

Research on the Impact of Distributed Photovoltaic Power Generation on the Supply Voltage of Distribution Networks

Yaxin Luo Youjun Feng* Qinghui Wang Yijie You Ruiqing Liu

Sichuan Tourism University, Chengdu, Sichuan, 610100, China

Abstract

With the increasing global demand for renewable energy, distributed photovoltaic power generation has gradually become a research hotspot in the energy field. However, the impact of the integration of distributed photovoltaic power generation on the supply voltage of the distribution network cannot be ignored. This impact may not only reduce the quality of electricity, but also pose a threat to the stable operation of the power grid. Therefore, in-depth research on the impact of distributed photovoltaic power generation on the supply voltage of distribution networks has extremely important practical significance. This paper combines theoretical analysis and experimental verification to explore this impact in depth, and proposes targeted optimization strategies in order to provide theoretical support and practical guidance for the widespread application of distributed photovoltaic power generation.

Keywords

distributed photovoltaic power generation; distribution network supply voltage; impact research

分布式光伏发电对配电网供电电压的影响研究

罗雅心 冯友君* 王清辉 尤艺杰 刘瑞卿

四川旅游学院, 中国·四川成都 610100

摘要

随着全球对可再生能源需求的日益增长, 分布式光伏发电逐渐成为能源领域的研究热点。然而, 分布式光伏发电的接入对配电网供电电压产生的影响不容忽视。这种影响不仅可能降低电能质量, 还可能对电网的稳定运行构成威胁。因此, 深入研究分布式光伏发电对配电网供电电压的影响具有极其重要的实际意义。论文结合理论分析和实验验证, 深入探讨这一影响, 并针对性地提出优化策略, 以为分布式光伏发电的广泛应用提供理论支持和实践指导。

关键词

分布式光伏发电; 配电网供电电压; 影响研究

1 引言

分布式光伏发电系统的特点决定了其电力输出存在波动性和不可预测性, 这在一定程度上与传统电力系统中基于稳态的规划和运行方式产生了冲突。电网电压水平的不稳定可能引发一系列问题, 包括电压波动、电压不平衡等, 从而影响电网的安全性和可靠性。因此, 深入研究分布式光伏发电对配电网供电电压的影响, 既有助于理解清洁能源与传统电力系统的交互作用, 也对电力系统未来的规划和管理提出了新的挑战。

【作者简介】罗雅心(2004-), 女, 中国甘肃兰州人, 在读本科生, 从事土木类、建筑电气与自动化研究。

【通讯作者】聂枫(2001-), 男, 中国四川广安人, 在读本科生, 从事土木类、建筑电气与自动化研究。

2 分布式光伏发电的基本原理和特点

2.1 基本原理

分布式光伏发电的基本原理是将太阳辐射能转换为直流电, 再通过逆变器将直流电转换为交流电, 最后将交流电接入配电网进行供电。其核心部分包括太阳能电池板、逆变器和配电网。太阳能电池板是吸收太阳辐射并将其转化为直流电的关键装置, 而逆变器则是将直流电转换为交流电的设备, 通过并网逆变器将电能直接接入配电网^[1]。分布式光伏发电的输出功率受太阳辐射强度、温度和地理位置等因素的影响, 因此具有间歇性和波动性。在配电网中接入分布式光伏发电后, 其输出电流的相位和幅值会发生变化, 从而改变配电网的电压分布, 并且还能提高配电网的可靠性及稳定性。

2.2 特点分析

分布式光伏发电具有诸多独特特点, 这些特点使其成为当今能源领域备受关注的可再生能源技术之一。

首先,分布式光伏发电系统采用分散布局的方式,将光伏电池安装在建筑物的屋顶、墙壁或其他空地上,形成点对点的发电网络,极大地降低了能源输送距离,减少了输电损耗,提高了电能的传输效率。与传统的集中式发电方式相比,分布式光伏发电能更灵活地适应各地的用电需求,实现近距离、小规模电力供应,为能源分散化提供了可能。

其次,分布式光伏发电系统对环境友好,减少了温室气体的排放,有助于缓解气候变化问题。由于光伏电池无需燃烧燃料,不产生有害气体,因此具备清洁、低碳的发电特性,这有助于实现可持续发展目标,推动社会朝着更为环保和可持续的能源体系迈进。

最后,分布式光伏发电系统在能源安全方面具有独特优势。由于系统分布广泛,不易受到单一故障点的影响,使得分布式光伏发电在面对自然灾害、恶劣气候等极端情况时,能够更好地保障电力供应的连续性,提高电力系统的抗风险能力^[2]。

3 分布式光伏发电对配电网供电电压的影响

3.1 电压波动和瞬时电压变化

分布式光伏发电引起的电压波动和瞬时电压变化,是其对配电网供电电压影响的显著特征之一,这种波动性源于光伏发电系统对日照条件和气象因素的高度敏感,导致其输出功率在短时间内发生剧烈变化,这一现象对配电网的电压稳定性造成挑战,需要系统规划者采取相应措施来减缓其负面影响^[3]。一方面,电压波动体现在电网中的瞬时电压变化,即在极短时间内电压发生的剧烈波动。由于光伏系统的输出功率在短时间内由零增至最大值,或者由最大值降至零,导致电网瞬时电压的不稳定,这种瞬时电压变化影响用户终端设备的正常运行,尤其是对于对电压敏感的设备,如计算机、电子设备等。因此,电网规划者需要考虑采用先进的电压控制技术,如快速电压调节装置,以保障瞬时电压在合理范围内。另一方面,电压波动还引起电网中的频率变化,因为电压和频率在电力系统中具有密切关联。光伏发电系统的波动性可能导致电网频率在短时间内发生变化,对同步设备的运行和电网的稳定性产生影响。为避免这一问题,电网规划者需要加强对电网频率的监测,并考虑引入智能调频装置,以保持电网频率在标准范围内。

3.2 电压升压问题

当系统输出功率超过负载需求时,会导致过量电力注入电网,引起电压水平的升高,这一问题在光伏系统具备较高发电能力的情况下,特别是在光照强烈的白昼时段,出现较为显著。

第一,电压升压问题对电网的电压稳定性构成威胁。当分布式光伏系统产生的电力超过用户实际需求时,过量的电能将被注入电网,导致电压水平超出正常范围,使电压升

至过高水平,对电网设备和用户终端设备造成潜在危害^[4]。电压过高容易引发设备过热、损坏,甚至引发设备故障或火灾,影响电力系统的可靠性和安全性。

第二,电压升压问题还会导致电力系统的电能质量下降。过高的电压水平引入电网中的谐波,影响电能波形的纯度,从而对电能质量造成不利影响,引发用户设备的故障或工作不稳定,损害电能的可靠性和适用性。

在长期运行中,谐波的存在会引起电网中其他设备的共振,进一步影响电能质量,为电力系统的正常运行带来潜在风险。最后,电压升压问题对电力系统的能效产生不利影响。在电压超过额定水平的情况下,系统中的电器设备在非额定电压下运行,会导致能效降低,不仅会增加系统运行成本,还可能导致电能浪费,不利于提高电力系统的整体效益。

3.3 电压不平衡

电压不平衡问题主要源于分布式光伏系统的不均匀分布以及其间歇性发电特性,导致不同区域的电压水平存在差异,给电网带来电压不平衡的挑战。一方面,电压不平衡导致电网中的三相电压差异,从而引起不同相之间的电压不对称,违背了电力系统正常运行的设计原则,还对用户终端设备产生不利影响。电压不平衡引发设备的过热、运行不稳定,甚至导致设备的损坏。对于一些对电压敏感的设备,如电机、照明设备等,电压不平衡影响其性能和寿命,降低整个电力系统的可靠性。另一方面,在电压不平衡的情况下,相应的电流也不平衡,给电网设备带来过度负荷,增加设备的损耗和能耗。电流不平衡可能导致电网中的热损耗增加,降低电网的能效,对电力系统的运行产生一系列负面影响。

3.4 继电保护问题

由于分布式光伏系统的接入,电网中出现电压波动、电压不平衡等问题,对继电保护系统提出了新的挑战。首先,分布式光伏系统的输出功率波动导致电网电压瞬时变化,这可能使继电保护系统错误地判定为电力系统出现故障。因此,需要通过优化继电保护系统的参数和逻辑,以适应电压波动的特性,减少误动作的发生。其次,电压不平衡问题也影响继电保护系统的正常运行。由于电压不平衡引发电流不平衡,继电保护系统无法准确识别电流的方向和大小,从而导致对电网故障的误判或延迟响应,对电网的安全性和稳定性构成潜在威胁。因此,需要在继电保护系统中引入适当的电流不平衡补偿策略,确保继电保护系统能够在电压不平衡的情况下正常工作。另外,分布式光伏系统的接入改变电网的故障电流分布,导致传统的继电保护方案失效。继电保护系统通常根据电流分布来定位故障点,但由于光伏系统的特殊性质,容易引入新的故障电流。最后,分布式光伏发电系统的逆变器可能引入电网中的谐波和高频扰动,对继电保护系统的灵敏度和可靠性产生影响,导致继电保护设备对电流或电压波形的错误响应,进而影响继电保护系统的性能。

4 分布式光伏发电对配电网供电电压影响的应对措施

4.1 优化配电网规划

传统的电力系统规划主要考虑了中心化发电站的布局,但分布式光伏发电的广泛应用意味着电网规划需要更加灵活和智能。在优化配电网规划时,需充分考虑分布式光伏系统的地域分布和装机容量。通过合理规划分布式光伏系统的布局,可以使得光伏发电系统在不同区域均衡分布,避免电压不平衡问题。此外,应根据光伏系统的容量、发电特性和电网的负荷需求,调整电网的结构,以适应分布式光伏发电的高度分散特点。通过使用先进的监测、调度和控制技术,可以实时监测分布式光伏发电系统的输出情况,及时调整电网的运行状态。智能电网技术可以根据光伏系统的发电预测信息,合理分配电力资源,降低电压波动和电压不平衡的发生概率。此外,采用远程监控系统,实现对电网各个节点的实时监测,有助于及时发现并解决潜在的电压问题。

4.2 强化电压控制措施

为了确保配电网的电压稳定,需要采取一系列的电压控制措施,具体包括以下几个方面:首先,应配置有功无功综合调节装置,根据配电网的运行状态和光伏发电的出力情况,自动调节有功和无功输出,以实现配电网电压的动态控制。其次,应加强配电网的电压监测,实时掌握配电网的电压波动情况,为电压控制提供准确的数据支持。再次,应制定合理的电压控制策略,根据配电网的运行特性和分布式光伏发电的出力特性,制定相应的电压控制方案,确保配电网的电压稳定。最后,应加强配电网的电压管理,建立健全的电压管理制度和运行规程,提高配电网运行人员的电压控制意识和技能水平。

总之,通过强化电压控制措施,可以有效减小分布式光伏发电对配电网供电电压的影响,提高配电网的电压质量和供电可靠性。

4.3 升级改造配电网设备

传统配电设备可能难以适应光伏发电系统的波动性和不确定性,因此需要对电网设备进行升级改造,以提高其适应分布式光伏发电的能力。首先,升级电压控制装置是改造配电网设备的重要一环。引入先进的电压控制技术,如静态无功补偿装置(SVC)、静止同步补偿器(STATCOM)等,可以在电压波动发生时迅速响应,实现对电压的精确控制,这些装置能够在瞬间提供无功功率支持,维持电网的稳定性,有效降低电压波动和不平衡的风险^[1]。其次,升级配电变压器是提高电网适应性的重要步骤。通过采用先进的智能变压器技术,如有源变压器、分布式电流差动保护等,可

以实现配电网电压和电流的实时监测和调整。这种智能化的变压器系统可以更灵活地应对光伏发电系统的波动性,确保电压在可控范围内。最后,引入先进的电能储存设备也是升级改造配电网设备的有效手段。采用储能技术,如锂离子电池、超级电容器等,可以在光伏发电系统产生过剩电能时进行储存,在电力需求较大时释放,有助于平滑电网电压波动,提高电网的稳定性。

4.4 建立完善的应急预案

由于光伏发电系统的波动性和不确定性,电网管理者需要制定综合性、实用性的预案,以便在突发情况下迅速应对,确保电力系统的稳定运行。一方面,应急预案应明确各级别的电压异常情况,并制定相应的响应策略。对于电压波动较小的情况,可以采取自动化电压控制设备进行调整。而在电压超出安全范围的紧急情况下,应急预案需要包含紧急切除分布式光伏系统、调整配电变压器容量等紧急措施,以最小化电网电压异常对用户的影响。另一方面,建立定期演练机制,确保应急预案的实施能力。通过定期组织电网人员和相关机构参与模拟演练,可以检验应急预案的可行性和实效性。演练的内容应涵盖不同场景下的电压异常应对过程,以提高人员的应急处理能力和协同作战水平。通过这样的演练机制,可以及时发现和纠正应急预案中的不足之处,确保在真实应急情况下的迅速而有效的响应。

5 结语

论文通过理论分析和文献参考,研究了分布式光伏发电对配电网供电电压的影响。结果表明,分布式光伏发电的接入会导致配电网电压波动和闪变增大。为了减小影响,需要合理配置无功补偿装置和制定优化调度策略。未来,随着可再生能源的进一步发展,分布式光伏发电在配电网中的应用将更加广泛。因此,需要加强配电网的运行监控和维护,确保配电网的安全稳定运行。

参考文献

- [1] 张锐,陈莎.含分布式光伏的配电网电压监测与无功补偿[J].光源与照明,2023(8):129-131.
- [2] 林原,顾涛,仇向东,等.分布式光伏对户用配电网电能质量影响研究[J].电子器件,2023,46(2):561-566.
- [3] 刘科研,盛万兴,马晓晨,等.基于多种群遗传算法的分布式光伏接入配电网规划研究[J].太阳能学报,2021,42(6):146-155.
- [4] 李家鹏.分布式光伏发电系统对配电网电压的影响分析[J].电子技术,2022,51(3):294-296.
- [5] 贾俊,季昆玉,袁栋,等.分布式光伏发电场景下配电网多目标无功优化方法[J].自动化与仪器仪表,2023(11):132-135+140.