

8-13-2020

Global optimized Photovoltaic MPPT Algorithm Based on PSO and Incremental Conductance Method

Yunjun Yu

1. Nanchang University, Nanchang 330031, China;;2. Jiangxi Electric Power Research Institute, Nanchang 330096, China;

Liu Tao

1. Nanchang University, Nanchang 330031, China;;

Shisheng Wang

1. Nanchang University, Nanchang 330031, China;;

Jianbo Xin

2. Jiangxi Electric Power Research Institute, Nanchang 330096, China;

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Global optimized Photovoltaic MPPT Algorithm Based on PSO and Incremental Conductance Method

Abstract

Abstract: The P-V array characteristic curve exhibits a plurality of local maximum power point under conditions of partial shading. The incremental conductance method maybe track an extreme value point that is not the largest power point, thus lead to tracking failure. The PSO algorithm has the characteristics of global optimization, but its tracking precision is deficient. *A global MPPT algorithm based on PSO algorithm by incremental conductance method was proposed*, PSO algorithm could quickly locate to the approximate global MPP, INC could further precise the MPP. Compared to the traditional incremental conductance method Simulink simulation and the research when partial shade suddenly changed, the result shows that the present method can track the global MPP of the PV array quickly and accurately.

Keywords

PV array, partial shading, INC, PSO algorithm, Multi-peak MPP

Authors

Yunjun Yu, Liu Tao, Shisheng Wang, Jianbo Xin, and Xiaohua Nie

Recommended Citation

Yu Yunjun, Liu Tao, Wang Shisheng, Xin Jianbo, Nie Xiaohua. Global optimized Photovoltaic MPPT Algorithm Based on PSO and Incremental Conductance Method[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(12): 2994-3000.

粒子群与电导增量法结合的光伏发电 MPPT

余运俊^{1,2}, 刘涛¹, 王时胜¹, 辛建波², 聂晓华¹

(1.南昌大学, 江西 南昌 330031; 2. 江西省电力科学研究院, 江西 南昌 330096)

摘要: 光伏阵列在局部阴影遮蔽时其 P-V 特性曲线会呈现出多个局部峰值的情况, 电导增量法可能跟踪在某个并非最大的极值点上, 从而造成跟踪失败。粒子群算法有全局寻优的特点, 但跟踪精度有欠缺。提出了一种基于电导增量法优化的粒子群全局 MPPT 算法, 粒子群算法能够快速跟踪到全局最大功率点附近, 电导增量法可以进一步精确跟踪到最大功率点。通过将所提方法与传统电导增量法 simulink 仿真对比以及当局部阴影情况发生突变时的研究, 结果证明了该方法能快速准确地跟踪到光伏阵列全局最大功率点。

关键词: 光伏阵列; 局部阴影; 电导增量法; 粒子群算法; 多峰值最大功率点

中图分类号: TM615 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2016) 12-2994-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201612017

Global optimized Photovoltaic MPPT Algorithm Based on PSO and Incremental Conductance Method

Yu Yunjun^{1,2}, Liu Tao¹, Wang Shisheng¹, Xin Jianbo², Nie Xiaohua¹

(1. Nanchang University, Nanchang 330031, China; 2. Jiangxi Electric Power Research Institute, Nanchang 330096, China)

Abstract: The P-V array characteristic curve exhibits a plurality of local maximum power point under conditions of partial shading. The incremental conductance method maybe track an extreme value point that is not the largest power point, thus lead to tracking failure. The PSO algorithm has the characteristics of global optimization, but its tracking precision is deficient. *A global MPPT algorithm based on PSO algorithm by incremental conductance method was proposed*, PSO algorithm could quickly locate to the approximate global MPP, INC could further precise the MPP. Compared to the traditional incremental conductance method Simulink simulation and the research when partial shade suddenly changed, the result shows that the present method can track the global MPP of the PV array quickly and accurately.

Keywords: PV array; partial shading; INC; PSO algorithm; Multi-peak MPP

引言

最大功率点跟踪(MPPT)控制方法^[1-4]是提高光伏系统发电效率的关键技术之一。然而, 在实际情况下, 当光伏阵列遇到局部阴影时其阵列的 P-V

特性曲线就会呈现出多峰值。此时, 如果采用传统的 MPPT 算法如扰动观测法、电导增量法^[5]等就很容易跟踪到局部最大值点而非全局最大值点, 从而造成功率率的损失。鉴于此, 近些年来关于局部阴影^[6-9]下的光伏阵列特性和处理多峰值问题的 MPPT 算法已经有了相关的理论研究。文献[10-12]建立了局部阴影条件下光伏阵列的数学模型, 分析了在阴影情况下光伏阵列的输出特性与阴影的数量、光照强度和外界环境温度等因素之间的关系。



收稿日期: 2015-04-13 修回日期: 2015-07-09;
基金项目: 国家自然科学基金(61563034, 51467013), 国家国际科技合作专项(2014DFG72240), 国家科技支撑计划(2013BAA01B01), 江西省自然科学基金(20151BABA01B01);
作者简介: 余运俊(1978-), 男, 江西上饶, 博士, 副教授, 研究方向为光伏发电, 低碳电力等。

<http://www.china-simulation.com>

• 2994 •

文献[13-14]分别提出了一种将电流控制和扰动观测法结合的 MPPT 算法和一种优化最大功率点跟踪算法, 虽然两方法可以实现较为精确的跟踪, 但实现起来比较麻烦。文献[15]提出了一种局部阴影下光伏阵列 MPPT 算法, 不但可以进行精确的跟踪, 而且也易于实现。但在极端情况下, 该算法会失效, 从而无法追踪到全局最大功率点。文献[16]提出了一种免疫算法, 该算法是一种迭代过程的搜索算法, 具有全局收敛特点。

粒子群算法^[17-23]作为一种智能优化算法具有收敛速度快、具备有效的全局搜索能力和不易陷入局部最优等特点。但是由于其算法中某些参数的设置不可能达到最优, 使得它不能够 100% 精确地跟踪到全局最大功率点; 电导增量法通过光伏阵列输出电压来跟踪最大功率点, 其精度高, 稳定性好, 但是在局部阴影情况下容易跟踪到局部极值。通过融合这两种方法各自的优点, 提出了一种基于电导增量法优化的粒子群全局 MPPT 算法。首先采用粒子群算法跟踪到全局最大功率点附近, 然后再经过电导增量法进行精确化定位, 最后通过 simulink 进行仿真, 证明了该方法的可行性。

1 光伏阵列在局部阴影下的建模及输出特性

1.1 仿真模型建立

当光伏电池组件出现阴影时, 一部分光伏电池将不再提供能量给负载, 相反会成为电路中的负载消耗其它正常光伏电池产生的功率, 这种功率的消耗通过能量的形式进行。有光照的光伏电池所产生的部分能量, 都可能被遮蔽的电池所消耗。为了防止光伏电池由于热斑效应而遭受破坏, 在光伏电池组件的正负极间并联一个旁路二极管, 以避免光照组件所产生的能量被受遮蔽的组件所消耗。光伏电池组件上并联旁路二极管带来的最直接好处就是避免了阴影遮挡情况下光伏电池的热斑效应, 但是并联旁路二极管会使得在阴影遮挡条件下光伏电池的功率曲线出现了多个峰值点, 对于全局最大功

率点跟踪产生了很大难度, 跟踪到最大功率点的效率、准确度大大降低。

如下图 1 所示为光伏电池的等效电路图。

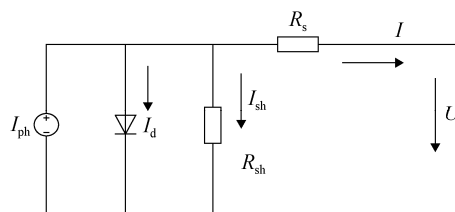


图 1 光伏电池的等效电路图

由图可知光伏电池的输出等效电流为:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qU_d}{AkT}\right) - 1 \right] - \frac{U_d}{R_{sh}} \quad (1)$$

式中: I_{ph} 为光生电流; I_0 为 P-N 结的反向饱和电流, 近视为常数; A 为二极管的品质因子; k 为玻尔兹曼常数, 取 1.38×10^{-18} erg/K; T 为光伏电池所处环境的绝对温度; q 为电子电荷, 取 1.6×10^{-19} C; U_d 为等效二极管两端的电压; R_{sh} 为等效并联电阻。

由于光伏电池内部并联等效电阻 R_{sh} 的阻值比较大, 因此光伏电池的输出特性可表示为:

$$I \approx I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qU_d}{AkT}\right) - 1 \right] \quad (2)$$

本文对 8×4 光伏阵列的 P-V 特性进行 simulink 仿真。其光伏阵列由 4 组不同的 8 个串联光伏模块并联组成。其组成光伏阵列的两种遮阴情况如图 2 中 a、b 所示, 其中深黑色的为被严重遮阴的光伏模块, 其对应的光照强度 300 W/m^2 ; 灰色的次之, 其对应的光照强度 500 W/m^2 ; 白色的未被遮阴, 其对应的光照强度 1000 W/m^2 。

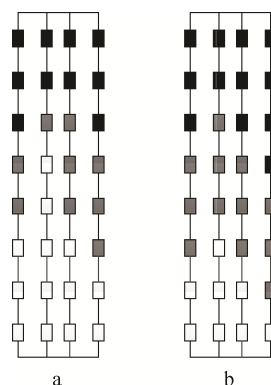


图 2 8×4 光伏阵列

上述两种局部阴影情况下光伏阵列的仿真如图 3 所示。由于串联模块的光照强度不同导致输出电压产生多峰，造成总的输出功率产生多个极值点。由图可以看出该仿真图有 3 个峰值点。但其中有一个才是全局最大值点，其余两个均为局部最大值点。

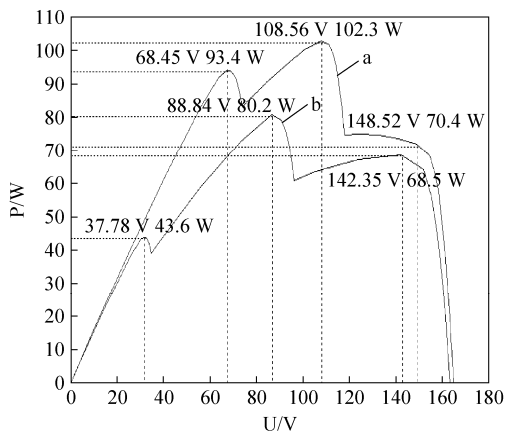


图 3 光伏阵列在两种不同局部阴影情况下的 P-V 特性图

2 基于电导增量法优化的粒子群全局 MPPT 算法的原理和设计

2.1 粒子群算法

粒子群优化算法从鸟类随机搜索食物的模型中得到启示并用于解决优化问题。在粒子群算法中，每个个体称为一个“粒子”，每个粒子代表一个潜在的解(也就是最大功率点电压)，在搜索空间中以一定的速度飞行，所有的粒子都有一个被目标函数决定的适应值，并且知道自己到目前为止发现的最好位置(个体极值 P_{best})和当前的位置。

$$\begin{cases} v_i^{k+1} = wv_i^k + C_1 \text{rand}() (P_g - x_i^k) + C_2 \text{rand}() (P_i^k - x_i^k) \\ x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \end{cases} \quad (3)$$

式中： v 为粒子的速度相量； w 为惯性权重； c_1, c_2 为记忆因子； $\text{rand}()$ 为介于(0,1)之间的随机数； x 为粒子的位置相量。

2.1.1 算法参数设置

在粒子群算法进行最大功率点跟踪时，设置目标函数为光伏阵列的输出功率，粒子的位置为光伏阵列的输出电压。本文在一般粒子群算法的基础上

通过粒子搜索范围设置、惯性权重设置、优化种群粒子等方法，使其跟踪速度更快。

(1) 粒子搜索范围设置：为了防止粒子群算法陷入局部搜索，初始位置设置在可能的峰值电压处，然后按照(3)式进行更新迭代。光伏阵列输出 P-V 特性可能极值点对应的阵列输出电压近似等于 0.8 倍光伏模块开路电压的整数倍，所以可能极值点对应阵列的最小和最大电压近似为 $0.8 U_{module}$ 和 $0.8 U_{array}$ 。其中 U_{module} 和 $0.8 U_{array}$ 分别表示光伏模块和光伏阵列的开路电压。

(2) 惯性权重设置：根据公式：

$$w = w_{max} - \frac{k(w_{max} - w_{min})}{k_{max}} \quad (4)$$

其中： $w_{max}=0.9$, $w_{min}=0.4$ 。k 为当前迭代次数， k_{max} 为最大迭代次数。

(3) 粒子种群优化设置：将每个粒子的个体最优值和适应度值与种群的全局最优值和适应度值进行比较，得到一个鉴定值 r_i^k 用来评判粒子的好坏。值越大，表明粒子越好，越接近全局最优值。反之，则粒子与当前全局最优位置距离过远。然后将这个鉴定值与评判值 α 比较，将 α 设定为 0.6。

$$r_i^k = \frac{f(P_i^k)}{f(P_g^k)} \times 100\% \quad (5)$$

$$x_i^{k+1} = \begin{cases} x_i^k + v_i^{k+1} & r_i^k \geq \alpha \\ P_i^k & r_i^k < \alpha \end{cases} \quad (6)$$

2.1.2 算法的重启与终止设置

当迭代次数达到预设的最大迭代次数或者计算得到的适应度值达到设定的下限(此处设定，当粒子间的最大距离小于 $5\% U_{oc}$)，则终止迭代过程，搜索结束，得到最优解。否则返回重新更新粒子的速度和位置。当局部阴影情况发生改变时，光伏阵列的输出特性也随之发生变化，这时就需要重新启动粒子群算法，使光伏系统重新工作在全局最大功率点附近。

2.2 电导增量法

光伏阵列在理想环境下的 P-V 曲线是一条单峰值曲线，电导增量法是通过比较光伏电池的增量

电导和瞬时电导来实现最大功率点跟踪。由光伏电池阵列的 P-V 特性曲线可知, 在最大值 P_{\max} 处的斜率为零, 所以有以下公式:

$$P = UI \quad (7)$$

$$\frac{dP}{dU} = \frac{d(UI)}{dU} = \frac{IdU + UdI}{dU} = I + U \frac{dI}{dU} = 0 \quad (8)$$

由上式可知: $\frac{dI}{dU} = -\frac{I}{U}$ 即当输出电导的变化量等于输出电导的负值时, 光伏电池工作在最大功率点; 故通过对上式左右两端进行大小的比较即可实现最大功率点的跟踪。

(1) 当 $\frac{dI}{dU} > -\frac{I}{U}$ 时, 也即 $\frac{dP}{dU} > 0$ 时说明当前光伏电池工作在最大功率点左侧, 则需增加光伏电池的参考电压;

(2) 当 $\frac{dI}{dU} < -\frac{I}{U}$ 时, 也即 $\frac{dP}{dU} < 0$ 时说明当前光伏电池工作在最大功率点右侧, 则需减小光伏电池的参考电压;

(3) 当 $\frac{dI}{dU} = -\frac{I}{U}$ 时, 也即 $\frac{dP}{dU} = 0$ 时说明当前光伏电池工作在最大功率点, 光伏电池的参考电压不变。

由上述分析可知在最大功率点有 $\frac{dP}{dU} = 0$ 。当 $\frac{dP}{dU} > 0$ 时, 光伏阵列工作在 MPP 左侧, 这时需要增加光伏阵列的参考电压; 同理, 当 $\frac{dP}{dU} < 0$ 时, 光伏阵列工作在 MPP 右侧, 这时需要减小光伏阵列的参考电压。增加和减小的这个参考电压称为扰动步长, 在电导增量法中扰动步长为定值, 其大小的选取要兼顾光伏系统的跟踪速度和控制精度。由于在本文所提算法中全局最大功率点的近似值已经确定, 故其扰动步长应适当选取一个较小的值, 从而提高最大功率点的稳定性。

2.3 基于电导增量法优化的粒子群全局 MPPT 算法原理

基于电导增量法优化的粒子群全局 MPPT 算法原理: 由于粒子群算法的搜索精度不高, 为了克服这个不足并提高其搜索精度, 提出了基于电导增量法优化的粒子群全局 MPPT 算法。该算法融合了上述两种方法各自的优点, 利用粒子群算法进行全

局跟踪; 采用电导增量法进行后期的优化, 克服了它在光伏阵列局部遮阴情况下跟踪最大功率点过程中的缺陷。首先采用粒子群算法进行全局跟踪搜索到全局最大功率点的附近, 采样此时光伏阵列的输出电压、电流和功率。然后利用电导增量法, 将采样得到的光伏阵列的电压和电流输入电导增量法模块, 此时就相当于在单峰值情形下进行最大功率点跟踪。最终使系统稳定在全局最大功率点处。其控制算法主要由两部分组成, 第一部分是采用粒子群算法进行全局搜索, 第二部分是利用电导增量法进行全局优化。其原理的控制流程如图 3 所示。

3 建模与仿真分析

对本文所提的 8×4 光伏阵列在局部阴影情况下最大功率点跟踪进行建模。粒子群算法模块采用 matlab 语言进行编写, 本文选取了 100 个粒子的种群, 迭代 50 次; 电导增量法模块扰动电压根据光伏阵列的输出特性选取一个较小的值。主电路采用 boost 拓扑, 假设外部负载为纯电阻, 其大小为 10Ω 并忽略电路本身的阻抗, 通过改变 IGBT 的占空比来实现全局最大功率点跟踪。Boost 电路的输入和输出电容为 0.3 mF , 输出滤波电感为 0.008 H 。其仿真模型如图 4 所示。

分别将本文所述的三种算法在局部阴影情况下从 0.2 s 时由情况 a 突变到情况 b 进行仿真。结合图 3 及图 5 仿真图形可以看出, 单独使用粒子群算法无法精确跟踪到最大功率点, 只是追踪到了全局最大功率点的附近, 这就造成了光伏阵列输出功率的损失; 在与粒子群算法相比较后, 可以明显的看出来本文所提的算法在 0.2 s 光照强度发生突变时, 通过将粒子群算法和电导增量法相结合, 经过两算法前后相互的运算后, 到 0.25 s 附近达到稳定, 不仅可以精确跟踪到全局最大功率点, 而且跟踪效率也比较好, 并且在局部阴影情况发生突变时, 本文所提方法可以追逐到全局最大功率点; 电导增量法只是跟踪到了局部最大功率点。由此可以看出, 本文所提的方法不但可以跟踪到全局最大功率点, 而且具有一定的精确性和有效性。

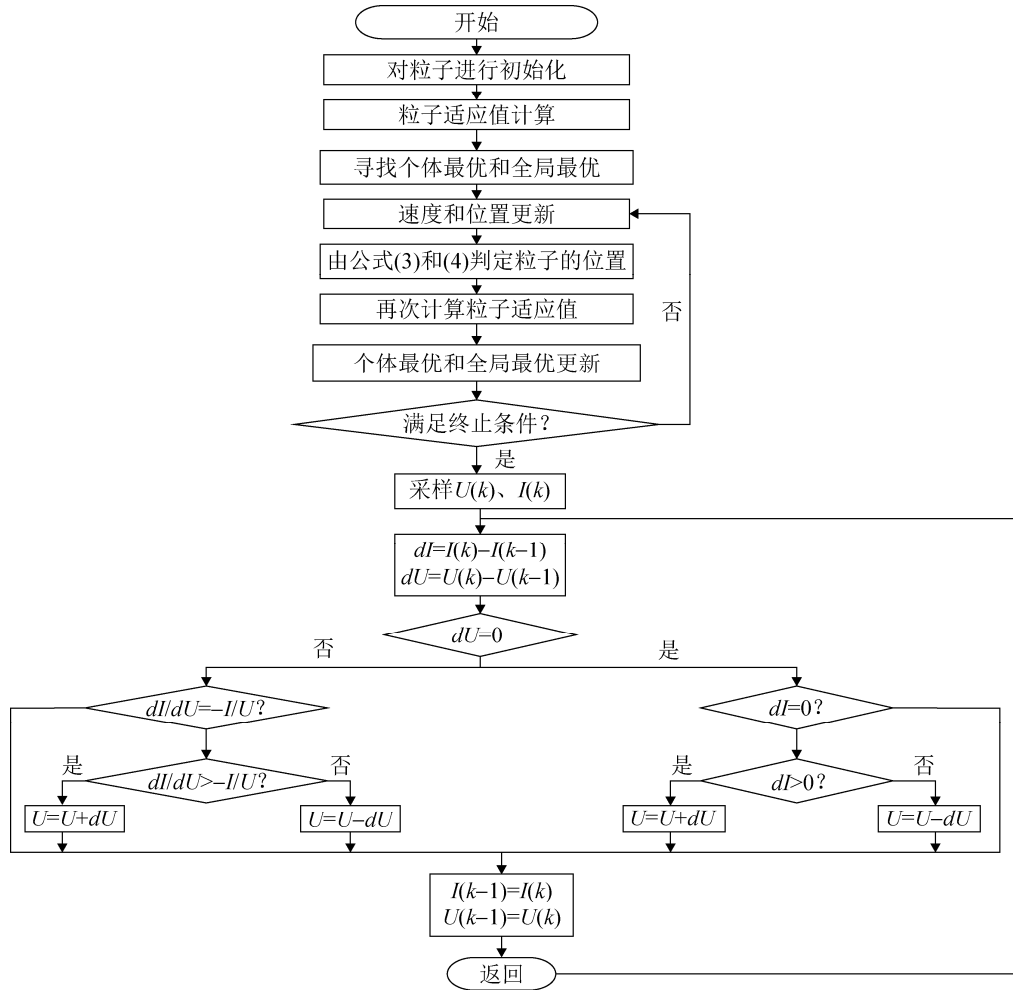


图 4 基于电导增量法优化的粒子群全局 MPPT 算法流程

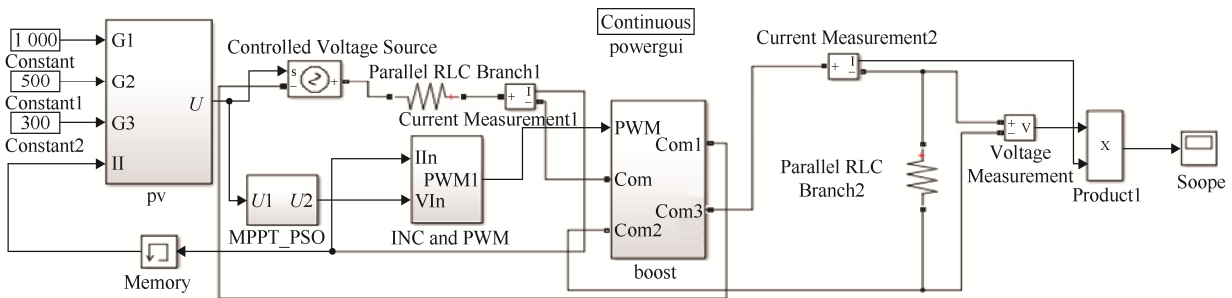


图 5 仿真模型

三种算法在两种不同局部阴影情况下的仿真结果如图 6 所示。

为了进一步验证所提算法的寻优性能,对上述局部阴影在 0.2 s 时由情况 a 突变为 b 时三种控制算法进行比较,并把仿真得到的数据进行记录,统计如表 1 和 2 所示(表 1 和表 2 中的仿真数据为多次仿真实验统计后取得的平均值)。

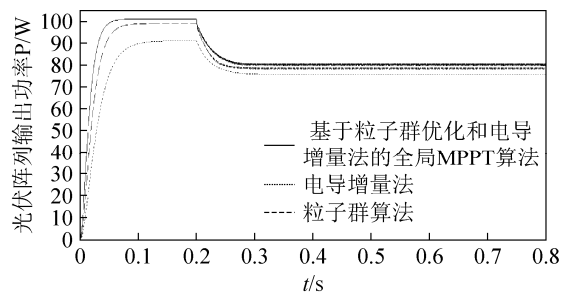


图 6 三种算法在局部遮阴情况发生突变的仿真图

表 1 局部阴影情况 1 下三种算法的仿真数据

控制算法	理论值 /W	寻优值 /W	跟踪精 度/%	效果
电导增量法	102.3	90.6	88.5	未跟踪到全局 最大功率点
粒子群算法	102.3	98.1	95.8	跟踪到全局最 大功率点附近
基于粒子群优化 和电导增量法的 全局 MPPT 算法	102.3	100.5	98.2	跟踪到全局 最大功率点

表 2 局部阴影情况 2 下三种算法的仿真数据

控制算法	理论值 /W	寻优值 /W	跟踪精 度/%	效果
电导增量法	80.2	74.2	92.4	未跟踪到全局 最大功率点
粒子群算法	80.2	77.6	96.7	跟踪到全局最 大功率点附近
基于粒子群优化 和电导增量法的 全局 MPPT 算法	80.2	79.3	98.9	跟踪到全局 最大功率点

4 结论

本文提出了一种基于电导增量法优化的粒子群全局 MPPT 算法, 对 8×4 光伏阵列在两种不同局部阴影情况进行研究分析, 首先采用粒子群算法进行全局跟踪, 然后利用电导增量法进行后期优化。最后经过 simulink 仿真, 分别与电导增量法和粒子群算法相比得知, 当光伏阵列处于局部阴影情况下时, 所提方法能够快速跟踪到全局最大功率点, 其精度分别为 98.2%和 98.9%, 能够有效地提高光伏系统的效率, 并且当局部阴影情况发生突变时, 所提方法也能够跟踪到全局最大功率点且具有较高的跟踪精度。8×4 光伏阵列集串联和并联的全部特性, 具有一定的代表性。由于其他光伏阵列组合类型也是在基本的串并联基础上进行改变, 故未在本文中描述。但在下一步的硬件实验中将涉及其他类型组合的光伏阵列。

参考文献:

[1] 聂晓华, 赖家俊. 局部阴影光伏阵列全局最大功率点跟踪控制方法综述 [J]. 电网技术, 2014, 38(12): 3279-3285. (Nie Xiaohua, Lai Jiajun. A Survey on Tracking and Control Approaches for Global Maximum Power Point of Photovoltaic Arrays in Partially Shaded

Environment [J]. Power System Technology (S1000-3673), 2014, 38(12): 3279-3285.)

[2] 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, 3(6): 1145-1154. (Zhou Lin, Wu Jian, Li Qiuhua, et al. Survey of Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Array [J]. High Voltage Engineering (S1003-6520), 2008, 3(6): 1145-1154.)

[3] Femia N, Lisi G, Petrone G, et al. Distributed Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Arrays: Novel Approach and System Analysis [J]. IEEE Transactions On Industrial Electronics (S0278-0046), 2008, 55(7): 2610-2621.

[4] Miyatake M, Veerachary M, Toriumi F. Maximum power point tracking of multiple photovoltaic arrays: a PSO approach [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems (S0018-9251), 2011, 47(1): 367-380.

[5] 余运俊, 张翔, 王时胜, 等. 电导增量法光伏发电 MPPT 研究综述 [J]. 电源技术, 2014, 38(12): 2440-2444. (Yu Yunjun, Zhang Xiang, Wang Shisheng et al. Review of incremental conductance method for photovoltaic power generation MPPT [J]. Chinese Journal of Power Sources (S1002-087X), 2014, 38(12): 2440-2444.)

[6] 崔岩, 白静晶. 光伏阵列多峰值最大功率点跟踪研究 [J]. 电机与控制学报, 2012, 16(6): 87-91. (Cui yan, Bai Jing jing. Research on multi-peak PV model maximum power point tracking [J]. Electric Machines and Control (S1007-449X), 2012, 16(6): 87-91.)

[7] Ji Y H, Jung D Y, Kim J G, et al. A real maximum power point tracking method for mismatching compensation in PV array under partially shaded conditions [J]. IEEE Transactions on Power Electronics (S0885-8993), 2011, 26(4): 1001-1009.

[8] Alajmi B N, Ahmed K H, Finney S J, et al. A maximum power point tracking technique for partially shaded photovoltaic systems in microgrids [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics (S0278-0046), 2013, 60(4): 1596-1606.

[9] Patel H, Agarwal V. Maximum power point tracking scheme for PV systems operating under partially shaded conditions [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics (S0278-0046), 2008, 55(4): 1689-1698.

[10] 刘晓艳, 祁新梅, 郑寿森, 等. 局部阴影条件下光伏阵列仿真模型的研究 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24(5): 1125-1131. (Liu Xiaoyan, Qi Xinmei, Zhen

- Shousen, et al. Study on Simulation Model of PV Array Under Partially Shading [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2012, 24(5): 1125-1131.)
- [11] 陈如亮, 崔岩, 李大勇, 等. 光照不均匀情况下光伏组件仿真模型的研究 [J]. 系统仿真学报, 2008, 20(7): 1681-1690.(CHEN Ru-Liang, CUI Yan, LI Da-yong, HU Hong-xun. Study on Simulation Model of PV Module under Non-uniform Isolation [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2008, 20(7): 1681-1690.)
- [12] 刘晓艳, 祁新梅, 郑寿森, 等. 局部阴影条件下光伏阵列的建模与分析 [J]. 电网技术, 2010, 34(11): 192-197.(Liu XiaoYan, QiXinmei, Zhen Shousen, et al. Model and Analysis of Photovoltaic Array Under Partial Shading [J]. Power System Technology (S1000-3673), 2010, 34(11): 192-197.)
- [13] Roy C S, Saha H. Maximum power point tracking of partially shaded solar photovoltaic arrays [J]. Solar Energy Materials and Solar Cells (S0927-0248), 2010, 94(9): 1441-1447.
- [14] 陈侃, 冯琳, 贾林壮, 等. 光伏系统在局部阴影条件下避免困于局部最大功率点跟踪算法研究 [J]. 可再生能源, 2013, 31(1): 13-16. (Chen Kan, Feng Lin, Jia Linzhuang, et al. Research on an optimized maximum power point tracking algorithm avoiding local under Partial Shaded conditions in photovoltaic system [J]. Renewable Energy Resources (S1671-5292), 2013,31(1): 13-16.)
- [15] 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 Bo, Mei Jun, Zheng Jianyong. Improved MPPT Method Under Partial Shading Conditions [J]. Electric Power Automation Equipment (S1006-6047), 2014, 34(1): 115-119.)
- [16] Li Zhonghua, He Chunhui, Tan Hongzhou. Artificial immune network with social learning and its application in FIR filter designing [J]. Applied Soft Computing (S1568-4946), 2013, 13(12): 4557-4569.
- [17] 李天博, 褚俊, 陈坤华. 基于粒子群算法的 MPPT 仿真及应用 [J]. 电力电子技术, 2012, 46(1): 7-9.(Li Tianbo, Chu Jun, Chen Kunhua. Maximum Power Point Tracking Simulation and Application Based on Particle Swarm Optimization [J]. Power Electronics (S1000-100X), 2012, 46(1): 7-9.)
- [18] 朱艳伟, 石新春, 但扬清, 等. 粒子群优化算法在光伏阵列多峰最大功率点跟踪中的应用 [J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(4): 42-48.(Zhu Yanwei, Shi Xinchu, Dan Yangqing, et al. Application of PSO Algorithm in Global MPPT for PV Array [J]. Proceedings of the CSEE (S0258-8013), 2012, 32(4): 42-48.)
- [19] 惠晶, 王思杰, 谢伟, 等. 粒子群优化在光伏系统 MPPT 控制中的应用 [J]. 电力电子技术, 2012, 46(5): 31-33.(Hui Jing, Wang Sijie, Xie Wei, et al. Application of PV-MPPT Control Based on Particle Swarm Optimization [J]. Power Electronics (S1000-100X), 2012, 46(5): 31-33.)
- [20] 赵阳, 符强, 王镭, 等. 基于粒子群算法的最大功率点跟踪方法研究 [J]. 电力电子技术, 2010, 44(6): 32-33.(Zhao Yang, Fu Qiang, Wang Lei, et al. The Maximum Power Point Tracking of Solar Cell Based on PSO Algorithm [J]. Power Electronics (S1000-100X), 2010, 44(6): 32-33.)
- [21] 王雨, 胡仁杰. 基于粒子群优化和爬山法的 MPPT 算法 [J]. 太阳能学报, 2014, 35(1): 149-153.(Wang Yu, Hu Renjie. MPPT Algorithm Based on Particle Swarm Optimization With Hill Climbing Method [J]. Acta Energiæ Solaris Sinica (S0254-0096), 2014, 35(1): 149-153.)
- [22] Ishaque K, Salam Z, Amjad M, et al. An improved particle swarm optimization (PSO)-based MPPT for PV with reduced steady state oscillation [J]. IEEE Transactions on Power Electronics (S0885-8993), 2012, 27(8): 3627-3638.
- [23] Ishaque K, Salam Z, Shamsudin A, et al. A direct control based maximum power point tracking method for photovoltaic system under partial shading conditions using particle swarm optimization algorithm [J]. Applied Energy (S0306-2619), 2012, 99(11): 414-422.