

电动汽车电机驱动系统设计研究

曾源

江西江特电机有限公司, 江西 宜春 336000

[摘要] 文章从设计要求、核心控制模块设计、功率驱动模块设计等角度入手, 分析了电动汽车电机驱动系统的硬件设计策略; 对电动汽车电机驱动系统的软件设计进行了分析; 围绕开环试验与闭环试验两个部分, 进行了电动汽车电机驱动系统的设计实验。

[关键词] 电机驱动系统; 硬件电路设计; 开环试验; 电机设计

DOI: 10.33142/ec.v3i6.2089

中图分类号: U469.72

文献标识码: A

Design and Research on Motor Drive System of Electric Vehicle

ZENG Yuan

Jiangxi Jiangte Electric Power Co., Ltd., Yichun, Jiangxi, 336000, China

Abstract: Starting from the design requirements, core control module design and power drive module design, this paper analyzes the hardware design strategy of electric vehicle motor drive system, analyzes the software design of electric vehicle motor drive system and carries out the design experiment of electric vehicle motor drive system around open-loop test and closed-loop test.

Keywords: motor drive system; hardware circuit design; open-loop test; motor design

引言

随着低碳经济时代的到来, 社会各界越来越重视清洁能源的实践应用, 希望以此降低不可再生能源的消耗量级, 达到能源节约与环境保护相结合的理想效果。在此背景下, 新能源汽车行业呈现出了蓬勃的发展势头。

1 电动汽车电机驱动系统的电机设计

现阶段, 电动汽车电机驱动系统中可选择的电机类型主要有永磁同步电机、开关磁阻电机以及交流异步电机三种。其中, 永磁同步电机具有体积小、效率高等特点, 但价格会略高于异步电机; 开关磁阻电机具有成本低廉、转速较高的特点, 但其在运行时会造成比较大的转矩波动, 使电动汽车存在明显的电机噪声; 交流异步电机具有造价低廉、质量轻便等特点, 但效率比永磁同步电机低不少。

实际应用中, 以永磁同步电机和交流异步电机为主流, 这两类电机与电动汽车对驱动电机的高可靠性要求相符合; 此外, 基于矢量控制技术的支持, 这两类电机可为电动汽车提供出理想化的线性调速过程, 与电动汽车对速度变化的高平顺性要求相匹配。另从近几年的情况看, 永磁同步电机的占比越来越大, 因其有较高的效率, 同等情况下在电动汽车上作为主驱电机, 永磁同步机与异步机相比能提升不少续航里程。

直驱类车型(如当前大部分公交车)使用的电机, 在设计时需要对接轴伸端的油封寿命进行评估, 并采取可行措施尽量延长油封寿命。油封寿命的提升可以从耐磨材料和减少干磨等方面考虑。

从当前的趋势看, 为适应电池缩短充电时间的需求, 汽车主驱电机的电压平台应会朝中电压(如电池电压 750V, 1000V)方向发展。

2 电动汽车电机驱动系统的硬件设计

2.1 硬件设计要求

在设计电动汽车电机驱动系统的硬件结构时, 相关人员应注重以下几点要求的满足落实: 第一, 驱动系统硬件体系应保有充足的外部接口, 以实现电动汽车内部受控器件的有效连接与工况监测; 第二, 驱动系统微控单元应具备高水平的数据处理能力, 可在满足电动汽车基本控制需求的前提下, 实现更加复杂的数据运算工作。所以, 相关人员要尽量选择技术先进、功能全面的芯片硬件; 第三, 驱动系统并不是“孤岛式”独立运行的, 而是始终与电动汽车保持一体化连接。所以, 在选用和设计驱动系统硬件电路时, 应保证其具备 RS-485、CAN 域网等通讯功能, 以顺应电动汽

车现代化的网络规划与管理特点，并为后续电机控制试验的顺利开展创造条件；第四，电机驱动系统与电动汽车驾驶运行的安全性、稳定性具有直接关联，存在严格的标准化需求。所以，在驱动系统硬件体系的设计实践中，相关人员应将符合相关国家规范作为最基本要求，并在此基础上进行硬件电路的先进化、模块化设计^[1]。

2.2 核心控制模块的硬件电路设计

2.2.1 微处理器设计

微处理器是电机驱动系统核心控制模块的“头脑”所在，其性能直接决定了控制模块的算力。现阶段，业内以 T1 公司生产的 C2000 系列芯片最为多用，但其造价成本相对高昂。因此，出于经济性考虑，可选用恩智浦公司生产的 S9KEAZ128AMLK 芯片，其特性参数为：（1）微处理器满足的数据长度为 32 位，电路总线的运行频率为 48MHz；（2）内核为 Arm Cortex M0+，配备有 32×32 数位的乘法器；（3）GPIO 端口的最多开通数量为 71 个；（4）携带有 UART 模块与 CAN 模块，前者为 3 个，后者为 1 个；（5）配备有 16 通道的高精度数模转换器。在此型号芯片的电路系统中，主要由“电感+电容”的滤波电路实现电能供应，可有效降低异常电源电压下芯片所受的波动影响。同时，此芯片内部还布置有 POR 电路（内部复位电路），可实现异常状态下芯片微处理器的快速复位，继而提升芯片电路结构的可靠性。

2.2.2 互锁电路设计

本文所选互锁电路为电动汽车电机专用的 PWM 电路，并能满足死区时间的设计需求。具体来讲，电路型号为 T1 公司生产的 SN74L 系列芯片电路，其开启时间与关闭时间均在 10ns 以内，可满足快速率、高精度的桥臂开关互锁需求。在此基础上应注意的是，死区时间设置过长或过短，都会对电机驱动系统的运行稳定性产生较大影响。若死区时间过长，则会降低电路内电流输出的流畅性；若死区时间过短，则可能发生上下两端桥臂同时动作的情况，进而引发功率板的过热烧毁故障。所以，还在互锁电路设计中引入了 PWMnH、PWMnL 两个控制信号，以此防止上下两端桥臂 MOS 的同时启动^[2]。

2.3 功率驱动模块的硬件电路设计

在功率驱动模块的硬件电路设计中，可将 MOS 管作为功率开关的主体元件，既能实现电动汽车电机驱动系统开发成本的有效降低，也可满足隔离机制的建立需求，避免高压信号与低压信号之间发生干扰问题。基于此，选用博通公司生产的 MOS 专用 ACPL-335J 芯片作为驱动模块，其最大驱动电流为 2.5A，且具备过电流保护、低电压保护、故障自动响应等功能，可达到理想化的硬件电路设计效果。在此基础上，将 TS12A12511DCNR 单刀开关与芯片电路的 R6、R8 两点进行串联，可形成闭合完整的光耦驱动电路，从而使芯片光耦输入的工作电流始终高于阈值电流，保证低压一侧驱动力处于较高水平。

2.4 信号处理模块的硬件电路设计

信号处理模块的硬件电路设计可分为信号采集电路、编码处理电路、温度测量电路、开关测量电路四个部分。

其中，信号采集电路主要负责电机驱动系统相关模拟量的采集，如母线电压、蓄电池电压、母线电流、相间电流、电机温度等。在此类硬件电路的设计汇总，前端模拟量的输入电压在 0V 至 05V 即可，可进行滤波处理，但无需设置信号放大电路。

在电动汽车的电机驱动系统中，编码器主要负责电机转向与转速的确定。对此这一方面的电路设计，可在电路的输入前端设置电容电阻，从而建立 RC 低通滤波器结构，实现高频信号干扰的有效滤除。

在设计温度测量电路时，同样可在输入前端设置低通滤波器，以此在降低高频干扰的同时，分别实现输入阻抗与输出阻抗的增减。同时，选择 3.3V 稳压电源作为温控系统的供电基础，可显著降低 5V 电源对温度数据测量结果的波动影响。

开关测量电路的设计与保留，主要是为了应对电动汽车无整车控制机制的特殊情况。在此情况下，电机驱动系统需要对整车的运行状态作出动态监控，以实现高可靠性的控制反馈。设计开关电路时，应将 12V 输入电压分散到 R1、R2、R3、R4 四个电路节点上，从而分化为 0V 至 5V 的多个低电压，并经由滤波模块处理后输入到微控制中心的 I/O 端口处，以实现开关数据的采集与处理。

2.5 硬件保护模块的硬件电路设计

在电动汽车电机驱动系统中加入硬件保护模块，可提升过电流、过电压等特殊情况下的控制保护能力。当控制软件的保护机制未达效果时，保护电路可触动 PMW 输出完成快速锁定，从而避免电机受损，使电动汽车持续处在安全稳

定的行驶状态当中。基于此,选择 TLV3502AIDR 型号的轨到轨比较器芯片作为电路硬件,其可根据输入电压的阈值水平,进行 R1 到 R4 电路节点电阻值的参考比对,进而对电流、电压是否超限作出明确,并同步启动保护行为^[3]。

3 电动汽车电机驱动系统的软件设计

嵌入式软件程序设计的优劣与否,对电动汽车电机驱动系统的性能稳定性具有很大影响,故而成为了现阶段业内控制器开发的重点和难点问题。在此背景下,出于可靠性、安全性、便捷性、可移植性等多方面考量,编制设计出了流程为“上电→初始化→通讯检查→开机确认→预充电→电压检测→高压上电→信息采集→信息互传→故障判断→故障保护→数据运算→驱动执行→停机确认→断电停机”的底层控制程序。其中,“上电”至“高压上电”的流程段受初始化模块控制,“信息采集”至“停机确认”的流程段受运行模块控制,运行模块还可分为信息模块、数据模块以及执行模块三个子模块。在电机驱动系统的软件系统运行中,初始化模块主要负责参数设定、通讯自检、电能预充、高压上电等控制指令,运行模块则为控制系统循环的主体部分,实现电机乃至电动汽车运行状态下的信息采集与控制反馈,以此达成调整电机驱动状态、促进车辆高效行驶的效果。

4 电动汽车电机驱动系统的设计试验

在电动汽车电机驱动系统的软硬件结构设计完成后,随机选取一工况稳定的异步电机作为分析对象,定义为#1 电机。#1 电机的各项额定参数如下:额定功率 10kW,额定电压 64V,额定电流 120A,额定转速 2905r/min,额定定子电阻 19mΩ,额定定子电感 3.285mH,额定转子电阻 21.4mΩ,额定转子电感 3.3mH,额定互感 3.183mH。在此基础上,在试验中利用 64V 稳压电源柜对电机进行驱动供电,弱点部分的供电电源为 12V 蓄电池。

4.1 电动汽车电机驱动系统的开环试验

开环试验的条件背景为:目标励磁电压为驱动电机额定电压的 1/10,目标转矩转速为 300r/min,转矩电压为 0V,信息采集周期为 2ms,采集对象为电机内部各相 PWM 的占空比输出值。试验结果显示,在数据采集图像中,各相 PWM 占空比输出值呈规律式变化,并带有明显的三次马蹄形谐波曲线,其产生周期为 100ms。试验结果与仿真、计算的结果相符,表明电动汽车电机驱动系统的设计成果可靠。

4.2 电动汽车电机驱动系统的闭环试验

在#1 电机驱动系统的闭环试验中,主要通过 3 个 PID 控制器进行转速环、电流环的控制调节,并在 PI 参数的支持下完成#1 电机的矢量控制。在此基础上,分别设置 1000r/min 与 2000r/min 两种转速条件,进行电机空载状态的运行试验。试验结果显示,在 1000r/min 转速下,电机定子电流的毛刺相对较多,且转矩电流的波动情况比较明显。其后,随着电机转速的上升,转矩电流逐渐增大,定子电流的毛刺持续减小,电机驱动系统整体的调节误差也呈现出线性降低。从整体来看,虽有一定的控制问题存在,但电机仍可认定为处于稳定运行状态当中,即表示电机驱动系统设计成果符合电机转速调节的控制要求。

5 结论

总而言之,在进行电动汽车电机驱动系统的设计开发时,相关人员必须要从经济性、安全性、稳定性、便捷性等多个角度出发,进行硬件电路与软件程序的合理选用,以达到驱动系统的高精度控制目的,为汽车的行驶安全做出保障。

[参考文献]

[1] 杨树军. 微型电动汽车分布式驱动控制系统设计[D]. 河南:河南科技大学,2019.

[2] 张西. 纯电动汽车驱动控制系统设计[J]. 江苏科技信息,2018,35(32):47-49.

[3] 陈立峰. 电动汽车电机驱动控制系统设计研究[J]. 科技风,2018(08):83-84.

作者简介:曾源(1987-),男,江西江特电机有限公司副主任工程师,工学学士,从事电机设计、电驱动系统设计等工作。