



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108693914 A

(43)申请公布日 2018. 10. 23

(21)申请号 201710222598.2

(22)申请日 2017.04.07

(71)申请人 华北电力大学(保定)

地址 071003 河北省保定市北市区市永华  
北大街619号华北电力大学

(72)发明人 盛四清 陈玉良

(51) Int. Cl.

G05F 1/67(2006.01)

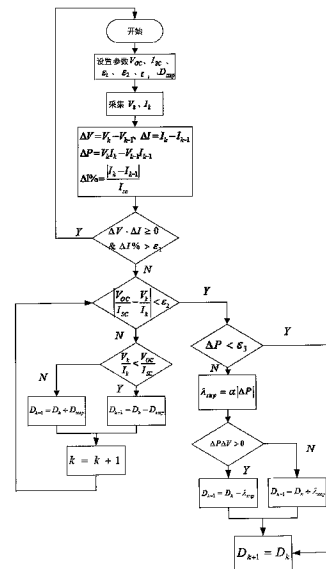
权利要求书2页 说明书4页 附图6页

(54)发明名称

一种局部阴影下新型自适应最大功率跟踪控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种应用于复杂遮阴条件下的新型自适应最大功率跟踪控制方法。传统变步长MPPT方法对均匀光照条件下的单峰值特性寻优问题取得了良好的效果,但其在处理多峰值寻优问题时可能会失效。针对上述情况,提出一种新型自适应变步长MPPT方法。首先建立部分遮阴情况下光伏阵列数学模型,然后根据最大功率点所在电压区间与开路电压和短路电流呈现出的特殊规律,将多峰值寻优问题转化为单峰值寻优问题。找到其所在区间后启用改进自适应算法搜索全局最大功率点,仿真结果表明该算法在无遮阴和部分遮阴情况下均能有效找到全局最大功率点。



CN 108693914 A

1. 一种局部阴影下新型自适应最大功率跟踪控制方法,包含以下步骤:

1) 本发明所提出的新型最大功率点跟踪控制系统由光伏阵列、GPI搜索装置、AMPPT控制器、Boost升压电路以及恒定负载组成。光伏阵列的输出电流和输出电压经过测量装置作为GPI搜索装置的输入信号,GPI搜索装置的输出信号经过AMPPT控制器后通过调整DC-DC电路中功率开关管控制信号的占空比,来获取光伏阵列输出的最大功率点,从而实现最大功率控制。

2) 常规变步长MPPT算法(Conventional MPPT, CMPPT)在环境光照不变的条件下具有良好的稳态精度以及响应速度,当发生局部遮挡时,光伏阵列输出特性曲线呈现多峰值特性,此时常规变步长MPPT方法在最大值寻优时可能会失效。本发明提出一种先搜索全局最大值点所在区间(Global Peak Interval, GPI),然后与自适应变步长(Adaptive MPPT, AMPPT)算法相结合的MPPT算法

3) 全局最大值点所在区间(GPI)是指在光伏阵列P-V特性曲线中全局最大功率点所在波峰对应的电压区间。搜索GPI是多峰值寻优问题的一个关键步骤。基于大量光伏阵列在不同遮阴模式下输出特性的仿真结果发现:光伏阵列I-V特性曲线与直线 $i = \frac{I_{sc}}{V_{oc}}v$ 的交点对应的横坐标即位于GPI。

4) 将电压互感器和电流互感器的测量值输入到GPI搜索装置。通过上述测量值计算得到 $\Delta I = I_k - I_{k-1}$ 、 $\Delta V = V_k - V_{k-1}$ 。式中, $I_{sc}$ 为光伏电池在标准条件下的短路电流。本专利中通过下式来判断光伏电池遮阴模式是否发生变化。当光伏电池遮阴模式发生变化时,需要重启所提算法。所提算法重启条件为:

$$\begin{cases} \Delta I \Delta V = (I_k - I_{k-1})(V_k - V_{k-1}) \\ \Delta I \% = \frac{|I_k - I_{k-1}|}{I_{sc}} \times 100\% \end{cases}$$

5) 通过上述公式检测到外界光照条件发生变化时,所提算法将工作点快速调整到V/I等于 $V_{oc}/I_{sc}$ 的位置,此时工作点将会位于最大功率点所在的GPI。然后启动自适应变步长算法快速定位到全局最大功率点MPP。本发明对常规变步长MPPT算法进行改进,常规变步长算法不能同时满足瞬态响应速度和稳态精度的要求,为了提高最大功率点跟踪的精确性和快速性,论文中采用新的步长因子 $\lambda_{step} = \alpha |\Delta P|$ 。式中, $\alpha$ 为步长调节因子。并且为了防止在最大功率点附近振荡,设置功率偏差阈值 $\epsilon_3$ ,认为当 $|\Delta P| < \epsilon_3$ 时达到最大功率点,停止对步长的扰动,从而有效避免输出功率在MPP附近来回振荡的现象。

2. 根据权利要求1所述的一种局部阴影下新型自适应最大功率跟踪控制方法,其特征在于,步骤1)中所提出的新型最大功率点跟踪控制系统由光伏阵列、GPI搜索装置、AMPPT控制器、Boost升压电路以及恒定负载组成。

3. 根据权利要求1所述的一种局部阴影下新型自适应最大功率跟踪控制方法,其特征在于,步骤3)中将GPI搜索作为所提算法的关键步骤,通过GPI搜索将多峰值寻优问题转化为单峰值寻优问题,然后与自适应算法相结合搜索全局最大功率点。

4. 根据权利要求1所述的一种局部阴影下新型自适应最大功率跟踪控制方法,其特征在于,步骤4)中提出当外界遮阴模式发生变化时算法重启条件。通过上述测量值计算得到 $\Delta I = I_k - I_{k-1}$ 、 $\Delta V = V_k - V_{k-1}$ 。当光伏电池遮阴模式发生变化时,需要重启所提算法,重启条件

为:

$$\begin{cases} \Delta I \Delta V = (I_k - I_{k-1})(V_k - V_{k-1}) \\ \Delta I \% = \frac{|I_k - I_{k-1}|}{I_{sc}} \times 100\% \end{cases}$$

5. 根据权利要求1所述的一种局部阴影下新型自适应最大功率跟踪控制方法,其特征  
在于,步骤5)中对常规变步长MPPT算法进行改进。常规变步长算法不能同时满足瞬态响应  
速度和稳态精度的要求,为了提高最大功率点跟踪的精确性和快速性,论文中采用新的步  
长因子 $\lambda_{step} = \alpha |\Delta P|$ 。式中, $\alpha$ 为步长调节因子。并且为了防止在最大功率点附近振荡,设置  
功率偏差阈值 $\epsilon_3$ ,认为当 $|\Delta P| < \epsilon_3$ 时达到最大功率点,停止对步长的扰动,从而有效避免输  
出功率在MPP附近来回振荡的现象。

## 一种局部阴影下新型自适应最大功率跟踪控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光伏发电领域,特别是涉及一种应用于局部阴影下的最大功率跟踪方法。

### 背景技术

[0002] 随着社会的进步,太阳能发电已经成为我国电能的主要来源之一。与传统的化石能源相比,光伏发电作为一种无污染可再生新能源具有巨大的发展前景。然而,光伏电池的输出特性随外界环境变化呈明显的非线性,并且其光电转换效率非常低。因此,最大功率点跟踪(Maximum Power Point Tracking,MPPT)技术已经成为人们研究的热点问题。

[0003] 到目前为止,人们已经提出多种MPPT控制策略。经典的方法有恒定电压法、扰动观测法以及电导增量法等。其中电导增量法和扰动观测法是目前应用最为广泛的两种方法。传统定步长MPPT方法在步长选取时难以解决稳态精度与瞬态响应速度之间的矛盾。当选取的步长较大时,输出功率在MPP附近存在严重的振荡现象;当选取的步长较小时,其搜索到MPP所用的时间较长,动态响应速度差。因此梯度式变步长MPPT算法在光伏系统中的应用(陈亚爱,周京华,李津,等.梯度式变步长MPPT算法在光伏系统中的应用.中国电机工程学报,2014,34(19):p.3156-3161.)提出梯度式变步长MPPT策略,该方法采用定电压斜率启动方式,将步长因子定义为前后两次功率差的比值,并且加入功率预测算法,动态性能与稳态性能都取得了良好的效果。然而,当光伏阵列发生遮阴情况时,其输出特性呈现多峰特性,此时上述MPPT方法在寻找全局最大功率点(Global Peak,GP)时可能会失效。局部阴影条件下最大功率点跟踪改进算法(孙博,梅军,郑建勇.局部阴影条件下最大功率点跟踪改进算法.电力自动化设备,2014,34(1):p.115-119.)提出改进型电导增量法,利用开路电压和最大功率点电压之间的近似关系来寻找最大功率点,但是该方法要搜索所有可能出现局部极值点的电压区间才能找到MPP,因此其动态响应速度较慢。

[0004] 为解决上述问题,本发明提出新型自适应MPPT算法,当检测到光伏阵列发生遮阴现象时,通过所提算法快速将工作点调整到最大功率点所在的电压区间,此时多峰值寻优转化为单峰值寻优问题,然后通过自适应变步长方法即可找到全局最大功率点。同时,为了避免光伏电池输出功率在最大功率点处振荡,在上述算法中加入扰动终止策略。在Matlab/Simulink中搭建仿真模型,仿真结果表明该算法在无遮阴和部分遮阴情况下均能有效找到全局最大功率点,并且能够有效防止光伏阵列输出功率在MPP处振荡,提高光伏电池输出效率。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于,针对现有最大功率追踪控制方法的不足,提出了一种局部阴影下新型自适应最大功率追踪控制策略,能够在无遮阴和部分遮阴情况下均能有效找到全局最大功率点,并且能够有效防止光伏阵列输出功率在MPP处振荡,提高光伏电池输出效率。

[0006] 为实现上述目的,本发明所采用的技术方案为:一种局部阴影下新型自适应最大功率追踪控制方法,包括以下步骤:

[0007] 1) 本发明所提出的新型最大功率点跟踪控制系统由光伏阵列、GPI搜索装置、AMPPT控制器、Boost升压电路以及恒定负载组成。光伏阵列的输出电流和输出电压经过测量装置作为GPI搜索装置的输入信号,GPI搜索装置的输出信号经过AMPPT控制器后通过调整DC-DC电路中功率开关管控制信号的占空比,来获取光伏阵列输出的最大功率点,从而实现最大功率控制。

[0008] 2) 常规变步长MPPT算法(Conventional MPPT, CMPPT)在环境光照不变的条件下具有良好的稳态精度以及响应速度,当发生局部遮挡时,光伏阵列输出特性曲线呈现多峰值特性,此时常规变步长MPPT方法在最大值寻优时可能会失效。本发明提出一种先搜索全局最大值点所在区间(Global Peak Interval, GPI),然后与自适应变步长(Adaptive MPPT, AMPPT)算法相结合的MPPT算法。

[0009] 3) 全局最大值点所在区间(GPI)是指在光伏阵列P-V特性曲线中全局最大功率点所在波峰对应的电压区间。搜索GPI是多峰值寻优问题的一个关键步骤。基于大量光伏阵列在不同遮阴模式下输出特性的仿真结果发现:光伏阵列I-V特性曲线与直线 $i = \frac{I_{sc}}{V_{oc}}v$ 的交点所对应的横坐标即位于GPI。

[0010] 4) 将电压互感器和电流互感器的测量值输入到GPI搜索装置。通过上述测量值计算得到 $\Delta I = I_k - I_{k-1}$ 、 $\Delta V = V_k - V_{k-1}$ 。式中, $I_{sc}$ 为光伏电池在标准条件下的短路电流。本专利中通过下式来判断光伏电池遮阴模式是否发生变化。当光伏电池遮阴模式发生变化时,需要重启所提算法。所提算法重启条件为:

$$[0011] \quad \begin{cases} \Delta I \Delta V = (I_k - I_{k-1})(V_k - V_{k-1}) \\ \Delta I \% = \frac{|I_k - I_{k-1}|}{I_{sc}} \times 100\% \end{cases}$$

[0012] 5) 通过上述公式检测到外界光照条件发生变化时,所提算法将工作点快速调整到V/I等于 $V_{oc}/I_{sc}$ 的位置,此时工作点将会位于最大功率点所在的GPI。然后启动自适应变步长算法快速定位到全局最大功率点MPP。本发明对常规变步长MPPT算法进行改进,常规变步长算法不能同时满足瞬态响应速度和稳态精度的要求,为了提高最大功率点跟踪的精确性和快速性,论文中采用新的步长因子 $\lambda_{step} = \alpha |\Delta P|$ 。式中, $\alpha$ 为步长调节因子。并且为了防止在最大功率点附近振荡,设置功率偏差阈值 $\epsilon_3$ ,认为当 $|\Delta P| < \epsilon_3$ 时达到最大功率点,停止对步长的扰动,从而有效避免输出功率在MPP附近来回振荡的现象。

[0013] 本发明的技术方案具有以下有益效果:

[0014] 本发明的技术方案,首先建立光伏阵列在部分遮蔽条件下的数学模型,然后根据最大功率点所在电压区间与开路电压和短路电流呈现出的特殊规律,将多峰值寻优问题转化为单峰值寻优问题。找到其所在区间后启用改进自适应算法搜索全局最大功率点,从而达到在无遮阴和部分遮阴情况下均能有效找到全局最大功率点的目的。

[0015] 下面通过附图和实施例,对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

## 附图说明

- [0016] 图1为光伏发电系统框图。  
 [0017] 图2为GPI搜索原理图。  
 [0018] 图3为算法重启条件原理图  
 [0019] 图4为寻优过程原理图。  
 [0020] 图5为新型自适应MPPT算法流程图。  
 [0021] 图6为光伏电池输出功率随光照强度变化曲线。

### 具体实施方式

[0022] 下面将结合附图和具体实施例对本发明进行进一步详细说明。

[0023] 图1为光伏发电系统框图。本发明所提出的新型最大功率点跟踪控制系统由光伏阵列、GPI搜索装置、AMPPT控制器、Boost升压电路以及恒定负载组成。光伏阵列的输出电流和输出电压经过测量装置作为GPI搜索装置的输入信号，GPI搜索装置的输出信号经过AMPPT控制器后通过调整DC-DC电路中功率开关管控制信号的占空比，来获取光伏阵列输出的最大功率点，从而实现最大功率控制。

[0024] 图2为GPI搜索原理图。全局最大值点所在区间(GPI)是指在光伏阵列P-V特性曲线中全局最大功率点所在波峰对应的电压区间。搜索GPI是多峰值寻优问题的一个关键步骤。基于大量光伏阵列在不同遮阴模式下输出特性的仿真结果发现：光伏阵列I-V特性曲线与直线 $i = \frac{I_{sc}}{V_{oc}}v$ 的交点对应的横坐标即位于GPI。如图2所示，图中仿真得到光伏阵列在4种不同遮阴模式下的I-V及P-V特性曲线。直线 $i = \frac{I_{sc}}{V_{oc}}v$ 分别于光伏阵列I-V特性曲线相交于A、B、C、D四点。A~D所对应的横坐标分别位于光伏阵列在四种遮阴情况下P-V特性曲线的GPI。

[0025] 图3为算法重启条件原理图。当光照条件为均匀光照或者发生遮蔽情况时，光伏阵列的I-V特性曲线总是呈现出单调递减特性。当MPPT算法沿着I-V特性曲线搜索全局最大值时，电压的升高伴随着电流的下降。当光照条件发生变化时，光伏阵列输出特性曲线也会随之发生改变。如图3所示，环境光照条件发生变化时，光伏电池I-V特性曲线由S1变为S2。若光伏阵列与恒定阻抗负载相连接，工作点由A点变为B点，此时光伏阵列的输出电压和输出电流同时减小，反之光伏电池特性曲线由S2变为S1时，其输出电压和输出电流同时增大；当光伏阵列与恒定电压负载(如DC-AC逆变器)相连接时，电压变化量 $\Delta V$ 几乎为0，电流变化量 $\Delta I$ 则非常显著。由以上分析可知，以下公式得到满足时认为外界光照发生变化，需要重新启动上述MPPT算法。式中， $\epsilon_1$ 为电流偏差阈值。所提算法重启条件为：

$$[0026] \quad \begin{cases} \Delta I \Delta V = (I_k - I_{k-1})(V_k - V_{k-1}) \\ \Delta I \% = \frac{|I_k - I_{k-1}|}{I_{sc}} \times 100\% \end{cases}$$

[0027] 图4为寻优过程原理图。初始光照强度为S3，假设光伏阵列通过升压变换电路与恒定阻抗负载相连接。当上述算法启动时，工作点快速移动到S3与直线 $i = \frac{I_{sc}}{V_{oc}}v$ 的交点A点，由图4可知A点位于特性曲线S3的MPP所在的GPI，此时通过自适应变步长算法快速定位到全局最大功率点B；当光照强度发生变化时，光伏电池输出特性由S3变为S4，因为所加负载为恒定阻抗负载，因此光伏工作点由B点移动到C点。此时由以上公式检测到光照发生变化，重新

启动上述MPPT算法,将光伏系统的工作点定位到D点,然后通过变步长方法将工作点移动到S4光照强度下的全局最大功率点E。

[0028] 为验证本发明所提最大功率追踪控制方法的有效性和先进性,在Matlab/Simulink仿真环境中建立光伏电池最大功率跟踪控制方法验证模型。新型最大功率点跟踪控制系统由光伏阵列、GPI搜索装置、AMPPT控制器、Boost升压电路以及恒定负载组成。

[0029] 为比较常规变步长MPPT算法与局部阴影下新型自适应MPPT算法的追踪能力,在Simulink中建立遮阴情况下光伏系统数学模型,以图6(a)所示的4种遮阴情况为仿真算例,四种遮阴情况全局最大功率点分别记为A~D。设置仿真时间为0.8S,并且每过0.2S对光伏阵列遮阴模式进行一次改变,光照改变的顺序为S1-S2-S3-S4。本次仿真中与上述自适应MPPT算法有关参数如表1所示。

[0030] 表1自适应MPPT算法相关参数

[0031]

算法参数	
开路电压 $U_{oc}$	37.92V
短路电流 $I_{sc}$	8.62A
电流偏差阈值 $\varepsilon_1$	0.1
GPI 搜索阈值 $\varepsilon_2$	0.03V/A
功率偏差阈值 $\varepsilon_3$	1W
GPI 搜索步长 $D_{step}$	0.005

[0032] 图6(b)为采用常规变步长算法与新型自适应变步长算法光伏阵列输出功率对比图。首先,从图中可以看出在0~0.2S以及0.6S~0.8S的时间内,光伏电池输出特性曲线为单峰值曲线,即当外界光照无阴影时,上述两种方法均能搜索到最大功率点,但本发明所提自适应MPPT方法动态响应速度更快,并且在最大功率点时的功率输出振荡较小,稳态性能得到提高;而在0.2S~0.4S以及0.4S~0.6S时间内,光伏阵列发生遮阴情况,常规变步长MPPT方法搜索最大功率点失败,尤其是在0.4S~0.6S时间内,其输出为局部最大功率点功率,与全局最大功率点功率相比大约造成31.1%的功率损失,使得光伏阵列输出效率大幅度降低。

[0033] 仿真结果表明,本发明所提出的局部阴影下新型自适应MPPT算法能够在无遮阴和部分遮阴情况时均能有效找到全局最大功率点,并且能够有效防止光伏阵列输出功率在MPP处振荡,提高光伏电池输出效率。

[0034] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,对于本领域的技术人员来说,其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

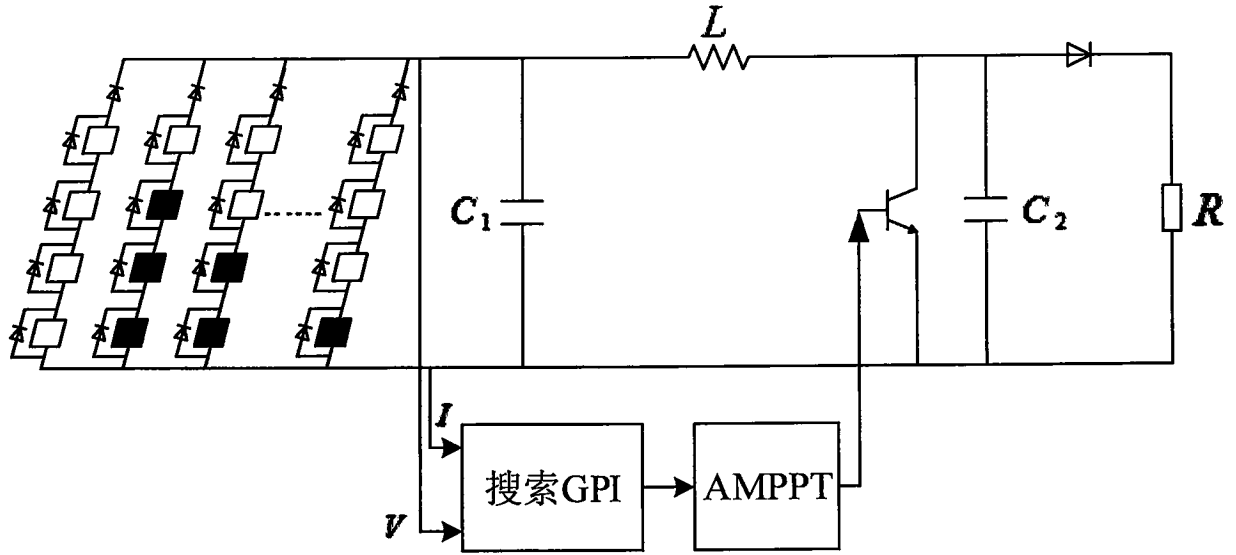


图1



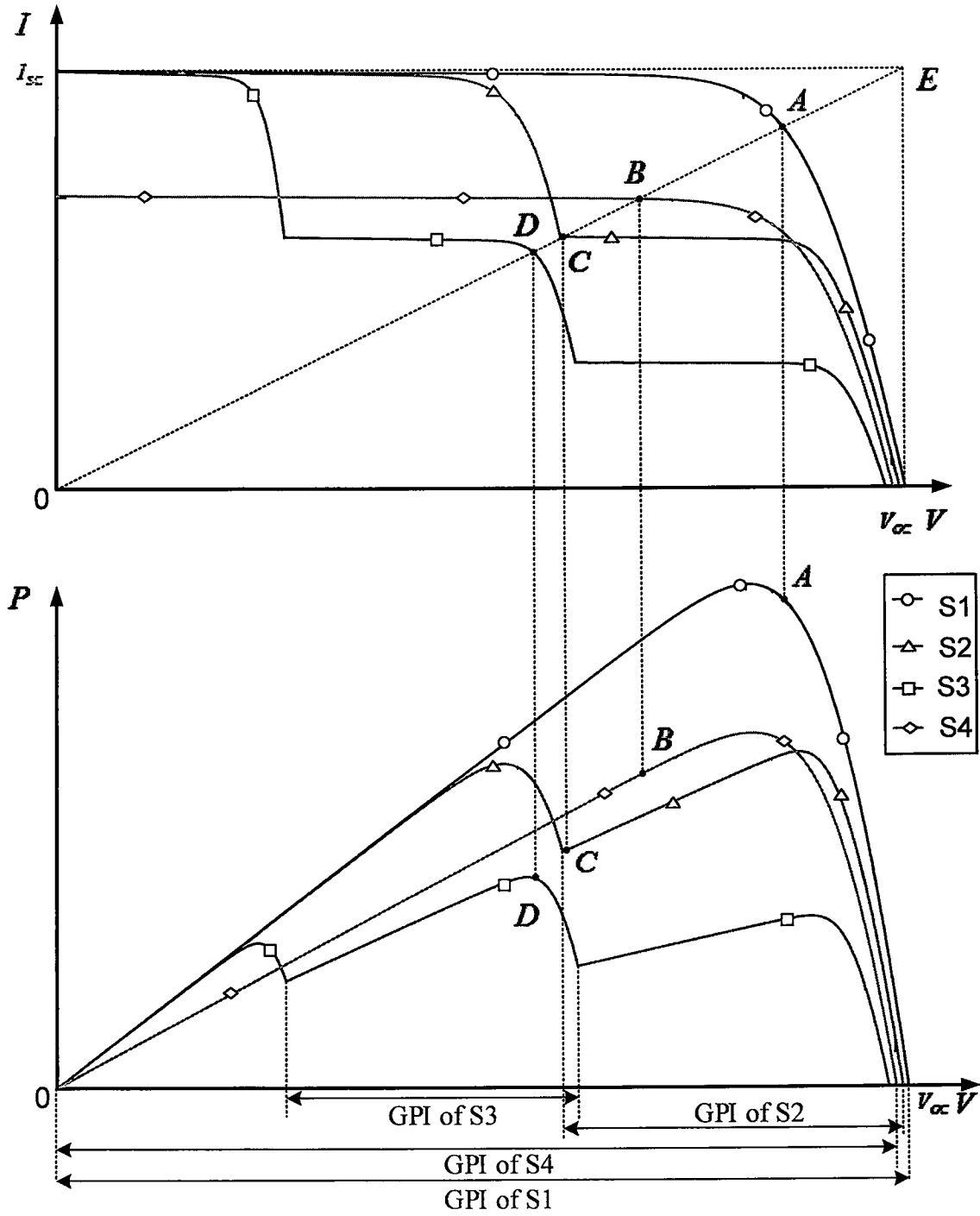


图2

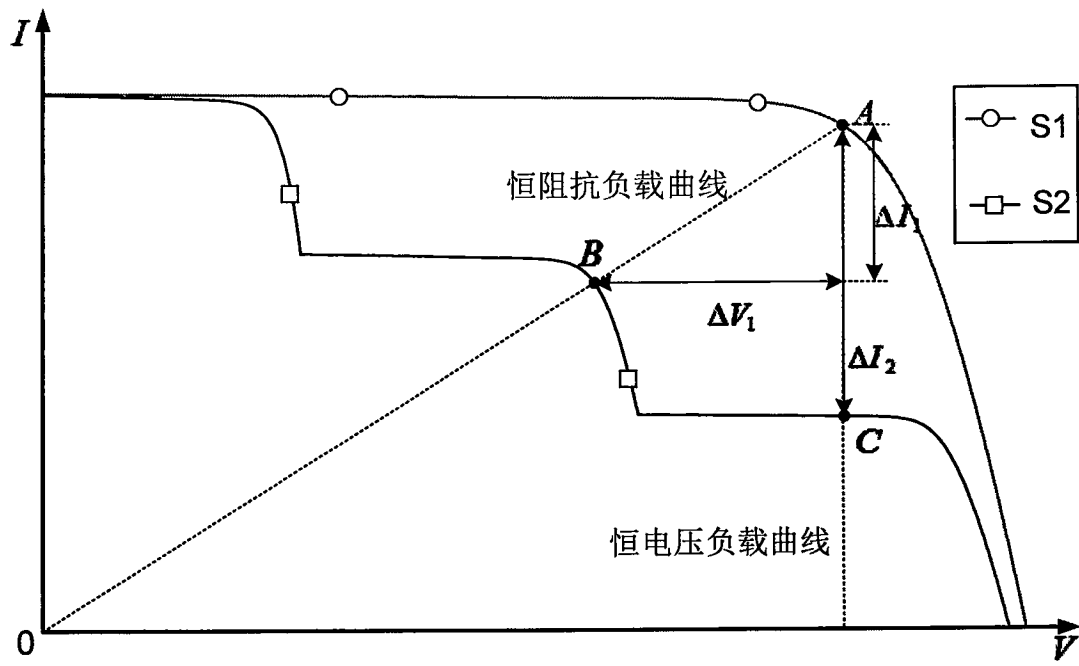


图3

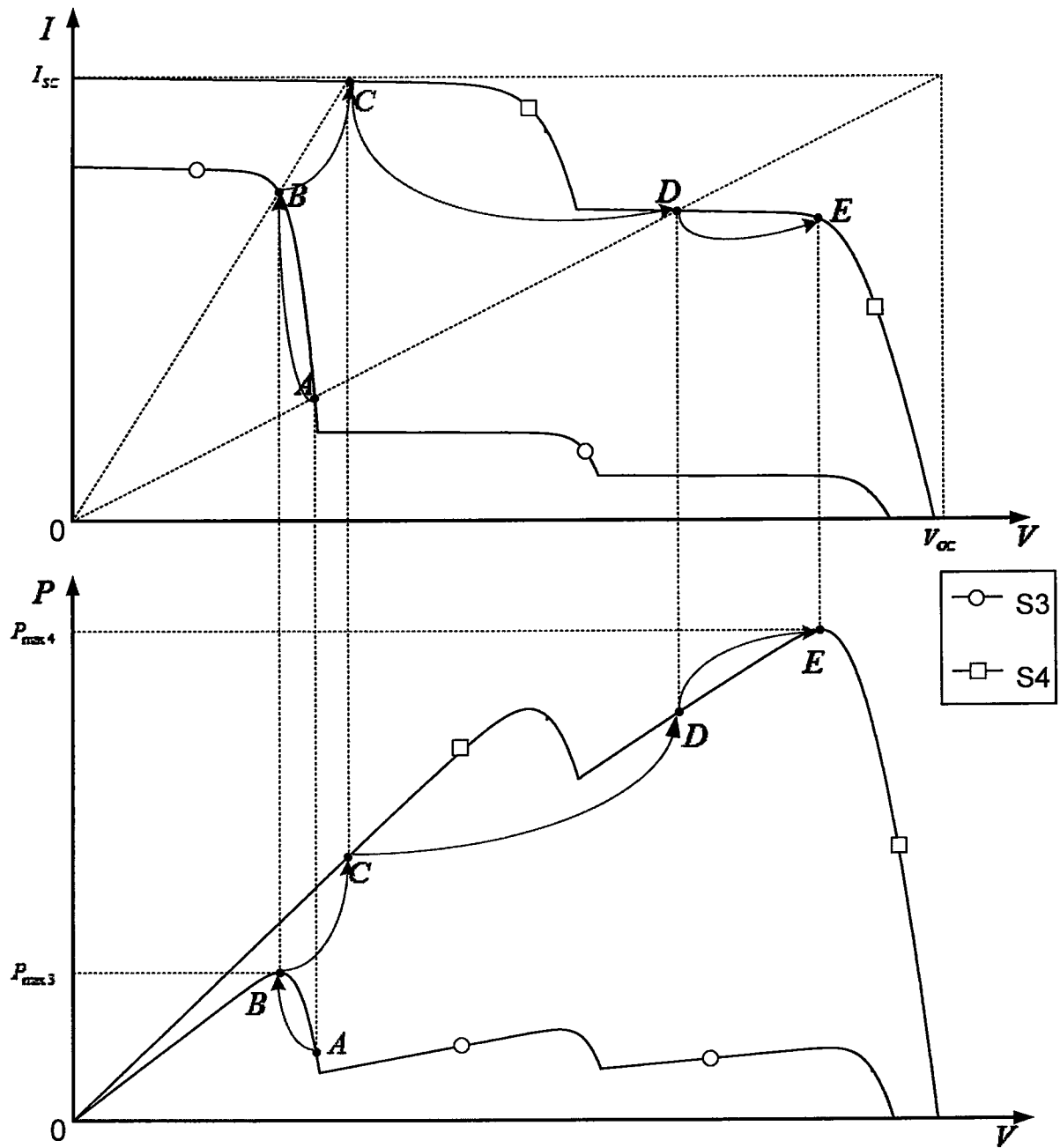


图4

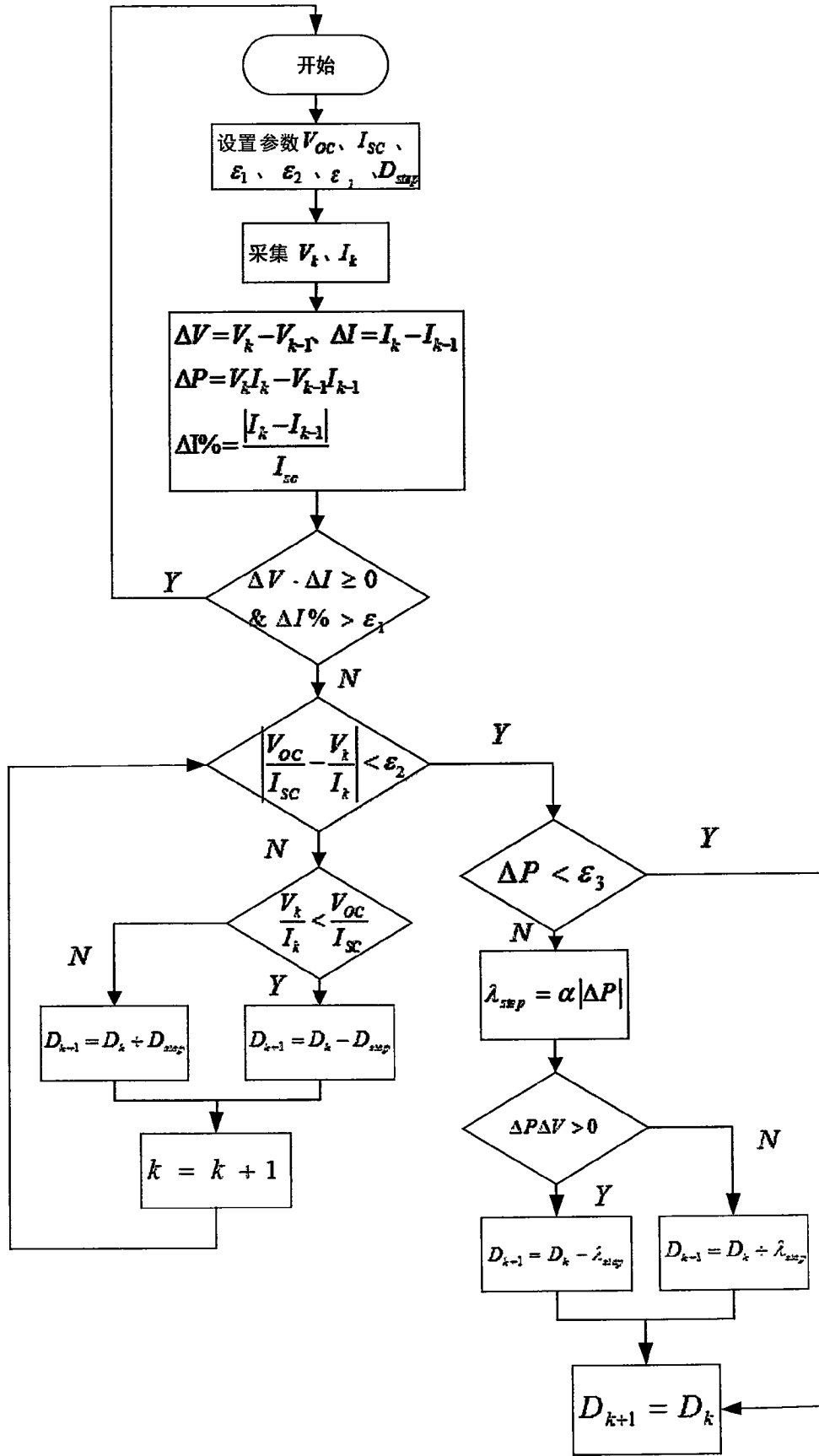


图5

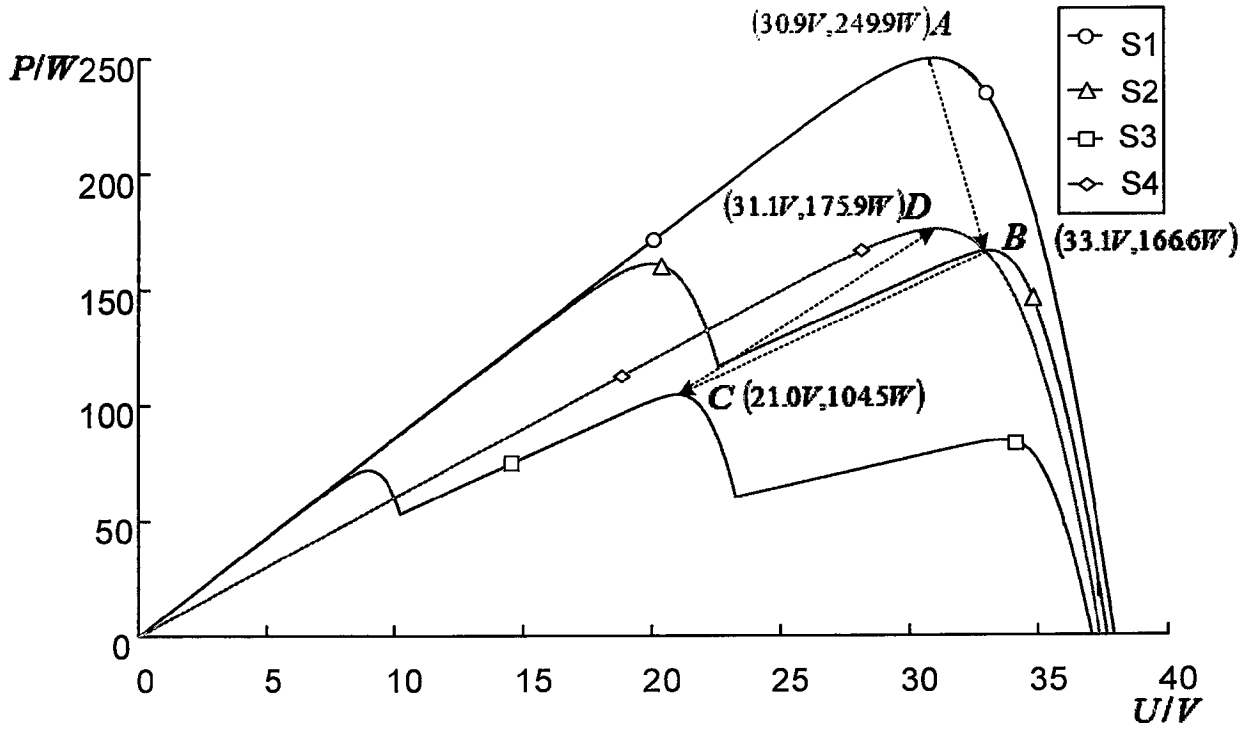


图6a

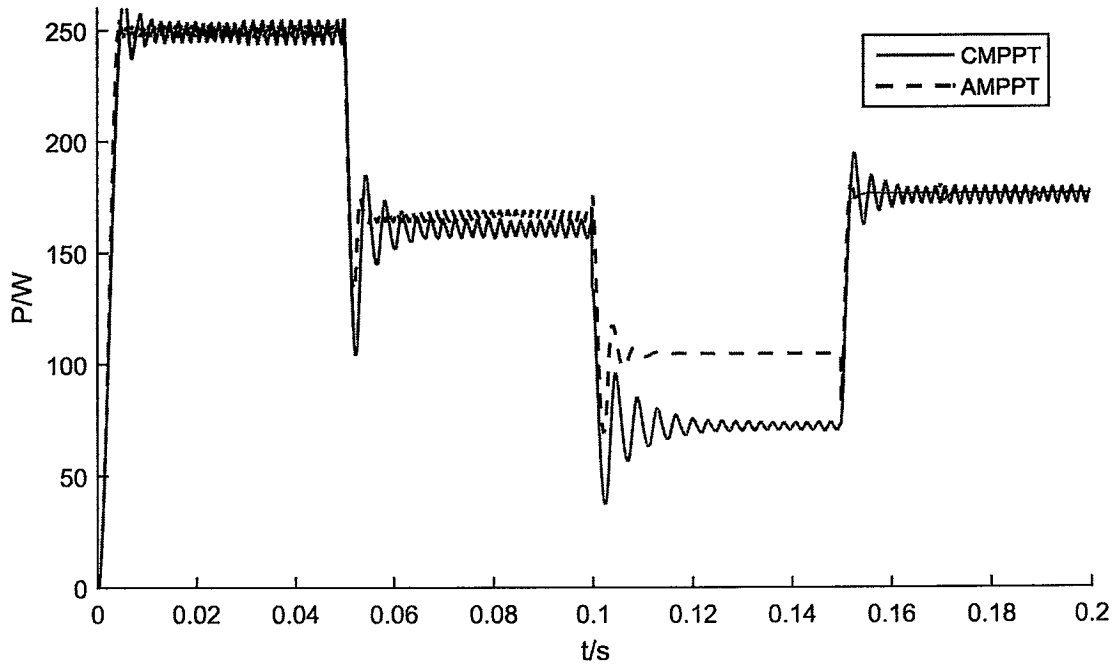


图6b