

纯电动汽车坡道起步辅助控制策略研究

欧阳智, 杨杰君, 周艳辉, 文健峰, 王 全

(中车时代电动汽车股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

摘 要:提出一种无传感器的坡道起步辅助控制方法,通过整车控制器采集相关信号,判断是否进入坡道起步辅助模式;设计双闭环 PI 控制器控制电机驱动扭矩,实现坡道起步辅助控制功能,并进行实车验证。

关键词:纯电动汽车;坡道起步;辅助控制

中图分类号:U463.54; U469.72

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2022)04-0015-03

Research on Hill Start Assist Control Strategy for Pure Electric Vehicles

OUYANG Zhi, YANG Jiejun, ZHOU Yanhui, WEN Jianfeng, WANG Quan

(CRR Electric Vehicle Co., Ltd., Zhuzhou 412007, China)

Abstract:The authors propose a sensorless hill start assist control method and use the vehicle controller to collect relevant signals to determine whether to enter the hill start assist mode. They design a dual closed-loop PI controller to control the motor drive torque to realize the hill start assist control function and carry out real vehicle tests.

Key words:pure electric vehicle; hill start; assist control

坡道起步是车辆行驶过程中较常出现且事故率较高的复杂工况^[1-2],一旦操作不当就可能造成车辆溜坡^[3],对驾驶员操控技术的要求较高。配备坡道起步辅助系统可以降低驾驶员操作要求^[4],并提升行车安全性^[5]。

本文提出一种纯电动汽车坡道起步辅助控制方法。该方法利用电机在低速工况和堵转工况输出的峰值扭矩^[6-7](具有精度高、响应快的特点)来实现辅助控制,不需要机械制动系统参与,也无需增加传感器,仅通过控制电机输出扭矩即可与坡道后溜力平衡,从而实现车辆坡道平稳起步。

挡位、驻车、加速踏板及制动踏板等信号,接收电机控制器反馈的电机状态信号,识别驾驶意图,判断是否需要进入坡道辅助模式,计算坡道辅助扭矩(即重力下溜平衡扭矩)并下发给执行机构。执行机构为电机及其控制器,接收并响应决策机构下发的坡道辅助扭矩,使车辆在坡道上平稳驻停。

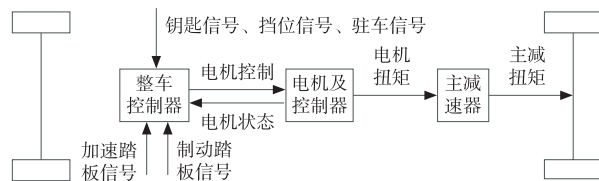


图1 系统架构图

1 坡道起步辅助控制策略

1.1 系统架构

坡道起步辅助控制系统包括决策机构和执行机构,如图1所示。决策机构为整车控制器,采集钥匙、

1.2 决策流程

系统决策机构判断何时进入坡道起步辅助控制模式、何时退出坡道起步辅助控制模式,具体流程如下:

收稿日期:2022-05-05。

第一作者:欧阳智(1994—),男,工程师;主要从事新能源汽车整车控制策略开发、辅助驾驶控制策略开发工作。E-mail: 1529524599@qq.com。

1) 整车控制器检测钥匙信号,判断车辆是否上电,若车辆上电,则进入后续流程2),否则退出坡道起步辅助控制模式。

2) 整车控制器检测挡位信号,判断车辆是否处于行车挡,若车辆处于行车挡,则进入后续流程3),否则退出坡道起步辅助控制模式。

3) 整车控制器检测驻车信号,判断驻车制动是否有效,若驻车制动无效,则进入后续流程4),否则退出坡道起步辅助控制模式。

4) 整车控制器检测制动踏板信号,判断行车制动是否有效,若行车制动无效,则进入后续流程5),否则退出坡道起步辅助控制模式。

5) 整车控制器检测电机转速信号,当电机转速小于 -3 r/min 时说明车辆已出现后溜,则进入坡道起步辅助模式,否则退出坡道起步辅助控制模式。

6) 进入坡道起步辅助控制模式后,若驾驶员踩下加速踏板且请求扭矩大于坡道平衡扭矩,则车辆退出坡道起步辅助控制模式而平稳起步进入正常行驶状态,否则进入下一步流程7)。

7) 由于驱动电机不能长时间堵转,进入坡道起步辅助控制模式后开始计时,若时间超过 5 s ,则退出坡道起步辅助控制模式而进入驾驶员自控模式。

1.3 扭矩控制策略

进入坡道起步辅助模式后,需要快速、平稳地将电机转速控制为 0 r/min ,使驱动电机维持堵转状态,从而防止车辆后溜。文献[8]借助加速度采集芯片获得车辆前进方向加速度,并通过车辆纵向动力学方程计算道路坡道角度^[9],根据坡道角度估算初始电机扭矩。本文针对无传感器情形,设计双闭环PI控制器(比例积分控制器),自适应调节坡道起步辅助扭矩,实现既精准又快速的控制,扭矩控制框图如图2所示。

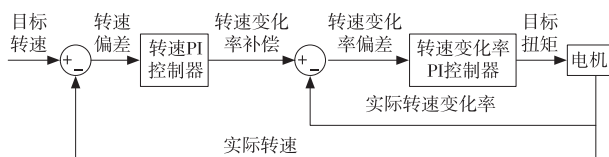


图2 扭矩控制框图

将目标转速设置为 0 r/min ,把目标转速与实际

转速的差值作为转速PI控制器的输入,闭环控制输出转速变化率补偿。通过转速PI控制器可以实现转速变化率补偿动态跟随实际转速与目标转速的偏差而变化。在无驾驶员干预的情形下,坡度越大时,车辆后溜越快;车重越大时,车辆后溜越快^[10]。因此,可以根据电机转速变化率通过查表获得对应转速PI控制器的 K_p (比例)、 K_i (积分)参数,电机转速变化率较大时使用较大的 K_p 、 K_i 参数,加快系统响应速度;电机转速变化率较小时使用较小的 K_p 、 K_i 参数,提高系统响应稳定性。对于双闭环PI控制器整体而言,转速PI控制器实现了目标转速逼近实际转速的快慢可调节。

把转速PI控制器输出的转速变化率补偿与实际转速变化率的差值作为转速变化率PI控制器的输入,而其输出为目标扭矩。通过转速变化率PI控制器可以将当前系统存在的转速变化率偏差转换为目标扭矩。由于上一级转速PI控制器已经考虑了坡度、车重对系统的影响,所以转速变化率PI控制器的 K_p 、 K_i 参数使用常数即可。本文通过反复测试,发现 K_p 取 3.2 、 K_i 取 0.8 有较好的控制效果。

2 实车测试

为验证该系统的效果,选取一辆 10 m 纯电动客车,在 10% 的坡道上进行测试验证。踩下制动踏板使车辆停稳,随后迅速松开制动踏板,观察是否触发坡道起步辅助功能、车辆是否稳定驻坡。

实车测试结果如图3和图4所示。松开制动踏板后车辆开始后溜,大约在 0.3 s 时电机转速达到 -3 r/min ,此时系统触发坡道起步辅助控制模式,并控制驱动电机正转输出目标扭矩(平衡扭矩),大约在 2.1 s 时车辆稳定地停在坡道上。通过测量得到此时的后溜距离约为 16 cm 。

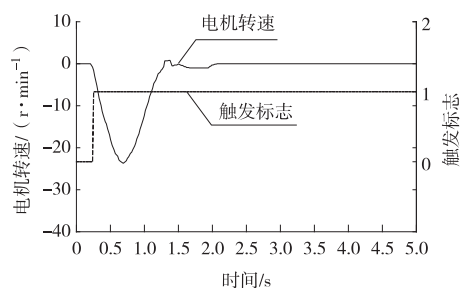


图3 电机转速、触发标志图

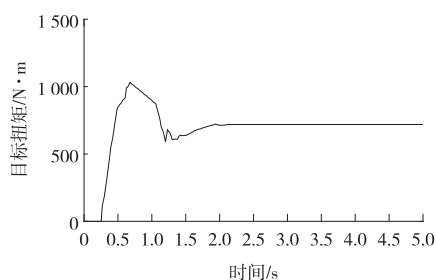


图4 目标扭矩图

3 结束语

本文在不增加传感器和执行机构的前提下,判断坡道起步辅助介入的时机,通过双闭环 PI 控制器控制电机输出驱动扭矩,使车辆在坡道上迅速达到平衡状态,在可接受的溜坡距离内实现了坡道起步辅助功能。

参考文献:

- [1] 郭立书,施正堂,张正兵,等. 电子驻车制动系统[J]. 农业机械学报,2008,39(12):31-33.
- [2] 王洪亮,张庆渴,谷文豪,等. 基于 PID 控制的坡道起步控制仿真与试验研究[J]. 汽车工程,2017,39(4):480-485.
- [3] 黄其,薛利昆,罗玲,等. 电动汽车整车控制器设计及测试[J]. 自动化与仪表,2019,34(3):14-18.
- [4] 崔海峰,刘昭度,王国业,等. 基于扭矩传感器的汽车坡道起步辅助系统[J]. 仪器仪表学报,2006,27(10):1191-1193.
- [5] 胡建军,杜瑞,吉毅. 纯电动汽车起步控制策略[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2013(8):19-25.
- [6] 莫旭辉,朱园园,杨辉. 电动汽车坡道起步电机转速控制研究[J]. 计算机仿真,2018,35(4):107-111.
- [7] 葛安林,雷雨龙,高义峰,等. 电控机械式自动变速器车辆上坡起步控制研究[J]. 汽车工程,1998(3):150-155.
- [8] 徐小兵,鲁振辉,窦本岗,等. 纯电动客车坡道起步辅助电机扭矩控制算法研究[J]. 客车技术与研究,2020,42(6):8-10.
- [9] 金辉,葛安林,秦贵和,等. 基于纵向动力学的坡道识别方法研究[J]. 机械工程学报,2002,38(1):79-82.
- [10] 王洪亮,赵熙俊,刘海鸥. 重型汽车 AMT 电控气动坡起辅助[J]. 山东大学学报(工学版),2009,39(5):79-83.
- [7] 王子平. 串联锂离子电池组的主动均衡控制研究[J]. 中小企业管理与科技,2015(8):313-314.
- [8] 夏小东. 带有升降压变换器的飞渡电容式电池组均衡技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2011.
- [9] 席裕庚,李德伟,林姝. 模型预测控制—现状与挑战[J]. 自动化学报,2013,39(3):222-236.
- [10] 邵玉龙. 电动汽车 BMS 关键技术研究及硬件在环测试系统构建[D]. 长春:吉林大学,2018.
- [11] 陈虹. 模型预测控制[M]. 北京:科学出版社,2013:6-7.
- [12] 谢承义. 数学建模中线性规划与目标规划的比较[J]. 科技创业月刊,2011,24(16):128-130.
- [13] 郭志军. 线性规划模型的建立及 Mathematica 求解[J]. 长沙大学学报,2010,24(5):17-19.
- [14] 曾梅清,田大纲. 线性规划问题的算法综述[J]. 科学技术与工程,2010,10(1):152-159.
- [15] 盛仲飙. 基于 Matlab 的线性规划问题求解[J]. 计算机与数字工程,2012,40(10):26-27.
- [16] 孙忠潇. Simulink 仿真及代码生成技术入门到精通[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2015:116.

(上接第 11 页)