

# 基于 LabVIEW 的分布式驱动电动车辆测控平台

沈建, 王云超, 徐坤

(集美大学机械与能源工程学院, 福建 厦门 361021)

**[摘要]** 为了研究轮毂电机驱动电动汽车的操纵稳定性, 设计开发一款具有4轮转向和4轮驱动的电动车辆试验平台, 基于 LabVIEW 开发了试验平台的测控系统。针对直线加速和方向盘角阶跃输入等试验工况, 利用该样车平台进行了控制算法的快速控制原型和道路试验测试研究, 并对电子差速算法实验结果进行分析。试验结果表明, 该平台能够进行电子差速和车辆操纵稳定性测试, 满足设计功能要求, 能验证控制策略的有效性以及评估控制算法的优劣性, 为分布式驱动电动车辆的控制算法开发及其操纵稳定性分析评估奠定了良好的基础。

**[关键词]** 电动车辆; 测控系统; 快速控制原型; 试验平台; 电子差速

**[中图分类号]** U 461.6

## Development of Measuring and Controlling Platform for Distributed Drive Electric Vehicle Based on LabVIEW

SHEN Jian, WANG Yunchao, XU Kun

(School of Mechanical and Energy Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** In order to study the handling stability of electric vehicle driven by hub motor, an electric vehicle test platform with four-wheel steering and four-wheel driving was designed and developed. This paper introduces the overall layout of the test platform, the working principle of the measurement and control system, and the hardware assembly. By using LabVIEW, a test and control system for the test platform was developed. Finally, for the experimental conditions, such as linear acceleration and angle step input of steering wheel angle, this experiment platform was used to carry out rapid control prototype and road test of control algorithm. The test results show that the platform can perform electronic differential and vehicle handling stability tests, meet the design function requirements, verify the effectiveness of the control strategy and evaluate the advantages and disadvantages of the control algorithm, which lays a good foundation for the development of control algorithms for distributed-drive electric vehicles and the analysis and evaluation of their handling stabilities.

**Keywords:** electric vehicle; measurement and control system; rapid control prototype (RCP); test platform; electronic differential

## 0 引言

随着轮毂电机驱动技术的逐渐成熟, 以及线控技术的迅速发展, 分布式驱动成为电动汽车新的研

**[收稿日期]** 2018-06-20

**[基金项目]** 国家自然科学基金项目(51575233); 集美大学优秀青年骨干教师基金(2011B001)

**[作者简介]** 沈建(1994—), 男, 硕士生, 从事电动汽车控制系统开发研究。通信作者: 王云超(1976—), 男, 教授, 博士, 从事多轴转向及虚拟样机技术

究热点<sup>[1]</sup>。分布式驱动电动汽车采用 4 个独立的电机来驱动 4 个车轮,提高了传动系统效率,节省了底盘空间<sup>[2]</sup>。通过控制算法实现电机转速和转矩的控制,这种方式可以加快各车轮的响应速度,更好地实现车辆动力学控制<sup>[3]</sup>。分布式驱动电动汽车的关键是开发整车控制系统,为了最大利用其结构优势,车辆需要通过整车控制系统对各个车轮的转矩进行实时控制,因而分布式试验样车开发及其测控系统的研究十分必要。不少学者对分布式驱动电动车辆做了大量研究,马高峰等<sup>[4]</sup>开发了基于 CarSim/Simulink 的分布式驱动电动汽车仿真模型;张媛媛<sup>[5]</sup>将夏利汽车改造为轮边电机分布式驱动的电动车辆,采用 dSPACE 作为整车控制器,以实现多目标转矩协调控制;武冬梅<sup>[6]</sup>在改装后的 4 轮轮毂电机驱动的电动汽车上,以 MicroAutoBox 为原型控制器和数据采集系统,对其改装车辆进行了直行和转弯的工况试验,验证其在驱动控制策略中提出的车轮力矩分配方法,实现节能与安全的分布式驱动电动汽车动力学综合控制策略,但是开发成本相当昂贵,且在原有的车型上改装较为困难。本文利用自主搭建的分布式驱动电动车辆试验平台,基于 LabVIEW 开发了分布式驱动电动车辆测控系统。利用快速控制原型技术<sup>[7-9]</sup>,依托此试验样车平台进行了电子差速策略的研究,验证了搭建的试验样车的动力性能,以及控制系统的电子差速的有效性。

### 1 分布式驱动电动车辆试验平台设计

为满足分布式车辆控制系统研究的要求,所设计的样车必须具备以下功能:1) 4 个轮毂电机共同驱动;2) 可以完成各轮毂电机转速、转矩、方向盘转角信号的采集;3) 各驱动电机融合协同控制;4) 实现驱动控制算法验证;5) 测控平台具有快速更新与移植控制策略功能;6) 能够快速响应驾驶员的控制指令,监测车辆行驶状况。

根据试验样车平台功能要求,本文对自主设计开发的 4 轮独立驱动电动汽车的动力系统进行配置。该系统主要由霍尔传感器、轮毂电机、整车控制器以及动力电池等组成,整车配置示意图如图 1 所示。

考虑到载荷的分布,前后轴配套各占 50%,实际的锂电池位置位于车辆中心。另外,为了避免电力系统对控制信号的干扰,本设计平台将电源线与信号线分开走线,且用屏蔽层隔绝。为了尽可能减小信号衰减,将电机控制器分布在电机四周,整车驱动力 ECU 控制器布置在 4 个驱动器中央。分布式驱动电动车辆技术参数如表 1 所示,样车试验平台如图 2 所示。

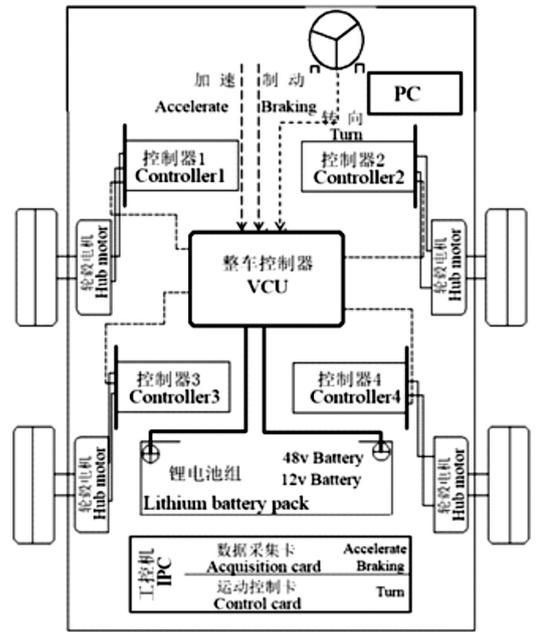


图 1 整车配置示意图

Fig.1 Configuration of the overall vehicle

表 1 分布式驱动电动车辆的技术参数

Tab. 1 Technical parameters of distributed drive electric vehicles

车辆尺寸/mm Vehicle dimensions 长 × 宽 × 高 Length,width and height	轴距/mm Distance between shafts	轮距/mm Wheelbase	轮胎规格 Tire specification	电池容量/(A · h) Battery capacity
1 980 × 1 250 × 600	1 070	815	185/65R17	100
电池额定电压 Rated voltage of motor /V	电机额定电压 Rated voltage of motor /V	电机峰值扭矩 Peak torque of motor /(N · m <sup>-1</sup> )	电机额定转矩 Rated torque of motor /(N · m <sup>-1</sup> )	电机最大功率 Maximum power of motor /kW
48	48	50	35	2



a) 样车外观  
Model car appearance



b) 整车控制器 ECU



c) 装有轮毂电机的驱动轮  
Driving wheel equipped with hub motor

图 2 分布式驱动电动车辆试验平台

Fig.2 Test platform of distributed driven electric vehicle

## 2 测控系统设计

分布式驱动样车测控系统的总体架构如图 3 所示, 它由远程人机接口模块、汽车电子 ECU、驱动器和被控轮毂电机组成。ECU 利用 Simulink 模块库搭建驱动控制策略, 上位机基于图形化编程软件 LabVIEW 开发, 作为编程和测控的主体, 可以自定义观测参数, 可以调节被控制量, 实现对控制策略的有效验证和更改。将数据采集卡插入工控机, 用于快速采集功能模块, 连接电子陀螺仪, 采集转角( $\delta$ )、横摆角速度( $\gamma$ )以及车速( $v$ )等信息。通过远程人机接口传输控制指令, 纠正车辆的运行姿态。

ECU 控制器将接收到的车辆转向角、车速等信号进行处理, 通过驱动控制策略的实时运算, 主控制器制定各轮目标驱动转速, 将驱动信号传送到各轮毂电机控制器, 实现电子差速, 底层控制器运行 PID 算法<sup>[10]</sup>, 实时跟踪目标驱动信号。电子差速综合控制框图如图 4 所示。

整车控制器 ECU 负责控制策略的开发与执行, 需具有多输入多输出接口, 在车辆运行过程中, 它接收驾驶员期望的车速及方向盘转角信号, 其输出量包括目标转矩信号、目标转速信号、功率开关信号等。因而选用基于 Freescale Mpc55 系列微处理器开发的汽车 ECU 控制器。在电动车辆控制策略的开发过程中, 该 ECU 能够将 Simulink 搭建的控制算法通过自动代码生成技术、代码优化技术下载到 ECU 实时处理器中, 通过 CAN 总线信号与电机驱动器进行数据双向传输, 实现控制算法的迅速更新与移植<sup>[11-13]</sup>。远程人机接口通过型号为 BTP-2185-AIR10 的北通阿波罗 2 代操纵手柄传输驾驶员控制指令, 采用高通 CRS 芯片, 使信号传输更加快速。选用 KTC-150 型位移传感器, 测量方向盘转角, 输出电压为 0~5 V, 重复精度为 0.01 mm。使用 Murata 公司研发的 Gyro 电子陀螺仪, 通过 RS232 总线传输车身姿态信号, 其中包括横摆角速度、航向角、俯仰角等。为获得车辆运动过程中实

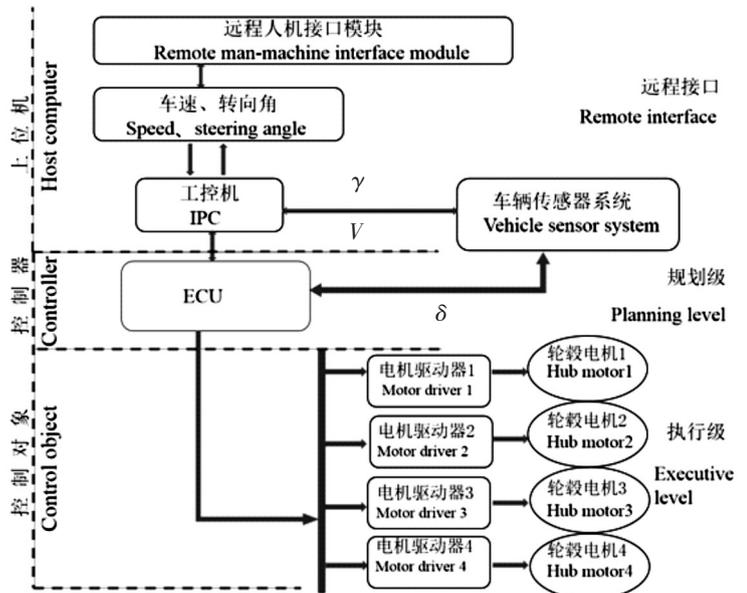


图 3 测控系统结构

Fig.3 Structure of measurement and control system

时的转矩、转速信号, 选用基于 ARM - Cortex - M<sub>3</sub>@ F2MHZ 处理器开发的轮毂电机驱动器, 通过 RS485 读取。

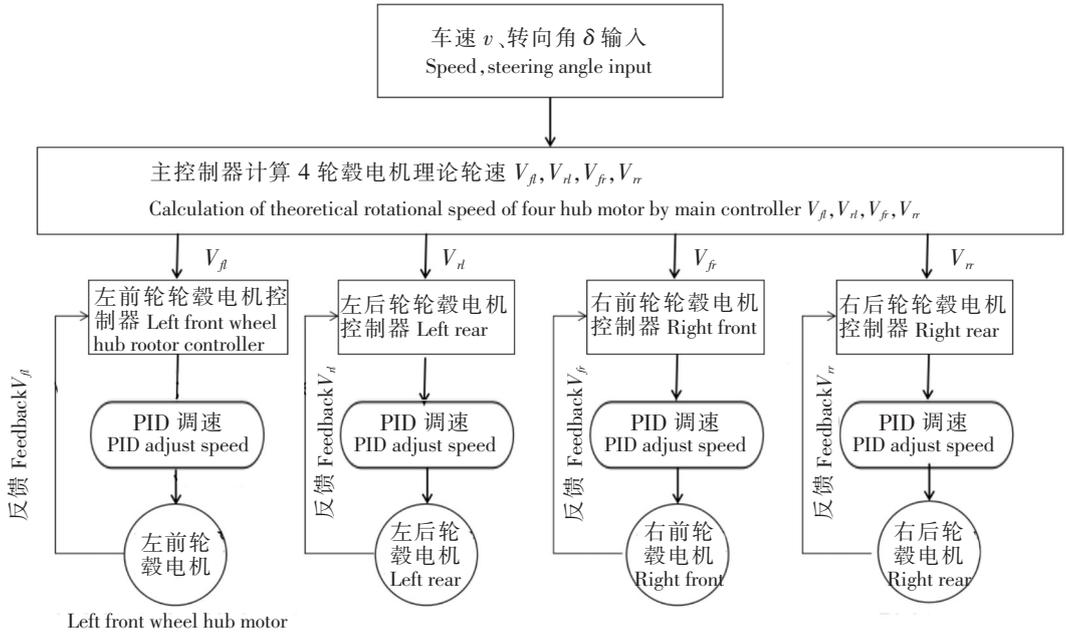


图 4 电子差速综合控制框图

Fig.4 Frame diagram of integration electronic differential control

在上位机中采用 LabVIEW 软件编写分布式电动车辆测控系统程序, 包括数据采集与输出模块、人机交互监测模块、车身控制模块、操纵手柄通讯模块、数据存储模块等。测控系统上位机界面如图 5 所示。图 5 界面能观测到驾驶员给出的期望方向盘转角、车速等信号, 并且可以采集车身横摆角速度、俯仰角、航向角等车辆状态信息。考虑到试验样车的安全性, 采用无线操纵手柄传输驾驶员指令, 因此在测控系统中加入了前后轴转向紧急停止, 以及各轮毂电机紧急制动等容错模块, 用来防止通过无线传输的指令中断以及驾驶员误操作的危险。

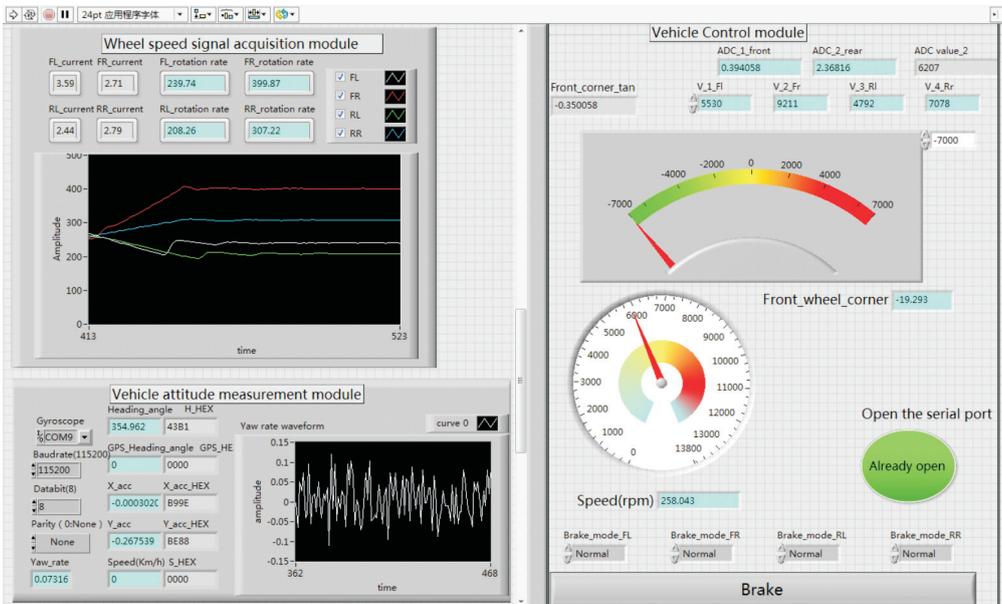


图 5 上位机界面

Fig.5 Upper computer interface

### 3 样车试验

为了验证所开发试验样车平台的有效性, 选取了水泥路面做为试验场地在直线加速、右转弯以及左转弯等工况下进行了样车试验。

#### 3.1 直行加速试验

在加速过程中测得的前轮转角如图 6(a) 所示, 波动稳定在  $0^\circ$  左右。直线加速行驶至 11.4 s 时, 右后轮遇颠簸路面, 过一段时间, 转速跟踪至需求转速。由于各轮装配的轮毂电机的制造误差以及无刷直流电机低速启动特性, 所以在加速前段时间电机产生振动, 转速有波动, 随着车速的提高, 这种现象逐渐消失, 如图 6(b) 所示。加速至 30 km/h 时, 四轮转速保持相对稳定。试验表明: 左后轮在加速过程中出现了较大超调, 其他 3 个轮保持了平稳的加速。

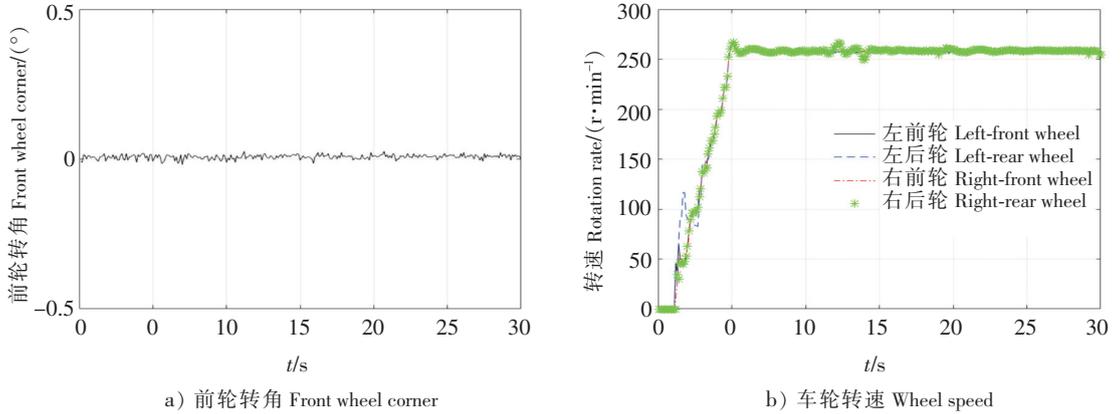


图 6 直线加速

Fig.6 Linear acceleration

#### 3.2 右转弯试验

如图 7(a) 所示, 试验样车做直线加速, 加速行驶至 11.5 s 时, 给前轮  $20.5^\circ$  向右转角阶跃信号, 这里取向右为正, 在车辆转向过程中, ECU 决策的电子差速算法实时协调四轮转速。如图 7(b) 所示, 在 0~5 s 加速过程中, 出现了较大的超调, 这主要跟加速信号输入的不稳定以及各电机低速特性有关。另外, 在角阶跃输入过程中, 右侧轮在减速时出现了较大的波动, 右后轮还存在较大的滞后。

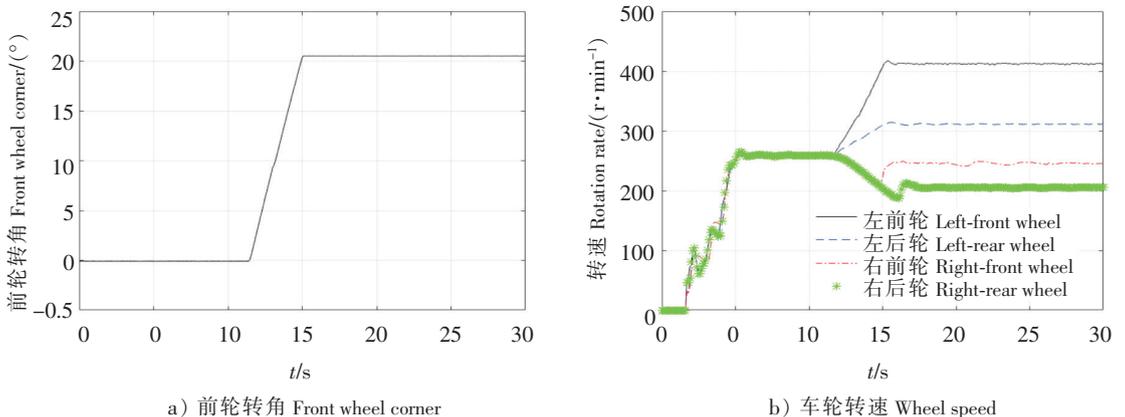


图 7 右转向

Fig.7 Turning right

#### 3.3 左转弯试验

如图 8(a) 所示, 直线加速行驶至 14.8 s 时, 给前轮  $19.3^\circ$  向左转角阶跃信号。从图 8(b) 中可以看出, 车辆转向稳定状态时, 车辆能动态保持良好的差速关系, 但在加速过程中, 左前轮的转速超调较大, 另外左侧两个车轮减速也有超调产生, 并且左后轮存在较大的滞后, 这主要与各电机加减速特性以及各电机合适的 PID 参数有关。结合右转向工况试验结果, 该测控平台能够对整车控制算法产生

的问题做相应的评估, 并对以后算法的改进提供试验参考。

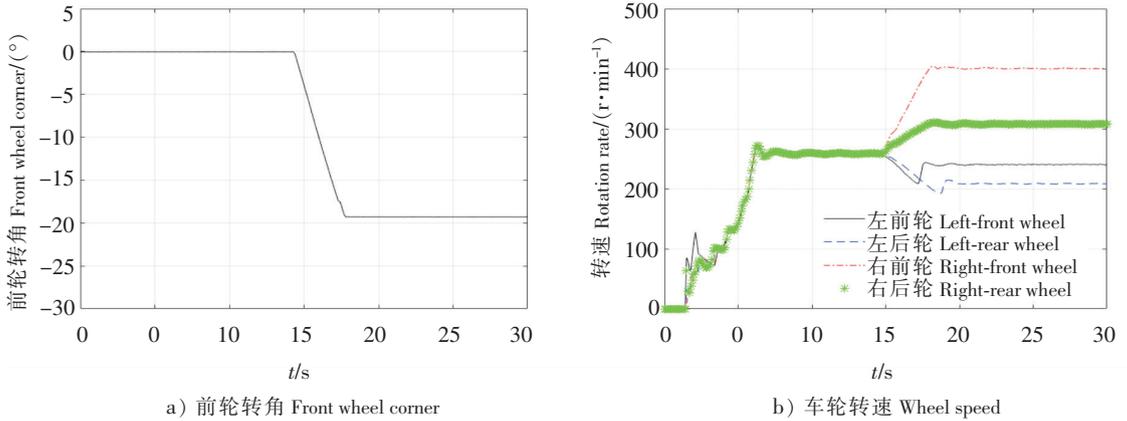


图 8 左转向  
Fig.8 Turning left

### 4 结语

本文在自主设计开发的 4 轮独立驱动试验样车的基础上, 基于 LabVIEW 软件开发了分布式驱动电动车辆测控平台, 结合 Matlab/Simulink, 进行了快速控制原型测试试验。试验结果表明: 1) 设计的分布式试验样车能够进行电子差速和车辆操纵稳定性测试, 并能够对相应的控制算法进行评估, 满足设计功能要求, 且具有友好的人机界面, 能够实现控制算法快速修改与移植; 2) 在分布式电动车辆控制策略开发过程中, 利用快速原型的测控平台能缩短控制系统开发的周期及成本; 3) 该样车的测控平台为将来整车控制策略开发及其操纵稳定性和行驶平顺性分析研究奠定了基础。

### [ 参 考 文 献 ]

[1] HORI Y. Future vehicle driven by electricity and control-research on four - wheel - motored UOT “Electric March II” [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2004, 51(5): 954-962.

[2] NAM K, FUJIMOTO H, HORI Y. Lateral stability control of in-wheel-motor-driven electric vehicles based on sideslip angle estimation using lateral tire force sensors [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2012, 61(5): 1972-1985.

[3] 余卓平, 冯源, 熊璐. 分布式驱动电动汽车动力学控制发展现状综述 [J]. 机械工程学报, 2013, 49(8): 105-114.

[4] 马高峰, 李刚, 韩海兰. 基于 CarSim 的四轮轮毂电机电动汽车建模方法研究 [J]. 农业装备与车辆工程, 2015, 53(7): 8-11.

[5] 张缓缓. 采用电动轮驱动的电动汽车转矩协调控制研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2009.

[6] 武冬梅. 分布式驱动电动汽车动力学控制机理和控制策略研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2015.

[7] 姚树森. 基于 DSPACE 的 EPS 性能仿真研究 [D]. 西安: 长安大学, 2017.

[8] 杨向忠, 安锦文, 崔文革. 快速控制原型仿真技术应用 [J]. 航天控制, 2009, 27(2): 72-75, 80.

[9] 王广玮, 赵津, 张向南, 等. DSPACE 快速控制原型技术在无刷直流电动机控制中的应用 [J]. 现代制造工程, 2015(1): 20-23.

[10] 邱恒浪. 基于轮毂电机的四轮驱动差速转向控制系统的研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2012.

[11] 田韶鹏, 阙同亮. 基于模型设计的电动车整车控制器开发研究 [J]. 自动化与仪表, 2017, 32(9): 60-64.

[12] 顾彦阳. 电动汽车纵向碰撞预警与自动紧急制动控制器研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2018.

[13] 许保同, 杨国亮, 吴奇. 基于 Simulink 的纯电动汽车 VCU 控制策略设计方法 [J]. 汽车工程师, 2016(5): 19-21.

[14] 秦璇. 基于 LabView 的电液比例压力—流量控制试验台测控系统的设计与研究 [D]. 西安: 长安大学, 2017.

[15] 解后循, 高翔, 夏长高. 基于 LabVIEW 软件的电液助力转向台架测控系统设计 [J]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 2015, 34(3): 162-166.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 郑青榕)