

# 一种新型的最大功率跟踪实现方法在太阳能充电器中的应用

岳新苗 吴捷 张先勇

华南理工大学, 广东省广州市, 510641

**摘要:** 在太阳能光伏发电的应用中, 无论是独立的供电系统, 还是并网发电系统, 由于太阳能电池本身的特性, 为了充分利用其电能的输出, 都要采用最大功率跟踪 (MPPT-Maximum Power Point Tracking) 技术。目前, MPPT 算法已有很多, 如: 梯度法, 扰动法, 增量电导法, 自适应算法等等。本文根据太阳能电池板特性, 并比较了相关算法, 提出了一种新的算法—逐步逼近法, 该方法使得在保证其搜索速度的情况下, 尽量简化运算过程, 并且缩小了在最大功率点附近的波动范围, 甚至可避免在最大功率点的波动。

**关键词:** 最大功率跟踪 (MPPT), 蓄电池, 太阳能电池

## 1. 引言

传统的发电方式不仅大量消耗不可再生的能源, 而且同时还带来了巨大的环境污染。随着世界能源危机与环境污染的日益严重, 迫切需要有新的无污染的, 取之不尽, 用之不竭的能源来代替传统能源。太阳能光伏发电正是适应这一需求而不断蓬勃发展起来。但是由于太阳能电池输出功率具有非线性的特点, 为了最大限度的利用太阳能, 必须跟踪其最大功率输出点。此外, 太阳能电池输出功率时常受到外界环境因素的影响, 如温度, 光照强度, 云层等等, 使得其最大功率点时常发生漂移, 因此必须对它进行实时的搜索与跟踪。

图 1 为一太阳能电池给蓄电池充电电路框图。主电路采用 Buck 电路, 控制电路由蓄电池智能控制, 最大功率跟踪控制器和 PWM 产生器组成。蓄电池智能控制是保证最大限度的利用蓄电池的性能和使用寿命, 这是因为不同阶段采用不同方式对蓄电池充电对蓄电池的性能和使用寿命有很大影响。由于太阳能电池具有非线性的特点, 最大功率控制器是用来跟踪最大功率输出点, 充分利用太阳能。本文主要讨论最大功率控制的实现。

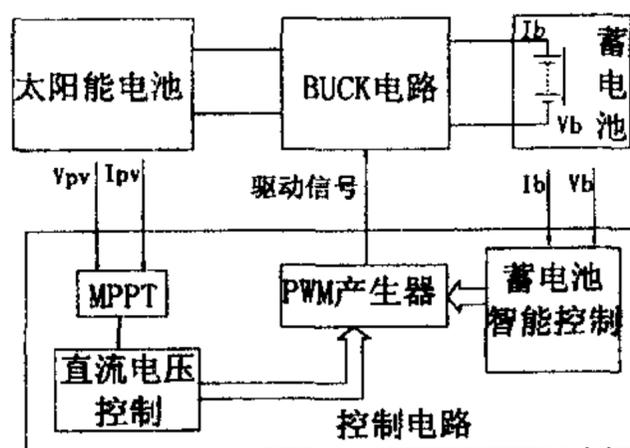


图1 太阳能充电电路及其控制框图

## 2. 最大功率跟踪原理及其算法

### 2.1 最大功率跟踪的原理

在一特定的环境条件下, 太阳能电池发电的  $U-I$  特性和  $P-U$  特性曲线如图 2 所示。图 2 给出了在不同光照强度下的两条曲线。

太阳能阵列输出功率表达式为:

$$P=U \cdot I \quad (1)$$

由太阳能输出功率特性曲线可知, 在  $dP/dU=0$  处, 即为最大功率点。由式 (1) 和太阳能阵列的输出特性曲线可知:

- $dP/dU > 0$ , 系统运行在最大功率左边;
- $dP/dU < 0$ , 系统运行在最大功率的右边;
- $dP/dU = 0$ , 系统运行在最大功率点。

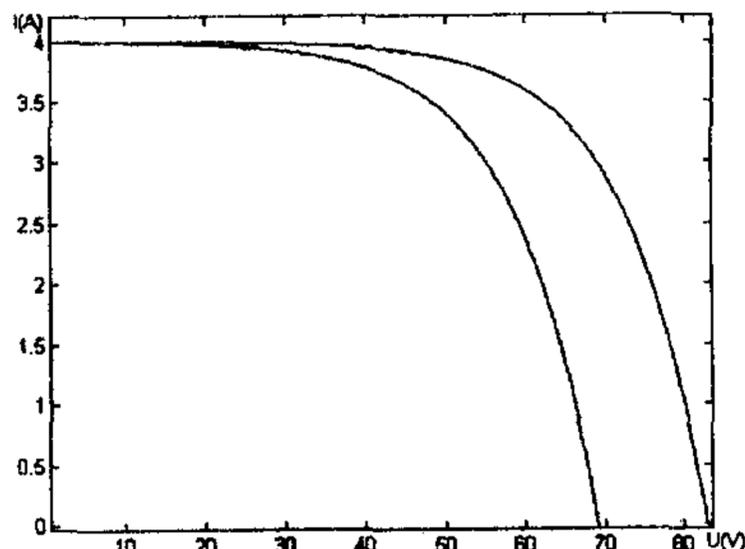


图2 (a) 太阳能电池阵列U-I特性曲线

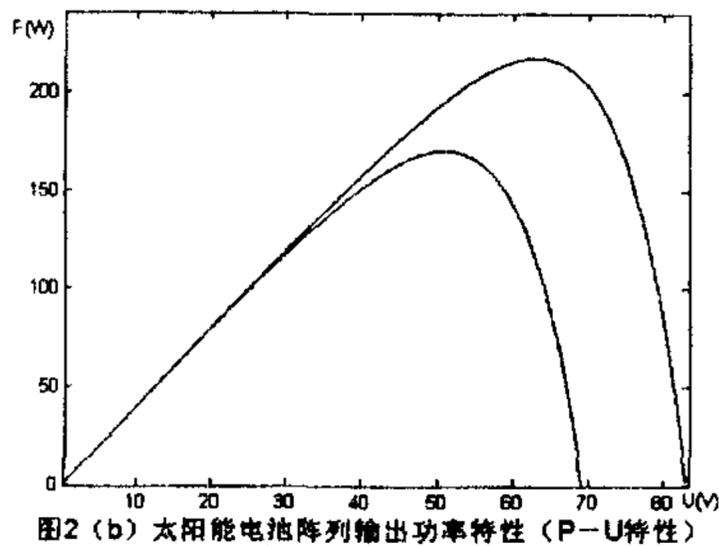


图2 太阳能阵列的 I-U 特性和 P-U 特性

### 2.2 最大功率点的搜索方法

最大功率点的搜索方法很多，梯度法，扰动法，电导增量法，自适应算法等等。扰动法采用模块化控制回路，跟踪法则简明，容易实现。但是扰动法只能在阵列最大功率点附近振荡运行，导致部分功率损失，初始值及跟踪补偿的给定对跟踪精度和速度有较大的影响，并且有时会发生程序在运行中的误判现象，使工作点远离最大功率点。电导增量法虽然能够以平稳的方式跟踪太阳能电池最大功率输出点，但是其算法较为复杂。梯度法包括定步长梯度法和变步长梯度法两种。定步长梯度法是一种常用的方法，跟踪速度和跟踪精度是该算法的不可调和的矛盾。自适应算法在很大程度上改善了精度和速度，由于 Boltzmann 函数的引入使得其计算复杂。

本文在分析了以往的各种最大功率跟踪方法的基础上提出了逐步逼近法，该方法的控制思想是：选择较大的初始步长，搜索出最大功率所在的范围，然后等比例的缩小搜索范围直到搜索到最大功率点。该方法吸取了定步长梯度法中步长大搜索速度快的优点，采用大的初始步长进行搜索，提高搜索速度。逐步逼近法在搜索过程中不断调整搜索步长，每次调整都使得精度成倍提高，从而大大提高了精度。

由图 2 太阳能特性曲线可知， $dP_{pv}/dU_{pv}$  和  $U_{pv}$  之间是一种单调的关系，在  $dP_{pv}/dU_{pv}=0$  的点上恰好就是最大功率点。当  $dP_{pv}/dU_{pv}>0$ ，系统运行在最大功率左边；当  $dP_{pv}/dU_{pv}<0$  时，系统运行在最大功率的右边；在  $dP_{pv}/dU_{pv}=0$  处，系统运行在最大功率点。首先选择较大的步长搜寻最大功率所在的区域，然后按比例缩小步长，再重复搜索，这样搜索到的最大功率所在的区域将缩小一

半，精度提高一倍，再如此循环下去，直至逼近最大功率点。

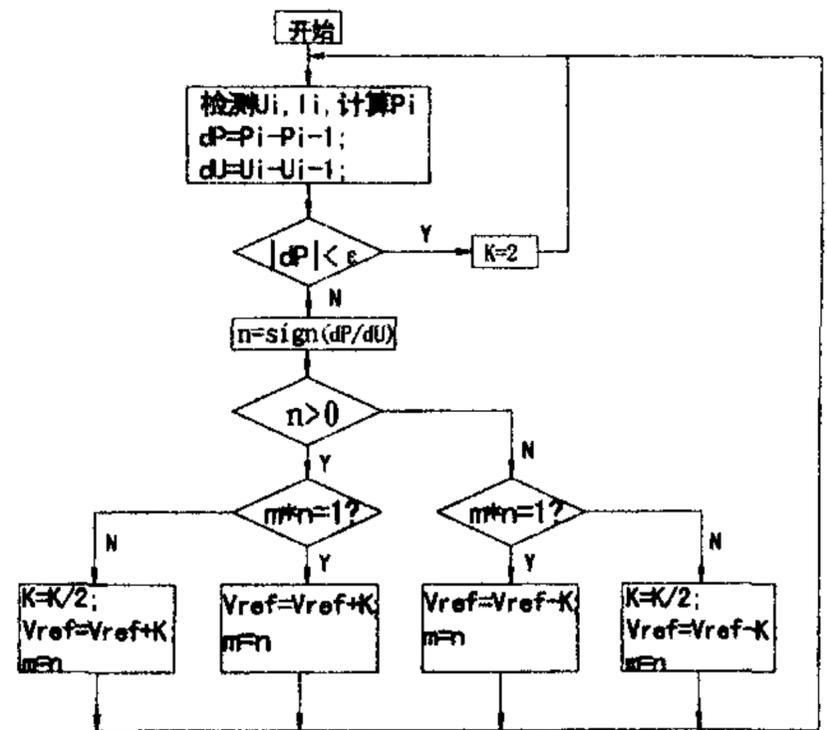


图3 逐步逼近法流程图

图 3 给出了逐步逼近法的控制流程图。其中  $m$  和  $n$  均表示  $dP/dU$  的方向， $m$  表示上次方向， $n$  表示这次的方向。 $K$  表示步长。当程序启动时，选择较大的初始步长  $K$ ，开始实时检测电压  $U_i$  与电流  $I_i$ ，计算功率  $P_i$ ，功率增量  $dP$  和电压增量  $dU$ ，假定初始工作点在最大功率点的左边，并且远离最大功率点，根据流程图可知现在是以定步长进行搜索，直到  $P_{i+1} < P_i$  出现，可知现在在功率最大点的右端，并且可以估计最大功率点的范围在两个初始步长  $2k$  范围内，此时应该改变搜索的方向，并且减小步长为  $k/2$ ，直到出现搜索方向第二次改变时，此时最大功率点的范围在一个初始步长  $k$  范围内，精度提高一倍，此时再次改变搜索方向，再次减小步长为  $k/4$  进行搜索，此时搜索到的最大功率点的范围为  $k/2$  内，精度再次提高一倍，依此类推，知道搜索到最大功率点为止。由图 3 流程图可以看到程序中给了搜索精度要求，当在此精度范围内时，我们就认为搜索到了最大功率点，此时我们再重新给初始步长  $k$  赋值，该流程图中给的是  $k=2$ ，也可以根据实际情况来给定，为最大功率点产生漂移时做好了准备。由以上的搜索过程可以看出，逐步逼近法的精度是以指数形式提高的，该方法由于采用大的初始步长，大大提高了搜索速度，解决了搜索速度和精度这一不可调和的矛盾。

### 3. 几种最大功率跟踪实现方法的仿真结果及其分析

### 3.1 仿真结果

本文对逐步逼近法进行了试验仿真,并与定步长梯度法,自适应法做了比较。

仿真中,考虑到各种算法对功率漂移的灵敏度不同,为了能够更真切的反映不同算法之间的区别,本文选取了比较能够反映情况的两条不同光照强度的曲线进行仿真,选取的曲线如图2所示。开始光照强度弱,在某一时刻,光照强度突然增强,使得最大功率点发生漂移,本文对这种情况下的各种算法进行了仿真,仿真结果如图4所示。图4(a)给出了两种不同步长的定步长梯度法在功率发生漂移时的追踪曲线,图4(b)给出了自适应算法和定步长算法在功率发生漂移时的追踪曲线,图4(c)给出了采用不同初始步长的逐步逼近法在功率发生漂移的情况下的追踪曲线,图4(d)给出了定步长梯度法、自适应法与逐步逼近法在功率发生漂移时的追踪曲线。

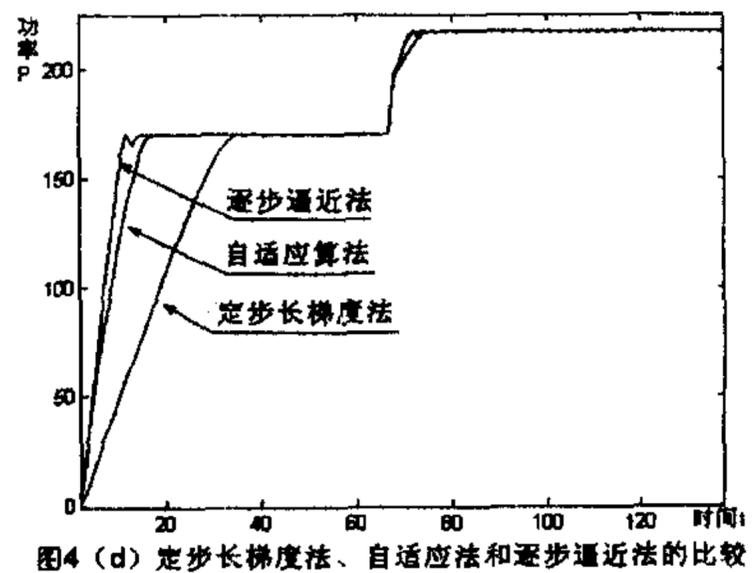
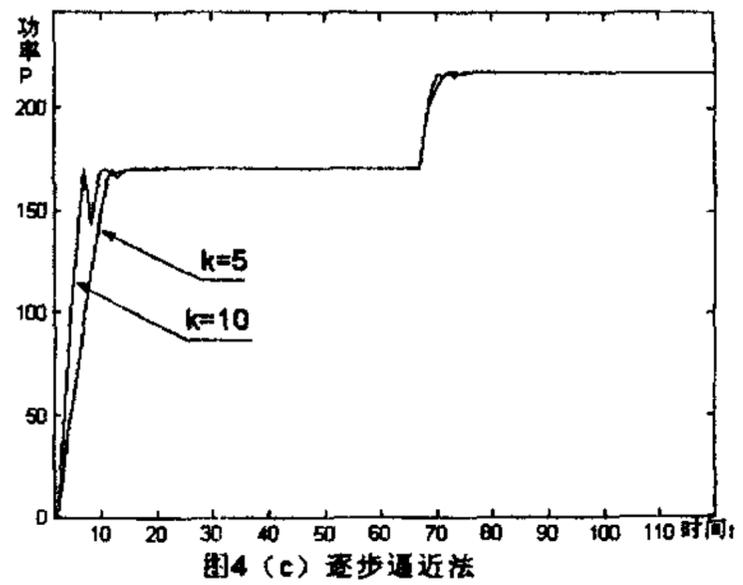
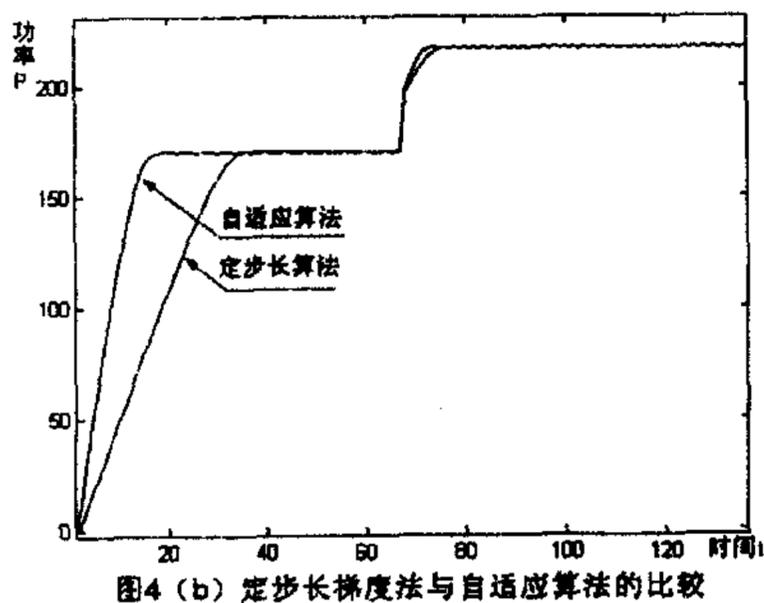
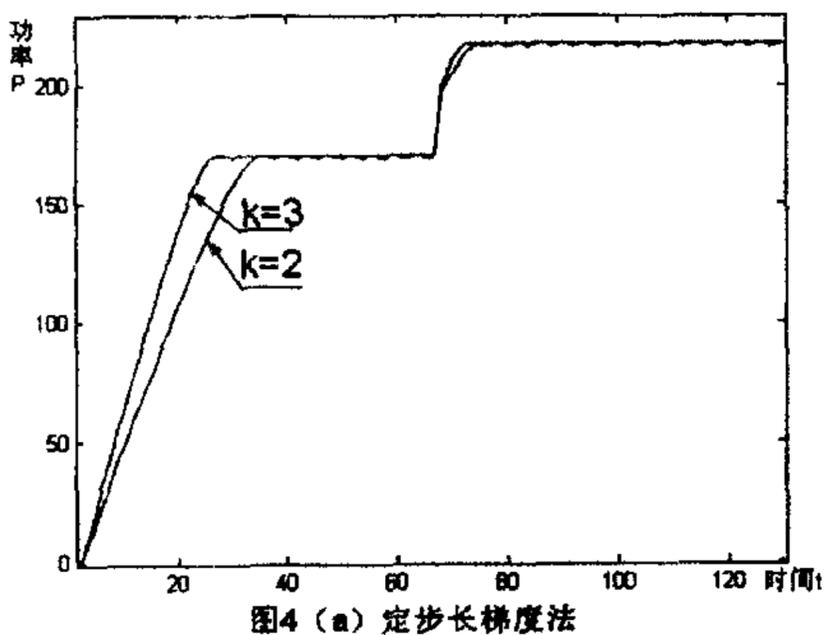


图4 各种算法的仿真结果及其比较

### 3.2 仿真结果分析

定步长梯度法,自适应算法和逐步逼近法都能够实现最大功率点漂移时的追踪,只是其追踪速度和精度有所不同。

由图4(a)可知,对于固定步长的梯度法,当步长越大,搜索的时间越快,但是抖动也越大。然而对于步长小的,搜索的速度比较慢,但是精度却有很大的提高。在功率点发生漂移时,步长大的搜索的速度快,但是精度却比较低。由此可知,对于固定步长的梯度法,搜索速度和精度是一对不可调和的矛盾。

图4(b)对固定步长的梯度法和自适应法进行了比较。在此仿真中,自适应的初始步长较定步长梯度法的初始步长要大一些。由图可知,自适应算法相对固定步长梯度法的搜索速度和精度均大大提高,解决了定步长梯度法的搜索速度和精度这一不可调和的矛盾。虽然也会在最大功率附近产生抖动,但是从总的趋势看,明显的比固定步长梯度法优越。在计算方面,自适应算法由于 boltzmann 函数的引入,加大了计算量。

由图 4(c)可知,对于逐步逼近法,步长越大,搜索速度比步长较小的快,虽然都可以达到相同的精度,但是在搜索过程中的振荡比较大,而步长小的在搜索过程中的振荡就平缓许多。在最大功率点发生漂移时,也具有较好的追踪效果。

图 4(d)对以上三种方法做了比较,在此仿真中,根据各种方法的特点选取了初始步长,逐步逼近法的初始步长最大,自适应法的初始步长次之,定步长梯度法的初始步长最小。由图可知,逐步跟踪法的速度和精度是最理想的,自适应算法也具有较高的精度和搜索速度,定步长算法在精度和速度方面远远不如前面两种方法。在最大功率点发生漂移的时候,逐步逼近法和自适应算法的追踪速度相当,但逐步逼近法的精度要高于自适应算法。

综上所述,逐步逼近法借助较大的初始步大大提高其搜索速度。逐步逼近法有一个更大的特点,初始步长的选择并不影响其精度的要求,也就是说为了提高搜索的速度,可以增大初始步长,但是搜索的精确度并不受到影响,解决了定步长的搜索速

度和精度这一不可调和的矛盾。

#### 4. 总结

在光伏 MPPT 问题的研究过程中,寻找到了—种新的方法——逐步逼近法,并验证了其具有速度快,精度高的特点,能够很好的解决太阳能非线性性的问题,在功率发生漂移时也能够很好的实现最大功率跟踪,并且该方法简单易行。

#### 参考文献:

- [1] 吴捷,侯聪玲,张森。太阳能电池充电器中的自适应算法。太阳能,2004,99(1),18~19。
- [2] 吴捷,张森。风力—太阳能混合发电控制系统的研究。华南理工大学,2004。
- [3] 孙佩石,陶磊。带有最大功率点功能的光伏充电器。可再生能源,2003,111(5),18~20。
- [4] 陈桂三,孙晓,李然。光伏发电系统最大功率点跟踪控制。电子技术应用,2001,(8),33~35。