

锂离子电池纯电感分层均衡电路仿真研究

黄以波^{1*}, 王琪², 潘佳雯³, 韩思宇³, 洪诗韵², 陆柯男²

¹江苏理工学院机械工程学院, 江苏 常州

²江苏理工学院电气信息工程学院, 江苏 常州

³江苏理工学院数理学院, 江苏 常州

收稿日期: 2026年3月25日; 录用日期: 2026年4月29日; 发布日期: 2026年5月12日

摘要

为改善锂离子电池组在成组应用过程中因单体差异引起的一致性下降问题, 对一种纯电感分层均衡电路进行了建模与仿真研究。该电路采用分层结构, 以内层电感实现子组内部单体间能量转移, 以外层电感实现不同子组之间的能量交换。在MATLAB/Simulink平台中搭建4节串联锂离子电池均衡模型, 直接设定各电池模块初始SOC, 并以SOC状态量作为均衡控制依据, 对电路工作过程、SOC变化规律以及内外层电感电流特性进行了分析。结果表明, 在设定参数条件下, 纯电感分层均衡电路能够有效缩小电池组内单体SOC差异, 均衡过程中内层与外层电感均可完成较稳定的储能与放能过程。研究结果验证了纯电感分层均衡电路的可行性, 可为电感型均衡拓扑的参数设计与控制策略分析提供方向。

关键词

锂离子电池, 电池均衡, 纯电感, 分层结构, 仿真研究

Simulation Study on a Pure Inductor-Based Hierarchical Equalization Circuit for Lithium-Ion Batteries

Yibo Huang^{1*}, Qi Wang², Jiawen Pan³, Siyu Han³, Shiyun Hong², Kenan Lu²

¹School of Mechanical Engineering, Jiangsu University of Technology, Changzhou Jiangsu

²School of Electrical and Information Engineering, Jiangsu University of Technology, Changzhou Jiangsu

³School of Mathematics and Physics, Jiangsu University of Technology, Changzhou Jiangsu

Received: March 25, 2026; accepted: April 29, 2026; published: May 12, 2026

*通讯作者。

文章引用: 黄以波, 王琪, 潘佳雯, 韩思宇, 洪诗韵, 陆柯男. 锂离子电池纯电感分层均衡电路仿真研究[J]. 纳米技术, 2026, 16(2): 42-52. DOI: 10.12677/nat.2026.162006

Abstract

To address the consistency degradation of lithium-ion battery packs caused by cell-to-cell differences during pack application, a pure inductor-based hierarchical equalization circuit was modeled and simulated in this study. The circuit adopts a hierarchical structure, in which the inner-layer inductors are used to transfer energy among cells within each subgroup, while the outer-layer inductor is employed to exchange energy between different subgroups. A four-cell series-connected lithium-ion battery equalization model was established on the MATLAB/Simulink platform. The initial state of charge (SOC) of each battery module was directly set, and the SOC variable was used as the equalization control criterion. The operating process of the circuit, the variation pattern of SOC, and the current characteristics of the inner- and outer-layer inductors were analyzed. The results show that, under the specified parameter conditions, the pure inductor-based hierarchical equalization circuit can effectively reduce the SOC differences among cells in the battery pack. During the equalization process, both the inner- and outer-layer inductors can achieve relatively stable energy storage and release, indicating that this method has good feasibility for battery equalization. The research results can provide a reference for the design and simulation analysis of active equalization circuits for lithium-ion batteries.

Keywords

Lithium-Ion Battery, Battery Equalization, Pure Inductor, Hierarchical Structure, Simulation Study

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

随着新能源汽车和储能系统的快速发展,锂离子电池因具有能量密度高、循环寿命长和工作电压高等优点,已成为当前动力电池系统的主要储能单元[1]。实际应用中,由于制造工艺、初始容量、内阻、温度场以及老化程度等因素的影响,电池组内各单体之间不可避免地存在差异[2]。这种差异会在充放电过程中逐渐累积,导致部分单体出现过充、过放现象,进而影响整组电池的可用容量、输出性能和使用寿命[3]。因此,均衡管理是电池管理系统中的重要组成部分。

现有锂电池均衡技术主要包括被动均衡和主动均衡两大类[4]。被动均衡结构简单、控制方便,但多余能量以热量形式耗散,能量利用率较低。主动均衡能够在单体之间转移能量,具有均衡效率较高、热损耗较小等优点,近年来受到广泛关注[5]。在主动均衡方法中,电容型均衡电路结构较简单,但能量传输能力受电压差影响明显,在均衡后期易出现速率下降问题;电感型均衡电路利用电感储能与放能完成能量转移,具有较快的动态响应能力和较强的能量传递能力[6]。

近年来,围绕多节串联锂离子电池组的主动均衡问题,研究者提出了多种基于电感的均衡拓扑,包括相邻电感均衡、单电感多开关均衡以及电感-电容混合分层均衡等方案[7]。相邻电感均衡结构能够在相邻单体之间建立较直接的能量传递通道,局部均衡路径较短,但当电池组规模扩大、单体之间能量差跨越多个电池时,能量往往需要经过多级传递,整体均衡时间容易增加。部分分层均衡方案虽然通过组内、组间分级控制提高了系统组织性,但在组间仍采用电容作为主要传能媒介,存在后期受压差减小影响而传能能力下降的问题。相比之下,纯电感分层均衡拓扑在组内和组间均采用电感作为储能与传能元件,

能够在保持分层控制思路的基础上, 构建更明确的能量传递路径, 有利于提升大能量差工况下的动态传能能力。因此, 有必要对纯电感分层拓扑的工作机理、控制参数影响及其与经典均衡方案的差异进行进一步分析。

对于由多节电池组成的电池组, 采用分层思想可以将组内均衡与组间均衡分开处理, 从而降低单次控制决策的复杂程度, 并增强系统的可组织性。基于此, 本文构建了一种纯电感分层均衡电路, 以电感作为唯一能量传递媒介, 分别实现子组内部和子组之间的定向能量转移。与传统组间采用电容传能的分层方案相比, 本文方案在结构上避免了组间传能对电容压差的过度依赖; 与经典相邻电感均衡方案相比, 本文通过分层组织方式缩短了跨子组能量再分配时的调度路径。在控制方法上, 本文采用基于 SOC 的比较法, 按照“先组内、后组间”的原则实现分层均衡控制; 在分析内容上, 本文主要对纯电感分层均衡电路的基本工作过程、SOC 变化规律以及内外层电感电流特性进行仿真分析, 以验证该拓扑及其分层控制策略的可行性。关于控制参数优化、与经典均衡方案的量化对比以及该拓扑在更多串联单体条件下的扩展应用, 将在后续工作中进一步研究。

2. 纯电感分层均衡电路结构与工作原理

2.1. 电路结构

本文以 4 节锂离子电池组成的串联电池组为研究对象, 将其划分为两个子组, 即电池 BT1、BT2 构成子组 1, 电池 BT3、BT4 构成子组 2。纯电感分层均衡电路由内层均衡回路和外层均衡回路组成, 其中内层均衡回路用于完成子组内部相邻单体之间的能量转移, 外层均衡回路用于完成不同子组之间的能量交换。与采用电容进行组间能量传递的分层均衡方式不同, 本文所设计的电路在内层和外层均以电感作为储能元件, 从而构成纯电感分层均衡结构。其电路拓扑如图 1 所示。

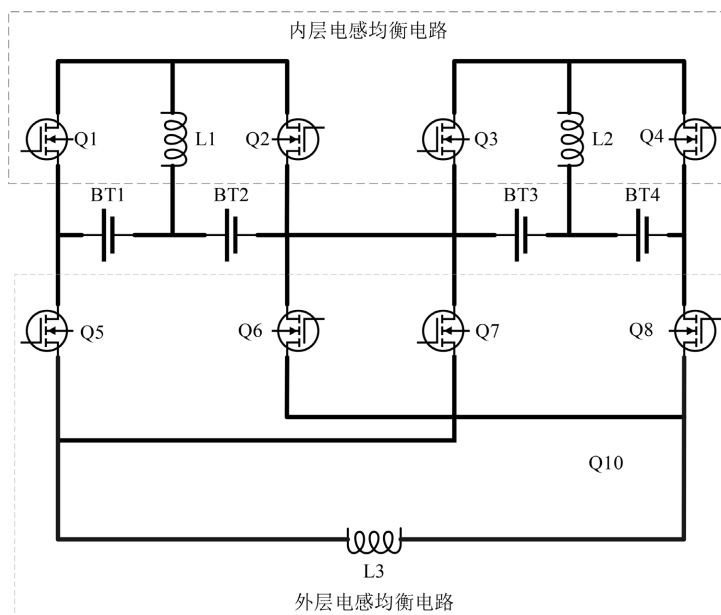


Figure 1. Topology of the pure inductor-based hierarchical equalization circuit
图 1. 纯电感分层均衡电路拓扑图

该电路的基本思想是: 当某单体或某子组能量较高时, 先通过控制开关器件导通, 使电感从高能量单体或高能量子组吸收能量; 随后改变开关导通状态, 使电感向低能量单体或低能量子组释放能量。通

过不断重复“储能-放能”过程，实现电池组内能量重新分配。

2.2. 组内均衡原理

在组内均衡阶段，系统分别对两个子组内部的单体 SOC 进行比较。若 BT1 的 SOC 高于 BT2，则控制相应开关导通，使 BT1 先向内层电感储能，随后电感再向 BT2 释放能量，从而实现 BT1 向 BT2 的能量转移；若 BT1 的 SOC 低于 BT2，则改变导通顺序，使能量由 BT2 向 BT1 传递。对于 BT3 与 BT4 组成的另一子组，同样采用相同的控制逻辑。

由此可见，组内均衡阶段的本质是利用电感的电流连续特性和储能特性，在子组内部建立单体之间的双向能量传递通路。该方式不需要额外耗散能量，能够在一定程度上提高均衡效率。

在组内均衡过程中，电感两端电压与电流变化满足

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (1)$$

式中， u_L 为电感两端电压， L 为电感值， i_L 为电感电流。当高 SOC 单体向电感储能时，电感两端加正向电压，电流随时间线性上升；当电感向低 SOC 单体释放能量时，电感两端极性反向，电流逐渐下降。由此可见，电感电流斜率由回路电压和电感参数共同决定。

$$W_L = \frac{1}{2} Li_L^2 \quad (2)$$

由式(2)可知，电感中储存的能量与电流平方成正比。当控制开关改变导通状态时，电感释放已储存能量，从而在组内两个单体之间建立起连续的能量传递通路。这也是纯电感均衡能够实现主动传能的基本机理。

2.3. 组间均衡原理

当两个子组内部的单体 SOC 差异减小到设定阈值以内后，系统进入组间均衡阶段。此时，外层电感作为组间能量传递的核心元件，高能量子组先向电感充电，电感再向低能量子组放电，从而实现子组之间的能量转移。

对于外层电感回路，在一个开关周期内可近似认为其处于周期稳态，因此满足伏秒平衡条件。外层电感的充电过程和放电过程分别如图 2 和图 3 所示。

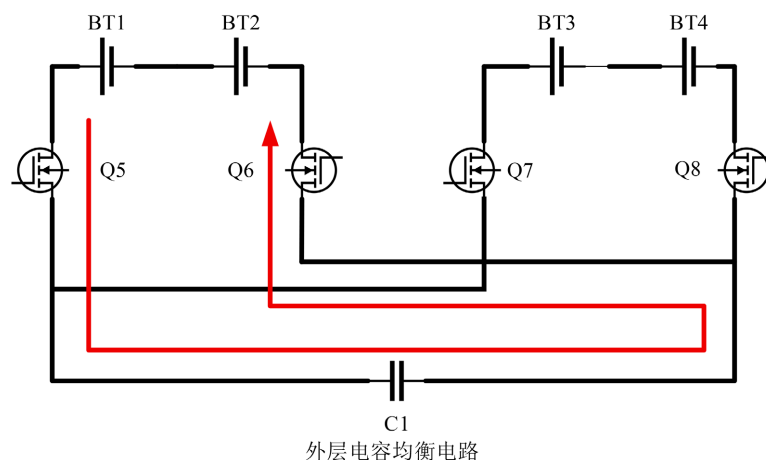


Figure 2. Charging process of the outer-layer inductor
图 2. 外层电感充电过程示意图

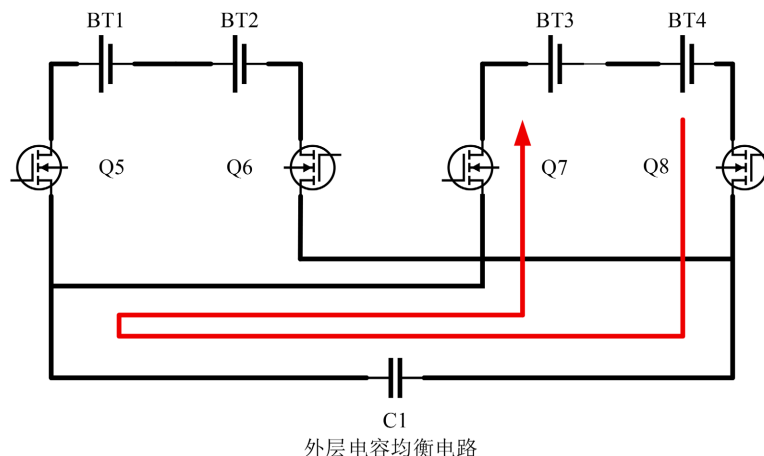


Figure 3. Discharging process of the outer-layer inductor
图 3. 外层电感放电过程示意图

$$U_{on} \cdot t_{on} = U_{off} \cdot t_{off} \tag{3}$$

其中, U_{on} 和 U_{off} 分别表示电感在储能和放能阶段所对应的等效电压, t_{on} 和 t_{off} 分别表示对应的导通时间。当开关频率一定时, 调节导通时间即可改变电感平均电流和单周期传递能量, 进而影响组间均衡速率。

与单纯依赖电压差驱动的电容器组间均衡方式相比, 纯电感分层均衡电路在组间能量传输过程中具有更直接的能量调节路径。其不足在于, 当电池组数量增加或初始能量差较大时, 整体均衡时间仍可能较长, 但其结构清晰, 控制逻辑明确, 适合作为分层主动均衡方法的一种实现形式。

3. 基于 SOC 的分层均衡控制策略

3.1. SOC 状态量设定

为了使均衡控制能够更直接地反映电池剩余能量状态, 本文选取 SOC 作为均衡判据。考虑到本文主要针对 MATLAB/Simulink 环境下的纯电感分层均衡仿真研究, 因此不再单独建立 SOC 估算模型, 而是直接在电池模块中设定各单体初始 SOC, 并实时读取模型输出的 SOC 状态量用于均衡控制。该处理方式能够更突出均衡拓扑及控制逻辑本身的作用, 也便于分析不同初始不一致条件下的均衡响应。

设第 i 节电池的 SOC 为 SOC_i , 则任意两节电池之间的 SOC 偏差可表示为

$$\Delta SOC_{ij} = |SOC_i - SOC_j| \tag{4}$$

在控制过程中, 通过比较各单体 SOC 及子组平均 SOC 的大小规律来确定能量流向。当 SOC 偏差较大时, 系统优先启动相应均衡支路; 当 SOC 偏差逐渐减小时, 通过设定终止阈值避免后期频繁切换。

3.2. 均衡终止条件

设 4 节锂离子电池的 SOC 分别为 SOC_1 、 SOC_2 、 SOC_3 、 SOC_4 。为避免在均衡后期因 SOC 微小波动引起开关器件频繁切换, 本文设置 0.5% 作为均衡终止阈值[8] [9]。当电池组中最大 SOC 与最小 SOC 之差小于该阈值时, 认为电池组达到均衡状态, 系统停止工作。

$$\max(SOC_1, SOC_2, SOC_3, SOC_4) - \min(SOC_1, SOC_2, SOC_3, SOC_4) < 0.5\% \tag{5}$$

3.3. 分层控制流程

当检测到电池组内部 SOC 存在明显差异时, 系统按照“先组内、后组间”的原则进行控制。首先进

行组内均衡,分别比较子组1中SOC₁与SOC₂、子组2中SOC₃与SOC₄的大小关系。当某对子组内前一单体SOC高于后一单体SOC时,控制相应开关按“先储能、后放能”的顺序交替导通,使电感将高SOC单体的能量转移至低SOC单体;反之则调整导通顺序,实现反方向传能。通过这一过程优先减小各子组内部的不一致性。

当两个子组内部的SOC差值均减小到设定范围内后,系统进入组间均衡阶段。定义子组平均SOC

$$SOC_{12} = \frac{SOC_1 + SOC_2}{2}, SOC_{34} = \frac{SOC_3 + SOC_4}{2}.$$

通过比较SOC₁₂与SOC₃₄大小关系,判断两个子组之间的能量分布状态。当SOC₁₂>SOC₃₄时,说明子组1整体能量较高,系统控制外层均衡支路导通,使能量由子组1向子组2转移;当SOC₁₂<SOC₃₄时,则控制能量由子组2向子组1转移。随着组间能量不断重新分配,两子组平均SOC逐步趋于一致,最终实现整个电池组的均衡。

纯电感分层均衡控制并不是对全部单体同时进行无序调节,而是将均衡过程划分为组内均衡和组间均衡两个层次:前者用于优先消除各子组内部单体之间的能量差异,后者用于进一步协调不同子组之间的整体能量分布。通过这种“先局部、后整体”的分层控制方式,能够使电池组内的能量传递路径更加清晰,控制逻辑更加明确,从而实现较为稳定的分层均衡过程。其控制流程如图4所示。

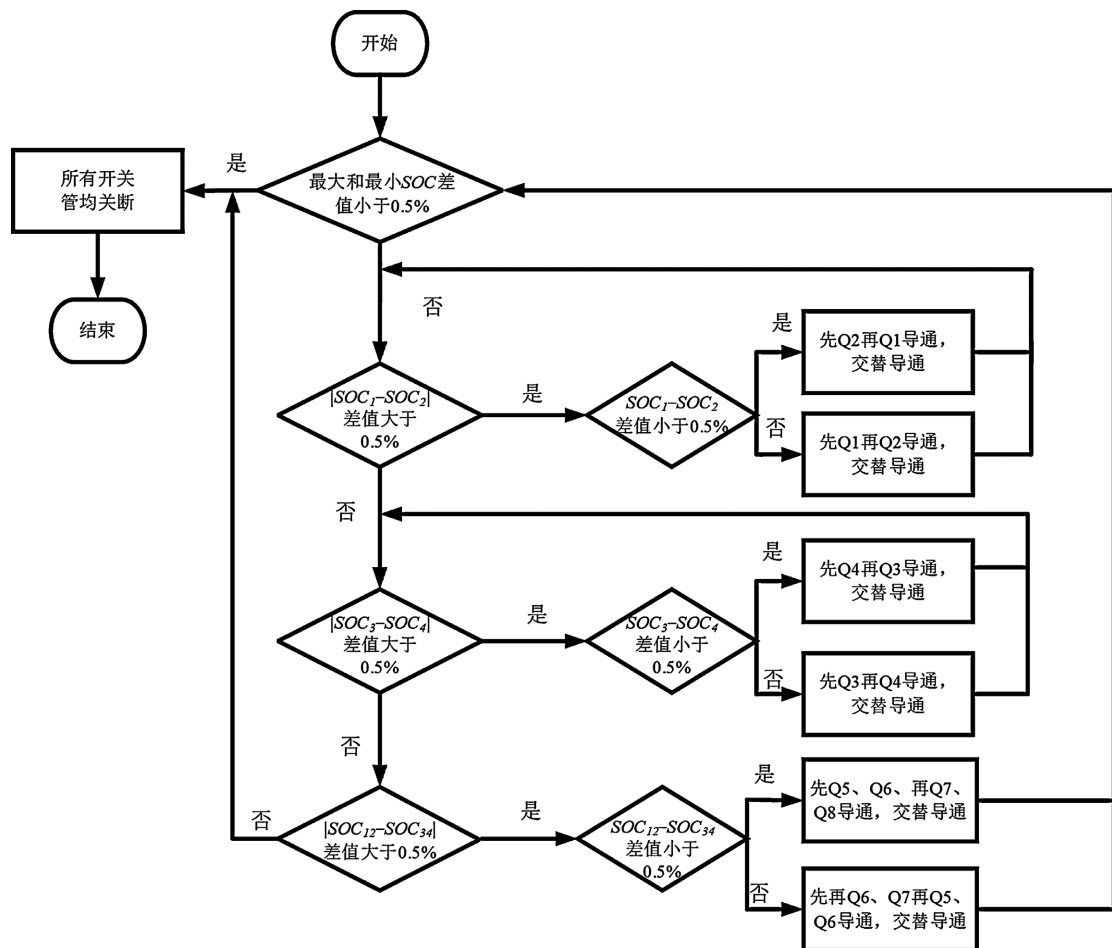


Figure 4. Control flowchart of the pure inductor-based hierarchical equalization circuit
图4. 纯电感分层均衡控制流程图

4. 仿真模型建立

4.1. 仿真平台与参数设置

为验证所设计纯电感分层均衡电路的可行性，本文在 MATLAB/Simulink 平台上建立仿真模型。模型对象为 4 节串联锂离子电池，每节电池额定电压设为 3.7 V，额定容量设为 300 mAh，单体等效内阻设为 80 mΩ。为体现电池组初始不一致性，设置 4 节电池的初始 SOC 分别为 85%、70%、45% 和 30%。在均衡回路参数方面，均衡电感取 1 H，基准工况下开关频率设为 0.1 kHz，开关导通占空比设为 50%，均衡终止阈值设为 0.5%。为便于展示，相关参数汇总见表 1，仿真模型如图 5 所示。

Table 1. Main simulation parameters

表 1. 仿真主要参数

元器件	参数	内阻
锂电池	3.7 V, 300 mAh	0.08 Ω
电感	1 H	0.1 Ω
MOS 管	导通电压 4 V	0.1 Ω
导通占空比	50%	/
导通频率	0.1 Hz	/

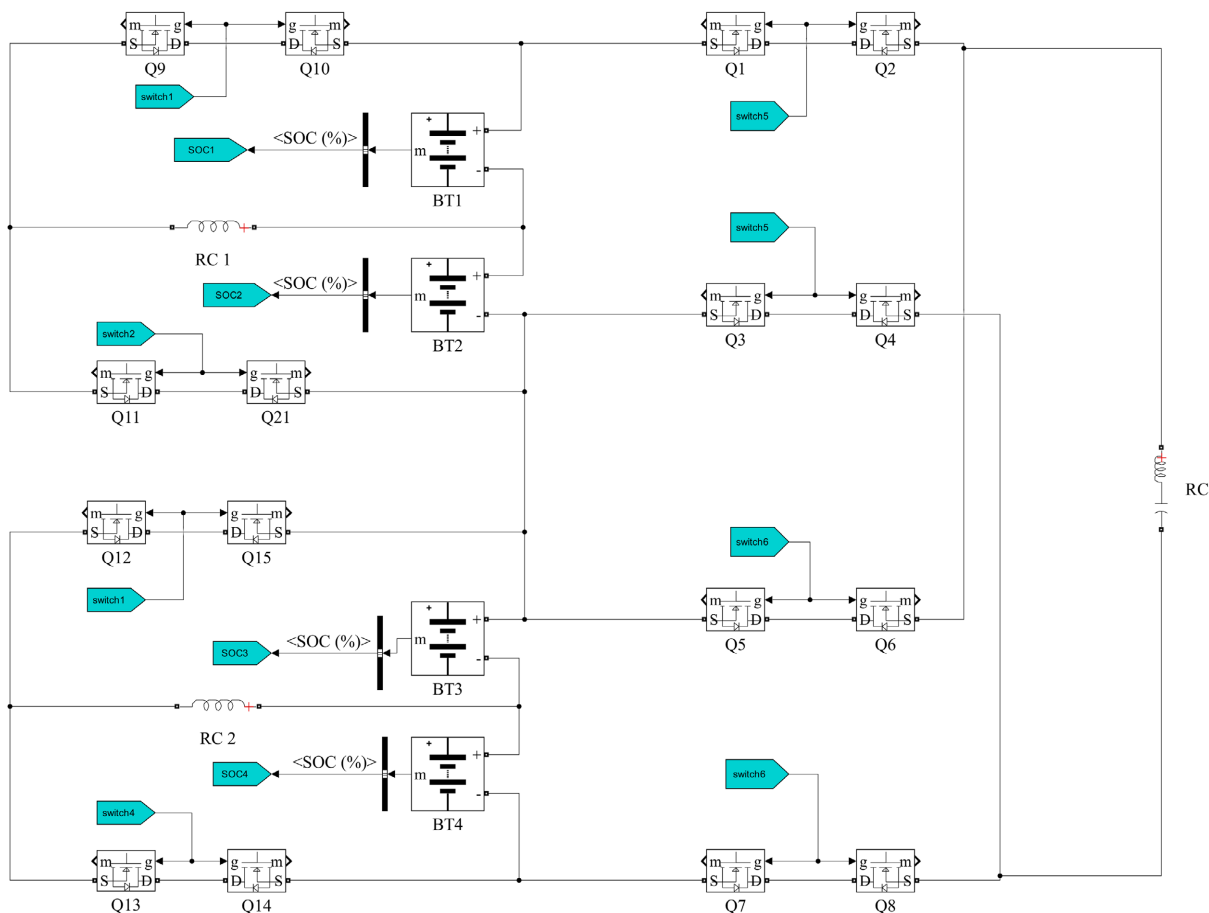


Figure 5. Simulation model of the pure inductor-based hierarchical equalization circuit

图 5. 纯电感分层均衡仿真模型

4.2. 仿真工况

结合纯电感分层均衡电路的工作过程, 本文从 SOC 收敛特性和电感动态响应两个方面开展分析[10][11]。一方面, 通过观察各单体 SOC 随时间的变化过程, 判断均衡电路是否能够实现高 SOC 单体向低 SOC 单体的定向能量转移; 另一方面, 通过分析组内与组间均衡阶段内、外层电感电流的波形特征, 考察电感在储能和放能过程中的工作状态是否稳定。为便于说明均衡过程, 本文主要给出 SOC 变化曲线、内层电感电流曲线和外层电感电流曲线, 并结合各阶段控制逻辑进行分析。

4.3. 仿真结果与分析

如图 6 所示, 组内均衡阶段中, 内层电感承担子组内部单体之间的能量传递任务。仿真结果表明, 内层电感电流在均衡过程中呈周期性变化, 其波动范围约为 0.05 A~1.98 A。电流先在储能阶段上升, 再在放能阶段下降, 符合电感型主动均衡回路的典型工作规律。根据式(1)可知, 在电感值一定时, 回路作用电压越大, 电流变化斜率越大。

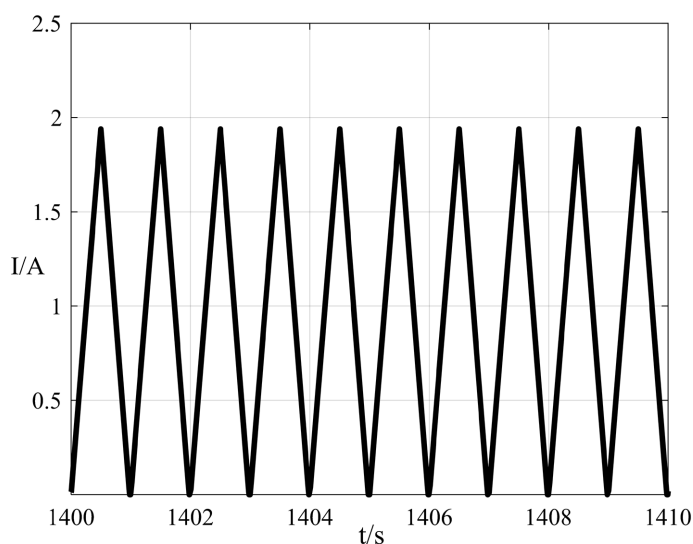


Figure 6. Simulation model of the pure inductor-based hierarchical equalization circuit
图 6. 内层电感电流变化曲线

内层电感电流的周期性变化说明, 在控制信号驱动下, 电感能够稳定地完成从高 SOC 单体吸收能量并向低 SOC 单体释放能量的过程。该结果验证了子组内部均衡通路设计的合理性。

如图 7 所示, 当组内均衡基本完成后, 系统进入组间均衡阶段。此时外层电感承担两个子组之间的能量交换任务。仿真结果显示, 外层电感电流变化范围约为 0.05 A~3.92 A, 相较于内层电感, 外层电感峰值电流更大。这是因为组间能量传递过程中, 外层回路承担的是两个子组整体能量差的调节任务, 其传输功率相对更高。同时, 结合式(3)可以看出, 外层回路的占空比和等效电压共同决定了单周期传能能力, 因此其电流幅值普遍高于组内均衡阶段。

从外层电感电流波形可以看出, 电感在各个开关周期中均能够完成较稳定的充放能过程, 表明纯电感分层均衡电路在组间均衡阶段同样能够保持较好的工作稳定性。

如图 8 所示, 在初始 SOC 分别为 85%、70%、45%和 30%的条件下启动均衡控制后, 4 节电池的 SOC 均随时间变化逐步向共同值收敛。初始阶段, 由于 BT1 与 BT2、BT3 与 BT4 之间均存在明显 SOC 差异, 系统首先执行组内均衡, 子组内部高 SOC 单体向低 SOC 单体传递能量; 随着组内 SOC 差异逐渐减小,

系统进一步进入组间均衡阶段，使高 SOC 子组向低 SOC 子组转移能量。最终，4 节电池 SOC 逐渐逼近一致，表明所设计电路能够有效实现电池组能量重分配。

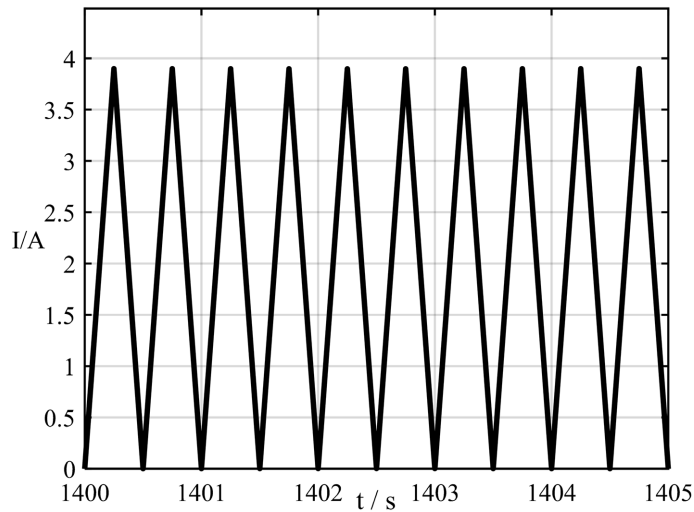


Figure 7. Current waveform of the outer-layer inductor
图 7. 外层电感电流变化曲线

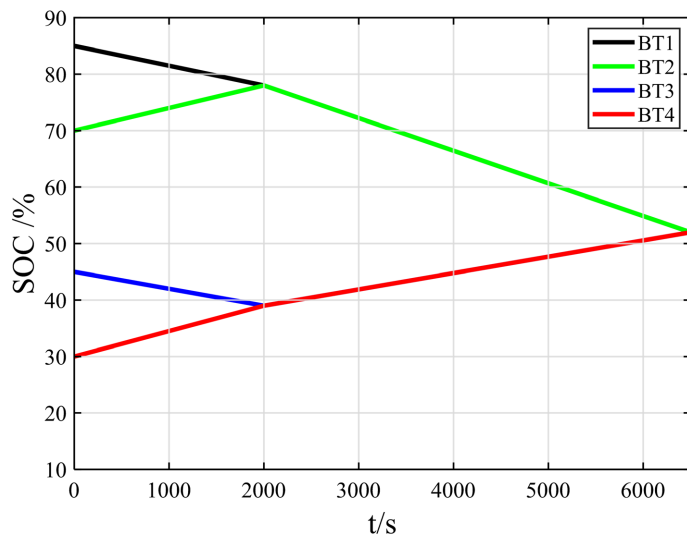


Figure 8. Curves of the pure inductor-based hierarchical equalization circuit
图 8. 纯电感分层均衡 SOC 变化曲线

从均衡曲线可以看出，纯电感分层均衡电路能够实现由高 SOC 电池向低 SOC 电池的定向传能，说明基于 SOC 的分层控制策略是可行的。

4.4. 可扩展性讨论

本文以 4 节串联锂离子电池组为对象，对纯电感分层均衡电路的结构与控制方法进行了仿真验证。对于更大规模的串联电池组，该拓扑仍具有一定的扩展潜力。若将电池数量扩展至 8 节甚至更多，可按照分层思想将电池组进一步划分为多个子组，在各子组内部保留内层电感均衡支路，用于实现子组内单体之间的能量转移；同时在更高层级设置组间均衡支路，用于完成不同子组之间的能量协调。随着串联

单体数量增加, 电路的层级结构将更加清晰, 有利于将局部不一致性调节与整体能量再分配分开处理, 从而保持分层控制的基本思路。

但与此同时, 电池数量增加也会带来器件数量上升、控制逻辑复杂化以及调度路径增多等问题。一方面, 随着子组数量增加, 均衡支路中的电感及开关器件数量将相应增加, 系统硬件规模和驱动需求也会随之提高; 另一方面, 控制过程中需要比较的单体 SOC 与子组平均 SOC 数量增多, 均衡阶段之间的切换判断和开关时序协调将更加复杂。当电池组规模进一步扩大时, 若各层之间的能量分配不合理, 还可能导致部分能量需要经过多级传递, 从而影响整体均衡时间。因此, 对于纯电感分层均衡拓扑而言, 其在大规模电池组中的应用仍需进一步结合层级划分方式、器件参数设计及控制策略优化开展研究。后续可在 8 节串联电池条件下, 对其均衡速度、器件数量变化及控制复杂度进行进一步分析, 以为该拓扑的工程化应用提供依据。

5. 结论与展望

本文针对锂离子电池组在成组应用过程中因单体差异引起的一致性下降问题, 围绕纯电感分层均衡电路开展了建模与仿真研究, 并对其工作机理、控制过程及均衡效果进行了分析。结合仿真结果, 可得到以下结论:

(1) 构建了适用于 4 节串联锂离子电池的纯电感分层均衡模型。该拓扑采用分层结构, 以内层均衡回路实现子组内部单体之间的能量转移, 以外层均衡回路实现不同子组之间的能量交换, 能够满足分层均衡的基本要求, 体现出较清晰的能量传递路径。

(2) 建立了基于 SOC 比较的分层均衡控制策略。通过按照“先组内、后组间”的控制原则, 对各单体 SOC 及子组平均 SOC 进行比较判断, 并协调相应开关器件的导通顺序, 可实现电池组内部能量的有序重分配。该控制方式层次清晰, 能够较好地反映纯电感分层均衡电路的运行特点。

(3) 仿真结果表明, 在初始 SOC 分别为 85%、70%、45% 和 30% 的条件下, 4 节电池 SOC 均随均衡过程逐步趋于一致, 内层与外层电感电流在储能和放能过程中均表现出较稳定的变化规律, 说明所设计的纯电感分层均衡电路能够实现高 SOC 单体向低 SOC 单体的定向能量传递, 验证了该拓扑及其控制策略的可行性。

本文的研究重点在于验证纯电感分层均衡电路的拓扑可行性及基本均衡特性。对于开关频率、占空比等控制参数对均衡速度、能量损耗及器件应力的影响, 以及与经典均衡方案的定量对比, 仍有待进一步深入研究。后续工作中, 将结合更丰富的仿真工况与实验条件, 对纯电感分层均衡电路的参数优化、控制策略改进及规模扩展特性开展系统分析, 以为其工程应用提供更充分的理论依据。

致 谢

本论文在选题、研究实施及写作过程中, 得到了许多老师、同学和家人的关心与帮助。在此, 谨向所有给予指导、支持和帮助的人表示诚挚的感谢。

首先, 衷心感谢导师王琪老师在论文研究过程中给予的悉心指导。无论是研究思路的确定、实验方案的设计, 还是论文内容的修改与完善, 王老师都给予了认真细致的指导和帮助。王老师严谨的治学态度、扎实的专业素养和高度负责的工作精神, 使我深受启发, 并为本论文的顺利完成提供了重要保障。

同时, 感谢在论文撰写和研究过程中给予帮助的各位老师和同学。你们在资料查阅、问题讨论及实验开展等方面提供了宝贵支持。

最后, 感谢我的家人一直以来的理解、鼓励与支持。正是有了你们的关心与陪伴, 我才能顺利完成本论文。

参考文献

- [1] 李祖麟, 孟小宇, 褚雪研, 等. 电池均衡拓扑结构及均衡策略研究综述[J]. 电子测量技术, 2024, 47(15): 1-11.
- [2] 张鹏, 李建林, 赵春江. 锂离子动力电池主动均衡技术研究进展[J]. 电源技术, 2022, 46(9): 1247-1253.
- [3] 赵磊, 李建林, 马会强. 锂离子电池组均衡技术及控制策略综述[J]. 电池, 2021, 51(5): 401-406.
- [4] Omar, N., Daowd, M., Bossche, P.V.D., *et al.* (2022) Battery Balancing Techniques: A Review. *Journal of Energy Storage*, **50**, Article 104180.
- [5] Kim, T. and Qiao, W. (2020) A Review of Battery Balancing Methods for Lithium-Ion Battery Packs in Electric Vehicles. *IEEE Access*, **8**, 129601-129615.
- [6] 王双. 基于 SOC 比较的动力电池均衡控制策略研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2022.
- [7] Wu, X., Cui, Z., Li, X., Du, J. and Liu, Y. (2019) Control Strategy for Active Hierarchical Equalization Circuits of Series Battery Packs. *Energies*, **12**, Article 2071. <https://doi.org/10.3390/en12112071>
- [8] Liu, K., Li, K., Peng, Q. and Zhang, C. (2019) A Brief Review on Key Technologies in the Battery Management System of Electric Vehicles. *Frontiers of Mechanical Engineering*, **14**, 47-64. <https://doi.org/10.1007/s11465-018-0516-8>
- [9] 郭志强, 马会强, 李建林. 动力电池组主动均衡技术研究现状[J]. 电源学报, 2023, 21(2): 45-53.
- [10] 吴涛, 马会强, 李建林. 基于能量转移的动力电池主动均衡方法研究[J]. 电工技术学报, 2023, 38(4): 987-996.
- [11] Khan, N., Ooi, C.A., Alturki, A., Amir, M., Shreasth, and Alharbi, T. (2024) A Critical Review of Battery Cell Balancing Techniques, Optimal Design, Converter Topologies, and Performance Evaluation for Optimizing Storage System in Electric Vehicles. *Energy Reports*, **11**, 4999-5032. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.04.041>