

光伏储能微电网储能控制技术探讨

刘 蕾

中国联合工程有限公司 浙江 杭州 310051

摘 要：随着可再生能源的蓬勃发展，光伏储能微电网备受关注，其储能控制技术对保障微电网稳定高效运行意义重大。本文先是概述了光伏储能微电网及储能系统的基本情况，接着详细阐述了储能系统在微电网内能量存储与调节、改善电能质量、参与频率调节以及电能优化管理等功能。重点探讨了功率控制、SOC管理、电压频率控制等多种储能控制技术，并介绍了能量优化分配、复合控制融合协调等拓展内容。最后展望了其智能化、分布式协同及与电力市场融合的发展趋势，为相关研究与实践提供参考。

关键词：光伏储能微电网；储能控制技术；探讨

引言：在全球积极应对能源与环境挑战的大背景下，可再生能源开发利用加速，光伏发电作为重要部分却因间歇性、波动性等特点，接入电网面临诸多难题。光伏储能微电网应运而生，它整合了光伏、储能系统与负载等，通过合理控制策略可有效解决电能质量、功率平衡等问题。而储能系统控制技术是核心关键，关乎微电网整体性能，因此深入探讨其控制技术对推动光伏储能微电网广泛应用及可持续能源发展极为必要。

1 光伏储能微电网及储能系统概述

光伏储能微电网是一种将光伏发电系统、储能系统、本地负载以及相关功率变换器、监控与控制系统等有机结合的小型电力网络。光伏阵列负责把太阳能转化为直流电，借助DC/DC变换器实现最大功率点跟踪后，直流电可直接供直流负载使用，或经DC/AC逆变器转换为交流电服务交流负载与并入大电网（如有并网需求）。储能系统在其中起着至关重要的作用。它能采用多种储能形式，如锂电池、液流电池等。从结构上看，其通过合理的电路连接与功率变换器相配合，可灵活地实现电能的充放。在功能方面，储能系统能在光伏产生电能过剩时储存电能，避免浪费；当光伏功率不足或负载需求突增时，及时释放电能维持功率平衡。并且，它还能辅助提升微电网的电能质量、参与电网频率调节等，是保障光伏储能微电网稳定、可靠、高效运行的关键组成部分，与其他部分协同构建起一个相对独立且灵活的分布式能源系统^[1]。

2 储能系统在光伏储能微电网中的功能

2.1 能量存储与调节

在光伏储能微电网中，能量存储与调节是储能系统的基础功能。光伏发电受光照强度、天气变化等因素影响，其输出功率具有间歇性与波动性。当光照充足、

光伏功率大于本地负载所需功率时，储能系统会将多余电能存储起来，犹如一个“电能仓库”。而一旦光照变弱，光伏功率无法满足负载需求，或者负载端出现功率突增情况，储能系统便能迅速释放电能进行补充，维持微电网内的功率平衡，确保负载能持续稳定地获得电能供应，保障整个微电网的正常运行。

2.2 改善电能质量

由于光伏发电天然的波动性，容易引发诸如电压波动、谐波畸变等电能质量问题。储能系统凭借其快速的充放电特性，可有效改善电能质量。例如，当电网电压出现跌落或升高情况时，储能系统能通过适时的充放电操作，快速调节无功功率，抑制电压波动，使其稳定在合理区间。同时，储能系统还可运用滤波等技术手段，对谐波进行削减，降低谐波含量，保障电气设备免受电能质量不佳带来的不良影响，延长设备使用寿命，提升微电网整体供电质量。

2.3 参与电网频率调节

在光伏储能微电网独立运行时，负载的变化会直接导致电网频率产生波动。储能系统能够积极参与到电网频率的调节当中。当负载功率增大，电网频率有下降趋势时，储能系统可迅速释放有功功率，向电网补充能量，阻止频率进一步降低；相反，若负载功率减小，电网频率升高，储能系统则会吸收一定的有功功率，使频率回落到额定值附近。通过这种动态的有功功率调节，储能系统就像一个“频率稳定器”，保障微电网在不同工况下频率都能维持稳定，确保各类用电设备正常运行。

2.4 实现电能的优化管理

储能系统在光伏储能微电网中具备实现电能优化管理的功能。一方面，它可结合光伏发电的实时出力情况以及本地负载的用电规律，对电能进行合理分配，比如

在用电低谷时段存储电能,高峰时段释放电能,以匹配负载需求,减少对外部电网的依赖。另一方面,考虑到电价的峰谷差异,储能系统可以按照电价波动来规划充放电策略,在低谷电价时充电,高峰电价时放电,参与峰谷电价套利,提高能源利用的经济性,降低用户的用电成本,让微电网的电能利用更加科学、高效。

3 光伏储能微电网储能控制技术

3.1 功率控制技术

功率控制是光伏储能微电网储能控制的关键环节,关乎整个微电网的功率平衡与稳定运行。从原理来看,它以实时监测光伏阵列输出功率和本地负载功率为基础,通过对比二者差值,运用相应控制算法,精准调控储能系统的充放电功率。例如,在光照充足、光伏功率充沛而负载功率较小时,差值为正,储能系统开启充电模式,吸纳多余电能;反之,差值为负时,储能系统则放电,填补功率缺额。在实现方式方面,常用的包括基于传统PID控制器的方法和基于模糊逻辑的方式。PID控制器凭借对功率偏差的比例、积分、微分运算得出控制指令,具备原理通俗易懂、易于实现、系统稳定性较强等优点,然而面对复杂多变的非线性微电网系统,其参数调整难度较大。模糊逻辑控制是将功率偏差模糊化后,依据既定规则推理并输出控制量,它无需精确的系统数学模型,对非线性情况适应性良好,不过其控制精度会受模糊规则和经验因素影响。

3.2 荷电状态(SOC)管理控制技术

荷电状态(SOC)管理控制技术对光伏储能微电网中储能系统的健康稳定运行至关重要。

其核心原理在于通过实时监测储能电池的SOC值,结合微电网运行状态及储能充放电需求,确保SOC维持在合理区间。一方面要防止SOC过高,避免电池过充,以此延长电池使用寿命、保障其性能;另一方面要杜绝SOC过低,防止过放影响电池后续使用。在实现方式上,主要有基于阈值的SOC管理控制和基于SOC预测的管理控制。基于阈值的控制会设定SOC上下限,当达到上阈值就停止充电或降低充电功率,达到下阈值则停止放电或减小放电功率,操作简单但易致充放电切换频繁。而基于SOC预测的管理控制,利用电池模型与历史、实时数据,借助卡尔曼滤波等算法预测SOC变化趋势,提前调整策略,能让SOC平稳处于合理范围,不过其预测准确性受数据和模型质量影响较大。合理运用该技术可优化储能系统效能,保障微电网可靠供电。

3.3 电压和频率控制技术

在光伏储能微电网中,电压和频率控制是保障

电能质量以及电网稳定运行的关键所在。从原理层面来讲,电压控制主要依靠调节储能系统的无功功率来干预电网电压幅值,使其稳定在规定的合格区间内。比如当电网电压偏低时,储能系统输出无功功率以抬升电压;反之,电压偏高时则吸收无功功率来降低电压。而频率控制是依据电网频率的变化情况,通过控制储能系统的有功功率,按照如下垂控制等特定规律来调节频率,使其趋近额定值。在实现方式方面,下垂控制较为常用,它模拟传统同步发电机的下垂特性,依据电压和频率偏差,按照设定的下垂系数自动调整储能系统的有功、无功功率输出,无需通信即可实现分布式协同调节,但下垂系数的合理选取很关键。此外,虚拟同步发电机(VSG)控制也备受关注,它通过算法让储能系统模拟同步发电机外特性,具备惯性和阻尼等特点,能更好地响应电压和频率变化,不过其对参数设置和控制算法要求较高^[2]。

3.4 能量优化分配控制技术

能量优化分配控制在光伏储能微电网中有着重要意义,旨在实现电能的科学合理调配,提升整体能源利用效率。其原理是综合考量多方面因素来制定储能系统的充放电策略。一方面,结合光伏发电的实时出力情况,把握不同光照条件下电能的产出量;另一方面,依据本地负载的用电特性,了解各时段的用电需求高低。同时,还会参照电价波动等市场因素,以实现效益最大化。例如,在光照充足且电价处于低谷时段,控制储能系统大量充电,存储低价电能;当光照不足或者处于电价高峰时段,安排储能系统放电,优先满足本地负载用电,多余电能还可售卖给电网获利。在实现方式上,借助先进的智能算法与控制系统,实时采集并分析各类相关数据,进而动态调整充放电功率及时间安排。

3.5 复合控制技术融合与协调

复合控制技术融合与协调是应对光伏储能微电网复杂运行状况的有效手段,旨在充分发挥多种控制技术的优势,实现协同增效。从原理上看,由于微电网运行中面临功率波动、电池状态变化、电压频率不稳定等多方面问题,单一控制技术往往顾此失彼。而复合控制技术将功率控制、荷电状态(SOC)管理控制、电压和频率控制等不同技术有机结合起来,依据系统实时状态灵活调配各技术的作用权重。比如,在进行功率控制确保功率平衡时,同步参考SOC情况,避免电池过充或过放,保障储能系统健康;在调节电压和频率过程中,结合功率控制策略,确保在稳定电能质量的同时维持功率输出稳定。在实现方式上,通过搭建智能化的综合控制平

台,实时收集各部分运行数据,利用预设的协调规则和算法,实现不同控制技术间的无缝衔接与高效协作。

4 光伏储能微电网储能控制技术的发展趋势

4.1 智能化与自适应控制

随着科技的不断进步,智能化与自适应控制成为光伏储能微电网储能控制技术的重要发展趋势。借助机器学习、深度学习等人工智能手段,储能控制能够实现更高水平的智能化运作。通过对大量历史运行数据以及实时监测数据的分析学习,储能系统可以自动识别不同工况下的最优控制策略,不再依赖于固定的、预设的参数和规则。例如,面对复杂多变的光照条件和负载变化,智能控制系统能够自主调整功率控制的参数,精准匹配功率供需,确保微电网稳定运行。自适应控制还可根据储能电池的老化状态、性能变化等实时调整荷电状态管理策略,避免因电池性能衰减而影响整体功能。这种智能化与自适应控制极大地提高了储能系统应对复杂环境的能力,提升控制的精准度和效率,进一步优化光伏储能微电网的运行性能,推动其朝着更高效、可靠的方向发展。

4.2 分布式协同控制

在未来,光伏储能微电网将呈现出更为复杂的分布式结构,涵盖多个储能单元与多种分布式电源,这使得分布式协同控制愈发关键。分布式协同控制旨在让各储能单元和分布式电源在无中心控制的情况下,实现高效协作与信息共享。通过分布式一致性算法等先进技术,各个组成部分能依据自身及周边的状态信息,自动协调充放电策略。比如,不同位置的储能单元可根据区域内负载的实时需求以及光伏的发电情况,合理分配充放电功率,避免出现局部电能过剩或不足的情况,实现整个微电网内能源的优化配置。而且,在应对故障或突发情况时,各单元能迅速协同响应,保障微电网的稳定性和供电连续性,提升整体的鲁棒性与容错能力,从而更好地适应分布式能源不断发展的需求。

4.3 与电力市场的融合

光伏储能微电网储能控制技术与电力市场的融合是大势所趋。随着电力市场机制的日益完善,储能系统在微电网中的角色不再局限于保障内部电能平衡,更要参与到市场交易中获取经济效益。储能系统可依据电价的实时波动,制定灵活的充放电计划。在电价低谷时段,加大充电功率,储存低价电能;在电价高峰时段,释放电能,满足本地负载需求的同时,还可将多余电能售卖给电网,实现峰谷电价套利。此外,储能系统还能参与辅助服务市场,例如为电网提供调频、备用等服务,获取相应的经济补偿。通过与电力市场的深度融合,储能系统不仅提升了光伏储能微电网的能源利用效率和经济性,也进一步拓展了自身的功能价值,促进分布式能源与大电网之间形成良性互动,推动整个能源领域的可持续发展^[3]。

结束语

光伏储能微电网储能控制技术对于保障微电网稳定、高效运行起着举足轻重的作用。本文探讨的功率控制、SOC管理、电压频率控制等多项技术,各有侧重且相互配合,共同助力微电网应对各类复杂工况。随着技术的持续发展,智能化、分布式协同以及与电力市场融合等趋势也越发凸显。尽管当前仍面临一些挑战,但相信在科研人员的不懈努力下,储能控制技术必将不断完善,推动光伏储能微电网在能源领域得到更广泛应用,为可持续发展贡献更大力量。

参考文献

- [1]许琼果,张炜焘,刘光伟,周斌.计及储能调节特性的直流微电网优化调度研究[J].电气传动,2022,52(15):53-60.
- [2]徐康.含光伏电源的微电网储能控制技术分析[J].电子技术(上海),2022,51(5):174-175.
- [3]池永胜.基于单片机的含光伏电源微电网储能控制研究[J].电源技术,2022,40(05):1078-1079.