

储能测试与评价



混合储能的孤岛直流微电网运行协调控制策略

吕 东, 汪 渊, 王红野, 何 俐, 杨文婧

(中国三峡新能源(集团)股份有限公司, 北京 101100)

摘 要: 针对传统光伏台区被动防孤岛保护技术存在检测缺陷和电阻扰动冲击问题, 分析综述了一种新型混合储能下孤岛直流微电网运行调控策略。首先搭建含光伏、混合储能、SVG 防孤岛单元的直流微电网拓扑, 依托蓄电池与超级电容分层功率控制, 平抑电网高低频功率波动, 结合动态下垂控制稳定母线电压。同时采用微电流主动扰动辨识技术, 消除传统孤岛检测盲区, 通过故障防护、检修破除双工况自适应控制, 构建被动与主动结合的双重防孤岛体系。该策略有效提升了孤岛微电网运行稳定性与台区防孤岛防护可靠性。

关键词: 混合储能; 直流; 调控; 反孤岛

doi: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2026.0670

中图分类号: TM 912

文献标志码: A

文章编号: 2095-4239 (2026) 08-3341-03

Coordinated control strategy for the operation of hybrid energy storage island DC microgrid

LYU Dong, WANG Yuan, WANG Hongye, HE Li, YANG Wenjing

(China Three Gorges Renewables (Group) Co., Ltd. Beijing 101100, China)

Abstract: In response to the detection defects and resistance disturbance impact problems of traditional passive islanding protection technology in photovoltaic substations, a new operation and control strategy for islanded DC microgrids under hybrid energy storage is analyzed and summarized. Firstly, a DC microgrid topology with photovoltaic, hybrid energy storage, and SVG anti-islanding units is constructed, relying on layered power control of batteries and supercapacitors to smooth out high and low frequency power fluctuations in the grid, and combined with dynamic droop control to stabilize bus voltage. At the same time, micro-current active disturbance identification technology has been adopted to eliminate the blind spots of traditional islanding detection. Through fault protection and maintenance, dual condition adaptive control is broken, and a passive and active dual islanding prevention system is constructed. This strategy effectively improves the stability of island microgrid operation and the reliability of island protection in the substation area.

Keywords: hybrid energy storage; direct; regulation; anti islanding

目前配电台区防孤岛体系存在一定技术缺陷, 其主流防护模式一般为内置光伏逆变器这种被动式 的孤岛防护。其原理主要就是依托电压频率和相位变化判别孤岛。而当孤岛系统内光伏出力与本地负

收稿日期: 2026-07-30。

第一作者: 吕东 (1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为新能源发电, E-mail: epmsenergy@163.com; 通信作者: 杨文婧, 中级工程师, 研究方向为电力市场及交易, E-mail: yang_wenjing@ctg.com.cn。

引用本文: 吕东, 汪渊, 王红野, 等. 混合储能的孤岛直流微电网运行协调控制策略[J]. 储能科学与技术, 2026, 15(8): 3341-3343.

Citation: LYU Dong, WANG Yuan, WANG Hongye, et al. Coordinated control strategy for the operation of hybrid energy storage island DC microgrid[J]. Energy Storage Science and Technology, 2026, 15(8): 3341-3343.

荷趋于平衡时,保护装置存在监测盲区容易失效,难以满足高渗透率光伏台区的防护需求。此外,现有的台区后备反孤岛装置整体实用性较弱,一般仅能支持人工手动投入,并不具备常态化的监测能力,也无法直接应对突发故障或者孤岛场景。同时,其电阻扰动接地的工作方式可能会出现电气冲击现象,容易造成微电网设备损伤。基于此,相关研究团队开发了基于混合储能的孤岛直流微电网运行协调控制策略,解决孤岛功率失衡和电网协同控制问题。通过搭建常态化台区级后备防孤岛保护,弥补了单级防护的技术短板,可全天候在线监测,既能够精准辨识突发故障孤岛状态,实现后备保护跳闸,也可替代传统反孤岛装置,在检修工况下可控破除潜在孤岛,无电气冲击、安全性更高。

1 孤岛直流微电网拓扑结构

1.1 单元硬件结构与功能

光伏发电单元为系统核心能源单元,一般由多组分布式光伏组件和光伏专用的DC/DC升压变换器组成。光伏组件可以将太阳能转化为直流电能,再通过升压变换器,将低压直流电转换为母线额定直流电压^[1]。变换器内需要设置最大功率点跟踪控制模块,分析光照强度规律,最大限度应用光伏出力。在孤岛运行状态下,光伏单元处于自由调频无约束调压状态,只能依靠本地控制策略实现功率输出,是系统功率波动的来源之一;混合储能单元采用蓄电池和超级电容复合储能结构,二者具有独立的变换器通道,接入直流母线。其中,蓄电池储能单元能量密度更高,储能能力强,主要承担微电网稳态功率调节电压的任务,实现电能的长时间存储和释放。超级电容储能单元功率密度大,响应速度快,主要用于解决光伏瞬时大幅度波动问题,补偿蓄电池动态响应滞后问题。由于双向DC/DC变换器具有双向能量流通能力,相关工作人员可以根据系统功率状态切换充放电模式^[2]。

1.2 孤岛微电网运行架构

孤岛直流微电网运行控制体系可以划分为控制层、功率协调层和孤岛防护层三部分。各部分之间有独立的逻辑运行关系,可以协同配合没有控制冲突。控制层是各个单元的基础执行层,包括各个单元的MPPT控制系统、混合储能单元的双向DC下垂控制系统,负责实现各个单元的稳定运行,保障

光伏最大出力以及储能技术的快速响应。功率协调层是系统核心调控层级,负责实时采样信号,判别系统功率供需状态,动态分配蓄电池和超级电容的输出频率,抑制母线电压偏移,实现孤岛微电网稳态。孤岛防护层是系统的保障层级,主要以SVG主动防孤岛装置为核心,独立于传统逆变器孤岛防护,构成台区级后备防护体系,常态化监测微电网运行状态,消除孤岛运行安全风险。

2 孤岛直流电网运行协调控制

2.1 混合储能分层功率控制

传统蓄电池动态响应速率较慢,超级电容无法长时间储能。所以需要采用基于母线电压阈值分层的功率分配策略,实现高低频功率波动精准拆分,适应孤岛微电网的各类工况应用需求。当微电网功率供需基本平衡,母线电压稳定在额定范围内时,系统处于稳态运行模式。此时光伏出力与负荷消耗基本匹配,超级电容需要保持静置状态,没有功率输出或者吸收,可以避免频繁启停造成的消耗。蓄电池需要根据系统微小功率进行微调,同时将储能荷电状态维持在合理区间,预留调峰容量。当光照小幅波动,负荷少量投切引发母线电压轻度偏移时,系统会处于轻微波动模式,此时需要由超级电容单独响应,系统利用其快速响应特征,顺势吸收或者释放功率,平抑电压波动。此时,不需要蓄电池接入,减少蓄电池的充放电频率,延长设备寿命。而当光照变化趋于极端,大规模负荷投切引发母线电压剧烈波动,功率供需缺口较大时,系统处于剧烈波动模式。首先由超级电容瞬时响应,补偿瞬时功率缺口、抑制电压骤变,为蓄电池响应预留时间;随后蓄电池快速介入,承担稳态功率调节任务,持续补偿系统功率偏差,待系统功率恢复平衡、电压回归稳态后,超级电容退出工作状态,由蓄电池维持稳态运行。

2.2 直流母线电压稳定控制

孤岛直流微电网稳定指标有母线电压、电压持续偏移、储能设备脱网、负荷停运等。目前改进后的控制策略会摒弃传统固定下垂系数控制,而是根据系统实时功率状态,实时改进下垂系数控制,实现母线电压精准稳压。下垂系数改进需要以直流母线额定电压为基准,通过实时采集母线电压瞬时变化率,结合光伏实时出力、负荷实时功率以及储能

荷电状态参数, 动态修改变换器下垂系数。

当系统功率缺口变大时, 适当增加下垂系数, 提高储能设备充放电响应速度, 弥补功率缺口。反之, 当系统功率过高, 电压持续上升时, 调整下垂系数, 增加储能充电功率, 消纳多余光伏电能, 抑制电压抬升情况, 同时还能保护电压阈值。一旦母线电压超出安全运行区间, 控制系统会调整调控逻辑, 优先切除次要电力负荷, 保证核心负荷稳定电压, 引导储能调控, 最大限度兼顾供电安全。

3 基于 SVG 电力电子技术的防孤岛策略

3.1 主动孤岛辨识逻辑

为了有效解决传统逆变器被动监测盲区问题, 可以采用微电流主动扰动电压响应辨识机制。首先装置常态化高频扰动电流, 持续采集母线电压响应幅值和波动速度, 然后通过标准算法构建电流电压响应曲线, 最后判别系统工况。

当微电网处于正常并网运行状态时, 主网稳压状态明显, 微电流扰动很难改变母线电压的稳态值, 电压响应幅值缩小, 特性曲线趋于平稳。装置判定为并网状态, 无特殊保护动作。当微电网脱离主网, 形成孤岛状态时, 系统稳压主体会从主网直接切换成本地储能光伏单元, 系统阻抗会明显增加。相同电流扰动下, 母线电压会产生明显的规律波动, 电压响应幅值波动速率攀升。运算模块可以通过实时对比设定阈值, 当电压响应特性持续满足孤岛判定条件时, 精准判定孤岛形成, 同样判定延时为 1~20 ms。该辨识机制不受光伏出力与负荷功率匹配度影响, 即使孤岛系统内功率完全平衡, 依然可通过主动微扰动捕捉孤岛阻抗特性变化, 彻底消除传统防孤岛保护的检测盲区, 实现 100% 孤岛精准识别。

3.2 多工况下自适应控制逻辑

目前 SVG 主动防孤岛方法可以进一步搭配故障防护和作业检修两种工况。监测装置一旦识别突发故障孤岛, 立刻输出封闭信号, 锁定光伏和储能设备的运行状态, 上传孤岛信息, 配合电网展开故障处置和后续运维。台区作业检修作为辅助拓展功能, 可以替代传统人工投切反孤岛装置, 在台区设备检修前, 运维人员手动切换 SVG 装置工作模式, 设置主动输出幅值和频率可控微小电流, 打破传统平衡逻辑, 温和破除孤岛稳态隐患。

依靠上述多工况自适应逻辑, SVG 主动防孤岛可以实现故障防护和设备检修的一体化功能, 构建具有逆变器被动保护、台区 SVG 主动防护双控制逻辑的防孤岛体系, 彻底解决传统防孤岛方案, 工况配置差, 设备冲击大, 常态化监测缺失等问题。

4 结 语

本文针对传统孤岛直流微电网防护体系问题, 分析整理了新型基于混合储能的孤岛直流微电网运行协调控制策略。整个技术策略依托混合储能架构和 SVG 电力电子主动防孤岛办法, 消除了传统光伏逆变器防孤岛的检测盲区, 实现孤岛状态判别。整体无需依赖烦琐的硬件改造, 依靠电子技术和分层协调控制逻辑, 即可实现孤岛直流微电网稳定运行和安全全域防护。

参 考 文 献

- [1] 马艺玮, 杨苹, 吴捷, 等. 含多分布式电源独立微电网的混合控制策略[J]. 电力系统自动化, 2015(11): 103-109.
MA Y W, YANG P, WU J, et al. Hybrid control strategy for independent microgrids with multiple distributed power sources [J]. Power System Automation, 2015(11): 103-109.
- [2] 张弛, 曾杰, 张威, 等. 含混合储能的独立微电网多时间尺度协调控制策略[J]. 现代电力, 2020, 37(1): 9.
ZHANG C, ZENG J, ZHANG W, et al. Multi time scale coordinated control strategy for independent microgrids with hybrid energy storage [J]. Modern Electric Power, 2020, 37(1): 9.