

微电网能量管理系统的多目标优化控制

梁崇华

盛视科技股份有限公司 广东深圳

【摘要】微电网能量管理系统的多目标优化控制旨在实现能源的高效利用与稳定运行，同时平衡经济性、环保性和系统可靠性。本文针对微电网中多种能源协同运行的复杂性，设计了一种基于多目标优化的控制策略，通过协调不同能源单元的输出，实现能源消耗与成本的最小化、排放的减少以及供电质量的提升。采用数学建模和优化算法，系统地解决了能量分配和调度问题，验证了该方法在动态环境下的优越性能。结果表明，多目标优化控制不仅提升了微电网的运行效率，还增强了系统的鲁棒性和自适应能力。

【关键词】微电网；能量管理系统；多目标优化；控制策略；能源调度

【收稿日期】2025 年 3 月 10 日 **【出刊日期】**2025 年 4 月 11 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250132

Multi-objective optimization control of microgrid energy management systems

Chonghua Liang

Maxvision Technology Corporation Limited, Shenzhen, Guangdong

【Abstract】The multi-objective optimization control of microgrid energy management systems aims to achieve efficient energy utilization and stable operation while balancing economy, environmental protection, and system reliability. Addressing the complexity of collaborative operation of multiple energy sources in microgrids, this paper designs a control strategy based on multi-objective optimization. By coordinating the output of different energy units, it minimizes energy consumption and costs, reduces emissions, and improves power supply quality. Using mathematical modeling and optimization algorithms, the problem of energy allocation and scheduling is systematically solved, and the superior performance of this method in dynamic environments is verified. The results show that multi-objective optimization control not only improves the operational efficiency of the microgrid but also enhances the system's robustness and adaptability.

【Keywords】Microgrid; Energy management system; Multi-objective optimization; Control strategy; Energy dispatch

引言

微电网作为现代能源系统的重要组成部分，融合了多种可再生能源和分布式发电技术，极大提升了能源利用的灵活性和可靠性。随着能源结构的不断转型，如何在保障供电稳定的前提下，实现经济性、环保性和安全性的平衡，成为微电网能量管理系统设计的核心挑战。多目标优化控制技术提供了一种有效的解决思路，通过综合考虑不同目标之间的权衡，优化能源的分配和运行策略。本文聚焦于微电网多目标优化控制的设计与实现，旨在探索一种能够兼顾多维度需求的能量管理方法，提升微电网整体性能，为未来智能能源系统的发展提供理论

和技术支持。

1 微电网能量管理系统的多目标优化问题分析

微电网能量管理系统面临的主要挑战在于多个优化目标的并存和冲突，譬如经济成本、环境排放、供电可靠性等方面需同时考虑。经济性要求能源消耗和运行成本尽可能降低，而环保性则关注可再生能源的利用和污染物的减少，供电可靠性则涉及系统对负荷波动和不确定性的响应能力。这些目标彼此间存在相互制约关系，使得单一目标优化无法满足实际运行需求。需要构建多目标优化问题框架，全面反映不同目标间的权衡与协调。复杂的多能互补系统和多变的负载需求使问题更加复杂，增加了

控制策略设计的难度。系统需具备处理不确定性和时变性的能力,同时确保在各种运行状态下均能达到多个优化目标的平衡。

微电网内部多种能源资源如光伏、风电、储能设备和传统燃料发电单元的动态协同工作,是能量管理系统设计的重点。能源输出的波动性和间歇性造成了调度的不确定性,如何合理配置各能源单元的输出功率,优化其运行时间和状态,是优化问题的核心所在。负载的多样性和需求变化带来了调度上的复杂性^[1]。能量管理系统需要实时响应外部环境和内部状态的变化,实现资源的动态优化配置。对于多目标问题的数学模型建立必须包括系统约束条件,如设备容量限制、能量平衡约束、功率质量要求等,从而保证优化结果的可行性和系统的稳定运行。

多目标优化问题的求解过程必须综合考虑目标函数的多维性和优化路径的复杂性。传统单目标优化方法难以处理多个相互冲突的目标,需采用多目标优化算法如非支配排序遗传算法(NSGA-II)、粒子群优化(PSO)等,能够同时获得多个折中解,满足不同目标的权衡需求。为适应微电网的实时性,算法设计还需兼顾计算效率和收敛速度。通过对多目标问题的深入分析,可以明确优化的核心需求和控制策略设计的重点,为后续的模式构建和算法实现提供理论基础。

2 多目标优化控制模型的构建与算法设计

构建多目标优化控制模型的关键在于合理定义各目标函数及其权重,同时建立系统的数学描述。模型需涵盖经济成本函数,反映电力购买成本、设备运行费用及维护成本;环保目标通常以碳排放或污染物排放量作为衡量指标;可靠性则通过系统供电稳定性指标和负载满足率体现。权重设定需根据实际应用场景的优先级调整,兼顾不同利益相关方的需求。系统状态变量、控制变量和约束条件均需在模型中精确表达,确保模型能完整模拟微电网的运行特性。多目标控制模型的构建为能量管理系统的优化决策提供数学基础,支持复杂能源资源的协同调度和动态优化。

算法设计需兼顾问题的非线性、多约束特性以及实时性需求。基于进化算法的多目标优化技术表现出良好的适应性和全局搜索能力,能够有效处理目标冲突和非凸优化问题。改进型遗传算法、粒子

群优化以及多目标蚁群算法等方法,在微电网能量管理中得到广泛应用。为了提高算法效率,结合局部搜索策略和启发式规则,有助于缩短收敛时间并提升解的质量^[2]。算法还需支持在线调整,通过实时采集系统状态和负载信息,动态更新优化参数,实现实时控制决策,适应外部环境的快速变化和负载的波动。

模型与算法的集成实现是多目标优化控制策略落地的关键环节。基于模型预测控制(MPC)框架,通过滚动优化实现对未来时段的能量调度决策,兼顾动态性与预测误差。引入多目标函数的权衡机制,使控制器能够根据不同运行条件自动调整策略权重。结合数据驱动方法和机器学习技术,可以提升预测准确性和优化决策的自适应性。算法实现不仅要保证控制性能,还需满足系统稳定性和计算资源的限制,为微电网的高效运行提供强有力的技术支撑。

3 多目标优化控制策略的实现与仿真验证

多目标优化控制策略的实施必须依托于一个贴近实际运行环境的仿真平台,以确保策略在各种复杂条件下的有效性与稳定性。该仿真平台需要集成光伏、风电、燃气轮机、储能设备以及多种负载模型,真实再现微电网多能互补系统的工作状态。通过构建多种负载变化曲线和模拟可再生能源的间歇性出力,平台能够模拟典型的运行工况及突发扰动情形。利用这些仿真场景,研究人员能够系统性地评估多目标优化策略在降低成本、减少排放和提升系统可靠性方面的综合表现。仿真结果直观地展示了不同目标之间的权衡关系和相互影响,揭示了策略调整的优化路径。这样的仿真验证不仅为理论方法提供支持,更为策略的工程实践推广奠定了坚实基础,保障控制方案在实际微电网中的可行性和稳定运行。

多目标优化控制策略的运行高度依赖于实时数据的准确采集和高效传输。通过先进的传感器技术及高速通信网络,系统能够实时监测微电网中各能源单元的运行状态、储能设备的充放电情况及负载变化。数据的及时性和完整性直接关系到控制算法的优化效果和响应速度。在仿真验证阶段,重点关注控制算法在面对突发负载波动和可再生能源输出不稳定时的动态调度能力,评估其调度精度和鲁棒性。通过多次仿真迭代,调整算法参数使其更加适应多变的运行环境,进一步提升策略的自适应性和

稳定性。系统运行过程中,综合考量运行总成本、排放水平和供电连续性等多目标性能指标,确保所设计的控制策略既满足经济效益,又兼顾环保要求和供电安全。

仿真过程中,多目标优化算法生成的帕累托前沿为决策者提供了多种优化方案的权衡选择,使策略能够根据实时需求灵活调整重点目标。通过灵敏度分析,深入剖析模型参数和环境变量对优化结果的影响,提升了策略对各种不确定因素的适应能力^[3-7]。仿真不仅限于静态工况分析,更强调在动态变化的环境中策略的连续性能表现,从而确保控制方法能在复杂的实际运行条件下长期稳定有效。通过这些详尽的仿真测试和性能评估,微电网能量管理系统的多目标优化控制得到了科学验证,形成了可供实际工程应用的技术支撑,有助于推动智能微电网技术的持续发展和推广应用。

4 多目标优化控制在微电网中的应用效果评估

应用多目标优化控制策略后,微电网的整体性能在经济效益、环境保护和系统稳定性方面均得到了显著提升。通过科学合理地分配光伏、风电等新能源与储能设备的功率输出,有效减少了对传统燃料发电单元的依赖,进而降低了燃料消耗量和相关有害气体排放,充分体现了绿色环保目标的实现。经济方面,优化后的调度策略显著降低了运行成本,包括减少电力采购费用和设备维护开支,提升了系统的经济运行水平。系统的供电可靠性也得到了明显加强,能够更加有效地应对负载波动以及外部环境扰动,确保了电力质量和供电的连续性。

从长远角度看,多目标优化控制的应用促进了微电网的智能化和自主化发展。通过持续优化能源结构和运行策略,系统可实现可再生能源最大化利用,推动绿色低碳发展目标。储能设备在调节功率平衡和缓解新能源波动方面发挥了关键作用,增强了系统的调节能力和自愈性。多目标优化策略通过动态权重调整和实时控制,使系统在不同运行阶段均能满足多元需求,避免了传统单一目标优化带来的局限性。这种智能管理方法为未来能源互联网和分布式能源系统提供了示范和借鉴。在实际应用中,系统运行的稳定性和安全性得到进一步验证,确保了复杂环境下的鲁棒性能。通过对关键性能指标的

监测与分析,系统维护和升级得以科学规划,提升了整体运营效率^[8]。多目标优化控制策略的推广应用不仅提升了微电网的综合性能,还为能源管理和智能调度技术的发展奠定了坚实基础。

5 结语

多目标优化控制策略为微电网能量管理带来了全新的解决方案,通过综合权衡经济性、环保性和系统可靠性,实现了能源的高效利用和稳定运行。该方法不仅提升了微电网的运行效率和环境友好性,还增强了系统应对复杂负载和可再生能源波动的能力。未来,随着技术的不断进步和应用的深入,多目标优化控制将在智能微电网的发展中发挥更加重要的作用,推动能源系统向绿色、智能和可持续方向迈进,助力实现清洁能源转型和能源结构优化目标。

参考文献

- [1] 雷基林,余林兴,别玉,等.孤岛微电网能量管理系统研究综述[J].发电技术,2025,46(02):370-385.
- [2] 李平.独立型微电网中自动化能量管理系统的设计与实现[J].自动化应用,2025,66(01):125-127.
- [3] 杨广.基于强化学习算法的微电网能量管理系统的自适应控制策略[J].电力设备管理,2024,(24):201-203.
- [4] 李健男,曾明慧,于航,等.农村地区微电网系统架构及能量管理系统设计[J].农业科技与装备,2024,(06):54-57.
- [5] 雷基林,余林兴,别玉,等.孤岛微电网能量管理系统研究综述与展望[J/OL].发电技术,1-15[2025-07-21].
- [6] 钱熙阳.微电网能量管理系统设计与实现[D].扬州大学,2024.
- [7] 王又佳,蒋雨哲.微电网中储能与能量管理系统应用[J].中国科技信息,2024,(08):70-73.
- [8] 全国微电网与分布式电源并网标准化技术委员会(SAC/TC 564).独立型微电网能量管理系统技术要求:GB/T 43334-2023[S].中国标准出版社,2023.

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