DOI：10.13234/j.issn.2095-2805.2026.1.199 **中图分类号**：TM912 **文献标志码**：A

结合 Cuk 电路与单电感电路的电池均衡分层研究

李艳波[1]，马海涛[1]，程绍峰[2]，陈俊硕[1](中国电源学会会员)
(1.长安大学能源与电气工程学院，西安 710064；2.中国兵器工业集团航空弹药研究院，哈尔滨 150030)

摘要：为解决串联电池组不一致性问题，提出1种外层为改进型Cuk斩波电路，内层为单电感均衡拓扑的双层拓扑结构。采用改进型Cuk斩波电路，通过双层开关来选择均衡电池组连接到Cuk均衡器，缩短了能量转移路径，提高了能量转移效率；使用零电压导通技术，保证了均衡电流连续且波动小；采用单电感均衡拓扑，结构简单且具有较高的精度。所提出的双层均衡拓扑可以实现组内任意单体电池之间及任意电池组之间能量的转移。以电池荷电状态作为均衡评价指标，在MATLAB/Simulink中搭建了均衡电路仿真模型，与传统均衡拓扑进行静置均衡及放电均衡的比较，结果表明，所提均衡拓扑缩短了均衡时间，提升了均衡效率；建立了电池均衡实验平台，对12块电池进行了放电实验，验证了分层均衡拓扑的准确性。

关键词：电池均衡；单电感；Cuk斩波电路；荷电状态；均衡效率

Balanced Stratification of Batteries Combining Cuk Circuit and Single-inductor Circuit

LI Yanbo[1], MA Haitao[1], CHENG Shaofeng[2], CHEN Junshuo[1], *Member*, *CPSS*
(1. School of Energy and Electrical Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Air Ammunition Research Institute, China North Industries Group Co., Ltd., Harbin 150030, China)

Abstract: To solve the inconsistency problem of series battery packs, a dual-layer topological structure with an improved Cuk chopper circuit in the outer layer and a single-inductor balanced topology in the inner layer is proposed. The improved Cuk chopper circuit is adopted, and a dual-layer switch is used to connect the balanced battery pack to the Cuk equalizer, so as to shorten the energy transfer path and improve the energy transfer efficiency. The use of the zero voltage switch technology ensures continuous balanced current and small fluctuations therein. The single-inductor balanced topology is used, which has a simple structure and high accuracy. The proposed dual-layer balanced topology can achieve energy transfer between any individual cells within one pack and that between any battery packs. With the state-of-charge of the battery as an equilibrium evaluation indicator, a balanced circuit simulation model is set up in MATLAB/Simulink, which is further compared with the traditional balanced topology in terms of static equilibrium and discharge equilibrium. Results show that the proposed balanced topology shortens the balancing time and improves the balanced efficiency. A battery balancing experimental platform was established, and discharge experiments were carried out on 12 batteries, verifying the accuracy of the hierarchical balanced topology.

Keywords: Battery equilibrium; single inductor; Cuk chopper circuit; state-of-charge; balanced efficiency

收稿日期：2023-05-16；**修回日期**：2023-07-31，2023-08-15；
录用日期：2023-09-10；**网络首发日期**：2023-12-13
基金项目：国家重点研发计划资助项目(2021YFB1600202)
This work is supported by National Key Research and Development Program under the grant 2021YFB1600202

为满足实际应用的需求，常常会将锂离子电池单体大规模地串并联成电池组进行充放电工作[1]。由于生产过程和工作环境的不同，单体电池之间会出现不一致性现象。单体电池之间的不一致性会导

致电池组的使用寿命及可用容量降低，继而缩短电动汽车的续驶里程，增加使用成本[2]，故需对串联电池组进行均衡处理。

相较于被动均衡，主动均衡因其均衡速度快、能量利用率高等特点，成为了现今电池均衡的研究热点。主动均衡通过电感、电容等储能元件将电池中多余的能量进行转移来进行电池均衡。基于电容的电池拓扑[3-5]易于控制且体积小，但均衡过程中的精度不高，难以达到均衡的目标；文献[6-8]提出的基于变压器的电池拓扑其优点为均衡效率高、控制简单，可以实现电池充放电过程中回路的隔离，但标准型号的变压器不能满足均衡拓扑的需求，不同的电池组需要不同的变压器，直接导致该类型的拓扑泛用性差；文献[9-11]提出的基于电感的电池均衡拓扑不受电压差的影响，具有较高的精度，但其缺点为需要复杂的开关阵列，导致要控制的信号增多，从而加大控制的复杂度。主动均衡主要应用在电池管理系统 BMS(battery management system)及储能系统当中，例如钰泰 ETA100X 系列的主动均衡芯片应用在移动电源中；Linear LT8584 单节控制芯片与 TI EMB1499 被应用在车载动力电池系统中。大多数国内外车企都是通过 BMS 来解决电池不一致问题，实时监测电池的电压、电流、温度等参数，多阶段充放电，通过均衡电路转移多余的能量来缓解单体电池之间的差异。

本文基于储能元件电感与传统的 Cuk 斩波电路，提出 1 种新型分组式均衡拓扑方案。该拓扑电路以电池 SOC(state-of-charge)为均衡控制指标[12]，使用电感作为均衡储能元件保证了均衡过程中的精度；双层结构可以实现在任意 2 个单体电池及任意 2 个电池组之间能量的转移，大大提高了均衡效率，适用于大规模串联单体电池，结构简单且泛用性强；拓扑整体结构易于模块化，能够较为有效地解决均衡电路扩展问题；Cuk 电路因其输入电源电流和输出负载电流都是连续的，没有阶跃变化，所以应用范围更加广泛且易于对其进行滤波处理；Cuk 电路结构简单、成本较低，可以大规模的生产制造；能量损耗主要在于 MOSFET 的开断，但本文使用了零电压软开关，大大降低了开关损耗，提高了转换效率。拓扑电路进行扩展时，只需将新增的单体电池进行组合形成电池组，利用选择开关与外层均衡电路相连接，在不增加拓扑结构复杂程度的情况下就可以完成扩展。

1 均衡电路结构及工作原理

1.1 电池系统结构

本文采用的是 1 种基于单电感和 Cuk 斩波电路的双层拓扑，其均衡系统的整体结构如图 1 所示。该电池拓扑以 n 个单体电池串联形成 1 个电池组，m 个电池组形成 1 个电池包，各单体电池之间采用串联连接，电池组之间也采用串联连接，使用分组均衡的策略来控制。电池组内采用单电感均衡电路进行能量的转移，电池组间采用改进型 Cuk 斩波电路[13]进行能量的转移。在电池正常工作期间，数据采集电路会实时检测各单体电池的电压与电流参数，单片机利用扩展卡尔曼滤波 EKF(extended Kalman filter)算法对电池的 SOC 进行实时估算，主控制器判断是否打开选择开关进行电池均衡。

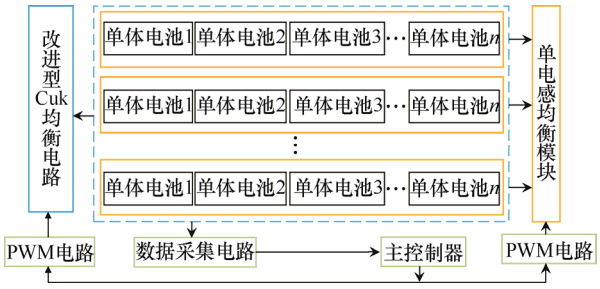


图 1 均衡系统整体结构

Fig. 1 Overall structure of balanced system

1.2 电池组内均衡结构

本文提出的组内均衡电路如图 2 所示。图中：B_1~B_4 为串联电池；M_1~M_{10} 为开关单元；L 为储能电感。二极管用来防止均衡的过程中出现短路等现象，保障电路安全。该均衡电路以电池 SOC 为均衡评价指标，在电路工作的过程中，循环检测串联的电池，筛选出 SOC 最高的单体电池 B_2 与 SOC 最低的单体电池 B_4，判断 SOC 的极差是否超出组内阈值，若超出设定阈值，则开启 M_2、M_8 开关使

B_2 对电感充电，开启 M_9、M_5 开关使电感对 B_4 进行充电，使这 2 组开关在 1 个开关周期的不同高低电平导通，完成能量的转移；当极差小于组内阈值时，停止均衡，继续循环检测电池 SOC。该拓扑结构能够实现任意 2 电池单体的能量交换，大大提高了均衡的效率，利用单电感作为储能元件也降低了电路的成本与复杂程度。

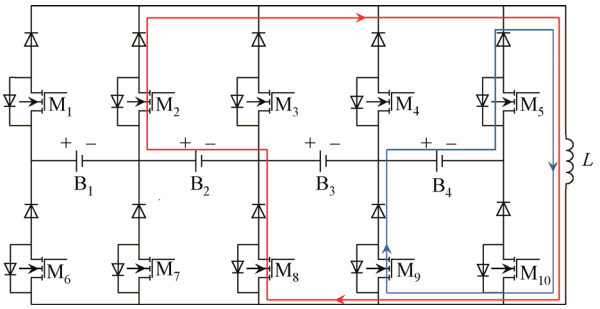


图 2　组内单电感均衡电路

Fig. 2 Single-inductor balanced circuit within one pack

1.3　电池组间均衡结构

本文提出的组间均衡电路如图 3 所示。该电路以 n 个电池组串联而成，以改进型 Cuk 斩波电路[13]作为能量转移的均衡器。该拓扑结构可以实现任意 2 电池组之间的能量转换，通过开关 K_k 与开关 Q_k(k=1, 2, ⋯, n)来选通电池组，将 SOC 较大的电池组选通至 Cuk 电路的左侧，将 SOC 较小的电池组选通至 Cuk 电路的右侧，通过对 MOSFET 进行脉冲宽度调制控制，完成电池组之间能量的转移。

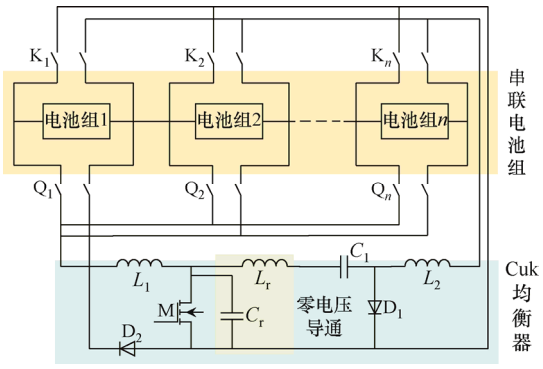


图 3　组间均衡电路

Fig. 3 Inter-pack equalization circuit

为了减少 Cuk 均衡器中 MOSFET 开关的损耗，本文所提拓扑采用准谐振变换器电路实现 MOSFET 开关的零电压导通。当 MOSFET 关断时，开关中的电流全部转移至谐振电容 C_r 支路上，谐振电感 L_r 与 C_r 开始谐振；当 C_r 的电压小于 0 时，由于 MOSFET 开关内部存在反并联二极管，开关两端的电压被钳制在零电压，此时导通 MOSFET 开关，从而实现零电压转换。

均衡能量传递过程中平均电流 I_{L_1} 和 I_{L_2} 的表达式[14]为

$$\begin{cases} I_{L_1}=\left\{\frac{1}{2}\left[\frac{V_{B_1}}{L_1}D^2+\frac{V_C-V_{B_1}}{L_1}(1-D)^2\right]\right\}T_S \\ I_{L_2}=\left\{\frac{1}{2}\left[\frac{V_C-V_{B_2}}{L_2}D^2+\frac{V_{B_1}}{L_2}(1-D)^2\right]\right\}T_S \end{cases} \tag{1}$$

式中：V_{B_1} 和 V_{B_2} 为 2 电池的电压；D 为 Cuk 电路中开关信号的占空比；V_C 为电容电压；T_S 为信号周期。在 PWM 信号周期不变的情况下，通过调节占空比 D 来改变均衡电流的大小。

2　均衡控制策略

均衡控制策略主要分为 3 个阶段，分别为 SOC 的估算及均衡阈值的设定、电池组间均衡、电池组内均衡，具体流程如图 4 所示。

阶段 1：以中心阈值比较法为外层电路的均衡控制算法，以最大值均衡法作为内层电路的均衡控制算法，对电池进行控制。

(1)估算第 j 个电池组中第 i 个单体电池的 SOC 值 $S_{OC,i,j}$[15]；

(2)设定电池组间均衡阈值 $\Delta S_{OC,M}$ 和电池组内均衡阈值 $\Delta S_{OC,N}$；

(3)在外层电路中，以电池组为单元，计算电池组的 SOC 均值 $S_{OC,avg,j}$；

(4)在内层电路中，计算电池组中电池单体的 SOC 均值 $S_{OC,avg}$。

电池组 SOC 均值和电池单体 SOC 均值的表达式分别为

$$S_{OC,avg,j}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}S_{OC,i,j} \tag{2}$$

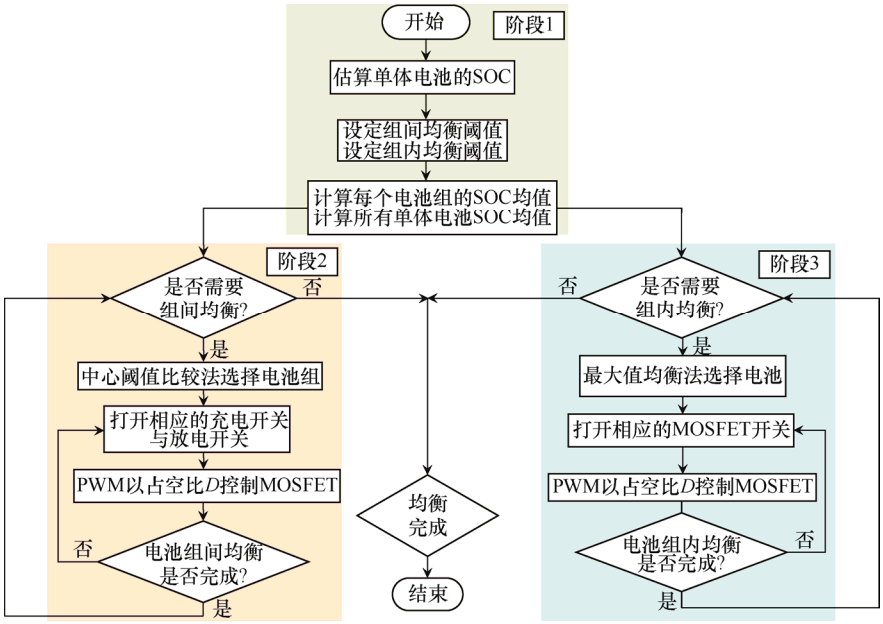


图 4 均衡控制流程

Fig. 4 Flow chart of balanced control

$$S_{\mathrm{OC,avg}}=\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}S_{\mathrm{OC,avg},j} \tag{3}$$

阶段 2：电池组间均衡。

(1)选择需要均衡的电池组，可表示为

$$H=\begin{cases}-1 & S_{\mathrm{OC,avg},j}<S_{\mathrm{OC,avg}}-\Delta S_{\mathrm{OC,M}}\\ 0 & S_{\mathrm{OC,avg}}-\Delta S_{\mathrm{OC,M}}<S_{\mathrm{OC,avg},j}<S_{\mathrm{OC,avg}}+\Delta S_{\mathrm{OC,M}}\\ 1 & S_{\mathrm{OC,avg},j}>S_{\mathrm{OC,avg}}+\Delta S_{\mathrm{OC,M}}\end{cases} \tag{4}$$

式中，H 代表电池组的状态。当 $H=-1$ 时，电池组进入充电状态；当 $H=0$ 时，电池组处于均衡状态；当 $H=1$ 时，电池组进入放电状态。将电池平均 SOC 与组间均衡阈值的和与差作为均衡开始的上下限，电池组平均 SOC 超出或低于组间阈值就进行均衡。

(2)按电池组的顺序循环检测需要均衡的电池组。若检测到 1 个均衡充电电池组则下一个需要检测到 1 个均衡放电的电池组，对以上 2 组电池组进行均衡处理，均衡结束后重新进行检测，直至所有电池组达到均衡目标。

阶段 3：电池组内均衡。

电池组内均衡采用最大值均衡法。对组内单体电池进行 SOC 检测并进行筛选，若单体电池间的极差大于组内阈值，则以电感作为储能元件，由 SOC 最大的电池向 SOC 最小的电池进行充电，直至组内所有单体电池完成均衡[16]。当存在多个 SOC 最大单体电池或多个 SOC 最小单体电池时，同时打开需均衡的单体电池选择开关，多线进行能量的转移。

3 均衡仿真验证

为了验证本文提出的电池分层均衡拓扑结构，基于 MATLAB/Simulink 仿真环境搭建均衡系统仿真模型。该模型共由 12 块串联磷酸铁锂电池构成，分别为 B_1~B_{12}。将 12 块单体电池分为 3 个电池组，每个电池组由 4 块电池单体构成，每块电池的额定电压为 3.2 V，电池容量为 2.0 A·h。对该模型分别进行静置均衡实验仿真和均衡放电实验仿真。电路模型主要参数见表 1。

3.1 静置均衡仿真

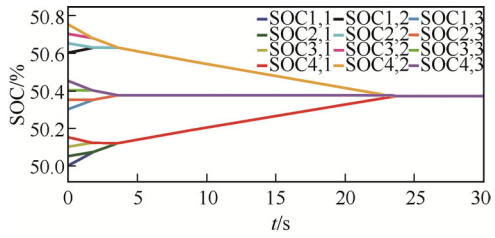
为了较为直观地理解单体电池间能量的转移过程及体现本文提出的拓扑结构的高效性，设置了静置均衡仿真，在排除外部环境因素干扰的情况下，与传统的单电感均衡拓扑结构进行对比。2 次

表 1　双层均衡拓扑元件参数

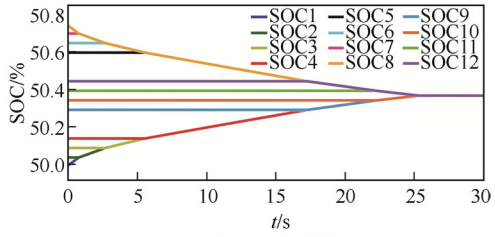
Tab. 1 Parameters of elements in dual-layer balanced topology

参数	数值
内层电感 L/μH	250
外层电感 L_1 、L_2/μH	150
电容 C_1/μF	50.0
谐振电容 C_r/μF	1.8
谐振电感 L_r/μH	18
开关频率/kHz	2

仿真的电池单体 SOC 初始状态相同，各电池单体的 SOC 初始值分别为 50.00%、50.05%、50.10%、50.15%、50.30%、50.35%、50.40%、50.45%、50.60%、50.65%、50.70%、50.75%。仿真实验中单体电池 SOC 变化如图 5 所示，图中：SOCx,1、SOCx,2、SOCx,3(x=1, 2, 3, 4)分别为本文拓扑电池组 1、2、3 中单体电池 x 的 SOC；SOCy(y=1, 2, …, 12)为传统拓扑单体电池 y 的 SOC。



(a) 本文拓扑



(b) 传统拓扑

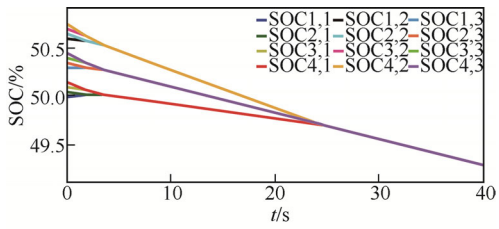
图 5　2 种拓扑的静置均衡对比

Fig. 5 Comparison of static equilibrium between two topologies

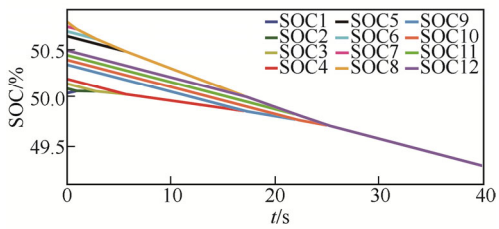
本文提出的拓扑结构同时进行组内均衡与组间均衡。在组内均衡中，由 SOC 最高的单体电池对电感进行充电，由电感作为能量转移的桥梁向 SOC 最低的单体电池进行放电操作，直至组内所有单体电池 SOC 差值小于组内均衡阈值结束；在组间均衡中，由电池组 2 向电池组 1 进行放电操作，选择开关将电池组 2 与电池组 1 分别连接到 Cuk 均衡电路的放电端与充电端，通过 Cuk 均衡器进行能量的转移，电池组 3 的平均 SOC 在组间均衡阈值上下限之间，故不需要进行均衡。传统拓扑结构是由 SOC 最高的单体电池向 SOC 最低的单体电池进行放电，直至 12 块单体电池 SOC 值均处于阈值之间。在静置均衡的仿真实验下，传统单电感拓扑结构需要大约 25.8 s 完成均衡，而本文提出的拓扑结构仅需 23.4 s 就可以完成均衡，均衡速率提升了约 9.3%，大大缩短了均衡时间，提升了均衡效率。

3.2　放电均衡仿真

设置 2 组仿真实验单体电池 SOC 初始值与 3.1 节中相同，以 2.0 A 的电流对 2 种拓扑结构进行 40.0 s 的放电仿真，仿真结果如图 6 所示。在均衡开启 t = 0 s 时，单体电池的 SOC 极差值达到了 0.75%。在本文拓扑中，由电池组 2 向电池组 1 进行放电操作，电池组 2 的电池 SOC 下降速率加快，电池组 1 的电池 SOC 下降速率减缓，电池组 3 暂不进行组间均衡，在 t = 23.4 s 时电池组 2 停止均衡放电，电池组 3 开始对电池组 1 进行放电，在 t = 23.9 s 时，所有电池均衡完毕，以相同的速率进行放电；在传



(a) 本文拓扑



(b) 传统拓扑

图 6　2 种拓扑的放电均衡对比

Fig. 6 Comparison of discharge equilibrium between two topologies

统拓扑中，由 SOC 最高的单体电池 8 向 SOC 最低的单体电池 1 进行放电，当 $t = 26.1$ s 时，所有电池完成均衡，以相同的速率进行放电。本文拓扑放电均衡速率提升了 8.4%，在一定程度上提高了放电均衡的效率。

4 实验与分析

为验证本文所提出的分层均衡拓扑结构的有效性，搭建了如图 7 所示采用 12 节单体电池串联的均衡实验平台并进行放电均衡实验。单体电池为深圳市比克动力电池有限公司生产的 H18650CIL 型号三元锂电池，12 节电池分为 3 个小组，每个串联小组使用相同的内层均衡结构。使用 Vapcell 公司的 S4 plus 仪器对 12 块电池进行容量的测试和部分放电，并将各电池按照 SOC 从高到低排列。各电池容量及电池初始 SOC 见表 2。

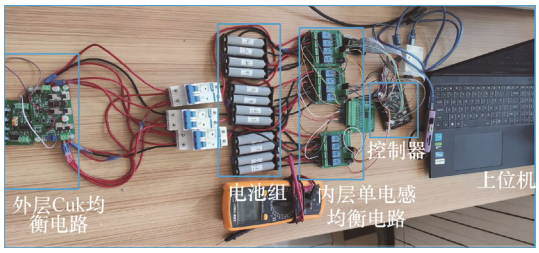


图 7 均衡实验硬件实物

Fig. 7 Physical hardware in equilibrium experiment

表 2 单体电池初始 SOC

Tab. 2 Initial SOC of single battery

电池编号	初始 SOC/%	电池编号	初始 SOC/%
1	100.0	7	89.9
2	97.3	8	87.0
3	96.1	9	85.6
4	95.0	10	84.0
5	93.4	11	82.9
6	91.6	12	81.3

实验中选用滑动变阻器作为负载，预期负载电流设为约 1.0 A，组间均衡阈值与组内均衡阈值均设置为 1.0 %。利用 LTC6804 电池组监测器对 12 块电池进行电压测量，利用 ACS712 芯片进行电流检测，将电池的电压和电流输送给单片机进行处理，使用单片机内部编写的扩展卡尔曼滤波算法进行电池 SOC 的估算，实时通过串口向计算机传输各电池的 SOC 数据，通过 Origin 绘图软件将计算机接收到的 SOC 数据绘制成各电池 SOC 变化曲线。PWM 频率为 10 kHz，电池的额定电压为 3.7 V，实验其他重要参数同表 1，放电实验结果如图 8 所示。12 块电池初始 SOC 最大差值为 18.7%，本文所提拓扑同时进行组内均衡与组间均衡，电池组 1 最先于 466 s 达到组内均衡，电池组 2 于 629 s 到达组内均衡，电池组 3 于 654 s 达到组内均衡，经过 1 459 s 之后电池之间的 SOC 差值小于所设置的均衡阈值，均衡拓扑停止能量的转移，电池继续进行放电。经 1 459 s 的放电均衡后，12 块电池的 SOC 之间的差值降低至所设阈值范围内，有效地解决了电池单体及电池组之间的不一致性，同时也验证了本文所提拓扑结构的有效性。

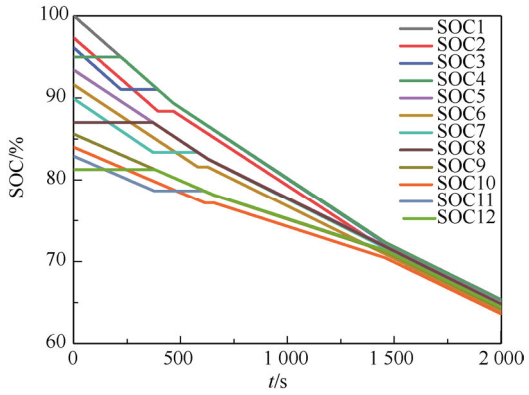


图 8 放电均衡结果

Fig. 8 Discharge equilibrium results

5 结语

电池均衡技术可以有效减小串联电池组在使用过程中出现的不一致性，基于此提出了 1 种内层单电感、外层改进型 Cuk 电路的双层均衡拓扑。该拓扑实现了组内任意单体电池之间及电池组之间

能量的转移，较好地实现了电池组的充放电均衡，拓扑结构简单，生产成本较低，易扩展。通过 3 组均衡实验仿真比较，结果表明了本文所提拓扑缩短了电池在充放电过程中的均衡时间，提升了约 9.0%的均衡效率，提高了单体电池间的一致性，同时利用实验验证了该拓扑结构的准确性。在今后的研究中，可以从减少开关数量或降低开关损耗入手，减少均衡过程中能量的损失，进一步提高拓扑结构的均衡效率。

参考文献：

[1] Lee Y S, Cheng Mingwang. Intelligent control battery equalization for series connected lithium-ion battery strings [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2005, 52(5): 1297-1307.

[2] Li Yanbo, Yin Pu, Chen Junshuo. Active equalization of lithium-ion battery based on reconfigurable topology [J]. Applied Sciences, 2023, 13(2): 1154.

[3] Ye Yuanmao, Cheng K W E. Modeling and analysis of series-parallel switched-capacitor voltage equalizer for battery/supercapacitor strings [J]. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 2015, 3(4): 977-983.

[4] Shang Yunlong, Lu Fei, Xia Bing, et al. A switched-coupling-capacitor equalizer for series-connected battery strings [C]// 2017 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). Tampa, FL, USA, 2017: 1425-1429.

[5] Kim M Y, Kim C H, Kim J H, et al. A chain structure of switched capacitor for improved cell balancing speed of lithium-ion batteries [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2014, 61(8): 3989-3999.

[6] Li Yu, Xu Jun, Mei Xuesong, et al. A unitized multiwinding transformer-based equalization method for series-connected battery strings [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2019, 34(12): 11981-11989.

[7] 郭向伟, 耿佳豪, 刘震, 等. 基于反激变换器的双目标直接均衡方法[J]. 电工技术学报, 2021, 36(6): 1269-1278.
Guo Xiangwei, Geng Jiahao, Liu Zhen, et al. The dual-objective direct balancing method based on flyback converter [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2021, 36(6): 1269-1278. (in Chinese)

[8] 刘征宇, 夏登威, 姚利阳, 等. 基于耦合绕组的锂电池组主动均衡方案研究[J]. 电机与控制学报, 2021, 25(2): 54-64.
Liu Zhengyu, Xia Dengwei, Yao Liyang, et al. Research on active balancing scheme of lithium battery pack based on coupled winding [J]. Electric Machines and Control, 2021, 25(2): 54-64. (in Chinese)

[9] Liu Xintian, Wan Zhihao, He Yao, et al. A unified control strategy for inductor-based active battery equalisation schemes [J]. Energies, 2018, 11(2): 405.

[10] Farzan Moghaddam A, Van den Bossche A. An efficient equalizing method for lithium-ion batteries based on coupled inductor balancing [J]. Electronics, 2019, 8(2): 136.

[11] 李小龙, 徐顺刚, 许建平, 等. 一种单电感双向电池均衡电路[J]. 电机与控制学报, 2019, 23(4): 90-97.
Li Xiaolong, Xu Shungang, Xu Jianping, et al. Single-inductor bidirectional battery equalizer [J]. Electric Machines and Control, 2019, 23(4): 90-97. (in Chinese)

[12] 张嘉蕾, 王超宇, 樊郭宇, 等. 一种用于模块化 CPC 均衡充电的最优化策略[J]. 电源学报, 2024, 22(5): 242-250.
Zhang Jialei, Wang Chaoyu, Fan Guoyu, et al. Optimization strategy for modular CPC balanced charging [J]. Journal of Power Supply, 2024, 22(5): 242-250. (in Chinese)

[13] 刘征宇, 武银行, 李鹏飞, 等. 基于 Cuk 斩波电路的电池组均衡方法[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(2): 233-241.
Liu Zhengyu, Wu Yinhang, Li Pengfei, et al. Battery pack equalization method based on Cuk chopper circuit [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2019, 40(2): 233-241. (in Chinese)

[14] Lee Y S, Cheng Mingwang. Intelligent control battery equalization for series connected lithium-ion battery strings [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2005, 52(5): 1297-1307.

[15] Ghaeminezhad N, Ouyang Quan, Hu Xiaosong, et al. Active cell equalization topologies analysis for battery packs: A systematic review [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2021, 36(8): 9119-9135.

[16] 马春艳, 王庆龙, 张迪, 等. 基于SOC的串联连接锂电池能量均衡控制研究[J]. 电源学报, 2024, 22(2): 216-223.
Ma Chunyan, Wang Qinglong, Zhang Di, et al. Energy balance control of series-connected lithium batteries based on SOC [J]. Journal of Power Supply, 2024, 22(2): 216-223. (in Chinese)



李艳波

作者简介：

李艳波(1980—)，男，博士。研究方向：储能技术。E-mail：ybl@chd.edu.cn。

马海涛(1998—)，男，硕士研究生。研究方向：电池均衡。E-mail：1724415583@qq.com。

程绍峰(1981—)，男，本科，高级工程师。研究方向：智能控制。E-mail：chengshaofeng624@163.com。

陈俊硕(1986—)，男，中国电源学会会员，通信作者，博士，讲师。研究方向：电化学储能。E-mail：jsch@chd.edu.cn

(责任编辑：郭凯凯)



公益广告来源：中国文明网