

光伏系统最大功率跟踪方法的研究及其仿真

周佳林, 郭前岗, 周西峰

(南京邮电大学 自动化学院, 江苏 南京 210003)

摘要: 在分析光伏阵列的数学模型和输出特性的基础上, 提出了自适应扰动控制算法。对该算法进行了理论分析, 建立了光伏系统的仿真模型, 并在 Matlab/Simulink 环境下进行仿真。仿真结果表明, 系统能够快速地跟踪到最大功率点, 在光照强度突变的情况下也能快速追踪到最大功率点, 具有较好的控制性能。

关键词: 光伏阵列特性; 最大功率跟踪; 仿真

中图分类号: TM615

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)07-0091-03

The maximum power point tracking control and simulation of photovoltaic power system

Zhou Jialin, Guo Qian'gang, Zhou Xifeng

(School of Automation, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: In this paper, based on the analysis of photovoltaic arrays and output characteristics of the mathematical model, and proposed an adaptive perturbation control algorithm method. Theory of the algorithm was analyzed, and the simulation model of the solar system was established. The system performance was evaluated by simulations in Matlab/Simulink. The simulation results show that the system can quickly track the maximum power point, in the mutation of the light intensity, it can be fast-tracking to the maximum power point and has good control performance.

Key words: characteristic of photovoltaic array; maximum power point tracking; simulation

光伏电池在太阳光照射下可以发电并带动负荷, 但其生产成本偏高, 发电效率较低。而利用最大功率跟踪技术可以提高太阳能的利用率, 降低光伏发电系统的成本, 提高光伏发电的性价比, 有效地推动了光伏发电的应用^[1]。目前常用的最大功率跟踪方法有扰动观察法、电导增量法等, 这些方法有各自的优缺点。本文介绍了一种自适应扰动观察法 MPPT 控制方法并对其进行了仿真, 仿真结果表明该方法具有较好的控制性能。

1 光伏电池的数学模型

如图 1 所示, 把光伏电池看成能稳定产生光电流 I_g 的电流源, 与之并联的有一个处于正偏电压下的二极管

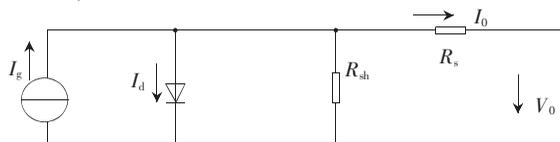


图 1 光伏电池等效电路

及一个并联电阻 R_{sh} 。二极管的正向电流 I_D 和旁路电流都要靠 I_g 提供, 剩余的光电流经过串联电阻 R_s 流出太阳能电池进入负载 R_o ^[2]。

光伏电池输出特性方程为:

$$\begin{cases} I_g = \frac{S}{1000} [I_{SCR} + K_1(T - T_r)] \\ I_d = I_{dr} \left(\frac{T}{T_r}\right)^3 \exp\left[\frac{qE_{G0}}{BK} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T}\right)\right] \\ I_o = I_g - I_d \left\{ \exp\left[\frac{q}{AKT} (V_o + I_o R_s)\right] - 1 \right\} \end{cases} \quad (1)$$

式中, I_g 为光生电流; I_d 为二极管饱和电流; q 为电荷电量 ($1 \times 10^{-19} \text{C}$); A 为二极管因子; K 为波尔兹曼常数 ($1.38 \times 10^{-25} \text{J/K}$); T 为开氏温度 (K); V_o 为电池的输出电压; I_o 为电池的输出电流; R_s 为等效串联电阻; R_{sh} 为等效并联电阻; T_r 为参考温度 (K); I_{dr} 为暗饱和电流 (A); E_{G0} 为半导体材料的禁带宽度 (J); I_{SCR} 为标准测试条件下光

技术与方法 Technique and Method

伏电池的短路电流(A); K_1 为短路电流的温度系数(A/K)。

本文根据光伏电池的输出特性建立仿真模型,得到了光伏电池的 $I-U$ 特性曲线和 $P-U$ 特性曲线。图2、图3分别为光伏电池在温度不变、光照强度由 $1000\text{ W/m}^2\sim 200\text{ W/m}^2$ 情况下的 $I-U$ 和 $P-U$ 特性曲线,从图中可以看出光伏电池的输出功率在不同的光照强度下的变化。图4、图5分别为光伏电池在光照强度不变,温度由 $20^\circ\text{C}\sim 100^\circ\text{C}$ 情况下的 $I-U$ 和 $P-U$ 特性曲线,从图中可以看出光伏电池的输出功率随着温度的升高而缓慢减

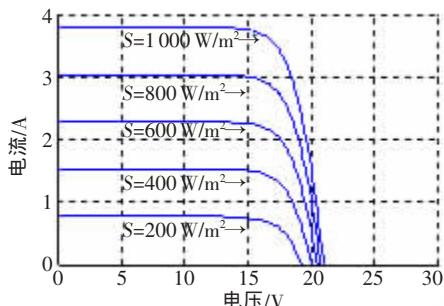


图2 $T=25^\circ\text{C}$,不同光强下电流和电压关系

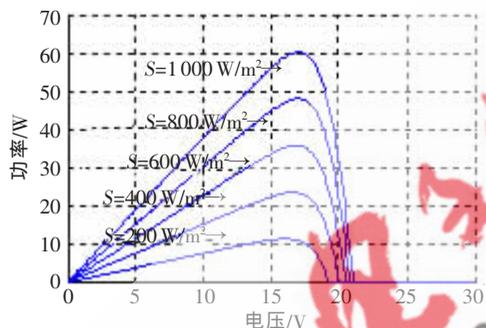


图3 $T=25^\circ\text{C}$,不同光强下功率和电压关系

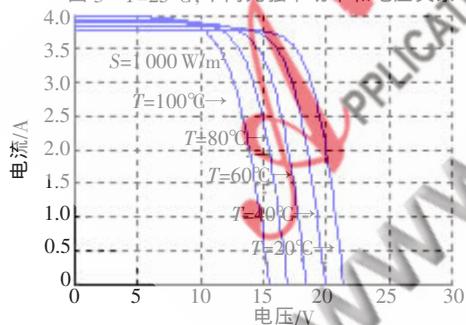


图4 $S=1000\text{ W/m}^2$,不同温度下电流和电压关系

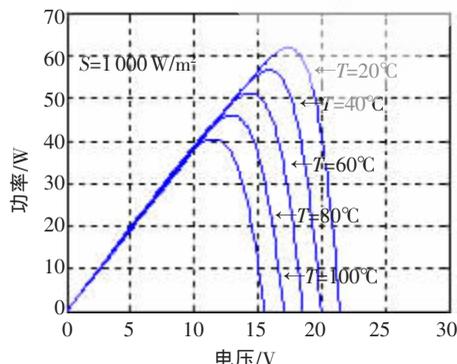


图5 $S=1000\text{ W/m}^2$,不同温度下功率和电压关系

小;光伏电池是一种非线性直流电源,最大功率点随着日照情况和温度的变化而变化^[3]。每条曲线都存在一个最大功率点,这个功率点对应唯一的电池输出电压。因此通过调节光伏电池的输出电压使其趋近最大功率点就可以实现最大功率点的跟踪。

2 最大功率点跟踪算法的研究

最大功率跟踪通常采用的方法有电压反馈法、直线近似法、功率反馈法、扰动观察法及电导增量法。最常用的是扰动观察法和电导增量法,它们的实质都是通过光伏阵列的端电压,即根据不同的光照强度及温度环境不断调整端电压,以保证光伏阵列工作在最大功率点^[4]。

2.1 扰动观察法

扰动观察法是目前最大功率跟踪技术中经常被采用的方法之一,其工作原理是通过电压和电流传感器对光伏阵列输出电压及电流分别进行采样,并计算获得其输出功率,即为当前光伏阵列的输出功率,然后每隔一段时间增加或减小光伏阵列的输出电压,再次测量出其输出功率,然后与扰动之前的功率值相比,如果功率增加表示扰动方向正确;如果扰动后功率值减小,则应往相反的方向扰动。该方法算法简单,且易于硬件实现,但响应速度较慢,只适用于日照强度变化比较缓慢的场合,但在稳态情况下,这种算法会导致光伏阵列的实际工作点在最大功率点附近小幅振荡,造成一定的功率损失;而日照发生快速变化时,跟踪算法可能会失效,导致跟踪方向判断错误。

自适应扰动控制法通过测量输出功率的变化值,确定当前情况下跟踪的步长,即根据功率的变化自动调节跟踪步长的值,从而调整光伏阵列的输出功率,使其快速达到最大功率点并基本稳定工作在最大功率点。要使光伏阵列输出功率最大应满足 $P_k - P_{k-1} = 0$ 。当 $P_k - P_{k-1} > 0$ 时,表示系统工作在最大功率点左边;当 $P_k - P_{k-1} < 0$ 时,系统工作在最大功率点右边,通过前后功率变化的正负来确定扰动方向。

自适应扰动控制流程图如图6所示, $|\Delta P_k|$ 作为控制的判断变量, e 为最大功率跟踪误差范围, $a(k)$ 为步长的变化量,可得出如下关系:

$$a(k) = a|(P_k - P_{k-1})/P_k| \quad (2)$$

当 $|\Delta P_k| > e$ 时,表示外界光照强度变化较大,此时系统将自动调节 $a(k)$ 的值,增大跟踪步长,使其适应外界条件的变化,能够在短时间内接近最大功率点;当 $|\Delta P_k| < e$ 时,表示光照强度变化不大,此时应当减小跟踪步长 $a(k)$,使其满足系统的要求,减小其在最大功率点附近的振荡。其中 e 、 a 这两个参数应合理选择,其值可决定能否准确快速跟踪到光伏阵列的最大功率点。扰动步长系数 a 值由下式确定:

$$a = \begin{cases} 0.2 & \Delta p > e \\ 0.1 & \Delta p < e \end{cases} \quad (3)$$

技术与方法 Technique and Method

实现在不同的环境条件下采用不同的跟踪步长,可使系统能够快速达到最大功率点。

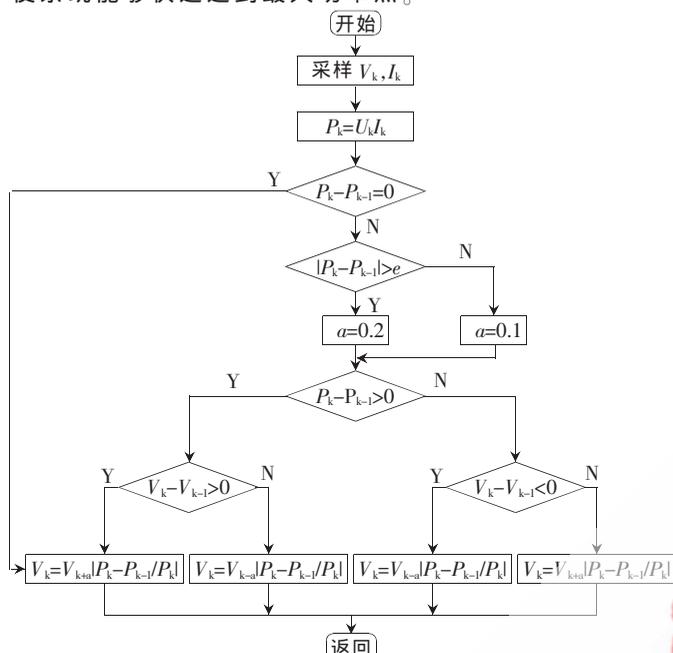


图6 自适应扰动控制法流程图

2.2 最大功率跟踪系统的 Simulink 建模

本文利用 Matlab/Simulink 建立系统仿真模型,如图7所示。整个系统包括:光伏阵列模块、MPPT 模块、PWM 模块和升压变换器 DC/DC 模块。MPPT 模块通过光伏阵列的输出电流和电压,经过 PI 环节后,由零阶保持器采样,并与前一次的电压和功率进行比较,确定电压扰动的方向和补偿,从而实现最大功率跟踪的控制。PWM 模块为输出可变占空比的方波驱动升压电路的 IGBT 开关管。DC/DC 变换模块包括电感、开关管、二极管、电容器和负载,通过 BOOST 升压电路调节输出功率实现最大功率点的跟踪控制,变步长扰动控制和 PWM 产生驱动脉冲实现对开关管状态的控制,将不可控的直流输入变为可控的直流输出^[5]。

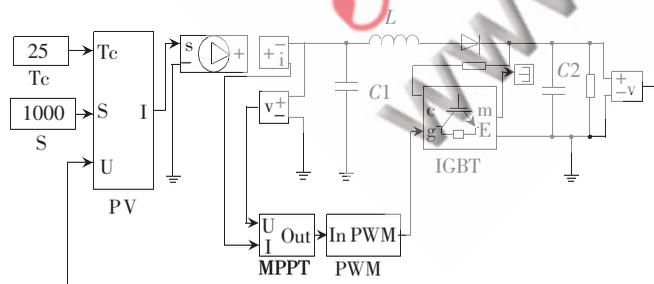


图7 光伏系统仿真模型

3 仿真结果及其分析

系统的动态仿真采用变步长的 ode23tb 仿真,最大步长和最小步长自动调节,相对误差允许范围为 1×10^{-3} ,绝对误差为自动调节,仿真时间设为 0.1 s。

图8为自适应扰动控制法仿真研究的输出功率和电压波形,系统根据采样到的功率和电压值调整控制电

路输出,大约在 0.015 s,其输出功率基本趋于稳定。当系统在 0.05 s 时改变外界的条件,在 0.065 s 重新达到最大功率点,且输出功率基本趋于稳定。

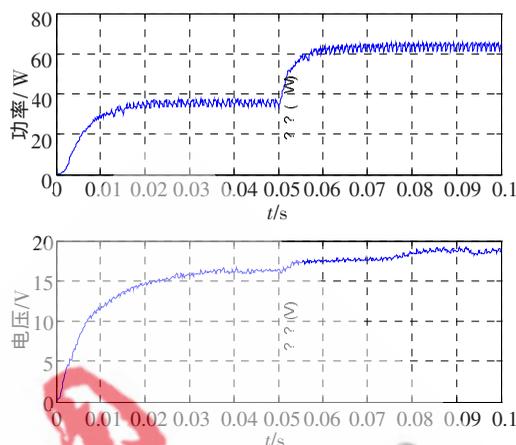


图8 自适应扰动控制输出功率和电压波形

从仿真结果可知,系统在 0.015 s 的时间内克服了扰动,跟踪到最大功率点,并且基本稳定在最大功率点,具有较好的动态性能和精度,取得了良好的控制性能。

本文在分析光伏阵列数学模型和输出特性的基础上,采用自适应扰动控制法对光伏阵列最大功率跟踪进行了研究,通过 Matlab/Simulink 仿真对该方法的可行性和正确性进行了验证。采用此种算法跟踪速度快,即使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,具有良好的控制性能,同时能够保证系统在最大功率点的振荡很小。

参考文献

- [1] 冯焱生.太阳能发电原理与应用[M].北京:人民邮电出版社,2007.
- [2] 崔岩.太阳能光伏系统 MPPT 控制算法的对比研究[J].太阳能学报,2006,27(6):535-539.
- [3] 王庆章,赵庚申,许盛之,等.光伏发电系统最大功率点跟踪控制方法研究[J].南开大学学报(自然科学版),2005,38(6):74-79.
- [4] 何薇薇,熊宇,杨金明,等.基于改进 MPPT 算法的光伏发电最大功率跟踪系统[J].电气传动,2009,39(6):39-41.
- [5] 茆美琴,余世杰,苏建徽.带有 MPPT 功能的光伏阵列 Matlab 通用仿真模型[J].系统仿真学报,2005,17(5):1248-1251.

(收稿日期:2010-10-10)

作者简介:

周佳林,男,1986年生,硕士研究生,主要研究方向:新能源发电。

郭前岗,男,1960年生,硕士生导师,主要研究方向:新能源发电、电力电子与电力传动。

周西峰,男,1960年生,硕士生导师,主要研究方向:计算机智能检测控制技术。