

电力系统自动化继电保护装置及其测试研究

惠敬一¹ 滕卓男²

1. 河南源网荷储电气研究院有限公司 河南 许昌 461000

2. 许继电气股份有限公司 河南 许昌 461000

摘要: 随着电力系统不断扩展和复杂化, 自动化继电保护装置的作用愈发重要。这些装置能在电力系统发生故障时迅速响应, 保证系统的稳定运行。本文深入探讨了继电保护装置的工作原理、组成部分及其在电力系统中的应用, 分析了装置测试的必要性, 并探讨了静态测试和动态模拟测试等测试方法。通过先进的测试技术, 可显著提升继电保护装置的可靠性和电力系统的安全性, 为电力系统的稳定运行提供技术保障。

关键词: 电力系统; 自动化继电保护装置; 测试

引言: 随着电力工业的快速发展和智能电网建设的深入, 电力系统自动化继电保护装置的重要性日益凸显。作为电力系统的安全防线, 继电保护装置能在故障发生时迅速隔离故障点, 防止故障扩大, 确保电网的稳定运行。本文旨在深入研究电力系统自动化继电保护装置的原理、类型及应用, 并探讨其测试方法和技术。通过本研究, 期望能为电力系统的安全稳定运行提供理论支持和技术指导, 推动继电保护技术的进一步发展。

1 电力系统自动化继电保护装置概述

1.1 继电保护装置的定义与功能

(1) 定义及发展历程。继电保护装置是电力系统中用于监测、识别并迅速响应故障或异常状况, 以保护电力系统设备和稳定运行的自动化装置。其发展历程从最初的机械式保护装置, 如熔断器和电磁继电器, 经历了晶体管式、集成电路式的发展, 直至现今广泛应用的微机继电保护装置, 实现了从简单到复杂、从模拟到数字的飞跃。(2) 主要功能与应用场景。主要功能在于快速、准确地识别电力系统中的故障或异常, 通过跳闸等动作隔离故障点, 防止故障扩大, 保护电力系统设备不受损害, 同时确保非故障部分的正常运行。应用场景覆盖发电、输电、配电及用户端, 是电力系统安全稳定运行的重要保障。

1.2 继电保护装置的类型与原理

(1) 过电流、过电压、欠电压保护装置。这类装置通过检测电流、电压的异常变化来触发保护动作。过电流保护装置在电流超过设定值时动作, 防止设备过热损坏; 过电压和欠电压保护装置则分别应对电压过高或过低的情况, 保护设备免受电压冲击或欠压运行的影响。

(2) 差动保护装置。差动保护利用比较两侧电流的差异来判断故障, 当保护区域发生故障时, 两侧电流差值增

大, 保护装置动作切除故障部分。常用于保护变压器、发电机等大型电气设备。(3) 地电保护装置与频率保护装置。地电保护装置用于检测接地故障, 保护系统免受接地电流的危害; 频率保护装置则监测电力系统频率的波动, 当频率偏离正常范围时采取措施, 防止系统崩溃^[1]。

1.3 新型继电保护装置的特点

(1) 集通信、保护、测控于一体的特性。新型继电保护装置不仅具备保护功能, 还集成了通信和测控功能, 实现了数据的实时采集、传输和远程监控, 提高了电力系统的智能化和自动化水平。(2) 自动化测试系统的应用。自动化测试系统的引入, 使得继电保护装置的测试更加高效、准确, 能够模拟各种故障场景进行全面测试, 确保装置在各种条件下的可靠性和稳定性, 进一步提升了电力系统的安全性能。

2 变压器保护在电力系统中的应用

2.1 变压器的基本结构与工作原理

(1) 变压器的基本构成。变压器是电力系统中的核心设备, 主要由铁心、绕组、油箱及附件组成。铁心通常采用高导磁材料叠制而成, 用以集中和传导磁通。绕组分为高压绕组和低压绕组, 分别连接到电力系统的不同电压等级, 通过电磁感应原理实现电压的变换。油箱用于容纳变压器主体, 并内充绝缘油, 绝缘油不仅起到电气绝缘的作用, 还能有效散热, 保护变压器免受外界环境侵蚀。附件包括冷却装置、分接开关、瓦斯继电器、压力释放阀等, 用于提高变压器的运行效率和安全性。(2) 变压器的工作原理与特性。变压器的工作原理基于法拉第电磁感应定律和楞次定律。当高压绕组通入交流电时, 会在铁心中产生交变磁通, 这个磁通穿过低压绕组, 从而在低压绕组中感应出电动势, 实现电压的变换。变压器具有电气隔离、电压变换、电流变换和阻

抗变换等基本特性，是电力系统中实现电能传输和分配的关键设备。

2.2 变压器保护的必要性

(1) 变压器故障的危害。变压器故障可能对电力系统造成严重影响。常见的故障包括绕组短路、绝缘击穿、铁心过热、油箱泄漏等。这些故障不仅会导致变压器本身损坏，还可能引发火灾、爆炸等次生灾害，严重影响电力系统的安全运行和供电质量。(2) 保护装置在变压器故障处理中的作用。变压器保护装置在故障处理中发挥着至关重要的作用。它们能够实时监测变压器的运行状态，一旦发现异常或故障，立即采取行动，如跳闸切断故障设备，防止故障扩大，保护变压器免受进一步损害。同时，保护装置还能提供故障信息，为故障分析和修复提供重要依据。

2.3 变压器保护的主要措施与装置

(1) 差动保护在变压器保护中的应用。差动保护是变压器内部故障保护的主要手段。它通过比较变压器两侧电流互感器的二次电流，当变压器正常运行或外部故障时，流入和流出的电流应该相等，差动电流为零或接近零。而当变压器内部发生故障时，差动电流将增大，超过设定值时，差动保护装置将动作跳闸，切除故障变压器。差动保护具有灵敏度高、选择性好的优点，能够迅速准确地切除内部故障。(2) 过流保护、过压保护等辅助保护措施。除了差动保护外，变压器还需配置过流保护和过压保护等辅助措施。过流保护主要用于反映变压器外部短路引起的过电流，当电流超过设定值时动作跳闸，防止电流过大导致设备损坏。过压保护则用于监测变压器端电压是否超过允许值，一旦超压，保护装置将动作，防止电压过高引起的绝缘损坏。这些辅助保护措施与差动保护相互配合，共同构成变压器保护的完整体系^[2]。(3) 保护装置的配置与选型原则。变压器保护装置的配置应根据变压器的容量、电压等级、运行方式及电网结构等因素综合考虑。选型时应遵循可靠性、灵敏性、选择性、速动性和经济性等原则。保护装置应具有高可靠性，能够在各种恶劣条件下稳定工作；灵敏性要求保护装置能够及时发现并响应变压器内外部的各种故障；选择性要求保护装置的动作应具有选择性，仅切除故障部分；速动性要求保护装置的动作尽可能快速；经济性则要求在满足上述要求的前提下，合理配置保护装置，避免不必要的浪费。

3 变压器保护的测试研究

3.1 测试目的与意义

变压器作为电力系统中负责电压变换和能量传输的

核心设备，其安全稳定运行至关重要。变压器保护装置的测试研究旨在确保这些关键设备在发生故障时能够得到及时、有效的保护，从而防止故障扩大，保障电网的整体安全。具体而言，测试的目的包括：(1) 确保保护装置性能可靠。通过全面的功能性测试，验证保护装置在各类故障情况下的动作速度、灵敏度和准确性，确保其在实际应用中能够迅速、准确地识别并切除故障设备。(2) 及时发现并处理保护装置存在的问题。在测试过程中，通过模拟不同工况和故障场景，可以揭示保护装置可能存在的缺陷或不足，为后续的优化和改进提供依据。

3.2 测试方法与步骤

(1) 功能性测试。功能性测试是变压器保护测试的核心环节，主要包括保护动作时间、灵敏度和准确性等方面的测试。测试时，需模拟不同类型的故障电流（如相间短路、匝间短路等），并观察保护装置的动作情况。通过调整故障电流的大小和相位，可以进一步验证保护装置的灵敏度和准确性。(2) 非功能性测试。非功能性测试主要关注保护装置的持久性、容量和兼容性等方面。持久性测试旨在评估保护装置在长时间运行下的稳定性和可靠性；容量测试则检查保护装置在极端条件下的承受能力，如大电流冲击或长时间过载；兼容性测试确保保护装置能够与其他系统组件无缝集成，包括与电流互感器、电压互感器的匹配，以及与监控系统、控制中心的通信。(3) 测试环境的设置与要求。测试环境的设置对测试结果具有直接影响。理想的测试环境应尽可能接近实际运行条件，包括电源电压、频率、负载特性等。此外，还需考虑电磁兼容性，确保测试过程中不受外部电磁干扰。测试环境还应具备良好的安全措施，保护测试人员免受电击或其他潜在危害。(4) 测试数据的记录与分析。测试过程中，应详细记录各项测试数据，包括故障电流波形、保护装置动作时间、指示灯状态等。通过对这些数据的分析，可以评估保护装置的性能是否符合预期，发现任何潜在的异常或缺陷。数据分析还应包括与标准规范的对比，确保测试结果的合规性^[3]。

3.3 案例分析

3.3.1 典型变压器保护故障案例

在某次变压器保护测试中，发现差动保护装置在模拟相间短路故障时拒动。经分析，原因是保护装置内部的电流互感器饱和，导致二次电流波形失真，无法准确反映故障电流。通过更换更高精度的电流互感器和调整保护装置的设置，最终解决了问题。

3.3.2 测试过程中的问题分析与解决

在持久性测试中,发现保护装置在连续高负荷运行后出现过热现象。经过检查,发现是散热系统设计不当导致的。通过改进散热结构,增加散热面积,以及优化风扇控制策略,成功提高了保护装置的散热效率,解决了过热问题。

3.3.3 测试结果的应用与优化建议

测试结果表明,保护装置在大多数情况下都能准确、迅速地动作,但在某些极端条件下可能存在不足。基于此,提出以下优化建议:(1)增强电流互感器的精度和稳定性。特别是在高电流或复杂故障条件下,确保电流互感器能够准确反映故障电流,避免误动或拒动。(2)优化散热设计。针对长期高负荷运行的保护装置,加强散热系统的设计和维护,确保装置在恶劣环境下的稳定运行。(3)提升兼容性。加强保护装置与其他系统组件的兼容性测试,确保在电网升级或改造过程中,保护装置能够无缝集成并发挥最佳性能。(4)智能化升级。考虑引入人工智能技术,如机器学习算法,以提高保护装置的故障识别能力和自适应能力,减少误动和拒动的可能性。

4 提升变压器保护装置可靠性的措施

4.1 技术改进与创新

(1)新型保护技术的应用。随着科技的进步,智能保护和自适应保护等新型保护技术应运而生。智能保护技术利用现代计算机技术、信息技术和人工智能技术,使保护装置具有更高的智能化水平。它能够根据电网的实际运行状态,自适应地调整保护参数和策略,从而提高保护的准确性和可靠性。自适应保护则能够根据故障类型和严重程度,灵活选择最合适的保护动作,减少误动和拒动的可能性。(2)保护装置性能的优化与升级。针对现有保护装置存在的不足,应持续进行性能优化和升级。例如,通过改进保护算法,提高保护装置对故障电流的识别能力;通过升级硬件,提升保护装置的响应速度和计算能力。同时,还应关注保护装置与其他系统组件的兼容性,确保在电网升级或改造过程中,保护装置能够无缝集成并发挥最佳性能^[4]。

4.2 设备维护与管理

(1)定期对保护装置进行检查与维护。定期对变压器保护装置进行检查与维护,是确保其长期稳定运行的关键。检查内容包括但不限于保护装置的功能测试、接

线检查、绝缘电阻测试等。通过及时发现并处理潜在问题,可以有效预防保护装置失效导致的电网故障。(2)建立完善的设备管理制度与规范。为了规范保护装置的维护与管理,应建立一套完善的设备管理制度与规范。这些制度应包括保护装置的定期检查计划、故障处理流程、备品备件管理等内容。同时,还应明确各级管理人员的职责和权限,确保维护工作的有序进行。

4.3 人员培训与考核

(1)提高保护人员的专业技能与安全意识。保护人员的专业技能和安全意识直接关系到保护装置的可靠性和电网的安全。因此,应定期组织保护人员进行专业技能培训 and 安全教育,提高他们的业务水平和安全意识。培训内容可以包括保护原理、故障分析、安全操作等方面。(2)定期进行技能考核与培训。为了确保保护人员的技能水平能够满足工作需求,应定期进行技能考核。考核内容可以包括理论知识考试、实际操作测试等。通过考核,可以发现保护人员在工作中存在的问题和不足,为后续的培训提供依据。同时,考核成绩还可以作为人员晋升和奖励的依据,激励保护人员不断提高自己的技能水平。

结束语

综上所述,电力系统自动化继电保护装置及其测试研究对于保障电网安全稳定运行具有重要意义。通过对继电保护装置的深入分析和测试方法的不断优化,我们能够进一步提升电力系统的可靠性和稳定性。未来,随着技术的不断进步,我们有理由相信,继电保护装置的性能将会更加出色,测试方法也将更加精准高效。本研究将为电力系统的未来发展提供有益参考,期待在实践中取得更加丰硕的成果。

参考文献

- [1]张斌.电力系统自动化继电保护装置及其测试研究[J].科技创新与应用,2021,(05):53-54.
- [2]刘武旭.电力系统自动化继电保护装置测试研究[J].中国设备工程,2020,(10):99-100.
- [3]王燕.电力系统自动化继电保护装置及其测试研究[J].电器工业,2024,(07):77-78.
- [4]常建.电力系统自动化继电保护装置及其测试研究[J].光源与照明,2023,(12):119-120.