

电动汽车电池管理系统设计与优化

曾 建, 杨 冬

(成都工业职业技术学院, 成都 610028)

摘 要: 电池管理系统是电动汽车中至关重要的组成部分, 能够保证电动汽车动力系统的稳定输出与安全行驶。该文分析了电池管理系统的主要功能和构成要素, 以一个高压电池组为控制对象, 对电池管理系统的硬件部分及软件控制系统进行设计, 设计结束后通过电池管系统测试系统进行性能验证, 对优化方法进行检验, 以实现更高效、更安全的电动汽车电池管理系统。

关键词: 电动汽车; 电池管理系统; BMS; 电池状态监测; 电池状态预测; 发展方向

中图分类号: U469.72

文献标识码: A

doi:10.14031/j.cnki.njwx.2024.02.007

Design and Optimization of Battery Management System for Electric Vehicles

ZENG Jian, YANG Dong

(Chengdu Vocational & Technical College of Industry, Chengdu 610028, China)

Abstract: The battery management system is a vital component in electric vehicles, which can ensure the stable output and safe driving of the electric vehicle power system. This paper analyses the main functions and components of the battery management system, takes a high-voltage battery pack as the control object, designs the hardware part of the battery management system and the software control system, and verifies the performance through the battery management system test system at the end of the design to test the optimisation method in order to achieve a more efficient and safer battery management system for electric vehicles.

Keywords: electric vehicle; battery management system; BMS; battery status monitoring; battery status prediction; development direction

0 引言

近年来, 随着全球对环境保护的意识不断增强, 越来越多的人开始关注电动汽车这种清洁、高效、低碳的交通工具, 电池作为电动汽车的核心部件之一, 其性能和安全对电动汽车的整体性能和安全起着至关重要的作用^[1-3]。因此, 电动汽车电池管理系统(Battery Management System, BMS)的设计和优化成为了电动汽车领域研究的热点。

BMS 是电动汽车的关键部件, 能够实时监测电池组的状态, 保证电池组的安全、可靠运行, 并最大程度地发挥电池的性能^[4]。BMS 主要包括电池状态监测、电池均衡、故障诊断和安全保护等功能^[5]。同时, 为了提高 BMS 的性能和安全性, 优化方法也得到了广泛研究。例如, 通过优化电池组的结构、改进控制算法、提高传感器精度等, 可以提高 BMS 的性能和精度。未来, 随着机器学习技术的发展和应用, BMS 的性能和安全性也将得到进一步提高。

本文选取一个高压电池组为研究对象, 对电池

管理系统硬件设备及软件设计进行分析, 探讨电动汽车电池管理系统的设计和优化, 最后通过试验验证系统的可靠性与稳定性。研究结果旨在为电动汽车的研究和发展提供参考与借鉴。

1 电动汽车电池管理系统概述

电动汽车电池管理系统主要包括电池状态监测、电池状态分析、电池安全保护、能量控制管理和电池信息管理(图 1)^[6]。电池状态监测用来监测电池的实时状态, 包括电池电量、电压、温度等参数。通过传感器和监控系统, 可以实时获取电池的各项数据, 反映电池的健康状况。电池状态分析是对电池数据进行处理和分析, 评估电池的充放电行为分析、容量衰减分析、内阻测量等, 通过这些数据可以预测电池寿命, 为电池维护和优化提供指导。电池安全是电动汽车的重要考虑因素之一。电池管理系统需要监控和保护电池免受过度充电、过度放电、过温等不良条件的影响, 主要包括过流保护、过压保护、过温保护、短路保护等功能, 保证电池的安全运行。能量控制管理是管理电池的充放电过程, 为汽车运行提供最佳的能量利用效率, 如充电控制、放电控制、能量回收等功能, 以确保电池的充放电行为在经济和高效的范围内。电池信息管理包

基金项目: 四川省科技计划项目(2020JDKP0089)

作者简介: 曾建(1982—), 男, 成都人, 本科, 实验师, 研究方向为新能源汽车检测与维修技术。

括电池数据的存储、传输和显示。电池管理系统可以记录和存储电池的历史数据,并通过无线通信或有线接口与其他系统进行数据交换。此外,电池信

息还可以在车辆仪表盘或终端设备上显示,供用户查看电池状态和剩余电量等信息。

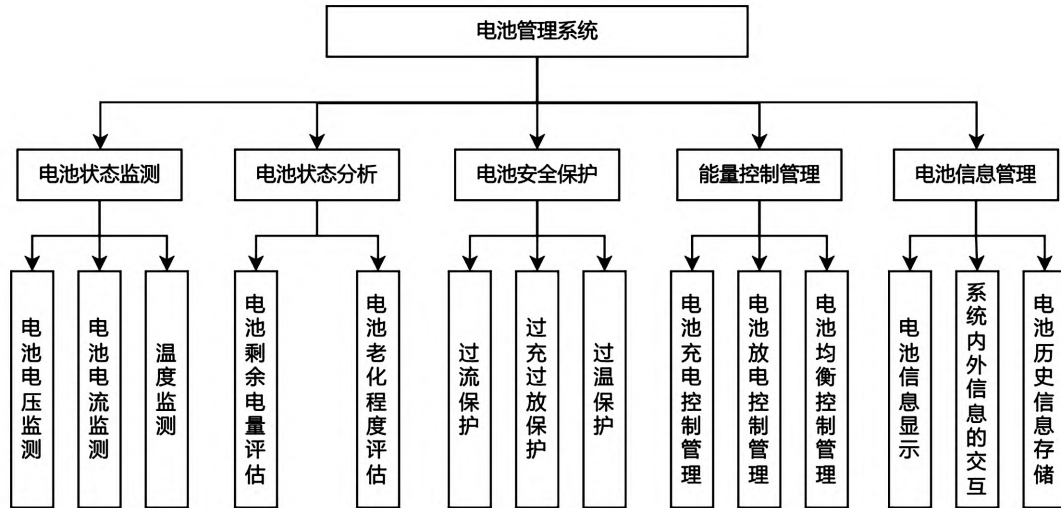


图1 电动汽车电池管理系统组成

2 电动汽车电池 SOC 估算方法与电池均衡控制

动力电池的 SOC(State of Charge)是指电池当前的电荷状态,表示电池中储存的电荷量与总容量之间的比例,是一个百分比值,用来衡量电池的充放电状态。广义的 SOC 是指电池在经过一系列化学反应后,从上一次充电结束时刻开始计算的剩余电荷量。狭义的 SOC 是指电池在经过一系列化学反应后,仅考虑从上一次充电结束时刻开始计算的电荷量,而不考虑电池在充放电过程中的能量损耗和效率等因素。狭义 SOC 只是简单地计算电池当前储存的电荷量与总容量之间的比例,不能准确地反映电池的实际电荷状态^[7]。

本文采用经典的 SOC 表达方法如式(1)所示

$$SOC = \frac{Q_{re}}{Q_r} \times 100\% \quad (1)$$

其中, Q_{re} 指的是动力电池目前的电量, $\text{kW} \cdot \text{h}$; Q_r 指的是动力电池的满电量, $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。这里用百分比来表示 SOC, 100% 表示充满电的状态, 0% 表示完全放电。

本文采用安时积分法对 SOC 进行估算,该方法通过对一段时间内的充电电流和放电电流进行积分,计算电池充入和放出的电荷量,再结合上一时刻的剩余电量,推算得到当前的剩余电量。具体计

算方法如式(2)、式(3)所示

$$Q(t) = \left(\frac{1}{Q_r} \int_{t_0}^t \eta i d(\tau) \right) \times 100\% \quad (2)$$

$$SOC(t) = SOC(t_0) - Q(t) \quad (3)$$

采用 AHI 法能够计算其中, i 为一段时间 $t_0 - t$ 内的充、放电工作电流,当电池在放电时, i 取正;充电时, i 取负。 Q_r 为动力电池的额定容量, $Q(t)$ 为一段时间 $t_0 - t$ 内工作电流作用的累计电荷与电池额定容量的比值, η 为库伦效率, $SOC(t_0)$ 为上一时刻 t_0 的 SOC, $SOC(t)$ 为当前时刻 t 的 SOC。

3 电动汽车电池管理系统硬件设计

3.1 主控单元的设计

电池管理系统主控单元结构主要包括主控芯片,本研究选择 STM32,其他模块包括电源模块、报警模块、上位机、内存卡、时钟模块和电池电流采集模块等(图2)。

3.2 从控单元

从控单元主要任务是对电池状态参数进行检测和采集,并将采集到的数据通过通信方式传输到主控单元进行处理和分析,可以实时监测电池状态,以便主控单元做出相应的控制和决策^[8]。从控单元与主控单元之间使用一种通信协议或接口进行数据传输。本文通信方式为无线通信,从控单元将采集到的电池状态数据传输给主控单元,以便主

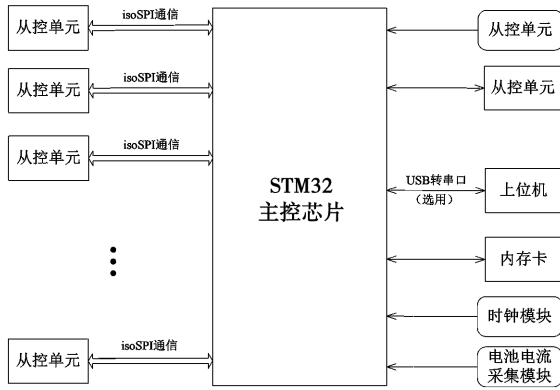


图 2 电动汽车电池管理系统主控单元结构

控单元进行实时监测、控制和决策。从控单元主芯片选择 LTC6813 - 1 芯片是一款专用于电池管理系统的多路电池监测芯片,由 Linear Technology(现为 Analog Devices)推出,适用于大型电池组的监测和管理,主要特点机连接方式如表 1 所示。

表 1 LTC6813 - 1 芯片应用特点

模块特点	连接方式
多通道监测	串行外设接口 (SPI)
高精度电池电压测量	通过 SPI 接口与主控单元通信
延时平衡模块	使用 ISO1540 等光耦隔离器进行电气隔离
温度监测模块	与主控单元之间进行电气连接
通信接口	通过串行通信接口与外部设备连接
多个电池单体监测模块	连接电池单体并采集电压和温度数据
低功耗运行模块	连接电源模块并实现低功耗操作
故障检测模块	连接报警模块,通过报警信号通知主控单元
灵活的控制和配置选项	连接上位机或控制终端,通过命令和配置进行控制

4 电动汽车电池管理系统软件设计

电池管理系统的功能实现不仅仅依赖于可靠的硬件电路设计,还需要配合软件设计来完成。软

件设计在电池管理系统中扮演着重要角色,可以控制和协调硬件模块的操作,实现电池的监测、控制和保护功能。

4.1 软件环境

由于使用 STM32 系列微控制器,因此本文使用 Keil uVision5 作为软件开发环境,对于 STM32F429IGT6 芯片,Keil uVision5 可以提供丰富的设备支持、外设库和驱动程序。同时,Keil uVision5 提供了强大的调试功能,包括仿真器和调试器的支持,可以实现对目标设备的调试、单步执行、变量监视等操作,属于一个集成的软件开发环境,可以整合编译器、链接器和调试器等工具,简化了开发流程。

4.2 主控程序的设计

主控程序负责整个系统的控制、协调和决策。在主控程序设计过程中,还需要考虑软件的可扩展性、可靠性和实时性等因素,以确保系统的稳定运行和性能优化。同时,合理的代码架构和良好的注释和文档也是重要的,以便后续维护和团队协作。本文给出部分优化后的主控程序如图 3 所示。

5 性能测试与分析

5.1 单体电池电压检测

电池电压是电池管理系统中必不可少的检测参数之一,可以提供有关电池状态和容量的重要信息,基于优化系统,根据采样率和系统要求,以一定的时间间隔进行电压采样。通过模数转换器 (ADC) 将模拟电压信号转换为数字信号,结果如表 2 所示,实际测量值与期望值之间的差异为 0.03 V,相对误差为 0.75%,表明检测值与测量值误差较小,但仍然可以通过校准和改进测量设备、优化电压采样和转换电路等方法进一步提高测量精度。

表 2 单体电池电压检测精度分析

检测值/V	测量值/V	绝对误差/V	相对误差/%
4.03	4.00	0.03	0.75

5.2 SOC 估算值于测量值对比

SOC 估算值于测量值对比如图 4 所示,结果表明,测定值于标定值拟合度较高,说明 SOC (State of Charge) 的估算值与测量值之间存在较好的一致性,估算值与测量值误差较小,有助于优化算法和改进电池管理系统的性能。

```

// 电池监测模块
void batteryMonitoring()
{
    // 从控单元通信, 获取电池状态数据
    float voltage = getBatteryVoltage();
    float current = getBatteryCurrent();
    float temperature = getBatteryTemperature();

    // 数据处理和显示
    printf("电池电压: %.2f V\n", voltage);
    printf("电池电流: %.2f A\n", current);
    printf("电池温度: %.2f °C\n", temperature);

    // 根据数据进行状态估算和决策
    // ...

    // 发送控制指令
    // ...
}

// 充放电控制模块
void chargeDischargeControl()
{
    // 根据电池状态和系统需求生成控制指令
    // ...

    // 发送控制指令给充放电器模块
    // ...
}

// 异常处理和报警模块
void handleAlarm()
{
    // 检测电池状态异常情况
    // ...

    // 如果异常, 触发报警或保护机制
    // ...
}

// 主控程序主循环
int main()
{
    while (1)
    {
        // 电池监测
        batteryMonitoring();

        // 充放电控制
        chargeDischargeControl();

        // 异常处理和报警
        handleAlarm();

        // 延时或定时器等, 控制主循环的执行频率
        // ...
    }
    return 0;
}

```

图3 主控程序示例

6 结论

电动汽车电池管理系统是电动汽车中至关重要的一环,对于电动汽车的性能、可靠性、安全性和

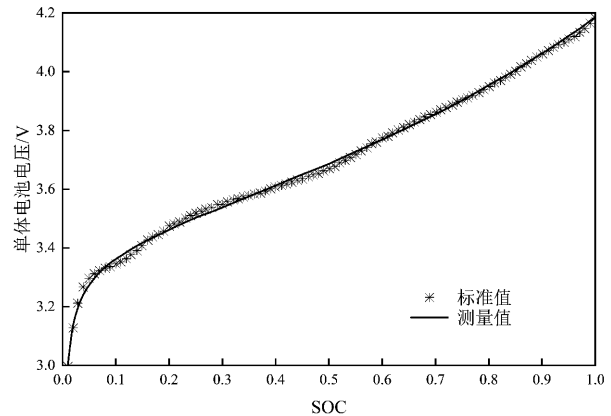


图4 SOC估算值于测量值结果对比

使用寿命等方面起着重要作用。本文介绍了电动汽车电池管理系统的硬件结构组成、软件功能、挑战和优化方法,并对优化设计方案进行论述,设计完成后开展性能测试于分析。结果表明,单体电池电压的检测精度测量结果与期望值存在一定的差异,但在可接受的范围内,SOC估算值于测量值拟合度较高,误差较小,可以帮助系统评估电池状态、容量和健康状况。研究结果对于推动电动汽车电池管理系统,不断向更高性能、更高安全性、更高集成度、更高能量密度和更可持续的方向发展提供理论参考。

参考文献:

- [1] 王肃珺. 低温工况下电动汽车电池热管理系统优化[J]. 汽车与新动力, 2023, 6(2): 40-47.
- [2] 赵轩, 李美莹, 余强, 等. 电动汽车动力锂电池状态估计综述[J]. 中国公路学报, 2023, 36(6): 254-283.
- [3] 吴自强, 陈振中, 夏雨. 平纹机织复合材料纯电动汽车电池箱多尺度可靠性优化设计[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2023, 49(4): 66-75+135.
- [4] 武明虎, 杜万银, 张凡, 等. 基于卡尔曼滤波和特征指数化的电动汽车电池故障诊断方法研究[J]. 汽车技术, 2023(8): 7-13.
- [5] 梁军强, 蒋玲玲, 迟珉良, 等. 焊接顺序对电动汽车电池盒铝合金框架残余应力及焊接变形的影响[J]. 热加工工艺, 2023, 52(19): 133-138.
- [6] 张超, 王星星, 韩桂楠. 基于大数据的电动汽车动力电池充电预测分析[J]. 电子技术, 2023, 52(2): 307-309.
- [7] 邓元望, 尹会春, 鄂加强, 等. 电动汽车电池组绝缘监测方法研究[J]. 湖南电力, 2023, 43(1): 46-49+57.
- [8] 李冠中, 李琛研. 低温环境下纯电动汽车动力电池热管理方法[J]. 汽车实用技术, 2023, 48(6): 10-16.