

四轴飞行器无刷直流电机驱动技术研究

陈李文, 马国军, 张家栋

(江苏科技大学 电子信息学院, 江苏 镇江 212003)

摘要: 针对四轴飞行器无位置传感器无刷直流电机的驱动控制,设计开发了三相六臂全桥驱动电路及控制程序。ATMEGA16单片机作为控制核心,利用反电势过零点检测轮流导通驱动电路的6个MOSFET实现换向;直流无刷电机控制程序完成MOSFET上电自检、电机启动软件控制,PWM电机转速控制以及电路保护功能。实践证明,该设计电路结构简单,成本低、电机运行稳定可靠,实现了电机连续运转。

关键词: 无刷直流电机; 脉冲宽度调制; 驱动技术; 四轴飞行器

中图分类号: TN710.2-34

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2013)16-0152-03

Drive control technology of BLDC motor for quadcopters

CHEN Li-wen, MA Guo-jun, ZHANG Jia-dong

(College of Electronic Information, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China)

Abstract: The three-phase six-arm full-bridge driver circuit and control program were designed and developed for the drive control of sensorless brushless DC motor (BLDCM) of quadcopter. The ATMEGA 16 microcontroller is used as the control center. The back EMF and zero crossing time is detected to turn on/off the 6 MOSFETs in the driver circuit. The power-on self-test of MOSFET, control of motor software control, rotational speed control of PWM motor and circuit protection function are realized by BLDCM control program. The practice proves that the designed circuit structure is simple and the cost is low. The motor runs reliable and continuously.

Keywords: brushless direct current motor; pulse width modulation; drive technology; quadcopter

近年来,四轴飞行器的研究和应用范围逐步扩大^[1],它采用四个无刷直流电机作为其动力来源。无刷直流电机为外转子结构,直接驱动螺旋桨高速旋转。

无刷主流电机的驱动控制方式主要分为有位置传感器和无位置传感器的控制方式两种。由于在四轴飞行器中的要求无刷直流电机控制器要求体积小、重量轻、高效可靠^[2],因而采用无位置传感器的无刷直流电机。本文采用的是朗宇X2212 kv980无刷直流电机。

无刷直流电机驱动控制系统包括驱动电路和系统程序控制两部分。采用功率管的开关特性构成三相全桥驱动电路^[3-4],文献[5-6]使用DSP作为主控芯片,借助其强大的运算处理能力,实现电机的启动与控制,但电路结构复杂成本高,缺乏经济性。

直流无刷电机的换向采用反电势过零检测法^[7],一旦检测到第三相的反电势过零点就为换向做准备。反电势过零检测采用虚拟中性点的方法^[8],通过检测电机

各相的反电势过零点来判断转子位置。而基于电机三相绕组端电压变化规律的电机电流换向理论^[9],可以大大提高系统控制精度。

本文无刷直流电机的驱动电路采用三相六臂全桥电路,控制电路的管理控制芯片采用ATmega 16单片机实现,以充分发挥其高性能、资源丰富的特点,因而外围电路结构简单。无刷直流电机采用软件启动和PWM速度控制的方式,实现电机的启动和稳定运行,大大提高四轴飞行器无刷直流电机的调速和控制性能。

1 三相六臂全桥驱动电路

无刷直流电机驱动控制电路如图1所示。该电路采用三相六臂全桥驱动方式,采用此方式可以减少电流波动和转矩脉动,使得电机输出较大的转矩。在电机驱动部分使用6个功率场效应管控制输出电压,四轴飞行器中的直流无刷电机驱动电路电源电压为12 V。驱动电路中, $Q_1 \sim Q_3$ 采用IR公司的IRFR5305(P沟道), $Q_4 \sim Q_6$ 为IRFR1205(N沟道)。该场效应管内藏续流二极管,为场效应管关断时提供电流通路,以避免管子的反向击

收稿日期:2013-04-19

基金项目:江苏省大学生实践创新训练项目(2012JSSPITP1457);
江苏科技大学本科创新计划重点项目

穿,其典型特性参数见表 1。 $T_1\sim T_3$ 采用 PDMC143ET 为场效应管提供驱动信号。

表 1 MOSFET 管参数

参数	IRFR5305	IRFR1205
源漏击穿电压 V_{DS}/V	-55	55
栅源电压 V_{GS}/V	± 20	± 20
连续漏极电流 $I_D(T_C=25\text{ }^{\circ}\text{C})/A$	-31	44
峰值漏极电流 I_{DM}/A	-110	160
漏源雪崩电流 I_{AR}/A	-16	25
耗散功率 $P_D(T_C=25\text{ }^{\circ}\text{C})/W$	110	107

由图 1 可知, $A_1\sim A_3$ 提供三相全桥上桥臂栅极驱动信号,并与 ATMEGA16 单片机的硬件 PWM 驱动信号相接,通过改变 PWM 信号的占空比来实现电机转速控制; $B_1\sim B_3$ 提供下桥臂栅极驱动信号,由单片机的 I/O 口直接提供,具有导通与截止两种状态。

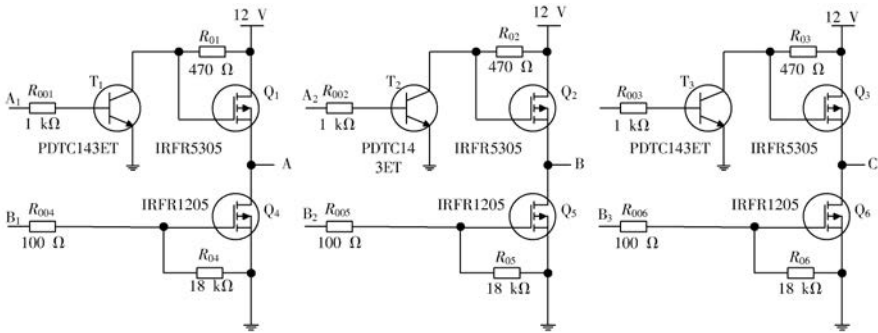


图 1 无刷直流电机三相六臂全桥驱动电路

无刷直流电机驱动控制采用三相六状态控制策略,功率管具有六种触发状态,每次只有两个管子导通,每 60°电角度换向一次,若某一时刻 AB 相导通时,C 相截至,无电流输出。单片机根据检测到的电机转子位置,利用 MOSFET 的开关特性,实现电机的通电控制,例如,当 Q_1 、 Q_5 打开时,AB 相导通,此时电流流向为电源正极→ Q_1 →绕组 A→绕组 B→ Q_5 →电源负极。类似的,当 MOSFET 打开顺序分别为 Q_1Q_5 、 Q_1Q_6 、 Q_2Q_6 、 Q_2Q_4 、 Q_3Q_4 、 Q_3Q_5 时,只要在合适的时机进行准确换向,就可实现无刷直流电机的连续运转。

2 反电势过零检测

无刷直流电机能够正常连续运转,就要对转子位置进行检测,从而实现准确换向。电机转子位置检测方式主要有光电编码盘、霍尔传感器、无感测量三种方式^[10]。由于四轴飞行器无刷直流电机要求系统结构简单、重量轻,因而采用无位置传感器的方式,利用第三相

产生的感生电动势过零点时刻延迟 30°换向。虽然该方法在电机启动时比较麻烦,可控性差,但由于电路简单、成本低,因而适合于在正常飞行过程中不需要频繁启动的四轴飞行器电机。

由于无刷直流电机的两相导通模式,因而可以利用不导通的第三相检测反电势的大小。如图 2 反电势检测电路,中性点 N 与单片机的 AIN0 相接, A_{in} 、 B_{in} 、 C_{in} 分别接单片机的 ADC0、ADC1、ADC2。不停地比较中性点 N 电压与 A、B、C 三相三个端点电压的大小,以检测出每相感生电动势的过零点。ATMEGA16 单片机模拟比较器的正向输入端为 AIN0,负向输入端根据 ADMUX 寄存器的配置而选择 ADC0、ADC1、ADC2,从而利用了单片机自带的模拟比较器的复用功能。当 A、B 相通电期间,C 相反电势与中性点 N 进行比较,类似的,就可以成功检测出各相的过零事件。

电机的反电势检测出来后,就可以找到反电势的过零点,在反电势过零后延迟 30°电角度进行换向操作。

3 控制程序设计

3.1 驱动控制电路上电自检

无刷直流电机驱动控制部分包括 MOSFET 自检、电机启动控制和电压电流监测功能 3 部分。驱动控制电路的上电自检流程如图 3 所示,包括 MOSFET 短路特性与导通特性测试、以防止过流损坏电路。

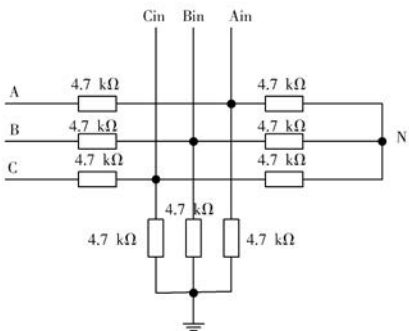


图 2 反电势检测电路

3.2 软件启动控制

反电势检测法只有在电机正常运转后才能进行,当电机不转或转速很低时,其反电势无法检测,因而采用软件启动的方式。针对无位置传感器无刷直流电机的控制,本文采用三步启动的方法,首先,给 A、B 相通电一段时间以固定电机转子位置;六状态轮流换向,通电时间逐步减少;检测第三相的反电势,若正常则启动成功,否则重新启动。具体的启动流程如图 4 所示。

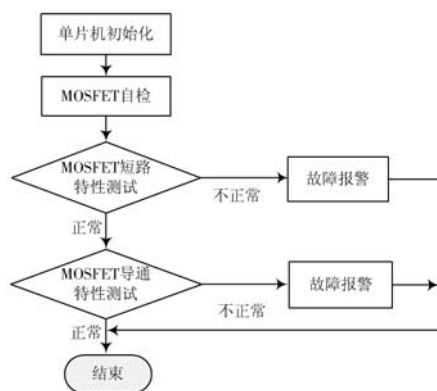


图3 驱动控制电路上电自检流程图

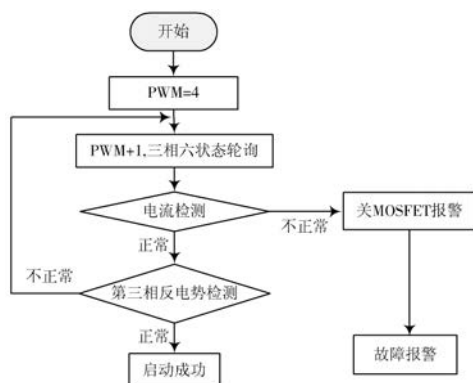


图4 无刷无感直流电机启动流程

3.3 系统保护功能设计

四轴飞行器的系统保护功能包括电压、电流监测功能。电池电压监测功能电路:通过简单的分压电路将电池电压降到单片机 A/D 转换允许的输入范围内(0~5 V),通过电压监测防止电压不足时电机停转;电流检测功能电路:通过 0.01 Ω 电阻采样电流,转化为电压,送到单片机的 A/D 转换口,以防止发生故障时大电流损坏电路。在电流监测时,采用简单的数值平均滤波方式,减弱瞬时峰值电流对测量结果的影响。

作者简介:陈李文 男,1989年出生,江苏南通人。主要研究方向为熟悉单片机与电子电路设计。

马国军 男,1976年出生,江苏丹阳人,讲师,博士。研究方向为嵌入式系统,信号与信息处理。

(上接第151页)

- [2] 茆美芹,余世杰,苏建徽.带有 MPPT 功能的光伏阵列 Matlab 通用仿真模型[J].系统仿真学报,2005,17(5):1248-1251.
- [3] 朱铭炼,李臣松,陈新,等.一种应用于光伏系统 MPPT 的变步长扰动观察法[J].电力电子技术,2010,44(1):20-22.
- [4] 陈俊,惠晶.基于模糊控制策略的光伏发电 MPPT 控制技术[J].现代电子技术,2009,32(6):182-185.
- [5] XIAO Wei-dong, DUNFORD W G. A modified adaptive hill climbing MPPT method for photovoltaic systems [C]// proceedings of 35th annual IEEE Power Electronic Specialists Conference.

4 结 语

本文实现四轴飞行器的直流无刷电机的驱动电路和系统控制软件程序设计。驱动电路采用三相六臂全桥电路,MOSFET作为开关元件,利用 ATmega 16 单片机作为控制芯片,反电势过零检测以及软件启动的控制方式,并延迟 30°进行换向。正常启动后,单片机输出 PWM 实现无刷直流电机转速调节。同时设计了电压、电流监测电路,保证系统安全,因而,该系统能够正常驱动无位置传感器无刷直流电机,并且能够应用于四轴飞行器。

参 考 文 献

- [1] 乔维维.四旋翼飞行器飞行控制系统研究与仿真[D].太原:中北大学,2012.
- [2] 戴敏,曹杰,史金飞.航模直流无刷无感电机调速控制系统设计[J].测控技术,2006,25(7):30-33.
- [3] 宋慧滨,徐申,段得山.一种直流无刷电机驱动电路的设计与优化[J].现代电子技术,2008,31(3):122-124.
- [4] 李利平,益斌,徐卫忠.无刷直流电机的控制研究[J].电气自动化,2012,34(3):15-17.
- [5] 冬雷.DSP 原理及电机控制系统应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- [6] 王宏伟,梁晖.无位置传感器无刷直流电机的 DSP 控制技术[J].电力电子技术,2005,39(6):102-104.
- [7] 庄乾成,杜豫平.无位置传感器直流无刷电机控制的研究[J].制造业自动化,2011,33(8):98-101.
- [8] 刘大文,付少锋,黄胜.基于 C8051C310 设计的无感无刷直流航模控制器[J].科学技术与工程,2007,7(20):5392-5395.
- [9] 王微子,冼峰峰,王敏,等.基于 DSP 的无位置传感器无刷直流电动机调速系统[J].微特电机,2004(7):20-22.
- [10] 孟磊,蒋宏,罗俊,等.四旋翼飞行器无刷直流电机调速系统的设计[J].电子设计工程,2011(12):140-142.

Germany: IEEE, 2004: 1957-1963.

- [6] SENJYU T, UEZATO K. Maximum power point tracker using fuzzy control for photovoltaic arrays [C]// IEEE International Conference on Industrial Technology. American: IEEE, 1994: 143-147.
- [7] SIMOES M G, FRANCESCHETTI N, FRIEDHOFFER M. Fuzzy logic based photovoltaic peak power tracking control [C]// Proceedings of IEEE International Symposium on Industrial Electronics. Pretoria: IEEE, 1998: 300-305.
- [8] 张超,何湘宁.非对称模糊 PID 控制在光伏 MPPT 中的应用[J].电工技术学报,2005,20(10):72-75.

四轴飞行器无刷直流电机驱动技术研究

作者: [陈李文](#), [马国军](#), [张家栋](#), [CHEN Li-wen](#), [MA Guo-jun](#), [ZHANG Jia-dong](#)
作者单位: [江苏科技大学 电子信息学院, 江苏 镇江, 212003](#)
刊名: [现代电子技术](#)



英文刊名: [Modern Electronics Technique](#)

年, 卷(期): 2013(16)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_xddzjs201316046.aspx