

# 光伏系统 MPPT 的扰动观测法分析与改进

杭凤海<sup>1</sup>, 杨伟<sup>2</sup>, 朱文艳<sup>2</sup>

(1. 江苏省连云港供电公司, 江苏 连云港 222004; 2. 南京理工大学自动化学院, 江苏 南京 210094)

**摘要:** 在光伏并网发电的过程中需要对光伏电池的最大功率点进行跟踪控制, 来使得电池的利用率最高, 提高发电效率。分析了 MPPT 的基本扰动观测法的原理, 并且分析它的优缺点。在此基础之上提出了一种改进算法, 添加对爬坡斜率的再判断, 作为变步长交界点的判断依据, 结合电导增量算法思想, 运用变步长弱振荡的方法对光伏电池的最大功率点进行跟踪控制。最后通过仿真进行了验证, 结果表明: 该改进算法跟踪更稳定, 消除了系统振荡, 提高了精度, 动态响应更好。  
**关键词:** 光伏发电; 最大功率跟踪控制; 变步长; 扰动观测法; 电导增量; 弱振荡

## Analysis and improvement of MPPT disturbance observer method for PV system

HANG Feng-hai<sup>1</sup>, YANG Wei<sup>2</sup>, ZHU Wen-yan<sup>2</sup>

(1. Lianyungang Power Supply Company, Lianyungang 222004, China;

2. School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** In the photovoltaic power generation process, the maximum power point of photovoltaic cell requires tracking control, which aims to improve the battery utilization and power generation efficiency. The principle of the fundamental disturbance observer method is analyzed, as well as its advantages and disadvantages. And then, an improved algorithm is proposed by adding a re-judgment of the climbing slope, which is considered to be the criterion for junction point of variable step size. Combining with the incremental conductance algorithm, the maximum power point of photovoltaic cell is tracked and controlled by using the variable step and weak oscillation method. Finally, the simulation results show the correctness of this algorithm. The results show that the improved tracking algorithm is more stable, and eliminates the oscillation and improves the accuracy. The dynamic response is better.

**Key words:** PV; maximum power tracking control; variable step size; disturbance observer method; incremental conductance; weak oscillation

中图分类号: TM914.4 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)09-0110-05

## 0 引言

光伏发电的随机性源于影响光伏电池输出特性的不可控因素较多, 光伏电池属于极其复杂的非线性发电装置, 光伏电池的输出时时刻刻都在变化<sup>[1-3]</sup>。为了实现光伏系统的功率输出最大, 需对光伏电池的最大功率点进行跟踪。目前最大功率点跟踪 (Maximum Power Point Tracking, 简称 MPPT) 的方法有很多, 如扰动观测法、恒定电压法、模糊控制法、电导增量法等<sup>[4-5]</sup>。无论哪一种方法, 本身都存在一定的优缺点, 通常需要结合成本和供电质量要求酌情考虑选择合适的方法<sup>[6-10]</sup>。

论文以光伏电池为研究对象, 分析基于扰动观测的 MPPT 算法的优缺点。为了使其跟踪更稳定, 动态响应更好, 提出了利用变步长弱振荡来跟踪控制最大功率点的方法, 并对其进行了仿真研究, 结果

表明这种方法具有更好的稳定性。

## 1 基本的扰动观测法

MPPT 的实现实质上是一个自寻优过程, 即通过控制端电压或其他物理量, 使光伏电池能在各种不同的日照和温度环境下智能化地输出最大功率  $P_m$ 。扰动观察法的原理如图 1 所示。

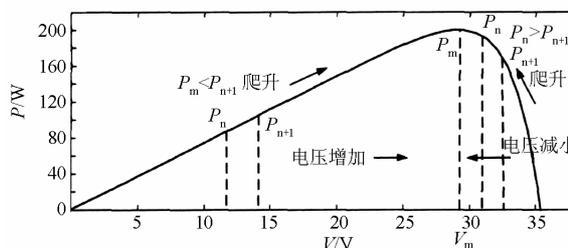


图 1 基本的扰动观测法原理图

Fig. 1 Schematic of basic disturbance observer method

扰动观测法的原理为：光伏电池初设定工作在某一参考电压  $V_{ref}$  下，并为该参考电压假定一变化方向和较小的步长，然后使输出电压按假定方式变化。如图 1 所示，在最大功率点左侧未达到最大功率点时，有两种情况：a. 假设参考电压被判定右移，此时的  $\Delta P$  为正值，接近最大功率点，参考电压应该继续正向右移；b. 若参考电压被判定左移，此时的  $\Delta P$  为负值，远离最大功率点，参考电压应该反向移动，以进一步接近最大功率点。同样的，在最大功率点的右侧，同样可以分析出两种情况，与左侧相类似。通过这样不断地检测当前时刻光伏电池输出功率的变化，确定下一时刻输出电压的变化方向。基本的扰动观测法流程图如图 2 所示。

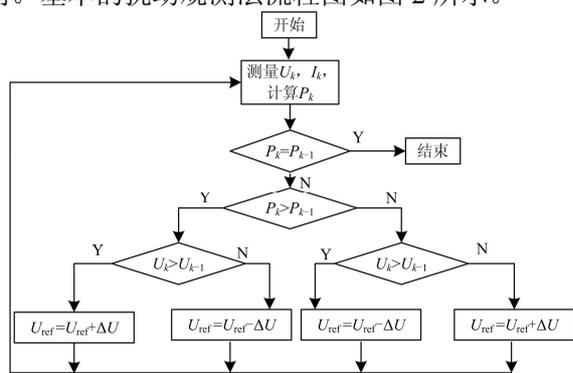


图 2 基本的扰动观测法流程图

Fig. 2 Flow chart of basic disturbance observer method

这种方法控制相对简单方便，对参数的精度的要求不是很高，只要外界环境变化不是过于剧烈，一般情况下都可以保证探寻到最大功率点。但是，采样步长的选择和跟踪时间的消耗永远存在矛盾状态。采样步长小，可以提高精度，但相对要花更多的时间；相反，采用较大步长，提高了速度，却相对的牺牲了 MPPT 精度，此时扰动观测法另一个缺陷就会被放大，因为当将要跟踪到最大功率点时，电压很难恰好定位到最高点，当初始参考电压值的选择和步长配合不到位时，使得最终的每次扰动都是在最高点两侧来回运动时，必然会波动，较大的步长会使波纹较大。

## 2 改进算法

对于上述扰动法，传感器即时采样某时刻  $k$  时的电压值  $V(k)$  和电流值  $I(k)$ ，两者相乘可得该时刻输出功率  $P(k) = V(k) \cdot I(k)$ ，而上一时刻的输出功率为  $P(k-1)$ ，两者对比就能决定下一步电压变化方向。不管方向如何，上述扰动观测法采用单一步长，速率和精度相互牵制。

针对扰动观测法的缺点，结合电导增量算法思想，可以采用变步长弱振荡扰动观测法，其算法流程图如图 3 所示。

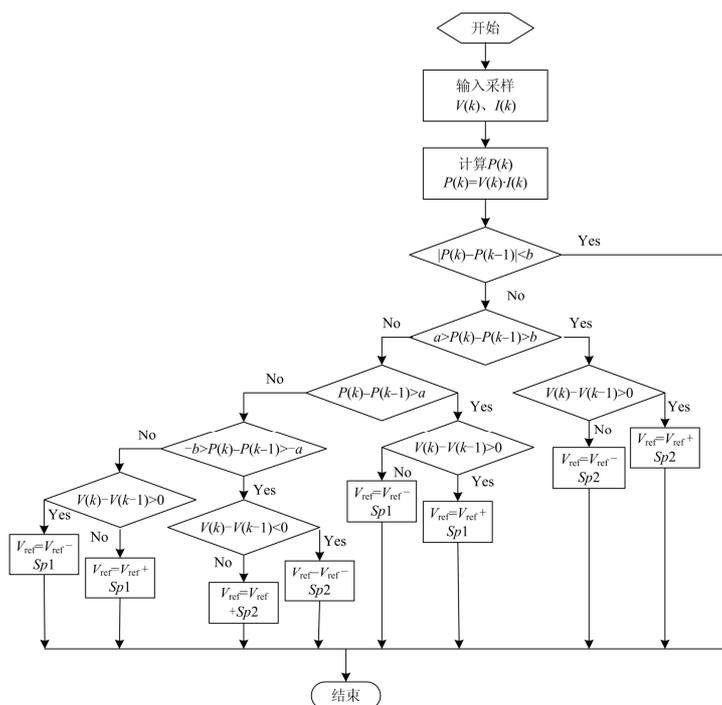


图 3 变步长弱振荡扰动观测法算例流程图

Fig. 3 Flow chart of variable step weak oscillation disturbance observer method

由图 3 可知：无论当下的功率点位于最大功率点左侧还是右侧，随着输出功率越来越接近最大功率点，PV 曲线的斜率逐渐呈减小趋势，其斜率为  $dP/dV$ ，这正是电导增量法的基本思想。所以借用其思想，在基本扰动观测法的基础上，添加对爬坡斜率的再判断，作为变步长交界点的判断依据。采用两级变速方式实现 MPPT：第一级步长  $Sp1$  适当较大，用以快速接近最大功率点附近区域，减少搜索时间；第二级步长  $Sp2$  适当较小，用以高精度逼近最大功率点。

### 3 仿真结果比较分析

#### 3.1 扰动观测法仿真分析

在标准状况下： $T = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ， $S = 1000\text{ W/m}^2$ ，分别取步长 0.000 5 和 0.002，采用基本扰动观测法进行仿真分析，其仿真结果如图 4 和图 5 所示。

由图 4 可知：系统实现 MPPT 所需时间约为 0.44 s，输出功率、电流、电压均有不错的精度，但是由于扰动观测法的固有缺陷，输出电压和输出电流在最大功率点附近还是存在一定的波动，其值在允许波动范围之内。

由图 5 可知：由于步长增大，系统很快就实现了 MPPT，所需时间仅约为 0.12 s，但输出功率和升压后的电压值开始出现细小小波纹，精度有所降低了，输出电流、电压更是出现了比较明显的振荡，其幅度较大，输出电能质量整体下降，不利于后级逆变器控制系统设计。

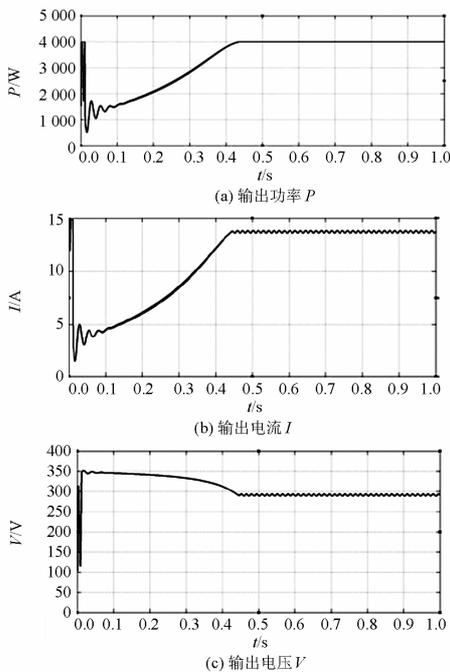


图 4 步长为 0.000 5 时仿真结果图

Fig. 4 Simulation results when the step size is 0.000 5

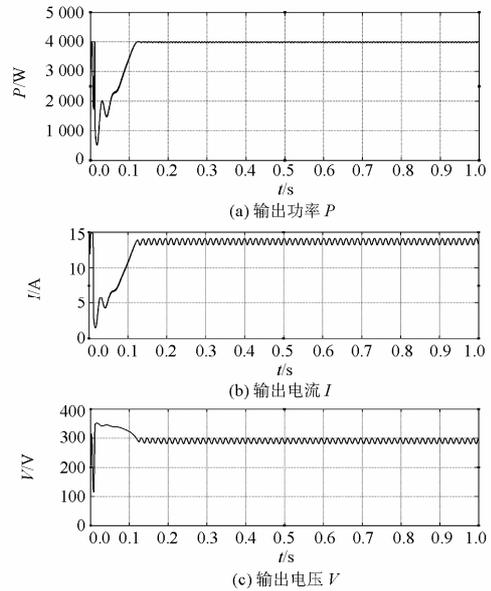


图 5 步长为 0.002 时仿真结果图

Fig. 5 Simulation results when the step size is 0.002

#### 3.2 改进的变步长弱振荡方法仿真分析

采用改进后的变步长弱振荡扰动观测法，一级步长就采用 0.002，以期获得较快跟踪速度，二级步长采用 0.0005，以获取更高精度，其仿真结果如图 6 所示。

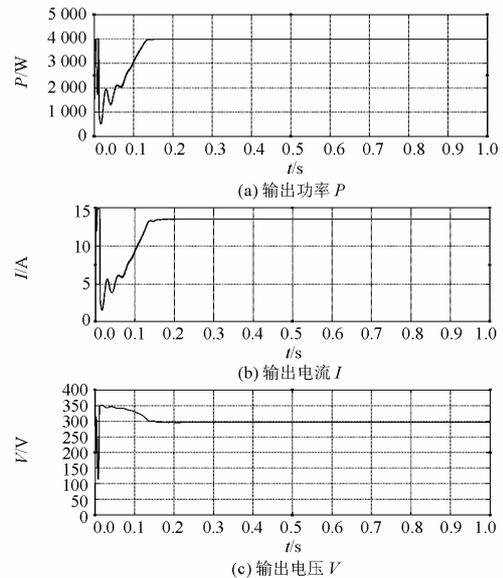


图 6 变步长弱振荡法仿真结果图

Fig. 6 Simulation results of variable step weak oscillation disturbance observer method

由图 6 可知：系统以较快的速度实现了 MPPT，时间约为 0.16 s，由于二级步长采用了较小的值，

因此至少与直接采用步长 0.000 5 具有相同的精度。此外, 由于采用了弱振荡措施, 光伏电池输出电流电压的波动被大幅度削弱, 由于弱振荡参数的选择原理, 保证了经过此技术处理后各参数的误差极小, 几乎同处理前的稳定平均值一样, 所以在标准状态下, 改进后的扰动观测法具有更高的性能。

### 3.3 环境变化时改进方法仿真分析

设定初始环境状态为标准状况下, 保持光强不变,  $t = 0.3 \text{ s}$  时, 外界温度升高至  $T_1 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t = 0.6 \text{ s}$  时, 外界温度降低为  $T_2 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 然后保持环境温度为  $T_2 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$  不变,  $t = 0.9 \text{ s}$  时, 光强增加为  $S_3 = 1200 \text{ W/m}^2$ ;  $t = 1.2 \text{ s}$  时, 光强减弱为  $S_4 = 900 \text{ W/m}^2$ 。仿真结果如图 7 所示。

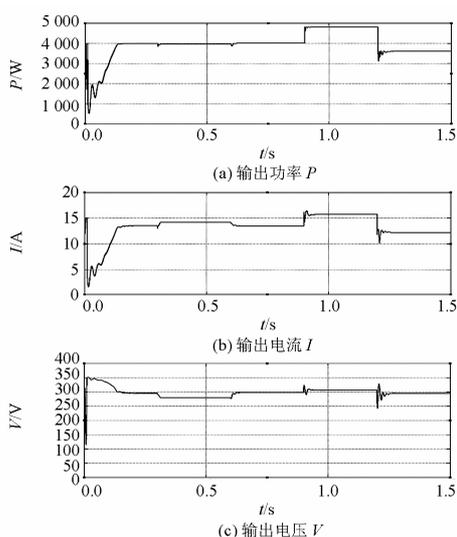


图 7 环境变化时变步长法仿真结果图

Fig. 7 Simulation results of variable step method when the environment changes

如图 7 (a) 所示, 当温度上升时,  $P_m$  有所减少; 而当温度回落时,  $P_m$  上升; 由于温度变化量有限, 其功率波动不大。当光照强度增强时,  $P_m$  明显增加; 而当光照强度减弱时  $P_m$  会大幅下跌, 转化过程中会出现一定振荡; 光照强度的骤增骤减对最大输出功率有较大的影响。

如图 7 (b) 所示, 最大输出电流  $I$  同步跟着环境温度升降而增减, 随着光照强度的强弱而增减, 同样的, 输出电流  $I$  对于光照强度的敏感度更高。

如图 7 (c) 所示, 最大输出电压  $V$  随着环境温度以及光照强度的变化同最大输出功率一致, 光强变化时, 尤其是光强大幅度降低时, 最大输出电压受影响较大。

结合图 7 三张图同时分析, 改进后的扰动观测法在环境条件变化时仍体现了较好的 MPPT 性能, 能够随着环境变化较为快速而又稳定的实现 MPPT。

## 4 结论

论文研究了 MPPT 的基本扰动观测法, 针对其两方面的固有缺陷, 提出了变步长弱振荡扰动观测法。通过仿真进行了验证, 主要结论如下:

(1) 基本的扰动观测法存在缺陷: 当步长较大时, 跟踪精度不好, 电压及电流稳定性不好; 当步长较小时, 达到 MPPT 时间较长。

(2) 改进后的扰动观测法的确能够减少稳定时间, 增加稳定精度, 削弱稳定扰动, 有较好的输出特性, 针对环境变化响应快, 最大功率跟踪特性好。

## 参考文献

- [1] 赵争鸣, 刘建政, 孙晓瑛, 等. 太阳能光伏发电及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.  
ZHAO Zheng-ming, LIU Jian-zheng, SUN Xiao-ying, et al. Solar power photovoltaic generation and its applications[M]. Beijing: Science Press, 2005.
- [2] 王长贵, 崔容强. 新能源发电技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.  
WANG Chang-gui, CUI Rong-qiang. New energy generation technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2003.
- [3] 刘立群, 王志新, 顾临峰. 基于改进模糊法的分布式风光互补发电系统 MPPT 控制[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(15): 70-76.  
LIU Li-qun, WANG Zhi-xin, GU Lin-feng. MPPT control based on improved fuzzy method for distributed hybrid wind-solar power generating systems[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(15): 70-76.
- [4] 杨旭, 曾成碧, 陈宾. 基于广义动态模糊神经网络的光伏电 MPPT 控制[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(13): 22-26.  
YANG Xu, ZENG Cheng-bi, CHEN Bin. MPPT control of photovoltaic cells based on generalized dynamic fuzzy neural network[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(13): 22-26.
- [5] 方波, 白政民. 基于 FB-PS-PWM 软开关技术的光伏

- 发电 MPPT 研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(6): 72-82.
- FANG Bo, BAI Zheng-min. Research of MPPT in PV system based on FB-PS-PWM ZVS soft-switching technology[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(6): 72-82.
- [6] 李小燕, 王新. 光伏并网发电系统的 MPPT 改进算法及其在光照突变时的仿真[J]. 能源技术, 2009, 30(5): 272-275, 279.
- LI Xiao-yan, WANG Xin. The MPPT improved algorithm and simulation under changing irradiance of grid-connected PV systems[J]. Energy Technology, 2009, 30(5): 272-275, 279.
- [7] 秦岭, 谢少军, 杨晨. 光伏电池与前置电容式电流型 MPPT 变换器的接口稳定性研究[J]. 电工技术学报, 2013, 28(5): 135-142.
- QIN Ling, XIE Shao-jun, YANG Chen. Interface stability of photovoltaic cells and current-fed MPPT converter adding input capacitor[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(5): 135-142.
- [8] 傅望, 周林, 郭珂, 等. 太阳能电池工程用数学模型研究[J]. 电工技术学报, 2011, 26(10): 211-216.
- FU Wang, ZHOU Lin, GUO Ke, et al. Research on engineering analytical model of solar cells[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(10): 211-216.
- [9] 郑必伟, 蔡逢煌, 王武. 一种单级光伏并网系统 MPPT 算法的分析[J]. 电工技术学报, 2011, 26(7): 90-96.
- ZHENG Bi-wei, CAI Feng-huang, WANG Wu. Analysis and research of MPPT algorithm for a single-stage PV grid-connected power generation system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(7): 90-96.
- [10] 周卫, 张尧. 分布式发电对配电网继电保护的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(3): 1-5.
- ZHOU Wei, ZHANG Yao. Effect of distributed generation on relay protection of distribution system[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(3): 1-5.

---

收稿日期: 2013-07-15; 修回日期: 2013-09-17

作者简介:

杭凤海(1964-), 男, 本科, 高级工程师, 主要研究方向为地区电力系统经济调度分析、变电站仿真系统的开发和应用等;

杨伟(1965-), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向为电力系统分析与控制;

朱文艳(1990-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统分析与控制。E-mail: zwy7154@163.com