

Technical Article

电池储能系统需要克服的 3 大设计挑战



Ryan Tan



太阳能和风能为电网带来了可再生能源，但存在供需不平衡问题，这也是影响此类能源利用率的主要限制因素。虽然太阳能在中午很充足，但此时的用电需求不够高，所以消费者的用电成本仍然居高不下。

适用于公用事业机构、住宅、商业和工业场景的储能系统 (ESS) 应用可以在白天收集太阳能和风能等可再生能源的能量，并在需求高峰期或电网电价较高时释放储存的能量。ESS 储存能量供高峰时段使用，可稳定电网并降低能源成本。

与电池储能系统 (简称 BESS，这是一种较常见的 ESS 类型) 相关的设计挑战包括：安全使用；精确监测电池电压、温度和电流；以及电芯和电池包之间强健的均衡能力。下面详细介绍这些挑战。

挑战 1：安全

第一大挑战是在 BESS 的整个寿命周期内保持电池安全，这一周期通常超过 10 年。BESS 应用通常使用锂离子 (Li-ion) 电池，特别是磷酸铁锂 (LiFePO₄) 电池。

当电压、温度和电流超过其最大限值时，锂离子电池容易冒烟、起火或爆炸，因此电池的电压、温度和电流数据监测及保护至关重要。在这种情况下，您应该考虑和分析电池故障和电池管理系统故障的可能性。

图 1 演示了一个 BESS 架构。TI [适用于储能系统的可堆叠电池管理单元参考设计](#)描述了一个使用 BQ79616 来检测冗余数据测量问题的可堆叠电池管理单元 (BMU)，而[适用于储能系统的电池控制单元参考设计](#)展示了一个通过开关确保系统安全的电池控制单元 (BCU)。

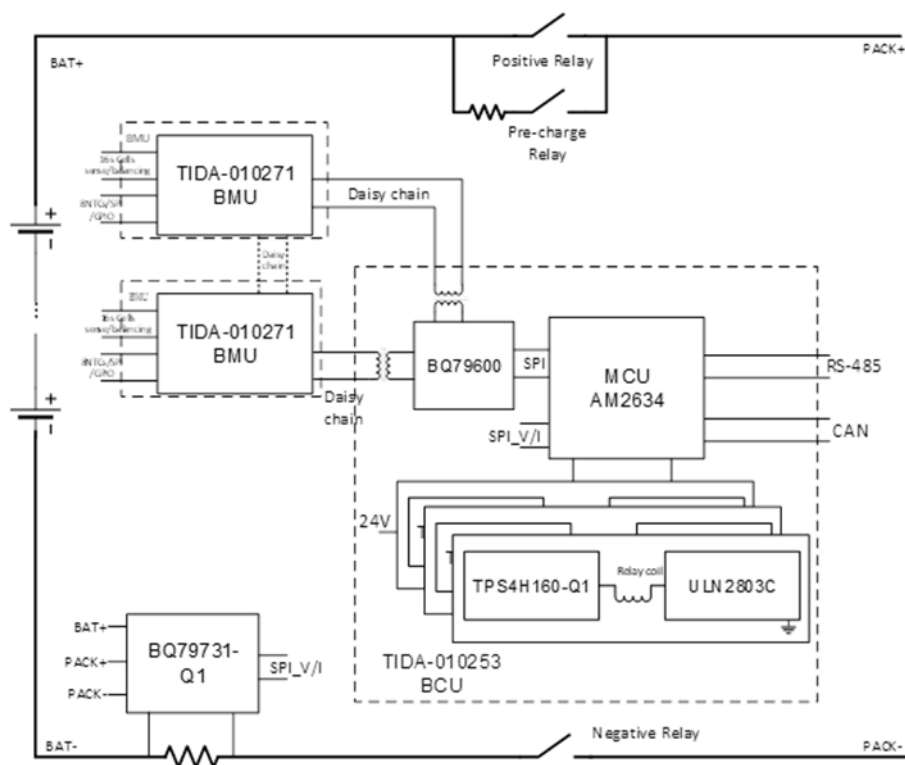


图 1. BESS 架构

挑战 2：精确的电池监测

精确的电池数据可确保安全并提高能源利用率。由于磷酸铁锂 (LiFePO_4) 充放电曲线中存在范围较大的平坦区间，即使微小的电池电压测量误差也会导致巨大的剩余电量误差，因此精确的电池电压和电池包电流测量对于准确估算电量非常重要。精确的电量信息是避免电池平衡错误的关键，发生这种错误时，过度充电和过度放电会破坏电池的最大可用容量。

另一个重要的测量指标则是温度。大多数电池起火和爆炸事故都是由电池热失控引起的。

图 2 展示了 TI 的可堆叠电池管理单元参考设计。该设计采用 BQ79616 电池监测器，可在 -20°C 至 65°C 范围内实现 $\pm 3\text{mV}$ 的电池电压误差。对于住宅系统，设计中也可以选用 BQ76972 电池监测器，该器件可在 -40°C 至 85°C 范围内实现 $\pm 5\text{mV}$ 的电池电压误差。多路复用器开关可以扩展温度测量通道，确保监测每个电池和电源总线连接器的温度。可堆叠电池参考设计预留了额外的温度通道以用于多路复用器开关的诊断检查。

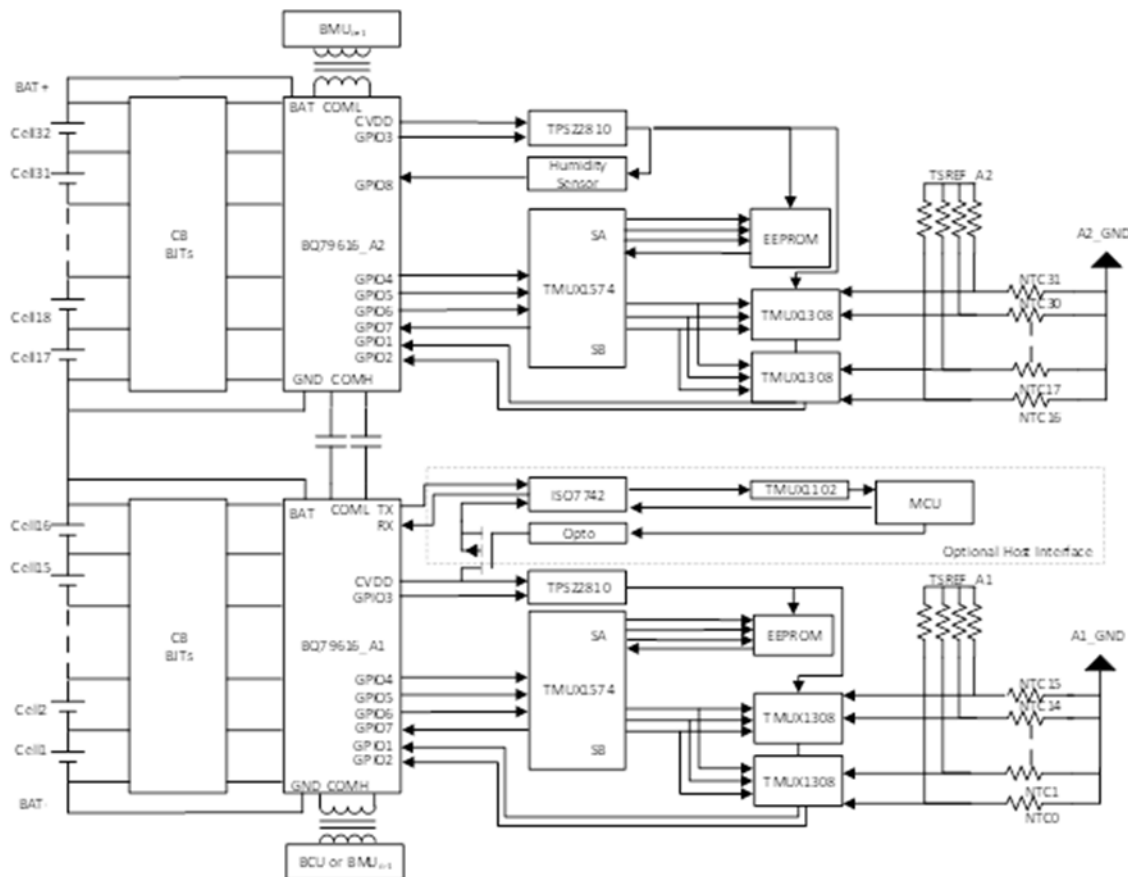


图 2. 可堆叠电池管理单元参考设计

ESS 电量监测也需要准确可靠的电流测量解决方案。BQ79731-Q1 电压和电流传感器集成了双路 24 位电流检测模数转换器，其具有冗余通道，有助于确保系统安全性和电流数据准确性。

挑战 3：电池和电池包的平衡能力

由于负载变化，电池包可能会以不同的速率消耗电流。这些变化会导致电池包剩余电量之间的不平衡，并降低整个 **ESS** 的最大可用电量。新电池之间的不一致以及不同散热条件也会导致不同电池之间的不平衡，即使在同一个电池包内也是如此。被动电池平衡会在电阻上消耗电池能量，由于其功耗过高并会导致电池包发热，因此不建议用于电池包级别的平衡。

电池包的不平衡会在产品的使用寿命内逐渐恶化，而且，ESS 的使用寿命可能超过 10 年。有些电池包在 10 年的周期内可能会比其他电池包老化得更快，导致用户不得不更换老化的电池包。如果没有强大的电池包级别平衡电路，则必须由人工对新电池包进行充电或放电，使新电池包的能量几乎等于 ESS 中其余电池包的能量。但是，这种做法不仅有风险，而且难度大、成本高、耗费人力。

电池不平衡也受到电池容量的影响。为了优化整个 ESS 的每千瓦时单位能源成本，电池制造商正在开发更大容量的电池，容量从 280Ah 扩大到 314Ah，甚至到 560Ah。为了使电池包内的所有电池持续提供相同的能量，电池包中的电池容量越大，需要有效平衡电流越大。

电池包有多种平衡方法。图 3 展示了一种方法，该方法采用面向储能系统的双向 CLLLC 谐振转换器参考设计，从高压总线对电池包进行充放电。隔离式 DC/DC 转换器通过控制充电电流和放电电流来平衡电池包，使其匹配剩余电量或电池包电压。由于充电电流和放电电流都会流过双向 DC/DC 转换器，因此整体效率低，而且双向 DC/DC 转换器的额定功率较大。

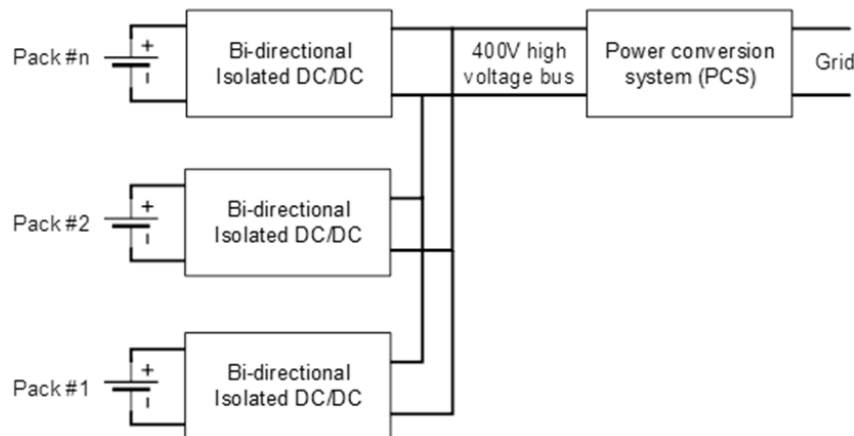


图 3. 位于电池包与高压总线之间的双向隔离式 DC/DC 转换器

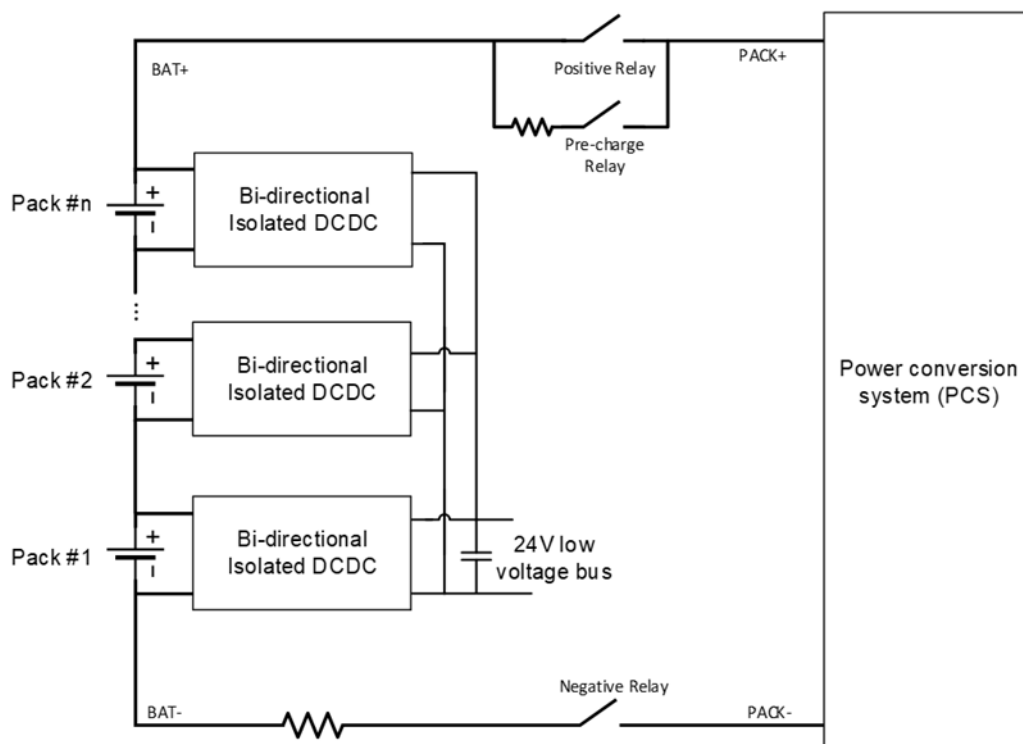


图 4. 位于电池包与低压总线之间的双向隔离式 DC/DC 转换器

结语

安全可靠的电池管理系统可以消除锂离子和磷酸铁锂 (LiFePO_4) 电池的安全问题，并通过精心设计的保护功能帮助延长 ESS 寿命，甚至在发生单一设备故障时也能从容应对。精确的数据检测以及电池包和电池级别的平衡能力可以在充电和放电时实现电池容量相等，并更大程度提高太阳能和其他可再生能源的能源利用率，最后使最终用户能够获得安全、稳定和低成本的可再生能源。

其他资源

- 阅读应用简报 [“跨储能系统扩展精确的电池管理设计”](#)。
- 观看视频 [“设计高精度电池储能系统”](#)。
- 查看 [电池储能系统](#) 的产品和参考设计。

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任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司