

模糊自适应 PID 楼宇变频恒压供水控制系统设计*

高雅 陈忠孝 秦刚 冯利

(西安工业大学 西安 710021)

摘要: 针对楼宇变频恒压供水控制系统工作时被控对象参数会发生变化,同时整个系统是一个复杂、大滞后时延系统。传统的控制方法大多采用 PID 进行控制,但是其控制效果差。为了对楼宇中供水系统中的水压进行有效的控制,采用模糊自适应 PID 控制器根据楼宇中供水管网的水压偏差和偏差变化率对 PID 参数进行自动调整,并经过 MATLAB 仿真。结果表明,模糊自适应 PID 与 PID 相比,具有更好的稳态精度和动态响应,满足楼宇变频恒压供水系统的控制要求。

关键词: 供水控制系统;变频恒压;模糊自适应 PID;MATLAB 仿真

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8020

Fuzzy adaptive PID control system design of building frequency constant water supply

Gao Ya Chen Zhongxiao Qin Gang Feng Li

(Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: The parameters of the controlled object will change when the frequency conversion constant pressure water supply control system is working. Most of the traditional control methods are controlled by PID, but the control effect is poor. In order to water pressure of the water supply system in the building of effective control, the fuzzy adaptive PID controller to adjust the PID parameters automatically according to the pressure deviation and deviation change rate of building water supply network, and through MATLAB simulation. The results show that the fuzzy adaptive PID has better steady-state accuracy and dynamic response compared with the PID, and can meet the control requirements of building variable frequency constant pressure water supply system.

Keywords: water supply control system; variable frequency constant pressure; fuzzy adaptive PID; MATLAB simulation

0 引言

最早的楼宇供水有水塔供水和楼顶水池供水。水塔供水是利用水泵将自来水输送到水塔,其占地面积大、成本高,而且不能满足高层楼宇的需要。楼顶水池供水是将自来水输送到顶楼水池,但是这两种方法都会对居民的用水造成二次污染,影响居民的健康。同时,水泵运行在额定负荷,造成了能源浪费^[1]。变频恒压供水系统的应用,不仅节能,而且可以有效的解决传统的楼宇供水对水质造成的二次污染,保证居民生活用水安全。但由于楼宇供水系统在工作时,其系统存在一定的复杂性和滞后性。当用户的用水量较大时,系统的运行状态将产生较大变化。此时,使用 PID 无法达到较好的控制效果^[2]。由于模糊控制具有良好的动态特性,为此,本文提出采用模糊自适应 PID 控

制算法对其进行控制。

1 控制方案

楼宇变频恒压供水控制系统是为了解决楼宇供水时出现水压不足的问题,通过对供水管网中的水压进行实时检测。当水压出现变化时,通过控制管网中用水量使管网中的水压达到动态平衡^[3-5]。恒压供水系统由主控电路、压力变送器、变频器、多路继电器、水泵等组成。如下图 1 所示,压力变送器检测用户供水管网中水压大小,将水压信息传递给主控电路,主控电路根据管网中的水压,通过变频器控制水泵的功率^[6]。若实际水压小于预设值时,通过变频器提高 1 号水泵的功率。当 1 号水泵达到额定功率,不能满足用户供水管网设定的压力,2 号水泵以工频方式启动。

收稿日期:2017-03

* 基金项目:陕西省教育厅服务地方专项计划(15JF018)资助项目

如果仍未达到预设压力值,根据情况启动 3、4 号水泵。若实际水压大于预设值将降低 1 号水泵的功率,并依次关闭其他水泵。此时,1 号水泵以变频方式运行,使用户管网中的水压达到动态的平衡。

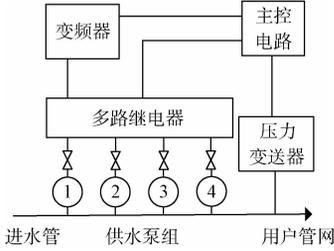


图 1 楼宇变频恒压供水控制系统原理

2 控制系统硬件设计

楼宇变频恒压供水控制系统的主控电路主要由主控芯片、传感器、A/D 转换电路、D/A 转换电路、继电器保护电路以及运算放大器等组成。其硬件结构如图 2 所示。

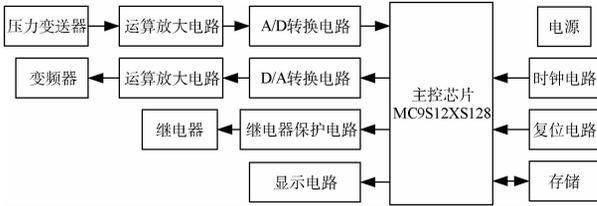


图 2 控制系统硬件结构

其中,主控电路使用 MC9S12XS128 芯片作为主控芯片,在主控电路中,包括时钟、复位和存储电路。由于压力变送器采集的是模拟量,因此需要 A/D 转换电路将其转换为数字量以供主控芯片处理。变频器采用 D/A 的方式进行控制,所以主控芯片通过 D/A 转换电路将数字量转换为模拟量,对变频器的输出进行控制,从而调节水泵的转速。为了将采集的模拟量信号进行放大和提高电路的带载能力,分别在 A/D 和 D/A 转换电路前端设计了运算放大电路。多路继电器是为了实现对主控芯片多台水泵的控制。显示电路实现对当前水泵工作台数、1 号水泵电机的工作频率以及管网中的水压。同时,为了减少强电对主控芯片的影响,在 A/D 转换电路和继电器保护电路中,均通过光电耦合电路进行隔离。

3 控制系统的软件设计

为了减小 CPU 的运算工作量,提高系统的实时性和响应速度。首先利用 MATLAB 软件对模糊控制规则表进行建立,然后将其存入存储单元中,采用查表法实现对 K_p 、 K_i 和 K_d 进行自动调整。具体方法为首先给定预设值,压力变送器检测实际值,得到水压偏差 e 和偏差变化率 ec ; 再次将 e 和 ec 离散并量化到对应的论域中,通过查找模糊控

制规则表,得到相应的 K_p 、 K_i 和 K_d 值;最后计算出控制量并输出^[7]。模糊自适应 PID 控制算法如图 3 所示。

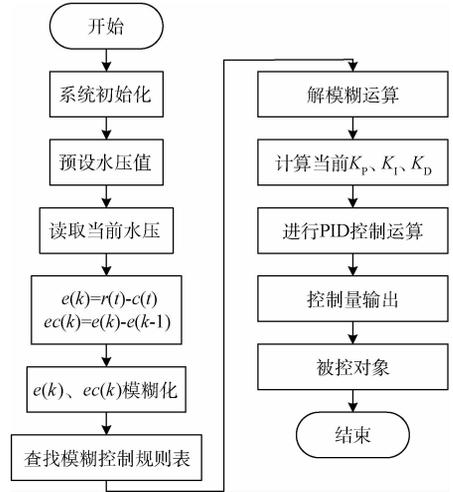


图 3 模糊自适应 PID 控制算法流程

4 控制器设计与仿真

4.1 模糊自适应 PID 控制原理

在控制系统中模糊自适应 PID 控制器分为模糊推理器和 PID 控制器两部分^[8]。首先建立由实际侧得当前管网中水压偏差 e 和偏差变化率 ec 作为输入参数、PID 的 3 个参数作为输出参数以及它们之间的模糊关系组成的模糊推理器。控制器在整个执行过程中,先寻求它们之间的模糊关系。在系统运行中,通过压力变送器检测管网中的 e 和 ec ,根据推理器中的模糊规则,实现对 PID 控制器中 3 个参数的不断修正^[9],从而使整个楼宇供水管网中的水压达到动态的平衡,提高了系统的性能。模糊自适应 PID 控制系统结构框图如图 4 所示。

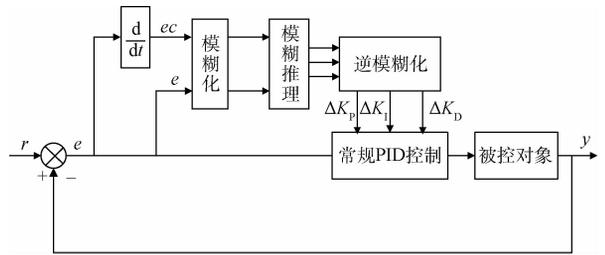


图 4 模糊自适应 PID 控制器结构

4.2 参数自适应规则

PID 控制器是一种线性控制器,由给供水管网的压力 $r(t)$ 与实际压力 $c(t)$ 构成压力偏差 $e(t)$,即:

$$e(t) = r(t) - c(t) \quad (1)$$

其控制规律为:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2)$$

由于计算机控制是一种采样控制,需要进行离散化处理,设 T 为采样周期,可得离散的 PID 表达式为:

$$u(k) = K_p \left\{ e(t) + \frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^k e(i) + \frac{T_D}{T} [e(k) - e(k-1)] \right\} \quad (3)$$

式中: k 为采样序号, $k=0,1,2,\dots$; $u(k)$ 为第 k 次采样时刻的计算机输出值; $e(k)$ 为第 k 次采样时刻输入的偏差值; $e(k-1)$ 为第 $k-1$ 次采样时刻输入的偏差值; 积分系数 $K_i = \frac{K_p T}{T_i}$, 微分系数 $K_D = \frac{K_p T_D}{T}$ 。

在模糊自适应 PID 控制器中,针对供水管网中的水压偏差 e 和偏差变化率 ec 对常规 PID 控制器 3 个参数 K_p 、 K_i 、 K_D 进行自动调整^[10],其规则如下:

1) 当水压偏差 e 较大时,为了提高系统的响应速度, PID 控制器应取较大的 K_p 和较小的 K_D , 同时为避免系统出现较大的超调量, $K_i = 0$ 。

2) 当水压偏差 e 中等时,为了使系统响应超调较小, PID 控制器应取较小的 K_p 。在此情形下, K_D 的取值对系统响应影响很大,应适当小些, K_i 的取值应适当,保证系统的响应速度。

3) 当水压偏差 e 较小时,为了使系统有较好的稳态性能, PID 控制器应取较大的 K_p 和 K_i 。 K_D 的取值要恰当,以避免系统在预设值附近出现振荡。

4.3 数学模型的建立

在楼宇变频恒压供水控制系统中,随着水泵的运行,供水管网中的水压开始不断的上升。当水压达到预设值时,水压可认为恒定不变,是一个纯滞后过程。而水压的上升过程,可以近似为大时间常数的一阶滞后环节^[11]。此环节用一下传递函数描述。

$$G_1(s) = \frac{K_1}{T_1 s + 1} e^{-\tau s} \quad (4)$$

式中: T_1 为时间常数, K_1 为比例系数, τ 为纯滞后时间。

在工程实践中,变频器和电机可近似等效为带死区时间 T_3 的时间常数为 T_2 的一阶滞后环节,则传递函数为:

$$G_2(s) = \frac{K_2}{T_2 s + 1} \quad (5)$$

式中: T_2 为时间常数,一般为几十到几百毫秒, K_2 为比例系数。一般电动机的最佳启动频率大约在 $10 \sim 16$ Hz, 所以最佳启动频率之前的频段是系统的死区范围。

综上所述,楼宇变频恒压供水控制系统的数学模型可看作为具有滞后性、带死区的两个惯性环节串联,其传递函数如式(6)所示。

$$G(s) = \frac{K e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \quad (6)$$

式中: $T_1 > T_2$, 死区时间 T_3 , $K = K_1 K_2$ 。

4.4 模糊控制器的建立

本系统模糊控制是二输入三输出的控制结构形式,以供水管网中的水压偏差 e 和偏差变化率 ec 两个参数作为输

入量,以 K_p 、 K_i 、 K_D 这 3 个参数作为输出量^[12-13]。采用 7 个词汇作为输入、输出语言变量的模糊语言,即 {负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大}, 用英文字母缩写为 {NB, NM, NS, Z0, PS, PM, PB}。将 e 和 ec 的论域设为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, K_p 、 K_i 和 K_D 的论域设为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, 选择其隶属度函数均为三角形函数。根据以上的模糊控制规则、工程设计人员的技术知识和现场操作人员的操作经验^[14-15], 分别得到了针对 K_p 、 K_i 、 K_D 的模糊控制规则表。

表 1 K_p 的模糊控制规则

e	ec						
	NB	NM	NS	Z0	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PM	PS	PB
NM	PB	PB	PM	PM	PS	PS	Z0
NS	PM	PM	PS	PS	NS	NS	NS
Z0	PM	PM	PS	PS	Z0	Z0	NS
PS	PS	PS	NS	NS	Z0	Z0	NM
PM	PS	PS	NS	NS	NM	NM	NM
PB	Z0	Z0	NS	NS	NM	NM	NB

表 2 K_i 的模糊控制规则

e	ec						
	NB	NM	NS	Z0	PS	PM	PB
NB	NB	NM	NS	NS	Z0	PS	PM
NM	NM	NB	NS	Z0	PM	PS	PM
NS	NS	NS	NS	Z0	PM	PS	PM
Z0	NS	Z0	Z0	Z0	PS	PM	PM
PS	Z0	PM	PM	PS	PS	PM	PB
PM	PS	PS	PS	PM	PM	PM	PB
PB	PM	PM	PM	PM	PB	PB	PB

表 3 K_D 的模糊控制规则

e	ec						
	NB	NM	NS	Z0	PS	PM	PB
NB	PS	NM	NS	NS	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NS	Z0	NB	NM	PS
NS	Z0	NS	Z0	Z0	NM	NS	PS
Z0	Z0	Z0	Z0	Z0	NM	NS	Z0
PS	Z0	PS	PS	PS	Z0	Z0	Z0
PM	PB	PS	PM	PM	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

5 控制器仿真

本文利用 Simulink 仿真工具对控制系统进行仿真与

分析,根据《建筑给水排水设计规范》,一般高层水泵调压根据楼层高低来调压,本文中以11层供水压力为0.5 MPa为例,系统的近似模型为:

$$G(s) = \frac{25e^{-0.5s}}{(12s+1)(0.4s+1)} \quad (7)$$

其中,死区时间 $T_3 = 1$ s,进行仿真补偿。Simulink 仿真如图5所示。

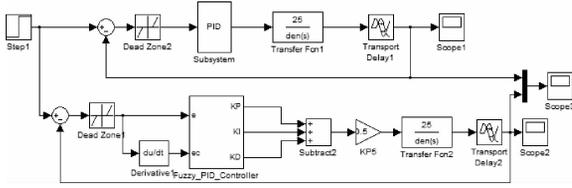


图5 Simulink 仿真

首先对PID初值参数进行整定得到 $K_p = 0.09$ 、 $K_I = 0.0065$ 、 $K_D = 0.05$,在模糊控制中,对 K_e 、 K_{ec} 对误差和误差变化率进行量化,取量化因子 $K_e = 0.05$ 、 $K_{ec} = 0.005$,解模糊因子 $K'_p = 0.02$ 、 $K'_I = 0.005$ 、 $K'_d = 0.02$,仿真时间为50 s,仿真结果如图6所示。

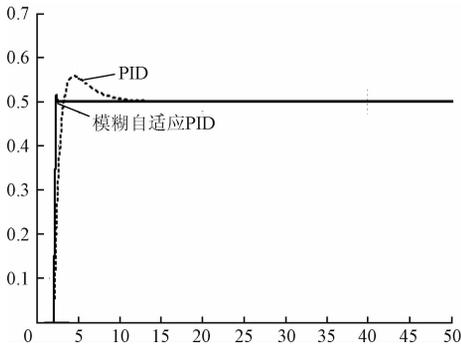


图6 模糊自适应PID与PID响应曲线

由仿真结果可以看出,此方法与常规的PID控制相比,超调量较小,有效防止了供水管网中“水锤”对管路的影响。较小的调节时间,提高了系统的响应。因此,在本控制系统中,选择模糊自适应PID的方法进行控制,其控制的效果优于PID控制。同时由于模糊控制器能够根据供水管网中的水压偏差 e 和偏差变化率 ec 对3个参数 K_p 、 K_I 、 K_D 进行修正,使得系统具有更好的适应性和鲁棒性。

6 结 论

本文从楼宇变频恒压供水控制系统的工作原理、硬件结构和控制算法进行介绍,通过对两种控制算法的仿真分析,得出模糊自适应PID可通过供水管网中的水压偏差和偏差变化率,反复对PID的3个参数进行修正,其具有更好的稳态精度和响应速度,控制效果较好,工程适用性强,有效的满足楼宇变频恒压供水控制系统的控制要求。同时,该控制系统可以有效的解决高层建筑供水不足的问题,避

免了高层建筑二次供水带来的水质问题。并且节约能源,又可以有效的防止水质的二次污染,保证人们的用水安全,具有较高的实用性和可行性。

参考文献

- [1] 黄鹏. 住宅小区变频调速恒压供水系统节能设计分析与应用[J]. 中外建筑, 2010(1): 131-132.
- [2] 汪德彪, 宋乐鹏, 杜飘, 等. 参数自适应模糊PID在恒压供水中的应用[J]. 微计算机信息, 2010, 26(7): 49-51.
- [3] 徐朋祥. 基于PLC的变频恒压供水系统的设计[J]. 科技创新与应用, 2017(6): 78.
- [4] 宋阳. 基于PLC的双恒压供水控制系统设计研究[J]. 制造业自动化, 2012, 34(8): 138-140.
- [5] 周建波, 陈培国, 张风军, 等. 基于模糊PID控制的矿井恒压供水系统设计[J]. 煤矿机电, 2017(1): 22-24.
- [6] 王继, 袁宇浩. 基于模糊PID的循环水站恒压供水系统的设计与仿真[J]. 仪表技术与传感器, 2016(3): 97-104.
- [7] 吴学娟, 郎朗. 模糊自适应控制在变频恒压供水系统中的应用[J]. 工业控制计算机, 2010, 23(11): 53-54.
- [8] 张静, 李茂军, 袁卓异, 等. 变频恒压供水系统模糊PID混合控制策略研究[J]. 传感器与微系统, 2013, 32(5): 68-77.
- [9] 陈云, 刘新妹, 郭栋梁, 等. 基于模糊自适应PID高精度控制系统设计[J]. 电机与控制应用, 2016, 43(2): 13-17.
- [10] 张叶茂, 杨晓武. 自适应模糊PID在压铸机控制系统中的应用[J]. 热加工工艺, 2016, 45(23): 96-102.
- [11] 王瑜瑜, 刘少军. 专家规则自适应PID控制策略在变频恒压供水系统中的研究[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(8): 103-106.
- [12] 任亚奇, 滕召胜, 黄强, 等. 电子分析天平模糊自适应PID平衡调节方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(6): 1424-1432.
- [13] 马立新, 范洪成, 黄阳龙. 永磁伺服电机模糊PID自整定SVPWM控制研究[J]. 电子测量技术, 2016, 39(6): 20-23.
- [14] 张天吉, 石晶, 刘武通, 等. 模糊PID控制仿真研究[J]. 汽车实用技术, 2017(1): 93-104.
- [15] 任丹. 基于模糊PID控制算法的恒压供水系统研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2014.

作者简介

高雅, 硕士研究生, 主要研究方向为计算机控制系统。
E-mail: 970580740@qq.com