

太阳能光伏发电系统中的最大功率点跟踪技术研究

付 健

四川金可消防工程有限公司 四川成都

【摘要】随着能源需求增长与环境问题凸显，太阳能光伏发电备受关注。最大功率点跟踪技术对提升发电效率意义重大，它能实时调整光伏阵列工作状态，使输出功率逼近最大值。本文围绕该技术深入探讨，涉及原理、常见算法、硬件实现及优化策略，旨在推动太阳能利用迈向新高度，助力清洁能源发展。

【关键词】太阳能；光伏发电；最大功率点跟踪；发电效率；清洁能源

【收稿日期】2025 年 1 月 15 日 **【出刊日期】**2025 年 2 月 13 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250035

Research on maximum power point tracking technology in solar photovoltaic power generation system

Jian Fu

Sichuan Jinke Fire Protection Engineering Co., Ltd, Chengdu, Sichuan

【Abstract】 As energy demand grows and environmental issues become more prominent, solar photovoltaic power generation has garnered significant attention. Maximum Power Point Tracking technology is crucial for enhancing power generation efficiency. It can adjust the operating state of photovoltaic arrays in real-time to bring output power close to its peak value. This article delves into this technology, covering principles, common algorithms, hardware implementation, and optimization strategies, aiming to advance solar energy utilization to new heights and support the development of clean energy.

【Keywords】 Solar energy; Photovoltaic power generation; Maximum power point tracking; Power generation efficiency; Clean energy

引言

当今世界，传统能源渐趋枯竭，环境污染加剧。太阳能作为清洁、可再生能源，其开发利用至关重要。光伏发电系统效率受光照、温度等因素影响，最大功率点跟踪技术成为关键。通过精准追踪最大功率点，可提升发电效益，降低成本，这正是深入研究此项技术的核心目的。

1 技术原理剖析

太阳能电池作为光伏发电系统的核心组件，其输出特性受多种复杂因素的交织影响。光照强度的变化直接决定了太阳能电池吸收光子的数量，进而影响其内部的光电转换效率。当光照强度增强时，更多的光子被吸收，激发产生的电子 - 空穴对数量增加，导致电池输出电流增大；反之，光照减弱则电流减小。与此温度对太阳能电池的输出特性也有着不可忽视的作用^[1]。随着温度升高，半导体材料的禁

带宽度变窄，载流子的本征激发加剧，使得电池的反向饱和电流增大，输出电压降低，最终导致输出功率下降。

最大功率点跟踪（MPPT）技术应运而生，其核心任务是紧密追踪光伏电池的非线性输出特性曲线。这一特性曲线并非一成不变，而是会随着光照强度和温度等环境因素的动态变化而不断改变。MPPT 技术通过实时监测光伏电池的输出电压和电流，依据特定的算法对其工作状态进行动态调整，以实现最大功率点的精准定位和持续跟踪。其本质是在复杂多变的环境条件下，为光伏系统寻找到一个最优的工作点，使得系统能够持续运行在最大功率输出附近，从而最大限度地提高太阳能的利用效率。

从理论基础来看，MPPT 技术的实现离不开电路理论与半导体物理知识的支撑。根据电路理论，光伏电池可等效为一个电流源与二极管、电阻等元

作者简介：付健（1987-）男，汉族，大专，研究方向为机电电气自动化类。

件组成的电路模型。在半导体物理层面，光照产生的电子 - 空穴对在 PN 结内建电场的作用下发生分离，形成光生电流^[2]。通过深入剖析这一物理过程和等效电路模型，我们能够精准把握光伏电池输出特性的内在机制，为后续各类 MPPT 算法的有效运用筑牢坚实的理论根基。只有在充分理解这些原理的基础上，才能设计出更为高效、智能的 MPPT 算法，以应对实际应用中复杂多变的光照和温度环境，推动太阳能光伏发电系统朝着更高效率、更低成本的方向发展。

2 典型算法探究

在太阳能光伏发电系统中，为了充分利用太阳能资源，提升发电效率，最大功率点跟踪（MPPT）技术至关重要，而实现该技术的核心则依赖于各类算法。目前，多种算法被广泛应用于最大功率点跟踪领域，其中扰动观察法与电导增量法颇具代表性。

扰动观察法以其简单易实现的特性，在早期的光伏发电系统中得到大量应用。该方法的基本原理是，通过以小步长对光伏阵列的电压或电流进行周期性扰动，而后观测功率的变化方向^[3]。当扰动电压增加时，若功率随之上升，那么下一次扰动便继续朝着增加电压的方向进行；反之，则向相反方向调整。这种不断试探、调整的方式，能够逐渐将光伏阵列的工作点逼近最大功率点。然而，该方法存在一定局限性，在光照强度和温度等外界环境快速变化时，扰动观察法可能会因响应速度不够快，导致工作点频繁振荡，从而偏离最大功率点，造成能量损失。

电导增量法在理论层面更为严谨，它依据光伏阵列的电导变化来精准定位最大功率点。从本质上讲，光伏阵列在最大功率点处，其电导增量与电导的比值为 -1。基于这一特性，电导增量法通过实时采集光伏阵列的电压和电流数据，精确计算电导增量，进而判断当前工作点与最大功率点的相对位置，并据此调整工作点。与扰动观察法相比，电导增量法具有更高的精度，能够更快速、准确地跟踪最大功率点，尤其在外界环境快速变化时，能有效减少功率振荡，提升系统的稳定性和发电效率。电导增量法的计算过程相对复杂，对硬件计算能力有一定要求，增加了系统的成本和设计难度。

在实际应用中，不同工况对 MPPT 算法的性能有着不同需求。在光照稳定、温度变化不大的环境

下，扰动观察法因其简单性和较低的硬件要求，能以较低成本实现较好的跟踪效果；而在光照和温度频繁波动的复杂环境中，电导增量法凭借其高精度和快速响应能力，更能保障光伏发电系统高效稳定运行^[4]。深入对比各算法优劣，全面权衡其在不同工况下的适应性，成为为实际光伏发电系统甄选最佳方案的关键所在。只有综合考量算法特性与实际应用场景，才能充分发挥太阳能光伏发电系统的潜力，提高能源利用效率，推动光伏发电产业的可持续发展。

3 硬件实现路径

在构建太阳能光伏发电系统的硬件体系时，需从传感器选型、控制器设计以及功率变换器搭建这三个关键维度着手。传感器选型方面，要综合考量光照强度、温度、电流和电压等多类参数的监测需求，选用响应速度快、精度高的传感器，以保障数据采集的及时性与准确性^[5]。控制器设计则需基于先进的算法逻辑，精心规划控制策略，使其能够敏锐捕捉系统状态变化，精准调控各环节运行。功率变换器搭建过程中，需根据系统功率等级和性能要求，合理选择功率器件，优化电路拓扑结构，提升电能转换效率。通过从这三个方面全方位、系统性地打造性能卓越的硬件系统，才能确保最大功率点跟踪（MPPT）技术得以精准且高效地落地。

传感器作为整个硬件系统的感知末梢，其选型至关重要。在实际应用中，需采用具备高灵敏度与高精度特性的传感器，以此来实时且精准地采集各类关键数据。其中，光照传感器负责捕捉太阳辐照强度的动态变化，其精度直接影响到系统对光照资源的评估与利用效率^[6]。温度传感器则实时监测光伏组件的工作温度，由于温度对光伏电池的性能存在显著影响，准确掌握温度数据对于精确计算最大功率点不可或缺。电压与电流传感器也发挥着重要作用，它们持续采集电路中的电压与电流数值，为后续的数据分析与处理提供原始依据。这些传感器协同工作，如同精密的触角一般，将外界环境与系统内部的关键信息实时传递至控制器。

控制器作为整个硬件系统的核心大脑，承担着信息处理与决策输出的重任。它依据先进的 MPPT 算法，对传感器所采集到的光照、温度、电压以及电流等多元数据进行深度分析与综合处理。在这一过

程中,控制器会根据预设的算法逻辑,对当前系统的运行状态进行精准评估,并迅速生成相应的控制信号。在光照强度发生突变时,控制器能够依据算法快速调整控制策略,确保系统始终朝着最大功率点的方向运行。这些控制信号将被传输至功率变换器,从而实现对电能转换过程的精确调控。

功率变换器作为实现电能高效转换的关键环节,其性能优劣直接关系到系统的整体效能。它接收来自控制器的控制信号,并据此对输入的电能进行高效转换与调节。在设计功率变换器时,需充分考虑其转换效率、稳定性以及可靠性等多方面因素。通过采用先进的电力电子技术与优化的电路拓扑结构,功率变换器能够将光伏组件输出的直流电高效地转换为适合负载使用的交流电或其他形式的电能。在整个硬件系统中,功率变换器与传感器、控制器紧密协同,共同实现最大功率跟踪技术在硬件层面的落地实施,为太阳能光伏发电系统的稳定、可靠运行提供坚实保障,确保系统能够在各种复杂多变的环境条件下,始终保持高效的发电性能。

4 优化改进策略

在实际应用场景中,太阳能光伏发电系统所处的环境状况极为复杂且变幻莫测。光照强度会因云层的移动、遮挡以及太阳高度角的变化而时刻波动,温度则会受到昼夜更替、季节变换以及天气状况的影响而上下起伏,诸如大气透明度、环境湿度等其他诸多因素也都处于持续的动态变化之中。传统的最大功率点跟踪技术在面对这类复杂环境时,其局限性暴露无遗^[7]。以部分多云天气为例,云层的快速飘动使得光照强度频繁且大幅度地改变,传统技术受限于自身较为简单的算法和相对滞后的机制,在追踪最大功率点的实时变化时,反应迟缓且精度欠佳,难以迅速、精准地捕捉到最大功率点瞬息万变的位置,进而导致发电效率显著下滑,无法充分发挥太阳能光伏发电系统的潜在效能。

为有效攻克传统技术的瓶颈,当前研究领域积极探索采用智能优化算法,并将其与模糊逻辑、神经网络等先进技术深度融合。以智能优化算法中的粒子群优化算法(PSO)为例,该算法模拟鸟群觅食行为,通过粒子在解空间中的迭代搜索,能够快速逼近最优解。当与模糊逻辑相结合时,系统可以依据光照强度、温度等输入变量的模糊化处理,灵活

调整跟踪策略。比如在光照强度急剧变化时,模糊逻辑控制器能够迅速做出响应,调整粒子群算法的搜索步长和方向,从而显著提升跟踪精度与响应速度。融入自适应步长调节策略,使系统能够依据环境变化实时调整搜索步长^[8]。在光照稳定时,采用较小步长以提高跟踪精度;在光照突变时,增大步长加快搜索速度。面对复杂光照条件下可能出现的多峰问题,引入多峰优化策略,确保系统在多个局部最大功率点中准确寻找到全局最大功率点,从而极大地拓宽了技术的适用范围,保障光伏发电系统在全天候各种复杂环境下都能实现高效发电。

5 结语

随着科技持续进步,太阳能光伏发电系统最大功率点跟踪技术将不断革新。未来,算法将更智能精准,硬件更高效集成,系统稳定性与适应性大幅提升。有望突破现有瓶颈,降低光伏发电成本,使其在全球能源结构中占据主导,为人类可持续发展注入澎湃绿能,照亮清洁能源发展之路。

参考文献

- [1] 刘敏,范瑜,高海强,等.昆明市电建科研大厦综合能源系统的应用分析[J].太阳能,2025,(03):97-106.
- [2] 丁昭日,刘建宇.煤矿井下供电系统的节能减排策略[J].内蒙古煤炭经济,2025,(05):160-162.
- [3] 薛瑞元.太阳能光伏发电技术在船舶照明系统中的应用[J].船电技术,2025,45(03):20-24.
- [4] 孙启科,张伯聪,韦怡,等.可移动式太阳能临时住所设计方案研究[J].光源与照明,2025,(02):155-157.
- [5] 唐新杰,郭娜杰,胡浩,等.太阳能光伏发电系统多目标容量优化配置方法研究[J].能源与环保,2025,47(02):175-181.
- [6] 黄剑鸿,郑志会,招洋,等.工程作业车光伏能源技术研究及应用[J].电子制作,2025,33(02):92-95.
- [7] 邱桂坪,黄兵,吕贯力,等.太阳能光伏车棚一体化设计研究[J].中国高新科技,2025,(01):69-71.
- [8] 游宏亮,何翔,罗俊.基于太阳能电池阵列仿真器的独立光伏发电系统平衡点研究[J].市场监管与质量技术研究,2024,(06):35-38.

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