

光伏逆变器的最大功率点跟踪算法优化及其实际应用效果

武全胜¹, 张建伟²

¹ 内蒙古万励能源科技有限公司 内蒙古呼和浩特

² 通用电气能源投资(中国)有限公司北京企业管理分公司 北京

【摘要】在全球能源转型加速背景下,光伏产业发展迅猛,光伏逆变器最大功率点跟踪算法成为提升系统发电效率的核心。通过剖析扰动观察法、电导增量法等传统算法缺陷,融合自适应控制与粒子群优化、模糊控制等智能算法进行优化。经仿真与实际项目测试,优化算法使光伏系统在复杂环境下动态响应速度提升30%,发电效率提高15%,为光伏产业高效稳定发展提供可靠技术方案。

【关键词】光伏逆变器;最大功率点跟踪;算法优化;发电效率;智能控制

【收稿日期】2025年1月20日 **【出刊日期】**2025年2月18日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250054

Optimization of maximum power point tracking algorithm for photovoltaic inverters and its practical application effect

Quansheng Wu¹, Jianwei Zhang²

¹ Inner Mongolia Wanli Energy Technology Co., Ltd, Hohhot, Inner Mongolia

² Beijing Enterprise Management Branch of GE Energy Investment (China) Co., Ltd., Beijing

【Abstract】In the context of accelerating global energy transition, the photovoltaic industry is experiencing rapid development. The maximum power point tracking algorithm for photovoltaic inverters has become a core component in enhancing system power generation efficiency. By analyzing the shortcomings of traditional algorithms such as disturbance observation and conductance increment methods, and integrating intelligent algorithms like adaptive control, particle swarm optimization, and fuzzy control, the optimized algorithm has been developed. Simulation and practical project tests have shown that the optimized algorithm improves the dynamic response speed of photovoltaic systems by 30% in complex environments and increases power generation efficiency by 15%, providing a reliable technical solution for the efficient and stable development of the photovoltaic industry.

【Keywords】 Photovoltaic inverter; Maximum power point tracking; Algorithm optimization; Power generation efficiency; Intelligent control

引言

在全球碳中和目标驱动下,光伏发电作为清洁能源的重要组成部分,装机容量持续快速增长。传统最大功率点跟踪算法在复杂多变的光照、温度环境下,存在动态响应慢、易陷入局部最优等问题,导致光伏系统发电效率损失高达15%-20%。研究更高效、可靠的最大功率点跟踪算法,对提升光伏系统经济性与竞争力,推动光伏产业高质量发展具有重要意义。

1 算法原理基础

光伏系统的输出功率并非恒定不变,而是与光照强度、环境温度紧密相连。当外界条件发生改变时,光伏阵列的最大功率点也会随之变动。最大功率点跟踪算法作为光伏逆变器的核心技术,其主要任务便是实时调整工作点,确保光伏系统在任何情况下都能输出最大功率^[1]。传统的扰动观察法,是通过周期性地改变光伏阵列的输出电压或电流,观察功率变化的方向来调整工作点。这种方法逻辑较为简单,易于实现,但由于步长固定,在跟踪精度与动态响应方面很难达到平衡。尤其是在光照剧烈变化

作者简介:武全胜(1982-)男,汉,内蒙古,中级经济师,本科,研究方向为电气工程或电力工程。

时, 容易出现功率振荡损耗, 影响光伏系统的发电效率。

电导增量法的原理则基于最大功率点处电导增量与瞬时电导的关系, 以此来判断功率变化的趋势, 理论上能够实现精准跟踪。该方法对传感器的精度要求极高, 在复杂的环境中, 极易受到噪声的干扰, 进而陷入局部最优解^[2]。这些固有的缺陷严重阻碍了光伏系统发电效率的进一步提升。深入剖析这些传统算法的原理与局限性, 成为探索优化路径的必要前提。

从能量转换的角度来看, 传统算法本质上是通过有限的试探来寻找最大功率点。以扰动观察法为例, 它就如同盲人摸象一般, 在黑暗中缓慢摸索, 虽然能够找到大致的方向, 但却容易在原地徘徊, 难以精准定位最大功率点。而电导增量法, 更像是依赖精密仪器的勘探者, 一旦仪器出现些许偏差, 便会迷失方向。在某常规光伏电站的实际运行中, 采用扰动观察法在多云天气下, 功率损耗可达 8%-12%; 电导增量法在高温高湿环境中, 因传感器误差导致跟踪偏差超过 10%。这些实际案例直观地展现了传统算法在复杂环境下的不足之处, 也凸显了优化算法的必要性与紧迫性。

2 算法优化方案

为了突破传统算法的瓶颈, 研究人员将自适应控制与智能算法进行了有机融合。自适应变步长策略能够根据环境变化的速率动态调整搜索步长。当光照强度变化剧烈时, 增大步长, 以便快速逼近最大功率点; 而在接近最大功率点时, 则减小步长, 从而提高跟踪精度^[3]。以粒子群优化算法为代表的智能算法, 模拟了鸟群觅食的行为, 通过个体与群体之间的信息交互, 在解空间中进行并行搜索, 有效避免了陷入局部最优解的问题。模糊控制算法则基于专家经验建立模糊规则库, 依据光伏系统的实时状态快速做出决策, 增强了算法的鲁棒性。

优化算法的核心在于构建一个动态自适应控制框架。以自适应变步长策略为例, 它通过实时监测光伏阵列的电压、电流变化率, 利用模糊逻辑或神经网络算法计算出最优步长。当检测到光照强度在短时间内变化超过设定阈值时, 算法会自动将步长扩大 2-3 倍, 使系统能够迅速响应环境变化; 而在最大功率点附近, 步长则缩小至原来的 $\frac{1}{3}$ 至 $\frac{1}{5}$, 实现

精准定位^[4]。粒子群优化算法在初始化粒子群后, 每个粒子都代表一个可能的最大功率点, 通过不断更新自身的位置与速度, 向全局最优解靠近。模糊控制算法则将光伏阵列的电压、电流、功率变化量作为输入, 经过模糊化、规则推理、解模糊等步骤, 输出最优控制信号。

在实际应用中, 优化算法的优势得到了充分体现。通过仿真实验对比, 在光照强度从 1000W/m² 骤降至 200W/m² 的场景下, 传统扰动观察法需要 3-5 秒才能重新稳定跟踪, 功率损失约为 18%; 而优化算法仅需 1-2 秒即可完成跟踪, 功率损失控制在 8% 以内。在多极值环境模拟测试中, 传统电导增量法陷入局部最优的概率高达 40%, 而优化算法凭借其智能寻优能力, 全局寻优成功率达到 95% 以上。这些数据清晰地表明, 优化算法在动态响应、跟踪精度和抗干扰能力方面均显著优于传统算法, 为光伏系统的高效运行提供了有力保障。

3 实际应用验证

研究团队将优化后的最大功率点跟踪算法应用于多个实际光伏项目。首先搭建了一个包含光伏阵列、逆变器、负载及数据采集系统的实验平台, 模拟不同的光照、温度条件进行测试。在现场应用中, 选取了光照条件复杂的山地光伏电站和温度变化较大的沙漠光伏电站作为试点, 实时监测系统的运行数据, 对比优化前后系统的性能指标^[5]。实验数据显示, 采用优化算法后, 山地光伏电站的日均发电量提升了 12%-15%, 在云层快速移动导致光照剧烈变化时, 系统仍能快速稳定地跟踪最大功率点; 沙漠光伏电站在高温环境下, 发电效率提高了 10%-13%, 有效降低了温度对系统性能的影响。

在实际项目实施过程中, 遇到并解决了诸多技术难题。在山地光伏电站, 由于地形复杂, 部分光伏阵列受到严重的阴影遮挡, 传统算法难以应对多极值问题。而优化算法通过粒子群优化的全局搜索能力, 能够快速找到全局最大功率点, 避免了功率损失。在沙漠光伏电站, 高温沙尘环境对传感器精度和算法稳定性提出了严峻挑战。采用优化算法后, 结合自适应滤波技术, 有效抑制了噪声干扰, 确保了算法的可靠运行^[6]。通过建立远程监控系统, 实时分析系统运行数据, 及时调整算法参数, 进一步提升了系统性能。

实际应用验证还涵盖了全面且严格的长期稳定性测试。在超过一年的不间断连续运行监测过程中, 优化算法始终维持着卓越的性能表现。在整个监测周期内, 系统未出现任何因算法缺陷而引发的故障, 这一结果有力地证明了优化算法的可靠性。与传统算法相比, 采用优化算法后, 光伏系统的维护周期显著延长, 幅度达到 20%-30%。这意味着设备无需频繁维护, 运维人员的工作量得以减轻, 相关的人力、物力投入随之减少, 进而大幅降低了运维成本。这些项目的成功落地与稳定运行, 不仅切实验证了优化算法在实际应用场景中的有效性和高度可靠性, 更为其在更大范围内的推广应用积累了丰富且极具价值的实践经验, 提供了坚实的实践依据。

4 成果与展望

对光伏逆变器最大功率点跟踪 (MPPT) 算法的优化及实际应用, 为光伏系统的性能提升带来了实质性的变革。在光伏系统中, MPPT 算法旨在让光伏板始终工作于最大功率输出状态, 其性能优劣直接决定着系统发电效率和稳定性。经优化后的算法在动态响应、跟踪精度以及抗干扰能力方面取得了突破性进展。面对云遮日、光照强度快速变化等复杂工况, 优化算法能迅速调整, 使光伏系统在短时间内重新锁定最大功率点, 动态响应速度较传统算法大幅提升。在跟踪精度上, 通过采用先进的控制策略与数据处理技术, 将跟踪误差控制在极小范围, 确保光伏板持续输出最大功率^[7]。并且, 凭借优化后的抗干扰机制, 算法能有效抵御外界电磁干扰, 维持系统稳定运行, 极大增强了光伏系统在复杂环境下的适应能力。

多个实际项目数据有力证实了优化算法的显著成效。在不同地区、不同光照条件的多个光伏电站项目中, 运用该优化算法后, 发电效率平均提升了 10%-15%。在光照资源丰富但昼夜温差极大的西北地区, 某分布式光伏电站在应用优化算法前, 发电效率受温度骤变影响, 时常出现较大波动。采用新算法后, 系统可实时感知环境参数变化, 动态调整光伏板工作状态, 有效降低了温度对发电效率的干扰, 发电效率提升约 12%。再如位于南方丘陵地区的某大型集中式光伏电站, 在应用新算法前, 受复杂天气和地形影响, 发电效率波动较大。这里山峦起伏, 部分光伏板时常被阴影遮挡, 发电效率大打

折扣^[8]。引入优化算法后, 系统能精准适应环境变化, 通过智能检测阴影区域, 自动调整未受遮挡光伏板的工作参数, 确保整体发电量稳步增长。经核算, 扣除设备升级成本后, 光伏发电成本降低了约 8%, 极大地提升了光伏电站的经济效益与市场竞争力。

展望未来, 随着人工智能、物联网等前沿技术的迅猛发展, MPPT 算法将朝着智能化、集成化方向大步迈进。基于深度学习算法构建的环境预测模型, 可依据大量历史气象数据、光照信息以及设备运行参数, 精准预测环境变化趋势, 提前调整光伏系统运行状态, 确保最大功率输出。借助物联网技术搭建的智能管控平台, 能够实时收集多电站运行数据, 实现跨区域、多电站的协同优化控制。各电站间可依据实时光照、负载需求等信息, 灵活调配电能, 避免发电过剩或不足情况, 进一步提升光伏系统整体性能, 推动光伏产业朝着高效、可持续发展的新阶段加速前行, 在全球能源转型进程中发挥更为关键的作用。

5 结语

光伏逆变器最大功率点跟踪算法的优化成功弥补了传统算法缺陷。自适应与智能算法的融合, 使系统在复杂环境下动态响应更快、跟踪更精准, 经实际项目验证显著提升发电效率。当前, 光伏产业正朝着规模化、智能化方向发展, 未来最大功率点跟踪算法将深度融合人工智能、大数据等前沿技术, 在多场景协同控制、预测性优化等方面取得突破, 为实现光伏能源高效利用与可持续发展持续赋能。

参考文献

- [1] 周少泽, 宋昕哲, 耿越, 等. 计及源网扰动的构网型光伏逆变器有功精准备用控制[J/OL]. 高压技术, 1-14[2025-04-19].
- [2] 沈枢昊, 钟庆, 冯俊杰, 等. 大规模光伏基地柔直外送系统送端故障恢复后光伏逆变器直流侧电压跌落机理分析[J/OL]. 电源学报, 1-14[2025-04-19].
- [3] 付利达, 贾清泉, 孙玲玲, 等. 构网/跟网型光伏逆变器混联的配电网有功无功双层调压策略[J/OL]. 电力系统自动化, 1-18[2025-04-19].
- [4] 刘阳, 宗瑾, 陈璨, 等. 考虑分布式光伏逆变器的低压配电台区过电压自动化治理[J]. 自动化与仪表, 2025, 40(01): 23-27.

- [5] 徐恒山,刘春燕,张旭军,等.基于优化一致性算法的光伏-氢储系统协调控制策略[J/OL].电力系统及其自动化学报,1-13[2025-04-19].
- [6] 鲁卿.基于镜像虚拟电阻技术的三相光伏逆变器应用研究[J].电工技术,2024,(S2):427-429.
- [7] 赵军,唐志远,高红均,等.考虑光伏逆变器多模式控制的分布式储能系统双层优化配置[J].电气工程学报,2024,19(04): 72-86.
- [8] 张礼波,张峻诚,李昌文,等.基于光伏逆变器功率控制的电网无功电压调节方法[J/OL].自动化技术与应用,1-8[2025-04-19].

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