

# 基于 LPC2103 的同步发电机端电压稳定控制系统

张秀珍, 张平均

(福建工程学院 信息科学与工程学院, 福建 福州 350118)

**摘要:** 提出基于 LPC2103 的同步发电机励磁控制系统设计。介绍了系统的硬件设计方案;软件设计,包括系统的主程序流程图、频率测量、模糊 PID 控制以及其实现的基本方法。测试结果表明,利用 ARM 微控制器可使编程操作简单,调节速度快,主要性能指标符合要求。

**关键词:** LPC2103; 端电压; 励磁控制; 频率测量

**中图分类号:** TP27

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-4348(2014)03-0216-04

## System design of synchronous generator terminal voltage stability based on LPC2103

Zhang Xiuzhen, Zhang Pingjun

(College of Information Science and Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

**Abstract:** To improve the performance of the magnetism-excitation control system of small and medium synchronous generators, a synchronous generator magnetism-excitation control system design based on LPC2103 was proposed. The hardware design of the system and the software design, including the system's main program flowchart, frequency measurement, fuzzy PID (proportion, integration, differentiation) control and basic implementation methods were described. Test results show that the use of ARM microcontrollers allows simple programming operation and adjustable speed with key performance indicators meeting the requirements.

**Keywords:** LPC2103; terminal voltage; magnetism excitation control; frequency measurement

LPC2103 是基于一个支持实时仿真的 16/32 位 ARM7 TDMI-S CPU 的微控制器,并带有 32 kb 嵌入的高速 flash 存储器。使用 16 位 thumb 模式将代码规模降低超过 30%,而性能的损失却很小。具有体积小、重量轻、资源丰富、可靠性高,价格便宜等优点,应用于仪器仪表、家电、医疗器械等领域<sup>[1-2]</sup>。目前发电机微机励磁调节器多为 16 位系统,传统的 16 位 CPU 已经不能满足现代控制理论应用于励磁调节的需要<sup>[3-4]</sup>,大多硬件资源不丰富,功能简单、速度慢、实时性差、对数据的再加工处理能力极为有限,尤其缺乏新型网络的功能接口<sup>[5]</sup>。发电机励磁装置发展趋势是开放式、高实时性、集成度向芯片级调节器靠拢,本

文提出了基于 ARM 的 LPC2103 处理器的新型微机励磁调节装置,比现有的励磁调节装置有了较大的提高,满足了对发电机端电压控制的要求。

## 1 系统控制作用及结构框图

发电机在正常运行条件下,励磁系统应维持发电机机端电压在给定水平。当发电机负荷变化时,发电机机端电压将随之变化,这时,励磁系统将自动地增加或减少发电机的励磁电流,使机端电压维持在一定的水平上,保证有一定的调节精度。当机组甩负荷时,通过励磁系统的快速调节作用,应限制机端电压不致过分升高,维持发电机机端电压在给定水平上<sup>[6-7]</sup>。

收稿日期: 2014-05-08

基金项目: 福建省科技厅基金项目:(JK2012030)

第一作者简介: 张秀珍(1969-),女(汉),福建福清人,讲师,硕士,研究方向:电气控制技术的教学与研究。

系统结构框图如图 1 所示,发电机的输出电压和电流经过电压互感器和电流互感器转换后变为电压信号,而所采集的电压仍不满足要求,需要经过整流、变压、滤波等方式的调理。利用二极管整流电路将交流输入信号整流成直流信号输出,再经过 RC 无源低通滤波器和运算放大器进行放大或者缩小,调节电位器的比例系数使得输出信号的电压值处在 0~3.3 V 之间,即交流输入信号变成芯片容易处理的稳定直流信号。再送到采样保持器采样保持,使得两个电压信号能够保持时间上的一致,经过多路开关送达 LPC2103 内置 A/D 转换器,把转换后的数字信号保存 LPC2103 数据存储器,经与键盘输入的设定值进行比较,由软件计算出差值经过智能 PID 控制器进行分析计算,由软件调用 PID 算法得出结果,利用程序转换成 PWM 波,由 LPC2103 的 PWM 波输出端口输出信号,经放大后直接驱动可控硅的触发极,控制可控硅整流桥的导通角。即励磁功率单元采用晶闸管整流桥来控制励磁电流的大小,从而达到调节励磁目的。晶闸管的导通条件:承受正向电压;接收到有效触发脉冲。同步信号取样直接取自被控晶闸管的电压,只需取一相交流信号,其他两相可以从固定的相序关系计算,避免了模拟触发线路中存在的触发脉冲与正向电压的同步问题。设计采用电压比较器 LM339 来完成此功能,其输出的方波经过光电耦合隔离后送入 CPU 处理器的中断 1 以检测交流信号的过零点。该信号就是同步相位脉冲,从而自动调节励磁电流,达到恒定发电机机端电压运行的目的。

2 软件设计

2.1 系统主程序流程图

在主程序中,要对微机系统、外部各个芯片进行初始化。在初始化各个端口的时候,设置芯片的工作模式。中断系统初始化是指用户对这些特殊功能寄存器中的各控制位进行赋值。

主程序流程图如图 2 所示,LPC2103 上电,程序开始运行,初始化主要完成通用 I/O 口、CPU 主频、定时器、中断的设定以及默认 PWM 的输出。频率测量采用测周期法,根据获得的频率设置定时器,使每个周期中等间隔产生 64 次定时中断(即每周波 64 点采样),主控程序响应定时器中断后启动一次 A/D 转换并读取结果。然后存

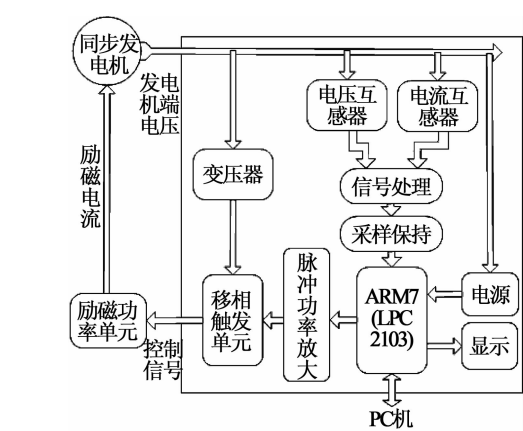


图 1 同步发电机端电压控制系统结构框图

Fig. 1 Block diagram of synchronous generator terminal voltage control system

于数组中。采样结束后设立标志事件,调用程序计算出电压,电流等数据后设立标志事件,进入下一轮。当采样结束后,计算电压与给定电压的值是否相等,不相等则调用 PID 程序,计算出所需要的占空比,调用 PWM 子程序输出 PWM 波。

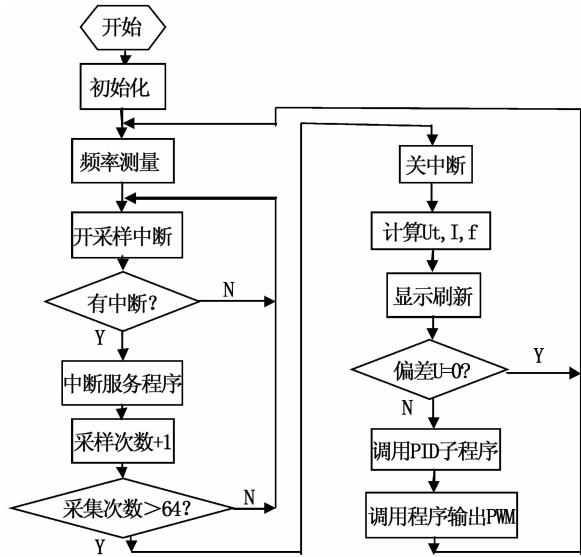


图 2 系统主程序流程图

Fig. 2 Flowchart of system main program

2.2 频率测量程序的设计

频率测量的准确性直接影响到励磁调节器的调节性能。当频率减小时原动机的转速减慢,这时没有频率检测以及励磁限制措施,励磁调节器为了维持机端电压的恒定就会不断增加励磁电流,使其达到危险值。此外检测频率值也就是检测转子转速值,它可以实时监控转子转速的变化

信息,避免出现“飞车”,有利于励磁调节器性能的提高<sup>[8]</sup>。

采用同步技术进行交流采样时,提高采样精度的一般有两条途径:一是提高 A/D 转换器的位数,二是增加一个周期内的采样点数  $N$ 。在满足以上两点的前提下,能否将一个测量周期非常均匀地进行  $N$  等分成为影响测量精度的关键,也就是使采样周期与信号周期同步的问题。由于所测对象为工频电,所以不需要测量高频,本设计采用  $T$  法测速,可以达到所需要的精度。记录两个相邻的输入脉冲之间  $T$  时间内高频计数脉冲  $f_0$  的个数  $M_2$ ,如式(1)用以计算这段时间内的平均转速,称为  $T$  法测速。

$$\text{被测频率 } f = \frac{1}{M_2 \times \frac{1}{f_0}} = \frac{f_0}{M_2} \quad (1)$$

如图 3 所示,把正弦波转化为一系脉冲,利用定时器 T0 的捕获功能,设置 CAP0.0 为捕获端口, Fpclk 为计数脉冲,其中 Fpclk 为 VPB 时钟频率。当 CAP0.0 第 1 次捕获到被测脉冲的下降沿时,相应的中断标志位置为 1,同时计时器 T0TC 清 0。当 CAP0.0 捕获到第 2 个下降沿时,记录此时的 T0TC,再用 Fpclk 除以第 2 次 T0TC 的值,得到的数值即为所测的频率。

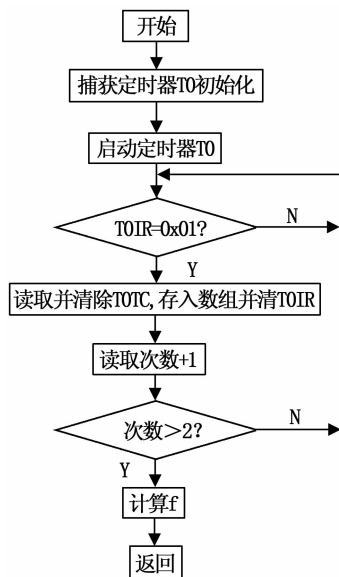


图 3 同频电机端电压频率测量流程图

Fig. 3 Flowchart of synchronous generator terminal voltage frequency measurement

## 2.3 模糊 PID 控制

模糊自适应 PID 控制是在常规 PID 算法的基

础上,通过计算当前系统偏差  $e$  和偏差变化率  $e_c (de/dt)$ ,利用模糊规则进行模糊推理,查询模糊矩阵表进行参数调整<sup>[9]</sup>。设计根据工程技术人员知识和实际操作经验,建立合适的模糊规则表,将系统误差量  $E$  和误差变化量  $EC$  变化范围定义为模糊集上的论域。

$E, EC = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ ;其模糊子集为  $E, EC = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$

设  $E, EC$  和  $K_p, K_i, K_d$  均服从正态分布,因此可得出各模糊子集的隶属度,根据各模糊子集的隶属度赋值表和各参数模糊控制模型,应用模糊合成推理设计 PID 参数的模糊矩阵表,查出修正参数代入下式计算。

$$K_p = K_p' + \{E_i, EC_i\} P = K_p' + \Delta K_p \quad (2)$$

$$K_i = K_i' + \{E_i, EC_i\} I = K_i' + \Delta K_i \quad (3)$$

$$K_d = K_d' + \{E_i, EC_i\} D = K_d' + \Delta K_d \quad (4)$$

(2)、(3)、(4)式中  $K_p', K_i', K_d'$  为 PID 参数的初始值,  $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$  为模糊控制器的输出,  $K_p, K_i, K_d$  为最终输出的控制参数值。

在线运行过程中,测控系统通过对模糊逻辑规则的结果处理、查表和运算,完成对 PID 参数的在线自校正。其工作流程图如图 4 所示。

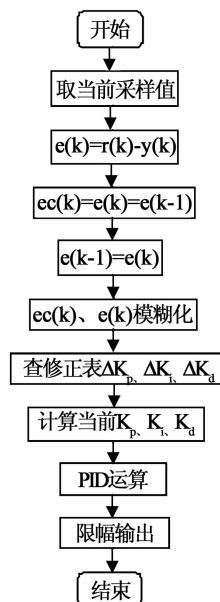


图 4 模糊 PID 在线工作流程图

Fig. 4 Flowchart of on-line fuzzy PID working

## 3 实验结果及分析

### 3.1 频率测量仿真

由于频率的精确度关系到所测交流电压的准

确性,所以频率测量至关重要,图 5 为 proteus 仿真画面,选取 10 个点来检测该频率测量方法的准确性,从表 1 中可以看出,该频率测量方法是可行的,仿真结果精度很高。

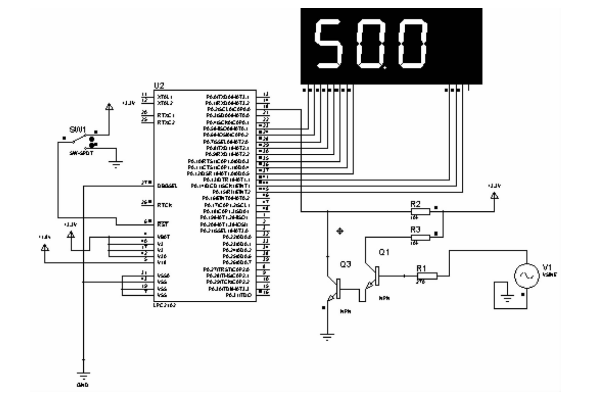


图 5 发电机端电压频率测量仿真图

Fig.5 Simulation results of generator terminal voltage frequency measurement

表 1 端电压频率测量值

Tab.1 Measurement results of generator terminal voltage frequency

	Hz				
原始值 $f_0$	49.60	49.70	49.80	49.90	50.00
实测值 $f$	49.59	49.70	49.80	49.90	50.01
原始值 $f_0$	50.10	50.20	50.30	50.40	50.50
实测值 $f$	50.09	50.20	50.30	50.40	50.50

3.2 机端电压输出仿真

基于模糊自适应 PID 控制算法,对采样得到的发电机机端电压与设定的参考电压比较,进行差值计算,出现偏差则调用 PID 程序,计算出所需要的占空比,调用 PWM 子程序输出触发脉冲控制励磁电流的大小,使发电机的空载电势改变,从而保持机端电压恒定。如图 6 控制效果,采用常

规 PID 控制,系统响应产生较大超调量和波动,这对高性能的控制系统是不允许的;引进模糊自适应 PID 控制算法,电压未出现超调和振荡,其动态特性稳定可靠,符合机端电压稳定的性能要求。

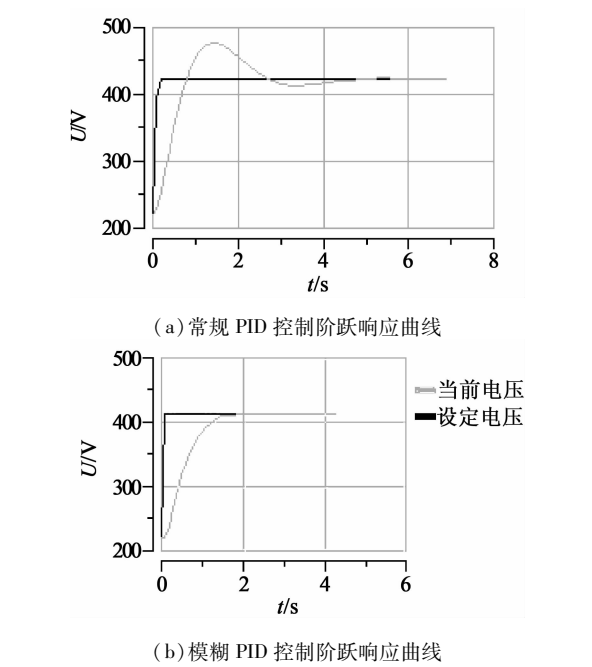


图 6 发电机机端电压阶跃响应曲线

Fig.6 Step response curve of generator terminal voltage

4 结论

本文基于 ARM7 的 LPC2103 的发电机励磁控制器设计,充分利用 ARM 丰富的外设资源,利用片内部的 A/D 转换模块,使整个系统硬件结构简化;软件设计采用模块化、前后台的软件设计方法及模糊自适应 PID 控制策略,改善了发电机端电压控制的动态品质,为高性能同步发电机提供高性价比、稳定可靠的控制方案。

参考文献:

[1] 范延滨,于忠清. 嵌入式系统原理与开发[M]. 北京:机械工业出版社,2010.

[2] 朱晓鹏,肖铁军. ARM + FPGA 的实时数据采集系统设计[J]. 计算机工程与设计,2009,30(13):3088 - 3090.

[3] 阮阳,袁荣湘. 采用输出反馈方式的电力系统非线性励磁控制[J]. 中国电机工程学报,2011,31(34):68 - 76.

[4] 郭伟,吴东,吴青. 基于预测函数的励磁控制研究[J]. 控制工程,2012,19(5):757 - 763.

[5] 张海静. 微机励磁调节器监控软件的设计[J]. 自动化仪表,2010,31(7):39 - 41.

[6] 陈继明,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.

[7] 汪庆年,李斌,张广栋. 基于 DSP 的新型柴油发电机励磁控制系统研究[J]. 电气传动,2010,40(5):63 - 66.

[8] 林敦,王流亿. 小型发电机组励磁系统的现场调试[J]. 水电能源科学,2010,28(7):157 - 159.

[9] 周旭辉,周有庆,鲁文军,等. 一种发电机微机励磁实验装置的研制[J]. 电力系统及其自动化学报,2009,21(5):113