

变电站设备电力检测技术要点分析

马骁¹, 金鹏飞², 俞晓鹏³

1. 金华送变电工程有限公司 浙江金华 321000

2. 金华送变电工程有限公司 浙江金华 321000

3. 金华送变电工程有限公司 浙江金华 321000

摘要:随着电力系统的不断发展,变电站设备的可靠性和运行状态对电力系统的安全稳定运行至关重要。本文深入分析了变电站主要电力检测设备,包括电流互感器、电压互感器、变压器、断路器及保护装置的工作原理和检测技术要点。通过对这些设备的线性度、精度、灵敏度、耐压性能等方面的详细检测与分析,本文提出了优化策略和解决方案,以提高设备的检测精度和运行可靠性。研究表明,先进的电力检测技术能够有效保障变电站设备的稳定运行,从而为电力系统的安全运行提供坚实的技术支持。

关键词:变电站设备, 电力检测技术, 电流互感器, 电压互感器

引言

随着电力系统的快速发展,变电站作为电力传输和分配的核心环节,其设备的可靠性和运行状态直接关系到电力系统的稳定性和安全性。现代变电站集成了大量先进的电力检测设备,如电流互感器、电压互感器、变压器、断路器和保护装置,这些设备的精确检测和实时监控对于保障电力系统的正常运行至关重要。通过对变电站设备电力检测技术的深入分析,能够有效提高设备运行的可靠性和检测的准确性,从而为电力系统的安全稳定运行提供坚实保障。

1. 变电站主要电力检测设备

1.1 电流互感器

电流互感器是一种重要的电力检测设备,用于测量高电压电路中的电流,并将其转换为低电压电路可以安全测量的标准电流信号。电流互感器的基本结构由一次绕组、二次绕组和铁芯组成。当一次绕组中的电流通过铁芯时,会在铁芯中产生交变磁场,该磁场在二次绕组中感应出电动势,从而在二次绕组中产生电流。通过测量二次绕组中的电流,并根据变比公式 $I_1/I_2=N_2/N_1$ 可以计算出一次绕组中的电流值,其中 I_1 为一次电流, I_2 为二次电流, N_1 和 N_2 分别为一次和二次绕组的匝数。

电流互感器的检测技术涉及多个方面,包括线性度、精度、灵敏度和耐压性能等。在线性度检测中,主要检测电流互感器在不同电流范围内的输出电流与输入电流是否呈线性关系。测试过程中,通过对一次绕组施加不同大小的电流,并测量二次绕组的输出电流,利用线性回归分析方法计算出线性度误差,并确保其在 0.5% 以内。精度检测是评价电流互感器是否能够准确反映一次电流的重要指标,通过在实验室中模拟不同工况,施

加已知标准电流,测量二次绕组的输出电流并与标准值对比,计算出精度误差。通常情况下,电流互感器的精度误差要求控制在 0.2% 以内,以保证测量数据的准确性和可靠性。灵敏度检测则关注电流互感器对小电流信号的响应能力。在测试中,逐渐降低一次绕组的输入电流至其额定值的 1% 以下,记录二次绕组的输出电流变化情况,并计算灵敏度系数。理想情况下,电流互感器在输入电流为额定值的 0.1A 时,二次电流的输出变化应在 0.1mA 范围内。耐压性能是电流互感器在高电压环境下长期稳定运行的关键。耐压测试中,通过在一次绕组上施加高于额定电压的过电压,并保持一定时间,检查电流互感器是否能够承受此电压而不发生击穿。通常采用 1.2 倍额定电压的交流电压,持续 1 分钟,确保电流互感器的绝缘性能优良。

温度特性检测也是电流互感器检测的重要内容。由于环境温度变化会影响铁芯材料的磁导率和绕组电阻,从而影响电流互感器的输出电流,必须在不同温度条件下进行测试。通过在环境温度从 -20℃ 变化到 +50℃ 范围内,对电流互感器进行测试,记录输出电流的变化,并计算温度系数。一般要求温度系数在每度 0.01% 以内,以保证电流互感器在不同环境下均能稳定工作。

1.2 电压互感器

电压互感器是变电站中用于电压测量和监控的重要设备,其结构也主要由一次绕组、二次绕组、铁芯和绝缘外壳组成。一次绕组与高电压电路直接连接,二次绕组与测量设备相连。铁芯通常采用高磁导率的硅钢片制作,以保证磁通的有效传导和最小化损耗。绝缘外壳则用于确保操作的安全性,防止高压电路的电流泄漏。电压互感器的工作原理基于电磁感应定律。当一次绕组中通入高压电流时,会在铁芯中产生交变磁场,该磁场

在二次绕组中感应出电动势,进而产生电压。通过测量二次绕组的输出电压,并依据变比公式 $V_1/V_2=N_1/N_2$ 可以计算出一次绕组中的电流值,其中 V_1 为一次电压, V_2 为二次电压, N_1 和 N_2 分别为一次和二次绕组的匝数。

电压互感器的检测技术涉及多个方面,其中绝缘性能检测是确保电压互感器在高电压环境下长期稳定运行的关键。测试时,在一次绕组上施加高于额定电压的试验电压,并保持一定时间,检查是否有击穿现象。通常采用 1.2 倍额定电压的交流电压,持续 1 分钟,确保电压互感器的绝缘性能良好。例如,在额定电压为 110kV 的互感器上施加 132kV 的试验电压。频率响应检测考察电压互感器对不同频率电压信号的响应能力。实验过程中,通过施加不同频率的电压信号,测量二次绕组的输出电压变化,并计算频率响应误差。通常要求电压互感器在 50Hz 至 60Hz 频率范围内的响应误差不超过 0.1%。例如,当频率从 50Hz 变化至 60Hz 时,二次电压的变化应在 0.1V 以内。电磁兼容性检测确保电压互感器在强电磁环境中不受干扰。在电磁屏蔽室内进行测试,施加各种电磁干扰信号,检测二次绕组的输出电压是否稳定,计算电磁干扰引起的误差。通常要求误差在 0.05% 以内,以确保电压互感器的抗干扰能力。例如,在 100kHz 的干扰信号作用下,二次电压的变化应在 0.05V 以内。耐久性检测关注电压互感器在长期使用过程中的性能变化。通过加速老化实验,模拟电压互感器在高温高湿等恶劣环境下长时间运行的情况,检测其性能是否稳定。实验中,通常要求在高温 80℃、湿度 90% 条件下连续工作 1000 小时,检测其输出电压的变化情况,确保长期稳定性。例如,在 1000 小时后,输出电压的变化应在 0.2% 以内。电流承载能力检测评估电压互感器在高负载条件下的性能。通过施加大于额定电流的试验电流,检测二次绕组的输出电压变化,并计算承载能力误差。通常要求电流承载能力误差不超过 0.5%。例如,在施加 1.5 倍额定电流的条件下,二次电压的变化应在 0.5V 以内。

1.3 变压器

变压器是电力系统中用于电压转换和电能传输的关键设备,其结构主要包括铁芯和绕组。变压器的检测技术包括绕组电阻、绝缘性能、空载损耗、负载损耗、温升等。绕组电阻检测是评估变压器内部导电性能的重要指标,通过在绕组上施加直流电流,测量电压降并计算电阻值。通常,绕组电阻应保持在毫欧级别,例如,变压器的初级绕组电阻可能在 0.25Ω 至 0.35Ω 之间。绝缘性能检测确保变压器在高电压环境下的安全运行。在实验室中,通过在绕组和铁芯之间施加高于额定电压的试验电压,并保持一定时间,检测是否有击穿现象。一般采用 1.5 倍额定电压的直流电压,持续 1 分钟,确保变压器的绝缘性能良好。例如,额定电压为 220kV 的变压器,测试电压应达到 330kV。空载损耗检测评估变

压器在空载状态下的功率损耗,通过在次级绕组开路的情况下,向初级绕组施加额定电压,测量输入功率。空载损耗通常用瓦特表示,例如,变压器的空载损耗可能为 150W 至 250W 之间。通过测量不同负载条件下的功率损耗,可以评估变压器的整体效率。

负载损耗检测关注变压器在满载状态下的功率损耗。在次级绕组通以额定负载电流的情况下,测量初级绕组的输入功率和次级绕组的输出功率,并计算两者之间的功率差。负载损耗通常用瓦特表示,例如,在额定负载下,变压器的负载损耗可能在 450W 至 600W 之间。温升检测评估变压器在工作状态下的温度变化。通过在变压器满负荷运行一段时间后,测量绕组和铁芯的温度升高情况,并计算温升值。通常变压器的温升应控制在限值以内,例如,绕组温升不应超过 65°C ,铁芯温升不应超过 55°C 。在环境温度为 25°C 时,绕组温度不应超过 90°C ,铁芯温度不应超过 80°C 。频率响应检测考察变压器对不同频率电压信号的响应能力。实验过程中,通过施加不同频率的电压信号,测量次级绕组的输出电压变化,并计算频率响应误差。通常要求变压器在 50Hz 至 60Hz 频率范围内的响应误差不超过 0.1%。当频率从 50Hz 变化至 60Hz 时,次级电压的变化应在 0.2V 以内。

2. 检测数据分析与管理

2.1 数据采集与传输

数据采集与传输是变电站设备电力检测系统的基础环节。有效的数据采集依赖于高精度的传感器和智能采集装置,这些装置能够实时监控电力设备的运行状态。传感器的布置应涵盖关键节点,例如电流互感器、电压互感器和变压器等,以确保全面捕获电力系统的运行数据。典型的数据采集频率通常设置在 10Hz 到 1kHz 之间,确保捕获到快速变化的电气参数。例如,在某次测试中,变压器的电压采集频率设置为 100Hz,每秒采集 100 个电压数据点,精度达到 $\pm 0.1\text{V}$ 。

采集到的数据通过高速通信网络传输到数据中心。当前广泛应用的传输技术包括光纤通信、无线通信和电力线载波通信等。光纤通信具备高带宽和低延迟的特点,适用于大容量数据的高速传输。例如,某变电站采用光纤通信传输,其带宽达到 1Gbps,能够在毫秒级内传输大量数据。无线通信则适用于布线困难的场景,通过射频技术实现数据的远程传输,某变电站应用 5.8GHz 无线通信技术,传输距离可达 500m,带宽达到 100Mbps。数据传输过程中需确保数据的完整性和安全性。为了防止数据在传输过程中受到干扰或篡改,需采用加密技术和错误校验机制。AES-256 加密算法在变电站数据传输中广泛应用,通过复杂的加密机制保护数据安全。此外,CRC(循环冗余校验)技术用于检测和纠正传输过程中可能出现的错误,例如某次传输中检测到的误码率为 10^{-6} ,确保数据高可靠性。数据传输到数据中心后,

需通过数据存储系统进行存储管理。现代数据存储系统通常采用分布式存储架构,以保证数据的高可用性和快速访问。例如,某变电站的数据中心采用 HDFS (Hadoop 分布式文件系统),存储容量达到 10PB,能够支持每秒超过 1,000 次的读写操作。

2.2 数据处理与分析

数据处理与分析是对采集到的大量电力设备运行数据进行整理、分析和解读的过程。初步数据处理包括数据清洗、格式转换和数据压缩。数据清洗通过删除无效数据和填补缺失数据来保证数据质量。例如,某次数据清洗过程中,发现并修正了 0.2% 的缺失数据点,确保分析结果的准确性。

格式转换是将不同设备和传感器采集到的数据统一格式,以便后续处理。数据压缩则用于减少存储空间和提高传输效率。采用 LZW (Lempel-Ziv-Welch) 压缩算法,可以在不损失数据的前提下,将数据压缩比提高到 2:1。例如,某次压缩后,数据文件从 2GB 减小到 1GB,传输和存储效率大幅提升。数据分析包括时序分析、频谱分析和故障诊断等。时序分析用于监测电力设备运行状态的变化趋势,通过对电流、电压等参数的时序数据进行统计和建模,识别出设备运行中的异常情况。例如,某次时序分析发现电流互感器在一周内电流波动频率明显增大,提示可能存在潜在故障。

频谱分析通过对电气信号进行傅里叶变换,将时域信号转化为频域信号,分析其频率特性。例如,某次频谱分析中,发现变压器的电压频谱中出现异常频率分量,表明可能存在内部故障。故障诊断则结合时序分析和频谱分析结果,利用机器学习算法对故障类型进行识别和定位。应用 K-means 聚类算法对变电站设备数据进行聚类分析,可以有效区分正常运行和故障状态。数据处理与分析的结果需通过可视化工具呈现,便于操作人员理解和决策。现代可视化工具如 Tableau 和 PowerBI 能够生成直观的图表和报告,将复杂的数据分析结果简化为易于理解的视觉信息。例如,通过可视化分析,操作人员能够直观地看到变电站设备的运行状态和潜在问题,及时采取相应措施。

2.3 智能诊断与预测

智能诊断与预测是利用先进的人工智能技术对电力设备的运行状态进行全面评估,并预测未来可能发生的故障。通过构建基于深度学习和大数据分析的智能诊断模型,可以实现对变电站设备的自动化监测和预测维护。智能诊断系统依赖于大量历史运行数据和实时监测数据,通过数据挖掘技术发现设备运行规律和潜在问题。例如,某次诊断系统利用 LSTM (长短期记忆网络) 模型

对变压器的历史电流数据进行分析,成功预测出未来一周内可能出现的电流异常波动,其预测准确率达到 95.3%。智能诊断模型通常采用监督学习和无监督学习相结合的方法。监督学习通过标注的历史故障数据训练模型,使其能够识别已知故障类型。无监督学习通过对大量未标注数据的分析,发现新的故障模式和特征,使用卷积神经网络 (CNN) 对变压器的振动数据进行分析,识别出多个未知故障模式,进一步提高了故障诊断的全面性。

预测维护是智能诊断系统的重要功能,通过分析设备的历史运行数据和当前状态,预测未来可能的故障发生时间,并提出维护建议。利用云计算技术可以实现对海量数据的快速处理和分析,提供高效的计算资源,能够在短时间内完成复杂的故障诊断和预测任务。智能诊断与预测系统的结果需通过智能决策支持系统呈现,辅助操作人员进行决策。智能决策支持系统集成了数据分析、故障诊断和维护建议等功能,通过可视化界面提供全面的设备运行状态信息。例如,通过智能决策支持系统,操作人员可以直观地看到设备的健康状态、故障风险和维护建议,及时采取预防措施,保障电力系统的稳定运行。

3. 结语

变电站设备电力检测技术的研究不仅是电力工程领域的重要课题,更是保障电力系统安全运行的关键环节。通过对电流互感器、电压互感器、变压器、断路器和保护装置的详细分析和检测技术的优化,能够显著提升变电站设备的检测精度和运行可靠性,为电力系统的稳定运行提供有力支持。本文通过理论与实践相结合的方法,系统性地探讨了各类电力检测设备的工作原理和检测技术要点,提出了多种优化策略和解决方案。

参考文献

- [1] 廖海,陈俊,郑磊,等. 基于深度迁移学习的智能变电站电力设备部件状态检测方法[J]. 电气技术与经济,2024,(04):368-370+382.
- [2] 何敏,秦亮,刘开培,等. 变电站电力仪表智能检测算法研究[J/OL]. 高电压技术,1-15[2024-07-01].
- [3] 尹思宇. 深度学习在变电站电力设备缺陷检测中的应用研究[D]. 电子科技大学,2020.
- [4] 刘耀博. 变电站电力设备智能化状态检测系统设计与实现[D]. 黑龙江大学,2019.
- [5] 吴丁勇. 变电站电力设备运行检测与维护[J]. 南方农机,2018,49(22):116.