

# 分布式电池管理系统 CAN 总线通信仿真试验研究

张晓宇 孙 倩

(冀北电力有限公司管理培训中心 北京 102401)

**摘要:** 电池管理系统在新能源纯电动汽车中扮演着非常重要的角色,分布式动力电池管理系统是一种多模块控制的集成系统,各个控制模块之间 CAN 总线通信存在复杂性和迟滞性,针对这一问题,采用 CANoe/MATLAB 联合仿真的方法对其进行试验。其中,在 MATLAB/Simulink 仿真建模环境下建立了信号采集、SOC 估算和故障诊断的多模块通信模型,同时在 CANoe 总线仿真平台建立了分布式电池管理系统的 CAN 网络架构,验证了多模块之间通信的实时性和准确性。结果表明,CANoe/MATLAB 联合仿真的方法对分布式电池管理系统的通信策略开发提供了便捷。

**关键词:** 分布式电池管理系统;故障诊断;CAN 总线;报文

**中图分类号:** TN701 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.20

## Research on simulation test of CAN bus communication for distributed battery management system

Zhang Xiaoyu Sun Qiao

(State Grid Jibei Electric Power Company Limited Management Training Center, Beijing 102401, China)

**Abstract:** The battery management system plays a very important role in pure electric vehicles for new energy vehicle. The distributed power battery management system is an integrated system with multi-module control. The complexity and hysteresis of CAN bus communication between each control module is aimed at this problem. It was tested by CANoe/MATLAB joint simulation method. Among them, the multi-module communication model of signal acquisition, SOC estimation and fault diagnosis is established in the MATLAB/Simulink simulation modeling environment. At the same time, the CAN network architecture of the distributed battery management system is established on the CANoe bus simulation platform, and the multi-module is verified. The real-time and accuracy of communication. The results show that the CANoe/MATLAB joint simulation method provides a convenient way to develop the communication strategy of the distributed battery management system.

**Keywords:** distributed battery management system; fault diagnosis; CAN bus; message

## 0 引 言

电池及其管理系统是新能源汽车整车结构上重要的一环。随着新能源汽车续航里程和安全性能要求的不断提升,动力电池管理系统变得越来越重要。制约电动汽车普及的关键因素是车载动力电池技术的相对落后,尤其是电池管理系统(battery management system, BMS)的相对落后<sup>[1]</sup>。分布式电池管理系统多采用星形拓扑结构,由一个电池管理主机模块(battery management system master unit, BMU)和多个电池管理从机模块(battery management system slave unit, BSU)构成<sup>[2]</sup>。动力电池组是由多个电池单体串联或并联组成的,对于单体电池电压、

温度和绝缘阻值的采集和荷电状态(state of charge, SOC)的估算都需要一个完整的管理系统来管理。CAN 总线在 20 世纪 80 年代由德国 Bosh 公司提出<sup>[3]</sup>,CAN 总线通信技术在汽车电子控制方面扮演着重要的角色。

文献[4]提出了一种利用 CAN 总线技术构建不同功能模块的主从式分布式电池管理系统;文献[5]通过制定均衡策略加上测量模块来设计纯电动汽车的电池管理系统。在精确测量和高效通信的目标需求下,VectorCANoe 作为一个完整的网络仿真工具,能够同时仿真网络总线通信和节点控制的各项功能。CANoe 仿真功能包括在线仿真、离线仿真和接口仿真。建立 CAN 网络数据库、搭建节点模块仿真模型、建立交互面板界面、利用成熟的类 C 语言

CAPL(can area program language)语言来实现各个模块的控制。利用 CANoe 对 CAN 网络进行仿真能实时准确地实现报文的收发。本文通过 CANoe/MATLAB 联合仿真来验证分布式电池管理系统整个 CAN 网络在传输信息过程中的实时性,与此同时,减少在分布式电池管理系统通信策略开发过程中出现的错误。

## 1 分布式电池管理系统

分布式电池管理系统采用 CAN 总线通信,CAN 总线通信具有数据传输速率高、错误检测可靠和抗干扰性强的优点。CAN 总线采用双绞线,CAN\_H 和 CAN\_L 之间匹配 120  $\Omega$  的电阻,内部 CAN 的波特率采用 250 Kbps<sup>[6]</sup>。这种通信方式简单明了,简化了各个模块的控制算法,提高了数据传输、数据共享的高效性。

采集模块可采集单体电池电压、单体电池温度和充、放电电流。采集模块将采集到的信号通过 A/D 转换器转换成数字信号,采集模块采集的信号可以利用 CAN 总线来共享信息,和内部的单体管理模块、电池控制器以及外部的控制模块实现报文的传输和接收。均衡模块采用双向分散式的均衡管理方法,利用升降压型 DC/DC 变换器和电感实现能量由高到低,由低到高双向转换,这种均衡管理方法能有效地解决动力电池不一致性的问题。电源正、负极引线通过绝缘层和底盘构成漏电流回路,使底盘电位上升,不仅会危及乘客的人身安全,还将影响低压电器和车辆控制器的正常工作<sup>[7]</sup>。分布式电池管理系统可以内嵌绝缘监测仪,绝缘监测仪具有多通道多功能优势,实时监控系统母线对地阻抗、回路电流的绝缘状况,可以达到 1 M $\Omega$  的精度要求,如果监测到绝缘值超出了正常的阈值,绝缘监测仪会发送报文给电池控制器,要求电池管理系统切断继电器,确保动力电池及其管理系统的安全。分布式电池管理系统通架结构如图 1 所示。

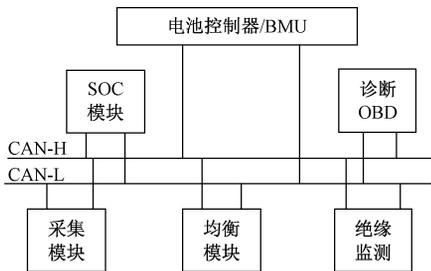


图 1 分布式电池管理系统通信结构

### 1.1 SOC 估算模块

SOC 是电池管理系统的一个重要表征参数。单体电池或电池模组的 SOC 就相当于传统汽车的油表<sup>[8]</sup>。动力电池的等效电路模型有 RC 模型、GNL 模型、PNGV 模型和 Thevenin 模型<sup>[9]</sup>。动力电池的 SOC 估计方法有安时积分法、开路电压法、卡尔曼滤波法和神经网络法<sup>[10]</sup>。本文

采用基于二阶 RC 等效电路模型,采用开路电压法估算 SOC。二阶 RC 等效电路模型考虑到了电池的极化和欧姆效应,这能有效的反映动力储能电池的静态特性<sup>[11]</sup>。SOC 模块实时估计电池的荷电状态,将信息利用内部 CAN 总线传输到电池控制器,如果 SOC 值过低或过高,电池控制器会发出切断继电器指令,如果 SOC 值偏差过大,SOC 模块会将信息传输给诊断模块,重新修正 SOC 的值,以保证整车的动力性。

### 1.2 诊断模块及其 OBD 接口

诊断模块是分布式电池管理系统不可或缺的部分,它能快速的诊断出动力电池管理系统出现的故障。常见的故障包括高温、过压、欠压以及压差过大;通信故障包括电池管理系统掉线、充电机握手失败、电池控制器不在线;充放电电流过大以及母线绝缘故障。针对出现的这些故障信息,采用比较法诊断,例如:结合电流比较组间电压、电池单元间电压来判断短路、开路、性能下降等故障;以  $dT/dt$  为主,以  $dU/dt$  为辅来诊断过充电<sup>[12]</sup>。分布式电池管理系统提供了 OBD 诊断接口,OBD 诊断接口有内部 CAN 通信、整车 CAN 通信以及充电 CAN 通信。用户可以通过 OBD 诊断接口读取电池管理系统内部出现的故障信息。

## 2 搭建 CANoe-MATLAB 联合仿真环境

VECTOR 最新的 CANoe-MATLAB Interface 将 CANoe 和 MATLAB/Simulink 连接在一起,取长补短,将 CANoe 强大的总线仿真能力与 MATLAB/Simulink 完善的建模能力结合在一起,为车用 CAN 网络及各种电控节点单元开发提供了更有力的工具支持<sup>[13]</sup>。分布式电池管理系统采用多模块双向的通信结构,采用一个电池控制器和 4 个单体管理单元的硬件主从结构。利用 CANoe-MATLAB Interface 的桥梁作用,能够方便地搭建整个分布式电池管理系统的联合仿真环境。

### 2.1 建立联合仿真系统

联合仿真系统整合了 CANoe 数据库编写、交互平台、CAPL 语言编写功能。由于分布式电池管理系统多模块化的特点,要处理大量的报文,为了能够将采集到的数据进行回放,在联合仿真系统中加入数据回放模块,以便于对电池管理系统或整车其他部件出现的问题进行分析。CAPL 语言能够将在数据库建立的各节点环境变量和节点间收发的信号联系起来,建立直观的交互平台,关联电池控制器的环境变量与仪表 ECU 信号,在交互平台的仪表界面实时显示单体电压、电池总电压与电流和 SOC 的信息。

在 Simulink 图形化建模环境下建立电池控制器和诊断模块的模型,利用已经封装好的 CAN Pack 模块可以导入电池控制器的 ID 和相关协议,实现和 SOC 估算模块、均衡模块以及采集模块的信号互联,在已建立的 Simulink 模型中,OBD 诊断模块会对单体电池的电压、温度、内阻和动力电池模组的 SOC 的信息进行诊断,通过模拟的 OBD 接

口可以得到故障信息和错误帧信息。搭建基于仪表 ECU、BMS、CAPL 模块和数据回放模块 4 个节点的联合仿真系统,如图 2 所示。

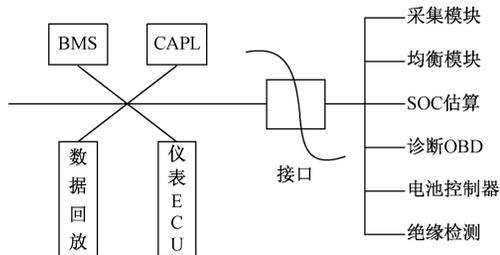


图 2 联合仿真系统结构

### 2.2 CAN 网络通信协议

汽车电子电控主要采用 J1939 协议,总线驱动与控制器采用光电耦合隔离,分布式电池管理系统 CAN 网络执行 CAN2.0B 技术规范。遵循 CAN 2.0B 协议的 CAN 控制器可以发送和接收 11 位标识符的标准格式报文或 29 位标识符的扩展格式报文<sup>[14]</sup>。电池控制器、仪表 ECU、均衡 ECU 和 OBD 4 个节点 ID 采用标准帧,报文发送方式采用 MOTOROLA 模式,MOTOROLA 报文发送方式指的是在 CAN 总线传输报文数据时高字节在前,低字节在后,选择 MOTOROLA 模式有利于对报文信息的快速识别和准确筛选,分析报文内容时也更为方便。节点通信协议如表 1 所示。

表 1 节点通信协议

节点	ID	周期/ms	长度/bit	信号
BMU	0x768	20	8	BMU 状态
仪表	0x769	20	4	仪表显示状态
OBD	0x1896	20	8	OBD 状态
均衡	0x1897	20	4	均衡启动/关闭

### 3 仿真结果

在 Simulink 界面中设置仿真时间为 inf,分布式电池管理系统模型的输入信号有单体电池电压压差、动力电池总电压、电流和电池组的 SOC 值,将 CANoe 仿真模式改为 Simulated bus 模式,导入 Simulink 自动生成的 CANoe 辨识文件。在 CANoe/MATLAB 联合仿真过程中,CANoe 可测试总线上的数据通信统计情况及动态跟踪总线上数据内容,显示的信息频率等相关信息<sup>[15]</sup>。在 CANoe 总线统计信息中,总线负载率为 10.3%、峰值负载率为 11.2%、误码率为 0 以及错误帧为 0。这些表征参数表明了分布式电池管理系统在总线通信过程中能满足多模块间的实时准确地收发报文,CAN 总线实际传输速率非常高,不存在误码的情况,能够到通信系统高精度、大数据多包传输的要求,如表 2 及图 3~6 所示。

表 2 CAN 总线仿真统计信息

参数	数值
总线负载率	0.103
峰值负载率	0.112
误码率	0
错误帧	0

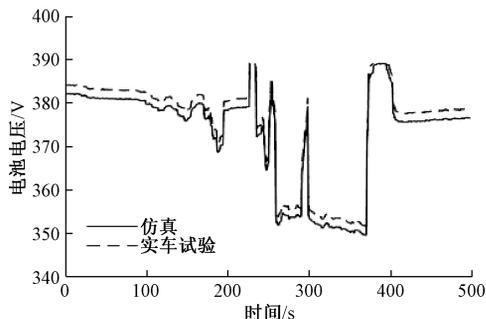


图 3 动力电池总电压

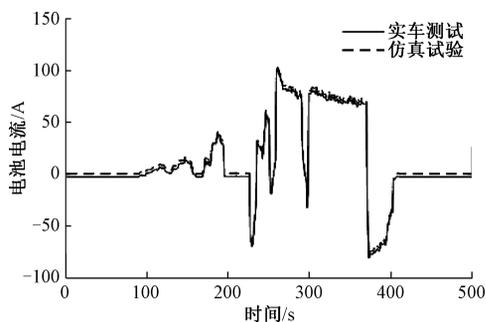


图 4 动力电池电流

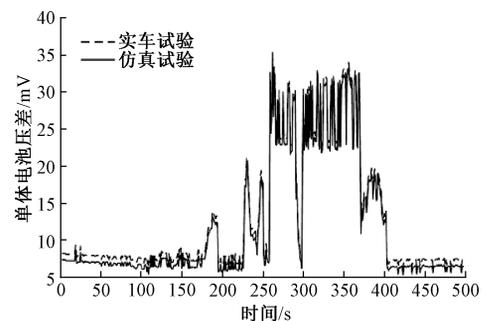


图 5 电池压差对比

选取了动力电池组总电压、电流、单体电池压差以及电池的荷电状态作为分布式电池管理系统的性能表征参数。在对其参数的联合仿真结果中,图 3~6 体现了在汽车处于复杂行驶工况下,分布式电池管理系统能够精确的采集电池电压,电流以及准确的估算电池的荷电状态,对系统采用 CAN 总线通信技术,利用 CANoe/MATLAB 联合仿真的方法进行论证,从仿真与实车结果对比图可以看出,动力电

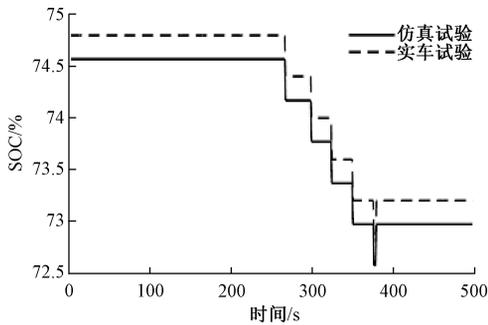


图 6 电池 SOC 对比

池总电压的测量误差小于 2.47 V、电流的测量误差小于 123 mA、均衡模块启动后的单体电池电压差小于 35 mV、电池的荷电状态估算则更为准确,误差小于 0.5%。由上述对比结果可知,采用 CANoe/MATLAB 联合仿真的方法能够准确的实现分布式电池管理系统的 CAN 总线通信技术开发,对复杂行驶工况下纯电动/混合动力汽车多模组高压的动力电池管理系统高效安全运行提供了保障。

#### 4 结 论

利用 CANoe-MATLAB 联合仿真接口,搭建了分布式电池管理系统的联合仿真模型,通过编写 4 节点的通信协议,实现了分布式电池管理系统中多模块通信仿真。对电池电压、电流、SOC、单体电池电压差 3 个表征参数进行仿真,结果表明分布式电池管理系统的整个 CAN 网络通信过程中总线通信状况良好,各个模块间实时准确传输报文信息。利用联合仿真的方法能实时检测 CAN 总线网络的负载率以及错误帧等参数信息,有利于多模块的动力电池管理系统 CAN 总线实时高效通信的设计开发,CANoe-MATLAB 联合仿真技术具有广泛的移植性,同样适应于汽车电子电控其他领域的控制系统设计开发。

#### 参考文献

- [1] CHENG K W E, BP D, WU H J, et al. Battery management system (BMS) and SOC development for electrical vehicles[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(1):76-88.
- [2] 何军.动力锂电池组管理系统 SOC 估算研究[D]. 哈尔

滨:哈尔滨工业大学, 2015.

- [3] 闫在春,程夕明,南金瑞,等.燃料电池客车 CAN 通信协议仿真[J].系统仿真学报,2006,18(9):2381-2455.
- [4] 张传伟,李林阳.电动汽车主从分布式电池管理系统设计[J].汽车技术,2017(5):45-50.
- [5] 陶银鹏.纯电动汽车分布式电池管理系统的设计与实现[J].汽车技术,2013(11):59-62.
- [6] 于月森,钱振华,彭利明,等.CAN 总线波特率设置方法及误差分析[J].工矿自动化,2009,35(6):52-55.
- [7] 吴振军,王丽芳.汽车智能在线绝缘监测装置研究[J].低压电器,2009(5):20-22.
- [8] HURIA T, CERAOLO M, GAZZARRI J, et al. High fidelity electrical model with thermal dependence for characterization and simulation of high power lithium battery cells[C]. IEEE International Electric Vehicle Conference, 2012.
- [9] 张利,张庆,常成,等.用于电动汽车 SOC 估计的等效电路模型研究[J].电子测量与仪器学报,2014,28(10):1161-1168.
- [10] 杜涛,李爱魁,马军,等.动力电池预估方法研究进展[J].电源技术,2015(4):844-845.
- [11] WANG H H, ZHANG H P. SOC estimation and simulation of electric vehicle lead-acid storage battery with Kalman filtering method[C]. ICEMI, 2013.
- [12] 吴友宇,尹叶丹.基于 CAN 总线的分布式电池管理系统[J].汽车工程,2004,26(5):532-535.
- [13] 李顶根,曹晶,张杰.基于 CANoe-MATLAB 的车辆 CAN 总线的联合仿真[J].汽车科技,2009,11(6):57-61.
- [14] 牛跃昕,周立功,方丹.CAN 总线嵌入式开发-从入门到实践[M].北京:北京航空航天大学出版社,2011.
- [15] 张建国,雷雨龙,刘洪波,等.CANoe-MATLAB 联合仿真在 DCT 总线控制中的应用[J].汽车技术,2010(9):9-12.

#### 作者简介

张晓宇,硕士,培训师,主要研究方向为新能源汽车技术、分布式光伏发电技术、财务管理。

E-mail:zhangxiaoyu1989@126.com