

# 基于C8051F005的无刷直流电机控制系统

张洋<sup>1</sup> 洪喜<sup>2</sup> 王永刚<sup>3</sup>

(1. 福建信息职业技术学院 福建福州 350019;

2. 中科院长春光学精密机械与物理研究所 吉林长春 130033; 3. 福建海源自动化有限责任公司 福建福州 350019)

摘要: 介绍了永磁无刷直流电动机的工作原理, 设计了基于C8051F005的电机控制系统。它与传统的控制方式相比具有更快的运算速度和易于实现实时控制算法的优点; 系统采用PWM方式实现对电机转速的控制和应用数字PID调节使得控制系统具有良好的动态和静态性能。

关键词: 无刷直流电机 C8051F PWM PID

中图分类号: TH744.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-098X(2008)12(b)-0076-02

## 1 引言

C8051F单片机是Silabs公司的一种与51系列单片机内核兼容的单片机, 处理速度快、外围电路简单。C8051F单片机与其他8位单片机相比具有更为优异的性能, 成为许多测控系统的首选机型。永磁无刷直流电机是随着电机控制技术、电力电子技术和微电子技术的发展而出现的一种新型电机, 它既具有交流电机结构简单、运行可靠、维护方便等优点, 又具备直流电机运行效率高、无励磁损耗及调速性能好等诸多优点, 而且还具有功率密度高、低转速、大转矩的特点, 被广泛应用于工业

控制以及家电产品等各个领域。

## 2 无刷直流电机的工作原理

无刷直流电机采用电子换向器替代了传统直流电动机的机械换向装置, 从而克服了电刷和换向器所引起的噪声、火花、电磁干扰、寿命短等一系列弊端。

无刷直流电机由电机本体, 转子位置传感器和电子开关线路三部分组成。工作时, 直流电源通过开关电路向电机定子绕组供电, 位置传感器随时检测到转子所处的位置, 并根据转子的位置信号控制开关管的导通和截止, 从而自动控制哪些绕组

通电, 哪些绕组断电, 实现了电子换向。无刷直流电机的转子是由永磁材料制成的, 具有一定磁极对数的永磁体; 定子上有电枢, 这一点与永磁有刷直流电机正好相反; 各相绕组分别与电子开关电路相连, 开关电路的开关管受位置传感器的信号控制。无刷直流电机在运行过程中定子电枢的各相绕组不断地换相通电, 这样才能使定子磁场随着转子的位置不断变化, 使定子磁场与转子永磁磁场始终保持 $90^\circ$ 左右的空间角, 产生转矩推动转子旋转<sup>[1]</sup>。

## 3 单片机控制无刷直流电机

本设计采用的是美国Silabs公司的C8051F005单片机作为系统的微处理器来进行电机控制及系统的其它处理工作。

C8051F005为高速、高性能、低功耗、模数混合信号系统级(SOC)单片机, 集成度高, 功能强大。它具有与MCS-51指令集完全兼容的高速CIP-51内核; 峰值速度可达25MIPS; 它内有32KB的FLASH存储器和2304b的RAM; 4个定时器、2路比较器; 5通道PCA; 32个通用I/O口; 工业级芯片, 工作温度:  $-40 \sim +85$  <sup>[2]</sup>。采用C8051F005作为主控制器除了该MCU具有高速、低功耗、工业级等特点; 同时还具有多通道12位AD转换器、PWM输出等丰富的片上资源, 很适合作为无刷电机的控制使用。

本系统以C8051F005为核心构成控制电路, 包括C8051F005的外围电路、速度给定电路、键盘及显示电路、保护电路、隔离电路等。设计中使用12V、30W的无刷直流电机, 电机的位置传感器为霍尔式位置传感器。采用全桥驱动, 闭环控制。

C8051控制电路对无刷直流电机的控制工作主要包括电机的换相控制和转速控制。C8051提供脉冲宽度调制(PWM)进行调速。同时采取PID控制来保证电机能够运转顺畅且响应良好。

C8051通过光耦与IR2136芯片来驱动三相桥式逆变器的功率开关器件IGBT, IR2136为无刷电机专用控制芯片, 为驱动功率管提供驱动信号, 驱动芯片IR2136具有防止同一桥臂直通逻辑, 以及欠压、过流关闭所有输出的功能。

其中HALL-A、HALL-B、HALL-C为霍尔位置传感器输出的信号; MA、MB、MC为无刷直流电机的三相绕组。

### 3.1 换相控制

设计采用三相全桥联结, 有6种导通状态。为了减小电流脉动、功率管的开关功

(下转78页)

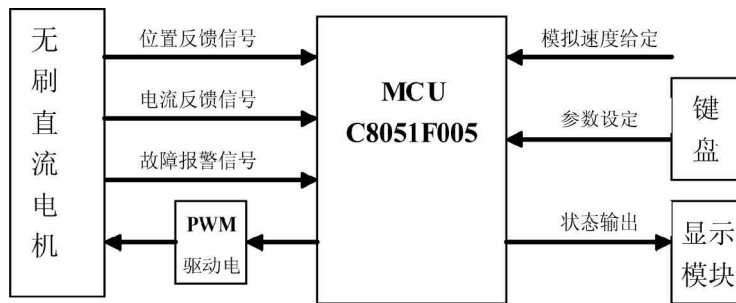


图1 C8051F005控制原理框图

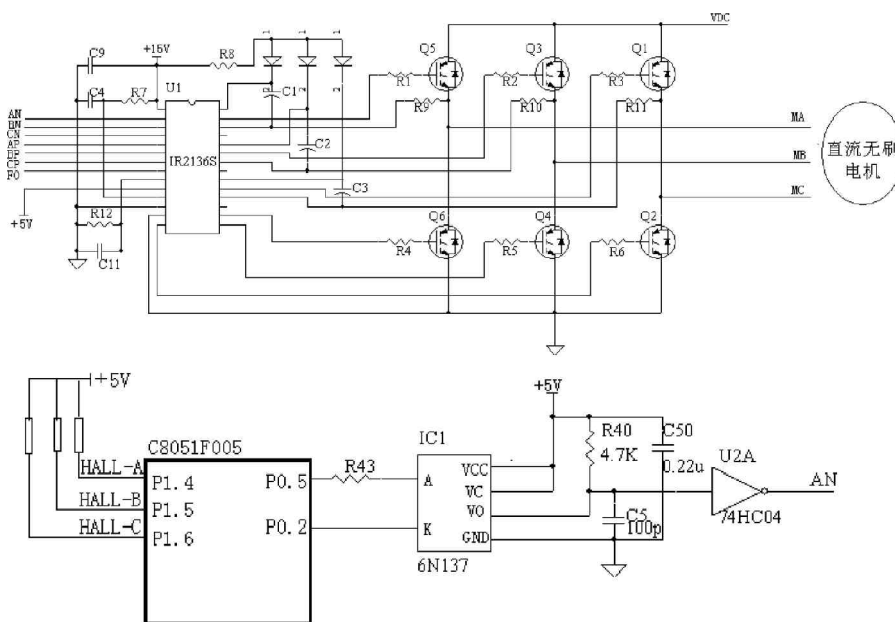


图2 IGBT驱动电路

45mm时,其面层宜采用细石混凝土。

面层水泥砂浆强度等级宜为M7.5~M15,面层混凝土强度等级宜采用C15或C20。

钢筋网需用4~6穿墙“S”筋与墙体固定。“S”筋间距不应大于500mm,对于单面加固的墙体,其钢筋网可用4“U”形筋钉入墙内(代替“S”筋),与墙体固定。为加强钢筋网与墙体的固定,必要时在中间还可以增设4的“U”形筋铁钉打入墙体砖缝内。

受力钢筋宜采用I级钢筋;对于混凝土面层,亦可采用II级钢筋。受压钢筋一侧的配筋率,对砂浆面层,不宜小于0.1%;对混凝土面层,不宜小于0.2%。受拉钢筋的配筋率,不应小于0.1%。受力钢筋的直径不应小于8mm。钢筋的净间距,不应小于30mm。

箍筋(横向筋)的直径,不宜小于4mm及受压钢筋直径的0.2倍,并不宜大于6mm。箍筋的间距,不应大于受压钢筋的直径的20倍及500mm,并不应小于120mm。

施工注意事项。为保护加固层与原墙可靠粘结,施工时应注意如下事项:

做好原墙面清理工作,对于原墙面损坏部位,应拆除修补。对粘结不牢、强度低的粉刷层应铲除,并刷洗干净。抹水泥砂浆前,应先湿润墙面。水泥砂浆须分层抹,每层厚度不大于15mm。水泥砂浆应在环境温度5℃以上时进行施工并认真做好养护工作。

#### 2.4 结构构造性加固

砌体扩大部分的砖强度等级应与原砌

体的相同,砂浆强度比原有的提高1级且不低于M2.5。扩大砌体截面加固法,通常考虑新、旧砌体共同承受荷载。因此,加固效果取决于两者之间的连接状况,常用的连接构造有以下两种:

砖槎连接:原有砌体每隔4皮砖高,剔凿出1个深为120mm的槽,扩大部分砌体与这预留槽仔细连接,新、旧砌体形成锯齿形连接。

钢筋连接:原有砌体每隔6皮砖高钻洞或凿开1块砖用M5砂浆锚固6钢筋,将新、旧砌体连接在一起。

#### 3 砌体裂缝处理与加固

在裂缝较细、裂缝数量较少,但裂缝已基本稳定时,可采用灌浆加固方法。当裂缝较宽但数量不多时,可在与裂缝相交的灰缝中,用高强度等级砂浆和细钢筋填缝,也可用块体嵌补法,即在裂缝两端及中部用钢筋混凝土楔子或扒锯加固。楔子或扒锯可与墙体等厚,或为墙体厚度的1/2或2/3。当裂缝较多时,可在局部钢筋网外抹水泥砂浆予以加固。施工前墙体抹灰应刮干净,抹水泥砂浆前应将砌体抹湿,抹水泥砂浆后应养护至少7d。

如果墙体开裂比较严重,为了增加房屋的整体刚性,可以在房屋墙体一侧或两侧增设钢筋混凝土圈梁。圈梁采用的混凝土强度等级为C15~C20,截面面积至少为120mm×180mm,配筋可采用4~10~4~14,箍筋6@200~250;每隔1.5~2.5m应有牛腿(或螺栓、锚固件等)伸进墙内与墙拉结好,并承受圈梁自重。浇筑圈梁时应

将墙面凿毛、湿水,以加强粘结。对砌体过梁的裂缝,可采取增设钢筋2~16,填补高强度砂浆(M10以上),或增加钢筋混凝土过梁的方法。

墙体由于受水平推力、不均匀沉降、温度变化引起伸缩等原因而发生外闪现象,墙体产生较大的裂缝或使外纵墙与内横墙拉结不良,可用钢筋或型钢拉杆予以加固,如采用钢筋拉杆,宜通长拉结,并沿墙两边设置。较长的拉杆中间应加法螺丝,以便拧紧拉杆。拉杆接长时应采用焊接。露在墙外的拉杆或垫板螺帽,可适当处理。拉杆和垫板都要涂防锈漆。在拉结水平层处,可以增设外圈梁,以增强加固效果。钢筋的直径可采用:当一开间加一道拉杆时为2~16(房屋进深5~7m),2~18(房屋进深8~10m),2~20(房屋进深11~14m);当每3开间加一道拉杆时为2~22(房屋进深5~7m),2~25(房屋进深为8~10m)。

#### 参考文献

- [1] 李德虎.建筑抗震加固技术规程[J].工程抗震,1999.
- [2] 吴漫新[J].多层砌体房屋的抗震加固技术,建筑结构,2002.
- [3] 周炳章.砌体结构抗震的新发展[J].建筑结构,2002.

(上接76页)

耗和减小功率开关的应力,提高系统的可靠性,增大平均电磁转矩,故采用“单斩”状态,即只有上桥臂或下桥臂的一个功率管进行PWM斩波,另外一桥臂的功率管处于导通状态。调制方式为每个功率管的1200导通区间中,前600恒通,后600进行PWM调制。导通状态的转换通过软件完成,即根据检测到时的HALL-A、HALL-B、HALL-C状态来实现换相。

#### 3.2 转速控制

无刷直流电机的转速大小由软件控制,以自控式运行,因此克服了以往同步电机带来的频率扰动,获得了稳定的调制频率,从而提高了仪器的信噪比。无刷直流电机转速的控制即可采用开环控制,也可采用闭环控制。与开环系统相比,闭环系统具有以下优越性:闭环系统的机械特性性能大大提高;当要求的静差率(额定负载时电机转速降落与理想空载转速之比)相同时,闭环调速系统的调速范围可以大大提高。

工作时,C8051根据设定的速度与霍尔信号变化的速度加以对比来决定开关导通,以及导通时间长短,此部分由PWM来完成。通过调节PWM占空比来实现调速。C8051利用可编程计数器阵列PCA来实现PWM功能。PCA由一个专用的16位计数器/定时器和5个16位捕捉/比较模块组成(PCA0CP)。设计中用到3个捕捉/比较

模块,采用16位PWM方式。其占空比计算方式如下:

$$\text{占空比} = \frac{(65536 - \text{PCA0CPn})}{65536}$$

#### 3.3 PID调节

为了获得稳态转速,电机采用闭环控制,同时加入了PID调节环节。PID调节结构简单、灵活性大,但其易受干扰和采样周期的影响。所以须对PID算法加以改进以进一步稳定转速。

传统数字PID算法的公式为

$$u(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{j=0}^k e(j) + K_d [e(k) - e(k-1)]$$

式中, $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 分别为调节器的比例、积分和微分系数; $e(k)$ 、 $e(k-1)$ 分别为第k次和第k-1次时的期望偏差值; $u(k)$ 为第k次时调节器的输出<sup>[3]</sup>。

比例环节的作用是对偏差瞬间做出反应;积分环节的作用是消除稳态误差,提高无差度;微分环节的作用是阻止偏差的变化,改善系统的动态性能。但微分环节对干扰非常敏感,为了克服干扰的影响,采用了改进的不完全微分PID算法。

不完全微分算法是在PID算法中加入一个一阶惯性环节,以克服完全微分的缺点。设计中采用将惯性环节直接加在微分环节的方法,其传递函数表达式为

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p [1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{1 + \frac{T_d}{K_d} s}]$$

式中, $T_i$ 、 $T_d$ 分别为积分常数与微分常数。

#### 4 结语

无刷直流电机具有调速性能好,易于控制等优点。实际应用证明,该设计方法可以成功实现传统系统的控制功能,系统具有更良好的动态和静态性能,同时更加融入当今计算机控制领域。

#### 参考文献

- [1] Zhang Chen.The principle and application of brushless DC motor[M].Beijing: Machinery Industry Press,1996,5-10.
- [2] 张琛.直流无刷电机原理及应用[M].北京:轻工业出版社,2005,89.
- [3] 潘琢金译.C8051F005混合信号ISP FLASH微控制器数据手册[M],2002,10:44~46.
- [4] Li Fengman.The Research of Controlling Arithmetic for Figure PID[J].Journal of Liaoning University,2005,32(4):367~370(in Chinese).
- [5] 历风满.数字PID控制算法的研究[J].辽宁大学学报,2005,32(4):367~370.