID 控制很难达到理想的控制效果. 为此设计了一种遗传算法优化的模糊 PID 复合控制策略, 融合了模糊控制适应性强和 PID 控制调节精度高的特点, 同时利用遗传算法对模糊控制规则和 PID 参数进行全局优化, 使其更好地适应供水系统的实际需求. 仿真结果表明, 基于此控制策略的恒压变频供水系统的控制品质有了较大的改善和提高.

关键词: 变频恒压供水系统; 模糊控制; 遗传算法; PID 控制

中图分类号: TP273

文献标志码: A

0 引言

随着社会经济的快速发展, 人们对供水质量和供水系统可靠性的要求不断提高, 再加上国内的电力短缺现状, 利用先进的电气技术、自动控制技术来设计高性能、低能耗、能适应不同领域的恒压供水系统已经迫在眉睫. 目前城市恒压变频供水系统普遍采用的是传统的 PID 控制, 但是对于高楼层用户及对供水质量要求较高的工厂来说, PID 控制常常在稳定运行期存在供水压力偏差、抗干扰能力差、调节时间长等不足, 造成供水等待时间过长, 增加供水管道的损耗从而加大爆管的几率, 并且不利于节能减排^[1-2]. 因此有必要研究新型的恒压变频供水系统的智能控制策略, 用于改善恒压变频供水系统的供水质量.

1 城市恒压变频供水系统

城市恒压变频供水系统基本流程如图 1 所示, 系统由可编程控制器、变频器、水泵机组、压力传感器和其他控制器件组成^[3].

恒压变频供水系统将安装在用户供水管前端的压力仪表采集的用户端压力信号实时反馈给可编程控制器 (PLC), PLC 将反馈的用户端压力信号与已设定压力值进行比较, 然后通过内部控制算法产生控制量去实时控制变频器的输出频率,

利用变频器来调节水泵电机转速, 同时可以根据用水量的变化控制水泵机组的增泵或减泵, 当用户用水量发生变化时, 维持管网水压基本恒定以满足用水要求. 这样既可满足所有用户的需求, 又不致使水泵电机空转, 减少了电能的浪费. 同时可以根据不同时段用水需求的差异状况来设定不同的压力值, 在宏观范围内实现变压控制, 最大限度的减少能耗.

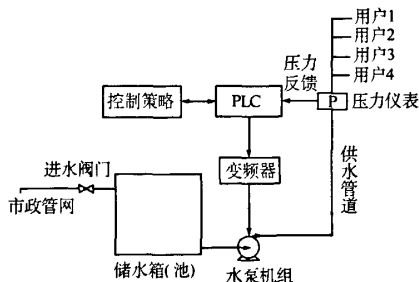


图1 系统运行工艺流程图

Fig.1 Process of system

目前 PID 控制仍然是绝大部分的恒压变频供水系统的首选控制方式. PID 控制器结构简单, 容易通过硬件和软件方式实现、工作稳定、控制精度高、鲁棒性较强, 但是 PID 控制存在调节时间过长、抗扰动力差等缺点. 特别是对于城市二次供水这样的大时滞、水泵运行状态切换频繁、难以确

收稿日期:2010-08-07;修订日期:2010-10-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60774059)

作者简介:冯冬青(1958-),男,广东佛山人,郑州大学教授,博士,主要研究方向为智能控制理论与应用. E-mail:

dqfeng@zzu.edu.cn.

定数学模型的复杂控制系统^[4],常规的PID控制器难以保证系统在任何工况条件下始终具有良好的控制性能,并且可能会降低供水系统的可靠性。

2 恒压变频供水系统的模糊控制策略

模糊控制(Fuzzy Control)是建立在人类思维模糊性的基础上的一种不依赖于被控对象精确数学模型的专家控制方式。模糊控制仿照人脑的推理过程,将操作者的经验总结成若干条模糊控制规则,控制规则经过模糊处理存储在计算机中,计算机根据推理规则确定推理法则,并根据信息按照控制规则和推理法则做出相应的模糊决策,完成控制动作。

图2为变频恒压供水系统模糊控制流程图,系统将压力仪表反馈回的用户端压力信号与设定的压力值进行比较,选用压力偏差E和压力偏差变化率EC作为输入量。首先对E和EC进行模糊化量化处理,分成若干等级。以郑州某小区住宅供水压力0.4 MPa为例,将压力偏差E和输出U的实际范围设定为 $[-0.4 \text{ MPa}, 0.4 \text{ MPa}]$,为提高控制精度,将压力偏差变化的EC范围设定为 $[-80, 80]$ 。为了简化分析过程,将E和EC和输出U的模糊论域量化为7个对称的模糊集合:负大(NB)、负中(NM)、负小(NS)、零(ZO)、正小(PS)、正中(PM)、正大(PB),根据模糊集合建立隶属函数,选择三角形隶属函数。然后根据专家经验建立模糊控制规则表。系统依据模糊规则表进行模糊推理,模糊推理出的结果经过反模糊转化为系统实际的控制量。笔者选用重心法作为反模糊方法。

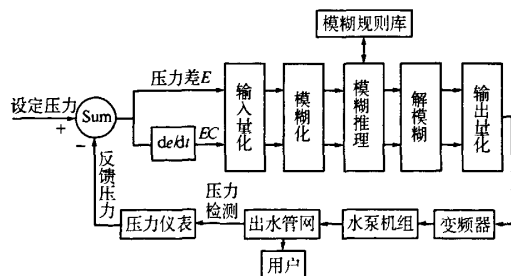


图2 恒压变频供水系统模糊控制流程图

Fig.2 Flow chart of fuzzy control system

表1为恒压变频供水系统模糊控制规则表。由于实际应用中模糊推理决策的运算量相当大,所以采用了离线方式先计算出了相应的数值,存于PLC内存中,控制时直接使用查表法来进行决策。

表1 恒压变频供水系统模糊控制规则表

Tab.1 Table of control regulation

U	EC						
	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PB	PB	PB	PB	PB	PM	ZO	ZO
PM	PB	PB	PB	PB	PM	ZO	ZO
PS	PM	PM	PM	PM	ZO	NS	NS
E ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
NS	PS	PS	ZO	NM	NM	NM	NM
NM	ZO	ZO	NM	NB	NB	NB	NB
NB	ZO	ZO	NM	NB	NB	NB	NB

模糊控制突出的优点是对不同过程控制的适应性强,调节时间短、具有很强的鲁棒性,而且结构简单、易于实现。但是,单纯采用模糊控制的恒压变频供水系统的静态性能较差,可能导致实际压力达不到设定值。这主要是因为,通常的模糊控制器以误差和误差变化作为输入,具有相似于比例微分控制的作用,而缺少积分控制,导致了模糊控制的静态性能不佳,不利于消除供水系统的压力误差。

3 基于GA优化的供水系统模糊PID复合

3.1 恒压变频供水系统的模糊PID复合控制

考虑到模糊控制具有很好的动态性能和快速响应能力,但不具备PID控制良好的静态性能和调整精确性。因此,把PID控制引入模糊控制中,让两者优势互补,构成模糊PID复合控制^[6]。将这种控制器用在供水系统中,构成了恒压变频供水模糊PID复合控制系统,其控制原理如图3所示。

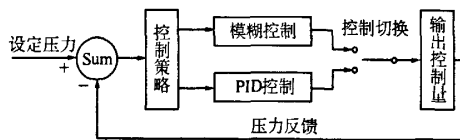


图3 供水系统模糊PID复合控制系统流程图

Fig.3 Flow chart of fuzzy PID control system

为系统设定一个压力切换点 $E_0 = 0.05 \text{ MPa}$ 。控制策略选择的基本原则是:以水压误差的大小作为决策的依据,在大误差范围内,即 $|E| > E_0$,采用模糊控制,以提高动态响应速度,增强系统的自适应能力;在小误差范围内,即 $|E| < E_0$,采用PID控制,以削弱静态误差,提高控制精度;同时,为了防止控制切换过于频繁,在误差的切换点,即 $|E| = E_0$,系统规定控制策略不作切换,维持上一次动作。

3.2 遗传算法

遗传算法 (Genetic Algorithm, GA) 是一种基于自然选择和自然群体遗传学机理而发展成的一种自适应启发式概率性迭代式全局搜索算法^[7]。遗传算法搜索使用评价函数来启发,过程简单;使用概率机制进行迭代,具有随机性;并且与问题的具体领域无关,可以进行并行搜索。因此遗传算法具有良好的全局搜索能力,可以快速地将解空间中的全体解搜索出来,而不会陷入局部最优解的快速下降陷阱。所以遗传算法很适合作为优化模糊控制系统的模糊规则表和 PID 控制器的 PID 参数。鉴于传统人工经验法整定控制系统参数的种种弊端,笔者采用了遗传算法分别对 PID 控制器的参数 K_p 、 K_i 、 K_d 和模糊控制器的模糊规则表进行优化。为了减小供水系统的实际运算量,全部使用计算机进行离线优化。

3.3 遗传算法优化 PID 控制器参数

恒压变频供水系统的数学模型可以近似描述为一个带纯滞后的一阶惯性环节,即可以写成:

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

式中: K 为系统的总增益; T 为系统的惯性时间常数; τ 为系统滞后时间。

对 K 、 T 、 τ 进行离线辨识,辨识结果取 $K = 0.584$, $T = 8.23$ s, $\tau = 2.83$ s。

为减少初始寻优的盲目性,节省计算量,利用 Z-N 整定法整定出一组 K_p 、 K_i 、 K_d 数据作为参考,然后在这组参数的周围利用遗传算法进行全局寻优。利用 Z-N 整定法整定出的结果为: $K_p = 6.2463$, $K_i = 0.4368$, $K_d = 1.2971$ 。

设置采样时间为 1 ms,输入指令为一幅值为 0.4 的阶跃信号。为获取良好的过渡过程动态特性和防止产生过大的输出量,采用了带有控制输入平方项的误差绝对值时间积分性能指标作为参数选择的最小目标函数^[8]。如下式:

$$J = \int_0^{+\infty} (w_1 |e(t)| + w_2 u^2(t)) dt + w_3 \cdot t_u \quad (2)$$

式中: $e(t)$ 为系统误差, $u(t)$ 为控制器输出, t_u 为上升时间, w_1 、 w_2 、 w_3 为权值。为了避免系统产生超调,这里采用了惩罚原则,即超调一旦产生,将超调量作为最优指标的一项,此时最优指标为:

$$J = \int_0^{+\infty} (w_1 |e(t)| + w_2 u^2(t) + w_4 |ey(t)|) dy + w_3 \cdot t_u \quad (3)$$

式中: $w_4 > w_1$, $ey(t) = y(t) - y(t-1)$, $y(t)$ 为对象输出。

采用格雷编码作为编码方式,并随机生成种群规模为 30 的初始种群,因为系统中有 K_p 、 K_i 、 K_d 3 个参数需要优化,将这 3 个参数为分量构成一个三维向量,并编码。权值 w_1 、 w_2 、 w_3 和 w_4 分别取 0.99、0.01、2.0 和 100。 K_p 的取值范围为 [4, 8], K_i 、 K_d 的取值范围为 [0, 2], 交叉概率 P_c 和变异概率 P_m 分别选为 0.9 和 0.033,采用单点交叉方式。经过一百代的进化,获得的最优化参数为: $K_p = 6.0622$, $K_i = 0.4018$, $K_d = 1.2509$ 。

3.4 遗传算法优化模糊控制规则表

为了使模糊控制器获得最佳性能,对模糊控制器的模糊规则进行优化。恒压变频供水系统的一组模糊控制规则可以看作是一组输入输出语言值的排列组合,在输入变量语言值排列组合次序确定的情况下,只需记录输出变量在该排列组合次序下的模糊语言值,而输出变量的语言值很容易用二进制来表达,因此一组模糊规则可以用一个二进制串来表示。对于二维的模糊控制器, E 、 EC 和控制器输出 U 的模糊语言变量值为 NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB, 共有 49 条规则,每条规则可用 3 位二进制数表示,即可分别表示为二进制数 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 当没有这条控制规则时,编码成 111。这样 49 条模糊规则可转化为一个长度为 49×3 的二进制串。采用误差绝对值时间积分性能指标 (ITAE) 最小值作为遗传算法的目标函数,即:

$$J(\text{ITAE}) = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt = \min \quad (4)$$

采用二进制编码方式。取初始种群大小为 50,最大的进化代数选为 100,交叉概率 P_c 和变异概率 P_m 分别选为 0.9 和 0.01。表 2 为优化后的模糊控制规则表。

表 2 GA 优化后的模糊控制规则表

Tab. 2 Table of control regulation after GA optimization

U	EC						
	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
E	PB	PB	PB	PB	PB	PM	ZO
	PM	PB	PB	PB	PM	PM	ZO
	PS	PB	PM	PM	PS	ZO	NS
	ZO	PM	PS	PS	ZO	NS	NM
	NS	PS	PS	ZO	NS	NM	NB
	NM	ZO	ZM	NM	NB	NB	NB
	NB	ZO	NM	NB	NB	NB	NB

3.5 系统仿真结果

为了验证 GA 优化的供水系统模糊 PID 复合控制器的性能,分别对使用 Z-N 整定的 PID 控

制器、未优化的模糊 PID 复合控制器和 GA 优化后的模糊 PID 控制器进行了计算机建模仿真。并且为了验证系统的抗扰动能力,在仿真时间 50 s 时加入一个时长为 3 s 的负脉冲,模拟用水量突然增多的情况。仿真结果如图 4 所示。

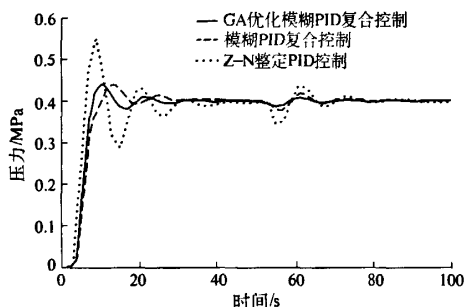


图 4 不同控制策略下的压力曲线

Fig. 4 Pressure curves with different Control strategies

从仿真结果看,3 种控制方式都能使供水压力最终稳定在设定值 0.4 MPa。但是使用 Z-N 整定 PID 控制器的供水系统启动后调节时间长、调整期间存在较大超调和较强的波动,并且抗扰动能力较差,这对供水系统的性能和可靠性都会有影响;使用模糊 PID 复合控制器的供水系统性能较 Z-N 整定 PID 控制器性能有了大幅提高,不仅调节时间短,而且超调量也非常小;经过遗传算法优化后的模糊 PID 复合控制器的调节时间进一步缩短,抗扰动能力也比未优化前得到了较大的提升。

4 结论

基于 GA 优化的模糊 PID 复合控制器融合了

An Intelligent and Optimized Control Strategy for Water Supply System of Constant Pressure and Frequency Conversion

FENG Dong-qing¹, KONG Xiang-wei¹, XU Fang²

(1. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Institute of Electronic planning limited liability company, Zhengzhou 450008, China)

Abstract: Water supply system of constant pressure and frequency conversion has the characteristics of existing a long time lag and being disturbed easily by noises, so it is difficult to obtain satisfactory control effect using conventional PID control. This paper proposes an fuzzy and PID controller combination based on genetic algorithm, which makes the system have the agility and adjustability characteristics owing to the fuzzy control system and run stably resulting from the PID control system, the structure of fuzzy rule bases and PID parameters are optimized by genetic algorithm, so that the control system will better prepare them for water supply system. The simulation results show that the new control strategy has better performance.

Key words: water supply system of constant pressure and frequency concersion; fuzzy contrl; genetic algorith; PID controller

模糊控制、PID 控制和遗传算法三者的优点,可以有效提高城市恒压变频供水系统的响应速度、供水质量和可靠性,充分体现了智能控制的优点。特别是对于用水量波动较大的高层建筑,其控制效果提升更加明显。而且不需要对传统的恒压变频供水系统做硬件上的改动,只需对其进行控制策略上的改进,进行相应的软件编制即可。该控制策略可广泛用于住宅小区、高层建筑和其他对供水质量要求严苛的场合。

参考文献:

- [1] 杨金牛,李众.采用模糊控制策略改进小区恒压供水系统[J].中国给水排水,2008,24(2):46-48.
- [2] 冯仰新,冯仰敏,李志鸿.基于 PLC 的 Fuzzy-PID 控制恒压供水系统[J].电机与控制应用,2009,36(2):36-39.
- [3] 伊学农.城市给水自动化控制技术[M].北京:化学工业出版社,2008:246-248.
- [4] 黄良沛.城市供水系统的优化调度与智能控制研究[D].长沙:中南大学机电工程学院,2005:92-93.
- [5] 吴春富.基于遗传算法优化的模糊 PID 控制研究[J].控制理论与应用,2005,24(7):14-18.
- [6] 朱晓东,李晓媛,万红.纯滞后系统的模糊复合控制方法[J].郑州大学学报:工学版,2005,26(1):92-95.
- [7] 冯冬青,郭艳.遗传算法改进 BP 神经网络在地下水水质评价中的应用[J].郑州大学学报:工学版,2009,30(3):126-127.
- [8] 刘金琨.先进 PID 控制 MTATLAB 仿真[M].北京:电子工业出版社,2005:221-228.