

The impact of grid-connected photovoltaic power generation on relay protection in power systems

Zhao Yang

China Power Investment Corporation Guizhou Jinyuan Weining Energy Co., Ltd., Bijie, Guizhou, 553100, China

Abstract

Photovoltaic power generation, as an important renewable energy source, is seeing its grid-connected scale expand with the increasing global demand for clean energy. The principle of photovoltaic power generation involves converting solar energy directly into electricity using the photoelectric effect of semiconductor materials. However, the integration of photovoltaic power generation alters the structure and operational characteristics of the power system, posing numerous challenges to relay protection. This article analyzes the impact of photovoltaic power generation on power system relay protection, including effects on current protection, voltage protection, distance protection, and automatic reclosing, and explores corresponding mitigation measures.

Keywords

photovoltaic power generation; grid connection; power system; relay protection

光伏发电并网对电力系统继电保护的影响

杨昭

国家电投集团贵州金元威宁能源股份有限公司, 中国·贵州 毕节 553100

摘 要

光伏发电作为一种重要的可再生能源发电方式, 随着全球对清洁能源需求的不断增长, 其并网规模在日益扩大。而光伏发电的原理是利用半导体材料的光电效应, 将太阳能直接转化为电能。但因为光伏发电的接入改变了电力系统的结构和运行特性, 所以给电力系统继电保护带来了诸多挑战。本文分析光伏发电并网对电力系统继电保护的影响, 其中包括对电流保护、电压保护、距离保护、自动重合闸等方面的影响, 并且探讨了相应的应对措施。

关键词

光伏发电; 并网; 电力系统; 继电保护

1 引言

现如今传统化石能源的逐渐枯竭以及环境问题的日益严峻, 促使着世界各国都在积极地寻求清洁能源的替代方案。而光伏发电以其清洁、可再生、分布广泛等优势, 已然在电力领域得到了迅猛发展。但大规模光伏发电并网使得电力系统的电源结构发生了显著变化, 其从传统的以同步发电机为主的集中式发电模式, 逐渐地向包含了大量分布式电源的分布式发电模式转变。可这种转变不仅改变了电力系统的潮流分布、短路电流特性等运行参数, 同时也对电力系统继电保护的正常运行产生了深远影响。此时继电保护作为电力系统安全稳定运行的重要保障, 其性能的可靠性和有效性将会直接地关系到电力系统的供电质量和稳定性。因此深入地研究光伏发电并网对于电力系统继电保护的影响, 并且提出有效的应对策略, 具有重要的现实意义。

【作者简介】杨昭 (1996–), 男, 侗族, 中国贵州岑巩人, 本科, 助理工程师, 从事光伏发电站检修研究。

2 光伏发电并网对电力系统运行特性的影响

2.1 对潮流分布的影响

在传统的电力系统当中, 潮流主要是从电源流向负荷, 其方向较为单一。但采用光伏发电并网之后, 分布式电源的接入就使得电力系统的潮流分布变得复杂。当光伏发电出力大于本地负荷需求的时候, 功率就会向电网反送, 从而导致潮流方向发生改变^[1]。

2.2 对短路电流的影响

短路电流大小变化: 若光伏发电系统在正常运行时, 其输出功率主要为有功功率, 此时的短路电流特性与传统同步发电机不同。展开来说: 当电力系统在发生短路故障时, 光伏发电系统能够提供的短路电流大小, 和持续时间与系统的控制策略、逆变器类型等因素有关。一般来说, 光伏发电系统提供的短路电流峰值相对较小, 且衰减较快, 其与传统同步发电机在短路时能够提供较大且持续的短路电流存在着明显的区别。而这种短路电流大小的变化会影响继电保护装置对故障的检测和判断。

短路电流方向改变：分布式光伏发电系统的接入，使得配电网的短路电流方向不再是单一的从变电站母线流向线路末端。处在故障情况之下，短路电流可能会从多个分布式电源注入故障点，进而导致短路电流方向发生变化。

2.3 对电压稳定性的影响

电压波动和闪变：光伏发电的输出功率受光照强度、温度等自然因素影响较大，因此其具有明显的间歇性和波动性。若光伏发电出力发生快速地变化时，便会引起并网点电压的波动和闪变。例如云层快速移动时，光照强度会瞬间发生改变，此时光伏发电系统的输出功率也会随之快速变化，从而导致并网点电压出现波动，最终影响到用户的正常用电^[2]。

电压分布改变：分布式光伏发电系统的接入位置和容量不同，也会对配电网的电压分布产生不同程度的影响。负荷较轻的时候，若分布式光伏发电出力较大，则可能会导致并网点及附近线路电压升高；而在负荷高峰时，若光伏发电出力不足，就可能会加剧电压下降。因为这种电压分布的改变可能会超出电压允许范围，所以影响着电力系统的安全稳定运行。

3 光伏发电并网对电力系统继电保护的影响

3.1 对电流保护的影响

保护范围改变：传统电流保护的定值通常是根据电力系统的最大和最小运行方式来整定的。但光伏发电并网后，系统的运行方式发生了变化，此时短路电流的大小和分布也随之改变。此时就可能导致电流保护的保护区发生变化，其中在某些情况之下，保护区可能会缩小，就会使得部分线路或设备处于保护区之外，其无法得到有效的保护；而在另一些情况下，保护区还可能扩大，从而导致保护装置误动作。

误动作风险增加：分布式光伏发电系统的接入，会使短路电流方向变得复杂^[3]。一旦发生故障时，由于多个电源均会向故障点注入短路电流，则可能会使电流保护感受到的电流大小和方向与正常运行时不同，致使电流保护误动作。

3.2 对电压保护的影响

电压变化导致保护误动：光伏发电并网引起的电压波动和闪变，以及电压分布的改变，会对于电压保护产生影响。具体来说，欠电压保护装置在电压波动过程中，其可能会因为电压短暂下降而误动作；而过电压保护装置在分布式光伏发电出力较大导致电压升高时，同样也可能会误动作，从而切除正常运行的线路或设备。

电压互感器饱和问题：如果含有光伏发电的电力系统当中发生短路故障，其中短路电流的非周期分量和高频分量的影响，就可能会导致电压互感器饱和。而电压互感器饱和会使得二次侧输出电压发生畸变，进一步影响到电压保护装置对电压信号的准确测量和判断，进而会影响保护装置的正常动作。

3.3 对距离保护的影响

测量阻抗变化：距离保护主要是根据测量阻抗与整定阻抗的比较来判断故障位置和动作的。在光伏发电并网之后，系统的潮流分布和短路电流特性会发生改变，此时距离保护测量到的阻抗值也会发生变化。如在分布式光伏发电系统向电网反送功率时，距离保护测量到的阻抗可能会减小，从而导致保护装置误判断故障位置，提前动作。

振荡闭锁问题：实践当中中，光伏发电的间歇性和波动性可能会导致电力系统出现功率振荡。而在功率振荡过程中，距离保护的测量阻抗会在动作区和非动作区之间反复变化，此时就容易引起距离保护的误动作。因为传统的振荡闭锁装置在这种情况下，可能无法准确地判断是振荡还是故障，最终会导致距离保护失去选择性。

3.4 对自动重合闸的影响

重合闸成功率降低：当电力系统发生故障并切除故障线路之后，分布式光伏发电系统还需要一定时间才能够恢复到正常运行状态，在这期间可能会出现电压和频率不稳定的情况。如果在这种情况下进行自动重合闸，就可能会因为系统暂态不稳定而导致重合闸失败，甚至引发系统振荡。

重合闸时间整定困难：传统自动重合闸的时间整定主要考虑的是故障点电弧熄灭和绝缘恢复的时间。而光伏发电并网后，因为有分布式电源的接入，所以故障切除后系统的暂态过程变得复杂，此时就需要综合地考虑分布式电源的恢复特性、系统稳定性等因素来重新整定重合闸时间。一旦重合闸时间整定不当，那么极有可能会影响到电力系统的正常运行。

3.5 对差动保护的影响

不平衡电流增大：含有光伏发电的电力系统里，由于分布式电源的接入位置和运行特性不同，会导致差动保护两侧电流的大小和相位关系发生变化，从而使不平衡电流增大。而不平衡电流的增大可能会导致差动保护的灵敏度降低，甚至在正常运行时误动作^[4]。

分布式电源的影响：分布式光伏发电系统的逆变器控制策略和参数设置，均会影响到其输出电流的特性。当分布式电源接入差动保护范围内时，其输出电流的谐波含量、相位等因素与传统电源存在着不同，该差异会给差动保护的正常动作带来困难。

4 应对光伏发电并网对继电保护影响的措施

4.1 改进保护定值整定方法

考虑分布式电源的影响：相关人员进行继电保护定值整定计算时，应该充分地考虑光伏发电系统的接入位置、容量、运行特性等因素。对此可采用灵活的整定计算方法，即根据电力系统不同的运行方式和光伏发电的出力情况，来实时地调整保护定值，以确保保护装置在各种工况下都能可靠动作。

基于多目标优化的整定:以保护装置的可靠性、灵敏性、选择性和速动性为优化目标,可建立起多目标优化模型,以此对继电保护定值进行优化整定。而通过求解多目标优化模型,即可得到一组满足多个目标要求的保护定值,从而提高继电保护的整体性能。

4.2 研发自适应继电保护技术

实时监测与自适应调整:在光伏发电并网当中可利用先进的传感器技术和通信技术,实时地监测电力系统的运行参数,其中包括电流、电压、功率等,以及光伏发电系统的运行状态。接着通过对监测数据的实时分析和处理,自适应继电保护装置即可根据电力系统运行方式的变化,自行调整保护的動作特性和定值,最终实现对电力系统的实时保护。

智能算法应用:实践中相关人员可将人工智能、大数据分析等智能算法,应用于自适应继电保护技术中。首先要对大量历史运行数据和故障数据的学习和进行分析,以此为基础建立电力系统运行状态和故障模式的预测模型。而当监测到电力系统运行状态发生变化时,自适应继电保护装置便能够利用预测模型提前地调整保护策略,进而提高保护的响应速度和准确性。举个例子来说,利用神经网络算法对电力系统的故障类型和位置进行预测,即可为继电保护装置的動作提供决策依据。

4.3 优化继电保护配置方案

分层分区保护配置:根据电力系统的电压等级、网络结构和分布式电源的分布情况,可采用分层分区的保护配置策略。具体来说:在高压输电网络和低压配电网当中,相关人员可以分别采用不同类型和性能的继电保护装置,并且合理地配置主保护和后备保护。例如,高压输电网络中可采用纵联差动保护、距离保护等主保护,再配合零序电流保护等后备保护。又如,针对低压输电网络中分布式光伏发电系统的接入特点,可以采用具有方向性的电流保护和电压保护,并配置适当的重合闸装置。

协调配合保护装置:加强不同继电保护装置之间的协调配合,目的是避免保护装置之间的冲突和误动作。为此相关人员需要制定合理的保护配合原则和動作逻辑,以确保在故障情况下,各级保护装置能够按照预定的顺序動作,从而实现对故障的快速切除和对电力系统的有效保护。就分布式光伏发电接入的配电网来说,相关人员通过设置不同保护装

置的動作时限和動作定值,即可实现上下级保护装置之间的配合,避免越级跳闸的情况出现。

4.4 加强电力系统通信与监测

构建高速可靠的通信网络:若建立起高速、可靠的电力系统通信网络,就能够实现对光伏发电系统和继电保护装置的实时监测和控制。而此网络需采用光纤通信、无线通信等多种通信技术,才能确保通信的稳定性和实时性。如,用光纤通信网络来实现对分布式光伏发电系统的远程监控和数据传输,可为继电保护装置提供准确的运行数据。

完善监测系统:相关人员通过监测系统实时获取电力系统的运行状态信息,能够为继电保护装置的動作分析和故障诊断提供数据支持^[5]。展开来说,安装高精度的电流、电压传感器,用于实时监测电力系统的电流、电压变化,以及分布式光伏发电系统的输出功率、谐波含量等参数,如此可及时地发现电力系统出现的异常情况。

5 结论

光伏发电并网在带来清洁电能的同时,也给电力系统继电保护带来了一系列挑战。而出现挑战的原因在于,光伏发电的接入改变了电力系统的潮流分布、短路电流特性和电压稳定性等运行特性,进而影响了电流保护、电压保护、距离保护、自动重合闸和差动保护等继电保护装置的正常运行。相关人员为应对这些挑战,则需要从改进保护定值整定方法、研发自适应继电保护技术、优化继电保护配置方案以及加强电力系统通信与监测等方面入手,对其采取有效的措施,从而提高继电保护的性能和可靠性。

参考文献

- [1] 杨鹏杰,徐宇,李磊.基于分布式光伏发电接入配电网系统后对继电保护的影响研究[J].电气时代,2024,(03):44-48.
- [2] 张帆,赵中众.光伏并网对配电网继电保护的影响研究[J].通信电源技术,2024,41(05):216-218.
- [3] 李庆才,刘莉芸.大规模光伏发电对电力系统的影响策略分析[J].集成电路应用,2024,41(07):120-121.
- [4] 王逊,侯丽君.新能源并网对继电保护系统的影响及其应对策略研究[J].全面腐蚀控制,2024,38(12):70-72.
- [5] 甄自竟,杜文娟,苏田宇,等.风-光伏混合电场并网对电力系统次同步振荡的影响[J].南方电网技术,2019,13(03):64-72.