

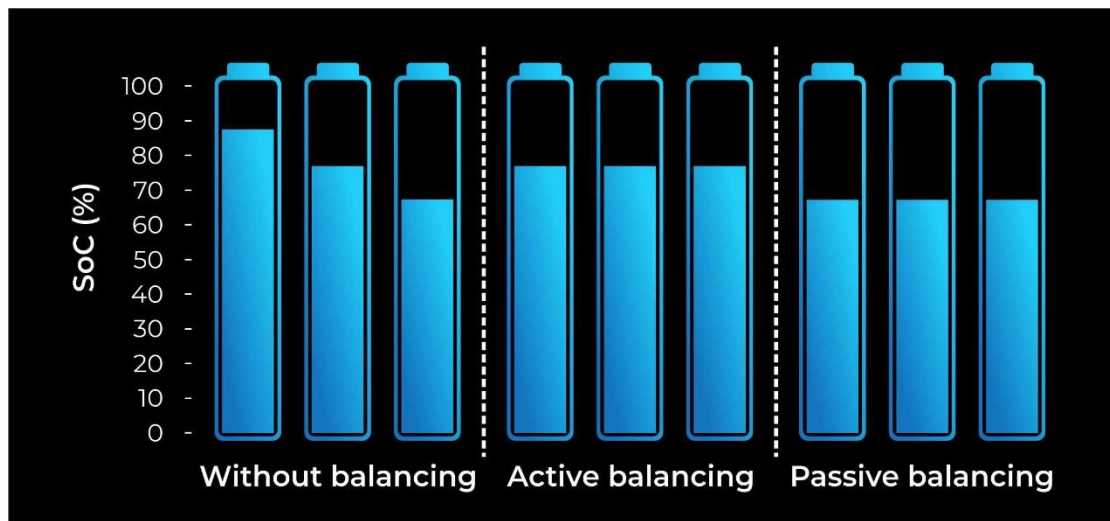
## 航芯技术分享 | BMS 专题之电池均衡如何提高电池寿命

随着新能源及电动汽车的迅速发展，能量密度比更高的锂电池得到了更多运用，而锂电池串联使用过程中，为了保证电池电压的一致性，必然会用到 BMS 来提升电池的使用性能和使用寿命。

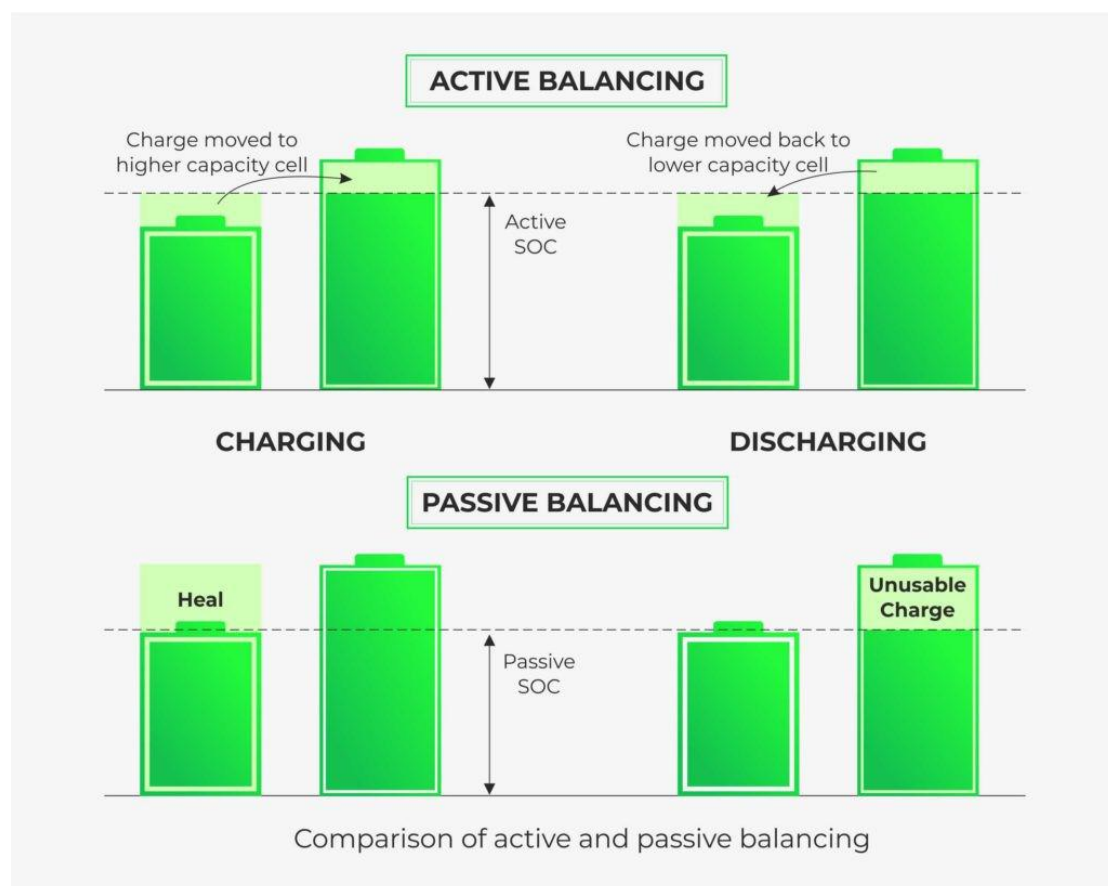
上海航芯通用 MCU ACM32F0 系列以其低功耗+1 路 CAN+10 万次擦写 128K 片上 Flash+125 度高温支持；ACM32F4 系列以其 180MHz M33 内核+Flash 加速+10 万次擦写 512K 片上 Flash+2 路 CAN+125 度高温支持，被广泛应用到 BMS 场景中。BMS 的主要功能包括：电量管理、电压检测、电池均衡等。

### 电池均衡概述

电池均衡是通过对多节串联电池进行容量最大化处理，确保各个电池单元能量可用，以此来延长电池使用寿命的技术。电池均衡是指在一个系列电池组中对不同的电池使用差动电流。电池均衡器是电池管理系统中的一种功能组件，用于执行锂电池电动汽车和 ESS 应用中常见的电池均衡。



通常，电池组的各个单元具有不同的容量，并且处于不同的 SOC 水平（SoC 是指个别电池随着充电和放电，相对于其最大容量的剩余容量）。如果没有重新分配，当容量最低的电池被放空时，放电必须停止，即使其他电池仍未被放空，这限制了电池组的能量输送能力。而平衡的电池是指一个电池组中的每节电池都具备相同的电荷状态（SoC）。



在均衡的过程中，较高容量的电池经历了一个完整的充电/放电循环。如果没有电池均衡，容量最低的电池就是一个薄弱点，即使其他电池单元仍有许多电量剩余，整个电池组也只能在其最弱的电池单元完全放电之后才能充电。因此，对各电池单元进行平衡可以更大限度地提高电池组的容量，并确保其中所有能量均可利用，从而提高电池寿命。除了更大限度提高电池容量外，电池平衡功能还可防止电池单元过充和过放，从而确保电池安全运行。电池均

衡是 BMS 的核心功能之一，此外还有温度监控、充电，以及其他有助于延长电池组寿命的功能。

### **电池均衡的必要性**

当您需要将多个电池合在一起为设备供电时，则需要进行电池均衡。因为电池单元较为脆弱，如果充电或放电过多，就会死亡或损坏。对于具有不同 SoC 的电池，并开始使用它们时，它们的电压开始下降，直到其中存储的能量最少的电池达到电池的放电截止电压。那时，如果能量继续流经电池，它就会受到无法修复的损坏。如果尝试将这组电池充电到正确的组合电压，健康的电池会过度充电并因此受到损坏，因为它们将要吸收已经损坏的电池不再能够存储的能量。不均衡的锂电池在第一次尝试使用时就会损坏，这就是为什么需要电池均衡。

### **电池均衡的其他原因包括：**

#### **热失控**

电池，尤其是锂电池，对过充和过放非常敏感。当内部热量的产生速度超过散失速度，就会导致热失控。温度升高会导致锂电池结构变化并在电极上形成表面膜，使锂电池衰减速度更快。另外，积热过多可能会导致电池平衡开关和电阻的损坏。通过使用电池均衡，电池组中的每个无缺陷电池应均衡到与其他无缺陷电池相同的相对容量。由于热量是导致热失控的主要因素之一，因此，除电池均衡器以外，还可以使用冷却系统，保持电池组处于室温环境，最大化的减少热量留存。

#### **电池老化**

当锂电池被过度充电，甚至略高于其推荐值时，电池的能量容量、效率、生命周期都会降低。

电池老化主要是由以下原因引起的：

1. 袋型电池中电极的机械退化或堆压损失。
2. 阳极上固体电解质界面 (SEI) 的增长。当充电电压保持在 3.92v/cell 以下时，SEI 被视为大多数基于石墨的锂电池容量损失的原因。
3. 在正极形成电解质氧化 (EO)，可能导致容量突然损失。
4. 由高充电率产生的阳极表面的镀锂。

### **电池组的不完全充电**

电池以 0.5 到 1.0 倍率的恒定电流充电，电池电压随着充电的进行而上升，充满电后达到峰值，然后下降。考虑三个分别具有 77Ah、77Ah 和 76Ah 且 100% SoC 的电池，然后所有电池都被放电，并且 SoC 下降。很快能发现 3 号电池会首先耗尽能量，因为它的容量最低。

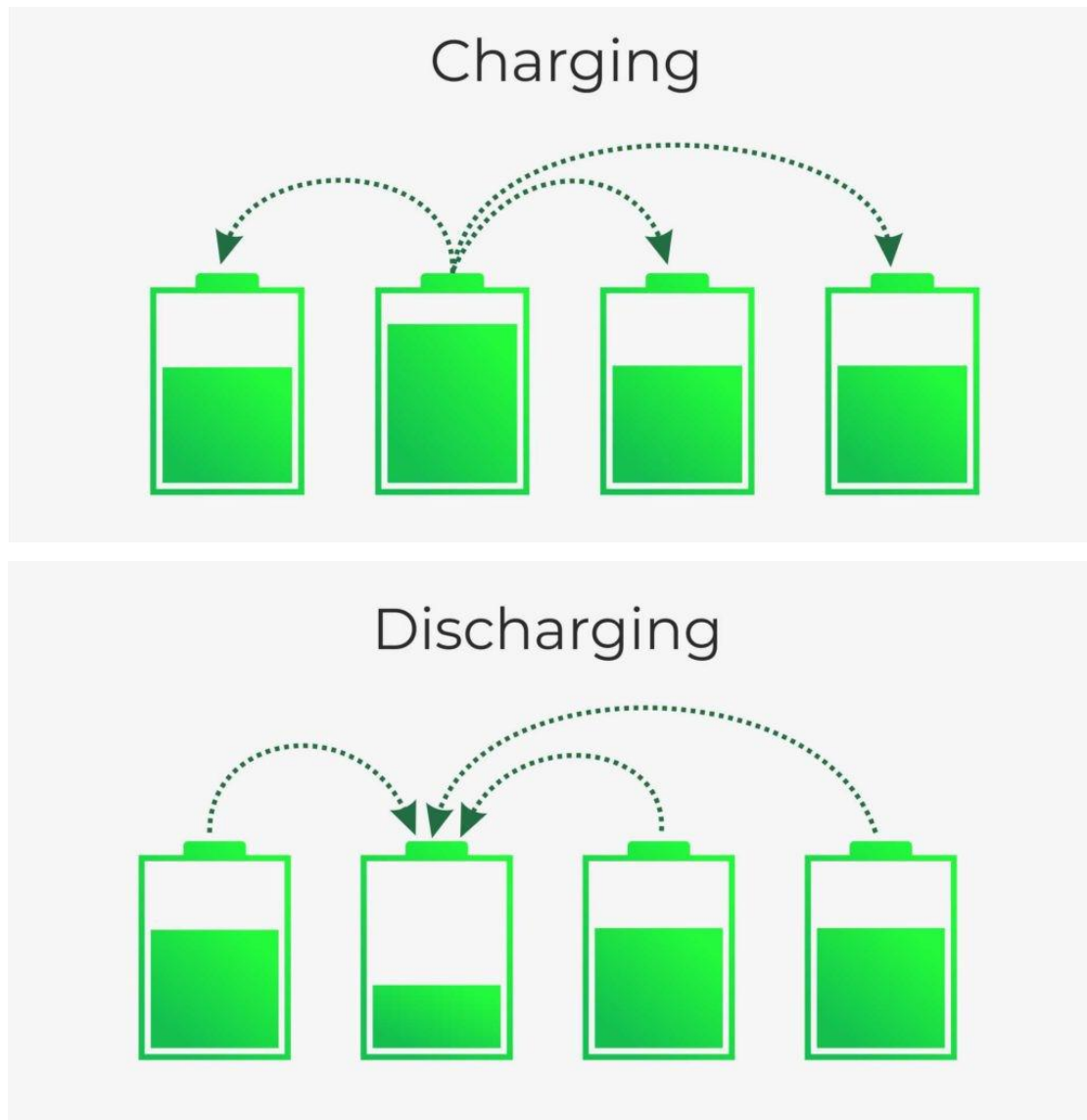
当给电池组通电，相同的电流流过电池时，电池 3 在充电过程中再次滞后，可以认为是完全充电，因为其他两个电池已完全充电。这意味着由于电池的自热导致电池不平衡，电池 3 的库仑效率 (CE) 较低。

### **电池组能量的不完全使用**

消耗超过电池设计容量的电流或使电池短路，最可能导致电池过早失效。在对电池组放电时，较弱的电池比健康电池放电更快，它们比其他电池更快达到最低电压。在电池运行过程中，提供定期的休息时间，使电池中的化学转换能够保持对电流的需求。

### **电池均衡的类型**

## 主动均衡



主动电池均衡通常将能量从一个电池传输到另一个。即从高电压/高 SoC 的电池转移到低 SoC 的电池。主动均衡的目的是，如果您有一组容量较低的电池，您可以通过从电池组中的一个比另一个能量更高的电池转移能量来延长电池组的寿命或 SoC。

主动电池均衡通过微型转换器电路高效地将能量从高电压的电池传递到低电压的电池，避免了热量导致的能量损耗。主动电池均衡方法有两种不同类别：电荷转移和能量转换。电荷转

移用于主动地将电荷从一个电池传输到另一个电池，以实现相等的电池电压，能量转换是用变压器和电感在电池组的电池之间移动能量。

其他有源电池均衡电路通常基于电容、电感或变压器以及电力电子接口，这些需要：

### **基于电容器**

- 单个电容器，这种方法很简单，因为它使用单个电容器，而与电池中连接的电池数量无关。

然而，这种方法需要大量的开关和对开关的智能控制。

- 多个电容器，这种方法将多个电容器连接到每个电池，通过多个电容器传输不相等的电池能量，它不需要电压传感器或闭环控制。

### **基于电感器或变压器**

- 单/多电感，单电感的电池均衡电路体积小，成本低，而多电感的均衡速度快，电池均衡效率高。

- 单变压器，这种方法均衡速度快，磁损耗低。

- 多变压器，这种电池均衡器具有快速的均衡速度，然而，它需要一个昂贵且复杂的电路来防止变压器被淹没。

### **基于电力电子接口**

- 反激/正激转换器，高压电池的能量存储在变压器中，该电池均衡器具有高可靠性。

- 全桥转换器，这种电池均衡器具有快速的均衡速度和高效率。

有源均衡器能够将大量电流从一个电池推到另一个电池。

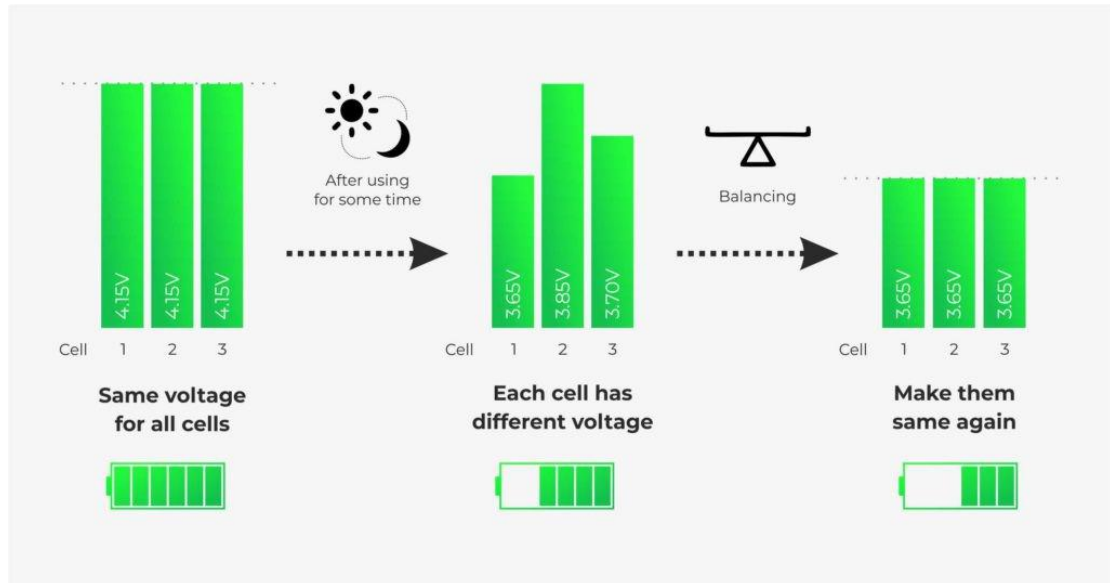
#### **主动均衡的优点：**

- 它提高了容量使用率，当一个系列中具有不同的电池容量时，它会表现出色。
- 它提高了能源效率，它通过将多余的能量转移到能量较低的电池中来节省能量，而不是燃烧电池中的多余能量。
- 寿命延长，它提高了电池的预期寿命。
- 快速均衡。

#### **主动均衡的缺点：**

- 当能量从一个电池转移到另一个电池时，大约会损失 10-20%的能量。
- 电荷只能从高位电池转移到低位电池。
- 尽管有源电池均衡器具有较高的能量效率，但其控制算法可能很复杂，并且其生产成本昂贵，因为每个电池都应与额外的电力电子接口连接。

#### **被动均衡**



通常把能量消耗型均衡定义为被动均衡，被动均衡运用电阻，将高电压或高电荷量电芯的能量消耗掉，以达到减小不同电芯之间差距的目的，是一种能量消耗性均衡。如果将电池串联在一起，并且某些电池的能量高于其他能量较低的电池，可以通过在电池上连接一个电阻来均衡顶部电池的燃烧能量，从而将能量释放到热量，以此来均衡电池组的能量。

被动均衡可使所有电池看起来具有相同的容量。有两种不同类别的无源电池均衡方法：固定分流电阻和开关分流电阻。

固定分流电阻电路通常连接到固定分流器，以防止其被过度充电。在电阻器的帮助下，无源均衡电路可以控制每个电池电压的极限值，而不会损坏电池。这些电阻器为均衡电池而消耗的能量可能会导致 BMS 的热损失。因此，这证明固定分流电阻器方法是一种低效的电池均衡电路。

开关分流电阻电池均衡电路是目前电池均衡中最常用的方法。该方法有连续模式和感应模式，在连续模式下，所有开关都被控制在同一时间开启或关闭。在感应模式下，每个电池都需要

一个实时电压传感器。该电池均衡电路通过均衡电阻消耗了高能量。这种电池均衡电路适用于在充电或放电时需要低电流的电池系统。

#### **被动均衡的优点：**

- 不必主动平衡电池组也依然能完美的工作。
- 电池单元在没有电量时不会有任何损耗，一旦电池充满，仅会在其有足够额能量时进行均衡操作。
- 它会让所有电池单元具有相同的 SoC。
- 它提供了一种低成本的电池均衡方法。
- 它可以纠正电池与电池之间自放电电流的长期失配情况。

#### **被动均衡的缺点：**

- 热管理不良。
- 它们在满 SoC 时不会进行均衡。仅在每个单元的顶部以 95%左右保持均衡，这是因为电池容量不同时，会被强制燃烧掉多余的能量。
- 它的能量传输效率通常很低。电能在电阻器中以热量的形式耗散，电路也造成了开关损耗，换句话说，被动均衡电路会导致大量的能量损失。
- 它不会提高电池供电系统的运行时间。

**上海空间电源研究所 Wangbin Zhao 提供的例子**

多绕组变压器的主动均衡电路分为功率模块和控制模块。电源模块由电池单元、均衡变压器和开关晶体管 (MOSFET) 组成。同时, 模块也可以根据实际需要进行扩展。每节电池通过 MOSFET 与电池组串联, 采用固定占空比的周期信号控制对电压较高的电池进行放电。控制模块包括 FPGA 控制单元、AD 采样单元。每个电池电压信号通过一阶低通滤波器进入 AD 采样。将所有电池电压的 AD 采样信号处理后送到 FPGA 中, 利用 FPGA 内部的均衡算法实现电池组的均衡控制。MOSFET 的开关周期与均衡变压器峰值电流的关系如下:

$$T_s = T_{ON} + T_{OFF} = L_{pri} \frac{I_{pri-peak}}{U_{bat}} + L_{sec} \frac{I_{sec-peak}}{U_{OFF}} \quad (1)$$

$T_s$  – 切换周期;

$T_{ON}$  – MOSFET 的开启时间;

$T_{OFF}$  – MOSFET 的关断时间;

$L_{pri}$  – 初级磁化电感;

$I_{pri-peak}$  – 初级峰值电流;

$U_{bat}$  – 单节电池电压;

$L_{sec}$  – 第二磁化电感;

$I_{sec-peak}$  – 次峰电流;

$U_{OFF}$  – 电池组总电压;

均衡变压器的设计关系到均衡电路的工作性能。因此, 必须正确设计变压器参数。在电池组充电过程中, 一旦主动均衡电路检测到某个电芯的电压过高, 就会启动相应的均衡开关为该电芯放电。均衡变压器初级侧的平均放电电流为:

$$I_{pri-ave} = \frac{I_{pri-peak}}{2} \frac{n \times k}{n \times k + 1} \quad (2)$$

同理，可以得到均衡变压器二次电池的平均充电电流为：

$$I_{sec-ave} = \frac{I_{sec-peak}}{2} \frac{n \times k}{n \times k + 1} \quad (3)$$

N——串联电池的数量；

k——变压器初级和次级的匝数比；

分析方程（1）到（3），得出结论，在固定占空比控制方法下，均衡平均电流仅与变压器初级和次级绕组的匝数比、电池数量和电流峰值有关。

### 电池组所需的均衡电流是多少？

均衡电池是指在某些 SoC 上，所有电池都完全处于相同的 SoC。均衡电池所需的电流取决于电池失衡的原因。它分为 2 类：总均衡、维护均衡。

#### 总均衡

如果电池组在制造或维修时没有考虑到单个电池的初始 SoC，平衡器可能会被期望完成总的平衡工作。在这种情况下，平衡电池组所需的最大时间长度取决于电池组的大小和平衡电流。所需的均衡电流与电池组的大小成正比，与所需的均衡时间成反比：

均衡电流 [A] = 包装尺寸 [Ah] / 总均衡时间 [小时]

对于一个 100Ah 有空有满的电池组来说,均衡电流为 1A 的 BMS 需要将近一周的时间来进行均衡。而一个均衡电流为 10 mA BMS 无法在其使用寿命内均衡 一个 1000 Ah 的电池组。或者说,如果希望 BMS 在合理的时间内均衡一个大容量且极不均衡的电池组,则需要它提供一个相对较高的均衡电流。

## 维护均衡

如果一个电池组开始时是均衡的,那么保持均衡将变得容易。如果所有电池的自放电泄漏相同,则不需要均衡;电池的 SoC 缓慢下降完全相同,因此电池组保持均衡。如果电池组中有一个电池单元其自放电泄漏电流为 1mA 或更多而其他电池单元的泄漏电流相同,则 BMS 从所有其他电池平均取 1mA 或仅对该电池增加 1mA,这被认为是平均均衡电流。

在很多应用中,BMS 除了不断地漏电放电外,还无法做到无限均衡。因此,均衡电流必须更高,与 BMS 均衡电池组可用的时间成反比。

例如:

如果 BMS 可以持续均衡,均衡电流可以是 1mA,而如果 BMS 每天只能均衡 1 小时,均衡电流应该是 24mA,才能达到 1mA 的平均值。

更重要的是,如果 BMS 可以运行比所需最小值更多的均衡电流,则 BMS 可以:

- 保持均衡始终开启,但降低其值以匹配电池自放电泄漏增量。
- 通过占空比打开和关闭均衡,平均而言,电流与电池的漏电流增量相匹配。

所需的均衡电流与泄漏电流的差和可用于均衡的时间百分比成正比:

均衡电流 [A] = (最大漏电流 [A] - 最小漏电流 [A]) / (每日均衡时间 [小时] / 24 [小时])

均衡电流是均衡器对满电量电池进行分流时的电流量,以求可同时继续允许相同的电流流入非满电池。正确的量取决于想要多快结束均衡。

## 结论

均衡补偿单个电池的 SoC,而不是容量不均衡。电池组均衡的好处是,如果电池组在工厂均衡,BMS 只需要处理均衡电流。这对于构建已经均衡的电池组更有意义,无需使用可以执行总均衡的 BMS。

为了最大限度地减少电池电压漂移的影响,必须适当调节不均衡。任何均衡方案的目标都是让电池组以预期的性能水平运行并延长其有用容量。对于希望最小化成本并纠正电池之间自放电电流的长期失配的客户,被动均衡是最佳选择。

\*内容来源自 ION Energy, 版权归原作者所有,如涉及版权问题请联系沟通

了解更多航芯产品&方案：[www.aisinochip.com](http://www.aisinochip.com)