

# 基于ISSA-P&O算法的光储发电系统MPPT控制技术

李晓峰<sup>1</sup>, 杨祺<sup>1</sup>, 姜铭琨<sup>1</sup>, 倪昊<sup>1</sup>, 王珣<sup>1</sup>, 靳文星<sup>2</sup>

(1.国家电投集团青海光伏产业创新中心有限公司, 青海 西宁 810008; 2.东南大学 电气工程学院, 江苏 南京 210096)

**摘要:** 针对光照强度不均匀造成光伏阵列的输出曲线为多峰曲线, 传统最大功率点跟踪 (Maximum Power Point Tracking, MPPT) 控制算法不能跟踪到全局最大功率的问题, 文章提出一种基于改进麻雀搜索算法 (Improved the Sparrow Search Algorithm, ISSA) 和扰动观察法 (Perturbation and Observation Method, P&O) 的光储发电系统 MPPT 控制方法。首先, 在跟踪前期, 采用混沌映射方式增加 ISSA 种群多样性, 提升算法广泛搜索能力。为了防止算法陷入局部最优, 利用萤火虫扰动算法对麻雀个体进行扰动更新; 其次, 在跟踪后期, 使用 P&O 防止系统在最大功率点附近振荡, 保证最大功率点稳定输出; 最后, 经过算例分析, 所提 MPPT 控制方法实现了不同场景下的快速跟踪、精准输出, 能够很好应用于光储混合发电系统中。

**关键词:** 光伏阵列; 最大功率点跟踪; 改进麻雀搜索算法; 扰动观察法; 萤火虫扰动算法

**中图分类号:** TK51; TM73 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5292(2025)03-0400-08

## 0 引言

随着“双碳”目标的推进, 建设以新能源为主的新型电力系统成为未来的趋势<sup>[1-5]</sup>。其中, 以光伏、储能为代表的清洁能源是新能源发电的重要组成部分, 最大功率点跟踪 (Maximum Power Point Tracking, MPPT) 控制技术有利于提升光伏发电效率。然而, 光照强度不均匀造成光伏阵列的输出曲线为多峰曲线, 传统 MPPT 控制算法不能跟踪到全局最大功率, 无法达到高效率利用阵列输出能量的效果, 进而增大了光伏系统有效功率损失。因此, 如何在光储发电系统中研究更有效的 MPPT 技术, 成为当前研究的一个热点和难点<sup>[6-9]</sup>。

传统的 MPPT 技术包含电导增量法和扰动观察法 (Perturbation and Observation Method, P&O), 在均匀光照强度下具有较好的效果, 因算法简单、易实现的优势被广泛应用于工业。文献[10]提出了基于积分器和电导增量法的 MPPT 技术, 降低电导和变化率误差, 防止最大功率点周围发生振荡。文献[11]提出了基于不确定推理函数和 P&O 的 MPPT 技术, 利用温度、光照完善扰动量, 提升了不同变化环境下最大功率跟踪速度。然而, 在

光储发电系统实际运行时, 光照强度不均匀造成光伏阵列的输出曲线为多峰曲线, 传统 MPPT 技术容易陷入局部最优。

随着近年来智能优化算法的快速发展, 蝗虫算法、粒子群算法以及灰狼算法等优化算法已经应用于 MPPT 技术中<sup>[12-14]</sup>。文献[15]提出了基于鸽群算法的 MPPT 技术, 利用学习因子和非惯性权值提升算法寻优能力。文献[16]将改进鲸鱼优化算法应用于 MPPT 中, 利用随机差分变异和自适应对数权值改进鲸鱼算法, 有利于算法协调全局搜索和局部搜索, 进而提升算法寻优效率。文献[17]提出了基于谷鸟搜索算法和 P&O 的 MPPT 技术, 利用自适应减少的步长系数, 提升算法的寻优效率。然而, 上述智能优化算法鲁棒性较低、收敛速度较慢、寻优能力不足, 在 MPPT 控制技术上有较大提升空间。

针对上述问题, 本文提出了一种基于 ISSA 和 P&O 的光储发电系统 MPPT 控制方法。在跟踪前期, ISSA 采用混沌映射方式增加种群多样性, 提升算法广泛搜索能力, 利用萤火虫扰动算法对麻雀个体进行扰动更新, 防止算法陷入局部最优。在

收稿日期: 2024-07-05。

基金项目: 国家电投集团科技项目 (KYTC2023 GF03)。

作者简介: 李晓峰 (1971-), 男, 高级工程师, 研究方向为电气工程及其自动化、新能源发电和储能。

通信作者: 靳文星 (1996-), 男, 博士研究生, 研究方向为新型电力系统分析与控制。E-mail: c2788829207c@126.com

跟踪后期,使用 P&O 保证最大功率点稳定输出。经过算例分析,所提 MPPT 控制方法能够实现不同场景下的快速跟踪、精准输出,相比于灰狼算法和粒子群算法,跟踪精度更高,验证了所提方法的有效性。

## 1 光伏输出特性分析

光伏电池是一个单二极管模型,处于局部阴影时会出现局部最大功率点,造成光伏输出不能跟踪到全局最大功率,无法最大化利用光伏阵列输出能量。

### 1.1 光伏输出模型

光伏发电基本电路如图 1 所示。

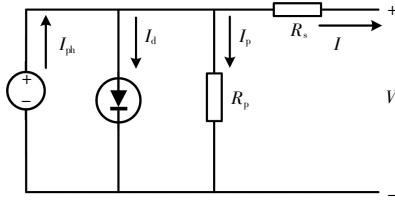


图 1 光伏发电单二极管电路

Fig.1 Photovoltaic single-diode circuit

单二极管电路通过基尔霍夫电压定律 (Kirchhoff Voltage Law, KVL) 计算出输出电流为

$$I = I_{ph}n_p - I_d n_p \left\{ \exp \left[ \frac{U + R_s I (n_s/n_p)}{\beta n_s U_T} \right] - 1 \right\} - \frac{U + [R_s (n_s/n_p) I]}{(n_s/n_p) R_p} \quad (1)$$

式中:  $I, U$  分别为光伏发电输出电流、输出电压;  $n_s, n_p$  分别为串、并联在光伏阵列的电池数量;  $I_{ph}$  为光产生的电流;  $I_d$  为反向二极管的饱和电流;  $R_s, R_p$  分别为串、并联等效电阻;  $\beta$  为理想的二极管系数;  $U_T$  为热电压。

$I_{ph}, I_d$  和  $U_T$  的求解表达式如下:

$$\begin{cases} I_{ph} = I_{SCN} + N_v \Delta T \frac{S}{S_N} \\ I_d = \frac{I_{SCN} + N_v \Delta T}{\exp \left[ \frac{n_s (U_{OCN} + N_v \Delta T)}{\beta n_s U_T} \right] - 1} \\ U_T = \frac{n_s m T}{q} \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $S_N$  为标准环境下的辐照度,其中标准环境为温度  $25^\circ\text{C}$ ,辐照度  $1000\text{ W/m}^2$ ;  $U_{OCN}, I_{SCN}$  分别为标准环境下光伏阵列开路电压、短路电流;  $N_v, N_i$  分别为电压、电流温度系数;  $S$  为光伏电池板实际接受的辐照度值;  $m$  为玻尔兹曼系数,  $m=1.38 \times$

$10^{-23}$ ;  $T$  为温度;  $q$  为电荷量,  $q=1.6 \times 10^{19}\text{ C}$ 。

### 1.2 光伏输出曲线

光照均匀、无阴影时光伏输出曲线如图 2 所示,此时输出功率为单峰曲线。在实际运行时光伏电池多数处于局部阴影情况,光伏电池总的功率低于所有单个电池功率之和,即出现局部最大功率点。光伏电池通常因内部不匹配而发热,为了避免发热损耗,并联的旁路二极管会受到阴影作用停止工作,进而防止光伏电池过热损坏,然而并联的二极管也会使得功率输出曲线为多峰曲线,具体如图 2 所示。

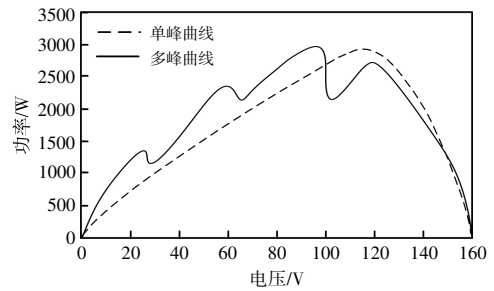


图 2 光伏输出单峰与多峰曲线

Fig.2 PV output single-peak and multi-peak curve

综上,面对复杂环境下光伏多峰输出造成的最大功率跟踪困难的问题,须提出更加有效的 MPPT 技术,提高光伏发电系统性能,使得整个系统一直处于全局最大功率点状态。

## 2 算法理论

为了保证在局部阴影环境下能够跟踪光伏输出功率动态变化的最大值,本文将 ISSA-P&O 应用于 MPPT 中。在跟踪前期,ISSA 采用混沌映射方式增加种群多样性,提升算法广泛搜索能力,利用萤火虫扰动算法防止陷入局部最优。在跟踪后期,使用 P&O 防止系统在最大功率点附近振荡,保证最大功率点稳定输出。

### 2.1 ISSA 算法

麻雀搜索算法 (Sparrow Search Algorithm, SSA) 是近年来新发展的一种群体优化算法,灵感来源于麻雀觅食和反捕食行为<sup>[18]</sup>,对离散型和连续型的变量寻优均能取得良好效果,也没有过多的约束条件,相比于现有的灰狼算法、粒子群算法等智能算法,收敛速度更快、寻优能力更强、鲁棒性更高,有望在 MPPT 领域发挥巨大作用。

SSA 算法包含探索个体、跟随个体和预警个体<sup>[18-22]</sup>。探索个体适应度最优,在所有种群中具有

最大能量储备,主要为种群指引觅食方向;跟随个体不断优化自身适应度,关注探索个体的行为来优化食物来源;预警个体发生危险时会主动报警,中间麻雀随机飞向其他麻雀,种群边缘麻雀主动飞向安全区域。

常规 SSA 算法随机生成初始种群,容易造成麻雀聚集、解空间覆盖率低的问题,无法实现广泛搜索。本文采用混沌映射的方式初始化种群,提高 SSA 算法的种群多样性,进而使麻雀分布更加均匀。混沌映射计算式为

$$x_{i+1} = \text{mod} \left[ x_i + 0.2 - \left( \frac{0.2}{2\pi} \right) \sin(2\pi x_i), 1 \right] \quad (3)$$

式中:  $x_i$  为初始化种群中第  $i$  维麻雀位置; mod 为求余函数。

经过式(3)后,使得映射后的混沌值在 0~1 均匀分布。

针对常规 SSA 算法容易发生局部最优的问题,本文在算法后期添加萤火虫扰动算法来更新麻雀个体位置。萤火虫优化算法是一种元启发类型的算法,该算法灵感来源于萤火虫发光觅食的思想,对萤火虫发光进行模拟,算法的优化过程就像萤火虫的移动过程。如果扰动后的适应度值优于扰动前的适应度值,则对麻雀位置进行更新。第  $i$  个萤火虫被第  $j$  个萤火虫吸引的位置更新公式为

$$\begin{cases} x_i = x_i + \gamma(x_j - x_i) + \varphi(\text{rand} - 0.5) \\ \gamma = \gamma_0 \exp(-\varepsilon r_{ij}^2) \end{cases} \quad (4)$$

式中:  $x_i$  为第  $i$  个萤火虫的位置;  $\gamma$  为吸引度;  $\varphi$  为 0~1 的步长系数;  $\gamma_0$  为吸引度最大值;  $\varepsilon$  为光强吸收因子;  $r_{ij}$  为第  $i$  个萤火虫和第  $j$  个萤火虫之间的距离。

### 2.2 自适应步长 P&O 算法

P&O 算法具有结构简单、实现容易的优势,能够很好地应用于光伏发电 MPPT 中。然而 P&O 算法寻优过程步长始终不变,追踪精度和速度相互矛盾。基于此,本文提出自适应步长 P&O 算法,变化的步长计算表达式为

$$d_i = \Delta d_{\max} (1 - \pi^{-|P_i - P_{i-1}|}) \quad (5)$$

式中:  $d_i$  为第  $i$  次迭代时的步长;  $\Delta d_{\max}$  为步长最大值;  $P_i$  为第  $i$  次迭代时的光伏输出功率;  $l$  为调节系数。

$l$  越小,说明步长改变越小;  $l$  越大,说明步长

改变越大。面对复杂多变的环境时,通过合理设置  $l$  的值能够避免出现功率抖动的问题。

基于自适应步长 P&O 算法 MPPT 过程如图 3 所示。通过计算电压、功率变化趋势来调节步长,若二者变化趋势相同,则加大步长;若二者变化趋势相反,则减小步长,运行在最大功率点时停止扰动。随着工作点不断变化一直更新扰动步长,靠近或远离最大功率点时快速自适应设置步长,避免功率输出大幅抖动,减少人为凑步长的过程,极大提高了功率跟踪效率。

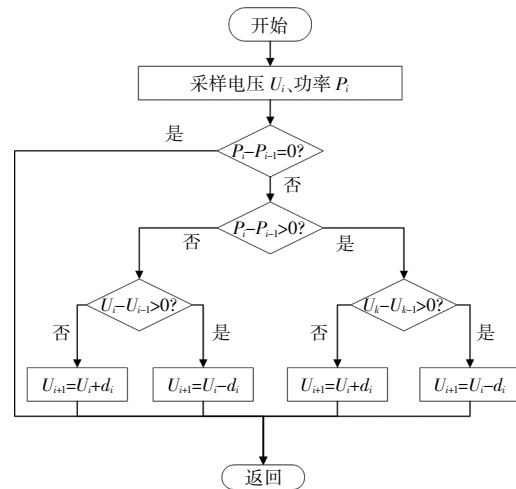


图 3 P&O 算法流程

Fig.3 P&O algorithm process

### 3 MPPT 技术方案

本文采用所提的基于 ISSA-P&O 算法的光储发电系统 MPPT 技术控制占空比。ISSA 算法中,设置麻雀个体为占空比,捕食目标为全局最大功率跟踪。采用 ISSA 算法进行功率跟踪,通过混沌映射方式增加种群多样性,提升算法广泛搜索能力,利用萤火虫扰动算法防止陷入局部最优。然而一直使用 ISSA 算法跟踪最大功率容易加大整个系统负担,因此在跟踪后期使用 P&O 算法能够减少计算量的同时稳定输出功率,有利于提升整个光储系统发电效率。

#### 3.1 重启判据

在跟踪前期,ISSA 算法经过多次迭代后麻雀个体位置相近,输出功率差降低,搜寻至最大功率点周围。此时 ISSA 算法达到最大迭代次数,停止运行,切换至 P&O 算法,进入跟踪后期阶段。

当外部环境因楼栋、飞尘、飘云等造成光照强度不均匀时,光伏输出功率改变,重新启动 ISSA

算法来减少功率损耗。重新启动表达式为

$$\frac{|P_t - P_{t-1}|}{P_{t-1}} \geq 0.05 \quad (6)$$

### 3.2 算法流程

基于 ISSA-P&O 算法的光储发电系统 MPPT 技术包含 ISSA 算法的跟踪前期和 P&O 算法的跟踪后期。整个算法流程如图 4 所示。

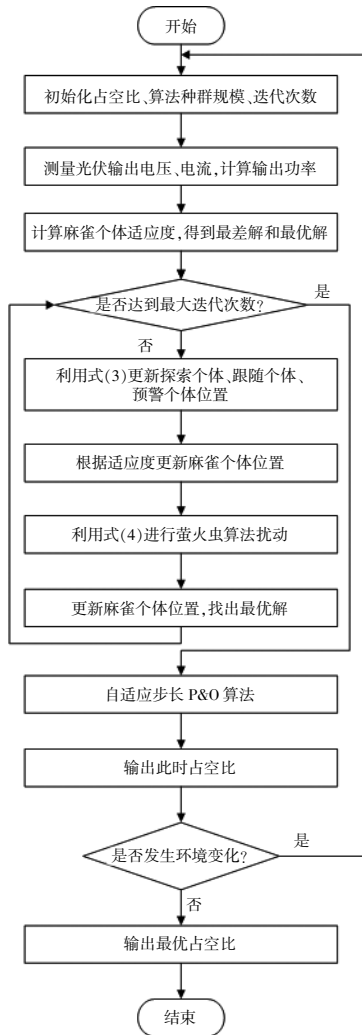


图 4 MPPT 技术流程

Fig.4 MPPT technical process

算法步骤如下。

步骤一：初始化参数。初始化 ISSA 算法和 P&O 算法参数,包含种群规模、迭代次数,使用混沌映射初始化麻雀个体位置。

步骤二：电气数据采集。测量光伏输出电压、电流,根据测量的电压、电流计算输出功率,计算适应度值。

步骤三：ISSA 算法输入。计算麻雀个体适应

度,得到最差解和最优解,判断 ISSA 是否达到最大迭代次数。如果达到,则跳转到步骤五。

步骤四：ISSA 算法优化。利用式(3)更新探索个体、跟随个体、预警个体位置,利用式(4)进行萤火虫算法扰动,更新麻雀个体位置,找出最优解。

步骤五：P&O 算法优化。将 ISSA 算法优化的占空比作为自适应步长 P&O 算法输入,经过优化输出新的占空比。

步骤六：判断是否发生环境变化。根据式(6)判断是否达到重启条件,如果达到,则跳转到步骤一,否则跳转到步骤五。

步骤七：结果输出。输出最优占空比,结束整个算法。

## 4 算例分析

### 4.1 仿真环境

为了验证本文提出的基于 ISSA-P&O 算法的光储发电系统 MPPT 控制技术效果,搭建光储控制系统模型,如图 5 所示。该系统包含光伏设备、直流升压电路、A/D、MPPT 算法控制器、PID 控制器和储能装置,各个元器件参数如表 1 所示。

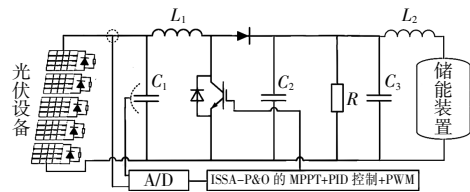


图 5 光储控制系统模型

Fig.5 Optical storage control system model

表 1 元器件参数

Table 1 Component parameter

参数	数值
电容 $C/\mu\text{F}$	$C_1=5; C_2=15; C_3=10$
电阻 $R/\Omega$	20
电感 $L/\text{mH}$	$L_1=L_2=10$
IGBT 频率/ $\text{kHz}$	6
储能电池容量/ $\text{Ah}$	1 000

衡量最大功率跟踪效果的表达式为

$$\eta = \frac{P}{P_M} \times 100\% \quad (7)$$

式中： $\eta$  为功率跟踪效率； $P_M, P$  分别为光伏理想输出功率和实际输出功率。

### 4.2 光照均匀下结果

在光照均匀,外界温度为  $25^\circ\text{C}$ ,光伏输出为  $4\,989.62\text{ W}$  的理想条件下,为了验证本文方法的

先进性, 将本文方法与粒子群算法、灰狼算法和 SSA 算法进行对比, 光照均匀下不同方法的仿真结果如图 6 所示, 对应的跟踪时间和跟踪效率结果如表 2 所示。

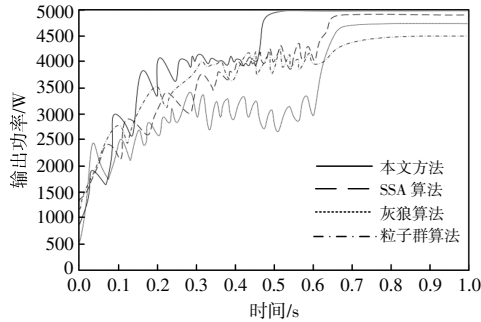


图 6 光照均匀下不同方法仿真结果

Fig.6 Simulation results of different methods under uniform illumination

表 2 光照均匀下不同方法结果对比

Table 2 Comparison of results of different methods under uniform illumination

方法	理想输出 功率/W	实际输出 功率/W	跟踪时间 s	跟踪效率 %
粒子群算法	4 989.62	4 502.37	0.88	90.23
灰狼算法	4 989.62	4 738.29	0.69	94.96
SSA 算法	4 989.62	4 912.77	0.67	98.46
本文方法	4 989.62	4 983.59	0.58	99.88

从图 6 中可知, 光照均匀下 4 种方法均达到较高的跟踪效率, 并且本文方法跟踪效率最高、跟踪时间最短, 相比于粒子群算法、灰狼算法和 SSA 算法, 跟踪效率分别提升了 9.65%, 4.92%, 1.42%, 跟踪时间分别缩短了 0.30, 0.11, 0.09 s, 说明本文方法能够在更短的时间内实现更优的跟踪性能。这是因为, 本文提出的 ISSA 算法, 相比于粒子群算法、灰狼算法, 寻优精度更高、速率更快; 相比于 SSA 算法, 采用混沌映射方式和萤火虫扰动算法提高了 MPPT 控制精度和速度, 验证了本文方法的优越性。

#### 4.3 静态局部阴影下结果

静态局部阴影条件下, 外界温度为 25 °C, 光伏输出为三峰曲线, 理想输出为 1 998.27 W。为了验证本文方法的先进性, 同样将本文方法与粒子群算法、灰狼算法和 SSA 算法进行对比, 静态阴影下不同方法的仿真结果如图 7 所示, 对应的跟踪时间和跟踪效率结果如表 3 所示。

从图 7 中可知, 静态局部阴影下 4 种方法也

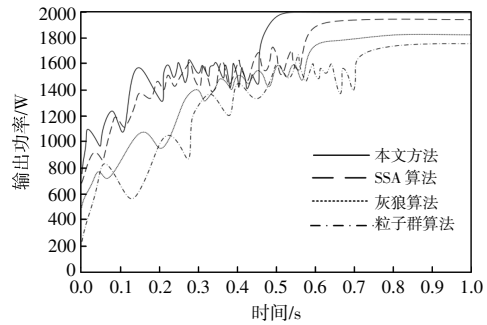


图 7 静态局部阴影下不同方法仿真结果

Fig.7 Simulation results of different methods under static local shadow

表 3 静态局部阴影下不同方法结果对比

Table 3 Comparison of results of different methods under static local shading

方法	理想输出 功率/W	实际输出 功率/W	跟踪时间 s	跟踪效率 %
粒子群算法	1 998.27	1 762.37	0.92	88.19
灰狼算法	1 998.27	1 846.38	0.81	92.40
SSA 算法	1 998.27	1 945.94	0.73	97.38
本文方法	1 998.27	1 997.62	0.58	99.97

能达到较高的跟踪效率, 并且本文方法跟踪效率最高、跟踪时间最短, 相比于粒子群算法、灰狼算法和 SSA 算法, 跟踪效率分别提升了 11.78%, 7.57%, 2.56%, 跟踪时间分别缩短了 0.34, 0.23, 0.15 s, 说明本文方法在静态阴影下能够在更短的时间内实现更优的跟踪性能。

#### 4.4 动态局部阴影下结果

为了进一步验证本文方法的先进性, 将本文方法与粒子群算法、灰狼算法和 SSA 算法在动态局部阴影下进行对比, 分成 3 个场景进行仿真, 各个场景电压-功率曲线如图 8 所示。场景 1、场景 2、场景 3 的光伏输出分别为三峰曲线、四峰曲线、五峰曲线, 温度均为 25 °C。先进行场景 1 仿真, 经

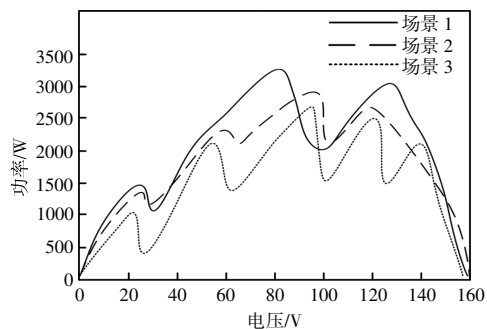


图 8 各个场景光伏输出曲线

Fig.8 Pv output curve of each scenario

过 1 s 后切换至场景 2,再次经过 1 s 后切换至场景 3,不同方法在动态局部阴影下的结果见表 4。

表 4 动态局部阴影下不同方法结果对比

Table 4 Comparison of results of different methods under dynamic local shading

方法	场景 1		场景 2		场景 3	
	跟踪时间/s	跟踪效率/%	跟踪时间/s	跟踪效率/%	跟踪时间/s	跟踪效率/%
粒子群算法	0.92	92.36	0.85	89.47	0.88	91.35
灰狼算法	0.83	95.31	0.73	93.67	0.75	95.64
SSA 算法	0.76	98.56	0.59	97.38	0.71	99.01
本文方法	0.58	99.89	0.52	99.72	0.55	99.76

从表 4 中可知,本文方法在不同局部阴影的动态场景切换中仍具有最高的跟踪效率和最快的跟踪速度,验证了本文方法在动态局部阴影下的优越性,具有很强的实际应用价值。

储能设备电池电流充、放电曲线如图 9 所示,荷电状态 SOC 变化曲线如图 10 所示。从图 9 和图 10 中可知,0~1 s 内处于场景 1,光照强度充足,光伏输出功率能够满足负荷需求,储能装置电池处于充电状态,且 SOC 曲线以较大斜率上升,充电速度较快;在第 1 秒时刻切换到场景 2 时,光照强度减少,光伏输出功率无法满足负荷需求,储能装置电池开始放电,SOC 曲线下降;在第 2 秒时刻切换到场景 3 时,整个系统发电量又能满足负荷需求,储能装置电池又一次进入充电状态,SOC 曲线上升,但是此时的发电量低于场景 1,因此电流大小和 SOC 曲线斜率均低于场景 1。综上分析,本文提出的基于 ISSA-P&O 算法的光储发

电系统 MPPT 控制方法在光储系统中实用性强,能够协调分配光伏、储能和负荷之间的功率平衡。

### 5 结论

本文提出了一种基于 ISSA 和 P&O 的光储发电系统 MPPT 控制方法。经过算例分析,本文方法相比于粒子群算法、灰狼算法和 SSA 算法,在光照均匀下,跟踪效率分别提升了 9.65%,4.92%,1.42%,跟踪时间分别缩短了 0.30,0.11,0.09 s;在静态局部阴影下,跟踪效率分别提升了 11.78%,7.57%,2.56%,跟踪时间分别缩短了 0.34,0.23,0.15 s;在不同局部阴影的动态场景切换中仍具有最高的跟踪效率和最快的跟踪速度。说明本文所提 MPPT 控制方法在光储混合发电系统中能够实现不同场景下的快速跟踪、精准输出。

### 参考文献:

- [1] 孙秋野,李大双,王睿,等.“双高”电力系统:一种新的稳定判据和稳定性分类探讨[J].中国电机工程学报,2024,44(8):3016-3036.
- [2] 袁典,金旭,钱涛,等.主动配电网优化调度场景下的变频空凋负荷聚合外特性研究[J].东北电力大学学报,2024,44(1):109-119.
- [3] 谭金龙,熊小伏,陈军,等.基于改进孪生支持向量机的新型电力系统继电保护故障诊断模型[J].沈阳工业大学学报,2023,45(6):631-636.
- [4] 张建新,邱建,朱煜昆,等.基于时序卷积残差网络和鸚鵡优化算法的新能源电网安全稳定控制方法[J].可再生能源,2024,42(6):845-852.
- [5] 黎博,陈民铀,钟海旺,等.高比例可再生能源新型电力系统长期规划综述[J].中国电机工程学报,2023,43(2):555-581.
- [6] 韩鹏,李银红,何璇,等.结合量子粒子群算法的光伏多峰最大功率点跟踪改进方法[J].电力系统自动化,2016,40(23):101-108.
- [7] 王涛,安佳坤,王志洁,等.微电网光储多源协调及多模式平滑切换控制 [J]. 电力电子技术,2023,57(3):

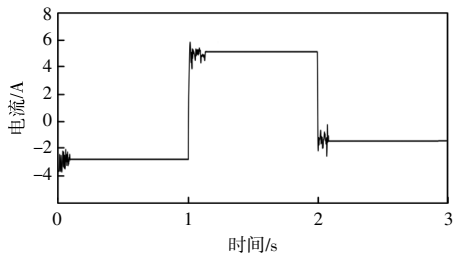


图 9 储能装置电流变化曲线

Fig.9 Current change curve of energy storage device

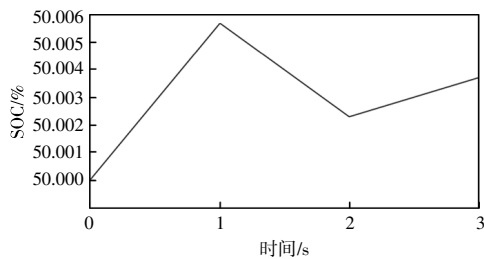


图 10 储能装置荷电状态变化

Fig.10 The charging state of the energy storage device changes

- 99-103.
- [8] 崔焯彬, 白建波, 陶云坤, 等. 半片光伏组件阴影遮挡下性能模拟方法研究 [J]. 可再生能源, 2024, 42(3): 331-339.
- [9] Dadkhah J, Niroomand M. Optimization methods of MPPT parameters for PV systems: Review, classification, and comparison [J]. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2021, 9(2): 225-236.
- [10] 陈景文, 张文倩, 李晓飞. 基于改进电导增量法的光伏 MPPT 控制 [J]. 智慧电力, 2021, 49(9): 47-55.
- [11] 艾永乐, 刘群峰, 韩朝阳, 等. 基于改进扰动观察法的光伏 MPPT 策略 [J]. 武汉大学学报(工学版), 2020, 53(4): 339-344.
- [12] 赵紫帆, 孙冠群, 杨建青, 等. 一种开关磁阻风力发电机新型功率变换系统及其最大功率点跟踪控制 [J]. 电气技术, 2024, 25(4): 1-6, 58.
- [13] 韩翔宇, 纽春萍, 何海龙, 等. 基于优化增量电导法的温差发电最大功率点跟踪策略 [J]. 高压电器, 2023, 59(11): 240-249.
- [14] Saba J, Kashif I, Shoaib A S, et al. A simple yet fully adaptive PSO algorithm for global peak tracking of photovoltaic array under partial shading conditions [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2022, 69(6): 5922-5930.
- [15] 陈忠华, 刘博, 郭瑞, 等. 基于改进鸽群算法的光伏阵列 MPPT 方法 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2021, 33(8): 32-40.
- [16] 张增辉, 邓宇豪, 李春卫, 等. 基于改进灰狼优化算法的光伏 MPPT 方法 [J]. 电测与仪表, 2022, 59(7): 100-105.
- [17] 李崎勇, 张伟斌, 赵新哲, 等. 改进鲸鱼算法优化支持向量回归的光伏最大功率点跟踪 [J]. 电工技术学报, 2021, 36(9): 1771-1781.
- [18] 回立川, 陈雪莲, 孟嗣博. 多策略混合的改进麻雀搜索算法 [J]. 计算机工程与应用, 2022, 58(16): 71-83.
- [19] 王舒玮. 基于麻雀算法优化 BP 神经网络诊断数控机床故障 [J]. 沈阳工业大学学报, 2023, 45(5): 546-551.
- [20] 张良, 何山, 艾纯玉. 基于 Sine-SSA-BP 神经网络模型的风机叶根载荷预测 [J]. 可再生能源, 2023, 41(10): 1322-1328.
- [21] J González, J Ortega, M Damas, et al. A new multi-objective wrapper method for feature selection accuracy and stability analysis for BCI [J]. Neurocomputing, 2019, 333: 407-418.
- [22] Liang Qiankun, Chen Bin, Wu Huaning, et al. A novel modified sparrow search algorithm with application in side lobe level reduction of linear antenna array [J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2021(22): 1-25.

## MPPT control technology for photovoltaic power generation system based on ISSA-P&O algorithm

Li Xiaofeng<sup>1</sup>, Yang Qi<sup>1</sup>, Jiang Mingkun<sup>1</sup>, Ni Hao<sup>1</sup>, Wang Xun<sup>1</sup>, Jin Wenxing<sup>2</sup>

(1.SPIC Qinghai Photovoltaic Industry Innovation Center Co.,Ltd., Qinghai 810008, China; 2.School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** The uneven illumination intensity causes the output curve of the photovoltaic array to be a multimodal curve, and the traditional maximum power point tracking (MPPT) control algorithm cannot track the global maximum power. Based on this, a MPPT control method for photovoltaic power generation systems is proposed, which is based on the improved sparrow search algorithm (ISSA) and disturbance and observation method (P&O). Firstly, in the early stage of tracking, chaotic mapping is used to increase the diversity of ISSA population and enhance the algorithm's wide search ability. To prevent the algorithm from getting stuck in local optima, the firefly perturbation algorithm is used to perturb and update individual sparrows. Secondly, in the later stage of tracking, P&O is used to prevent the system from oscillating near the maximum power point, ensuring stable output at the maximum power point. Finally, through numerical analysis, the proposed MPPT control method achieves fast tracking and accurate output in different scenarios, and can be well applied in photovoltaic hybrid power generation systems.

**Keywords:** photovoltaic array; maximum power point tracking; improve the sparrow search algorithm; perturbation and observation method; firefly perturbation algorithm