

一款基于双面水冷 IGBT 的双电机控制器 开发与验证

陈俊, 王莹, 魏俊天, 卢航宇
(泛亚汽车技术中心有限公司, 上海 201208)

摘要: 针对双电机混合动力汽车开发了一款双电机控制器。阐述了该控制器的总体设计方案, 从系统的结构、硬件、软件进行了分析, 提出了基于双面水冷 IGBT 的双电机控制器设计方案, 并对双面水冷散热器进行了热仿真, 研究了 IGBT 模块的散热效果。最后, 对试验样机进行了台架试验, 由试验波形可看出, 所设计的双电机控制器具有良好的控制效果。

关键词: 双电机混合动力系统; 电机控制器; 双面水冷

中图分类号: TM 301.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2019)10-0099-05

Development and Verification of a Dual-Motor Controller Based on Double-Side Water-Cooling IGBT

CHEN Jun, WANG Ying, WEI Juntian, LU Hangyu
(Pan Asia Technical Automotive Center Co., Ltd., Shanghai 201208, China)

Abstract: A dual-motor controller for dual-motor hybrid electric vehicle was developed. The overall design scheme of the controller was described. The structure, hardware and software of the system were analyzed. A design scheme of dual-motor controller based on double-side water-cooling IGBT was proposed. The thermal simulation of double-side water-cooling radiator was carried out to study its heat dissipation effect on IGBT module. The bench test of the prototype was carried out. The experimental waveform showed that the dual-motor controller had a good control effect.

Key words: dual-motor hybrid power system; motor controller; double-side water-cooling

0 引言

随着石油资源的日渐紧缺和环境污染的压力剧增,“节能减排”已成为全世界的共识。传统内燃机汽车尾气排放对环境造成了较大的污染,因此必须加紧研发新型动力汽车^[1-3]。因为纯电动汽车受电池技术的制约,局限性较大,所以发展混合动力汽车意义重大。其中双电机混合动力系统是一种实现混合动力的高效解决方案^[4-7]。本文针对双电机混合动力系统开发了一款双电机控制器。详细介绍了该控制器的结构、硬件、软件设计

方案,重点分析了 IGBT 双面水冷设计方案。仿真和试验结果表明,本文所设计的双电机控制器具有优异的散热效果和良好的电机控制性能。

1 双电机控制器总体设计方案

双电机控制器可以实现以下功能:

(1) 在电驱状态下可将直流电能转换为可控频率三相交流输出电能,作为电机机械能使用;同时,在发电状态下可将交流电能转换为直流电能储存。电驱态和发电态均可在 MCU 内实现高精度、高效率的转矩及转速控制;同时,在电机正反

作者简介: 陈俊(1991—),男,工程师,研究方向为电力电子及电驱动。

王莹(1980—),女,工程师,研究方向为电力电子及电驱动。

魏俊天(1989—),男,工程师,研究方向为电力电子及电驱动。

转状态下均支持驱动和能量回馈功能^[8]。

(2) 提供高压直流、高压交流和高压互锁接插件。

(3) 提供低压供电及信号接插件。

(4) 提供水冷通道散热。

(5) 提供传感器信号检测和供电电源短路、断路检测及处理。

(6) 提供错误检测及保护措施,包括高压过压检测、三相过流检测、电机及模块过温检测、欠压检测、功率模块过流短路检测^[9]等。

双电机控制器包括控制及驱动电路板(二合一)、直流薄膜电容器、功率模块、冷却组件、电流传感器、高压检测电路、高压接插件、高压互锁、低压接插件、控制器箱体。

控制器用于调整整车各项性能,保障电机及功率模块的基本安全和精准操控,最大化提升电驱系统效率。电池组输出电流后,经直流薄

膜电容器滤波整流,通过控制功率模块开关及其他单元配合将直流电逆变成三相交流电,作为电机的输入电流。双电机控制器工作原理如图 1 所示。

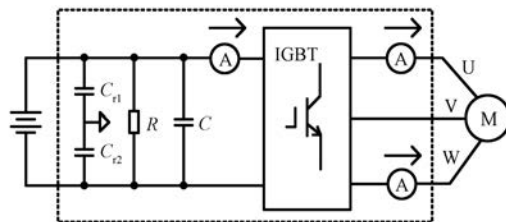


图 1 双电机控制器工作原理

2 双电机控制器硬件设计

双电机控制器硬件系统框图如图 2 所示。主要包含 CAN 通信接口、上下电电路、旋变电路、采样电路、驱动和保护电路等部分。

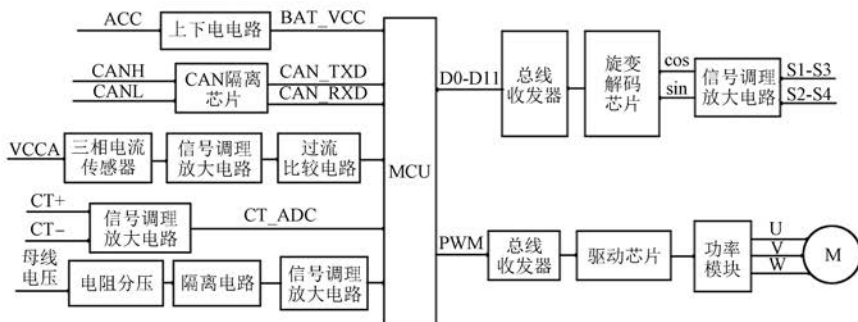


图 2 双电机控制器硬件系统框图

2.1 CAN 通信接口

CAN 通信电路包含 4 个部分:滤波电路、共模电感、CAN 通信芯片、瞬态电压抑制器。CAN 通信接口框图如图 3 所示。

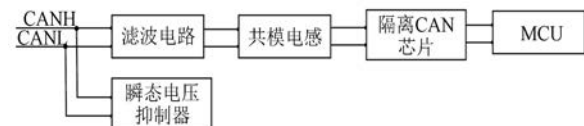


图 3 CAN 通信接口框图

2.2 上下电电路设计

上下电电路包含:滤波电路、共模电感抑制器、二极管防反电路、MOS 管开关电路。上下电电路设计框图如图 4 所示。

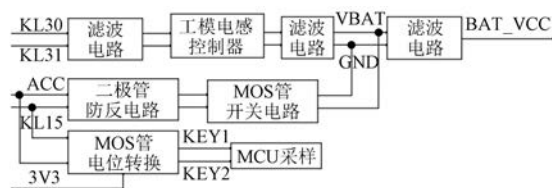


图 4 上下电电路设计框图

2.3 旋变电路设计

旋变电路包含:信号调理放大电路、旋变解码芯片、总线收发器。旋变电路框图如图 5 所示。

2.4 采样电路设计

采样电路包含:信号调理放大电路、三相电流传感器、过流比较电路、电阻分压电路、隔离电路。采样电路框图如图 6 所示。

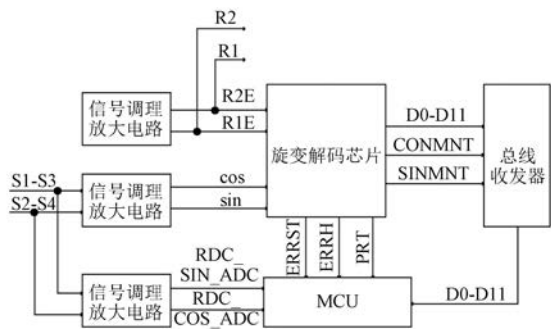


图 5 旋变电路框图

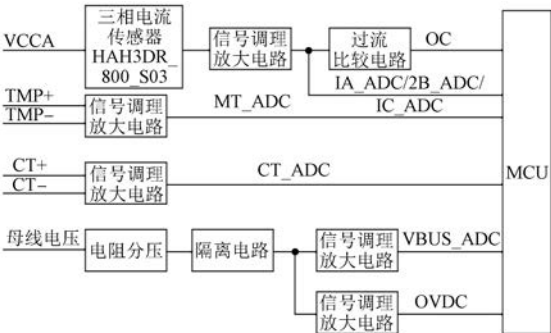


图 6 采样电路框图

2.5 IGBT 驱动电路设计

IGBT 驱动电路包含:6 路驱动电源、驱动电路模块、IGBT 模块等。IGBT 驱动电路框图如图 7 所示。

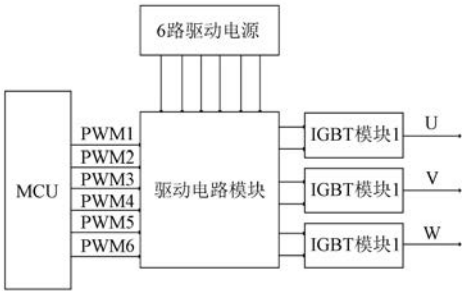


图 7 IGBT 驱动电路框图

2.6 保护电路设计

保护电路包含:母线高压监测、母线欠压监测、过流监测、IGBT 温度监测、驱动故障监测、电机温度监测等。保护电路框图如图 8 所示。

3 双电机控制器的软件设计

控制器软件框架示意图如图 9 所示。控制器选用飞思卡尔芯片,使用 MQX 操作系统。

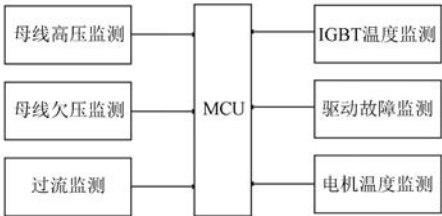


图 8 保护电路框图

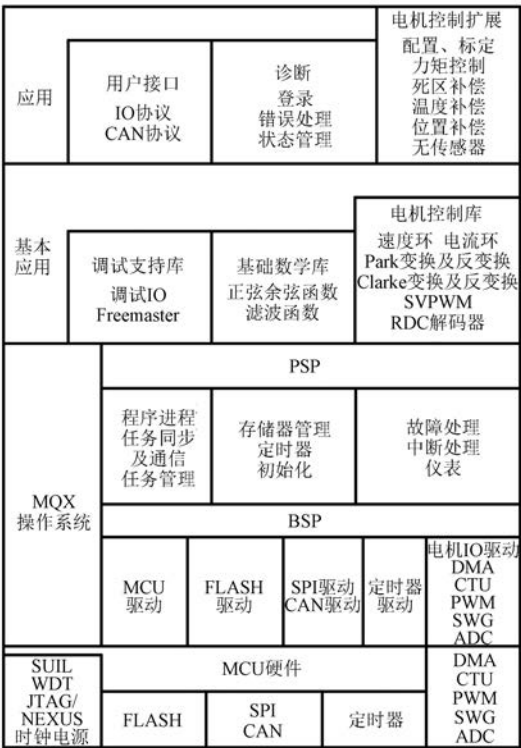


图 9 控制器软件框架示意图

其中控制器软件代码处于应用层,为 C 语言手动编写。电机控制算法的原理框图如图 10 所示。

4 结构设计以及仿真

IGBT 模块包含 2 个散热通道,采用双面冷却设计,通过板簧对模块表面施加均匀的面力,保证其与水冷板良好接触,使模块散热良好。在电容的顶端和底端分别加导热垫,通过铝壳体散热,同时电容的交流端子通过与模块铜端子连接,间接通过双面冷却散热器冷却。

额定工况下,控制器运行至稳定状态,对双面水冷散热器进行热仿真,研究 IGBT 模块表面温

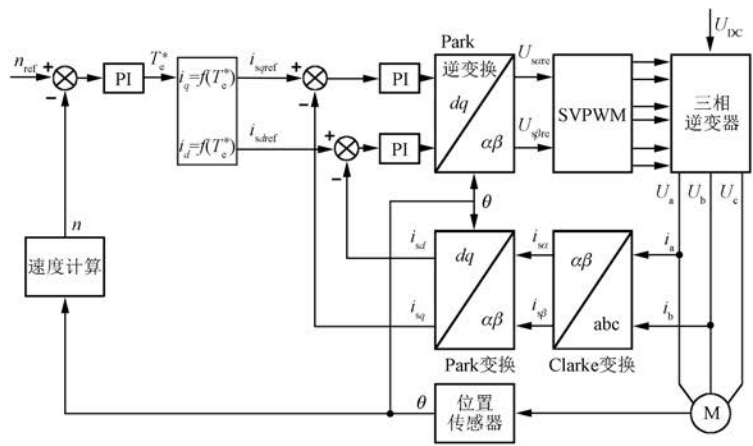


图 10 电机控制算法的原理框图

度分布及 IGBT 模块温度分布。IGBT 模块表面温度分布仿真结果如图 11 所示。IGBT 模块温度分布仿真结果如图 12 所示。

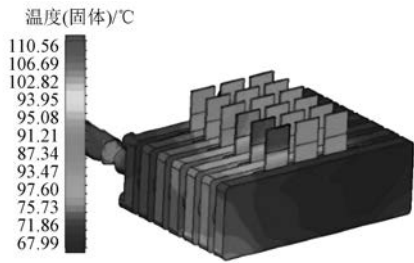


图 11 IGBT 模块表面温度分布仿真结果

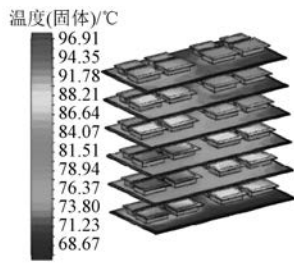


图 12 IGBT 模块温度分布仿真结果

由图 11、图 12 可以看出,IGBT 模块的温度在额定工况下约为 96.9 ℃,峰值工况下约为 131.2 ℃,IGBT 长期耐温为 150 ℃,满足使用要求。

5 电机控制试验

对试验样机进行加载试验,采用的 IGBT 额定电压为 650 V,额定电流为 500 A,最高允许结

温为 175 ℃,双面水冷;电机为永磁同步电机,极对数为 8,峰值功率为 80 kW,峰值扭矩为 220 N·m,峰值电流有效值为 450 A。在电机转速为 3 500 r/min、负载转矩为 110 N·m 时,A、B 两相的电流波形如图 13 所示。AB、BC 两组线电压波形如图 14 所示。

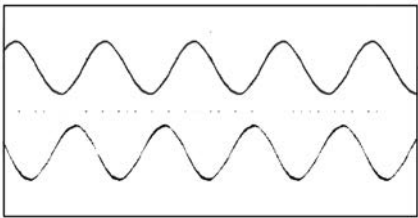


图 13 3 500 r/min 时,A、B 两相的电流波形

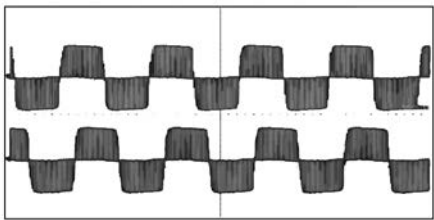


图 14 3 500 r/min 时,AB、BC 两组线电压波形

在电机转速为 6 000 r/min、负载转矩为 64 N·m 时:A、B 两相的电流波形如图 15 所示;AB、BC 两组线电压波形如图 16 所示。

在电机转速为 8 000 r/min,负载转矩为 48 N·m 时:A、B 两相的电流波形如图 17 所示;AB、BC 两组线电压波形如图 18 所示。

由 3 组试验波形可以看出,电机相电流比正弦

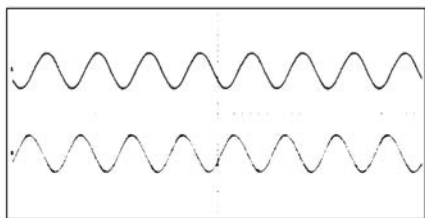


图 15 6 000 r/min 时, A、B 两相的电流波形

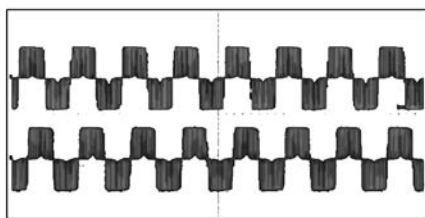


图 16 6 000 r/min 时, AB、BC 两组线电压波形

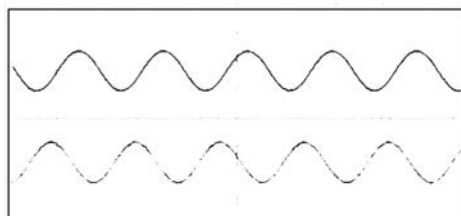


图 17 8 000 r/min 时, A、B 两相的电流波形

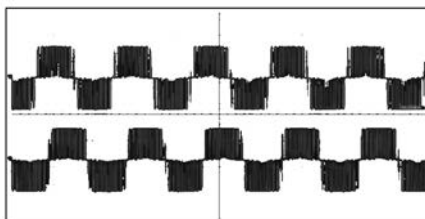


图 18 8 000 r/min 时, AB、BC 两组线电压波形

电压脉宽调制(PWM)波稳定,由此证明所设计的双电机控制器加载能力良好,电机控制效果优异。

6 结 语

本文开发了一款具有电机驱动和能量回收功

能的双电机混合动力汽车用电机控制器,为双电机混合动力系统提供了一种高效的电机控制方案。首先,介绍了该控制器的硬件电路组成,对 CAN 通信接口、上下电路、旋变电路、采样电路、驱动和保护电路模块进行了详细分析;然后,对控制器的软件架构及应用层电机控制算法进行了介绍,提出了 IGBT 双面水冷的设计方案,设计了双面水冷散热器,同时可为直流电容散热,再通过热仿真,得出所设计的双面水冷散热器具有良好的散热效果,使 IGBT 模块和直流电容能够高效地散热;最后,进行了电机加载试验,试验结果表明该电机控制器控制性能良好。

【参考文献】

- [1] 王永广.主流双电机混合动力系统对比分析[J].中国汽车,2019(4): 30.
- [2] 章俨,杨义勇,李亮,等.双电机混联构型混动车辆的制动能量回收策略[J].中国机械工程,2019,30(13): 1631.
- [3] 孙宾宾,高松,王鹏伟,等.基于电机损耗机理的双电机四轮驱动电动车转矩分配策略的研究[J].汽车工程,2017,39(4): 386.
- [4] 余军,马雅青,赵振龙,等.电动汽车用水冷散热器的设计及仿真[J].大功率变流技术,2015(3): 51.
- [5] 郭淑英,王征宇,罗海辉,等.电动汽车 IGBT 的研究与应用[J].大功率变流技术,2017(5): 29.
- [6] 赵国亮,李卫国,乔尔敏,等.IGBT 水冷基板瞬态启停及变工况运行特性实验研究[J].热科学与技术,2014,13(4): 352.
- [7] 张智明,戴俊阳.面向能耗的纯电动汽车双电机动力系统控制策略[J].汽车实用技术,2019(6): 3.
- [8] 宋振斌,李军伟,孙亮,等.双电机电动汽车驱动转矩分配策略研究[J].广西大学学报(自然科学版),2019,44(2): 316.
- [9] 彭清祥,吴罕奇,王剑波,等.增程式混合动力双电机驱动设计与分析[J].自动化技术与应用,2018,37(10): 79.

收稿日期: 2019-07-08