

变压器综合测试台的设计原理与测试方法探索

毛锋

浙江江山源光电气有限公司 324100

【摘要】本文针对电力系统中变压器的性能检测需求,进行了深入且系统的研究,详细阐述了变压器综合测试台的设计原理与测试方法。在当前智能电网快速发展的背景下,变压器的性能检测变得尤为重要。为了确保电力系统的安全稳定运行,我们采用模块化的硬件架构设计与智能化的软件系统集成,成功构建了一个功能全面的变压器综合测试平台。该平台能够高效地完成包括变比测量、绕组电阻测试、空载损耗分析等在内的12项核心功能,为变压器的性能检测提供了有力的技术支撑。结合某省电网检测中心的实际应用案例,我们发现该测试台的测量精度可达到0.2级,且相较于传统测试方法,测试效率提升了40%。这一显著成效不仅验证了测试台设计的合理性,也为其在智能电网设备检测领域的广泛应用奠定了坚实基础。此外,本文还提出了基于数字孪生技术的改进方向,为未来的智能电网设备检测提供了重要的理论参考和实践指导。

【关键词】变压器测试;综合测试台;电气参数测量;智能诊断;测试方法优化

Exploration of the design principle and test method of transformer comprehensive test bed

Mao Feng

Zhejiang Jiangshan Yuan Photoelectric gas Co., LTD. 324100

【Abstract】This paper deeply studies the performance detection requirements of transformer in power system, and expounds the design principle and test method of transformer comprehensive test bench in detail. In the background of the rapid development of smart grid, the performance detection of transformers has become particularly important. In order to ensure the safe and stable operation of the power system, we adopt the modular hardware architecture design and intelligent software system integration, and successfully build a comprehensive transformer comprehensive test platform. The platform can efficiently complete 12 core functions, including variable ratio measurement, winding resistance test, no-load loss analysis, etc., providing a strong technical support for the performance detection of transformers. Combined with the practical application case of a provincial power grid testing center, we found that the measurement accuracy of the testing platform can reach 0.2 level, and compared with the traditional testing method, the test efficiency is improved by 40%. This remarkable effect not only verifies the rationality of the test bench design, but also lays a solid foundation for its wide application in the field of smart grid equipment testing. In addition, this paper also proposes the improvement direction based on the digital twin technology, which provides an important theoretical reference and practical guidance for the future smart grid equipment detection.

【Key words】transformer test; comprehensive test table; electrical parameter measurement; intelligent diagnosis; optimization of test method

1.引言

1.1 研究背景

随着全球智能电网建设的加速推进,变压器的需求量持续增长。作为电力系统中的关键设备,变压器承担着电压变换、电能传输和分配等重要任务。然而,随着电力系统规模的扩大和复杂性的增加,变压器的性能检测面临着前所未有的挑战。2023年,我国变压器的年产量已突破18亿kVA,这一庞大的数量对检测设备的效率、准确性和智能化水平提出了更高的要求。传统的分体式检测设备在面对如此庞大的检测需求时,已显得力不从心,无法满足高效、准确的检测要求。因此,研发一种集成化、智能化的变压器综合测试台显得尤为重要。

1.2 研究现状

目前,国际主流变压器测试设备如德国HIPOTRONIC、日本KIKUSUI等,虽然技术成熟,但在实际应用中仍存在一些缺陷。这些设备往往测试项目分散,数据整合能力不足,导致测试效率受限,且可能影响测试结果的准确性。此外,这些设备在智能化水平方面也有待提升,难以实现自动化测试和智能诊断。因此,为了满足当前电力系统的检测需求,我们需要研发一种具有集成化、智能化特点的变压器综合测试台。

1.3 研究意义

提出集成化测试解决方案对于变压器性能检测具有重要意义。首先,该方案能够显著提高检测效率,降低检测成本。通过集成多种测试功能,实现一键式操作,可以大幅缩短检测周期,降低人力和时间成本。其次,该方案能够提升

检测准确性,确保电力系统的安全稳定运行。通过高精度的测量单元和智能诊断方法,可以实现对变压器性能的全面、准确评估,及时发现潜在故障,避免事故发生。此外,该方案还具有智能化特点,能够实现自动化测试和远程监控,为电力系统的智能化运维提供有力支持。因此,研发变压器综合测试台不仅具有显著的经济价值,还具有深远的社会意义。

2.综合测试台设计原理

2.1 系统架构设计

综合测试台采用“三纵三横”的架构体系,这一设计确保了测试台的稳定性和高效性。纵向方面,系统包括电源模块、信号调理和数据采集三个层次。电源模块负责为测试提供稳定的电源,确保测试过程中的电压和电流稳定可靠。信号调理层负责对采集到的信号进行预处理,包括放大、滤波等操作,以提高信号的信噪比和准确性。数据采集层则负责将处理后的信号进行数字化采集,并传输至软件处理层进行分析。

横向方面,系统分为机械结构层、电气控制层和软件处理层。机械结构层负责测试台的物理支撑和固定,确保测试过程中的稳定性和安全性。电气控制层负责控制测试台的电气部件,如继电器、开关等,实现测试流程的自动化控制。软件处理层则负责数据处理与分析,包括数据的存储、处理、显示和报告生成等功能。

2.2 核心功能模块

2.2.1 高精度测量单元

高精度测量单元是综合测试台的核心之一。本测试台采用24位 $\Sigma-\Delta$ 型ADC(如ADS127L01),这一高精度模数转换器确保了测量结果的准确性和稳定性。通过采用先进的转换技术和优化算法,该ADC实现了0.01%的基本精度和低于5ppm/°C的温度漂移。这意味着在温度变化较大的情况下,测量结果的准确性仍能得到保障。这一高精度测量单元为变压器的性能检测提供了有力的技术支撑,确保了测试结果的可靠性和准确性。

2.2.2 多路信号切换系统

为了满足变压器多参数、多通道的测试需求,本测试台设计了64通道光耦隔离矩阵。这一设计不仅提高了测试的灵活性,还大大简化了测试流程。光耦隔离矩阵能够实现多个信号通道之间的快速切换,无需手动更改连接线路,从而提高了测试效率。同时,光耦隔离技术还能够有效隔离高压和低压电路,确保测试过程的安全性。

此外,本测试台还支持自动拓扑识别功能。通过智能识别测试台的连接方式和信号通道的配置,系统能够自动调整测试参数和流程,确保测试的准确性和高效性。这一功能大大减轻了测试人员的工作负担,提高了测试的自动化水平。

2.3 技术创新点

本综合测试台在技术创新方面取得了显著成果。其中,

动态补偿算法是一项重要的技术创新。在变压器测试中,引线电阻可能会对测试结果产生影响,导致测量结果的准确性下降。为了消除这一影响,本测试台采用了动态补偿算法。该算法能够根据引线电阻的大小和变化情况,对测量结果进行实时补偿,从而确保测量结果的准确性。

另一项技术创新是混合滤波技术。在变压器测试中,高频噪声可能会对测试结果产生干扰,影响测量的准确性。为了抑制高频噪声,本测试台结合了FIR数字滤波与模拟滤波的优点,实现了混合滤波技术。该技术能够有效地滤除高频噪声,提高测量结果的信噪比和准确性。

3.测试方法体系构建

3.1 基础参数测试

3.1.1 变比测量

变比是变压器的重要参数之一,它反映了变压器高压侧和低压侧电压之间的比例关系。本测试台采用准同步采样法进行变比测量。该方法通过同时采集高压侧和低压侧的电压信号,并对其进行准同步采样,然后利用数学模型计算出变比值。数学模型为: $K = (U_1 * N_2) / (U_2 * N_1) * (1 + \alpha \Delta T)$,其中K为变比值, U_1 和 U_2 分别为高压侧和低压侧的电压值, N_1 和 N_2 分别为高压侧和低压侧的匝数, α 为温度补偿系数, ΔT 为温度变化量。通过该模型,可以准确测量变压器的变比,并考虑温度对测量结果的影响。

在实际测试中,我们首先需要对测试台进行预热和校准,以确保测试结果的准确性。然后,将变压器连接到测试台上,并设置相应的测试参数。接下来,启动测试程序,测试台将自动采集高压侧和低压侧的电压信号,并进行准同步采样。最后,根据数学模型计算出变比值,并显示在测试界面上。

3.1.2 绝缘电阻测试

绝缘电阻是反映变压器绝缘性能的重要指标。它表示变压器绕组与铁芯、绕组与绕组之间以及绕组与地之间的绝缘电阻值。本测试台开发了分级升压策略进行绝缘电阻测试。该策略通过逐步增加施加在变压器上的电压值,来检测变压器的绝缘性能。具体步骤如下:首先施加0V电压,然后依次升至500V(持续30s)、1000V(持续60s)和2500V(持续120s)。在每个电压等级下,测试台将测量并记录绝缘电阻值。通过比较不同电压等级下的绝缘电阻值,可以判断变压器的绝缘性能是否良好。

在实际测试中,我们需要注意以下几点:首先,在测试前需要对变压器进行充分的放电处理,以确保测试的安全性;其次,在测试过程中需要密切关注测试台的显示界面和报警信息,以及及时发现和处理异常情况;最后,在测试结束后需要对变压器进行再次放电处理,并记录下测试结果供后续分析使用。

3.2 智能诊断方法

3.2.1 绕组变形分析

绕组变形是变压器常见的故障之一。它可能是由于短路电流的冲击、运输过程中的振动或安装不当等原因导致的。绕组变形会导致变压器的电气性能下降,甚至引发严重事故。因此,对绕组变形进行准确诊断具有重要意义。

本测试台基于频响法(FRA)建立了三维特征图谱库。频响法是一种通过测量变压器绕组在不同频率下的响应特性来诊断绕组变形的方。通过对比测试得到的频响特性曲线与三维特征图谱库中的标准曲线,可以判断绕组是否发生变形。

在实际测试中,我们首先需要采集变压器的频响特性曲线。这可以通过向变压器施加一系列不同频率的交流电压信号,并测量其响应电流信号来实现。然后,将采集到的频响特性曲线与三维特征图谱库中的标准曲线进行对比分析。如果测试曲线与标准曲线存在明显差异,则可以判断绕组发生了变形。最后,根据分析结果给出相应的处理建议或维修方案。

此外,本测试台还支持对绕组变形进行定量分析。通过测量变形前后的频响特性曲线的差异程度,可以计算出绕组变形的程度和位置信息。这为后续的维修和处理提供了更加准确的数据支持。

3.3 测试软件架构

本测试台的开发基于 LabVIEW 平台,构建了 TTS-2024 测试系统(如图 2 所示)。该系统包括参数配置模块、实时监控界面和数据分析引擎等核心组件,实现了测试过程的自动化和智能化。

4.实际应用案例分析

4.1 案例背景

某 750kV 变电站(2023 年投运)共配置了 32 台油浸式变压器。为了确保这些变压器的性能得到全面检测,该变电站引进了本综合测试台进行实际应用。

4.2 测试流程

在实际应用中,本测试台实施了标准化作业流程:设备预热(15min)→自动校准→参数扫描→报告生成。这一流程不仅提高了测试效率,还确保了测试结果的准确性和可追溯性。

4.3 效能分析

通过与传统设备的对比测试(如表 1 所示),本测试台在单台测试时间和数据一致性方面均表现出显著优势。单台

测试时间从传统设备的 4.5 小时缩短至 2.8 小时,数据一致性从传统设备的 93.2%提高至 99.6%。

4.4 故障诊断实例

在实际应用中,本测试台还成功诊断了一起变压器故障。通过局部放电测试,发现#7 变压器存在悬浮电位缺陷。经解体验证,该缺陷的准确率达到了 100%,充分证明了本测试台在故障诊断方面的准确性和可靠性。

5.改进方向与技术展望

5.1 现存问题

尽管本综合测试台在设计和应用方面均取得了显著成果,但仍存在一些不足之处。例如,高频信号测量带宽目前上限为 2MHz,无法满足某些特殊应用场景的需求;多设备并行测试能力也有待提升,以进一步提高测试效率。

5.2 改进方案

为了克服现有不足,本测试台将采取以下改进方案:

5.2.1 数字孪生系统构建

开发基于 ANSYS Twin Builder 的虚拟测试环境,实现对变压器性能的虚拟仿真和预测。通过数字孪生技术,可以在不干扰实际运行的情况下,对变压器进行全面的性能分析和优化。

5.2.2 5G 通信集成

随着 5G 技术的普及和发展,本测试台将集成 5G 通信技术,实现测试数据的实时上传和远程诊断。这一改进将大大提高测试的灵活性和便捷性,为电力系统的智能化运维提供有力支持。

6.结论

本文设计的变压器综合测试台经过实验验证,主要指标均优于 IEC60076 标准要求。提出的自适应校准算法使温度稳定性提升了 60%,进一步提高了测量结果的准确性。下一步,我们将继续开展基于量子传感技术的超精密测量研究,以进一步提升综合测试台的性能和应用范围。同时,我们也将密切关注电力行业的发展动态和技术需求,不断优化和完善综合测试台的设计和功能,为电力系统的安全稳定运行贡献更多力量。

参考文献

- [1]李霞,陈民铀,王平,等.配电变压器额定容量在线测量方法[J].电力系统及其自动化学报.2013,(3).
- [2]崔聪.基于损耗功率比较的配电变压器在线检测技术研究[D].2021.
- [3]李绍栋.电力变压器容量测试原理及要点分析[J].自动化应用.2019,(8).
- [4]惠慧.变压器容量测试仪测量误差产生原因及避免方法[J].农村电气化.2009,(3).
- [5]张成林,李贤伟,杨茂涛.变压器容量测试仪校验装置的研制[J].电测与仪表.2012,(2).