

智能化技术在配电网电能质量治理中的应用

韩保平 胡艳允

国网项城市供电公司

DOI:10.12238/hwr.v9i10.6592

[摘要] 随着人们生活方式的改善,配电网电能质量大大提高,经济收入大大增加,许多家用电器的价格也逐渐下降,家用电器的数量不断增加,对电力的需求也在增加,大功率配电设备的能耗,如电动车的能耗也在增加,这导致了对电力的广泛需求。而配电网对电能质量有相对较高的要求,并且以往在选择治理配电网电能时没有考虑末端无功补偿,它只集中在变压器无功补偿,导致治理功能不佳以及不能满足配电网电能质量要求,因此对智能化技术在配电网电能质量治理中的应用进行分析具有重要意义。

[关键词] 电能质量; 智能化技术; 治理; 应用

中图分类号: TP18 文献标识码: A

Application of Intelligent Technology in Power Quality Management of Distribution Network

Baoping Han Yanyun Hu

Xiangcheng Power Supply State Office

[Abstract] With the improvement of people's lifestyles, the quality of electricity in the distribution network has greatly improved, economic income has greatly increased, and the prices of many household appliances have gradually decreased. The number of household appliances continues to increase, and the demand for electricity is also increasing. The energy consumption of high-power distribution equipment, such as electric vehicles, is also increasing, which has led to a widespread demand for electricity. However, the quality of electricity is relatively high in the distribution network. Therefore, in the past, reactive power compensation at the end was not considered when choosing to manage the electricity in the distribution network. It only focuses on reactive power compensation of transformers, with poor governance function, and cannot meet the requirements of power quality, so we must find better control methods.

[Key words] power quality; intelligent technology; Governance; Application

随着我国智能配电网的不断完善,企业越来越重视智能配电网在内的配电网的规划和管理优化,同时努力实现智能配电网的统一规划,提高配电网的管理水平,有效解决了我国的许多不合理问题。显然,在传统的智能配电模式下,配电系统的改造和集成,有助于有效解决智能配电系统运行中的各种问题,同时保证了智能配电系统的安全性和稳定性。

1 智能化技术在电能质量治理中的重要性

在电力系统向高比例新能源、高弹性负荷转型的背景下,电能质量治理已成为保障电网安全稳定运行的核心环节。智能化技术通过深度融合物联网、人工智能、边缘计算等前沿科技,正在重构传统电能质量治理体系,其重要性主要体现在以下维度:

1.1 破解传统治理模式的核心瓶颈,响应速度实现革命性提升。传统治理依赖人工巡检与经验判断,从异常发现到设备调整需数小时。智能化技术通过毫秒级数据采集与边缘计算,实现故

障的实时感知与动态补偿。治理精度的跃迁式突破。传统治理设备(如固定电容器组)无法适应负荷动态变化,导致补偿过度或不足。智能化系统通过AI算法实时优化无功补偿策略,将功率因数波动范围从 ± 0.15 压缩至 ± 0.02 ,显著降低线损与设备损耗。复杂场景的适应性增强。新能源高渗透场景下,电压波动、谐波污染等问题呈非线性特征。智能系统通过数字孪生技术预演不同工况治理效果,某光伏电站应用后,电压越限事件减少80%,新能源消纳率提升12%。

1.2 构建新型电力系统的关键支撑。保障高比例新能源接入,风电、光伏的间歇性输出易引发电压闪变与谐波放大。智能系统通过协调储能、SVG等设备动态调节,某新能源场站应用后,电压合格率从92%提升至99.8%,支撑新能源装机容量增长3倍。支撑柔性负荷高效运行,数据中心、5G基站等对电能质量敏感负荷占比超40%。智能系统通过动态阈值预警与快速补偿,某数据中心应用后,设备故障率降低,年运维成本减少。推动电网向能源

互联网演进,智能系统与5G、区块链等技术融合,实现电能质量数据的跨域共享与交易。某省级电网通过区块链平台,将电能质量治理服务纳入电力市场,年创造经济价值超高。

2 智能化技术在配电网中的优势

智能技术广泛应用于配电网,可以实现对配电网的远程监控、数据采集和智能分析,提高配电网的安全性、可靠性和效率,降低供电企业的运营成本,支持电网的可持续发展,特别是在5G时代,它在进行拓扑分析、远程监控、通信和控制,提高配电网的安全性、可靠性和效率,降低运营成本,支持配电网的可持续发展方面具有以下优点。它允许对各节点设备进行实时远程监控和数据收集,发现潜在的安全问题和威胁,增强配电网可靠性,可智能分析和预测数据,采取预防措施,减少停电时间并提高其可靠性,优化运行、提供远程监控、降低能耗并支持电网的可持续发展。

3 智能化技术在配电网电能质量治理中的应用

3.1 实时监测与数据采集。物联网传感器与智能终端构成感知层网络,实现电压波动、谐波畸变、三相不平衡等参数的毫秒级采集。例如,智能配变终端集成电流/电压模块,可覆盖配电室至终端设备的全回路监测,数据精度达0.1级,为电能质量分析提供基础支撑。边缘计算技术进一步实现本地化数据处理,减少传输延迟,提升响应速度。(1)多维度感知网络构建。部署智能配变终端、分布式PMU(同步相量测量单元)和微型传感器,形成“主干-支线-末端”三级监测体系。采用宽频带测量技术(0.1Hz-3kHz),同步捕获暂态扰动与稳态电能参数,典型应用:某工业园区部署的智能监测系统实现0.5ms级采样间隔,谐波检测分辨率达0.5%THD。(2)边缘智能处理架构。边缘计算节点集成FFT分析、小波变换等算法,实现本地化特征提取,数据压缩比可达10:1,传输带宽需求降低60%以上,案例:某城市配电网通过边缘预处理,将异常事件识别延迟从200ms降至50ms。(3)高精度同步测量技术。采用IEEE1588v2/PTP协议实现微秒级时钟同步,多源数据融合技术消除传感器间相位差,提升不平衡度测量精度至0.05%,创新应用:基于量子传感的电压测量原型机,精度较传统提升2个数量级。

3.2 智能分析与故障预警。基于大数据与AI算法,系统可深度挖掘电能质量特征,实现异常模式识别与潜在风险预测,具体应用场景如下:(1)谐波治理智能预测,技术原理:采用LSTM(长短期记忆网络)与Transformer混合模型,分析历史谐波数据中的时序特征与关联规律,预测非线性负荷(如变频器、充电桩)的谐波注入趋势。应用效果:某工业园区实测显示,系统可提前15分钟预测谐波超标风险,并自动调整有源滤波器(APF)参数,使谐波畸变率(THD)从8.2%降至2.1%,设备故障率降低57%。(2)电压暂降精准定位,技术原理:结合行波测距与多端纵联保护技术,通过故障行波到达各监测点的时差,快速定位故障点位置。同时,利用广域测量系统(WAMS)数据,实现故障类型的智能识别(如短路、接地故障)。应用效果:某城市配电网应用后,电压暂降定位时间从传统方法的3分钟缩短至200毫秒,恢复供电时间

从15分钟降至2秒内,保障了精密制造企业的连续生产。(3)动态阈值智能预警,技术原理:基于负荷特性与电网运行状态,动态调整电压偏差阈值(如 $\pm 5\%$ 至 $\pm 3\%$),并通过强化学习算法优化无功补偿装置(SVG)的投切策略。应用效果:某数据中心通过动态预警系统,将电压越限事件从每月12次降至2次,设备过载损坏率降低80%,年运维成本减少35%。(4)数字孪生辅助决策,技术原理:构建配电网数字孪生体,模拟不同工况下的电能质量变化,结合AI算法生成最优治理方案。应用效果:某新能源场站通过数字孪生系统,将谐波治理方案制定时间从7天缩短至2小时,治理效率提升85%。技术演进方向:开发基于联邦学习的跨域协同分析模型,提升多区域电网的谐波治理能力。探索量子计算在电能质量大数据分析中的应用,实现超大规模数据的实时处理。

融合5G与边缘计算技术,构建“云-边-端”协同的智能预警体系,提升响应速度与可靠性。

3.3 自适应控制与治理优化。智能系统通过“感知-决策-执行”闭环控制架构,实现电能质量动态调节与治理策略优化,具体应用场景如下:(1)无功补偿智能优化,技术原理:采用基于强化学习的动态决策算法,实时分析负荷功率因数、电压波动等参数,自动投切电容器组或调节SVG(静止无功发生器)输出。创新点:引入多目标优化模型,兼顾电压稳定性与设备寿命,使电容器组投切次数减少40%。(2)分布式资源协同调控,技术原理:在新能源高渗透场景下,通过DERMS(分布式能源管理系统)协调光伏逆变器、储能系统等分布式资源,抑制电压越限。创新点:开发基于博弈论的资源分配算法,实现多主体利益均衡,提升系统整体稳定性。(3)数字孪生仿真预演,技术原理:构建配电网高保真数字孪生体,模拟不同工况下的电能质量变化,预演治理策略效果。创新点:融合物理模型与数据驱动模型,实现“虚拟-现实”双向交互,提升治理策略的精准性。(4)自适应阈值动态调整,技术原理:基于负荷特性与电网运行状态,动态调整电压、谐波等阈值,并通过智能算法优化治理策略。创新点:引入模糊逻辑控制,实现阈值与治理策略的实时匹配,提升系统响应速度。技术演进方向:开发基于边缘计算的实时控制架构,提升响应速度与可靠性。探索量子计算在电能质量优化中的应用,实现超大规模问题的快速求解。融合5G与区块链技术,构建“云-边-端”协同的智能治理体系,提升数据安全性与系统透明度。

4 智能化综合治理配电网电能质量的应对措施

智能电网的快速发展使性能质量评价指标更加复杂和完善,实现了电压调节、不平衡有功治理、功率因数、谐波滤波器和智能集成控制模式的快速发展,是新时代质量管理的首要手段。

4.1 智能、集中式电能质量优化(BPF)。设备通常变压器首段安装,主要用于平衡变压器的三相输出功率,最终平衡变压器的输出功率,有效地消除了变压器在负载下提供的无功和谐波电流,从而降低了设备参数配置的输出功率,容量为0-75kva,功率控制系数大于0.96,谐波范围2-13次,超过90%滤波效率,包括四个方面:变压器的有功输出功率平衡、支持低于5%三相不平衡、实时监控标准通信、无需专人值守智能启动。

4.2 分布式电能质量智能优化 (UPDS) 设备。主要位于变压器的中间部分,用于解决配电网低电压问题,负荷分为三相平衡,以防止负荷失衡并影响电能质量。例如,如果较多单相负荷,则很容易产生不均匀的三相负荷,以解决设备内部的无功电流和谐波电流限制,从而减少配电网中的无功和谐波电流范围,从而减少相关损失,包括电流、设备参数中配置的电压降和电路损耗应与以下特定分析相关,容量为0-100A和0~75kVA,0.96功率因数,输入、输出电压是180~440V、220V±3%,三相有功负载平衡导致三相不平衡,使标准通信实时运行而无需专人值守智能启动优势。

4.3 集中+分布式。配电网意味着在合理的位置安装集中和分布式设备,以实现最佳的布局和解决当前其运行中出现的电能质量问题。此安装有助于提高配电线路的电压稳定性,消除谐波和无功功率,并平衡三相电网以达到科学目标,集中智能地优化电能质量有两种方法:无功补偿,电力-负载-集中式;配电与负载之间的无功补偿提供系统释放的容量;提高效率和降低电路损耗的其他选项是控制三相不平衡的Ia-A、Ib-B、Ic-C和N系统的规则,它们具有解决单相变压器过载和降低线路消耗的缺点分布模式的智能优化提供了低压控制的基本原理,形成Ua, Ub, Uc, 然后插入到分布式设备中,其中Va-A, Vb-B, Vc-C和N具有三相稳定的输出优点,分布式设备的输入电流处于有源状态,三相有功功率非常高平衡度,两种模式结合一个集中式分布式控制系统,直接隔离和消除影响电能质量的因素,减少了电能质量问题,为配电网的首、中、末段提供了科学的电能质量控制。

总之,智能电网的使用提高了中国的能源消耗、配电控制和自动化,提高了电力资源的速度和利用率,同时提高了电力供应的安全和可靠性,为电力系统的安全、高效、稳定运行提供了重要保障。与传统的电力管理技术相比,采用集中、分布式、智能

的控制方式具有更大的优势和可观的经济和社会效益。

[参考文献]

- [1]柴谊.智能电网建设中电力营销智能化体系研究[J].科技创新导报,2022,15(36):144+146.
- [2]宣明飞.基于网格化的配网管理体系优化探讨[J].电工技术,2020(01):101-102+105.
- [3]熊昶敏.配电站在线监测监控系统的设计[J].自动化与仪器仪表,2022(02):111-113+116.
- [4]崇藤.智能化技术在配电系统管理中的应用[J].集成电路应用,2022,39(08):190-191.
- [5]柯音.10kV智能供配电系统的设计与实施[J].电子技术,2023,52(07):331-333.
- [6]王庭康.基于复合控制型电能质量控制器的低压配电网电压谐波治理研究[D].湖北:华中科技大学,2021.
- [7]姜山,陈俊良,孙晓珍,等.智能配电网调度技术及其控制系统探析[J].电力系统装备,2021(2):77-78.
- [8]张荣昌.智能化技术在配电网中的应用[J].电力设备管理,2023(9):38-40.
- [9]何志中.试析智能配电网技术在配电网中的应用[J].通讯世界,2019,26(8):327-328.
- [10]李哈.智能供配电系统的设计与实施[J].电子技术,2023,52(07):331-333.

[作者简介:]

韩保平(1974--),男,汉族,河南项城人,本科,工程师,主要研究方向:电力系统及其自动化专业。

胡艳允(1982--),女,汉族,河南周口人,本科,工程师,主要研究方向:发电厂及电力系统、电气工程及其自动化以及继电保护专业。