



基于回路仿真的储能系统充放电策略优化与 SOC 平衡控制

尹 慧

(徐州工业职业技术学院汽车工程学院, 江苏 徐州 221000)

摘 要: 目前规模化储能系统普遍存在充放电效率低、机组荷电状态 (state of charge, SOC) 不均衡、工况适配性差等问题。研究基于回路仿真的储能系统充放电策略优化以及 SOC 平衡控制策略进行综述分析。首先探讨了回路仿真和储能系统的内部架构, 分析回路仿真建模步骤以及其在储能系统中的应用优势, 随后重点探讨储能系统充放电优化以及 SOC 平衡控制流程, 重构充放电分层调控策略, 设计分层式 SOC 均衡控制流程。分析证明, 基于回路仿真的储能系统充放电优化控制可以有效解决储能单元充放电不同步的问题, 适配电网调峰平抑波动等多元运行场景。

关键词: 回路仿真; 充放电; SOC 控制; 建模

doi: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2026.0865

中图分类号: TM 912

文献标志码: A

文章编号: 2095-4239 (2026) 10-4059-03

Optimization of charge and discharge strategies and SOC balance control for energy storage systems based on loop simulation

YIN Hui

(School of Automotive Engineering, Xuzhou Vocational College of Industrial Technology,
Xuzhou 221000, Jiangsu, China)

Abstract: In response to the common problems of low charging and discharging efficiency, unbalanced unit SOC, and poor adaptability to operating conditions in current large-scale energy storage systems. The research focuses on the optimization of charging and discharging strategies for energy storage systems based on loop simulation, as well as the analysis of SOC balance control strategies. Firstly, the internal architecture of circuit simulation and energy storage systems was discussed, and the modeling steps of loop simulation and their application advantages in energy storage systems were analyzed. Then, the focus was on exploring the optimization of energy storage system charging and discharging, as well as the SOC balance control process. The layered control strategy for charging and discharging was reconstructed, and a layered SOC balance control process was designed. Analysis has shown that the optimization control of energy storage system charging and discharging based on loop simulation can effectively solve the problem of asynchronous charging and discharging of energy storage units, and adapt to multiple operating scenarios such as power grid peak shaving and fluctuation stabilization.

Keywords: loop simulation; charging and discharging; SOC control; modeling

收稿日期: 2026-10-02; 修改稿日期: 2026-10-10。

作者简介: 尹慧 (1977—), 女, 硕士, 副教授, 研究方向为电子与电气技术、光电检测技术, E-mail: LWZG575@163.com。

引用本文: 尹慧. 基于回路仿真的储能系统充放电策略优化与 SOC 平衡控制[J]. 储能科学与技术, 2026, 15(10): 4059-4061.

Citation: YIN Hui. Optimization of charge and discharge strategies and SOC balance control for energy storage systems based on loop simulation[J]. Energy Storage Science and Technology, 2026, 15(10): 4059-4061.

现阶段,规模化储能系统一般需要多组电池单元串联,在不同电池生产工艺、运行工况、散热性能差异的影响下,各个电池单元的SOC (state of charge) 极易出现失衡现象,直接导致系统充放电容量受限、单体电池过充过放、使用寿命衰减加速等问题。与此同时,传统储能设备的充放电策略一般采用固定阈值调控模式,极少结合系统全回路动态特性优化,在复杂工况下可能出现能量浪费、控制精度不足等问题。回路仿真技术可以精准模拟储能系统电力回路、能量转换等过程,是验证控制策略,优化运行参数的有效手段。对此,研究基于全回路仿真平台,对储能系统在回路仿真加持下充放电策略以及SOC平衡控制技术进行分析综述,为规模化储能系统开发提供技术参考^[1]。

1 回路仿真与储能系统架构

1.1 储能系统回路结构

储能系统完整的回路结构一般包括储能本体回路、功率变换回路以及电网负载耦合回路三部分。各部分回路协同实现储能设备的存储转换以及输出功能。储能本体回路主要以磷酸铁锂电池为核心,通过若干电池并联构成储能子单元,多子单元集成规模化的储能矩阵,共同承担电能存储和释放的核心功能。其电气特征直接决定了系统容量。功率变换回路主要以双向DC/DC变换器和并网逆变器为核心器件,是储能系统能量调控的核心环节,可以实现直流电能与交流电能的双向变换,同时调节充放电功率、电压、电流参数,适配电网运行标准。电网负载耦合回路包含电网接口、负载终端、采样检测模块,负责采集电网电压、频率、负载功率波动数据,为充放电策略调控、SOC均衡控制提供数据支撑。相较于单一电池仿真模型,全回路仿真可完整还原器件损耗、线路阻抗、工况扰动等实际工程因素,仿真结果更贴合现场运行状态^[2]。

1.2 储能系统回路仿真建模

目前搭建储能系统的全回路仿真模型一般需要基于MATLAB/Simulink工具,结合电池二阶RC等效电路模型,精确刻画电池的极化特征,包括动态内阻变化规律,规避传统一阶模型的精度问题。在电池本体建模中,需要通过拟合电池开路电压,明确电阻和SOC值的非线性关系,进而构建动态参数模型,实时模拟不同充放电倍率、温度工况下的

电池状态变化。功率变换回路可采用双闭环控制建模,电压外环稳定母线电压,电流内环需要执行跟踪功率指令,同时模拟变换器动态响应策略,确定开关损耗和谐波扰动特性。电网负载耦合回路可通过搭建可调功率负载模块与电网扰动模块,不断模拟新能源功率波动、电网负荷峰谷变化趋势等数据,同时,模型嵌入数据采集、状态监测、指令传输模块,实现仿真过程中系统运行参数的实时采集与调控指令的精准输出,为后续充放电策略优化与SOC平衡控制验证提供精准仿真环境^[3]。

2 储能系统充放电优化及SOC平衡控制流程

2.1 多目标充放电策略优化模型

现阶段,行业内的主流充放电优化调控体系,一般采用多目标协同优化的建模思路。相较于传统单阈值控制体系,这种多目标协同的建模可有效兼顾储能系统运行的经济性和稳定性,是储能优化调控领域的核心开发方向。技术架构方面,储能充放电优化模型需要满足三个维度的优化目标:系统能量利用效率最优、电池集群SOC一致性最优以及全系统运行损耗最优。在实际建模过程中,现有研究多依靠上述多回路仿真平台的运行数据,量化储能系统变换损耗,确定电池充放电的循环损耗特征,最后构建目标函数,实现系统的多维度性能优化^[4]。

从约束条件的设置角度看,现有成熟的优化体系可以结合电池本体特征和电网标准,建立多层次约束体系,其主要包括电池SOC安全运行区间约束、单体和集群充放电倍率约束以及直流母线电压的稳定约束。其中,SOC常规安全运行区间一般界定为20%~80%,可有效避免电池深度充放电引起的极化加剧和容量衰减等问题,保证电池运行寿命^[5]。

2.2 分层式SOC控制策略

针对传统规模化储能集群普遍存在的多元SOC平衡缺失等问题,分层式SOC均衡控制策略是目前行业内应用范围最广、适配度最高的控制技术之一。该技术采用分层调控架构,可有效兼顾整个电力系统功率的一致性平衡和内部电力单元,更适配大容量储能阵列并行的应用场景。结构上该控制体系可进一步划分为上层系统级功率优化层和下

层单元级调控层。其中上层功率优化层负责系统整体运行性能的调配，依托储能设备全回路仿真模型，精确分析电网负荷需求，包括新能源出力波动、电网调频调峰指令信息，同时结合储能集群整体的运行状态，明确储能系统最优充放电功率，完成各储能子单元的基础功率分配，确保储能系统可以精确响应电网调度指令和功率支撑需求。而下层均衡调控层则主要负责电池集群内部的协同优化，包括各储能单元实时 SOC 状态数据分析等。具体做法是基于 SOC 状态数据，引入标准化 SOC 偏差修正参数，对上层输出的基础功率进行动态微调。在充电工况下，该技术可通过差异化的功率分配方式，降低 SOC 单元充电功率，提高低 SOC 单元充电环境下的电功抑制率，从根本上抑制高 SOC 单元的过充风险。

2.3 优化控制流程

结合目前主流储能调控技术体系，基于回路仿真的分层充放电优化与 SOC 均衡控制，已形成了一套标准可控的完整调控流程。该流程包括数据感知、工况识别、智能优化、均衡调控、指令执行等多个技术环节，是实现储能系统精细化运行的核心流程体系。首先是多元数据采集，依托储能系统回路仿真的高精度采样模块，同步采集各个电池单元的 SOC 值、单体端电压值、实时运行电流数据、直流母线电压数据、电网侧功率以及负荷波动等多维度运行数据，并通过数据滤波算法完成数据的预处理，剔除数据干扰信号，为后续调控决策提供数据支持；其次是运行工况判别，结合电网运行状态、负荷峰谷特性以及储能集群平均 SOC 水平，精准判别系统当前处于充电、放电、备用待机等不同运行工况，匹配对应的充放电调控逻辑；再次是系统功率优化环节，依托多目标优化模型，结合实时工况数据，分析储能系统的最优控制功率，对储能子单元的基础功率进行统一分配，保证运行效率的电网适配性。在此基础上，对 SOC 值进行均衡调控，通过计算各个单元的 SOC 值和集群平均 SOC 偏差量，依托分层均衡算法，修正各个单元的功率指令，其目的是缩小单元间的 SOC 差异，实现电池集群的一致性优化。最后是调控指令执行

环节，将优化后的精准功率分配指令传输至 DC/DC 变换器、并网逆变器等功率变换装备，实现电能双向可控流转，完成精准充放电响应。

3 结 论

本文基于回路仿真技术，系统梳理了储能系统充放电优化与 SOC 均衡控制的核心逻辑，并总结了该类技术的应用特性与未来发展趋势。现有技术体系依托全回路仿真平台，可有效解决规模化储能 SOC 不均衡、充放电效率低、工况适配性差等行业共性问题，能够显著提升储能系统运行经济性与稳定性。后续储能调控技术将进一步朝着智能化、精细化、全生命周期协同管控方向迭代，持续适配高比例新型电力系统的多元化运行需求。

参 考 文 献

- [1] 程筱鹏, 程静, 潘婷, 等. 基于三滑动窗口的风电系统储能优化控制策略[J]. 现代电子技术, 2023, 46(1): 96-101.
CHENG X P, CHENG J, PAN T, et al. Optimization control strategy for energy storage in wind power systems based on three sliding windows[J]. Modern Electronic Technology, 2023, 46(1): 96-101.
- [2] 张汀, 雷勇, 王小昔. 考虑 SOC 均衡的直流微网储能系统控制策略研究[J]. 电源技术, 2023, 47(8): 1099-1104.
ZHANG T, LEI Y, WANG X X. Research on control strategy of DC microgrid energy storage system considering SOC balance[J]. Chinese Journal of Power Source, 2023, 47(8): 1099-1104.
- [3] 李辉, 季海婷, 付博, 等. 含 DC/DC 变换器全钒液流电池储能系统安全充放电策略[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(24): 7-11+18.
LI H, JI H T, FU B, et al. Safe charging and discharging strategy for vanadium flow battery energy storage system with DC/DC converter[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(24): 7-11+18.
- [4] 冯斌, 郭亦宗, 陈页, 等. 基于 GRU 多步预测技术的云储能充放电策略[J]. 电力系统自动化, 2021, 45(9): 46-54.
FENG B, GUO Y Z, CHEN Y, et al. Cloud energy storage charging and discharging strategy based on GRU multi-step prediction technology[J]. Automation of Electric Power Systems, 2021, 45(9): 46-54.
- [5] 金伟兴. 基于智能算法的电能储存系统充放电策略优化分析[J]. 集成电路应用, 2025, 42(11): 486-488.
JIN W X. Optimization analysis of charging and discharging strategies for electric energy storage systems based on intelligent algorithms[J]. Application of IC, 2025, 42(11): 486-488.