

基于 DSC 的无刷直流风机控制系统

徐交建, 吴建华*

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要:为提高厂矿及汽车空调用调速风机的运行效率和调速性能,研究了以 Microchip 公司的数字信号控制器(DSC) dsPIC30F4012 芯片为核心的无刷直流风机控制系统。首先结合风机的使用环境,采用了高可靠性的硬件系统,并对硬件各个部分进行了阐述;然后介绍了系统所使用的控制算法和软件;最后通过实验对整个系统进行了评估并得出一些结论。实验结果证明,该系统能获得良好的调速性能和较高的可靠性。

关键词:无刷直流电机;风机;DSPIC30F4012;积分分离 PID 算法

中图分类号: TM381; TP273

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)10-1213-04

Control system for brushless DC fan based on DSC

XV Jiao-jian, WU Jian-hua

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at improving the efficiency and the speed regulating characteristic of fans used in factories, mines and cars, a control system of brushless DC fan based on dsPIC30F4012 which was made by microchip company was investigated and implemented. Hardware system with high reliability was firstly elaborated. Then, the software and the control algorithm were introduced. The system was evaluated by experiments and some conclusions were given. Experiment results show that the system has fine speed regulation performance and high reliability.

Key words: brushless DC motor; fan; DSPIC30F4012; integral separation PID algorithm

0 引言

风机是工矿企业的常用设备,风机(包括泵类)耗电量占全国发电总量的 40% 左右,是我国最大的耗电设备,因此提高风机(水泵类)的运行效率将为我国节约大量的电能。风机节能的方式有:减少运行时间;采用高效设备和机器;减少空气动力。而调节风机转速是减少空气动力方法中的一种。根据流体动力学可知,风量 Q 与转速的一次方成正比,风压与转速的平方成正比,轴功率与转速的三次方成正比^[1]。当风量较少,风速降低时其功率降低很多,比如当风量下降到额定值的 50% 时,轴功率下降到额定值的 13%,由此可见,对风机进行调速控制后节电效果很可观。通过调节风机转速来调节风量比使用挡风板来调节风量能节省大量的电能,因为使用挡风板进行风量调节并没

有改变风机所消耗的功率。

在汽车空调风机领域,有刷直流电机占很大一部分,虽然有刷直流电机具有运行效率高和调速性能好等优点,但是由于它存在许多固有的缺陷:采用电刷和换向器等机械方式进行换向,寿命短、噪声大、维护困难、成本高以及容易引起火灾等安全隐患,故限制了它的发展。另外一种常用的调速风机为变频调速风机,所选电机一般为交流异步电机,但是,在中小型风机领域,相对于交流异步电机而言,无刷直流电机具有损耗小、效率高、功率因数高、调速特性较好、控制简单以及所需逆变器容量低等优势。因此,无刷直流电机在中小型调速风机应用领域具有很大的优越性。这里,采用无刷直流电机作为风机的源动机,并且采用高可靠性的硬件电路和软件来控制电机,来用作工矿企业和汽车空调用调速风机,而且当用做厂矿用风机时同时实现计算机对风机风速等运行状况的实时监控。将控

收稿日期:2011-03-22

作者简介:徐交建(1988-),男,河南漯河人,主要从事电机控制方面的研究。E-mail:hn_lh_xjj@163.com

通信联系人:吴建华,男,教授,硕士生导师。E-mail:hzhjhwu@163.com

制器放在风机后端盖里使得风机控制器一体化,这样有利于系统集成化和产品化。

本研究主要探讨一种基于 DSC 的无刷直流风机控制系统

1 系统构成及原理

该系统由硬件系统和软件系统组成。控制器的基本原理是:数字信号控制器(DSC)首先采样检测回路的霍尔信号来确定所需输出的换向信号,换向信号通过控制逆变器中 IGBT 的开通关断使逆变器输出电机所需三相电压,从而达到控制电机转速的目的;同时 DSC 采样电流信号、母线电压信号、IGBT 温度信号来判断系统是否出现故障,并作出相应的处理。

2 系统硬件构成

硬件系统有电源电路、控制电路、功率电路和检测反馈电路组成^[2]。系统硬件框图如图 1 所示。

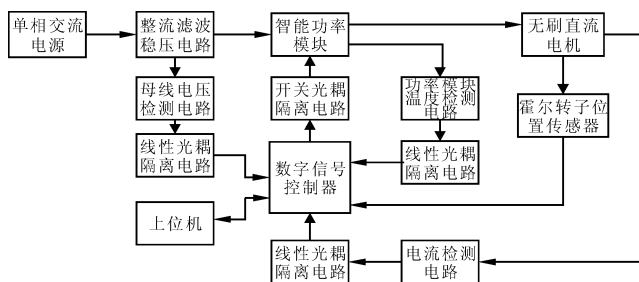


图 1 系统硬件框图

该系统由 220 V, 50 Hz 单相交流电源供电,用此交流电源经过单相整流桥整流并经过稳压滤波电路后输出的直流电源作为开关电源和智能功率模块的电源;数字信号控制器采样电机传过来的霍尔信号,经过处理后,输出 PWM 信号,PWM 信号经过非线性光耦(开关光耦)控制功率模块中 IGBT 的开通与关断,这样直流电压被逆变为相应的交流电压量输送给电机;检测电路分别检测功率模块温度、电机电流和母线电压值,并经线性光耦隔离电路将这些信号传送到数字信号控制器中,然后数字信号控制器判断是否出现过温、过流、过压以及堵转等状况,并及时作出相应的反

应。系统转速给定信号由外部 PWM 信号提供,通过改变其 PWM 信号的占空比来改变给定速度值。而且 DSC 可以通过 UART 口和上位机通讯。

2.1 电源电路

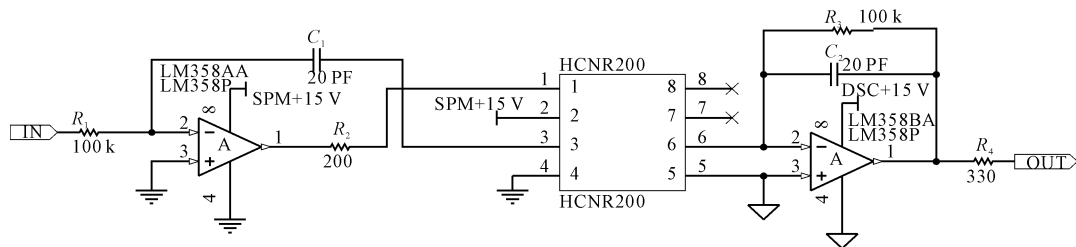
单相交流电经整流、稳压得到约 310 V 直流电源为功率模块提供直流电源,并且该直流电源通过 DC-DC 变换,将 310 V 直流电变为 2 路 +15 V, 2 路 +5 V, 1 路 -15 V 直流电源给控制部分、功率模块驱动部分和检测部分提供电源,这里用的开关电源主控芯片是美国 PI 公司的 TOP246Y,这个芯片使开关电源的频率达到 132 kHz^[3],这样可以实现在满足功率需求的前提下尽量减小高频变压器的体积,减小电路板的空间,降低设备的成本和体积。

2.2 DSC 控制电路

控制芯片采用 Microchip 公司的数字信号控制器 dsPIC30F4012,这是一款专门作电机控制用的 CPU 芯片,内部集成了一个 DSP 引擎,提高了 CPU 数据处理的能力和速度;具有 5 个 16 位定时器可以供速度检测和中断等的应用;且有 6 个 PWM 输出通道为电机控制提供 PWM;还有 6 个 A/D 转换口,用来将电流、功率模块温度和母线电压等模拟量转换为 CPU 能够识别的数字量^[4];还有一个 UART 口,用来和上位机通讯用。DSC 通过电平转换芯片 MAX232,经 RS232 串口实现与上位机的通讯,DSC 将转速等风机的运行状况传送到上位机,而上位机又能将转速给定信号和 PID 控制参数等信号传送到 DSC 内。

2.3 功率电路

功率电路采用 Fairchild 公司的 FSAM10SH60A 智能功率模块,该模块内部集成了三相 IGBT 整流桥以及其驱动电路,常温下,其开关频率高达 15 kHz,能够承受的最大集电极-发射极电压和集电极电流分别为 630 V 和 10 A;该模块下桥臂 IGBT 添加了检测电流功能,这样就使模块能够检测电流,并且为模块过流保护提供参考电流,而且过流保护限流值是可调的^[5];硬件过流保护电路可以过流后在 0.6 μ s 内将 IGBT 关断,这样一来极大地减少了过流对模块的损害,硬件过流保护要比软件过流保护快的多。



2.4 隔离电路

控制电路与功率电路通过光耦隔离,DSC 的 PWM 输出口与功率模块 PWM 输入口之间通过普通的非线性光耦实现隔离,电流、母线电压和温度检测电路与控制电路通过线性光耦隔离,这样就避免了母线电压的波动给控制电路带来的干扰,提高了控制系统的可靠性。

该系统所用线性光耦为 Agilent 公司的 HC-NR200,HCNR200 应用电路图如图 2 所示,带宽在 20 kHz 以内的信号经 HCNR200 传输后都保持良好的精度,经实验验证,误差为 1%,符合工程要求。其中 C_1 、 C_2 用以增强光耦的稳定性, R_2 、 R_4 为限流电阻,输出与输入信号的传输比为 R_3/R_1 。

3 系统软件构成

该系统采用速度闭环调速,通过定时器检测霍尔信号的间隔进而换算出实际转速,给定转速值由外接 PWM 信号提供,转速调节器输出 PWM 占空比值,通过改变占空比值来实现对输出电压的调节;功率模块温度值、母线电压值均由 CPU 的 A/D 端口获得,程序中添加过热、过流和过压保护。

根据风机的机械特性:负载转矩与近似地与转速的平方成正比,即:

$$T_L = Kn^2 \quad (1)$$

而无刷直流电机的电磁转矩 T_{em} 与电枢电流 I_a 的关系是:

$$T_{em} = K_T \varphi_\delta I_a \quad (2)$$

式中: K_T — 转矩系数, φ_δ — 气隙磁通。

由式(1)和式(2)可得出系统稳定时转速与电枢电流之间的关系为

$$Kn^2 = K_T \varphi_\delta I_a \quad (3)$$

本研究采用速度闭环调速,实现转速无静差。转速闭环使用积分分离算法 PID 调节^[6]。其中比例环节 P 能够减小系统稳态误差,并且能够提高系统调节的速度,改善系统动态性能;微分环节 D 能够反映转速信号的变化趋势,并且能够产生有效的早期修正信号,从而改善系统动态性能;积分环节 I 能够提高稳态精度,实现无静差调速。虽然积分环节能够消除稳态误差,但是,当速度偏差过大且同时要满足快速调节功能的情况下,积分环节会带来过大的退饱和超调,严重时会导致系统的振荡。所以,为了避免这种现象,这里采用积分分离算法。这种算法的基本思想是:当偏差过大时,只让比例和微分部分起作用,以快速减少偏差;当偏差降到一定程度后,再将积分作用投入,既可以最终消除稳态误差,又可以避免较大的退保和超调。

积分分离算法的表达式是:

$$u(k) = K_p e(k) + C_1 K_i \sum_{i=1}^k e(i) + K_D [e(k) - e(k-1)] \quad (4)$$

式中: K_p — 比例系数; K_i — 积分系数; K_D — 微分系数; $e(k)$, $e(k-1)$ — 偏差值。

且:

$$C_1 = \begin{cases} 1, & |e(i)| \leq \delta \\ 0, & |e(i)| > \delta \end{cases} \quad (5)$$

δ — 速度偏差限值,为常数。

3.1 主程序及键处理程序

主程序及键处理程序流程图如图 3 所示,该系统通过键盘来控制风机的启停,而且,由于风机启动时转速很小,那么电机电枢绕组反电势就很小,如果使用占空比 100% 启动,那么就会造成启动电流过大,这样会对逆变器以及电机本体带来很大的损伤。为避免这种现象,这里采用软启动,就是首先通过调节 PWM 占空比产生一个较小的电流施加在电机电枢绕组上,然后再逐步地增大占空比直到电机启动完毕,这样既可以使风机尽快地启动,又不至于对系统造成损害。

3.2 系统初始化及电平中断程序

系统初始化和电平中断程序框图如图 4 所示。

系统初始化程序用来完成对 I/O 口、PWM、转子位置检测及数字测速工作方式、定时器、A/D 转换器、UART 以及所用参数变量等的初始化。

本研究通过电平中断来判断电机转子的位置,然后再根据转子的位置信号经过数据处理来改变 PWM 输出改写控制寄存器 OVDCON,从而控制 IGBT 的开关;同时可以利用霍尔信号来计算电机的实际转速。

3.3 A/D 转换程序

A/D 转换中断程序流程图如图 5 所示。A/D 转换中断有定时器来产生,在这个中断程序里,首先读取母线电压、电机电流、IGBT 温度和转速给定值,进而判断是否出现过压、过流和过温的情况,若出现,则停机报错;若没有出现,那么进行转速 PI 调节,然后将实际转速信号通过 UART 口,经 RS232 传送到上位机。这里转速给定信号是由外接 PWM 信号提供,通过调节 PWM 信号的占空比来改变转速给定值^[7]。

4 实验分析

实验所选样机为额定转速为 1 500 r/min,极对数为 2,电压为 24 V,额定功率为 40 W 的风机。电机启动过程为:首先设定一个 PWM 占空比值使得电机既能启动又不至于造成启动电流过大,接着逐渐增大占空比值使得转速上升到一定高的值,然后使用速度闭环调节速度。采用软启动时虽然会使得启动时间稍微变长,但是由于一开始施加在电机电枢绕组上的电流较小,很大程度上减小了启动电流,当电机转速上升到一定大的值时,电机反电势也有足够大,这时即使将 PWM 占空比设为 100%,仍然不会出现过大的电流,

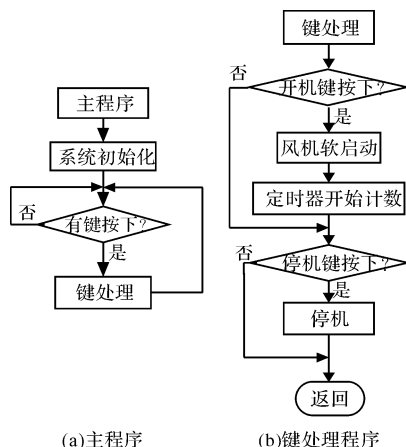


图 3 主程序及键处理程序流程图

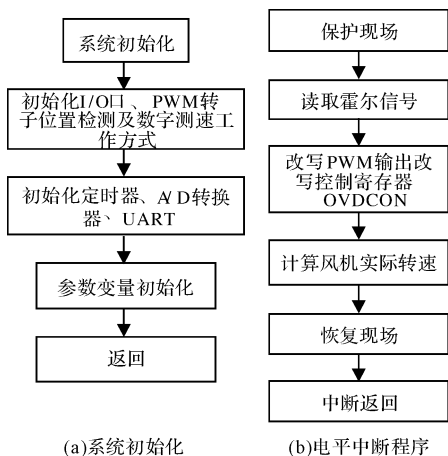


图 4 系统初始化及电平中断程序流程图

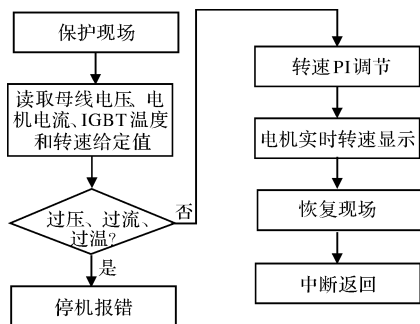


图 5 A/D 转换中断程序流程图

有效地降低了启动电流对功率器件和电机的损害。使用隔离示波器测得的风机转速为 1 000 r/min 时的三相霍尔信号和相电流波形如图 6 所示,其中电流波形单位为 4 A/div。

为验证调速系统的稳态精度,本研究取给定速度 600 r/min、1 000 r/min、1 500 r/min,然后再读取风机稳态时候的实际转速值,并将二者列为表格,用以对比,如表 1 所示。经过对给定转速和实测转速比较,可以看出,由于风机极对数较少,风机转速的稳态精度是比较高的。

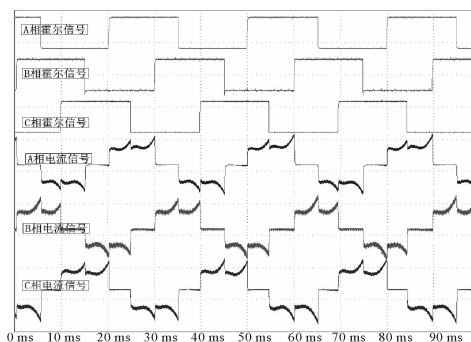


图 6 电机三相霍尔信号和相电流波形图

表 1 给定转速与实测转速比较

给定转速/(r · min ⁻¹)	实测转速范围/(r · min ⁻¹)
600	599.3 ~ 600.6
1 000	998.9 ~ 1 001.5
1 500	1 497.7 ~ 1 502.2

5 结束语

本研究针对工矿企业和汽车空调用风机,采用控制电路与功率电路隔离的系统具有较高的可靠性,添加过流、过热和过压等保护,采用软启动有效地减小启动电流,速度闭环采用积分分离 PID 调节使得系统具有较好的动态和稳态性能,并且将控制器放在风机后端盖里使得风机控制器一体化,这样有利于调速风机系统的产品化。

参考文献 (References):

- [1] 徐长缨. 风机用外转子永磁无刷直流电机及其驱动系统的设计[D]. 济南:山东大学电气工程学院,2007.
- [2] PARK J S, CHOI J H, GU B G, et al. BLDC Drive Control of Electric Water Pump for Automotive Application [C]. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Lille, France: [s. n.], 2010.
- [3] 何东升, 罗世能. 基于 TOPSwitch-GX 系列单片开关电源应用设计[J]. 通信电源技术, 2007, 24(3): 43-46.
- [4] RAMA R K S, TAIB S. Sensorless control of a BLDC motor with back EMF detection method using DSPIC [C]. IEEE International Conference on Power and Energy, Johor Baharu, Malaysia: [s. n.], 2008.
- [5] HASCHER T, ZENG W, KANELIS K, et al. Low Cost and Efficient Control for Brushless DC Motors [C]. IEEE Power Electronics Specialists Conference, Rhodes, Greece: [s. n.], 2008.
- [6] 张占军, 林小玲. 磁悬浮球系统控制器的分析设计[J]. 机电工程, 2007, 24(1): 19-21.
- [7] 张相军, 陈伯时. 无刷直流电机控制系统中 PWM 调制方式对换相转矩脉动的影响[J]. 电机与控制学报, 2003, 7(2): 87-91.

[编辑:李 辉]