

综自保护装置下变压器匝间短路的研究

何亮

石家庄井钢汇瑞能源服务有限公司 河北 石家庄 050100

摘要: 本文深入探讨了综自保护装置在变压器匝间短路检测与保护中的应用,分析了匝间短路故障的特征及检测原理,阐述综自保护装置在实时监测、智能识别、预警报警、快速保护及故障后处理等方面的综合保护策略。同时,提出优化传感器布局、智能算法更新、多维度监测融合等增强保护措施,旨在提升变压器匝间短路保护的效能,确保电力系统的安全稳定运行。

关键词: 综自保护装置; 变压器匝; 短路研究

1 综自保护装置概述

综自保护装置,即综合自动化系统保护装置,是现代电力系统中不可或缺的关键设备之一。它集成监控、保护、测量、控制及通信等多种功能于一体,通过高精度的传感器和先进的算法技术,对电力设备进行全方位、实时的监测与保护。在变压器保护领域,综自保护装置通过实时监测电压、电流等电气参数,以及油温、油位等非电气量,能够及时发现设备运行的异常情况,并在检测到诸如匝间短路等严重故障时迅速启动保护机制,隔离故障点,防止事故扩大,确保电力系统的安全稳定运行。综自保护装置采用模块化设计,便于安装、调试与维护,同时支持远程操控和故障诊断功能,极大地方便了运维人员的工作。另外,它还具备高度的灵活性和可扩展性,能够根据不同电力系统的需求和配置进行定制开发,满足多样化的保护需求^[1]。在智能电网快速发展的背景下,综自保护装置正逐步实现智能化、网络化和信息化,为电力系统的安全、高效运行提供强有力的保障。

2 综合保护装置在变压器匝间短路检测和处理中的作用

综合保护装置在变压器匝间短路检测和处理中扮演着至关重要的角色。当变压器发生匝间短路时,这一内部故障往往难以直接观察,但其引发的电气参数异常却能被综合保护装置敏锐捕捉。综合保护装置通过高精度传感器实时监测变压器的电压、电流波形及其谐波成分,同时结合油温、油位等辅助监测数据,进行综合分析判断。一旦发现异常信号特征与匝间短路模式相匹配,装置将立即触发预警或保护动作。在检测阶段,综合保护装置利用先进的信号处理技术和智能算法,对采集到的数据进行快速处理和分析,提高了匝间短路识别的准确性和及时性。这有助于在故障初期就发现并定位

问题,为后续处理争取宝贵时间。在处理阶段,一旦确认匝间短路故障,综合保护装置将迅速启动保护机制。通过切断故障电流、隔离故障变压器等措施,有效防止故障范围扩大,保护周围设备免受损害。同时,保护装置还能将故障信息上传至监控系统,供运维人员远程分析故障原因,为快速恢复供电提供决策支持。

3 变压器匝间短路故障分析

3.1 匝间短路故障的定义

匝间短路故障是指变压器绕组中的相邻匝数之间发生异常的导电通道,导致本应绝缘的线圈层间产生直接的电流通路。这种故障通常由绝缘老化、机械损伤、绕组制作不当或电压过高引发。匝间短路会改变变压器的正常电气性能,使局部温度急剧上升,影响变压器的稳定运行,甚至导致整个变压器的损毁,因此及时发现并处理匝间短路故障对确保电力系统安全至关重要^[2]。

3.2 匝间短路故障的特征

匝间短路故障具有一系列显著的特征,这些特征可用于故障诊断与监测。首先,匝间短路会导致绕组中通过的电流发生变化,特别是短路处会产生异常的环流,使总电流增大。由于短路环流的存在,会导致绕组出现不平衡的磁通,进而引发变压器电压波形的畸变,谐波分量增加;匝间短路还会引起局部温度升高,加快绝缘材料的老化,严重时甚至会有烟雾或异味产生;另外,油浸式变压器在匝间短路时,故障点附近会产生气体分解,如甲烷、乙烯等特征气体的增加,这也为通过油气分析来判断匝间短路提供了依据。

4 综自保护装置下变压器匝间短路监测技术

4.1 综合保护装置下变压器匝间短路监测原理

综自保护装置下变压器匝间短路监测技术,依托先进的传感器网络、高速数据处理能力以及智能分析算法,实现了对变压器内部潜在匝间短路故障的高效监

测。该技术通过实时监测变压器运行中的电气参数（如电流、电压波形及其谐波成分）以及非电气参数（如油温、油中溶解气体等），构建一个全面的变压器健康状态监测体系。综合保护装置下变压器匝间短路监测原理，核心在于捕捉匝间短路时引起的电气参数变化特征和非电气量异常。匝间短路会导致变压器绕组中的电流分布不均，产生环流和谐波，这些信号通过高精度传感器被捕捉并转化为数字信号；利用信号处理技术对这些数字信号进行滤波、去噪和特征提取，以凸显出与匝间短路相关的特征信息。同时，综合保护装置还通过集成油气分析仪等设备，实时监测变压器油中的溶解气体成分和油温变化。匝间短路引起的高温会加速变压器油的化学变化，产生特定的气体产物，而油温的异常升高也是匝间短路的一个直观表现。这些非电气量的变化，为匝间短路的监测提供重要的辅助信息。在监测过程中，综合保护装置内置的智能分析算法会根据预先设定的故障识别模型和阈值条件，对采集到的电气和非电气数据进行综合分析判断。一旦识别出与匝间短路相关的特征信息，系统将立即触发预警或保护动作，如发送报警信号、切断故障电路等，以防止故障扩大并保护变压器免受进一步损害^[3]。

4.2 匝间短路的检测方法和技术

在综合保护装置的框架内，变压器匝间短路的监测原理深度结合了现代信号处理技术、智能算法以及多种传感器技术，以实现了对变压器内部潜在故障的精准捕捉。匝间短路，作为一种隐蔽而危险的故障类型，其监测关键在于捕捉到短路发生时所伴随的细微电气和非电气特征变化。综合保护装置首先通过布置在变压器上的高精度电流和电压传感器，不间断地采集变压器的电气参数。当匝间短路发生时，短路电流会在故障点产生，这会导致电流波形畸变，特别是高次谐波的增加。综合保护装置利用快速傅里叶变换（FFT）等频谱分析工具，对这些实时采集到的电流和电压信号进行分解，提取出各次谐波的幅值和相位信息。通过比对正常运行状态下的谐波特征与监测到的谐波特征，可以初步判断是否存在匝间短路的可能。为了进一步确认故障，综合保护装置还集成了油色谱分析、油温监测等非电气量检测技术。匝间短路引起的局部过热会加速变压器油的化学分解，产生特定的气体成分（如氢气、乙炔等）。这些气体的产生速率和含量可以作为判断匝间短路存在与否的重要依据。同时，油温的异常升高也是匝间短路的一个显著标志。在检测技术和方法上，除了上述的电气参数监测和非电气量检测外，综合保护装置还结合了频率

响应分析法（FRA）、时域反射法（TDR）等高级诊断技术。FRA通过分析变压器绕组在不同频率下的阻抗变化，来评估绕组的电气特性和结构完整性。匝间短路会改变绕组的电感、电容等参数，导致频率响应曲线的异常。TDR则利用脉冲在绕组中的传播时间和反射特性来检测绕组内部的缺陷和故障位置。这些高级诊断技术的引入，大大提升了综合保护装置对匝间短路故障的检测能力和准确性。

5 综自保护装置变压器匝间短路保护效能的综合策略

5.1 综合保护装置中的变压器匝间短路保护策略

综自保护装置的变压器匝间短路保护策略是一套综合性的、智能化的保护方案，旨在及时发现并有效应对变压器内部发生的匝间短路故障，确保电力系统的安全稳定运行。在综合保护装置中，针对变压器匝间短路的保护策略主要包括以下几个方面：（1）实时监测与数据分析：利用高精度传感器实时监测变压器的电气参数（如电流、电压及其谐波成分）和非电气参数（如油温、油中溶解气体含量等）。通过实时数据采集与高速数据处理技术，对采集到的数据进行快速分析，提取与匝间短路相关的特征信息。（2）智能故障识别：基于预先设定的故障识别模型和算法，对监测到的数据进行智能分析，判断是否存在匝间短路的迹象。这些算法可能包括机器学习、模式识别或专家系统等技术，能够准确识别出匝间短路引起的电气参数变化和非电气量异常^[4]。（3）预警与报警机制：一旦发现匝间短路的潜在风险或确认故障发生，综合保护装置将立即触发预警或报警机制。通过发出声光报警信号、发送短信或电子邮件等方式，通知运维人员及时处理故障。同时，保护装置还具备记录故障信息的功能，以便后续分析和改进。（4）快速保护与隔离：为了防止匝间短路故障进一步扩大，对电力系统造成更大损害，综合保护装置将迅速启动保护动作。这可能包括切断故障电路、隔离故障设备等措施，以确保故障范围得到有效控制。在保护动作执行过程中，保护装置还将考虑系统的稳定性和可靠性，确保在保护故障设备的同时，不影响其他正常设备的运行。（5）故障后处理与恢复：故障处理完成后，综合保护装置将提供故障后处理与恢复的支持。这包括故障原因分析、设备检修指导以及系统重新投运前的全面检查等。通过这些措施，可以确保变压器恢复正常运行状态，并防止类似故障再次发生。

5.2 变压器匝间短路的保护动作和响应

在综自保护装置下，变压器匝间短路监测技术不仅实现了对变压器内部绕组状态的精密监测，还通过智能

化的保护动作和响应机制，确保在发现匝间短路时能够迅速而有效地采取行动，防止故障扩大。当综自保护装置检测到变压器匝间短路的迹象时，它首先会根据预设的故障识别算法和判断逻辑，对采集到的数据进行深入分析。这些数据可能包括电流波形的畸变程度、高次谐波的含量、油温的异常升高以及油中溶解气体的特定成分变化等。一旦确认匝间短路故障存在，保护装置将立即启动保护动作流程。保护动作的第一步通常是发出预警信号，通过声光报警、监控系统弹窗或发送短信/邮件等方式，通知运维人员立即关注并准备采取相应的处理措施；综自保护装置也会记录故障发生的时间、位置及相关参数，为后续的分析 and 故障排查提供重要依据。在预警信号发出后，如果故障没有得到及时控制或处理，综自保护装置将进一步执行更为直接的保护动作，如自动切断故障变压器的电源供应，实现与系统的快速隔离。这一动作旨在阻止故障电流继续流过损坏的绕组，防止设备进一步损坏，并减少对整个电力系统的影响。在保护动作执行后，综自保护装置还会持续监测变压器及其所在系统的状态变化，确保隔离措施的有效性，并准备在条件允许时协助进行故障恢复操作。例如，在故障变压器被隔离后，保护装置可能会自动启动备用电源切换逻辑，以确保电力供应的连续性。

5.3 增强变压器匝间短路保护的措施

在综自保护装置下，为了进一步增强变压器匝间短路保护的效能，可以采取以下多项技术措施来全面提升监测与保护能力：（1）优化传感器布局与精度：提升匝间短路监测精度的关键在于传感器。应优化传感器在变压器上的布局，确保能够全面覆盖关键监测区域，如绕组的热点、散热区域等。同时，采用更高精度的传感器，提高对微小电气信号变化的敏感度，从而更早地发现匝间短路的迹象。（2）智能算法与模型更新：结合最新的数据处理和人工智能算法，持续优化匝间短路识别模型。通过机器学习技术，让模型能够从历史数据中学习并自动调整参数，以适应变压器不同工况下的特性变化。定期更新模型库，引入新的故障特征和识别逻辑，

提高保护的准确性和可靠性。（3）多维度监测融合：将电气参数监测（如电流、电压波形）与非电气参数监测（如油温、油中溶解气体）相结合，形成多维度监测体系。利用不同参数之间的关联性，通过综合分析提高匝间短路故障的识别率。同时，考虑引入振动监测、局部放电监测等新技术，进一步丰富监测手段。（4）快速保护动作策略：设计更加灵活、高效的保护动作策略。在确认匝间短路故障后，综自保护装置应能迅速启动保护动作，如自动切断故障变压器电源、启动备用电源切换等，以减少故障对电力系统的影响；应确保保护动作策略与电网调度系统的无缝衔接，实现快速响应和协同处理。（5）定期维护与性能测试：加强综自保护装置及传感器的定期维护与性能测试。定期对设备进行清洁、校准和检修，确保其处于良好的工作状态；进行性能测试以验证保护功能的完整性和可靠性，确保在关键时刻能够发挥应有的作用。

结束语

综上所述，综自保护装置在变压器匝间短路保护中展现出显著优势，通过综合应用先进的传感器技术、智能算法和快速响应机制，实现对匝间短路故障的高效监测与保护。未来，随着技术的不断进步，综自保护装置的性能将更加优越，保护策略也将更加完善，为电力系统的安全稳定提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1]孙翔.何文林.邱炜.等.基于扫频阻抗法的变压器匝间短路故障检测[J].高压电器,2016(3):29-33.
- [2]李明.张伟.王晓燕.综自保护装置在变压器匝间短路保护中的应用研究[J].电力系统自动化,2020,44(10):123-128.
- [3]王峰.郭晓芳.杨杰.综自保护装置在电网中的应用及其对变压器匝间短路保护的优化[J].电网技术,2019,43(6):1982-1988.
- [4]郑伟.张敏.刘东.综自保护装置与智能诊断技术在变压器匝间短路故障中的应用[J].电气应用,2021,40(3):10-14.