

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2015.0004.017

基于改进黄金分割法的 MPPT 算法研究*

刘海洋, 江 明

(安徽工程大学 安徽省检测技术与节能装置重点实验室, 安徽 芜湖 241000)

摘 要:光伏发电系统中最大功率点跟踪技术是提高光伏发电效率的主要技术,基于在线短路电流法和黄金分割法,提出一种全新的 MPPT 算法,即改进黄金分割法;与传统 MPPT 算法相比,该算法既保证了最大功率跟踪的快速性,又保证了其精确性;最后,通过 Matlab 仿真模型进行仿真,结果验证了该算法的优越性.

关键词:最大功率跟踪;在线短路电流法;黄金分割法;改进黄金分割法

中图分类号:TM615 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-058X(2015)04-0073-05

光伏电池具有明显的非线性输出特性,在工作时总会存在一个最大功率输出工作点.通常情况下,最大功率输出工作点会随着外界光照辐射强度的变化而改变.因此,要提高光伏电池的输出效率就需要实时调整其工作点,保证其始终工作在最大功率点附近,这一过程称为最大功率点跟踪^[1](Maximum Power Point Tracking, MPPT).

最大功率点跟踪实质上是一种动态寻优过程,主要是通过控制光伏电池输出端的电压控制最大功率的输出.近年来,国内外学者针对最大功率点跟踪问题提出了许多不同的方法,常用 MPPT 算法有电导增量法^[2]、扰动观察法^[3]、开路电压法^[4]、最大梯度法^[5]等.电导增量法:跟踪准确性高,使系统在环境变化的情况下具有良好的跟踪性能,但是算法复杂,控制精度很大程度上依赖于传感器的精度;扰动观察法:采用模块化控制回路,跟踪法则简明,易于实现,缺点是只能在最大功率点附近振荡运行,导致部分功率的损失;开路电压法:控制简单,系统不会出现振荡,稳定性好,但是控制精度差;最大梯度法:当外界光照变化迅速时通常会出现误判最大工作点的现象.

针对现有算法存在的问题,提出了一种基于在线短路电流法和黄金分割法的 MPPT 算法,即改进黄金分割法,并进行了理论分析和系统建模仿真.通过对仿真结果的分析,验证了本方法在最大功率跟踪问题上的快速性和精确性.

1 光伏电池工作原理及光伏特性

1.1 光伏电池的工作原理

光伏电池是一种将太阳能转换为电能的器件,其工作机理是光生伏打效应.通常光伏电池可以看作一个半导体光电二极管,当太阳光照射到光电二极管上时,光电二极管会直接将光能转化为电能.就单个光伏电

收稿日期:2014-07-04;修回日期:2014-09-25.

* 基金项目:国家自然科学基金(61271377).

作者简介:刘海洋(1989-),男,山东人,硕士研究生,从事光伏发电研究.

池来说,其输出电压、电流和功率都比较小,所以,通常将多个光伏电池串联或者并联起来组成可以输出较大功率的太阳能电池方阵.根据光伏电池的工作机理,可以将光伏电池等效为如图 1 所示的模型^[6].由上述等效模型可以得到光伏电池的输出电流电压关系如式(1)所示.

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{u+IR_s}{A}} - 1 \right) - \frac{U + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

$$A = \frac{nKT}{q}; n: \text{二极管品质因子}; K: \text{波尔兹曼常数}, 1.38 \times 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}; T: \text{绝对温度}, \text{K}; q: \text{电子电荷}, 1.6 \times 10^{-19} \text{C}; I: \text{输出电流}, \text{A}; U: \text{输出电压}, \text{V}; I_0: \text{电池 P-N 结在无光照时的反向饱和电流}, \text{A}; R_s: \text{硅片内部电阻和电极电阻组成的串联电阻}, \Omega; R_{sh}: \text{结的分路电阻,相当于漏损电阻}, \Omega.$$

对于一个理想的光伏电池而言, R_s 应很小,而 R_{sh} 需要很大,由于 R_s 和 R_{sh} 分别串联和并联在电路中,所以在理想电路计算时它们可以忽略不计,因此式(1)可以简化为

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{u}{A}} - 1 \right) \quad (2)$$

其中, I_{ph} 为电压源输出电流,当负载处于短路情况下时,可以得到短路电流 I_{sc} :

$$I_{sc} = I_{ph} (U = 0, I = I_{sc}) \quad (3)$$

当负载处于开路情况下时,可以得到

$$I_0 = I_{sc} e^{-\frac{u_{oc}}{A}} \quad (4)$$

可以将式(2)进一步化为

$$I = I_{sc} \left(1 - e^{-\frac{u-u_{oc}}{A}} \right) \quad (5)$$

1.2 光伏电池特性曲线

由上述式(2)-(5)可以得出输出电流与电压之间的关系:

$$I = I_{sc} \left[1 - A \left(e^{\frac{U}{BU_{oc}}} - 1 \right) \right] \quad (6)$$

其中, $A = \left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) e^{-\frac{U_m}{BU_{oc}}}$, $B = \left(\frac{U_m}{U_{oc}} - 1 \right) \left[\ln \left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) \right]^{-1}$, I_m 为工作点最大电流, U_{oc} 为开路电压, U_m 为工作点最大电压.

进而可以得出光伏电池输出功率的关系式:

$$P = U \times I_{sc} \left[1 - A \left(e^{\frac{U}{BU_{oc}}} - 1 \right) \right] \quad (7)$$

通常情况下,光伏电池的输出功率会随着外界光照辐射强度的变化而发生改变,图 2 给出了光伏电池在不同光照强度下的 $P-I$ 特性曲线.

2 MPPT 理论概述

2.1 在线短路电流法

根据文献[7]可知,光伏电池的短路电流 I_{sc} 与最大功率点工作电流 I_{mpp} 存在一定的线性关系,通常情况下,将 I_{sc} 和 I_{mpp} 的关系表示为式(8).式(8)中, k 为常数,它依赖于光伏电池的特性而定,文献中给出的是 $k \approx 0.92$.

$$I_{mpp} = kI_{sc}, k < 1 \quad (8)$$

在线短路电流法可以通过测得电池输出端的电压和电流,利用式(5)直接计算出电池的短路电流 I_{sc} ,然后带入式(8)得到 I_{mpp} .相对于传统短路电流检测对系统正常运行带来的一些干扰,在线短路电流法避免了

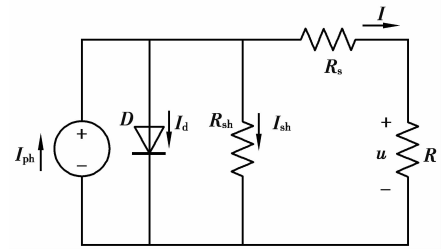


图 1 光伏电池等效模型

这些问题,使系统的运行效率得到了很大的提高.

尽管此方法存在着一定的优越性(控制简单,实现方便,可靠性强,稳定性好),但是,其在系统的控制精度上仍存在一定的偏差,并且在外界环境发生剧烈变化时,最大功率点也很难跟踪,因此,此方法常常与其他方法组合使用.

2.2 黄金分割法

黄金分割法,即0.618法,是一种在给定搜索区间内搜索一元函数极值的寻优方法,它可以通过最少的试验次数,找到最佳点,从而可以节省时间、人力、物力和财力,因此,黄金分割法在现实生活中得到了广泛的应用.黄金分割法的搜索过程如下:

1) 在给定搜索区间 $[a, b]$ 中插入两点 x_1 和 x_2 ,使得 $x_1 < x_2$,计算此时 $f(x_1)$ 和 $f(x_2)$ 的值;

2) 由于一元函数 $f(x)$ 具有单峰值特性,因此,当 $f(x_1) > f(x_2)$ 时,函数 $f(x)$ 的极大值存在于区间 $[a, x_2]$ 上,反之,函数的极大值在区间 $[x_1, b]$ 上,进而可以得到函数 $f(x)$ 一个新的极值搜索区间;

3) 对于2)中所得到的新搜索区间,再返回到1)过程,多次循环1)2)两步,如此迭代下去,可以将函数极值搜索区间逐步缩小,直到搜索区间满足预先设定的搜索精度为止,最终可以获得函数 $f(x)$ 的极值,即一维优化问题的近似最优解.

在使用黄金分割法时,通常要求在搜索区间内插入的两点 x_1 和 x_2 的位置满足下列关系:

$$\frac{x_2 - a}{b - a} = \frac{b - x_1}{b - a} = 0.618$$

黄金分割法的搜索原理如图3所示.

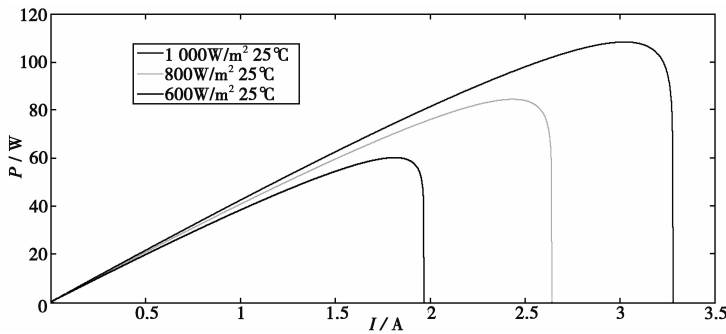


图2 光伏电池 $P-I$ 曲线

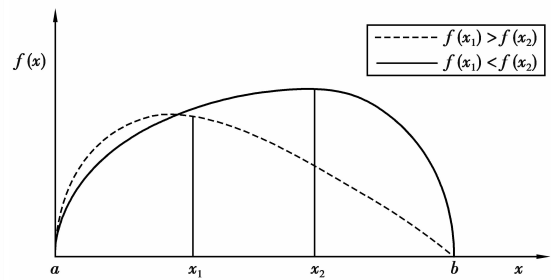


图3 黄金分割法原理图

2.3 改进黄金分割法

根据文献[8]所述,黄金分割法每次迭代过程的区间缩短率为0.618,然而,从数学上讲,区间缩短率可以达到0.51,即中心法,因此,利用中心法在一定程度上可以缩短搜索时间,提高系统的工作效率.

由黄金分割法的搜索原理可以发现,其在整个搜索区间,前后两次的搜索范围存在很大的跳跃性,因此适当地缩小搜索区间可以提高搜索速度.由于光伏电池工作在最大功率点处的电流约为短路电流的0.92倍,因此,可以先通过在线短路电流法缩小其搜索区间,然后再结合中心法进行跟踪.两者的结合可以明显提高最大功率工作点的搜索速度.其搜索流程如图4所示.

3 仿真及其分析

利用 matlab 建立光伏发电的数学仿真模型,仿真参数通常采用商家提供的数据,文中设置 $P_{\max} = 109.14$ W, $U_{\text{mpp}} = 35.9$ V, $I_{\text{mpp}} = 3.04$ A, $U_{\text{oc}} = 43.5$ V, $I_{\text{sc}} = 3.28$ A,分别采用黄金分割法和文中提出的算法进行仿真,仿真波形图(图5)和数值分析表(表1,表2)如下所示.

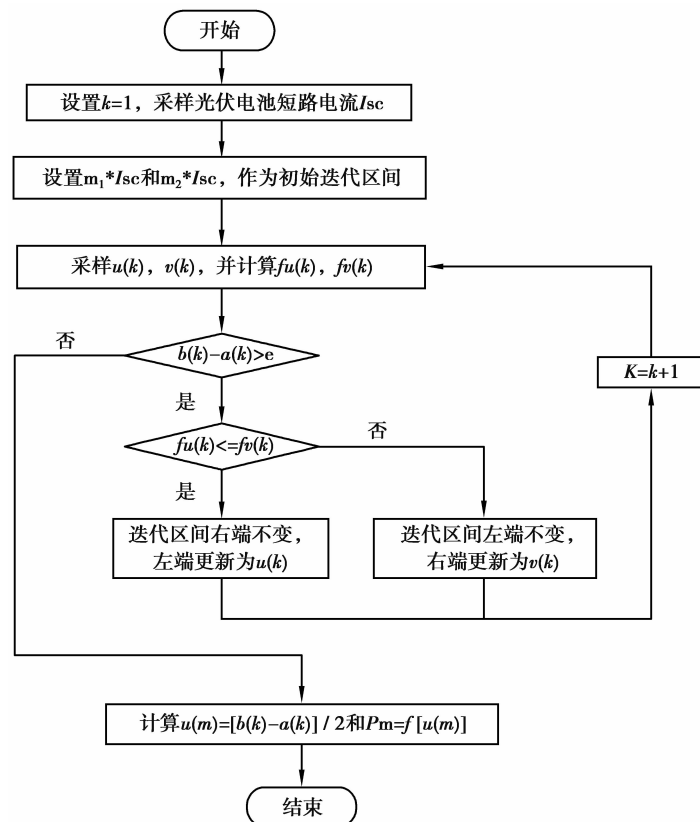


图 4 改进黄金分割法流程图

表 1 黄金分割法仿真数据表

迭代次数	1	2	3	4~7	8~12	13
电流(I)/A	2.027 0	2.505 7	2.801 4	2.984 2	3.027 3	3.024 9
功率(P)/W	82.309 0	98.114 0	105.635 9	108.207 1	108.334 8	108.335 0

表 2 改进黄金分割法仿真数据表

迭代次数	1	2	3	4	5	6	7	8
电流(I)/A	3.081 9	3.050 4	3.034 3	3.026 1	3.022 1	3.024 3	3.025 3	3.025 9
功率(P)/W	108.030 5	108.281 3	108.328 7	108.334 7	108.334 0	108.334 9	108.335 0	108.335 0

通过上述两种不同方法的仿真数据,可以看出两种方法所得到的最优值相同,这保证了系统跟踪的精确性.然而,改进黄金分割法的迭代次数明显少于黄金分割法,即前者在最大功率跟踪过程中所需要的时间更少,从而提高了系统的工作效率.因此,改进黄金分割法无论在跟踪精确度上还是系统工作效率上都展现出了一定的优越性,具有一定的使用价值.

4 结 论

提出了一种基于在线短路电流法和黄金分割法的 MPPT 算法,即改进黄金分割法.较之前存在的方法,该方法可以避免物理量检测时对系统带来的干扰,减少对系统硬件的依赖,保证系统运行的稳定性,确保最大功率跟踪的精度,同时可以提高跟踪速度.因此,该方法具有一定的精确性和快速性,可以很大程度上提高

系统的工作效率,具有一定的使用价值.

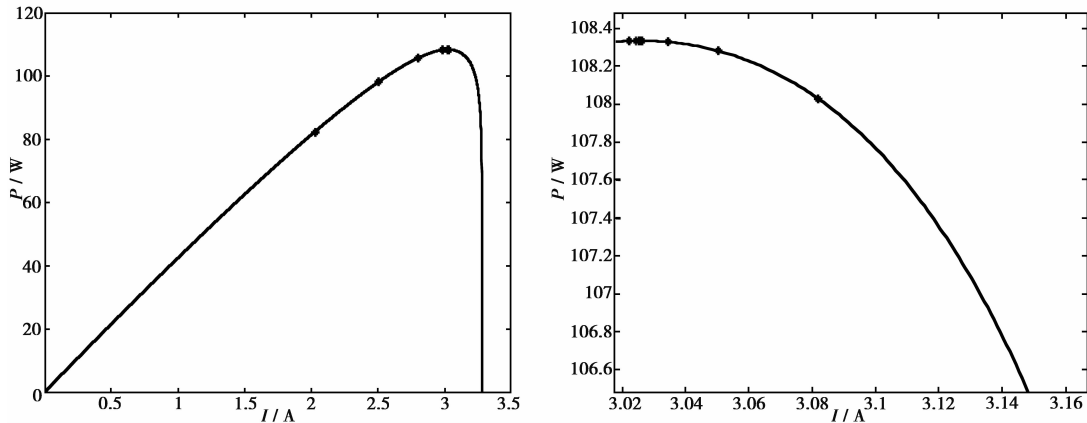


图5 黄金分割法和改进黄金分割法的搜索过程

参考文献:

- [1] 吴玉蓉,康勇.光伏系统中最大功率点跟踪的研究[J].变频器世界,2010(2):46-49
- [2] 李亚鹏,付蓉,孙万鹏.电导增量法在光伏系统MPPT中的研究[J].微型机与应用,2013,32(7):74-76
- [3] 刘莉,张彦敏.一种扰动观察法在光伏发电MPPT中的应用[J].电源技术,2009,34(2):186-189
- [4] 钟长艺,康龙云,聂洪涛,等.基于开路电压法光伏电池最大功率追踪器[J].电力电子技术,2011,45(7):103-105
- [5] 刘洋,苏建徽,罗浩泽,等.基于最优梯度MPPT控制的光伏水泵系统[J].电力电子技术,2011,45(7):20-21
- [6] DIAZ N, LUNA A, DUARTE O. Improved MPPT Short-Circuit Current Method by a Fuzzy Short-Circuit Current Estimator[C]// IEEE Energy Conversion and Congress and Exposition, 2011
- [7] 邢晶,金海.基于在线短路电流法和变步长滞环比较法的双模式MPPT算法研究[J].工业控制计算机,2013,26(1):121-125
- [8] 刘艳.关于黄金分割法的几点讨论[J].机电技术,2006(1):13-14;59

Research on MPPT Algorithm Based on Improved Golden Section Search

LIU Hai-yang , JIANG Ming

(Anhui Polytechnic University, Anhui Key Laboratory of Detection
Technology and Energy Saving Devices, Anhui Wuhu 241000)

Abstract: MPPT is the main technology which can improve the generating efficiency of photovoltaic system, a new MPPT algorithm based on the online short-circuit current method and center section search is presented. Compared with the traditional algorithm of MPPT, the merits of the algorithm are that it not only ensures the speediness, also has a well accuracy. Finally, the MATLAB software were used to build a simulation model of photovoltaic system and simulation results show the effectiveness of proposed method.

Key words: MPPT; the online short-circuit current method; golden section search; improve golden section search