

文章编号: 1673-5196(2018)01-0091-04

基于遗传算法与模式搜索法组合的 MPPT 技术

缙新科¹, 马士伟¹, 陈维铅², 李琪飞¹, 许世鹏²

(1. 兰州理工大学 电气工程与信息工程学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 酒泉职业技术学院 甘肃省太阳能发电系统工程重点实验室, 甘肃 酒泉 735000)

摘要: 针对传统单一 MPPT 算法无法兼顾动态性和稳态性的问题, 尝试将传统遗传算法与模式搜索法进行组合应用于光伏发电 MPPT 控制, 技术原理是当系统靠近功率曲线两端时采用遗传算法跟踪, 当系统位于最大功率点附近采用模式搜索法跟踪. 通过 MATLAB/Simulink 仿真分析, 分别对比研究了扰动观察法、电导增量法、模糊控制法与组合算法跟踪光伏发电最大功率的输出特性. 研究表明, 遗传算法和模式搜索法的组合算法与扰动观察法、电导增量法和模糊控制法等传统最大功率跟踪方法相比, 具有响应速度快, 控制精度高, 稳定性良好等优点.

关键词: 最大功率跟踪; 遗传算法; 模式搜索法; 光伏发电系统

中图分类号: TM615 **文献标志码:** A

MPPT technique based on genetic algorithms combined with pattern search method

GOU Xin-ke¹, MA Shi-wei¹, CHEN Wei-qian², LI Qi-fei¹, XU Shi-peng²

(1. College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China; 2. Gansu Key Laboratory of Solar Power Systems Engineering, Jiuquan Vocational and Technical College, Jiuquan 735000, China)

Abstract: Aimed at the problem in traditional single maximum power point tracking (MPPT) algorithm that it can not take care of both dynamic performance and steady-state performance at the same time, it is tried to combine genetic algorithm (GA) and pattern search method (PS) together and apply them to MPPT control of photovoltaic power generation. The principle of this technique is as follows: When the system approaches to the ends of power curve, GA will be used to conduct the MPPT; when the system works close at maximum power point, PS will be used to track. Several tracking methods such as perturbation observation, conductance increment, fuzzy logic control, and combination of GA with PS are used for comparative study of tracking of maximum power output characteristics of photovoltaic power generation by means of simulation analysis with MATLAB/Simulink. The investigation result shows that compared with traditional tracking method for maximum power such as perturbation observation, conductance increment, and fuzzy control, the combination algorithm of GA with PS will have such advantage as fast response, high control precision, and fine stability.

Key words: maximum power tracking; genetic algorithm; pattern search method; photovoltaic power generation system

随着现代社会的快速发展, 人们生活中对能源的需求与日俱增. 对可再生能源的开发和利用, 是解

决能源需求、降低对环境的污染和提高人们的生活质量的必要方法. 太阳能光伏发电技术是目前主要一种可再生能源利用技术, 但是, 受光照强度和温度的影响, 光伏发电技术对太阳能的利用率较低, 因此通过追踪光伏发电系统最大功率点 (MPPT) 使得功率达到最大显得尤为重要^[1].

MPPT 过程是一个动态寻优的过程, 一般通过控制光伏电池两端电压来控制最大功率的输出^[2].

收稿日期: 2016-06-22

基金项目: 甘肃省自然科学基金(1506RJYF319), 甘肃省高等学校科研项目(2015A-211), 2015年酒泉市科技计划项目

作者简介: 缙新科(1966-), 男, 甘肃天水人, 教授.

通讯作者: 马士伟(1990-), 男, 甘肃永登人, 硕士.

目前最基本的两种 MPPT 技术分别是扰动观测法和电导增量法,其中扰动观测法结构简单、需要测量的参数较少,被普遍应用于太阳能光伏电池板的最大功率点跟踪;但扰动观察法在 MPPT 附近震荡运行,导致功率损耗大,在特定的情况下会产生误判^[3]. 电导增量法在光伏输出最大功率附近产生振荡现象,系统稳态性能欠佳,而且单一的电导增量法对控制系统硬件的质量要求比较高,容易误判,步长的确定也较为困难^[4]. 模糊控制法是近年来发展起来的一种 MPPT 控制技术,可以很好地解决光伏电池 P-U 特性非线性问题,稳态性较好. 但是由于光伏输出非线性以及不同光伏电池板数学模型的差异,设计依赖专家知识和经验总结的传统模糊控制器有很大难度,导致存在较大的稳态误差、波动以及较慢响应速度^[5].

本文将传统的遗传算法和模式搜索法组合(混合遗传算法)应用到 MPPT 控制技术中,使得光伏发电系统最大功率跟踪性能得到更大程度的提高,具有响应速度快、控制精度高、成本低、稳定性良好等特点.

1 光伏电池的特性

图 1 为光伏电池的等效电路. 根据图 1 通过计算可得

$$P = V \cdot I \tag{1}$$

通常, R_p 比较大, 故有:

$$I = I_{ph} - I_d \tag{2}$$

$$I_L = I_{ph} - A \left[\exp \left(\frac{q}{BK T} (U_L + I_L R_s) - 1 \right) \right] - \frac{U_L + I_L R_s}{R_{sh}} \tag{3}$$

式中: I_L 为光伏输出电流; U_L 为光伏输出电压; I_{ph} 为光伏电池内生电流; A 、 B 为与 PN 结材料特性有关的系数; q 为电子的电荷量; R_s 为光伏电池的等效内部串联电阻; K 为波尔兹曼常数; T 为绝对温度; R_{sh} 为光伏电池的等效并联旁路电阻.

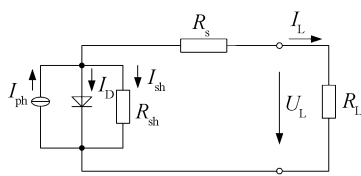
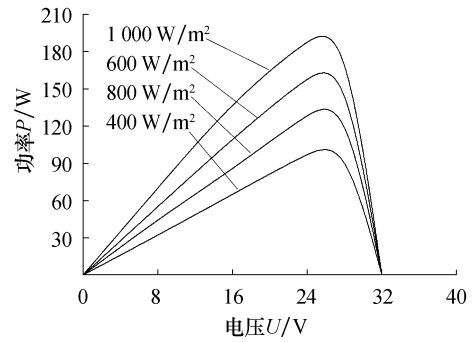


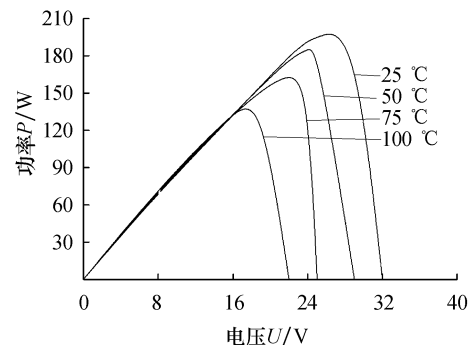
图 1 光伏电池等效电路

Fig. 1 Equivalent circuit of photovoltaic battery

图 2a 为相同温度不同光照强度下光伏电池的 P-U 曲线, 图 2b 为相同光照强度不同温度下 P-U



(a) 不同光照强度



(b) 不同温度

图 2 光伏电池 P-U 特性曲线

Fig. 2 P-U curve of photovoltaic battery

曲线. 由图 2 可以看出, 光伏电池输出 P-U 曲线非线性, 即不同的光照强度和温度下, 输出不同的功率, 但光伏电池在同一温度和光照强度下, 有且只有一个最大功率点^[6].

根据文献[7]光伏电池阵列的输出功率 P-U 曲线(如图 3 所示), 可知:

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(I \cdot V)}{dV} = V \cdot \frac{dI}{dV} + I$$

也可以表达为: 当 $\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V}$ 时, 最大功率在跟踪点左侧; 当 $\frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V}$ 时, 最大功率在跟踪点右侧; 当

$\frac{dI}{dV} \approx -\frac{I}{V}$ 时, 光伏电池工作在最大功率.

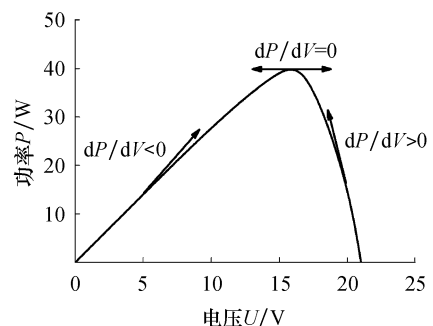


图 3 光伏电池阵列输出 P-U 曲线

Fig. 3 P-U curve of output of photovoltaic battery array

因此,当外界环境变化时,通过调节 DC-DC 变换器的占空比来改变光伏阵列等效负载,使之在不同的外部环境下始终跟随光伏阵列的内阻变化,两者动态负载匹配时,获得光伏组件的最大输出功率,这就是 MPPT 算法的本质^[8].

2 组合算法原理

遗传算法是一种基于自然遗传(GA)选择的随机算法,是通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法,是从代表问题可能潜在的解集的一个种群开始,而这个种群则由经过基因编码的一定的个体组成^[9].它在 MPPT 中的应用,是将最大可能的功率对应的光伏发电系统电流形成种群,进行择优化搜索,产生新的种群.遗传算法在最优解附近收敛率比较低,影响最大功率的响应时间.模式搜索法(PS)优化类型如同直接搜索法,其搜索收敛速率快,稳态性较好^[10].因此,本文采用遗传算法和模式搜索法(PS)的组合算法,在控制初期采用遗传算法,提高跟踪精度,达到迭代要求时,在最大功率附近区域采用模式搜索法,以加快跟踪速度,弥补遗传算法收敛性较差的缺点.

图 4 为组合算法控制流程图,将光伏发电系统输出功率对应的电流作为种群,种群规模取 30,交叉概率取 0.8.图 5 为嵌入 Matlab 函数图.

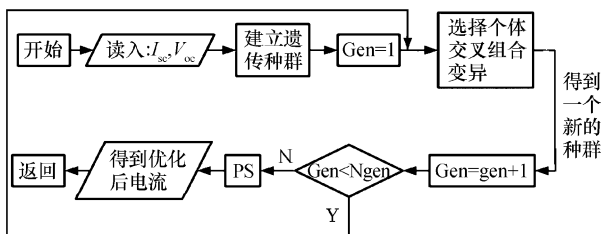


图 4 组合算法控制流程图

Fig. 4 Flow-chart of control with combination algorithm

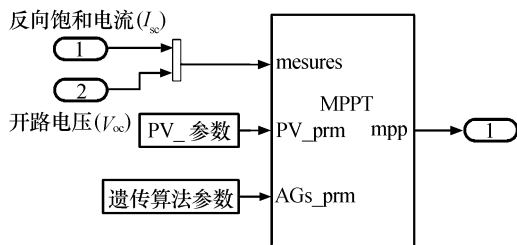


图 5 嵌入 Matlab 函数

Fig. 5 Embedded Matlab function

3 结果与分析

在仿真实验中,遗传算法种群规模取 30,交叉概率取 0.8,仿真时间为 1s,采用可变时间步长,最

大时间步长限制为 0.08 s,电池温度设置为 25 °C.仿真采用 ode23tb 算法,采样周期为 1×10^{-5} s,在 0.5 s 时将光照强度突然从 800 W/m² 增加到 1 000 W/m²,得到扰动观察法、电导增量法、模糊控制法等与混合遗传算法对比的最大功率跟踪曲线,如图 6 所示.

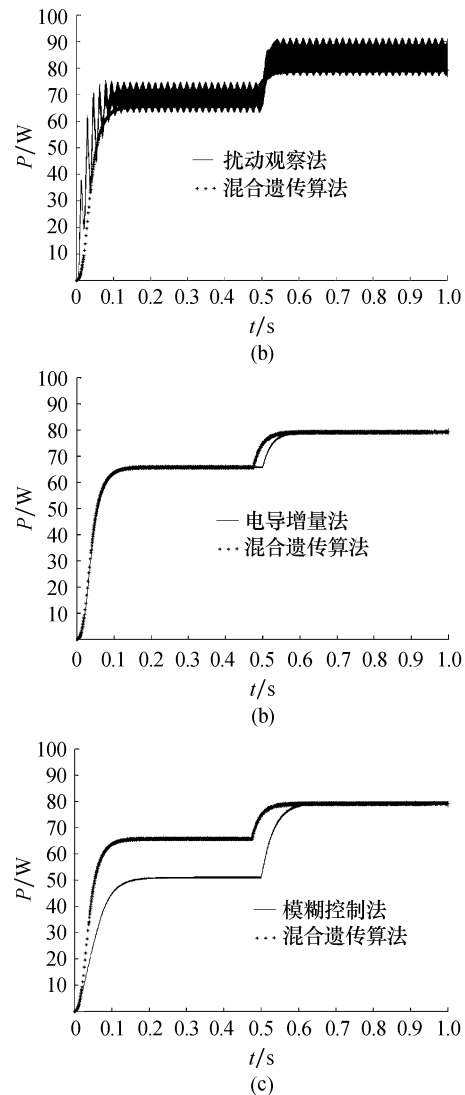


图 6 不同控制方法的 MPPT 仿真图

g. 6 MPPT simulation diagram of different control methods

由图 6a 可知,混合遗传算法和扰动观察法均在 0.12 s 处跟踪到最大功率点,当光照强度发生变化时,二者的响应时间均为 0.05 s;但扰动观察法存在一定的扰动步长并未真正跟踪到最大功率点,混合遗传算法跟踪稳定,控制精确度高.

由图 6b 可知,在光照强度变化时,混合遗传算法较电导增量法响应速度快.

由图 6c 可知,在光照强度为 800 W/m² 时,混合遗传算法跟踪最大功率点在 65 W 左右,而模糊控制法跟踪最大功率点在 50 W 左右,表明混合遗传

算法较模糊控制法跟踪效率高;当光照强度发生变化时,混合遗传算法跟踪到新的最大功率点用时约 0.05 s,而模糊控制法用时约 0.1 s,表明混合遗传算法较模糊控制法在光照强度发生变化时响应时间短.

4 结论

本文通过 MATLAB /Simulink 仿真分析,分别研究了扰动观察法、电导增量法、模糊控制法、混合遗传算法跟踪光伏发电系统最大功率输出特性.由最大功率跟踪曲线可知,混合遗传算法最大功率跟踪时间约为 0.12 s,响应时间约为 0.05 s.与扰动观察法相比,混合遗传算法跟踪稳定,控制精确度高;与电导增量法相比,混合遗传算法较电导增量法响应速度快;与模糊控制法相比,混合遗传算法较模糊控制法跟踪效率高、响应时间快.综上所述,混合遗传算法较传统的 MPPT 控制方法具有响应速度快、控制精度高、稳定性良好等优点.

参考文献:

- [1] WETTER M, WRIGHT J. Comparison of a generalized pattern search and a genetic algorithm optimization method [C]//Proceedings of 8th International Building Performance Simulation Association Conference. Eindhoven, Netherlands; [s. n.], 2003:1401-1408.
- [2] 冯焱生,王 飞. 太阳能光伏发电技术图解指南 [M]. 北京:人民邮电出版社,2011.
- [3] HOUSSAMO I, LOCEMENT F, SECHILARIU M. Maximum power tracking for photovoltaic power system: development and experimental comparison of two algorithms [J]. Renewable Energy, 2010, 35:2381-2387.
- [4] GHASSAMI A A, SADEGHZADEH S M. High performance maximum power point tracker for PV systems [J]. Electrical Power and Energy Systems, 2013, 53:237-243.
- [5] HUSSEIN K H, MUTA I, OSHIN T. Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions [J]. IEEE Proc Gener Transmission Distribution, 1995, 142:59-64.
- [6] LOKANADHAM M, BHASKAR K V. Incremental conductance based maximum power point tracking (MPPT) for photovoltaic system [J]. International Journal of Engineering Research and Applications(IJERA), 2012, 2:13-19.
- [7] ZOU Y, ZHANG Y, LU J. MPPT control for PV generation system based on an improved Inccond algorithm [J]. Procedia Engineering, 2012, 29:105-109.
- [8] GOLDBERG D. Genetic algorithm in search, optimization and machine learning [M]. New Jersey: Addison Wesley, 1992.
- [9] 赵小强,何智娥. 基于改进混合遗传算法的水资源优化调度 [J]. 兰州理工大学学报, 2015, 41(4):65-70.
- [10] LI Y, YI J H, SALE D. Recent improvement of optimization methods in a tidal current turbine optimal design tool [M]. Plymouth: Ocean Publishing, 2012.