

doi:10.3969/j.issn.1673-3142.2020.05.020

基于硬件在环的整车控制器模型建模及仿真

汪俊杰, 陈凌珊, 盛铭

(201620 上海市 上海工程技术大学 机械与汽车工程学院)

[摘要] 针对新能源汽车控制器开发难的问题, 提出建立整车控制器模型作为被控对象, 并通过硬件在环进行仿真验证。整车控制器模型采用基于逻辑控制法和查表控制法以及 PI 控制策略, 用 MATLAB/Simulink 来实现各个汽车模块的建模。为了验证模型精度, 选择某一城市公交车为例, 模拟实车工况, 仿真结果表明: 整车控制模型仿真数据与实车测试数据有较高的吻合性, 符合新能源汽车标准, 能够帮助整车控制器在开发过程中逻辑功能的验证, 缩短开发周期。

[关键词] 整车; 控制器; 模型; 硬件在环; 仿真; 实车工况

[中图分类号] U469.7 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-3142(2020)05-0092-04

Modeling and Simulation of Vehicle Controller Model Based on HIL

Wang Junjie, Chen Lingshan, Sheng Ming

(College of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

[Abstract] Aiming at the difficulty and problem of VCU development of vehicle controller, the model of the whole vehicle controller is proposed as the controlled object, and simulation verification is carried out through the hardware in the loop. The vehicle controller model adopts logic control method, table lookup control method and PI control strategy, and uses MATLAB/Simulink to realize modeling of each vehicle module. In order to verify the accuracy of the model, an electric bus is selected as an example and the real vehicle condition is taken as the input. The simulation results show that the simulation data of the whole vehicle control model has a high coincidence with the real vehicle test data, which conforms to the new energy vehicle standard, and can help verify logic function of the whole vehicle controller in the development process and shorten the development cycle.

[Key words] vehicle; controller; model; hardware in the loop; simulation; real car condition

0 引言

整车控制器 (Vehicle Control Unit, VCU) 作为汽车大脑是整车开发必不可少的环节。提高开发效率, 减少开发错误, 整车控制器模型是前端开发最有效的验证工具。如何进行整车模型建模, 提高整车模型的有效性和精度是新能源汽车整车开发中一个亟待解决的关键问题。

国内外学者针对整车模型建模开展了一系列的研究。J.T.Pukrushpan^[1] 等通过理论分析和整车构造利用逻辑原理控制建模, 设计了整车动力系统仿真模型。胡鹏^[2] 等选取了一定功率的燃料电池系统作为仿真对象, 通过集中参数法控制动态系统。李志坚^[3] 等研究了基于模糊控制的复合电源电动汽车建模, 从模糊控制角度给电池建模, 并选取 NEDC 工况进行分析。

总结来看, 国内外对于整车模型建模的研究

多集中在某一模块上, 虽然建模方式各有不同, 但为了实现各自功能都做出了一定的研究。整车控制模型作为整车控制单元开发的必要仿真模型, 其模型是根据整车需求而建, 一般是一车一个模型。而整车控制器模型相对于 VCU 既是被控对象, 又是一个输入, 所以很大程度上模型只需要实现需求信号匹配, 完成整车中各种传感器的动作, 实现信号转化。同时, 整车控制器模型的建模又要有一定的精度, 不仅要实现简单的性能通信, 而且还要实现一些不同变量的精确计算。所以, 本文所建模型通过逻辑控制算法和查表控制法以及 PI 控制^[4] 来实现模型功能, 并且通过硬件在环 (Hardware-in-the-loop, HIL) 系统来验证模型的性能, 同时, 进行 NEDC 工况和中国典型城市公交循环工况测试来验证模型的性能符合新能源汽车标准, 最后以实车采集油门信号和制动信号作为输入。仿真结果表明, 仿真参数与

收稿日期: 2019-04-21 修回日期: 2019-05-05

实际参数有着较高的吻合度, 整车控制器模型合理、有效、精度可靠, 有助于提高 VCU 开发效率。

1 整车控制器模型建模

在汽车整车开发阶段, VCU 是实现整车控制决策的核心电子控制单元, 通过 CAN 信号来控制整个执行单元^[5]。为了验证开发的软件是否满足整车需求, 需要对其进行测试并模拟建立整车控制模型。本文所设计的整车控制器模型包含了 3 个输入部分和 2 个输出部分。输入部分主要来自 VCU 发出的信号、驾驶员给予的驾驶信号以及可标定初始输入数值; 输出部分主要是模型模拟实际汽车状况, 将一些传感器信号和汽车各个模块产生的信号进行处理传给 VCU 和整车本身。整车控制 Simulink 模型如图 1 所示。整车模型 plant model 组成了整车所有模块, 提供了 VCU 软件开发过程中软件测试阶段的仿真环境。其中, 驾驶驱动模型 Driver 模拟驾驶员状态中的输入输出, 整车模型模拟汽车产生的各种信号通过硬线信号和 CAN 信号发送给 VCU, 经过处理再发送到各个执行机构, 最后再通过标定完善性能实现软件安全释放。

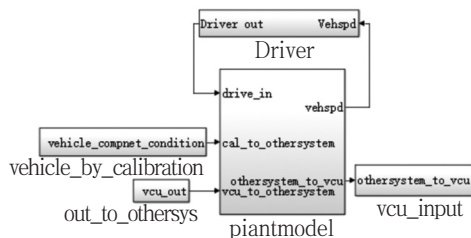


图 1 整车控制 Simulink 模型

Fig.1 Vehicle control Simulink model

整车 Plant model 模型如图 2 所示, 主要有控制模块、动力电池模块, 电机模块以及附件和车身模块, 实现了各模块的信息功能交互。

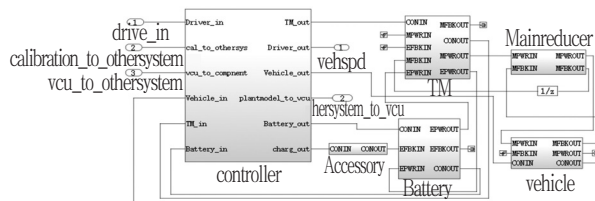


图 2 整车 plant model 模型

Fig.2 Vehicle plant model

1.1 动力电池建模

动力电池作为唯一的动力源, 其参数主要包括电流、荷电状态 (SOC)、内阻、功率和效率等, 参数计算如式 (1) 所示^[6-7]:

$$\begin{cases} I_{bat} = \frac{E_{bat} - \sqrt{E_{bat}^2 - 4 \cdot 000 R_{bat} \cdot P_{bat}}}{2 R_{bat}} \\ SOC_{bat} = \frac{C_{bat} - \int I_{bat} \cdot dt}{C_{bat}} \\ \eta_{bat} = \begin{cases} \frac{V_{bat}}{E_{bat}} \\ \frac{E_{bat}}{V_{bat}} \end{cases} \\ P_{bat-in} = E_{bat} I_{bat} \\ P_{bat-out} = V_{bat} I_{bat} \\ P_{bat} = P_{bat-out} = \frac{P_m}{\eta_g \eta_i \eta_w} \end{cases} \quad (1)$$

式中: I_{bat} , V_{bat} , P_{bat} , R_{bat} ——电池的输入电流、开路电压、输出电压、功率、电阻; SOC_{bat} , C_{bat} ——电池 SOC 和额定容量; η_{bat} ——电池的效率; P_{bat-in} , $P_{bat-out}$ ——电池的输入功率和输出功率。

电池模型主要控制着功率的释放, 其中 EPWROUT 是功率输出。利用查表法实现电池功率和电流限值输出。电池功率限制 Simulink 模型如图 3 所示。输入部分主要包括电池电压、电池温度、电池 SOC, 通过查表法获得单体峰值输出功率和充电功率。比较峰值功率和最大放电功率, 取较小值 170 kW 作为最大输出功率; 同样, 对于充电功率, 取较大值 -160 kW 作为输入功率。再将整个单体充放电电极值与整个电池串并联数结合, 获得最大功率限值, $f(u)$ 在这里是计算电池总串并联数。当电池充放电功率限值除去电池电压就能得到充放电电流限值。在整车控制模型建模过程中, 模型的变化往往需要根据需求去设计, 当整车控制模型收到来自驾驶员的加速信号时, 合理的功率输出对提高整个模型精度至关重要。

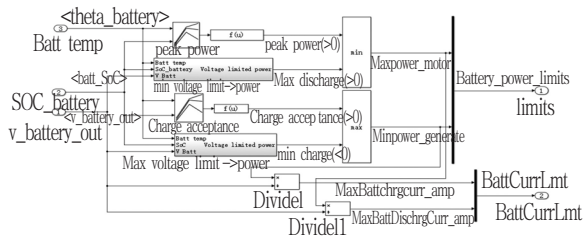


图 3 电池功率、电流限制 Simulink 模型

Fig.3 Battery power and current limitation Simulink model

1.2 驱动电机建模

驱动电机是整车控制模型的一部分, 实现整车动力输出功能, 其模型运用逻辑控制和 PI 控制算法实现扭矩输出。整车控制模型建模采用输入/输出系统观点, 重点放在电机驱动系统控制变量特性上, 同时考虑电机在运行过程中产生的

热流量^[8]。

扭矩控制模型如图 4 所示。有 5 个输入变量，输出的扭矩需求是由一个 Switch 开关控制，在此之前，电机扭矩经过 PI 控制器控制，通过限制其最高扭矩输出从而来达到最高车速的调节。变量 3 是一个布尔量，表示电机速度激活状态，当它是 0 时，信号从下面流，由变量 1 总线信号控制。当它是 1 时，信号从上面流，先由变量 2 电机目标转速减去变量 5 当前转速，再比例积分，算出输出扭矩需求，并由变量 4 控制上下限。同时，中间拥有多个图表进行监测，可对每一步进行判断，最终输出电机扭矩需求。

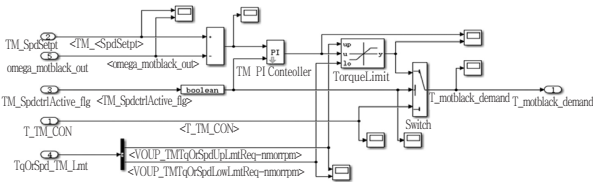


图 4 电机扭矩控制 Simulink 模型
Fig.4 Motor torque control Simulink model

2 仿真对象

根据整车需求和汽车不同的硬件设备，此次选择某一城市公交车作为实验对象，整车参数如表 1 所示。

表 1 整车参数

Tab.1 Vehicle parameters

车辆基本信息	规格
外轮廓尺寸长/mm	11 990
外轮廓尺寸宽/mm	2 520
外轮廓尺寸高/mm	3 470
总质量/kg	18 000
装备质量/kg	12 300
最高车速/(km/h)	69
电机功率/kW	150
车轮半径/mm	478.25
后桥速比	6.14

3 仿真结果与分析

3.1 整车模型性能仿真

为了验证整车模型的建模是否完善，模型精度是否可靠，本文通过 HIL 测试平台验证模型的性能。图 5 体现了正常的上、下电时序。当整车控制模型模拟汽车启动时，先是低压变量 IGN_ON_state 变为 1，然后高压变量 Crank_state 变为 1，说明模型设计和 VCU 控制上、下电逻辑一致，整车模型控制逻辑算法无误。

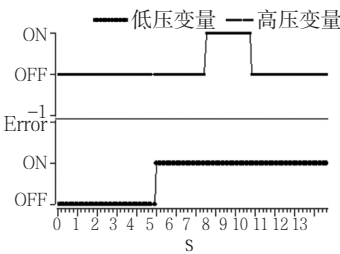


图 5 上、下电时序
Fig.5 Up and Down time sequence

图 6 是模拟 NEDC 工况仿真，图 7 是模拟中国典型城市公交循环工况。两种工况的正常运行说明了从上高压到速度响应到扭矩输出，再到车速的体现都满足车辆标准和新能源标准。

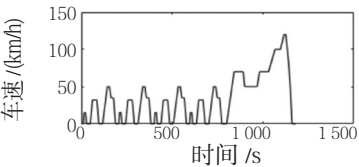


图 6 NEDC 工况测试
Fig.6 NEDC condition test

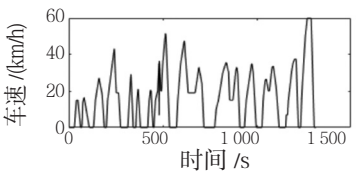


图 7 中国典型城市公交循环工况
Fig.7 Typical bus cycle in Chinese cities

3.2 实车工况仿真

为了使模型能够表征真实环境，所建模型满足建模规范，针对实验对象选择了合理的电池、电机参数，同时提高了模型逻辑算法的准确性，使响应更加灵敏。根据实车采集的数据，以实车油门和制动信号作为输入，对比车速、扭矩响应、电机功率等信号的输出。其中，实际参数与仿真参数的对比如图 8—图 12 所示，实际结果与仿

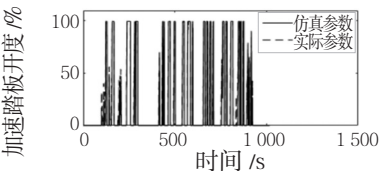


图 8 加速踏板开度
Fig.8 Opening of accelerator pedal

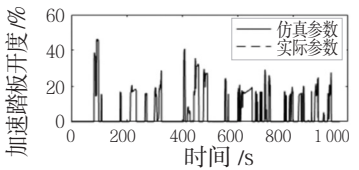


图 9 制动踏板开度
Fig.9 Opening of brake pedal

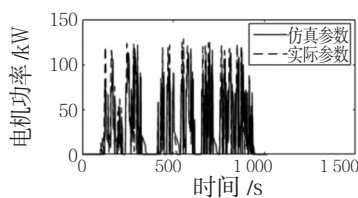


图 10 电机功率

Fig.10 Motor power

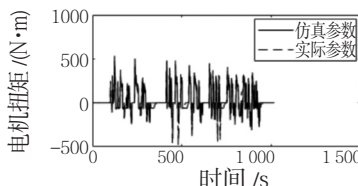


图 11 电机扭矩

Fig.11 Motor torque

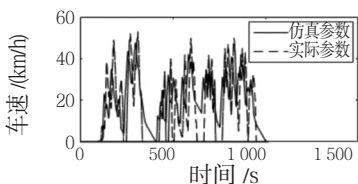


图 12 仿真工况

Fig.12 Simulation conditions

真结果比较,如表 2 所示。从分析对比结果可知,本文建立的整车控制模型仿真参数接近真实状态,满足了整车模型仿真建模的实时性要求。

表 2 实际结果与仿真结果比较

Tab.2 Comparison between actual results and simulation results

信号参数	min 误差	max 误差
电机扭矩需求 /%	0	8
加速踏板开度 /%	0	0
制动踏板开度 /%	0	0
实际扭矩需求 /%	7	0
车速 /(km/h)	0	3.306 6
电机扭矩 /(N·m)	19	54
高压电池电压 /V	0	37.8
高压电池电流 /A	36.4	66.1
电机功率 /kW	0	15

3.3 结果与分析

从仿真结果可以看出,整车控制器模型总体实现了模拟信号输入和承担被控对象的功能,整车模型的建模符合实际情况,并能够满足实际开发需求,主要误差分析如下:

(1) 从这些误差中可以看出,加速踏板和制动踏板信号一致,在实际仿真中能够及时响应,也体现了在模型中踏板由电信号传给 VCU,并以百分号信号回馈,整个计算准确。

(2) 当整车控制模型模拟汽车启动,VCU 得到加速响应和扭矩需求时,从图中可以看出,整个时间上响应一致,但对于电机扭矩存在误差。主要原因:一是实车环境复杂,驾驶操作不规范;二是采样时间存在误差,所用工具采集的数据与模型本身设计采样时间不一致,导致仿真响应与实际响应存在时间误差,出现延迟,这也是动力响应参数存在误差所在。

(3) 仿真工况以实际参数为输入,整个仿真响应与实车响应一致。随着负载变化,电机有不同扭矩需求,也就有不同的电压和电流输入。整体来看,电压、电流误差较小,主要因为实车测试环境真实复杂,模型建模受环境影响因素较小。

4 结论

本文通过对整车控制器模型仿真与分析,提出了基于逻辑控制和查表控制法以及 PI 控制策略,分析了各个模块功能并采用 Simulink 建模,实现了整车功能控制。

本文对整车控制器模型进行性能仿真,进行了工况测试和模拟工况仿真,验证了模型接口匹配与 VCU 输入一致,整个时序响应满足车辆标准。并采用实车工况进行仿真对比,相较于模糊控制建模,本文设计的整车控制器模型逻辑功能完善,实现了整车控制模型的整体性能。

汽车实际开发过程周期较长,实车故障排查繁琐,通过建模来辅助 VCU 开发,有助于提高开发人员的工作效率,缩短开发周期。

参考文献

- [1] Pukrushpan J T, Stefanopoulou A G, Peng H. Control of fuel cell power systems, principles, modeling, analysis and feedback design[M]. Springer, 2002.
- [2] 胡鹏,曹广益,朱新坚,等.10kW PEMFC 动态系统建模与控制[J].电源技术,2010,34(11):1136-1141.
- [3] 李志坚,李骏.基于模糊控制的复合电源电动汽车建模与仿真[J].机械工程与自动化,2018(5):59-61,64.
- [4] 刘金琨编著.先进 PID 控制 MATLAB 仿真(第 4 版)[M].北京:电子工业出版社,2016.
- [5] 牛跃听,周立功,高宏伟,等.CAN 总线应用层协议实例解析[M].2 版.北京:北京航空航天大学出版社,2018.
- [6] 克里斯多夫.D.瑞恩.电池建模与电池管理系统设计[M].北京:机械工业出版社,2018.
- [7] 孙桂芝,Sam Park,林忠玲.燃料电池/蓄电池混合动力汽车建模与仿真[J].系统仿真学报,2018,30(12):4816-4824.
- [8] (德)周苏.燃料电池汽车建模及仿真技术[M].北京:北京理工大学出版社,2017.

作者简介 汪俊杰(1993—),男,硕士研究生,研究方向:新能源汽车。E-mail:18817661830@139.com