

配电系统中分布式光伏接入引发的电压波动与绝缘安全防护研究

郑 歆 陈怡丹

内蒙古电力(集团)有限责任公司阿拉善供电分公司 内蒙古 阿拉善左旗 750306

摘要: 随着分布式光伏迅猛发展,其在配电系统应用渐广。本文针对配电系统中分布式光伏接入带来的问题展开研究。首先概述分布式光伏接入配电系统的情况,接着详细剖析其对配电系统电压波动的影响,包括电压抬升偏移、波动闪变及谐波污染致电压畸变等;同时深入探讨对绝缘安全的影响,如绝缘过电压、直流分量注入、孤岛效应触电及接地故障漏电等风险。最后提出电压波动与绝缘安全的协同防护策略,涵盖储能调节、智能监测、设备升级及协同应急管理等方面,旨在为解决分布式光伏接入引发的配电系统问题提供有效方案,保障系统安全稳定运行。

关键词: 分布式光伏; 配电系统; 电压波动; 绝缘安全; 防护策略

引言: 在全球能源转型与可持续发展的大背景下,分布式光伏作为一种极具潜力的清洁能源,在配电系统中的应用愈发广泛。其接入改变了配电系统原有的电力流向与功率分布,为能源结构优化带来机遇的同时,也引发了一系列新问题。电压波动影响电力设备性能与电能质量,绝缘安全隐患则直接威胁人员安全与系统可靠运行。深入探究分布式光伏接入引发的电压波动与绝缘安全防护问题,不仅有助于提升分布式光伏的接入效率与稳定性,更能为构建安全、高效、绿色的现代配电系统提供关键支撑。

1 分布式光伏接入配电系统概述

在全球能源转型与可持续发展理念深入人心的当下,分布式光伏作为一种极具潜力的清洁能源利用形式,正逐步在配电系统中占据重要地位。分布式光伏通常是指利用分散式的资源,将太阳能光伏电池组件安装在用户场地附近,通过光伏效应将太阳能直接转换为电能,实现就近发电、就近并网、就近转换、就近使用的发电模式。其接入配电系统具有多方面显著特点。从能源利用角度看,它充分利用了丰富的太阳能资源,减少了对传统化石能源的依赖,有助于降低碳排放,推动能源结构的绿色化转型。在供电模式上,分布式光伏改变了传统配电系统单向供电的模式,形成了多电源、双向流动的复杂供电网络,增强了系统的灵活性与可靠性。然而,分布式光伏接入也带来了一系列挑战。由于光伏发电具有间歇性和随机性,其输出功率受光照强度、温度等环境因素影响较大,这会对配电系统的电压稳定性、电能质量等产生冲击。同时,大量分布式光伏接入后,系统的潮流分布、短路电流水平等都会发生变化,给配电系统的

规划、运行与维护带来了新的课题,需要深入研究并采取有效的应对措施^[1]。

2 分布式光伏接入对配电系统电压波动的影响分析

2.1 电压抬升与偏移

分布式光伏接入配电系统后,会改变系统的功率分布和潮流方向。在白天光照充足时,光伏发电系统大量输出电能,使得接入点附近的功率注入增加。根据电路原理,功率注入会导致线路上的电压降减小,进而引起接入点及周边区域电压升高,出现电压抬升现象。而且,由于分布式光伏出力的随机性和间歇性,不同时段光伏发电功率不同,会造成电压的动态偏移。这种电压抬升与偏移若超出允许范围,会影响用电设备的正常运行,缩短设备使用寿命,甚至可能导致设备损坏,对配电系统的安全稳定运行构成威胁。

2.2 电压波动与闪变

分布式光伏发电的输出功率受光照、温度等环境因素影响显著,具有明显的波动性。当光伏出力快速变化时,配电系统中的功率平衡被打破,会引起电压的频繁波动。特别是在多云天气,云层的快速移动导致光照强度急剧变化,光伏发电功率随之大幅波动,使得系统电压在短时间内出现较大起伏,即产生电压闪变。电压闪变会使照明设备闪烁,影响人们的视觉舒适度,对于一些对电压稳定性要求较高的精密设备,如电子芯片制造设备等,电压闪变可能导致其生产出的产品质量下降,甚至造成设备故障停机,严重影响生产效率和产品质量。

2.3 谐波污染与电压畸变

分布式光伏系统中广泛使用电力电子器件,如逆变器等等。这些电力电子器件在将直流电转换为交流电的过

程中,会产生大量的谐波电流。谐波电流注入配电系统后,会与系统中的基波电流叠加,导致电压波形发生畸变。谐波污染不仅会增加线路和设备的无功功率损耗,降低系统的传输效率,还会对系统中的其他电气设备产生不良影响。例如,谐波会使变压器、电动机等设备发热加剧,降低其运行效率和使用寿命;对于一些敏感的电子设备,谐波可能导致其误动作或损坏,干扰通信系统的正常运行,影响整个配电系统的电能质量和可靠性^[2]。

3 分布式光伏接入对配电系统绝缘安全的影响分析

3.1 绝缘过电压风险

分布式光伏接入配电系统后,会改变系统的电气结构和运行方式,进而增加绝缘过电压风险。一方面,光伏发电的间歇性和随机性导致系统功率频繁波动,在功率突变瞬间,可能引发操作过电压。例如,当光伏系统突然接入或退出电网时,线路上的电容和电感会发生能量交换,产生过电压冲击。另一方面,分布式光伏接入可能使系统的谐波含量增加,谐波电压叠加在基波电压上,会使绝缘设备承受的电压升高。长期处于这种过电压状态下,绝缘材料会加速老化,绝缘性能逐渐下降,一旦绝缘被击穿,就可能引发短路故障,威胁配电系统的安全运行,甚至造成人员伤亡和设备损坏。

3.2 直流分量注入风险

分布式光伏系统中使用的逆变器等电力电子设备,在将直流电转换为交流电的过程中,可能无法完全消除直流分量,导致一定量的直流分量注入配电系统。直流分量的存在会对配电系统的绝缘安全产生多方面影响。对于变压器等设备,直流分量会在铁芯中产生直流磁通,使铁芯饱和,导致励磁电流急剧增大,引发变压器过热、振动和噪声增加等问题,严重时可能损坏变压器绝缘。此外,直流分量还会影响绝缘子的绝缘性能,降低其闪络电压,增加绝缘子发生闪络事故的概率,对配电系统的安全稳定运行构成潜在威胁。

3.3 孤岛效应与触电风险

当配电系统因故障或维修等原因停电时,分布式光伏发电系统可能由于未能及时检测到停电状态而继续向周围负荷供电,形成孤岛效应。在孤岛效应状态下,配电系统的电气结构发生改变,原本应该断电的区域仍有电压存在。这给维修人员带来了极大的触电风险,当维修人员误以为线路已断电而进行检修操作时,可能会触碰到带电部分,导致触电事故发生。同时,孤岛效应还会影响配电系统的自动重合闸功能,使重合闸失败,延长故障停电时间,影响用户的正常用电,并且可能对光伏发电设备和用户设备造成损坏。

3.4 接地故障与漏电风险

分布式光伏接入配电系统后,增加了系统的复杂性和接地故障的发生概率。由于光伏组件通常安装在室外,容易受到环境因素的影响,如潮湿、腐蚀等,可能导致光伏组件的绝缘性能下降,引发接地故障。当发生接地故障时,故障电流会通过接地装置流入大地,如果接地电阻过大,会使接地电压升高,对周围人员和设备造成触电危险。此外,分布式光伏系统的电缆连接较多,在长期运行过程中,电缆可能因老化、破损等原因出现漏电现象^[3]。

4 分布式光伏接入对配电系统电压波动与绝缘安全协同防护策略

4.1 储能系统调节与功率平滑

(1)储能系统具备强大的电能存储与释放能力,可有效应对分布式光伏出力的间歇性与波动性。在光照充足、光伏发电功率过剩时,储能系统迅速将多余电能储存起来,避免大量电能直接涌入电网,防止因功率过剩引发的电压急剧抬升,稳定电压在合理区间,减少电压偏移现象。这就如同一个巨大的“电能蓄水池”,在电力充裕时蓄水,保障系统电压稳定。(2)当分布式光伏发电功率不足,如遭遇阴天、夜晚等情况,或负荷需求突然增大时,储能系统及时释放储存的电能,补充电力缺口。这不仅能满足用户的用电需求,还能防止因功率短缺导致的电压下降,维持电压的稳定性。储能系统就像一个灵活的“电力补给站”,在需要时提供稳定的电力支持。(3)储能系统可对功率进行精准平滑。借助先进的控制策略,储能系统能够快速响应光伏功率的波动,吸收功率的尖峰、填补功率的低谷,使输出功率趋于平稳。功率的平稳输出有助于降低电压波动与闪变,减少谐波污染对电压畸变的影响,从而提升电能质量。同时,稳定的功率输出也为配电系统的绝缘设备创造了良好的运行环境,降低了绝缘过电压等风险,实现了对配电系统电压波动与绝缘安全的协同防护。

4.2 智能监测与状态评估

(1)构建全方位、多层次的智能监测体系是关键基础。在分布式光伏接入点、配电线路关键节点以及重要用电设备处,广泛部署高精度的监测装置。这些装置不仅能实时采集电压、电流、功率等电气参数,还能监测温度、湿度等环境因素。通过多源数据的融合,可全面、精准地反映配电系统的运行状态,及时发现电压波动的细微变化以及绝缘性能的潜在异常,为后续分析提供详实可靠的数据支撑。(2)运用先进的数据分析技术对海量监测数据进行深度挖掘。借助大数据分析、人工智能算法等

手段,能够从复杂的数据中提取有价值的信息,识别出电压波动与绝缘安全之间的内在联系和规律。例如,通过机器学习模型预测电压波动趋势,提前判断可能引发绝缘故障的电压异常情况,实现故障的早期预警,为采取防护措施争取宝贵时间。(3)基于监测和分析结果开展科学、系统的状态评估。建立涵盖电压稳定性、绝缘老化程度、设备运行状态等多维度的评估指标体系,对配电系统的整体运行状态进行量化评估。根据评估结果将系统状态划分为不同等级,制定针对性的运维策略。对于状态较差的区域,加强监测频率,及时安排检修,保障分布式光伏接入下配电系统电压稳定和绝缘安全。

4.3 设备升级与保护配置优化

(1)对配电系统中的核心设备进行升级换代至关重要。选用具备更高电压耐受能力和绝缘性能的新型变压器,其先进的绝缘材料和设计结构,能有效抵御分布式光伏接入带来的电压波动冲击,减少因电压异常导致的绝缘击穿风险。同时,采用智能型断路器,它具有更精准的动作特性和更快的分断速度,可在出现接地故障、短路等异常情况时,迅速切断故障电流,防止故障范围扩大,保障系统其他部分的绝缘安全。(2)优化保护配置是提升系统安全性的关键举措。依据分布式光伏接入后配电系统的复杂特性,重新整定过流、过压、欠压等保护装置的动作参数。确保在电压波动超出允许范围或发生绝缘故障时,保护装置能准确、及时动作。并且,增加针对直流分量注入、孤岛效应等特殊问题的保护功能,如配置专门的直流分量监测与抑制装置,避免直流分量对变压器等设备绝缘造成损害。(3)建立设备与保护配置的动态管理机制。随着分布式光伏装机容量的变化和系统运行状况的改变,定期对设备性能和保护配置进行评估和调整,使其始终与系统实际需求相匹配,从而有效提升配电系统应对分布式光伏接入引发的电压波动与绝缘安全问题的能力。

4.4 协同防护与应急管理

(1)构建多部门协同的防护机制是基础。配电系统运行涉及电力调度、运维检修、安全监察等多个部门,分布式光伏接入后,各部门需打破信息壁垒,建立实时沟

通平台。电力调度部门依据光伏出力预测和负荷需求,合理安排发电计划与电网运行方式;运维检修部门加强对设备和线路的巡检,及时发现并处理电压波动和绝缘隐患;安全监察部门监督各项安全措施落实,确保协同防护工作有序开展。(2)制定完善的应急预案至关重要。针对可能出现的电压严重波动、绝缘故障引发的大面积停电等紧急情况,明确应急处置流程和责任分工。预案应涵盖故障快速定位、隔离,以及备用电源切换等关键环节,确保在突发状况下能够迅速响应,最大限度减少停电范围和损失。同时,定期组织应急演练,检验预案的可行性和各部门的协同配合能力。(3)强化应急物资储备与管理。根据可能发生的故障类型和规模,储备充足的应急物资,如备用变压器、绝缘修复材料等。建立应急物资动态管理系统,实时掌握物资库存和调配情况,确保在应急处置时能够及时调配所需物资,为快速恢复供电提供有力保障,实现分布式光伏接入下配电系统电压波动与绝缘安全的协同防护^[4]。

结束语

分布式光伏接入配电系统,为能源转型注入新动力,却也带来电压波动与绝缘安全新挑战。电压波动影响电能质量,绝缘隐患威胁系统稳定运行。通过深入研究发现,综合运用储能调节、智能监测、设备升级及协同应急等防护手段,可有效应对这些难题。展望未来,随着科技持续进步,应不断探索创新防护技术,完善防护体系。同时,加强行业交流与标准制定,提升整体防护水平,确保分布式光伏与配电系统和谐共生,为清洁能源的高效利用和可持续发展筑牢根基。

参考文献

- [1]刘建涛,陈佳琪.分布式光伏接入配电网的电压波动影响及抑制策略[J].电力系统保护与控制,2023,51(8):12-20.
- [2]赵晓宇,吴雨桐.不同接入条件下分布式光伏对配电网电压分布的影响分析[J].电网技术,2022,46(5):1800-1808.
- [3]马思远,林浩轩.基于储能协同控制的配电网分布式光伏电压波动抑制方法[J].电力自动化设备,2024,44(3):56-63.
- [4]王军,董济康,田福银.配电网中分布式光伏并网对电网的影响[J].灯与照明,2025,49(03):86-88.