组合电器局部放电检测与定位技术研究

李 毅 蒋永军

国网河南省电力公司浉池县供电公司 河南 三门峡 472000

摘要: 组合电器,特别是气体绝缘组合电器(Gas Insulated Switchgear, GIS),作为电力系统中的重要设备,其运行稳定性和安全性直接关系到电网的可靠运行。局部放电(Partial Discharge, PD)是GIS设备常见的缺陷类型,长期局部放电会导致设备绝缘性能劣化,甚至引发绝缘击穿。因此,对GIS设备进行局部放电检测与定位技术研究具有重要意义。本文综述了GIS局部放电检测与定位技术的现状,分析了常用检测方法的优缺点,并探讨了新型检测与定位技术的发展趋势。

关键词: GIS局部放电检测; 定位技术; 新型检测

引言

GIS作为一种封闭的全封闭组合开关电器,具有结构紧凑、体积较小、技术指标优越且基本不受外界影响等优点,在电网和大型变电站中得到了广泛应用。然而,由于GIS设备内部场强较高,当设备内部存在绝缘缺陷时,容易发生局部放电。局部放电不仅是GIS设备绝缘劣化的主要原因之一,也是描述GIS绝缘老化的重要特征。因此,对GIS设备进行局部放电检测与定位,对于提高设备的运行可靠性具有重要意义。

1 GIS局部放电检测常用方法

1.1 特高频法(UHF)

GIS局部放电检测常用方法之一为特高频法(UHF)。特高频法是一种基于局部放电产生的电磁波信号进行检测的技术。当GIS设备内部发生局部放电时,会伴随产生频率极高的电磁波信号。这些特高频电磁波信号具有独特的频谱特征,可以通过特高频传感器进行接收和捕捉。特高频传感器具有高度的灵敏性和选择性,能够准确识别并接收这些微弱的电磁波信号。通过对接收到的信号进行分析和处理,可以判断GIS设备是否存在放电故障,以及故障的类型和严重程度。特高频法因其灵敏度高、抗干扰能力强等优点,在GIS局部放电检测中得到了广泛应用。然而,由于GIS设备内部结构复杂,电磁波信号在传播过程中可能会受到反射、折射和散射等影响,导致定位精度受到一定限制。因此,在实际应用中,需要结合设备结构和运行状况,对特高频法进行适当的优化和调整,以提高定位精度和检测效果。

1.2 超声波法(AE)

超声波法是一种利用局部放电产生的超声波信号进行检测的有效方法。在GIS设备内部,当发生局部放电时,会伴随着剧烈的机械振动。这些机械振动会进一步

产生超声波信号,这些信号在GIS设备内部传播,并携带着局部放电的关键信息。为了捕捉这些超声波信号,我们需要使用超声波传感器。这些传感器具有高度的灵敏性和方向性,能够准确接收并识别GIS设备内部产生的超声波信号。通过超声波传感器,我们可以实现对局部放电的实时检测与精确定位。超声波法相较于其他检测方法,具有定位精度高的显著优点。因为超声波在固体中的传播速度相对稳定,且受外界电磁干扰的影响较小,所以通过计算超声波信号到达不同传感器的时间差,可以较为准确地确定局部放电源的位置。然而,超声波法在实际应用中也面临一些挑战。由于GIS设备内部结构复杂,超声波信号在传播过程中可能会遇到多种反射、折射和散射情况,导致信号传播路径变得复杂多变。这不仅增加了信号处理的难度,还可能对检测灵敏度产生一定影响。为了提高超声波法的检测灵敏度,需要不断优化传感器设计,改进信号处理算法,并结合GIS设备的实际结构特点进行针对性的调整和优化^[1]。

1.3 高频电流法(HFCT)

高频电流法是一种高效且广泛应用的GIS局部放电检测方法。在GIS设备内部,当发生局部放电时,会伴随产生高频电流信号。这些信号具有独特的频率特性,成为局部放电现象的重要标识,为检测提供了可靠的依据。为了准确捕捉这些高频电流信号,采用了高频电流传感器(HFCT)。HFCT具有极高的灵敏度和宽频带响应特性,能够精确接收并测量GIS设备中流过的高频电流。它像是一位敏锐的“听诊器”,实时监测着GIS设备内部的电流变化,从而帮助判断设备是否存在放电故障。高频电流法相较于其他检测方法,展现出了显著的优点。首先,其检测灵敏度极高,能够捕捉到极其微弱的局部放电信号。这一特性为早期发现设备故障提供了可能,

使得维护人员能够在故障尚未造成严重影响之前及时采取措施。其次,高频电流法的适用范围非常广泛,不仅适用于GIS设备,还可应用于其他高压电气设备的局部放电检测,如变压器、开关设备等。然而,高频电流法也并非完美无缺。由于GIS设备内部结构的复杂性,高频电流信号在传播过程中可能会受到多种因素的影响,如设备壳体、绝缘子、连接件等的阻碍和反射。这些因素可能导致信号衰减、畸变或干扰,从而影响定位精度。因此,在使用高频电流法进行局部放电定位时,可能需要结合其他定位方法或技术手段来提高定位准确性。为了克服这一局限,研究者们正在不断深入探索和改进高频电流法的定位算法和传感器设计。在定位算法方面,他们致力于开发更精确、更稳定的算法,以更准确地确定局部放电源的位置。在传感器设计方面,他们努力优化传感器的结构和材料,提高传感器的灵敏度和抗干扰能力,使其能够更好地捕捉和识别高频电流信号。

2 GIS局部放电定位技术

2.1 声电联合定位技术

声电联合定位技术是一种将特高频法与超声波法巧妙融合的定位方法,旨在更准确地确定GIS设备内部局部放电的位置。这一技术充分利用了特高频法和超声波法各自的优势,实现了定位精度和检测效率的双重提升。在声电联合定位过程中,首先利用特高频传感器进行初步定位。特高频传感器能够捕捉到局部放电产生的特高频电磁波信号,这些信号具有独特的频谱特征,可以帮助我们快速锁定局部放电发生的大致区域。通过特高频传感器的初步定位,我们可以大大缩小搜索范围,为后续的精确定位奠定基础。接下来,超声波传感器登场进行二次精确定位。超声波传感器能够接收到局部放电产生的超声波信号,这些信号在GIS设备内部传播时,会受到设备结构的影响而发生反射、折射等现象。通过分析超声波信号的传播路径和时间差,可以确定局部放电的具体位置。超声波传感器的精确定位能力,使得我们能够更准确地找到局部放电源,为后续的故障处理和维修提供有力支持。声电联合定位技术结合了特高频法的高灵敏度和超声波法的高定位精度,形成了一种互补的优势。特高频法能够快速锁定大致区域,而超声波法则能够在这个区域内进行精确定位,两者相辅相成,大大提高了定位精度和检测效率^[2]。此外,声电联合定位技术还具有抗干扰能力强、适用范围广等优点,使得它在GIS设备的局部放电检测中得到了广泛应用。

2.2 基于时延推算定位技术

基于时延推算定位技术是一种利用局部放电产生的

信号在不同传感器之间传播的时间差来进行精确定位的方法。这种技术主要依赖于信号在GIS设备内部传播的特性,通过精确测量信号到达各个传感器的时间差异,结合已知的信号传播速度,可以计算出局部放电源的具体位置。在实施基于时延推算定位技术时,首先需要在GIS设备上布置多个传感器,这些传感器能够捕捉到局部放电产生的信号。当局部放电发生时,产生的信号会以波的形式在GIS设备内部传播,并依次到达各个传感器。由于传感器之间的位置不同,信号到达的时间也会存在差异,这种时间差就是进行定位的关键信息。为了准确测量信号的传播时间差,需要使用高精度的计时设备,并确保所有传感器的时钟同步,以消除因时钟不同步而引入的误差。同时,还需要准确知道信号在GIS设备内部的传播速度,这通常需要通过实验或理论计算来获得。然而,GIS设备内部的复杂结构对基于时延推算定位技术的精度产生了一定的影响。设备内部的绝缘子、连接件、壳体等都会对信号的传播路径和速度产生影响,导致信号在实际传播过程中发生反射、折射、衰减等现象。这些因素都会增加时间差测量的难度,从而影响定位精度。为了克服这些困难,研究者们正在不断探索和改进基于时延推算定位技术。一方面,通过优化传感器的布置和选择,减少信号传播路径上的干扰因素,提高时间差测量的准确性;另一方面,通过深入研究GIS设备内部结构的对信号传播的影响,建立更准确的信号传播模型,提高定位算法的精度和鲁棒性。

3 新型检测与定位技术研究

3.1 联邦元学习方法在GIS局部放电诊断中的应用

联邦元学习方法是一种创新性的技术,它巧妙地将元学习与联邦学习相结合,为GIS局部放电诊断提供了新的思路。这种方法不仅充分利用了元学习在快速适应新任务和少样本学习方面的优势,还借助联邦学习的框架,实现了在保护数据隐私的前提下,多个用户之间的协同合作。在GIS局部放电诊断中,由于设备种类、运行环境以及故障模式的多样性,不同用户的GIS设备产生的局部放电数据往往存在较大的差异。传统的集中式学习方法需要将所有用户的数据集中到一起进行训练,这不仅可能侵犯用户的隐私,还可能因为数据分布的不均匀性而导致模型泛化能力下降。而联邦元学习方法则能够有效解决这些问题。具体来说,联邦元学习方法允许每个用户根据自己的数据独立地训练一个基础模型,这些基础模型在元学习的框架下进行初步的优化和适应。然后,通过联邦学习的机制,这些基础模型可以在不暴露用户隐私的前提下进行交互和融合,从而形成一个更加

泛化、更加个性化的诊断模型。此外，联邦元学习方法还特别适用于解决小样本诊断问题。在GIS局部放电诊断中，由于局部放电事件相对稀少，且不同设备、不同故障模式下的样本数量往往有限，这使得传统的深度学习方法难以发挥出其应有的效果^[3]。而联邦元学习方法通过情景训练的方式，能够在有限的样本下快速适应新的诊断任务，提高诊断的准确性和鲁棒性。实验结果表明，联邦元学习方法在GIS局部放电诊断中表现出了优异的性能。它不仅能够在保护用户隐私的前提下实现高效的模型训练和优化，还能够针对每个用户的特定设备和故障模式进行个性化的诊断，大大提高了诊断的精度和实用性。因此，联邦元学习方法有望成为未来GIS局部放电诊断领域的一种重要技术手段。

3.2 声电联合检测系统的优化

近年来，随着科技的不断进步和电力设备的日益复杂化，对GIS局部放电检测与定位的要求也越来越高。为了满足这一需求，研究人员对声电联合检测系统进行了全面的优化，显著提高了系统的检测灵敏度和定位精度。在传感器方面，优化工作主要集中在提高传感器的带宽和灵敏度上。通过采用更先进的传感器技术，如宽带特高频传感器和高灵敏度超声波传感器，系统能够捕捉到更多、更准确的局部放电信号^[4]。这些传感器具有更高的频率响应和更低的噪声水平，使得系统能够在复杂的电磁环境中准确地识别出局部放电信号。在信号调理器方面，研究人员对其进行了精细化的设计和优化。信号调理器作为传感器与数据采集卡之间的桥梁，其性能直接影响着系统的检测效果。通过采用高精度的放大电路、滤波电路和抗干扰电路，信号调理器能够有效地抑制噪声、增强信号，为数据采集卡提供高质量、高稳定性的信号输入。在数据采集卡方面，研究人员选择了具有更高采样率和更大存储容量的数据采集卡。高采样率能够确保系统捕捉到更多的信号细节，而大容量存储则能够保存更长时间的信号数据，为后续的分析和处理提供充足的依据。此外，为了提高局部放电检测

与定位的准确性，研究人员还采用了高速数字存储示波器对超高频、高频电流、射频耦合和超声波信号进行波形细节和时域特征的分析。高速数字存储示波器具有极高的采样率和分辨率，能够准确地捕捉到信号的每一个细微变化。通过对这些波形细节和时域特征进行深入分析，研究人员能够更准确地判断局部放电的类型、位置和严重程度。通过对声电联合检测系统的传感器、信号调理器、数据采集卡等关键部件的优化，以及采用高速数字存储示波器对信号进行深入分析，研究人员成功地提高了系统的检测灵敏度和定位精度。这些优化措施使得声电联合检测系统能够在更复杂的电磁环境中准确地识别出局部放电信号，为电力设备的状态监测与故障诊断提供了更有力的技术支持。

结束语

GIS局部放电检测与定位技术是保障GIS设备安全稳定运行的重要手段。目前，常用的检测方法包括特高频法、超声波法和高频电流法等，定位技术包括声电联合定位技术和基于时延推算定位技术等。随着技术的不断进步，新型检测与定位技术如联邦元学习方法和优化后的声电联合检测系统等将不断涌现。未来，随着人工智能、大数据等技术的不断发展，GIS局部放电检测与定位技术将更加智能化、精准化，为电网的安全稳定运行提供更加可靠的保障。

参考文献

- [1]王智桦.电力变压器局部放电检测技术的现状和发展[J].电子世界, 2020(23): 51-52.
- [2]毛颖科, 丁炆, 吴剑敏, 陈佳.电力变压器超声波局部放电检测技术应用的研究[J].电力与能源, 2020, 41(05): 554-557+586.
- [3]王建新.电力变压器高压试验及其结果缺陷故障浅析[J].当代化工研究, 2020(20): 163-164.
- [4]张宇.电力变压器局部放电带电检测与定位技术[J].集成电路应用, 2020, 37(08): 48-49.