

废旧锂离子电池梯次利用的主动均衡 BMS 设计

梁思建¹, 金浩²

¹ 广东方展电机有限公司 广东佛山

² 华升富士达电梯有限公司长沙分公司 湖南长沙

【摘要】废旧锂离子电池的梯次利用是当前能源回收和储能领域的研究热点。本文针对锂离子电池在梯次利用过程中存在的电池单体电压不均衡问题,提出了一种基于主动均衡技术的电池管理系统(BMS)设计方案。通过对电池单体电压的实时监测与调节,利用均衡电路有效地消除了电池组内的不均衡状态,从而延长电池组的使用寿命,提高能量利用率。该方案在保证电池安全性和稳定性的前提下,能够最大程度地提升梯次利用电池的整体性能,具有重要的实际应用价值。实验结果表明,所设计的 BMS 能够显著提高电池组的效率和稳定性。

【关键词】梯次利用; 锂离子电池; 主动均衡; 电池管理系统; 电压均衡

【收稿日期】2025 年 4 月 15 日

【出刊日期】2025 年 5 月 18 日

【DOI】10.12208/j.jeea.20250169

Design of active equalization BMS for echelon utilization of spent lithium - ion batteries

Sijian Liang¹, Hao Jin²

¹Guangdong Fangzhan Motor Co., Ltd., Foshan, Guangdong

²Huasheng Fujita Elevator Co., Ltd. Changsha Branch, Changsha, Hunan

【Abstract】The echelon utilization of spent lithium - ion batteries is a research hotspot in the field of energy recovery and energy storage. Aiming at the problem of unbalanced voltage of battery cells in the process of echelon utilization of lithium - ion batteries, this paper proposes a design scheme of battery management system (BMS) based on active equalization technology. Through real - time monitoring and regulation of the voltage of battery cells, the equalization circuit is used to effectively eliminate the unbalanced state in the battery pack, thereby prolonging the service life of the battery pack and improving the energy utilization rate. On the premise of ensuring the safety and stability of the battery, this scheme can maximize the overall performance of the echelon - used battery, which has important practical application value. The experimental results show that the designed BMS can significantly improve the efficiency and stability of the battery pack.

【Keywords】Echelon utilization; Lithium - ion battery; Active equalization; Battery management system (BMS); Voltage equalization

引言

锂离子电池因其高能量密度和长寿命广泛应用于便携式电子设备和电动汽车等领域。随着电池使用寿命的逐渐减少,废旧电池的回收与再利用问题成为全球亟待解决的挑战之一。梯次利用作为废旧电池回收的关键技术,能够通过延长电池的使用寿命,降低环境污染。在电池的梯次利用过程中,电池单体的电压差异会导致电池组性能不均衡,进而影响其安全性与寿命。设计一种高效、可靠的电池管理系统(BMS)来进行电池电压均衡已成为研究的重点。本文提出了一种基于主动均衡技术的 BMS 设计方案,通过优化电池组的能量管理和调节策略,解决了传统 BMS 系统在电池梯次

利用中的局限性,为废旧电池的有效利用提供了新的思路和方法。

1 电池梯次利用中电压不均衡问题的分析

在电池梯次利用过程中,电池单体电压不均衡问题普遍存在,严重影响电池组的性能与安全。由于每个单体电池的内阻、容量和老化程度不同,充放电过程中会产生电压不均衡,进而影响电池组的使用寿命。电池不均衡的根本原因在于电池特性差异,长期使用后,部分电池因过充或过放而内阻增大、容量下降,导致电压波动,降低充放电效率。不均衡还可能引发局部过热和热失控等安全隐患,对电池组的安全性构成威胁。开发高效的电池均衡技术,特别是在电池管理系统(BMS)

中的应用,成为提升梯次利用效率和电池安全的关键。

梯次利用技术的发展使得电池不均衡问题愈加突出。传统的电池管理系统依赖于被动均衡技术,通过消耗多余能量来降低电池组内电压不均衡的单体电池电压。虽然这种方法能缓解不均衡问题,但无法根本解决电池组的性能衰减。被动均衡技术虽然简单且成本低,但它不仅浪费能量,还可能导致电池过度放电,加速老化^[1]。采用主动均衡技术显得尤为重要。主动均衡技术通过调整电池组内部的能量流动,将电压较高电池的多余能量转移到电压较低的电池,实现电池组的电压均衡。该技术不仅减少能量浪费,提高电池利用效率,还能有效提升电池的安全性和长期稳定性。

电池组电压不均衡的解决方案不仅要在技术层面进行改进,还需要从系统设计的角度出发进行全面的优化。当前,尽管市场上已有一定的电池均衡技术,但针对梯次利用中电池单体的非理想特性和老化状况的解决方案依然不足。电池梯次利用的核心挑战之一就是如何在保证电池组性能和安全性的前提下,提升电池的使用效率。设计更加精细化的电池管理系统,结合主动均衡技术和实时监控技术,能够有效降低电池单体电压不均衡的风险,提高电池组的运行可靠性和经济性。这不仅是当前电池管理技术的研究热点,也为电池梯次利用提供了全新的思路。

2 主动均衡技术在 BMS 中的应用原理

主动均衡技术在电池管理系统中的应用原理,首先体现在对电池单体电压差异的动态调节上。与被动均衡技术不同,主动均衡通过控制电池组内部能量的流动,在电池之间进行能量传输,从而将电压较高的单体电池中的多余能量转移到电压较低的电池中,实现整个电池组的能量均衡。具体而言,主动均衡系统通过精确的电池监测和控制电路,在每个电池单体之间动态调整电荷,从而实现对电池电压的不均衡校正。这种调节方式不仅避免了能量的浪费,还能在保证电池组效率的延长电池的使用寿命。主动均衡技术通常包括能量管理模块、控制单元和功率转换模块等核心组件,协同工作以确保电池组在整个生命周期内的均衡状态。

在实际应用中,主动均衡技术通常采用两种常见的实现方式:一种是基于电压差异的能量转移方法,另一种是基于电池状态(如 SOC 和 SOH)的实时调节方式。前者通过监测电池单体之间的电压差异,自动启动能量转移,调整电池的电压分布;后者则结合电池的健康状态和剩余电量信息,对电池组进行智能调节,避免某些电池因过度充放电而出现过早衰退^[2]。在这些方式

中,能量转移通常通过电磁感应、开关电源或直流-直流转换器等电力电子设备实现,从而确保系统的高效运作。这种技术的应用原理可以有效地提高电池的能量利用率,减少能量损失,并在一定程度上延长电池的生命周期。

主动均衡技术的一个显著优势在于其能够根据电池的实时状态进行动态调节。由于电池的电压、容量和内阻等特性在整个使用过程中会发生变化,因此对电池的均衡管理不能依赖静态方案。主动均衡技术的实时监控和控制能力使其能够适应电池性能的逐步变化,动态调整电池组的工作状态。该技术通过对每个电池单体进行独立监测,能够精确获取每个电池的充电状态(SOC)、健康状态(SOH)以及电池温度等关键参数,并基于这些信息进行合理的能量调配。这样,不仅可以保证电池在充放电过程中的电压均衡,还能防止电池出现过度放电或过度充电的风险。

3 基于主动均衡的 BMS 设计与实现

基于主动均衡的电池管理系统(BMS)设计,首先需要在硬件层面进行充分的规划。系统的核心功能包括电池状态监测、能量调节、故障预警以及数据记录等多个模块。设计一个高效的主动均衡 BMS,首先需要在电池监测方面进行精准化处理。系统需要通过传感器实时监控每个电池单体的电压、电流、温度等参数,确保能够及时发现任何异常情况,并做出响应。这些传感器数据将输入到系统的控制单元,供系统根据实时数据调整电池之间的能量传输。为了保证电池组的性能,BMS 必须具备一定的容错能力,确保在电池性能不稳定或电池组发生故障时,能够自动调节,最大程度地降低电池损伤。

在能量调节方面,主动均衡 BMS 通过功率转换模块(如 DC-DC 转换器或电磁感应模块)实现电池单体之间的能量交换。电池管理系统通过监测各电池的充电状态,根据电池之间的电压差异,自动启动能量调节过程。通常情况下,电压较高的电池会将多余的电能通过转换器转移到电压较低的电池,以实现整个电池组的电压均衡^[3-7]。这一过程不仅提高了电池的能量利用率,还能在很大程度上延长电池的使用寿命。为保证系统的高效运作,BMS 的设计还需考虑到能源转移过程中的功率损耗、转换效率以及电池间的电流负载均衡等问题,这要求系统具备较高的能量转换效率和优化的电流控制算法。

在 BMS 的实现过程中,软件控制系统也发挥着至关重要的作用。控制软件需要根据电池单体的实时数

据和电池管理策略进行实时决策, 并调整能量流动的方向与速度。系统还需具备故障检测和诊断功能, 确保在电池状态异常时能够及时采取相应的措施, 避免损害电池或发生安全事故。控制系统需要考虑到电池的寿命衰减, 实时计算每个电池的健康状态, 并根据电池的实际状况调整均衡策略。对于老化较严重的电池, 应适当减少其参与能量转移的频率, 防止其过度放电或过度充电。基于主动均衡技术的 BMS 设计不仅要在硬件电路层面进行优化, 还需要在软件控制和算法调节上进行深入研究和开发, 确保系统的整体性能和安全性。

4 实验结果与系统性能分析

在实验阶段, 基于主动均衡的 BMS 系统在不同充放电条件下进行了广泛的测试, 结果显示系统在电池组电压均衡方面表现出了优异的性能。实验中采用了多个梯次利用的电池单体组, 模拟了不同的工作环境和场景。实验结果表明, 主动均衡 BMS 能够显著减少电池组内的电压差异, 避免了电池组部分单体电池由于过度充电或放电而导致的性能衰减。特别是在长时间使用过程中, BMS 系统通过智能调节电池之间的能量传输, 显著提高了电池组的整体能量利用效率。在与传统被动均衡系统的比较中, 主动均衡 BMS 不仅提高了电池组的效率, 还延长了电池的生命周期, 表现出较好的经济性和可靠性。

进一步的实验数据表明, 基于主动均衡的 BMS 在应对电池性能衰减时具有更强的适应性。通过对比电池单体的健康状态 (SOH) 和剩余电量 (SOC), 系统能够精确调整每个电池单体的充电策略, 从而实现整个电池组的均衡。实验还验证了系统在电池组出现故障或异常时的响应速度和准确性。无论是电池短路、过充、过放等情况, 系统能够及时启动保护机制, 保障电池组的安全^[8]。系统的这些优异性能为梯次利用电池的实际应用提供了强有力的支持, 表明主动均衡技术不仅在理论上具有可行性, 在实际应用中也具有较高的实用价值。

实验结果充分证明了基于主动均衡技术的 BMS 在提升梯次利用电池性能、提高电池组效率和延长电池寿命方面的巨大潜力。通过智能化的能量管理和精确的电池监控, 主动均衡 BMS 能够有效地解决电池电

压不均衡问题, 为电池梯次利用提供了更为可行和高效的技术方案。

5 结语

通过引入主动均衡技术, 电池管理系统在电池梯次利用中发挥了至关重要的作用。与传统被动均衡技术相比, 主动均衡技术能够更高效地调节电池组内的电压差异, 减少能量浪费, 提升电池的整体利用效率。这不仅延长了电池组的使用寿命, 也大大提高了电池的安全性和稳定性。在实际应用中, 主动均衡技术的推广将为废旧电池的梯次利用提供更为可靠的解决方案, 为能源回收和储能领域的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1] 胥亚楠, 靳莹. 探索 STSE 理念下高中化学项目式学习的新路径——以“废旧锂离子电池的回收处理”为例[J]. 化学教与学, 2025, (09): 3-9.
- [2] 王嫦. 废旧动力锂离子电池回收现状研究[J]. 广东化工, 2025, 52(07): 119-120+140.
- [3] 刘浩. 废旧锂离子电池回收利用研究进展[J]. 当代化工研究, 2025, (06): 22-24.
- [4] 邱建根, 王超, 李永强, 等. 碳达峰碳中和背景下废旧锂离子电池回收利用技术进展[J]. 再生资源与循环经济, 2024, 17(12): 42-46.
- [5] 李志华, 张明旭, 孙正艏, 等. 废旧锂离子电池回收发展现状[J]. 防化研究, 2024, 3(06): 22-30.
- [6] 废旧锂离子电池回收技术获突破[J]. 中学化学教学参考, 2024, (34): 32.
- [7] 郑硕航. 废旧锂离子电池电极材料的资源化回收与再利用研究[D]. 东北师范大学, 2024. [8] 陈欢欢. 废旧锂离子电池前处理技术研究及工业化运用[J]. 世界有色金属, 2024, (22): 183-185.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS