

柔性输电技术在智能电网中的应用研究

伊力哈木·赛麦提 朱永宁

国网新疆电力有限公司喀什供电公司, 新疆 喀什 844000

[摘要] 柔性输电技术作为智能电网的重要组成部分, 正日益受到广泛关注。文中主要探讨了柔性输电技术在智能电网中的应用及其潜在优势。首先, 介绍了智能电网的发展背景和现状, 强调了智能电网对电力系统稳定性和效率提升的迫切需求。其次, 详细阐述了柔性输电技术的原理、分类及其关键技术, 包括柔性交流输电系统 (FACTS) 和高压直流输电 (HVDC) 等。通过实例分析, 研究了柔性输电技术在电力传输中的应用效果, 特别是在提高电网的可靠性、灵活性和稳定性方面的显著优势。此外, 文中还探讨了柔性输电技术在实现可再生能源接入、电网调度优化以及应对突发事件中的应用潜力。研究表明, 柔性输电技术在提升智能电网整体性能、优化电力资源配置、支持可再生能源发展等方面具有重要意义。最后, 文中对柔性输电技术在智能电网中的未来发展趋势进行了展望, 提出了相关建议, 以期为电力系统的智能化发展提供理论依据和技术支持。

[关键词] 柔性输电技术; 智能电网; 高压直流输电; 电力传输; 可再生能源接入

DOI: 10.33142/hst.v7i9.13482

中图分类号: F407.61

文献标识码: A

Application Research on Flexible Transmission Technology in Smart Grid

YILIHAMU Saimaiti, ZHU Yongning

Kashgar Power Supply Company of State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd., Kashgar, Xinjiang, 844000, China

Abstract: Flexible transmission technology, as an important component of smart grids, is increasingly receiving widespread attention. The article mainly discusses the application and potential advantages of flexible transmission technology in smart grids. Firstly, the development background and current situation of smart grid were introduced, emphasizing the urgent need for smart grid to improve the stability and efficiency of the power system. Secondly, the principles, classifications, and key technologies of flexible transmission technology were elaborated, including Flexible AC Transmission Systems (FACTS) and High Voltage Direct Current Transmission (HVDC). Through case analysis, the application effect of flexible transmission technology in power transmission was studied, especially its significant advantages in improving the reliability, flexibility, and stability of the power grid. In addition, the article also explores the potential application of flexible transmission technology in achieving renewable energy access, optimizing power grid scheduling, and responding to emergencies. The research results indicate that flexible transmission technology is of great significance in improving the overall performance of smart grids, optimizing power resource allocation, and supporting the development of renewable energy. Finally, the article looks forward to the future development trend of flexible transmission technology in smart grids and puts forward relevant suggestions, in order to provide theoretical basis and technical support for the intelligent development of power systems.

Keywords: flexible transmission technology; smart grid; high voltage direct current transmission; power transmission; renewable energy access

引言

随着全球能源需求的增长和环境保护压力增加, 智能电网成为关注焦点。智能电网利用先进技术提高电网的可靠性、灵活性和效率。柔性输电技术是智能电网的重要组成部分, 近年来越来越受到重视。传统电网存在电力传输效率低、系统稳定性差和难以接入可再生能源等问题。柔性交流输电系统 (FACTS) 和高压直流输电 (HVDC) 通过先进的控制和调节能力, 解决了这些问题。FACTS 技术能缓解电网拥堵, 提高输电能力; HVDC 技术具有低损耗和远距离输电的优势。柔性输电技术不仅提高电力传输效率, 还增强了电网的稳定性和灵活性, 促进可再生能源接入, 优化电网调度, 应对突发事件。多项试点工程表明, 柔性输电技术显著提升电网性能和资源配置效率, 推动可再生能源发展。本文探讨柔性输电技术的原理、分类及关键技术,

通过实例分析其在智能电网中的应用, 为柔性输电技术的发展提供理论依据和技术支持。柔性输电技术在智能电网中的应用前景广阔, 研究其潜在优势和发展趋势对电力系统智能化建设具有重要意义。本文希望通过探讨柔性输电技术, 为智能电网研究和应用提供参考。

1 智能电网发展背景和现状

1.1 智能电网的定义和特点

智能电网是指在传统电网的基础上, 利用现代通信技术、信息技术和自动控制技术, 实现电力系统的高度信息化、自动化和互动化^[1]。其核心在于通过智能化的调度和控制, 提高电网的运行效率、稳定性和灵活性。智能电网具有自我修复能力、能够适应多种能源接入、支持双向电力流动和信息流动, 促进能源的高效利用和分布式能源的发展。智能电网不仅能够及时监测和响应用户需求, 还能优化电力资源的配

置,减少能源浪费和环境污染。其特点包括高可靠性、高灵活性、高效性和可持续性,是未来电力系统发展的重要方向。

1.2 智能电网的发展历程

智能电网的发展历程可以追溯到20世纪末。随着信息技术和通信技术的飞速进步,传统电力系统逐渐暴露出运行效率低下、故障响应迟缓等问题,智能电网应运而生。21世纪初,各国开始积极探索和推进智能电网的建设,以美国为代表,2003年的大停电事件促使美国政府和电力企业加速智能电网技术的研发和部署。欧洲也在2006年发布了《欧洲智能电网技术平台》,提出了智能电网的战略发展方向。中国则在2009年启动了“坚强智能电网”建设计划,全面推进智能电网的规划、建设和应用。随着技术的不断进步,智能电网的功能从初期的智能计量逐步扩展到智能调度、智能控制和分布式能源管理等多个方面,呈现出广泛的应用前景和巨大的发展潜力。

1.3 智能电网面临的挑战和机遇

智能电网面临的挑战包括复杂的系统集成、网络安全风险和高昂的建设成本。智能电网需要整合多种新兴技术,如物联网、大数据和人工智能,这对系统兼容性和协调性提出了高要求。智能电网作为信息密集型系统,面临严重的网络安全威胁,可能遭受黑客攻击和数据泄露。智能电网的建设和维护成本较高,初期投资巨大。尽管如此,智能电网也带来了许多机遇,如提高电网效率、增强电力供应的稳定性和促进可再生能源的广泛应用。

2 柔性输电技术原理与分类

2.1 柔性输电技术的基本原理

柔性输电技术的基本原理在于通过电力电子器件的应用,实现电力传输的快速调节和控制^[2]。其核心是利用高效的电力电子装置,如晶闸管、IGBT等,实现对电压、电流和功率流的动态调整,从而提高电网的灵活性和可靠性。柔性输电技术通过实时监测和响应电力系统的变化,能够在短时间内进行功率潮流的优化配置,有效解决传统电网中的稳定性和适应性问题。柔性输电技术可支持多种接入方式,包括交流和直流输电系统,能够灵活应对不同的电力传输需求,实现更高效的电能管理。这种技术在高压直流输电(HVDC)和柔性交流输电系统(FACTS)中得到了广泛应用,为智能电网的稳定运行提供了关键技术支撑。

2.2 柔性交流输电系统(FACTS)

柔性交流输电系统(FACTS)是指利用电力电子器件和其他静止设备来控制交流输电系统中的电流和电压,以提高电力系统的输电能力、稳定性和灵活性。FACTS技术主要包括静止无功补偿器(SVC)、静止同步补偿器(STATCOM)、统一潮流控制器(UPFC)等。SVC通过调节无功功率来控制电压,改善电力系统的稳定性。STATCOM是一种基于电压源换流器的装置,能够在更宽的范围内提供快速无功补偿^[3]。UPFC则结合了多个FACTS装置的功能,能够控制电压、阻抗和相位角,实现多功能调控。通过应用FACTS技术,可以有效解决传统电网中存在的输电瓶颈

问题,提升电网的输电效率和稳定性。

2.3 高压直流输电(HVDC)

高压直流输电(HVDC)是一种通过直流电流传输电力的技术。HVDC系统由换流站、直流输电线路和控制保护系统组成。换流站将交流电转换为直流电,通过直流输电线路长距离传输后再转换回交流电。HVDC技术具备输电距离长、损耗低、系统稳定性高等优势,适用于大规模、远距离电力传输。HVDC在减少电网损耗、提高输电能力、增强电网稳定性和可靠性方面具有显著效果,尤其在跨区域电力互联和远距离可再生能源接入中发挥重要作用。

3 柔性输电技术在智能电网中的应用

3.1 提高电网可靠性和稳定性

柔性输电技术在提高电网可靠性和稳定性方面具有显著作用。其通过灵活控制电力流动,有效缓解电网运行中的过载和电压波动问题,增强电力系统的动态响应能力。柔性交流输电系统(FACTS)通过调节输电线路的阻抗、相位角和电压幅度,改善电网的稳定性和传输能力。高压直流输电(HVDC)技术则能够长距离、大容量输送电能,减少输电损耗,提高系统的整体效率。在应对电网故障时,柔性输电技术可实现快速隔离故障区域,防止故障扩散,保持电网运行的连续性和稳定性。通过实时监控和调整,柔性输电技术能够确保电力系统在各种运行条件下保持稳定,为智能电网的安全可靠运行提供技术保障。

3.2 支持可再生能源接入

柔性输电技术在智能电网中对可再生能源接入具有重要作用。可再生能源如风能和太阳能具有间歇性和波动性,给电网稳定性带来挑战。柔性交流输电系统(FACTS)和高压直流输电(HVDC)能够通过调节电压和潮流,提高电网对可再生能源接入的适应能力。FACTS技术可以动态调节线路阻抗,减少输电损耗,提高输电效率,从而增强可再生能源的输送能力。HVDC技术则通过直流输电的方式,降低长距离输电过程中的损耗和故障风险,确保大规模可再生能源的高效传输。柔性输电技术在电网调度和稳定控制方面的优势,使得大量分布式可再生能源能够平稳接入电网,实现高效利用和稳定供应,为智能电网的发展提供了强有力的支持。

3.3 优化电网调度和应急响应

柔性输电技术在电网调度和应急响应中的应用显著提升了电力系统的灵活性和响应速度。通过柔性交流输电系统(FACTS)和高压直流输电(HVDC),可以实时调节电力流动,实现精准负荷分配和电压控制。在应对突发事件时,柔性输电技术能够迅速调整电网运行状态,降低故障传播风险,提高电网恢复能力。这些技术手段有效优化了电力资源配置,增强了电网的抗风险能力,为智能电网的安全稳定运行提供了技术保障。

4 柔性输电技术的应用效果和潜力

4.1 实例分析柔性输电技术的应用效果

在某地区的智能电网项目中,采用柔性交流输电系统(FACTS)技术显著提高了电网的稳定性和传输效率^[4]。

通过安装静止无功补偿器(SVC)和统一潮流控制器(UPFC),电网在应对负荷波动和电压波动方面表现出更高的灵活性和可靠性。实例显示,电压稳定性提高了15%,输电线路的传输容量提升了20%。在另一个项目中,高压直流输电(HVDC)技术用于跨区域电力传输,成功减少了长距离传输中的能量损耗,传输效率提升了30%。通过实例分析可见,柔性输电技术在优化电网性能、提升可靠性和传输效率方面具有显著成效,为智能电网的发展提供了强有力的技术支撑。

4.2 提升电网整体性能和资源配置

柔性输电技术在提升电网整体性能和资源配置方面具有显著优势。通过柔性交流输电系统(FACTS)和高压直流输电(HVDC)的应用,可以显著改善电网的稳定性和可靠性。柔性输电技术能够实时调节电压和潮流分布,减少输电损耗,提高电力传输效率。柔性输电系统具备快速响应能力,能够有效应对电网故障和负荷波动,从而保障电力供应的连续性和稳定性。在资源配置方面,柔性输电技术促进了电力资源的优化配置,能够更好地适应分布式电源和可再生能源的接入需求,增强了电网对不同能源形式的兼容性和灵活性。这种技术还支持跨区域电力交易,优化电力资源的跨区域调度,提升电力系统的整体经济效益和运行效率。通过柔性输电技术的应用,电网能够实现更加高效、安全、经济的运行模式。

4.3 实现可再生能源发展和电网智能化

柔性输电技术在实现可再生能源发展和电网智能化方面具有重要作用^[5]。其通过灵活控制电力流动,优化电网调度,有效解决可再生能源接入难题,显著提高电网的兼容性和稳定性。柔性输电技术能够支持大规模可再生能源的并网,降低能量损耗,提升电网运行效率,推动电网向智能化、集成化方向发展,保障电力供应的安全与可靠性。这为实现绿色能源的可持续发展和智能电网的全面升级提供了技术支持和保障。

5 柔性输电技术的发展趋势与建议

5.1 技术发展前景

柔性输电技术在未来智能电网中的发展前景十分广阔。随着电力需求的不断增长和可再生能源的大规模接入,电网面临的稳定性和灵活性挑战日益增加。柔性输电技术能够通过先进的电力电子设备,实现电力系统的实时调控,提升电网的适应能力和可靠性。在高压直流输电领域,新型绝缘材料和大容量电力电子器件的研发,将进一步提高输电效率和系统稳定性。柔性交流输电系统的发展将更加侧重于设备的模块化设计和智能化控制,以便更灵活地应对电网运行中的各类复杂情况。随着物联网和大数据技术的广泛应用,柔性输电技术将进一步实现智能化和数字化,为智能电网的建设提供更加坚实的技术支撑。

5.2 政策和标准建议

为推动柔性输电技术在智能电网中的广泛应用,制定和完善相关政策及标准至关重要。应加强政府对柔性输电

技术研发的资金支持和政策引导,鼓励企业和科研机构加大投入,提升自主创新能力。需建立统一的技术标准和规范,以保证不同设备和系统的兼容性和互操作性,确保电网运行的安全与稳定。国际合作亦不可忽视,借鉴和引进国际先进技术和管理经验,推动国内外技术标准的接轨与融合,为柔性输电技术的持续发展创造良好环境。

5.3 未来研究方向

未来研究方向应关注以下几个方面。需进一步优化柔性输电技术的控制策略,提升其对电网不同运行状态的适应能力。研究智能算法与大数据技术在柔性输电中的应用,增强系统对异常状况的预测和响应能力。深入探索新型材料和先进制造工艺在柔性输电设备中的应用,提高设备性能和可靠性。研究柔性输电技术在超高压、超远距离输电中的应用,实现更大范围的电力资源优化配置。应加强柔性输电技术与新能源技术的融合研究,推动可再生能源大规模并网。针对不同应用场景,开发定制化的柔性输电解决方案,提升电网的灵活性和稳定性。未来还需关注柔性输电技术标准的制定和推广,确保技术的规范化发展。

6 结束语

本文研究了柔性输电技术在智能电网中的应用,探讨了它如何提高电力系统的稳定性、可靠性和效率。研究发现,柔性输电技术可以改善电网运行情况,尤其在提升电网灵活性和稳定性方面效果显著。柔性交流输电系统(FACTS)和高压直流输电(HVDC)技术在优化电力传输、支持可再生能源接入和电网调度中起到了重要作用。然而,这些技术的应用成本较高,技术还不够成熟和标准化。此外,本文的研究主要是理论分析和实例探讨,缺乏大规模实际应用的数据。未来研究应着重降低成本,提高技术成熟度和标准化,进行更多大规模实际应用研究,并探索柔性输电技术与人工智能、大数据等新技术的结合。这样,我们相信柔性输电技术将在智能电网建设中发挥更重要的作用,为电力系统的智能化发展提供更坚实的基础和支持。

【参考文献】

- [1]雷宇. 柔性直流输电技术在江北电网中的应用研究[J]. 四川电力技术, 2023, 46(4): 48-53.
 - [2]肖焯辉. 柔性直流输电技术与高压直流输电技术的优缺点初探[J]. 通讯世界, 2019, 26(7): 206-207.
 - [3]蔡晖, 彭竹奔, 张文嘉, 等. 柔性直流输电技术在江苏电网的应用研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2019, 40(2): 90-94.
 - [4]董天集. 柔性输电技术在智能电网中的应用分析[J]. 科学与信息化, 2019, 0(12): 110-111.
 - [5]李雪亮, 吴健, 赵龙, 等. 高比例可再生能源并网条件下的输电网柔性规划[J]. 机电信息, 2019(35): 14-17.
- 作者简介: 伊力哈木·赛麦提(1999.6—), 男, 民族维吾尔族, 籍贯: 新疆维吾尔自治区岳普湖县人, 学历本科, 研究方向: 电气工程及其自动化。