

分布式光伏发电并网对配电网电压的影响

陈兴权

国网湖南省电力有限公司浏阳市供电分公司县农电服务公司

DOI:10.32629/hwr.v9i12.6677

[摘要] “双碳”战略目标推动了能源转型的不断前进,而分布式光伏发电作为清洁能源的利用方式之一,其并入配电网是能源转型的主要发展趋势。但是,由于受到诸多因素的影响,分布式光伏发电并入配电网也会对电压带来诸多影响。基于此,本文主要就分布式光伏发电并网对配电网电压带来的越限、波动、谐波污染、三相不平衡以及电压调节设备等方面的影响进行了探讨分析,以供参考。

[关键词] 分布式光伏发电; 并网; 配电网; 电压; 影响; 评估方法

中图分类号: V242.3 **文献标识码:** A

The Impact of Distributed Photovoltaic Grid-Connected Generation on Distribution Network Voltage

Xingquan Chen

State Grid Hunan Electric Power Co., Ltd. Liuyang Power Supply Branch County Agricultural Electricity Service Company

[Abstract] The "dual carbon" strategic goal has promoted the continuous progress of energy transformation, and distributed photovoltaic power generation, as one of the ways to utilize clean energy, its integration into the distribution network is the main development trend of energy transformation. However, due to various factors, the integration of distributed photovoltaic power generation into the distribution network will also have many impacts on voltage. Based on this, this article mainly discusses and analyzes the impact of distributed photovoltaic power generation grid connection on the voltage of the distribution network, including exceeding limits, fluctuations, harmonic pollution, three-phase imbalance, and voltage regulation equipment, for reference.

[Key words] distributed photovoltaic power generation; Grid connection; Distribution network; Voltage; influence; evaluation method

前言

分布式光伏发电系统有助于降低电能运输的能耗以及减少供电成本等。但是其在接入配电网时,由于受天气状况以及日照强度等因素的影响,其接入配电网时,对电压造成了诸多影响,因此为了发挥分布式光伏发电价值,必须加强其接入配电网对电压的影响进行分析。

1 分布式光伏发电的概述

分布式光伏发电是通过太阳光照射到光伏电池上,在光子与半导体材料相互作用下,把光能转化为电能,其主要由太阳能板、逆变器、并网箱和支架系统等设备构成。分布式光伏发电可以把太阳能板安设在自家屋顶,在居民区集中安装,在工厂与商场等大型场所的空地上安装,实现就近发电与就近使用,不仅有助于环境保护,还能减少用电成本。

2 分布式光伏发电并网对配电网电压的主要影响

2.1 电压越限。分布式光伏发电并网受到光伏出力时的光照

强度、环境温度等因素的影响,导致其并网时的输出功率具有随机性、间歇性,从而造成配电网电压越限现象;并且分布式光伏发电并网还受原有配电网结构老旧、容量过小等因素的影响,导致其未能有效适应分布式光伏发电的接入,进而引发电压越限现象。通常分布式光伏发电并网的配电网电压越限问题出现在光照强烈时,这时因阳光充足,分布式光伏发电系统能够大量发电,如果没有及时做好电压调节工作,则会导致配电网电压显著升高。而且电压越限还与分布式光伏发电并网时的接入位置、光伏出力水平和配电网线路的阻抗相关,通常接入位置离馈线末端越近,线路的阻抗越大,同样功率返送导致的电压抬升也会越明显,因此远离主变电站的末端用户,很容易出现电压越限问题。比如辐射状配电网的电压会沿着馈线变得越来越低,而在分布式光伏发电并网接入后,一般会因光伏出力,导致局部电压被抬升,如果分布式光伏发电接入馈线中部,接入位置的上游电压会由于功率的返送,出现升高现象,而该接入位置的下游电压会

随着线路阻抗的减小而升高,但由于光伏出力不足,会出现电压降低问题。分布式光伏发电并网的配电网电压越限时,不仅会导致变压器过载、电缆过热、用电设备损坏、家用电器寿命缩短等问题,还会增加配电网运维成本,影响配电网稳定性。

2.2电压波动。分布式光伏发电并网导致配电网电压波动,一般是由于分布式光伏发电系统接入方式与配电网承载能力不匹配,以及光伏发电具有间歇性和波动性等原因。分布式光伏发电受天气状况、日照强度与云层变化等因素影响,导致光伏出力不同,会引起配电网瞬时过载等现象,从而导致电压波动问题。比如分布式光伏发电系统并网时的光伏出力过大(分布式光伏发电系统受到强光照射时),其反向功率就会导致局部配电网的电压升高,特别是在负荷低谷时;如果分布式光伏发电系统并网的光伏出力降低时(分布式光伏发电系统受到云层遮挡时),就会出现配电网电压下降问题,这种电压波动现象尤其在农村地区比较常见。简而言之,分布式光伏发电并网的配电网电压波动表现为:在晴天日照强度高、光伏发电量大且用电负荷小时,局部配电网电压升高;在阴天、夜间或太阳被云层遮挡时,光伏发电量变小,用户主要使用传统电源,从而导致局部配电网电压降低。这种电压波动问题的发生,不仅会影响配电网设备可靠运行、降低电能质量,还会造成工厂设备故障、降低居民用电质量。并且分布式光伏发电并网的配电网电压波动频繁时,还会引发“闪变”问题,该问题会严重影响照明质量以及用户的舒适度。此外,大量分布式光伏发电系统在同时遇到天气变化时,会出现“聚合效应”(该现象在农村地区的表现尤为突出),这样就会扩大区域电网电压波动的危害性。

2.3谐波污染。谐波污染是因为系统中存在非线性负载,造成电流或电压波形发生畸变,产生频率为基波频率整数倍的谐波分量,从而影响电能质量的现象。分布式光伏发电系统中的谐波污染来自系统内部设备产生的谐波电流,其中光伏逆变器作为非线性负荷的关键设备,其利用电子开关转换DC/AC的动作会产生谐波电流,并且在并网配电网后,会造成电压畸变现象,并且在多台光伏逆变器并联运行时,谐波电流可能相互叠加,造成谐波畸变率的超标。分布式光伏发电并网的配电网系统谐波污染,会造成变压器过热以及电容器谐振等现象,从而降低电力设备的运行效率以及增加其发生故障的概率;此外还会影响通信系统可靠运行以及由于设备过热引发火灾的风险等。比如某分布式光伏发电系统中的逆变器由于滤波设计不足,使得并网点电压总谐波畸变率超限,导致周围的精密设备运行异常。

2.4三相不平衡。三相不平衡是由于负荷分配不均、电源电压与线路参数不对称等原因造成的,其一般是指三相电流或电压的幅值不一致,超出安全标准范围。三相不平衡是常见的电能质量问题,其会造成部分相电压过高烧毁设备、电压过低影响设备的正常运行、零线电流过大还可能发生火灾,并且还会缩短设备的使用寿命。分布式光伏发电并网对配电网电压三相不平衡主要受光伏出力的随机性和接入点的单相或两相分布的影响。如果分布式光伏发电并网受到安装条件与成本等原因的影响,应

用单相并网方式,就会造成三相电流不平衡,从而导致三相电压不平衡。三相电压不平衡会导致用电设备产生振动与噪音,还会造成电动机等设备的转矩不平衡,不仅会增加线路损耗与增加供电成本,还会影响到用电设备的运行效率以及损坏用电设备,而且还会加剧电压波动以及影响供电的连续性。比如某农村配电网并网分布式光伏发电时,由于接入大量的单相光伏,从而造成中性线电流超标,导致变压器过热和电压偏差超限等现象。

2.5对电压调节设备的主要影响。电压调节设备是利用先进的自动化控制技术保障电压稳定输出的装置,其主要是在输入电压波动或负载变化时,保障负载端电压在预设范围内,以实现电气设备的安全可靠运行。分布式光伏发电并网对配电网电压调节设备影响的原因主要包括潮流方向改变、功率波动性、接入位置与容量等方面。就潮流方向改变原因来说,潮流方向改变使得有载调压变压器及无功补偿装置等电压调节设备需要满足单向至双向的潮流变化,比如光伏出力的高峰时段,接入点附近的线路段电压会出现升高现象,导致变压器频繁调整分接头或投入补偿装置,以抑制过电压,使得电压调节设备频繁操作,从而造成其磨损。功率波动性原因,由于光伏出力会因为光照条件的变化而改变,容易造成电压出现波动现象,这样就要求电压调节设备必须具有快速响应能力,以实现电压闪变或越限的有效抑制,特别是在短路容量较小的配电网系统中,由于频繁的操作,从而增加了电压调节设备的负担。接入位置与容量方面的原因,比如分布式光伏发电并网时接入配电网的末端,由于出现线路阻抗,使得电压下降,这样通过电压调节设备的应用,有助于保障电压稳定;如果电压调节设备长时间的频繁操作,就会影响到其使用寿命与可靠运行。

3 分布式光伏发电并网对配电网电压影响的主要评估方法

3.1时序仿真分析方法。分布式光伏发电并网对配电网电压影响的时序仿真分析评估方法,是通过时序仿真构建配电网模型,利用动态模拟配电网不同场景的电压变化,发现电压变化规律,从而为配电网规划及其可靠运行提供依据。该评估方法是基于时间序列数据(比如光照强度、温度、负荷曲线等)驱动光伏出力模型,模拟电压随时间的动态变化,并且该评估方法可以量化光伏渗透率、接入位置及逆变器控制等对电压造成的影响。

3.2概率评估方法。分布式光伏发电并网对配电网电压影响的概率评估方法,是通过量化电压波动、升高或偏差等风险的发生概率,为配电网规划、光伏接入容量等方面提供依据。该评估方法需要结合光伏出力的随机性、配电网结构及运行条件等因素实施评估;常用的方法包括概率潮流计算、蒙特卡洛仿真和数据驱动模型;其中概率潮流计算是结合光伏出力的概率分布模拟不同场景下的电压概率分布,构建配电网功率流模型实施评估,一般用于电压越限概率的评估;蒙特卡洛仿真是利用随机抽样的方法,模拟光伏出力、负荷变化等不确定因素,直接输出电压概率特性(如累积分布函数),该方法适用于处理复杂非线性关系;数据驱动模型是应用历史数据或实时监测数据,利用机

器学习算法(如高斯过程或神经网络),构建电压与光伏出力、负荷之间的概率映射关系,该评估方法主要应用于高渗透率场景的快速评估。

3.3实时监测与大数据分析。实时监测主要利用智能电表、同步相量测量单元(PMU)等设备来采集数据,比如在光伏并网、负荷中心等处,布设智能电表和PMU,采集电压、电流、功率等参数的秒级或毫秒级数据。大数据分析方法是借助数据驱动模型来提高评估精度与预测能力,其主要包括统计分析机器学习模型(应用回归分析、聚类算法或深度学习(如LSTM)挖掘电压异常模式,预测光伏出力与负荷变化对电压的影响)、混合评估框架(结合物理模型与数据驱动方法,利用实时监测数据校准仿真模型,提升电压预测准确性,并量化光伏渗透率、接入位置等关键因素对电压的影响)。

4 分布式光伏发电并网优化配电网电压质量的有效策略

4.1缓解电压越限的策略。为有效解决分布式光伏发电并网对配电网电压越限的问题,可以通过调整光伏发电接入点,增加有载调压变压器与自动电压调节器,利用动态无功补偿装置,优化调度和加强用户侧管理(比如实行错峰用电)等。

4.2应用自适应逆变器。自适应逆变器具有快速响应、动态调整输出功率等特征。在分布式光伏发电接入配电网时,通过应用自适应逆变器,有助于解决电压波动现象。其工作原理是对配电网电压变化进行实时监测,再应用智能控制算法,实现光伏系统输出功率的调整。

4.3运用谐波抑制技术。分布式光伏发电并网的谐波污染抑制技术主要有被动滤波与主动控制方面的技术。其中被动滤波存在结构简单、成本低等优势,但是受电网参数和负载变化的影响比较大,其主要是合理安装无源滤波器(LC滤波器)吸收谐波电流。主动控制是从源头开始降低谐波,比如运用脉宽调制技术(PWM)等,阻断高次谐波,达到控制谐波污染目的。

4.4改善三相不平衡度。分布式光伏发电并网的三相不平衡度改善,可以通过控制逆变器功率、增设无功补偿装置以及集成储能系统等措施,来实现三相不平衡度的改善。控制逆变器功率是对逆变器无功功率输出的调节、动态补偿不平衡电压来实现;增设无功补偿装置是通过布设静态无功补偿器(SVC)或电容器

组,对功率因数进行改善,从而抑制电压波动;集成储能系统是利用储能设备的快速充放电调节有功和无功功率,来改善三相不平衡度。

4.5利用先进的电压调节技术设备。借助大数据分析、物联网技术等,对配电网实施智能化管理,在分布式光伏发电并网时,通过实时监测光伏出力和配电网实际运行状态,及时采取措施来应对电压变化。合理布设电压调节设备,比如合理布设载调压变压器与智能电压调节器等,其中有载调压变压器可以结合负荷变化对分接头进行实时调整,以达到调节输出电压目的,从而满足在不同工况下的电压要求;智能电压调节器能够实时监测配电网运行的相关参数(比如电流、电压等参数),结合分析结果,实现对电压的精准调控。

5 结束语

综上所述,分布式光伏发电在减少碳排放、提高能源效率等方面具有重要作用。但是其接入配电网时,对电压的影响比较多,因此为了保障分布式光伏发电接入配电网的安全可靠运行,必须加强其对电压的影响进行评估,并采取有效的优化配电网电压质量策略。

[参考文献]

- [1]王鹏,李明,张华.分布式光伏接入对配电网电压稳定性的影响[J].电力系统自动化,2023,47(18):102-110.
- [2]孙瑞波,许权.分布式光伏发电与储能对电网的影响分析[J].电气时代,2024(9):125-127.
- [3]陈磊,刘洋,赵静.分布式光伏发电对低压电网的影响与对策[J].电力科学与工程,2024,40(4):35-41.
- [4]张长松,杨一帅.光伏发电技术在照明和配电网中的应用研究[J].灯与照明,2025,49(02):42-44.
- [5]王刚.分布式光伏接入对配电网电能质量的影响[J].光源与照明,2025,(03):163-165.
- [6]江川.分布式光伏电站并网对区域电网电压与电流稳定性的影响[J].电力设备管理,2025(1):79-81.

作者简介:

陈兴权(1974--),男,汉族,湖南浏阳人,本科,国网湖南省电力有限公司浏阳市供电公司县农电服务公司经理,负责浏阳市农村农电高、低压配网运维管理工作。