

基于模糊控制理论的纯电动汽车制动系统^{*}

郑颖¹ 郑显锋² 张旺¹ 王泽箫¹ 雷仁波¹

(1. 西安航空学院 西安 710065; 2. 西安航天计量测试研究所 西安 710100)

摘要:对纯电动汽车制动系统原理及模糊控制理论分析研究后,通过设计模糊控制器,在 ADVISOR2002 原有反馈制动系统模型基础上,依据模糊控制原理,建立制动系统模糊控制模型,对纯电动汽车的反馈制动控制模块进行优化。在 ADVISOR2002 的仿真环境下,经过整车模拟仿真,对所建立的模型进行验证。通过仿真软件在几种典型循环工况下模拟仿真,验证了模型的可行性,并且显示模糊控制模型更具优越性,有效提高了纯电动汽车的能量回收效率,延长了汽车的续航里程,体现模糊控制模型的实用性和经济性。

关键词:纯电动汽车;反馈制动;模糊控制;ADVISOR

中图分类号: U469.72 TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.99

Braking system of pure electric vehicle based on fuzzy control theory

Zheng Ying¹ Zheng Xianfeng² Zhang Wang¹ WANG Zexiao¹ Lei Renbo¹

(1. Xi'an Aeronautical University, Xi'an 710165, China;

2. Measuring And Testing Institute, Xi'an Aerospace Corporation, Xi'an 710100, China)

Abstract: The electric vehicle braking system and fuzzy control principle of theoretical analysis, through the design of fuzzy controller, in the original ADVISOR2002 feedback braking system model based on the basis of the principle of fuzzy control, a fuzzy control model of braking system, pure electric vehicle braking feedback control module optimization. In the simulation environment of ADVISOR2002, the model is validated by vehicle simulation. In the simulation of several typical cycle conditions through the simulation software to verify the feasibility of the model, and show the superiority of the fuzzy control model, effectively improve the energy recovery efficiency of pure electric vehicles, extending vehicle mileage, embodies the practicality and economy of fuzzy control model.

Keywords: pure electric cars; feedback braking; fuzzy control; ADVISOR

0 引言

随着纯电动汽车技术的不断发展,纯电动汽车也在安全性能上也提出了更高的要求,在保证制动效率的前提下,又可以有效的回收在制动过程中产生的能量,进而提高汽车的续航里程。目前,纯电动汽车的制动系统主要采用传统制动系统和反馈制动系统相结合的制动方式,可以满足人们对于纯电动汽车制动系统的节能性及安全性的要求^[1]。

纯电动汽车的反馈制动系统的优劣决定了汽车在制动过程中回收制动能量多少的能力。在 ADVISOR2002 反馈制动模块中,仅将车速作为纯电动汽车制动过程中的

影响因素,根据车速对反馈制动系统进行制动力分配。因此,其制动力分配比例固定,不可改变,是一种静态控制策略。但由于车速在不断变化,单一考虑车速因素,具有不科学性,而且也不能较高效率的回收制动能量^[2]。

本文针对原有模型控制简单,回收效率低等缺点,对 ADVISOR2002 仿真软件中的能量回收系统再研究,提出基于模糊控制理论的制动力分配模型,实现更高的制动能量回收效率。

1 基于模糊控制理论的模糊控制器

1.1 模糊控制基本理论

模糊控制是模糊逻辑在控制领域中的应用,是一种智

收稿日期:2017-07

^{*} 基金项目:陕西省科技攻关项目(2015GY053)资助

能控制理论。在传统的控制领域里,影响控制优劣的关键与控制系统的动态模式的精确与否有关。系统动态的信息越详细,控制的精确度也就越高。但对于复杂的汽车制动系统来说,由于变量太多,无法对多个变量建立精确的数学模型,难以建立方程准确地描述系统的动态过程^[3]。对于一些太过繁杂或很难准确描述的系统,传统控制思想无法解决。模糊控制适用于数学模型未知,复杂的非线性系统的控制。由于汽车在制动过程中存在多个变量,无法准确建立相关数学模型,因此采用模糊控制的方法对整个制动过程进行控制。其模糊控制系统结构的组成如图1所示。

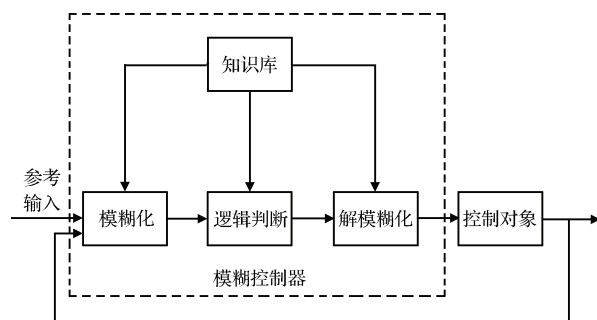


图1 模糊控制系统结构

模糊控制器主要由模糊化、逻辑判断、知识库及解模糊化4个方面组成。模糊化是指将输入量的准确值变换成相对应的模糊语言变量值,并用隶属函数来定量描述模糊概念。知识库包含了专家关于如何实现控制目标的知识,主要由数据库和规则库组成。其中,数据库存储所有语言变量的隶属函数、尺度变换因子和模糊空间的分级数等,而规则库则包含一系列用“IF-THEN”形式描述的控制规则。逻辑判断是利用知识库的信息模拟人基于模糊概念的推理能力,得到合适的控制量,是模糊控制器的核心^[4]。

1.2 制动力模糊控制模型的建立

本文设计的控制策略主要是依据模糊逻辑控制理论计算所需制动力及制动力的分配比例。实现控制策略的模糊化是由于汽车在行驶的过程中运行工况较为复杂,具有高度非线性及随着时间不断变化的特性。使用模糊控制规则,通过一种模糊控制器 FLC 来实现控制策略^[5-6]。

首先建立反馈制动系统的模糊控制结构图,如图2所示。

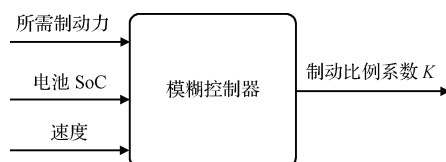


图2 反馈制动模糊控制结构

模糊控制器的输入信号有:所需制动力、电池 SoC 及

速度,输出为反馈制动力分配比例 K 。其中输入两两互为一组输入,输出制动比例系数 K 。即输入可为所需制动力和电池 SoC、所需制动力和速度以及电池 SoC 和速度,各组对应输出为制动力比例系数 K 。

由于模糊控制理论,本身就具有模糊性,需要建立隶属度函数用于评估所建立的模糊控制策略是否可行^[7-9]。各输入、输出参数模糊集如表1所示。

表1 各输入、输出参数模糊集

输入输出变量	模糊子集
速度	很低(NL)、低(L)、中(M)、高(H)、很高(NH)
所需制动力	很低(NL)、低(L)、中(M)、高(H)、很高(NH)
电池 SoC	很低(NL)、低(L)、中(M)、高(H)、很高(NH)
反馈制动比例系数 K	很低(LL)、低(L)、中低(ML)、中(M)、中高(MH)、高(H)、很高(HH)

隶属度函数是在建立模糊控制器时,所使用到的控制函数。主要包括三角形函数、梯形函数、高斯函数等^[10],各变量范围在 $[0, 1]$ 之间,供建立模糊控制器使用。本文建立的隶属度函数,其输入、输出参数的函数如图3~6所示。

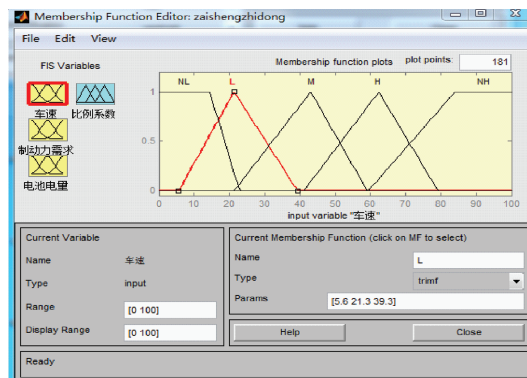


图3 车速隶属度函数

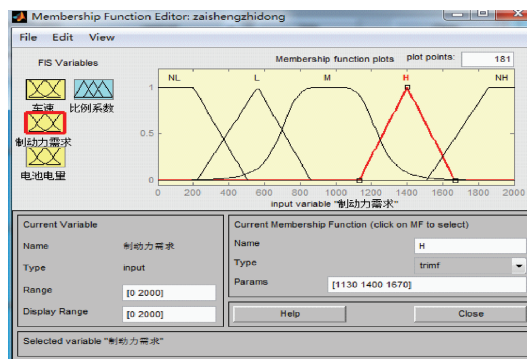


图4 制动力需求隶属度函数

三角函数变化较大,具有灵敏度高的特点,控制灵敏性较好,梯形函数较为稳定,一般常和三角函数联合使用,

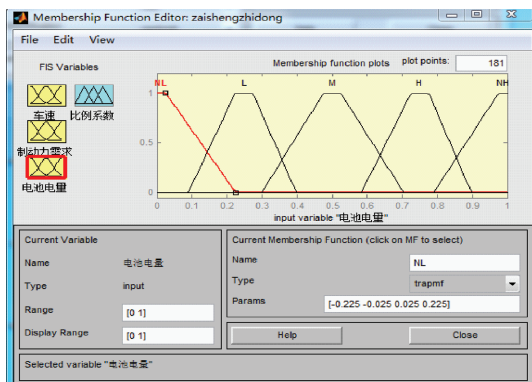


图5 电池 SoC 隶属度函数

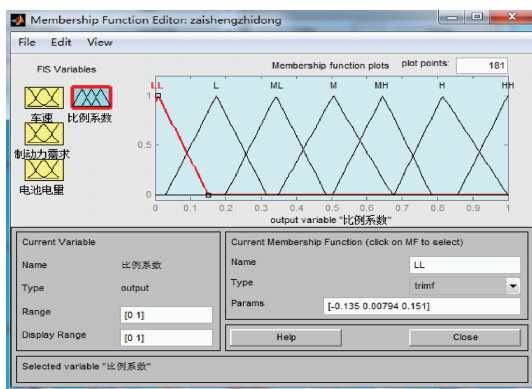


图6 制动力比例系数隶属度函数

提高函数控制效果^[11]。由于车速变化较快,需要灵敏度较高的函数进行控制,但三角函数控制具有不稳定性,故结合梯形函数共同构建车速隶属度函数。制动力需求隶属度函数同样采用三角函数和梯形函数相结合的方式实现控制。对于蓄电池,需要给汽车提供稳定能量,电量变化幅度不会太大,因此采用梯形函数效果最佳^[12]。

通过模糊规则,可以得到纯电动汽车制动力需求、电池 SoC、车速及制动力比例系数 K 的相互关系如图 7~9 所示。

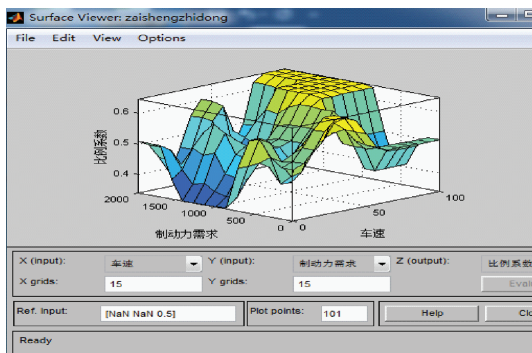


图7 制动力需求、车速与比例系数关系

由图 7 可以看出,在车速为 0 时,制动力比例系数也为 0,此时只有机械制动,反馈制动不参与制动。随着车

速的上升,制动力需求增大,制动力比例系数也在不断上升。车速接近 100 km/h 时,当需要较大制动力是,再生制动力比例系数在 60% 以上,可有效回收制动过程产生能量,增加汽车的续航里程。

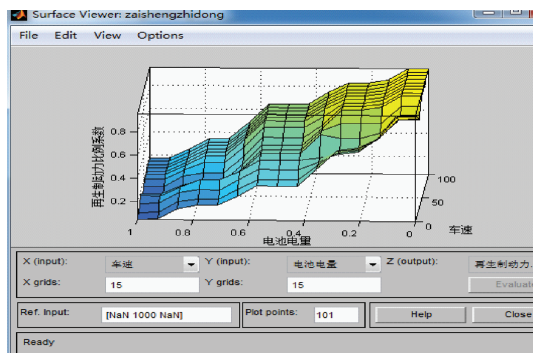


图8 电池电量、车速与比例系数关系

图 8 清楚显示电池电量、车速与比例系数之间的关系。随着车速的攀升,行驶距离的增加,电池电量不断减少,但制动力比例系数迅速增加。此时,制动力主要由反馈制动提供,机械制动力占有比例较少。

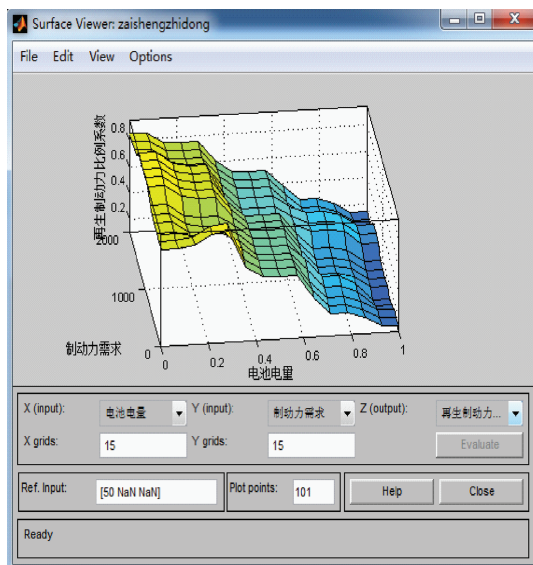


图9 制动力需求、电池电量与制动比例系数关系

图 9 显示,随着反馈制动对电池充电,电池电量的增加,制动力比例系数会逐渐的降低。此时,汽车在进行制动时,主要采用机械制动的方式,反馈制动所占比例较少。

1.3 模糊控制模型建立

本文采用前后仿真混合的方式,对建立的控制策略进行仿真,分析控制策略的可行性^[13-14]。

由上文制定的模糊反馈制动控制策略,在原有模块基础上建立新的反馈制动控制模块^[15]。并且建立后向路径制动控制模块和前向路径制动控制模块如图 10~11 所示。

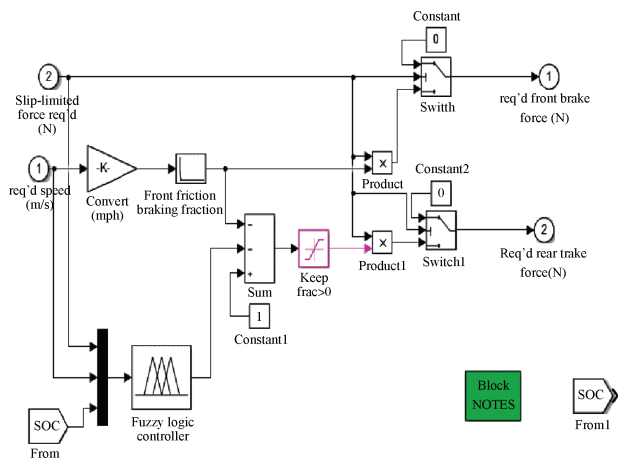


图10 后向模糊控制制动力分配模型

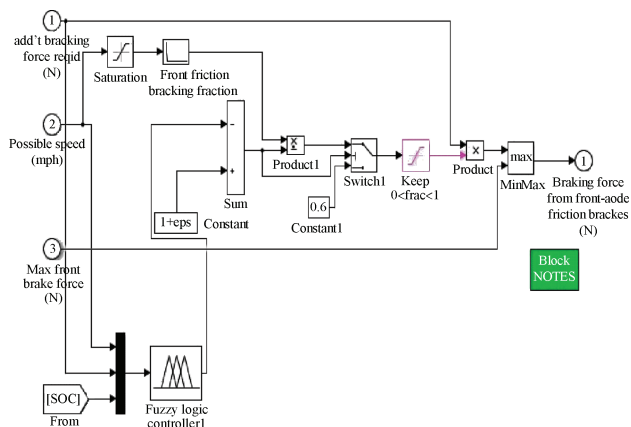


图11 前向模糊控制制动力分配模型

2 基于 ADVISOR2002 软件仿真结果及分析

2.1 本文模糊控制策略仿真分析

本文中提到的模糊控制策略,选取 ECE-EUDC 为循环工况,从而说明本文建立的模糊控制策略的可行性。

ECE-EUDC 循环工况仿真结果如图 12~14 所示。

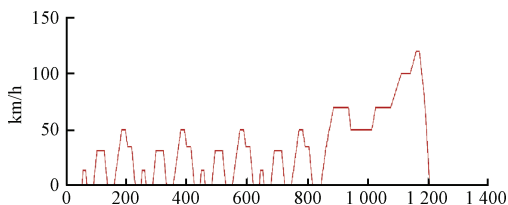


图12 纯电动汽车速度曲线

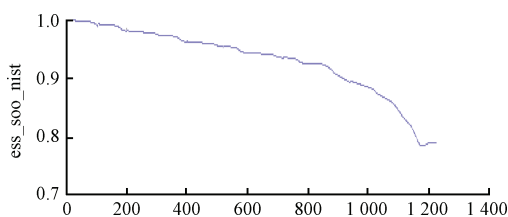


图13 蓄电池 SoC 值曲线

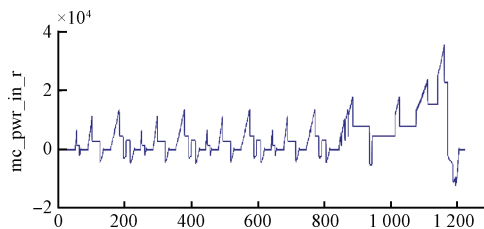


图14 电机功率曲线

由以上仿真结果可得,在 ECE-EDUC 循环工况下,一个循环工况纯电动汽车行驶了 10.9 km,蓄电池 SoC 值下降了 0.209 7。图 14 中,电机功率有负值,表示电机在进行反馈制动。电机处于发电工况,实现能量的再生。进而验证了本文模糊控制策略的可行性。

2.2 3 种不同循环工况仿真分析

在循环工况的选择上,本文选取 NEDC、UDDS 及 FTP 3 种循环工况,分别使用 ADVISOR 原有制动控制模型与本文建立的模糊控制模型进行仿真。

本文以上述 3 种循环工况为仿真环境,分别对本文提出的控制策略与 ADVISOR 中原有控制策略进行仿真对比。仿真结果如表 2 所示。

表2 不同循环工况下续驶里程对比表

工况	NEDC	UDDS
ADVISOR 中策略	47.6	48.3
本文模糊策略	49.2	50.6

由表 2 可以看出,纯电动汽车的最大行驶距离在两种模型下的仿真结果有所不同。本文提出的模糊控制策略在以上 3 种工况中最大续驶里程都要大于 ADVISOR 中原有的控制策略,显示出本文策略的优越性。

蓄电池 SoC 值是用来说明电池可用容量的大小,蓄电池 SoC 的值等于电池剩余容量与总容量的比值。电池的电量使用情况可以用 SoC 值表示,在上述 3 种循环工况下分别对本文控制策略及 ADVISOR 中原有的控制策略进行仿真得到的结果如图 15~16 所示。

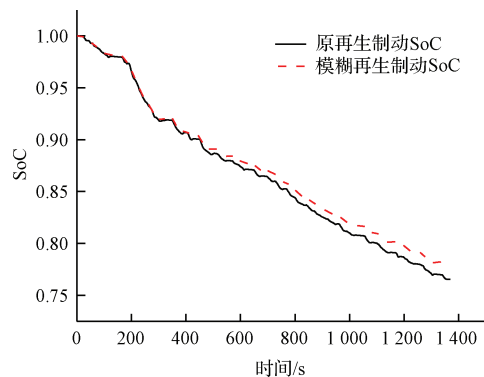


图15 UDDS 循环工况下电池 SoC 值变化曲线

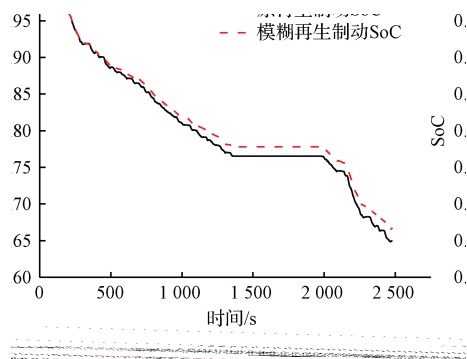


图 16 FTP 循环工况下电池 SoC 值变化曲线

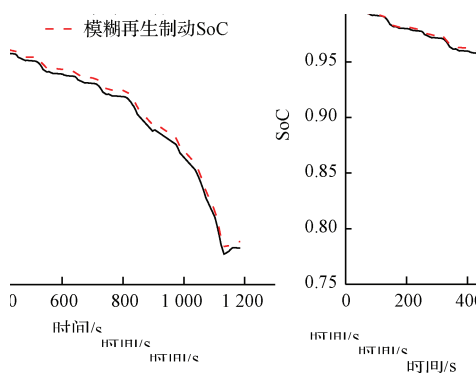


图 17 NEDC 循环工况下电池 SoC 值变化曲线

以上,是对文中提到的 3 种循环工况下电池 SoC 值变化曲线的仿真结果。可以看到,在相同的循环工况下,不同的控制策略对电池 SoC 值变化是不同的。图中曲线显示,本文模糊控制策略的电池 SoC 值曲线在 ADVISOR 原有控制策略电池 SoC 值曲线的上方。可以说明,在本文提出的模糊控制策略下,纯电动汽车在行驶时,电池的电量消耗较慢,能量回收率较高。同时,也说明了本文控制策略的可行性。

3 结 论

对纯电动汽车反馈制动系统模型进行优化,实现更高的回收效率。选取 ECE-EDUC 循环工况进行仿真,仿真结果证明模糊控制策略的可行性,再分别将制动力模糊控制模型与原有制动力控制模型在 NEDC、UDDS 及 FTP 3 种循环工况下对比仿真,验证本文模糊控制策略的优越性。通过建立模糊控制策略,提高了汽车制动过程中的能

量回收效率,有效延长了汽车的续航里程,对反馈制动系统的能量回收具有重要意义。

参 考 文 献

- [1] 王望予. 汽车设计[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [2] 曹秉刚,张传伟,白志峰,等. 电动汽车技术进展和发展趋势[J]. 西安交通大学学报,2004,38(1):1-5.
- [3] 王旭. 电储能式再生制动系统试验方法的研究[D]. 镇江:江苏大学,2009.
- [4] 张培斌. 电动汽车再生制动控制的研究与仿真[D]. 武汉:武汉理工大学,2006.
- [5] 文志. 纯电动汽车行驶策略及能量管理仿真研究[D]. 西安:长安大学,2014.
- [6] 徐辰,李伟绩. 新能源汽车分类[J]. 国外电子测量技术,2017,36(5):1-3.
- [7] 张耀举,龚洪,范鹏. 制动力分配优化设计研究[J]. 汽车科技,2010(6):33-37.
- [8] 刘超,丁亚林,田大鹏,等. 航空相机像旋补偿双向控制中的内环补偿器设计[J]. 仪器仪表学报,2017,38(1):120-128.
- [9] 王永宽,钱立军,牛礼民. 插电式混合动力汽车双模糊控制策略及其优化[J]. 电子测量与仪器学报,2016,30(2):209-217.
- [10] 姚占辉. 汽车防抱死制动系统控制方法分析与仿真研究[D]. 西安:长安大学,2009.
- [11] 郑颖,郑显锋,弋驰. 基于 ANSYS 软件的 FSAE 赛车发动机进气系统设计[J]. 国外电子测量技术,2017,36(7):82-85.
- [12] 李竟成. 电动汽车驱动控制与再生制动研究[D]. 西安:西安交通大学,2003.
- [13] 余志生. 汽车理论[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [14] 陈斌. 纯电动汽车再生制动研究[D]. 重庆:重庆大学,2011.
- [15] 李健. 电动汽车双馈级联驱动再生制动控制系统仿真[D]. 沈阳:沈阳工业大学,2012.

作 者 简 介

郑颖,工学硕士,讲师,主要研究车辆安全及新能源汽车等。

E-mail:zhengying19841986@163.com