

固态变压器在交直流混合微电网中的应用研究

严科杰

杭州统菱自动化科技有限公司 浙江杭州

【摘要】随着可再生能源在微电网中的应用逐渐增加，交直流混合微电网的需求也日益增长。固态变压器作为一种新型的电力电子设备，能够高效实现交流与直流之间的电能转换，且具有体积小、损耗低、调节范围广等优势，尤其适用于交直流混合微电网中的应用。本文研究了固态变压器在交直流混合微电网中的关键技术及其优势，探讨了固态变压器如何提升系统的可靠性、效率和灵活性。通过对比传统变压器，分析其在电力转换、控制策略以及稳定性等方面的表现，提出了优化方案及应用前景。

【关键词】固态变压器；交直流混合微电网；电力电子；能量转换；系统优化

【收稿日期】2025 年 4 月 12 日 **【出刊日期】**2025 年 5 月 15 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250164

Research on the application of solid state transformer in AC/DC hybrid microgrid

Kejie Yan

Hangzhou Tongling Automation Technology Co., Ltd, Hangzhou, Zhejiang

【Abstract】 With the growing adoption of renewable energy in microgrids, demand for hybrid AC/DC microgrids continues to rise. Solid-state transformers, as a novel power electronics device, efficiently convert electrical energy between AC and DC while offering advantages such as compact size, low losses, and wide regulation range, making them particularly suitable for hybrid AC/DC microgrid applications. This study investigates key technologies and benefits of solid-state transformers in hybrid AC/DC microgrids, exploring how they enhance system reliability, efficiency, and flexibility. By comparing their performance with traditional transformers in power conversion, control strategies, and stability aspects, the paper proposes optimization solutions and outlines their application prospects.

【Keywords】 Solid state transformer; AC/DC hybrid microgrid; Power electronics; Energy conversion; System optimization

引言

随着电力系统向绿色、智能化方向发展，交直流混合微电网逐渐成为现代电力网络的研究热点。在此背景下，固态变压器作为一种具备多重优势的先进电力电子设备，逐步在微电网中获得应用。其在电力转换、控制精度以及系统集成方面的高效性，使其成为提升微电网稳定性与灵活性的关键技术。固态变压器不仅能够实现交流与直流的高效能量转换，还能有效降低传统变压器的体积和能耗，进一步推动微电网技术的优化和创新。

1 固态变压器在交直流混合微电网中的应用现状与挑战

固态变压器（Solid-State Transformer, SST）作为新型的电力电子设备，具有较传统变压器在性能上的显著优势，尤其是在交直流混合微电网中的应用中展

现了极大的潜力。传统的变压器主要用于交流电能的传输和变换，但其在处理交直流混合系统中遇到的电能转换问题时，往往面临着效率低、体积大、以及调节灵活性差等问题^[1]。随着微电网结构的逐步发展，交直流混合微电网逐渐成为电力系统的重要组成部分，而固态变压器正好可以解决这种系统中的电能转换需求，实现交流与直流之间的高效转换。固态变压器的引入能够有效简化电力系统的结构，并提高微电网运行的可靠性和稳定性。

尽管固态变压器具有许多技术优势，但在交直流混合微电网的应用中，仍然面临不少挑战。固态变压器的工作原理与传统变压器截然不同，它依赖于高频变换和电力电子技术进行能量调节与转换。这一技术要求高度集成化的功率电子器件以及更为复杂的控制系统，这无疑增加了系统的设计和制造难度^[2]。固态变压

器的耐久性、成本、以及其高频工作模式下的热管理问题,也成为了其应用推广中的瓶颈。尤其在微电网环境中,由于其灵活性和动态负荷特性,固态变压器必须能够快速响应负荷变化并保持高效稳定的运行,这对其控制系统的精度和反应速度提出了更高的要求。

在交直流混合微电网中,固态变压器的应用并不仅限于电力转换。其在能量分配、功率质量改善和系统稳定性方面也发挥着重要作用。固态变压器通过优化电能的流动路径,可以实现对多个电源之间的协同调度,确保系统的高效运行。如何在保证系统高效稳定运行的同时,解决其高成本和系统复杂度问题,仍是目前研究的热点。未来的研究将着重于如何通过优化功率电子器件的选型、提高固态变压器的智能控制水平,以及降低其制造和运维成本,推动其在交直流混合微电网中的广泛应用。

2 固态变压器在交直流能量转换中的关键技术与优势

固态变压器(SST)在交直流能量转换中所展现的关键技术和独特优势,使其成为微电网中不可或缺的核心组件之一。与传统变压器依赖磁性材料的低频变换方式不同,固态变压器基于高频电力电子技术,能够在高效能量转换的同时实现交流与直流之间的灵活调节^[3]。这一特性使得固态变压器能够在交直流混合微电网中提供更高的适应性与可调节性。通过使用宽禁带半导体材料,如氮化镓(GaN)和碳化硅(SiC),固态变压器的高频开关能力得以大幅提升,显著提高了能量转换效率并减少了体积。这使得其能够在空间受限的环境中发挥重要作用,同时降低了系统的整体损耗。

固态变压器在交直流能量转换中的优势不仅体现在高效的能量转换率上,还表现在其出色的动态响应性能。交直流混合微电网通常需要应对快速变化的负荷需求和频繁的功率波动,固态变压器可以通过快速的电力电子控制实现对这些变化的精准调节,确保系统在各种工况下的稳定性与可靠性。通过使用先进的控制算法,固态变压器可以灵活地调整输出电压和电流,使电网能够在负荷突变时快速响应,从而提升微电网对负荷波动和故障的应对能力。固态变压器能够优化能量流动路径,减少电能的浪费,有效提升电网整体的运行效率。

固态变压器的高集成度和可调性使其在交直流混合微电网中能够承担更多功能。与传统变压器相比,固态变压器能够集成更多电力电子设备和智能控制模块,

实现电能质量改善、功率因数校正以及对各类可再生能源电源的支持^[4]。特别是在处理电能质量问题时,固态变压器能够有效减少谐波和电压波动,提供更加清洁和稳定的电能,保障微电网中的各种负载设备正常运行。随着技术的不断进步,固态变压器的成本逐步降低,功率密度和转换效率不断提高,这使得其在未来的交直流混合微电网中具有广泛的应用前景。

3 固态变压器对交直流混合微电网性能提升的作用分析

固态变压器在交直流混合微电网中的应用,极大地提升了系统的整体性能,尤其在电力转换、稳定性和灵活性方面展现了独特的优势。交直流混合微电网通常涉及多个电源和负载的协同工作,其中包括可再生能源、储能装置以及传统电力系统。在这种复杂环境中,固态变压器不仅能够实现交流与直流电能之间的高效转换,还能根据微电网的负载变化动态调整输出功率,优化系统的运行效率^[5]。通过其精确的电力电子控制技术,固态变压器能够减少系统中的能量损失,提高系统的功率因数和电能质量,使微电网在负荷波动和变化条件下保持更高的稳定性。

固态变压器在交直流混合微电网中的作用,不仅体现在电能转换的效率上,还体现在其对电网稳定性和可靠性的提升。传统变压器在处理复杂的交直流电能交换时,由于其物理结构和控制方式的限制,往往难以应对微电网中频繁的负荷变化和功率波动。而固态变压器通过高频开关技术和智能控制算法,能够迅速响应电网中的负荷波动,保证电能的稳定供应。固态变压器的快速响应能力使其能够在微电网中自动调节交流与直流电源之间的功率分配,确保系统在突发负荷变化时依然能够保持稳定运行。固态变压器能够有效减少微电网中的谐波干扰,净化电网,进一步提升电能质量,为敏感负载提供更加稳定的电力。

固态变压器在提高交直流混合微电网灵活性方面具有显著的优势。在微电网中,电源和负载的调节常常面临实时调整的需求,特别是在有较多可再生能源接入的情况下,电源的波动性和不确定性较大。固态变压器的高频能量转换技术可以使微电网在应对这种变化时保持高效性,同时降低能量损失。其具备的灵活控制能力,使得微电网可以根据外部环境的变化及时调整工作状态,优化功率调度。固态变压器的模块化设计,使得微电网可以在不影响整体系统稳定性的前提下灵活扩展或升级,提高系统的可扩展性和适应性^[6]。固态变压器在提升交直流混合微电网性能方面,发挥着至

关重要的作用,为微电网的高效、稳定运行提供了强有力的技术支持。

4 固态变压器在交直流混合微电网中的优化方案与实施路径

固态变压器在交直流混合微电网中的应用,随着技术的不断进步,已逐渐进入实际应用阶段。如何在实际运行中进一步提升固态变压器的性能,确保其在复杂的电力环境中高效、稳定地运行,仍是一个亟待解决的问题。优化方案的关键在于提升固态变压器的电能转换效率和响应速度,以应对微电网中负荷波动和电源波动的挑战^[7]。通过采用更先进的宽禁带半导体材料(如氮化镓 GaN 和碳化硅 SiC),可以显著提高固态变压器的开关频率和效率,进而减少系统能量损耗,并缩小设备的体积。优化固态变压器的控制算法,使其能够实时监测微电网的运行状态并进行快速调节,也是提升性能的重要手段。

固态变压器的优化还需要解决与电力电子控制系统相关的复杂性问题。交直流混合微电网中的电源和负载种类多样,且运行环境复杂,因此,固态变压器的控制系统需要具备高度的智能化,能够实时调整输出电压、频率及功率因数,确保微电网的稳定运行。采用先进的数字化控制策略,结合人工智能和大数据分析技术,可以提升固态变压器的控制精度和自适应能力。这不仅能够提高微电网在负荷波动和外部扰动下的应对能力,还能在电网发生故障时,实现快速隔离与恢复,保障电力供应的连续性和安全性。

实施固态变压器优化方案时,还需考虑系统的整体协调与集成问题。固态变压器作为微电网中的关键设备,需与其他电力电子设备和可再生能源系统如风电、光伏等进行无缝连接与协调工作。优化方案应考虑到固态变压器与整个微电网架构的兼容性,确保不同电源之间的协同作用^[8]。在实施过程中,逐步将固态变压器与储能系统、智能负荷控制系统等配套设施进行深度集成,形成综合的能量管理方案,可以实现对微电网的最优调度和资源分配。通过这种多层次、系统化的优化路径,固态变压器的应用将在未来交直流混合微电网中发挥更大作用,推动电力系统向更高效、稳定、智能的方向发展。

5 结语

固态变压器在交直流混合微电网中的应用,不仅解决了传统电力系统在能量转换、稳定性及灵活性方

面的诸多问题,还为微电网的高效运作提供了坚实的技术支撑。随着相关技术的不断发展,固态变压器在提升电能转换效率、优化功率调度、改善电能质量等方面的优势愈加明显。未来,随着智能控制系统的进一步完善及电力电子技术的进步,固态变压器在交直流混合微电网中的应用将更加广泛,其优化方案和实施路径将推动微电网技术的持续创新和升级,为现代电力系统的智能化、绿色化发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 周懿,吴昕,翁浩源,等.直流固态变压器单元故障旁路电路设计[J/OL].电源学报,1-11[2025-07-11].
- [2] 蔡浩,唐静,施凯,等.光伏交直流混合微电网功率分配研究——基于改进下垂控制策略[J].太阳能学报,2025,46(05):227-234.
- [3] 杨丽娜,贾俊强,马占军.考虑拓扑约束的交直流混合微电网优化调度[J].电子设计工程,2025,33(11):104-107+112.
- [4] 马文忠,朱英杰,王玉生,等.交直流混合微电网双向接口变换器自适应控制策略[J/OL].电力自动化设备,1-12[2025-07-11].
- [5] 康钦泽,罗朝旭,刘泽宇,等.基于主从互联变换器交直流混合微电网的电能质量优化控制策略[J].湖南电力,2025,45(02):74-81.
- [6] 丁朝辉,邱增广,周嫣蕾,等.基于子网和储能的交直流混合微电网功率协调控制[J].分布式能源,2025,10(01):81-90.
- [7] 张洪,陆晔,郑玲红,等.基于火电燃烧机组中固态变压器改进 LADRC 协同优化控制策略[J].电子设计工程,2024,32(24):191-195.
- [8] 郭宛鑫,孙毅超,鄢寅宇,等.基于钳位子模块的开关对复用型模块化多电平固态变压器[J].电力工程技术,2024,43(06):33-42.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS