

A Review of Voltage Sag Cause Identification and Classification Technologies

Yiqin Han

Liaoning University of Science and Technology, Anshan, Liaoning, 114051, China

Abstract

Voltage sag is one of the most common power quality disturbances in power systems. It occurs frequently and affects a wide range of applications, and in severe cases may lead to industrial equipment shutdown, control system malfunctions, and damage to sensitive loads. Due to the complex causes and diverse waveform characteristics of voltage sags, traditional methods relying on expert experience and rule-based judgment exhibit obvious limitations in terms of accuracy and adaptability. In recent years, with the widespread deployment of power system monitoring devices and the rapid growth of power quality data, voltage sag cause identification and classification technologies based on big data and artificial intelligence have attracted extensive attention. This paper reviews the development status of voltage sag cause mechanisms, feature extraction methods, and intelligent classification technologies, with a focus on analyzing the application characteristics and research progress of machine learning and deep learning methods in voltage sag cause identification, and prospects for future research directions are also discussed, providing references for related research and engineering applications.

Keywords

Voltage sag; artificial intelligence; cause identification; classification technology; power quality

电压暂降成因识别与分类技术研究综述

韩义钦

辽宁科技大学, 中国·辽宁 鞍山 114051

摘要

电压暂降是电力系统中最为常见的电能质量扰动之一, 其发生频率高、影响范围广, 严重时会引起工业设备停机、控制系统误动作以及敏感负荷损坏。由于电压暂降成因复杂、波形特征多样, 传统依赖人工经验和规则判断的方法在准确性和适应性方面存在明显不足。近年来, 随着电力系统监测设备的普及以及电能质量数据规模的快速增长, 基于大数据和人工智能的电压暂降成因识别与分类技术得到了广泛关注。本文围绕电压暂降成因机理、特征提取方法以及智能分类技术的发展现状展开综述, 重点分析机器学习和深度学习方法在电压暂降成因识别中的应用特点与研究进展, 并对未来研究方向进行了展望, 为相关研究和工程应用提供参考。

关键词

电压暂降; 人工智能; 成因识别; 分类技术; 电能质量

1 引言

现在的电力系统正朝着更可靠、更智能的方向发展, 电能质量问题也越来越受关注, 它不仅关系到电网能不能安全运行, 还直接影响用户用电的体验。在各种电能质量问题里, 电压暂降是研究的重点之一, 它发生的时间不确定、持续时间短, 但带来的影响却不小。很多工厂的设备、电力电子装置还有信息化设备对电压变化都很敏感, 一旦出现电压

暂降, 可能会让生产突然中断, 设备损坏, 还会造成不小的经济损失。

电压暂降的原因有很多, 情况也比较复杂, 不同原因对应的解决办法和防护措施差别很大。所以, 准确找出电压暂降的原因, 是分析电能质量、诊断故障和后续治理的关键一步。以前常用的识别方法主要靠人工经验、设定阈值或者简单的规则, 这些方法在复杂的电网环境和多种扰动同时出现的情况下, 就不太够用了。不过, 随着人工智能技术的快速发展, 基于数据的智能识别方法成了研究的热点, 给电压暂降成因识别带来了新的技术支持。

【基金项目】辽宁科技大学大学生创新创业训练计划项目基金资助。

【作者简介】韩义钦(2005-), 男, 中国河南濮阳人, 本科, 从事信号处理、分类识别研究。

2 电压暂降成因及机理分析

从电力系统运行的原理来看, 电压暂降是指系统电压

在短时间内幅值下降,之后又恢复正常的暂态过程,这和系统阻抗变化、电流突然变化以及能量平衡被打破有很大关系。在配电网和输电网里,短路故障是导致电压暂降最主要的原因之一。当发生单相或多相短路时,故障点附近的电流会突然变大,系统电压也会迅速下降,故障被切除后电压才会慢慢恢复。

除了短路故障,大功率感性负荷启动也会导致电压暂降。比如电动机启动的时候需要很大的电流,这个过程通常会持续几个周波到几百毫秒,这种情况下的电压暂降,下降过程相对平缓一些,恢复时间也比较长。另外,变压器励磁涌流多发生在变压器合闸的瞬间,这种暂降的波形往往带有明显的非线性特征。

不同原因引起的电压暂降,在幅值变化、持续时间、相位特点和恢复曲线等方面都有不同,这些差异可以作为识别成因的重要依据。不过,在实际的配电网运行中,多种扰动常常同时或者连续发生,导致暂降波形叠加在一起,这就进一步增加了分析成因的难度。因此,需要借助智能分析方法,对电压暂降的成因进行更深入的建模和识别。

3 面向电压暂降成因识别的特征提取方法

特征提取是电压暂降成因识别的关键环节,主要作用是从原始电压信号里找出能区分不同暂降原因的关键信息。早期常用的特征提取方法多围绕信号处理展开,比如用傅里叶变换、小波变换和S变换这些工具,来描述暂降信号的幅值变化、频谱分布和能量特点。

傅里叶变换更适合分析稳定的信号,但遇到电压暂降这类不稳定的信号时就不太够用了。小波变换和S变换则能在时间和频率两个维度上对信号做局部分析,更适合暂降信号的特征提取。不过这类方法在选哪些特征、设置多大的尺度参数时,往往需要靠人工经验判断,遇到复杂的扰动情况时,稳定性也会打折扣。

最近这些年,能自动调整的信号分解方法慢慢受到关注。这种方法把暂降信号拆成多个本征模态分量,从不同的尺度去描述信号的特点,能让提取的特征更全面。另外,随着数据驱动方法的发展,用深度学习自动提取特征的方式也开始用到电能质量分析里。有研究人员彭雪枫就用深度学习模型自动学习电压暂降的特征,减少了人工设计特征对识别结果的影响。

4 基于人工智能的电压暂降成因分类技术

现在电力系统的监测和感知技术越来越好,电压暂降数据的采集频率和精度都在提高,这给用人工智能来分类暂降成因提供了数据支持。和传统靠人工规则、经验判断的方法比,人工智能技术能从大量过去的的数据里自动学习不同暂降原因的内在特征,对复杂的暂降事件进行识别和分类。

4.1 机器学习方法

传统机器学习是最早用到电压暂降成因分类里的智能

技术。这类方法一般把人工提取的暂降特征作为输入,通过建立分类模型来判断暂降的原因。常见的模型有支持向量机、K近邻算法、决策树和随机森林等。

支持向量机在样本数量不多的情况下,泛化能力比较好,所以在电压暂降成因识别的研究里用得很多。通过选合适的核函数,支持向量机还能处理非线性的分类问题。有研究人员吕干云等用多分类支持向量机建立了电压暂降源识别模型,能区分多种暂降成因。这种方法在暂降类型清楚、特征稳定的场景下,识别准确率比较高^[1]。

决策树和它的集成模型在处理多特征数据时,解释性比较好。随机森林通过建多棵决策树再集成起来,能降低单一模型过拟合的风险,让分类结果更稳定。这类方法在工程实际应用中适应性较强,适合用来做暂降成因的初步分类和在线辅助分析。

传统机器学习方法在电压暂降分类里已经有了一些成果,但它的整体性能在很大程度上依赖于特征提取效果。当暂降波形复杂或多种扰动叠加时,人工特征难以全面表征信号特性,进而限制了分类精度的进一步提升。

4.2 深度学习方法

最近这些年,随着计算机处理能力的提升和电能质量相关数据的不断增多,深度学习慢慢成了研究电压暂降原因分类的一个重要方向。和传统的机器学习不一样,深度学习模型不用太依赖人工经验,能直接从原始的电压波形或者时频图像里自己找出有用的特征。

卷积神经网络在电压暂降原因分类里用得最多。它通过卷积运算和多层特征转换,能把电压暂降信号里的局部时间特征和幅值变化规律找出来,很适合处理那些维度高、不是线性变化的暂态信号。彭雪枫做过相关研究,他用深度学习模型分析电压暂降的来源,发现这种方法在信号扰动复杂的时候也能准确识别^[1]。

另外,循环神经网络和它的改进模型在处理时间序列数据上有天生的优势,能描述电压暂降过程中信号随时间变化的动态特点。有些研究把卷积网络和循环网络结合起来,同时分析暂降信号的空间特征和时间特征,这样分类的准确度也提高了。

深度学习方法在识别准确度和适应复杂场景上有不少好处,但它训练的时候需要很多标好的数据,而且模型结构复杂,计算起来要花不少功夫。在实际工程里,把模型用起来的时候,在线分析的速度还得再优化才行。

4.3 混合模型与工程应用探索

为了既保证分类准确又能在工程里用起来,一些研究试着把传统机器学习和深度学习模型结合,建一个混合的电压暂降原因分类框架。比如说,先让深度学习模型自己提取特征,再把这些高层特征放到支持向量机或者随机森林里分类,这样既能保证准确度,模型运行也更稳定。

在工程应用方面,人工智能分类技术常和电能质量监

测系统一起用,实现对暂降事件的实时识别和分析。王振羽在配电网电能质量扰动研究里,把智能识别方法用到了实际的配电网数据分析中,证明了这种技术在工程场景里是能用的^[2]。

现在来看,基于人工智能的电压暂降原因分类技术已经从理论研究慢慢往工程应用走了,但在模型能不能适应不同场景、数据标注要花多少钱、系统怎么集成这些方面,还有不少问题要解决。

4.4 基于人工智能方法的关键问题与技术挑战

电压暂降的成因往往不是单一的,不同因素可能同时出现。比如线路短路和用电负荷突然变化碰到一起时,电压暂降的波形就会混合两种情况的特点,这让只用一种方法分类的模型很难准确判断。现在很多研究还是假设情况比较理想,或者只针对某一种成因来做模型,真到了实际复杂的电网运行环境里,识别的效果就会打折扣。

深度学习模型能自己从数据里找特征,但它像个“黑箱子”——得出的分类结果说不出具体依据,搞电力工程的人没法顺着结果去分析为啥会出现暂降,也难据此制定治理办法。而且这类模型需要调整的参数多,训练和实时计算时都得花不少时间,在需要立刻监测的系统里推广起来有难度。

怎么让模型既能分清楚暂降成因,又能说清判断的道理、在复杂情况里也稳定,还能快速给出结果?这是现在用人工智能研究电压暂降成因分类时,得赶紧解决的问题。

5 国内研究进展与应用分析

国内在电压暂降成因识别和智能分类这块做了很多工作,成果大多集中在电力系统、电能质量和智能电网这几个方向。研究内容包括怎么发现电压暂降的扰动、怎么搭建分类模型,还有怎么设计综合评估的办法。

王振羽针对配电网里电能质量不好的问题,提出了用智能识别来做综合评估的方法,还拿实际配电网的数据测试了模型,证明它确实能用、效果也不错。这些研究都说明,用人工智能识别电压暂降成因的技术,在实际工程里有很大的发展潜力。

国内的研究在结合实际工程数据、让模型更实用方面

有自己的长处,但在处理大规模数据时的适应能力,还有统一模型标准这些地方,还能再深入研究。

最近这些年,智能电网和新型配电系统发展得快,国内研究人员慢慢把电压暂降成因识别的研究和实际工程需要结合起来。研究重点从只识别一种扰动,转向同时分析多种扰动;从离线分析数据,转向在线实时监测和提前预警。数据来源上,越来越多研究用实际配电网监测到的数据来训练和验证模型,让研究成果更能用到工程里。

技术发展的趋势里,把多种来源的数据结合起来的智能识别方法,慢慢受到关注。比如把电压、电流、开关有没有合上,还有保护装置有没有动作这些不同维度的数据,都放进成因分析模型里,能让判断暂降成因更准确、更可靠。同时,把电力系统运行的物理规律模型和数据驱动模型结合起来研究,也成了新方向——加上电网运行的机理约束,让人工智能模型的判断更有依据,运行也更稳定。

另外,边缘计算和智能终端技术发展后,把简化版的人工智能模型装到配电网现场的监测设备里,让设备能快速识别电压暂降事件,还能初步判断成因,技术上已经有可能实现。这类研究给实时制定电压暂降治理策略、提高电能质量管理水平,提供了新的思路。

6 结语

总体来看,电压暂降成因识别技术正逐步向智能化和数据驱动方向发展。人工智能方法在提高识别精度、自动化水平和复杂场景适应性方面展现出明显优势,但在模型泛化能力、实时性以及物理机理融合等方面仍有进一步提升空间。未来研究可结合大数据分析、深度学习模型与电力系统机理模型,推动电压暂降成因识别技术在实际电力系统中的深入应用。

参考文献

- [1] 彭雪枫.基于深度学习的电压暂降溯源与定位[D].东南大学,2023.DOI:10.27014/d.cnki.gdnau.2023.001381.
- [2] 王振羽.配电网电能质量扰动智能识别及综合评估方法研究[D].安徽大学,2023.DOI:10.26917/d.cnki.ganhu.2023.001368.
- [3] 吕干云,方奇品,蔡秀珊.基于多分类支持向量机的电压暂降源识别[J].电力系统保护与控制,2010,38(22):151-155.