

新能源并网下继电保护的适应性与改进措施

陈艳旗 郑宇丁 左敏

内蒙古电力(集团)有限责任公司巴彦淖尔供电公司 内蒙古巴彦淖尔市 015000

DOI: 10.12238/ems.v7i11.16079

[摘要] 在新能源大规模并网背景下, 电网结构与运行特性发生显著变化, 对继电保护带来挑战。探讨新能源并网下继电保护的适应性, 分析其在故障特征、保护原理等方面的问题。并提出优化保护配置、改进算法等改进措施, 以提升继电保护在新能源并网环境下的可靠性与有效性。

[关键词] 新能源并网; 继电保护; 适应性; 改进措施

引言:

随着新能源发电技术的快速发展, 越来越多的新能源接入电网。新能源的间歇性、波动性等特点使电网故障特性变得复杂, 传统继电保护的适应性受到严峻考验。研究新能源并网下继电保护的适应性及改进措施, 对保障电网安全稳定运行具有重要意义。

1. 新能源并网对继电保护的影响

1.1 故障特征变化

新能源并网使得电力系统的故障特征发生显著变化, 传统继电保护面临全新的挑战。新能源发电设备如风电、光伏等主要通过电力电子变流器接入电网, 其故障电流的幅值、相位和衰减特性与传统同步发电机存在本质区别。当系统发生故障时, 新能源设备的短路电流受变流器控制策略限制, 无法像同步发电机那样提供较大的短路容量, 导致故障电流幅值较低且上升速度缓慢, 难以触发传统依赖大电流幅值的保护装置动作。同时, 新能源并网系统的故障电流中含有大量谐波成分, 电流波形畸变严重, 影响传统保护算法对故障特征量的提取和判断。此外, 新能源发电的波动性和间歇性使得系统运行方式频繁变化, 故障时的电流分布和流向更加复杂, 传统基于固定运行方式设计的继电保护难以适应这种动态变化, 容易出现保护误动或拒动的情况。

1.2 保护原理适用性问题

新能源并网对传统继电保护原理的适用性提出了严峻考验, 许多基于同步发电机特性设计的保护原理在新能源系统中不再适用。传统继电保护多基于故障时的工频分量、电流相位关系或阻抗特性等原理实现, 而新能源设备的电力电子接口改变了故障电流的生成机制, 使得这些传统原理的物理

基础发生变化。例如, 距离保护依赖故障时测量阻抗与故障距离的线性关系, 但新能源并网后故障电流的限流特性导致测量阻抗计算出现偏差, 保护范围不稳定甚至误判故障位置。电流差动保护要求两侧电流具有明确的相位关系和幅值比例, 但新能源设备的低惯量特性和变流器控制策略会导致两侧电流相位不一致、幅值比例失调, 影响差动保护的灵敏度和可靠性。此外, 传统保护中的方向性元件基于工频电流相位判断故障方向, 而新能源系统故障电流的谐波干扰和相位偏移可能导致方向性判断错误, 失去保护的选择性。

2. 继电保护适应性分析

2.1 现有保护的局限性

现有继电保护在新能源并网系统中暴露出明显的局限性, 难以满足系统安全稳定运行的需求。传统保护装置的整定计算基于系统最大和最小运行方式下的短路电流, 而新能源并网后系统短路电流水平大幅降低且波动范围扩大, 导致保护定值难以合理设置, 要么出现保护区缩小的问题, 要么在轻微故障时过度动作影响供电连续性。现有保护的响应速度无法适应新能源系统的快速动态变化, 当新能源出力突然波动或发生故障时, 保护装置的检测和动作延迟可能导致故障蔓延, 引发连锁反应。此外, 现有保护多针对单一故障类型设计, 缺乏对新能源并网特有的复合故障或高阻接地故障的识别能力, 在这些复杂故障场景下保护可靠性大幅下降。同时, 现有保护系统的信息交互能力较弱, 无法综合利用新能源设备的状态信息和控制系统数据, 难以实现对故障的精准定位和快速隔离。

2.2 不同新能源类型的影响差异

不同类型的新能源并网对继电保护的影响存在显著差

异,这种差异源于各类新能源发电技术的原理和特性不同。风电并网系统中,风电机组的类型(如双馈感应风机、直驱永磁风机)对故障特征影响较大,双馈风机在故障时转子侧变流器会采取限流措施,导致故障电流含有较多谐波且幅值受限,而直驱风机的全功率变流器控制使得故障电流更难被传统保护检测。光伏并网系统受光照强度影响显著,出力波动较大,其故障电流特性受逆变器控制策略影响,呈现出低幅值、快速衰减的特点,且在部分阴影遮挡或组件故障时容易出现非对称故障特征,增加保护判断难度。生物质能、地热能等新能源发电多采用同步发电机或异步发电机并网,其故障特征相对接近传统电源,但规模较小且接入位置分散,可能导致局部电网保护配合困难。这些不同新能源类型的特性差异要求继电保护采取差异化的适应性措施,避免采用统一方案导致保护效果不佳。

3. 改进措施探讨

3.1 优化保护配置方案

优化保护配置方案是提升新能源并网系统继电保护适应性的基础措施,需根据新能源类型、接入容量和系统拓扑特点进行针对性设计。对于大规模新能源基地集中并网场景,应采用“主保护+后备保护+就地辅助保护”的多层级保护配置,主保护采用基于纵联原理的快速保护实现故障快速隔离,后备保护扩大保护范围并设置自适应定值,就地辅助保护针对新能源设备特有的故障类型提供补充保护。分布式新能源分散并网时,应简化保护配置并加强与配电网保护的协调配合,在并网节点设置具备方向判别功能的过流保护,同时在配电线路配置自适应分段保护,避免新能源并网对原有配网保护的影响。此外,需合理规划新能源并网系统的保护区域,明确各保护装置的职责和配合关系,设置可靠的保护死区覆盖措施,确保系统任何位置的故障都能被有效检测和切除,同时减少保护误动对新能源发电稳定性的影响。

3.2 改进保护算法设计

改进保护算法设计是提高继电保护在新能源并网系统中可靠性的核心手段,需突破传统算法的局限性,适应新能源故障特征。基于故障暂态量的保护算法可有效利用新能源故障时的高频暂态分量,通过提取暂态电流、电压的突变特征实现故障快速识别,这种算法不受工频电流幅值限制,对低幅值故障电流具有较高灵敏度。自适应保护算法能够实时监

测新能源出力和系统运行状态,根据当前运行方式自动调整保护定值和动作门槛,确保在不同工况下保护都能保持合理的灵敏度和选择性。针对新能源故障电流的谐波特性,可采用基于小波变换、傅里叶变换的信号处理算法,滤除谐波干扰并准确提取基波或特征频率分量,提高保护算法的抗干扰能力。此外,结合新能源设备控制信息的保护算法将变流器状态信号、控制指令等纳入故障判断依据,利用设备内部信息增强对故障类型和位置的识别精度,减少单纯依赖外部电气量带来的判断误差。

3.3 引入智能化技术

引入智能化技术为新能源并网系统继电保护提供了全新的发展方向,能够大幅提升保护的自适应能力和智能化水平。人工智能技术如神经网络、决策树等可通过学习大量新能源故障样本数据,建立故障类型识别和保护动作决策模型,实现对复杂故障特征的准确分类和快速响应,尤其适用于传统算法难以处理的非典型故障场景。大数据分析技术可整合新能源发电数据、系统运行数据和保护动作历史数据,通过挖掘数据关联规律识别保护潜在缺陷,预测保护误动风险并提前发出预警,为保护整定和维护提供数据支持。数字孪生技术构建新能源并网系统的虚拟镜像,实时映射物理系统的运行状态和故障演化过程,可在虚拟环境中进行保护策略仿真验证和优化,缩短保护方案的调试周期并降低现场试验风险。此外,基于物联网的智能感知技术可在新能源设备和线路上部署更多智能传感器,实现故障信息的多维度采集,为保护算法提供更丰富的数据源,提升保护的全面性和可靠性。

4. 改进措施的实施难点

4.1 技术实现难题

改进措施在技术实现过程中面临诸多挑战,制约着新能源并网继电保护性能的提升。新型保护算法的研发需要攻克复杂故障特征提取的技术瓶颈,新能源故障电流的低幅值、高谐波和快速变化特性,使得传统信号处理方法难以精准捕捉有效特征,而基于暂态量或人工智能的算法对数据采集精度和计算速度要求极高,普通硬件平台难以满足实时性需求。保护装置的硬件升级存在技术壁垒,新型算法需要更高性能的处理单元、更大容量的存储单元和更快速的通信接口,同时要适应新能源场站恶劣的电磁环境,确保装置在强干扰下的稳定运行,硬件设计需平衡性能、成本和可靠性三者关系。

现场调试与验证难度大, 新能源并网系统运行方式复杂且波动频繁, 难以在实际系统中模拟所有故障场景, 实验室仿真与现场实际工况存在差异, 导致部分改进措施在现场应用时效果不及预期, 需要长期试运行和反复优化才能达到设计目标。

4.2 与现有系统的兼容性

改进措施与现有电力系统的兼容性问题是在实施过程中的突出难点, 直接影响改进措施的落地应用。现有继电保护系统由不同厂家、不同年代的设备组成, 采用的通信协议、数据格式和整定原则存在差异, 新型保护装置接入时难以实现信息无缝交互, 导致数据共享困难, 无法充分发挥智能化保护的协同优势。保护定值的协调配合复杂, 改进措施往往需要调整原有保护的定值或动作逻辑, 而现有系统中各保护装置之间存在严格的配合关系, 局部改动可能破坏整体保护的选择性和速动性, 引发新的保护误动或拒动风险, 需要对整个系统的保护定值进行重新核算和优化, 工作量巨大。新能源场站与主网保护的接口问题突出, 新能源场站的保护配置与主网保护在原理和动作特性上存在差异, 当发生跨区域故障时, 两者的动作配合容易出现不协调, 导致故障切除时间延长或保护范围重叠, 影响系统稳定。此外, 现有调度自动化系统和 EMS 系统难以适配新型保护的信息输出需求, 无法有效处理保护装置上传的海量状态数据和故障信息, 导致保护与监控系统脱节, 难以实现基于全景数据的智能决策。

5. 未来发展趋势

5.1 新型保护技术展望

未来新型保护技术将朝着自适应、智能化和高可靠性方向发展, 为新能源并网系统提供更精准的保护解决方案。自适应保护技术将实现全工况下的动态调整, 通过实时感知新能源出力、系统拓扑和运行方式的变化, 自动优化保护定值、动作门槛和算法参数, 确保在任何工况下保护都能保持最佳性能, 无需人工干预即可适应系统的动态变化。基于多源信息融合的保护技术将得到广泛应用, 整合新能源设备的内部状态信息、变流器控制信号、气象数据和地理信息等多维度数据, 突破传统仅依赖电气量的局限, 构建更全面的故障判断依据, 提高复杂故障场景下的识别准确率。量子计算和边缘计算技术的引入将突破现有硬件限制, 量子计算可实现海

量数据的快速处理和复杂算法的实时运行, 边缘计算则将部分计算任务下沉至保护装置本地, 减少数据传输延迟, 提升保护的响应速度, 为新型保护算法的落地提供强大算力支撑。

5.2 与电网智能化协同发展

继电保护将与电网智能化实现深度协同发展, 成为新型电力系统安全稳定运行的核心支撑。保护系统将深度融入电网数字孪生平台, 通过实时映射新能源并网系统的物理状态, 在虚拟空间中实现保护策略的仿真验证、故障推演和优化决策, 将现场调试风险转移至虚拟环境, 同时基于数字孪生的全生命周期管理, 实现保护装置的状态评估和预测性维护。保护与调度、控制系统的协同将更加紧密, 通过构建统一的信息交互平台, 实现保护信息、运行数据和控制指令的实时共享, 保护装置不仅能快速切除故障, 还能向调度系统提供故障类型、位置和严重程度等详细信息, 辅助调度人员制定最优恢复策略, 实现故障处理的全过程智能化。人工智能技术将在保护领域实现规模化应用, 基于深度学习的故障诊断模型可自主学习新能源系统的故障规律, 不断优化识别精度, 智能决策算法能根据系统运行状态动态调整保护策略, 实现保护的自学习和自进化, 大幅降低人工维护成本。

结束语:

新能源并网下继电保护适应性研究是保障电网安全稳定的关键。通过对继电保护面临问题的分析及改进措施的探讨, 虽有实施难点, 但随着技术发展, 有望不断提升继电保护性能。未来应持续探索新型保护技术, 推动其与电网智能化协同, 确保新能源大规模并网后的可靠运行。

[参考文献]

- [1] 谢嗣龙. 新能源并网对配电继电保护的影响研究[J]. 科技资讯, 2025, 23 (04): 93-95.
- [2] 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.
- [3] 胡永伟, 徐超, 张峰. 光伏新能源并网对继电保护的影响分析[J]. 科学技术创新, 2024, (22): 125-128.
- [3] 马晨昕. 光伏并网变电站继电保护及并网方式改进的研究[D]. 太原科技大学, 2023.
- [4] 刘鹏博. 考虑风电接入的配电网继电保护方案与中性点接地方式改进研究[D]. 山东大学, 2022.