

基于 DSP_F2812 的 BLDCM 无传感器控制研究*

颜冰钧, 郭新华, 卢小芬, 戴茵茵, 尚荣艳

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 分析了无刷直流电机数学模型, 对无刷直流电机无传感器控制的三段式起动与反电动势过零点换相技术做出研究。利用电机三相端电压与反电动势间关系来确定电机反电动势过零点与换相点, 提出了基于三相反电动势的改进型反电动势过零点换相方法。设计了基于 DSP_F2812 的无刷直流电机控制平台。通过实验验证表明, 基于三段式起动与改进型反电动势过零点换相方法的 BLDCM 无位置传感器控制达到了带霍尔传感器换相控制的精度与效果。

关键词: 永磁无刷直流电机; 无位置传感器控制; 三段式起动; 反电动势过零点法

中图分类号: TM341

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2014)04-0064-03

Research on sensorless control of BLDC motor based on DSP_F2812

Yan Bingjun, Guo Xinhua, Lu Xiaofen, Dai Yinyin, Shang Rongyan

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: A mathematical model of the permanent magnet brushless DC motor has been analyzed while three-step starting technology and commutation has been studied in this paper. Then an improvement method of back EMF zero-crossing detection base on the mathematical model of BLDC motor has been proposed. Commutating was guided by using the corresponding relation between motor's terminal voltages and back EMF. A hardware system based on DSP_F2812 had been put up. Experimental result verify the reliability and utility of the sensorless control system by using three-step starting technology and back EMF zero-crossing detecting commutation comparison with HALL-sensor control.

Key words: BLDC motor; sensorless control; three-step starting method; back EMF zero-crossing detection

无刷直流电机 BLDCM (Brushless DC Motor) 继承了永磁电机的小体积、高效率、低干扰等优点, 且兼容了直流电机易调速的优势, 同时由于电机本体不包含电刷及换向器, 有效解决了直流电机换相过程中所存在的换相火花等问题, 使得其被广泛应用于军用、工业与民用等各个方面。传统无刷直流电机都安装有诸如霍尔传感器等在内的位置传感器, 通过位置传感器得到电机转子位置信号指导电机换相, 其最大劣势在于位置传感器的安装使得电机的体积、结构与制造成本受到限制。因此, 对 BLDCM 无位置传感器控制技术的研究具有一定的意义^[1]。

本文通过反电动势过零点法来代替位置传感器获得 BLDCM 的换相信号, 并选择“三段式起动”作为起动算法。搭建了基于 DSP_F2812 的实验平台, 验证了以上算法的可行性, 实现 BLDCM 的无传感器控制。

1 BLDCM 数学模型

无刷直流电机数学模型主要包括电压方程、电磁转矩方程与机械运动方程^[2]。

电压方程:

$$\begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & & \\ & R & \\ & & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L-M & & \\ & L-M & \\ & & L-M \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} U_N \\ U_N \\ U_N \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, U_a 、 U_b 、 U_c 为电机三相相电压, R 为电机电枢等效电阻, i_a 、 i_b 、 i_c 为电机定子三相电流, L 为电机定子三相绕组自感, M 为电机定子三相绕组间互感, e_a 、 e_b 、 e_c 为电机三相反电动势, U_N 为电机中性点电压。

* 基金项目: 福建省自然科学基金面上项目(2013J01198); 中央高校基本科研业务费(国家自然科学基金)(12J0436); 华侨大学引进人才科研启动费(11Y0269); 福建省自然科学基金面上项目(2012J01223)

技术与方法 Technique and Method

电磁转矩方程:

$$T_e = \frac{(e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c)}{\omega} \quad (2)$$

其中 ω 为电机旋转角速度。

无刷直流电机机械运动方程:

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_e - T_l - B\omega \quad (3)$$

其中, J 为电机转动惯量, T_l 为负载转矩, B 为阻尼系数。

2 BLDCM 无传感器控制

BLDCM 无传感器控制的控制框图如图 1 所示,分为起动控制与换相控制两大部分。本文起动算法选择“三段式起动”,换相算法选择“反电动势过零点法”^[3]。

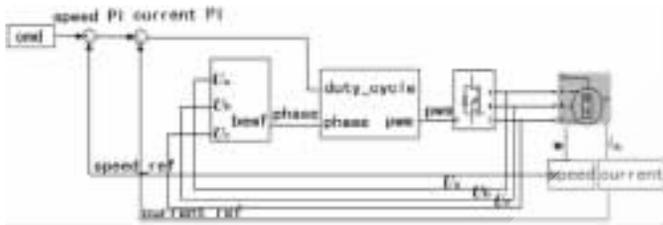


图 1 BLDCM 无传感器控制框图

2.1 起动算法

BLDCM 起动算法采用“三段式起动”。“三段式起动”可分为预定位、外同步加速、内同步切入 3 个步骤,其程序流程图如图 2 所示。

电机处于静止时转子位置未知,需先将转子固定于特定位置。电机起动时,对电机任意两相通电,使转子转至与定子磁场一致位置,完成转子预定位。

预定位结束后,转子已处于已知位置,但此时电机反电动势较为微弱,需对电机进行外同步加速。本文在加速阶段采用外同步升频升压加速方式,即对电机按换相逻辑通以占空比与频率逐渐升高的 PWM 脉冲使电机运行至一定转速。在外同步阶段可根据^[4]:

$$t = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4J\pi}{\Sigma T_i}} \quad (4)$$

来估算电机转动一周所需时间并设计升频升压过程中各脉冲组合持续时间。

电机运行至一定转速后,当已有明显反电动势输出时,需对电机进行由外同步控制至内同步控制的切入操作。切入过程中,可能由于内外同步信号之间存在相位差使得功率管通断时刻出现误差,导致切入过程失败。本文在外同步加速过程中监测三相反电动势波形,并在测得电机反电动势过零点时通过等待一个延时后对电机进行切入控制。

2.2 反电动势过零点换相

BLDCM 反电动势波形为梯型波,其反电动势与电机

转子位置间存在对应关系,通过检测电机非导通相反电动势波形可得当前转子位置并估算换相时刻。

电机的反电动势难以直接测得,如需获得电机反电动势则需通过其他方法间接测量得到^[5]。本文采用“端电压法”来检测获得三相反电动势。端电压为绕组端部至电源负极电压,实际为相电压加中性点对电源负极电压。传统“端电压法”需根据当前导通相测量定子绕组特定某相端电压与母线电压或利用大衰减比例 RC 分压滤波电路来获得模拟中性点电压值^[6]。本文对传统“端电压法”做出改进,由同时测量电机三相端电压的方式来间接获得反电动势。根据电机电压方程(1)对传统“端电压法”做出如下改进:对于三相无刷直流电机两相导通 120°方式,每时刻只有两相绕组通电,导通两相电流幅值相等,方向相反,同时非导通相电流为零,因此对电压式(1)3 个方程相加得到:

$$U_a + U_b + U_c = e_a + e_b + e_c + 3U_N \quad (5)$$

在某相反电动势过零点时,其余导通两相反电动势幅值大小相等,极性相反,故:

$$e_a + e_b + e_c = 0 \quad (6)$$

因此,在反电动势过零点处有:

$$U_a + U_b + U_c = 3U_N \quad (7)$$

对于非导通相,该相流过电流为零,根据式(1)可得某相反电动势 e_x 与该相端电压 U_x 关系为:

$$e_x = U_x - U_N \quad (8)$$

由以上推导可知,在某相反电动势过零点处:

$$U_x = U_N \quad (9)$$

现假设 AB 相导通, C 相反电动势过零,将式(9)带入式(7),得:

$$U_a + U_b = 2U_N \quad (10)$$

在 C 相反电动势过零点处, $U_a = E$, $U_b = 0$, E 为电机反电动势幅值,故:

$$U_N = \frac{1}{2} E \quad (11)$$

将式(11)带入式(7),得:

$$U_a + U_b + U_c = \frac{3}{2} E \quad (12)$$

由上述分析可知,使用改进后的“端电压法”指导换相时,只需测得电机三相定子端电压 U_a 、 U_b 、 U_c ,并根据式(12)计算三相端电压之和,当三相端电压之和等于 $\frac{3}{2} E$ 时,即可视为已达到非导通相反电动势过零点。在获得非导通相反电动势过零点后再延时 30°电角度即为当前的换相时刻。

3 BLDCM 无传感器控制的实现

为实现 BLDCM 的无传感器控制,本文搭建了相关实验平台,实验平台分为电源供电、主控电路、驱动电路与功率逆变等部分,其结构如图 3 所示。

3.1 主控电路设计

主控电路基于 DSP_F2812 设计,其结构框图如图 4

技术与方法 Technique and Method



图3 BLDCM 控制系统硬件结构图

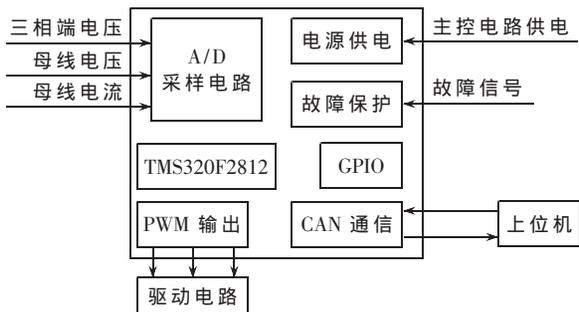


图4 主控电路结构图

所示。主控电路主要负责对电机“三段式起动”、反电动势过零点法、保护逻辑与PWM信号输出等功能的实现。

在电机起动完成后,电机三相端电压经A/D采样调理电路分压后输入DSP,DSP由电机三相端电压值确定电机的反电动势过零点并输出PWM信号指导电机换相。同时通过DSP内部的CAN模块实现DSP与上位机间通信。

3.2 驱动电路设计

本文功率逆变模块采用IR公司的FR540 MOSFET,因主控电路输出的PWM不足以直接驱动MOSFET导通与关断,故需增加一级驱动电路。驱动电路以IR2103驱动芯片为核心,其原理图如图5所示。

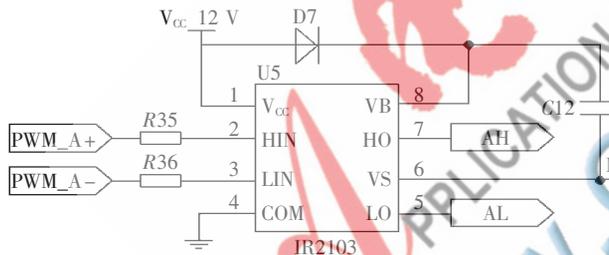


图5 IR2103 驱动电路原理图

4 实验结果

实验电机参数如下:额定电压 $U=48\text{ V}$;额定功率 $P=100\text{ W}$;额定转速 $n_N=3\ 000\text{ r/min}$;额定电流 $I=0.6\text{ A}$;额定转矩 $T_N=0.32\text{ N}\cdot\text{m}$ 。

图6与图7分别为100%占空比与50%占空比下电机三相端电压波形。从图中可知,由改进型反电动势过零点换相法所得电机三相端电压波形为互差 120° 的梯形波,符合无刷直流电机磁场梯形分布特性。

为验证无传感器控制方式下电机换相精度,对工作于反电动势过零点法换相控制方式下的电机三相霍尔传感器供电,使其工作,从而输出三相霍尔位置信号。图8为反电动势过零点法换相控制时100%占空比下电机A相端电压波形与三相霍尔传感器输出霍尔位置信号对比。由图可知,无传感器控制换相所得位置信号与



图6 100%占空比下三相端电压波形



图7 50%占空比下三相端电压波形

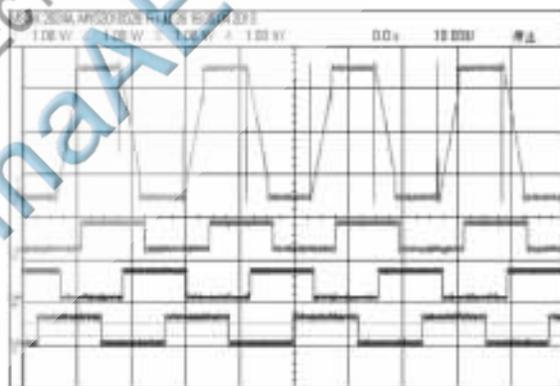


图8 无传感器控制下A相端电压波形与霍尔位置信号

霍尔位置信号基本等效。实验波形说明改进的反电动势过零点法换相基本满足换相精度要求。

本文应用“三段式”起动方式与基于三相反电动势的改进型反电动势过零点换相法对无刷直流电机无传感器控制做出研究。分析阐述了反电动势过零点法检测原理与数学模型;设计了基于改进型反电动势过零点换相法的BLDCM无传感器控制算法;建立基于DSP F2812的实验平台。实验结果表明,应用三段式起动方式与改进型反电动势过零点换相法的BLDCM无传感器控制算法能够达到带霍尔传感器控制的控制精度与效果。

参考文献

[1] 沈建新,吕晓春.无传感器无刷直流电机三段式起动技术的深入分析[J].微特电机,1998,28(5):8-11.

- [2] 张相军.无刷直流电机无位置传感器控制技术的究[D].上海:上海大学,2001.
- [3] LAI Y S, LIN Y K. An unified approach to back EMF detection for brushless DC motor derives without current and hall sensors[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2003, 18(6): 1293-1298.
- [4] 郭新华, 温旭辉, 赵峰, 等. 基于电磁转矩反馈补偿的永磁同步电机新型 IP 速度控制器[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(27): 7-13.
- [5] 罗宏浩, 吴峻, 赵宏涛, 等. 永磁无刷直流电机换相控制研究[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(24): 108-112.
- [6] LAI Y S, SHYU F, TSENG S S. New initial position detection technique for three-phase brushless DC motor without position and current sensors[J]. IEEE Trans. on Industry Applications, 2003, 39(2): 485-491.

(收稿日期: 2013-10-16)

作者简介:

颜冰钧, 男, 1989 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 三相永磁无刷直流电机控制, 三相永磁同步电机控制。

郭新华, 男, 1977 年生, 博士, 讲师, 主要研究方向: 永磁型双机械端口电机驱动控制, 三相永磁同步电机驱动控制, 六相永磁同步电机控制, 中压大功率牵引异步电机控制, 无刷直流电机控制。

