

# 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

王瑜瑜 刘少军

(西安航空职业技术学院 西安 710089)

**摘要:**针对恒压供水系统普遍存在的惯性大、非线性、随机性及纯滞后性的特点,设计了一种基于专家规则的自适应 PID 控制策略的变频恒压供水系统。硬件部分介绍了系统的结构及组成,软件设计部分首先构建系统数学模型,研究了专家规则自适应 PID 控制的理论,兼具传统 PID 控制精度高及专家规则自适应强的优点。最后用 MATLAB 将各种控制算法进行仿真,结果表明:专家规则自适应 PID 控制器能够使系统的动态、稳态性能优化,具有一定的应用前景。

**关键词:** PID; 专家规则; MATLAB; 仿真

**中图分类号:** TN830 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 120.3099

## Design of the expert rule adaptive PID control strategy in variable frequency and constant pressure supporting water system

Wang Yuyu Liu Shaojun

(Xi'an Aeronautical Polytechnic Institute, Xi'an 710089, China)

**Abstract:** The variable frequency constant pressure supply water system based on the expert rule adaptive PID control method was designed according to the ubiquitous characteristics of large inertia, nonlinear, stochastic and pure lag. The structure and composition of the system were introduced in the hardware part. The mathematical model of the system was firstly built in the software part, and then the expert rule adaptive PID control theory was studied, which combines the advantages of high precision of the traditional PID control and strong self-adaption of expert rules. Finally the simulation of various control algorithms was carried on using MATLAB. The simulation results show that the expert rule adaptive PID controller can make the dynamic and steady-state performance optimal, and has a certain application prospect in control systems.

**Keywords:** PID; expert rule; MATLAB; simulation

### 1 引言

节能环保已成为当今社会的主题,这就势必将先进的控制技术及网络通信技术运用到供水系统当中,拥有显著节能特色的变频恒压供水系统已成为发展的必然趋势。变频技术在恒压供水系统中的应用,不仅能够节约成本、能源,提高效率,而且对于环境的保护、改善在一定程度上也起到了积极地促进作用。由于城市供水系统分布广、铺设复杂、惯性大、非线性及滞后性大等特点,若采用传统的 PID 控制效果不理想。基于此本文提出了基于专家规则

自适应 PID 控制策略的恒压供水系统,不仅具有传统 PID 控制的优势,而且由于引进专家规则使得控制参数能够跟随被控对象参数自适应变化,优化了系统的控制性能。

### 2 系统硬件设计

#### 2.1 系统硬件结构设计

本文主要以 4 台水泵的恒压供水系统为研究对象,系统原理如图 1 所示。系统以 s7200PLC 为控制中心,主要由 PLC 控制器、压力及液位检测仪表、变频器、水泵机组、储水池、报警器等组成。

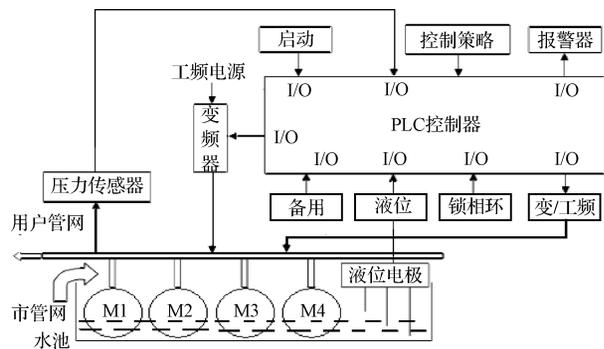


图1 系统硬件原理

## 2.2 系统工作原理

系统的具体工作过程为:作为检测元件的压力传感器不停地对管网中的水压值进行采集,将压力信号转化为电信号,并将此电信号传输给PLC,PLC将此水压值与给定值进行比较,然后根据控制算法计算出相应的控制量来实时控制变频器的输出频率,用于控制电机转速,最终达到维持系统水压恒定不变的目的。当变频器的输出频率接近50 Hz时同步锁相环工作,当锁相环检测到变频器输出电压相位与输入电压相位近似相等时,启动变频/工频切换电路<sup>[1-2]</sup>,水泵由变频运行状态转换至工频运行状态。按照当前水压大小情况决定是否将下一台水泵投入使用,若当前水压大小仍小于设定值那么运行下一台水泵,否则就不运行。由此可见,此控制方式设备投资少、灵活性强,并且在工频/变频的切换过渡平稳、大大降低了对电网的冲击,真正实现了供水系统的恒压控制。

## 3 系统软件的设计

### 3.1 系统主程序设计

该系统中,各种数据的采集,信号的输入、输出,信号的显示,锁相环同步变频/工频切换控制及自调整控制参数的PID控制都要靠软、硬件的配合才能实现。系统主程序完成的功能有:系统初始化、数据采集比较、LED显示、键盘扫描、故障处理、压力闭环控制、锁相环同步切换控制等。主程序流程如图2所示。

### 3.2 控制算法子程序设计

系统根据当前误差量 $e$ 值的大小及误差绝对值的变化趋势判断采用何种控制方法。专家规则库中有5种产生式规则,即根据被控对象参数的变化系统共设计5种PID的控制策略<sup>[3-5]</sup>。其流程如图3所示。

## 4 专家规则PID控制器设计

由于城市供水系统管网铺设复杂且蜿蜒曲折,达到设定压力所需时间长,故供水系统是纯滞后比较大的系统。为了更进一步提高系统的稳定性、准确性、快速性3方面的性能,本文将专家规则、PID控制两种控制方法相结合提出了专家规则自适应PID控制器。有效地提高了系统的响应速度和控制精度。

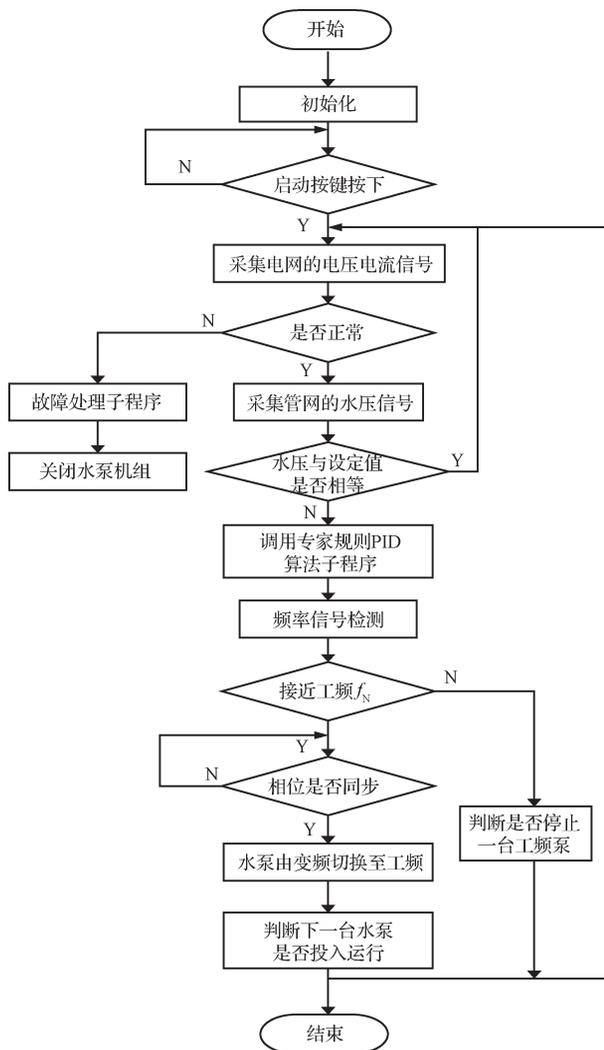


图2 系统主程序流程

### 4.1 系统数学模型的建立

该恒压供水系统的执行机构是水泵,水泵由初始状态向稳态过渡时一般分为压力上升及恒压两个过程。其中前一过程可看作是一个时间常数 $T_1$ 很大的一阶惯性环节。而恒压过程是一个压力保持不变的纯滞后过程,滞后时间为 $\tau$ 。系统的执行机构可看作是一个时间常数为 $T_2$ 的一阶惯性环节。变频器带动电机的软启动过程中,启动时间的长短是判断启动优良的一个关键性因素<sup>[6-7]</sup>。由于受到电阻及漏电抗的影响,电机的启动转矩会随着变频器输出频率的下降而降低。为了获得最佳的启动效果即启动转矩最大而电流尽可能小,启动频率的选择就变得至关重要。最佳的启动频率范围一般是12.5~25 Hz,把12.5 Hz之前的频段称之为死区。系统的其他控制检测部分可视为比例环节,因为它们的时间常数 $T$ 及滞后时间 $\tau$ 与系统执行机构的相比可忽略不计。所以系统的数学模型可看作由两个一阶惯性环节、纯滞后环节及比例环节串联组成,系统传递函数如式(1)所示。

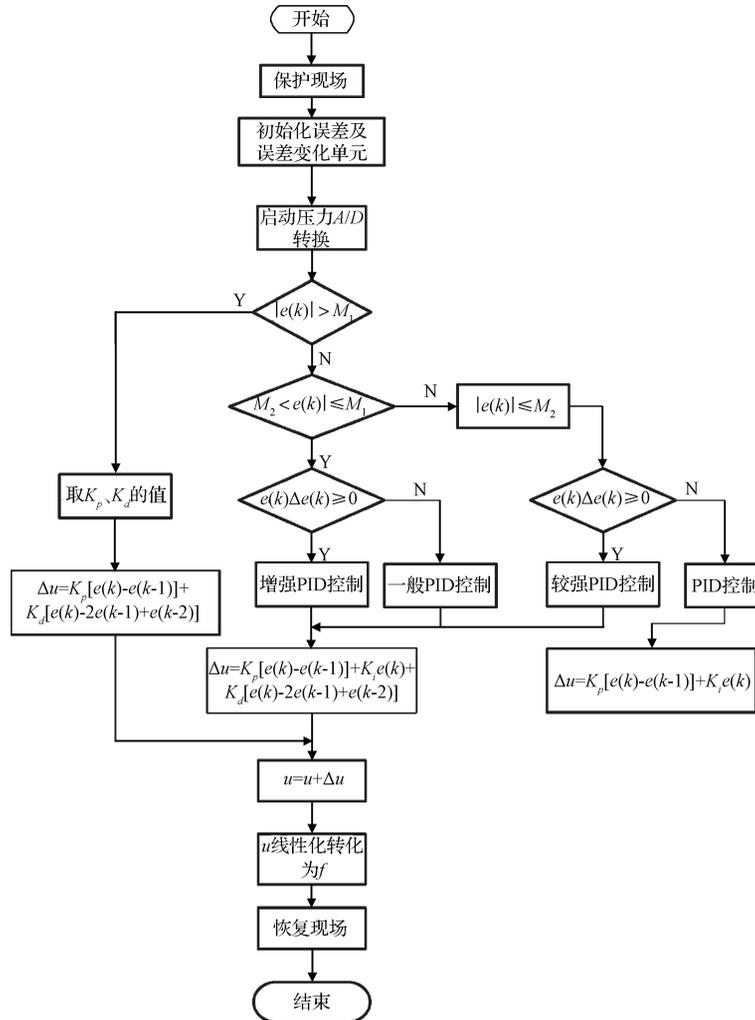


图3 控制算法程序流程

$$G(s) = \frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} e^{-\tau} \quad (1)$$

式中:  $K$  为系统的增益;  $T_1$  为惯性时间常数;  $T_2$  为变频器  
和电机时间常数;  $\tau$  为系统的纯滞后时间。

#### 4.2 专家规则 PID 控制器的设计

众所周知 PID 控制器的控制精度高, 但动态响应特性  
却是差强人意, 主要还是因为传统 PID 控制器的 3 个参数  
 $K_p$ 、 $K_i$  及  $K_d$  不能够进行自我调整。而恒压供水系统又普  
遍存在的惯性大、非线性、随机性等特点, 若仅采用 PID 控  
制难以获得理想的控制效果。基于此本文设计了专家规则  
的自适应 PID 控制器, 其结构如图 4 所示。从图中可以看  
出, 专家规则 PID 控制器将专家规则、PID 控制有效结合,

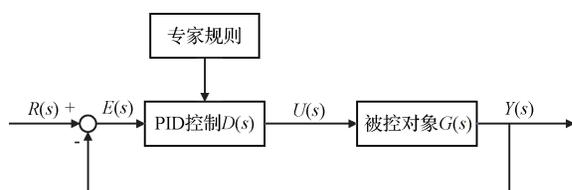


图4 控制器的结构

PID 控制器的 3 个参数可以跟随被控对象  $G(s)$  的变化进行  
自适应调整, 真正做到优势互补、提高系统的控制性能。

根据图 4 可得出 PID 控制器的输出为:

$$u(k) = K_p \left\{ e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(j) + \frac{T_d}{T} [e(k) - e(k-1)] \right\}$$

式中:  $e(k)$  为第  $k$  个采样时刻的误差;  $T$  是采样周期;  $K_p$ 、  
 $T_i$ 、 $T_d$  分别是 PID 控制器的 3 个参数即比例系数、积分时  
间、微分时间<sup>[8-9]</sup>。

其中专家规则主要包含以下产生式规则:

- 1) 若  $|e(k)| > M_1$ , 则进行 PD 控制, 其中  $K_p$  取较大  
的值  $K_1$ , 而积分时间常数  $T_i$  取无穷大。
- 2) 若  $M_2 < |e(k)| \leq M_1$  且  $e(k) \cdot \Delta e(k) \geq 0$ , 则进行  
增强型 PID 控制, 其中  $K_p$  取较大的值  $K_2$ 。
- 3) 若  $M_2 < |e(k)| \leq M_1$  且  $e(k) \cdot \Delta e(k) < 0$ , 则进行  
一般的 PID 控制, 其中  $K_p$  取较小的值  $K_3$ 。
- 4) 若  $|e(k)| \leq M_2$  且  $e(k) \cdot \Delta e(k) \geq 0$ , 则进行较强  
的 PID 控制, 其中  $K_p$  取较大的值  $K_4$ 。
- 5) 若  $|e(k)| \leq M_2$  且  $e(k) \cdot \Delta e(k) < 0$ , 则进行 PI 控  
制, 其中微分时间  $T_d$  为零, 而  $K_p$  取较大值  $K_5$ 。

其中  $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 、 $K_4$  及  $K_5$  的值通常由经验进行整定。

## 5 系统仿真及分析

前文已经对系统进行了数学模型的建立,  $G(s) = \frac{K}{(T_1s+1)(T_2s+1)}e^{-\tau}$ , 系统为二阶惯性滞后环节。通常采用离线开环阶跃输入响应的方法来确定  $K$ 、 $T_1$ 、 $T_2$ 、 $\tau$  的值。具体操作方法是在系统开环的状态下, 给系统输入一个单位阶跃信号, 观察并记录系统的输出信号水压  $P$  的变化。最终计算出  $K=16$ ,  $T_1=7.4$ ,  $T_2=0.6$ ,  $\tau=2.5$ 。

系统利用 MATLAB7.0 中的 Simulink 对所设计的供水系统性能进行仿真<sup>[10]</sup>。为了使实验结果更具说服力, 系统输入新信号  $R(s)$  为单位阶跃信号, 被控对象模型为  $G(s)$ , 控制器部分对 PID 控制器、专家规则自适应 PID 控制器单独进行了仿真。对系统进行仿真的结果如图 5 所示, 其中虚线为传统 PID 控制的响应曲线, 实线为专家规则自适应 PID 控制的响应曲线。

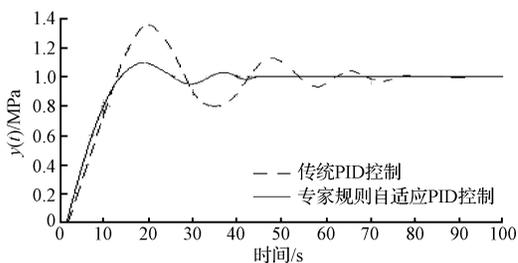


图 5 不同控制策略的仿真曲线

从图 5 可以看出, 传统 PID 控制的控制精度高无稳态误差, 但相应速度最慢且有较大的超调量; 专家规则自适应 PID 控制, 系统响应速度快、超调量小且控制精度高无稳态误差, 可以获得良好的动态性能和稳态性能。

为了检测 FUZZY-PID 控制器的稳定性及适应性, 现将被控对象的传递函数  $G(s)$  的参数  $T_1$ 、 $T_2$  及  $\tau$  随机取 3 组不同的数值进行测定<sup>[11]</sup>, 实验结果如图 6 所示。

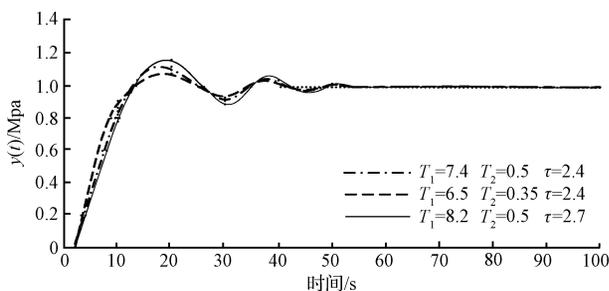


图 6 专家规则 PID 控制仿真曲线

从图 6 中的响应曲线可看出, 参数的变化基本不会对系统的性能产生影响, 从而验证了专家规则自适应 PID 控制的稳定性及适应性。

## 6 结论

从恒压供水系统的软硬件结构及控制策略的设计 3 方面进行了详细的阐述, 仿真结果表明: 系统软硬件设计合理, 采用的专家规则自适应 PID 控制器不仅具有传统 PID 控制的优势, 而且由于引进专家规则使得控制参数能够跟随被控对象参数自适应变化, 系统稳定性、准确性、快速性 3 方面的控制性能得到了优化。

### 参考文献

- [1] PENG X H, XIAO L SH. The variable frequency and speed regulation constant pressure water supply system based on PLC and fuzzy control[C]. 2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, 2009: 910-913.
- [2] 杨红, 陈颖, 何莉, 等. 基于模糊-PID 控制算法的温控系统设计[J]. 广西师范大学学报, 2005, 23(1): 106-110.
- [3] 罗贵隆. 变频技术在恒压供水系统中的应用[J]. 自动控制, 2007(2): 23-24.
- [4] 冯冬青, 孔祥伟, 许仿. 城市恒压变频供水系统的一种智能优化控制策略[J]. 郑州大学学报: 工学版, 2011, 32(1): 85-88.
- [5] 孙建平, 闫蕾, 李妍, 等. 基于改进遗传算法的模糊 PID 控制器设计[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(增刊 3): 1991-1992.
- [6] 谢宏, 杨鹏, 陈海滨, 等. 遗传优化模糊 PID 融合算法的 5 自由度机械手控制[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(1): 21-30.
- [7] 汪旭东, 夏涛, 许孝卓, 等. 永磁同步直线电机的粒子群 PID 空间矢量控制[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(5): 655-661.
- [8] 汪凤凤, 黄海宏, 王海欣. EAST 快控电源灰色预测 PID 控制预研[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(4): 604-610.
- [9] 郭全民, 雷蓓蓓. 半主动悬架 PID 控制的研究和优化[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(4): 60-63.
- [10] 贾森, 王新华, 龚华军, 等. 基于模糊 PID 的直升机增稳控制系统设计与实现[J]. 电子测量技术, 2015, 38(11): 70-73.
- [11] 杨楠, 王伟. 基于 LabVIEW 的新式 PID 控制算法性能剖析[J]. 电子测量技术, 2015, 38(11): 74-78.

### 作者简介

王瑜瑜, 1983 年出生, 女, 山东烟台人, 讲师, 主要研究方向为计算机控制和自动化理论。

E-mail: yuyuer826@126.com

刘少军, 1982 年出生, 男, 陕西西安人, 实验师, 主要研究方向为电力电子技术及自动化理论。

E-mail: yuyuer826@126.com