

电池管理系统循环复位和无响应故障机理及解决措施

高恒^{1,2} 王力² 杜瑞² 张鹏² 严琼²

(1. 武汉理工大学, 现代汽车零部件技术湖北省重点实验室, 武汉 430070;

2. 上汽通用汽车有限公司武汉分公司, 武汉 430000)

【摘要】分析48 V混合动力系统构成和电池管理系统(BMS)控制原理,设计试验研究了12 V电源电压变化对48 V动力电池工作状态的影响,发现12 V电源供电电压过低时BMS微控制单元(MCU)芯片存在循环复位现象和BMS无响应问题。针对该问题提出了BMS控制逻辑优化方案,在BMS监测到12 V电源供电电压低于6 V时不在MCU内存储工作数据,该控制逻辑可以避免MCU写入故障值,从而解决供电电压过低时MCU芯片故障导致的BMS无响应问题。实车验证结果表明,该控制逻辑可以有效提高BMS的抗低压能力。

关键词:48 V混合动力系统 电池管理系统 12 V电源 微控制单元芯片

中图分类号:U463.61

文献标志码:A

DOI: 10.20104/j.cnki.1674-6546.20220138

BMS Cyclic Reset and No Response Failure Mechanism and Solution

Gao Heng^{1,2}, Wang Li², Du Rui², Zhang Peng², Yan Qiong²

(1. Hubei Key Laboratory of Modern Auto Parts, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070; 2. SAIC General Motors Co., Ltd. Wuhan Branch, Wuhan 430000)

【Abstract】The 48 V hybrid power system and Battery Management System (BMS) control principle were analyzed, the influence of 12 V power supply voltage variation on 48 V power batteries was tested and studied, it is found that, when the 12 V power supply voltage is low, the BMS Microcontroller Unit (MCU) chip has a cyclic reset phenomenon and BMS no respond issue. For this problem, this paper proposed a BMS control logic optimization. The BMS detects that the battery state data will not be saved in MCU chip when the 12 V power supply voltage is lower than 6 V. This control logic can solve the BMS no respond issue by preventing the MCU writing the fault value. It is verified by real vehicles that the control logic can effectively improve the anti-low voltage ability of BMS.

Key words: 48 V hybrid power system, BMS, 12 V power supply, Microcontroller Unit (MCU) chip

【引用格式】高恒, 王力, 杜瑞, 等. 电池管理系统循环复位和无响应故障机理及解决措施[J]. 汽车工程师, 2023(5): 1-5.

GAO H, WANG L, DU R, et al. BMS Cyclic Reset and No Response Failure Mechanism and Solution[J]. Automotive Engineer, 2023(5): 1-5.

1 前言

发展新能源汽车是汽车行业降低碳排放的主要路径,其中传统燃油车增加48 V轻混系统可以显著降低燃油消耗量^[1-3]。

传统燃油车启动时,12 V蓄电池为起动机供电,进而带动发动机工作。在整车运行过程中,发动机通过带动起动机做功,实现对12 V蓄电池的充电,并为12 V车载低压负载供电。但整车长期未启动时,由于12 V蓄电池的自身特性及整车休眠状态

下唤醒车辆各模块工作的能量消耗,蓄电池的电压会逐渐降低。

对于P0架构的48 V混合动力车型,在整车启动时,12 V蓄电池提供电压用于闭合48 V动力电池继电器,再由48 V动力电池驱动48 V电机带动发动机启动,为整车提供动力。因此12 V蓄电池电压不足状态对48 V系统和整车工作状态的影响与48 V动力电池的电池管理系统(Battery Management System, BMS)控制逻辑和低压工作特性密切相关。

本文通过试验研究12 V蓄电池低电压工况下

BMS的工作状态,针对BMS出现的无响应问题提出解决方案,并通过试验验证其可行性。

2 48 V混合动力系统的工作特性

P0架构的混合动力系统与传统车的不同之处是其增加了48 V动力电池、DC/DC电源变换器模块和电动机-发电机单元(Motor-Generator-Unit, MGU)。混合动力系统由混合动力控制单元(Hybrid Control Unit, HCU)控制,通过轻混系统可以实现车辆的智能起停、能量回收和扭矩补充等功能,也可以搭载更多电气设备,为整车提供更多电气化功能^[4]。

本文的研究对象为上汽通用某48 V混合动力车型,该车型48 V混合动力系统结构如图1所示。12 V蓄电池为整车低压负载和BMS供电。48 V总线连接48 V动力电池、DC/DC电源变换器和MGU,48 V动力电池可以通过48 V总线输出电流至MGU提供辅助动力。当动力电池电压低时,可以通过MGU回收制动能量和发动机多余能量进行充电。在48 V混合动力系统工作时,48 V动力电池的部分电流通过DC/DC电源变换器转换为12 V直流电流。当12 V蓄电池电量较高时,由12 V蓄电池和DC/DC电源变换器共同对整车模块和BMS供电;当12 V蓄电池电量较低时,DC/DC电源变换器在为整车模块和BMS供电的同时为12 V蓄电池充电。HCU监控12 V蓄电池的状态,控制DC/DC电源变换器和BMS,保证整车模块和48 V混合动力系统正常工作。

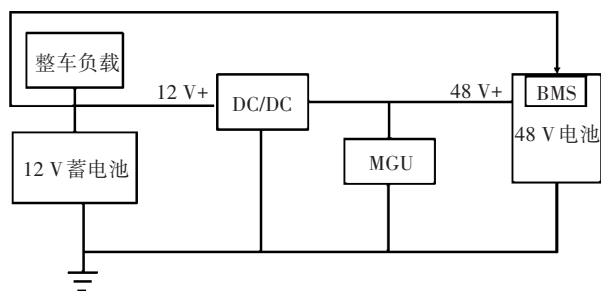


图1 48 V混合动力系统结构

48 V混合动力系统BMS外部控制逻辑如图2所示。HCU通过低压接口连接动力电池BMS模块,当整车状态为附属配件电源接通(ACC)/起动(Crank)时,HCU进行状态检查,控制DC/DC电源变换器进行预充,当48 V总线电压达到动力电池电压的90%时,HCU发送继电器闭合(Relay Close)信号至BMS,BMS控制动力电池继电器闭合,48 V总线上电开始工作。HCU根据系统工作需要控制MGU的开关及输出功率。

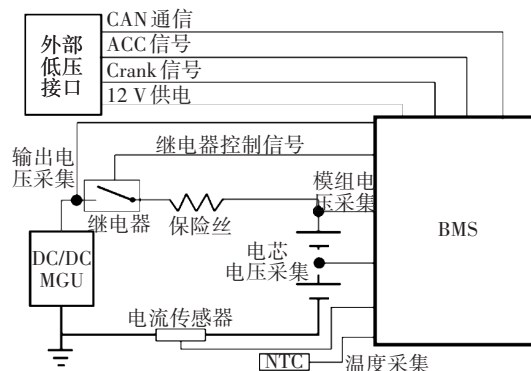


图2 48 V混合动力系统BMS结构

BMS除控制和监控继电器状态外,还会对电芯和模组电压、电流、温度和12 V电源电压进行监控,通过CAN总线与HCU通信。在整车熄火休眠时,HCU向BMS发送继电器断开(Relay Open)信号,BMS控制继电器断开后停止工作,HCU按一定频次唤醒BMS进行动力电池状态检查并保存状态数据。在整车休眠期间唤醒BMS检查过程中,如果发现模组内电芯电压差值过大,则需要进行自均衡,保证电芯电压的一致性。

在48 V混合动力系统工作时,HCU根据控制策略控制48 V动力电池荷电状态(State Of Charge, SOC)不低于30%,保证48 V动力电池在长时间停放条件下不会由于采样芯片能量消耗和电芯自放电导致电压不足。较高的SOC下限也可以避免过度放电,保证48 V动力电池具有较好的容量保持率和寿命^[5]。

3 蓄电池电量对48 V混合动力系统工作状态的影响

3.1 蓄电池工作原理及充放电特性

车用12 V蓄电池一般为铅酸蓄电池,结构如图3所示,由正极板、负极板、隔板、电解液、槽壳、连接线和正负极接线端子等组成。

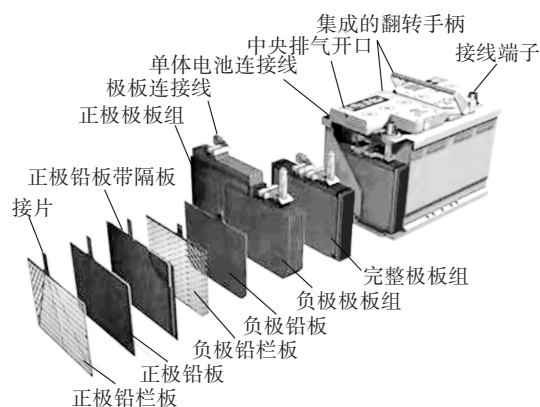


图3 12 V蓄电池结构

在车辆使用过程中,根据车载用电器的需求,12 V 电池可能频繁充放电,如果充放电控制策略不能有效保护电池,12 V 蓄电池可能产生电压不足、容量降低等故障。尤其是长期停放时,12 V 蓄电池电压不足会导致整车无法启动^[6]。

3.2 蓄电池电量与动力系统工作的关系

12 V 铅酸蓄电池的正常工作电压一般为 10.5~12.5 V,整车设置相应的低压阈值,在电池电压过低时提醒驾驶员 12 V 蓄电池状态不正常,整车进入弱电模式。弱电模式下整车各模块用电受到限制,且 48 V 混合动力系统由于继电器无法闭合而停止工作,BMS 模块会继续监控动力电池状态。当车辆长期停放或者 12 V 蓄电池老化导致电压进一步降低时,BMS 等低压模块仍会被 HCU 唤醒继续工作,直到电压低于模块最低工作电压。

在 12 V 蓄电池电压处于 10.5~12.5 V 范围内时,整车各模块正常工作,车辆可以正常启动,48 V 混合动力系统正常工作。在 12 V 蓄电池电压低于 10.5 V 时,48 V 混合动力系统可能出现 2 种状态:

a. 当 12 V 蓄电池电压满足 BMS 等模块正常工作但不满足继电器闭合条件时,BMS 可以正常监控动力电池状态,如电压、温度等,但 48 V 混合动力系统无法正常工作。

b. 当 12 V 蓄电池进一步放电导致电压严重不足时,12 V 蓄电池供电电压低于 BMS 内微控制单元(Microcontroller Unit, MCU)芯片工作电压,MCU 芯片工作状态异常,BMS 故障。

为了研究 12 V 蓄电池电压对 48 V 混合动力系统工作状态的影响,本文进行台架试验研究。使用可编程电源替换 12 V 蓄电池,设置电源电压从 12.5 V 起每小时降低 0.5 V,直到降低至 6.0 V,其间车辆处于 ACC 模式。由于 DC/DC 电源变换器和 MCU 控制器工作电压为 5 V,由 HCU 供电,该试验仅需观察 HCU 和 BMS 状态。

试验结果如表 1 所示:当 12 V 电源电压处于 [10.5,12.5] V 范围内时,系统正常工作,可以读取到 BMS 反馈的电池电压等信号;当 12 V 电源电压处于 [6.0,10.5] V 范围内时,继电器工作异常,无法正常闭合,BMS 上报继电器状态异常故障码;当 12 V 电源电压低于 6.0 V 时,BMS 无响应,HCU 上报该故障,请求点亮故障灯。

试验中继电器无法闭合的原因可能是线圈供电电压不足,导致动触点无法有效吸合。BMS 无响

应的原因可能是 12 V 电源电压过低导致 MCU 无法正常工作。

表 1 12 V 电源电压与 BMS 工作状态的关系

12 V 电源电压/V	[10.5,12.5]	[6.0,10.5)	[3.1,6.0)
继电器状态	正常	无法闭合	无法闭合
BMS 状态	正常	正常	无响应

试验后拆除可编程电源,重新安装正常 12 V 蓄电池并检查车辆状态。车辆进入 ACC 模式后发现 BMS 依然无响应,车辆发动机故障灯点亮。为确认问题,将 48 V 动力电池从整车拆下,研究其故障原因。

由 48 V 动力电池系统结构可知,12 V 蓄电池只为 BMS 供电,且 48 V 动力电池与 HCU 的通信由 BMS 负责,初步判断为 BMS 故障。更换故障电池 BMS 控制器后其通信恢复正常,电芯电压和模组电压正常,故锁定故障发生在 BMS 内部。BMS 内部主要芯片为 MCU 芯片和采样芯片,其中采样芯片由模组直接供电,与 MCU 芯片的通信方式采用串行外围设备接口(Serial Peripheral interface, SPI),其工作不受 12 V 电源电压影响。MCU 芯片的供电由 BMS 将 12 V 电压转换为 5 V 的芯片工作电压。故 BMS 无响应很可能是 12 V 电源电压过低,MCU 芯片供电电压不足使芯片工作异常所致。根据相关研究,MCU 芯片出现的异常通常为程序跑飞、随机存储器(Random Access Memory, RAM)写入错误等失效模式,会导致应用系统卡顿、无法复位等问题^[7]。

3.3 降低 BMS 供电电压试验

为了确定 BMS 无法恢复正常的具体原因,设计台架试验模拟 12 V 供电电压降低工况,进一步研究 BMS 的 MCU 芯片具体失效原因。

该 BMS 的 MCU 芯片为汽车行业应用较为广泛的 NXP S12ZVC 系列 MCU 芯片,芯片的工作电压为 3.5~18.0 V。该芯片工作电压范围宽、集成度高、接口多、可拓展性强,成为很多动力电池 BMS 硬件的低成本解决方案。

48 V 动力电池 BMS 试验台架搭建如图 4 所示,由上位机、可编程电源和 48 V 动力电池组成,由可编程电源模拟 12 V 电源供电,电源设置为在 2 000 s 内电压在 6.0 V、3.5 V、6.0 V 间线性变化,电源编程曲线如图 5 所示,正常情况下 HCU 每隔 4 h 唤醒 BMS 工作一次,BMS 每次被唤醒后工作 30 s 左右。为了加快试验进度,设置上位机每分钟唤醒 BMS 工作一次,30 min 后试验结束,检查 BMS 状态。

通过研究 BMS 控制逻辑和软件程序,发现可以通过修改 BMS 的控制逻辑避免 MCU 存储故障值。具体方案为:当 BMS 被唤醒后,如果监测到 12 V 电源电压低于 6 V,则 BMS 本次工作不在 MCU 中保存任何数据,避免在低电压条件下 MCU 对 EEPROM 的擦写操作,从而避免电压严重不足产生故障值后 MCU 芯片无法正常启动的问题。

4.2 验证方案有效性

对 BMS 的控制逻辑进行优化后,将新软件刷写至 MCU,按照 3.3 节搭建的试验台架,设置同样的 12 V 电源低电压供电试验。设置完成后,使用试验台架进行验证。

试验过程中 BMS 的电压信号正常,试验后 BMS 通信正常,使用示波器对 MCU 芯片进行晶振频率检测,确认其晶振频率为 4 MHz,晶振频率正常。

由于 MCU 在低电压下不保存状态数据,在整车 12 V 电源得到维护后,车辆启动时动力电池的初始 SOC 可能由于中间状态数据未保存而存在误差。但是在充放电循环后可以通过 SOC 修正算法进行修正,由于该 48 V 动力电池容量较小且充放电倍率大,因此其实际充放电循环较快,SOC 可以得到快速修正^[9-11]。

经过整车测试,更换 12 V 电池后发动机故障灯不点亮,行驶约 3 km 后电池可以正常进入起停状态,确认该方案对车辆使用无影响。

5 结束语

本文基于上汽通用某 48 V 混合动力车型,通过对 BMS 低电压供电的试验研究,发现 MCU 芯片在低电压条件下工作不稳定将导致 BMS 无响应故障,通过对 BMS 控制逻辑的修改可以有效避免低供电电压导致的 MCU 芯片复位循环,提高了 12 V 蓄电池低电压情况下 48 V 混合动力系统工作的可靠性。

BMS 软件修改后在 12 V 蓄电池电压严重不足的情况下不保存动力电池状态数据,针对 SOC 初始值不准确的问题,BMS 在电池重新启动后可以对 SOC 进行修正,通过算法优化可实现混合动力系统正常工作且不影响用户体验。

参 考 文 献

[1] OH H, LEE J, WOO S, et al. Effect of Synergistic Engine Technologies for 48 V Mild Hybrid Electric Vehicles[J]. Energy Conversion and Management, 2021, 244.

[2] CARDOSO D S, FAEL P O, SANTO A E. A Review of

Micro and Mild Hybrid Systems[J]. Energy Reports, 2020, 6 (Supl): 385-390.

[3] PILLER S, PERRIN M, JOSSEN A. Methods for State-of-Charge Determination and Their Applications[J]. Journal of Power Sources, 2001, 96(1): 113-120.

[4] 史天泽,赵福全,郝瀚,等.汽车 48 V 系统的节能效果、应用成本与实施策略[J].汽车技术,2018(7): 5-11.

SHI T Z, ZHAO F Q, HAO H, et al. Effectiveness, Cost and Application Strategy of 48 V System in Vehicles[J]. Automobile Technology, 2018(7): 5-11.

[5] 俞晓峰,万亚坤,宋帅,等.48 V 轻混电池系统性能的研究[J].蓄电池,2022,59(3): 101-105+150.

YU X F, WAN Y K, SONG S, et al. Study on the Performance of 48 V Mild Hybrid Battery System[J]. Chinese LABAT Man, 2022, 59(3): 101-105+150.

[6] ZHANG Y, ZHOU C G, YANG J, et al. Advances and Challenges in Improvement of the Electrochemical Performance for Lead-Acid Batteries: A Comprehensive Review[J]. Journal of Power Sources, 2022, 520.

[7] 顾永红.综述单片机应用系统的抗干扰设计[J].计算机自动测量与控制,2000,8(1): 51-53.

GU Y H. Statement of Anti Interference Design in the Single Chip Microcontroller[J]. Computer Measurement & Control, 2000, 8(1): 51-53.

[8] 韦东,蒋冬.可编程器件测试方法及失效机理探讨[J].电子世界,2018(22): 69-70.

WEI D, JIANG D. A Study on Testing Methods and Failure Mechanisms of Programmable Devices[J]. Electronics World, 2018(22): 69-70.

[9] 杜坚,谢聪.异常情况下电动汽车锂电池 SOC 估计[J].汽车技术,2019(4): 18-22.

DU J, XIE C. Li-Battery SOC Estimation of Electric Vehicle Under Abnormal Conditions[J]. Automobile Technology, 2019(4): 18-22.

[10] 朱智超,罗马吉,张超.基于卡尔曼增益动态修正的动力电池 SOC 估算[J].电源技术,2015,39(1): 101-104.

ZHU Z C, LUO M J, ZHANG C. SOC Estimation for Power Battery Based on Dynamic Correction of Kalman Gain[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2015, 39(1): 101-104.

[11] 谢路耀,华思聪,陈怡,等.基于容量修正的安时积分法研究[J].浙江工业大学学报,2021,49(4): 403-408.

XIE L Y, HUA S C, CHEN Y, et al. Research on Ampere Hour Integral Method Based on Capacity Correction[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2021, 49(4): 403-408.

(责任编辑 斛 畔)

修改稿收到日期为 2023 年 2 月 22 日。