

## 退役锂电池梯次利用主动均衡方法研究

杨 扬<sup>1</sup>, 谢长君<sup>1</sup>, 朱文超<sup>2</sup>

(1. 武汉理工大学自动化学院, 湖北 武汉 430070; 2. 武汉理工大学汽车工程学院, 湖北 武汉 430070)

**摘要:** 针对退役锂电池数量多、不一致性严重等问题, 提出基于 Buck-Boost 电路的分组双向主动均衡结构。以荷电状态(SOC)为均衡变量, 电池小组内采用基于单电感的集中式均衡拓扑结构和均值-差值均衡算法, 电池小组间采用分布式均衡拓扑结构和极差法及相邻差值法结合的均衡策略, 分别实现电池小组内任意单体电池间均衡和相邻电池小组间均衡。12 节退役电池的静置均衡和充电均衡实验结果表明, 本文提出的均衡方法能快速有效地改善退役电池组的不一致性, 均衡时间分别为 98 min 和 87 min。

**关键词:** 退役锂电池; 分组均衡; 双向主动均衡; Buck-Boost 电路; 荷电状态(SOC)

**DOI:** 10.12067/ATEEE2008046

**文章编号:** 1003-3076(2021)06-0050-07

**中图分类号:** TM912

### 1 引言

退役锂电池容量通常为额定容量的 70% ~ 80%, 经过分选后, 仍具有良好的放电能力, 可以梯次利用于储能系统<sup>[1,2]</sup>。出厂差异、环境因素、过充电和过放电以及长期使用等原因, 造成退役锂电池单体之间存在严重差异。电池组“木桶效应”会造成电池组放电容量降低和电池寿命缩短, 电池过充或过放甚至会引起安全事故<sup>[3]</sup>。退役电池组梯次利用前进行均衡, 是改善退役电池组不一致性、延长使用寿命的有效方法。

目前, 均衡方法分为主动均衡和被动均衡。被动均衡是能量耗散型均衡, 存在均衡效率低和均衡散热问题。主动均衡方法研究主要包括均衡电路和均衡策略两方面。国内外学者提出的一些均衡拓扑, 涉及开关电容法、开关电感法、DC-DC 变换器法、变压器法等。开关电容均衡方法的缺点是均衡时间长、成本高。文献[4]提出基于多绕组变压器的单体电池间均衡方法, 文献[5]提出基于双向反激式 DC-DC 变换器的充电均衡器, 它们的优点是均衡速度较快, 均衡效率较高, 但是存在开关时序复杂和磁饱和的问题。文献[6]提出基于多开关电感的均衡电路, 只能实现相邻电池单体间均衡。文献

[7]提出一种单电感双向均衡电路, 可以实现任意单体电池间均衡, 但是当电池数量多时, 均衡时间较长。目前, 均衡策略主要包括基于电压差的均衡<sup>[8]</sup>、基于 SOC 的均衡<sup>[9,10]</sup>、基于容量差的均衡<sup>[11]</sup>和基于剩余可用能量的均衡<sup>[12]</sup>等。

集中式均衡电路具有结构简单、成本低的特点, 分布式均衡电路易于实现独立控制、可扩展性强且易于维护。结合两种均衡电路的优点, 本文提出基于 Buck-Boost 电路的分组双向主动均衡拓扑结构, 电池小组内和电池小组间分别采用基于电感的集中式双向均衡拓扑和分布式均衡拓扑。荷电状态(State of Charge, SOC) SOC 作为均衡变量, 以从某电动环卫车上退役的 12 个电池为例进行静置均衡和充电均衡实验验证。

### 2 退役电池分选

本文的退役锂电池来源于东风汽车有限公司生产的电动环卫车。退役锂电池的出厂参数为: 额定容量 40 A·h, 标称电压 3.2 V, 内阻 1 mΩ, 充电截止电压 3.6 V, 放电截止电压 2.5 V, 标准充放电电流为 0.3 C。整个退役电池组共有 106 个电池, 在对退役电池进行均衡前, 需要对退役电池进行分选, 过程如下:

**收稿日期:** 2020-08-23

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(51977164)、湖北省技术创新重大项目(2018AAA059)

**作者简介:** 杨 扬(1990-), 女, 湖南籍, 实验师, 博士研究生, 研究方向为新能源动力系统与智能控制;  
谢长君(1980-), 男, 湖北籍, 教授, 博士, 研究方向为新能源检测与控制。

(1) 从 106 个退役电池中筛选出 50 个外观较好的退役电池。

(2) 进行电压分选。①测量 50 个退役电池的开路电压(OCV),从中选出电压在 2.4~3.2 V 之间的退役电池 36 个。②为了防止过充,将 36 个退役电池以 10 A 恒流充电 2 h,测量每个电池的电压。充电后电压大于 3 V 的退役电池有 30 个,它们具有梯次利用价值。

(3) 进行容量分选。由于退役电池的容量远低于出厂电池的容量,在对其进行均衡前,需要重新标定额定容量。容量试验依据国家标准 GB/T 34015—2017《电动汽车用牵引电池回收剩余容量试验》,步骤如下:①常温下,放掉退役电池的剩余能量并静置 15 min;②以 1 C 恒流充电至充电截止电压 3.6 V,然后转恒压充电至电流为 0.05 C;③静置 0.5 h;④以 1C 恒流放电至放电截止电压 2.5 V,记录放电容量;⑤重复步骤①~④共 3 次,以 3 次放电容量的平均值作为退役电池新的额定容量。30 个退役电池的新的额定容量分布如图 1 所示,可以看出,大多数退役电池的容量在 24~32 A·h 之间,从中选取了 12 个额定容量较大的退役电池作为本文的研究对象,编号为  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $\dots$ 、 $B_{12}$ ,新标定的额定容量依次为 33.4 A·h、31.6 A·h、32.3 A·h、32.4 A·h、30.7 A·h、31.1 A·h、31.2 A·h、30.9 A·h、30.6 A·h、30.7 A·h、30.5 A·h、29.8 A·h。

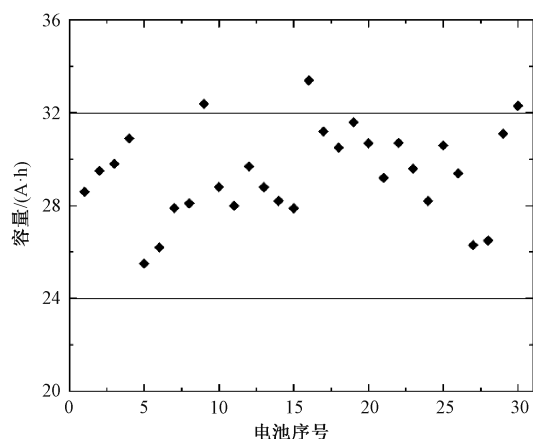


图 1 30 个退役电池新标定的额定容量

Fig.1 New rated capacity of 30 retired batteries

### 3 均衡电路拓扑

为了提高均衡效率,提出如图 2 所示的基于 Buck-Boost 电路的分组双向主动均衡拓扑结构,具有均衡电路结构简单、可扩展性强等优点。将  $n$  个

退役电池分成  $m$  个小组,每组包含  $p$  个退役电池。每个退役电池小组包含 1 个组内均衡子电路,即共有  $m$  个组内均衡子电路;组间均衡电路共有  $m-1$  个。均衡结构中还包含采集电压、电流等信号的检测电路、均衡主控制器和驱动电路,以及均衡主控制器根据实时采集的退役电池相关参数,执行相应的均衡算法,对整个退役电池组进行均衡控制。在本文中,将分选之后的 12 个退役电池分成 3 个小组,每个电池小组由 4 个退役电池串联,3 个小组分别表示为  $P_1$ 、 $P_2$  和  $P_3$ 。

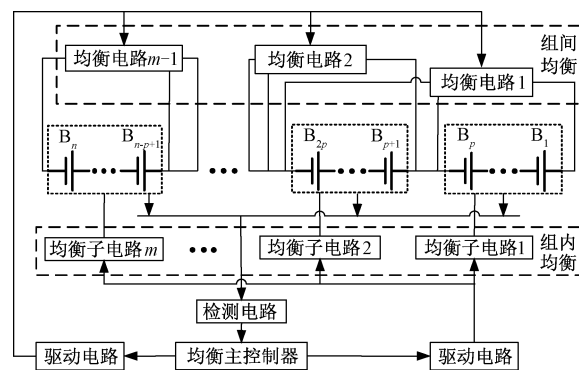


图 2 基于 Buck-Boost 电路的主动均衡拓扑

Fig.2 Active equalization topology based on Buck-Boost circuit

电池组内采用基于单电感的集中式双向主动均衡拓扑结构,如图 3 所示,包含由  $p$  个退役电池串联的电池小组、开关矩阵和储能单元,其中储能单元包括 1 个储能电感  $L$ 、4 个 MOSFET 管和 4 个二极管。开关矩阵  $S_1 \sim S_{2p}$  实际是 MOSFET 管,均衡电路只用到 MOSFET 管的正向导通特性,以消除 MOSFET 管的体二极管带来的电池短路的危险。该均衡电路可以实现电池小组内任意单体电池间的能量转移,具有能量传输效率高、电路结构简单、成本较低的优点。

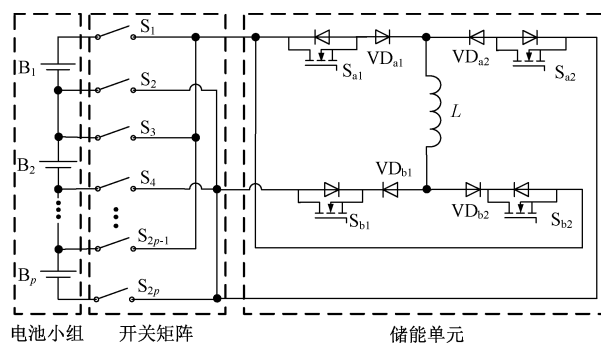


图 3 基于单电感的集中式主动均衡拓扑

Fig.3 Centralized active equalization topology based on single inductor

电池组间采用基于电感的分布式均衡拓扑结构,可以实现相邻电池小组间的能量转移,如图4所示。每两个电池小组之间共用1个储能电感,如电池小组  $P_{m-1}$  和电池小组  $P_m$  之间均配有电感  $L_{m-1}$ 。由  $m$  个电池小组串联的组间均衡电路包括  $2m-2$  个 MOSFET 管和  $m-1$  个储能电感,具有控制简单、可扩展性强和易于模块化等优点。

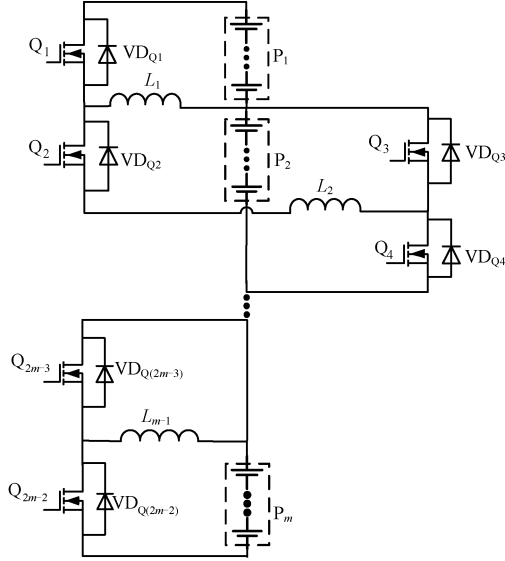


图4 组间分布式主动均衡拓扑

Fig.4 Distributed active balancing topology between groups

## 4 均衡电路原理

### 4.1 组内均衡电路

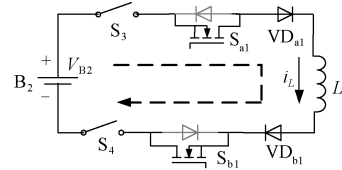
为了提高均衡电流和均衡能量利用效率,避免电池之间相互影响,将组内均衡电感电流工作于断续(Discontinuous Current Mode, DCM)模式。为了分析简便,不考虑二极管和 MOSFET 管压降。假设在电池小组  $P_1$  中,需要将电池  $B_2$  的能量转移到电池  $B_1$  中,能量转移路径分别如图5(a)和图5(b)所示。组内均衡电路关键波形如图6所示。

$0 \sim t_1$  阶段,  $S_3, S_{a1}, S_{b1}, S_4$  导通,如图5(a)所示,电池  $B_2$  经过  $S_3, S_{a1}, VD_{a1}, L, VD_{b1}, S_{b1}$  和  $S_4$  构成的均衡路径将能量转移到储能电感  $L$  中。电感电流从0开始线性上升,有:

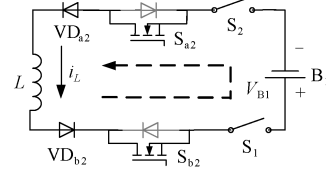
$$i_{B2}(t) = i_L(t) = \frac{V_{B2}}{L}t \quad (1)$$

式中,  $i_{B2}$  和  $i_L$  分别为电池  $B_2$  和电感  $L$  的电流;  $V_{B2}$  为电池  $B_2$  的端电压。设占空比为  $D$ , 高频开关管周期为  $T$ , 则电流最大值  $i_{L(max)}$  为:

$$i_{L(max)} = \frac{V_{B2}}{L}DT \quad (2)$$



(a) 电池  $B_2$  放电



(b) 给电池  $B_1$  充电

图5 电池  $B_1$  和  $B_2$  能量转移路径

Fig.5 Energy transfer path of cells  $B_1$  and  $B_2$

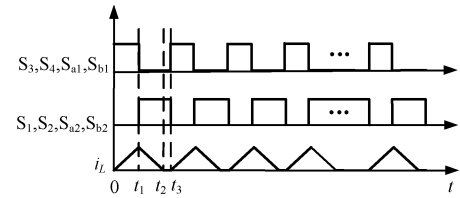


图6 组内均衡电路关键波形

Fig.6 Key waveforms of intra group equalization circuit

电池  $B_2$  放电过程中释放的电荷量  $Q_{B2}$  为:

$$Q_{B2} = \int_0^{DT} i_L dt = \frac{V_{B2}}{2L} (DT)^2 \quad (3)$$

$t_1 \sim t_2$  阶段,  $S_3, S_{a1}, S_{b1}, S_4$  关断,如图5(b)所示,电感  $L$  经过  $VD_{b2}, S_{b2}, S_1, B_1, S_2, S_{a2}, VD_{a2}$  组成的均衡路径将电感  $L$  储存的能量转移到电池  $B_1$  中。电感电流从最大值线性下降到0。

$t_2 \sim t_3$  阶段, 电感电流为0。

### 4.2 组间均衡电路

以电池小组  $P_1, P_2$  为例,假设电池小组  $P_2$  向电池小组  $P_1$  转移能量。MOSFET 管由 PWM 信号控制,设均衡占空比为  $D$ ,使电感工作在 DCM 模式,均衡电路在一个均衡周期  $T$  内的工作原理如下。

第一阶段,如图7(a)所示,  $Q_2$  导通,电池小组  $P_2$  向电感  $L_1$  转移能量,电感电流从0开始线性上升到最大值,电感  $L_1$  的电流为:

$$i_{L1}(t) = \frac{V_{P2}}{L_1}t \quad (4)$$

电感  $L_1$  电流最大值为:

$$i_{L1(max)} = \frac{V_{P2}}{L_1}DT \quad (5)$$

第二阶段,如图7(b)所示,  $Q_2$  关断,电感  $L_1$  通过  $Q_1$  的体二极管  $VD_{Q1}$  给电池小组  $P_1$  充电,电感电

流从最大值线性下降到 0,电感电流为:

$$i_{L1}(t) = i_{L1(\max)} - \frac{V_{P1}}{L_1}(t - DT) \quad (6)$$

第三阶段,  $Q_1$  和  $Q_2$  关断,电感电流为 0。

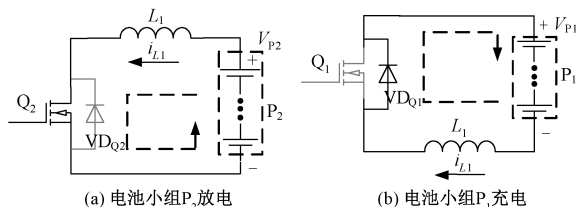


图 7 电池小组  $P_1$  和  $P_2$  能量转移路径

Fig.7 Energy transfer path of battery groups  $P_1$  and  $P_2$

## 5 均衡策略

本文选择退役电池 SOC 作为均衡目标变量,可以很好地判定电池组一致性,且不用考虑单体电池额定容量的差异,使单体电池能同时达到其充、放电截止电压,提高电池组容量利用率。采用本文提出的基于平方根无迹卡尔曼滤波的锂电池荷电状态估计方法<sup>[13]</sup>进行 SOC 估算。

综合考虑均衡时间和均衡能量利用效率,取占空比  $D$  为 45%,最大均衡电流约 4 A,开关频率为 1 kHz,根据式(2)和式(5),取组内均衡电路电感和组间均衡电路电感分别为 0.35 mH 和 1.4 mH。采用先组内均衡、后组间均衡的策略实现整个退役电池小组均衡,即首先使各电池小组内部实现均衡,然后进行电池小组间的均衡控制。

由于组内均衡电路可实现任意单体与单体电池之间均衡,采用均值-差值法能提高均衡效率,均衡流程为:

步骤 1) 估算每个退役电池的剩余容量 SOC( $i$ ),并计算该电池小组内所有单体电池的 SOC 平均值  $SOC_{avg}$ 。

步骤 2) 设定组内均衡阈值  $\Delta SOC$ 。

步骤 3) 判断  $|SOC(i) - SOC_{avg}|$  是否大于  $\Delta SOC$ ,若是,则执行步骤 4);否则执行步骤 6)。

步骤 4) SOC 最大的退役电池单体向 SOC 最小的退役电池单体转移能量。

步骤 5) 循环执行步骤 3) 和步骤 4)。

步骤 6) 组内均衡结束。

组间均衡电路实现相邻电池小组间均衡,采用极差法与相邻差值法相结合的混合均衡策略。既利用相邻差值法控制简单且均衡速度快的优点改善相

邻电池小组间的一致性,又可以使某个 SOC 最大或者最小的电池小组实现较快均衡,以减小整个电池组极差。均衡流程如下:

步骤 1) 设定相邻差值法均衡阈值  $\Delta SOC_A$  和极差法均衡阈值  $\Delta SOC_J$ 。

步骤 2) 估算每个电池小组的 SOC 平均值  $SOC_{avg}(m)$ 。求  $SOC_{avg}(m)$  之间的极差  $r$  和相邻电池小组的最大差值  $r_{Amax}$ 。

步骤 3) 若  $r > \Delta SOC_J$  且  $r_{Amax} > \Delta SOC_A$ ,执行步骤 4);若  $r > \Delta SOC_J$  且  $r_{Amax} \leq \Delta SOC_A$ ,执行步骤 5);若  $r \leq \Delta SOC_J$ ,执行步骤 6)。

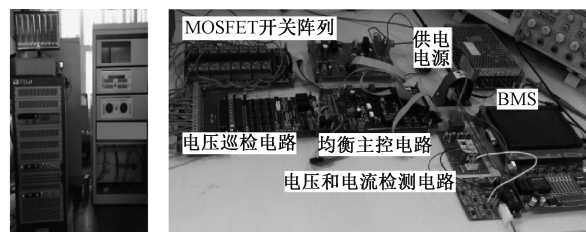
步骤 4) 进行相邻电池小组间能量转移。循环执行步骤 3)。

步骤 5) SOC 平均值最大的电池小组向 SOC 平均值最小的电池小组转移能量,若这两个电池小组不相邻,则还需借助相邻电池小组作为能量转移媒介。循环执行步骤 3)。

步骤 6) 组间均衡结束。

## 6 实验与结果分析

将图 8(a) 所示的 ITECH ITS5300 电池测试系统与图 8(b) 所示的均衡测试台架集成,用于退役电池均衡实验。均衡测试台架包括电池管理系统、均衡主控电路、开关阵列、电压电流检测电路、供电电源等。



(a) 电池测试系统

(b) 均衡测试台架

图 8 实验硬件实物图

Fig.8 Physical figures of experimental hardware

组内均衡阈值  $\Delta SOC$  设定为 0.5%,组间相邻差值法均衡阈值  $\Delta SOC_A$  和极差法均衡阈值  $\Delta SOC_J$  分别为 0.5% 和 1%。

图 9 所示为静置均衡时退役电池 SOC 变化过程,均衡分为以下阶段:

(1) 0~1 140 s, 电池小组  $P_1$ 、 $P_2$  和  $P_3$  组内均衡,在 1 140 s 左右,电池小组  $P_1$  组内均衡完成。

(2) 1 140~2 220 s, 只有电池小组  $P_2$  和  $P_3$  进行组内均衡,在 2 220 s 左右,电池小组  $P_2$  组内均衡



完成。

(3)2 220~2 280 s,只有电池小组 P<sub>3</sub> 进行组内均衡,在2 280 s左右,电池小组组内均衡全部完成。

(4)2 280~5 880 s,电池小组间均衡,整个退役电池组静置均衡时间约 98 min。退役电池均衡前后参数对比见表 1,静置均衡前后退役电池组单体电池 SOC 极差分别为 10.2%和 2%,单体电池与退役电池组 SOC 平均值的最大偏差分别为 5.2%和 1%,均衡电荷转移效率为 70.06%。

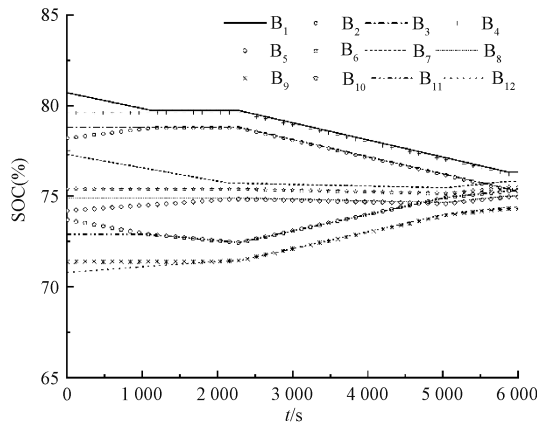


图 9 静置均衡时电池 SOC 变化过程  
Fig.9 SOC's of batteries during static equalization process

表 1 退役电池均衡前后参数对比  
Tab.1 Comparison of parameters before and after equalization of retired batteries

电池 编号	静置均衡 SOC(%)		充电均衡 SOC(%)	
	均衡前	均衡后	均衡前	均衡后
B <sub>1</sub>	80.7	76.32	50.2	91.04
B <sub>2</sub>	78.2	75.35	47.5	91.98
B <sub>3</sub>	78.8	75.4	48.3	91.38
B <sub>4</sub>	79.6	76.21	48.8	91.75
B <sub>5</sub>	74.2	74.95	43.4	90.74
B <sub>6</sub>	75.4	75.51	47.2	91.47
B <sub>7</sub>	77.3	75.82	45.6	91.40
B <sub>8</sub>	74.9	75.01	43.9	90.61
B <sub>9</sub>	72.4	74.32	42.6	90.48
B <sub>10</sub>	73.7	75.29	41.7	90.39
B <sub>11</sub>	72.8	75.29	39.3	90.04
B <sub>12</sub>	70.5	74.39	40.5	90.97
均值	75.7	75.32	44.92	91.02
极差	10.2	2	10.9	1.94
最大均差	5.2	1	5.62	0.98

对退役电池组进行恒流充电,当任意单体电池电压达到充电截止电压 3.6 V 时,停止充电。均衡前退役电池组单体电池 SOC 极差为 10.9%,单体电

池与退役电池组 SOC 平均值的最大偏差为 5.62%。图 10(a)所示为退役电池组无均衡充电时 SOC 变化,充电 87 min 后退役电池组单体 SOC 极差为 6.98%。仅对退役电池进行恒流充电并不能减小单体 SOC 差异,而本实验中恒流充电使退役电池组 SOC 差异变小的原因是退役电池新标定的额定容量不同,导致不同退役电池在相同时间内恒流充电所增加的容量不同。图 10(b)所示为充电均衡时电池 SOC 变化过程,充电均衡时间约为 87 min,达到均衡状态时退役电池组单体电池 SOC 极差为 1.94%,单体电池与退役电池组 SOC 平均值的最大偏差为 0.98%,均衡电荷转移效率为 65.31%。

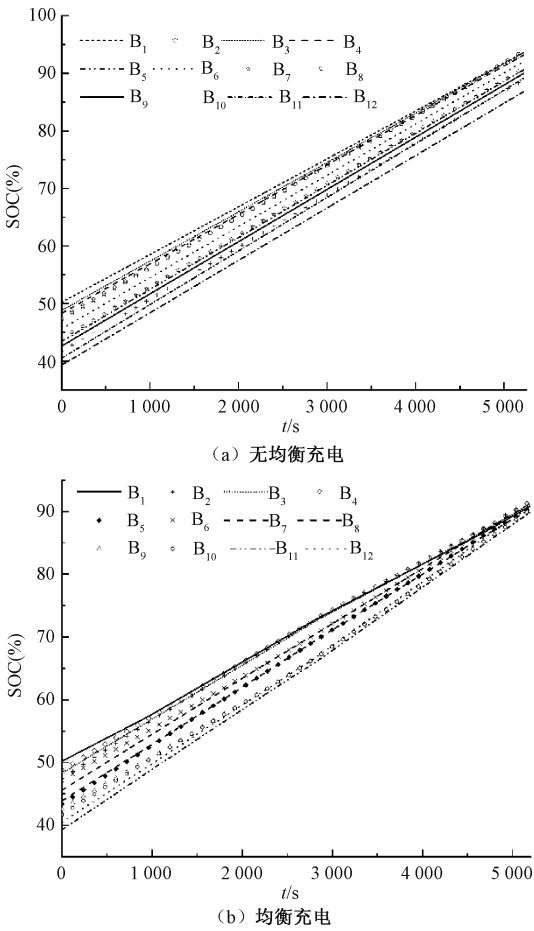


图 10 充电时电池 SOC 变化过程  
Fig.10 SOC's of batteries during charging process

7 结 论

本文针对退役锂电池数量多且存在严重不一致性的问题,结合集中式均衡拓扑和分布式均衡拓扑的优点,提出基于 Buck-Boost 电路的分组双向主动均衡电路,以 SOC 为均衡判据,分别采用均值-差值

法和极差法及相邻差值法结合的均衡策略,可同时均衡多个退役电池,具有控制简单、成本低、可扩展性强等优点。

搭建均衡实验台架,以 12 节退役电池为例进行静置均衡和充电均衡实验。结果表明,本文提出的均衡方法能够快速改善退役电池组的不一致性,均衡时间较短。虽然均衡电荷转移效率不高,但是改善退役电池组的不一致性,以提高电池组容量利用率,对于退役锂电池梯次利用更为重要。

### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 郑志坤, 赵光金, 金阳, 等 (Zheng Zhikun, Zhao Guangjin, Jin Yang, et al.). 基于库仑效率的退役锂离子动力电池储能梯次利用筛选 (The reutilization screening of retired electric vehicle lithium-ion battery based on coulombic efficiency) [J]. 电工技术学报 (Transactions of China Electrotechnical Society), 2019, 34 (S1): 388-395.
- [ 2 ] 冯晓丽 (Feng Xiaoli). 光伏储能电站的经济性分析 (Economical analysis of photovoltaic power station with battery energy storage system) [J]. 电工电能新技术 (Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy), 2019, 38 (9): 52-58.
- [ 3 ] 赵光金, 唐国鹏 (Zhao Guangjin, Tang Guopeng). 主被动均衡技术及其在电池梯次利用中的应用 (Active-passive hybrid equalization circuit design technology and its application in echelon use of lithium-ion power batteries) [J]. 电源技术 (Chinese Journal of Power Sources), 2018, 42 (7): 983-986, 1075.
- [ 4 ] Chen Y, Liu X, Cui Y, et al. A multi-winding transformer cell-to-cell active equalization method for lithium-ion batteries with reduced number of driving circuits [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2016, 31 (7): 4916-4929.
- [ 5 ] Hannan M A, Hoque M M, Peng S E, et al. Lithium-ion battery charge equalization algorithm for electric vehicle applications [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2017, 53 (3): 2541-2549.
- [ 6 ] 陈益广, 唐林, 沈勇环 (Chen Yiguang, Tang Lin, Shen Yonghuan). 基于 Boost-Buck 电路的锂离子电池组均衡充电方法 (Equalization charging method of lithium-ion battery series based on Boost-Buck circuit) [J]. 电力系统及其自动化学报 (Proceedings of the CSU-EPSA), 2014, 26 (10): 56-60.
- [ 7 ] 戴帅龙, 孙宇轩, 王家禹, 等 (Dai Shuailong, Sun Yuxuan, Wang Jiayu, et al.). 基于多相交错变换器的锂电池组均衡控制 (Lithium battery pack equalization control based on multiphase interleaved converter) [J]. 电源技术 (Chinese Journal of Power Sources), 2019, 43 (9): 1539-1542, 1558.
- [ 8 ] 梁波, 齐江江, 李玉忍, 等 (Liang Bo, Qi Jiangjiang, Li Yuren, et al.). 锂电池组均衡充放电控制策略研究 (Study on control strategy of charge and discharge for lithium battery series) [J]. 西北工业大学学报 (Journal of Northwestern Polytechnical University), 2017, 35 (4): 704-710.
- [ 9 ] Ouyang Q, Chen J, Zheng J, et al. SOC estimation-based quasi-sliding mode control for cell balancing in lithium-ion battery packs [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2018, 65 (4): 3427-3436.
- [ 10 ] 隋欣, 张晓虎, 陈永翀, 等 (Sui Xin, Zhang Xiaohu, Chen Yongchong, et al.). 基于等效电路模型的串联电池组不一致分布特征仿真分析 (Simulation analysis of inconsistency distribution characteristics of series battery based on equivalent circuit model) [J]. 电工电能新技术 (Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy), 2018, 37 (9): 24-32.
- [ 11 ] 王立业, 王丽芳, 刘伟龙 (Wang Liye, Wang Lifang, Liu Weilong). 基于容量差的电动汽车主动均衡控制策略研究 (Research on active balance control strategy of electric vehicle based on capacity difference) [J]. 电工电能新技术 (Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy), 2017, 36 (11): 44-50.
- [ 12 ] Diao W, Xue N, Bhattacharjee V, et al. Active battery cell equalization based on residual available energy maximization [J]. Applied Energy, 2018, 210: 690-698.
- [ 13 ] 费亚龙, 谢长君, 汤泽波, 等 (Fei Yalong, Xie Changjun, Tang Zebo, et al.). 基于平方根无迹卡尔曼滤波的锂电池状态估计 (State-of-charge estimation based on square root unscented Kalman filter algorithm for li-ion batteries) [J]. 中国电机工程学报 (Proceedings of the CSEE), 2017, 37 (15): 4514-4520.

## Research on active equalization method of retired lithium-ion batteries for the echelon utilization

YANG Yang<sup>1</sup>, XIE Chang-jun<sup>1</sup>, ZHU Wen-chao<sup>2</sup>

(1.School of Automation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;2.School of Automotive Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of large number and serious inconsistency of retired lithium batteries, a grouping bidirectional active equalization structure based on buck-boost circuit is proposed. SOC is used as the equalization variable. Centralized equalization topology based on single inductor and mean difference algorithm are adopted for balancing within the battery group, and distributed equalization topology and the equalization strategy range method combined with adjacent difference method are used for balancing between battery groups, balance respectively. The experimental results of static equalization and charge equalization of 12 retired batteries show that, the proposed equalization method can improve the inconsistency of retired batteries fast and effectively, and the equalization time is 98 min and 87 min respectively.

**Key words:** retired lithium batteries; grouping equalization; bidirectional active equalization; Buck-Boost circuit; state of charge(SOC)