

# 电池组均衡技术研究现状

裴莹 王友仁 刘泽元 陈则王

(南京航空航天大学 自动化学院 南京 210016)

**摘要:** 电池组均衡技术是电池管理系统关键技术之一,可根据电池组状态信息对电池组进行实时均衡管理,避免不一致性的扩大,提高电池组容量利用率,能在一定程度上减缓电池组老化速度。本文深入分析了国内外的电池组均衡方法,按照均衡电路、控制策略以及系统结构3个方面,比较了各种均衡方法的优缺点及其适用场合,列举了不同方法的研究情况,给出了串联电池组均衡技术研究亟待解决的问题与发展方向展望。

**关键词:** 动力电池;均衡电路;均衡控制;非耗散型均衡

**中图分类号:** TM912 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.4030

## Research status of equalization technology for series batteries

Pei Ying Wang Youren Liu Zeyuan Chen Zewang

(College of automation engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** Battery equalization management module is one of the most important function modules of battery management system, it can avoid inconsistency by real-time balance management according to the battery status information, which not only improve the battery group capacity utilization rate but also slow down the aging speed of battery group in a certain extent. This paper deeply analyzes the domestic and foreign equalization technology, and compares their advantages and disadvantages as well as applicable occasions according to the equalization circuit, control strategy and system structure of the three aspects, lists the research status of different methods, combined with the battery equalization technology research problems to be solved in series, the direction of its development is prospected.

**Keywords:** power battery; equalization circuit; balance control; non dissipative equalization

## 1 引言

近年来,新能源发电、电动汽车、空间电源、通信设备备用电源等领域越来越广泛地使用动力电池作为储能设备。由于串联电池组中单体电池的内部特性差异、工作环境以及使用次数的不同,导致表现出的电池特性也会有所不同,从而造成电池组单体间表现出不均衡现象,严重影响蓄电池组的使用寿命和安全性。解决以上问题的有效方法是研究电池均衡管理技术,通过有效的均衡控制策略和均衡电路<sup>[1-3]</sup>,改善电池组的不均衡现象。

## 2 均衡电路拓扑结构

目前根据均衡电路在均衡过程中电路是否消耗能量的情况,可分为能耗性均衡和非能耗性均衡两大类。

### 2.1 能量耗散型

能量耗散型均衡电路<sup>[4]</sup>采用耗能元件消耗单体电池电压过高的电池的电量来改善电池组内各单体间的不一致

性,对于多节单体电池可以同时进行均衡。

典型的开关电阻均衡电路如图1所示,图中每个单体电池并联一个由均衡开关和均衡电阻 $R$ 构成的均衡控制单元,电阻的选择应综合考虑均衡效率和热量损耗的问题。该方案操作简单、均衡速度快,但由于电阻不好选取,能量利用率不高,一般只能用于充电过程。

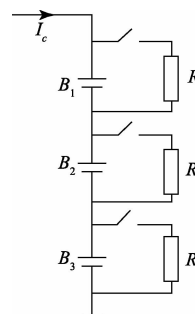


图1 耗散型均衡电路结构

## 2.2 能量非耗散型

### 2.2.1 开关电容均衡电路

开关电容均衡电路<sup>[5]</sup>如图 2 所示,通过比较各单体电压的大小,控制相邻单体间的开关,利用电容作为电量载体,实现电池组间单体电池的能量转移。控制且容易实现是开关电容均衡电路的优势,但是均衡效率较低,当相邻电池电压很小时,需要较长的时间均衡。

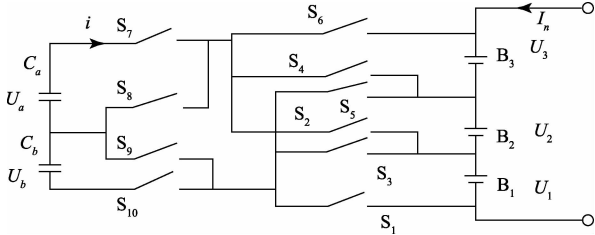


图 2 开关电容均衡电路

文献[6]提出的新型的开关电容电路结构,减少了均衡过程中所涉及电池数量,增加额外电容使得顶部和底部电池直接进行能量转移,文献[7]提出的开关电容均衡结构,克服了导体传导以及开关的损失,可以实现电池组零压差均衡。

### 2.2.2 储能电感均衡

储能电感式均衡<sup>[8]</sup>是将电感作为储能元件,实现电量在电池间的传递。在同时对多节电池进行均衡时,电感式均衡效率较低。文献[9]针对控制方法比较复杂的电感式均衡电路,简化了其控制方法。

### 2.2.3 DC-DC 变换器均衡电路

基于 DC-DC 变换器均衡<sup>[10-11]</sup>的电路拓扑结构主要分为集中式和分布式两种,是现在电池均衡的主流方案。

#### 1) 集中式均衡电路

集中式均衡电路通过一个多输出的变压器,从电池组获取能量后将能量传递到电压最低的电池中。典型均衡电路有反激式与正激式均衡电路结构,如图 3 所示。

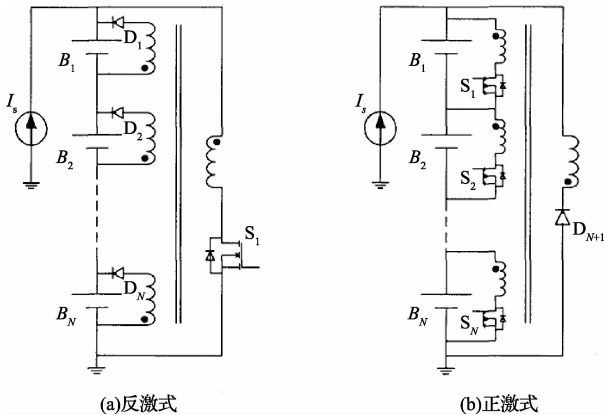


图 3 集中式变压器均衡电路

该均衡方案均衡效率较高、开关管较少,但由于输出绕组匹配困难,导致均衡出现偏差,可靠性较差。文献[12]提出一

种新型的模块化基于多绕组变换器均衡电路,减少多绕组变压器均衡电路中的开关数,降低系统尺寸及损耗,同时均衡过程中,电量可以直接从过充电池转移到过放电池中去。

#### 2) 分布式均衡

分布式均衡电路结构较多,系统结构如图 4 所示, $n$  个单体电池需要  $n-1$  个均衡模块。任意相邻的两个单体通过两电池间的均衡器进行均衡,依此类推从而达到整个电池组的均衡。

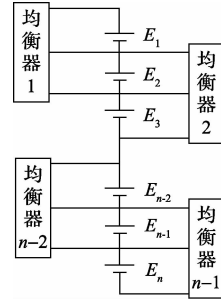


图 4 分布式均衡电路结构

基于 DC-DC 变换器的分布式均衡电路可以分为隔离式与非隔离式的变换器结构。

非隔离型拓扑可以实现相邻单体间的双向均衡,buck-boost 电路和  $CuK$  电路是两种比较常见的拓扑结构。由于不带变压器,电路结构比较简单,适用于电池组数目较小的场合。

隔离型拓扑是指 DC-DC 变换器的主次级相隔离,通过脉冲变压器的磁耦合方式传递能量。文献[10]提出一种新的均衡拓扑结构,比双向均衡电路所需开关数要少,且能保证均衡效果和双向均衡相当。文献[11]对现有的基本 buck-boost 均衡结构中的变换器进行改进,实现提高集成度、降低无源器件尺寸、降低滤波要求的功能。

## 3 均衡控制策略

均衡控制策略的制定对于均衡系统至关重要,因为均衡系统中的硬件拓扑结构一旦固定,只能通过反复修正优化均衡控制策略来达到优化均衡效果的目标。这种人为可调整的部分对于系统优劣有着关键性的作用。

### 3.1 均衡控制变量

选择适当的均衡变量是制定合理均衡控制策略的前提,目前研究所选择的均衡变量一般分 3 种: 外电压、实际容量和实时 SOC。

#### 3.1.1 外电压

以外电压为均衡变量的控制策略是在电池的充电和放电过程中,以电池外电压为衡量当前电池组状态的重要参数<sup>[13]</sup>。虽然电池电压不能完全反映电池的电量,但依然具有如下优势:

1) 保证安全充放电。电池充放电一般根据电池端电压设定上下限,保证电池组单体电池外电压的一致性,可以防止单体电池过充或过放,影响电池寿命。

2) 满足均衡精度要求。当前技术水平下, 实时监测蓄电池组各单体电池电压的精确度可以达到千分之五, 比测量 SOC 的精确度要高得多, 且简单得多。

### 3.1.2 实际容量

以蓄电池实际容量作为均衡控制变量是指以电池的实际容量趋于一致为均衡目标。然而实际容量的测量是很难掌握的, 因为实际容量和温度、电解液浓度以及放电电流有很大的关系。如何保证电池的实际容量趋于一致, 需要更进一步的研究。

### 3.1.3 实时 SOC

此方法是未来均衡控制策略发展的趋势, 它以各单体电池的荷电状态来进行均衡控制, 实时检测各单体电池的 SOC, 当电池组 SOC 状态满足均衡条件时, 控制均衡电路模块对单体电池进行均衡<sup>[14]</sup>, 这种方法的难点在于如何实时准确地检测单体电池的 SOC。现阶段根据各单体电池的 SOC 去启动均衡控制有很大困难。文献[15]提出了一种基于剩余充电能力的均衡控制方法, 在线检测电池剩余充电能力进而对电池进行耗散型均衡。

## 3.2 均衡控制策略

在电池组均衡过程中, 均衡控制策略<sup>[16]</sup>在于如何控制均衡模块的工作方式, 做到既不影响电池的使用性能, 又能够快速消除单体电池不一致对电池组循环寿命的影响。目前研究的重点主要有最大值均衡法、平均值比较法和模糊控制法 3 种。

### 3.2.1 最大值均衡法

这种方法通过检测出电池组单体电压最高的电池并将其作为均衡对象<sup>[17]</sup>, 通过均衡电路使电压最高的单体对电压最低的单体放电, 以此类推, 直至达到均衡设定指标。

此方案在电池组部分单体电压过高或过低的情况下能够快速均衡。但是仅对其中一只单体进行放电, 均衡时间较长。而在电池组内单体间一致性很差时, 会导致控制逻辑混乱, 降低系统的均衡效率。

### 3.2.2 平均值比较法

这种方法以串联电池组中所有单体电池电压的平均值作为参考对象<sup>[19]</sup>, 通过比较单体的电压值与电池组的平均

电压值, 进而对电压较高的单体放电。

此方案的控制策略方便实现, 但是若均衡电路结构只能实现相邻电池间能量传递, 则对于距离较远的两单体需通过多个电池实现能量转移, 造成能量的浪费。

### 3.2.3 模糊控制法

模糊控制方法<sup>[18]</sup>的输入变量为反应电池组一致性的参数, 模糊控制系统的输出变量为均衡模块启停使能、均充电流大小和均充时间参数, 这些输出变量最终控制均衡管理系统中各均衡单元的工作状态。

该方法具有实时性好、鲁棒性强的优势, 可以动态调整均衡电流的大小, 是目前数字控制的发展方向。但需要对电池组的充放电参数分散性进行总结分析, 才能设计出相应的模糊设计规则。

## 4 系统结构分类

对于大型的供电系统来说电池数目越多, 均衡时间越长。因此电池均衡系统的均衡时间不仅取决于均衡器本身的体积, 还取决于均衡器连接的方式。目前均衡系统结构主要分为串联结构、层连结构以及模块化结构。

### 1) 串联结构

如图 5 所示为均衡系统串联结构<sup>[20]</sup>, 相邻电池之间配置一个均衡器, 当电池数目较多时, 均衡器的数目也随之增多, 且只能相邻电池间进行能量传递, 均衡效率低, 均衡速度较慢。

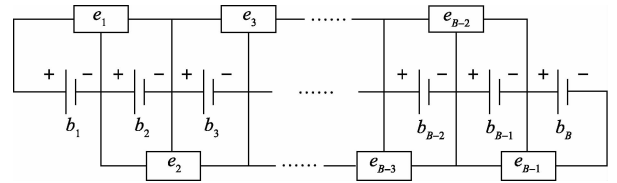


图 5 均衡系统串联结构

### 2) 层连结构

如图 6 所示均衡系统层连结构图, 均衡器的数目明显减少, 并且电量传递不再仅限于电池之间, 而是可以在不同级之间直接传递, 均衡速度变快。文献[21]提出了基于 SOC 的双层双向自均衡方法, 底层采用开关电容均衡电路, 顶层采用反激变压器均衡电路, 均衡效果较好, 能耗较低。

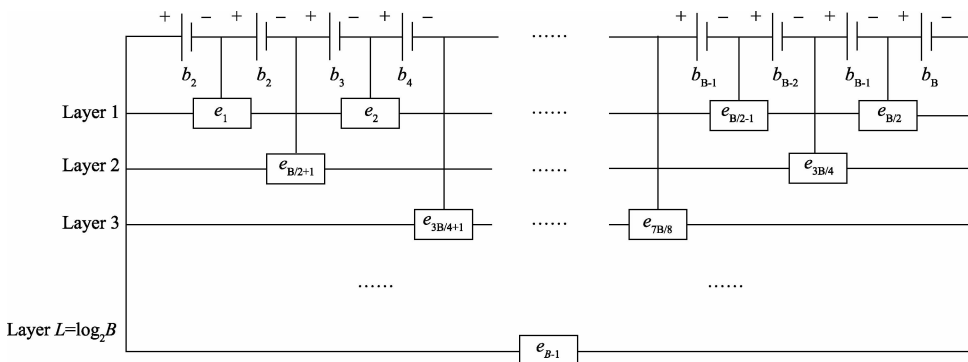


图 6 均衡系统层连结构

## 3) 模块化结构

如图 7 所示为均衡系统模块化结构图<sup>[22]</sup>,将串联电池组分为若干个模块,每个模块内采用串联结构方式进行均

衡,再将模块看作一个大的电池单体,同样采用串联结构进行均衡,这种系统结构适用于电池数目较多的应用场合。

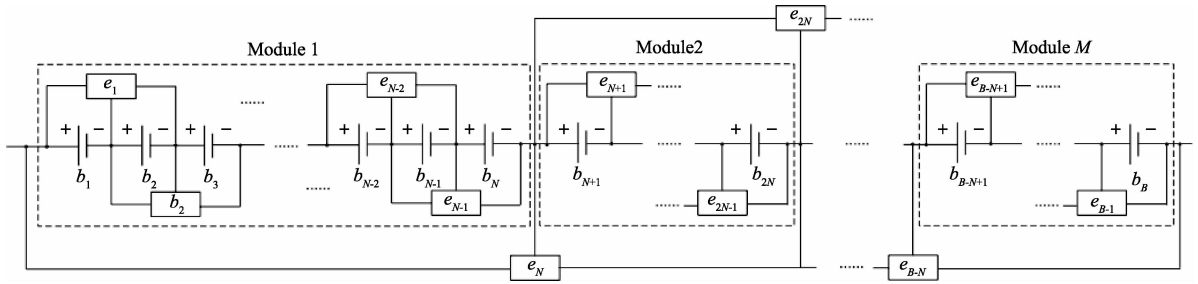


图 7 均衡系统模块化结构

## 5 结 论

近年对于串联电池组均衡技术的研究得到长足发展,这些研究的目的是都是为了增加均衡精度,加快均衡速度,提高均衡效率,简化均衡电路,降低均衡成本,目前电池组均衡技术还需要在以下方面进一步研究:

1) 选择最佳均衡控制变量, SOC 是最理想的判断标准,如何快速在线准确的测量 SOC 也是个难点,目前大多由开路电压法估算 SOC,需要提高精确度。

2) 优化均衡电路的拓扑结构,要考虑电池均衡电流大小(均衡能力)、可靠性、电池电量间的能量转移效率以及均衡算法的复杂性。

3) 优化均衡控制策略,根据均衡电路寻找合适的均衡路径,以达到电池均衡快速且高效的目的。

4) 设计均衡电路时考虑均衡系统的层连以及模块化结构,并针对数目较多电池组均衡系统进行扩展。

## 参考文献

- [1] 郑文一,胡社教,牛朝. 动力电池组主动均衡方案研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(7): 710-716.
- [2] 韩江洪,王龙飞,刘征宇. 基于剩余容量的锂离子电池组均衡策略[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(10): 1047-1052.
- [3] 徐顺刚,王金平,许建平. 一种延长电动汽车蓄电池寿命的均衡充电控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(3): 43-48.
- [4] 徐磊,何秋生,孙志毅,等. 动力锂电池变电阻均衡充电方法研究[J]. 太原科技大学学报, 2014, 35(2): 105-109.
- [5] 马秀娟,王晓亮,张华强. 基于超级电容器的动力锂离子电池均衡电路[J]. 电力电子技术, 2011, 45(12): 57-59.
- [6] 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.

- [7] YE Y M, CHENG K W E, YEUNG Y P B. Zero-current switching switched-capacitor zero-voltage-gap automatic equalization system for series battery string [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2012, 27(7): 3234-3242.
- [8] 戴海峰,魏学哲,孙泽昌,等. 电动汽车用锂离子动力电池电感主动均衡系统[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2013, 41(10): 1547-1553.
- [9] CASSANI P A, WILLIAMSON S S. Design, testing, and validation of a simplified control scheme for a novel plug-in hybrid electric vehicle battery cell equalizer [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010, 57(12): 3956-3962.
- [10] KIM M Y, KIM J H, MOON G W. Center-cell concentration structure of a cell-to-cell balancing circuit with a reduced number of switches [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2014, 29(10): 5285-5297.
- [11] PHUNG T H, COLLET A, CREBIER J C. An optimized topology for next-to-next balancing of series-connected lithium-ion cells [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2014, 29(9): 4603-4613.
- [12] LIM C S, LEE K J, KU N J, et al. A modularized equalization method based on magnetizing energy for a series-connected lithium-ion battery string [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2014, 29(4): 1791-1799.
- [13] KIM T H, PARK N J, KIM R Y, et al. Low cost multiple zero voltage/zero current switching battery equalization circuit with single soft-switching resonant cell [C]//Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 2012 IEEE. IEEE, 2012: 419-424.

(下转第 49 页)