

经济型小水电励磁装置

李志军, 刘 军, 马召伟, 郝伟峰

(河北工业大学 电工厂, 天津 300130)

摘要: 提出了一种经济型小水电励磁装置。通过嵌入微控制器 dsPIC30F6014(简称 F6014)作为该励磁装置调节器的核心,通过 F6014 的 A/D 转换接口和数字接口主要完成数据计算、逻辑控制等功能;通过 F6014 的定时器,输入捕捉和输出比较模块密切配合生成触发脉冲控制三相整流桥导通整流;并根据机组特点配置线性或非线性电阻灭磁。而且 F6014 自带 CAN 模块和 SPI 模块,使其人机交互、机机通信更加便利。在软件方面,利用提供的集成开发环境 MPLAB IDE,采用 C 语言与汇编语言相结合的方式编写程序,使程序更加灵活可靠。短路实验、空载实验和负载实验数据和目前在现场的反馈情况,证明该励磁装置性能优越。

关键词: dsPIC; 经济; 小水电; 励磁; 调节器

中图分类号: TV 742; TP 272

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2011)02-0134-04

0 引言

国家 2005 年颁布的《可再生能源法》,鼓励包括小水电在内的可再生能源的开发。在国家各种优惠政策鼓励下,全国掀起了一股投资建设小水电站的热潮,尤其是近年来,由于全国性缺电严重,民企投资小水电悄然兴起^[1]。

本文根据小水电的特点提出了一套基于 dsPIC30F6014(简称 F6014)的自并励励磁装置。它比目前大型水电站流行的基于 DSP 的励磁装置节约了成本,又比早期的基于单片机、单板机的励磁系统性能更好而且更加智能化。

1 F6014 特点

F6014 是一款高性能数字信号控制器,拥有很高的性价比。它集成了单片机的控制功能以及数字信号处理器的计算能力和数据吞吐能力,具有快速、复杂和灵活的中断处理,丰富的数字和模拟外设,电源管理,可灵活选择多种时钟模式、上电复位、欠压保护、看门狗定时器、代码加密,全速实时仿真及全速在线调试等特点。

F6014 采用改进哈佛(Harvard)总线结构,从而哈佛结构的潜在优势得到了充分发挥^[2-3]。其 2 级流水线结构可有效地提升系统的运行效率和数据的可靠性。

F6014 芯片集成了通用异步收发器(UART)串行通信模块和控制器局域网(CAN)模块。dsPIC30F 系列芯片所配置的 CAN 模块可用于与其他 CAN 模块、外设或者单片机之间进行通信。

2 经济型小水电励磁装置的结构及软硬件设计

2.1 系统结构设计

同步发电机励磁装置是电力系统的重要组成部分,它除了维持发电机机端电压的恒定和控制无功功率的合理分配外,还必须保证电力系统的静态、动态和暂态稳定性。在硬件设计中,励磁系统主电路包括励磁变压器、功率单元、起励、灭磁等部分^[4-8]。励磁变压器为发电机励磁系统提供电压源。功率单元采用三相桥式整流电路,由励磁调节器控制整流触发角 α 的大小,调节励磁电压,为同步发电机的转子磁场提供直流电流,建立磁场。图 1 为经济型小水电励磁装置的结构框图。

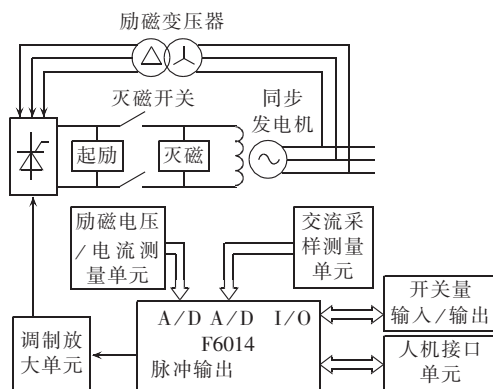


图 1 经济型小水电励磁装置结构框图

Fig.1 Structure of economical excitation device for small hydropower

2.2 励磁装置的硬件设计

在硬件设计中,根据小水电励磁装置的特点,设计了以 F6014 单片机为控制核心的外围硬件电路,包括频率跟踪模块、A/D 采样模块、移相触发脉冲产生和通信单元等^[9-10]。

频率跟踪模块将发电机机端电压的正弦波信号转换成方波信号,利用 F6014 捕捉单元捕捉方波信号的上升沿或者下降沿确定发电机定子电压的频率,从而得到原动机的转速。因此需要频率测量电路。频率的测量在励磁系统中具有极其重要的地位^[11],实时准确地测量到系统频率是实现跟踪采样、脉冲形成的基础^[12]。图 2 为频率测量电路。

A/D 采样模块利用 F6014 的 A/D 单元对系统需要的电气参量如发电机相电压/电流、线电压,整流电路的电压、电流等进行采样。由于现场采样信号不能直接送入 F6014 的 A/D 单元,需要调理电路调整电压。本文以发电机端电压、电流调理电路为例来介绍 A/D 调理电路,图 3 为对发电机机端电压采样后的调理电路,经过此调理电路保证了采样电压在 F6014 工作电压范围内。

F6014 包含输出比较模块,最多可同时产生多达 8 路的 PWM 波形^[13]。其中有 3 个带可编程死区控制的比较单元产生独立的 3 对(即 6 个输出)。在设计中,采用双比较匹配模式。在比较时基和 OCxR 寄存器发生比较匹配后的下一个指令周期,OCx 引脚驱动为高电平,直到时基和 OCxR 寄存器之间发生下一次匹配时,该引脚将驱动为低电平。

触发信号从同步信号过零点计时,调节器经 CAN 总线发送给各功率柜触发角的角度值 α ,同步信号周期值 T_s ,脉冲宽度 W 。同步信号过零产生中断,使单片机内部计数器开始计数,并根据 α 、 T_s 、 W 计算出 α 的对应时间值 $t_{\alpha 1} \sim t_{\alpha 6}$ 和脉冲后沿的对应时间值 t_{W1}

$\sim t_{W6}$,并将这些计算出的数值写入单片机内部相关寄存器中,当寄存器中的值与相关寄存器中的值相等时,特定的事件就会在相应的引脚上触发。下式为 $t_{\alpha N}$ 和 t_{WN} 的计算方法:

$$t_{\alpha N} = \frac{T_s[\alpha + 90(N-1)]}{360T_{\text{clk}}} \quad (1)$$

$$t_{WN} = \frac{T_s[\alpha + W + 90(N-1)]}{360T_{\text{clk}}} \quad (2)$$

其中, $N=1,2,3,4,5,6$; T_{clk} 为 F6014 计数器计数周期。

通信模块采用 F6014 中的 CAN 模块。CAN 总线接口模块主要包括 CAN 控制器芯片和接口芯片 PC82C250。F6014 内部集成了 CAN 控制器,这对于需要良好抗干扰性的测控系统有很大好处,可将 F6014 构成为集通信与控制功能于一体的单片机系统。

连接总线时要注意总线两端需接 2 个 120Ω 的电阻,对于匹配总线阻抗起着相当重要的作用。

2.3 励磁装置的软件设计

该励磁调节装置的软件实现了模拟量采样、励磁调节计算、限制及保护等全部功能。该软件应用 C 语言与汇编语言编写,采用模块化设计方法,可以很方便地实现功能调整^[14-15]。

所设计的中小水电励磁装置调节器采用 PID 控制,采用增量式 PID 控制算法:

$$\Delta u(KT) = K_P[e(KT) - e(KT-T)] + K_I e(KT) + K_D[e(KT) - 2e(KT-T) + e(KT-2T)] \quad (3)$$

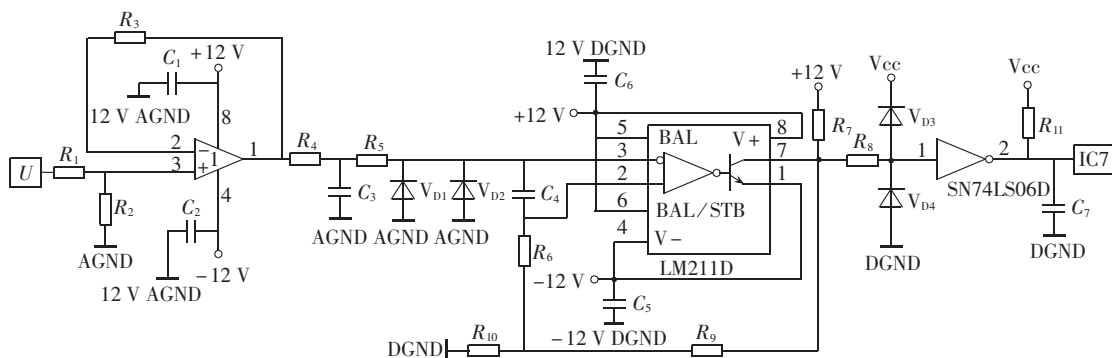


图 2 频率测量电路

Fig.2 Frequency measuring circuit

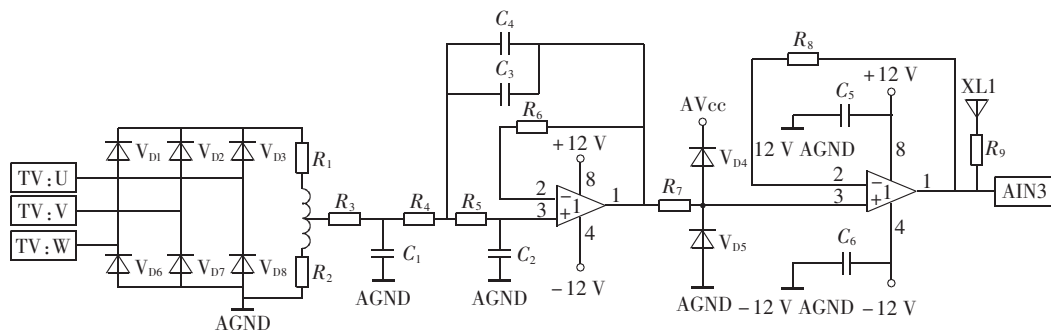


图 3 调理电路

Fig.3 A/D conditioning circuit

励磁软件主要由主程序、各子程序以及中断程序组成。其中主程序分为初始化与循环 2 部分。初始化主要包括系统初始化、中断初始化、软件初始化与参数初始化;循环部分则主要是调用与协调各功能模块(子程序)的工作,各子程序完成励磁各种控制或限制等功能;中断程序完成模拟量采样、测频及脉冲触发等工作。主程序流程图如图 4 所示。

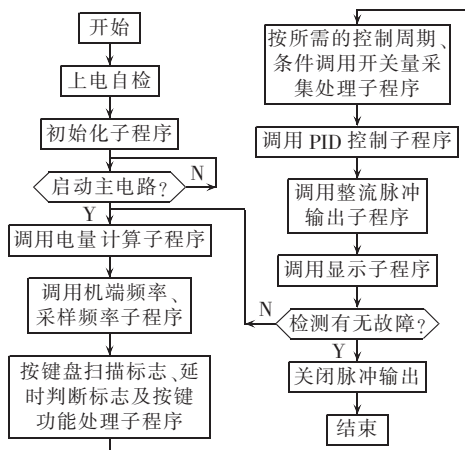


图 4 主程序流程图

Fig.4 Flowchart of main program

3 实验结果与分析

将该经济型小水电励磁装置在一台同步三相发电机上进行实验。

实验系统的参数为:发电机额定励磁电压 $U_N=109\text{ V}$,发电机额定励磁电流 $I_N=251\text{ A}$,智能功率柜强励倍数 $M_f=1.8$,励磁变压器二次侧电压 $U_2=203\text{ V}$,励磁变压器二次侧电流 $I_2=205\text{ A}$,励磁变压器容量 $S=80\text{ kV}\cdot\text{A}$ 。

3.1 空载实验

逐步减小导通角 α ,增加励磁电流,实验数据见表 1(表中, U 、 U_L 、 I_L 分别为空载电压、励磁电压和励磁电流;表 2 同)。

表 1 空载试验数据

Tab.1 Data of test without load

U/kV	U_L/V	I_L/A	U/kV	U_L/V	I_L/A
1	7	10	4	22	45
2	12	21	5	27	60
3	17	32	6	35	77

3.2 短路实验

逐渐增大发电机机端三相端子的短路电流,实验数据见表 2(表中, I_A 、 I_B 、 I_C 分别为 A、B、C 相短路电流)。

3.3 带负载实验

额定负载时,发电机的机端电压为 6300 V ,电流为 320 A ,励磁电流为 242 A ,励磁电压为 95 V 。

图 5 为示波器测得的三相全控桥整流输出后的波形图,其波形与 α 大小有关。由于发电机容量较

表 2 短路实验数据

Tab.2 Data of short-circuit test

U_L/V	I_L/A	I_A/A	I_B/A	I_C/A
8	26	50	49	51
15	53	98	102	101
22	80	147	153	151
27	108	204	198	201
32	130	246	246	253

小,转子虽属于阻感性负载但感抗较小,所以可以得到图 5 所示的整流波形。

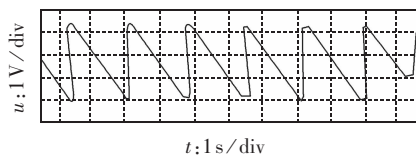


图 5 三相全控桥整流输出波形

Fig.5 Output waveform of full-controlled three-phase rectifier

本实验的目的主要是验证所提出的以 F6014 数字信号控制器为核心的经济型小水电励磁装置在实际工作时硬件电路的有效性以及相应软件编程的合理性。实验结果令人满意。

4 结语

同步发电机励磁装置的研究是一个非常活跃的研究领域。本文采用了当前在工业控制中比较流行的 dsPIC 作为经济型小水电励磁装置的控制核心,并设计了相应的硬件电路和软件部分。实验表明,该励磁装置的性能令人满意。这种基于 dsPIC 的励磁装置为小水电站提供了一种有效的解决方案。该励磁装置技术领先,可靠性高,智能化程度高,有很好的推广价值。

参考文献:

- [1] 马智杰,杭三八,黄丽华. 小水电在清洁发展机制中的机遇和挑战[J]. 水利发展研究,2006(5):17-21.
MA Zhijie,HANG Sanba,HUANG Lihua. Small hydropower faces opportunities and challenges in the clean development mechanism[J]. Water Resources Development,2006(5):17-21.
- [2] 何礼高. DsPIC30F 电机与电源系列数字信号控制器原理与应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2007:21-22.
- [3] 刘和平,郑群英,江渝,等. DsPIC 通用数字信号控制器原理及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2007:6-8.
- [4] 李基成. 现代同步发电机励磁系统设计与应用[M]. 北京:中国电力出版社,2002:294-296.
- [5] 彭咏龙,柳焯. 同步发电机励磁控制研究综述[J]. 电力情报,1996(4):1-5.
PENG Yonglong,LIU Zhuo. Summarization of synchronous generator's excitation system[J]. Information on Electric Power,1996(4):1-5.
- [6] 熊杰,高雄清,曹照秀. 微机励磁的现状与发展趋势[J]. 中国农村水利水电,2004(8):97-98.
XIONG Jie,GAO Xiongqing,CAO Zhaoxiu. The status quo and development of microcomputer excitation system[J]. China Rural

- Water and Hydropower,2004(8):97-98.
- [7] 竺士章. 发电机励磁系统实验[M]. 北京:中国电力出版社,2004:42-43.
- [8] 王华军. 中国水电机组励磁装置的技术现状及发展趋势[J]. 电器工业,2002(9):30-32.
- WANG Huajun. China's hydropower unit excitation of technical status and development's trend[J]. Electrical Industry,2002(9):30-32.
- [9] 王伟,张俊,石磊,等. 集成智能功率柜的励磁系统[J]. 电力系统自动化,2006,30(5):87-91.
- WANG Wei,ZHANG Jun,SHI Lei,et al. Integrated intelligent power cabinet excitation system[J]. Automation of Electric Power Systems,2006,30(5):87-91.
- [10] 陆继明,毛承雄,王丹,等. 同步发电机微机励磁控制[M]. 北京:中国电力出版社,2006:82-85.
- [11] 韩卫军,张逸成,姚勇涛. 直流开关电源的数字均流技术[J]. 低压电器,2004(9):46-48.
- HAN Weijun,ZHANG Yicheng,YAO Yongtao. DC switching power supply digital technique[J]. Low Voltage Apparatus,2004(9):46-48.
- [12] LOZOVOI L N. High-speed thyristor converter for electro physical apparatus[J]. Instruments and Experimental Techniques, 1996,3(5):133-137.
- [13] 王晓明,刘瑶,董玉林. 基于 dsPIC 的三相不对称规则采样型电压 SPWM 波的生成[J]. 辽宁工学院学报,2007(5):319-321.
- WANG Xiaoming,LIU Yao,DONG Yulin. SPWM waveform generation according to three-phase asymmetric regulation sampling[J]. Journal of Liaoning Institute of Technology,2007(5):319-321.
- [14] 李文杰. 小型同步发电机励磁控制系统研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学自动化学院,2006.
- LI Wenjie. Synchronous generator excitation control system[D]. Harbin:Harbin Engineering University,2006.
- [15] 钱晓捷. 汇编语言程序设计[M]. 北京:电子工业出版社,2003:80-128.

(编辑:汪仪珍)

作者简介:

李志军(1964-),男,河北石家庄人,教授级高级工程师,博士,长期从事电力系统及自动化设备的设计和研究工作(E-mail:zhijun_Li@263.net);

刘军(1984-),男,河北秦皇岛人,硕士研究生,现从事励磁调节器、电力系统稳定器的研究工作(E-mail:liujunc041@163.com);

马召伟(1984-),女,河北石家庄人,硕士研究生,现从事励磁装置研究工作;

郝伟峰(1984-),男,河北石家庄人,硕士研究生,现从事励磁装置、电力系统稳定器的研究工作。

Economical excitation device for small hydropower

LI Zhijun,LIU Jun,MA Zhaowei,QIE Weifeng

(Electric Factory,Hebei University of Technology,Tianjin 300130,China)

Abstract: An economical excitation device is proposed for small hydropower,which takes the embedded microcontroller dsPIC30F6014 as the core of controller. The data computation and logic control are implemented by its A/D conversion ports and digital ports;the trigger pulses are formed by the close cooperation of its timer,input capture and output comparison modules to control the three-phase rectifier;the linear or nonlinear resistance for de-excitation is configured according to the characteristics of unit. Its CAN and SPI modules make human-machine interaction and machine-machine communication more convenient. The combined programming with C and assemble language in the integrated development environment MPLAB IDE makes the programs more flexible and reliable. The short-circuit test,test without load,test with load and site operation prove the superior performance of the designed excitation device.

Key words: dsPIC; economy; small hydropower; excitation; controller