

Application Note

分立式主动电芯均衡(ACB)设计



Jiemo Zhu, Will Tai

摘要

由于电池电芯不均衡问题导致电池容量和使用寿命的下降，本文介绍了一种将开关矩阵与隔离式直流/直流相结合的主动平衡方案，可以在实现模块间平衡的同时实现电芯平衡。

内容

1 简介	2
2 分立式拓扑比较	2
3 TI 设计	4
4 关键器件	5
4.1 TXE8124	5
4.2 MSPM03507	5
4.3 ISO6741	5
4.4 UCC33010	5
4.5 LM51561	5
5 仿真结果	6
6 总结	6
7 参考资料	6

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

单个电池的容量和内阻存在差异，再加上时间的推移、循环次数的增加、温度和湿度的差异，以及许多其他因素。这使得各个差异更加明显，尤其是磷酸铁锂电池的性能更加突出。如果串联使用电池，并且充电和放电电流相等，且充电和放电量一致，则可能存在大容量电池未充满或无法充分利用或者电池容量过冲或过度放电。因此，电池的容量未得到充分利用或使用寿命大幅缩短，因此电池电压必须均衡并串联使用，以确保所有电池的安全并更大限度地提高电池的使用寿命。

因此，提出了一种分立式主动平衡设计，该设计依靠开关矩阵和转换器来构建可实现模块间平衡的主动平衡拓扑。

2 分立式拓扑比较

分立式有源电芯平衡通常具有以下拓扑：开关电容器法

1. 飞跨电容器法
2. 电感储能法
3. 变压器法
4. 采用开关矩阵法的直流/直流转换器

在这些产品中，采用开关矩阵法的直流/直流转换器具有很高的灵活性，可在任何电池之间进行能量传输并实现模块间均衡。模块化的设计还便于维护。

接下来，以两种类型的充电和放电电路模式为例，分析电路的工作模式。

以 cell2 充电为例，开启 PWM2、PWM3 和 PWMB：

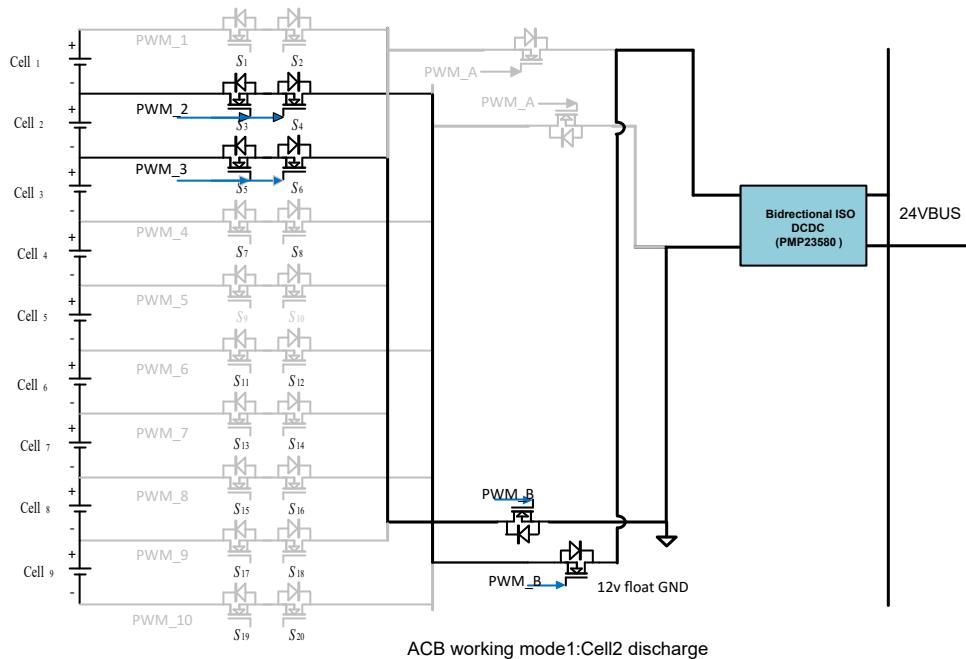


图 2-1. ACB 工作模式 1 : Cell2 放电

以 cell9 放电为例。开启 PWM9、PWM10 及 PWMA。该充电路路径如图 2-2 所示。双向直流/直流在升压模式下运行，将多余的电压从电池传输到总线。

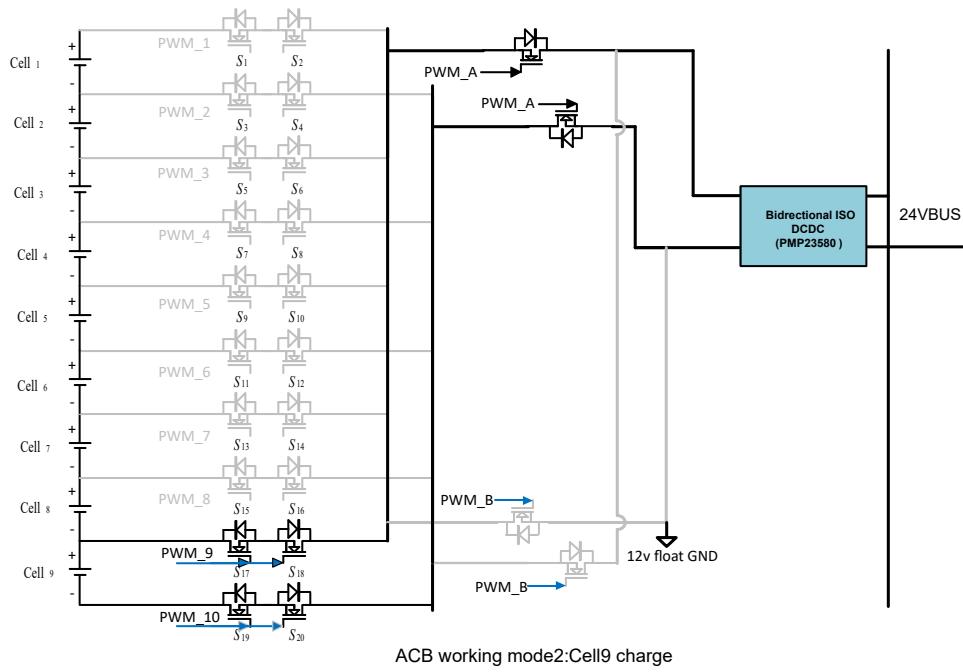


图 2-2. ACB 工作模式 2 : Cell9 充电

根据充电和放电开关的状态，可获取以下工作模式表。双向直流/直流转换器以降压模式运行，将能量从 24V 总线传输到电压较低的电芯。

表 2-1. 分立式 ACB 控制逻辑表

状态	电芯	通道
电荷	奇数	PWM_A
	偶数	PWM_B
放电	奇数	PWM_B
	偶数	PWM_A

3 TI 设计

高压总线使用反激式转换器将高压总线转换为 24V 作为低压总线。PMP23580 可实现双向 3.0-4.2VDC 至 18-36VDC，充电时峰值效率可达 82.3%，放电时可达 86.2%。电源轨设计有两条路径，其中一条为 MCU 供电的非隔离式电源，另一条为晶体管的驱动器电路供电。驱动器电路使用 PNP 和 NPN 形式的组合，为前面的背对背 MOSFET 提供驱动。同时，该电路可以实现模块之间的平衡。在对模块中的一节电芯进行放电或充电时，用户必须选择另一模块中的相应电芯进行充电或放电，以确保总线电压保持平衡。24V 总线可结合其他总线系统重复使用，TI 建议总线电压控制的基准略高于实际的 24V，以验证平衡期间从其他电池中回收的能量，从而防止从反激式器件中提取能量。

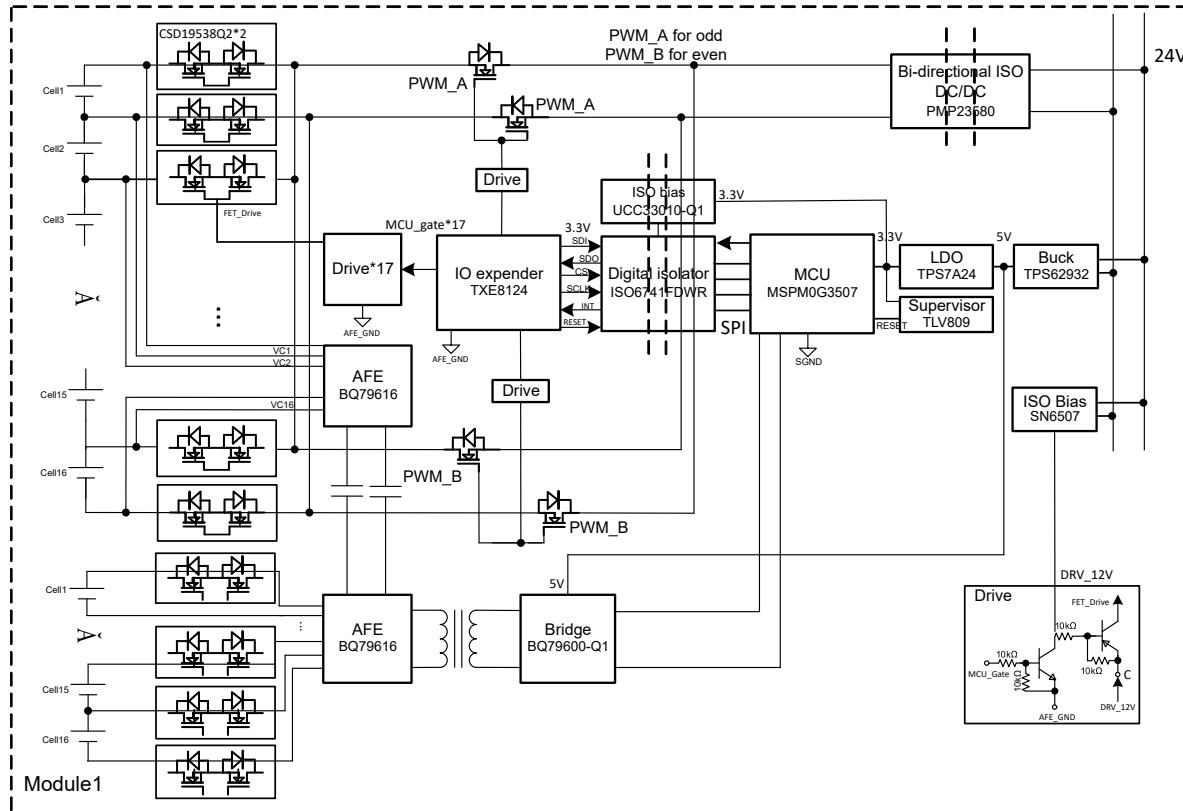


图 3-1. 分立式 ACB 系统方框图

4 关键器件

4.1 TXE8124

TXE81xx-Q1 器件为四线串行外设接口 (SPI) 协议提供通用并行输入/输出 (I/O) 扩展功能，并可在 1.62V 至 5.5V VCC 电压范围内工作。

该器件在 3.3V 至 5.5V 电压下支持 10MHz，在 1.62V 至 5.5V 电压下支持 5MHz。当开关、传感器、按钮、LED、风扇等设备需要额外使用 I/O 时，I/O 扩展器（如 TXE81xx-Q1）可提供简单设计。

TXE81xx-Q1 器件的 I/O 端口可提供旨在增强 I/O 速度、功耗和 EMI 性能的附加特性。此类附加特性包括：可编程上拉和下拉电阻器、可锁存输入、可屏蔽中断、中断状态寄存器、可编程漏极开路或推挽输出，以及在发生看门狗事件时的失效防护寄存器模式。

4.2 MSPM03507

MSPM0G350x 微控制器 (MCU) 属于 MSP 高度集成的超低功耗 32 位 MCU 系列，该 MCU 系列基于增强型 Arm® Cortex®-M0+ 32 位内核平台，工作频率最高可达 80MHz。这些低成本 MCU 提供高性能模拟外设集成，支持 -40°C 至 125°C 的工作温度范围，并在 1.62V 至 3.6V 的电源电压下运行。MSPM0G350x 器件提供具有内置纠错码 (ECC) 且高达 128KB 的嵌入式闪存程序存储器以及具有硬件奇偶校验选项且高达 32KB 的 SRAM。这些 MCU 还包含一个存储器保护单元、7 通道 DMA、数学加速器和各种高性能模拟外设，例如两个 12 位 4Msps ADC、一个可配置内部共享电压基准、一个 12 位 1Msps DAC、三个具有内置基准 DAC 的高速比较器、两个具有可编程增益的零漂移零交叉运算放大器和一个通用放大器。这些器件还提供智能数字外设，例如两个 16 位高级控制计时器、五个通用计时器（具有一个用于 QEI 接口的 16 位通用计时器、两个用于待机模式的 16 位通用计时器和一个 32 位通用计时器）、两个窗口式看门狗计时器以及一个具有警报和日历模式的 RTC。这些器件提供数据完整性和加密外设 (AES、CRC、TRNG) 以及增强型通信接口（四个 UART、两个 I2C、两个 SPI 以及 CAN 2.0/FD）。TI MSPM0 系列低功耗 MCU 包含具有不同模拟和数字集成度的器件，使客户能够找到满足其工程要求的 MCU。MSPM0 MCU 平台将 Arm Cortex-M0+ 平台与超低功耗整体系统架构相结合，使系统设计人员能够在降低能耗的同时提高性能。

4.3 ISO6741

ISO674x 器件是高性能四通道数字隔离器，可提供符合 UL 1577 的高达 5000VRMS 隔离额定值，非常适合具有此类需求的成本敏感型应用。这些器件还通过了 VDE、TUV、CSA 和 CQC 认证。在隔离 CMOS 或 LVCMOS 数字 I/O 时，ISO674x 器件可在低功耗下提供高电磁抗扰度和低辐射。每条隔离通道的逻辑输入和输出缓冲器均由 TI 的双电容二氧化硅 (SiO₂) 绝缘栅相隔离。这些器件配有使能引脚，可用于在多主驱动应用中将各自的输出置于高阻抗状态。ISO6740 器件具有四条方向相同的通道，ISO6741 器件具有三条正向通道和一条反向通道，而 ISO6742 器件具有两条正向通道和两条反向通道。如果输入功率或信号出现损失，不带后缀 F 的器件默认输出高电平，带后缀 F 的器件默认输出低电平。更多详细信息，请参见器件功能模式。

4.4 UCC33410

UCC33410 是一款采用集成变压器技术的工业直流/直流电源模块，可提供 1W 的隔离式输出功率。UCC33410 可支持 4.5V 至 5.5V 的输入电压工作范围，并可通过 3.7V 的可选余量调节 3.3V 输出电压。UCC33410 具有专有变压器架构，可实现 3kVRMS 隔离额定值，同时支持低 EMI 和出色的负载调节。UCC33410 具有保护特性，能提高系统稳健性，例如具有故障报告机制的使能引脚、短路保护和热关断功能。UCC33410 采用小型化、薄型设计 VSON (4.0mm x 5.00mm) 封装，高度为 1mm，爬电距离和间隙大于 4.1mm。

4.5 LM51561

LM5156x (LM5156 和 LM51561) 器件是一款采用峰值电流模式控制、具有宽输入范围的非同步升压控制器。该器件可用于升压、SEPIC 和反激式拓扑。如果 BIAS 引脚连接到 VCC 引脚，则 LM5156x 器件可由单节电池（最低电压 2.97V）供电。如果 BIAS 引脚电压高于 3.5V，则此器件可在低至 1.5V 的输入电源电压下运行。

5 仿真结果

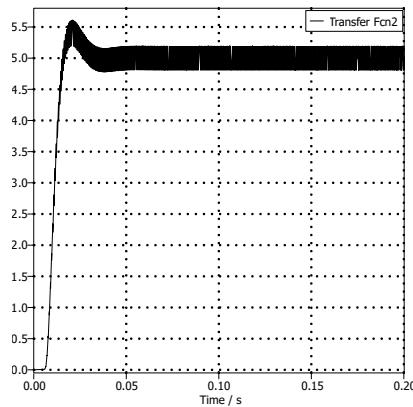


图 5-1. 充电曲线

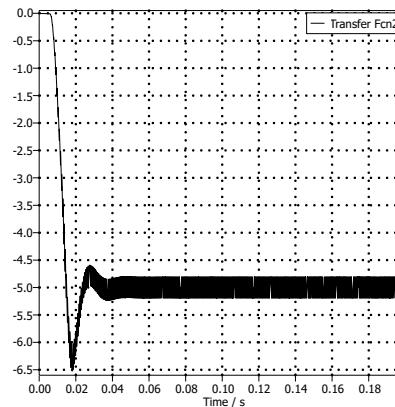


图 5-2. 放电曲线

6 总结

这种分立式主动平衡设计可实现电池电芯间的平衡，同时自然地启用电池组的平衡。这也是一种具有成本效益、相对易于控制且高度灵活的有源平衡拓扑，具有开关矩阵和隔离式直流/直流，可加快客户系统的开发设计。

7 参考资料

1. M. -Y. Kim, C. -H. Kim, J. -H. Kim and G. -W. Moon, "A Chain Structure of Switched Capacitor for Improved Cell Balancing Speed of Lithium-Ion Batteries," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 61, no. 8, pp. 3989-3999, Aug. 2014, doi: 10.1109/TIE.2013.2288195.
2. A. K. Sadigh, V. Dargahi and K. Corzine, "New active capacitor voltage balancing method for five-level stacked multicell converter," 2016 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Long Beach, CA, USA, 2016, pp. 1191-1197, doi: 10.1109/APEC.2016.7468020.

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做出任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#))、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2025 , 德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期 : 2025 年 10 月