

基于光伏阵列输出特性的 GMPPT 算法研究

魏 超, 施火泉, 许伟梁

(江南大学轻工过程先进控制教育部重点实验室, 无锡 214122)

摘要:针对局部阴影条件下光伏阵列的 $P-V$ 曲线呈现多峰值的情况, 在研究光伏阵列输出特性的基础上提出了一种全局最大功率点追踪 GMPPT(global maximum power point tracking)算法。该算法由均匀光照和局部阴影条件下的两个最大功率点追踪算法构成。通过所提出的局部阴影检测手段判别光伏阵列所处的光照条件, 从而决定使用哪个子算法。最后将该算法在 Matlab 中进行仿真验证。仿真结果表明在局部阴影条件下该算法能快速地追踪到全局最大功率点, 且避免了对整条 $P-V$ 曲线的扫描。在均匀光照条件下要比传统的最大功率点追踪算法(扰动观察法)更快地定位到最大功率点。

关键词: 光伏阵列; 多峰值; 阴影检测; 全局最大功率点追踪

Research on GMPPT Algorithm Based on Output Characteristics of Photovoltaic Array

WEI Chao, SHI Huoquan, XU Weiliang

(Key Laboratory of Advanced Process Control for Light Industry (Ministry of Education), Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: In consideration of the multiple peaks appearing on the $P-V$ curves of photovoltaic(PV) array under local shading conditions, a global maximum power point tracking(GMPPT) algorithm is proposed based on the output characteristics of PV array. This algorithm is composed of two maximum power point tracking algorithms, which are under uniform illumination and local shading conditions, respectively. By means of the proposed local shadow detection method, the illumination condition for the PV array is distinguished to determine which sub-algorithm will be adopted. Finally, this algorithm is verified through simulations using Matlab, showing that it can fast track the global maximum power point under local shading conditions and avoid scanning the whole $P-V$ curve; under uniform illumination conditions, it can locate the maximum power point faster than the traditional maximum power point tracking algorithm(e.g., perturbation and observation method P&O).

Keywords: photovoltaic array; multiple peaks; shadow detection; global maximum power point tracking(GMPPT)

光伏发电作为可再生能源发电技术的一种正在迅速发展^[1-2]。在实际工作环境中,由于建筑物遮挡,光伏阵列可能处于局部阴影中,此时光伏阵列的 $P-V$ 曲线呈现多峰值,传统的最大功率点追踪算法可能陷于局部极值点中,因此需要提出一个全局最大功率点追踪算法。本文分别设计了均匀光照和局部阴影条件下的最大功率点追踪算法。均匀光照条件下的算法:判别光伏阵列初始工作点在 $I-V$ 曲线上的位置后,选择相应的公式计算出初始占空比

值,从而定位到最大功率点附近,再使用扰动观察法精确追踪。局部阴影条件下的算法:利用光伏阵列的 $P-V$ 曲线,并结合计算公式得到一系列占空比,利用这些占空比即可将光伏阵列的初始工作点定位到全局最大功率点附近,避免了扫描的过程,极大地缩短了算法执行时间,最后再利用传统的扰动观察法精确追踪到全局最大功率点。文献[3-7]中设计的全局最大功率点追踪 GMPPT(global maximum power point tracking)算法在定位到全局最大功率点附近时,需要对 $P-V$ 曲线整条扫描或在限定的

区域进行扫描;文献[8-11]中将模糊控制、人工神经网络控制等思想应用到 GMPPT 算法的设计当中,但是实现起来代价较大。

1 光照条件的判别

图 1 所示的光伏阵列由 3 个光伏组件相互串联构成,每个组件都并联有一个旁路二极管。在光伏阵列的输出电流 I_{PV} 等于光伏阵列的短路电流 I_{SC} 处,如果其中任何一个旁路二极管两端具有负电压就可以确定光伏阵列处于局部阴影中。

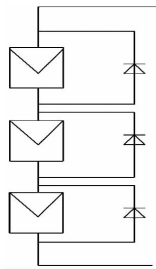


图 1 光伏阵列示意

Fig.1 Schematic of photovoltaic array

要满足 $I_{SC}=I_{PV}$,则 DC-DC 变换器中的占空比 D 必须满足条件

$$\frac{0}{I_{sc}} = R_{PV} = R_{Load} \frac{(1-D)^2}{D^2} \quad (1)$$

式中: R_{PV} 为光伏阵列的等效电阻值,定义为光伏阵列输出电压与输出电流之比; R_{Load} 为负载电阻值。满足式(1)则要求光伏阵列的输出电压 V 和占空比 D 均为 0,而在实际阴影检测时只要将 DC-DC 变换器的占空比设置的足够小便可满足该要求,文中将该占空比设定为 5%。

2 均匀光照条件下的算法设计

首先测量出光伏阵列在两个相邻占空比(D_n 、 D_{n+1})下的输出电压、电流,再确定光伏阵列初始工作点在 $I-V$ 曲线上的位置,即

$$k = \frac{dP}{dV} = \frac{P(n+1)-P(n)}{V(n+1)-V(n)} \quad (2)$$

当 $k < 0$ 时,计算^[12-13]应用于 DC-DC 变换器中的初始占空比 D 为

$$D = 1 - \sqrt{\frac{V_{mpp}(STC)}{I_{mpp}(STC)R_{Load}\eta}} \quad (3)$$

当 $k > 0$ 时,则有

$$D = 1 - \sqrt{\frac{R_{mpp}}{R_{Load}\eta}} \quad (4)$$

式中: $V_{mpp}(STC)$ 和 $I_{mpp}(STC)$ 分别为标准光照条件下光伏阵列在最大功率点的电压和电流值; η 为额定功率下 DC-DC 变换器的效率; R_{Load} 为负载电阻值; R_{mpp} 为通过查表法^[13]获得的光伏阵列在最大功率点处的等效电阻值。这样便可定位到最大功率点附近,再利用 P&O(perturbation and observation)法精确追踪最大功率点。

3 局部阴影条件下的算法设计

图 1 所示的光伏阵列接受的最大光照强度 $Q_{max}=1000 \text{ W/m}^2$,最小光照强度 $Q_{min}=100 \text{ W/m}^2$,光照强度增量 $\Delta Q=100 \text{ W/m}^2$ 。光伏阵列阴影模式的数量 $N=C_m^n$,其中 m 为光照间隔的数量,即 Q_{max} 与 ΔQ 的比值; n 为光伏阵列 $P-V$ 曲线上峰值点的个数。对于图 1 所示的光伏阵列,在局部阴影条件下光伏阵列的 $P-V$ 曲线上可能会出现双峰值或三峰值,以可能出现最多峰值点的情况为例进行分析。当 3 块组件接受的光照强度各不相同, $P-V$ 曲线上会产生 3 个峰值点即 $n=3$ 。在该情况下共有 120 种不同的阴影模式,所有阴影模式下的 $P-V$ 曲线如图 2 所示。

从图 2 中可知共有左侧、中部、右侧 3 个峰值点区域,采集各个区域峰值点的电压、电流数据,根

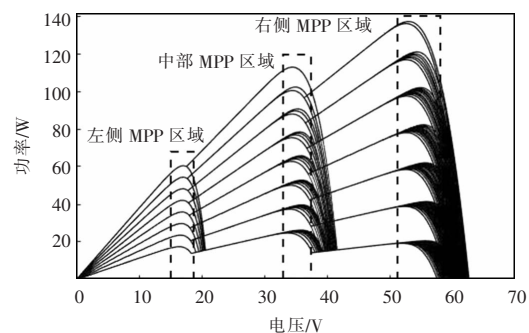


图 2 光伏阵列在局部阴影条件下的 $P-V$ 曲线

Fig.2 $P-V$ curves of photovoltaic array under local shading condition

据式(5)计算光伏阵列在各个峰值点区域的平均等效电阻 R_{mpavg} 为

$$R_{mpavg} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{V_{mpip}}{I_{mpip}}}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{V_{mpip}^2}{P_{mpip}}}{N} \quad (5)$$

则各峰值点区域所对应的占空比 D 为

$$D = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{R_{mpavg}}{\eta R_{Load}}}} \quad (6)$$

式中: η 为额定功率下 DC-DC 变换器的效率; R_{Load} 为负载电阻值。

在三峰值情况下计算得到的一系列占空比依然适用于双峰值及均匀光照条件下单峰值的情况。不同类型的光伏组件只需在仿真时修改相应的参数(如开路电压和短路电流的值)便可得到对应的 P - V 曲线,然后再提取 P - V 曲线上相应参数并结合式(5)和式(6)计算出适用于该光伏阵列的占空比。整个 GMPPT 算法流程如图 3 所示。在算法的执行中实时检测光伏阵列中旁路二极管两端的电压来判断局部阴影是否发生,如果发生立即执行阴影条件下的算法 GMPPT1,否则执行均匀光照条件下的算法 GMPPT2。

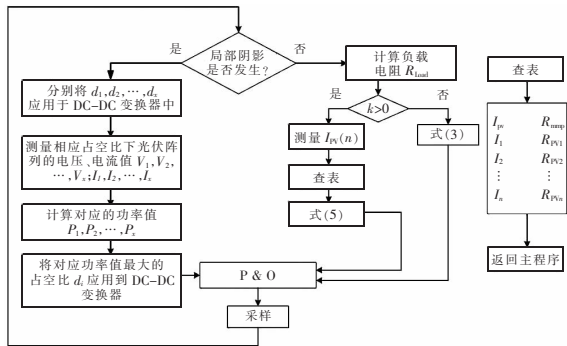


图 3 GMPPT 算法流程

Fig.3 Flow chart of GMPPT algorithm

4 仿真与分析

图 1 所示的光伏阵列,在标准测试条件下($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1\text{ kW/m}^2$)其开路电压 $V_{oc}=63.18\text{ V}$,短路电流 $I_{sc}=3.8\text{ A}$,最大功率点电压 $V_m=51.38\text{ V}$,最大功率点电流 $I_m=3.53\text{ A}$ 。在光照强度为 600 W/m^2 的均匀光照条件下,GMPPT1 算法在 $t=100\text{ ms}$ 时追踪到

最大功率点,而扰动观察法在 $t=120\text{ ms}$ 时才追踪到最大功率点,如图 4 所示。所以该 GMPPT 算法在均匀光照条件下的性能有所改善。

局部阴影条件下,光伏阵列中组件所接受的光照强度分别为 1 000 W/m^2 、 300 W/m^2 和 200 W/m^2 。图 5(a)为该局部阴影条件下光伏阵列的 P - V 曲线,

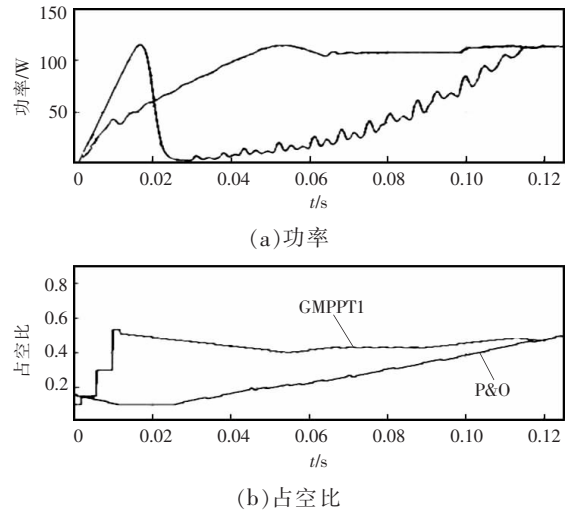
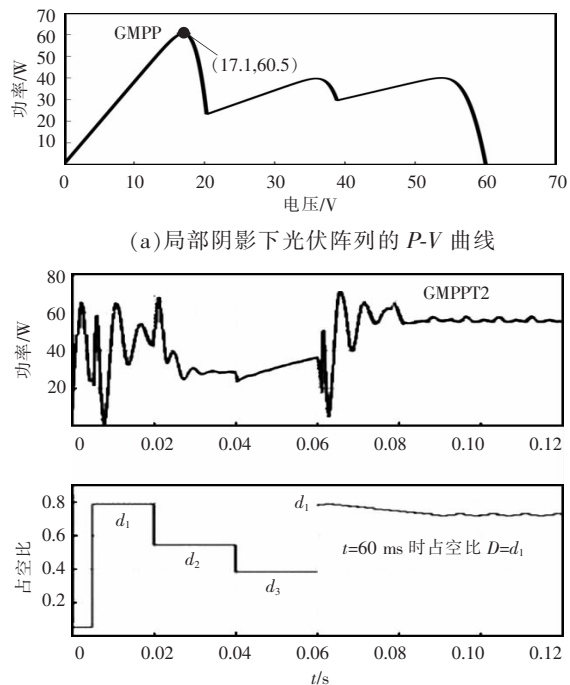


图 4 均匀光照条件下仿真波形

Fig.4 Simulation waveforms under uniform illumination condition



(b) 光伏阵列输出功率和占空比

图 5 局部阴影条件下仿真波形

Fig.5 Simulation waveforms under local shading condition

从中可得全局最大功率点的功率为 60.5 W。当检测到局部阴影发生时, GMPPT2 算法开始工作, 将占空比 d_1, d_2, d_3 每隔 20 ms 依次应用于 DC-DC 变换器中。从图中可知占空比 d_1 应用于 DC-DC 变换器时光伏阵列输出的功率最大, 所以在 $t=60$ ms 时将初始占空比 D 设定为 d_1 , 从而使光伏阵列工作点定位到全局最大功率点附近。最后通过 P&O 法便可在很短的时间内追踪到全局最大功率点。由图 5(b) 可知在 $t=80$ ms 时追踪到了全局最大功率点。

5 结语

局部阴影条件发生时, 在 $I_{sc}=I_{pv}$ 处光伏组件并联的旁路二极管具有负电压, 据此设计了一种局部阴影检测手段。局部阴影条件下将事先计算好的占空比依次应用到 DC-DC 变换器中, 再选定合适的占空比作为初始占空比, 从而将光伏阵列的初始工作点定位到全局最大功率点附近, 取代了传统 GMPPT 算法对 $P-V$ 曲线的扫描过程, 缩短了算法的收敛时间。均匀光照条件下利用计算的占空比值对最大功率点进行初步定位, 再利用扰动观察法精确定位, 对算法性能也有所改善。

参考文献:

- [1] 荣德生, 刘凤. 改进型扰动观察法在光伏 MPPT 中的研究[J]. 电力系统及其自动化学报, 2017, 29(3): 104-109.
Rong Desheng, Liu feng. Application of improved perturbation and observation method to photovoltaic MPPT[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2017, 29(3): 104-109(in Chinese).
- [2] 聂晓华, 赖家俊. 局部阴影下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, 2014, 38(12): 3279-3285(in Chinese).
- [3] 廉小亲, 张晓力, 王嵩, 等. 光伏系统在部分遮挡条件下的 GMPPT 算法研究[J]. 电源技术, 2012, 36(10): 1470-1473.
- [4] 高金辉, 马高峰, 杨艳茜. 局部阴影下光伏阵列呈多波峰特性的 MPPT 算法研究[J]. 电子技术应用, 2013, 39(12): 61-63, 67.
Gao Jinhui, Ma Gaofeng, Yang Yanqian. The MPPT algorithm study of PV array with multi-peak characteristics in partial shadow[J]. Application of Electronic Technique, 2013, 39(12): 61-63, 67(in Chinese).
- [5] 邵伟明, 程树英, 林培杰, 等. 局部阴影下光伏阵列 MPPT 算法及实现[J]. 电源学报, 2016, 14(1): 27-34, 42.
Shao Weiming, Cheng Shuying, Lin Peijie, et al. MPPT algorithm and realization for photovoltaic array under partial shadow[J]. Journal of Power Supply, 2016, 14(1): 27-34, 42(in Chinese).
- [6] Kouchaki A, Iman-Eini H, Asaei B. A new maximum power point tracking strategy for PV arrays under uniform and non-uniform insolation conditions[J]. Solar Energy, 2013, 91(1): 221-232.
- [7] Ishaque K, Salam Z. A review of maximum power point tracking techniques of PV system for uniform insolation and partial shading condition[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2013, 19(1): 475-488.
- [8] Jiang Lianlian, Nayanisiri D R, Maskell D L, et al. A hybrid maximum power point tracking for partially shaded photovoltaic systems in the tropics[J]. Renewable Energy, 2015, 76(1): 53-65.
- [9] Shah N, Rajagopalan C. Experimental evaluation of a partially shaded photovoltaic system with a fuzzy logic-based peak power tracking control strategy[J]. IET Renewable Power Generation, 2016, 10(1): 98-107.
- [10] Daraban S, Petreus D, Morel C. A novel MPPT(maximum power point tracking) algorithm based on a modified genetic algorithm specialized on tracking the global maximum power point in photovoltaic systems affected by partial shading[J]. Energy, 2014, 75(4): 374-388.
- [11] Renaudineau H, Donatantonio F, Fontchastagner J. A

- genetic neural network to gear fault diagnosis[J]. Journal of Zhengzhou University: Engineering Science, 2012, 33(3): 36-39(in Chinese).
- [13] 左磊, 侯立刚, 张旺, 等. 基于粒子群-支持向量机的模拟电路故障诊断[J]. 系统工程与电子技术, 2010, 32(7): 1553-1556.
- Zuo Lei, Hou Ligang, Zhang Wang, et al. Analog circuit fault diagnosis based on particle swarm optimization support vector machine[J]. Systems Engineering and Electronics, 2010, 32(7): 1553-1556(in Chinese).
- [14] 沈桂鹏, 杨店飞, 郭宇杰. 基于自适应权重粒子群优化 BP 神经网络的光伏阵列故障诊断与定位[J]. 陕西电力, 2016, 44(8): 23-27.
- Shen Guipeng, Yang Dianfei, Guo Yujie. Fault diagnosis and location of photovoltaic array based on BP neural network trained by adaptive inertia weight particle swarm optimization algorithm[J]. Shanxi Electric Power, 2016, 44(8): 23-27(in Chinese).
- [15] 孟祥萍, 潘莹, 耿卫星, 等. 混沌免疫遗传算法在电力系统故障诊断中应用[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(5): 81-83, 100.
- Meng Xiangping, Pan Ying, Geng Weixing, et al. Chaotic immune genetic algorithm in power system fault diagnosis [J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 27(5): 81-83, 100(in Chinese).
- [16] 祁涛, 张彦斌, 温晋华. 基于遗传粒子群算法的模拟电路故障诊断方法研究[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(12): 3940-3943.
- Qi Tao, Zhang Yanbin, Wen Jinhua. Analog circuit fault diagnosis based on genetic particle swarm optimization algorithm(GAPSO)[J]. Computer Measurement and Control, 2015, 23(12): 3940-3943(in Chinese).
- [17] 袁圃, 毛剑琳, 向凤红, 等. 改进的基于遗传优化 BP 神经网络的电网故障诊断[J]. 电力系统及其自动化学报, 2017, 29(1):118-122.
- Yuan Ying, Mao Jianlin, Xiang Fenghong, et al. Grid fault diagnosis based on improved genetic optimization BP neural network[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2017, 29(1): 118-122(in Chinese).



王福忠

作者简介:

王福忠(1961-),男,博士,教授,硕士生导师,研究方向:工业过程控制、智能电网等,E-mail:wangfzh@hpu.edu.cn。

裴玉龙(1992-),男,通信作者,硕士,研究方向:光伏发电系统的故障检测与诊断,E-mail:1585825925@qq.com。

(上接第 72 页)

- PSO-based global MPPT technique for distributed PV power generation[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015, 62(2): 1047-1058.
- [12] Basoglu M E, Cakir B. Comparisons of MPPT performances of isolated and non-isolated DC-DC converters by using a new approach[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2016, 60(1): 1100-1113.
- [13] Basoglu M E, Cakir B. An improved incremental conductance based MPPT approach for PV modules[J]. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 2015, 23(6): 1687-1697.



魏超

作者简介:

魏超(1992-),男,中国电源学会会员,硕士研究生,研究方向:光伏并网发电及逆变器控制研究,E-mail:601930172@qq.com。

施火泉(1962-),男,通信作者,本科,高级工程师,研究方向:电力电子与电力传动、用电信息采集系统,E-mail:1185114075@qq.com。

许伟梁(1993-),男,硕士研究生,研究方向:电力电子与电力传动、电能质量分析,E-mail:1225196298@qq.com。