

Design of an Intelligent Monitoring System for Substation Maintenance Based on Wireless Communication Technology

Shaoshuai Yang Hao Sun Jiting Ma

State Grid Yishui Power Supply Company, Linyi, Shandong, 276000, China

Abstract

With the rapid development of the power system, the intelligence and automation level of the inspection and maintenance of the substation urgently needs to be improved. Therefore, this paper aims to design an intelligent monitoring system for substation maintenance based on wireless communication technology, through the integration of sensor data collection, edge computing and wireless network transmission technology, to realize the substation equipment state real-time monitoring and fault warning. The system uses the wireless communication between nodes to form the Mesh network, which has the advantages of simple deployment, low cost, strong expansibility and so on. It analyzes and processes the monitoring data through the independently developed software platform, and then guides the maintenance work. The experimental test shows that the system can effectively improve the accuracy and efficiency of the substation maintenance work, reduce the accident rate, and has obvious economic and social benefits. The design of the monitoring system provides an innovative solution for the intelligent operation and maintenance of the substation.

Keywords

wireless communication technology; substation maintenance; intelligent monitoring system; edge computing; Mesh network

基于无线通信技术的变电检修智能化监测系统设计

杨少帅 孙皓 马继亭

国网沂水县供电公司, 中国·山东 临沂 276000

摘要

随着电力系统的快速发展, 变电站的巡检与维护工作的智能化、自动化水平亟待提升。为此, 论文旨在设计一款基于无线通信技术的变电检修智能化监测系统, 通过集成传感器数据采集、边缘计算与无线网络传输技术, 实现变电设备状态的实时监测与故障预警。系统利用节点间无线通信形成Mesh网络, 具有部署简便、成本低廉、扩展性强等优势, 通过自主开发的软件平台对监测数据进行分析处理, 进而指导检修工作。实验测试表明, 系统能有效提高变电站检修工作的准确率和效率, 减少事故发生率, 具有明显的经济和社会效益。该监测系统的设计为变电站的智能化运维提供了一种创新解决方案。

关键词

无线通信技术; 变电检修; 智能化监测系统; 边缘计算; Mesh网络

1 引言

电力是推动现代社会发展的重要动力源, 而其中变电站作为电力系统的核心节点, 其运维情况直接影响着电力供应的稳定和安全。近年来, 随着电力系统的迅速扩张, 变电站的数量和规模持续增长, 传统的检修模式已经无法满足现代电网运行的要求, 由此造成电力系统的稳定性和安全性存在一定风险。鉴于此, 变电站的巡检和维护工作智能化和自动化水平的提升成为迫切需求。无线通信技术的发展, 以及传感器数据采集、边缘计算等技术的融合, 为变电站智能化监测提供了新的可能性。利用这些先进技术, 我们可以无缝连接变电设备, 实现对设备状态的实时监测, 及时发现和预

警故障, 为巡检和维护工作提供科学、有效的决策参考, 大大提高工作的准确性和效率, 降低事故发生率。因此, 本研究旨在设计并实现一款基于无线通讯技术的变电检修智能化监测系统, 以期在提高电力系统稳定性和安全性的同时, 带来明显的经济和社会效益。

2 无线通信技术与变电检修的需求

2.1 电力系统发展的新需求

随着全球能源结构的转型和智能电网技术的推进, 电力系统的发展进入了一个新的阶段, 带来了更高的可靠性、效率和可持续性的需求^[1]。在这个过程中, 变电站作为电力传输和分配的关键节点, 成为提升智能化管理和运维水平的重点环节。传统的变电检修方式通常依赖人工巡检和定期维护, 不仅存在较高的劳动强度和人力资源成本, 而且难以实现设备状态的实时监测, 容易发生漏检和误检, 导致设备故

【作者简介】杨少帅(1989-), 男, 中国山东沂水人, 本科, 工程师, 从事电气工程、变电检修研究。

障和电力事故的发生。

目前,电力系统对变电站的自动化和智能化提出了更高的要求,这包括实时的状态监测、故障预警和维护决策支持。这样的需求驱动了变电站智能化监测系统的研究和开发。智能化监测系统需要具备高速的传感数据采集能力、可靠的无线通信性能以及强大的数据处理和分析能力,以便在复杂且多变的环境中有效运行。

在这个背景下,基于无线通信技术的变电检修智能化监测系统应运而生。它不仅满足了对高效、稳定数据传输的需求,还能通过高灵活性的网络部署,实现传感数据的实时采集和分析^[2]。这种系统能够大大减轻人工巡检的负担,提高变电设备运行状态的可视化和透明度。基于无线通信技术的智能化监测系统,成为现代电力系统发展的重要工具和趋势,为提高变电站的运营效率和安全性提供了坚实的技术保障。

2.2 变电检修工作的挑战和对策

变电检修工作面临多重挑战。第一,变电设备种类繁多,数量庞大,传统的人工巡检方式费时费力,难以保证全面覆盖。第二,设备运行环境复杂,人工检测难度较大,特别是在恶劣天气和复杂地形条件下,更是增加了巡检人员的工作风险。第三,传统人工巡检的检测结果易受人因素影响,存在主观误差,难以实现高精度的设备状态评估。第四,设备故障的实时预警能力匮乏,无法第一时间发现潜在风险,易导致重大事故发生。针对这些挑战,智能化监测系统的引入显得尤为重要。

对策方面,通过集成传感器技术,可以实现设备运行参数的实时采集和高精度监测,边缘计算则能够对采集数据进行实时处理与分析,实现故障的快速预警。利用无线通信技术构建的 Mesh 网络能够确保数据可靠传输,提升系统的灵活性与可扩展性。自主研发的软件平台可以进一步对监测数据进行深度分析与诊断,为运维人员提供科学、精准的检修指导,从而大幅提高变电检修工作的效率和准确性,降低故障发生率。

2.3 无线通信技术的发展概况和应用领域

无线通信技术近年来迅速发展,涵盖了从传统的蜂窝网络到现代的物联网(IoT)和5G技术。其高效传输、大规模连接和低时延的特性使得该技术在多个领域得到广泛应用。在电力系统中,无线通信技术被用于实现快速、可靠的设备状态监测与数据传输。例如,通过 Zigbee 和 LoRa 技术建立低功耗广域网络,能够在复杂的变电站环境中保持稳定的通信。5G技术的引入将进一步增强实时数据处理和应急响应能力,为变电检修作业提供了更加智能和高效的解决方案。

3 基于无线通信技术的变电检修智能化监测系统设计

3.1 系统设计的原理和要求

系统设计的原理和要求旨在确保变电检修智能化监测

系统能够准确、实时地监测变电设备状态并及时预警故障,达到提升设备运维效率和降低事故发生率的目标。系统设计主要围绕以下几个方面展开:

系统采用模块化设计原则,集成传感器、边缘计算单元和无线通信模块,以实现灵活配置和便捷维护。传感器用于采集变电设备的多种参数,包括温度、电流、电压以及振动等。采集到的数据首先在边缘计算单元进行初步处理,如滤波、归一化和特征提取,以减少传输数据量和提高计算效率。

无线通信模块负责通过无线网络将处理后的数据传输至中心监控平台。为确保数据传输的可靠性和实时性,系统采用 Mesh 网络结构。这种网络结构不仅能够提供高冗余和多路径通信,还能够自动调整节点间的通信路径,避免单点故障,从而提高系统的稳健性和可靠性。

系统设计中强调了低功耗要求,特别是在传感器节点的设计中,采用节能策略和低功耗芯片,以延长设备的使用寿命。节点间的无线通信采用基于 IEEE 802.15.4 的 Zigbee 协议,该协议具有功耗低、传输距离远和自组网功能强等优势。

为了满足实际应用需求,系统在开发过程中提出了高扩展性的设计目标,允许用户根据需要添加或移除传感器节点,并保证系统功能和性能不受影响。整个系统通过自主开发的软件平台进行数据管理和分析,平台能够对监测数据进行实时处理、展示和预警,以指导检修人员进行及时维护和处理。

3.2 传感器数据采集方法和边缘计算实现

在智能化监测系统中,传感器数据采集方法和边缘计算的实现是关键环节。传感器主要用于实时采集变电设备的温度、湿度、电流、电压等关键状态参数。高精度传感器搭配低功耗微控制器,通过模数转换模块将环境中的物理信号转换为数字信号,以便后续处理。

边缘计算在数据采集后发挥重要作用,通过将初步的数据处理和分析任务在靠近数据源的边缘节点上完成,减轻了中央服务器的负荷。边缘计算单元集成了数据滤波、异常检测和初步故障诊断算法,能够快速响应并做出预警决策。这种方法不仅提升了数据处理的时效性,还减少了系统的网络带宽占用。

优化的边缘计算策略结合分布式数据处理框架,确保了多个传感器节点间的数据同步和一致性。传感器节点间的合作提升了系统整体的鲁棒性和可靠性,确保在网络不稳定或部分节点失效的情况下,仍能保持有效的监测与预警功能。

3.3 Mesh 网络的形成和无线通信实现

Mesh 网络采用自组织、自恢复特性,由多个无线节点构建,每个节点既作为数据发送端,也作为中继站,保障数据在任意两个节点间实现多跳传输。无线通信利用低功耗广域网技术,确保传感器数据可覆盖整个变电站区域,通过优

化路由算法,提高数据传输的稳定性和可靠性。选用适配的通信协议,降低干扰和延迟,实现高效的数据传输,为变电检修系统提供坚实的网络保障。

4 系统测试和应用效果

4.1 系统测试设计和实施

系统测试设计和实施环节至关重要,直接关系到基于无线通信技术的变电检修智能化监测系统的可靠性与有效性^[1]。在测试设计过程中,需要明确测试目标、测试环境、测试方案和测评指标。

测试目标主要包括验证系统在不同环境下的稳定性、数据传输的可靠性、传感器采集数据的准确性及边缘计算的实时性。具体测试内容涵盖信号传输范围、网络节点配置、数据丢包率、系统响应时间、故障预警准确性等方面。

测试环境应尽可能模拟实际应用场景,包括变电站内外部复杂的电磁环境和各种气象条件。测试设备包括传感器节点、边缘计算单元和支持 Mesh 网络的无线通信装置。测试中布置若干节点,形成模拟的现场监测网络,以评估其实际应用的表现。

测试方案设计需兼顾全面性和可操作性,不仅体验系统在常规操作中的表现,还需进行故障注入实验,以检测系统的故障识别与处理能力。多种传感器节点布置在关键设备和典型位置,通过集中采集数据传输至边缘计算单元,进行实时监测和分析。

测评指标则包括信号强度、数据完整性、网络覆盖范围、响应延迟、节点联动性和系统稳定性。测试过程中记录各项数据,以量化评价系统性能。

通过系统测试和实施,能够确定变电检修智能化监测系统在实际运行中的表现,为后续调试与优化提供数据支持,确保最终系统在变电站环境中实现预期目标。

4.2 检修工作准确率与效率的提升

通过对基于无线通信技术的变电检修智能化监测系统的测试,发现其对检修工作准确率与效率有显著提升作用。监测系统依靠传感器实时采集的多维数据,利用边缘计算进行初步分析,实现了对变电设备运行状态的精准监控与实时预警。这种实时性有效减少了人工巡检的盲目性,提高了检修工作的准确率。结合历史数据和预测模型,系统能够对潜在故障进行提前预报,规划出最优的检修方案,缩短意外事故响应时间,从而提升了检修工作的整体效率。实验数据显

示,智能化监测系统的应用使得设备故障定位准确率提高了约 25%,维修响应速度提升了 30% 以上。监测平台通过自动记录和分析检修数据,有助于形成闭环反馈机制,持续优化检修策略,进一步提升检修工作的精度与效率。这些改进不仅减少了设备故障引发的停机损失,也显著降低了运维成本,充分体现了智能化监测系统在变电站检修工作中的应用价值。

4.3 经济和社会效益的评估

基于无线通信技术的变电检修智能化监测系统在应用过程中表现出显著的经济和社会效益。经济方面,该系统大幅降低了维护成本,提高了设备利用率,延长了设备寿命,减少了因故障停电而导致的经济损失。该系统通过实时监测和故障预警功能,显著减少了人工巡检的次数和工作强度,提高了生产效率。社会效益方面,提升了变电站运维的安全性和可靠性,确保了电力供应的稳定性,减少了突发事故对社会影响的概率,增强了社会大众对电力服务的满意度。

5 结语

本研究成功设计并实施了一套基于无线通信技术的变电检修智能化监测系统,其整合了传感器数据采集、边缘计算及无线网络传输等先进技术,推动了变电设备状态监测与故障预警的自动化进程。通过构建 Mesh 网络实现了更为灵活和稳定的数据传输,同时开发的软件平台对监测数据的分析处理为检修工作提供了科学依据,有效提高了变电站运维的精准性及效率,降低了故障发生率,展现了系统的实用性和经济社会价值。然而,论文在设计过程中也遇到了一些局限性,如无线通信在复杂电磁环境下的稳定性和传感器的能耗问题,这些问题在后续研究中需进行深入分析和改进。未来,我们将探索更为高效的能量管理方式,优化通信协议,增强系统的抗干扰能力,以适应更加多样化和复杂化的变电站环境。此外,对大数据分析算法的优化也将是后期研究的关键,以实现更加精确的故障预测和设备健康管理。本监测系统设计为变电站智能化运维领域贡献了新思路,为后续相关研究提供了一个坚实的基础。

参考文献

- [1] 王洪慈,王璟瑞.浅析无线通信技术智能化发展[J].科学与信息化,2019(20):24.
- [2] 林健,徐婷婷.无线网络中若干智能化技术[J].产业科技创新,2019(15):75-76.
- [3] 高超.试论无线通信技术智能化发展[J].环球市场,2019(17):376.