

# 局部阴影条件下最大功率点跟踪改进算法

孙博,梅军,郑建勇

(东南大学电气工程学院,江苏南京 210096)

**摘要:** 利用 MATLAB 对光伏阵列在不同阴影情况下的输出特性进行仿真,并总结出光伏阵列可能出现局部最大功率点电压与开路电压之间的规律。根据该规律提出改进型电导增量法,将参考电压依次设为可能出现局部最大功率点的电压以避免漏掉任何一个峰值点,并通过比较这些局部最大功率点,追踪到全局最大功率点。设置参考电压阈值以判断是否存在局部最大功率点,减少搜索时间。仿真结果验证了该算法在有、无阴影的情况下都能准确搜索到全局最大功率点。

**关键词:** 光伏电池;局部阴影;全局最大功率点跟踪算法;电导增量法;开路电压

**中图分类号:** TM 615

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.01.020

## 0 引言

光伏发电由于其可再生性、清洁性以及取之不尽、用之不竭等特点,正在发展成为世界能源组成中的重要部分。在光伏发电系统中,光伏电池运行受到外界环境温度、光照强度等因素影响,呈现出典型的非线性特征。在不同的外界条件下,光伏电池可运行在不同且唯一的最大功率点(MPP),为了最大限度地光能转化为电能,应当寻求光伏电池的最优工作点。因此最大功率点追踪(MPPT)技术成为光伏发电系统中的关键技术<sup>[1-2]</sup>。目前国内外已经提出了很多 MPPT 算法,主要有扰动观察法、电导增量法及恒定电压法。然而在光伏阵列被局部遮挡时,由于光伏组件本身和外界环境的不均一性,光伏阵列会呈现出多峰值的特性,这种情况下,传统的 MPPT 算法将会陷入局部最大功率点,从而影响光伏系统的效率<sup>[3]</sup>。针对该问题,主要有 2 种解决的途径:一是采用全局最优化算法的新型算法,二是对传统的 MPPT 算法进行改造。国内,文献[4]采用粒子群优化算法实现全局最大功率点的追踪,文献[5]提出了基于导数等效面积的全局 MPPT 算法,文献[6]采用基于禁忌搜索法的 MPPT 算法。国外,文献[7]采用基于模糊控制的 MPPT 算法;文献[8]采用两步法,但这种方法只能针对双峰值光伏阵列,当光伏阵列出现多峰值的时候,这种方法将会失效。

基于以上分析,光伏阵列多峰值 MPPT 是一个急需解决的问题,为此国内外专家提出了一些新算法,但对于传统 MPPT 算法的改进所做的研究并不多。本文在传统电导增量法的基础上,提出了一种适

用于光伏阵列多峰值的自适应改进算法,根据局部阴影条件下每个功率峰值对应的电压有一定规律可循,将参考电压依次设为可能出现功率峰值对应的电压,这样将保证不会漏掉每一个峰值功率点,最后通过比较这些局部最大功率点,从而追踪到全局最大功率点。同时还提出了一种有效的迭代终止策略,能避免光伏系统在最大功率点处的振荡。最后通过仿真验证了本文算法在统一光照与局部阴影的条件下都能够准确地追踪到全局最大功率点,提高了光伏系统的效率。

## 1 局部阴影条件下光伏阵列输出特性

为了限制局部阴影情况下的热斑效应<sup>[9-10]</sup>,往往会给光伏电池反并联一个旁路二极管。但是旁路二极管的引入,会使光伏阵列的输出呈现多峰值的情况,这将使传统的 MPPT 方法失效。

本文以 4×1 光伏阵列为例,并对每个光伏电池(可等效为电流源)并联一个旁路二极管,结构如图 1 所示。光伏电池参数如下:开路电压为 22.2 V,短路电流为 5.45 A,最大功率点电压为 17.2 V,最大功率点电流为 4.95 A,参考温度为 25 °C,参考光照强度为 1000 W/m<sup>2</sup>。

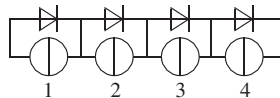


图 1 光伏阵列结构

Fig.1 Configuration of photovoltaic array

现讨论 2 种阴影情况,分析如下。

### a. 阴影情况 1。

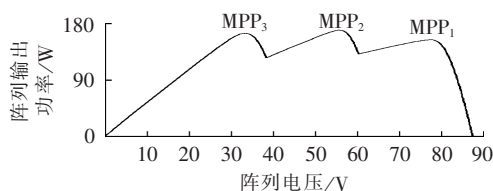
1—4 号光伏电池光照强度分别为 1000 W/m<sup>2</sup>、1000 W/m<sup>2</sup>、600 W/m<sup>2</sup>、400 W/m<sup>2</sup>,其 P-U 曲线见图 2。

由图 2 可以看出,光伏阵列 P-U 特性曲线上出现了 3 个局部最大功率点。此时,光伏阵列的开路电压  $U_{oc-array} = 87.5$  V,光伏电池的开路电压  $U_{oc-module} =$

收稿日期:2012-12-15;修回日期:2013-10-18

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2008-AA052421)

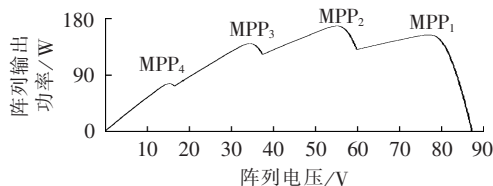
Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)(2008AA-052421)

图 2 阴影情况 1 阵列  $P-U$  曲线Fig.2  $P-U$  curve of photovoltaic array in partial shading condition 1

$U_{oc-array}/4=21.88\text{ V}$ , 3 个局部最大功率点所对应的电压分别为  $U_{MPP1}=78\text{ V}\approx 4\times 0.85U_{oc-module}$ ,  $U_{MPP2}=56\text{ V}\approx 3\times 0.85U_{oc-module}$ ,  $U_{MPP3}=34\text{ V}\approx 2\times 0.85U_{oc-module}$ 。

### b. 阴影情况 2。

1—4 号光伏电池光照强度分别为  $1000\text{ W/m}^2$ 、 $800\text{ W/m}^2$ 、 $600\text{ W/m}^2$ 、 $400\text{ W/m}^2$ , 其  $P-U$  曲线见图 3。

图 3 阴影情况 2 阵列  $P-U$  曲线Fig.3  $P-U$  curve of photovoltaic array in partial shading condition 2

由图 3 可以看出, 光伏阵列  $P-U$  特性曲线上出现了 4 个局部最大功率点。此时, 光伏阵列的开路电压  $U_{oc-array}=87\text{ V}$ , 光伏电池的开路电压  $U_{oc-module}=U_{oc-array}/4=21.75\text{ V}$ , 4 个局部最大功率点所对应的电压分别为  $U_{MPP1}=75\text{ V}\approx 4\times 0.85U_{oc-module}$ ,  $U_{MPP2}=54\text{ V}\approx 3\times 0.85U_{oc-module}$ ,  $U_{MPP3}=34.5\text{ V}\approx 2\times 0.85U_{oc-module}$ ,  $U_{MPP4}=16\text{ V}\approx 0.85U_{oc-module}$ 。

由上述 2 种阴影情况分析可得, 对于  $n\times m$  光伏阵列, 其局部最大功率点最多为  $n$  个, 并且每个局部最大功率点所对应的电压约为  $k\times 0.85U_{oc-module}$  ( $k=1, 2, \dots, n$ ), 这个规律为电导增量法的改进提供了理论基础。

## 2 电导增量法的改进

### 2.1 传统电导增量法

电导增量法<sup>[11-12]</sup>是通过比较光伏电池的瞬时电导和电导的变化量来实现 MPPT。由光伏电池  $P-U$  特性曲线可以看出, 当  $P-U$  曲线是单峰值的情况下, 最大功率点处于顶点, 由此可得:

$$\begin{cases} \frac{dP}{dU}=0 & \text{在最大功率点处} \\ \frac{dP}{dU}>0 & \text{在最大功率点左侧} \\ \frac{dP}{dU}<0 & \text{在最大功率点右侧} \end{cases} \quad (1)$$

其算法原理如图 4 所示。

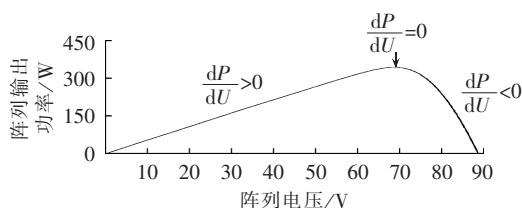


图 4 电导增量法原理

Fig.4 Incremental conductance method

由于在实际系统当中电导增量法需要反复进行微分运算, 对处理器的运算能力要求较高, 因此在实际运行当中通常以  $\Delta P/\Delta U$  代替  $dP/dU$ , 并且用  $\Delta P\Delta U$  代替  $dP/dU$  来判断干扰的方向以减小运算量, 其控制流程图如图 5 所示。

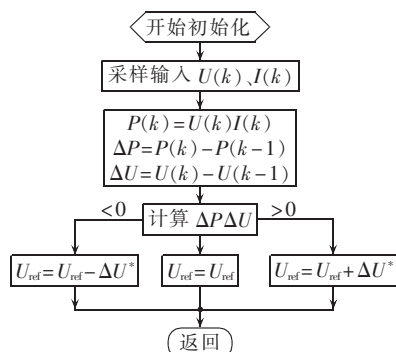


图 5 简化电导增量法流程图

Fig.5 Flowchart of simplified incremental conductance method

### 2.2 自适应变步长电导增量法<sup>[13-15]</sup>

传统的电导增量法通常采用定步长进行 MPPT, 但这种方法存在明显缺陷: 如果步长太小, 则需要更多的时间才能追踪到最大功率点; 如果步长太大, 则系统会在最大功率点处左右振荡。为了提高追踪最大功率点的快速性和准确性, 本文采用了一种自适应变步长的改进算法。步长变化量为:

$$\lambda_{step}=a|\Delta P| \quad (2)$$

其中,  $a$  为调整步长的比例系数,  $\Delta P=P(k)-P(k-1)$ 。为  $|\Delta P|$  设定一个阈值  $b$ , 当  $|\Delta P|<b$  时, 认定系统已经达到最大功率点处, 停止对输出的扰动, 从而避免了系统在最大功率点处的振荡。自适应变步长电导增量法的控制流程图如图 6 所示。

### 2.3 改进型电导增量法

#### 2.3.1 搜索全局最大功率点

由前面分析可知, 当光伏阵列被局部遮挡时, 光伏阵列的输出特性将会出现多峰值的情况。这种情况下, 传统的电导增量法将有可能陷入局部最大功率点, 难以追踪到全局最大功率点, 从而影响系统效率。针对该情况, 本文提出了一种基于电导增量法的改进算法。从第 1 节分析中可以得出, 对于由  $n$  个光伏电池串联组成的光伏组件, 其局部最大功率点最多为  $n$  个, 且每个局部最大功率点所对应的电压约为

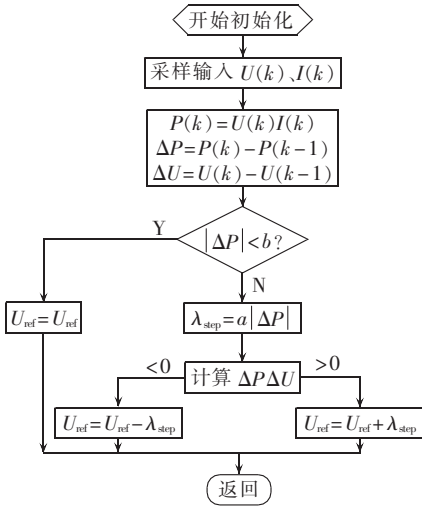


图 6 自适应变步长算法流程图

Fig.6 Flowchart of adaptive variable step algorithm

$k \times 0.85 U_{oc-module} (k=1, 2, \dots, n)$ 。因此,根据这个规律,可将算法中的参考电压  $U_{ref}$  依次设为  $k \times 0.85 U_{oc-module}$ , 为了避免漏掉功率峰值,可将参考电压依次设为  $k \times 0.75 U_{oc-module}$ 。由于光伏阵列是从开路电压开始运行,因此  $k$  从  $n$  开始,即为光伏阵列理论最大功率点处电压。由于光伏组件可能出现的局部最大功率点电压不会超过  $k \times 0.9 U_{oc-module}$ 。因此,为了减少搜索时间,提高系统效率,设定电压阈值为  $k \times 0.9 U_{oc-module}$ , 当电压值超过  $k \times 0.9 U_{oc-module}$  时,说明此时的参考电压附近不存在局部最大功率点,直接将参考电压设为下一个参考值。

改进型电导增量法的具体搜索过程可分为 3 步:

a. 将参考电压设为  $n \times 0.75 U_{oc-module}$ , 系统开始运行时,使用传统电导增量法进行 MPPT,并记录此时的最大功率和电压;

b. 依次将参考电压设为  $(n-1) \times 0.75 U_{oc-module}$ 、 $(n-2) \times 0.75 U_{oc-module}$ 、 $\dots$ 、 $0.75 U_{oc-module}$ , 并与相应的电压阈值进行比较以确定是否存在局部最大功率点,记录每个参考电压搜索过程中的最大功率和对应电压;

c. 比较所记录的所有局部最大功率点,输出全局最大功率。

### 2.3.2 算法重启条件

当阴影情况或光照强度发生变化时,光伏阵列的输出特性也随之发生变化,需要重新启动 MPPT 算法。功率变化量可表示为:

$$\frac{|P(k) - P(k-1)|}{P(k-1)} \quad (3)$$

设定功率变化量阈值  $\Delta P_{tol} = 0.15$ , 当功率变化量大于  $\Delta P_{tol}$  时,表明阴影情况或光照强度发生变化,重新启动 MPPT 算法。改进型电导增量法控制流程图如图 7 所示。

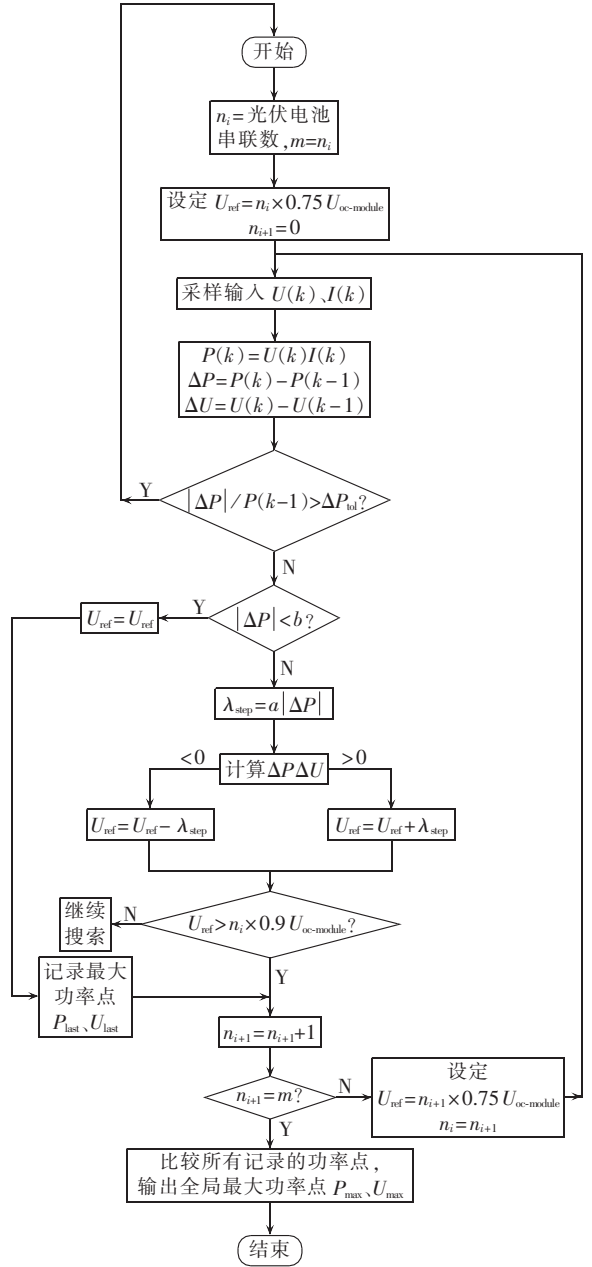


图 7 改进算法流程图

Fig.7 Flowchart of improved algorithm

## 3 仿真分析

MPPT 系统采用基于 Boost 的主电路,系统框图如图 8 所示。光伏电池模型采用并联有旁路二极管模型,光伏电池的具体参数同第 1 节。

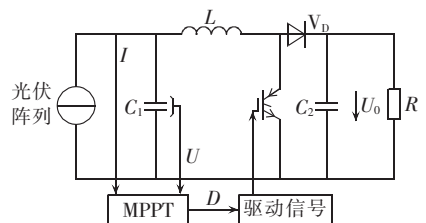


图 8 基于 Boost 的 MPPT 系统

Fig.8 Boost-based MPPT system

Boost 电路占空比  $D$  可表示为:

$$D = 1 - \frac{U}{U_0} \quad (4)$$

其中,  $U$  为光伏阵列电压,  $U_0$  为直流侧电压。

电路仿真参数如下:  $L = 4 \text{ mH}$ ,  $C_1 = 200 \text{ } \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 1000 \text{ } \mu\text{F}$ ,  $R = 50 \text{ } \Omega$ ,  $U_0 = 200 \text{ V}$ 。

### 3.1 无阴影情况下仿真

无阴影情况下, 采用  $4 \times 1$  光伏阵列, 光照强度设定为  $1000 \text{ W/m}^2$ , 光伏阵列的输出特性如图 9 所示, 系统仿真结果如图 10 所示。

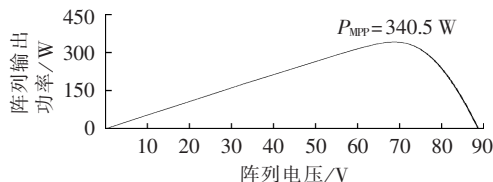


图 9 统一光照下光伏阵列输出特性  
Fig.9  $P$ - $U$  curve of photovoltaic array under uniform illumination

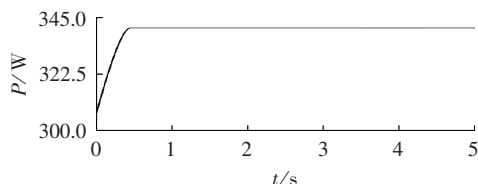


图 10 统一光照下光伏阵列输出功率  
Fig.10 Output power of photovoltaic array under uniform illumination

由图 9 可知, 在无阴影的情况下, 此时光伏阵列的输出特性呈单峰值情况, 最大功率值为  $340.5 \text{ W}$ 。由图 10 可以看出, MPPT 系统能够准确地跟踪到光伏阵列最大功率点。由于采用自适应变步长, 因此系统并无出现在最大功率点处振荡的情况, 使系统具有良好的稳定性。

### 3.2 阴影情况下仿真

为了验证本文所提出的算法能够准确地寻找到阴影情况下光伏阵列的全局最大功率点, 分别对  $4 \times 2$  和  $4 \times 1$  光伏阵列在不同阴影情况下进行仿真验证。

#### a. 阴影情况 1。

光伏阵列模型采用  $4 \times 2$  光伏阵列, 第 1 列光伏组件光照强度为  $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $600 \text{ W/m}^2$ , 第 2 列光伏组件光照强度为  $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $500 \text{ W/m}^2$ 。其输出特性如图 11 所示, 系统仿真结果如图 12 所示。

由图 11 可知, 在阴影情况 1 下, 光伏阵列输出特性呈双峰值情况, 全局最大功率值为  $504.8 \text{ W}$ 。由图 12 可以看出, 系统在  $0.9 \text{ s}$  内完成全部搜索过程, 在寻优过程中系统搜索到 2 个局部最大功率点, 系统在完成搜索过程后比较 2 个局部最大功率点以确定全局最大功率点。

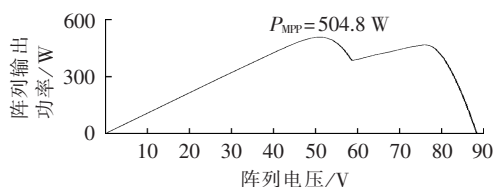


图 11 阴影情况 1 阵列  $P$ - $U$  曲线  
Fig.11  $P$ - $U$  curve of photovoltaic array in partial shading condition 1

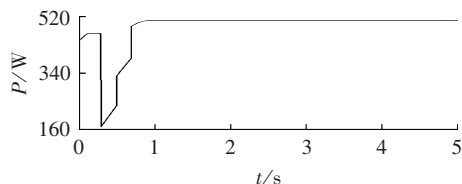


图 12 阴影情况 1 阵列输出功率  
Fig.12 Output power of photovoltaic array in partial shading condition 1

#### b. 阴影情况 2。

光伏阵列模型采用  $4 \times 1$  光伏阵列, 光照强度分别为  $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $800 \text{ W/m}^2$ ,  $400 \text{ W/m}^2$ 。光伏阵列的输出特性如图 13 所示, 系统仿真结果如图 14 所示。

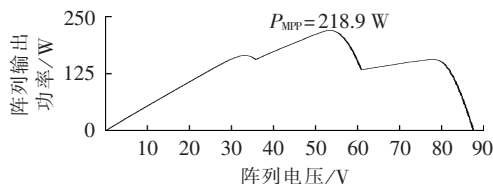


图 13 阴影情况 2 阵列  $P$ - $U$  曲线  
Fig.13  $P$ - $U$  curve of photovoltaic array in partial shading condition 2

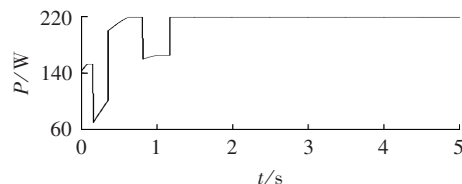


图 14 阴影情况 2 阵列输出功率  
Fig.14 Output power of photovoltaic array in partial shading condition 2

由图 13 可知, 在阴影情况 2 下, 光伏阵列输出特性呈 3 个峰值情况, 全局最大功率值为  $218.9 \text{ W}$ 。由图 14 可以看出, 在搜索过可能出现峰值处的工作点后, MPPT 系统在  $1.2 \text{ s}$  时准确跟踪到全局最大功率点。

### 3.3 传统电导增量法多功率峰值仿真

为了验证本文所提出改进型算法的有效性, 用传统电导增量法对上述 2 种阴影情况进行仿真对比, 仿真结果如图 15、图 16 所示。

由图 15、16 可以看出, 由于光伏阵列通常都是从开路电压开始工作, 所以传统电导增量法只能追踪到最接近开路电压的最大功率点。因此, 在光照情况

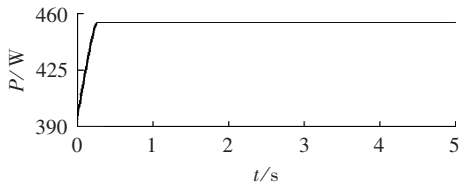


图 15 阴影情况 1 传统电导增量法输出功率  
Fig.15 Output power of photovoltaic array in partial shading condition 1 by traditional incremental conductance

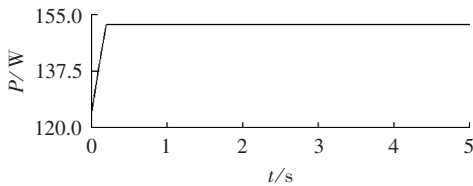


图 16 阴影情况 2 传统电导增量法输出功率  
Fig.16 Output power of photovoltaic array in partial shading condition 2 by traditional incremental conductance

复杂多变的实际情况中,传统电导增量法将会大幅降低系统的效率。

通过对 2 种规模的光伏阵列在不同阴影条件下的仿真结果可以得出本文所提出的改进算法对于任意规模的光伏阵列在不同阴影条件下皆可适用。

## 4 结论

本文分析了多种阴影情况下光伏阵列的输出特性,仿真结果表明,光伏阵列局部最大功率点处的工作电压与光伏电池的开路电压呈现出一定规律。本文根据该规律对传统的电导增量法进行改进,将参考电压依次设为可能出现局部最大功率点的相应电压以避免漏掉任何一个峰值点,并设置了参考电压阈值以判断是否存在局部最大功率点,减少了搜索时间,搜索过程仍然沿用传统自适应变步长电导增量法。最后,比较搜索到的所有局部最大功率点,输出全局最大功率。

本文所提出的改进算法相对于传统电导增量法能够在无阴影和局部阴影情况下都能准确地搜索到全局最大功率点,提高了光伏系统效率。

## 参考文献:

- [1] 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,2008,34(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,2008,34(6):1145-1154.
- [2] KOIZUMI H,KUROKAWA K. A novel maximum power point tracking method for PV module integrated converter[C]//IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference,2005. New Jersey, USA:[s.n.],2005:2081-2086.
- [3] MASOUM A S,PADOVAN F,MASOUM M A S. Impact of par-

- tial shading on voltage- and current-based maximum power point tracking of solar modules[C]//Power and Energy Society General Meeting,2010. Minneapolis,MN,USA:[s.n.],2010:1-5.
- [4] 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 Xinchun,DAN Yangqing,et al. Application of PSO algorithm in global MPPT for PV array[J]. Proceedings of the CSEE,2012,32(4):42-48.
- [5] 胡义华,陈昊,徐瑞东,等. 阴影影响下最大功率点跟踪控制[J]. 中国电机工程学报,2012,32(9):14-26.  
HU Yihua,CHEN Hao,XU Ruidong,et al. Maximum power point tracking under shadowed conditions[J]. Proceedings of the CSEE,2012,32(9):14-26.
- [6] ZHENG Yifei,WEI Chun,LIN Shaobo. A maximum power point tracking method based on tabu search for PV systems under partially shaded conditions[C]//IET Conference on Renewable Power Generation,2011. Edinburgh,UK:[s.n.],2011:52-56.
- [7] CHIN C S,TAN M K,NEELAKANTAN P,et al. Optimization of partially shaded PV array using fuzzy MPPT[C]//IEEE Colloquium on Humanities,Science and Engineering,2011. Penang, Malaysia:[s.n.],2011:481-486.
- [8] KOBAYASHI K,TAKANO I,SAWADA Y. A study on a two stage maximum power point tracking control of a photovoltaic system under partially shaded insolation conditions[C]//IEEE Power Engineering Society General Meeting,2003. Toronto,Ont,Canada:[s.n.],2003:2612-2617.
- [9] 刘邦银,段善旭,康勇. 局部阴影条件下光伏模组特性的建模与分析[J]. 太阳能学报,2008,29(2):188-192.  
LIU Bangyin,DUAN Shanxu,KANG Yong. Modeling and analysis of characteristics of PV module with partial shading[J]. Acta Energetica Solaris Sinica,2008,29(2):188-192.
- [10] 杨仲江,蔡然,徐彬彬. 光伏电站防雷装置与热斑效应分析[J]. 电气应用,2012(1):82-85.  
YANG Zhongjiang,CAI Ran,XU Binbin. Lightning protection device and hot spot effect analysis of photovoltaic power station[J]. Electrotechnical Application,2012(1):82-85.
- [11] HUSSEIN K H,MUTA I,HOSHINO T,et al. Maximum photovoltaic power tracking:an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions[J]. IEE Proceedings-Generation,Transmission and Distribution,1995,142(1):59-64.
- [12] 赵争鸣,陈剑,孙晓瑛. 太阳能光伏发电最大功率点跟踪技术[M]. 北京:电子工业出版社,2012:68-71.
- [13] 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,2011:219-224.
- [14] LIU Fangrui,DUAN Shanxu,LIU Fei,et al. A variable step size INC MPPT method for PV systems[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics,2008,55(7):2622-2628.
- [15] 栗秋华,周林,刘强,等. 光伏并网发电系统最大功率跟踪新算法及其仿真[J]. 电力自动化设备,2008,28(7):21-25.  
LI Qiuhua,ZHOU Lin,LIU Qiang,et al. Simulative research of MPPT for photovoltaic power system[J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(7):21-25.
- [16] 彭会锋,孙建平,曹相春,等. 基于功率占空比微分曲线的光伏系统 MPPT 算法[J]. 电力自动化设备,2013,33(6):124-127.  
(下转第 127 页 continued on page 127)

率预测[J]. 电力系统自动化,2010,34(16):78-82.

WANG Caixia, LU Zongxiang, QIAO Ying, et al. Short-term wind power forecast based on non-parametric regression model [J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(16): 78-82.

[30] 陈颖, 周海, 王文鹏, 等. 风电场输出功率超短期预测结果分析与改进[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(15): 30-33.

CHEN Ying, ZHOU Hai, WANG Wenpeng, et al. Improvement of ultra-short-term forecast for wind power [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(15): 30-33.

[31] 林卫星, 文劲宇, 艾小猛, 等. 风电功率波动特性的概率分布研究[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(1): 38-46.

LIN Weixing, WEN Jinyu, AI Xiaomeng, et al. Probability density function of wind power variations [J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(1): 38-46.

#### 作者简介:



崔明建

崔明建(1987-),男,河北衡水人,博士研究生,研究方向为风电功率预测与控制等(E-mail:mj\_cui@whu.edu.cn);

孙元章(1954-),男,湖南岳阳人,教授,博士研究生导师,主要研究方向为电力系统分析与控制等(E-mail:yzsun@tsinghua.edu.cn);

柯德平(1983-),男,湖北黄石人,讲师,博士,主要从事电力系统分析与控制等方面的研究工作(E-mail:ee-dp.ke@connect.polyu.hk);

王树鹏(1987-),男,河北衡水人,硕士研究生,研究方向为模式识别等(E-mail:wangshupeng728@126.com)。

## Short-term wind power forecasting based on atomic sparse decomposition theory

CUI Mingjian<sup>1</sup>, SUN Yuanzhang<sup>1</sup>, KE Deping<sup>1</sup>, WANG Shupeng<sup>2</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. School of Mathematics and Physics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** ASD (Atomic Sparse Decomposition), which has excellent ability to track and forecast unstable signal, is applied as the pre-decomposition of ANN (Artificial Neural Network) to decompose the wind power series into atomic component and residual component. The former is self-forecasted while the latter is forecasted by ANN. The latest real-time data of wind power are added to update the result of ASD for forecasting the wind power of next instant. The model is verified by the practical data of a wind farm, which shows that, the instability of wind power is effectively dealt with to produce more sparse decomposition effect, significantly reducing the statistical intervals of absolute mean error and root mean square error.

**Key words:** wind power; forecasting; atomic sparse decomposition; ANN; models

(上接第 119 页 continued from page 119)

PENG Huifeng, SUN Jianping, CAO Xiangchun, et al. MPPT algorithm based on power duty cycle differential characteristic curve for photovoltaic system [J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(6): 124-127.

[17] 唐磊, 曾成碧, 徐伟, 等. 一种新颖的光伏自适应变步长最大功率点跟踪算法[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(11): 128-133.

TANG Lei, ZENG Chengbi, XU Wei, et al. Variable-step adaptive MPPT algorithm for photovoltaic system [J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(11): 128-133.

[18] 尤鋈, 郑建勇. 基于模糊 PI 调节 Boost 电路的光伏系统最大功率点跟踪控制[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(6): 94-98.

YOU Jun, ZHENG Jianyong. MPPT of photovoltaic system with

Boost circuit based on fuzzy PI control [J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(6): 94-98.

#### 作者简介:



孙博

孙博(1987-),男,江苏徐州人,博士研究生,主要研究方向为电力电子与电力传动(E-mail:sb16897168@sina.com);

梅军(1971-),男,江苏淮安人,副教授,主要研究方向为电力电子与电力传动;

郑建勇(1966-),男,江苏南京人,教授,博士研究生导师,主要研究方向为电力电子与电力传动。

## Improved MPPT method under partial shading conditions

SUN Bo, MEI Jun, ZHENG Jianyong

(College of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** The output characteristics of photovoltaic array under different partial shading conditions are simulated with MATLAB and the relationship between the voltage of probable local maximum power point and the open circuit voltage of photovoltaic array is summarized, according to which, an improved incremental conductance method is proposed. It sets the voltage of probable partial maximum power point as the reference voltage successively to prevent any peak point missing and compares the local maximum power points to track the global maximum power point. The reference voltage threshold is set to detect the local maximum power point for reducing the searching time. Simulative results verify that the proposed method can accurately find out the global maximum power point under both none and partial shading conditions.

**Key words:** photovoltaic cells; partial shading; global MPPT algorithm; incremental conductance; open circuit voltage