

# 电厂变频调速恒压供水控制系统设计

环 玮,吉同舟,王恩荣

(南京师范大学 电气与自动化工程学院,江苏 南京 210042)

**[摘要]** 介绍了某电厂变频调速恒压供水控制系统设计方案. 根据要求系统采用多点水压采集平均值控制,在利用 MATLAB 仿真集成环境 Simulink 对系统进行仿真的基础上选取合适的 PID 参数;系统由变频器提供变频电源、PLC 控制水泵机组投切. 系统投入运行后获得良好的静、动态输出特性. 该设计对同类系统的设计提供参考.

**[关键词]** 变频调速,恒压供水, PID, MATLAB 仿真

**[中图分类号]** TP272 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1672-1292(2012) 01-0015-04

## Design of Variable Frequency Conversion Constant Pressure Water Supplying Control System of a Power Plant

Huan Wei, Ji Tongzhou, Wang Enrong

(School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

**Abstract:** This paper introduces a design method of variable frequency conversion constant pressure water supply control system of a certain power plant. According to the requirements, the system adopts in multi-point average control pressure acquisition, and based on the use of simulation of the system in MATLAB simulation integrated environment Simulink, appropriate PID parameters are selected. System power is provided by frequency inverter and PLC controls water pump switching. It obtains good static and dynamic output characteristics after putting the system into operation. This method supplies certain reference value for the design of similar systems.

**Key words:** variable frequency speed regulation, constant pressure water supply, PID, MATLAB simulation

某电厂供水系统主要提供厂区冷凝水、冲洗池用水及部分生活用水. 原系统由 4 台 45kW 水泵机组组成,其中 3 台工频运行,一台备用,水泵投切由技术人员操作. 该运行方式水管压力波动大,能耗损失严重,系统自动化技术含量低. 为提高系统自动化程度,保证供水质量,有效降低能耗,减轻操作人员劳动强度,本文采用变频调速技术对该系统进行了改造,改造后系统运行显示水管压力稳定,节能效果显著.

## 1 恒压供水控制系统的控制原理

恒压供水控制系统由 PLC 控制电机投切,变频器提供变频电源,变频驱动信号来自 PID 调节器输出. 图 1 为由一台变频器、3 台水泵机组组成的某电厂恒压供水控制系统结构图.

由图 1 结构可以看出将水压给定信号与母管出口压力信号平均值进行比较,其差值信号既可以作为 PLC 投切电机机组的依据,又可以经 PLC 内置 PID 调节后输出,用于变频器频率给定,控制变频器输出频率,从而控制水泵电机转速,进而调节母管压力<sup>[1]</sup>. 恒压供水控制系统的控制原理示意图如图 2 所示.

## 2 恒压供水系统的控制方案

该系统可分别运行于工频及恒压供水控制状态<sup>[2]</sup>. 工频运行时可分别控制  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$  投切. 恒压运行时,其控制流程如下:

收稿日期: 2011-11-02.

基金项目: 2010 年南京师范大学横向课题(江苏徐塘发电有限责任公司深井水系统控制系统系统改造项目).

通讯联系人: 吉同舟,高级实验师,研究方向: 工业电气自动化. E-mail: 61035@njnu.edu.com

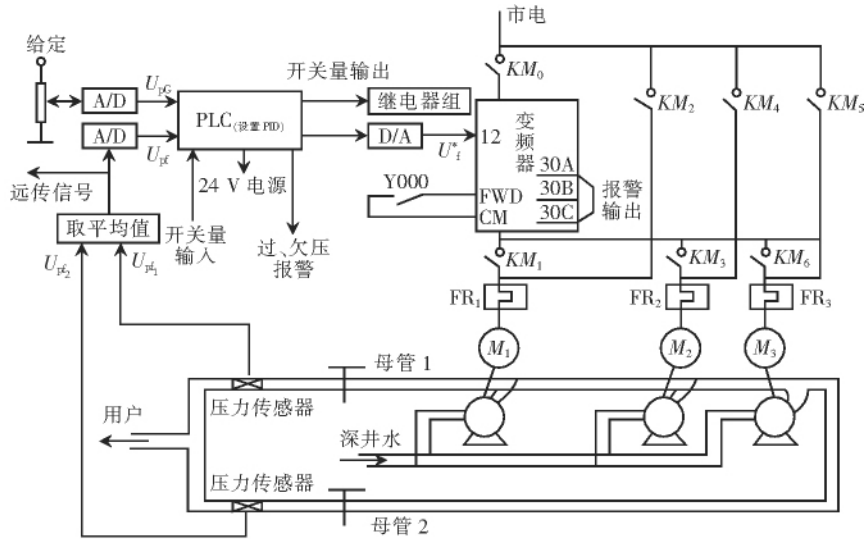


图 1 恒压供水控制系统结构图

Fig.1 Structure diagram of constant pressure water-supply control system

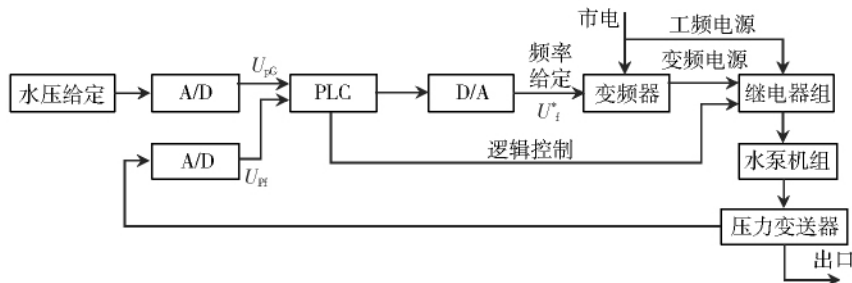


图 2 恒压供水控制系统原理图

Fig.2 The principle diagram of constant pressure water-supply control system

(1) 首先变频启动 1# 泵, 根据设定压力  $U_{pg}$  和用户管网实际压力  $U_{pf}$  的偏差调节变频器的给定频率信号, 从而控制 1# 泵的转速. 当  $U_{pf} = U_{pg}$  时, 其供水压力与设定压力相平衡, 1# 泵转速稳定, 这期间 1# 泵工作在变频调速状态.

(2) 当  $U_{pf} < U_{pg}$  时,  $U_f^*$  上升, 提高输出频率, 水泵转速提高, 供水量增加. 若变频器的输出频率达到设定上限 50 Hz,  $U_{pf}$  仍小于  $U_{pg}$ , 系统经过短暂的延时后, 将 1# 泵切换至工频下运行, 同时变频器的输出频率降为下限频率 20 Hz, 启动 2# 泵变频运行, 直到水压达到设定值  $U_{pg}$  为止. 如果供水量仍达不到要求, 2# 泵达到设定上限频率而水压仍不足时, 将继续发生如上转换, 将 3# 泵投入变频运行. 当变频器的输出频率达到设定上限 50 Hz,  $U_{pf}$  仍小于  $U_{pg}$ , 控制系统就会发出欠压报警.

(3) 当  $U_{pf} > U_{pg}$ , 且变频器的输出频率已降至下限频率 20 Hz 时, 系统经过短暂的延时后, 切除 3# 泵, 2# 泵变频运行, 使压力重新达到设定值; 若供水量仍大于需水量, 切除 2# 泵, 直到剩下 1# 泵变频运行为止. 当变频器的输出频率达到设定下限 20 Hz,  $U_{pf}$  仍大于  $U_{pg}$ , 控制系统就会发出超压报警.

系统在运行过程中, 若变频器突然故障, 当前运行的变频泵则自动切换至工频状态继续运行, 同时发出故障报警信号. 这种功能在大的供水企业供水高峰时期显得尤为重要.

### 3 恒压供水控制系统各环节的传递函数

变频器的传递函数可设定为一个小惯性环节<sup>[3]</sup>, 用以下传递函数描述.

$$G_1(s) = \frac{w_1(s)}{U(s)} = \frac{k}{1 + T_0 s}, \quad (1)$$

式中  $w_1$  为变频器输出角频率;  $U$  为变频器的输入电压;  $w_1(s)$ 、 $U(s)$  分别为  $w_1$ 、 $U$  的拉普拉斯变换;  $s$  为复变量;  $T_0$  为常数, 一般为几十至几百 ms;  $k$  为比例系数  $k = w_1/U$ .

异步电动机的传递函数可描述为<sup>[4]</sup>:

$$\frac{w(s)}{w_1(s)} = \frac{K_d}{1 + T_d s} \quad (2)$$

式中  $w$  为转子角速度;  $w(s)$  为  $w$  的拉普拉斯变换;  $T_d$  为常数, 其中:

$$K_d = \frac{K_0}{J} \quad (3)$$

$$K_0 = \frac{i}{R_2} \cdot \left( \frac{U_{10}}{w_{10}} \right)^2 \quad (4)$$

$$T_d = \frac{D + K_0 + K_m}{J} \quad (5)$$

式中  $i$  为极对数;  $J$  为转动惯量;  $U_{10}$ 、 $w_{10}$  分别为定子电源的电压和角频率在静态工作点上的值;  $R_2$  为折算到定子侧的转子电阻值;  $D$  为摩擦系数;  $K_m$  为常数.

管网的传递函数可描述为<sup>[5]</sup>:

$$G_2(s) = \frac{K}{T_2 s + 1} e^{-\tau s} \quad (6)$$

式中  $K$  为系统的总增益;  $T_2$  为系统的惯性时间常数;  $\tau$  为系统的总滞后时间.

PID 控制器的传递函数为:

$$G(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (7)$$

式中  $K_p$  为比例系数;  $T_i$  为积分时间常数;  $T_d$  为微分时间常数.

## 4 系统仿真

借助于 Simulink 仿真环境<sup>[6]</sup> 根据工程经验值对系统各环节传递函数参数赋值, 进行仿真研究. 系统参数设置如下:

$$\frac{w_1(s)}{U(s)} = \frac{3}{0.5s + 1} \quad (8)$$

$$\frac{w(s)}{w_1(s)} = \frac{0.2}{0.4s + 1} \quad (9)$$

$$G_2(s) = \frac{1}{8s + 1} e^{-1.8s} \quad (10)$$

开环时设定该系统供水给定水压是 0.3 MPa, 输出是水压力测量值, 用 Simulink 创建系统模型并进行仿真, 输出响应如图 3 所示.

由图 3 可知, 系统最终稳定, 但稳态值为 0.18 MPa, 稳态误差为 0.12 MPa, 系统的稳态性能较差.

在闭环时, 本系统 Simulink 动态结构图如图 4 所示. 改变 PID 参数, 通过仿真试验得到不同的输出响应, 如图 5a、图 5b、图 5c 所示. 观察输出响应, 得出以下结论: 保持积分微分环节 (ID) 不变, 改变比例环节 (P), 系统在响应开始时会有振荡, 稳态性能较好, 但随着比例系数的增大, 开始时的振荡幅度也变大. 当比例系数增大到某一定值时系统变得不稳定. 当比例积分 (PI) 环节保持不变, 改变微分环节 (D), 系统在微分时间常数较小时有较好的稳态性能, 但随着微分时间常数的增大到一定值时系统变得不稳定. 当比例微分 (PD) 保持不变, 改变积分环节 (I), 积分时间常数越大, 超调量越小, 调整时间越长. 因此选择较小的比例系数, 较小的微分时间常数, 适当的积分时间常数作为系统的 PID 参数.

比较不同 PID 参数的输出响应如表 1 所示. 进而得出较好的 PID 设置为  $1 + 1/(6s) + s$ , 作为系统的 PID 参数设置.

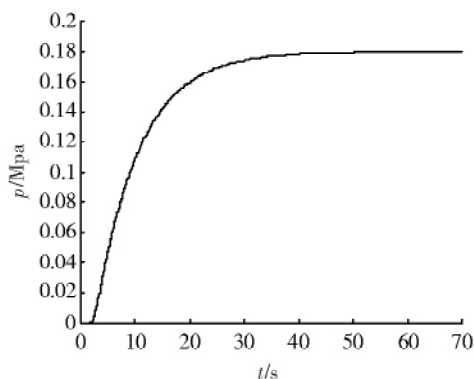


图 3 恒压供水控制系统无控制器时的输出响应

Fig.3 Output response of constant pressure water-supply control system without PID

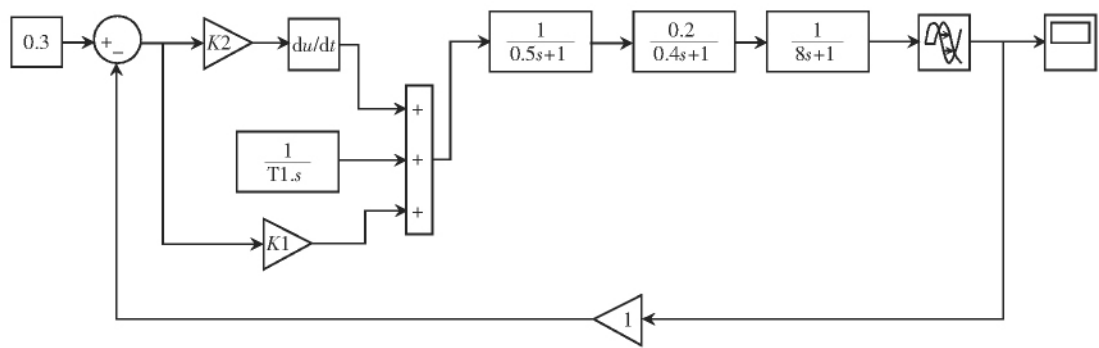


图 4 恒压供水控制系统 Simulink 动态结构图

Fig.4 Simulink dynamic structure diagram of constant pressure water-supply control system

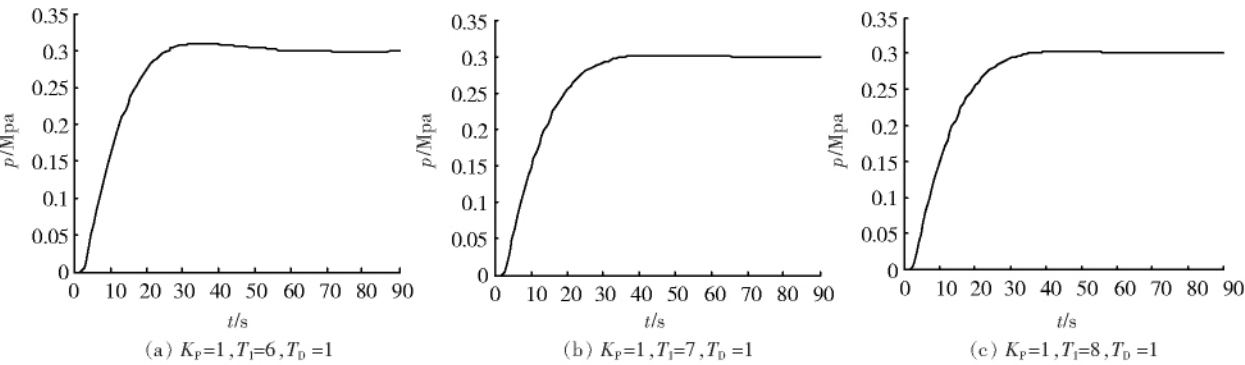


图 5 不同 PID 参数的输出响应

Fig.5 Output response with different PID parameters

表 1 不同 PID 参数的输出响应比较

Table 1 Comparison of output response with different PID parameters

比例系数( $K_P$ )	积分时间常数( $T_I$ )	微分时间常数( $T_D$ )	输出响应
0.5	8	1	$\sigma = 4.87\%$ , $T_s = 78.32s$
3	8	1	无超调 , $T_s = 149.2s$
5	8	1	振荡
1	6	1	$\sigma = 3.47\%$ , $T_s = 71.74s$
1	7	1	$\sigma = 0.97\%$ , $T_s = 76.97s$
1	8	1	无超调 , $T_s = 80.38s$
1	7	5	$\sigma = 2.53\%$ , $T_s = 84.83s$
1	6	8	$\sigma = 6.37\%$ , $T_s = 87.44s$

通过仿真得到的输出响应曲线如图 5a 所示. 系统输出稳态误差为 0. 仿真表明系统具有较好的动态和静态输出.

进一步, 改变系统中管网传递函数赋值, 通过仿真可得出: 利用该系统模型, 选取较小的比例系数和微分时间常数、调节积分时间常数、可使系统稳定, 满足实际应用的要求.

系统中变频器选用富士 5000G11S/P11S 45kVA; PLC 选用三菱 FX<sub>2N</sub>-32-MR. 该系统投入运行一年来水压稳定, 节能效益明显.

5 结论

根据电厂实际工艺控制要求, 针对环状母管供水系统采用多点采集水压信号, 平均值控制方法, 设计变频调速恒压供水系统. 借助于 MATLAB 仿真集成环境 Simulink 对恒压供水控制系统进行仿真并选取 PID 参数, 系统运行显示其静态和动态输出响应良好. 该设计方法对同类系统的设计具有重要的参考价值.

(下转第 24 页)

## [参考文献](References)

- [1] 赵忠芳, 黄开胜. 基于 PLC 的充电电池负极片自动称重分拣系统[J]. 机电工程技术 2008, 37(3): 78-80.  
Zhao Zhongfang, Huang Kaisheng. Electrification battery cathode pads auto weight-check and sorting system based on PLC[J]. Mechanical and Electrical Engineering Technology, 2008, 37(3): 78-80. (in Chinese)
- [2] 徐亮. 快速传感器在电池极板称重分拣系统中的应用[J]. 南京师范大学学报: 工程技术版 2009, 9(2): 13-17.  
Xu Liang. Application of fast weight-check sensor in accumulator electrode pads weight checking and sorting system[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition 2009, 9(2): 13-17. (in Chinese)
- [3] 王宪菊. 基于 ADuC7026 的动态称重传感器的研究[J]. 南京师范大学学报: 工程技术版 2010, 10(2): 17-20.  
Wang Xianju. The design of smart load cell based on ADuC7026[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2010, 10(2): 17-20. (in Chinese)
- [4] 孙来军, 庄培栋, 刘明亮. ADuC7026 原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.  
Sun Laijun, Zhuang Peidong, Liu Mingliang. Theory and Application of ADuC7026[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2009. (in Chinese)
- [5] 安吉宇. 基于 Intel PXA270 的 TFT-LCD 驱动设计[J]. 液晶与显示 2006, 21(6): 279-282.  
An Jieyu. Design of TFT-LCD based on Intel PXA270[J]. Display of LCD, 2006, 21(6): 279-282. (in Chinese)
- [6] 郭润夏, 白兰萍. PLC 在自动材料分拣系统中的应用[J]. 微计算机信息 2006, 22(5): 62-64.  
Guo Runxia, Bai Lanping. The application of PLC in the automatic materials sorting system[J]. Micro-computer Information, 2006, 22(5): 62-64. (in Chinese)
- [7] 李宝安, 李行善, 罗先和. 动态称重系统计量误差的动态校正[J]. 仪器仪表学报 2001, 22(3): 251-255.  
Li Baoan, Li Xingshan, Luo Xianhe. Dynamic correction of measurement errors in dynamic weighing system[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument 2001, 22(3): 251-255. (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]

(上接第18页)

## [参考文献](References)

- [1] 严盈富, 葛卫清. 恒压供水系统的控制与仿真[J]. 南昌航空工业学院学报: 自然科学版 2004, 18(1): 90-92.  
Yan Yingfu, Ge Weiqing. The control and simulation of constant pressure-water supply system[J]. Journal of Nanchang Institute of Aeronautical Technology: Natural Science Edition 2004, 18(1): 90-92. (in Chinese)
- [2] 居荣, 鞠勇. 基于实际应用的恒压供水系统实验装置设计[J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2006, 6(4): 21-25.  
Ju Rong, Ju Yong. Design of an equipment of constant pressure water supplying system based on actual appliance[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2006, 6(4): 21-25. (in Chinese)
- [3] 彭鞍虹. 通用变频器异步电动机的传递函数[J]. 鞍山钢铁学院学报, 2000, 23(6): 447-449.  
Peng Anhong. Transmitting function of inverter induction motor[J]. Journal of Anshan Institute of Iron and Steel Technology, 2000, 23(6): 447-449. (in Chinese)
- [4] 李红, 郑颖, 秦武轩. PID 控制的泵供水系统仿真试验[J]. 排灌机械 2008, 26(4): 48-51.  
Li Hong, Zheng Ying, Qin Wuxuan. Simulation of water supply system based on PID control[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2008, 26(4): 48-51. (in Chinese)
- [5] 朱玉堂. 变频恒压供水系统的研究开发及应用[D]. 杭州: 浙江大学研究生院 2005: 15-17.  
Zhu Yutang. Application research and development of frequency conversion constant pressure water supply system[D]. Hangzhou: Graduate School of Zhejiang University, 2005: 15-17. (in Chinese)
- [6] 黄忠霖. 控制系统 MATLAB 计算及仿真[M]. 北京: 国防工业出版社 2004.  
Huang Zhonglin. MATLAB Computational and Simulation of Control Systems[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2004. (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]