

基于深度学习的电气设备状态与故障诊断研究

于波 张晏平

华能兰州热电有限责任公司

DOI:10.12238/pe.v2i4.8376

[摘要] 本研究深入探讨了发变组保护的基本原理,设计深度学习模型可以实现对发变组故障模式的自动识别与分类,能明显提高故障诊断的准确性。研究表明,深度学习能够自动提取故障特征,简化了特征选择过程,为电力系统的智能运维提供了新的解决方案。精心设计的分类器可以实现对发变组故障的精确分类,同时也验证了深度学习在电气设备故障诊断领域的应用价值。因此,希望未来研究可以继续优化模型,以适应将来发生的其他故障问题,推动电力行业向智能化方向迈进。

[关键词] 发变组保护; 自动识别; 故障诊断

中图分类号: TP306+.3 **文献标识码:** A

Research on state detection and fault diagnosis of electrical equipment based on deep learning

Bo Yu Yanping Zhang

Huaneng Lanzhou Thermal power Co., LTD

[Abstract] This study deeply discusses the basic principle of the protection of the variable group, and designs the deep learning model can realize the automatic identification and classification of the fault mode of the variable group, which can significantly improve the accuracy of fault diagnosis. The results show that deep learning can automatically extract the fault features, simplify the feature selection process, and provide a new solution for the intelligent operation and maintenance of the power system. The carefully designed classifier can realize the accurate classification of the faults, and also verify the application value of deep learning in the field of electrical equipment fault diagnosis. Therefore, it is hoped that the future research can continue to optimize the model, so that it can adapt to other fault problems in the future, and promote the power industry to the direction of intelligence.

[Key words] transformer group protection; automatic identification; fault diagnosis

引言

电气设备承担着能源转换、传输与分配的重任,更是智能化生产环境中重要的执行与控制单元。但在现实生活中,设备老化、过载使用以及环境因素的影响常导致性能下降乃至故障发生,引发生产中断、能源浪费乃至安全隐患。

发变组作为电力系统的核心组成部分,其运行状态关系到电网的稳定。传统的故障诊断方法有固定的规则,很难解决非线性故障模式。为此,本研究引入深度学习技术,希望可以构建一种智能、高效的发变组故障诊断系统。因为强大的数据驱动能力,所以该模式有望克服传统方法的局限,实现对发变组状态的实时监测,推动电力行业的技术革新与升级。

本研究探索深度学习技术在电气设备状态检测与故障诊断领域的应用潜力,对现有理论和技术的深入分析,设计并实现一套高效的故障诊断系统,力求为电气设备健康管理提供一种全新的智能化解决方案,推动工业4.0时代下设备维护模式之革新。

1 发变组保护理论基础

1.1 发变组保护原理

发变组保护,即发电机-变压器组保护,是电力系统中很重要的组成部分,主要是为了监测并保护大型发电机组及其相连变压器免受损害。发变组保护是通过实时监控发电机组和变压器的运行参数,如电流、电压、频率、功率、温度等,去识别异常情况或故障信号,在必要时迅速采取行动隔离故障部分,以防止事故扩大^[1]。发变组保护系统通常包括以下几个关键的保护配置:

(1) 纵联差动保护:这是发变组保护中最基本也是最重要的一种配置,它利用发电机或变压器两端电流的相位差异来检测内部故障。当故障发生在发电机或变压器内部时,两侧的电流就会出现不平衡,差动保护会迅速动作切断故障部分,避免更大范围的损害。

(2) 过流保护:过流保护用于检测超出正常范围的电流水平,

一般会分为定时限过流和反时限过流两种类型。定时限过流保护在检测到过流后,经过固定的时间延时动作;而反时限过流保护的動作时间则随过流程度的增加而减少,更适用于短路情况。

(3) 零序电流保护:零序保护专门用来检测三相系统中出现的不对称故障,在这种情况下,系统中会产生零序电流,零序保护从检测零序电流的存在中去触发保护动作,防止接地故障对设备造成严重伤害。

(4) 失磁保护:发电机失磁是指发电机励磁系统故障导致磁场减弱或消失,会导致发电机输出特性改变,甚至引发系统震荡。失磁保护利用监测发电机的端电压和电流比值以及无功功率的变化识别失磁故障,及时采取措施避免系统崩溃。

(5) 频率和电压异常保护:保护配置监测系统频率和电压是否超出正常范围,防止单个设备的异常影响整个电网的稳定性。

(6) 转子接地保护:针对发电机转子绕组的接地故障,转子接地保护通过检测转子绕组的绝缘状况,避免发电机的损坏。

1.2 故障类型及其特征

第一,内部故障是最具破坏性的故障类型之一,包括定子绕组的匝间短路、相间短路以及定子绕组对地短路。这类故障一般都是电流急剧上升,电压下降,有时伴有高频振荡。匝间短路会导致绕组温度异常升高,而相间短路和对地短路则会引起巨大的短路电流,对设备造成直接损伤。

第二,励磁系统故障,励磁电流突然消失或励磁调节器失效就可导致发电机失磁,发电机端电压和系统频率下降,无功功率流向反转,发电机转子出现滑差会引发系统振荡。

第三,外部故障,虽然不直接影响发变组本身,但在电流突增和电压骤降的形式下,对发变组造成间接威胁。外部短路会导致过流保护启动,若保护不及时,过大的短路电流也能损坏发变组的绝缘系统。

第四,变压器故障有绕组匝间短路、铁芯饱和、油温过高、油质劣化等,变压器绕组的匝间短路会引发局部过热,油温过高则会使得油质劣化,这些都会加速绝缘老化,降低设备寿命。

每种故障类型都有不一样的电气特征,监测这些特征,发变组保护系统能够及时识别故障类型,采取相应的保护措施,减轻故障对电力系统的影响。

2 深度学习技术在发变组保护中的应用

深度学习其实是机器学习的一个分支,是人工智能领域中最具影响力的前沿技术之一。深度学习模仿人脑神经元的工作方式,利于构建多层非线性变换来学习并表示数据的复杂结构。深度学习的核心在于神经网络,特别是深度神经网络(DNN),由输入层、输出层以及多个隐藏层构成,每一层都包含大量的神经元,神经元之间通过权重连接形成了一个庞大的信息网络^[2]。

在深度学习中,数据先被送入网络的输入层,然后通过一系列的加权求和与激活函数运算,逐步传递至输出层。这一过程中,网络会反向传播算法不断调整各层之间的权重,用最小化预测

输出与实际标签之间的误差,也就是人们常说的损失函数。深度神经网络的强大之处在于,它可以自动从原始数据中学习高级抽象特征,无需人工进行特征工程,所以在根本上极大地提高了模型的适用性。

常见的深度学习模型包括卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)、长短时记忆网络(LSTM)以及生成对抗网络(GAN)等,CNN擅长处理具有网格结构的数据,图像或信号波形能够有效地捕获空间或时间上的局部相关性;RNN和LSTM则特别适用于序列数据的处理,时间序列信号或语音信号能够记住序列中的历史信息,用于后续预测分类任务;GAN则是生成模型的一种,主要用在生成与训练数据相似的新样本。

3 发变组故障类型识别与分类

3.1 故障模式的定义

在电气设备的生命周期中,可能会遇到多种故障类型,每种故障的表现形式也都不一样。故障模式定义是故障诊断的基础,会对设备可能发生的故障种类进行详细的分类,以便后续设计针对性的监测。电气设备的故障模式可以按照不同的标准进行划分,常见的就是故障的性质(电气的、机械的、热的等)、故障的来源(材料疲劳、设计缺陷、操作不当等)或故障的表现(过热、振动、异常声音、电弧等)。在我们实际的应用中,常见的电气设备故障模式包括但不限于:绝缘老化、接触不良、短路、开路、过载、谐波畸变、接地故障、部件磨损、轴承故障等。

每一种故障模式都对应着特定的物理机制,例如,绝缘老化一般都会增加介质损耗;接触不良则会导致电阻增大,引起局部过热与电弧放电;轴承故障是振动频率的变化,产生异常噪声。为了准确地定义故障模式,需要综合运用电气、机械和热力学的知识,结合设备的具体结构,制定详细的故障特征清单。当然,考虑到电气设备的复杂性,故障模式定义还需要考虑设备的使用环境等因素。

3.2 识别故障模式

故障模式识别是故障诊断的核心,在从设备的运行数据中识别出特定的故障类型或状态,通常涉及到对设备正常运行和故障状态下数据的深入理解以及采用有效的数据处理来提取表征故障的特征^[3]。故障模式识别的关键在于建立一个准确的故障特征库,这个库包含了所有可能故障类型对应的典型特征。特征可以从时域、频域、时频域等多个角度进行定义,比如振幅、频率、周期性、非线性特性等,都可以采集。

为了识别故障模式,首先需要进行数据采集,收集设备在不同运行条件下的信号。在这当中,也包括正常运行和已知故障状态的数据,接下来是数据预处理,去噪、滤波、标准化等让数据的质量一致。之后,通过特征提取技术如小波变换、快速傅里叶变换(FFT)、主成分分析(PCA)等,从原始数据中提炼出能够表征设备状态的特征。为什么要进行特征选择呢?因为特征选择是另一个重要步骤,它可以统计测试或机器学习方法,筛选出最具有区分能力的特征子集,最后再减少计算复杂度,提高诊断精度。

3.3 特征的提取与选择

在发变组故障识别中,特征提取的目标是从复杂的运行数据中提炼出能够表征故障状态的有效信息,涉及对原始信号进行预处理、分析和转换。特征提取需要进行信号去噪、归一化和滤波等步骤消除干扰,提高信号质量,接下来基于信号的时域、频域和时频域特性,采用多种方法来提取特征。

时域分析是最直观的特征提取方式,它直接从时间序列数据中的平均值、方差、峰值和峭度等,统计量可以反映信号的波动特性,对于识别振动异常或电流突变等某些类型的故障非常有效。频域分析利用傅立叶变换(FT)或快速傅立叶变换(FFT),将时域信号转换到频域。频域特征能够识别特定频率的异常,如转子不平衡或齿轮箱故障,这些异常会在频谱中留下明显的痕迹^[4]。

小波变换和希尔伯特黄变换(HHT)等时频域分析,可以结合时域和频域的优点,能够捕捉信号在不同时间点的频率变化,对非平稳信号的分析很有用。在发变组故障中,时频域特征能够展示故障发展的动态过程,比如局部放电或绝缘老化引起的频率漂移。

3.4 分类器设计

设计一个高效的分类器需要经过数据准备、特征选择、模型训练和性能评估等步骤,从历史数据集中提取故障和非故障状态的样本,样本涵盖尽可能多的运行条件和故障类型。特征选择是一个重要的预处理步骤,它决定了分类器能否从数据中捕捉到与故障模式密切相关的信号。特征可以是原始信号的统计量(如均值、方差、峰度等)、频域特征(如功率谱、谐波含量等)或是时频域特征(如小波系数、瞬时频率等),因此,有效的特征选择能够减少数据维度,提高分类器的效率。

在模型训练阶段,常用的分类器包括支持向量机(SVM)、决策树、随机森林、K近邻算法(KNN)、神经网络等。在这其中,支持向量机是利用最大化不同类别间的边际距离来构建分类超平面,主要是用在那些处理高维特征空间上;神经网络,尤其是深度神经网络,能够自动学习数据的内在表示,对于非线性问题的适应性良好;而随机森林和决策树易于解释,适合地理特征间

有着复杂交互作用的情况。分类器的设计需要考虑过拟合的风险,用交叉验证、正则化技术或集成学习提高模型的稳定性,性能评估是分类器设计的最后一步,常用指标包括准确率、召回率、F1分数和AUC值等^[5]。在设计分类器的过程中,不断迭代和优化才是常态,需要根据实际测试结果调整特征集达到最佳的故障识别效果。

4 结语

本次研究探索了基于深度学习的电气设备——特别是发变组状态检测与故障诊断的前沿领域,从发变组保护的基本原理出发,分析了各种故障类型及其特有的电气特征。随后,引入深度学习技术,为发变组保护开辟了新的路径。在故障类型识别与分类中,定义了清晰的故障模式,并可以利用深度学习算法自动提取了关键特征,大幅提升了故障识别的准确性,还简化了特征选择的过程。

本研究证明了深度学习技术在发变组保护中的有效性,为电力系统的智能化运维提供了有力支持。未来,预期深度学习将在电气设备的健康管理中发挥更关键的作用,这也预示着智能电力系统时代的到来。

【参考文献】

- [1]林贤洪:S120系列变频器常见故障分析及其解决方法[J].科技风,2023(29):64-66.
- [2]张宏伟,吕雪霞,基于深度学习的发电厂变频器过压故障检测[J].电子设计工程,2021,29(5):71-74,79.
- [3]任志玲,南忠明.基于改进CNN的串联型故障电弧识别方法研究[J].控制工程,2022,29(2):263-270.
- [4]胡阳,胡耀宗,程逸,等.基于FD-AT-LSTM的大型风电机组变频器温度状态监测[J].动力工程学报,2023,43(9):1207-1215.
- [5]陈轲,黄民,李一鸣.基于CNN-LSTM和注意力机制的轴承故障诊断方法[J].北京信息科技大学学报(自然科学版),2022,37(6):26-31.

作者简介:

于波(1995—),男,汉族,河北省唐山市玉田县人,大学本科,助理工程师,工作领域:发电厂继电保护专业。