

局部阴影下光伏阵列 MPPT 算法的研究^{*}

成 杰, 唐小亮, 梁安江, 赵春丽

(上海发电设备成套设计研究院有限责任公司, 上海 200240)

摘 要: 针对局部阴影状态下光伏阵列 P - U 特性曲线多峰值的问题, 提出了一种基于搜索-计算-判断的三步法全局最大功率点跟踪 (GMPPT) 策略。该方法使用改进型扰动观察法反向搜索第一个峰值点, 利用计算和判断减小搜索区域, 将多峰值间接转化为单峰值搜索, 解决了搜索过程中陷入局部极值的问题。通过建立 3 种阴影状态下的模型, 将该方法与现有最大功率点跟踪 (MPPT) 算法进行仿真对比, 并建立相应的试验进行验证。仿真及试验结果表明, 该方法在有、无阴影状态下均能稳定实现 GMPPT, 有效地提高了系统的跟踪精度和跟踪速度。

关键词: 全局最大功率点跟踪; 改进型扰动观察法; 三步法; 局部阴影; 多峰值

中图分类号: TM 615 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2021)04-0104-06

doi: 10.12177/emca.2021.001

Research on MPPT Algorithm of PV Array in Partial Shadow^{*}

CHENG Jie, TANG Xiaoliang, LIANG Anjiang, ZHAO Chunli

(Shanghai Power Equipment Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200240, China)

Abstract: PV array P - U characteristic curve in partial shadow state has multiple peaks. To solve this problem, a three-step global maximum power point tracking (GMPPT) strategy based on search-calculation-determination is proposed. The improved disturbance observation method is used to search the first peak point in reverse direction, and the search area is reduced by calculation and judgment. The multi-peak value search can be indirectly transformed into a single peak value search, which overcomes the problem of falling into local extremum in the search process. Through the establishment of three kinds of shadow state models, this method is compared with the existing maximum power point tracking (MPPT) algorithm, and the corresponding experiments are established. The simulation and experimental results show that the method can stably realize the GMPPT in the state of shadow and no-shadow, and effectively improve the tracking accuracy and speed.

Key words: global maximum power point tracking (GMPPT); improved perturbation observation method; three-step method; partial shadow; multi-peak

0 引 言

光伏阵列受环境温度和光照强度影响较大, 实现最大功率点跟踪 (MPPT) 可以有效提高光伏发电系统的效率^[1]。理想情况下, 光伏发电系统的 P - U 特性曲线呈现单峰值状态, 扰动观察法 (P&O) 和电导增量法 (INC) 等经典的 MPPT 算法

可以实现最大功率点 (MPP) 的追踪^[2]。但是当光伏阵列被局部遮挡时, P - U 特性曲线呈现多峰值状态, 这些经典的算法极易陷入局部最大值, 造成能量的损失^[3-4]。

随着光伏电站容量的增加, 多峰值状态下全局最大功率点跟踪 (GMPPT) 算法的研究得到了越来越多的重视。文献^[5]提出了改进型扰动观

收稿日期: 2021-01-14; 收到修改稿日期: 2021-02-02

^{*} 基金项目: 上海市闵行区科技项目 (2018MH303)

作者简介: 成 杰 (1995—), 男, 硕士, 研究方向为新能源发电。

表 1 光伏电池参数

参数名称	参数值
最大功率 $P_{\max}/\text{W}$	213.15
开路电压 U_{oc}/V	36.3
短路电流 I_{sc}/A	7.84
峰值电压 U_{mp}/V	29
峰值电流 I_{mp}/A	7.35
电流温度系数 $/\text{K}^{-1}$	0.102

(2) 阴影状况模型 2。PV1~PV4 光照强度为 $100\text{ W}/\text{m}^2$, PV5~PV7 光照强度为 $200\text{ W}/\text{m}^2$, PV9~PV10 光照强度为 $500\text{ W}/\text{m}^2$, PV13 光照强度为 $600\text{ W}/\text{m}^2$, 其余 PV 板光照强度为 $1\,000\text{ W}/\text{m}^2$ 。

(3) 阴影状况模型 3。PV1~PV3 光照强度为 $100\text{ W}/\text{m}^2$, PV5~PV7 光照强度为 $500\text{ W}/\text{m}^2$, 其余 PV 板光照强度为 $1\,000\text{ W}/\text{m}^2$ 。

3 种环境下的 P - U 特性曲线和 I - U 特性曲线如图 3 所示。从图 3 可以得出, 当光照强度不均匀时, P - U 曲线会出现多峰值; 电流 I 与电压 U 成反比关系。模型 1 为单峰值状况, 最大功率约为 $3\,382.93\text{ W}$, 通过参数计算功率应该为 $3\,410.40\text{ W}$, 功率损失约为 0.8% ; 模型 2 为四峰值状况, 最大功率约为 $1\,293.77\text{ W}$; 模型 3 为三峰值状况, 最大功率约为 $1\,801.16\text{ W}$ 。

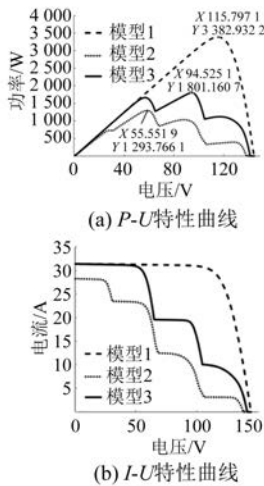


图 3 不同状态下的光伏特性仿真曲线

2 PV 全局最大功率跟踪算法

2.1 改进型扰动观察法

传统的扰动观察法, 当正向施加扰动时, 其原理为^[15]

$$\begin{cases} U = U_0 + \Delta U, & P > P_0 \\ U = U_0 - \Delta U, & P < P_0 \end{cases} \quad (8)$$

式中: U_0 、 P_0 分别为上一次检测的电压和功率; U 、 P 分别为此次检测的电压和功率; ΔU 为电压扰动步长。

此方法具有控制概念简单、被测量参数少等优点, 但受电压的初始值和 ΔU 的影响较大。由于 ΔU 固定, 在 MPP 附近振荡, 造成能量的损失。为了规避这种缺点, 本文采用了基于逐步逼近法的扰动观察法, 在保证速度的同时可以极大地提高跟踪精度。其基本思路为, 以较大步长从开路电压 U_{oc} 处反向搜索, 每当搜索方向发生变化时, 等比例缩小搜索步长及搜索区域, 再次进行搜索, 每改变一次步长时, 精度成倍提高^[1]。

2.2 最大功率跟踪算法

本文在 2.1 节改进型扰动观察法的基础上, 提出了一种三步式 GMPPT 算法, 通过对 P - U 曲线的搜索-计算-判断实现全局最大功率的跟踪。其过程如下。

第 1 步, 搜索。从 U_{oc} 处应用改进型扰动观察法进行 MPP 搜索, 搜索到第一个(下一个)峰值点时停止, 记为 $(U_{\text{mi}}, P_{\text{mi}})$ 。

第 2 步, 计算。 U_{ref} 不断反向减小, 寻找拐点。当 $dP/dU > 0$ 时, 更新拐点电压 U_{sci} , 根据 $P_{\text{mi}}/U_{\text{sci}}$, 求出下一个判断点(次点) N_i 的电流 I_{N_i} 。

第 3 步, 判断。判断 N_i 点处 dP_{N_i}/dU_{N_i} 是否大于 0, 若大于 0 则回到第 1 步, 否则回到第 2 步, 当 U_{ref} 小于 U_{end} 时结束, 得到最大功率。

SCD 算法的具体操作流程如图 4 所示。

为了更具体地介绍此算法的实现流程, 下面将结合 1.2 节中模型 2 的 P - U 特性曲线进行具体介绍, 其实现过程如图 5 所示。

进行第一个峰值点搜索。从 U_{oc} 处应用改进型扰动观察法进行搜索, 寻找第一个极值点 $M_1(U_{\text{m1}}, P_{\text{m1}})$, 此时最大功率 $P_{\text{m}} = P_{\text{m1}}$, 通过式(9)求出 U_{end} 。然后, 进入计算环节。不断反向减小电压, 当 $dP/dU > 0$ 时, 找到第一个拐点 $A(U_A, P_A)$, 根据式(10)求出次点 $B(U_B, P_B)$:

$$U_{\text{end}} = U_{\text{min}} = U_{\text{m1}}/N \quad (9)$$

式中: U_{end} 为结束搜索点处电压; U_{min} 为相邻极值点间最小电压差; U_{m1} 为开路电压附近的极值点电压; N 为旁路二极管的个数。

以得出,单峰值情况下,3种方法均能快速追踪到最大值,SCD算法追踪时间短、追踪精度最高,P&O算法追踪精度最差。

3.2 多峰值情况下仿真对比分析

图7为三峰值最大功率跟踪对比仿真结果。从图7可以得出,P&O算法在局部峰值处上下振荡,输出功率范围为1 097.22~1 120.1 W,追踪精度仅为61.55%,功率损失非常大。SCD算法最终功率输出大约为1 799 W,且上下波动极小,追踪精度为99.88%。PSO算法输出功率稳定在1 785.3~1 805.9 W,追踪精度约为99.69%。SCD算法的追踪时间约为0.024 s,小于PSO算法的0.045 s。

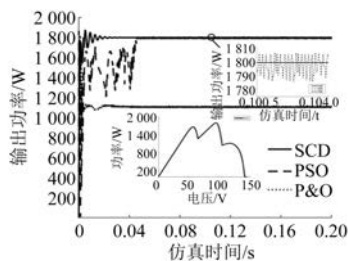


图7 三峰值全局跟踪过程

图8为四峰值最大功率跟踪对比仿真结果。其仿真情况与三峰值基本相似,SCD算法、PSO算法和P&O算法输出功率分别为1 293.7 W、1 271.6~1 302.2 W、1 043.4~1 011.04 W,实现MPPT的时间分别为0.021、0.046、0.014 s。

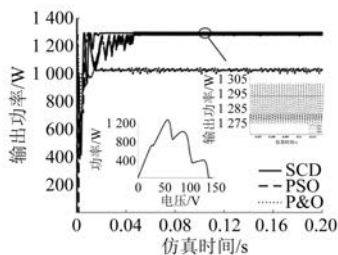


图8 四峰值全局跟踪过程

从上述3种情况的仿真结果可以看出,SCD算法具有最高的跟踪精度和较快的跟踪速度,并且随着峰值个数的增加,能够更快地跟踪到全局最大峰值;PSO算法的跟踪精度较好,但是跟踪时间相对较长,并且随着峰值个数的增加,追踪的时间在不断增加;P&O算法单峰值情况跟踪效果好,但是在多峰值情况下会陷入局部峰值,不能实

现全局MPP跟踪。

4 试验验证与分析

为了验证SCD算法的可行性,搭建试验平台如图9所示,试验选取的光伏电池板型号为XKD200,此型号在标准状况(环境温度为25℃,光照强度为1 000 W/m²)的开路电压为41.5 V,最大功率点处电压为36 V,光伏阵列结构为4×1。

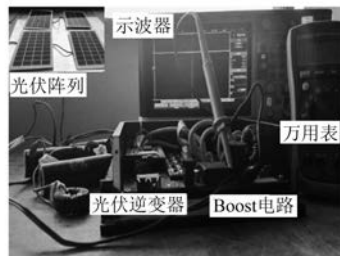


图9 MPPT验证试验平台

在阳光充分照射的情况下,用白板对部分PV板进行遮挡。由于MPP处电压电流等参数一定,试验时仅测量了电压变化曲线,所得的试验跟踪的电压波形如图10所示。从图10可以看出,应用SCD算法能够快速判断出阴影的状况,26 ms左右完成跟踪,最终将电压稳定在17.7 V附近。试验数据表明,该算法在实际应用中可行有效,满足了预期的设想,在有阴影的状况下,系统能够快速实现全局最大功率点的跟踪,并且输出电压比较稳定。

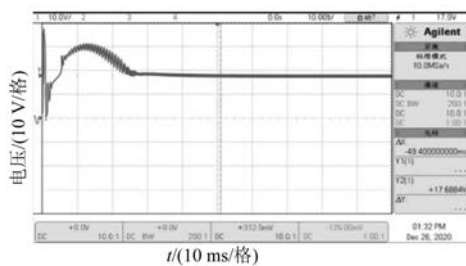


图10 电压跟踪过程波形

5 结语

本文通过对光伏电池的数学模型进行分析,建立4×4光伏阵列模型。基于此模型和改进的扰动观察法,提出了GMPP跟踪的SCD算法。通过与现有的PSO和P&O算法在3种不同的工况下进行对比仿真,结合试验验证,可以得出以下

结论:

(1) 本文提出的算法在单峰值(无阴影)和多峰值(有阴影)状态下均能快速稳定地跟踪到最大功率点。

(2) 本文提出的算法与传统的 PSO 和 P&O 算法对比分析表明,在全局最大功率跟踪的过程中,此算法跟踪精度高、跟踪速度快。

【参考文献】

- [1] 张兴,曹仁贤. 太阳能光伏并网发电及其逆变控制 [M]. 北京:机械工业出版社,2011.
- [2] ESRAM T, CHAPMAN P L. Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2007, 22(2): 439.
- [3] MAKI A, VALKEALAHTI S. Power losses in long string and parallel-connected short strings of series-connected silicon-based photovoltaic modules due to partial shading conditions [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2012, 27(1): 173.
- [4] 李善寿,张兴,张鸿恺,等. 基于功率闭环控制与 PSO 算法的全局 MPPT 方法[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(28): 4809.
- [5] KOLLIMALLA S K, MISHRA M K. Variable perturbation size adaptive P&O MPPT algorithm for sudden changes in irradiance [J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2014, 5(3): 718.
- [6] ALONSO R, IBANEZ P, MARTINEZ V, et al. An innovative perturb, observe and check algorithm for partially shaded PV systems [C]//2009 13th European Conference on Power Electronics and Applications, 2009.
- [7] JI Y, JUNG D, WON C, et al. Maximum power point tracking method for PV array under partially shaded condition [C]//2009 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, 2009.
- [8] 石季英,张文,张永革,等. 基于改进 PSO 算法的光伏阵列 MPPT 研究[J]. 电气传动, 2015, 45(7): 52.
- [9] 房俊龙,张卫丹,宋朝,等. 基于 QPSO 的 MPPT 控制研究[J]. 电气传动, 2019, 49(11): 88.
- [10] ISHAQUE K, SALAM Z. A deterministic particle swarm optimization maximum power point tracker for photovoltaic system under partial shading condition [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2013, 60(8): 3195.
- [11] 王云平,李颖,阮新波. 基于局部阴影下光伏阵列电流特性的最大功率点跟踪算法[J]. 电工技术学报, 2016, 31(14): 201.
- [12] TEY K S, MEKHILEF S. Modified incremental conductance algorithm for photovoltaic system under partial shading conditions and load variation [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2014, 61(10): 5384.
- [13] 梅润杰,张经纬. 基于 Z 源逆变器的粒子群和模糊变步长电导增量 MPPT 算法[J]. 太阳能学报, 2020, 41(1): 137.
- [14] BABU T S, RAJASEKAR N, SANGEETHA K. Modified particle swarm optimization technique based maximum power point tracking for uniform and under partial shading condition [J]. Applied Soft Computing, 2015, 34: 613.
- [15] 周林,武剑,栗秋华,等. 光伏阵列最大功率点跟踪控制方法综述[J]. 高电压技术, 2008(6): 1145.

(上接第 70 页)

- [7] DEMENKO A, SYKULSKI J K. Analogies between finite-difference and finite-element methods for scalar and vector potential formulations in magnetic field calculations [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2016, 52(6): 7004206.
- [8] 鞠立华,蒋书运. 稀土永磁无刷直流电动机电磁场有限元分析[J]. 机械制造与自动化, 2005, 34(1): 115.
- [9] 史石磊,康尔良. 永磁同步直线电机的电磁设计与分析[J]. 微特电机, 2020, 48(3): 25.
- [10] 孙明灿,唐任远,韩雪岩,等. 轴向磁通永磁电机空载气隙磁场建模分析[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(5): 1525.