

改进扰动观察法的光伏阵列最大功率点跟踪算法*

李涛,霍修坤,张道忠,张伟

(安徽大学 电子工程学院,安徽 合肥 230039)

摘要:为了更好地跟踪光伏阵列的最大功率点,分析单个光伏电池的物理特性,建立光伏阵列的 Matlab 仿真模型,分析光伏阵列随光照温度不同而变化的 P-U、U-I 特性。针对系统在工作工况发生变化时跟踪情况的不同,对传统的扰动观察法做了变步长的寻优算法,并结合调整策略搭建光伏系统最大功率点跟踪的仿真实验模型。结果表明该算法可以快速准确地跟踪最大功率点,稳态效果好,能够更好地提高光伏发电最大功率点跟踪系统的跟踪性能。

关键词: 光伏阵列;扰动观察法;最大功率点跟踪;变步长

中图分类号: TM743

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)10-0073-04

An improved perturbation and observation method of photovoltaic array maximum power point tracking

Li Tao, Huo Xiukun, Zhang Daozhong, Zhang Wei

(College of Information Engineering, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: Photovoltaic array simulation can be used to find better methods to track the maximum power point. In this paper, we analyse the physical characteristics of the individual solar cells and establish a matlab simulation model of the solar photovoltaic array, and analyze P-U, U-I characteristic for any insolation level and ambient temperature. The system change tracking situation in different working condition. We propose a changing step optimizing algorithm based on perturbation and observation(P&O) method and construct the MPPT model with adjustment strategy. Simulation analysis experiment has been conducted, the result shows that the proposed algorithm can track the max power point quickly and stably. It make the tracking performance of photovoltaic maximum power point tracking system better.

Key words: photovoltaic array; perturbation and observation(P&O) method; maximum power point tracking; variable step size

太阳能丰富、清洁、安全、方便,是目前广泛探索的一种可再生能源。然而由于太阳能的波动性和随机性,联合发电系统输出的电能波动很大。随着这种分布式并网电站的容量越来越大,太阳辐射的波动引起的系统运行状态的瞬态变化以及这种变化对网络内部和对电网的影响不容忽视。所有光伏系统都希望太阳能光伏阵列在同样日照、温度条件下输出尽可能多的电能,这也就在理论上和实践上提出太阳能光伏阵列^[1]的最大功率点跟踪问题。最大功率点跟踪 MPPT(Maximum Power Point Tracking)的实现实质上是一个寻优过程,即通过控制光伏阵列端电压,使光伏阵列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。光伏阵列的开路电压和

短路电流在很大程度上受日照强度和温度的影响,系统工作点也会因此飘忽不定,这必然导致系统效率的降低。为此,光伏阵列必须实现最大功率点跟踪控制,以便阵列在任何当前日照下不断获得最大功率输出。

本文在光伏电池最大功率点跟踪算法的设计中针对光伏电池的输出特性,结合变步长自寻优技术对传统扰动观察法进行了改进,并采用 Matlab/Simulink 软件工具搭建仿真实验系统进行了分析比较。实验结果表明,该设计方案可有效克服跟踪速度与跟踪精度之间的矛盾,有利于进一步提高光伏电池的利用率。

1 光伏电池仿真模型建立

1.1 光伏电池电路模型

为了便于分析光伏电池输出特性,建立了光伏电池的电路等效模型,用一个电流源和二极管来等效太阳电

* 基金项目:安徽省自然科学基金项目(KJ2011A023)

技术与方法 Technique and Method

池的工作特性,如图 1 所示。

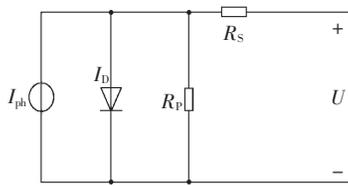


图 1 电路等效模型

模型中, 电流源受到照射光强 G 和温度 T 的影响, 同时二极管的反向饱和电流也受到温度 T 的影响, 串联电阻更好地表征了最大功率点到开路电压这段范围的输出伏安特性。

1.2 光伏电池的数学模型

工程数学中已有研究建立了光伏电池数学模型^[2], 模型公式如下:

$$I = I_{ph} - I_0(e^{\frac{q(U+IR_s)}{nkT}} - 1) \quad (1)$$

$$I_{ph} = I_{ph(T_1)}[1 + k_0(T - T_1)] \quad (2)$$

$$I_{ph(T_1)} = G \times I_{SC(T_1, nom)} / G_{(nom)} \quad (3)$$

$$k_0 = (I_{SC(T_2)} - I_{SC(T_1)}) / (T_2 - T_1) \quad (4)$$

$$I_0 = I_{0(T_1)} \times (T/T_1)^{3/n} \times e^{-qE_g/nk(1/T-1/T_1)} \quad (5)$$

$$I_{0(T_1)} = I_{SC}(T_1) / (e^{-qU_{oc}(T_1)/nkT_1} - 1) \quad (6)$$

$$R_s = -dU/dI_{U_{oc}} - 1/X_V \quad (7)$$

$$X_V = I_{0(T_1)} \times q/nkT_1 \times e^{-qU_{oc}(T_1)/nkT_1} \quad (8)$$

式中, I 为光伏电池输出电流; I_{ph} 为光生电流; I_0 为二极管反向饱和电流; U 为光伏电池输出电压; I_{sc} 为光伏电池的短路电流; U_{oc} 为光伏电池的开路电压, k 为玻尔兹曼常数 ($k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K); q 为电子的电荷量 ($q = 1.6 \times 10^{-19}$ C); T 为热力学温度 (K), n 为二极管特性因子; R_s 为光伏电池的串联电阻; R_{sh} 为光伏电池的并联电阻; E_g 为禁带宽度, 晶体硅的 E_g 一般为 1.12 eV; G 为太阳辐射强度; $G_{(nom)}$ 为标准太阳辐射强度, 一般 $G_{(nom)} = 1000$ W/m²。

1.3 光伏电池输出特性

分析光伏电池实际工程数学模型, 用 Matlab 工具编写 M 函数, 得到光伏电池的输出特性。应用 SolarexMSX-6060W 光伏电池阵列模型^[3]进行仿真实验, 此型号的光伏电池在标准条件(光强为 1000 W/m², 温度为 25 °C)下测试基本电气参数: $U_{oc} = 21.0$ V, $I_{sc} = 3.74$ A, $U_m = 17.1$ V, $I_m = 3.5$ A, $P_m = 59.9$ W。实验得出不同条件下的 $I-V$ 曲线、 $P-V$ 曲线, 如图 2(a)~图 2(d) 所示。

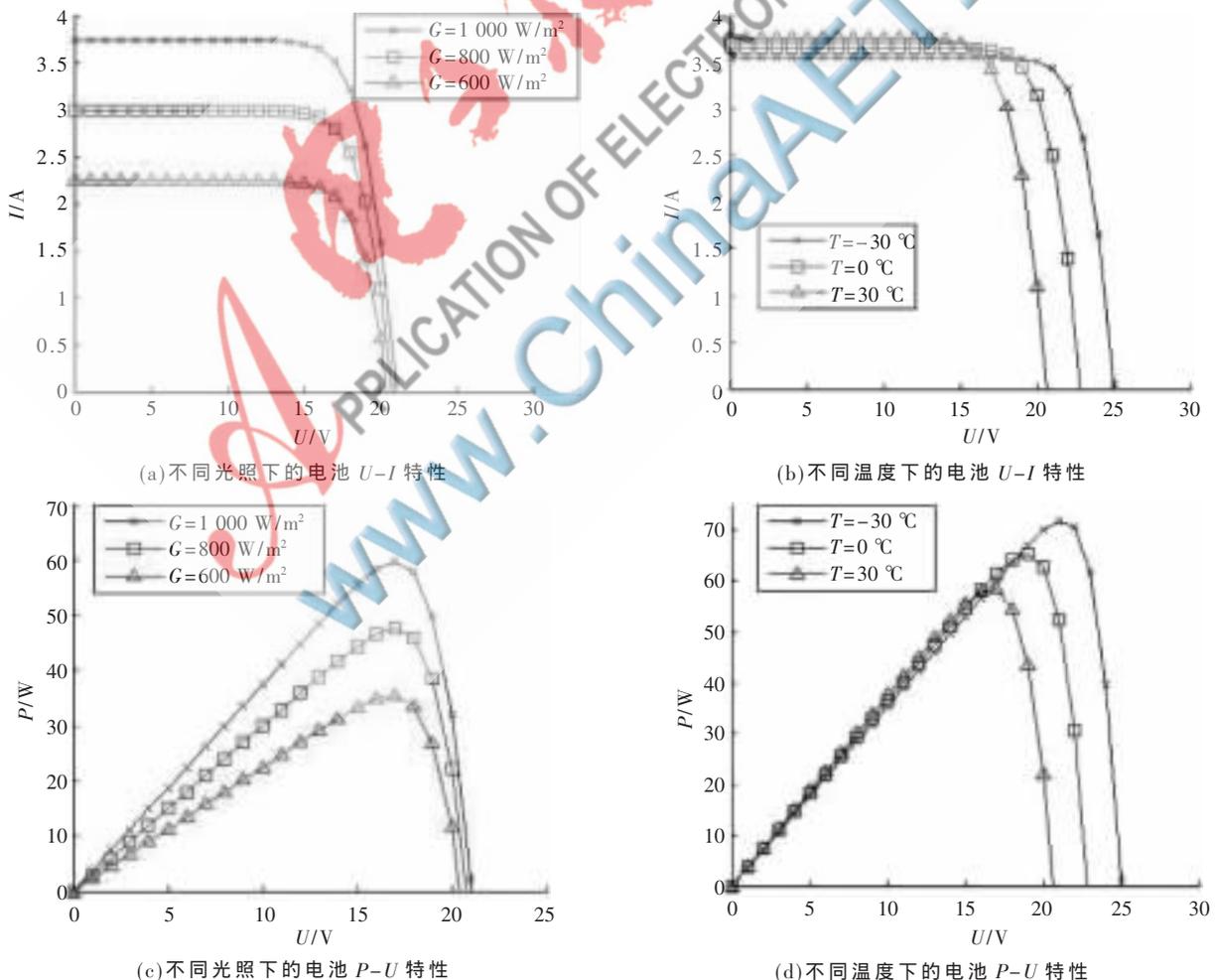


图 2 不同环境电池输出特性

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 77

技术与方法 Technique and Method

电池的输出特性表明,光照下降电池的输出电流下降幅度大,开路电压下降较小;在任一条件下的任一特性曲线上输出功率都会有一最大点,此点就是光伏电池的最大输出功率点(MPP),开路电压的78%左右为光伏电池最大输出功率点电压;且当温度升高时输出功率降低,光照强度增强时输出功率增大。

2 变步长的最大功率点算法

2.1 BOOST 变换器实现 MPPT

光伏阵列采用 BOOST 电路作为 DC-DC 变换电路,BOOST 电路输入电压 V_L 与输出电压 V' 的关系为: $V' = V_L \times (1-D)$,由能量守恒, $I' = I_L / (1-D)$,则输出的等效电阻为:

$$R' = \frac{V'}{I'} = \frac{V_L}{I_L} \times (1-D)^2 = R_L \times (1-D)^2 \quad (9)$$

其中, R' 为 BOOST 电路等效输入阻抗; D 为开关占空比; R_L 为负载阻抗。

由式(9)可知,开关占空比越大,BOOST 电路输入阻抗就越小。改变 BOOST 电路开关占空比,使得其等效输入阻抗与光伏输出阻抗相匹配,从而改变光伏电池的输出电压,实现跟踪系统的最大功率点。

2.2 扰动观察法

扰动观察法^[4]是常用的 MPPT 算法之一。其原理是每隔一定的时间增加或减少光伏阵列的输出电压(这一过程称之为“干扰”),并观测之后其输出功率变化的方向,再来确定电压的调整方向是否正确,从而调整干扰的方向。扰动法寻优过程如图 3 所示。

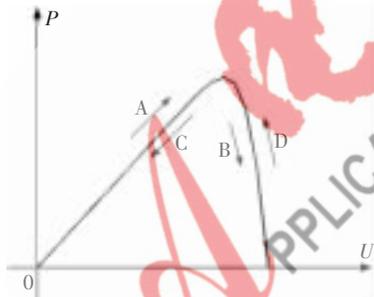


图 3 扰动观察寻优过程

当给定参考电压增大时,若输出功率也增大,即图中 A 过程,则工作点由左侧向最大功率点靠近,需继续增大参考电压;若电压增大,输出功率减小,如图中 B 过程,则工作点从右侧远离最大功率点,需要减小参考电压。当给定参考电压减小时,若输出功率也减小,即图中 C 过程,则工作点由左侧远离最大功率点,需增大参考电压;若输出电压功率增大,如图中 D 过程,则工作点从右侧向最大功率点靠近,需要继续减小参考电压。

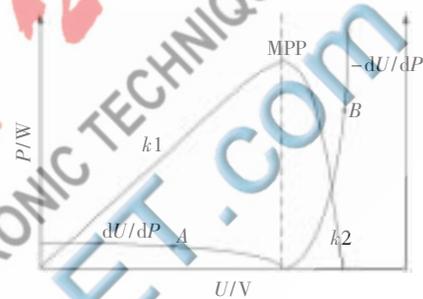
若选取步长较大,系统到达最大功率点速度较快,但是稳定性能不佳,相反若选取较小步长,稳定性提高,但跟踪速度明显降低。跟踪步长的选取是判定系统跟踪优越性的关键^[5]。

2.3 变步长处理

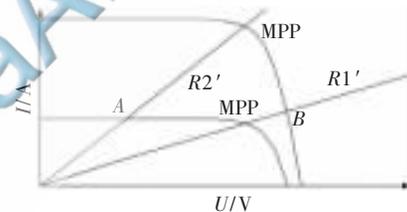
分析光伏电池仿真的 $P-U$ 曲线,如图 4(a)所示。

$$\begin{cases} dU/dP > 0 & k1 \\ dU/dP = 0 & \text{MPP} \\ dU/dP < 0 & k2 \end{cases} \quad (10)$$

向 MPP 靠近时,曲线 $k1$ 段的 $|dU/dP|$ 和曲线 $k2$ 段的 $|dU/dP|$ 都递减,到达 MPP 时, $|dU/dP|$ 值为零。当系统从高光照到低光照的工作情况下,温度变化微弱(忽略不计),如图 4(b)所示,匹配的输出阻抗 $R2'$ 工作在低光照工况下的 A 点,这时系统跟踪最大功率点,电压从 A 点向 MPP 点增加,此时的跟踪步长为 $k1$ 段的 $e \times |dU/dP|$ 值,设置合适的跟踪速度因子 e 值,提高系统跟踪精度。当系统从低光照到高光照的工作情况下,匹配的输出阻抗 $R1'$ 将工作在高光照工况下的 B 点,此时跟踪 B 点向 MPP 点减小,如图 4(a), $k2$ 段的 $|dU/dP|$ 在 B 点的值大于 $k1$ 段的 $|dU/dP|$ 在 A 点的值,此时跟踪步长取不同值 $n \times e \times |dU/dP|$, n 为变步长因子。



(a) $U-\text{abs}(dU/dP)$ 曲线



(b) 不同光照时的 MPP 匹配负载曲线

图 4 定标的 $U-I$ 、 $U-P$ 、 $U-\text{abs}(dU/dP)$ 曲线

2.4 调整策略

系统工作光照发生快速大幅度变化时,系统工作点会偏移最大功率点较大,此时跟踪到 MPP 处会经过 N 个处理周期,此间会产生一定的功率损失。这时采用一种执行时间很小的策略跟踪到最大功率点。

观察光伏电池的输出特性,当光照发生骤变,电池表面温度变换忽略不计,这时电池的输出电流值变化较大,此时设计电流检测,当电流变化值 $|dI| > \varepsilon$ 时,调用控制策略,直接令 $U = 0.78U_{oc}$,这时回到最大功率点附近,能很快跟踪到最大功率点。而电流变化,使用变步长的跟踪算法。算法流程如图 5 所示。

3 实验结果

在设定的工况下对算法的跟踪性能进行仿真实验。设温度为 25°C ,光强在 0.55 s 时刻突然从 600 W/m^2 增加到 1000 W/m^2 ;温度在 0.8 s 时刻从 0°C 上升到 30°C ;系统的动态仿真采用变步长的 ode23tb 仿真,仿真时间为

技术与方法 Technique and Method

1 s, 实验结果如图 6 所示。

采用扰动观察法, 系统的步长选取对系统的工作状态影响显著。选取步长小, 跟踪时间较长, 跟踪精度较高, 稳定时在最大功率点附近小幅度震动; 选择较大步长, 系统的动态性能较好, 但稳态性能较差。而选择变步长的处理方法处理效果更佳, 此种算法跟踪速度快, 在外界条件突变的情况下, 系统也能够快速、准确地跟踪到最大功率点, 具有良好的稳定性能, 减少能量的损失。

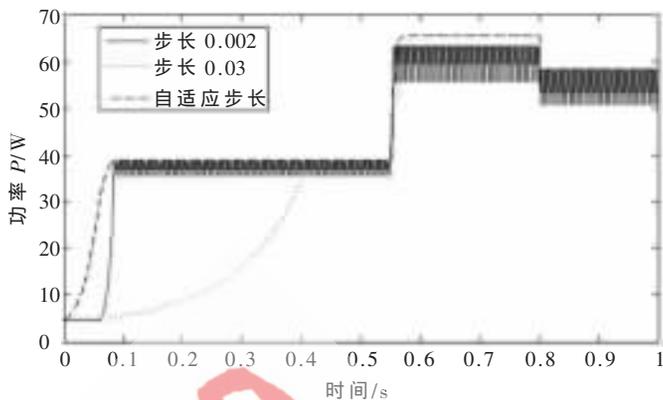


图 6 实验结果

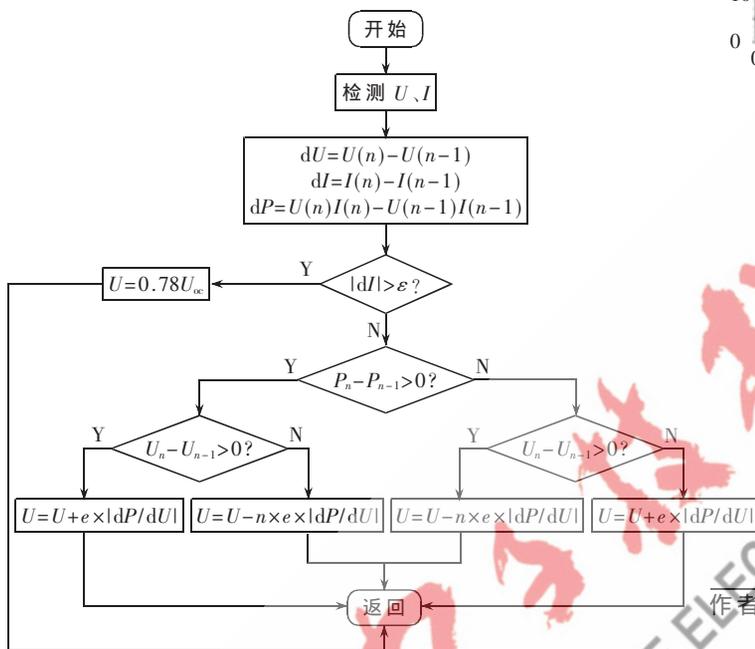


图 5 算法流程图

参考文献

[1] GREEN M A. Solar cell[M]. Kensington, N.S.W.: University of New South Wales, 1992.

[2] WALKER G. Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model[J]. Electrical & Electronics Engineering(S0725-2986), 2001, 21(1): 49-56.
 [3] 崔岩, 蔡炳煌. 模板仿真模型的研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(4): 829-834.
 [4] ESRAM T, CHAPMAN P L. Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2007, 22(2): 439-449.
 [5] 薛定宇. 基于 MATLAB/Simulink 的系统仿真技术与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

(收稿日期: 2013-01-23)

作者简介:

李涛, 男, 1988 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 太阳能开关电源变换器。

霍修坤, 男, 1970 年生, 副教授, 硕士研究生导师, 主要研究方向: 信号处理, 无线通信, 医学图像处理。

张道忠, 男, 1987 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 医学 CT 图像处理。