

基于深度强化学习的微电网黑启动恢复策略

周欣驰

宁波高正工程管理有限公司 浙江宁波

【摘要】微电网黑启动恢复是电力系统恢复中的关键问题，尤其是在遭遇大规模停电或自然灾害时。为了解决这一问题，基于深度强化学习的策略被提出用于优化微电网黑启动的恢复过程。通过利用深度强化学习模型的自学习能力，系统能够从大量的历史数据和当前环境中获取有效的恢复策略，显著提高恢复速度与精确度。本研究利用深度强化学习的优势，结合微电网特点，提出了一种适应性强、效率高的黑启动恢复策略，为微电网的智能恢复和能源管理提供了新思路。实验结果表明，该方法在不同的运行环境下均表现出良好的恢复效果。

【关键词】微电网；黑启动；深度强化学习；恢复策略；智能优化

【收稿日期】2025 年 4 月 15 日

【出刊日期】2025 年 5 月 18 日

【DOI】10.12208/j.jeea.20250165

Microgrid black start recovery strategy based on deep reinforcement learning

Xinchi Zhou

Ningbo Gaozheng Engineering Management Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang

【Abstract】Microgrid black start recovery is a key issue in power system restoration, especially in the event of large-scale power outages or natural disasters. To address this problem, a strategy based on deep reinforcement learning is proposed to optimize the microgrid black start recovery process. By leveraging the self-learning capability of deep reinforcement learning models, the system can obtain effective recovery strategies from a large amount of historical data and the current environment, significantly improving recovery speed and accuracy. This study takes advantage of deep reinforcement learning and combines the characteristics of microgrids to propose a highly adaptive and efficient black start recovery strategy, providing new ideas for intelligent recovery and energy management of microgrids. Experimental results show that this method achieves good recovery performance in different operating environments.

【Keywords】Microgrid; Black start; Deep reinforcement learning; Recovery strategy; Intelligent optimization

引言

微电网的黑启动恢复是电力系统中恢复过程中的一项重要挑战，尤其是在遭遇大规模停电和自然灾害时，微电网作为独立供电单元需要尽快恢复正常运行。传统的恢复策略通常依赖于预设的恢复顺序和手动操作，效率较低且难以应对复杂、变化的运行环境。近年来，深度强化学习（DRL）在自动化决策中的应用得到了广泛关注。通过结合深度强化学习与微电网黑启动恢复，可以实现自适应优化控制，从而提升恢复策略的效率与准确性。本研究提出了一种基于深度强化学习的微电网黑启动恢复策略，旨在通过智能学习和自主决策来优化恢复过程，减少人为干预，缩短恢复时间，提高恢复的成功率。本文将分析该方法在微电网黑启动中的应用，并通过实验验证其有效性。

1 微电网黑启动恢复的挑战与需求

微电网黑启动恢复是指在电网遭遇严重故障或大规模停电时，能够独立恢复正常供电并重新接入主电网的过程。在微电网运行过程中，黑启动恢复是一项至关重要的任务，尤其是在外部电网瘫痪或无法迅速恢复供电的情况下，微电网需要具备独立启动和恢复能力。微电网的特点是其可控性、灵活性以及对分布式能源的高度依赖，因此恢复过程中可能面临着多种挑战^[1]。微电网通常由多个分布式能源单元组成，如太阳能、风能、储能系统等，这些能源单元各自具有不同的特性和不确定性，恢复过程中需要协调和优化其启动顺序及运行状态。微电网的恢复能力与其设备的健康状况密切相关，在恢复过程中必须确保设备能够在最佳状态下投入运行，同时避免系统过载和故障的发生。恢复过程中可能会受到外部环境、天气等因素的影响，这些不确定因素使得恢复策略的制定和实施更加复杂。设

计一种高效、智能且自适应的恢复策略成为当前微电网黑启动恢复的迫切需求。

随着微电网规模的扩大,传统的恢复方法逐渐暴露出一些明显的不足。传统方法通常依赖于人工设定的恢复顺序和策略,这些方法虽然能保证一定的恢复效果,但在应对突发情况时往往缺乏灵活性和快速响应能力。传统方法难以应对多变的负荷需求和复杂的电力流动,这些问题在现代微电网中尤为突出。随着深度强化学习技术的发展,基于智能算法的自适应恢复策略逐渐成为解决这些问题的有力工具。深度强化学习能够通过与环境交互不断优化决策过程,自动学习出最佳的恢复策略,从而有效提高微电网的恢复速度与精度,减少人工干预并降低恢复成本。

微电网黑启动恢复的挑战不仅是一个技术难题,也关系到电力系统的可靠性和安全性。在这一背景下,基于深度强化学习的恢复策略应运而生。深度强化学习通过模拟恢复过程中的多种情景,能够自适应地调整恢复策略,提高恢复过程中的效率与稳定性。这一方法不仅能提升恢复效果,还能为微电网的智能化管理提供新的解决方案。随着技术的不断发展,未来微电网的黑启动恢复将更加高效和智能。

2 深度强化学习在微电网黑启动中的应用框架

深度强化学习是一种利用深度学习技术和强化学习算法相结合的智能决策方法,它能够通过与环境的不断互动,从历史数据和实时信息中学习并优化决策过程。在微电网黑启动恢复中,深度强化学习的应用框架主要包括环境建模、状态表示、奖励函数设计和策略学习等核心环节。环境建模是深度强化学习成功应用的基础,它能够通过对微电网系统状态的建模,将整个电网的运行过程转化为一个决策问题。在这一过程中,微电网的电力流动、能源供给、负荷变化等因素都需要被充分考虑,以确保环境模型能够准确反映真实系统的运行状态。

在状态表示方面,深度强化学习通过将微电网的各个元素及其运行状态转化为向量形式的状态变量,使得学习算法能够更有效地处理复杂的电网环境。微电网中的各类设备(如发电机、储能设备、负荷单元等)可以被视为状态空间的不同维度,每个设备的运行状态、负荷变化等信息都会影响恢复策略的选择^[2]。这一过程的关键在于如何合理地定义状态空间,使得算法能够在多个维度上进行有效的探索和优化。奖励函数的设计也是深度强化学习成功应用的核心,奖励函数需要根据微电网的恢复目标进行精确设计,以引导学

习算法朝着最优恢复策略方向进行优化。

深度强化学习在微电网黑启动恢复中的应用框架不仅仅局限于恢复策略的设计,还包括了策略的训练与测试。在训练阶段,算法通过大量的模拟和与环境的互动,不断调整和优化策略,从而实现最佳的恢复决策。在测试阶段,算法根据模拟结果对恢复策略进行验证,并根据不同场景进行效果评估。通过这种框架,深度强化学习能够在不同的环境下实现自适应的恢复策略,为微电网黑启动恢复提供智能化的解决方案。

3 基于深度强化学习的微电网黑启动恢复策略设计

在基于深度强化学习的微电网黑启动恢复策略设计中,关键的任务是通过智能算法动态优化恢复过程中的各个环节。这一策略设计的核心在于如何将深度强化学习的理论与微电网的实际需求结合起来,从而实现快速、有效的恢复。恢复过程中的各个设备需要协调运作,如何合理安排各个设备的启动顺序以及调整负荷分配是恢复策略设计中的重要问题。深度强化学习通过对不同设备状态的实时反馈和学习,可以优化设备的启动时机及运行方式,确保各个设备协同工作,最大化恢复效率。

恢复策略的设计需要考虑多种因素的影响,包括系统的负荷需求、电力生产与消费的平衡、以及设备健康状态等。深度强化学习通过对环境的实时监测与反馈,能够动态调整恢复策略,使得微电网在复杂多变的环境中依然能够保持高效的恢复能力。当负荷需求突然增加时,深度强化学习算法能够自动调节发电机的输出,或者调动储能系统来缓解电力供应不足的问题。设备故障的可能性也是恢复过程中必须考虑的因素,深度强化学习能够通过实时监控状态,预测设备可能发生的故障,并在最短时间内调整策略,避免系统崩溃。

在微电网黑启动恢复过程中,确保恢复过程的安全性及稳定性是至关重要的,因为突发事件如设备故障或负荷波动可能导致系统崩溃或恢复失败。通过深度强化学习,系统能够持续监控电网的各项运行指标,包括电压、频率、负荷等,实时评估系统的稳定性和运行状态。基于这种动态监测能力,深度强化学习可以及时识别潜在的风险,并通过智能决策进行调整,从而防止系统过载或出现其他故障^[3-7]。深度强化学习还可以与传统的控制方法(如PID控制、模糊控制等)相结合,形成一种协同工作机制,进一步增强电网恢复过程中的安全保障。这种智能化和协同的恢复策略,不仅加

速了恢复过程,还为电网的稳定性提供了可靠的保障。

4 实验分析与策略优化效果评估

为了全面验证基于深度强化学习的微电网黑启动恢复策略的有效性,本文设计了多个实验场景,涵盖了不同类型的停电事件和环境变化。实验中,我们模拟了微电网在遭遇不同故障类型和负荷变化时的恢复过程,并与传统恢复方法进行对比。通过对恢复速度、恢复质量和成功率的多维度评估,结果显示深度强化学习策略在各方面都优于传统方法。具体而言,深度强化学习能够根据实时环境动态优化各设备的启动时机和运行参数,在恢复过程中进行自适应调整,有效避免了人为干预的延迟和误差,极大地缩短了黑启动所需的时间。该策略在不同恢复场景下均表现出较高的灵活性和稳定性,进一步证明了其在复杂电网恢复中的优势。

实验还对不同的恢复场景进行了模拟测试,以考察深度强化学习在应对复杂环境中的表现。在不同负荷变化、设备故障以及外部环境因素的影响下,基于深度强化学习的恢复策略能够快速适应并调整恢复方案,避免了因环境变化而导致的系统不稳定。通过不断优化策略,系统能够在最短时间内实现最大范围的恢复,并保证系统的安全性和稳定性。在策略优化方面,通过多轮训练与测试,深度强化学习模型不断调整参数,逐步优化恢复策略。实验结果显示,经过多次训练后,策略的优化效果愈加明显,恢复过程中的效率和成功率不断提高^[8]。深度强化学习还能够在训练过程中自适应地调整策略,根据实时数据和环境变化做出反应,从而保证微电网在遭遇复杂情况时仍然能够顺利恢复。实验分析与策略优化表明,基于深度强化学习的微电网黑启动恢复策略具有良好的实用性和适应性,为未来微电网的恢复工作提供了有效的技术支持。

5 结语

基于深度强化学习的微电网黑启动恢复策略在提高恢复效率、适应复杂环境和保障电网安全性方面展现了显著优势。通过智能化的学习与优化,该策略能够

有效应对传统方法中的不足,实现更快速、精准的恢复过程。实验结果证明,深度强化学习在微电网恢复中的应用不仅能够提高恢复速度,还能增强系统的自适应能力,为微电网的智能化管理与优化提供了新思路。随着技术的不断发展,基于深度强化学习的恢复策略将在微电网的实际应用中发挥越来越重要的作用。

参考文献

- [1] 赵后起,邓卫,崔承刚,等.孤岛微电网环境下基于物理模型引导的深度强化学习 VSG 频率控制方法[J/OL].中国电机工程学报,1-13[2025-07-11].
- [2] 曾磊,丁泉,陈孝煜,等.基于深度强化学习的微电网运行优化方法[J].浙江电力,2025,44(06):31-40.
- [3] 郭鑫溢,姜凯,杨朋威,等.基于深度强化学习的居民微电网调度算法[J].计算机与现代化,2025,(06):106-113.
- [4] 林文硕,李欣,周荣生,等.基于深度强化学习的微电网低碳优化运行方法[J/OL].现代电力,1-13[2025-07-11].
- [5] 王力,蒋宇翔,曾祥君,等.基于深度强化学习的孤岛微电网二次频率控制[J].中国电力,2025,58(05):176-188.
- [6] 柳伟,胡添欢,汤程烨.基于深度强化学习的孤立微电网分布式牵制协同控制[J/OL].控制理论与应用,1-9[2025-07-11].
- [7] 周剑,聂孝婷,庞可欣,等.基于深度强化学习算法的跨区域多微电网系统扩展规划研究[J/OL].中国管理科学,1-12[2025-07-11].
- [8] 刘蕴娴.基于深度强化学习算法的微电网能量优化管理研究[D].西华大学,2024.

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