

基于 DSP 的无刷无位置直流电动机调速系统的研究

孙自勇¹, 李广波², 侯强², 程景萌³

(1. 东北电力大学, 吉林 吉林 132012; 2. 东北电力大学电气工程学院, 吉林 吉林 132012;

3. 河北工业大学机械工程学院, 天津 300130)

摘要: 为了能够准确地获得无刷无位置直流电动机转子位置的换相信号, 采用基于虚拟中性点电位的三次谐波检测法, 并对此检测法进行仿真和实验验证, 设计出了以 TMS320F2812 为核心的全数字调速系统, 给出了硬件电路的设计, 并对九点五态控制器做出了数学解释。实验结果表明: 该系统具有较强的鲁棒性和抗干扰能力, 且超调量小, 响应时间快。

关键词: TMS320F2812; 九点五态控制器; 无刷直流电机; 三次谐波

Research on digital BLDCM speed-adjusting system based on DSP

SUN Zi-yong¹, LI Guang-bo², HOU Qiang², CHENG Jing-meng³

(1. Northeast Dianli University, Jilin 132012, China; 2. Electrical Engineering Institute, Northeast Dianli University, Jilin 132012,

China; 3. Mechanical Engineering Academy, Hebei Industry University, Tianjin 300130, China)

Abstract: In order to obtain the accurate location of a brushless DC motor for the rotor position, the paper adopts virtual neutral point potential-based three harmonic detection method with simulation and experimental verification. A TMS320F2812-based all-digital speed control system is designed, its hardware circuit is introduced, and the nine point five state controller is explained. The results show that the system is of robust and anti-jamming capabilities, small overshoot, and fast response time.

Key words: TMS320F2812; nine point five state controller; brushless DC motor; third harmonic

中图分类号: TM33 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)10-0106-05

0 引言

无刷直流电机存在由于定子电流和反电动势在相位上的差异而导致的较大的转矩脉动, 很难实现精确的位置和速度控制, 这限制了无刷直流电机的进一步发展^[1,2]。近年来德州仪器公司推出了专门为运动控制应用而设计的一款 DSP—TMS320F2812, 它的出现为解决这一问题提供了强力的工具。考虑到获得反映转子位置的换相信号, 是实现无刷直流电机控制的关键, 本文采用无位置传感器控制方式, 提出了基于虚拟中性点电位的三次谐波检测法。

无刷直流电机是一个复杂的非线性系统, 采用常规的PID控制很难实现高精度、快响应的控制要求^[3-5], 本文提出了一种应用TMS320F2812实现九点五态控制器的控制策略。

基金项目: 吉林省教育厅重点教改项目资助

1 系统结构

图1为无刷直流电动机系统的结构框图, 主要包括电流采样电路、速度方向检测电路及主电路设计等功能模块^[6]。

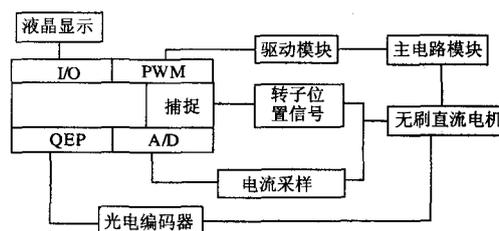


图1 系统结构框图

Fig.1 System structure diagram

1.1 电流采样电路

通过一个精密电阻将电流传感器采集来的电流信号转换成电压信号, 由于 TMS320F2812 只能接受单极性电压信号, 且输入电压不允许超过 3.3

V。所以还需要经过信号调理电路然后才能输入到 A/D 通道。图 2 为信号调理电路原理图,包括:电压跟随,加法器,滤波和保护电路。

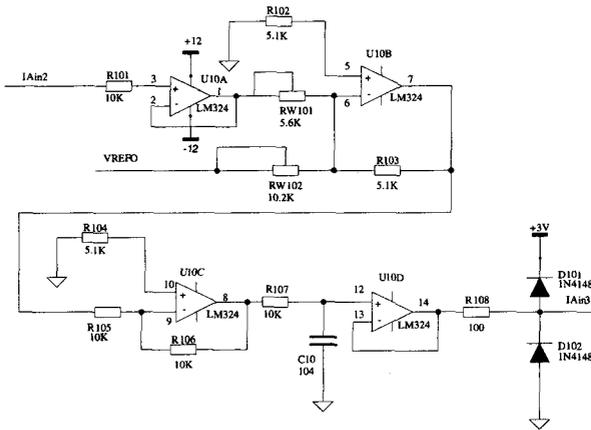


图 2 调理电路原理图

Fig.2 Schematic diagram of controlling circuit

1.2 速度方向检测电路

采用光电编码器来测量电机的转速,由于 TMS320F2812 每个 EV 模块都有一个正交编码脉冲(QEP)电路,只要将光电编码器与正交编码脉冲电路的输入引脚 QEP1, QEP2 相连,由通用定时器进行计数,就能得到电机的实际转速^[7~9]。

1.3 主电路设计

为了准确地获得转子位置的换相信号,减小转矩脉动。本文采用基于虚拟中性点电位的转子位置检测技术。图 3 为基于虚拟中性点电位的无位置传感器无刷直流电机主电路原理图。

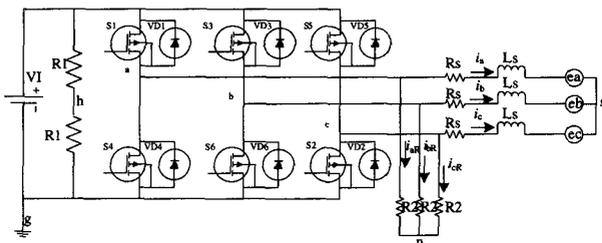


图 3 无刷直流电动机主电路原理图

Fig.3 Main circuit of brushless DC motor

阻值同为 R_2 的三个电阻构成的星型网络连接在电机接线端,它们公共端记为 n,也就是所谓的“虚拟中性点”。另外两个具有相同阻值 R_1 的电阻则并联在直流母线上,构成一个直流母线中点电位参考点 h,电机实际定子绕组中性点记为 s。

在逆变器两两导通,也就是 120° 导通控制方式下,导通的电机定子两相绕组中感应出的反电动势

幅值大小相等,方向相反,由此得到在 PWM 调制有效期间,电机定子绕组中性点电位和逆变器直流母线中性点的电位相等,因此通过测量虚拟中性点相对逆变器直流母线中点的电压信号,然后经过换相信号检测调理电路就可以得到三次谐波信号,即获得反映转子位置信息的换相脉冲信号,来控制逆变器中功率管的换流,从而实现电动机的自同步运行。

1.3.1 换相信号检测调理电路

无位置传感器换相信号检测调理电路如图 4 所示:

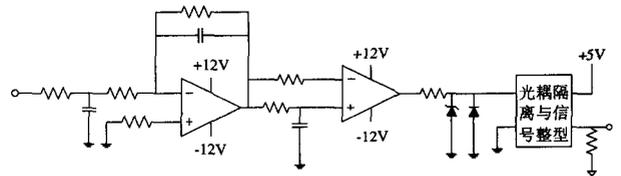


图 4 换相信号检测调理电路

Fig.4 Controlling circuit of phase-change signal check

包括:低通滤波环节,移相 90° 环节,直流分量消除环节,整形环节。

1.3.2 主电路的仿真

图 5 为虚拟中性点信号与定子相电流的仿真图。

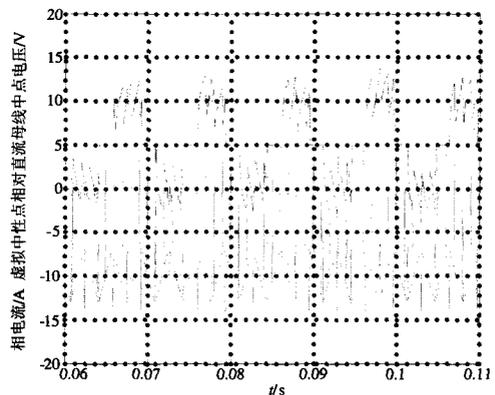


图 5 虚拟中性点信号与定子相电流的仿真图

Fig.5 Simulation of virtual neutral point signal and stator's phase current

可以清楚看到三次谐波信号的波峰波谷严格对应了电流换相位置,电机相电流在三次谐波信号的每个波峰或波谷点进行换相。

图 6 为换相信号调理电路输出结果的仿真波形。

从数值仿真结果可看出反电动势三次谐波与虚拟中性点相对直流母线中点电压信号之间存在相位和频率两个方面严格的对应关系。

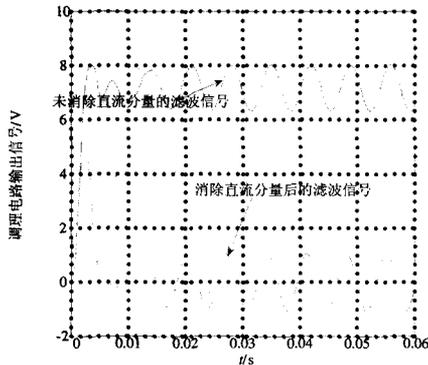


图 6 换相信号调理电路输出结果的仿真波形

Fig.6 Output waveform simulation of phase change signal controlling circuit

1.3.3 实验结果

依据上述理论,设计了相应的三次谐波信号检测调理电路,并在无刷直流电机台架上做了试验。图 7 为无刷直流电机在额定负载时的无位置传感器运行实验结果波形。

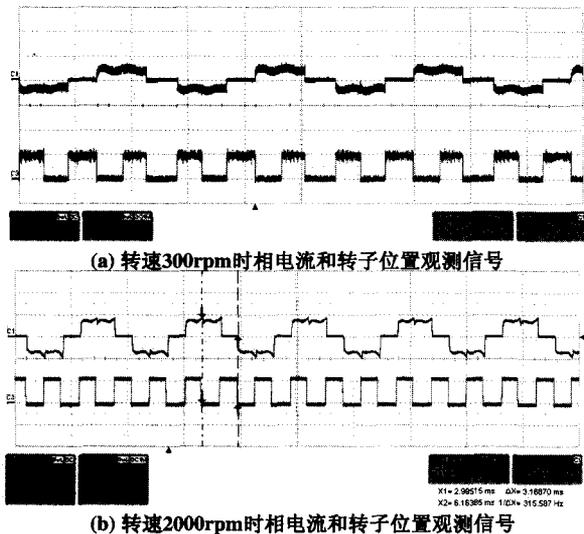


图 7 额定负载时无位置传感器运行实验结果

Fig.7 Rated load-position sensor operating results

实验结果表明:虚拟中性点相对直流母线中点的电压信号通过信号调理电路后,得到的换相脉冲信号的上升沿和下降沿严格对应了电流换相位置。与前面仿真研究结果完全一致。

1.4 驱动电路设计

IGBT 栅极驱动芯片采用 IR2233 芯片,该驱动集成电路集控制电路、电平转换、低阻抗输出和识别保护等为一体。只需要几个外围分立元件,就可以使三相桥式电路的逻辑控制信号与具有 CMOS 或者 LSTTL 输出的控制器件完整结合。采用该器件

可使功率系统设计时间缩短,尺寸减小,成本降低,可靠性提高。

1.5 其它电路设计

除了以上基本模块外,还有一些辅助电路,如通讯、显示以及键盘等。它们也是系统中不可缺少的部分。因为 TMS320F2812 有丰富的 I/O 口,可以直接将键盘、液晶显示模块与 DSP 的 I/O 口相连,通过键盘输入来完成参数的设置,并通过液晶来显示电机的各项参数,实现良好的人机交流,便于更好的操作和分析系统的各项参数。

2 控制方法

系统的速度调节和电流调节都采用九点五态控制器控制方法,以使电流环稳态时无静差,动态时无超调;使速度环能够快速灵活的跟踪。

2.1 九点五态控制器

九点控制器的输入量为偏差 e 和偏差率 Δ , 输出量为系统给定量 T , e_z 和 e_{zz} 表示零区,根据 e 和 Δ 所处的区域,可分为 9 种工作状态;九点五态控制器是在九点控制器的基础上对分区方法进行简化,去掉九点控制器零带中的 4 个次要控制作用,保留其中五种状态。九点五态控制器的规则表如表 1 所示

表 1 九点五态控制器的规则表

Tab.1 Rules of nine point five state control

	$e < -e_z$	$ e \leq e_z$	$e > e_z$
$\Delta < -e_{zz}$	K2	K2	K1
$ \Delta < e_{zz}$	K3	K0	K1
$\Delta > e_{zz}$	K3	K4	K4

其中当 $e < 0$ 且 $\Delta < 0$ 时(K2),系统输出响应超越设定值范围,并有继续偏离设定值的趋势,此时应施加很强的反向作用力,迫使系统输出响应迅速向设定值方向靠拢。

当 $e > 0$ 且 $\Delta < 0$ 时(K1),系统输出响应低于设定值范围,并有向设定值靠拢的趋势,此时应施加稍弱的正向作用力,使系统平稳回归到设定值范围内。

当 $e < 0$ 且 $\Delta \geq 0$ 时(K3),系统输出响应超越设定值范围,并有向设定值靠拢的趋势,此时应施加稍弱的反向作用力,使系统平稳回归到设定值范围内。

当 $e \geq 0$ 且 $\Delta > 0$ 时(K4),系统输出响应低于设定值范围,并有继续偏离设定值的趋势,此时应施加很强正向作用力,迫使系统输出响应迅速向设定值方向靠拢。

当 $e = 0$ 且 $\Delta = 0$ 时(K0),系统输出响应等于设定

值,此时应施加保持作用,使系统依然停留在设定值范围内。

根据上述分析可得: K_1 与上升时间有关; K_1 、 K_2 与系统的超调量有关;而 K_0 与稳态误差有关。九点五态控制器的设计思想为:首先设计PI控制器,根据控制对象和大量的实验数据来确定控制器的参数(K)。

九点五态控制器具有不依赖被控对象精确的数学模型,在不同的区域采用不同的控制作用(取不同的 K 值),具有控制灵活适应性强和良好的动静态性能等优点。

3 实验结果及分析

用Matlab对本设计的控制算法进行仿真实验。 $U_N = 220 \text{ V}$, $I_N = 136 \text{ A}$, $C_e = 0.132 \text{ V/r} \times \text{min}^{-1}$, $n_n = 1460 \text{ r/min}$,电枢回路总电阻 $R = 0.5 \Omega$,电枢电感 $L = 0.015 \text{ H}$,电流反馈系数 $\beta = 0.05$,转速反馈系数 $\alpha = 0.007$,在 $t=5 \text{ s}$ 时,电机突卸负载^[10]。则电机在额定电压下的转速仿真波形如图8所示,电流仿真波形如图9所示。

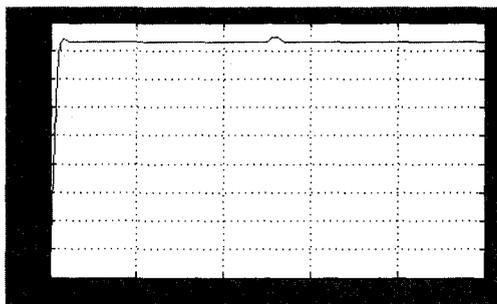


图8 电机突卸负载的转速波形

Fig.8 Speed wave of sudden dumping of the electrical load

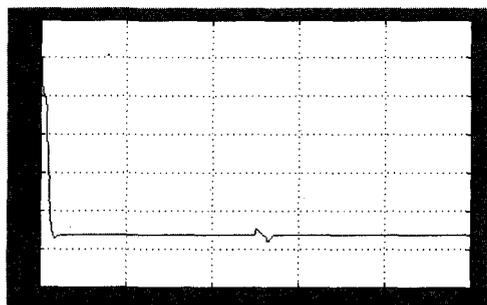


图9 电机突卸负载的电流波形

Fig.9 Current wave of sudden dumping of the electrical load

通过仿真波形可以看出,系统在突卸负载后,过度过程基本没有速度下降,使系统具有较强的鲁棒性和抗干扰能力;并且有效地抑制了超调量,提

高了系统的响应速度和稳态性能。

根据上述理论及控制算法,搭建了直流电机的实验平台,则电机在突卸负载时的转速实验结果及电流实验结果如图10和图11所示。

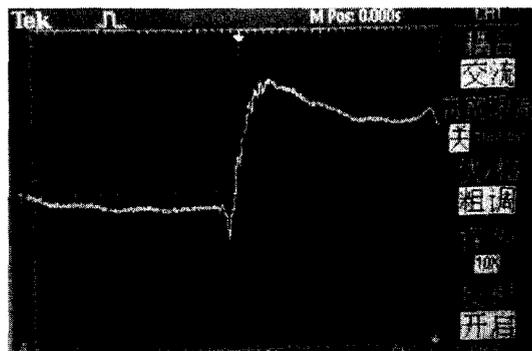


图10 电机突卸负载的转速实验结果

Fig.10 Speed results of sudden dumping of the electrical load

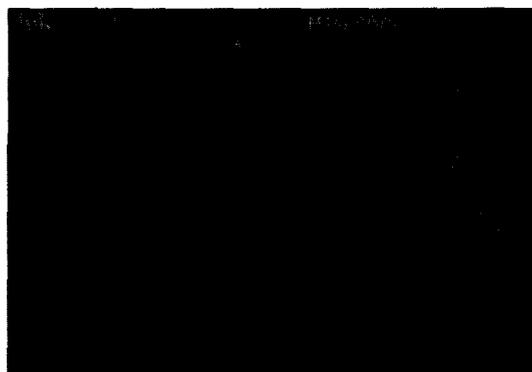


图11 电机突卸负载的电流实验结果

Fig.11 Current results of sudden dumping of the electrical load

可以看出实验结果和仿真波形基本一致,证明了此理论及算法的可行性。因此,本系统具有实际应用价值。

4 结论

本系统采用基于虚拟中性点电位的三次谐波检测法,能够准确地获得无刷直流电机的转子位置的换相信号。应用TMS320F2812实现了九点五态控制的智能控制,这种控制方法不需要精确的数学模型,对系统的参数变化不敏感,且控制策略简单。经实验证明,系统的动、静态性能大为改善,提高了系统的鲁棒性和抗干扰能力,使系统能够实现精确的位置控制和速度控制。

参考文献

- [1] 丁志刚. 无刷直流电机的研究和开发进展[J]. 微电机, 2000, 33(1): 29-30.

- DING Zhi-gang. Not Brushes Direct Current Motor's Research and the Development Progress[J]. Micromotor, 2000, 33(1): 29-30.
- [2] 陈仕高, 牛利勇. DSP 在直流无刷电机中的应用[J]. 微计算机信息, 2006, (2): 142-145.
- CHEN Shi-gao, NIU Li-yong. DSP in the Cocurrent not Brushes in Electrical Machinery's Application[J]. Microcomputer Information, 2006, (2): 142-145.
- [3] 刘大武, 李明才. 基于数字化电机控制系统开发与实验平台设计[J]. 电工技术杂志, 2003, (9): 88-90.
- LIU Da-wu, LI Ming-cai. Based on the Digitization Motor Control System Develops and Tests the Platform Design[J]. Electrician Technical Journal, 2003, (9): 88-90.
- [4] 朱红, 齐蓉. 一种应用于无刷直流电机数字控制的系统设计[J]. 电气传动自动化, 2005: 31-33.
- ZHU Hong, QI Rong. One Kind Applies in not Brushes Direct Current Machine Digit Control System Design[J]. Electric Drive Automation, 2005: 31-33.
- [5] 纪志成, 薛花, 董富红. 无刷直流电机调速系统间接模型参考自适应控制[J]. 电机与控制学报, 2004, 8(3): 225-228.
- JI Zhi-cheng, XUE Hua, DONG Fu-hong. Not Brushes the Direct Current Machine Velocity Modulation System Indirect Model to Refer to the Adaptive Control[J]. Electrical Machinery and Control Journal, 2004, 8(3): 225-228.
- [6] 孙立军, 孙雷, 张春喜. 无刷直流电机 PWM 调制方式研究[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2006, 11(2): 120-123.
- SUN Li-jun, SUN Lei, ZHANG Chun-xi. Not Brushes the Direct Current Machine PWM Modulation System Research[J]. Harbin University of Science and Technology, 2006, 11(2): 120-123.
- [7] 张卫宁. TMS320C28x 系列 DSP 的 CPU 与外设[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- ZHANG Wei-ning. TMS320C28x Series DSP CPU and Peripheral Device[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
- [8] 王晓明, 王玲. 电动机的 DSP 控制——TI 公司 DSP 应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.
- WANG Xiao-ming, WANG Ling. Electric Motor's DSP Control TI Corporation DSP Application[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2004.
- [9] 谢宝昌, 任永德. 电机的 DSP 控制技术及其应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- XIE Bao-chang, REN Yong-de. Electrical Machinery's DSP Control Technology and Application[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2005.
- [10] 杨浩东, 李榕, 刘卫国. 无刷直流电动机的数学模型及其仿真[J]. 微电机, 2003, 36(4): 8-10.
- YANG Hao-dong, LI Rong, LIU Wei-guo. Not Brushes Direct Current Motor's Mathematical Model and the Simulation[J]. Micromotor, 2003, 36(4): 8-10.

收稿日期: 2008-07-02; 修回日期: 2008-07-27

作者简介:

孙自勇 (1971-), 男, 主要研究方向为电力系统及其自动化; E-mail: szy1971@mail.nedu.edu.cn

李广波 (1982-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统及其自动化。

(上接第 101 页 continued from page 101)

- [6] Lee S J, Kang J K, Sul S K. A New Phase Detecting Method for Power Conversion Systems Considering Distorted Conditions in Power System[A]. In: Thirty-Fourth IAS Annual Meeting, IEEE Conf. Record[C]. 1999. 2167-2172.
- [7] YANG Shi-zhong, LI Xiao-chun. Foundation of Phase Lock Technology[M]. Beijing: People Post-office Press, 1978. 100-102.
- [8] WU Po, GUO Yu-Hua, WEN Liang-yu. Improvement and Implementation of One Phase Power Phase-Locked Loop based on FPGA[J]. Power Electronics, 2007, (4): 80-82.
- [9] Uwe Meyer-Baese. Digital Signal Processing with Field Programmable Gate Arrays, Second Edition [M]. Springer Press Ltd, 2004. 79-82.

收稿日期: 2008-06-23; 修回日期: 2008-07-13

作者简介:

孙浩 (1983-), 男, 研究生, 主要研究领域为 FPGA 和嵌入式系统开发; E-mail: sh_1983@sina.com

袁慧梅 (1971-), 女, 博士, 副教授, 主要研究领域为 FPGA 和嵌入式系统开发。