

基于未来搜索算法的阴影条件下光伏制氢MPPT研究

王旭东 谭功全

四川轻化工大学自动化与信息工程学院, 中国·四川 自贡 643000

摘要: 光伏制氢是当前解决可再生能源弃电的方案之一, 而在局部阴影条件下, 光伏阵列的最大功率点呈多峰现象, 使用传统的最大功率点跟踪 MPPT (maximum power point tracking) 算法有容易陷入局部值, 跟踪精度低等缺点, 无法使光伏制氢系统在最大功率点运行, 电解槽的制氢速率无法达到最大, 为解决这一问题研究一种基于未来搜索算法 (Future search algorithm) 的光伏制氢系统的 MPPT 控制方法, 经过仿真验证得到在局部阴影条件下的光伏最大功率点以及与之相匹配的制氢速率, 理论上可以尽可能的解决在局部阴影下光伏阵列的最大功率点跟踪问题和制氢速率问题, 从而提高系统的能量利用率。

关键词: 光伏制氢; 未来搜索算法; MPPT; 电解槽; 制氢速率

MPPT of Photovoltaic Hydrogen Production under Shadowing Condition Based on Future Search Algorithm

Wang Xudong, Tan Gongquan

College of Automation and Information Engineering, Sichuan University of Science&Engineering, China Sichuan Zigong 643000

Abstract: Photovoltaic hydrogen production is one of the current solutions to renewable energy abandonment, While under the local shadow condition, The maximum power point of the photovoltaic array is multipeak, Using the traditional maximum power point tracking MPPT (maximum power point tracking) algorithm, it is easy to fall into local values, Disadvantages of low tracking accuracy, Unable to operate the photovoltaic hydrogen production system at the maximum power point, The hydrogen production rate of the electrolytic cell cannot reach the maximum, To solve this problem, an MPPT control method for the photovoltaic hydrogen production system based on the future search algorithm (Future search algorithm) is proposed, The simulation verifies the maximum power point and the matching hydrogen production rate, Theoretically, the maximum power point tracking problem and hydrogen production rate problem of photovoltaic array can be solved as much as possible, Thus improving the energy utilization rate of the system.

Keywords: Photovoltaic hydrogen production; Future search algorithm; MPPT; Electrolytic cell; Hydrogen production rate

0 引言

随着科技的进步, 对于氢气的获取已不再局限于从传统的化石燃料中获取, 电解水制氢已然成为一种新型的获取氢气方式, 因为电解水过程中不会产生有害气体, 利用丰富的太阳能资源和水资源进行电解制氢是应对全球日益增长的能源需求的有效措施^[1]。可再生能源的快速发展导致了风光发电过剩, 水电解制氢是充分利用剩余能量的重要途径之一^[2]。氢作为清洁能源, 具有能量密度大, 易储存和传输等优点。在此背景下太阳能电池板与电解槽的耦合技术^[3]是目前最常用的制氢技术, 该技术可以实现良好的转氢效率^[4]。文献^[5,6]中提出了三种电解水制氢方式, 分别是碱性电解水制氢技术、质子交换膜电解水制氢技术和

固态氧化物电解水制氢技术。在本文中采用的是碱性电解水制氢技术, 因为碱性电解槽在执行技术和投资成本以及便捷性等各方面来说都优于另外两种方式。

虽然现在光伏技术的应用在全世界越来越广泛。但是在实际的应用中, 光伏电池组件容易受到环境的影响, 而造成局部阴影问题, 传统的扰动观察法、电导增量法、恒定电压法只能解决但峰值问题, 对于阴影问题下的多峰值问题, 传统的方法容易陷入局部最优值, 无法追踪到最大功率点^[7]。

本研究针对在光伏制氢系统中存在局部遮阴问题时, 光伏组件无法在最大功率点情况下运行从而导致后续制氢速率也无法达到最大。通过使用寻优算法中的未来搜索算

法来让光伏组件输出最大功率，只有光伏组件输出了最大功率才能使制氢速率也达到最大，提高能量的利用率。

1 光伏电池等效模型及特性分析

1.1 光伏阵列输出特性

光伏电池是光伏发电系统中最基础的单元，对其数学模型的分析极为重要，光伏电池等效模型如图 1 所示。

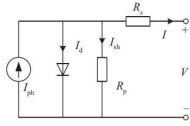


图1 光伏电池等效模型

通过上面的数学模型得到在实际电路中光伏组件的工程模型如下：

$$I = I_{sc}[1 - B(e^{U/CU_{oc}} - 1)] \quad (1)$$

$$B = (1 - \frac{I_m}{I_{sc}})e^{U/CU_{oc}} \quad (2)$$

$$C = (\frac{U_m}{U_{oc}} - 1)[\ln(1 - \frac{I_m}{I_{sc}})]^{-1} \quad (3)$$

式中， I_m 是光伏电池的最大输出电流， I_{sc} 是光伏电池的短路电流， U_m 是光伏电池的最大输出电压， U_{oc} 是光伏电池的开路电压。

由于光伏组件受环境、温度等的影响，当光伏电池工作条件发生变化时，它的新工作情况如下^[15]：

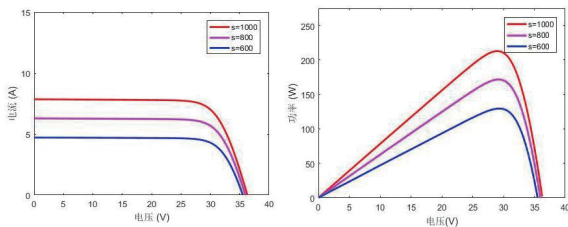
$$\tilde{I}_{sc} = I_{sc}(s/s_{ref})[1 + a(t - t_{ref})]$$

$$\tilde{U}_{oc} = U_{oc}[1 - c(t - t_{ref})\ln[e + b(s/s_{ref}) - 1]]$$

$$\tilde{I}_m = I_m(s/s_{ref})[1 + a(t - t_{ref})]$$

$\tilde{U}_m = U_m[1 - c(t - t_{ref})\ln[e + b(s/s_{ref}) - 1]]$ 式中， $t_{ref} = 25^\circ\text{C}$ ， $s_{ref} = 1000\text{W}/\text{m}^2$ ， $a = 0.0025$ ， $b = 0.5$ ， $c = 0.00288$ 。

在光伏发电系统中，通常将由太阳能电池组成的光伏组件串联来构成光伏阵列，单个光伏电池参数 $U_{oc}=36.3\text{V}$ ， $I_{sc}=7.84\text{A}$ ， $U_m=29\text{V}$ 温度为 25°C 在光照强度分别为 $1000\text{W}/\text{m}^2$ ， $800\text{W}/\text{m}^2$ ， $600\text{W}/\text{m}^2$ 的条件下输出特性曲线如图 2 所示。



(a) U/I特性曲线图

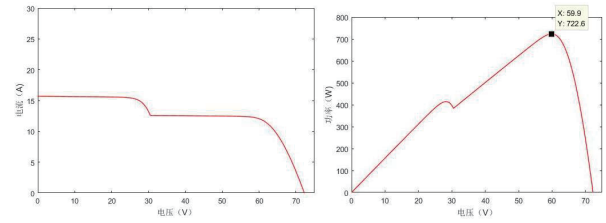
(b) P/U特性曲线图

图2 不同光照下特性曲线

1.2 局部阴影输出特性

在局部阴影下温度为 25°C 采用两个光伏阵列串联，光

照强度分别为 $1000/800$ ，经过仿真可以得到最大功率点电压为 59.9V ，最大功率为 722.6W 。光伏阵列输出特性曲线如图 3 所示。



(a) U/I特性曲线图

(b) P/U特性曲线图

图3 不同光照下特性曲线

2 电解槽与制氢速率特性分析

电解槽是一种利用电能通过电化学反应将水分解为氢气和氧气的装置。其反应工作原理图如图 4 所示。

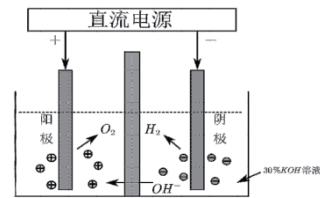


图4 碱式电解槽内部原理反应图

相对于纯水来说，加入 30% 的氢氧化钾溶（KOH）液作为碱性电解液能够更好的提高电解液的导电率。从图中可以看出，电解槽在工作时从阳极板产生氧气，阴极板产生氢气。在实际应用中，电解槽是由许多单个电解槽串联或并联组成的。在本文中所考虑的是单个电解槽的特性。

研究电解槽的 $I-V$ 特性可以更好的提高产气的效率，从电路方向来看，电解槽是一个电压型的非线性直流负载。电解槽的电压和电流特性由电解槽的工作温度来决定，其建模讨论使用的 $I-V$ 特性方程如下：

$$U_{el} = U_r + \frac{r_1 + r_2 T_{el}}{A} I_{el} + k_{el} \ln\left(\frac{k_1 + k_2/T_{el} + k_3/T_{el}^2}{A} I_{el} + 1\right)$$

碱性电解槽在不同温度下的 $I-V$ 特性曲线如图 5 所示，仿真温度分别为 100°C 、 150°C 、 200°C 。从图中可以看出随着温度的升高，电解槽的电压呈下降趋势。

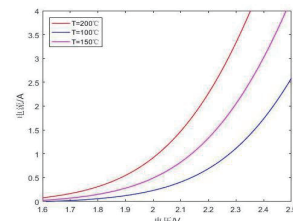


图5 电解槽U/I特性曲线图

电解槽的电压和电流特性取决于其工作温度，根据法拉第定律，氢气的产生速率与电子的转移速率成正比，用

公式表示为:

$$n_{H_2} = \frac{n_F * i_e * n_c}{2F}$$

在上式中, n_{H_2} 为氢气产生速率, 单位为 mol/s; n_F 为法拉第效率; i_e 为电解槽电流, 单位为 A; n_c 为电解槽数; F 为法拉第常数, 值为 $9.6485 \times 10^2 \text{C/mol}$ 。

3 未来搜索算法介绍

未来搜索算法是通过建立数学模型模拟人与人之间的最优生活(局部搜索)和历史最优生活(全局搜索)来获得最优解。与其他算法相比, FSA 具有调节参数少、收敛速度快、寻优能力强等优点。其算法原理及数学模型如下:

(1) 初始化当前解

$$S(i,:) = Lb + (Ub - Lb) * rand(1,d)$$

$S(i,:)$ 为第 i 个国家/地区当前解; Ub 、 Lb 为搜索空间的上、下限; $rand$ 为均匀分布随机数; d 为问题维度。

(2) 局部解与全局最优解的定义

$$S(i,:)_L = (LS(i,:) - S(i,:)) * rand$$

$$S(i,:)_G = (GS - S(i,:)) * rand$$

将每个国家/地区当前最优解定义为局部最优解 LS , 将全局国家/地区的当前最优解定义为全局最优解 GS 。

(3) 定义新解

$$S(i,:) = S(i,:) + S(i,:)_L + S(i,:)_G$$

在获得第 i 个国家/地区局部解和全局最优解后利用上式重新定义新解。

(4) 更新随机初始值

$$S(i,:) = GS + [GS - LS(i,:)] * rand$$

其算法流程图如图 6 所示。

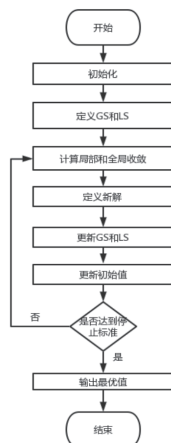


图6 未来搜索算法流程图

4 仿真分析

为有效验证此方法能够在局部阴影情况下保证系统能够在最大功率点情况下运行, 本研究的系统仿真在 MATLAB/SUMILNK 中进行仿真, 并与传统的粒子群算法进行比较, 充分验证该方法的有效性。系统的仿真模型图如图 7 所示。

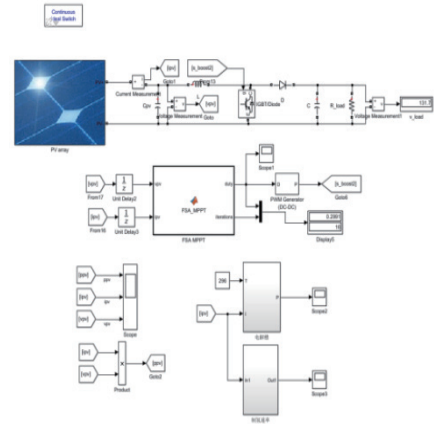


图7 系统整体仿真模型图

4.1 仿真参数

将 4 块 213W 的光伏电池串联, 单块光伏电池技术参数为 $U_{oc}=36.3V$, $I_m=7.35A$, $I_{sc}=7.84A$, $U_m=29V$, 在 25°C 条件下, 光照强度分别为 $1000\text{W}/\text{m}^2$, $800\text{W}/\text{m}^2$, $600\text{W}/\text{m}^2$, $400\text{W}/\text{m}^2$ 来模拟局部阴影光照, 其最大功率为 843.6W 。对于电解槽设定温度为 296°C , 仿真时间设为 1s 。

4.2 仿真结果

将未来搜索算法中迭代次数设为 15 次, 通过给定参数在 MATLAB/SUMLINK 中进行仿真, 可以明显看到该方法可以有效的追踪到最大功率点, 在 0.4s 时找到最大功率点并能够稳定在最大功率点上。而粒子群算法虽然能够在 0.75s 时找到最大功率点, 但仍然处于波动状态。其仿真结果如图 8 所示。

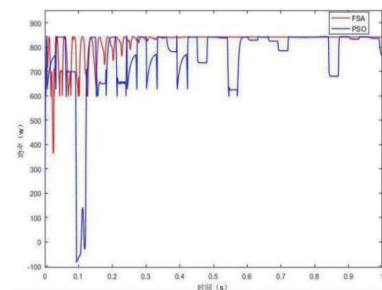


图8 未来搜索算法与PSO的最大功率跟踪

依据上述不同光照强度下的最大功率点跟踪情况下, 将光伏发电系统与制氢负载采用直接耦合的方式可以得到在光照不同情况下的电解槽功率特性曲线和电解槽制氢速

率曲线图如图 9 所示。

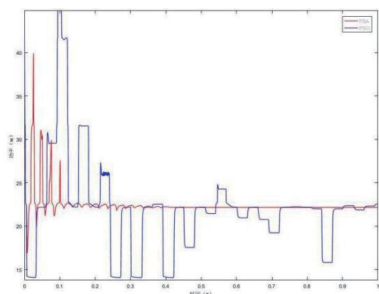


图9 电解槽功率曲线图

图 9 表明随着光照的变化, 电解槽的功率也随着光伏最大功率点的变化而变化。对比未来搜索算法和粒子群算法, 未来搜索算法能够更快的稳定功率, 减小波动。

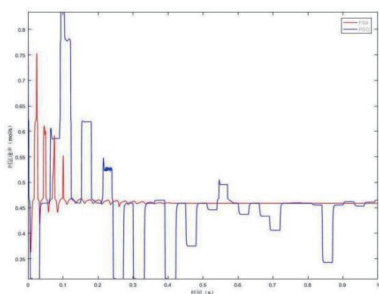


图10 不同光照下制氢速率曲线

在图 10 中表明在不同光照强度下电解槽的制氢速率随着最大功率点的不同在 0.4s 时稳定在 0.46mol/s。而粒子群算法也能在 0.75s 左右达到最大制氢速率, 但不够稳定, 一直处于波动状态。

5 结语

本文讨论了在局部阴影情况下的光伏制氢系统的最大功率点跟踪问题, 用未来搜索算法在 MATLAB/SUMLINK

中进行仿真。通过仿真结果来看, 该算法可以有效的解决传统最大功率点跟踪算法在局部阴影情况下光伏制氢系统无法追踪到最大功率点的问题, 并且能够使制氢负载在阴影情况下也能工作在最大功率处, 充分提高了能量的利用率。

参考文献:

- [1] 国家能源局. 2019 年度全国可再生能源电力发展监测评价报告[R]. 北京: 国家能源局, 2020.
 - [2] 韩欢欢, 王雪泽, 王震等. 水电解制氢的特点及发展前景, 2022,38(1):49-50.
 - [3] TIJANIA A S, YUSUPB N A B, RAHIM A H A. Mathematical modeling and simulation analysis of advanced alkaline electrolyzer system for hydrogen production [J]. Procedia technology, 2014,15:798-806.
 - [4] 徐硕, 余碧莹等. 中国氢能技术发展现状与未来展望[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2021,23(6):1-12.6.
 - [5] 杜迎晨, 雷浩, 钱余海等. 电解水制氢技术概述及发展现状[J]. 上海节能, 2021(8):824-831.
 - [6] 周媛媛. 光伏发电系统中最大功率点跟踪控制算法研究[D]. 西安理工大学, 2021.
 - [7] 宋亚琴. 光伏发电系统最大功率点跟踪算法研究及实现[D]. 山东大学, 2019.
- 作者简介: 王旭东(1998-), 男, 中国四川巴中人, 研究生, 现供职于四川轻化工大学, 研究方向: 从事光伏制氢研究。