

doi: 10.3969/j.issn.1007-2861.2011.03.006

# 改进型变步长光伏最大功率点快速跟踪

王义飞, 吴伟, 张峰华, 徐悦

(上海大学理学院, 上海 200444)

**摘要:** 介绍硅太阳能电池 Matlab/Simulink 仿真模型, 通过该模型得到太阳能电池模型的输出特性曲线和最大功率点跟踪(maximum power point tracking, MPPT)曲线; 其次介绍 MPPT 原理, 对传统的扰动观察(perturbation and observation, P&O)法进行研究, 提出一种基于功率斜率曲线的判断标准. 基于改进的变步扰动法, 利用 Matlab/Simulink 工具, 建立相应的电池控制模块, 最后给出仿真曲线. 该方法能够适应光强和温度的快速变化, 快速跟踪最大功率点, 比传统的扰动观察法更好地满足跟踪速度和跟踪稳定性的要求.

**关键词:** 光伏; 最大功率点跟踪; 变步长; Matlab/Simulink

中图分类号: TP 331

文献标志码: A

文章编号: 1007-2861(2011)03-0249-04

## Modified Variable Step Algorithm of Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic System

WANG Yi-fei, WU Wei, ZHANG Hao-hua, XU Yue  
(College of Sciences, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

**Abstract:** Computer simulation for the silicon solar cells is established using Matlab/Simulink. The output characteristics and maximum power point tracking (MPPT) curve are calculated. A new criterion based on the traditional perturbation and observation (P&O) method is given, with which a control module of solar cells is designed. Simulation results indicate that this module can adapt to the rapid changes in temperature and light, track the maximum power point much better than the traditional methods in speed and stabilities.

**Key words:** photovoltaic; maximum power point tracking (MPPT); variable step; Matlab/Simulink

针对 21 世纪的能源需求问题, 光伏发电具有非常广阔的发展前景, 因为作为光伏发电动力的太阳光能可以说是取之不尽、用之不竭, 而且清洁无污染. 目前, 光伏发电的研究重点主要集中在两方面: 一是寻找转换效率高、成本低、来源丰富的光电转换材料, 以及对于新的更高转换效率的电池结构的设

计; 二是在已有的电池转换效率的基础上提高电池的输出效率.

对于一些内阻不变的供电系统, 可以采用外加负载的阻值等于内阻的简单方法获得最大输出功率. 但在太阳能电池供电系统中, 太阳能电池的输出特性由于受到光照强度以及电池温度的影响而不断

变化,呈现明显的非线性,从而不可能使用上述的简单方法来获得最大输出功率.为了实现光伏发电系统的功率输出最大化,需要对光伏电池的输最大功率点进行跟踪.由于在当前的技术条件下,太阳能光伏电池的转换效率普遍偏低,加上原材料以及工艺的原因,使得光伏电池成本比其他方式的发电成本高很多.为了更好地推广发展光伏电池,必须将已经获得的能量最大限度地加以利用,因而最大功率跟踪显得十分必要.

近年来,人们对最大功率跟踪技术进行了深入研究,已得到了多种算法<sup>[1]</sup>,如恒定电压控制法、扰动观测(perturbation and observation, P&O)法、导纳增量法、模糊控制法等.扰动观察法和导纳增量法是目前比较常用的自寻优方法<sup>[2]</sup>,即系统不用直接检测光照强度和温度,而是根据光伏阵列本身的电压电流值确定最大功率点.

扰动观察法算法简单,容易实现,但缺点是达到最大功率点后扰动不会停止,而是在最大功率点处来回振荡,造成能量损耗,而且扰动的步长越大,电压振荡越厉害<sup>[3]</sup>.如果在最大功率点处使用小步长可使振幅减小,但是过小的步长会引起跟踪时间变长,影响跟踪速度.因此,跟踪步长的选取与能否很好地实现功率跟踪关系密切.

本研究基于扰动观察法提出一种改进的最大功率点跟踪(maximum power point tracking, MPPT)方法,即基于功率斜率曲线的判断标准,采用变步长的扰动观察法进行MPPT控制,通过Matlab/Simulink仿真.结果表明,该方法具有跟踪速度快、稳定性好、跟踪精度高的特点.

## 1 光伏电池数学模型

### 1.1 模型的选取

本研究以目前应用最广泛的晶体硅太阳能电池为模型进行模拟仿真.在常用的光伏电池模型基础上,根据电池厂商提供的标准测试条件( $T = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $G = 1\ 000\ \text{W}/\text{m}^2$ )下的参数,包括短路电流 $I_{sc}$ 、开路电压 $V_{oc}$ 、最佳工作电压 $V_m$ 、最佳工作电流 $I_m$ 、短路电流温度系数 $\alpha_{I_{sc}}$ 以及开路电压温度系数 $\beta_{V_{oc}}$ 等. De Soto等<sup>[4]</sup>提出了一种修正后的五参数电池模型,即

$$I = I_L - I_0 \left[ e^{\frac{V+IR_s}{a}} - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}}, \quad (1)$$

式中,  $a = \frac{N_s nkT}{q}$ ,  $N_s$  为光伏模块串联电池数,  $n$  为电

池理想因子,  $R_s$  和  $R_{sh}$  分别为电池串联和并联电阻. 与标准情况相比,其他条件下的修正参数为

$$a = a_{ref} \cdot \frac{T}{T_{ref}}, \quad (2)$$

$$V_{oc} = V_{oc,ref} + \beta_{V_{oc}} (T - T_{ref}), \quad (3)$$

$$I_0 = I_{0,ref} \left( \frac{T}{T_{ref}} \right)^3 \cdot e^{\frac{qE_g}{k} \left( \frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right)}, \quad (4)$$

$$I_L = [I_{L,ref} + \alpha_{I_{sc}} (T - T_{ref})] \cdot \frac{G}{G_{ref}}, \quad (5)$$

$$R_{sh} = R_{sh,ref} \cdot \frac{G_{ref}}{G}, \quad (6)$$

式中, ref 表示电池厂商提供的标准测试条件,  $a_{ref}$ ,  $V_{oc,ref}$ ,  $I_{0,ref}$ ,  $I_{L,ref}$ ,  $R_s$ ,  $R_{sh,ref}$  均可以通过电池厂商所给的参数计算得到. 本模型将  $R_s$  作为常数处理<sup>[4]</sup>, 在 Matlab/Simulink 下得到的光伏模块模型如图 1 所示.

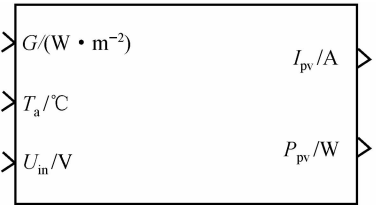


图1 光伏电池的 Simulink 模型

Fig. 1 Model of a photovoltaic module in Simulink

### 1.2 输出特性曲线仿真结果

采用上述模型建立 Matlab/Simulink 模块图<sup>[5-7]</sup>, 对不同光强度(1 200, 1 000, 800  $\text{W}/\text{m}^2$ )下的电池片进行模拟, 得到输出特性曲线. 选用 25 W 光伏电池组件, 参数为  $V_m = 17.5\ \text{V}$ ,  $I_m = 1.43\ \text{A}$ ,  $V_{oc} = 21.5\ \text{V}$ ,  $I_{sc} = 1.61\ \text{A}$ . 温度选择  $T = 25\text{ }^\circ\text{C}$ . 不同光照强度下的  $I$ - $V$  和  $P$ - $V$  特性曲线分别如图 2 和图 3 所示.

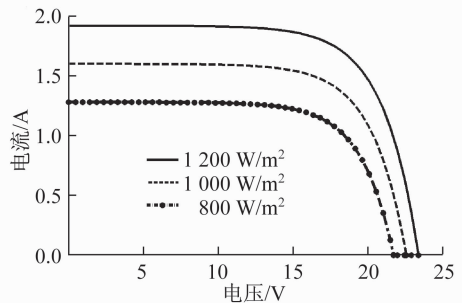


图2 相同温度(25 °C)不同光强下的  $I$ - $V$  特性曲线

Fig. 2  $I$ - $V$  curve of a photovoltaic model for different insolation level at the constant temperature (25 °C)

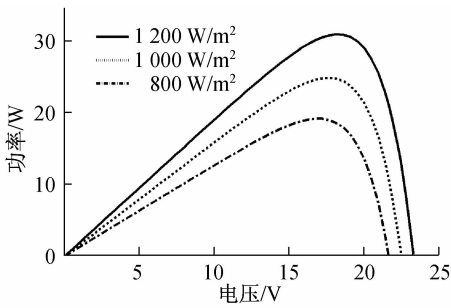


图3 相同温度(25 °C)不同光强下的  $P-V$  特性曲线  
 Fig.3  $P-V$  curve of a photovoltaic module for different insolation level at the constant temperature (25 °C)

可以看出,在温度(25 °C)一定的条件下,随着太阳光照强度的增加,光伏电池的短路电流明显增大,而开路电压会少量增大,最大输出功率增大。

在光照强度一定(1 000  $W/m^2$ )的条件下,温度为60,40,20 °C时的  $I-V$  特性曲线和  $P-V$  特性曲线分别如图4和图5所示。

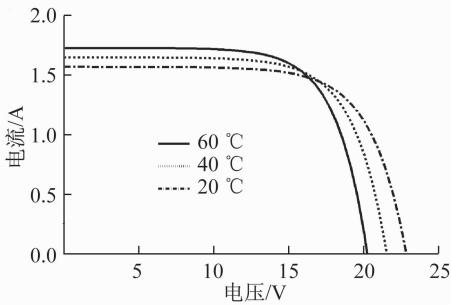


图4 光强(1 000  $W/m^2$ )一定,不同温度下的  $I-V$  曲线  
 Fig.4  $I-V$  characteristics of a photovoltaic module for different temperature level at the constant solar insolation (1 000  $W/m^2$ )

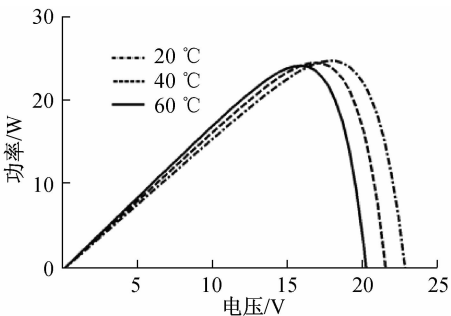


图5 光强(1 000  $W/m^2$ )一定,不同温度下的  $P-V$  曲线  
 Fig.5  $P-V$  characteristics of a photovoltaic module for different temperature levels at the constant solar insolation (1 000  $W/m^2$ )

由图4和图5可知,在太阳光照强度一定时,电池的开路电压随温度的升高明显下降,短路电流会有少量增加,最大输出功率点明显向右平移。

## 2 基于扰动观察法的MPPT仿真

扰动观察法是一种基于功率比较的方法,也是目前被广泛采用的一种自适应控制方法.其基本原理是在原有的输出电压上增加一个扰动,通过实时采样电池的输出电压和电流,计算出瞬时功率,然后与上一采样得到的功率进行比较,依据功率增减变化情况对光伏系统工作电压进行调节.扰动观察法的工作流程<sup>[8]</sup>如图6所示。

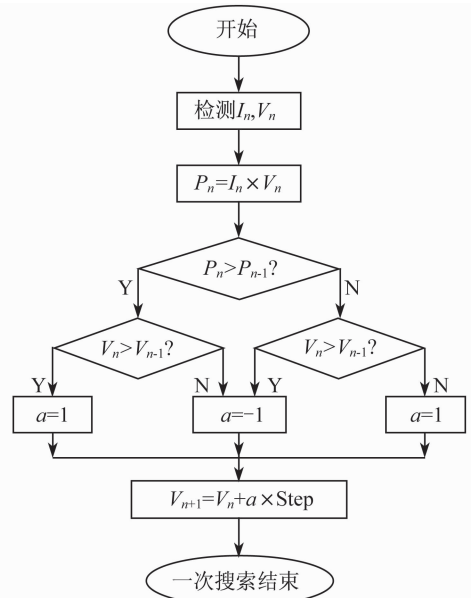


图6 扰动观察法流程图  
 Fig.6 Flowchart of P&O control method

扰动观察法类似冒泡法,通过周期性重复搜索调节,直至在最大功率点(maximum power point, MPP)附近振荡.振荡幅度的大小可以通过改变扰动步长的大小来调节,但是步长过小会使跟踪的效率变低<sup>[3]</sup>.对于传统的扰动观察法,其扰动步长一般为固定大小。

本研究利用前述太阳能电池数学模型,在Matlab/Simulink环境下建立MPPT控制模块,对传统的扰动法进行计算机仿真,时间间隔为0.001 s.如果固定扰动步长为0.10 V,需要经历0.18 s才能跟踪到最大功率点,并在24.3 ~ 25.0 W范围内不断振荡;如果步长减小为0.05 V,则需经历0.35 s才可以

跟踪到最大功率点,并且在 24.8 ~ 25.0 W 范围内不断振荡,结果如图 7 所示. 通过分析可以发现,步长越短,跟踪时间越长,但振荡范围越小.

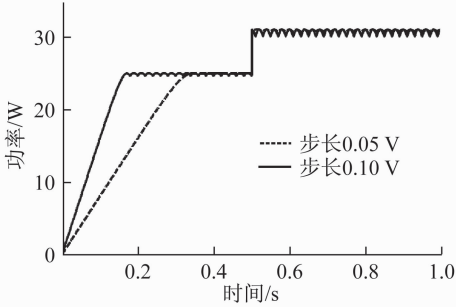


图 7 2 种步长的扰动观察法比较

Fig. 7 Comparison of two P&O methods in different perturbation step size

通过分析传统的固定步长的扰动观察法存在的缺点,本研究提出一种变步长寻优的方法. 目标是在离最大功率点比较远的地方,可以使用大步长跟踪,使跟踪速度提高;在离最大功率点较近的地方,可以使用小步长跟踪,使振荡幅度减小.

通过分析光伏电池的  $P-V$  曲线可以发现,在距离最大功率点较远的地方,斜率较大;在离最大功率点较近的地方,斜率逐渐减小, MPP 处为 0. 图 8 所示为标准测试条件下光伏电池的  $P-V$  和  $dP-V$  曲线,可以看出,在电压 0 ~ 15 V 之间,  $dP-V$  曲线近似固定值.

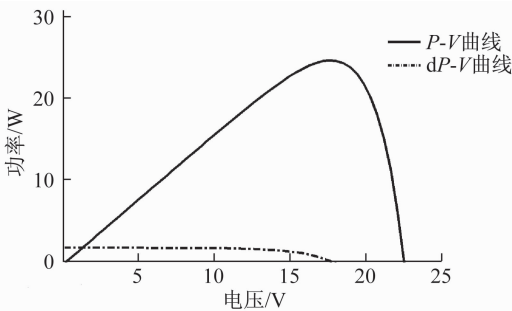


图 8 标准测试条件下光伏电池的  $P-V$  和  $dP-V$  曲线

Fig. 8  $P-V$  curve and  $dP-V$  curve for a photovoltaic module in standard test conditions

由此得到如下判断标准: 在  $\frac{\partial P}{\partial V} \geq 1.6$  条件下, 每 0.001 s, 扰动步长为 0.20 V; 在  $\frac{\partial P}{\partial V} < 1.6$  条件下, 每 0.001 s, 扰动步长为 0.01 V.

基于改进的变步长扰动法, 得到 Matlab/Simulink 控制模块如图 9 所示, 仿真得到的功率随

时间的变化曲线如图 10 所示. 可以发现, 只需经历 0.12 s, 就可跟踪到输出最大功率点, 而且稳定在 25 W 处, 几乎没有振荡. 与传统的扰动观察法比较, 所用时间短、精度高.

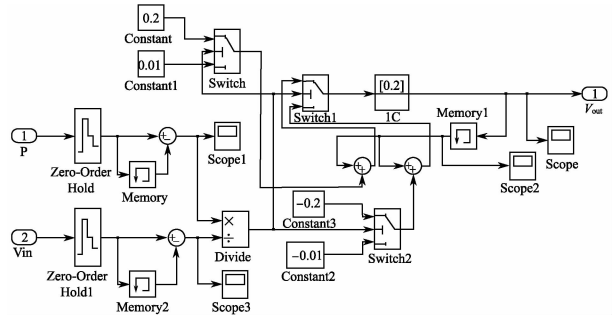


图 9 变步长扰动观察法最大功率点跟踪 Simulink 仿真模块图

Fig. 9 P&O control method model of a photovoltaic module in Simulink

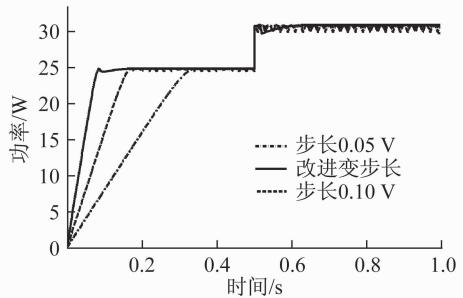


图 10 改进变步长法与传统的扰动观察法比较

Fig. 10 Comparison between proposed method and traditional P&O method

因此, 与传统的扰动观察法相比较, 改进的扰动观察法更具优越性, 即最大功率点的跟踪速度快, 稳定性好.

### 3 结束语

本研究利用 Matlab/Simulink 建立光伏电池组件的计算机仿真模型, 给出了随光强和温度变化下的输出特性曲线. 通过对传统的扰动观察法进行改进, 提出一种基于功率斜率曲线的判断标准, 给出了改进扰动观察法的 Matlab/Simulink 最大功率点跟踪控制模型. 仿真结果表明, 该方法能够适应光强和温度的快速变化, 最大功率点跟踪速度快、稳定性好, 能够比传统的扰动观察法更好地满足跟踪时间和跟踪精度的要求.