

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2015.06.006

混联式混合动力客车逻辑控制策略研究

黄鼎键^{1,2}, 钟勇¹

(1. 福建工程学院 机械与汽车工程学院, 福建 福州 350118; 2. 福州大学 机械工程及自动化学院, 福建 福州 350116)

摘要: 混合动力客车的控制策略决定整车的性能。分析某混联式混合动力客车的组成结构和基于逻辑控制的控制策略, 建立相应的混联式混合动力客车仿真模型及其控制器, 通过 AVL/CRUISE 和 MATLAB/Simulink 联合仿真分析, 获得该车在中国典型城市公交工况下的动力性和百公里油耗。仿真结果表明, 各主要部件能按照控制规则实现状态的合理切换, 基于逻辑控制的控制策略能满足整车性能指标要求。

关键词: 混联式混合动力客车; 逻辑控制; 控制策略

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2015)06-0541-05

Research on logic control strategy for a series-parallel hybrid electric bus

Huang Dingjian^{1,2}, Zhong Yong¹

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. School of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China)

Abstract: The control strategy of hybrid electric bus decides the performance of the whole electric bus. In this paper, the structure and logic control based control strategy of a series-parallel hybrid electric bus were analysed. The corresponding simulation model and controller of the bus were developed. With co-simulation of AVL/CRUISE and MATLAB/Simulink, dynamic characteristics and the fuel consumption per 100km of the bus were obtained under the typical Chinese city traffic condition. The simulation results indicate that the primary parts can realize proper switch in different states, that the control strategy based on logic control can satisfy the performance requests of the whole vehicle.

Keywords: series-parallel hybrid electric bus (SPHEB); logic control; control strategy

传统公交车已越来越不适应城市拥挤路况、严格的能耗要求。混联式混合动力客车 (series-parallel hybrid electric bus SPHEB) 综合了串联式和并联式混合动力客车的优点, 配合控制策略使发动机、驱动电机、发电机相互协调, 保证了在复杂城市交通工况下, 系统处于最优状态工作, 且在制动过程中可有效回收制动能量, 降低了整车总

体能耗, 故混联式混合动力客车能适应城市路况所导致车辆怠速、制动、启停比例高的情况^[1-2]。由于混联式混合动力客车结构上的复杂导致其控制策略也相对复杂, 本文运用逻辑控制方法在 MATLAB 中搭建控制策略模型, 并结合 AVL/CRUISE 实现混联式混合动力客车的联合仿真, 完成了混联式混合动力客车控制策略的研究。

收稿日期: 2015-11-09

基金项目: 福建省教育厅教育科研项目(JA15346); 福建省汽车电子与电驱动技术重点实验室开放基金项目(ZD-KB1302)

第一作者简介: 黄鼎键(1982 -), 男, 福建福州人, 讲师, 博士研究生, 研究方向: 新能源汽车、车辆动力学、系统仿真。

1 SPHEB 结构及参数

1.1 SPHEB 结构及工作原理

该混联式混合动力客车主要由柴油发动机、自动离合器、驱动电机、发电机、超级电容、控制器等组成,如图 1 所示。控制器通过实时信号的采集、逻辑判断,按规则控制柴油机、发电机、驱动电机、自动离合器等,可实现驱动电机单独驱动、柴油机和驱动电机联合驱动、柴油机带动发电机给超级电容充电、制动时驱动电机能量回收等工作模式。

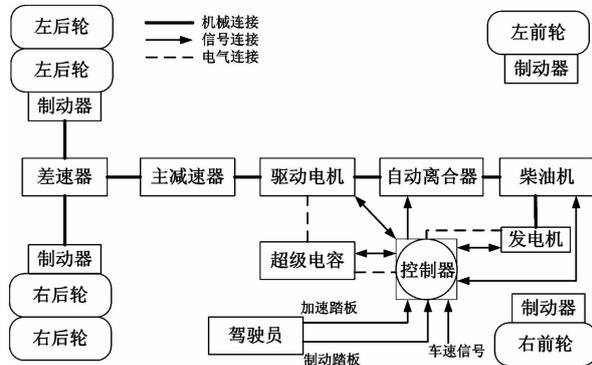


图 1 混联式混合动力客车组成简图

Fig. 1 Schematic of series-parallel hybrid electric bus

1.2 SPHEB 参数及性能要求

该混联式混合动力客车的整备质量和总质量分别是 12 300 kg 和 17 800 kg,轮胎滚动半径是 0.521 m,迎风面积是 7.85 m²;其主要部件参数如表 1 所示。

表 1 混联式混合动力主要部件参数

Tab. 1 Main parameters of SPHEB

部件	参数	数值
电机	额定电压/V	340
	额定转速/(r · min ⁻¹)	800
	最高转速/(r · min ⁻¹)	2 500
	额定扭矩/(N · m)	776
	额定功率/kW	65
6 缸柴油机	额定扭矩/(N · m)	750
	额定功率/kW	151
主减速器	传动比	6.2
单体超级电容	容量/F	165
	额定电压/V	48
	额定功率/kW	20
发电机	额定电压/V	290
	最高转速/(r · min ⁻¹)	2 500

车辆动力性和经济性指标如表 2 所示。

表 2 动力性和经济性指标

Tab. 2 Dynamic and economic indicators

性能指标	数值
最高车速/(km · h ⁻¹)	≥76
最大爬坡度/%	≥13.8
0 ~ 60 km/h 起步加速时间/s	≤22.3
典型工况百公里油耗/L	≤18

2 控制策略分析与实现

混合动力系统参数匹配完成后,车辆燃油经济性和动力性主要取决于控制策略的优劣^[3-4]。利用 Matlab/Simulink 按该车的控制策略建立控制器,控制器按其逻辑规则和实时获取的汽车以及各部件的运行状况,实现对自动离合器、驱动电机、发电机、发电机等的控制。

自动离合器的控制目的是实现驱动电机单独驱动和发动机-驱动电机联合驱动工作模式的切换^[5];控制过程所需要的参数是汽车速度,其规则是当车速小于 22 km/h 时,自动离合器分离,此时实现驱动电机单独驱动模式;当车速大于等于 22 km/h 时,自动离合器结合,此时实现发动机-驱动电机联合驱动模式,其控制规则如图 2 所示。

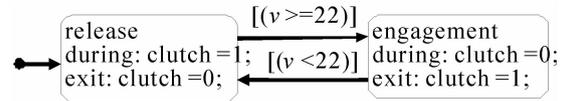


图 2 离合器控制规则图

Fig. 2 Control rule of clutch

驱动电机的控制目的是实现驱动电机功能切换;控制过程所需要的参数是汽车速度和驾驶员制动踏板信号,其规则是当车速小于 22 km/h,且驾驶员没有制动时,实现驱动电机单独驱动状态,驾驶员加速踏板单独控制驱动电机;当车速大于等于 22 km/h,且驾驶员没有制动时,驱动电机处于电助力状态,此时汽车主要由发动机驱动,驾驶员加速踏板控制发动机,而驱动电机根据车速和加速踏板信号进行控制进行助力驱动;当车速大于 0.1 km/h,且驾驶员有制动时,实现驱动电机制动能量回收状态,其控制规则如图 3 所示。

发动机和发电机的控制目的是实现 4 种状态组合的切换:发动机怠速和发电机不发电状态

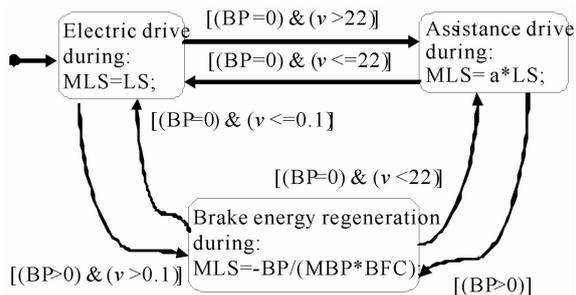


图 3 驱动电机控制规则图

Fig. 3 Control rules of drive motor

(Idle & NG); 发动机驱动和发电机不发电状态 (Drive & NG); 发动机怠速和发电机发电状态 (Idle & G); 发动机驱动和发电机发电状态 (Drive & G)。控制过程所需要的参数是汽车车速、超级电容电压, 其控制规则如图 4 所示。

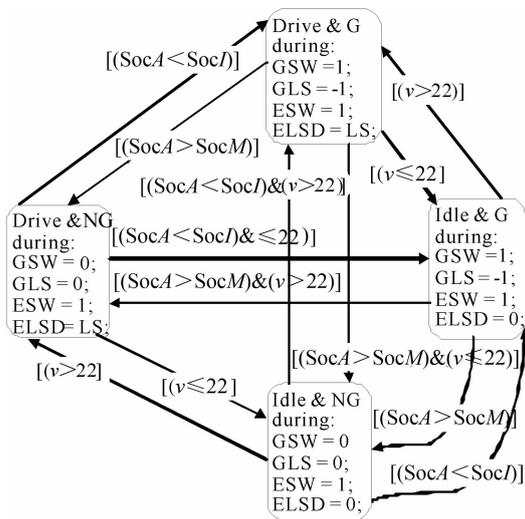


图 4 发动机/发电机控制规则图

Fig. 4 Control rules of engine/generator

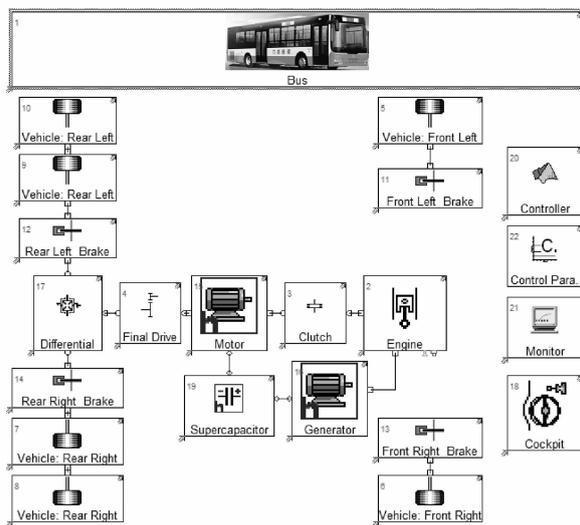
按上述规则在 MATLAB/Simulink 中建立了多输入多输出的动力系统控制器, 转换成 DLL 文件后, 供 AVL/CRUISE 的控制器模块调用, 实现 MATLAB 与 CRUISE 联合仿真。

3 系统仿真分析

3.1 整车建模

利用模块化建模理论, 根据图 1 混联式混合动力客车 (SPHEB) 整车结构、机械和电气连接关系, 迅速搭建整车模型; 再按表 1 各部件参数设置

各模块的参数, 最终在 CRUISE 中完成混联式混合动力客车仿真模型 (如图 5)。



1. 整车模块 2. 发动机 3. 离合器 4. 主减速器 5-10. 车轮 11-14. 制动器 15. 电机 16. 发电机 17. 差速器 18. 驾驶员模块 19. 超级电容 20. 控制器 21. 观测器 22. 常数模块

图 5 混联式混合动力客车仿真模型

Fig. 5 The simulation model of SPHEB

3.2 循环工况的选取及任务设置

该混联式混合动力客车作为公交车主要在城市道路中行驶, 车辆平均行驶速度低, 由于站点、等候红绿灯等因素, 频繁启停^[6]。故采用中国典型城市公交工况, 如图 6 所示。

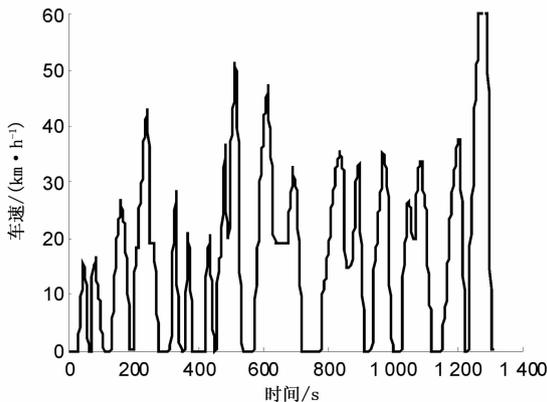


图 6 中国典型城市公交工况

Fig. 6 The typical Chinese city traffic condition

除了计算循环工况下百公里油耗外, 还进行最高车速、最大爬坡度、0 ~ 60 km/h 起步加速等动力性仿真计算, 以对比其动力性是否满足要求。

3.3 仿真结果及分析

利用上述的整车模型,完成机械、电气及信号的连接,在中国典型城市公交工况下,完成了仿真,获得离合器状态、发动机 LS、驱动电机扭矩与车速时间历程曲线如图 7~9 所示。图 7 为离合器状态与车速时间历程曲线,可以观察到离合器状态随着车速的变化,按照规则实现接合和分离,以控制发动机参与驱动与否。图 8 为发动机 LS 与车速时间历程曲线,可以观察到发动机参与驱动的时间。图 9 为驱动电机扭矩与车速时间历程曲线,可以观察到当车速处于减速状态时,驱动电机处于负转矩状态,即转变成发电机,为超级电容充电,实现制动能回收。

按给定的整车参数和控制策略,获得最高车速、最大爬坡度、0~60 km/h 起步加速性能、中国

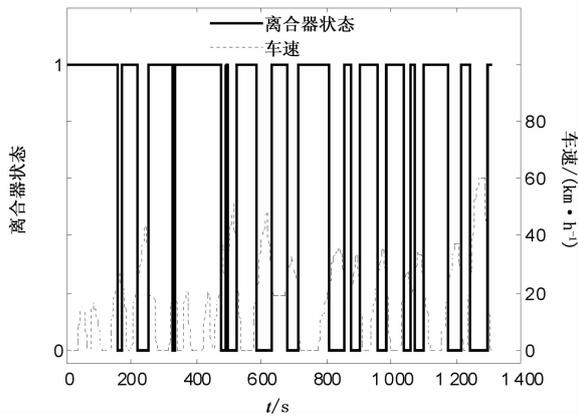


图 7 离合器状态随车速变化曲线图

Fig. 7 Clutch state vs vehicle velocity

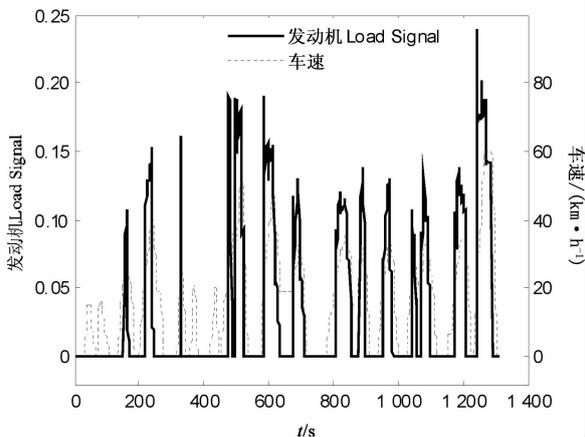


图 8 发动机 LS 随车速变化曲线图

Fig. 8 LS of engine vs vehicle velocity

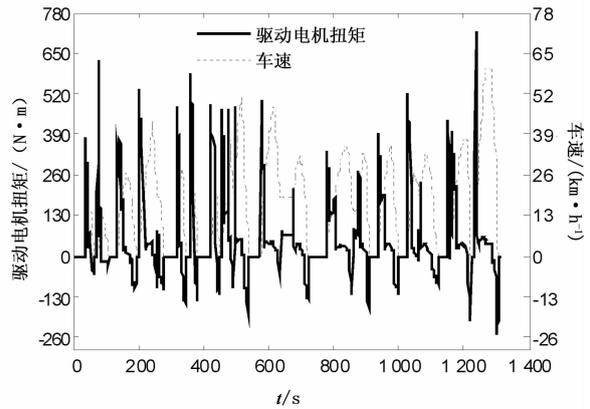


图 9 驱动电机扭矩随车速变化曲线图

Fig. 9 Drive motor torque vs vehicle velocity

典型城市公交工况百公里油耗等仿真结果,并与指标要求对比,判定是否达标,如表 3 所示。

表 3 仿真结果

Tab. 3 Simulation results

项目	仿真结果	是否达标
最高车速/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	79	是
最大爬坡度/%	15	是
0~60 km/h 起步加速时间/s	19.8	是
典型工况百公里油耗/L	17.43	是

4 结论

以混联式混合动力客车(SPHEB)为研究对象,针对其控制策略是否能实现整车协调控制以及满足性能要求,根据其结构和工作原理,在 CRUISE 中搭建整车仿真模型,并依据控制策略应用 MATLAB 建立控制器,通过联合仿真分析了该车在中国典型城市公交工况下油耗情况及其他动力性。根据仿真结果可知,该控制策略能满足整车控制及性能要求,应用 MATLAB 建立控制策略的方法也是切实可行的;此方法可以用于混联式混合动力客车开发,也可以用于其他新能源汽车,同时为后续改善控制策略,进一步提高整车燃油经济性和动力性提供了更高效、快捷、经济的途径。

参考文献:

- [1] 李旭海. 混联式混合动力电动客车动力系统设计[D]. 武汉:武汉理工大学,2008.
- [2] 张翔,赵韩,钱立军,等. 混合动力轿车的建模与仿真[J]. 计算机仿真,2005,22(1):233-237.
- [3] Ahn K, Cho S, Cha S W. Optimal operation of the power-split hybrid electric vehicle powertrain[J]. Journal of Automobile Engineering,2008,222(5):789-800.
- [4] 李国斐,林逸,何洪文. ISG混合动力电动汽车控制策略仿真研究[J]. 计算机仿真,2009,26(8):253-257.
- [5] Zhou Y F, Ou S Q, Lian J, et al. Optimization of hybrid electric bus driving system's control strategy [J]. Procedia Engineering,2011(15),240-245.
- [6] Sun D Y, Lin X Y, Qin D T, et al. Power-balancing instantaneous optimization energy management for a novel series-parallel hybrid electric bus[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering,2012,25(6):1161-1170.

(责任编辑:陈雯)

(上接第540页)

参考文献:

- [1] Wang Q, Zhang X, Liu S, et al. Ultrafine full-vulcanized powdered rubbers/PVC compounds with higher toughness and higher heat resistance[J]. Polymer,2005,46(24):10614-10617.
- [2] Wang Q, Zhang X, Dong W, et al. Novel rigid poly(vinyl chloride) ternary nanocomposites containing ultrafine full-vulcanized powdered rubber and untreated nano-sized calcium carbonate[J]. Mater Lett,2007,61(4/5):1174-1177.
- [3] Liu Y, Zhang X, Gao J, et al. Toughening of polypropylene by combined rubber system of ultrafine full-vulcanized powdered rubber and SBS[J]. Polymer,2004,45(1):275-286.
- [4] Zhang M, Liu Y, Zhang X, et al. The effect of elastomeric nano-particles on the mechanical properties and crystallization behavior of polypropylene[J]. Polymer,2002,43(19):5133-5138.
- [5] Saleesung T, Saeoui P, Sirisinha C. Mechanical and thermal properties of thermoplastic elastomer based on low density polyethylene and ultra-fine fully-vulcanized acrylonitrile butadiene rubber powder (UFNBRP)[J]. Polym Test,2010,29(8):977-983.
- [6] Wu F, Xie T, Yang G. Properties of toughened poly(butylene terephthalate) by blending with reactive ultra-fine full-vulcanized acrylonitrile butadiene rubber particles (UFNBRP)[J]. Polym Bull,2010,65(7):731-742.
- [7] Abacha N, Fellahi S. Synthesis of PP-g-MAH and evaluation of its effect on the properties of glass fiber reinforced nylon 6/polypropylene blends[J]. Macromol Symp,2002,178(1):131-138.
- [8] Carone Jr E, Kopcak U, Gonçalves M C, et al. In situ compatibilization of polyamide 6/natural rubber blends with maleic anhydride[J]. Polymer,2000,41(15):5929-5935.
- [9] Wongthong P, Nakason C, Pan Q, et al. Styrene-assisted grafting of maleic anhydride onto deproteinized natural rubber [J]. Eur Polym J,2014,59(10):144-155.

(责任编辑:陈雯)