

Analysis of Relay Protection Collaborative Control Strategy for Substation under New Energy Grid Connection

Mengfei Zhuo Jianpeng Zhang

1. Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250014, China
2. Shandong Zhaojin Membrane Technology Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250014, China

Abstract

With the rapid development of the new energy industry, renewable energy sources such as wind power and photovoltaic power generation have seen increasing installed capacity, gradually becoming indispensable components in modern power systems. However, new energy generation units often exhibit characteristics including significant output fluctuations, low prediction accuracy, and complex power electronic device properties, which frequently lead to special transient faults during grid integration. These faults feature low instantaneous peak values but rapid decay rates, accompanied by substantial higher-order harmonic components, posing substantial challenges to traditional substation relay protection devices. Conventional relay protection systems typically operate in isolated modes, relying on pre-set fixed parameters for configuration, which may result in misjudgments or functional failures, thereby compromising grid safety and stability. This paper analyzes the necessity of implementing coordinated relay protection control in substation systems under new energy environments based on practical engineering applications.

Keywords

new energy grid integration; substation; relay protection; collaborative control

新能源并网下变电站继电保护协同控制策略分析

卓梦飞 张健鹏

1. 山东电力工程咨询院有限公司, 中国·山东 济南 250014
2. 山东招金膜天股份有限公司, 中国·山东 济南 250014

摘要

在新能源产业蓬勃发展的情况下, 风力发电、光伏发电等可再生能源的装机容量越来越大, 逐渐成为现代电力系统中不可缺少的重要部分。由于新能源发电单元普遍具有出力波动大、预测准确率低、电力电子设备特性复杂等特点, 在接入电网的时候常常会带来一些特殊的暂态故障。这类故障瞬时峰值低但是衰减速率快, 带有很多高次谐波成分, 给传统的变电站继电保护装置造成了很大的困难。传统的继电保护系统一般采用独立运行方式, 依靠事先设定好的固定参数来配置, 从而造成误判或者功能失效, 给电网的安全稳定运行带来一定的风险。本文从实际工程出发, 对新能源环境下实现变电站继电保护协同控制的必要性进行分析。

关键词

新能源并网; 变电站; 继电保护; 协同控制

1 引言

在“双碳”战略之下, 我国新能源产业正在快速向规模化发展迈进, 风力发电、光伏发电等新型可再生能源装机容量不断增大。该格局对于传统的电力系统结构和运行方式产生了深远的影响, 在以变电站为枢纽的电网核心部分中, 继电保护的功能越来越重要。目前, 传统的变电站继电保护设备大多采取分散式的设计方式, 依靠常规同步发电机的稳态特性来确定固定的参数阈值, 在面对日益繁杂的分布式电

源接入情况时, 存在着诸多问题。本文立足于实际工程需要, 针对高渗透率新能源背景下继电保护优化策略展开理论分析, 从关键技术路径和创新方向两方面着手, 以期给新能源消纳能力的提升以及输电网安全保障能力整体提高提供数据支撑和实践经验积累。

2 新能源并网下变电站继电保护协同控制意义

2.1 保障电网安全稳定运行

变电站是电力系统中重要的枢纽设备, 主要是用来完成电能的输送、变换、分配等工作的。继电保护系统被称作电网安全运行的第一道防线, 它的性能好坏直接关系到电网整体安全稳定水平。在新能源发电迅猛发展的大环境下, 风

【作者简介】卓梦飞(1992-), 女, 中国河南驻马店人, 硕士, 工程师, 从事电气工程、继电保护、新能源研究。

力、光伏等可再生能源发电装置普遍使用电力电子逆变技术进行并网运行。由于这些设备受到自然环境因素(光照强度、风速波动)的影响较大,因此所造成的短路电流具有低峰值、快衰减、多谐波成分等特点,给传统的电网故障处理方式带来了很大的考验。与由同步发电机产生的典型短路电流相比,该种新型短路电流有明显不同。传统的继电保护装置大多采取独立运行的方式,参数的设定比较固定,设计时一般依据的是常规电网稳定静态运行的状态,在新能源大规模接入之后复杂的动态场景下很难应对。配置不当会引发拒动或者误动作等状况,不但会造成连锁故障,还会削弱电网抵御外界干扰的能力,严重时还会引发局部乃至全网停电事故。在这种情况下,对继电保护系统进行协同调控的研究就显得十分必要。

2.2 提升新能源消纳能力

新能源消纳效率影响着我国“双碳”目标的推进速度以及能源结构转型的效果,也是保证清洁能源可持续发展的因素。变电站继电保护系统适应性成为决定新能源消纳水平的又一变量。由于风能、太阳能等可再生能源装机容量不断增大,其在总发电量中所占比例也在逐渐提高。传统的继电保护设备不能适应新能源出力的高频变化以及特殊的电流特性,在实际使用过程中经常出现误判而造成频繁越级跳闸或者非计划停运的情况,从而降低了电网对新能源接入的兼容性,造成资源浪费。在这种情况下,继电保护协同控制技术就产生了,它依靠改变保护定值和策略来辨别复杂的工况下出现的故障信号,从而减少由于保护动作造成的机组脱网次数,大大提高变电站接纳高比例新能源的能力。它符合国家能源转型战略要求,给大规模新能源接入提供技术支持,助力创建清洁低碳、安全高效的现代能源体系。

2.3 优化变电站运维管理

新能源接入电网之后,变电站继电保护系统所处的运行环境越来越复杂。设备种类和数量的急剧增加大大增加了运维工作的难度,也给传统的以人工为主导的管理模式带来了巨大的压力。在这种情况下,依靠人工进行定值整定、故障诊断和检修维护等工作的效率低,而且容易造成误操作的风险,给电网的安全稳定运行带来隐患。尤其是在常规运维中,各个保护装置用独立分散的方式进行巡检,造成协同作业效果不好,加大了人力资源需求,并且提高了运营成本。在此情况下,研究一种基于协同控制理论的新型继电保护方案就显得十分重要。本方案主要目的是建立一体化的防护体系,把新能源发电模块和智能监控平台结合起来,达到动态调节保护参数的目的,从而提高系统自动化管理水平。采用先进的传感技术以及数据分析算法,可以对异常状态进行实时监测,并且可以准确地找到故障源,给运维决策提供可靠的依据,从而提高资源配置效率,满足基层变电站实际需要,促进电力系统智能化发展^[1]。

3 新能源并网下变电站继电保护协同控制现状

3.1 保护定值适配性不足

目前变电站继电保护系统大多采取固定整定值的设置方式,参数的确定主要是根据传统同步发电机组的运行特性以及典型电网工况来实现的。该框架不能适应新能源接入以后复杂的多变实际运行环境。新能源发电装置(光伏、风电)出力受光照强度、风速等自然因素影响大,具有很强的随机性和不确定性。此类新能源在并网时,其短路暂态电流具有低峰值、快衰减、高谐波含量等特点,与传统的旋转电机形成的故障电流有较大的不同。现有的固定整定策略不能很好地适应新能源出力的变化以及它特有的故障电流分布规律,造成目前的保护定值与实际运行条件相差很大:一方面可能会因为整定值过高而导致越限事件或者误动作;另一方面也可能会因为整定值过低而导致重要信息丢失或者拒动的风险增大。这些情况既削减了继电保护系统可靠性的水准,又成了新能源有效接纳的技术障碍之一^[2]。

3.2 保护装置协同性较差

目前变电站继电保护设备大多采用分散式独立运行的方式,各个保护装置如线路保护、主变保护、母线保护、电抗器保护等分别担负起不同的功能模块,但是还没有形成统一的协同工作机制。故障处理时各个子系统之间信息交流、状态同步出现较大问题,造成整个防护水平受限。当电网出现异常情况的时候,传统的保护方案一般依靠单个装置独立完成事件的检测和响应,不能达到全局最优的整体防护目的,容易出现动作顺序错误或者判断失误的情况,还会导致越级跳闸,扩大停电范围,威胁系统稳定。继电保护系统同新能源设备调控单元以及调度中心之间的协作机制还需要加以改善,缺少对相关动态数据和指令信号的实时获取能力,致使保护策略同实际运行需求存在一定的差距,从而影响到电网的安全稳定程度。

3.3 通信支撑能力不足

继电保护协同控制功能的实现,核心就是建立高效的、可靠的通信网络来保证技术上的支持。部分变电站现有的通信设施还存在着明显的不足,不能很好地满足协同控制对于传输可靠性提出的要求。就架构而言,这些站点大多采取传统的通信手段,它们的物理联系容易被单个故障所波及,而且缺少必要的冗余安排,当主干通道出现故障的时候,就会造成保护装置、新能源设备以及控制系统之间的通信断开,进而降低整体的防护水平。设备运行中,由于长期使用造成数据处理能力下降的现象比较普遍,传输延时长、误码率高,这些都会影响到核心数据的即时共享,从而影响到调度指令下达的速度和精度。由于不同的制造商所生产出的保护装置以及其配套的通信模块的兼容性不好,各自遵循的标准协议也存在差异,从而造成典型的“信息壁垒”即数据孤岛现象,进而影响到跨系统之间的协同工作,这也是目前急需解决的

技术难题之一。

表 1 继电保护

运行场景	保护误动率 (%)	故障切除时间 (ms)	新能源机组脱网率 (%)
传统保护模式 (无协同)	3.2	80-120	2.8
协同控制模式	0.5	30-50	0.3

4 新能源并网下变电站继电保护协同控制策略

4.1 保护定值协同优化策略

为了克服新能源发电出力急剧变化、故障电流特性复杂、传统固定定值保护不能满足要求的技术难题，本文提出了用多维特征融合来动态调节定值的一种新的方法。该方法通过对工程项目实际需求进行系统解析，结合实时采集到的光伏组件功率输出曲线、风电场运行状态以及各类新能源设备技术属性等数据，创建一个以智能化调控为最终目的的新的保护定值管理体系，明显改善了故障定位的精确度和应急处置的速度，而且很好地避免了误判或者漏报的情况出现。光伏系统由于具有典型的低幅值、快速衰减的特点，对过流保护的动作门槛进行适当的降低，同时改进延时设置，既可以保证短路事件得到及时的响应，又不会造成不必要的断电，风电机组下利用高级智能算法，根据以往的风速记录等重要参数的变化情况，自动产生临界值，实现对特殊天气状况的精确控制，保证整个系统的长久稳定运行^[1]。

4.2 多装置协同联动策略

打破传统继电保护设备单独工作模式，创建起多装置协同防护体系，促使变电站内的各种保护装置（线路保护、主变保护、母线保护、电容保护等）达成高效配合，塑造起统一的防御架构。当电网出现故障的时候，各个保护单元依靠高速通信网络及时交换核心的电气参数（电流、电压和相角等），经由综合分析来判定故障种类，找出具体的故障点以及它的影响范围，进而改善保护动作的次序，明显削减误判和漏检的可能性，而且可以避免越级跳闸的发生。同时加强继电保护机制和新能源发电控制系统之间的深度融合，在风力或者光伏设备出现异常的时候，及时发出预警信号，帮助相关设施迅速切换到降载或者孤岛模式，防止连锁反应的发生；当电力系统环境发生改变的时候，各个子系统可以自行调节阈值的设定，保证整个防护体系可以灵活应对新的工况要求。创建闭环监控体系，定时收集并评判各个执行单元

的历史数据，不断改良协同算法，加强系统对新出现的复杂运维情况的应对能力，给新型能源接入之后的复杂运维环境赋予可靠的支撑^[4]。

4.3 通信系统协同保障策略

新能源接入之后，电网运行模式变得越发繁杂且动态，这就对数据传输效率以及实时反应速度有了更高的要求。为了保证继电保护系统高效运转，必须要创建起一个稳定可靠的通信支撑平台。本阶段依照电力行业标准制订统一的数据交互协议，运用先进的通信技术以加快信息传递的速度和精确度，使故障报警以及控制指令可以迅速准确地传递到指定的终端设备上。同时对现有的通信网络架构进行系统的设计和优化，在重要的环节上设置冗余备份的方式，以防止由于单个节点的故障而造成整个系统的瘫痪，从而提高整个系统的可靠性。经由定时巡检、及时更新老旧设备、持续监测通信链路状况等方式加以保证，可继续加强长久稳定的运行根基，给继电保护联合调控赋予有力的技术支撑，从而达到快速且准确的操作目的。

5 结语

综上所述，随着新能源接入规模不断增大，变电站继电保护的协同控制技术也成了提高电网安全稳定性和新能源消纳能力的主要研究方向。本文以工程实际需求为出发点，从新能源并网背景下变电站继电保护协同控制研究背景及实践意义入手，对已有的研究成果进行系统的分析和深入的探讨。在此基础上提出定值优化、设备协调运行、通信网络加强、运维管理改善等一体化的解决办法。从实验结果可知，本方案可以较好地克服新能源输出的波动性给继电保护系统带来的影响，提高继电保护系统整体性能，并且可以打破传统保护装置由于误判或者功能失效而造成的技术瓶颈。该成果给基层变电站继电保护系统改造升级提供科学依据和技术支撑。

参考文献

- [1] 田国栋,安庆丰,郭泽宜. 智能变电站继电保护超高压断路器远程监控方法[J].微型电脑应用,2026,42(01):141-144+150.
- [2] 周芳芳,冯彦栋,牟浩宇. 智能变电站中流变饱和对继电保护误动影响分析[J].电力设备管理,2026,(01):28-30.
- [3] 夏金亮,侯国志. 变电站二次设备继电保护状态监测与检修任务分配研究[J].电力设备管理,2026,(01):184-186.
- [4] 赵崇军. 智能变电站继电保护在线监测技术应用及可靠性提升[J].家电维修,2026,(01):226-228.