



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105278612 A

(43) 申请公布日 2016. 01. 27

(21) 申请号 201510835980. 1

(22) 申请日 2015. 11. 25

(71) 申请人 天津航空机电有限公司

地址 300308 天津市东丽区空港经济区西十道 5 号

(72) 发明人 安新升 张海宝 陈双喜

(74) 专利代理机构 北京品源专利代理有限公司

11332

代理人 孟金喆 胡彬

(51) Int. Cl.

G05F 1/67(2006. 01)

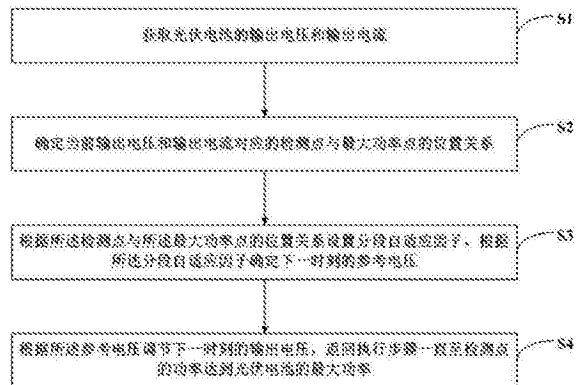
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

一种最大功率点的跟踪方法

(57) 摘要

本发明公开了一种最大功率点的跟踪方法。所述方法包括步骤一、获取光伏电池的输出电压和输出电流；步骤二、确定当前输出电压和输出电流对应的检测点与最大功率点的位置关系；步骤三、根据所述检测点与所述最大功率点的位置关系设置分段自适应因子，根据所述分段自适应因子确定下一时刻的参考电压；步骤四、根据所述参考电压调节下一时刻的输出电压，返回执行步骤一直至检测点的功率达到光伏电池的最大功率。本发明的技术方案实现将固定步长变为可变步长，平衡了功率跟踪速度与精度的关系，达到了保证最大功率点跟踪的准确性和稳定性的效果。



1. 一种最大功率点的跟踪方法,其特征在于,包括:

步骤一、获取光伏电池的输出电压和输出电流;

步骤二、确定当前输出电压和输出电流对应的检测点与最大功率点的位置关系;

步骤三、根据所述检测点与所述最大功率点的位置关系设置分段自适应因子,根据所述分段自适应因子确定下一时刻的参考电压;

步骤四、根据所述参考电压调节下一时刻的输出电压,返回执行步骤一直至检测点的功率达到光伏电池的最大功率。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,确定当前输出电压和输出电流对应的检测点与最大功率点的位置关系,包括:

在当前时刻与上一时刻的输出电压的变化值不为零,且输出功率的变化值与输出电压的变化值的比值为零时,确定当前输出电压和输出电流对应的检测点为光伏电池的最大功率点;

在当前时刻与上一时刻的输出电压的变化值不为零,且输出功率的变化值与输出电压的变化值的比值大于零时,确定当前输出电压和输出电流对应的检测点位于光伏电池的最大功率点的左侧;

在当前时刻与上一时刻的输出电压的变化值不为零,且输出功率的变化值与输出电压的变化值的比值小于零时,确定当前输出电压和输出电流对应的检测点位于光伏电池的最大功率点的右侧。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,根据所述检测点与所述最大功率点的位置关系设置分段自适应因子,根据所述分段自适应因子调节下一时刻的参考电压,包括:

当所述检测点位于所述最大功率点的左侧时,采用预设的一阶线性自适应因子调节电导增量法的步长,根据当前时刻的输出电压与调节后的第一步长之和确定下一时刻的参考电压;

或者,当所述检测点位于所述最大功率点的右侧时,采用预设的二阶自适应因子调节电导增量法的步长,根据当前时刻的输出电压与调节后的第二步长之差确定下一时刻的参考电压。

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,当所述检测点位于所述最大功率点的左侧时,自适应因子 $D_j = k_1 \frac{dP}{dU}$; 当所述检测点位于所述最大功率点右侧时,自适应因子

$D_j = k_2 \left(\frac{dP}{dU} \right)^2$, 其中, k_1 、 k_2 为调节因子,在 $\frac{dP}{dU} > 1$ 时, $k_1 \in [0.1, 1]$, 在 $0 < \frac{dP}{dU} < 1$ 时,

$k_1 \in (1, 10]$, 在 $-1 < \frac{dP}{dU} < 1$ 时, $k_2 \in (1, 10]$, 在 $\frac{dP}{dU} < -1$ 时, $k_2 \in [0.5, 1]$, dP 为当前时

刻与上一时刻采样的输出功率的变化值, dU 为当前时刻与上一时刻采样的输出电压的变化值。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,在获取光伏电池的输出电压和输出电流之后,根据所述参考电压调节下一时刻的输出电压,返回执行步骤一直至检测点的功率达到光伏电池的最大功率之前,还包括:

在当前时刻与上一时刻的输出电压的变化值为零,且输出电流的变化值为零时,确定

自适应因子 $D_j = 0$;

或者,

在当前时刻与上一时刻的输出电压的变化值为零,且输出电流的变化值不为零时,确定自适应因子 $D_j = 1$ 。

一种最大功率点的跟踪方法

技术领域

[0001] 本发明实施例涉及光伏发电技术,尤其涉及一种最大功率点的跟踪方法。

背景技术

[0002] 光伏太阳能板最大功率跟踪方法 (MPPT) 一直是光伏发电领域研究的难点和热点。光伏电池的输出功率受温度、光照和负载的影响,并且呈非线性关系。为了最大程度的提高光电转换效率,充分利用太阳能,必须随环境参数的变化调节光伏电源的输出功率,保证其工作在最大功率点。

[0003] 所谓最大功率跟踪 (MPPT),是指光伏电池的输出功率函数在一定的光照或者一定温度下为凸函数,如图 1 和图 2 所示,温度、光照共同变化时,在某特定状态下,光伏电池的输出功率有最大值,即为最大功率点 (MPP),并且对不同温度、光照参数下的最大功率点跟踪和输出。输出电流与输出电压的模型为

$$[0004] \quad I = I_{sc} - I_0 \left(e^{\frac{q(U+IR_s)}{kT}} - 1 \right) - \frac{U + IR_s}{R_{sh}}$$

[0005] 由于 $R_{sh} \gg R_s$, 故上式可以简化为:

$$[0006] \quad I = I_{sc} - I_0 \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right)$$

[0007] 光伏电池的输出功率为:

$$[0008] \quad P = I_s U - I_0 U \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right)$$

[0009] 常用的最大功率跟踪技术有恒压控制法、扰动观察法、电导增量法,其中扰动观察法稳定性不好,容易在最大功率点处出现振荡;恒压控制法原理比较简单,但是精确度不高,甚至在恶劣条件下容易产生发散,严重偏离最优功率点;电导增量法相对精确度和稳定性都优于前两者,但电导增量法通常采用固定步长跟踪最大功率点,步长太大跟踪速度快但是跟踪精度不高,反之精度提高了却影响了跟踪速度。

发明内容

[0010] 本发明提供一种最大功率点的跟踪方法,以实现权衡收敛速度与精度的关系,保证最大功率点跟踪的准确性和稳定性。

[0011] 本发明实施例提供了一种最大功率点的跟踪方法,包括:

[0012] 步骤一、获取光伏电池的输出电压和输出电流;

[0013] 步骤二、确定当前输出电压和输出电流对应的检测点与最大功率点的位置关系;

[0014] 步骤三、根据所述检测点与所述最大功率点的位置关系设置分段自适应因子,根据所述分段自适应因子确定下一时刻的参考电压;

[0015] 步骤四、根据所述参考电压调节下一时刻的输出电压,返回执行步骤一至检测点的功率达到光伏电池的最大功率。

[0016] 本发明通过获取光伏电池的输出电压和输出电流；确定当前输出电压和输出电流对应的检测点位于最大功率点的左侧或右侧；根据所述检测点与所述最大功率点的位置关系设置分段自适应因子，根据所述分段自适应因子确定下一时刻的参考电压；根据所述参考电压调节下一时刻的输出电压，返回执行获取光伏电池的输出电压和输出电流，并重复执行上述步骤直至检测点的功率达到光伏电池的最大功率，解决采用定步长跟踪最大功率点的方法不能权衡收敛速度与精度的关系的问题，实现将固定步长变为可变步长，平衡了功率跟踪速度与精度的关系，达到了保证最大功率点跟踪的准确性和稳定性的效果。

附图说明

- [0017] 图 1 为现有技术中光伏电池输出功率随光照变化的 P-U 曲线；
 [0018] 图 2 为现有技术中光伏电池输出功率随温度变化的 P-U 曲线；
 [0019] 图 3 是本发明实施例一中的一种最大功率点的跟踪方法的流程图；
 [0020] 图 4 是本发明实施例一中的一种最大功率点的跟踪系统的电路原理图；
 [0021] 图 5 是本发明实施例二中的一种最大功率点的跟踪方法的流程图；
 [0022] 图 6 是温度变化时传统的电导增量 MPPT 方法的最大功率跟踪效果图；
 [0023] 图 7 是温度变化时本发明变步长自适应 MPPT 方法的最大功率跟踪效果图。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步的详细说明。可以理解的是，此处所描述的具体实施例仅仅用于解释本发明，而非对本发明的限定。另外还需要说明的是，为了便于描述，附图中仅示出了与本发明相关的部分而非全部结构。

[0025] 实施例一

[0026] 图 3 为本发明实施例一提供的一种最大功率点的跟踪方法的流程图，本实施例可适用于要求光伏电池的最大功率跟踪过程中兼顾跟踪精度与收敛速度的关系的情况，该方法可以由最大功率点的跟踪系统来执行，具体包括如下步骤：

[0027] 步骤 1、获取光伏电池的输出电压和输出电流。

[0028] 通过电压传感器和电流传感器采集光伏电池的输出电压和输出电流。例如，可以通过在光伏电池的两端并联电压传感器采集光伏电池的输出电压，并发送至最大功率点的跟踪系统电路中的控制器。以及，在最大功率点的跟踪系统电路中光伏电池的输出端与升压电路的输入端 (Boost 变换电路) 之间串联电流传感器采集光伏电池的输出电流，并发送至最大功率点的跟踪系统电路中的控制器。该控制器根据接收的输出电压和输出电流采用变步长最大功率点跟踪算法进行运算。

[0029] 步骤 2、确定当前输出电压和输出电流对应的检测点与最大功率点的位置关系。

[0030] 通过电导增量最大功率点跟踪 (MPPT) 方法利用对光伏电池的输出功率函数一阶求导取极值得到最大功率点跟踪方法模型。对光伏电池的输出功率一阶求导的离散化表示

形式为：
$$\frac{dP(i)}{dU(i)} = I(i) + U(i) \frac{dI(i)}{dU(i)}$$
，其中， $I(i)$ 、 $U(i)$ 为 i 时刻的采样的输出电流和输出电压， $dP(i)$ 、 $dU(i)$ 和 $dI(i)$ 为 i 与 $i-1$ 时刻采样的输出功率的变化值、输出电压的变化值和输出电流的变化值。

[0031] 在当前时刻与上一时刻的输出电压的变化值 $dU(i)$ 不为零,且输出功率的变化值与输出电压的变化值的比值 $\frac{dP(i)}{dU(i)} = 0$,即 $\frac{dI(i)}{dU(i)} = -\frac{I}{U}$ 时,确定当前输出电压和输出电流对应的检测点为光伏电池的最大功率点,此时,下一时刻的参考电压 $U_{ref}(i+1) = U_{ref}(i)$ 。

[0032] 在当前时刻与上一时刻的输出电压的变化值 $dU(i)$ 不为零,且输出功率的变化值与输出电压的变化值的比值 $\frac{dP(i)}{dU(i)} > 0$,即 $\frac{dI(i)}{dU(i)} > -\frac{I}{U}$ 时,确定当前输出电压和输出电流对应的检测点位于光伏电池的最大功率点的左侧。

[0033] 在当前时刻与上一时刻的输出电压的变化值 $dU(i)$ 不为零,且输出功率的变化值与输出电压的变化值的比值 $\frac{dP(i)}{dU(i)} < 0$,即 $\frac{dI(i)}{dU(i)} < -\frac{I}{U}$ 时,确定当前输出电压和输出电流对应的检测点位于光伏电池的最大功率点的右侧。

[0034] 步骤 3、根据所述检测点与所述最大功率点的位置关系设置分段自适应因子,根据所述分段自适应因子确定下一时刻的参考电压。

[0035] 当所述检测点为所述最大功率点时,自适应因子取值为零,下一时刻的参考电压 $U_{ref}(i+1) = U_{ref}(i)$ 。

[0036] 当所述检测点位于所述最大功率点的左侧时,根据光伏电池的 P-U 曲线特性确定采用预设的一阶线性自适应因子调节电导增量法的步长,根据当前时刻的输出电压与调节后的第一步长之和确定下一时刻的参考电压。例如,当所述检测点位于所述最大功率点的

左侧时,自适应因子 $D_j = k_1 \frac{dP(i)}{dU(i)}$,其中, k_1, k_2 为调节因子,在 $\frac{dP(i)}{dU(i)} > 1$ 时, $k_1 \in [0.1, 1]$,在

$0 < \frac{dP(i)}{dU(i)} < 1$ 时, $k_1 \in (1, 10]$ 。此时,调节后的第一步长为 $dU_{ref} k_1 \frac{dP(i)}{dU(i)}$,下一时刻的参

考电压 $U_{ref}(i+1) = U_{ref}(i) + dU_{ref} k_1 \frac{dP(i)}{dU(i)}$ 。

[0037] 或者,当所述检测点位于所述最大功率点的右侧时,根据光伏电池的 P-U 曲线特性采用预设的二阶自适应因子调节电导增量法的步长,根据当前时刻的输出电压与调节后的第二步长之差确定下一时刻的参考电压。例如,当所述检测点位于所述最大功率点右侧

时,自适应因子 $D_j = k_2 \left(\frac{dP(i)}{dU(i)}\right)^2$,其中,在 $-1 < \frac{dP(i)}{dU(i)} < 1$ 时, $k_2 \in (1, 10]$,在 $\frac{dP(i)}{dU(i)} < -1$

时, $k_2 \in [0.5, 1]$ 。此时,调节后的第二步长为 $dU_{ref} k_2 \left(\frac{dP(i)}{dU(i)}\right)^2$,下一时刻的参量电压

$U_{ref}(i+1) = U_{ref}(i) - dU_{ref} k_2 \left(\frac{dP(i)}{dU(i)}\right)^2$ 。

[0038] 由图 1 和图 2 所示,光伏电池的 P-U 曲线在最大功率点左侧,功率与电压近似成一次线性比例关系,通过数据拟合的方式获得在最大功率点左侧时自适应因子 D_j 为一次函数形式,在最大功率点右侧,功率与电压近似成二次函数关系,通过数据拟合的方式获得此时

自适应因子 D_j 为二次函数形式。例如,在最大功率点左侧时,自适应因子 $D_j = k_1 \frac{dP(i)}{dU(i)}$,在最大功率点右侧时,自适应因子 $D_j = k_2 \left(\frac{dP(i)}{dU(i)} \right)^2$ 。其中,调节因子 k_1 和 k_2 的取值越大,步长增长就越快,调节因子 k_1 和 k_2 的取值越小,步长增长就越慢,从而影响光伏电池的最大功率点跟踪的精度和效率。例如,在最大功率点左侧时,光伏电池在最大功率点跟踪的初始阶段可能出现比较大的功率变化率,可能是 $\frac{dP(i)}{dU(i)} > 5$,若 k_1 取值过大,诸如 $k_1 = 2$,此时,光伏电池

最大功率跟踪系统容易发散而偏离最大功率点,跟踪的精度降低。若 k_1 取值过小,诸如 $k_1 = 0.05$,则影响光伏电池最大功率跟踪系统的跟踪速度。在最大功率点右侧时,光伏电池的功率变化比较大,同理,若 k_2 取值过大,光伏电池最大功率跟踪系统容易发散而偏离最大功率点,跟踪的精度降低。若 k_2 取值过小,则影响光伏电池最大功率跟踪系统的跟踪速度。

[0039] 步骤 4、根据所述参考电压调节下一时刻的输出电压,返回执行步骤 1 直至检测点的功率达到光伏电池的最大功率。

[0040] 参见图 4 所示的最大功率点的跟踪系统的电路原理图,DSP 控制器 404 采集光伏电池 401 的输出电压和输出电流,采用变步长的最大功率点跟踪算法通过上述步骤 1 至 3 的计算确定下一时刻的参考电压。DSP 控制器 404 通过将所述参考电压与三角波进行比较,实现调制所述参考电压得到脉冲宽度调制 (PWM) 波形。DSP 控制器 404 将 PWM 波形输出至金属-氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 驱动电路 403。MOSFET 驱动电路 403 根据接收到的 PWM 波形控制升压电路 402 (Boost 变换电路) 中 MOSFET 的开启和关闭,进而调节负载电阻 R 两端的电压。负载电阻 R 两端的电压反馈至光伏电池 401 控制电路,进而影响光伏电池下一时刻的输出电压。循环执行步骤 1 至 4 直至检测点的功率达到光伏电池的最大功率。

[0041] 本实施例的技术方案,通过获取光伏电池的输出电压和输出电流;确定当前输出电压和输出电流对应的检测点位于最大功率点的左侧或右侧;根据所述检测点与所述最大功率点的位置关系设置分段自适应因子,根据所述分段自适应因子确定下一时刻的参考电压;根据所述参考电压调节下一时刻的输出电压,返回执行获取光伏电池的输出电压和输出电流,并重复执行上述步骤直至检测点的功率达到光伏电池的最大功率,解决采用定步长跟踪最大功率点的方法不能权衡收敛速度与精度的关系的问题,实现将固定步长变为可变步长,平衡了功率跟踪速度与精度的关系,达到了保证最大功率点跟踪的准确性和稳定性的效果。

[0042] 在上述技术方案的基础上,在获取光伏电池的输出电压和输出电流之后,根据所述参考电压调节下一时刻的输出电压,返回执行步骤 1 直至检测点的功率达到光伏电池的最大功率之前,优选可以增加:在当前时刻与上一时刻的输出电压的变化值为零,且输出电流的变化值为零时,确定自适应因子 $D_j = 0$;或者,在当前时刻与上一时刻的输出电压的变化值为零,且输出电流的变化值不为零时,确定自适应因子 $D_j = 1$ 。这样设置的好处在于在输出电压取得极值,输出电流未取得极值时,采用定步长电压跟踪光伏电池的最大功率点。

[0043] 实施例二

[0044] 图 5 是本发明实施例二中的一种最大功率点的跟踪方法的流程图,具体包括如下

步骤：

[0045] 步骤 201、采集输出电压 $U(i)$ 与输出电流 $I(i)$ 。

[0046] 通过光伏电池两端并联的电压传感器采集光伏电池的输出电压 $U(i)$ ，并发送至 DSP 控制器。以及，通过在光伏电池的输出端与 Boost 变换电路的输入端之间串联的电流传感器采集光伏电池的输出电流 $I(i)$ ，并发送至 DSP 控制器。

[0047] 步骤 202、计算 $dU(i) = U(i) - U(i-1)$ 、 $dI(i) = I(i) - I(i-1)$ 、 $dP(i) = P(i) - P(i-1)$ 。

[0048] DSP 控制器根据功率计算公式，以及采集的输出电压和输出电流，计算得到检测点的功率。进而，计算当前时刻 i 和上一时刻 $i-1$ 的电压变化值 $dU(i)$ ，电流变化值 $dI(i)$ 和功率变化值 $dP(i)$ 。

[0049] 步骤 203、判断 $dU(i)$ 是否等于零，若是，则执行步骤 205，若否，则执行步骤 204。

[0050] 步骤 204、判断 $\frac{dP(i)}{dU(i)}$ 是否等于零，若是，则执行步骤 209，若否，则执行步骤 206。

[0051] 根据 $dP(i)$ 与 $dU(i)$ 计算得到 $\frac{dP(i)}{dU(i)}$ 。若 $\frac{dP(i)}{dU(i)} = 0$ ，则确定检测点达到最大功率点，执行步骤 209。若 $\frac{dP(i)}{dU(i)}$ 不等于零，则执行步骤 206。

[0052] 步骤 205、判断 $dI(i)$ 是否等于零，若是，则执行步骤 209，若否，则执行步骤 210。

[0053] 步骤 206、判断 $\frac{dP(i)}{dU(i)}$ 是否大于零，若是，则执行步骤 207，若否，则执行步骤 208。

[0054] 根据 $dP(i)$ 与 $dU(i)$ 计算得到 $\frac{dP(i)}{dU(i)}$ 。若 $\frac{dP(i)}{dU(i)} > 0$ ，确定当前输出电压和输出电流对应的检测点位于光伏电池的最大功率点的左侧，执行步骤 207。若 $\frac{dP(i)}{dU(i)} < 0$ ，确定当前输出电压和输出电流对应的检测点位于光伏电池的最大功率点的右侧，执行步骤 208。

[0055] 步骤 207、根据公式 $U_{ref}(i+1) = U_{ref}(i) + dU_{ref}k_1 \frac{dP(i)}{dU(i)}$ 确定下一时刻的参考电压。

[0056] DSP 控制器根据公式 $U_{ref}(i+1) = U_{ref}(i) + dU_{ref}k_1 \frac{dP(i)}{dU(i)}$ 计算出下一时刻的参考电压，根据该参考电压调节下一时刻的输出电压，返回执行步骤 201。

[0057] 步骤 208、根据公式 $U_{ref}(i+1) = U_{ref}(i) - dU_{ref}k_2 \left(\frac{dP(i)}{dU(i)}\right)^2$ 确定下一时刻的参考电压。

[0058] DSP 控制器根据公式 $U_{ref}(i+1) = U_{ref}(i) - dU_{ref}k_2 \left(\frac{dP(i)}{dU(i)}\right)^2$ 确定下一时刻的参考电压，根据该参考电压调节下一时刻的输出电压，返回执行步骤 201。

[0059] 步骤 209、确定当前输出电压和输出电流对应的检测点达到光伏电池的最大功率点，当前时刻的输出电压、输出电流及功率与上一时刻的输出电压、输出电流及功率相同，即 $U(i) = U(i-1)$ 、 $I(i) = I(i-1)$ 、 $P(i) = P(i-1)$ ，实现光伏电池最大功率点跟踪。

[0060] 步骤 210、判断 dI 是否大于零,若是,则执行步骤 211,若否,则执行步骤 212。

[0061] 步骤 211、根据公式 $U_{ref}(i+1) = U_{ref}(i) + dU_{ref}$,采用定步长 dU_{ref} 确定下一时刻的参考电压。

[0062] DSP 控制器根据公式 $U_{ref}(i+1) = U_{ref}(i) + dU_{ref}$ 计算出下一时刻的参考电压,根据该参考电压调节下一时刻的输出电压,返回执行步骤 201。

[0063] 步骤 212、根据公式 $U_{ref}(i+1) = U_{ref}(i) - dU_{ref}$,采用定步长 dU_{ref} 确定下一时刻的参考电压。

[0064] DSP 控制器根据公式 $U_{ref}(i+1) = U_{ref}(i) - dU_{ref}$ 计算出下一时刻的参考电压,根据该参考电压调节下一时刻的输出电压,返回执行步骤 201。

[0065] 图 6 和图 7 显示了外界温度从 36°C 降到 18°C 时光伏电池输出功率随时间变化的波形。其中,图 6 所示为温度变化时传统的电导增量 MPPT 方法的最大功率跟踪效果图。图 7 所示为温度变化时本发明变步长自适应 MPPT 方法的最大功率跟踪效果图。如图 6 所示传统电导增量 MPPT 方法大概需要 50ms 才能到达最大功率点,而如图 7 所示本申请的变步长自适应 MPPT 方法大概需要 35ms 就能到达最大功率点。经对比可知,本发明的变步长自适应 MPPT 方法的跟踪速度较快、准确性也较高。

[0066] 注意,上述仅为本发明的较佳实施例及所运用技术原理。本领域技术人员会理解,本发明不限于这里所述的特定实施例,对本领域技术人员来说能够进行各种明显的变化、重新调整和替代而不会脱离本发明的保护范围。因此,虽然通过以上实施例对本发明进行了较为详细的说明,但是本发明不仅仅限于以上实施例,在不脱离本发明构思的情况下,还可以包括更多其他等效实施例,而本发明的范围由所附的权利要求范围决定。

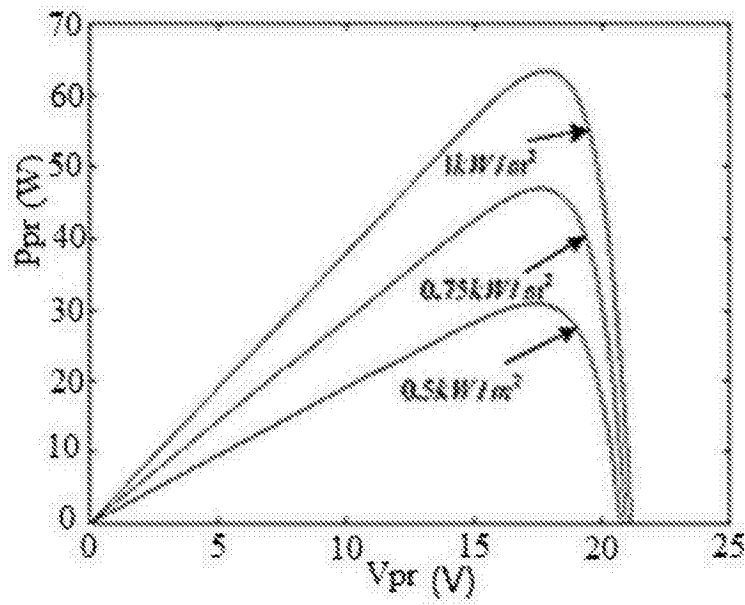


图 1

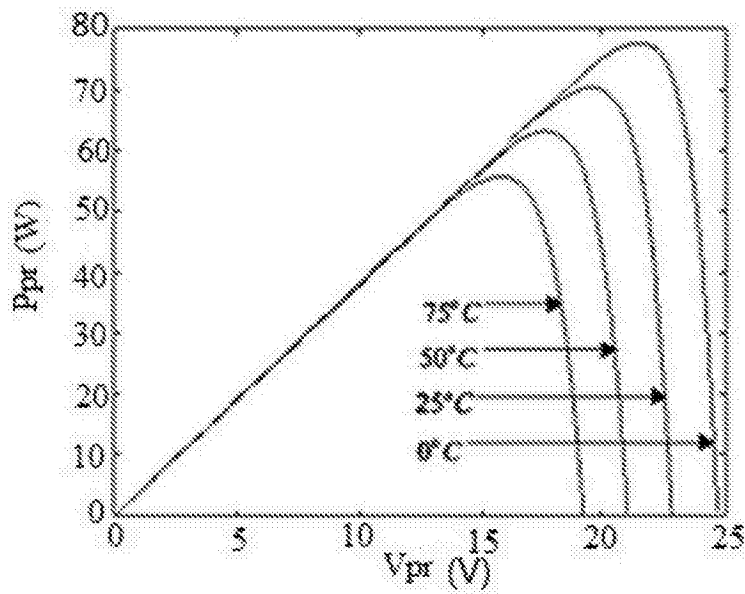


图 2

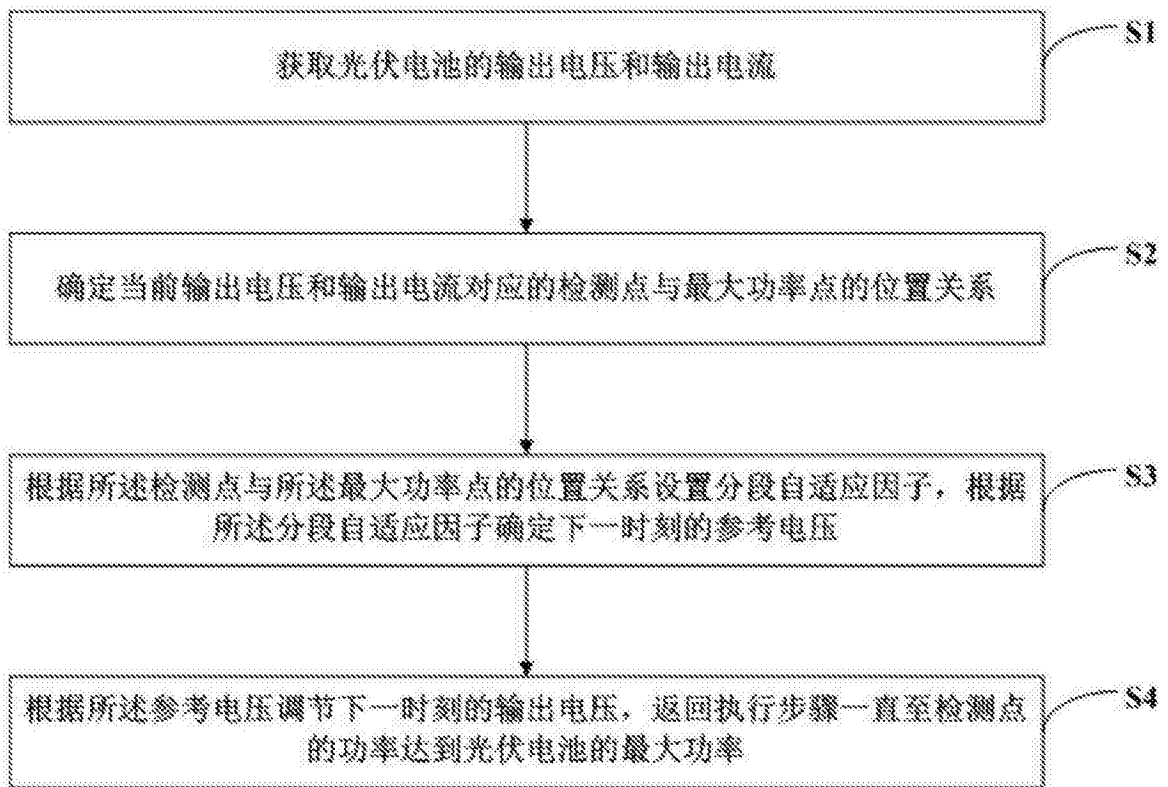


图 3

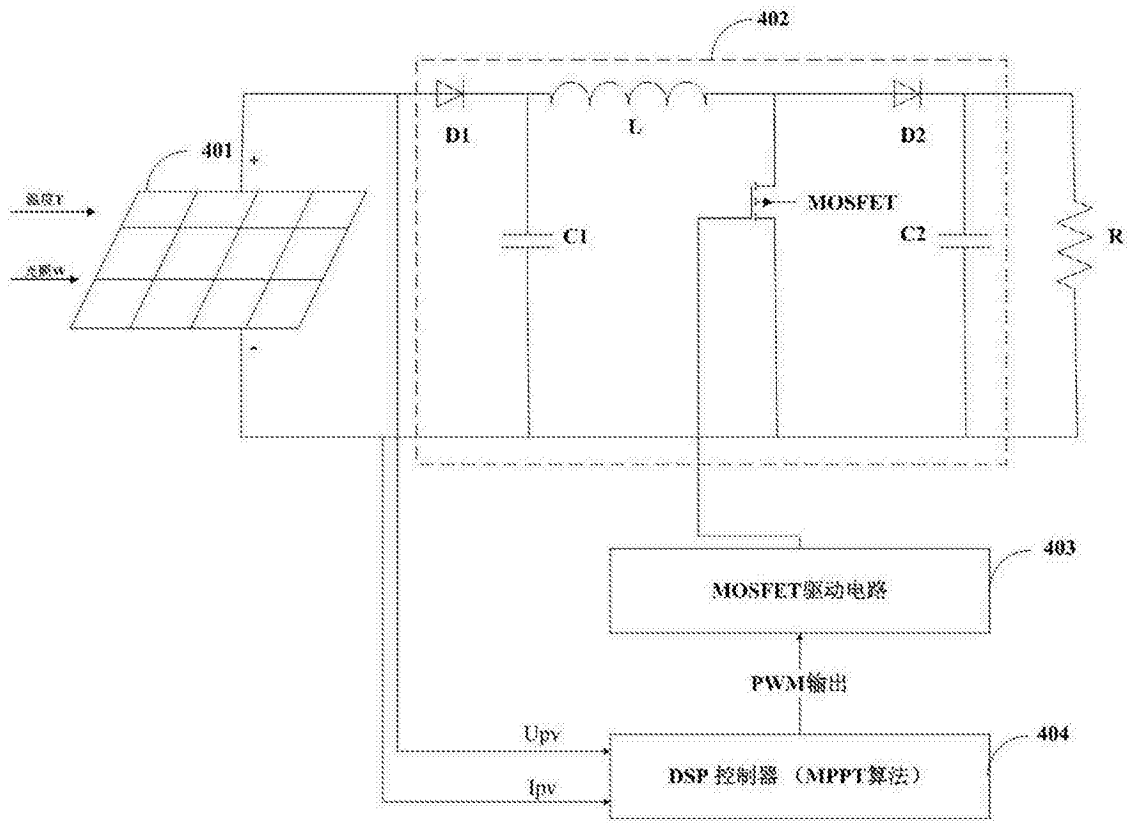


图 4

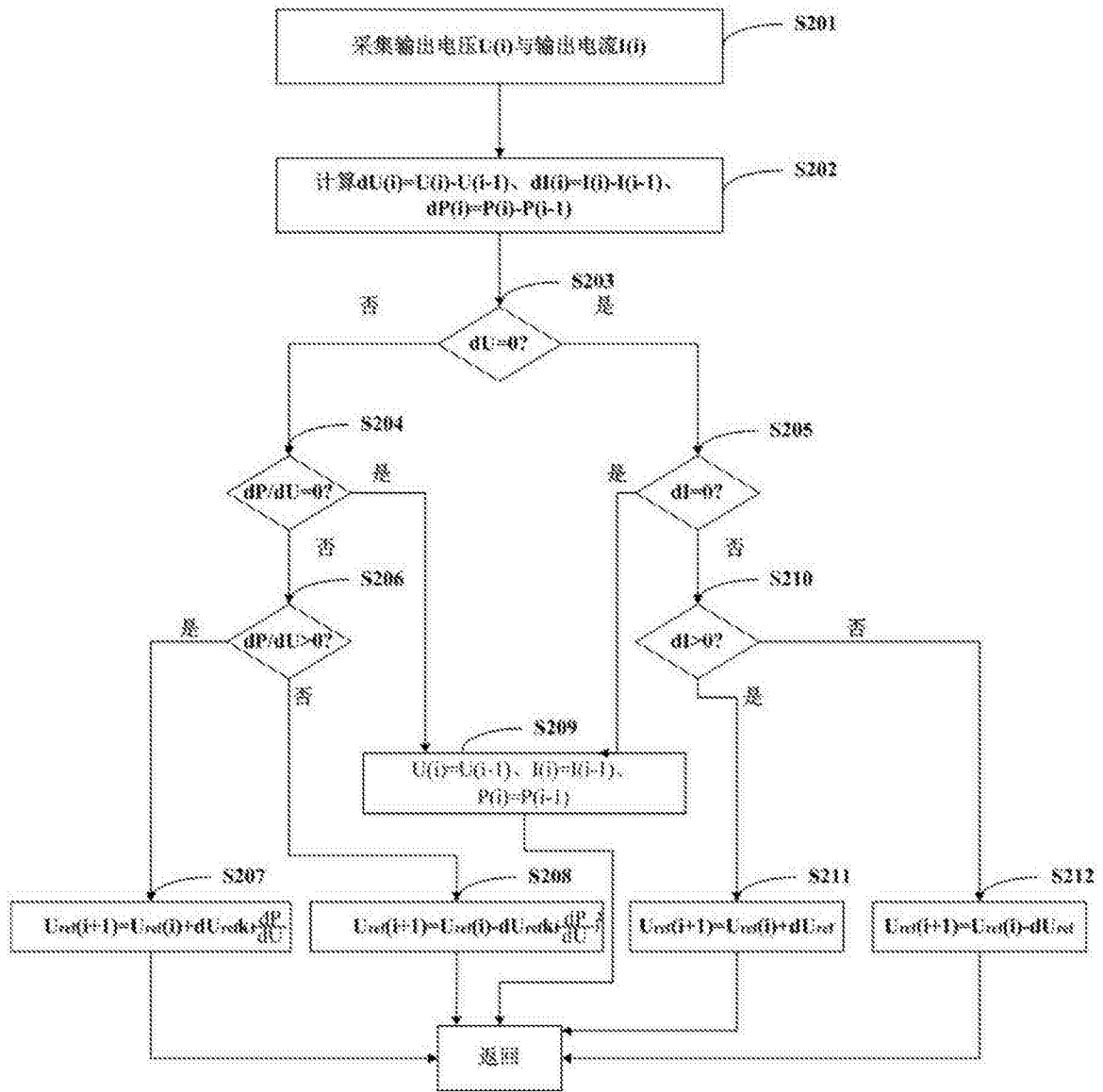


图 5

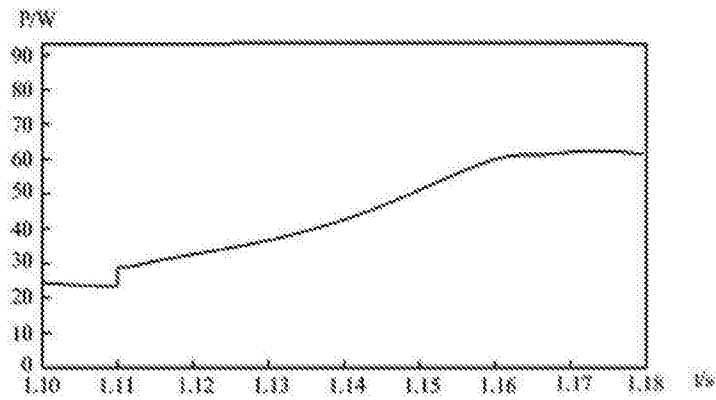


图 6

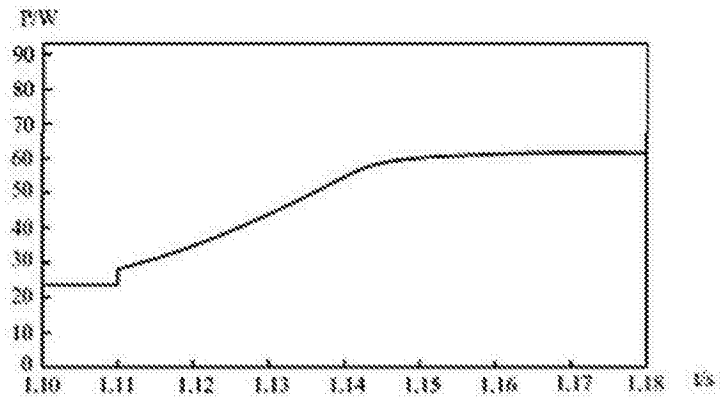


图 7