

储能

电池储能系统 (BESS) 需要综合的电路保护策略



白皮书



Expertise Applied | Answers Delivered

简介

可再生能源发电的近期增长引发了对电池储能系统 (BESS) 的相应需求。储能行业有大幅扩张的态势, 据有些预测, 预计到2030年, 全球储能市场将超过300千兆瓦时和125千兆瓦容量。据上述那些预测估计, 在此期间, 储能投资将增长至1030亿美元。同时, 公用事业规模电池系统的每千瓦时成本可能会降至当前成本的一半以下, 从而使得控制系统成本变得至关重要。

当前的电池系统不仅设计用作本地备用电源, 比如当正常电源发生故障时, 用于向医院、数据中心等关键设施供电的系统。BESS还带来其他优势并提供辅助服务, 其中包括均衡负载、旋转和调节储备、输配电延期和频率调节, 当其作为价值堆栈被捕获时, 可发挥其最大作用, 成为公用事业的珍贵资产。当前的BESS日益设计用于向本地微电网供电, 以便在需求增加时向本地区域供电。它们将太阳能或风力发电机产生的电能储存起来, 然后在需要时将电能注入回电网。

BESS电路保护

随着现代锂离子电池的功率密度不断增加, BESS集成商正竭尽全力以较小尺寸向客户提供更大功率。然而, 随着功率等级提高, 电路保护变得愈加重要。

可再生能源供应商正在将新一代高效功率半导体器件集成到其系统中, 从而控制逆变器和转换器中的功率。由于这些是敏感电子器件, 因此需要针对能量浪涌提供强大保护。鉴于BESS所采用的技术发展迅速, 我们仍然可以认为BESS的设计尚处于起步阶段。因此, 很多整合那些解决方案的电气工程正在寻求有关选择和实施适当电路保护策略的指导。

综合的电路保护策略对于满足BESS集成商的最关键目标至关重要, 这些目标有:

- 防止对于对正常运行时间要求苛刻的最终用户 (如医院、工业加工厂和数据中心) 造成代价高昂的服务中断。例如, 数据中心停机时间的成本为每分钟8000美元左右。
- 防止可再生能源供应商收入受损。
- 防止局部地区停电。
- 对安装和维护将由集成商设计的BESS的工人进行保护。
- 防止BESS设备本身受损, 否则会危及由最终用户或可再生能源供应商所进行的大规模投资。
- 提供电网稳定性, 因为也采用可再生资源进行发电。

BESS内的电气故障可能对工人造成重大危害, 其中包括电击、电池化学/电解质灼伤以及有毒或爆炸性气体泄漏的风险。主要关注的三个领域是防止电气过电流、接地故障和弧闪危害。

过电流保护

逆变器保护是BESS电路保护中最重要的方面之一。逆变器通常 (虽然不总是) 位于容纳电池组的拖车或其他壳体之外。直流/交流逆变器将来自电池的直流输出转换为可以馈入商用电网中的工频交流电 (AC)。然而, BESS还允许将由可再生能源产生的直流电流储存到一组电池中。之后, 当需要使用储存的电力时, 直流/交流逆变器可将直流电池电力转换为可输出到电网的交流电力。

为了提供尽可能长的电池放电时间, BESS设计人员正在制造越来越大的电池组。每块电池都代表一个能量源。系统中任何故障都可能导致一次性倾泄大量能源, 并可能造成各种人员和设备危险。

在2017年版《美国国家电气法规》* (NEC*) 第706条中规定了对于电池储能系统的过电流保护要求。

断开装置: NEC第706.7 (E)(1)条规定: “应在电路的储能系统末端设置断开装置。应允许使用熔断器断开装置或断路器。”

直流 (DC) 额定值: NEC第706.21 (C)条规定: “在ESS任何直流部分使用的过电流保护装置 (熔断器或断路器) 均应为用于直流的上市产品, 并应具有适用于该应用的电压、电流和额定分断电流” 例外: 如果为已上市的ESS的直流输出电路提供限流过电流保护, 则无需额外限流过电流装置。

位置: NEC第706.7 (E)条和第706.21 (F)条规定: “当储能系统输入和输出端子距离相连接的设备超过1.5米 (5英尺), 或者来自这些端子的电路穿过墙壁或隔板时, 应在ESS上提供过电流保护。”

确定数值: NEC第706.21 (B)条规定: “在ESS所采用的系统上提供的过电流装置额定电流应不小于计算所得的最大电流的125%”

这些法规要求的存在有助于确证在不断增长的BESS市场中选择适当过电流保护的重要性。

有多种熔断器可用于处理各种电流过载应用。这些直流 ESS 应用通常选择高速熔断器，因为它们比直流断路器体积小、速度快、成本低。断路器的最大额定分断电流高达25,000安培至30,000安培。相比之下，最新一代高速熔断器（如 Littelfuse PSR系列高速方形熔断器）（图1）可以占用比直流断路器小得多的面积达到最高分断150kA直流电流（或200 kA交流电流）。

高速熔断器的设计使其运行速度比常规熔断器快24倍，以便通过降低峰值允通电流和允通能量 (I^2t) 来保护内置于逆变器、UPS、电池管理装置和其他系统中的敏感功率半导体器件（如二极管、三端双向可控硅、IGBT、SCR、MOSFET和其他固态器件）。



图1.
Littelfuse PSR系列高速方形熔断器经常用作逆变器的过电流保护，因为其设计紧凑，对短路故障电流响应速度快，并且额定分断电流大。

这些熔断器对于保护BESS的直流电池也非常有用。通过正极和负极端子上的直流熔断器来保护每块电池，以便在任何内部短路情况下隔离电池。直流汇流箱是易受大直流过电流故障影响的关键位置，多个电池架的输出在此汇合向逆变器馈电。通常在这个位置，采用具有尽可能大的直流额定分断电流的直流熔断器来保护电池的输出串。

接地故障

多种因素都可能造成接地故障。这些因素包括随时间推移绝缘或元件退化（通常由于过电压或过热）、湿度/潮湿、啮齿动物、系统带电部件之间灰尘积聚以及人为错误。除非使用合适的接地故障装置，否则通常无法识别小电流接地故障。

BESS通常为不接地系统。在第一次接地故障之后，系统可以继续运行，导致无故障母线上的对地电压较高，但没有电流流动。然而，相对的母线上的后续接地故障可能会在设备保护和工人安全方面造成灾难性后果。不接地系统上的第二次接地故障可能构成相间故障，可导致电弧、火灾和严重损坏或伤害。大多数电气故障（包括弧闪）是从接地故障开始，因此必须尽早检测这些故障，以便能够在发生严重损坏或伤害之前解决这些故障。

对于不接地BESS系统，设计人员可以根据下述三个选项进行直流侧接地故障检测：

- 1. 主动绝缘监测。** 这种方法涉及注入一个低电平信号，寻找经地线返回继电器的最低电阻路径。返回继电器的漏电流与系统对地的绝缘成正比。这种方法很有吸引力，但存在一些重大挑战，其中包括难以精确定位故障位置、对系统电容敏感以及主动信号与电气系统其他部件之间的干扰。
- 2. 对地被动电压监测。** 这种方法不注入主动信号；相反，它监测直流母线每侧（或交流母线每相）的对地电压。优点是没有主动信号引起任何干扰，但故障定位也是这种方法面临的挑战。
- 3. 通过使用接地中性接地参考进行被动电流监测。** Littelfuse SE-601系列直流接地故障监测仪（图2）可提供此类参考。这种方法在直流母线电压之间产生一个中性接地点，然后寻找流入或流出接地点的漏电流。这个系统的优点是可以确定故障位置（正或负直流母线），没有主动信号引起干扰，参考模块通常用于将故障电流限制在安全值范围内。这个方法的缺点是可能无法检测到对称故障（两条母线上同时对地等电阻故障）。



图2. SE-601直流接地故障监测仪提供灵敏快速的防误跳闸接地故障保护。使用SE-GRM系列接地参考模块（一种将接地故障电流限制在25 mA的电阻网络）来感测接地故障电流。SE-GRM允许将SE-601连接到高达1200 Vdc且可能更高的系统。

任何流向地面的电流都需要引起注意。灵敏的接地故障继电器会检测到10 mA甚至更小的漏电流。最新型接地故障继电器可以检测到低至30毫安水平的故障电流。通常，接地参考模块安装在直流系统的正负两部分之间，参考模型连接到继电器，而继电器连接到地。

虽然大多数BESS不接地，但确实存在接地BESS，不过后者需要不同的接地故障检测方法。设计人员需要权衡交流接地故障继电器与交流绝缘监测仪之间的相对优点。交流接地故障继电器，如SE-704接地漏电继电器（图3），可提供非常灵敏的接地故障检测，并可用于含有显著谐波的系统。可连接输出触点，用于保护性跳闸电路或报警指示电路中。模拟输出可与PLC或仪表一起使用。相比之下，交流绝缘监测仪也可用于接地系统，监测系统断电时绝缘是否损坏，如可在高达6 kV的单相或三相不接地系统上运行的PGR-3200系列绝缘监测仪（图4）。

很多设计人员选择在每块电池组与汇流箱之间使用断路器，以简化在每个电池组上执行的单独检验或维护。不接地直流接地故障监测仪（如Littelfuse SE-601系列）可用于监测电池组的状态。它可与EL3100接地故障和相电压指示器（图5）结合使用，用于三相系统。它符合NEC和CE法规针对不接地交流系统的接地探测器的要求。



图3. SE-704接地漏电监测仪提供馈线级保护或单个负载保护。



图4. Littelfuse POWR-GARD® PGR-3200绝缘监测仪可用于不接地和接地BESS。



图5. EL3100接地故障和相电压指示器可与SE-601系列直流接地故障监测仪结合使用，共同监测BESS电池组的状态。

弧光保护

根据OSHA, 大约80%的电气相关事故和合格电气工人死亡是由弧闪事件引起。即使工人没有受伤, 弧闪也会损坏设备, 需要代价高昂的更换和系统停机时间。

从直流电池组的组合输出馈入逆变器的高电平直流电力可能形成弧闪事件。当多个菊花链式电池的输出在汇流箱中汇集在一起时, 它们也可以生成足以产生电弧的直流电压。正弦交流电的过零点有助于交流电弧自行熄灭, 而电池的直流电弧自行熄灭的可能性则较小。

弧闪可带来很多危险。其热量可能比太阳表面的温度更强烈, 而伴随的爆炸可能以子弹的速度抛掷碎片。对维护人员和附近设备的威胁显而易见。为了减轻这些危害, 弧光保护继电器设计用于检测来自新出现弧闪发出的光, 然后尽快使上游断路器跳闸。例如, PGR-8800系列弧光保护继电器(图6a)可以在1毫秒内检测并发送跳闸信号, 防止电弧发展成潜在的灾难性事件。典型AF0100系列弧光保护继电器(图6b)配置的跳闸时间小于5毫秒。

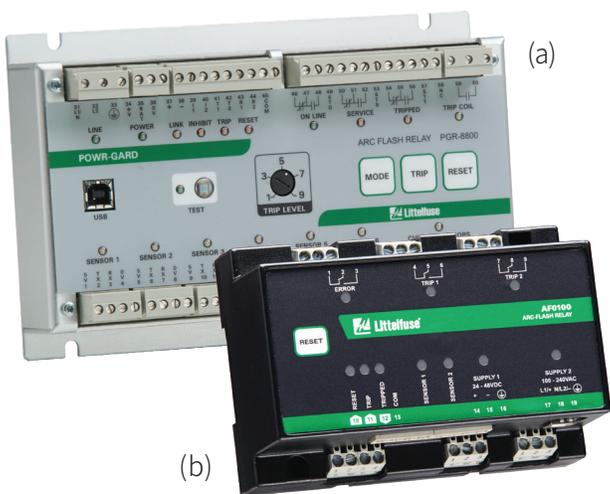


图6. PGR-8800系列弧光保护继电器 (a) 通过寻找多余光线和电流的组合来检测正在形成的弧闪事件。光学传感器和可调节的跳闸等级通过设置环境光阈值来降低误跳闸的可能性。AF0100系列弧光保护继电器 (b) 通过检测弧闪发出的光并快速跳闸来减少电弧故障损害。两个远程光传感器可连接到一个继电器, 可连接多个AF0100和/或AF0500 (无图) 继电器来监测其他传感器。

安装弧光保护继电器系统涉及将光传感器放置在安装逆变器的壳体内部, 以及最可能成为电弧起源的相关汇流排处。逆变器内部的功率半导体器件通常会发生故障, 但它或它的连接器可能产生接地故障并引起弧闪。

直流和储能应用的弧闪注意事项

允许计算弧闪电位, 以便制定弧闪入射能量的计算, 特别是制定IEEE 1584 (执行弧闪危害计算指南)。基于对交流系统的进一步测试, 即将推出一个修订版。然而, 对直流弧闪的研究不足, 了解也不多。几乎所有类型的BESS都可以快速释放直流故障电流, 但那些采用锂离子电池的BESS可以非常快速地释放非常大量的电流。

计算弧闪的目的是确定潜在最大入射能量。然而, 如果仅使用过电流保护装置, 一些不一而足的因素可能会导致入射能量水平高于预期:

- **电池老化:** 随着电池老化, 其内部阻抗会增加。这可以形成较小的弧闪电流, 这实际上可以导致较高的能量, 因为过电流保护装置需要较长时间才能运作。
- **充电状况:** 部分耗尽的电池组可能不会产生完全电弧或短路电流。使用弧光保护继电器而不完全依靠过电流保护装置进行弧光保护可能有助于设计人员在BESS的整个使用寿命期间实现始终如一的低入射能量。

对于入射能量计算, 同样重要的是要记住, 电池柜倾向于将能量导出柜门。在弧闪期间, 大型BESS壳体既包含故障, 又使工人更难以在典型的两秒钟窗口内进行自救, 因而可能使人员暴露在更多能量当中。

电池组本身代表了BESS中面临的弧光保护挑战。一个电池组上的弧闪将从其他并联电池组馈入。这可以通过监测电池组并在发生故障时从母线断开来解决。此时, 电弧故障仅从故障电池组馈入, 以与并联电池组总数成比例的因子减少其总能量。剩余电池组继续供应或接收能量。虽然断开故障电池组会对运行和减少入射能量产生重大影响, 但电池组本地故障更加难以解决。一种可选方案是提供物理断开/分离电池组部分的方法, 进一步降低每个剩余部分的电压并在进行维护时减少危害和可能存在的入射能量。

LITTELFUSE如何提供帮助

Littelfuse致力于帮助BESS集成商确保其具有完整的电路保护策略。在某些情况下，Littelfuse可以修改标准电路保护产品，以适应某个应用的独特需求。Littelfuse人员还与BESS集成商合作，审查其电路保护计划，确保其适合特定应用，并为设备和工人提供充分保护。Littelfuse向集成商详细展示各种可用选项的优点和成本，可以帮助他们针对特定产品和地点做出经济明智的选择。

为了支持不断发展的BESS市场，Littelfuse将向系统集成商免费提供这样的专家级设计协助。如需请求Littelfuse帮助创建综合电路保护策略，集成商只需要提供一些基本信息：每个电路要承载的全部电压等级、每个电路在稳态下要承载的标称电流、可用短路电流和该应用的时间常数（基于电感与电阻比）。

要了解Littelfuse如何帮助您制定BESS电路保护策略的更多信息，请联系您的Littelfuse代表寻求协助。



POWR-SPEED®高速熔断器技术应用指南。

高速熔断器完整指南

随着电力消耗需求增加，清洁能源发电和消耗需求稳步上升。为了满足这些不断增长的需求，Littelfuse开发了POWR-SPEED®系列高速（半导体）熔断器。

为了帮助您了解有关这些功能强大的熔断器的更多信息，我们的工程师编纂了一本54页的详细指南，向您展示详细信息，其中包括：

- 高速熔断器原理
- 尺寸准则
- 应用注意事项
- 安装准则
- ...远不止如此！

请访问Littelfuse.com/POWR-Speed



弧光保护白皮书

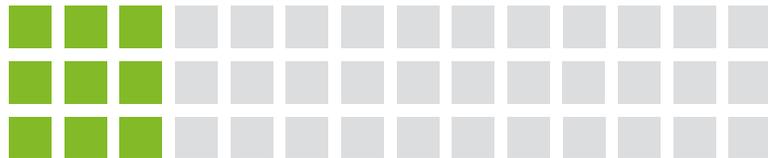
选择弧光保护继电器的关键注意事项

采用弧光保护系统可防止灾难性损害和潜在伤害。在决定如何最好地保护贵企业和员工免受有害弧闪伤害时，有一些必不可少的注意事项。在我们的选型指南中，我们提供了如何使用弧光保护继电器最好地减轻弧闪损害的技巧。

请访问Littelfuse.com/ArcFlash



有关更多信息, 请访问
[LITTELFUSE.COM/ ENERGYSTORAGE](https://www.littelfuse.com/ENERGYSTORAGE)



免责声明 - 提供的信息视为准确可靠。然而, 用户应该独立评估自身应用的适用性并测试针对自身应用所选择的各类产品。Littelfuse产品并非针对所有应用而设计, 因而可能不适用于所有应用。完整免责声明见 www.littelfuse.com/product-disclaimer。