

基于振荡波分析的机场航站楼变压器绕组故障告警方法设计研究

陆怡冰

(民航华东空管局技术保障中心, 上海 200335)

摘要: 针对现有机场航站楼变压器绕组故障告警方法存在告警准确性差, 故障告警与实际故障存在较大差异的问题, 结合振荡波分析, 开展对机场航站楼变压器绕组故障告警方法的设计研究。通过振荡波分析, 采集机场航站楼变压器绕组故障特征。对变压器绕组故障问题进行多特征融合诊断, 并实现告警。对比实验证明, 新的故障告警方法准确性更高, 告警结果与实际故障情况一致, 具备极高的应用价值。

关键词: 振荡波分析; 航站楼; 绕组; 变压器; 机场; 故障告警

中图分类号: TM41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-0797(2024)08-0055-03

DOI: 10.19514/j.cnki.cn32-1628/tm.2024.08.015

0 引言

变压器是机场航站楼的核心电力设备之一, 它负责将高压电转化为适合电气设备使用的低压电, 因而对于机场的供电保障至关重要。一旦变压器出现故障, 特别是绕组故障, 将导致供电中断, 从而严重影响机场的正常运营, 甚至可能引发安全事故。因此, 及时发现并处理变压器绕组故障显得尤为重要^[1]。目前, 机场航站楼的变压器绕组故障告警主要依赖于定期检修和人工巡检, 然而这种方法存在一定的局限性。首先, 定期检修无法实时监测变压器的运行状态, 无法做到故障的早期发现和预警。其次, 人工巡视作业耗费大量的人力和资源, 而且工作效率不高, 无法满足现代机场运营的需求。因此, 开发一种能够实时监测变压器绕组状态并及时告警的故障告警方法具有重要意义。通过实时监测变压器的电流信号和温度信号, 能够及时发现变压器绕组的异常状态, 做到故障的早期预警和处理。这种方法不仅可以提高变压器的运行效率, 降低运营成本, 同时也能增强机场电力供应的稳定性与安全性, 为机场的正常运作提供强有力的保证。针对上面分析的问题, 本文提出了一种基于振荡波分析的机场航站楼变压器绕组故障告警方法。

1 基于振荡波分析采集机场航站楼变压器绕组故障特征

振荡波分析是一种用于检测和分析变压器绕组

故障特征的技术^[2]。在机场航站楼的变压器绕组故障诊断中, 振荡波分析可以用于采集和分析故障特征, 帮助识别绕组的故障类型和程度。振荡波分析的基本原理是, 通过在变压器绕组的一端输入高压直流电源, 并利用高压可控电力电子开关(简称“高压可控开关”)的闭合, 形成两个回路^[3]。其中, 一个是直流电源经过限流电阻和开关形成的直流回路, 另一个是高压电容与变压器绕组之间形成的暂态振荡回路。通过这种设置, 可以有效地利用振荡波的特性来对变压器的绕组进行故障诊断和分析。通过采集和分析振荡波信号, 可以获取绕组的电气特征和传输特性。图1为机场航站楼变压器绕组运行过程中产生的振荡波。

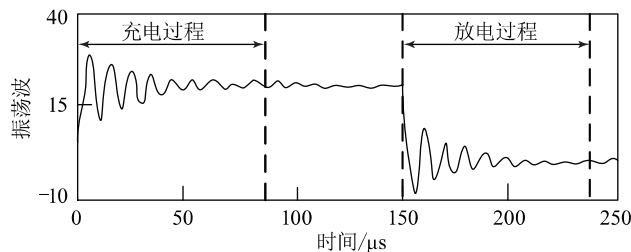


图1 机场航站楼变压器绕组运行过程中产生的振荡波

从图1可以看出, 变压器在周期性充电和放电时将有规律地振荡。充放电时, 振荡波形呈对称分布。采集放电过程的振荡波信号, 可以为后续故障诊断和告警提供依据。

振荡波的波形特征可以准确描述其曲线变化, 对振荡波信息的提取主要包括峰峰值、峰值因子、波

形因子等。其中,峰峰值用于描述振荡波振点的振荡范围,其可以用下式表示:

$$V_{pk} = \max(x_{std}) - \min(s_{std}) \quad (1)$$

式中: V_{pk} 为峰峰值; $\max(x_{std})$ 为最大振荡波信号; $\min(s_{std})$ 为最小振荡波信号。

峰值因子用于描述振荡波振幅在波形当中所处的极端程度,其表达式为:

$$V_c = \frac{V_{pk}}{\sqrt{\sum x_{std}^2}} \quad (2)$$

式中: V_c 为峰值因子; x_{std} 为振荡波的有效值。

波形因子用于描述振荡波整体幅值,其公式为:

$$V_s = \frac{n \sqrt{\sum x_{std}^2}}{\sum |x_{std}|} \quad (3)$$

式中: V_s 为波形因子; n 为采样点数。

在上述获取到的振荡波信息基础上,对变压器绕组故障进行诊断。

2 变压器绕组多特征融合故障诊断与告警

振荡波是一种非平稳的暂态信号,其特性随着变压器绕组的故障程度或故障位置的变化而发生变化。当绕组的故障程度或故障位置发生改变时,振荡波的时域波形将发生变化,同时在频域信息上也会产生相应的变化^[4]。因此,为了更全面地分析振荡波的特征,可以从时域和频域两个维度进行联合分析。通过对振荡波的时域波形进行分析,可以提取出反映故障类型和程度的信息;通过对振荡波的频域信息进行分析,可以提取出反映故障位置的信息。这种联合分析方法可以更全面地提取振荡波的有效特征,从而更准确地诊断变压器绕组的故障。

在时域分析中,可以观察振荡波的波形变化,包括波形形状、幅度等特征。这些特征可以反映变压器绕组的故障类型和程度^[5]。例如,当绕组出现短路故障时,振荡波的幅度可能会增大,波形可能会出现畸变。通过对时域波形的分析,提取这些有效特征,进而判断绕组的故障情况。

在频域分析中,对振荡波进行频率分析,提取其中的频域信息。振荡波的频率成分与绕组的电气特性有关,当绕组发生故障时,频率成分可能会发生变化。通过频域分析,识别出不同的频率成分,进而判断绕组的故障类型和位置。

联合时域和频域两个维度进行分析,可以更全面地提取振荡波的有效特征。时域波形可以提供关于故障类型和程度的信息,而频域信息则可以提供关于故障位置的信息。结合颜色特征可以实现变压器绕组故障对比,更清晰地进行告警展示。假设像素数为 N_c , 根据阈值 ε , 判定连通区域内的像素聚合性:

$$\begin{cases} N_c \geq \varepsilon, & \text{聚合像素 } D, \\ N_c < \varepsilon, & \text{非聚合像素 } W \end{cases} \quad (4)$$

在此基础上,定义距离参数为 D_{std} 和 W_{std} , 不同像素的颜色聚合矢量之间的差异为:

$$D_{std} = \frac{\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^k (|D_{ij} - d_{ij}| + |W_{ij} - w_{ij}|)}{3 \sum_{j=1}^3 \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k |D_{ij} + W_{ij}|} \quad (5)$$

$$W_{std} = \frac{\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^k |D_{ij} - W_{ij}| - \sum_{i=1}^k |d_{ij} + w_{ij}|}{3 \sum_{j=1}^3 \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k |D_{ij} + W_{ij}|} \quad (6)$$

式中: d_{ij} 为参考图像中的聚合像素; D_{ij} 为对比图像中的聚合像素; w_{ij} 为参考图像中的非聚合像素; W_{ij} 为对比图像中的非聚合像素。

通过上述波形特征实现对机场航站楼变压器绕组故障类型的判定,再结合颜色矩阵特征实现对绕组故障程度的判定。图2为故障诊断流程图。

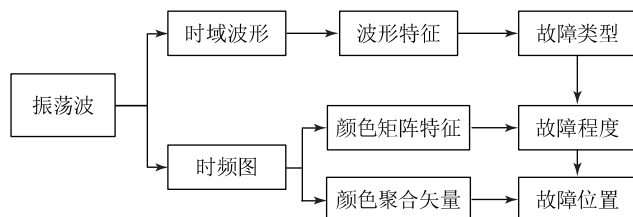


图2 故障诊断流程图

在具体对变压器绕组故障进行告警时,首先采集变压器绕组的振荡波信号和图像数据;然后对振荡波信号进行时域和频域分析,提取波形特征;再利用颜色矩阵特征提取算法提取图像中的颜色矩阵特征;最后结合波形特征和颜色矩阵特征,利用分类器对绕组故障类型和程度进行判定。将得到的故障信息汇总,构成完整的告警信息。这种综合分析方法可以帮助更准确地诊断变压器绕组的故障,为维修提供准确的信息和参考,从而保障机场航站楼运行的

安全性和稳定性。

3 对比实验

在上述论述基础上,为了进一步验证本文提出的基于振荡波分析的故障告警方法是否具备应用有效性,选择将本文设计的故障告警方法设置为实验组,以文献[6]的研究为例,将其中基于时间动态变分自编码器的故障告警方法设置为对照A组,将其中基于逻辑正则极限学习机的故障告警方法设置为对照B组,建立与机场终端变压器绕组等效的绕组模拟平台。

绕组模拟平台是以10 kV牵引变压器为核心,各相铁芯为三绕组,铁芯直径53 mm,高530 mm。在铁芯的外侧,是牵引线圈(Tull Wave)、供电线圈(F)以及高压线圈(HV)。每一个线圈由18个双圆盘构成,每一个圆盘的圈数为32圈,圆盘的高度是20 mm。其特点是:在双极板的两端通过铜鼻相连,极板间由高导电性的黄铜螺帽将其连接起来,使其能够很好地模拟出不同线圈的故障状态。

在仿真平台上构建的变压器运行故障情况下,采集其振荡波的非平穩暂态信号,该信号的频域变化如图3所示。

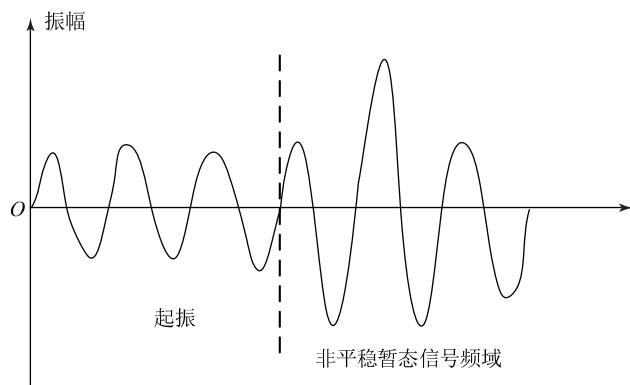


图3 振荡波的非平穩暂态信号频域变化图

将牵引绕组、馈电绕组和高压绕组分别连接到相应的电源和测量仪器上;设定故障类型为轴向位移;根据所模拟的故障类型,调整试验变压器的结构和工作参数;启动试验变压器并观察各绕组的运行情况,记录各绕组的电气参数并进行故障诊断。以轴向位移为变压器绕组变形故障的观察指标,轴向位移故障程度的计算公式为:

$$\Delta = \frac{\Delta h}{h} \times 100\% \quad (7)$$

式中: Δ 为轴向位移的故障程度量化结果; Δh 为轴向位移高度; h 为绕组的总高度。

垫块的厚度约为1.5 mm,为模拟1%的轴向位移失效,在隔板间加3个垫块。以此为规律,仿真了1%~7%的位移程度,并以此为标准,确定故障等级,具体如表1所示。

表1 不同绕组故障程度对应的等级

序号	位移程度	轴向移位故障等级
1	1%、2%	轻微
2	3%、4%、5%	中度
3	6%、7%	重度

按照表1中的内容,统一三种故障告警方法的告警等级,并随机模拟不同程度的轴向位移条件下,不同方法的告警准确度,共模拟500次,统计结果如表2所示。

表2 告警结果对比表

轴向位移程度/%	实验组	对照A组	对照B组
1	0.985	0.967	0.948
2	0.972	0.954	0.935
3	0.961	0.943	0.924
4	0.953	0.935	0.916
5	0.946	0.928	0.907
6	0.939	0.921	0.898
7	0.933	0.915	0.889

从表2中可以明显看出,随着轴向位移程度的增加,所有组的准确率都呈现出下降的趋势。然而,实验组在这三个组中始终保持最高的准确率,其平均准确率为95.6%,明显高于对照A组的93.8%和对照B组的91.7%。这表明实验组在处理轴向位移变化时具有更高的稳定性和准确性。

综上所述,实验组的故障告警方法具有更高的准确性,能够更精准地实现对机场航站楼变压器绕组故障的诊断和告警。相比之下,对照A组和对照B组的告警方法在准确性方面存在一定的不足。

因此,实验组的故障告警方法对于维护机场航站楼的运行安全性和稳定性而言,都具有十分重要的意义。
(下转第61页)

效率优化方面,通过对火力发电机组的运行参数和工艺流程进行优化,提高发电效率和能源利用效率。通过优化燃烧过程、提高锅炉效率、减少传输损失等手段,可以降低能源消耗,提高发电量和效益。同时,还可以采用先进的发电技术和设备,提高系统的整体效率和可靠性,保证系统运行稳定。

4 结束语

综上所述,本研究为火力发电机组集控运行系统提供了一套行之有效的性能优化方案。这不仅有助于提高能源利用效率,增强系统运行稳定性,还进一步保障了系统的安全性。这些研究成果为相关领域的工程应用提供了有力的技术支撑和参考,有望推动火力发电行业走向更为绿色、高效的未来。

[参考文献]

- [1] 何晓迪.火力发电厂发电机组集控运行技术研究[J].消费电子,2021(7):14-15.
- [2] 高琪.火力发电厂发电机组集控运行技术应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2022(11):123-126.

- [3] 文发红.火力发电厂发电机组集控运行技术应用研究[J].光源与照明,2022(6):139-141.
- [4] 陈林参.火力发电厂发电机组集控运行技术研究[J].电力系统装备,2021(15):130-131.
- [5] 孙立新.光伏能源高效利用研究[J].能源与环保,2022,44(4):154-160.

收稿日期:2023-12-27

作者简介:汪海洋(1982—),男,安徽涡阳人,工程师,研究方向:火力发电厂生产管理。

(上接第57页)

4 结束语

本文提出了一种基于电流信号和温度信号的机场航站楼变压器绕组故障告警方法。该方法通过实时监测变压器的运行状态,并对采集到的信号进行分析和处理,能够及时发现并预警变压器绕组的故障。相比现有技术,本方法具有更高的检测效率和准确性,因而具有广阔的应用前景。

[参考文献]

- [1] 龙玉琨,王贺.一起10 kV变压器绕组匝间短路引起的系统接地报警故障分析[J].变压器,2023,60(10):72-75.
- [2] 周利军,周祥宇,吴振宇,等.变压器绕组振荡波建模及轴向移位故障分析[J].电力自动化设备,2021,41(3):157-163.
- [3] 金森,张若兵,杜钢.考虑振荡波衰减特性的电缆局放模式识别方法[J].高电压技术,2021,47(7):2583-2590.

- [4] 王伟,梁聪,祁志强,等.0.1 Hz超低频与振荡波电压下热缩和冷缩电缆附件典型缺陷局部放电对比研究[J].绝缘材料,2022,55(10):93-98.
- [5] 韩雪源.基于LSTM算法的高压交联电缆线路振荡波局部放电检测方法[J].电机与控制应用,2022,49(12):41-46.
- [6] 郑伟钦,何胜红,钟炜,等.基于时间动态变分自编码器和逻辑正则极限学习机的变压器绕组变形故障诊断方法[J].信息记录材料,2022,23(12):220-224.

收稿日期:2023-12-25

作者简介:陆怡冰(1996—),男,上海人,硕士研究生,助理工程师,研究方向:电气设备运维。