

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.06.011

基于线控电动汽车的驱动转向 一体化控制器研究*

朱小春,董铸荣

(深圳职业技术学院 汽车与交通学院,广东 深圳 518055)

摘要:针对目前纯电动汽车轮毂电机驱动和四轮电机转向都是作为独立技术进行研究的问题,对线控电动汽车结构、整车控制系统、轮毂电机驱动控制、四轮独立转向、CAN 总线通信网络、功率管隔离驱动等方面进行了研究,提出了一种基于线控电动汽车的驱动转向一体化控制器,对其总体控制方案和 5 大关键技术进行了归纳总结,利用配置了驱动转向一体化控制器的线控电动汽车进行了 5 种工作模式的实验,并重点对正常工作模式下转向和电子差速控制进行了实验研究。研究表明,驱动转向一体化控制器能满足线控电动汽车转向和电子差速在实时性、控制精度和可靠性等方面的技术要求。

关键词:电动汽车;驱动控制;线控

中图分类号:TH39;U462.1

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)06-0609-05

Integrated controller for EV drove and steer by wire

ZHU Xiao-chun, DONG Zhu-rong

(Automotive and Transportation Engineering, Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518055, China)

Abstract: Aiming at the problem that recently both the driving strategy for the motor in wheel and steering strategy for the electric vehicle were researched independently, the structure, the control system, the motor in wheel driving control system, the independent steering system, the CAN communication network and the power tube isolation drive were studied, and the integrated controller for the electric vehicle was proposed. Experiments on 5 kinds of vehicle working mode were carried out based on the integrated steering controller driver. The steering and electronic differential control of the normal working mode was focused by experiment. The results indicate that the integrated controller can meet the real time, accuracy and reliability requirements of the electric vehicle.

Key words: electric vehicle(EV); drive control; control by wire

0 引 言

电动汽车被认为是目前解决石油能源危机和环境问题的有效方案之一。与传统汽车相比,电动汽车的研究主要集中在电机及其驱动控制、动力电池及其管理系统、制动能量回收、传动系统及整车匹配等方面^[1-2]。

轮毂电机驱动的电动汽车取消了传统汽车的机械传动部分,使整车传动效率得到提高,整车质量大大减

轻,并具有灵活的行驶特性。近年来采用轮毂电机四轮独立驱动式电动汽车已经成为研究热点。国外学者较早开展轮毂电机及其驱动控制的研究,如日本庆应义塾大学 MATSUGAURA S 课题组推出了以锂电池为动力源,采用 8 个大功率交流同步轮毂电机独立驱动的电动大轿车 KAZ,最高时速达到 311 km/h^[3];日本东京大学 HORI Y 课题组研制的电动汽车“UOT Electric March”,进行了电动汽车防抱死控制、直接转矩控制、牵引力控制等方面的研究^[4]。国内在最近十多年

收稿日期:2016-12-12

基金项目:深圳市知识创新计划基础研究项目(JCYJ20140508155916423)

作者简介:朱小春(1979-),男,江苏南通人,副教授,主要从事电动汽车及电力电子控制技术方面的研究. E-mail: zhuxc@szpt.edu.cn

开始研究轮毂电机驱动技术,如清华大学和吉林大学等依托国家“863”计划对动力电池、轮毂电机、电控及整车性能综合测试系统研制等方面进行了研究^[5-6]。

四轮独立转向技术是指前后 4 个车轮都能根据需要起转向作用,能有效改善车辆的机动灵活性和操纵稳定性。随着汽车电子和电机技术的发展成熟,国内外研究四轮独立转向技术的人员和机构也越来越多^[7-8]。

线控电动汽车作为本研究的研究平台,结合了四轮轮毂电机驱动和四轮独立转向技术于一体,该研究能填补该项技术的空白。本研究内容是基于线控电动汽车设计研究驱动转向一体化控制器,从而组建整车动力控制系统。

1 线控电动汽车

线控电动汽车导入线控四轮独立电机转向技术和线控四轮独立电机驱动技术,每个车轮配备转向电机和轮毂驱动电机,每个车轮配备本研究设计的驱动转向一体化控制器分别控制该车轮的转向电机和轮毂驱动电机^[9]。该线控电动汽车取消了传统汽车的转向机构、变速箱、传动轴、驱动桥等复杂的机械传动部件,汽车的机械结构大大简化^[10-12]。

线控电动汽车的实物图如图 1 所示。



图 1 线控电动汽车的实物图

线控电动汽车的整车控制系统共有 5 个电子控制单元(ECU),分别是:整车电子控制单元(ECU)、左前轮驱动转向一体化控制器、右前轮驱动转向一体化控制器、左后轮驱动转向一体化控制器和右后轮驱动转向一体化控制器。这 5 个 ECU 之间通过 CAN 总线网络架构实现数据通讯,从而实现真正意义的线控。整车电子控制单元负责采集油门、方向盘等信号,进行整车控制策略算法后发出整车控制指令,同时实现显示、报警和车联网通讯等功能。每个车轮都有一个驱动转向一体化控制器分别驱动控制该车轮的转向电机和轮毂电机,这也是本研究下面详细分析的内容。线控电

动汽车整车控制系统的结构框图如图 2 所示。

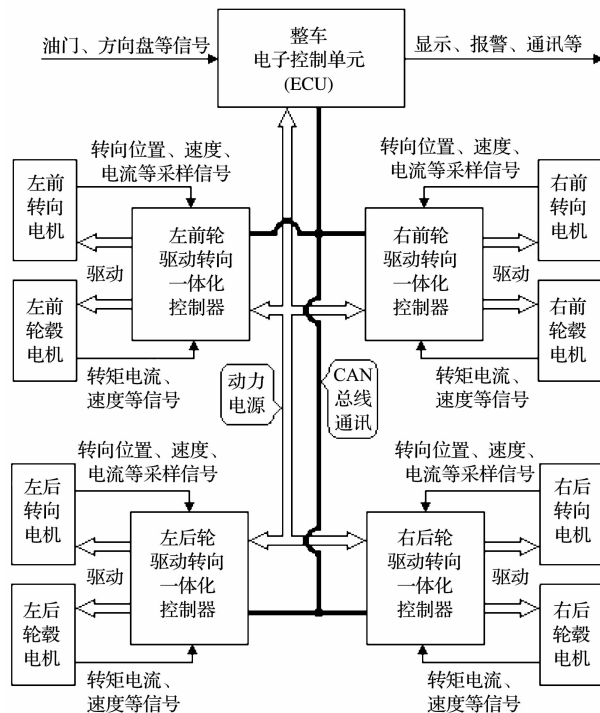


图 2 整车控制系统的结构框图

2 驱动转向一体化控制器的研究

本研究设计的驱动转向一体化控制器涉及嵌入式系统、电力电子、电机控制、开关电源、热流、隔离驱动和通讯网络等学科的技术。驱动转向一体化控制器的方案框图如图 3 所示。

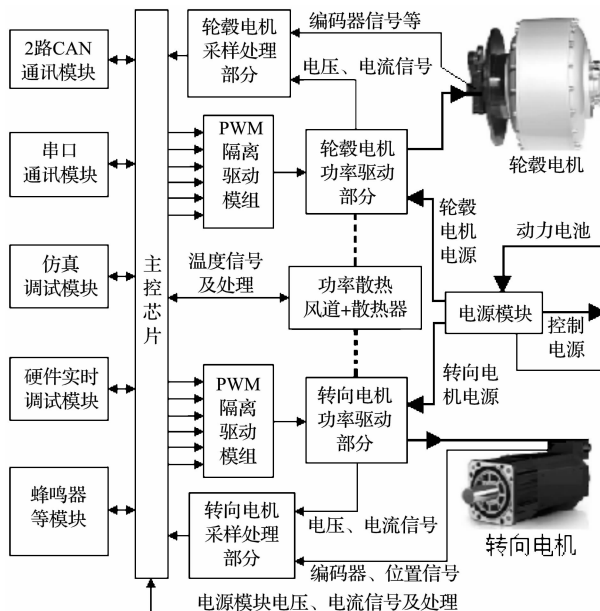


图 3 驱动转向一体化控制器的方案框图

其实物图如图 4 所示。

由图 3 和图 4 可以得出,本研究的驱动转向一体

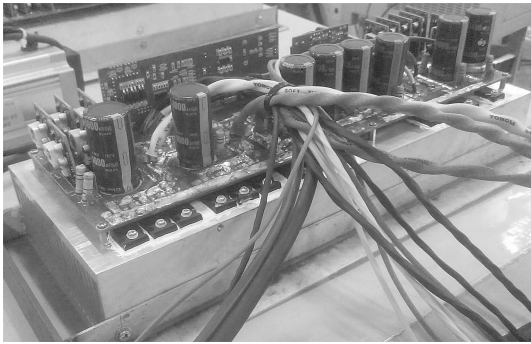


图4 驱动转向一体化控制器的实物图

化控制器能实现车轮轮毂电机和转向电机的驱动控制,解决的关键技术主要有:轮毂电机与转向电机一体化驱动控制技术、CAN 总线通信网络技术、隔离驱动技术、电源模块技术和热流散热技术等。

2.1 轮毂电机与转向电机一体化驱动控制技术

本研究的线控电动汽车每个车轮驱动采用额定功率为 5 kW、额定转速为 507 r/min、额定电压为 72 V、额定扭矩为 95 Nm 的直流无刷轮毂电机,每个车轮转向采用额定功率为 1 kW、额定转速为 3 000 r/min、额定电压为 72 V、额定扭矩为 4 Nm 的无刷伺服电机。

本研究中轮毂电机与转向电机一体化驱动控制技术的主要内容包括:轮毂电机和转向电机大功率驱动器件的硬件设计、直流无刷轮毂电机适用于电动汽车工况下的控制算法、无刷伺服电机适用于各种工况下的转向精确位置控制算法、控制器对于电流和转速信号采样的抗干扰设计、驱动控制器的电气绝缘和过流保护等方面。

2.2 CAN 总线通信网络技术

目前汽车车载总线技术发展很快,而且技术已经很成熟^[13],本研究利用 CAN 总线技术,实现线控电动汽车动力控制系统的模块化控制。本研究 CAN 总线通信网络技术的主要内容包括:CAN 总线通信节点硬件设计、动力控制系统 CAN 总线通信协议研究、通信网络抗干扰和防数据堵塞等。

利用 CAN 总线通信网络技术进行模块化研究设计具有以下优点:①各模块独立控制,减小开发难度,增强模块可靠性;②各模块间采用总线技术,达到数据资源共享,数据传输抗干扰能力强;③使整车控制策略采用高级算法成为可能等。

2.3 隔离驱动技术

驱动转向一体化控制器选用绝缘栅双极型晶体管作为功率开关器件。本研究采用的脉冲变压器隔离驱动 IGBT 的方式具有电路结构简单可靠,独立驱动电源、响应快、成本低等优点。

研究隔离驱动技术的主要内容包括:脉冲变压器设

计及制作、控制电路各元件的参数设计、抗干扰设计等。

2.4 电源模块技术

驱动转向一体化控制器是一个复杂的系统,需要各种控制电源供电,但电源输入只有动力电池,这就需要设计系统需要的多种电源模块:±15 V 电源模块、12 V 电源模块、5 V 电源模块等。由于各电源模块之间需要隔离,本研究采用脉冲变压器实现高频开关电源模块。

本研究研究电源模块技术的主要内容包括:各电源模块脉冲变压器设计及制作、控制电路各元件的参数设计、抗干扰设计等。

2.5 热流散热技术

由于驱动转向一体化控制器驱动功率很大,本研究针对大功率电子元器件必须研究其热流散热技术。一般情况下,散热片大多数都是制成铝合金型材,根据元器件大小切断成需要的尺寸,自然冷却;特殊情况下超大功率的电子元件可进行散热风扇热流学或冷却水道等设计。

3 实验

3.1 车辆工作模式

本研究在线控电动汽车上研究设计的驱动转向一体化控制器能有效改善车辆的机动灵活性和操纵稳定性,能实现 5 种工作模式,如图 5 所示。

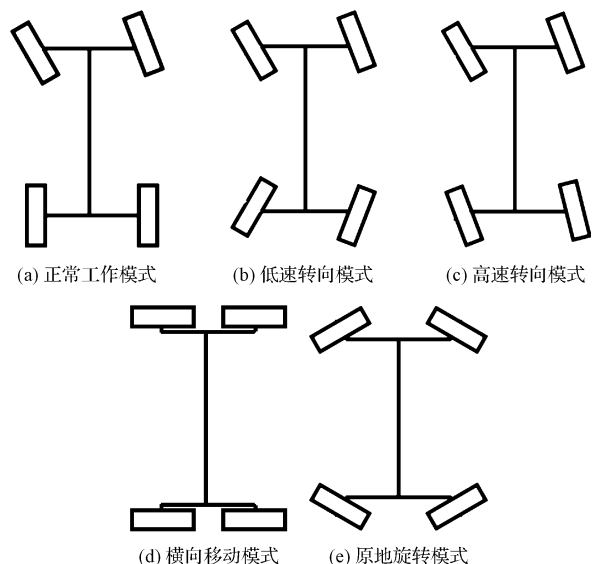


图5 五种工作模式

图 5(a)为正常工作模式时,转弯半径圆心在后轮轴线上,实现了传统汽车的转向和电子差速;图 5(b)为低速转向模式时,前后车轮逆相位转向,可减小车辆的转弯半径,能大大改善车辆的机动灵活性;图 5(c)为高速转向模式时,前后轮同相位转向,能减少车辆质心侧偏角,降低车辆横摆率的稳态超调量等,进一步提高车辆操纵稳定性;由于本研究的线控电动汽车每个

车轮的转向角度足够大,能实现如图 5(d)、5(e)所示的横向移动模式和原地旋转模式。

横向移动模式的实物图如图 6 所示。



图 6 横向移动模式的实物图

为了简化公式的推导,下面只分析正常工作模式的数学模型和实验情况。

3.2 正常工作模式的数学模型

可以参考前轮转向汽车阿克曼转向几何学原理^[14],在不考虑汽车质心侧偏、横摆角以及路面情况变化和侧风等情况下,可以得出正常工作模式的几何模型如图 7 所示。

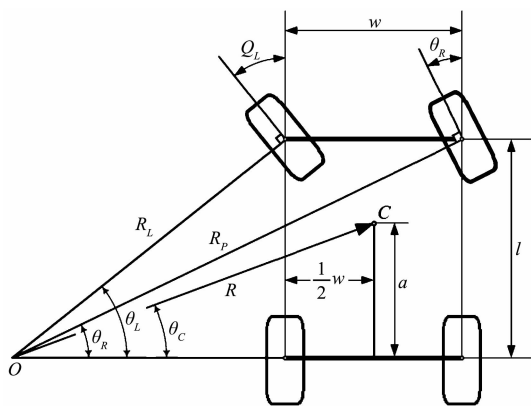


图 7 正常工作模式的几何模型

图 7 中,车辆绕转向中心 O 旋转, l 为前后轴距, w 为左右轮距, a 为质心与后轴轴距,则所有的几何参数中,只有一个是自由变量,其它参数都可由之得出。

以质心 C 的转向角 θ_C 为变量,可以求得左前轮转向角 θ_L 、右前轮转向角 θ_R 为:

$$\begin{cases} \theta_L = \text{ctg}^{-1}\left(\frac{a \cdot \text{ctg}\theta_C - \frac{w}{2}}{l}\right) \\ \theta_R = \text{ctg}^{-1}\left(\frac{a \cdot \text{ctg}\theta_C + \frac{w}{2}}{l}\right) \end{cases} \quad (1)$$

以质心 C 的转向角 θ_C 和参考速度 v 为变量、左前轮速 v_L 、右前轮速 v_R 为:

$$\begin{cases} v_L = \frac{\sqrt{\left(a \cdot \text{ctg}\theta_C - \frac{w}{2}\right)^2 + l^2}}{\frac{a}{\sin\theta_C}} \cdot v \\ v_R = \frac{\sqrt{\left(a \cdot \text{ctg}\theta_C + \frac{w}{2}\right)^2 + l^2}}{\frac{a}{\sin\theta_C}} \cdot v \end{cases} \quad (2)$$

3.3 正常工作模式的实验情况

本研究的线控电动汽车的具体参数及实验情况说明如下: $w = 1.45 \text{ m}$ 、 $l = 2.30 \text{ m}$ 、 $a = 1.3 \text{ m}$;方向盘的控制转角等价于质心 C 的转向角 θ_C ;油门的控制信号等价于质心 C 的参考速度 v ;整车控制器每隔 50 ms 通过串口向测试 PC 机发送一组信息(各车辆转角、转速、电流信息,方向盘和油门指令信息等);测试道路为深职院校道水泥平整路面。线控电动汽车在正常工作模式时,让车辆在基本均匀车速(10 km/h 左右)状态下进行 S 弯转向实验,得出的左前轮和右前轮转角波形如图 8 所示。

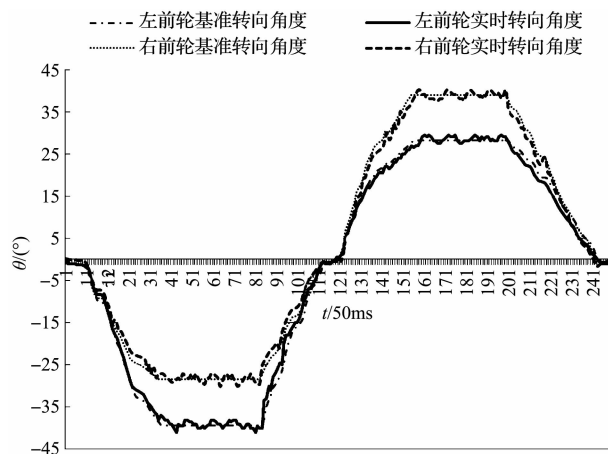


图 8 左前轮和右前轮转角波形

图 8 中,横坐标为 t (时间)轴,单位为 50 ms/格 ,纵坐标为 θ (转向角度)轴,单位为 $^\circ$ (度);角度的参考方向规定车轮在车辆直行状态时为 0° ,向左转向的角度为负值,向右转向的角度为正值。

点划线为左前轮基准转向角度,圆点虚线为右前轮基准转向角度,这两个基准角度是由方向盘的控制
(下转第 622 页)

本文引用格式:

朱小春,董铸荣. 基于线控电动汽车的驱动转向一体化控制器研究[J]. 机电工程,2017,34(6):609-612,622.

ZHU Xiao-chun, DONG Zhu-rong. Integrated controller for EV drove and steer by wire[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017,34(6):609-612,622.