

考虑多源特征融合的变压器 谐振过电压故障检测

丁 岩 张泽银 刘 昊

(国网宁夏电力有限公司吴忠供电公司)

摘 要:在变压器谐振过电压故障检测中,多个变量如电压、电流和频率等之间相互关联,并且受到外界条件和操作方式的影响。这些复杂的变量相互作用使得故障检测的分析和判断变得困难。为此,本研究考虑多源特征融合,提出一种变压器谐振过电压故障检测方法。选择多源低层特征融合技术,对变压器多源特征完成加权融合。基于此,以谐振过电压熔断量判断是否存在过电压故障,实现变压器谐振过电压故障检测。实验结果验证了研究方法能够精准检测出变压器的过电压时刻,且可准确输出突变电压值,说明该方法具有较好的应用性能。

关键词:多源低层特征融合;变压器;过电压故障;检测方法;熔断量

0 引言

当变压器处于运行状态时,谐振过电压故障可能会发生,导致绝缘击穿或设备失效,严重情况下会引发事故^[1]。因此,研究变压器谐振过电压故障检测具有重要的背景意义。准确检测谐振过电压故障可以帮助及时采取措施避免变压器损坏,提高电力系统的可靠性和稳定性。谐振过电压会给变压器等关键设备带来巨大的电压应力,容易导致设备失效,影响电网供电^[2]。因此,通过研究谐振过电压故障检测,可以避免设备失效,降低维护成本。技术的发展使得利用多源特征融合进行谐振过电压故障检测成为可能,综合考虑不同特征源之间的互补性和相互关联性,可以提高故障检测的准确性和可靠性^[3]。因此,在该问题中考虑多源特征融合十分重要。通过研究变压器谐振过电压故障检测,可以保障电力系统的安全运行,提高其可靠性和稳定性。

文献[4]采用SVD方法对有载调压变压器进行了故障诊断。在此基础上,提出了一种基于Hankel矩阵的有载调压装置,并利用SVD对其进行了降噪处理。采用峰值能量方法,建立有载调压变压器的故障诊断模型,实现对局部波动成分的探测,实现对有载调压变压器的智能监测。但是,SVD计算过程较为复杂,特别是对于大规模数据或高维数据,计算时间和计算资源需求较高,限制了其在实时系统中的应用。文献[5]以一维卷积神经网络为基础,结合最佳的神经-模糊神经网络,探讨了一种新的侦测算法。选取了8个最有代表性的特征作为一维卷积神经网络。

在此基础上,提出了一种新的基于BP网络的新型智能电网智能控制方法。但是,模糊推理需要依赖专家经验来定义模糊规则,但规则的设计可能存在主观性和不确定性,且难以精确描述复杂的变压器故障情况。

为此,提出一种考虑多源特征融合的变压器谐振过电压故障检测方法。本文的创新点主要体现在两个方面。

(1)多源特征融合。针对变压器故障检测中的信息不完整和复杂性问题,本文采用多源低层特征融合技术,综合利用来自不同传感器的特征信息,以提高故障检测的可靠性和精度。

(2)谐振过电压熔断量判断。为了准确判定是否存在谐振过电压故障,本文引入了谐振过电压熔断量的概念,并基于其特点进行分析和判断,从而提高故障判定的准确性和可靠性。

1 考虑多源特征融合的变压器谐振过电压故障检测

变压器谐振过电压故障需要从变压器及其周围的监测设备中获取大量数据,并通过数据分析来进行故障诊断^[6]。确保数据的准确性和可靠性以及有效的数据分析方法是一个难点。由于变压器谐振过电压故障受到多种因素的影响,单一传感器的数据可能无法完整地反映故障状态。通过多源特征融合,可以弥补数据不完整性,提供更为全面和可靠的故障判断依据。在多源特征融合过程中,可以采用适当的加权融合技

术,对不同传感器或监测点的特征进行加权处理^[7]。这样可以降低单一传感器的干扰对故障判断的影响,提高系统的抗干扰能力。

1.1 多源特征融合

变压器谐振过电压故障涉及多个方面的因素,如电流、电压、频率等。这些特征源的信息互补性较强,通过将多个特征源进行融合,可以提高故障检测的准确性和鲁棒性。多源特征融合能够综合考虑不同特征源之间的时序关系和相互影响。例如,不同特征源之间的相关性可以帮助确定谐振过电压故障的发生概率^[8]。通过融合多源特征,可以更全面地描述系统状态,提高故障检测的可靠性。

本文选择低层特征融合技术,以便达到提高变压器故障检测精度的目的。低层特征融合技术指的是将来自于变压器故障检测中不同传感器或监测点采集到的低级别信息进行融合和组合,以获取更全面、准确的故障检测结果。低层特征可以从原始数据中提取的基础特征,如振动信号的频谱特征、电流信号的谐波特征等。这些特征对于故障检测具有一定的判别能力。多源特征融合算法的结构示意图如图1所示。

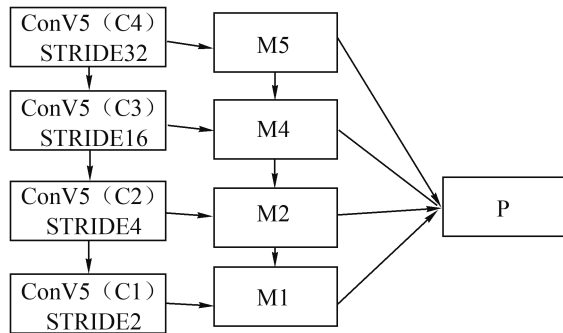


图1 多源特征融合算法的结构示意图

多源特征融合步骤如下:

(1) 数据采集:收集来自变压器不同部分或传感器的多源数据,如电流、电压、频率等。

(2) 数据预处理:对采集到的数据进行预处理,包括去噪、滤波、降采样等操作,以减少数据中的噪声和冗余信息。

(3) 特征提取:从每个数据源中提取特征。针对不同的数据源,可以采用不同的特征提取方法,例如时域特征(均值、方差等)、频域特征(功率谱密度、频率峰值等)和统计特征(最大值、最小值、标准差等)。

(4) 特征融合:利用卷积神经网络将从不同数据源中提取的特征进行加权融合。加权平均法根据每个特征的重要性给予不同权重,求得加权平均值作为融合结果。

利用获取的中间量 χ 对 γ 实施加权操作,描述为:

$$\gamma' = f_{\gamma}(\gamma; \chi) = \chi \otimes \gamma \quad (1)$$

式中,加权函数用 f 描述,哈达玛乘积用 \otimes 描述。

令 γ' 经过一个 4×4 卷积层以及一个标准化层,即可获得IRRG、DSM的特征融合结果,其中该卷积层的权重为 W ,特征融合过程描述为:

$$\xi = v(\gamma', W) = W\gamma' \quad (2)$$

式中,融合操作函数用 v 描述,IRRG和DSM的特征融合结果用 ξ 描述。

1.2 谐振过电压熔断量

通过上节内容可得到变压器的运行特征,基于此,定义过电压行为,完成谐振过电压熔断量的计算,实现变压器谐振过电压故障的检测。变压器谐振过电压熔断量是在谐振过电压故障发生时,系统中保护装置熔断所能承受的过电压瞬态峰值。谐振过电压熔断量可以反映系统中的保护设备对于过电压故障响应的能力,特别是在故障发生时能否及时熔断,保护变压器及其他设备的安全。因此变压器谐振过电压熔断量可以用来监测和评估系统中谐振过电压故障的程度和频率。当谐振过电压熔断量超过系统设计限制时,说明此时变压器存在谐振过电压故障。

粒子群算法具有全局搜索的优势,能够在多维搜索空间中找到最佳解或接近最佳解的解。对于变压器谐振过电压熔断量的计算,可以利用粒子群算法来寻找最优参数组合,从而准确计算熔断量。且粒子群算法采用并行计算的方式,能够在较短的时间内搜索出较优解,提高计算效率。这对于复杂的变压器谐振过电压熔断量计算问题尤为重要,可以减少计算时间和资源消耗。利用该算法定义过电压行为如式(3)所示:

$$\kappa = \xi \frac{|\mathbf{H}_a|^n}{\mathbf{H}_n - \mathbf{H}_0} \quad (3)$$

式中, a 为算法随机粒子定义项; \mathbf{H}_a 为过电压传输向量; \mathbf{H}_0 为其初始值; \mathbf{H}_n 为过电压行为传输向量的最终数值; n 为遍历系数。

根据过电压行为模型,将谐振过电压熔断量计算公式定义为:

$$V = \left(\frac{\kappa/w_1 \cdot w_2}{\sqrt{G_1} \cdot \sqrt{G_2}} \right)^2 \quad (4)$$

式中, G_1 、 G_2 为变压器中两个随机选取的过电压行为指标; w_1 、 w_2 分别为与之相关的电压熔断故障检测系数。

通过谐振过电压熔断量可判断出变压器是否存在谐振过电压故障。

2 实例分析

本次试验对象为六台s13-315kVA油浸式变压器。

选择油浸式变压器来验证变压器谐振过电压故障检测的有效性是合适的。因为油浸式变压器在实际运行中较为常见，并且在谐振过电压故障中具有一定的风险，对于变压器及电力系统的安全运行至关重要。通过验证变压器谐振过电压故障检测算法的有效性，可以准确监测和预防谐振过电压故障，提高变压器的使用寿命，保障电网稳定和可靠运行。同时，油浸式变压器在绝缘油的冷却、电场特性等方面与其他类型的变压器有所区别，因此验证算法时需要考虑这些特点并进行针对性测试和分析，从而保证检测算法的准确性和适用性。油浸式变压器实物如图 2 所示。



图 2 油浸式变压器实物图

将六台油浸式变压器按顺序通过电缆连接（变压器以 A、B、C、D、E、F 标志），实现电力信号传输和连接，在本次试验中，将电缆埋地处理，确保了信号传输可靠性和安全性。在此实物环境下，通过迅速切换不同电源之间的连接，例如切换不同发电机的接入，引起电压的突变和波动，人为造成谐振过电压故障的发生。为突出故障检测效果，对同一时刻变压器 B、D、F 施加过电压故障。在变压器 B、D 和 F 位置安装电压传感器，以采集与谐振过电压故障相关的电压数据。所采集的数据应涵盖故障发生时刻波形信息。

变压器 B、D 和 F 的谐振波形如图 3 所示。

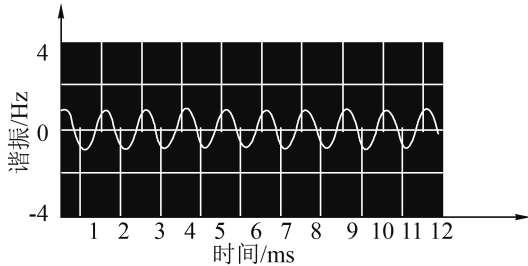


图 3 变压器 B、D 和 F 的谐振波形

根据图 3 可知研究方法能够获取过电压故障下的变压器谐振波形，通过此步骤可以提前预警可能发生的谐振过电压故障。这样可以采取相应的措施，如调整运行参数、增加滤波装置等，防止谐振过电压故障的发生，维护系统的稳定性和设备的安全性。

各变压器电压变化情况如图 4 所示。

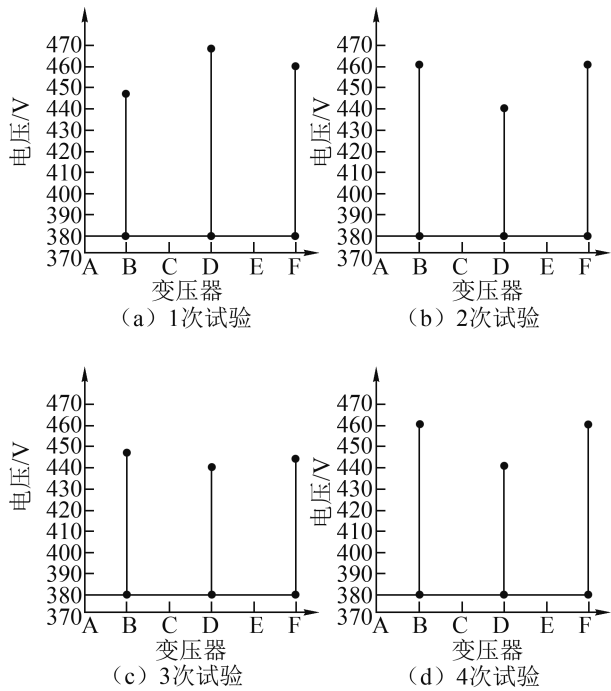


图 4 研究方法检测的变压器过电压故障

由图 4 可知，在多次试验中，研究方法均能够精准检测出变压器 B、D 和 F 位置的电压突变，即能够高精度检测谐振过电压故障。这是因为研究方法通过综合多个特征信息，可以更全面地描述变压器的状态和故障情况，提高故障检测的准确性和可靠性。且根据变压器谐振过电压熔断量的判断，可以准确判断是否存在过电压故障。谐振过电压熔断量反映了故障发生时过电压的幅值和变化情况，因此可以有效地区分正常工作状态和故障状态。

3 结束语

本文提出了一种基于多源特征融合的变压器谐振过电压故障检测方法。通过选择多源低层特征融合技术，将来自不同传感器或监测点的低层特征进行加权融合，得到更全面、准确的故障检测结果。此外，利用谐振过电压熔断量判断故障存在与否，并实现突变电压值的精准输出。

但是，本研究仍然存在一些缺陷。在提出的多源特征融合和谐振过电压熔断量判断方法上进行了理论推导和分析，但缺乏实际验证的数据。实际验证能够更好地评估方法的效果和可靠性。且在多源特征融合和谐振过电压熔断量判断方法中，对于权重的选择和判定阈值的确定存在一定的主观性。直接关系到方法的精度和准确性，需要更科学、客观的方法来选择和确定这些参数。

（下转第 167 页）

实施提供了长期的经济和技术效益。

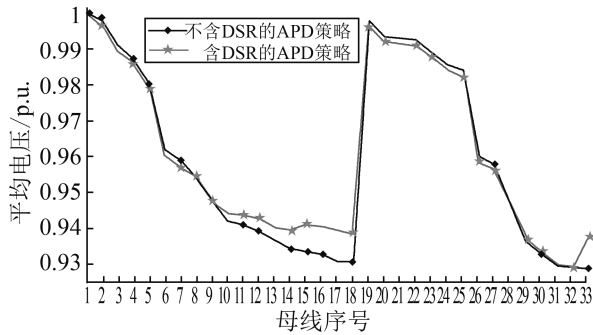


图2 APD策略在DSR结束时的最小电压分布

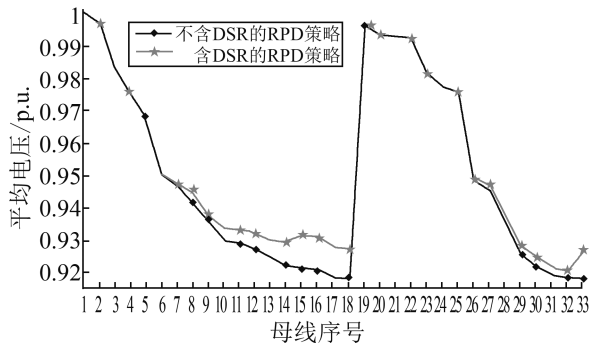


图3 RPD策略在DSR结束时的最小电压分布

3 结束语

本文提出了一种基于APD和RPD的调度策略综

合成本效益分析。在两种策略的效益中,分析了电力公司和电动汽车客户的共同利益。此外,还研究了DSR对与电动汽车集成的配电系统的长期成本影响。从分配系统的技术和经济角度来看,与不协调策略相比,这两种控制方法都是有益的。因此,将电动汽车集成到配电系统中以灵活的电力管理支持系统稳定提供了途径。尽管补偿成本不容忽视,但配备V2G的电动汽车调度策略的长期成本影响超过了补偿成本,与APD策略相比,RPD策略在规划范围内提供了更高的效益,补偿成本更低。

参考文献

- [1] 胡泽春,宋永华,徐智威.电动汽车接入电网的影响与利用[J].中国电机工程学报,2012,32(4):1-10.
- [2] 刘晚飞,张千帆,等.电动汽车V2G技术综述[J].电工技术学报,2012,27(2):121-127.
- [3] 刘超.计及电动汽车最优时空分布的分级调度模型研究[D].重庆:重庆大学,2014.
- [4] 张舒,胡泽春,宋永华,等.考虑电动汽车换电站与电网互动的机组组合问题研究[J].中国电机工程学报,2012,32(10):49-55.
- [5] 于大洋,宋曙光,张波,等.区域电网电动汽车充电与风电协同调度的分析[J].电力系统自动化,2011,35(14):24-29.

(收稿日期:2023-11-27)

(上接第164页)

在日后的研究中,应结合实际场景和实测数据,对提出的方法进行试验验证,以评估其可行性和有效性。可通过更多的试验和试验数据,可以采用自适应或基于数据的方法来优化并自动选择参数,减少主观性带来的影响。

参考文献

- [1] 汪恒,杨军景,李翔宇,等.长电缆对合空载变压器过电压的影响研究[J].变压器,2023,60(4):43-48.
- [2] 李爽,崔巨勇,韦德福,等.单相短路时220kV变压器中性点过电压及避雷器并联棒间隙的动作特性仿真试验研究[J].电瓷避雷器,2022(3):103-108,147.
- [3] 付文光,刘志林,张建英.箱式变压器合闸操作过电压成因及抑制措施研究[J].变压器,2021,58

(9):23-26.

- [4] 季云,曹弋.基于奇异值分解的有载调压变压器故障智能检测算法[J].电子器件,2022,45(4):893-897.
- [5] 游溢,赵普志,刘冬,等.基于优化模糊推理系统的电力变压器故障检测方法[J].济南大学学报(自然科学版),2023,37(1):71-76,83.
- [6] 杨景刚,肖小龙,刘瑞煌,等.光伏中压直流汇集系统双极短路特性分析及连锁过电压抑制[J].高电压技术,2021,47(1):205-213.
- [7] 徐大鹏,蔡德宇,赵兰明,等.海上风电过电压及无功补偿问题研究[J].山东大学学报(工学版),2021,51(1):94-99.
- [8] 李璨,咸日常,张宁,等.10kV大电流接地系统真空断路器切除空配变的操作过电压暂态特性[J].真空科学与技术学报,2022,42(12):943-951.

(收稿日期:2023-11-23)