

Research on Key Technologies for the Coordinated Operation of Relay Protection and Photovoltaic Power Stations in Power Systems

Wenfeng Wang

State Power Investment Corporation Ningxia Energy Aluminum Industry Zhongwei New Energy Co., Ltd., Zhongwei, Ningxia, 750000, China

Abstract

With the rapid development and wide application of photovoltaic power generation technology, photovoltaic power stations have gradually become an important part of the modern power system. However, the connection of photovoltaic power stations poses new challenges to the stability and protection of traditional power systems. Especially in the coordination and operation of the relay protection system, the dynamic characteristics, volatility and nonlinear behavior of photovoltaic power stations make the traditional relay protection strategies face certain adaptability problems. This paper studies the key technologies in the coordinated operation of power system relay protection and photovoltaic power stations, analyzes the impact of photovoltaic power stations connected to the power system on relay protection, and discusses how to improve the safety and stability of the power system after the connection of photovoltaic power stations by improving protection strategies and optimizing the coordinated control mechanism. Studies show that a highly adaptable relay protection scheme and the efficient coordinated operation of photovoltaic power stations are the keys to ensuring the stable operation of the power system.

Keywords

power system; Relay protection; Photovoltaic power station; Collaborative operation; key technology

电力系统继电保护与光伏电站协同运行的关键技术研究

王文锋

国家电投集团宁夏能源铝业中卫新能源有限公司, 中国·宁夏 中卫 750000

摘要

随着光伏发电技术的快速发展和广泛应用,光伏电站逐渐成为现代电力系统的重要组成部分。然而,光伏电站的接入对传统电力系统的稳定性与保护提出了新的挑战。特别是在继电保护系统的协调与运行方面,光伏电站的动态特性、波动性和非线性行为,使得传统的继电保护策略面临着一定的适应性问题。本文对电力系统继电保护与光伏电站协同运行中的关键技术进行了研究,分析了光伏电站接入电力系统后对继电保护带来的影响,探讨了如何通过改进保护策略和优化协同控制机制,提高电力系统在光伏电站接入后的安全性与稳定性。研究表明,适应性强的继电保护方案与光伏电站的高效协同运行,是保证电力系统稳定运行的关键。

关键词

电力系统; 继电保护; 光伏电站; 协同运行; 关键技术

1 引言

随着全球能源结构的转型,光伏发电逐渐成为可再生能源中最具发展潜力的技术之一。近年来,光伏电站的装机容量不断增加,成为电力供应的重要组成部分。然而,光伏电站的接入也给电力系统的继电保护带来了新挑战。光伏电站的发电特性与传统发电机组有较大不同,其波动性、非线性行为以及快速启动和停机的特点,使得传统的电力系统保

护策略面临新的适应性问题。尤其是在电网出现故障时,如何及时准确地对故障进行定位并切除故障区段,以确保电力系统的稳定运行,成为电力系统保护研究中的重要课题。

传统的电力系统继电保护多基于静态和线性假设,无法充分考虑光伏电站的动态特性。因此,如何在保证电力系统安全运行的同时,优化继电保护策略,实现光伏电站与电网的协同运行,是当前研究的热点之一。本文主要研究电力系统继电保护与光伏电站协同运行的关键技术,分析光伏电站接入后的继电保护策略与控制机制,提出改进措施,并探讨其在电力系统中的应用。

【作者简介】王文锋(1976-),男,中国宁夏中卫人,本科,工程师,从事发电厂及电力系统研究。

2 电力系统继电保护的现状与挑战

2.1 传统继电保护的基本原理

继电保护是电力系统保护的重要组成部分，其主要功能是对电力设备进行实时监测，当设备出现故障时，能迅速切断故障部分，防止故障扩展到其他区域，保障电力系统的稳定运行。传统的继电保护系统基于设备的工作状态与电气参数进行保护，采用过电流保护、过电压保护、欠电压保护等多种保护方式，依据电网中的电流、电压和频率等信号进行判断。

在传统电力系统中，继电保护设备通过定值和特性曲线来实现对故障的快速切除。当电网发生故障时，保护设备通过电流和电压的变化来识别故障类型，并依据预设的阈值进行动作。传统的继电保护系统主要适用于以同步发电机为主的电力系统，其保护策略多基于稳态的工作环境。然而，随着光伏电站等可再生能源的接入，电力系统的动态特性和非线性行为日益显著，传统的继电保护方式开始面临一定的挑战。

2.2 光伏电站接入对继电保护的影响

光伏电站接入电力系统后，带来了许多与传统电力系统不同的特点。光伏发电具有明显的波动性，受到气候变化和日照强度等因素的影响，输出功率波动较大。这种波动性给继电保护系统带来了新的问题。在发生故障时，光伏电站的动态响应与传统电力设备不同，其输出功率和电流的波动使得传统的过电流保护、过电压保护等方式的适应性受到影响，可能会导致保护设备的误动作或延时动作，影响电力系统的安全稳定运行。

另外，光伏电站的输出特性通常表现为非线性，且光伏电站的并网电流与电网的电压频率变化密切相关。在出现故障时，光伏电站的电流变化较为复杂，难以直接通过传统保护算法进行判别。此外，光伏电站的频繁启停也可能对电力系统的稳定性产生影响，尤其在并网运行过程中，光伏电站的启动和停机可能会造成电网的暂态过电流，给继电保护带来新的挑战。

2.3 继电保护的关键问题

光伏电站接入后的电力系统面临多个继电保护问题。首先，传统继电保护策略难以应对光伏电站的波动性和非线性行为。现有的保护方法通常假设电网中的故障特性较为简单，无法应对光伏电站复杂的动态特性。其次，光伏电站的并网过程不稳定，可能会出现频繁的功率波动，导致继电保护系统反应迟缓。再次，光伏电站的保护设备需要与电网的传统保护设备进行协同，如何优化两者之间的配合，确保电力系统在发生故障时的快速响应，是一个亟待解决的问题。

3 电力系统继电保护与光伏电站协同运行的关键技术

3.1 光伏电站的智能化保护策略

为解决传统继电保护方案在光伏电站接入后的适应性

问题，许多学者提出了光伏电站的智能化保护策略。这些策略基于电力系统中的智能化监测与分析，通过实时数据采集、传输与处理，来对光伏电站的运行状态进行监控和分析。智能保护系统通过分析电网的动态特性与光伏电站的发电特性，能够实时调整保护参数，避免因光伏电站的波动性引发误动作。

一种常见的智能保护策略是基于人工智能算法的自适应保护方案。通过机器学习和数据挖掘技术，系统能够根据光伏电站的历史数据和电网运行状态，动态调整保护算法和动作时间，确保在光伏电站接入电力系统后的故障处理能够更加精确和及时。此外，智能化保护还能够结合大数据技术，通过对电力系统各项数据的实时分析，提前识别可能的故障隐患，从而优化保护策略，提升保护的可靠性。

3.2 光伏电站与电力系统的协同控制

光伏电站的协同控制技术在电力系统继电保护中也起着至关重要的作用。协同控制技术旨在通过优化光伏电站与电力系统的互动关系，提高电力系统在光伏电站接入后的运行稳定性。协同控制技术主要包括光伏电站的输出功率调节、电压调节、频率调节等方面。

在电力系统发生故障时，光伏电站的输出功率与电网的状态应进行协调调整。通过协同控制，光伏电站能够根据电网的负载变化，实时调节输出功率，避免对电网造成过度负荷或电压波动。同时，光伏电站也可以通过适当地调节功率因数，来实现电压和频率的调节，以确保电网的稳定运行。通过协同控制，电力系统能够实现更高效的负载平衡，从而提升电力系统的整体可靠性。

3.3 基于虚拟同步机的保护与协同控制

虚拟同步机 (Virtual Synchronous Machine, VSM) 技术是一种新兴的电力系统保护与控制技术，能够有效弥补传统光伏电站保护策略的不足。虚拟同步机技术通过模拟传统同步发电机的动态特性，使得光伏电站在接入电网时能够像传统发电机一样参与到电力系统的频率和电压调节中。通过虚拟同步机，光伏电站可以更好地适应电力系统的瞬态响应需求，提升系统的稳定性。

虚拟同步机不仅能够改善光伏电站的动态特性，还能够与电力系统中的其他设备进行协同控制，优化系统的负载分配和故障恢复过程。在故障发生时，虚拟同步机能够及时为电力系统提供调节功率，确保电网的稳定运行。同时，虚拟同步机的引入也有助于减少光伏电站对传统继电保护系统的影响，提高电力系统在故障情况下的恢复能力。

4 电力系统继电保护与光伏电站协同运行的挑战与前景

4.1 技术挑战

尽管光伏电站的智能化保护与协同控制技术在过去几年里取得了显著进展，但在电力系统集成中仍然面临许多技术挑战。首先，光伏电站与传统电力系统相比，具有显著不

同的动态特性。传统电力系统依赖于同步发电机提供稳定的短路电流,确保继电保护系统能够快速识别故障。然而,光伏电站的逆变器系统本质上是电流源,且在发生故障时无法提供足够的短路电流,这使得基于电流保护(如过电流保护)的方法在很多情况下变得不适用。光伏电站的并网方式及其对电网电压和频率的响应也与传统的发电机不同,导致传统继电保护方式无法适应光伏电站的动态特性。因此,如何设计出一种适应性强、反应迅速的继电保护方案,是光伏电站与电力系统协同运行中的一个重要问题。

其次,光伏电站的智能保护系统和协同控制技术的实施依赖于大量实时数据的处理与分析,这对硬件设施和软件算法提出了更高要求。由于光伏电站通常分布广泛,地理位置分散,如何确保在不同电力系统节点之间能够快速、准确地共享数据,形成有效的信息链条是一个重大挑战。这不仅要求通信系统具备高效的数据传输能力,还需要强大的数据分析与处理平台支持,以确保每个保护装置都能够在最短时间内响应故障。此外,智能保护系统的可靠性、稳定性和实时性也是一个挑战,特别是在面对复杂的电网拓扑结构时,如何保障保护装置在极端条件下的快速、准确响应,仍然是技术研究中的重点。

光伏电站并网过程中的复杂性也是技术挑战之一。由于光伏电站的发电功率受天气、光照和设备性能等多种因素的影响,其输出功率波动较大,因此在光伏电站并网时,如何避免其波动对电力系统的稳定性产生不利影响,避免对其他电力设备和用户造成干扰,仍然是一个亟待解决的问题。尤其是大规模并网时,光伏电站的动态响应与电网负荷之间的协调问题,若处理不当,可能引发频繁的电压波动、功率失配等现象,进而影响系统的稳定运行。

4.2 未来发展前景

随着电力系统向智能化、数字化转型,光伏发电技术及其与电力系统协同运行的研究迎来了前所未有的发展机遇。随着大数据、人工智能、云计算等技术的广泛应用,光伏电站的智能保护和协同控制系统将变得更加精准与高效。大数据技术将使得电力系统能够实时监测光伏电站的运行状态,动态调整继电保护参数和系统调度策略。这不仅能够解决传统继电保护方案在面对波动性光伏发电时的不足,也能为电力系统提供更加准确的负荷预测和故障预警,提高电

网的适应能力和应急响应速度。

人工智能的应用也为光伏电站保护与控制系统带来了巨大的发展潜力。基于深度学习和机器学习的智能算法能够从电力系统历史数据中提取规律,自动优化继电保护和协同控制策略。通过智能算法,电力系统能够对光伏电站的发电波动进行实时分析,提前预测可能的功率不平衡,自动调整电力系统的负荷分配,实现负荷的平衡和电网的稳定运行。此外,人工智能还能够使得光伏电站和电力系统之间的互动更加灵活,优化电力系统的调度策略,提高系统的整体效率。

虚拟同步机(VSM)技术的成熟为光伏电站的保护与控制提供了新的解决方案。虚拟同步机通过模拟同步发电机的动态特性,能够为电力系统提供类似传统发电机的惯性和调节能力。

5 结语

随着光伏电站的广泛接入,电力系统继电保护与光伏电站协同运行已经成为现代电力系统面临的重要课题。传统的继电保护方法已经不能完全适应光伏电站的动态特性和波动性,而智能保护策略、协同控制技术和虚拟同步机技术等新兴技术的引入,为光伏电站与电力系统的协同运行提供了新的解决方案。未来,随着大数据、人工智能、云计算等技术的进一步发展,电力系统继电保护与光伏电站的协同运行将朝着更加智能化、自动化的方向发展,这将有效提升电力系统的可靠性、安全性和经济性。最终,光伏电站与电力系统的有机结合将为推动清洁能源的普及与电力系统的可持续发展做出重要贡献。

参考文献

- [1] 吴儒兴.水电站成套晶体管逻辑控制和继电保护装置研制和运行概况[J].特殊电工,1978,(01):55-59.
- [2] 我省技术监督工作的现状及今后的重点工作[J].山东电力技术,1996,(04):1-9.
- [3] 余维平,朱松强.电力建设阶段的技术监督[J].浙江电力,1998(01):1-4+13+71.
- [4] 霍刚.新时期辽宁电力技术创新重点技术领域[J].东北电力技术,2001,(02):9-13.
- [5] 陈皓.自适应技术在电力系统继电保护中应用[J].电力自动化设备,2001,(10):56-61.