

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.02.020

无刷直流电机无线组网控制系统研究与设计

赵 兴,张 珣*

(杭州电子科技大学 电子信息学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 针对无刷直流电机控制中组网和布线难的问题,研制了一种采用TI公司的无线收发芯片CC1101进行无线数据传输、以微芯公司的MCU作为核心处理器的无线组网控制系统,该系统集串口通信、数据无线收发、无刷直流电机控制于一体。介绍了无刷直流电机无线组网控制系统的工作原理,给出了电机调速使用的模糊PID算法和系统软、硬件设计方法,并给出了系统工作的软件流程图。研究表明:该系统结构简单、能耗低、无线通信稳定可靠,可以实现在PC机上对多台无刷直流电机进行无线组网控制,并省去不必要的布线环节。

关键词: 无刷直流电机; 无线组网控制; 模糊PID算法

中图分类号: TH33; TH39; TN92 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2013)02-0206-04

Wireless network control for brushless DC motor

ZHAO Xing, ZHANG Xun

(School of Electronic & Information, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the problem of networking and cabling in the control of brushless DC motors, a wireless network control system was developed, which used TI's wireless transceiver chip CC1101 to transmit data and used microchip's MCU as the core processors. Serial communication, wireless transceivers and brushless DC motor control were integrated into this system. The principle of wireless network control for brushless DC motor, fuzzy PID algorithm which was used for the speed control of motor, hardware and software design methods were described, also the software flow chart and algorithm were introduced. The results indicate that the system is a simple, low energy consumption, stable and reliable wireless communication system which realizes wireless network control of brushless DC motors and eliminates unnecessary cabling links.

Key words: brushless DC (BLDC) motor; wireless networking control; fuzzy PID algorithm

0 引 言

无刷直流电机(BLDC)以电子换向器代替电刷,具有传统直流电机的运行效率高和速度易调等优点,又克服了电机电刷换向时容易产生噪声、火花和干扰并且影响寿命等致命缺陷,因此在工业生产和科研工作中应用十分广泛^[1]。

目前BLDC的控制主要集中在有线和点到点的一对一控制,在电机数量较多而且环境恶劣不适宜布线的情况下,存在很大的不足。针对这种不足,本研究设计了一个无线组网控制系统,以TI公司生产

的工作在UHF频段的无线收发芯片CC1101作为无线收发模块^[2],以微芯公司的低功耗芯片PIC18F45K20和dsPIC33FJ32MC204作为主控单元^[3-4]。系统由3部分构成:PC上位机、无线收发器、电机控制器。PC客户端发出控制指令,通过串口传送到无线收发器,无线收发器将控制指令传送到电机控制器,用模糊PID算法^[5-6]进行调速控制。

1 系统概述

1.1 系统架构

该系统采用三层结构,总体架构如图1所示。

收稿日期: 2012-09-10

作者简介: 赵 兴(1986-),男,安徽池州人,主要从事电子信息系统集成方面的研究。E-mail: zhaoxing0553@126.com

通信联系人: 张 珣,男,教授,硕士生导师。E-mail: zhxun@hdu.edu.cn

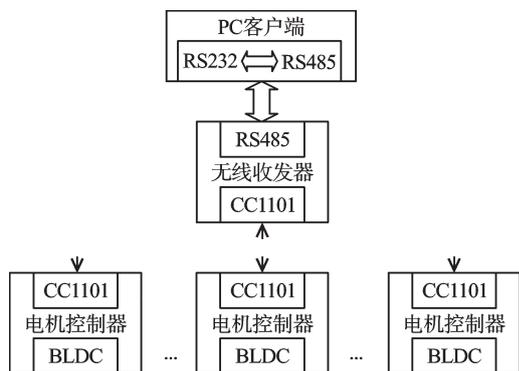


图1 BLDC无线组网控制结构图

图1中,最顶层是在PC上编写一个BLDC的控制软件,实现对电机的起/转停、加/减速、设定速度、转向等控制,另外还可以通过发送指令让电机上传即时的运转信息,例如转向和速度,便于人工的监控。这些指令都通过计算机RS232串口发出,但是考虑到实际应用的布线距离和抗干扰等因素,本研究将计算机送出的信号通过双向电平转换器将RS232电平转化为RS485电平^[7],转换好的信号通过导线传至系统的无线收发平台。

中间层是无线收发器,它将通过RS485口传来的数据通过CC1101发送出去,同时它也可以接收到其他CC1101发出的信号,并回传至上位机显示和分析。

最底层是BLDC控制器,通过SPI接口集成一个CC1101模块,用来接收上位机通过无线收发平台发送的控制指令,控制BLDC的运转。

1.2 电机调速算法

电机转速控制是系统设计的关键,常规的PID控制算法具有算法简单、精度高、可靠性强等优点。但其设计过分依赖控制对象的模型,参数修改不便,而在无刷直流电机这样一个多变量、非线性、强耦合的控制环境中,利用常规PID算法设计出的控制系统难以取得比较满意的控制效果。本研究采用能进行参数自整定的模糊PID控制算法进行电机转速控制^[8-9],控制框图如图2所示。

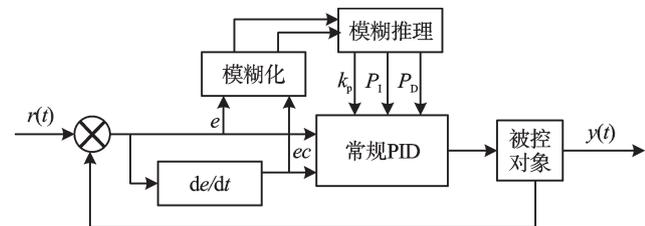


图2 模糊PID控制框图

本研究以电机系统给定的运转速度和实际检测速度的偏差,偏差的变化 ec 作为模糊控制的输入,运用模糊推理,实现PID控制参数的自整定。根据以往的专家经验和实际的试验,建立关于 K_p, K_i, K_d 的模

糊控制规则表,如表1~3所示。

表1 K_p 模糊控制规则表

| ΔK_p / ec | NB | NM | NS | ZO | PS | PM | PB |
|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| NB | PB | PB | PM | PM | PS | ZO | ZO |
| NM | PB | PB | PM | PS | PS | ZO | NS |
| NS | PM | PM | PM | PS | ZO | NS | NS |
| ZO | PM | PM | PS | ZO | NS | NM | NM |
| PS | PS | PS | ZO | NS | NM | NM | NM |
| PM | PS | ZO | NS | NM | NM | NM | NB |
| PB | ZO | ZO | NM | NM | NM | NB | NB |

表2 K_i 模糊控制规则表

| ΔK_i / ec | NB | NM | NS | ZO | PS | PM | PB |
|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| NB | NB | NB | NM | NM | NS | ZO | ZO |
| NM | NB | NB | NM | NS | NS | ZO | NS |
| NS | PM | PM | PM | PS | ZO | NS | NS |
| ZO | NM | NM | NS | ZO | PS | PM | PM |
| PS | NM | NS | ZO | PS | PS | PM | PB |
| PM | ZO | ZO | PS | PS | PM | PB | PB |
| PB | ZO | ZO | PS | PM | PM | PB | PB |

表3 K_d 模糊控制规则表

| ΔK_d / ec | NB | NM | NS | ZO | PS | PM | PB |
|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| NB | PS | NS | NB | NB | NB | NM | PS |
| NM | PS | NS | NB | NM | NM | NS | ZO |
| NS | ZO | NS | NM | NM | NS | NS | ZO |
| ZO | ZO | NS | NS | NS | NS | NS | ZO |
| PS | ZO |
| PM | PB | NS | PS | PS | PS | PS | PB |
| PB | PB | PM | PM | PM | PS | PS | PB |

本研究设定 e 和 ec 语言值的模糊子集为{负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大},依次简记为{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}。根据各参数模糊控制规则,笔者应用PID参数的模糊矩阵表,查出修正参数,代入下式进行计算:

$$\begin{cases} K_p = K'_p + \{e_i \ ec_i\}_p \\ K_i = K'_i + \{e_i \ ec_i\}_i \\ K_d = K'_d + \{e_i \ ec_i\}_d \end{cases} \quad (1)$$

式中: K'_p, K'_i, K'_d —初始设定的PID参数; $\{e_i \ ec_i\}_p, \{e_i \ ec_i\}_i, \{e_i \ ec_i\}_d$ —模糊控制器的3个输出。

本研究根据无刷直流电机的状态自动调整PID 3个控制参数,以达到最优控制。

2 硬件设计

2.1 无线收发器设计

本研究采用微芯公司的8位单片机PIC18F45K20

作为微处理器。该单片机是高性能的RISC CPU,具有针对C编译器优化的架构,最高16 MIPS的工作速度;工作电压范围1.8 V~3.6 V,并采用nanoWatt XLP的超低功耗管理;另外还集成了各种常用模块如EUSART模块,MSSP模块。在无线通信中要求系统能耗低、运行速度快,抗干扰能力强,在这里PIC18F45K20是个不错的选择。由于该系统将来的应用场所是室内车间,很容易获得市电,这里使用AC-DC作为电源。

无线收发器硬件电路示意图如图3所示。单片机引脚通过SPI端口与CC1101进行通信,通过EUSART端口进行RS485电平转换,转换好的信号通过导线送至上位机,在进上位机之前还要通过一个RS485到RS232的电平转化。由于是市电供电,系统可以一直处于常开状态,CC1101不需要工作在WOR模式。

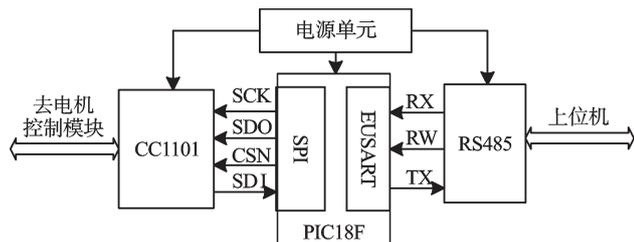


图3 无线收发器硬件电路示意图

2.2 电机控制器的硬件设计

电机控制器集成无线收发模块、微处理器单元、BLDC电机控制电路。这里本研究将电机控制器做成3块电路板:一块控制板、一块驱动板、一块CC1101无线模块板,将驱动板和无线模块板接插在控制板上,进行模块化设计。

本研究选用MICROCHIP公司的16位数字信号控制器dsPIC33FJ32MC204作为控制板的微处理器,这是一款高性能DSC CPU,指令多为单周期指令,支持6通道PWM输出,最高40 MIPS的工作速度,通过CMOS闪存技术降低系统功耗。

电机控制器的硬件电路示意图如图4所示。CC1101收到无线收发平台传来的信号,通过SPI口传到控制板,微处理器经过运算,将该指令传给电机驱动板,使电机根据指令实现相对应的动作;当电机收到上传当前电机参数指令时,控制板就会对电机的霍尔传感器信号进行分析运算并进行数据回传。

3 系统软件设计

3.1 通信协议

上位机和无线收发平台的通信是简单的串口通信,属于有线传输,通信已经很成熟,这里着重介绍该系统中无线数据传输的通信协议。在无线收发平台眼中,任何一个电机控制器都是平等的,在同一时间,

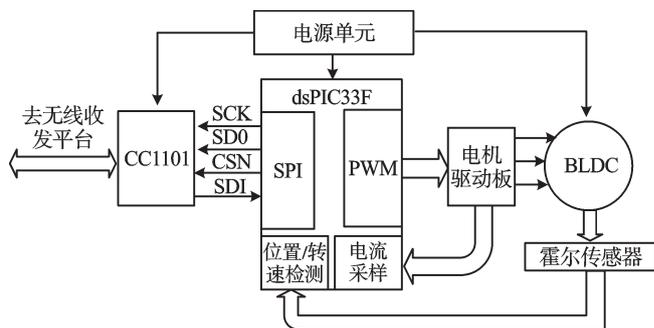


图4 电机控制器硬件示意图

无线收发平台只能和一个电机控制器进行点到点的通信即无线收发平台以广播的形式发出无线信号,只有一个电机控制器可以响应、接收数据,实现对电机的控制或者让电机上传当前的运转状态到PC上位机。每帧数据固定11个字节。其中:

同步头:2个字节,是一帧数据开始的标志,可以自定义。

地址:对无线收发平台和电机控制器进行二进制编码,2个字节已经足够。

功能码:CC1101模块发出这一帧数据的目的,可以为控制指令或者接收到信号后的应答位,1个字节。

数据位:数据位是电机的状态参数,可以为电机的运转方向和转速,4个字节。

校验位:对数据前10个字节进行计算得出2个字节的校验位。该位错误说明数据传送失败,必须重新传送,2个字节。

3.2 无线收发平台软件设计

无线收发平台的软件设计就是对PIC18F45K20微处理器系统进行程序设计。首先,系统要对芯片本身、SPI总线、EUSART、CC1101进行初始化,使CC1101工作在433 MHz。当新平台收到上位机由RS485总线传来的数据时,就要按照数据的要求将数据经过CC1101发射出去,完成数据由有线到无线的转化。当CC1101收到电机控制器发射回来的数据,确认有效后,要将数据由无线转到有线,传给上位机显示。该平台的软件设计流程图如图5所示。

3.3 电机控制器软件设计

电机控制器软件同无线收发平台软件设计一样,首先要对dsPIC33FJ32MC204芯片、SPI总线、USART、CC1101、ADC、PWM进行初始化设置,同样使CC1101工作在433 MHz。完成初始化后,当电机控制平台收到无线收发平台发送过来的有效信号,马上读取电机霍尔传感器上的信息并与接收到的数据中的电机参数对比,通过调整PWM波的占空比,来完成电机运行状态的改变,直到满足上位机的要求;当上位机发出的信号是要查看此时电机的运行数据,也是读取霍尔

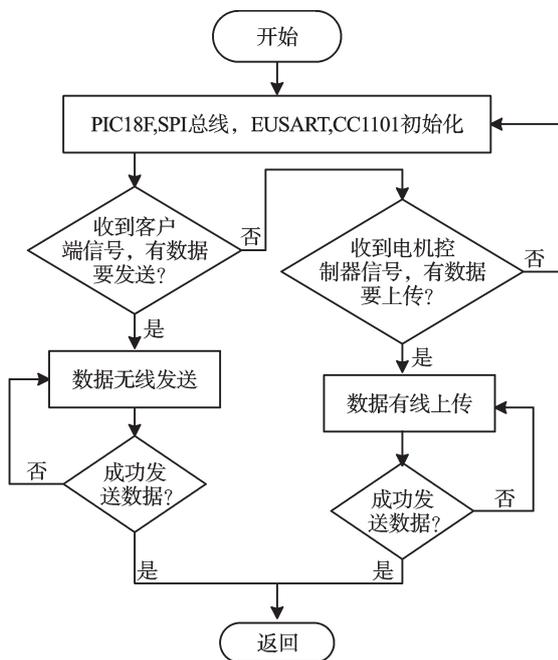


图5 无线收发平台软件设计流程图

传感器上的信号,获得电机的运行参数并及时将运行参数传出去。控制器的软件设计流程图如图6所示。

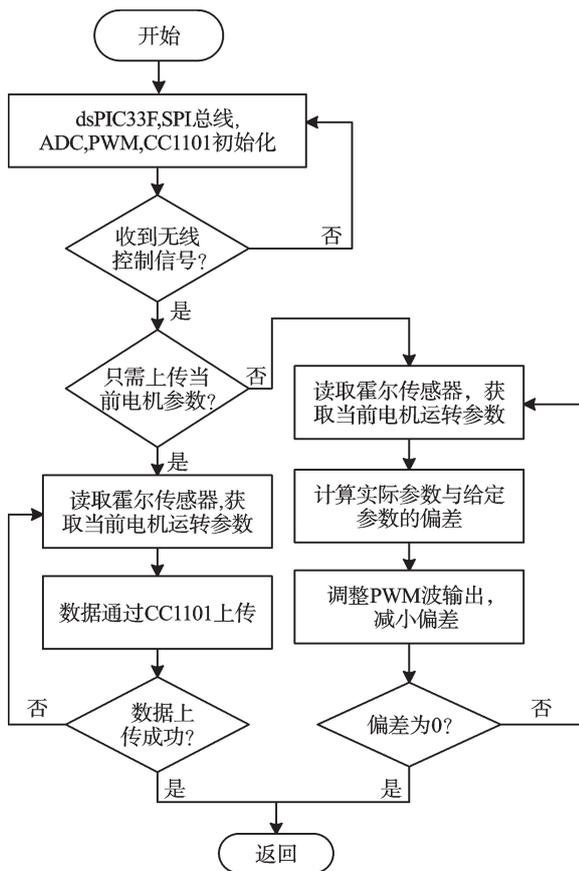


图6 电机控制平台软件设计流程

4 上位机设计

上位机运行主界面如图7所示。上位机相当于一个监控平台^[10],使用VC++编写,主要实现以下功能:

①发送控制指令,对电机进行有目的的控制,先在电机参数栏设置好电机的相关参数(例如转向、转速),一键确认发送,指令发出,电机就会按要求改变运转参数;②显示电机当前的运转参数,当监控人员需要了解某一个电机的运转情况,只要发出让这个电机上传当前参数的指令,电机就会立刻上传参数并显示在对应的显示界面。



图7 上位机运行主界面

5 结束语

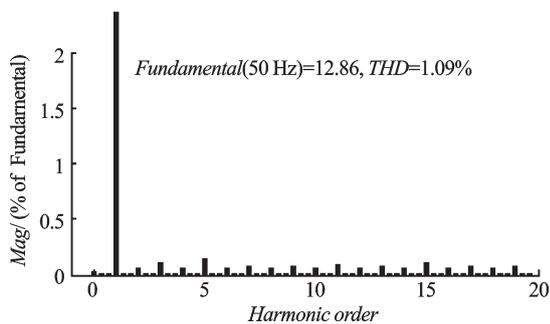
本研究设计了无刷直流电机组网控制系统,实现了在PC上位机上输入控制指令,通过CC1101无线数据收发平台,对指定的电机进行运转控制或者对当前运行状态进行了监控,在调速中使用了模糊PID算法,增加了系统的适用性。

实测结果表明,该方案运行稳定可靠,抗干扰能力较强,数据传输误码率很低。该系统应用前景广阔,可以应用于纺织车间等多台电机工作的地方,可大大节省生产成本,提高产品竞争力。另外该系统中使用的CC1101数传方案也可广泛用于智能监控、车间通讯、无线报警等各个领域。

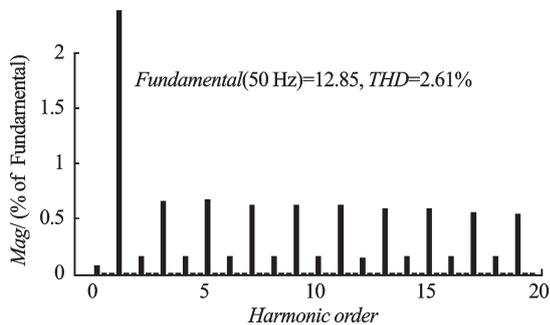
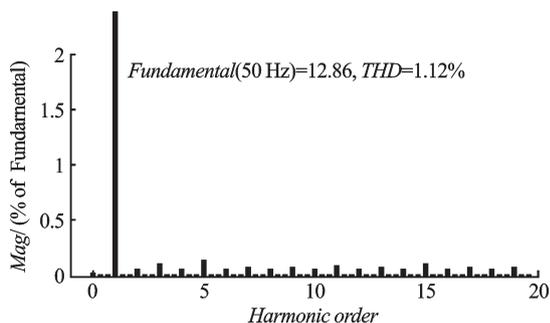
参考文献(References):

- [1] 张琛. 直流无刷电动机原理及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [2] 陈伟,施国梁. 基于CC1101的车间无线通信系统设计[J]. 通信技术,2011,44(12):42-44.
- [3] 普清民,尚重阳. 基于dsPIC的无刷直流电机控制系统的设计[J]. 机电工程技术,2009,38(4):64-66.
- [4] 陈永军,黄声华,翁惠辉,等. 基于dsPIC的无刷直流电机的调速系统方案[J]. 电机与控制应用,2006,33(8):32-34.
- [5] SINTHIPSOMBOON K, HUNSACHARONRO I, KHE-DARI J, et al. A Hybrid of Fuzzy and Self-tuning PID Controller for Servo Electro-hydraulic System [C]//Proceedings of 2011 6th IEEE Conference On Industrial Electronics and Application(ICIEA). Beijing: [s.n.], 2011:220-225.

(下转第227页)



(a) 不加孤岛算法时输出电流的THD

(b) $cf = 0.07\Delta f + 0.01$ 时输出电流的THD

(c) 优化后的AFDPF法输出电流的THD

图8 并网输出电流的FFT分析

发电系统有着重要的现实意义。本研究首先分析了AFDPF法算法参数对NDZ和输出电流THD的影响,并阐述了算法参数的选取原则,针对反馈参数选择与输出电流THD和NDZ不可调和的矛盾,采用模糊控制对反馈参数进行了自适应在线调整。仿真结果表明,模糊优化后的AFDPF法具有检测时间短、无盲区以及并网电流THD小的优点。

此外,该方法同样适用于其他基于正反馈的孤岛检测方法的参数优化。

参考文献(References):

- [1] ZEINELDIN H H, EL-SAADANY E F, SALAMA M M. Impact of DG interface control on islanding detection and non-detection zones [J]. **IEEE Transactions on Power Delivery**, 2006, 21(3): 1515-1523.
- [2] 薄涛, 杨滔, 吕征宇. 一种新的三相光伏并网系统孤岛检测方法[J]. **机电工程**, 2008, 25(9): 34-50.
- [3] ROPP M E, BEGOYIC M, ROHATGI A. Analysis and performance assessment of the active frequency drift method of islanding prevention [J]. **IEEE Transactions on Energy Conversion**, 1999, 14(3): 810-816.
- [4] DOUMBIA M L, AGBOSSOU K. Islanding Protection Evaluation of Inverter-based Grid Connected Hybrid Renewable Energy Systems[C]//Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. Canadian: [s.n.], 2004: 1081-1084.
- [5] 邓燕妮, 桂卫华. 一种低畸变的主动移频式孤岛检测算法[J]. **电工技术学报**, 2009, 24(4): 219-223.
- [6] 相海涛, 待卫力, 蒋海江, 等. 主动频率漂移法孤岛效应检测分析与优化[J]. **河海大学学报: 自然科学版**, 2010, 38(2): 231-235.
- [7] LOPES L A C, SUN Hui-li. Performance assessment of active frequency drifting islanding detection methods [J]. **IEEE Transactions on Energy Conversion**, 2006, 21(1): 171-180.
- [8] 刘芙蓉, 康勇, 段善旭, 等. 主动移频式孤岛检测方法的参数优化[J]. **中国电机工程学报**, 2008, 28(1): 95-99.
- [9] YE Zhi-hong, KOWALKAR A, ZHANG Yu. Evaluation of anti-islanding schemes based on non-detection zone concept [J]. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 2004, 19(5): 1171-1176.
- [10] IEEE Std. 929-2000. IEEE recommended practice for utility Interface of photovoltaic (PV) systems [S]. New York: IEEE, 2000.
- [11] 刘方锐, 康勇, 张宇, 等. 带正反馈的主动移频孤岛检测方法的参数优化[J]. **电工电能新技术**, 2008, 27(3): 22-25.

[编辑:李辉]

(上接第209页)

- [6] MANN G K I, HU Bao-gang, GOSINE R G. Analysis of direct action fuzzy PID controller structures[J]. **IEEE Transactions on system Man and Cybernetics Part B-Cybernetics**, 1999, 29(3): 371-388.
- [7] 刘钟宇, 王雪峰, 栾兰. RS485/232电平转换器研制[J]. **微处理机**, 2008, 29(3): 45-46
- [8] 王葳, 张永科, 刘鹏鹏, 等. 无刷直流电机模PID控制系

统研究与仿真[J]. **计算机仿真**, 2012, 29(4): 196-199.

- [9] 李兵, 方敏, 汪洪波. 模糊PID液位控制系统的设计与实现[J]. **合肥工业大学学报: 自然科学版**, 2006, 29(11): 1370-1374.
- [10] 吴影清, 刘廷章, 袁文, 等. 电机调速性能在线监控平台设计[J]. **微电机**, 2010, 43(12): 90-93.

[编辑:李辉]