

Research on the Impact and Control of Distributed Photovoltaic Access on Power Grid Regulation and Operation

Yingjie Xiong

State Grid Jiangxi Electric Power Co., Ltd. Shangrao Power Supply Branch, Shangrao, Jiangxi, 334000, China

Abstract

With the widespread application of network technology, the types and quantities of intelligent power devices have significantly increased, and people's demand for electricity is also increasing day by day. Faced with the dependence of the power industry on non renewable resources, researchers are strengthening their exploration of new energy technologies, among which distributed photovoltaic power generation is highly favored due to its unique environmental characteristics. However, when distributed photovoltaic power generation is connected to the grid on a large scale, there are still a series of characteristics such as randomness and intermittency that may pose challenges to the stable operation of the power grid. For this issue, this paper delves into the specific impact of distributed photovoltaic grid connection on grid regulation and proposes corresponding management strategies.

Keywords

distributed photovoltaics; power grid; regulation operation

分布式光伏接入对电网调控运行的影响与管控研究

熊颖杰

国网江西省电力有限公司上饶供电分公司, 中国·江西 上饶 334000

摘要

随着网络技术的广泛应用, 智能电力设备的种类与数量显著增加, 人们对于电能的需求也在日益上升。面对电力行业对非可再生资源的依赖, 研究人员正在加强对新能源技术的探索, 其中分布式光伏发电因独特的环保特性而备受青睐。然而, 分布式光伏发电在大规模并网时, 还存在随机性和间歇性等一系列可能会对电网稳定运行构成挑战等特征。对于此问题, 论文深入探讨了分布式光伏并网后对电网调控的具体影响, 并提出了相应的管理策略。

关键词

分布式光伏; 电网; 调控运行

1 引言

分布式光伏发电系统由于接入点分散和接入量有限, 常常会对电网造成影响。这类系统保持独立运行, 接入的电网电压级别较低, 可能对配电网的正常运行带来不利影响。为解决分布式光伏发电与电网之间的潜在冲突, 技术专家需利用光伏系统的主动调压功能, 开发一种双层无功优化控制模式^[1]。基于这种模式, 可以更有效地将光伏电站纳入电网的调控体系中, 从而向用户提供更为安全和稳定的电力供应。

2 光伏发电的特点

光伏发电系统以其独特的发电方式, 即将太阳能转化为电能, 逐渐成为全球能源转型的重要组成部分。以下是光伏发电系统的几个显著特点: ①光伏发电依靠太阳能, 发

电过程几乎不产生污染。使用太阳能发电能够提供清洁的电力, 还有助于减少二氧化碳排放, 对抗气候变化。②与传统的火力或水力发电相比, 光伏发电需要的初始投资较低, 即使是家庭和小型企业也能够根据自身需要安装太阳能系统。用户可以利用并网系统将未使用的电力出售给电网, 减少电费支出^[2]。③尽管分布式光伏系统规模较小, 但发电效率高, 与大型集中式发电站相媲美。即便规模较小也可获得可观的收益。④分布式光伏发电系统一般安装在用户附近, 电力传输更加高效、方便。在屋顶安装还能节省空间, 直接供电给建筑, 减少能源损耗。⑤虽然分布式光伏系统有助于减轻对中央电网的依赖, 但波动性可能对电网稳定性造成一定影响, 电网运营商需要采取适当措施来保证电能的质量和供电稳定性。

3 分布式光伏接入对电网调控运行的影响

3.1 对电压的影响

在传统的集中供电系统中, 配电网络一般采用辐射型

【作者简介】熊颖杰(1991-), 女, 中国江西高安人, 硕士, 工程师, 从事负荷管理研究。

结构，电压在馈线沿线通常表现为逐步下降^[3]。然而，当光伏发电系统并入这样的配电网络时，情况会有所变化。具体来说，由于光伏系统在发电高峰期（如中午阳光充足时）会注入额外的电能到网络，导致接入点附近电压升高。例如，标准的配电网电压可能设置为 10kV，而在光伏发电系统接入后，电压可能升至 10.5kV 或更高，这种电压上升不仅与光伏系统的位置直接相关，也与其总发电容量密切相关。

3.2 对电能质量的影响

分布式光伏发电系统可以将太阳能转换为直流电，进而利用并网逆变器将其转换为交流电以供应电网，关系到多个转换阶段的复杂过程。在这一过程中，尤其是在直流至交流的转换阶段，会产生大量的谐波，谐波主要是由逆变器中的开关操作产生的，每次开关导通和关断时都会在电网中注入非线性扰动，导致电能质量问题。

谐波是电流或电压波形的一种失真，主要表现为电网频率的整数倍频率的波形叠加在标准的交流波形上。例如，当标准电网频率为 50Hz 时，谐波可能包括 100Hz、150Hz 等频率成分。根据研究数据显示，未经处理的光伏并网系统可以产生高达 5%~10% 的总谐波失真（THD），而电网标准通常要求 THD 不得超过 3%~5%（表 1）。谐波失真会导致供电系统热损失增加，降低电气设备的效率，甚至损坏敏感的电子设备。

表 1 分布式光伏发电系统对电能质量的影响

项目	数值范围	电网标准
电网频率	50Hz	—
谐波频率	100Hz、150Hz	—
未经处理的光伏并网 THD	5%~10%	—
电网标准要求 THD	不超过 3%~5%	3%~5%

3.3 对重合闸的影响

当供电线路发生故障时，变电站的侧断路器通常会执行跳闸操作，用于隔离故障，防止损坏。然而，如果在这种情况下进行重合闸操作（即尝试重新连接电路以检查故障是否已被清除），但是分布式光伏电源的隔离时间不足，未能与故障线路完全断开，就可能引起一系列问题。如果光伏系统的解列（即断开连接）时间超过重合闸的操作时间，光伏系统和电网的重合闸可能不同步，这种不同步会在系统中引入非同步电流，导致巨大的冲击电流产生。

冲击电流可能触发继电保护系统误动作，误判为电网再次发生故障，在极端情况下还可能对光伏设备造成损害，影响长期性能。技术数据显示，这种冲击电流的幅度可能在几千安培至几万安培之间，远超光伏系统正常运行时的电流水平。此外，如果光伏电源在重合闸时未能与故障点彻底隔离，即使系统侧断路器已经执行跳闸操作，它依然会向故障点输送电流，这种情况下，故障修复将会变得更加复杂，导致重合闸操作失败，延长电力系统的恢复时间。

3.4 对多重节点特定负荷的影响

在电力系统中，多节点网络架构的运行复杂性体现在电压管理和特定负荷需求上。由于电压在不同时间段和路径上的变化，技术人员在进行节点间的搭配和电源管理时必须充分考虑到每个节点的等值阻抗，必须保证电网在注入功率时能够维持稳定，尤其是当功率从一个节点传输到另一个节点时的电压稳定性。

在电力传输过程中，如果光伏系统的功率注入主要集中在网络的首尾节点之间，配置将导致电压在传输过程中发生显著的跌落，进而影响到整个网络的电压均衡。例如，当电压从一个节点传输到下一个节点时，由于距离和负载特性的不同，电压可能从 120V 降至 110V，进而增加整个系统的线路损耗，引起更广泛的电能质量问题。

3.5 孤岛效应

孤岛效应是一个在电力系统中引起广泛关注的现象，特别是在分布式光伏发电系统中。当主电网由于某种原因突然断电，而并网的光伏系统仍在向本地网络供电时，就会出现所谓的孤岛效应。这种情况下，尽管主电网已经停电，但光伏系统继续为连接的负载供电，从而形成一个“孤岛”。孤岛效应的主要风险在于，它可能危及正在进行电网维护的工作人员的安全，他们可能误以为电网已经完全断电而进行作业，另外它还可能干扰电网的正常保护和开关操作程序。

尽管现代的逆变器通常包括防孤岛功能，能够在电网失电时自动断开光伏系统，但逆变器的性能并不总是可靠的。技术统计数据表明，即使是带有防孤岛功能的逆变器，也存在 0.1%~0.5% 的检测失败概率。此外，由于不同制造商的产品质量参差不齐，完全依赖逆变器的内置防孤岛功能并不是一个可靠的策略，需要引入双重或多重防孤岛保护机制。

4 分布式光伏接入对电网调控运行影响的管控对策

4.1 完善并网运行的管理机制

为了有效减轻分布式光伏发电系统接入配电网可能带来的不利影响，管理部门必须不断优化和完善并网运行的管理规范。首先，管理机制的设计和更新需要针对光伏发电的具体特性，综合考虑从系统设计、建设到日常运营和维护的各个环节，促进光伏并网工作的高效执行，建议以下两个主要方面着手：①对分布式光伏发电系统的验收工作、计量方案及配套设施建设制定明确且全面的技术规范，保证所有接入系统都符合最新的安全和性能标准，制定有力的制度保障，使并网建设和运行合规设立专门的审查团队，对新接入的光伏系统执行严格的质量与性能测试，无缝并安全地融入现有的电网结构。②管理人员需要全面了解光伏发电接入配电网的实际情况，持续监控其运行状态。加强对接入系统设

计的管理,制定科学的并网管理规定,定期培训、更新课程。例如,可定期实施系统检查,评估性能,及时发现、修复潜在的技术或操作问题。

4.2 加强对集中接入系统的分析

在管理分布式光伏发电并网过程中,集中接入系统的深入分析和研究至关重要。管理人员需集中精力在配电网规划设计及运行的分析上,特别是在大规模分布式光伏发电集中接入后,必须详细考察其对配电网的影响,如电压变化、短路电流和电能质量等。这要求进行系统性的仿真和建模,通过这些技术手段,可以预测并网后电网的行为和潜在问题。例如,使用先进的电网分析软件来模拟不同光伏发电量和天气条件下的电网响应,从而评估电压稳定性和短路电流的变化。此外,管理人员还需强化继电保护系统的校核和优化,确保在光伏系统干扰或故障发生时,系统能够准确快速地识别和隔离问题,防止故障扩散。实时监测电能质量也是必要的,这包括持续跟踪和分析电网中的谐波、频率和电压波动,确保所有运行数据符合规定的电网标准,为制定光伏系统的维护和修复策略提供数据支持。通过这些方法,可以确保光伏发电系统在高度集成并网环境中的稳定与安全运行。

4.3 规范调度人员的送电操作

调度人员必须对并网点位置、发电容量、运行模式及联系方式等信息掌握详细,在实际操作中,调度人员应严格遵守调度操作规程,避免电气误操作的风险。在进行电网侧设备的维修或检查时,必须与分布式光伏发电单位进行有效沟通,切断相关电路,所有维修人员都要了解当前的电网状态,保障他们的人身安全。完成维修后,在恢复送电之前,应确认所有安全、技术条件都已满足,随后按照既定顺序逐步恢复光伏系统的并网操作。

4.4 强化设备检修管理工作

管理人员应采用“两票三制”的管理方法(即工作票、操作票和安全制度、操作制度、工作制度),持续规范停送电及检修工作流程。在任何检修活动开始之前,必须进行彻底的预检查,确认是否有分布式光伏电源接入,检查所有停电措施是否已经准备到位,确认作业区域是否已经安全断电。根据现场实际情况和潜在风险制定针对性的安全对策。例如,在分布式光伏电源的联络线上安装光差保护配置,有效识别、隔离因并网运行引起的电压不稳定和电流异常问题。部署具有放电识别功能的电流保护装置,增强系统安全性。操作过程中,技术人员还需保持重合闸操作与系统同步,若发现时间不匹配现象,必须立即停止操作,加以调整,避免引发电力系统故障或是安全事故。

4.5 全面控制电压波动现象

为了全面控制电压波动现象,操作人员需对有载调压器进行精确调整。面对分布式光伏电源引起的电压波动时,调整有载调压器的抽头是常用的技术手段。然而,当电网末端电压频繁出现越限情况时,仅依靠调压器抽头调整可能不足以实现最佳效果,且频繁调整也可能损伤调压器的机械部件。为减少变压器抽头的调节次数,提高整个系统的电压稳定性,技术人员应对实际数据进行系统性分析,制定一套综合的无功优化运行计划。计划中应涵盖合理配置无功电源和动态调节无功输出,均衡整个电网的电压分布,并改善电能质量。还应采用高级电网分析工具和实时监控系統帮助技术人员准确地预测电网负载变化,提前调整设备设置,使电网以最优状态运行。

4.6 做好反孤岛运行安全的防护工作

为了保证分布式光伏发电系统在电网停电期间安全运行,避免孤岛效应,需要制定综合的安全策略。孤岛效应指的是当电网停电时,本地光伏系统仍能独立运行,未能自动断开与主电网的连接,从而造成极大的安全隐患。首先,应设计和实施反孤岛措施,安装专门的反孤岛设备,使光伏系统即使是在电网断电情况下也能够立即与电网隔离。反孤岛技术可以分为两种主要类型:主动式和被动式。主动式孤岛保护可主动检测电网参数(如频率和电压)的变化,从而防止孤岛运行。当检测到电网频率或电压异常时,反孤岛装置会自动断开光伏系统与电网的连接,防止孤岛现象的发生。被动式孤岛保护主要依靠并网逆变器的内置保护机制,过欠频保护机制可利用逆变器软件实现该功能,当电网的运行参数超出设定范围时,逆变器会自动停止向电网输送电能。

5 结语

综上所述,分布式光伏发电与电网的有效并网,优化了能源利用,显著降低了环境污染。随着光伏系统装机容量的持续增加,这种能源的集成将会对电网产生更加深远的影响。因此,技术团队必须根据现实情况不断优化电网的管理和调控策略,加强电网运行的安全性,推动可持续能源解决方案的实施。

参考文献

- [1] 杜力,杨乐新,尹成.分布式光伏接入对电网调控运行的影响与管控[J].农村电工,2019,27(1):36.
- [2] 满忠诚,程青青,王磊,等.分布式光伏接入对地市配电网调控运行的影响研究[J].安徽电气工程职业技术学院学报,2022,27(2):84-89.
- [3] 周新,付姣.分布式光伏接入对电网调控运行的影响[J].光源与照明,2021(12):72-73.