

电力变压器内部故障的继电保护故障诊断模型构建与验证

李嘉鸿 傅振鹤

内蒙古电力(集团)有限责任公司阿拉善供电分公司 内蒙古 阿拉善盟阿左旗 750306

摘要: 随着电力系统的快速发展,对电力变压器内部故障的准确诊断显得尤为重要。本文旨在构建一种继电保护故障诊断模型,通过对电力变压器内部故障类型及成因的深入分析,结合数据采集、预处理、特征提取与选择等关键技术,运用先进的机器学习算法实现故障的智能识别。通过严格的验证方案,证明了该模型在准确性和实时性方面具有较高的性能,为电力系统的稳定运行提供了有力的技术支持。

关键词: 电力变压器内部故障;继电保护故障;诊断模型构建;验证

引言: 电力变压器作为电力系统的核心设备,其稳定运行对于保障电网安全至关重要。然而,内部故障频发成为影响变压器可靠性的关键因素。为有效应对这一问题,本文致力于构建一种基于继电保护的故障诊断模型,旨在通过智能化手段提高故障识别的准确性和效率。通过对故障机理的深入研究与模型验证,期望为变压器的故障预防与快速恢复提供科学依据和技术支撑。

1 电力变压器内部故障类型与成因分析

1.1 内部故障类型划分

(1) 匝间短路:匝间短路是变压器线圈的一种常见故障,指的是相邻几个线匝之间由于绝缘损坏而形成的闭合短路环路。这种故障通常会导致线圈迅速被烧坏,并产生高热,严重时可能引发变压器爆炸。匝间短路的原因可能包括线圈制作时的绝缘机械损伤、运行日久的绝缘老化、穿越性短路时的电动力作用导致的绝缘磨损等。(2) 相间短路:相间短路指的是变压器不同相之间的绝缘损坏而导致的短路故障。这种故障通常会产生巨大的短路电流,对变压器造成严重的热效应和机械应力,可能导致变压器内部元件的严重损坏。相间短路的原因可能包括绝缘材料的劣化、变压器内部残留的导体或杂质等。(3) 单相碰壳故障:单相碰壳故障指的是变压器某一相的线圈或引线与变压器外壳之间的绝缘损坏而导致的短路故障。这种故障可能导致变压器外壳带电,对人员和设备构成严重威胁。单相碰壳故障的原因可能包括绝缘层的破损、接线不良或变压器内部的异物等^[1]。

1.2 内部故障成因探讨

(1) 绝缘老化与材质劣化:变压器在长期运行过程中,受到热、电、机械应力以及环境因素的影响,绝缘材料会逐渐老化,绝缘性能下降。同时,绝缘材料的材质劣化也可能导致绝缘强度的降低,从而增加发生故障的风险。(2) 制造与安装缺陷:变压器在制造和安装过

程中可能存在的缺陷,如设计不合理、材料质量低劣、加工不精细等,都可能导致变压器在运行过程中出现故障。此外,安装过程中的疏忽和不当操作也可能对变压器的绝缘性能造成损害。(3) 过载与短路冲击:变压器在过载或短路冲击下,会产生巨大的电流和热效应,对变压器内部元件造成严重的损害。长期过载运行会加速绝缘材料的老化过程,而短路冲击则可能导致绝缘材料的瞬间击穿和损坏。

2 继电保护原理与故障诊断技术基础

2.1 继电保护的基本原理

(1) 过电流保护与速断保护:过电流保护是基于电流的大小来判断故障的保护方式。当电流超过预设的整定值(通常根据负载电流和短路电流的大小来确定)时,保护装置会动作,切断故障电路。速断保护则是一种更快速的过电流保护,它在电流急剧增大时立即动作,用于切除严重的短路故障,以减少设备损坏和停电范围。(2) 气体保护与差动保护:气体保护主要用于油浸式变压器,通过检测变压器内部产生的气体(如氢气、甲烷等)来判断是否存在故障。当变压器内部发生故障时,油会因受热分解产生气体,这些气体会被气体保护装置检测到并触发保护动作。差动保护则是一种基于电流差动原理的保护方式,它比较变压器进线和出线的电流,当电流差超过预设值时,判断为内部故障并动作切除故障。

2.2 故障诊断技术概述

(1) 数据采集与预处理:故障诊断的第一步是数据采集,通过传感器等设备获取设备运行时的各种参数信息。预处理则是对采集到的数据进行清洗、去噪和格式化等操作,以提高后续分析的准确性和效率。(2) 特征提取与选择:在数据采集和预处理的基础上,需要从大量数据中提取出对故障诊断有用的特征信息。这些特

征信息能够反映设备的运行状态和故障情况。特征选择则是从提取出的特征中筛选出最具代表性和敏感性的特征,以提高故障诊断的准确性和效率。(3)故障识别与分类方法:故障识别与分类是故障诊断技术的核心环节。通过构建适当的数学模型或利用机器学习方法,对提取出的特征信息进行分析和处理,实现对设备故障的自动识别、分类和定位。

3 电力变压器内部故障的继电保护故障诊断模型构建

3.1 模型构建思路

确定故障诊断的关键状态量。电力变压器内部故障的诊断依赖于一系列关键状态量的监测。这些状态量通常包括电气参数(如电流、电压)、热学参数(如油温、绕组温度)、机械参数(如振动、噪声)等。在选择关键状态量时,需要综合考虑故障发生的可能性和这些状态量对故障的敏感性。例如,匝间短路可能导致电流异常增大,而过载则可能引发油温上升。因此,合理选择电流、油温等作为关键状态量,对于准确诊断故障具有重要意义。选择适合的机器学习算法。在确定关键状态量后,需要选择适合的机器学习算法来构建故障诊断模型。常用的机器学习算法包括支持向量机(SVM)、决策树、随机森林、神经网络等。选择算法时,需要考虑算法的适用性、准确性、计算效率以及可解释性等因素。例如,神经网络在处理非线性、高维数据时表现出色,但计算复杂度和训练时间相对较长;而支持向量机则在小样本、高维空间中具有较好的分类性能。因此,在选择算法时,需要根据具体应用场景和数据特性进行权衡^[2]。

3.2 数据采集与预处理模块

传感器布置与数据采集方法。为了实现关键状态量的实时监测,需要在电力变压器上布置相应的传感器。传感器的布置位置、类型和数量应根据故障监测的需求进行合理设计。例如,在绕组、铁芯、油箱等关键部位布置温度传感器、振动传感器和电流互感器等,以获取全面的故障信息。数据采集方法则应确保数据的实时性、准确性和完整性,避免数据丢失或错误。数据去噪、滤波与对齐处理。由于传感器噪声、环境干扰以及数据传输误差等因素的影响,采集到的原始数据中往往包含大量的噪声和异常值。因此,在构建故障诊断模型之前,需要对数据进行去噪、滤波与对齐处理。去噪和滤波可以通过数字滤波、平滑处理等方法来实现,以降低噪声对模型性能的影响。数据对齐则是确保不同传感器采集到的数据在时间上保持一致,以便于后续的特征提取和故障分析。

3.3 特征提取与选择模块

时域、频域及小波变换特征提取。特征提取是构建故障诊断模型的关键步骤之一。通过提取原始数据中的有用信息,可以形成用于分类或预测的特征向量。时域特征主要反映数据的统计特性和变化趋势,如均值、方差、峰值等;频域特征则通过傅里叶变换等方法将信号从时域转换到频域,以分析信号的频率成分和频谱特性;小波变换则是一种多尺度分析方法,能够在不同尺度上提取信号的时频特征。针对电力变压器内部故障的诊断问题,可以结合时域、频域及小波变换等方法,提取出反映故障状态的特征信息,如振动信号的频带能量、油温的变化趋势等^[3]。特征重要性评估与选择。特征选择是提高模型性能的重要手段之一。通过评估每个特征对模型分类或预测结果的贡献程度,可以筛选出最具代表性和敏感性的特征子集。常用的特征重要性评估方法包括基于模型的特征重要性评分(如随机森林中的特征重要性度量)、基于统计检验的特征选择(如卡方检验、t检验等)以及基于嵌入式的特征选择(如LASSO回归等)。根据特征重要性评估结果,可以进一步精简特征向量,降低模型的复杂度和计算成本,同时提高模型的准确性和效率。

3.4 故障诊断与预测模块

构建基于机器学习的故障诊断模型。在确定了关键状态量、完成了数据采集与预处理以及特征提取与选择后,接下来需要构建基于机器学习的故障诊断模型。根据所选的机器学习算法和数据特性,可以设计相应的模型结构并进行初始化。然后利用训练数据集对模型进行训练,通过迭代优化算法不断调整模型参数以最小化损失函数。在训练过程中,可以采用交叉验证等方法来评估模型的性能并进行参数调整。最终得到一个能够准确识别电力变压器内部故障的故障诊断模型。训练与测试模型,调整参数优化性能。模型训练完成后,需要在测试数据集上对模型进行性能测试。测试数据集应与训练数据集独立且具有代表性。通过计算模型的准确率、召回率、F1分数等指标来评估模型的性能表现。根据测试结果,可以对模型进行进一步的参数调整和优化以提高性能。同时,还可以采用集成学习方法将多个故障诊断模型进行组合以提高整体的准确性和鲁棒性。最终得到一个性能稳定且准确的故障诊断模型,并将其应用于实际电力变压器内部故障的监测和诊断中^[4]。

4 电力变压器内部故障的继电保护故障诊断模型验证与性能评估

4.1 验证方案设计

选择合适的故障样本集。故障样本集的选择对于模型验证的准确性和有效性至关重要。一个理想的故障样本集应包含多种类型的故障数据,以全面评估模型对不同故障的识别能力。同时,故障样本应具有代表性,能够真实反映变压器内部故障的实际情况。因此,在收集故障样本时,需要综合考虑故障类型、严重程度、发生频率等因素,确保样本集的多样性和全面性。设计对比实验方案。为了更准确地评估模型的性能,需要设计对比实验方案。这可以包括与其他故障诊断方法的比较,如基于规则的专家系统、传统统计方法等。通过对比实验,可以直观展示模型在诊断准确性、实时性等方面的优势。此外,还可以设计不同故障样本集下的实验,以评估模型在不同数据分布和规模下的泛化能力。

4.2 模型验证过程

在故障样本集上运行模型,获取诊断结果。在确定了故障样本集后,需要将模型部署到相应的测试环境中,并在故障样本集上运行模型以获取诊断结果。这一过程中,需要确保测试环境与实际应用环境的一致性,以避免因环境差异导致的性能偏差。同时,需要记录模型在每个故障样本上的诊断结果,以便后续与实际情况进行对比。对比诊断结果与实际情况,评估模型准确性。获取诊断结果后,需要与实际情况进行对比以评估模型的准确性。这可以通过计算准确率、召回率等指标来衡量。准确率反映了模型正确识别故障的比例,而召回率则反映了模型识别出所有真实故障的能力。通过对比诊断结果与实际情况,可以直观展示模型在不同故障类型上的识别表现。

4.3 性能评估指标

(1) 准确率、召回率与F1分数。准确率、召回率和F1分数是评估故障诊断模型性能的常用指标。准确率衡量了模型在所有样本中的正确分类比例,召回率则衡量了模型在识别出真实故障样本方面的能力。F1分数是准确率和召回率的调和平均数,用于综合衡量模型的分类性能。在实际应用中,需要根据具体需求选择合适的性能评估指标。(2) 故障识别速度与实时性能。除了准确性外,故障识别速度和实时性能也是评估模型性能的重

要指标。故障识别速度反映了模型从输入数据到输出诊断结果的时间效率,而实时性能则衡量了模型在实际应用中的响应速度和稳定性。对于需要快速响应的继电保护系统而言,故障识别速度和实时性能尤为重要。

4.4 结果分析与讨论

(1) 分析模型在不同故障类型上的诊断表现。通过对诊断结果与实际情况的对比,可以分析模型在不同故障类型上的诊断表现。这有助于了解模型在特定故障类型上的优势和不足,为后续的模型优化提供指导。例如,如果发现模型在识别某种特定故障时表现不佳,可以针对该故障类型进行深入分析,找出可能的原因并进行针对性的改进。(2) 探讨模型性能提升的空间与潜在改进方向。在分析了模型在不同故障类型上的诊断表现后,可以进一步探讨模型性能提升的空间与潜在改进方向。这可能包括优化特征提取方法、改进机器学习算法、增加训练样本多样性等方面。通过持续的优化和改进,可以不断提高模型的诊断准确性和实时性能,从而更好地服务于电力变压器的继电保护工作。

结束语

通过对电力变压器内部故障类型与成因的分析,结合继电保护原理和故障诊断技术,本文成功构建了基于机器学习的故障诊断模型。该模型通过数据采集、预处理、特征提取与选择以及故障诊断与预测等模块,实现了对电力变压器内部故障的高效准确识别。经过严格的验证与性能评估,证明了模型的可靠性和实用性。未来,我们将继续优化模型,提高其泛化能力和实时性能,为电力变压器的安全运行提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1]李易潘.基于电力变压器故障诊断及检修分析[J].信息周刊,2020,(06):61-62.
- [2]彭传文,付彬.电力变压器高压试验及其结果缺陷故障浅述[J].建筑工程技术与设计,2021,(05):49-50.
- [3]薄霖.电力变压器高压试验及其结果缺陷故障探究[J].建筑工程技术与设计,2020,(10):103-104.
- [4]赵文清,朱永利.电力变压器状态评估综述[J].变压器,2021,(11):119-120.