

基于英飞凌 HP1 的 PMSM 驱动系统开发

邹亮亮^{1,2}, 吕钊钦^{1,2*}, 穆桂脂^{1,2}

1. 山东农业大学机械与电子工程学院, 山东 泰安 271018
2. 山东省园艺机械与装备重点实验室, 山东 泰安 271018

摘要: 本文介绍了电动汽车主要核心部件的驱动电机及其控制器, 分析了英飞凌 HP1 功率模块在电机控制器中的优势, 并借助 Simulink 仿真软件, 搭建了双电机对拖模型, 对矢量控制算法进行了仿真验证。通过台架测试验证了 HP1 对永磁同步电机控制的可行性。

关键词: 电动汽车; 永磁同步电机; 英飞凌HP1

中图分类号: TM351

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2016)02-0283-03

Development for PMSM Driver System Based on Infineon HP1

ZOU Liang-liang^{1,2}, LV Zhao-qin^{1,2*}, MU Gui-zhi^{1,2}

1. College of Mechanical and Electronic Engineering/Shandong Agricultural University, Tai'an 71018, China
2. Key Laboratory of Horticultural Machinery and Equipment of Shandong Province, Taian 271018, China

Abstract: This paper introduced the main core components of electric car drive motor and its controller, analyzed the Infineon HP1 power module advantage in the motor controller, set up two motor drag model with the help of Simulink, verified for vector control algorithm with the simulation and the feasibility of HP1 in electric car PMSM control through bench testing experiment.

Keywords: Electric vehicle; PMSM; Infineon HP1

永磁同步电机(简称PMSM)相对于传统交流电机具有高效、高功率密度以及良好的调速性能^[1], 正逐渐成为电动汽车驱动电机的首选之一。我国车用电机控制系统尚处于起步阶段, 制造工艺水平落后, 缺乏自动化生产线, 造成产品可靠性、一致性差。产业化规模较小, 成本较高。控制器集成度较低, 体积、重量相对偏大。鉴于我国电动汽车行业的特点, 为了节省研发成本, 引进了英飞凌公司专门为汽车工业而设计的电机控制套件(简称HP1套件), 为混合动力汽车或纯电动汽车提供了很好的解决方案。HP1系统是按照最新的汽车标准和系统鉴定标准开发的, 可缩短产品面市时间并降低开发成本。

本文主要讨论研制与开发永磁同步电机控制系统中的关键技术, 阐述其控制系统的功能架构和软硬件的实现过程, 初步形成控制系统的开发体系, 为电动汽车驱动电机控制系统的独立开发奠定了技术基础。

1 电动汽车用永磁同步电机

与工业电机不同, 电动汽车用驱动电机对其性能有更高的要求。目前常用的电动汽车驱动电机主要包括直流电机(DCM)、感应电机(IM)、永磁电机(PM)和开关磁阻机(SRM)四类^[2]。

根据定子电流波形的不同, 永磁电机可分为永磁同步电机(PMSM)和直流无刷电机(BLDCM)。PMSM结构上与BLDCM相似, 不同之处在于它采用正弦波驱动, 在具备BLDCM优点的同时, 还具有低噪声, 体积小, 功率密度大, 转动惯量小, 脉动转矩小, 高控制精度的特点, 特别适用于混合动力电动汽车电机驱动系统, 以达到减小系统体积, 改善汽车加速性能和行驶平稳度等目的, 因此, PMSM受到了全世界各大汽车生产厂家的重视^[3]。

2 HP1 电机控制系统

2.1 系统架构

HP1套件主要由主控制电路、驱动电路和功率模块三部分组成, 如图1所示。主控电路搭载了英

收稿日期: 2015-10-16

修回日期: 2015-10-26

基金项目: 山东省现代农业技术体系创新团队岗位专家资助(SDAIT-10-011-10)

作者简介: 邹亮亮(1986-),男,助教,主要研究方向电动汽车电驱动。E-mail:zouliangliang1986@163.com

*通讯作者: Author for correspondence. E-mail:lzqsda2003@163.com

飞凌32位汽车级单片机TC1767最小系统电路,电机位置检测电路和电流测量电路等。驱动电路采用1 ED020I12-FA汽车级驱动芯片作为IGBT的驱动芯片,具有短路保护、欠压锁定和有源钳位等功能^[4]。HP1套件功率模块是一种电动汽车专用IGBT功率模块,适用于最大工作电压为450V且最大功率高达20kW的电动汽车。

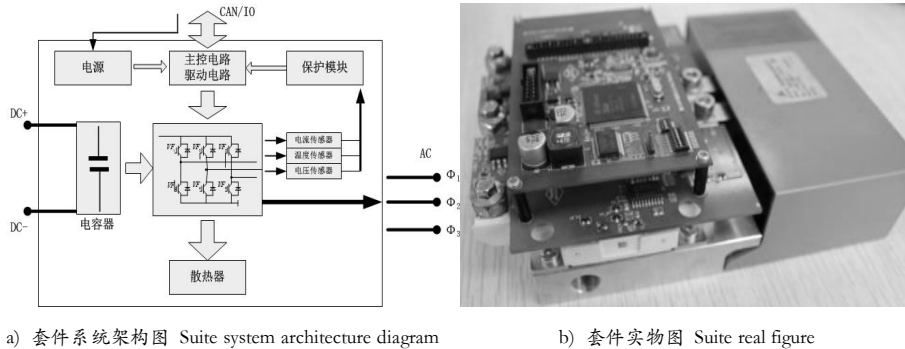


图 1 HP1套件图
Fig.1 HP1 suite

2.2 软件设计

PMSM电机的控制系统方案采用的矢量控制(简称FOC),其原理图如图2所示。FOC是双闭环控制系统,即电流环和速度环,共由电流检测模块、转子速度/位置反馈模块、PID控制模块、坐标变换模块和SVPWM模块5个模块组成。另外为达到最佳控制效果,常常几种控制方案结合运用,如采用最大转矩控制和弱磁控制原理以实现电机的效率最优和宽范围的调速方案,集转矩控制和PWM控制于一身的控制方案等。

TC1767代码主要采用标准C语言编写,分为主程序和PWM中断服务程序,流程图如图3所示。主程序主要包含对实时要求不高的模块,完成系统初始化、自检、开启AD采样、启动定时器等功能。而对实时性要求高的模块则放在中断程序中^[5],中断服务程序是控制软件的主体,由转速PID算法模块、电流PI调节模块、SVPWM模块和PWM脉宽计算模块等功能模块构成。

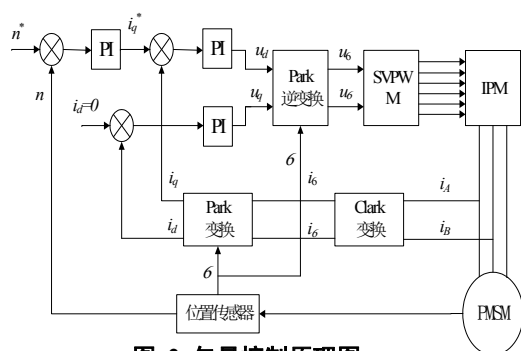
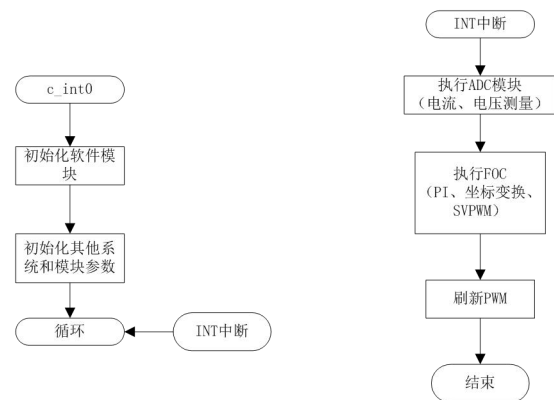


图 2 矢量控制原理图
Fig.2 The vector control principle



a) 主程序 Main program b) 中断服务程序 Interrupt service routine
图 3 程序流程图
Fig.3 Program flow chart

3 仿真验证

借助 MATLAB/SIMULINK 仿真软件,搭建双电机对拖测试系统仿真模型,如图 4 所示。该测试系统主要由测试电机和负载电机组成,前者对电机进行调速控制,后者实现扭矩控制。图 4 中左侧电机为测试电机,右侧电机为负载电机。测试电机和负载电机通过中间的联轴器进行连接。由于联轴器是刚性轴,进而使控制系统的转速和转矩最终达到平衡。双电机对拖系统可以用来模拟电机的速度控制和扭矩控制^[6]。

图 5 为电机转速和转矩的仿真曲线图,由图可知,测试电机的转速和转矩均为正值,测试电机处于电动状态,提供动力输出。两电机转速和转矩最终达到一致且能稳定运行,两电机达到了系统平衡,证明了永磁同步电机速度控制和扭矩控制的有效性。

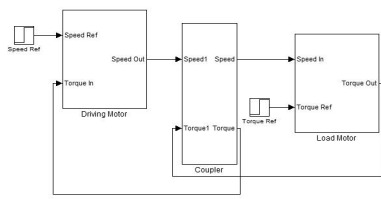
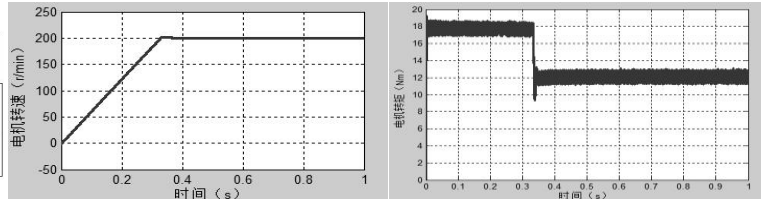


图 4 电机对拖模型图
Fig.4 Motor drag model diagram



a) 电机转速曲线图 Motor speed curves b) 电机转矩曲线图 Motor torque curve

图 5 Simulink 仿真曲线图
Fig.5 Simulink simulation curve

4 测试验证

为了测试英飞凌 HP1 控制器，搭建了电机控制系统测试平台，如图 6 所示。

该测试平台主要由英飞凌 HP1 套件，电池组，PLS 的 UAD 调试器，电脑（装有 TASKING 编译器、UDE、串口调试工具），永磁同步电机，示波器，LEM 的 LTSR 25-NP 电流传感器，WT1800 功率分析仪及其附属配件，负载电机（模拟负载），联轴器等组成。试验中的 PMSM 电机特征参数：额定功率 60 KW，峰值功率 120 KW，最高转速 7200 转，额定输入电源 DC600 V,工作电压 330VDC---750VDC；环境温度为 25 °C 室温。

4.1 控制逻辑的验证

因为逆变器三相桥开关管的导通和关断时间决定了永磁同步电机调速性能的好坏，本实验的目的是验证该控制逻辑：三相中心对称互补PWM以及死区的产生。图7为U相PWM波形图，所测的逆变器PWM频率为16 kHz，死区时间为2 μs，满足程序设计要求。其它两相PWM波形与图7一致。

4.2 加载性能测试

首先将外部信号（旋变信号、电流信号、位置信号等）接入到电机控制器，然后将供电回路及控制回路接通，确保接线正确无误。打开水冷冷却循环。将速度给定值分别为500 r/min、1000 r/min、1500 r/min、2000 r/min，保持每种转速情况下运行10 min，观察电机的运行情况，并测量每种速度情况下的电机线电压。图8为某速度下的电机线电压。经过观察可得电机基本可以保持恒速运行，速度波动不大。



图 6 电机控制系统测试平台
Fig.6 Motor control system testing platform

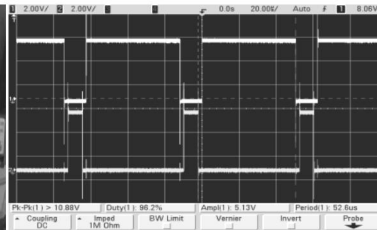


图 7 PWM 波形
Fig.7 PWM waveform

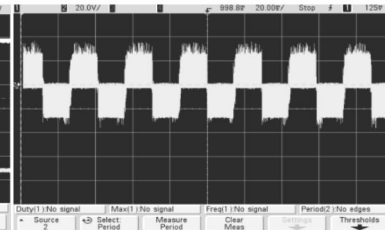


图 8 线电压波形图
Fig.8 Line voltage waveform

5 结语

电动汽车电机控制系统是电动汽车的核心部件，本文针对电动汽车用PMSM控制系统的进行了如下的设计与研发工作：

1) 根据电动汽车动力系统的控制需求，提出了电机主控制器的设计原则及功能划分，在此基础上确定了将英飞凌HP1功率模块用于PMSM控制驱动系统的解决方案。

2) 试验表明，HP1能够很好的适应电动汽车的应用环境，到达了对整车动力系统进行有效的控制与管理的设计目的。

参考文献

[1] 易将能,韩 力.电动车驱动电机及其控制技术综述[J].微特电机,2001,29(4):36-38
 [2] 杜 恂.基于混合动力电动汽车的永磁同步电机控制系统的研究[D].镇江:江苏大学,2007
 [3] 邹亮亮.基于英飞凌 Tricore 的电动汽车永磁同步电机控制器研究[D].西安:长安大学,2014
 [4] 励国旦.谈英飞凌 1ED020I12 在 IGBT 驱动电路中的应用[J].电子元器件应用,2012,12(3):9-11
 [5] 万山明.TMS320F281x DSP 原理及应用实例[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007
 [6] 郭仲奇.内置式永磁同步电机弱磁调速控制方法的研究[D].长沙:湖南大学,2011