

太阳能光伏发电 MPPT 优化设计

—— 基于模糊 PID 控制和粒子群算法

胡徐胜, 纪 萍

(河海大学 文天学院, 安徽 马鞍山 243031)

摘 要: 为实现最大功率点跟踪, 解决太阳能利用效率不高的难题, 提出模糊比例-积分-微分 (简称 PID) 控制方法, 采用粒子群算法实现对控制参数及时更新。利用 Simulink 进行建模并仿真, 结果表明, 该设计方案提升了控制效果。

关键词: 最大功率点跟踪; 太阳能; 光伏发电; 模糊控制; 粒子群算法

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1009-9115(2019)03-0047-03

DOI: 10.3969/j.issn.1009-9115.2019.03.013

MPPT Optimization Design of Solarphotovoltaic Power Generation Based on Fuzzy Control and Particle Swarm Optimization

HU Xu-sheng, JI Ping

(Wentian College, Hehai University, Maanshan 243031, China)

Abstract: In order to solve the problem of low efficiency of solar energy utilization, by studying the basic principle of solar photovoltaic power generation, a fuzzy PID control is proposed to realize MPPT. For each control parameter of fuzzy PID, the particle swarm algorithm can be used to realize the update. The optimized parameters are applied to the fuzzy PID controller, and the simulation results show that the design scheme can improve the control effect through Simulink modeling and simulation.

Key Words: MPPT; solar energy; photovoltaic power generation system; fuzzy control; particle swarm optimization.

在世界各国追求高质量经济发展背景下, 以太阳能、风能等为代表的新能源发展迅猛^[1,2]。太阳能以其取之不尽、绿色环保等独特性能而成为新能源的代名词^[3], 但利用率低的问题一直困扰着人们。太阳能最大功率点跟踪是解决这一问题的最有效方法之一。

1 太阳能光伏发电 MPPT 简介

太阳能光伏发电 MPPT (Maximum Power Point Tracking, 最大功率点跟踪), 是指太阳能板在控制系统控制下通过调整角度和电压电流等措施, 使系统以最高的效率对蓄电池充电, 从而提高太阳能光伏发电效率的技术^[4-6]。

太阳能电板表面温度和太阳照射角度对太阳能光伏发电的输出电压和输出电流产生影响, 进而影响光伏发电的功率^[7,8]。MPPT 既要检测太阳能光伏发电的输出电压和电流, 还要计算出太阳能阵列的输出功率, 并根据优化控制方案对输出电流进行控制, 实现对最大功率点的追踪^[9,10]。依据判断方法和准则, MPPT 方法可分为开环和闭环两种模式^[11]。光伏电池输出特性受到外界温度、光照和负载大小、湿度甚至其他气候环境的影响, 所以系统建模比较复杂^[12]。研究表明, 光伏电池的最大功率点的电压与光伏电池的开路电压之间存在近似线性关系。所以, 对光伏电池的开路电压进行优化控制是解决问题的关键。

基金项目: 安徽省自然科学基金重点项目 (KJ2018A0618), 河海大学文天学院重点科研项目 (WT17001ZD)

收稿日期: 2018-09-18

修回日期: 2018-12-25

作者简介: 胡徐胜 (1982-), 男, 安徽太湖县人, 硕士, 副教授, 研究方向为电气自动化、智能控制。

-47-

2 基于粒子群算法的模糊 PID 参数寻优

2.1 基本粒子群算法极其改进

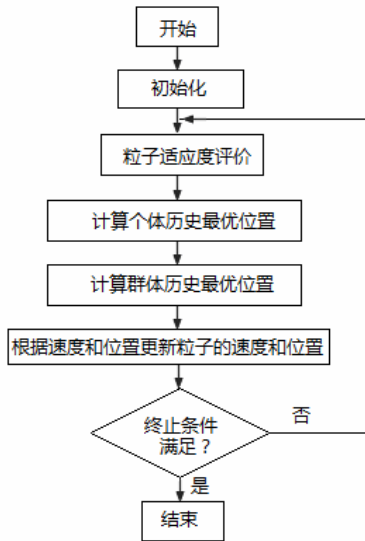


图 1 粒子群算法流程图

粒子群优化算法 (particle swarm optimization, PSO) 用数学表达式可表示为:

$$v_{id}^{k+1} = \omega v_{id}^k + c_1 \times r_1^k \times (p_{id}^k - x_{id}^k) + c_2 \times r_2^k \times (g_{id}^k - x_{id}^k) \quad (1)$$

$$x_{id}^{k+1} = x_{id}^k + v_{id}^{k+1} \quad (2)$$

式中, x_{id}^k 为粒子 i 当前位置和状态。 c_1 是个体的“认知”, 代表粒子跟踪自己历史最优值的权重系数表现。 v_{id}^k 表示第 k 次迭代第 d 维时粒子 i 的当前速度。 v_{id}^{k+1} 表示粒子 i 更新速度。 ω 表示保持原有速度的系数, 称为惯性权重。 c_2 是“社会”的认知, 表示粒子对整个群体社会方面知识的综合认识, 是粒子跟踪群体最优值的权重系数。 p_{id}^k 为粒子 i 当前最优位置。 g 为粒子群全局最优位置。 r_1 、 r_2 为区间[0,1]之间的随机数^[13]。粒子最大速度为 v_{\max} , 最小速度为 v_{\min} , 位置取值范围为 $x_{\min} \sim x_{\max}$ 。粒子群优化算法的流程如图 1 所示^[14]。

考虑全局和局部搜索的均衡, 采用以下思想改进粒子群算法^[15]。考虑实际控制对象特点, 选用以下线性递减策略来取得粒子的搜索能力和收敛速度之间平衡, ω 值计算公式为:

$$\omega(k) = \omega_{\max} - (\omega_{\max} - \omega_{\min})k/k_{\max} \quad (3)$$

式中, k_{\max} 为最大迭代次数, $\omega(k)$ 为第 k 次迭代用的惯性权重, ω_{\max} 为初始权重, ω_{\min} 为最终权重。一般地, 当惯性权重 $\omega_{\max} = 0.9$, $\omega_{\min} = 0.4$ 时, 算法性能较好^[16]。随着迭代次数的增加, 种群积累的

经验越来越丰富, 个体依靠社会知识来寻找最优解的效果更佳, 使粒子倾向于飞向全局最优解^[17]。因此, 本文采用公式(4)实现学习因子随当前迭代次数进行线性调整

$$\begin{aligned} c_1(k) &= a - \alpha * k / k_{\max} \\ c_2(k) &= b + \alpha * k / k_{\max} \end{aligned} \quad (4)$$

式中, k 为迭代发生的次数。 k_{\max} 为迭代次数的最大值。 $c_1(k)$ 、 $c_2(k)$ 为第 k 次迭代时所使用的学习因子。 α 为每次进行迭代时参与的平衡调整系数, a 、 b 为满足约束条件的常数, 其约束条件为 $a > b$, $a + b = 4$

a 越大, 则 $c_1(k)$ 随之变大, 个体的因素随之增大; b 越大, 则 $c_2(k)$ 随之变大, 社会的因素随之增大; 系数 α 越大, 平衡调整能力越强, 但系统的稳定性将下降。经反复试验仿真分析, 本文中取 $a = 2.4$, $b = 1.6$, $\alpha = 2.3$ 。

2.2 粒子群优化模糊 PID 参数的相关设计

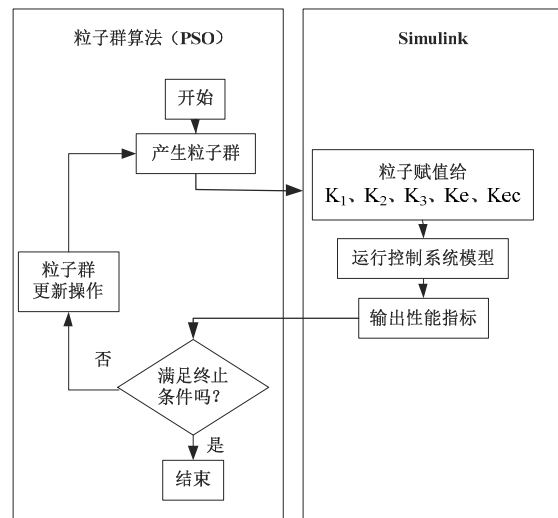


图 2 粒子群优化模糊 PID 流程图

评价 PID 控制器控制效果常用的动态性能指标包括过渡过程的指标和误差泛函积分评价指标。其中, 过渡过程的指标, 如上升时间、超调量、调节时间等, 是衡量控制系统从暂态进入稳态的指标性表现^[18,19]。而误差泛函积分评价指标, 包括 IE、ISE、ISTE、IAE、ITAE 等, 是以误差 $e(t)$ 为泛函的积分评价。其中 ITAE 指标是 PID 控制系统的最重要指标之一, 即:

$$J = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt \quad (5)$$

粒子群优化模糊 PID 流程如图 2 所示。

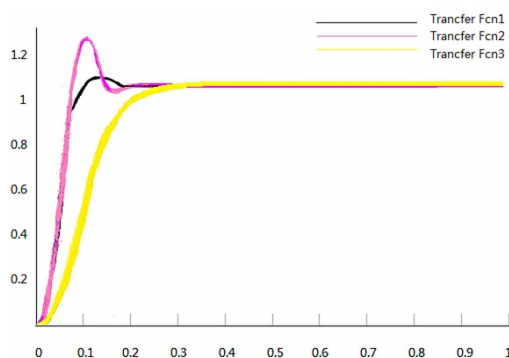


图3 常规PID、模糊PID、PSO优化模糊PID三种算法的阶跃响应比较曲线

优化过程分为3个步骤。第一步,在MATLAB中编写PSO优化程序,作为运行主程序。第二步,编写Simulink仿真模型的程序和连接PSO优化程序,可以用模块形式进行操作,也可用函数形式进行编写和调用。第三部分为Simulink仿真模型图。

在第一步PSO优化程序中,通过feval函数将优化的5个参数传到PSO_PID文件中。仿真过程中,模糊PID初始参数预设值为 $K_{p0}=70$ 、 $K_{i0}=230$ 、 $K_{d0}=4$,保证系统的稳定性。经过近20次迭代,适应值基本达到最优,参数收敛到

$$\{K_1, K_2, K_3, K_e, K_{ec}\} \\ = \{0.2, 550, 52.87, 180, 39.14\}。$$

将PSO参数优化后的模糊控制器、由经验法整定的模糊PID控制器以及工程法整定的传统PID控制器进行仿真比较,结果如图3所示。从图3可见,经PSO优化后的模糊PID控制器在发生阶跃响应时,可以在较短时间内,平滑地达到稳定状态,提高了系统的反应速度,而且没有出现明显超调,动态和稳态性能均表现良好。

3 结论

借助粒子群算法,对太阳能光伏发电系统模糊PID参数进行了优化,对系统的软件流程进行了改进,提高了太阳能光伏发电的控制效果。

[参考文献]

- [1] 符慧德.热管式光伏光热综合利用系统的理论和实验研究[D].合肥:中国科学技术大学,2012:3-8.
- [2] 李瑞恒,邢玉明,袁修干.空间站太阳能热动力发电系统

- 聚能器研究进展[J].唐山师范学院学报,2003,(2):1-5.
- [3] 罗浩.光伏发电充电与逆变控制研究[D].西安:西安工业大学,2015:20-25.
- [4] 陈科,范兴明,黎珏强,等.关于光伏阵列的MPPT算法综述[J].桂林电子科技大学学报,2011,31(5):386-390.
- [5] 刘立平,包建强.太阳能光伏热电联合利用[A].上海市制冷学会2009年学术年会论文集[C].2009:175-177.
- [6] 茆美琴,余世杰,苏建辉.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.
- [7] 翟明.基于DSP的太阳能自动跟踪系统开发[J].自动化应用,2015,(6):115-117.
- [8] 魏新华,段现星,王晓侃.基于DSP的太阳能独立光伏发电控制系统设计[J].计算机测量与控制,2013,21(9):2477-2479.
- [9] 徐海鹏,罗学科,谢富春.基于光强度检测的太阳能自动跟踪系统的设计[J].北方工业大学学报,2014,26(1):49-53.
- [10] 李永霞,李战,刘畅,等.基于STC单片机的太阳能电池板自动追日系统[J].计算机应用,2013,33(S2):331-335.
- [11] 王林军,门静,许立晓,等.基于PLC的碟式太阳最大跟踪控制系统研究[J].中国农机化学报,2015,36(3):274-278.
- [12] 薛阳,汪莎.基于扰动观察法的模糊控制应用于光伏发电最大功率跟踪[J].太阳能学报,2014,35(9):1622-1625.
- [13] 刘松.光伏发电双轴巡日跟踪系统的研究[D].马鞍山:安徽工业大学,2016:42-50.
- [14] 张传宗.光伏并网逆变器的研究和设计[D].无锡:江南大学,2009:34-40.
- [15] 陈舟.太阳能双轴自动跟踪系统设计与研究[D].武汉:湖北工业大学,2015:23-29.
- [16] 张进,陈雨,费绍金.基于视频数据分析的太阳影子定位法应用研究[J].西昌学院学报(自然科学版),2017,31(1):36-38.
- [17] 陈超,陈小元,吴夏来.基于STM8的新型光伏控制器设计[J].丽水学院学报,2017,31(1):34-37.
- [18] 胡徐胜,纪萍.一种带多路选择PID控制的光伏发电优化研究[J].绥化学院学报,2018,38(8):138-140.
- [19] 周殿凤.基于CPLD的并网光伏发电控制器设计[J].唐山师范学院学报,2013,35(5):44-45.

(责任编辑、校对:侯宇)