

分布式光伏发电系统最大功率点跟踪算法改进与实现

周利

宏大爆破工程集团有限责任公司，湖南广州，510000；

摘要：针对分布式光伏发电系统受光照、温度等环境因素波动影响，传统最大功率点跟踪（MPPT）算法存在跟踪精度低、响应速度慢及稳态振荡等问题，本文提出一种改进的 MPPT 算法。该算法通过优化扰动观察法的步长调整机制，结合模糊控制策略动态适配环境变化，同时引入功率预测模型减少无效扰动。经 MATLAB/Simulink 仿真与实验平台验证，改进算法在光照突变场景下跟踪响应时间缩短，稳态功率波动幅度降低，能更高效稳定地捕捉光伏阵列最大功率点，为分布式光伏系统提升发电效率提供可靠技术支撑，具有较强的工程应用价值。

关键词：分布式光伏发电系统；最大功率点跟踪（MPPT）；算法改进；模糊控制；发电效率

DOI: 10.69979/3060-8767.25.12.004

引言

随着清洁能源需求的不断增长，分布式光伏发电系统因安装灵活、就近消纳等优势，在能源结构转型中占据重要地位。然而，光伏阵列的输出功率易受外界环境变化影响，需依赖最大功率点跟踪算法实现功率最优输出。传统 MPPT 算法在复杂环境下难以兼顾跟踪速度与稳态精度，导致系统发电潜力未充分发挥。为此，研究高效稳定的 MPPT 改进算法成为突破分布式光伏系统效率瓶颈的关键。本文聚焦算法改进与实现，通过优化控制逻辑与适配策略，解决传统算法缺陷，为提升分布式光伏系统运行性能提供可行方案，后续将详细阐述算法设计、仿真验证及实验实现过程。

1 分布式光伏发电系统与传统 MPPT 算法的问题分析

分布式光伏发电系统现场检测技术在提升系统稳定性、优化性能和确保电能质量方面发挥了重要作用。通过精准的光伏组件性能评估、高效的逆变器性能分析以及全面的电能质量监测，能够为系统的安全可靠运行提供坚实保障。分布式光伏发电系统作为一种清洁、可再生的能源解决方案，在能源转型中占据着重要地位。其性能的优化一直是研究的热点。在实际运行中，光伏电池的输出功率受到光照强度、温度等多种因素的综合影响，呈现出非线性特性，这使得光伏系统难以始终工作在最大功率点上。传统的最大功率点跟踪（MPPT）算法虽然在一定程度上能够实现对最大功率点的跟踪，但在面对快速变化的环境条件时，往往表现出响应速度慢、跟踪精度不足等问题。在光照强度快速变化的情况下，传统的 MPPT 法可能会出现误判，导致光伏系统无法及时调整到最优工作状态，从而降低了系统的发电效率。

此外，传统算法在复杂环境下的适应性也有待提高，这限制了分布式光伏发电系统在不同应用场景中的性能发挥。

针对分布式光伏发电系统中传统 MPPT 算法存在的问题，研究者们致力于探索改进方法。在实际应用中，光伏系统需要能够快速、准确地跟踪最大功率点，以应对光照强度和温度等环境因素的频繁变化。改进的 MPPT 算法需要具备更强的动态响应能力，能够在光照强度快速变化时迅速调整，确保光伏系统始终工作在最大功率点附近。算法的精度也需要进一步提高，以减少因跟踪误差导致的功率损失。改进的算法还应具备良好的适应性，能够在不同的环境条件下稳定运行，从而提高分布式光伏发电系统的整体性能和可靠性。通过优化算法，可以有效提升光伏系统的发电效率，使其在各种复杂环境下都能保持较高的性能表现。

在实现改进的 MPPT 算法时，需要充分考虑实际应用中的各种因素。分布式光伏发电系统的实际运行环境复杂多变，因此改进的算法必须能够在实际条件下有效工作。这不仅包括算法的理论优化，还需要通过实验验证其在实际光伏系统中的可行性和有效性。在实验过程中，需要模拟不同的光照和温度条件，测试改进算法在各种情况下的跟踪性能，确保其能够满足实际应用的要求。通过改进和实现更高效的 MPPT 算法，可以显著提升分布式光伏发电系统的性能，使其在能源转型中发挥更大的作用。

2 基于模糊控制与功率预测的改进 MPPT 算法设计

在分布式光伏发电系统中，最大功率点跟踪（MPPT）算法的性能对系统效率与稳定性至关重要。传统 MPPT 算法在光照快速变化、温度波动及复杂负载等实际工况

下,存在跟踪速度慢、精度低、易振荡等问题。基于模糊控制与功率预测的改进 MPPT 算法应运而生。模糊控制对系统精确数学模型依赖度低,可依据经验规则应对光照、温度等非线性干扰,通过量化系统偏差及变化率生成控制量,让系统快速稳定接近最大功率点;功率预测技术则结合历史数据与当前环境参数,预估输出功率趋势,为算法提供前瞻性信息,助力其在动态条件下提前调整策略,减少环境突变导致的功率损失,提升系统适应性与稳定性。

在实际应用中,该改进算法优势显著。面对多云天气等光照频繁波动场景,它能依模糊控制规则快速响应,调整光伏阵列工作点,避免功率大幅下降,还可借助功率预测模块预估后续光照变化,提前准备功率调节,优化跟踪过程。当温度影响光伏电池特性时,模糊控制能依据二者模糊关系精准调控,保障系统处于最佳工作状态。该算法兼容性良好,无论小型屋顶光伏系统还是大型地面光伏电站,均可通过参数调整实现高效 MPPT 控制,为分布式光伏发电系统广泛应用提供技术支持,助力提高光伏发电在能源结构中的占比,推动可再生能源发展。

不过,该算法实际应用也面临挑战:模糊控制规则制定需大量经验数据积累与反复调试,以确保复杂工况下的准确性;功率预测精度受气象数据准确性、预测模型复杂度等影响,误差过大可能误导控制决策;算法实现还需高精度传感器采集环境参数及高性能控制器处理数据。但随着传感器技术、计算芯片性能提升及智能算法优化,这些问题有望逐步解决。未来,该改进算法有望在分布式光伏发电系统中更广泛深入应用,进一步提升系统效率与可靠性,为能源可持续发展贡献力量。

3 改进 MPPT 算法的仿真模型构建与参数设定

在分布式光伏发电系统中,改进最大功率点跟踪(MPPT) 算法是提升系统效率的关键,而构建精确仿真模型与合理设定参数对探究算法性能至关重要。借助仿真模型,可模拟光照强度、温度等环境因素对光伏电池输出特性的影响,进而验证改进算法在复杂工况下的跟踪精度与动态响应能力。模型构建时,需选用合适的光伏电池数学模型,以准确反映其伏安特性曲线及最大功率点随环境参数的变化规律;针对改进算法,要合理设置仿真步长、迭代次数等参数,确保仿真结果既能体现算法快速性,又能反映其稳定性,为后续实验验证与实际应用提供可靠理论依据。

仿真模型建成后,参数设定成为影响仿真结果准确性的关键。对于光伏阵列,需依据实际应用场景的功率需求,设定串联、并联电池片数量,这直接关系到阵列

输出电压与电流范围。在改进 MPPT 算法仿真中,还需考虑直流-直流(DC-DC) 变换器的开关频率、电感电容值等参数,这些参数会影响变换器转换效率及对光伏电池输出功率的调节能力。仿真环境的光照强度和温度变化曲线,应参照实地测量数据或典型气象年数据设定,以模拟真实场景下系统的工作状态,让改进算法的仿真结果更具参考价值,从而准确评估算法在不同环境下的适应性与优势。

通过精心构建的仿真模型与精确的参数设定,能全面评估改进 MPPT 算法在分布式光伏发电系统中的性能。仿真过程中,可实时观察光伏电池输出功率、电压、电流等参数变化,以及算法跟踪轨迹,进而对算法优劣进行量化分析。若仿真结果显示,改进算法在多种复杂工况下均能快速、准确跟踪最大功率点,且具备良好抗干扰能力与稳定性,那么该算法有望应用于实际系统,提升发电效率、降低能源损耗,为可再生能源有效利用提供有力技术支持,推动分布式光伏发电技术进一步发展。

4 改进 MPPT 算法的仿真验证与实验测试

在分布式光伏发电系统中,改进最大功率点跟踪(MPPT) 算法是提升系统效率的关键,仿真验证与实验测试可全面评估其性能。仿真阶段用专业软件构建匹配实际系统的模型,精准模拟不同光照、温度及负载场景。对比传统算法,改进算法在动态响应速度和稳态精度上优势显著:光照快速变化时,能迅速调整光伏阵列工作点,减少功率损失;稳态下精度更高,可精准维持在最大功率点附近,且对系统参数适应性强,能在不同规模配置的系统中稳定工作,为实验测试奠定基础。

实验测试环节搭建了含光伏电池组件、直流-直流变换器、控制器及负载的完整实验平台。实验中严格控制环境变量,通过改变光照和温度模拟实际复杂情况,结果验证了仿真结论:改进算法在硬件环境中表现出色,不同光照下系统输出功率明显提升,弱光时能更有效挖掘光伏电池发电潜力;通过精准控制变换器占空比,可快速适应负载变化,确保系统最优运行,且长期运行稳定性、可靠性更高,能降低功率波动导致的损耗,对提升系统整体性能与经济效益意义重大。

结合仿真与实验结果可知,改进 MPPT 算法在分布式光伏发电系统中应用前景广阔。实际应用中,它能显著提升系统发电效率与稳定性,为系统推广提供有力技术支持。随着可再生能源发展,分布式光伏发电在能源结构中占比渐增,该算法将助力优化系统性能、提高能源利用率、降低运营成本。未来可进一步拓展研究,如结合智能控制技术实现更精准的功率跟踪与系统优化,为分布式光伏发电系统发展提供更多技术储备与创新

思路。如下图所示：

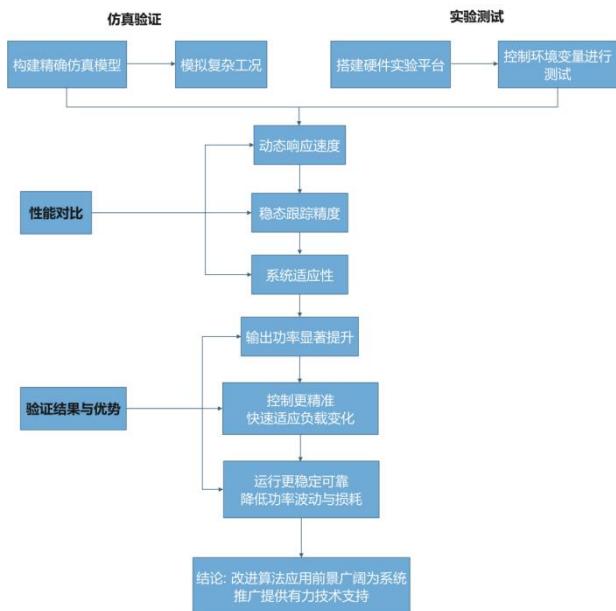


图1：改进MPPT算法的仿真验证与实验测试的流程图

5 改进MPPT算法的性能与工程应用价值分析

在分布式光伏发电系统中，最大功率点跟踪（MPPT）算法的改进对于提升系统整体性能与工程应用价值具有极为关键的作用。通过优化MPPT算法，能够显著提高光伏电池在不同光照强度、温度等复杂环境条件下的发电效率。在实际工程应用中，改进后的MPPT算法可以更精准地追踪光伏电池的最大功率点，减少功率损失，从而使得分布式光伏发电系统在能源产出方面更具竞争力。例如，在光照强度快速变化的清晨或傍晚，以及多云天气下，传统MPPT算法可能因响应速度慢或精度不足而导致功率跟踪不准确，而经过改进的算法能够快速适应这些变化，确保光伏系统始终在最佳工作状态，为用户带来更稳定、高效的电力供应，这对于分布式光伏发电系统在各类应用场景中的广泛推广与应用具有极为重要的推动作用。

从工程应用价值角度分析，改进的MPPT算法能够有效降低分布式光伏发电系统的成本与维护难度。在实际工程中，精准的功率跟踪减少了因功率波动对电气设备造成的冲击，延长了设备的使用寿命，降低了设备更换频率与维修成本。同时，高效的MPPT算法使得系统在相同安装条件下能够产生更多的电能，提高了单位面积或单位设备投资的发电收益，这对于投资分布式光伏发电项目的用户来说，意味着更快的投资回报周期与更高的经济效益。此外，在大规模分布式光伏发电系统集成应用中，如工业园区、商业建筑群等场景，改进的MPPT算法能够更好地协调各光伏组件之间的运行，优化整个系统的功率输出特性，便于与电网的稳定接入与调度，进一步提升了分布式光伏发电系统在能源供应体系中的地位与价值，为实现能源的可持续发展与节能减排

目标提供有力支持。

在性能方面，改进的MPPT算法通过采用先进的控制策略与算法优化技术，如基于模糊逻辑、神经网络或粒子群优化等方法，能够有效提高算法的适应性与稳定性。这些先进的算法能够更好地处理光伏电池的非线性特性以及环境因素的复杂影响，使得系统在各种极端条件下仍能保持较高的功率跟踪精度。在实际工程测试中，相比传统算法，改进后的MPPT算法在功率跟踪效率、响应速度以及抗干扰能力等方面均有显著提升，为分布式光伏发电系统在复杂多变的实际运行环境中稳定、高效运行提供了坚实的技术保障。这种性能的提升不仅有助于提高单个分布式光伏发电系统的发电质量，还能够促进整个分布式光伏发电行业技术标准的提升，推动相关技术的不断创新与发展，为未来分布式光伏发电系统的广泛应用与能源转型奠定坚实基础。

6 结语

在分布式光伏发电系统的发展进程中，最大功率点跟踪（MPPT）算法的改进无疑是一次关键的技术飞跃。通过优化算法，系统在复杂环境下的发电效率得到显著提升，无论是在光照强度快速变化的清晨、傍晚，还是在多云天气下，都能精准追踪最大功率点，减少功率损失，为用户提供更稳定、高效的电力供应。这种改进不仅降低了系统的成本与维护难度，延长了设备使用寿命，还提高了发电收益，加速了投资回报。在大规模应用中，改进的MPPT算法能够更好地协调各光伏组件，优化系统功率输出，促进与电网的稳定接入。这些进步不仅推动了分布式光伏发电技术的发展，更为能源的可持续发展和节能减排目标的实现提供了有力支持，展现了巨大的工程应用价值和广阔的发展前景。

参考文献

- [1] 刘清. 屋顶分布式光伏发电系统设计与施工技术研究[J]. 科技资讯, 2025, 23(15): 171-173.
- [2] 彭桥. 复杂环境下的分布式光伏发电系统多峰值适应性优化设计[J]. 微型电脑应用, 2025, 41(05): 274-278.
- [3] 叶犇, 沈宇辉. 分布式光伏发电系统中的并网控制技术分析[J]. 集成电路应用, 2025, 42(05): 346-347.
- [4] 于宝鑫. 分布式光伏发电系统的现场检测技术分析[J]. 集成电路应用, 2024, 41(12): 352-353.
- [5] 张玥. 分布式光伏发电系统在建筑供配电中的应用[J]. 光源与照明, 2024, (09): 113-115.

作者简介：周利（1988.12-），男，汉族，湖南道县，工程师，硕士学历，主要研究电气工程设计，分布式能源站（燃气，溴化锂）。