

光伏发电并网技术与电能质量提升研究

祖 茜

国家电投集团贵州金元威宁能源股份有限公司 贵州毕节 553100

摘 要: 社会经济发展促使生产生活活动对于能源尤其是电能方面的需求不断增加。随着全球能源转型的加速,光伏发电作为一种清洁、可再生的能源形式,其并网技术成为推动能源可持续发展的关键。本文系统研究了光伏发电并网技术及其对电能质量的影响,探讨了并网过程中的技术挑战与解决方案。文章首先介绍了光伏发电并网技术的基本原理与发展现状,随后重点分析了并网过程中电能质量问题的成因,包括电压波动、谐波干扰和频率偏差等。针对这些问题,提出了优化并网控制策略、采用先进储能技术以及加强电网监测与管理等改进措施。最后,探讨了未来光伏发电并网技术的发展趋势,强调了技术创新与政策支持的重要性,旨在为实现高效、稳定的光伏并网提供理论支持与实践指导。

关键词: 光伏发电; 并网技术; 电能质量; 电压波动; 储能技术

引言

随着全球能源需求的持续增长和环境保护意识的不断提高,可再生能源的开发与利用成为解决能源危机和环境问题的重要途径。光伏发电作为一种清洁、高效且资源丰富的可再生能源技术,近年来得到了迅猛发展。然而,光伏发电的间歇性和不稳定性给电网接入带来了诸多挑战,尤其是对电能质量的影响。电能质量不仅关系到电力系统的稳定运行,还直接影响到用户的用电体验和设备的安全性。因此,研究光伏发电并网技术及其对电能质量的影响具有重要的理论意义和现实价值。本文将从并网技术的基本原理、电能质量问题的成因、改进措施以及未来发展趋势等方面展开系统研究,以期光伏发电的大规模并网提供科学依据和技术支持。

1. 光伏发电并网技术概述

1.1 并网技术的基本原理

光伏发电并网技术的核心在于将光伏阵列产生的直流电通过逆变器转换为与电网匹配的交流电,并实现无缝接入。这一过程不仅涉及光伏电池的特性,还与逆变器的控制策略以及电网的运行状态密切相关。光伏电池的输出功率受光照强度、温度等因素的影响,呈现出非线性 and 间歇性特点,这给并网带来了挑战。逆变器作为并网的关键设备,需要具备快速响应和高精度控制能力,以确保输出电流的幅值、频率和相位与电网一致。同时,电网的电压、频率和阻抗等参数也会影响并网的稳定性和可靠性。因此,光伏发电并网技

术需要综合考虑光伏电源的特性、逆变器的性能以及电网的运行要求,以实现高效、稳定的并网接入。

1.2 并网技术的发展现状

近年来,光伏发电并网技术取得了显著进展。从早期的简单逆变器并网到如今的智能并网系统,技术的创新为光伏的大规模接入提供了可能。目前,基于最大功率点跟踪(MPPT)技术的逆变器能够有效提高光伏系统的发电效率,确保光伏电池在不同光照条件下始终工作在最大功率点附近。同时,随着电力电子技术和控制理论的发展,并网逆变器的性能不断提升,具备了低电压穿越(LVRT)和高电压穿越(HVRT)能力,能够在电网电压波动时保持稳定运行,减少因电压异常导致的脱网现象。

2. 光伏发电并网对电能质量的影响

2.1 电压波动与闪变

光伏发电系统输出功率的快速变化是导致电压波动的主要原因。当光照强度因天气变化或遮挡而突然改变时,光伏阵列的输出电流会随之改变,进而影响并网点电压水平。这种电压波动不仅会影响用户的正常用电,导致照明闪烁、电器启动困难等问题,还可能导致电网设备的误动作,如保护装置误触发,影响供电可靠性。此外,电压闪变是电压波动的一种特殊形式,表现为电压幅值的快速变化,对敏感负荷的影响更为显著,例如精密仪器和自动化设备可能因电压闪变而无法正常工作。因此,抑制电压波动和闪变是提高电能质量的关键,也是保障光伏并网稳定运行的重要任务。

2.2 谐波干扰

并网逆变器在将直流电转换为交流电的过程中,会产生一定量的谐波。这些谐波电流注入电网后,会与其他设备产生的谐波叠加,导致电网电压和电流的波形畸变。谐波的存在不仅降低了电能质量,还可能影响电网中其他设备的正常运行,例如增加变压器的铁损和铜损,导致电动机过热、效率下降等问题。此外,谐波还会增加电网的损耗,降低系统的功率因数,影响电网的整体运行效率。因此,抑制谐波干扰是提高电能质量的重要环节,需要通过优化逆变器设计和采用滤波装置等手段来减少谐波的产生和传播。

2.3 频率偏差

光伏发电系统的间歇性输出会导致电网功率的不平衡,进而影响电网的频率稳定性。当光伏电源输出功率因光照强度变化而突然增加或减少时,电网的有功功率平衡被打破,频率会发生相应的变化。频率偏差超出允许范围可能导致电网设备的损坏,例如发电机的转速变化可能影响其机械性能,甚至引发系统崩溃。因此,如何在光伏并网条件下维持电网频率的稳定,是保障电能质量的关键问题之一。需要通过优化并网控制策略、配置储能系统等手段,增强电网对功率波动的调节能力,确保频率在安全范围内运行。

3. 提升电能质量的并网控制策略

3.1 最大功率点跟踪 (MPPT) 优化

MPPT 技术是提高光伏系统发电效率的关键环节。光伏电池的输出功率受光照强度、温度等环境因素的影响,其输出特性呈非线性变化。MPPT 通过实时监测光伏电池的电压和电流,计算功率变化,动态调整光伏电池的工作点,使其始终处于最大功率输出状态。优化后的 MPPT 算法能够更精准地跟踪最大功率点,减少因光照强度快速变化导致的功率损失。结合先进的传感器技术和智能控制算法,系统可以实时监测光伏电池的输出特性,并根据环境变化进行动态调整,进一步提高系统的稳定性和可靠性。这种优化不仅提升了光伏系统的发电效率,还增强了其在复杂环境下的适应性。

3.2 低电压穿越 (LVRT) 技术

LVRT 技术是保障光伏并网稳定性的关键技术之一。在电网电压发生跌落时,传统的光伏逆变器可能会因保护机制而脱网,导致电网电压恢复困难。LVRT 技术通过优化逆变器的控制策略,使其在电网电压跌落时仍能保持并网运行,并在短时间内提供无功功率支持,帮助电网快速恢复电压。通

过设计合理的无功补偿装置和优化控制算法, LVRT 技术能够有效提高逆变器在电压跌落期间的支撑能力,减少电压跌落对电能质量的影响,保障电网的稳定运行。这不仅提高了光伏电源的接入能力,还增强了电网的可靠性和抗干扰能力。

3.3 智能逆变器控制策略

智能逆变器的广泛应用为提升电能质量提供了新的手段。与传统逆变器相比,智能逆变器具备更强的感知和控制能力。通过采用先进的控制算法,如模糊控制、神经网络控制等,智能逆变器能够实时监测电网的电压、电流、频率等状态参数,并根据需要快速调整输出电流的幅值、相位和频率,以匹配电网需求。此外,智能逆变器还可以实现对谐波的主动抑制和无功功率的动态补偿,有效减少谐波畸变和功率因数下降等问题,从而显著提高电网的电能质量。这种智能化的控制策略不仅提升了逆变器的性能,还为光伏并网的稳定运行提供了有力支持。

4. 储能技术在光伏并网中的应用

4.1 储能技术的分类与特点

储能技术在光伏发电并网中具有重要作用,是解决光伏电源间歇性和不确定性问题的关键手段。常见的储能技术包括锂离子电池、铅酸电池、液流电池、超级电容器等,它们各自具有不同的特点和应用场景。锂离子电池因其能量密度高、循环寿命长、自放电率低等优点,成为目前应用最为广泛的储能技术,尤其适用于大规模储能系统,能够有效存储光伏电能并稳定输出。铅酸电池则成本较低,但循环寿命较短,适合对成本敏感的应用场景。液流电池具有容量可扩展性强、循环寿命长的特点,适合大规模储能电站。超级电容器则以功率密度高、充放电速度快为优势,能够在短时间内提供大功率支持,有效抑制电压波动和闪变,特别适用于需要快速响应的场合。根据光伏并网的具体需求,合理选择储能技术是提高电能质量的关键。

4.2 储能系统的配置与优化

储能系统的配置是实现光伏并网稳定运行的重要环节,需要综合考虑光伏发电系统的规模、电网的运行状态以及用户的用电需求。通过建立储能系统的数学模型,并结合优化算法,可以科学地确定储能系统的容量、安装位置和充放电策略。例如,在光伏电站中,储能系统的容量配置需根据光伏阵列的峰值功率和发电曲线进行设计,以确保在光照不足时仍能提供稳定的电力输出。安装位置的选择则需考虑电网

的薄弱环节,如电压波动较大的区域,以实现最佳的电能质量改善效果。优化配置的储能系统能够在光伏输出功率波动时提供快速的能量缓冲,平滑输出功率,减少对电网的冲击,从而显著提高电能质量并提升电网的接纳能力。

4.3 储能系统的控制策略

储能系统的控制策略是确保其在光伏并网中发挥最大效用的核心因素。通过采用分层控制策略,可以实现储能系统与光伏电源、电网之间的协调运行,从而优化整体系统性能。在功率控制层,储能系统能够根据光伏输出功率的变化实时调整充放电功率。例如,当光伏功率突然下降时,储能系统迅速放电以补充功率缺口;而在光伏功率过剩时,储能系统则吸收多余电能,避免浪费。在能量管理层,储能系统根据电网的运行状态和用户的用电需求,优化能量分配。例如,在电网负荷高峰时段,储能系统释放能量以满足需求;在低谷时段则充电储能。这种分层控制策略不仅提高了储能系统的利用率,还增强了系统的整体效率和可靠性,为光伏并网的稳定运行提供了有力保障。

5. 电网监测与管理技术

5.1 电能质量监测技术

电能质量监测是保障光伏并网稳定运行的重要手段。在光伏发电并网过程中,由于光伏电源的间歇性和不确定性,电网的电压、电流、频率以及谐波等参数会发生动态变化。通过安装高精度的监测设备,可以实时采集这些关键参数,实现对电网运行状态的全面感知。借助先进的信号处理技术和数据分析算法,能够对电能质量问题进行快速诊断和预警,及时发现电压波动、谐波畸变和频率偏差等问题。这些实时监测数据不仅为电网的运行管理提供了有力支持,还为并网控制策略的优化提供了科学依据,从而有效提高电能质量,保障光伏并网的稳定性和可靠性。

5.2 电网调度与控制技术

电网调度与控制技术是保障光伏并网稳定运行的核心环节。随着光伏发电的大规模接入,电网的运行特性变得更加复杂,传统的调度方式已难以满足需求。通过建立电网调度自动化系统,可以实现对光伏电源、储能系统和电网负荷的实时监控与协调控制。该系统能够根据电网的实时运行状态和用户的用电需求,采用先进的调度算法,合理安排光伏电源的接入和储能系统的充放电策略。通过优化电网的潮流分布,不仅可以提高电网的稳定性和可靠性,还能有效减少光伏并网对电

网的冲击,实现光伏能源与电网的高效协同运行。

5.3 电网规划与设计优化

电网规划与设计是保障光伏并网稳定运行的基础。在电网规划阶段,必须充分考虑光伏发电接入对电网的影响,包括功率波动、电压变化以及潮流分布的改变。通过合理布局变电站和输电线路,优化电网的结构和参数,可以有效降低光伏接入对电网的负面影响。同时,借助先进的仿真技术和优化算法,对电网的规划方案进行全面评估和优化,能够提前发现潜在问题并加以解决。这不仅提高了电网的适应性和可靠性,还为光伏发电的大规模并网创造了良好的条件,为实现能源转型和可持续发展奠定了坚实基础。

6. 结语

随着全球能源转型的加速,光伏发电并网技术的研究与应用已成为推动能源可持续发展的关键。本文系统探讨了光伏发电并网技术及其对电能质量的影响,并提出了相应的改进措施。从并网技术的基本原理到电能质量问题的成因,再到优化控制策略、储能技术的应用以及电网监测与管理,本文为实现高效、稳定的光伏并网提供了全面的理论支持与实践指导。未来,随着技术创新的不断推进和 policy 支持的持续加强,光伏发电并网技术将面临更广阔的发展空间。我们应进一步深化研究,突破技术瓶颈,推动光伏能源与电网的深度融合,为构建清洁、高效、可靠的能源体系奠定坚实基础。

参考文献:

- [1] 黄志勇. 分布式光伏发电并网设计及运行分析研究 [D]. 南昌大学, 2021.
- [2] 郭子龙, 李伟. 风力发电并网技术及电能质量的提升 [J]. 时代农机, 2023, 43(04): 22-23.
- [3] 徐明. 刍议风力发电并网技术及电能质量的提升 [J]. 绿色环保建材, 2022, (09): 200+202.
- [4] 吴洁璇. 兆瓦级光伏电站 10kV 电网并网技术研究与应用 [D]. 中国矿业大学, 2021.
- [5] 燕春风. 光伏发电并网对配电网的影响及解决方案 [J]. 光源与照明, 2023, (11): 129-131.
- [6] 李琦, 王放放, 杨鹏威, 等. 火电厂灵活性改造背景下储能技术应用现状与发展 [J]. 综合智慧能源, 2023, 45 (03): 66-73.
- [7] 张乐涛, 陈凡, 张强, 等. 基于直流潮流的 UPFC 灵敏度分析和优化配置 [J]. 南京工程学院学报 (自然科学

版).2020,18(01):11-18.

[8] 刘瑞煌,杨景刚,吴丹,等.光伏直流变压器不闭锁零电压穿越策略[J].电力自动化设备.2023,43(03):94-100

[9] 贾科,李俊涛,陈金锋,等.多端口分布式光伏接入直流配电系统整体故障穿越协调控制[J].电力自动化设备,2021(05):175-182.

[10] 花赞昊,朱武,郭启明.光伏发电系统 MPPT 算法研究综述[J].电源技术,2020(12):1855-1858

作者简介:

祖茜(1996-)男,汉族,贵州省毕节市威宁县,本科,助理工程师,研究方向为光伏发电并网技术与电能质量提升研究。