

基于 MSP430 的稀土永磁无刷直流电机控制系统

曹菁^{1,2} 张新华³ 朱纪洪¹

(1. 清华大学计算机系智能技术与系统国家重点实验室, 北京 100084;

2. 江苏信息职业技术学院 无锡 214106;

3. 江苏大学电气信息工程学院 镇江 212013)

摘要: 针对小型无人飞机舵机的驱动需求, 介绍了以 MSP430F146 为核心的稀土永磁无刷直流电机的驱动控制系统的组成、硬件电路和控制策略等。实验结果表明, 该系统具有良好的动态和静态特性。

关键词: MSP430 单片机; 无刷直流电机; PWM; 控制系统

中图分类号: TM383.6 TM359.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6848(2005)05-0034-04

Driving Control System of REPM Brushless DC Motor based on MSP430

CAO Jing ZHANG Xin-hua ZHU Ji-hong

(1. Tsing hua University, Beijing, 100084, China;

2. Jiangsu college of Information Technology, School of Electrical and Information Engineering, Wuxi, 21406;

3. Jiangsu University Department of Computer Science and Technology, Zhenjiang, 212013; China)

Abstract: Aiming at requirement of the unmanned aerial vehicle control system, the thesis introduces a drive control system of rare earth permanent magnet(REPM)brushless DC motor based on MSP430. It describes the composing principle, the hardware design solution and the control method for control system based on MSP430F149. Experimental results show that the system has good dynamic and static characteristics.

Key words: MSP430; brushless DC motor; PWM ; control system

0 引言

稀土永磁无刷直流电机系统, 既有交流电动机的结构简单、运行可靠、维护方便等特点, 又有直流电机运行效率高、调速性能好等特性, 而且由于不受机械换向的限制, 易于做到大容量、高转速。本文设计了一种基于美国 TI 公司的 MSP430 单片机的全数字无刷直流电机驱动控制系统, 用于实现小型无人飞机的舵机控制, 整个控制系统结构紧凑, 功能完善。

1 MSP430 系列单片机概述

美国德州仪器(TI)公司的 MSP430 系列单片机, 是一种超低功耗特性的高性能单片机。它将各种外围资源集中在片上, 实现了片上系统(SOC), 从而大大简化了系统的设计, 具体特点如下:

1) 超低功耗。 工作电压仅为 1.8V~3.6V, 并有 5 种低功耗模式, 充分运用各种超低功耗设计手段, 运行在 1MHz 时钟条件下时, 工作电流视工作模式不同为 0.1 μ A~400 μ A;

2) 具有强大的处理能力。 采用了高效 16 位 RISC(精简指令计算系统)技术, 仅 27 条汇编指令, 8MHz 时钟频率时, 指令周期可达 125ns, 绝大多数指令 1 个时钟周期完成, 能编制出高效的程序;

3) 灵活的时钟系统(两个外部时钟和一个内部时钟), 2 组频率可达 8MHz 的时钟模块;

4) 超低功耗的数控振荡器(DCO)技术。 可以实现频率调节和无晶振运行, 外接时钟频率范围为 32768Hz~8MHz, 并可实现分频。

5) 具有串行在线编程功能。

6) 强大的中断功能。 具有 16 个中断源, 可任意嵌套, 使用灵活方便, 唤醒时间短, 用中断请求将 CPU 从节电模式下唤醒只需 6 μ s。

7) 具有较丰富的片内外设。 本设计采用的 MSP430F149 包含: 60KB 的片内程序存储器

收稿日期: 2004-12-28

基金项目: 国家 863 高技术发展研究计划项目(项目编号: 2003AA755023)

ROM、2KB 的数据存储器 RAM,12 位高性能 A/D 转换器,高精度比较器,1 个硬件乘法器,2 个带有大量捕获/比较寄存器的 16 位定时器 Time __ A 和 Time __ B,1 个看门狗时钟,2 个可实现异步、同步及多址访问的串行通信接口,有 6×8 个可实现方向设置及中断功能的并行输入/输出端口等。

8) 包容了 JTAG 技术,FLASH 在线编程技术等许多先进的技术。其内部预设了 JTAG 模块,具有完整的在线调试功能。利用单片机本身具有的 JTAG 接口,可以在 1 台 PC 机及 1 个结构小巧的 JTAG 控制器的帮助下完成程序的下载和调试,而不必使用复杂的仿真调试工具^[1]。

2 BLDCM 驱动控制系统构成

基于 MSP430 的无刷直流电机(BLDCM)驱动

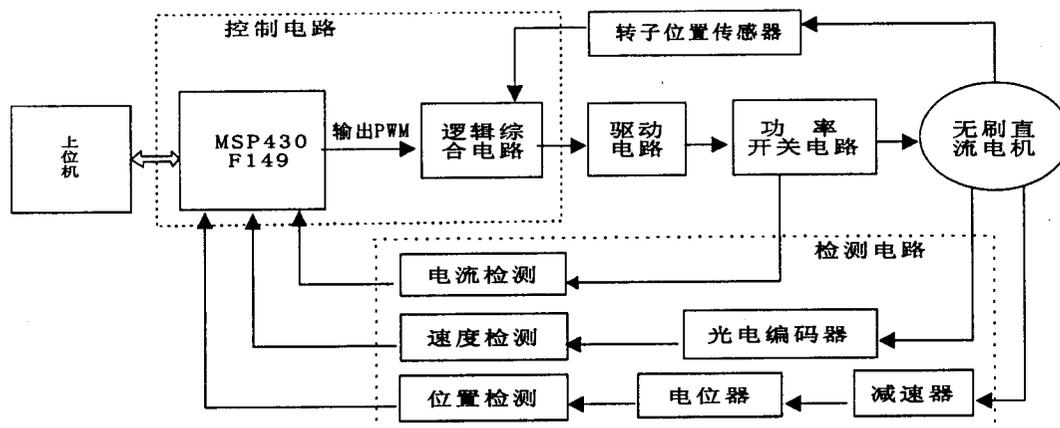


图 1 无刷直流电机(BLDCM)控制系统结构框图

2.1 硬件电路

控制系统硬件电路主要包括功率开关主电路、驱动电路、控制电路、检测电路等,采用 MSP430F149、GAL16V8、IR2130、MAX485 等芯片。

1) 功率开关主电路

开关主电路如图 2 所示。电源电压为 28V 直流,采用三相桥式逆变器,工作方式为 120°导通型星形二相导通三相 6 状态。功率开关管 T1~T6 选用高速功率场效应晶体管 MOSFET 器件 IRF540,内含快速恢复二极管。

2) 驱动电路

采用美国 International Rectifier 公司生产的 6 路高压集成驱动器 IR2130。具有集成度高、可靠性好、速度快、过流欠压保护、调试方便等特点。其驱动信号延时为纳秒级,开关频率高达 20kHz。该电路驱

动 6 个单元仅用一路 15V 电源。芯片内部具有欠压锁定、外部过流封锁和故障输出指示功能。调节电阻可调节过流保护值。D1 为保护指示灯,一旦过流或欠压锁定,D1 会发出故障指示。为了防止干扰引起误触发而产生假过电流现象,在 IR2130 的 9 脚过流封锁端加一小电容进行滤波^[2]。图 3 为 IR2130 组成的开关管驱动电路,可见,电路外围元件少,电路结构简单,提高了系统的可靠性。

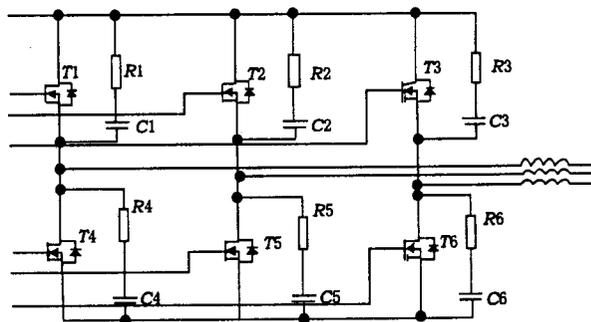


图 2 功率开关主电路

动 6 个单元仅用一路 15V 电源。芯片内部具有欠压锁定、外部过流封锁和故障输出指示功能。调节电阻可调节过流保护值。D1 为保护指示灯,一旦过流或欠压锁定,D1 会发出故障指示。为了防止干扰引起误触发而产生假过电流现象,在 IR2130 的 9 脚过流封锁端加一小电容进行滤波^[2]。图 3 为 IR2130 组成的开关管驱动电路,可见,电路外围元件少,电路结构简单,提高了系统的可靠性。

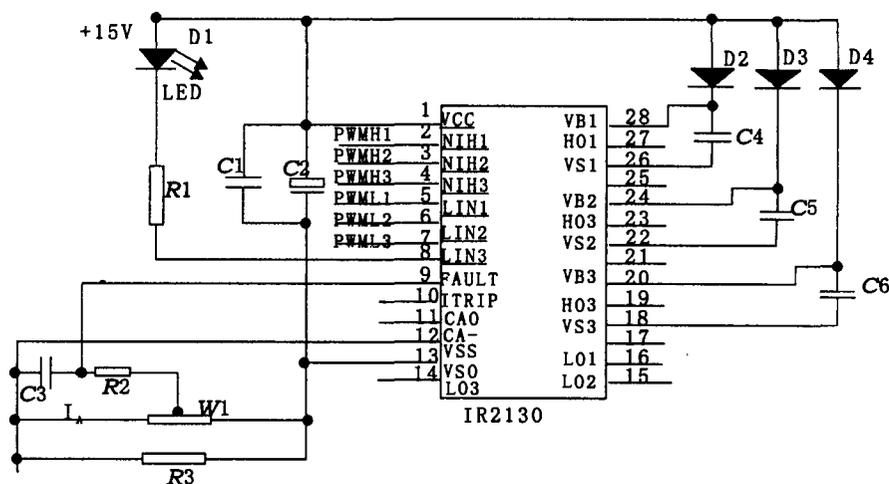


图3 IR2130组成的开关管驱动电路

3) 控制电路

控制电路主要由以 MSP430F149 为核心的 PWM 生成电路和以 GAL16V8 为核心的逻辑综合电路两部分组成。分别完成 PWM 调速功能和换相功能。采用 MSP430F149 的定时器 B 通过软件实现 PWM 方波输出,通过改变捕获/比较寄存器 CCR2 中的数值就可改变 Time B 产生的 PWM 方波信号的占空比,通过改变捕获/比较寄存器 CCR0 中的数值就可改变 PWM 方波信号的周期。

系统由上位机给定位置控制信号, MSP430 通过一系列的运算产生一定占空比的 PWM 方波。通过调整 PWM 波宽度控制功率管的开关时间,实现对无刷直流电动机的控制。同时,一旦产生故障,通过软件及时封锁 PWM 的输出直至故障取消。

逻辑综合电路采用 GAL16V8 门阵列可编程器件来实现。转子位置传感器采用霍尔元件。H1、H2、H3 分别为 3 个霍尔元件输出互差 120°电角度的三相位置检测信号,经上位电阻后变为 +5V 开关脉冲,经稳压处理后,送到 GAL 电路进行开关译码,如图 4 所示。

芯片初始化由 SET 控制信号完成,正、反转信号经 DIR 控制信号来实现, PWM 脉冲信号为零时实现停机操作。以上信号按 120°三相六状态导通规则进行逻辑合成,生成逆变器开关器件所需的 6 路驱动控制信号,送入 IR2130。

GAL 电路同时将转子位置传感器信号、PWM 调制信号、电机正反转信号 DIR 一起译码,输出对应于功率管 T1~T6 的 6 个驱动信号,实现电机的调速控制、正反转控制及故障保护等功能。表 1 为霍尔元件信号和电机正、反转逻辑关系。

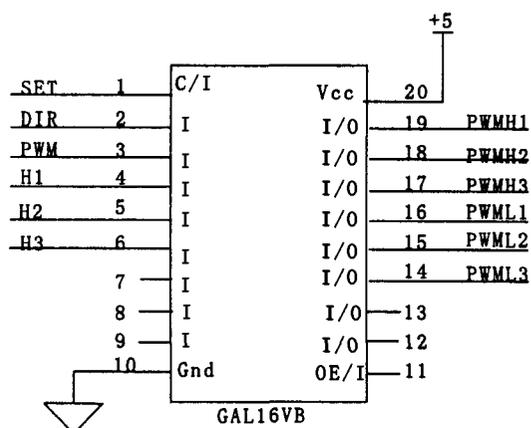


图4 GAL16V8组成的逻辑综合电路

4) 检测电路

(1) 电流检测。MSP430F149 有 8 个外部通道和 4 个内部通道,可用外部参考电平或内部参考电平,也可采用两者的组合。本系统将采集到的电流、电压模拟量通过光耦 A7840 隔离、滤波、跟随、限幅后直接送 MSP430F149 的 12 位 A/D 转换模块,若遇到过电流就及时封锁 PWM 输出。

(2) 速度检测。速度检测器通常有测速发电机、光电编码器、磁编码器 and 旋转变压器等,也可利用无刷直流电机转子位置传感器所产生的脉冲信号来反映电机的转速,但在低转速时,测速精度较差。本系统采用 500 线的增量式光电编码器进行 M 法数字测速。将编码器输出的 A、B 两组信号分别送入 MSP430,通过软件即可算出电机转速。具体做法是:通过 Time B 捕捉 10ms 时间内测到的脉冲数 M,则转速 $n = 60M100/500 = 12M(r/min)$ 。

(3) 位置检测。利用转子位置传感器检测电机永磁转子的位置从而确定转子磁场位置控制功率逆变器中的开关元件。位置检测通过高精度电阻电位器

进行测量,将位移信号转换为电压信号,输出信号经过分压、跟随限幅等一系列的信号处理后,送入 MSP430F149 的外部 A/D 通道。

表 1 霍尔元件信号和电机正反转逻辑关系

霍尔元件信号	正转		反转	
	导通绕组	开通管子	导通绕组	开通管子
101	A,B	T1,T5	B,A	T2,T4
100	A,C	T1,T6	B,C	T2,T6
110	B,C	T2,T6	A,C	T1,T6
010	B,A	T2,T4	A,B	T1,T5
011	C,A	T3,T4	C,B	T3,T5
001	C,B	T3,T5	C,A	T3,T4

2.2 控制策略和软件设计

本系统采用位置、速度、电流三闭环全数字控制,其优点是调试方便,控制策略改动容易。电流环和速度环分别采用 P 和 PD 进行控制。位置环作为外环,决定了舵机系统的快速性和稳态性能,采用

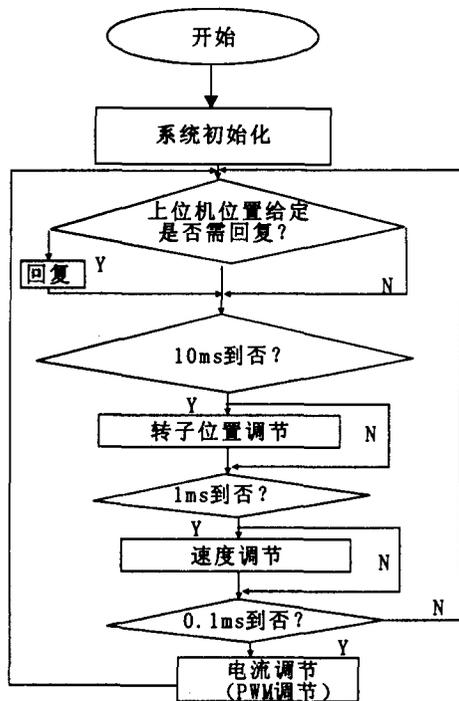


图 5 主程序流程框图

PID 控制^[3]。控制系统软件采用模块化设计,从位置给定和反馈的实时采样、PID 调节、PWM 输出、信息的显示等,均由 MSP430 的控制软件来实现。为使软件组织灵活有序,便于调整、修改和移植,整个软件按功能划分,编制模块化软件结构。软件用 C 语言开发。主程序主要由系统的初始化和主循环体组成。系统的初始化包括单片机和外围器件的初始化,系统全局变量的定义和赋初值等。初始化完成后,程序进入主循环体根据预设的参数或者根据操

作者的输入进行控制。图 5 为系统主程序框图。

3 结论

MSP430 系列单片机是一种新型的功能强大的单片机,具有超低功耗和适应工业应用的特点,实时处理能力强,运行速度快,性价比高。文中研制了一套基于 MSP430 单片机的稀土永磁无刷直流电机驱动控制系统,用于小型无人飞机的舵机控制。实验样机为 Maxon 精密电动机公司研制的稀土永磁无刷直流电动机。电机额定功率为 120W,额定转速为 5900r/min。由于 MSP430 集成了如 PWM 电路、A/D 转换电路、串行通讯端口等许多控制部件,使电机的控制模块大为简化。实验表明:整个系统简单可靠,运行效果好,具有实用价值。

参考文献

- [1] 胡大可. MSP430 系列 FLASH 型超低功耗 16 位单片机[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001
- [2] 李钟明,刘卫国等. 稀土永磁电机[M]. 北京:国防工业出版社,2001
- [3] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 北京:机械工业出版社,2003

作者简介:曹菁(1969—),女,江苏无锡人,副教授,硕士,研究方向为电力电子与电力传动。

(上接第 22 页)

艺简单的单层链式绕组,并已成功应用于某风洞实验中。

参考文献

- [1] Mouhoub Mekhiche, Stephen Nichols. High-speed, High-power Density PMSM Drive for Fuel Cell Powered Hew Application[J]. IEEE, 2001; 0-7803-7091-0/01
- [2] 陈世坤. 电机设计(第二版)[M]. 北京:机械工业出版社,2000
- [3] 臧英杰,吴守箴. 交流电机的变频调速[M]. 北京:中国铁道出版社,1984
- [4] 王兆安,黄俊. 电力电子技术(第 4 版)[M]. 北京:机械工业出版社,2000

作者简介:竹朝霞(1967—),女,副研究员,主要从事翼型风洞实验研究。