

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2021.0006.003

基于改进 PSO 算法在光伏阵列多峰 MPPT 的研究*

孙泽涛, 高 昕, 韩 嵩

(安徽理工大学 电气与信息工程学院, 安徽 淮南 232001)

摘 要:针对传统的最大功率点跟踪算法在光伏阵列出现局部阴影时,其输出 $P-U$ 特性曲线表现出的多峰现象,导致跟踪不能完成真正的最大功率点跟踪,从而造成系统的输出功率降低的问题;粒子群算法(PSO)在全局搜索具有很好的作用,把 PSO 应用在 MPPT 之中,但其收敛速度与精度方面具有一定的缺点,为了提高 PSO 算法的跟踪精度和收敛速度,提出了把非线性控制策略与 PSO 算法相结合;通过 Matlab/Simulink 进行仿真验证,结果表明:改进后的粒子群算法在有无阴影和环境发生变化的情况下均可快速且稳定准确地跟踪到最大功率点的有效性,提高了光伏系统的发电效率。

关键词:光伏阵列;局部阴影;改进的粒子群算法;最大功率点跟踪

中图分类号:TM614

文献标志码:A

文章编号:1672-058X(2021)06-0021-05

0 引 言

伴随着化石能源的大量使用,生活环境污染问题加剧,可再生清洁能源越来越多地受到人们的高度关注。作为可再生清洁能源之一的可再生太阳能具有很大的发展潜力,光伏综合发电项目是高效利用可再生太阳能的一种重要有效途径,具有无环境污染、无噪音等诸多优点^[1-2]。

光伏发电面临的一个问题是发电效率不高。文献[3-4]分析了为提高光伏发电效率,在光伏组件和负载之间进行最大功率点跟踪(Maximum Power Point Tracking, MPPT)控制。文献[5-7]将扰动观察法、电导增量法等应用到 MPPT 控制中,表明了以上方法在光伏电池 $P-U$ 特性曲线是单峰值时,具有不错的效果。文献[8]分析了光伏电池板在出现局部阴影的情况下,光伏电池 $P-U$ 特性曲线存在多峰值的现象。当多峰值时以上的跟踪

算法易陷入局部极值点,跟踪效果不理想,导致光伏发电效率降低。

粒子群算法具有全局搜索能力,文献[9-10]利用粒子群算法实现最大功率点的跟踪,然而标准粒子群算法在收敛速度、跟踪精度上具有一定的缺点。将非线性控制策略同粒子群算法相结合,对算法的学习因子(C_1, C_2),惯性权重(W)等参数进行非线性调整控制,基于 Matlab/Simulink 平台搭建仿真模型,仿真分析改进的 PSO 算法在光伏电池有无局部阴影和光照强度发生变化时的输出特性,并与 P&O 算法、PSO 算法相比较,实验结果表明了所提的改进粒子群算法在局部阴影条件下跟踪速度和精度的有效性。

1 光伏电池模型与输出特性

1.1 光伏电池的物理数学模型

图 1 是电池等效电路。

收稿日期:2020-10-28;修回日期:2020-12-09.

* 基金项目:安徽理工大学博士基金项目资助(11127).

作者简介:孙泽涛(1996—),男,辽宁葫芦岛人,硕士研究生,从事电力电子技术、新能源发电技术研究.

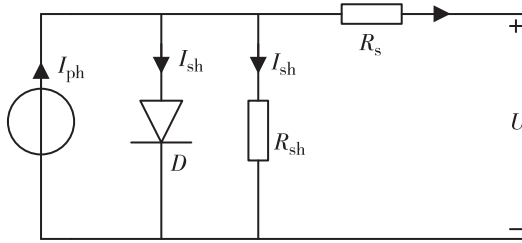


图 1 光伏电池等效电路图

Fig. 1 Photovoltaic cell equivalent circuit diagram

I_{ph} : 电流源电流(A), D : 反并联二极管, R_{sh} : 并联电阻(Ω), R_s : 串联电阻(Ω)。光伏电池的 $I-V$ 特性曲线方程为

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q(V + IR_s)}{AKT} - 1 \right] \right\} - \frac{V + IR_s}{R_{sh}}$$

q : 电子电荷($1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$), I_0 : 二极管的反向饱和电流(A), A : 二极管因子, K : 波尔兹曼常数(1.38×10^{-23}), T : 绝对温度(K)。对电路模型进行简化处理, 推导出工程实用光伏电池数学模型:

$$\begin{cases} I = I_{sc} \left\{ 1 - C_1 \left[\exp \left(\frac{V}{C_2 V_{oc}} \right) - 1 \right] \right\} \\ C_1 = \left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) \exp \left(-\frac{V_m}{C_2 V_{oc}} \right) \\ C_2 = \left(\frac{V_m}{V_{oc}} - 1 \right) \left[\ln \left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) \right]^{-1} \end{cases}$$

V_{oc} : 开路电压, I_{sc} : 短路电流, V_m : 最大功率点电压, I_m : 最大功率点电流, 参数由光伏电池产家提供。

1.2 光伏阵列在阴影条件下的输出特性

光伏阵列在局部阴影条件下会出现多峰现象, 以 3×1 光伏阵列研究对象, 选取 4 种不同局部阴影情况, 在 Matlab/Simulink 平台上搭建仿真模型, 对输出的 $P-U$ 特性曲线和 $I-U$ 特性曲线进行分析。光伏阵列结构如图 2 所示。

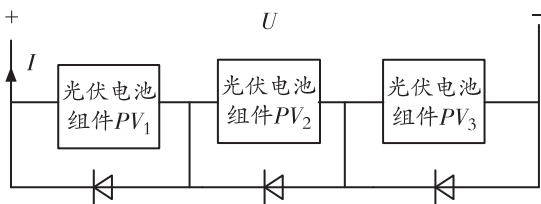


图 2 3 个光伏电池组件的串联模型

Fig. 2 Series model of three photovoltaic modules

选取开路电压 V_{oc} : 65.1 V, 短路电流: I_{sc} 为 6.96 A, 最大功率点电压 V_m : 54.7 V, 最大功率点电流 A_m : 5.98 A。环境温度: 25 $^{\circ}\text{C}$, 3 块光伏电池的光照强度如表 1 所示, 其输出特性如图 3、图 4 所示。

表 1 光伏阵列的 4 种光照强度分布情况

Table 1 Four kinds of light intensity distribution of photovoltaic array

分类	光照强度 (W/m^2)		
	组件 1	组件 2	组件 3
情况 1	1 000	1 000	1 000
情况 2	1 000	800	700
情况 3	1 000	800	600
情况 4	1 000	500	400

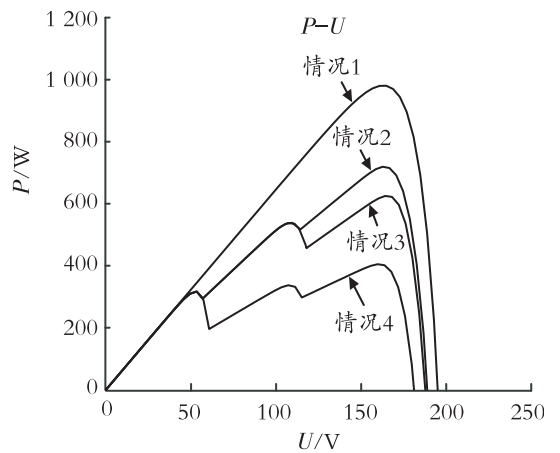


图 3 不同光照的 $P-U$ 特性曲线

Fig. 3 $P-U$ characteristic curve of different illumination

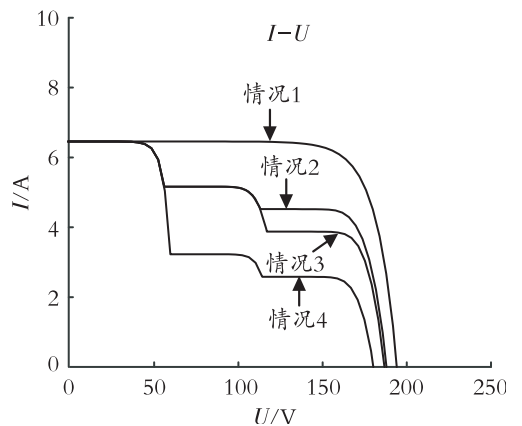


图 4 不同光照的 $I-U$ 特性曲线

Fig. 4 $I-U$ characteristic curve of different illumination

从图 3、图 4 光伏阵列的特性曲线可以看出: 无阴影时, $P-U$ 特性曲线有且只有一个极值点, 局部阴影时, 会出现局部极值点。若采用扰动观察法或电导增量法等常规的跟踪可能会陷入局部极值点, 从而造成发电效率降低, 因而采用具有全局搜索能力的智能算法是必要的。

2 改进的粒子群算法在 MPPT 中的应用

2.1 基本原理

粒子群算法由 Kennedy 和 Ebarhart 提出。粒子的特征由位置、速度和适应度值来决定,其中速度决定了粒子的移动距离和方向,随着自身及其他粒子的移动经验的改变,而进行相应的动态调整,通过反复的迭代,最终实现寻优。粒子的速度和位置的更新公式为

$$V_{id}^{k+1} = wV_{id}^k + c_1r_1(P_{id}^k - X_{id}^k) + c_2r_2(P_{gd}^k - X_{id}^k)$$

$$X_{id}^{k+1} = X_{id}^k + V_{id}^{k+1}$$

$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{id})$, $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, v_{i3}, \dots, v_{id})$ 代表第 i 个粒子在 d 维搜索空间位置和速度; $P_{id} = (p_{i1}, p_{i2}, p_{i3}, \dots, p_{id})$, $P_{gd} = (p_{g1}, p_{g2}, p_{g3}, \dots, p_{gd})$ 代表个体极值和群体极值; k 为迭代次数; w 为惯性权重; r_1 、 r_2 是分布在 $[0, 1]$ 的随机数; c_1 、 c_2 为非负的加速常数, c_1 是“自身认知”部分, c_2 是“社会认知”部分。

2.2 改进的粒子群算法

w 保持粒子的运动惯性, w 较大时,全局能力好,局部能力差,其值较小时,全局能力差,局部能力好。算法前期要有较强的全局能力,才能避免跟踪到局部极值点,后期要有较强的局部寻优能力能够提升算法的精确性。学习因子 c_1 和 c_2 分别控制着粒子向个体最优和全局最优的位置移动速度,在算法早期时,应该避免粒子陷入局部最优解,保持粒子群的多样化,所以要选取较大的自身学习因子 c_1 , 和较小的社会学习因子 c_2 , 在算法的后期要保证算法准确、快速收敛到全局最优位置,要选取较小的 c_1 和较大的 c_2 。常规的 PSO 算法是将 w 、 r_1 和 r_2 依据经验设置为常数,在寻优的过程中不发生改变,这种取值方式不能在局部搜索和全局搜索中取得平衡。因此,将非线性控制策略应用到粒子群算法中,其中 w 、 c_1 、 c_2 的动态调整公式如下:

$$w = \cos\left(\frac{\pi k_i}{2k_{\max}}\right)$$

$$c_1 = 0.9e^{1-\frac{k_i}{k_{\max}}}$$

$$c_2 = 0.6e^{\frac{k_i}{k_{\max}}}$$

惯性权重 w 前期大后期小,学习因子 c_1 前期大后期小,学习因子 c_2 前期小后期大。这样前期不易陷入局部极值点,后期算法的准确性和收敛速度能够得到保证。其改进的粒子群流程如图 5 所示。

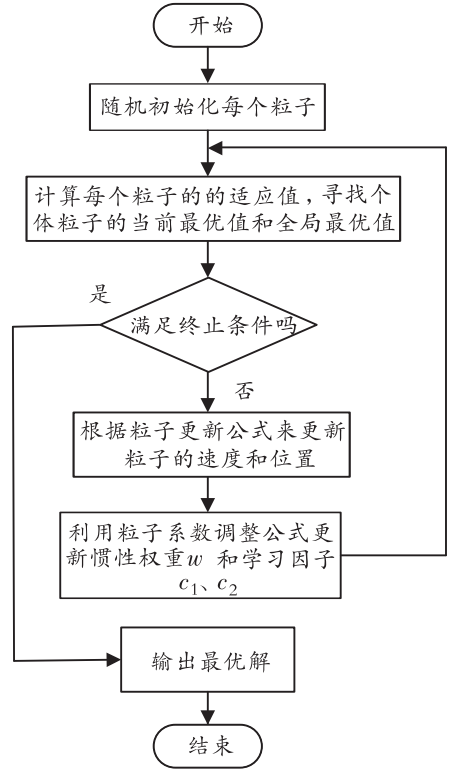


图 5 改进的粒子群算法流程图

Fig. 5 Improved PSO flow chart

3 仿真结果分析

为验证改进的粒子群算法的可行性,在 Matlab/Simulink 上进行模拟,仿真环境条件如表 1,光伏电池参数与第 1.2 节电池参数相同,分别仿真改进的粒子群算法在无遮阴的条件下,出现局部阴影条件下,和阴影快速变化条件的输出功率曲线图,并在阴影快速变化下与标准的粒子群算法和传统的扰动观察法进行比较。

从图 6、图 7 可以看出改进的粒子群算法在无阴影和出现局部阴影的情况下均能快速准确地寻找到光伏阵列的最大功率点。图 8 是在时间 1.5 s 时突然改变遮阴情况的 3 种算法结果比较图。在 0 s 到 1.5 s 时间段内,光伏阵列处于情况 2 的局部阴影条件,P&O 算法没有跟踪到真正的最大功率点,而是跟踪到了局部极值点,跟踪结果是失败的。在 1.5 s 突然改变环境的遮阴情况,由情况 2 变为情况 4,明显可以看出改进的粒子群算法响应更快,追踪的时间更短并且追踪的精度要高于标准的粒子群算法。在光伏阵列的阴影出现快速变化的情况下标准的粒子群算法未能跟踪到真正的最大功率点,而改

进的粒子群算法最终追踪到了全局极值点,具有更高的寻优精度能力。

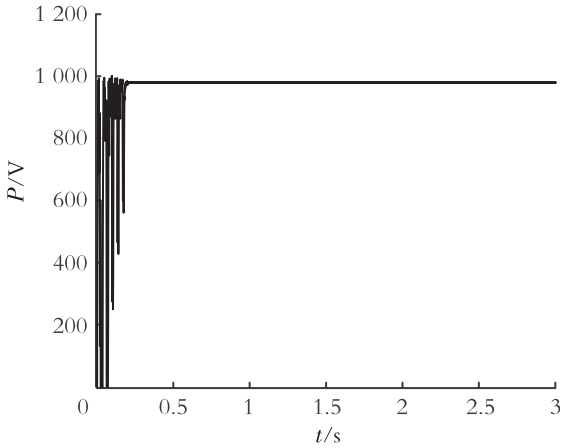


图 6 改进的 PSO 在情况 1 条件

Fig. 6 Improved PSO under the first condition

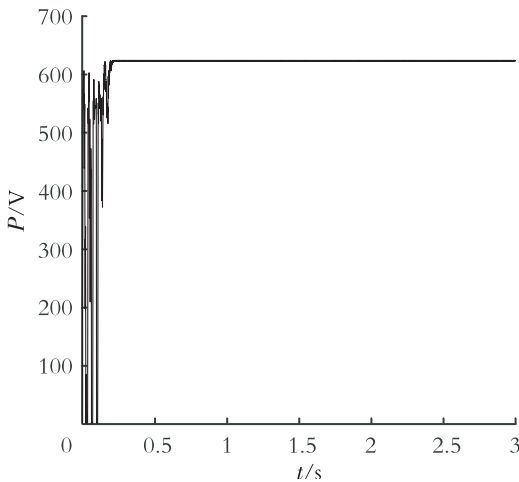


图 7 改进的 PSO 在情况 3 条件

Fig. 7 Improved PSO under the third condition

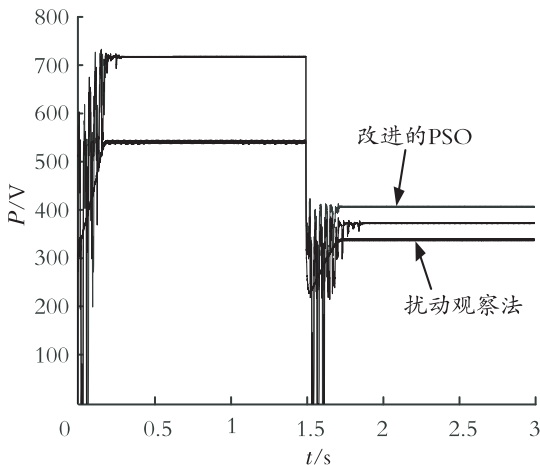


图 8 3 种算法结果比较

Fig. 8 Comparison of three algorithm results

4 结束语

针对传统的最大功率点跟踪算法在局部阴影的光伏阵列下,未能跟踪到全局的最大功率点、标准的粒子群算法跟踪响应速度和跟踪精度上的问题。在标准的粒子群算法的基础上把非线性控制策略应用到粒子群算法中,并与光伏系统的 MPPT 相结合,模拟了固定阴影条件和阴影发生快速变化的条件下,仿真结果表现出了此改进算法的有效性。与标准的粒子群算法进行了比较,在阴影快速变化时,改进的粒子群算法具有更高的跟踪速度和跟踪精度,有效改善了粒子群算法的缺点。

参考文献 (References):

- [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,2010
ZHANG X, CAO R X. Photovoltaics and Its Inverter Control [M]. Beijing: China Machine Press, 2010 (in Chinese)
- [2] 朱永强. 新能源与分布式发电技术 [M]. 北京:北京大学出版社,2016
ZHU Y Q. New Energy and Distributed Generation Technology [M]. Beijing: Peking University Press, 2016 (in Chinese)
- [3] 张淼,吴捷,侯聪玲. 自适应算法在光伏发电系统最大功率追踪中的应用 [J]. 电力电子技术,2005,39(2): 50-52
ZHANG M, WU J, HOU C L. Application of Adaptive Algorithm in Maximum Power Point Tracking of the Photovoltaic [J]. Power Electronics, 2005, 39(2): 50-52 (in Chinese)
- [4] 戴欣平,马广. 太阳能发电变频器驱动系统的最大功率控制法 [J]. 中国电机工程学报,2005,25(8): 95-99
DAI X P, MA G. A Control Method for Maximum Power Tracing of Photovoltaic Generation System [J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(8): 95-99 (in Chinese)
- [5] FEMIA N, PETRONE G, SPAGNUOLO G, et al. Optimization of Per-turb and Observe Maximum Power Point Tracking Method [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2005, 20(4): 963-973
- [6] YUSOF Y, SAYUTI S H, ABDUL LATIF M, et al. Modeling and Simulation of Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic System [C] // Proceedings of

- National Power and Energy Conference. Kuala Lumpur, Malaysia, 2004:88-93
- [7] 卫东,王央康,常亚文. 一种基于增量电导法的变步长 MPPT 算法[J]. 太阳能学报,2018,39(5):1277-1283
WEI D, WANG Y K, CHANG Y W. A Variable Step-size MPPT Algorithm Based on Incremental Conductance Method[J]. Journal of Solar Energy,2018,39(5):1277-1283 (in Chinese)
- [8] 孙博,梅军,郑建勇. 局部阴影条件下最大功率点跟踪改进算法[J]. 电力自动化设备,2014,34(1):115-119
SUN B, MEI J, ZHENG J Y. Improved MPPT Method under Partial Shading Conditions[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(1): 115 - 119 (in Chinese)
- [9] 朱志宇,原琳,陈迅. 遮蔽条件下的光伏阵列最大功率点跟踪算法[J]. 电力系统及其自动化学报,2013,25(4):73-67
ZHU Z Y, YUAN L, CHEN X. Maximum Power Point Tracking Algorithm for Photovoltaic Arrays under Shading Conditions[J]. Journal of Power Systems and Their Automation, 2013,25(4):73-67 (in Chinese)
- [10] 王汝田,陈酋峰,崔永恒. 局部阴影下光伏阵列 MPPT 控制方法的研究[J]. 电气自动化,2015,37(1):64-66
WANG R T, CHEN Q F, CUI Y H. Study on MPPT Control Method of Photovoltaic Array in Partial Shadow. Electrical Automation, 2015,37(1):64-66 (in Chinese)

Research on Multi-peak MPPT of Photovoltaic Array Based on Improved PSO Algorithm

SUN Ze-tao, GAO Xin, HAN Song

(School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of Science and Technology, Anhui Huainan 232001, China)

Abstract: In the traditional maximum power point tracking (MMPT) algorithm, the multi-peak phenomenon of the P-U characteristic curve occurs when the local shadow appears in the photovoltaic array, which leads to a failure of the true maximum power point tracking, thus reducing the system output rate. Particle swarm optimization (PSO) works well in global search. PSO is used in MPPT, but it has some disadvantages in convergence speed and precision. In order to improve the tracking accuracy and convergence speed of the PSO Algorithm, a method of combining the nonlinear control theory strategy with the PSO algorithm is proposed, and Matlab/Simulink is used to do the simulation to verify its feasibility in this paper. The simulation results show that the improved PSO algorithm can track the maximum power point rapidly, stably and accurately under the condition of no shadow and environmental changes, which improves the power generation efficiency of the photovoltaic system.

Key words: photovoltaic array; local shadow; improved particle swarm optimization algorithm; maximum power point tracking

责任编辑:罗姗姗

引用本文/Cite this paper:

孙泽涛,高昕,韩嵩. 基于改进 PSO 算法在光伏阵列多峰 MPPT 的研究[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版),2021,38(6):21-25

SUN Z T, GAO X, HAN S. Research on Multi-peak MPPT of Photovoltaic Array Based on Improved PSO Algorithm[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2021, 38(6): 21-25