

基于微电网技术的交直流混合建筑配电系统应用与设计

汪道玲 莫雯雯^{通讯作者}

(深圳市深燃清洁能源有限公司 广东深圳 518000)

摘要: 随着新型能源体系的发展,传统交流配电系统已难以满足现代建筑对高效、可靠、灵活供电的需求。具有独特优势的交直流混合建筑配电系统成为解决这一难题的有效方法。交流(AC)和直流(DC)配电技术的优势通过优化电力分配和转换过程,增强电力系统的稳定性和可靠性,交直流混合建筑配电系统得以整合。本文将探讨该领域的应用背景与国内外研究进展,对比传统配电系统的技术领先性和经济效益;通过系统拓扑结构和控制策略设计方法研究,分析该领域在能量管理与电力优化方面的具体应用及发展趋势。

关键词: 交直流混合建筑配电系统;微网控制策略;人工智能算法

0 引言

随着全球能源结构转型和新型电力系统的快速发展,交直流混合建筑配电系统(Hybrid AC/DC Building Power Distribution System)作为一种新兴的技术方案,正逐渐引起业界的广泛关注。^[1]在中国,传统的交流配电系统面临着巨大的挑战,太阳能、风能等可再生能源的大规模接入,以及高用电负荷的不稳定性增加,如电动汽车、数据中心等。在电力传输过程中损耗较小且能更好地适应直流负载需求的转换、传输和分配过程中,交流电网存在多次转换损耗,从而提高整体能源利用效率。

交直流混合建筑配电微网系统融合了交流配电的广泛适用性、可再生能源直流配电的高效和微网的灵活特性,旨在解决传统单一单向配电系统难以同时满足多向电力生产和传输效率、可再生能源本地利用及高品质供电质量的问题。

1 交直流混合建筑配电微网系统的应用

1.1 技术应用的现状与趋势

交直流混合建筑配电微网系统融合了交流(AC)与直流(DC)配电技术的优势,其核心特点在于其灵活的电力转换与分配机制。在系统中,交流电与直流电可并行存在,通过高效的电力电子装置实现多目的间的相互转换与无缝对接。这种设计不仅简化了电力传输路径,减少了能量转换过程中的损耗,还使得系统能够更灵活地适应不同负载的用电需求,包括直接为直流负载供电,如LED照明、数据服务器及电动汽车充电站等。

根据国际能源署(IEA)的研究报告,采用交直流混合配电系统的建筑,其能源利用效率可提升约10%至15%,同时在减少碳排放方面也表现出色。国内外关于基于微网控制技术的交直流混合建筑配电系统研究正逐步深入,国内学者针对该系统的拓扑结构设计、能量管理策略、以及微网控制算法等方面进行了大量研究,提出了多种创新性的解决方案。例如,清华大学的研究团队开发了基于多代理系统的交直流混合微网协调控制策略,有效提升了系统的稳定性和响应速度。

欧美等发达国家在交直流混合建筑配电系统及其微

网控制领域的研究起步较早,取得了显著成果。美国加州大学伯克利分校的研究团队致力于开发高效、可靠的微网控制器,通过先进的优化算法实现能量的精准调度和分配。德国Fraunhofer研究所等机构将太阳能、风能等可再生能源集成在交直流混合配电系统中,通过智能微网控制技术实现能源的高效利用和自给自足。国际标准组织如IEEE也在积极推动交直流混合配电系统的标准化工作,为技术的全球应用奠定了基础。

1.2 存在的问题和挑战

尽管交直流混合配电系统在理论上被认为能够显著提升能源利用效率和系统灵活性,但现有研究多集中于理论构建和仿真验证,缺乏大规模实际应用的验证数据,特别是在复杂多变的实际建筑环境中,系统的稳定性和可靠性尚未得到充分验证。

微网控制策略在应对多源输入、多负荷需求的交直流混合配电系统中显得尤为复杂。现有研究多侧重于单一优化目标,如成本最小化或效率最大化,而忽视了多目标间的协调优化,如经济性与环保性的平衡、供电可靠性与系统灵活性的兼顾等。这种单一目标的优化策略难以全面反映实际系统的复杂性和多样性需求。如何在交直流混合建筑配电微网系统中有效地融入这些先进技术,实现系统的智能化和自动化管理,是当前新能源体系发展背景下技术应用面临的一大难题。

1.3 与传统配电系统相比的技术先进性和经济性分析

交直流混合配电系统能够参与需求侧管理,与电网实现更加紧密的互动,提高电网的弹性和韧性。在能效方面,由于减少了不必要的电力转换环节,系统整体能效显著提升。在灵活性方面,该系统能够更好地适应多样化的用电设备和负载变化,实现电力的精细化管理和按需分配。在可靠性方面,交直流混合配电系统通过冗余设计和故障快速隔离机制,提高了电力系统的稳定性和安全性。

从技术先进性角度来看,交直流混合配电微网系统结合了交流电和直流电各自的优势,实现了电力传输和

分配的双重优化。直流配电微网系统能够更直接地支持分布式可再生能源的接入,如太阳能光伏板和储能电池等,为建筑提供绿色、清洁的电力来源。交直流混合配电微网系统通过智能控制策略,能够实现对电力资源的优化配置和高效利用。

在经济性上,虽然初期投资可能略高于传统交流配电系统,但其长期运行成本和节能效果优势逐渐显现。一方面,直流配电系统的低损耗特性直接降低了电能传输过程中的能量浪费,减少了电费支出。^[2]另一方面,由于分布式可再生能源的广泛应用,交直流混合系统能够最大程度地利用这些清洁能源,降低对传统化石能源的依赖,降低能源成本。^[3]

更重要的是,交直流混合建筑配电系统对提升能源利用效率和实现可持续发展具有深远的意义。系统通过优化电力传输和分配方式,提高了能源效率,减少了碳排放和环境污染。其弹性和扩展性也为未来能源系统的进一步升级改造提供了可能。

2 交直流混合建筑配电微网的系统设计与控制

2.1 系统的拓扑结构设计

在交直流混合建筑配电系统的拓扑结构设计过程中,需综合考虑电力传输效率、系统稳定性、成本效益以及未来扩展性等多方面因素。该系统的拓扑结构可划分为交流侧、直流侧及交直流转换接口三个主要部分。

交流侧设计主要围绕建筑外部电网接入点展开,采用传统交流配电方式,通过变压器等设备将高压电网电能降至建筑内部所需的电压等级。此部分设计需确保与现有电网的良好兼容性,并预留足够的接口以应对未来电网升级或新增负载的需求。^[4]交流侧还需集成智能监测与保护系统,实时监测电网状态,保障供电安全与稳定。

直流侧设计则侧重于内部负载的高效供电与能源管理。直流配电具有传输损耗低、控制灵活等优势,特别适用于LED照明、数据中心、空调、电动车充电等直流负载。在拓扑结构设计上,直流母线作为核心,连接各直流负载及储能设备(如蓄电池组),形成稳定的直流供电网络。直流侧还应配置高效直流/直流转换器,以便对不同电压等级的直流负载进行灵活的接入和调整。

交直流转换接口是连接交流侧与直流侧的关键环节,其设计直接关系到系统整体的效率与稳定性。现代交直流混合配电系统通常采用先进的电力电子技术,如AC/DC整流器、DC/AC逆变器等,实现电能的高效转换与双向流动。接口设计需考虑转换效率、谐波抑制、功率因数校正等因素,以确保转换过程对电网及负载的影响降到最低。

在具体器件配置上,还需要从以下几个方面考虑系统拓扑结构:一是选用可靠性较高的电力电子器件,如IGBT模块,以提高系统的整体性能;二是配置了合适的滤波保护装置,如LC滤波器、过压过流保护器等,使

系统运行起来既安全又顺畅;三是优化了设备的布置布线,减少了线路损耗,减少了电磁干扰,提高了系统的整体效能。

2.2 智能控制策略与优化方法

在能量管理方面,交直流混合配电系统可通过集成先进的能量管理系统(EMS),利用人工智能算法实现电力供需的精准预测与动态调整。例如,基于深度学习的时间序列预测模型,可以结合天气预报、历史资料等多源信息,结合为系统提供精确的电力需求预测,准确预测建筑物在未来一段时间内的电力负荷变化。根据微网的并网和离网运行需求,EMS选择合适的控制方式与策略,如联络线功率控制、削峰填谷、经济运行等,对于提高系统效率和降低成本有直接影响。

在电源优化方面,智能控制策略着重从两个方面进行升级,分别是电能质量升级和系统供电可靠性升级。实时监控并动态调整交流侧,采用自适应控制或模糊控制等先进控制算法,可有效抑制谐波、电压波动等不利因素,为用户侧的电能品质保驾护航。智能控制策略针对突发停电或系统故障,可迅速启动应急响应机制,确保关键负荷不间断供电,并通过电源快速切换、负荷分配调整等方式提升系统整体可靠性。

智能控制策略对系统的抗跌性、扩张性也有同样的讲究。随着建筑内用电设备的不断增加与用电模式的多样化,配电系统需要具备快速适应变化的能力。基于人工智能的控制策略,能够根据实际情况动态调整控制参数与策略,确保系统在不同工况下均能保持良好的运行性能。通过模块化设计与接口标准化,系统能够方便地接入新的分布式能源或储能设备,实现系统的灵活扩展与升级。

2.3 多目标优化方法

在交直流混合建筑配电系统的设计与运行中,多目标优化方法扮演着至关重要的角色。具体而言,需要围绕以下几个核心要素进行多目标优化方法:

经济性的优化是首要考虑因素之一。在交直流混合配电系统中,通过合理的设备选型、布局优化以及能量管理策略,可以有效降低系统的初始投资成本和长期运行费用。例如,采用高效能的直流变换器和储能设备,结合智能调度算法,能够显著提高能源利用效率,减少不必要的能量损耗。

同样不可忽视的还有环保优化。随着全球对环境保护意识的增强,建筑配电系统在设计时需充分考虑其碳排放量和环境影响。多目标优化方法实现清洁能源的最大化利用,通过引入可再生能源的接入,并结合先进的电力电子技术,减少对化石能源的依赖。通过智能控制策略,优化系统在非峰值时段的能源分配,进一步减少电网压力,促进可再生能源的消纳。

在优化过程中,系统的可靠性和稳定性也是一个重

要的目标。在复杂的建筑环境中，配电系统需具备高度的自适应性和容错能力，以应对各种突发情况和负荷变化。多目标优化方法通过构建精细化的数学模型，综合考虑系统各部件的可靠性参数和故障概率，设计出冗余度高、故障恢复快的系统架构。利用先进的预测性维护技术，提前识别潜在故障，减少非计划停机时间，保障系统长期稳定运行。

要实现多目标间的平衡和协同，需要使用先进的优化算法，如遗传算法、粒子群优化算法等。这些算法能够在复杂的约束条件下，结合具体的系统特性和需求，对算法进行定制化和调整，以确保优化结果的准确性和有效性。

3 结论

交直流混合建筑配电系统是推动智能绿色建筑和新型电力系统发展的关键驱动力，是应对当前能源变革和负荷特性变化的重要技术途径。它显示出显著的能源利用效率优势，而非传统的单一交流配电系统。减少了LED照明、数据中心服务器等直接式直流负载等不必要的AC/DC转换环节，从而降低了能源转换损耗，提升了本地可再生能源的消纳率。交直流混合配电系统仍需

在系统集成设计、控制策略优化、经济性评估及用户互动等方面进行深入发展，结合人工智能等前沿技术，不断提升系统的智能化水平和综合性能，推动建筑行业的可持续发展。

参考文献:

[1]A comprehensive review on integration challenges, optimization techniques and control strategies of hybrid AC/DC Microgrid.O Azeem, M Ali, G Abbas, M Uzair, A Qahmash...- Applied Sciences, 2021 - mdpi.com

[2]Smart hybrid AC/DC microgrids:power management, energy management, and power quality control.YR Li, F Nejabatkhah, H Tian - 2022 - books.google.com

[3]State-of-the-Art Literature Review of Power Flow Control Methods for Low-Voltage AC and AC-DC Microgrids.P Ilyushin, V Volnyi, K Suslov, S Filippov - Energies, 2023 - mdpi.com

[4]王杰峰 任军辉 宋志顺 李嘉丰.交直流混合微电网组网和控制策略的研究与应用.电力电容器与无功补偿,2019

[5]郭晓丽,肖欣,张新松,等.微网下 V2G 技术经济性的分析与研究[J].电网与清洁能源,2017,33(3):7.DOI:CNKI:SUN: SXFD.0.2017-03-007.