

单峰值 MPPT 算法在光伏阵列上的应用*

陈照民 谢敏**

广西大学计算机与电子信息学院, 南宁, 430064

摘要 研究分析光伏电池的物理模型, 利用 Simulink 对光伏阵列进行搭建和仿真, 采集数据, 仿真光伏阵列在不同光照下的输出特性曲线, 根据仿真结果分析出现功率点单峰的原因。然后利用电导增量法和扰动观察法 (P&O) 对光伏阵列进行最大功率点跟踪, 并比较各类算法在最大功率点跟踪上应用的不同点。

关键字 光伏阵列, 电导增量法, P&O 算法, MPPT 算法

Application on Single Peaks MPPT Algorithm of Photovoltaic Array

Chen Zhaomin Xie Min

School of Computer, Electronics and Information
Guangxi University
Nanning 530004, China
gxxiem@163.com

Abstract—The main research content of this topic is to analyze the physical model of photovoltaic cell, and use Simulink to build and simulate the photovoltaic array, collect data, and simulate the output characteristic curve of photovoltaic array under different lighting conditions. According to the simulation results, the reason of single peaks of power points is analyzed. Then, Incremental Conductance Algorithm and P&O are used to track the maximum power point (MPPT) of photovoltaic array, and the differences of various algorithms in the application of MPPT are compared.

Key words—Photovoltaic array, Incremental Conductance Algorithm, P&O algorithm, MPPT algorithm

1 引言

自 21 世纪以来, 因传统化石能源日益紧缺和燃烧化石能源所带来的环境影响, 新型清洁能源就得到了快速地发展, 光伏发电被广泛地应用, 其中光伏阵列发电是有效利用太阳能的主要发展趋势, 而为了能够让光伏阵列发电效率一直达到最大值, 光伏阵列的最大功率点跟踪技术就得到了非常广泛的应用^{[1][2]}。

在利用光伏阵列发电的过程中, 光伏阵列常常会被云层, 灰尘、砂砾、树影等所遮挡, 并导致光伏阵列所能受到的太阳光照不均匀, 形成局部遮阴的现象。当光伏阵列在局部遮阴的条件下工作时, 光伏阵列的 P-U 输出特性曲线会出现多个局部的峰值, 而为了使光伏阵列工作在最大功率点, 就需要研究光伏阵列在遮阴条件下的输出特性曲线。

光伏阵列的最大功率点跟踪技术 (MPPT) 是通

过最大功率点跟踪算法寻优在外部条件的变化下 (例如光照强度、温度等) 快速而稳定的寻找到最大功率点并控制相关的电路将最大功率输出, 从而提高光伏阵列的输出功率和能量的转换效率。自 MPPT 算法问世以来就不断地取得进展和应用, 无论是哪种方法, 其稳定性、方法的复杂性、跟踪精度、工程成本等方面都各有不同, 在目前光伏发电系统成本比较高的情况下, 利用合适的最大功率点跟踪算法可以有效的提高光伏阵列的发电量从而降低成本, 所以, 光伏阵列 MPPT 的研究对于光伏发电的应用上有着重要意义^[3], 本文研究常用的单峰值 MPPT 算法在光伏阵列上的应用。

2 电导增量法

电导增量法是 MPPT 常用的一种跟踪算法, 它通过比较瞬间的电导和电导增量来改变控制信号。它控制精确, 响应速度快, 但是其对于硬件的要求比较高, 所以成本会比较高。它的基本思想是通过不断比较光伏电池工作时的瞬间电导和电导增量来改变控制信号。由 P-U 特性曲线可知, 最大功率点对电压的导数为零。即:

*基金资助: 本文得到广西科技重大专项 (桂科 AA21077007) 资助

**通讯作者: 谢敏, 博士, 副教授, gxxiem@163.com

$$\frac{dP_{PV}}{dU_{PV}} = \frac{d(U_{PV}I_{PV})}{dU_{PV}} = I_{PV} + U_{PV} \frac{dI_{PV}}{dU_{PV}} = 0 \quad (1)$$

可得:

$$\frac{I_{PV}}{U_{PV}} + \frac{dI_{PV}}{dU_{PV}} = G + dG = 0 \quad (2)$$

其中, G 为输出特性的电导; dG 是 G 的增量。由于增量 dU_{PV} 和 dI_{PV} 可以用 ΔU_{PV} 和 ΔI_{PV} 近似, 所以:

$$dI_{PV}(t_2) \approx \Delta I_{PV}(t_2) = I_{PV}(t_2) - I_{PV}(t_1) \quad (3)$$

$$dU_{PV}(t_2) \approx \Delta U_{PV}(t_2) = U_{PV}(t_2) - U_{PV}(t_1) \quad (4)$$

综上所述, 有最大功率点的判断标准如下:

(1) $G + dG \approx \frac{I_{PV}}{U_{PV}} + \frac{I_{PV}(t_2) - I_{PV}(t_1)}{U_{PV}(t_2) - U_{PV}(t_1)} > 0$, 说明

$U_{PV} < U_{MPP}$, 就要增大参考电压来达到最大功率点。

(2) $G + dG \approx \frac{I_{PV}}{U_{PV}} + \frac{I_{PV}(t_2) - I_{PV}(t_1)}{U_{PV}(t_2) - U_{PV}(t_1)} < 0$, 说明

$U_{PV} > U_{MPP}$, 就要减小参考电压来达到最大功率点。

(3) $G + dG \approx \frac{I_{PV}}{U_{PV}} + \frac{I_{PV}(t_2) - I_{PV}(t_1)}{U_{PV}(t_2) - U_{PV}(t_1)} = 0$, 说明

$U_{PV} = U_{MPP}$, 光伏阵列工作在最大功率点。

算法流程图如图1所示:

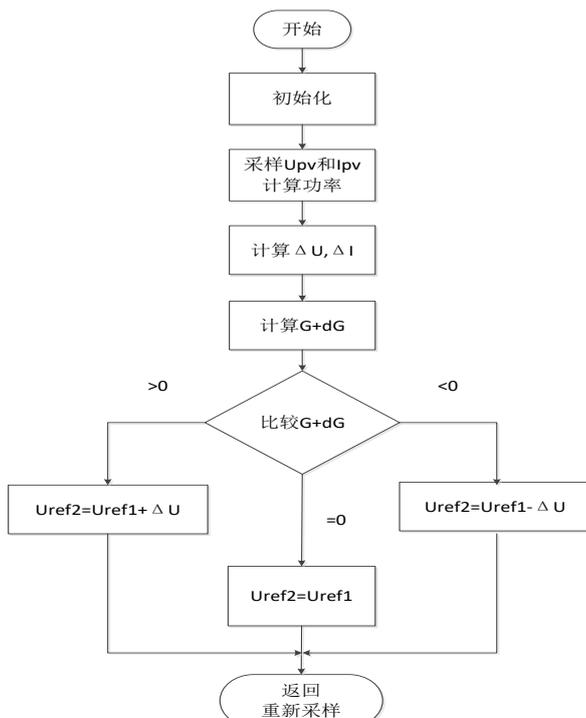


图 1 电导增量法流程图

为了观察电导增量法在光伏阵列MPPT算法中的应用, 则在Simulink模块中搭建了电导增量法的MPPT控制器模块如下图2所示, 利用该模块对光伏阵列的最大功率点进行跟踪。

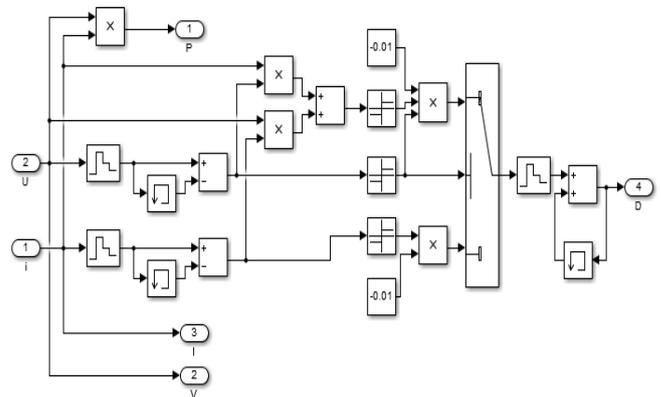


图 2 电导增量法MPPT控制器

其中, 零阶保持器的采样周期为0.0001s, 常数模块为扰动步长, 并分别设置扰动步长为0.01、0.05、0.1进行仿真, 结果如图3、图4、图5所示:

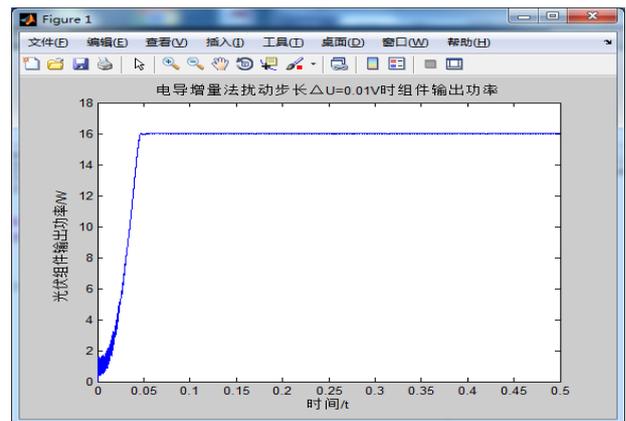


图 3 扰动步长 $\Delta U=0.01V$ 时组件输出功率

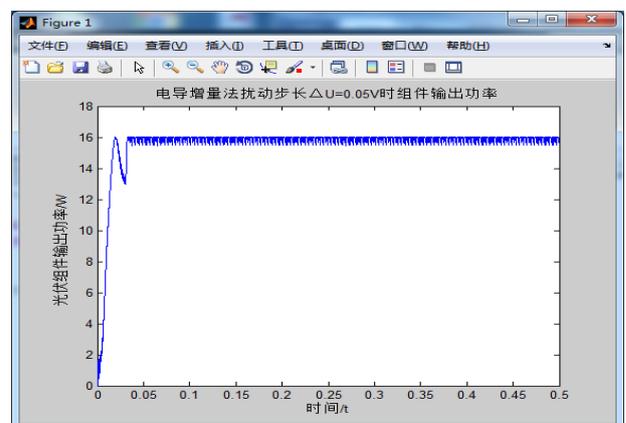


图 4 扰动步长 $\Delta U=0.05V$ 时组件输出功率

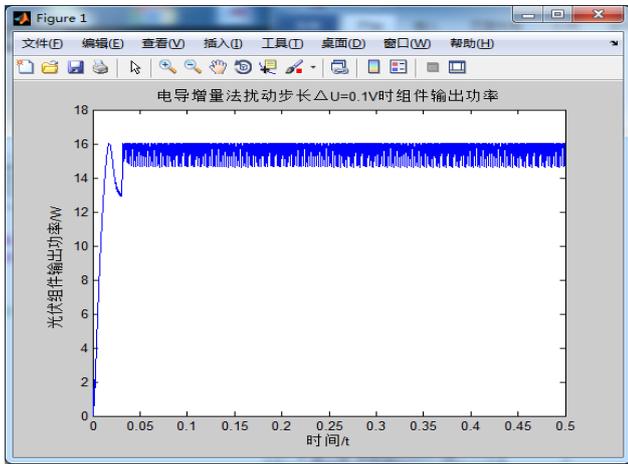


图 5 扰动步长 $\Delta U=0.1V$ 时组件输出功率

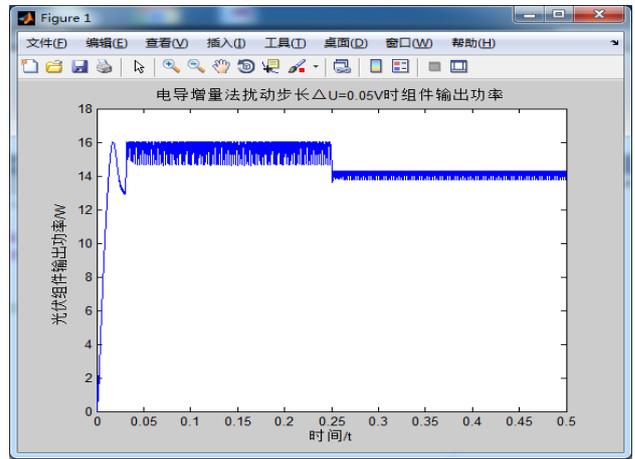


图 8 扰动步长 $\Delta U=0.1V$, S 从 $1000W/m^2$ 到 $900W/m^2$

从图5中可以分析得到,虽然电导增量法的扰动步长不相同,但是算法也基本能够实现光伏阵列的最大功率点跟踪。扰动步长逐渐减小时,光伏阵列的输出功率也就越稳定,但是达到稳定的时间比较长^{[5][6]}。

如图8可以看出,当光照强度从 $1000W/m^2$ 变到 $900W/m^2$ 时,光伏阵列的输出功率出现了过冲的现象,这也会导致能量的损失。

3 扰动观察法

扰动观察法 (P&O) 是光伏阵列MPPT中广泛应用的MPPT算法,它是利用给系统加入一个干扰(一般是电压干扰),利用干扰后功率的变化来实现跟踪最大功率点^[6]。

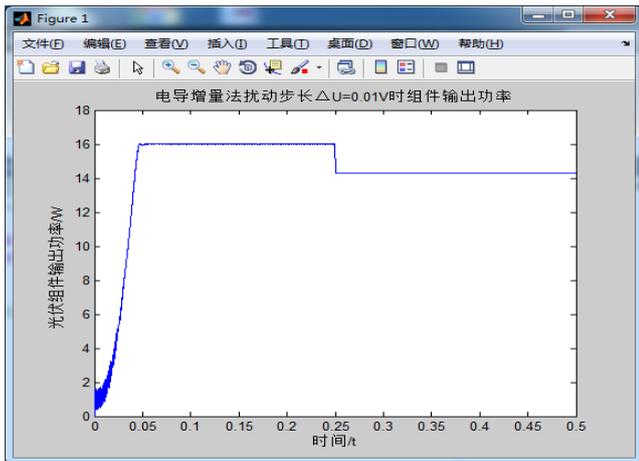


图 6 扰动步长 $\Delta U=0.01V$, S 从 $1000W/m^2$ 到 $900W/m^2$

通常情况下扰动观察法是通过变换器来加入扰动,就是通过改变光伏阵列的源末端电压周期性的对光伏工作点电压进行干扰,每次干扰过后,会经过控制算法来比较干扰前后的光伏阵列输出功率,在均匀条件下,如果经过干扰后的光伏阵列输出功率更高,这说明光伏阵列工作在最大功率点的左侧,那么下一次扰动电压就继续保持同极性,如果加入了电压干扰后光伏阵列的功率输出降低,那么意味着光伏阵列工作在最大功率点的右侧,那么下一次扰动电压就会取相反的极性。

描述扰动观察法的一般方程如下式所示:

$$\begin{aligned}
 x_{((k+1)T_p)} &= x_{(kT_p)} \pm \Delta x \\
 &= x_{(kT_p)} + [x_{(kT_p)} - x_{((k-1)T_p)}] \text{sign}(P_{kT_p} - P_{((k-1)T_p)}) \quad (5)
 \end{aligned}$$

其中, x 代表扰动变量; T_p 是扰动周期; Δx 是加在 x 上的扰动幅度; P 是光伏阵列的输出功率。

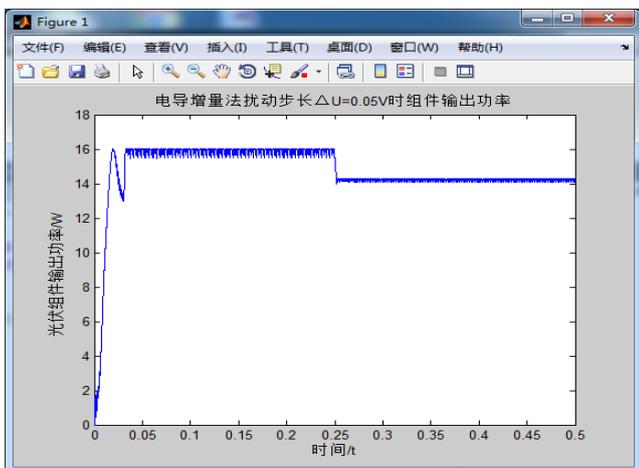


图 7 扰动步长 $\Delta U=0.05V$, S 从 $1000W/m^2$ 到 $900W/m^2$

图9给出了光伏组件输出功率示意图。从图中可以看出,当光伏阵列的每一块光伏组件受到均匀的光照时,其输出功率处在 P_2 点上,对应的工作点电压为 U_2 ,如果这个时候扰动观察法MPPT控制器给光伏阵列的输出端施加某一个值的扰动电压 ΔU 时,光伏阵列的输出电压就会变成 $U_3=U_2+\Delta U$,且在这个时候光伏阵列的输出功率变为了 P_3 ,在扰动观察法MPPT控制器中会

将这一时刻的 P_3 和上一个时刻的光伏阵列输出功率 P_2 进行比较, $P_3 > P_2$ 时, 证明光伏阵列的最大功率点在该点的右侧, 则下一时刻继续施加同一极性的扰动, 直至光伏阵列工作在最大功率点 P_m 上时, 在下一时刻施加的正向扰动就会变成 $P_4 < P_m$, 这就证明最大功率点在该点的左边, 则下一时刻的扰动方向就会改变, 变成 $U_m = U_4 - \Delta U$, 又变回到最大功率点处, 然后系统继续保持上一时刻的极性施加扰动, 那么光伏阵列的工作点电压就会变成 U_3 , 同理, 下一时刻光伏阵列就会回到最大功率点上, 而扰动观察法就是通过这样反反复复的对光伏阵列进行扰动而让光伏阵列工作在最大功率点附近^{[7][8]}。

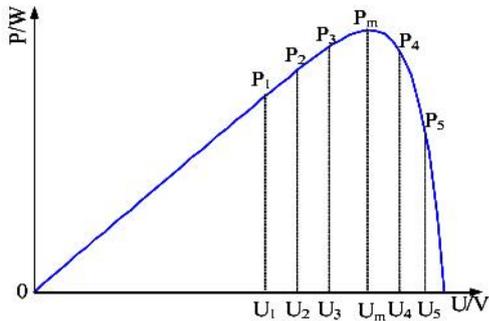


图 9 光伏组件输出功率

算法流程图如图10所示:

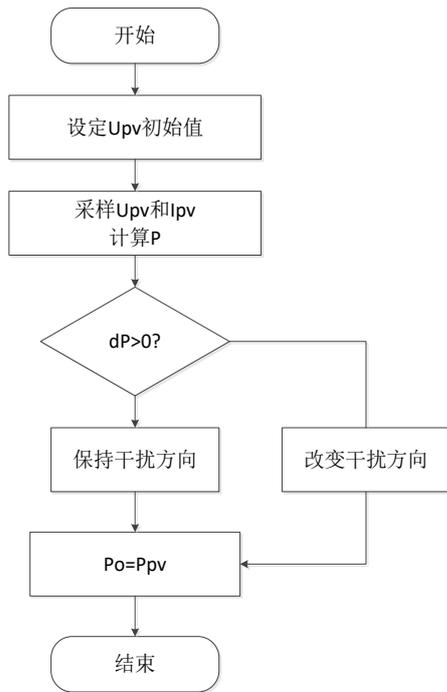


图 10 P&O算法流程图

利用matlab仿真软件对算法进行仿真, 得出的P-U

特征曲线如图11所示。

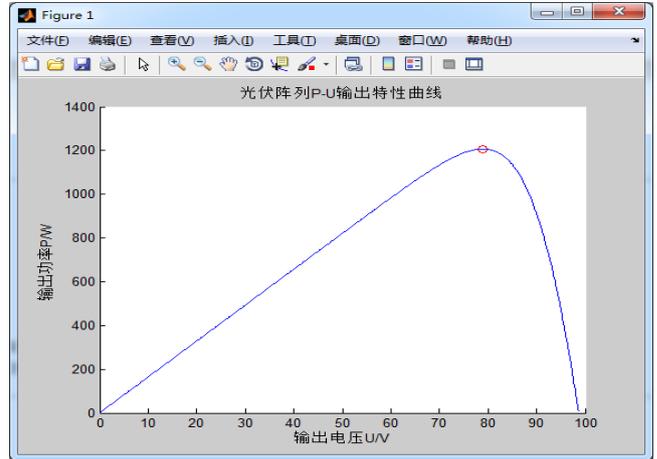


图 11 P-U特性曲线

表1给出了在均匀条件下, P&O算法计算数据与实际数据对比结果。

表 1 P&O算法计算数据与实际数据对比结果

算法跟踪后的数据		实际数据	
P&O_maxP(W)	P&O_voltage(V)	MaxP(W)	Voltage(V)
1207.5	78.91	1207.5	78.94

在均匀条件下, 扰动观察法可以在光伏阵列的单峰MPPT中找到全局最优解。相应的P-U特征曲线如图11所示。

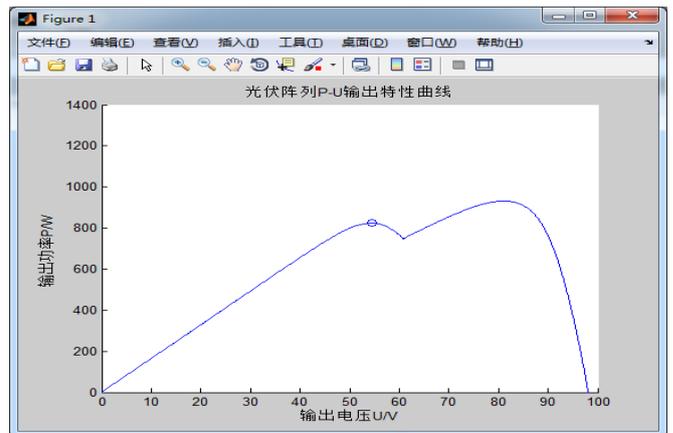


图 12 均匀条件下的P-U特性曲线

表2给出了在局部遮阴条件下, P&O算法计算数据与实际数据对比结果。

表 2 局部遮阴条件下P&O算法计算数据与实际数据对比表

算法数据		实际数据	
P&O_maxP(W)	P&O_voltage(V)	MaxP(W)	Voltage(V)
826.88	54.45	931.90	81.10

在局部阴影 ($S_1=500\text{W}/\text{m}^2$, $S_2=S_3=S_4=S_5=S_6=1000\text{W}/\text{m}^2$) 的条件下, 扰动观察法在多峰值的最大功率点跟踪中陷入了局部最优解的情况。

扰动观察法因为其硬件实现简单, 逻辑易懂等优点, 是被应用得最为广泛的一种光伏阵列MPPT控制算法, 而根据控制方法的不同, 其常分为两种, 一种是基于电压的扰动观察法, 另外一种是基于占空比的扰动观察法。

当扰动步长一定的时候, 扰动的步长越大, 光伏阵列的输出功率就月容易振荡, 这样导致的能量损失也比较多, 下面则利用基于占空比控制的扰动观察法进行仿真比较。

在Simulink中根据算法流程图搭建扰动观察法的MPPT模块如图13所示, 零阶保持器模块的采样周期为0.001, Memory和Memory1分别是存储上一个时间的光伏阵列的电压和功率模块, Memory2为初始电压设置值。常数模块Contant是扰动观察法中的扰动步长 ΔU 。

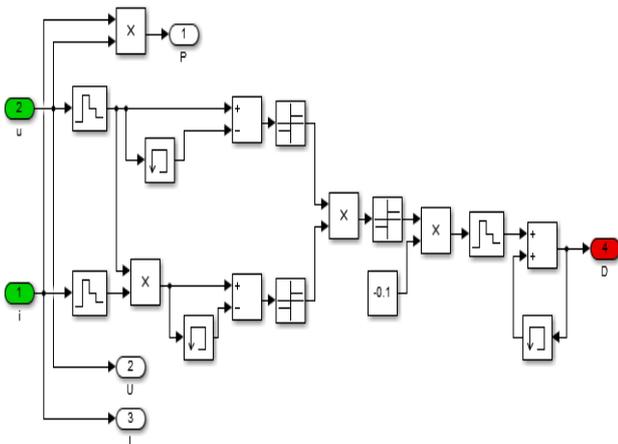


图 13 扰动观察法MPPT控制器仿真

为了仿真的效率, 则对单个光伏组件进行MPPT控制的仿真, 将扰动步长分别设置为0.01, 0.05, 0.1V, 均匀条件下进行仿真, 仿真结果图如图14。

对比上面三张图 (图14、图15、图16) 可以看出, 当设置的扰动步长 ΔU 越大时, 光伏阵列的输出功率振荡也越大, 达到稳定状态的时间也越短, 当设置的扰动步长 ΔU 越小时, 其输出功率振荡也就越小, 达到稳定状态的时间也就越长, 所以为了很好的兼顾两者, 不让振荡太大, 也不让其跟踪时间过长, 就需要选择合适的步长来进行最大功率点的跟踪。

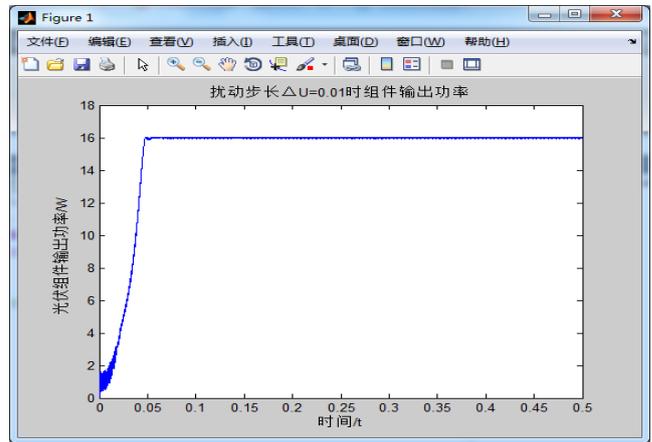


图 14 扰动步长 $\Delta U=0.01\text{V}$ 时组件输出功率

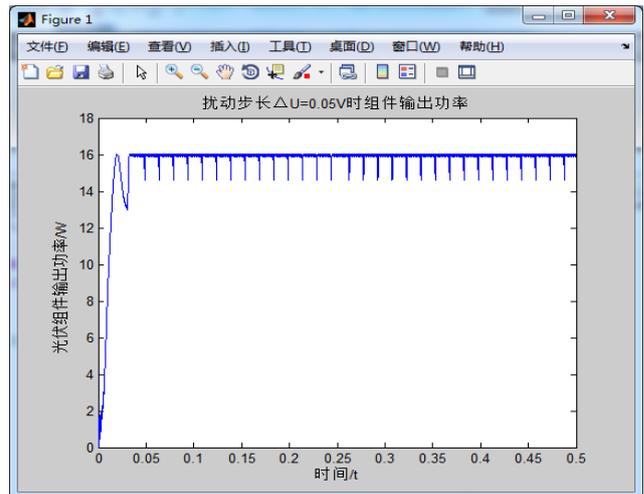


图 15 扰动步长 $\Delta U=0.05\text{V}$ 时组件输出功率

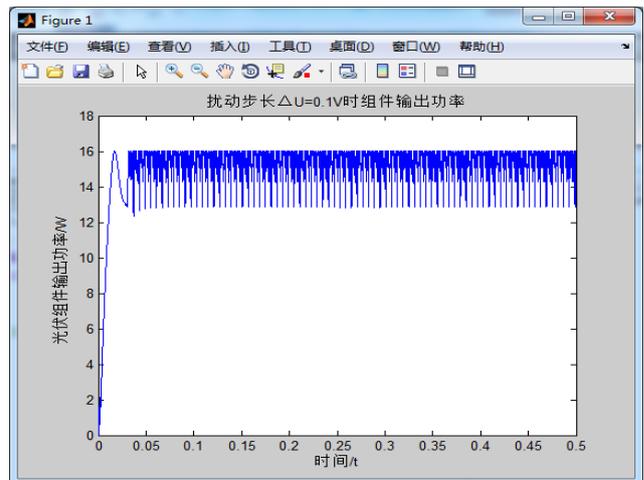


图 16 扰动步长 $\Delta U=0.1\text{V}$ 时组件输出功率

当光伏组件的光照强度从 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 变化到 $900\text{W}/\text{m}^2$ 时, 光伏阵列的输出功率图像如图17、图18、图19所示。

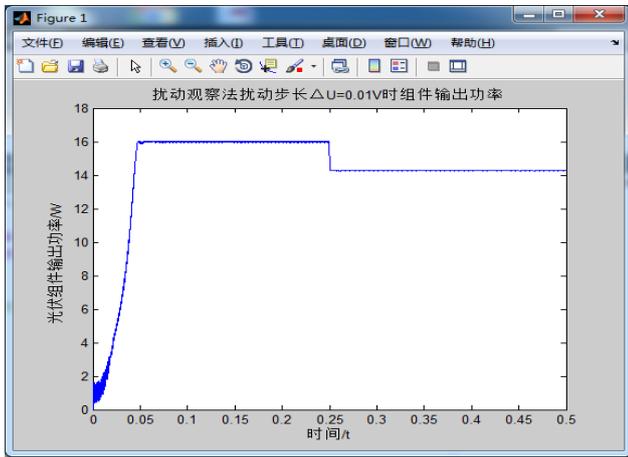


图 17 扰动步长 $\Delta U=0.01V$, S从1000W/m²到900W/m²

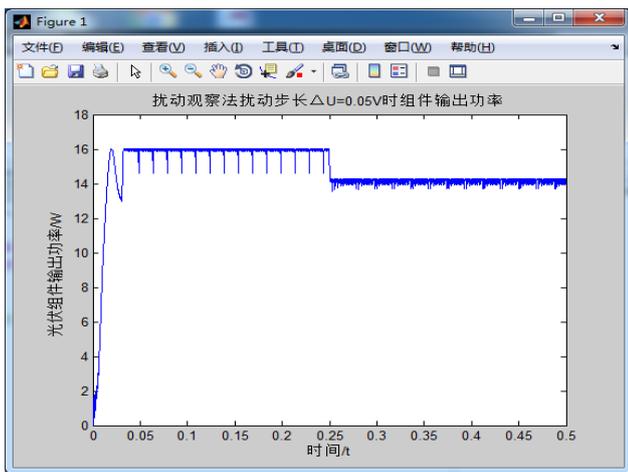


图 18 扰动步长 $\Delta U=0.05V$, S从1000W/m²到900W/m²

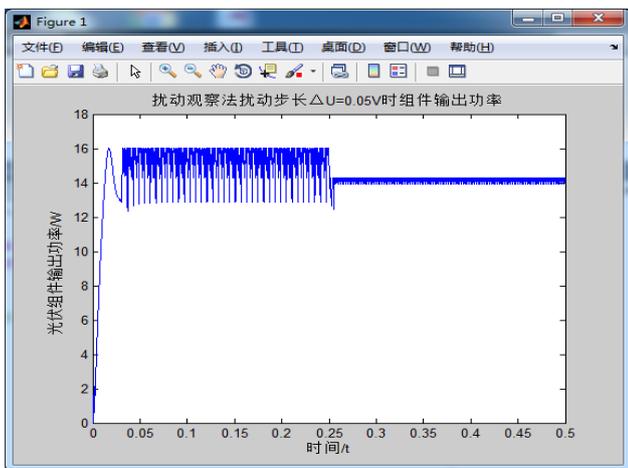


图 19 扰动步长 $\Delta U=0.1V$, S从1000W/m²到900W/m²

从图 19 可以看出,当光照强度从从 1000W/m² 突变到 900W/m² 时,光伏阵列的输出功率图像会存在一个过冲,而这个过冲会给光伏阵列带来功率的损失。

4 结束语

本文对目前流行的单峰值光伏阵列 MPPT 跟踪算法进行了介绍,并且在 Simulink 上分别搭建了电导增量法的 MPPT 控制器和扰动观察法的 MPPT 控制器,利用该控制器实现了光伏阵列的最大功率点跟踪,并由不同的扰动步长和光照强度变化分析了光伏阵列的输出功率,得出了扰动步长的设置影响了光伏阵列最大功率点跟踪的效果和时间,在实际应用中需要很好的兼顾两者来达到一个折中的跟踪效果。

参考文献

- [1] Tey K S., Mekhilef S. Modified incremental conductance MPPT algorithm to mitigate inaccurate responses under fast-changing solar irradiation level[J]. Solar Energy, 2014, 101(1):333-342.
- [2] 姚丰桥, 冯兰刚, 董旭. 太阳能光伏发电投资策略研究[J]. 河北地质大学学报, 2018, 41(05): 74-77.
- [3] 吴启琴, 贾学林, 赵俊霞, et al. 光伏阵列输出特性的研究与分析[J]. 科技创新与应用, 2019(01): 12-16.
- [4] 吴锋, 吕二争, 张同生. 一种基于 Matlab 的光伏电池阵列仿真模型[J]. 自动化应用, 2018, (03): 64-66.
- [5] 王庆磊. 局部阴影条件下光伏系统 MPPT 方法研究[D]. 安徽理工大学, 2018.
- [6] 鄂翔宇, 谭建军, 邹蕾, 等. 基于扰动观察法的光伏 MPPT 改进算法[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 2018, 36(04): 432-436.
- [7] 杨东海, 刘洋, 王毅, 等. 基于二进制蚁群模糊神经网络的光伏系统 MPPT 控制算法研究[J]. 电气工程学报, 2017, 12(06): 41-46.
- [8] 吴玥, 行鸿彦. 基于 SA-BP 神经网络算法的光伏阵列 MPPT 研究[J]. 计算机仿真, 2018, 35(10): 270-273+287.