

三相无刷直流电机调速系统的驱动设计

江振锋, 李 鑫, 戴 梅, 蒋亚楠

(常熟理工学院 电气与自动化工程学院, 江苏 常熟 215500)

摘 要: 以TMS320F28335浮点型处理器为控制器, 采用International Rectifier公司的IR2136作为驱动芯片, 设计了三相无刷直流电机的驱动电路, 实现三相无刷直流电机调速及正反转控制, 其中包括电源模块、信号隔离模块、IR2136逻辑电路、三相全桥驱动电路及过流保护电路等。

关键词: 三相无刷直流电机; 驱动电路; IR2136; DSP

中图分类号: TP23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-2794(2013)04-0086-05

现代社会中, 为了适应不同的实际应用, 各种类型的电机应运而生, 其中包括同步电机、异步电机、直流电机、开关磁阻电机和各种其他类型的电机^[1]。相比之下, 直流电机具有线性机械特性好、调速范围宽、启动转矩大及控制简单等优点。但传统的直流电机易受电刷和换向器的限制, 造成结构复杂、可靠性差等缺点。随着电力电子技术及功率半导体技术的发展, 无刷直流电机得到了广泛的应用, 通过电子换向器取代了机械电刷和机械换向器, 它不仅继承了传统直流电机的优点, 而且克服了机械电刷和机械换向器的影响, 使得它的结构简单, 易于维护。本设计将TMS320F28335作为控制器, 具有较高的信号处理和控制功能, 并且TMS320F28335具有浮点运算功能, 能够实现复杂的智能控制算法, 其上片载存储容量大且支持存储器扩展, 同时还具有丰富的外设资源, 包括18个PWM输出端口、16通道12位A/D转换器、6个事件捕捉端口、2个正交编码通道、多种串行端口外设模块等, 有利于整体系统的升级及扩展。TI公司生产的C2000系DSP在电机控制中应用较为广泛。同时, 采用IR公司的三相无刷直流电机的专用驱动功率芯片IR2136, 利用MOSFET作为功率开关, 设计三相全桥式电路。驱动电路能够接收霍尔位置传感器的信息, 以此为换相依据, 经DSP处理后输出6路PWM波, 按一定的顺序控制6个MOSFET的导通和关断。本文详细介绍了三相无刷直流电机驱动电路的设计, 对电路中的关键元件进行分析和选型, 并且简要介绍了软件设计。

1 驱动电路硬件设计

1.1 总体方案设计

驱动电路原理框图如图1所示, 主要包括信号调理与隔离部分、驱动部分、三相全桥逆变部分和电流检测部分。

1.2 电源模块

本设计使用的三相无刷直流电机的型号是57BL-52-230, 额定电压为24 V, 额定功率为60 W。而IR2136的工作电压为15 V, 信号隔离采用光耦元件, 其工作电压为5 V, DSP控制板已集成3.3 V与1.8 V稳

收稿日期: 2013-03-28

通讯联系人: 李鑫, 实验师, 硕士, 研究方向: 智能控制技术, E-mail: lixin_cx@163.com.

压模块,故只需5 V供电即可.采用TI公司的LM2596作为降压芯片,如图2所示,系统的电源输入为24 V,可以直接提供给电机,而通过一个LM2596结合相应的外部匹配电路,即可将电压降到15 V,提供IR2136使用.使用另一块LM2596,修改匹配电路之后即可将15 V电压降为5 V,以供控制电路使用.

1.3 信号调理与隔离

电机的控制信号由DSP产生,频率较高,同时DSP的工作电压为3.3 V,工作电流也比较低,属于弱电信号,而IR2136所处的电路为强电部分,直接连接会使得主回路的强电信号干扰控制回路中弱电信号,同时为了提高整个控制系统的安全性和可靠性,因此需要采用光耦元件将控制回路与主回路隔离开来.本设计中采用的高速光耦6N137,信号隔离电路如图3所示.光耦的使用保证了控制信号的单向传递,而且高速光耦6N137的传输速度为10 Mbit/S,而PWM波的频率为20 KHz,因此完全能够传输PWM.同时6N137内部就有逻辑增益输出的能力,而且其工作电压为5 V,使得输出的PWM的信号抬高到5 V,也增加了负载能力和抗干扰能力,完全符合IR2136的输入端要求.

1.4 IR2136 驱动模块

IR 公司推出IR2136 三相逆变器驱动器集成电路系列,适用于变速电机驱动器设计.新器件集成了6个MOS-FET或IGBT高电压栅驱动器,并融合多元化的保护功能.这些集成电路还有助于简化电机驱动器设计,可将驱动电路的尺寸缩减一半.

自举二极管和电容是仅在P WM应用中要求严格的外接元件,在实际应用中给V_{cc}电源加一退耦电容用于补偿电源线的电感.自举电容上的电压仅为V_{cc}电源电压.它的电容值由下列因素所决定^[2-3]:

- (1)用来增加MOS管的门极电压;
- (2)高压侧驱动器电路的静态电流 I_{qbs} ;
- (3)IR2136内部电平转换器的电流;
- (4)MOS管的栅-源正向漏电流;
- (5)自举电容的漏电流(仅当自举电容为电解电容时有关).

最小的自举电容值可由下式求出^[2]:

$$C=15\times\frac{2\left[2Q_g+\frac{I_{qbs(max)}}{f}+(I_{lson}+I_{lsoff})t_w+\frac{I_{Cbs(leak)}}{f}\right]}{V_{cc}-V_f-V_{LS}}$$

其中: Q_g ——高压侧MOFET的栅极电荷;
 F ——工作频率;
 $I_{Cbs(leak)}$ ——自举电容的漏电流;
 I_{lson} =20 mA, I_{lsoff} =20 mA, t_w =200 ns;

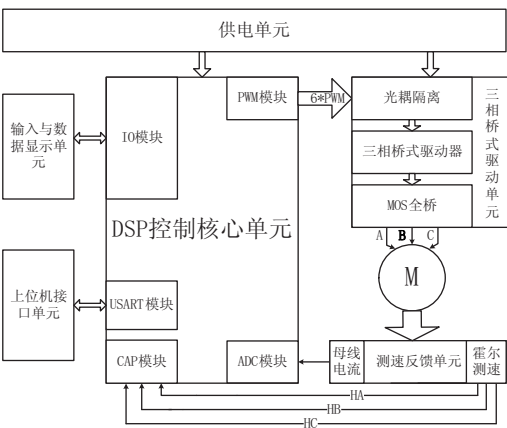


图1 三相无刷直流电机控制系统电路框图

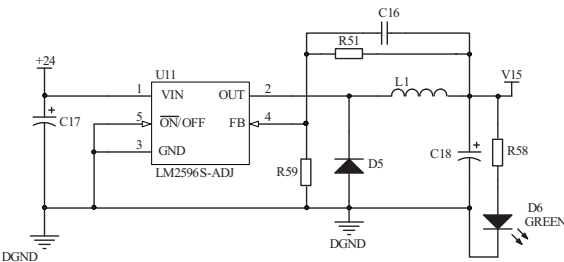


图2 电源模块电路

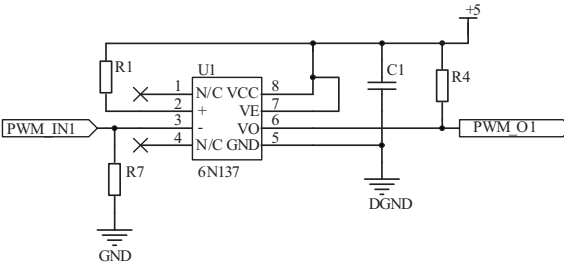


图3 信号隔离电路(1路)

V_f ——自举二极管的正向导通压降;

V_{LS} ——低压侧或负载的压降.

本设计中 $Q_g=146\text{ nC}$, $I_{qbs}=300\text{ mA}$, $I_{cls}(\text{leak})=0$, $f=20\text{ K}$, $V_{cc}=15\text{ V}$, $V_f=1.3\text{ V}$, $V_{LS}=1.3\text{ V}$, 通过计算得到 $C=762\text{ nF}$, 因此自举电容值应大于 762 nF , 自举电容的大小很重要, 一般选择时要大于计算所得值, 如果选择电容值较小, 就会使高压侧输出端输出不正常, 上桥臂的 MOSFET 不能正常导通, 本设计中使用了 $4.7\text{ }\mu\text{F}$ 的电容. 自举二极管必须承受住高压侧 MOSFET 导通时源极电压, 二极管的电流额定值是栅极电荷与频率之积. 自举二极管的高温反向漏电流特性对于那些电容在较长时间需要保持电荷的应用来说, 可能是一个重要的参数. 同样, 为了减小由自举电容反馈进电源的电荷数量, 二极管应选择快恢复二极管^[3]. 本设计中自举二极管承受的反向电压为 39 V , 考虑余量及峰值电压的问题, 自举二极管的反向耐压值应尽量偏大, 因此本设计采用了快恢复二极管 FR302, 其反向峰值电压为 100 V , 正向压降为 1.3 V , 正向电流为 3 A , 反向恢复时间为 150 ns . IR2136 驱动电路如图 4 所示^[4-5].

1.5 三相全桥逆变模块

逆变电路的作用是将直流电转换为能够驱动三相无刷直流电机的三相交流电 U 、 V 和 W . 由于 MOSFET 的栅源极之间是容性结构, 需在栅源之间并联一个大电阻, 迅速的对寄生电容放电, 不至于引起 MOSFET 的误导通, 导致上下桥臂直接导通. 同时, 需在栅极串联一个适当大小的电阻, 其原因为: 第一, 栅极回路存在寄生电感, 与栅源之间的寄生电容会在脉冲的激励下产生很强的振荡, 串联一个电阻能使振荡迅速衰减. 第二, 电容与电感都是无功器件, 如果没有栅极电阻, MOS 管的温度会上升很多. 第三, 栅极电阻可以调节开关器件的通断速度, 使得开关器件减少损耗的同时又能较好的抑制干扰. 本设计中采用的 MOSFET 是 IRF3205, 额定电流为 110 A , 选择栅极电阻为 $10\text{ }\Omega$. 三相全控桥式电路如图 5 所示^[6-7].

1.6 电流采样与过流保护

过流保护是为了使工作过程中电机出现过流时, 关闭三相全桥逆变电路的 MOS 管, 保护电机不至于烧坏. 图 4 中的 R35 就是简易电流传感器, 将母线电流信号转换为电压信号, 由于母线电流并不是很大, 采样电阻也较小, 所以 COM 端的电压信号较小, 经过滤波、放大和隔离电路后将电压信号送到 DSP 的 AD 采样口. 将采集到的电压信号与程序设定的值比较, 当大于设定值时即当作过流, 然后是 6 路 PWM 口均输出高电平, 使得 MOS 管全部关断, 电机停止工作, 从而保护电机. HCNR200 是一款线性度很高的光耦, 可以将控制电路与驱动电路隔开. 电流采样电路见图 6.

1.7 位置电路

本设计采用的是带位置传感器的三相无刷直流电机, 通过霍尔位置传感器读取相位信号, 进行电子换

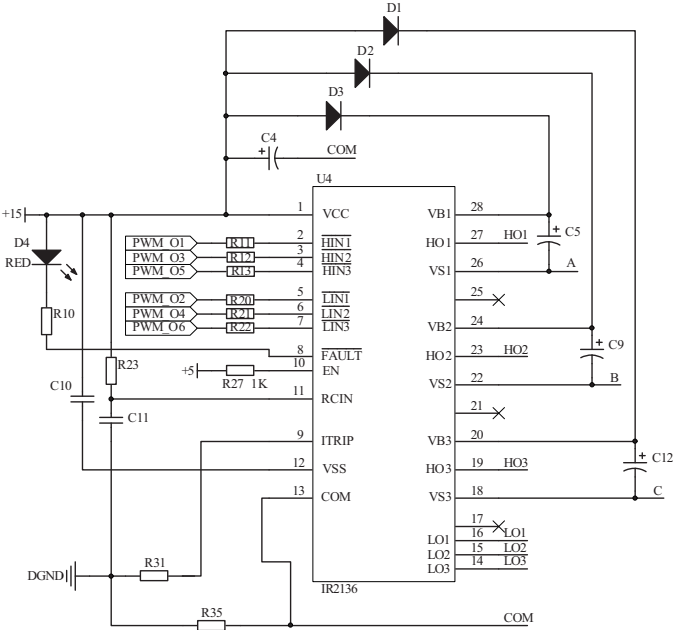


图 4 IR2136 驱动电路

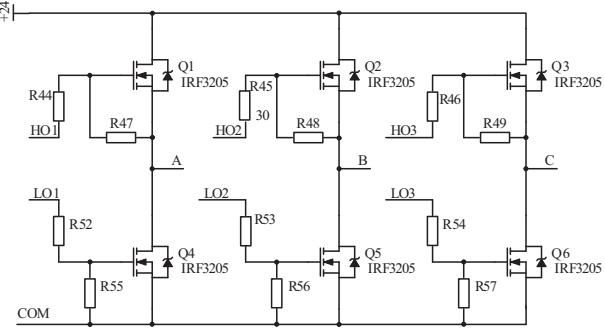


图 5 三相全控桥式电路

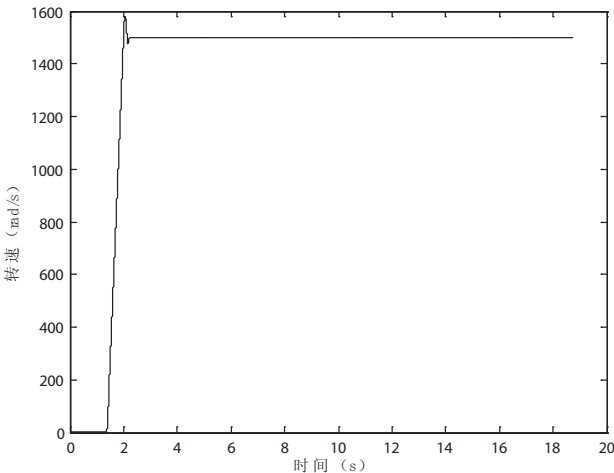


图10 实际转速曲线

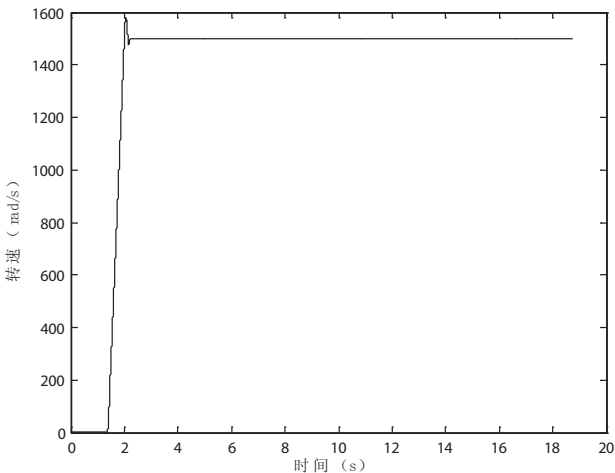


图11 转速误差曲线

[4] 曾建安,曾岳南. MOSFET和IGBT驱动器IR2136及其在电机控制中的作用[J]. 电机技术,2005(1):13-15.
[5] 秦文甫,张昆峰. 基于IR2136的无刷直流电机驱动电路的设计[J]. 电子设计工程,2012(9):118-120.
[6] Grant D,Pelly B. 新型高电压桥驱动器电路简化P WM逆变器设计[C]. PCIM研讨会,1989.
[7] 王晓明,王玲. 电动机的DSP控制—TI公司DSP应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2004.

Design of Three-phase Brushless DC Motor Driver Circuit Based on DSP

JIANG Zhen-feng, LI Xin, DAI Mei, JIANG Ya-nan

(School of Electrical and Automation Engineering, Changshu Institute of Technology, Changshu 215500, China)

Abstract: By using IR2136 (International Rectifier) to design a three-phase brushless DC motor driver circuit based on TMS320F28335 floating-point processor and implementing positive-negative rotating and speed controlling, this paper designs a driving circuit of the three-phase brushless DC motor, including power module, signal isolation module, IR2136 logic circuit, driving circuit of the three-phase full bridge and over current protection circuit, etc.

Key words: Three-phase Brushless DC Motor; driver circuit; IR2136; DSP