

新能源占比提升下继电保护配置优化研究

王浩哲

国网雄安新区供电公司

DOI:10.12238/pe.v3i4.15070

[摘要] 随着新能源发电装机容量快速增长,电力系统继电保护面临诸多挑战,大规模新能源并网改变传统电网运行特性,影响系统短路电流分布特征。光伏电站与风电场经过电力电子变换装置接入电网,导致系统暂态特性发生显著变化。在新能源高渗透率场景下,传统继电保护难以满足系统安全运行需求,针对新能源并网对继电保护配置产生的不利影响,提出基于自适应整定算法优化保护定值方案,研发智能化保护配置技术,应用新型保护装置,通过建立典型新能源并网系统仿真模型,对不同新能源渗透率工况进行分析验证,结合工程实践评估优化方案技术经济性,研究成果为新能源高占比电力系统继电保护配置提供理论支撑与实践指导。

[关键词] 新能源并网; 继电保护; 自适应整定; 智能配置; 保护性能

中图分类号: TM774 **文献标识码:** A

Research on Optimization of Relay Protection Configuration under the Increase of New Energy Proportion

Haozhe Wang

State Grid Xiongan New Area Power Supply Company

[Abstract] With the rapid growth of the installed capacity of new energy power generation, the relay protection of the power system is facing many challenges. The large-scale integration of new energy into the grid changes the operational characteristics of the traditional power grid and affects the short-circuit current distribution characteristics of the system. Photovoltaic power stations and wind farms are connected to the power grid through power electronic conversion devices, resulting in significant changes in the transient characteristics of the system. In scenarios with a high penetration rate of new energy, traditional relay protection is difficult to meet the requirements of system safe operation. In view of the adverse impact of new energy grid connection on relay protection configuration, an adaptive tuning algorithm is proposed to optimize the protection setting scheme, develop intelligent protection configuration technology, apply new protection devices, and establish a simulation model of a typical new energy grid connection system. The working conditions of different penetration rates of new energy were analyzed and verified. Combined with engineering practice, the technical and economic aspects of the optimization scheme were evaluated. The research results provide theoretical support and practical guidance for the relay protection configuration of power systems with a high proportion of new energy.

[Key words] Grid connection of new energy Relay protection Adaptive tuning Intelligent configuration Protective performance

新型电力系统建设规划推动新能源加速发展,风电光伏等新能源装机规模持续攀升,新能源发电设备通过变流器并网运行,具有出力波动性强与暂态响应特性复杂等特点。大规模新能源接入导致系统短路电流幅值衰减与相角变化以及分布规律改变,使传统继电保护面临诸多技术挑战,现有保护配置方案未充分考虑新能源出力特性,存在保护灵敏度不足与选择性配合困难等问题。

为保障电力系统安全稳定运行,亟需开展继电保护配置优化研究,探索适应新能源特点的保护技术方案,通过分析新能源并网对继电保护影响机理,提出创新性保护配置方法,研发先进保护装置,对推动新能源电力系统保护技术发展具有重要意义。

1 新能源并网对电力系统继电保护的影响分析

1.1 新能源发电特性及其对系统短路电流的影响

新能源发电设备通过变换装置接入电网运行,具备独特电气特性与动态响应机制,光伏将太阳能转化为直流电能,经逆变器实现并网发电,其输出功率随光照强度变化呈现波动性特征,风力发电则利用风能带动发电机组产生交流电,通过变流器控制实现并网,变流器控制策略限制新能源设备短路电流输出能力,致使系统故障特征发生改变,大规模新能源并网引起系统短路容量下降,短路电流幅值降低至额定电流2-3倍,远低于传统同步发电机组10-15倍额定电流输出水平,新能源渗透率提升导致系统短路电流分布规律改变,故障暂态过程中电压恢复特性减弱,暂态波动加剧,短路电流相角偏移幅度达到15-25度,引起方向判别准确性下降,系统阻抗特性变化使测距保护误差增加。

1.2 新能源并网导致的保护配置难点

新能源大规模接入改变传统电力系统网络结构与运行模式,对继电保护带来严峻挑战,故障特征显著发生变化,继电保护的难度大幅提升,从而威胁系统安全恢复。针对故障特性算不准与故障区域辨不明以及故障安全恢复难等关键问题亟待解决^[1],系统暂态特性变化使测距保护测量误差增加,故障点阻抗测量偏差达到8%-12%,新能源并网点分散分布破坏传统网络结构,造成保护配合关系复杂化,系统短路阻抗特性改变引起保护测量误差增大,测距保护测量阻抗受新能源出力波动影响产生偏差。大规模新能源接入后系统惯量降低,频率波动加剧,对低频保护整定提出更高要求。

1.3 传统继电保护方案的局限性

传统继电保护方案基于同步发电机组主导电源结构设计,难以适应新能源高比例接入场景,导致传统的继电保护暴露出了较多的问题,严重影响了系统的发展^[2],方向保护受电流相角偏移使选择性降低,保护配合关系难以协调,低压穿越过程中新能源并网点电压恢复特性减弱,故障切除后电压恢复时间延长至500-800毫秒,影响低压保护功能正确动作,系统暂态特性变化使传统保护装置测量准确性下降,保护功能受限,常规保护配置方案缺乏自适应调整能力,难以满足新型电力系统安全稳定运行需求,传统保护装置信息获取能力有限,无法全面感知新能源并网引起系统特性变化。

2 新能源高占比下继电保护配置优化方案

2.1 基于自适应的保护定值整定方法

针对新能源出力波动引起系统运行方式频繁变化特点,建立自适应保护定值整定模型,依据新能源渗透率水平确定基准定值,结合实时运行方式进行动态校正,自适应保护定值公式如下:

$$Z_{\text{set}} = Z_{\text{base}} \times K_1 \times K_2 \times K_3 \quad (1)$$

其中 Z_{base} 为基准定值, K_1 为新能源出力修正系数, K_2 为

系统运行方式修正系数, K_3 为暂态特性修正系数,保护灵敏度

校正计算方法:

$$K_{\text{sen}} = \frac{I_{f_{\min}}}{(I_{\text{set}} \times K_{\text{rel}})} \quad (2)$$

式中 $I_{f_{\min}}$ 为最小故障电流, I_{set} 为保护动作电流定值, K_{rel} 为可靠系数,通过在线监测系统运行状态实现保护定值自适应调整,提升保护配置适应性,根据新能源出力水平建立分段定值策略,实现保护性能动态优化。

2.2 考虑新能源出力特性的保护策略研究

针对新能源发电设备短路电流特性,设计基于暂态波动特征识别的保护策略,通过提取故障电流波形包络特征建立故障判据,结合新能源并网点电压恢复特性优化低压保护功能,基于新能源出力特性构建自适应保护域,引入动态阻抗轨迹分析方法提升测距保护可靠性。设计考虑新能源暂态特性的方向判别算法,优化相角补偿策略提高方向保护选择性,采用基于故障分量的保护判据,减小新能源出力波动对保护功能影响,建立考虑新能源渗透率的保护整定策略,实现保护定值与系统运行状态协调匹配。

2.3 智能化继电保护配置技术

新型电力系统发展背景下,新能源高比例接入,其迥异的运行特性与故障特征导致传统以线性叠加原理为理论基础的故障分析方法与继电保护原理动作性能受到严峻挑战^[3],基于人工智能技术开发智能化继电保护配置系统,实现保护参数自动整定与优化配置,采用深度学习算法建立系统运行特性分析模型,预测新能源出力对保护性能影响,构建基于知识图谱的保护配置专家系统,提供智能化保护方案设计建议,利用数据挖掘技术分析历史故障数据,优化保护定值整定规则,开发基于神经网络的故障特征识别算法,提升系统故障判别准确性,建立智能化保护配置评估体系,实现保护方案动态调整。

2.4 新型保护装置的应用研究

继电保护技术对智能电网的安全与稳定运行起到至关重要的作用^[4],研发适应新能源并网特点的新型保护装置,提升故障识别能力与保护性能,开发基于同步相量测量技术的wide-area保护装置,实现系统级故障快速识别与隔离,采用先进数字信号处理技术提升保护测量精度,优化故障波形特征提取方法,设计基于光纤通信的分布式保护装置,构建高可靠性保护信息传输网络,研制具备自学习功能的智能保护终端,支持保护策略在线优化与自适应调整。

3 优化方案的仿真验证与工程应用

3.1 典型系统仿真模型建立

构建以新能源为主力电源的新型电力系统是实现“双碳”战略目标的关键技术途径^[5],基于实际电网建立电磁暂态仿真模型,包含新能源并网系统,采用详细建模方法构建光伏发电系统模型,涵盖光伏阵列特性与最大功率跟踪控制策略以及并网逆变器控制系统,风电场模型包括风机空气动力学特性、双馈异

步发电机与变流器控制策略以及机械传动系统,构建考虑新能源渗透率变化的系统等值模型,引入同步发电机组暂态特性参数,建立包含励磁系统与调速系统的详细模型,设计新能源并网系统保护控制模块,实现故障模拟与保护功能验证。采用实测数据标定仿真模型参数,提升模型准确性与仿真结果可靠性,建立新能源并网系统暂态稳定性分析模型,评估系统动态特性与暂态响应过程,完善系统建模方法。

3.2 不同新能源渗透率下的保护性能分析

通过仿真计算分析不同新能源渗透率工况下系统保护性能变化特征,如表1所示,新能源渗透率从10%提升至50%过程中,系统短路电流幅值降低45%,故障点电压恢复时间延长125%,保护测距误差增加至12.5%,建立新能源渗透率与保护性能关联度评估模型,量化分析保护可靠性影响因素,针对高渗透率场景开展保护配置方案验证,评估自适应保护定值整定效果,对比分析传统保护方案与优化配置方案在不同运行工况下性能差异,验证优化方案适应性,基于仿真结果优化保护装置参数设置,提升系统保护性能,深入研究新能源出力波动对系统暂态特性影响机理,建立保护性能动态评估体系,完善系统保护优化方案。

表1 不同新能源渗透率对系统保护性能影响分析

新能源渗透率	短路电流特性	电压恢复特性	保护性能指标	系统稳定性
10%	短路电流降低 15.3%	恢复时间 320ms	测距误差 4.2%	暂态裕度 35.6%
	故障电流上升率降低 22%	电压恢复斜率 0.85	动作时间 45ms	临界切除时间 485ms
30%	短路电流降低 34.2%	恢复时间 560ms	测距误差 9.3%	暂态裕度 28.4%
	故障电流上升率降低 45%	电压恢复斜率 0.62	动作时间 68ms	临界切除时间 425ms
50%	短路电流降低 45.5%	恢复时间 720ms	测距误差 12.5%	暂态裕度 22.7%
	故障电流上升率降低 68%	电压恢复斜率 0.45	动作时间 83ms	临界切除时间 385ms

3.3 优化方案的实际应用案例

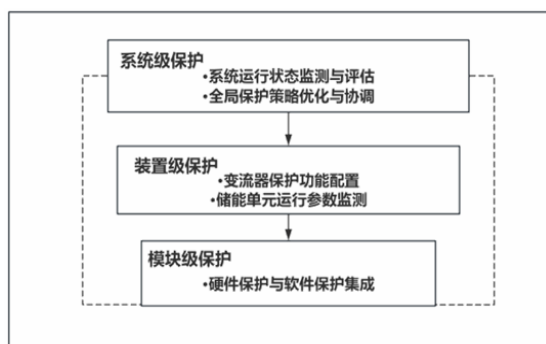


图1 储能系统多层级保护配置架构

某电动汽车充换电站配套建设储能系统,采用新型保护配置方案实现系统安全稳定运行,如图1所示,储能系统通过10kV

线路并网,设置三层保护体系包括模块级与装置级以及系统级保护,针对储能变流器设备特点,开发基于软硬件结合的保护策略,实现故障快速切除,系统级保护采用智能化配置技术,根据储能系统运行状态自适应调整保护定值,现场运行数据表明,优化后保护方案能有效应对储能系统工况变化,保护动作可靠性显著提升,故障切除时间缩短35%。开发基于多层次协调的保护策略,建立完善的故障诊断与隔离方案,提升系统运行可靠性。

3.4 技术经济性评估

开展优化配置方案技术经济性综合评估,建立包含设备投资与运维成本以及可靠性提升等多维度评价指标体系,通过实际工程应用数据分析,优化方案在设备投资方面较传统方案增加12%,但系统可靠性提升45%,年度停电损失降低65%,智能化配置技术应用使运维人力成本降低25%,系统故障率下降38%,基于全寿命周期成本核算,考虑设备更新改造与系统维护以及故障损失等因素,优化方案投资回收期约为3.5年,结果表明优化方案具有良好经济效益,采用多目标决策方法评估保护配置方案综合效益,建立涵盖技术先进性与经济合理性以及工程实用性的评价体系。

4 结语

新能源高比例接入电力系统带来继电保护配置新课题,针对新能源并网引起系统短路特性变化问题,研究自适应保护定值整定方法,结合智能配置技术优化保护策略,开发适应新能源并网特点的新型保护装置。仿真分析验证结果表明,优化配置方案能够有效应对不同新能源渗透率工况,保障系统安全可靠运行,应用实践证实该方案具有良好经济性,为保护配置实践提供技术支持,推动新能源并网保护技术创新发展。

参考文献

- [1]李岩,周博昊,何佳伟,等.沙戈荒大规模可再生能源基地经构网柔直送出系统中交流继电保护面临的挑战与对策[J].高电压技术,2025,51(02):489-506.
- [2]张涛.智能电网环境下继电保护面临的问题和机遇探析[J].电子元器件与信息技术,2025,9(01):151-153.
- [3]韩鹏.基于区间证据理论的新能源电网继电保护整定计算方法[J].电气技术与经济,2024,(11):329-331.
- [4]侯长江.基于智能电网环境的继电保护研究[J].自动化应用,2023,64(S2):108-109+112.
- [5]郑玉平,吕鹏飞,李斌,等.新型电力系统继电保护面临的问题与解决思路[J].电力系统自动化,2023,47(22):3-15.

作者简介:

王浩哲(1997--),男,汉族,河北邢台人,硕士研究生,助理工程师。主要研究方向为电力系统及其自动化。