

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2018.10.034

失配条件下的基于变步长法的全局最大功率点跟踪算法仿真研究

王 露, 王弋飞

(西安高压电器研究院有限责任公司, 西安 710075)

摘要: 针对光伏系统在实际工况条件下的失配问题,提出一种基于变步长法的全局最大功率跟踪算法,该方案可以在多个局部最大功率点条件下快速找到全局最大功率点,实现光伏系统能效的有效提升。相比较现有方案,该方案具备快速、简单和稳定的特点。

关键词: 光伏系统; 失配条件; 全局最大功率跟踪算法

Simulation Research of GMPPT Under Mismatched Condition Based on Variable-step Method

WANG Lu, WANG Yifei

(Xi'an High Voltage Apparatus Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710075, China)

Abstract: To eliminate mismatch cases in PV system, this paper proposed a novel Global Maximum Power Point Tracking(GMPPT)method. The proposed method can accurately track maximum power in multi-peak $P-U$ curve of mismatched PV system. Comparing with current solutions, the proposed method has the advantages of high speed, accuracy and stability characteristics.

Key words: PV system; mismatch case; GMPPT

0 引言

中国清洁能源发展呈现集中开发为主、分散式开发为辅、就地消纳和跨区输送并重的特点。目前清洁能源结构性矛盾突出,系统调峰能力不足;新能源资源与用电负荷逆向分布;市场化机制尚不健全,省间壁垒难以根本消除等因素,都在不同程度上制约着新能源的消纳与发展。作为清洁能源的重要构成,光伏发电的上述问题尤为明显,截至2017年11月底,中国光伏累计装机容量达12 579万kW,同比增长67%,累计装机容量占总电力装机的比重达7.5%,同比增加2.7个百分点。光伏发电发展呈现出3个方面新特点:①分布式光伏发展提速。2017年分布式光伏新增装机1 723万kW,为2016年同期新增规模的3.7倍,增速同比增加3倍。②光伏新增装机分布地域转移特征明显。2017年西北地区光伏新增装机占比同比下降17个百分点,而中东

部成为光伏发电热点地区,同比上升9个百分点。③新方式促进光伏发电发展。“光伏领跑者”计划的实施取得良好效果,光伏产业技术进步明显,成本实现大幅下降。光伏产业是新能源产业的重要发展方向之一。光伏市场的发展对于优化能源结构、促进能源生产和消费革命、推动能源技术创新等具有重要的意义。当前光伏应用市场主要包括光伏电站和分布式光伏发电2种方式。光伏电池加工中由于工艺和材料造成误差致使各个组件参数不同,组装产生裂片等问题造成的部分光伏电池损坏,由于放置角度、周围阴影遮挡、老化速度不一致以及光伏板批次区别等原因造成的光照和温度不均,导致不同光伏板呈现区别化的特质表现,统称为光伏系统失配问题。失配问题一方面会导致有阴影遮挡的光伏板无法对系统输出能量做出贡献,还会导致热斑效应,造成光伏系统的损坏。此外,还会使得光伏系统输出特性曲线产生多个最大功率点的现象,对传统最大功率跟踪算法造成困扰,使得光

伏系统电产率严重下降^[1-4]。

1 光伏电池的输出特性分析

由于光伏电池的非线性输出特性,同时其特性曲线与光照强度、环境温度密切相关,因此需要在非线性的功率特性曲线上进行寻优实现光伏系统能效最大化。传统理想的光伏阵列具有唯一的功率最优点,称之为“最大功率点”,为了实现光伏系统的输出功率最优,需要引入最大功率跟踪控制算法保证并网变流装置工作在最大功率点。围绕最大功率跟踪算法的研究是光伏发电领域的热点问题,目前已有多种方法,各有优劣。然而,在实际工况中,当光伏模块串在受到阴影遮挡等失配问题时,光伏系统的整体输出曲线为一个多峰值的非线性特性,见图1。有别于理想条件下的单峰值功率特性。因此,如何在这种条件下找到光伏系统的整体最大功率点,实现光伏系统能量的最大化输出是对当前集中式并网光伏逆变系统的最大功率跟踪算法一大挑战。目前学术界和工业界围绕这个问题展开了广泛而深入的探讨。

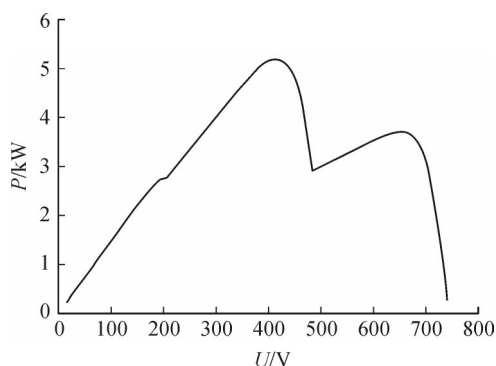


图1 光伏系统在失配条件下的多峰值 $P-U$ 曲线

Fig. 1 Multi-peak $P-U$ curve of photovoltaic system under mismatch conditions

2 常见最大功率点跟踪算法

最大功率点跟踪(MPPT)的目的就是控制光伏阵列的工作点电压,使阵列能在各种不同环境下输出最大功率。常见的最大功率跟踪控制方法主要有定电压跟踪法(CVT)、扰动观察法(又称为爬山法)、增量电导法以及模糊控制算法等^[5-10]。目前最大功率跟踪控制使用的方法中前3种方法应用更为广泛。这里仅对这3种方法进行简要介绍及比较。

2.1 定电压跟踪法

当温度一定时,光伏电池在不同光照强度下的最大功率点近似为某一恒定的电压值。保持光伏电池的输出电压为常数且等于某一光照强度下相

应的最大功率点的电压,就可以大致保证光伏电池输出最大功率,这就是电压跟踪法(constant voltage tracking, CVT)的思想。CVT方式具有控制简单、可靠性高、稳定性好、系统不会出现振荡、可以方便的通过硬件实现等优点。其缺点是:控制精度差,特别是在温度和日照变化剧烈的地区,无法随时跟踪太阳能电池板的最大功率,因此会造成一定的能量损耗。此方法以前在光伏系统中较多被使用,随着光伏系统控制技术的计算机及微处理器化,该方法逐渐被淘汰。

2.2 扰动观察法

这是真正意义上的MPPT,在实际系统中被广泛采用。扰动观察法就是在光伏阵列正常工作时,不断地使它的工作电压进行很小的扰动,在电压变化的同时,检测功率也发生变化,根据功率的变化方向,决定下一步电压改变的方向。当给定参考电压增大时,若输出功率增大,则工作点位于最大功率点的左侧,需继续增大参考电压;若输出功率减小,则工作点位于最大功率点的右侧,需要减小参考电压。当给定参考电压减小时,若输出功率也减小,则工作点位于最大功率点的左侧,需增大参考电压;若输出功率增大,则工作点位于最大功率点的右侧,需继续减小参考电压。

扰动观察法的优点是简单可靠,容易实现。它的缺点在于:①系统必须引入扰动,寻优的最后结果是系统在最大功率点附近的很小范围内来回振荡;②难以选择合适的变化步长,步长过小,跟踪的速度缓慢,光伏阵列可能长时间工作于低功率输出区,步长过大,在最大功率点附近的震荡又加大了。

2.3 增量电导法

由光伏电池的伏安特性曲线图可知,光伏阵列的 $P-U$ 曲线是一个单峰的曲线, dP/dU 值与阵列输出电压值是一一对应的。在最大功率点处, $dP/dU=0$;在最大功率点右边, $dP/dU<0$;在最大功率点左边, $dP/dU>0$ 。即系统可以通过判断 dP/dU 的值来确定当前系统输出的改变方向。因为

$$dP/dU = d(IU)/dU = I + UdI/dU \quad (1)$$

因此可以通过判断 $I + UdI/dU$ 的符号来确定当前工作点的位置,当其为负时,减小输出电压,当其为正时,加大输出电压。

增量电导法的优点是在步长选择合适的情况下,在最大功率点附近不存在振荡,这是由于在增量电导法的算法中,在满足一定的条件下,电压参考值不更新,这是增量电导法与扰动观察法最根本的区别。而且更能适应变化剧烈的环境。但其存

在的问题是,它的步长是固定的,当步长过小时,跟踪速度过慢,会使光伏阵列较长时间滞留在低功率输出区;步长过大,又会使系统振荡加剧。另外由于其算法依据是依靠差值来实现的,因此要求采集高精度的数据。

上述的3种方法都有各自的优缺点,但是都无法应对失配条件下的全局最大功率问题。CVT方法虽然有很大的弊端,但它却是众多方法中最稳定的一种,可以把CVT方法中的电压作为其它方法的电压参考初始值,这样可以减少跟踪的时间;另外,前文提到的常规的扰动观察法和增量电导法跟踪的步长都是固定的,都存在步长小跟踪速度慢,步长大会使系统在最大功率点附近存在较大振荡。文中提出了一种变步长的增量电导法,这种方法可以解决上面提出的问题。

3 基于变步长的全局MPPT算法

文中提出的基于变步长的全局最大功率跟踪算法主要分为两步^[11-19],先用较大步长 ΔU 扫描光伏阵列的电压全域,比较各个电压对应的功率并记录其中功率最大的点;再在该点附近用较小步长 ΔU 进行精确的扰动观测法,得到系统的全局最大功率

点。文中用与上述法相同的光伏阵列及光照参数对两步法进行了仿真验证。电压、功率的时域波形和功率。可以看到,MPPT单元先以大步长 S_1 扰动电压,比较这些电压对应的功率值,找到其中功率最大的点。然后在该点附近以小步长 S_2 做扰动观测法,最终追踪到精确的GMPP为504 W。可见,两步法也可以准确地追踪到全局最大功率点,而且一开始用较大步长扫描电压全域极大地减少了追踪时间、提高了追踪速度,仅用0.1 s即完成GMPPT。仿真模型见图2、3。

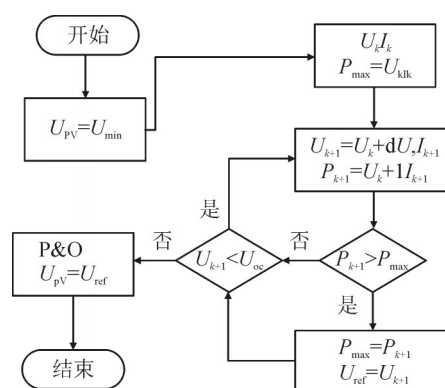


图2 变步长增量电导法程序流程图

Fig. 2 Flow chart of variable step length incremental conductance method

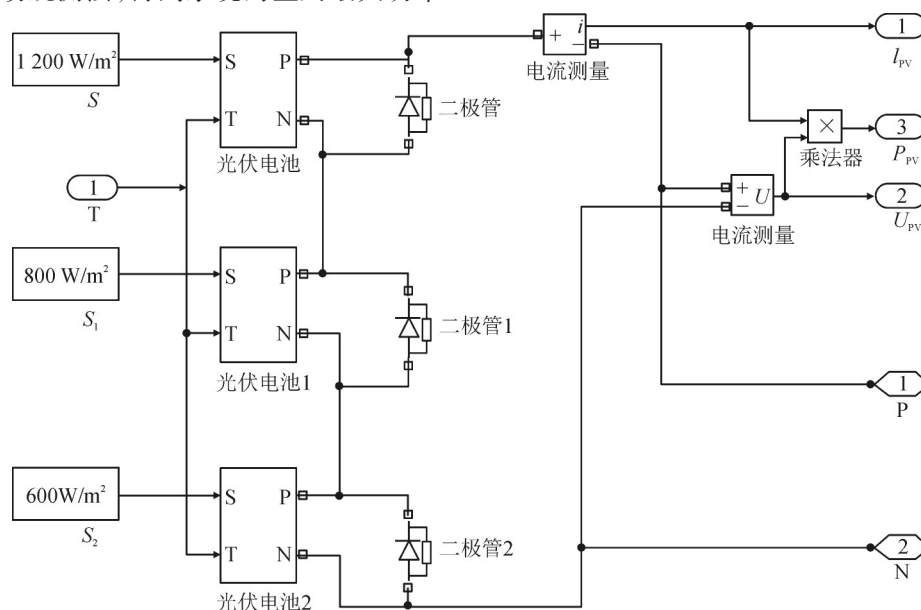


图3 多峰值光伏系统模型

Fig. 3 Simulation model of photovoltaic system in mismatch

两步法是指先用较大步长 ΔU 扫描光伏阵列的电压全域,比较各个电压对应的功率并记录其中功率最大的点;再在该点附近用较小步长 ΔU 进行精确的扰动观测法,得到GMPP。多峰值条件下的多峰值功率—电压曲线见图4。其时域仿真结果见图5。从图4、5可以看到,MPPT单元先以大步长 $8U$ 扰动

电压,比较这些电压对应的功率值,找到其中功率最大的点。然后在该点附近以小步长 $0.5U$ 做扰动观测法,最终追踪到精确的GMPP为504 W。可见,两步法也可以准确地追踪到全局最大功率点,而且一开始用较大步长扫描电压全域极大地减少了追踪时间、提高了追踪速度,仅用0.1 s即完成

GMPPT。

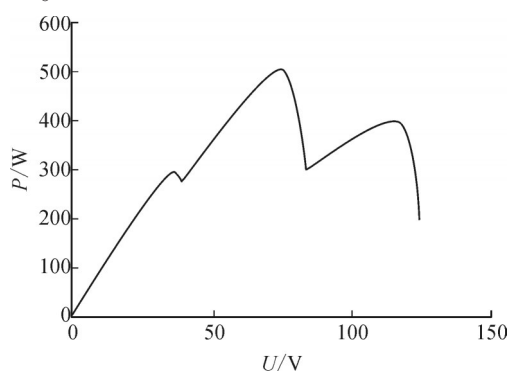
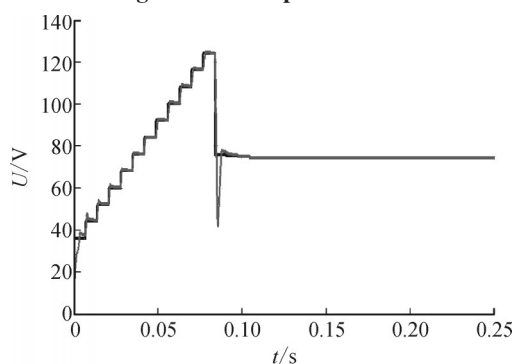
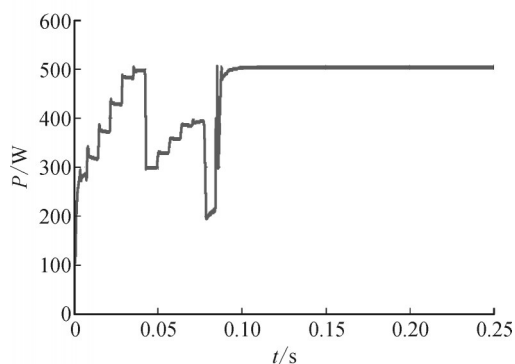


图4 多峰条件下光伏串的输出 $P-U$ 特性曲线

Fig. 4 Output $P-U$ characteristic curve of photovoltaic string under multi-peak condition



(a) 电压时域波形



(b) 功率时域波形

图5 仿真结果

Fig. 5 Simulation results

4 结语

该研究围绕光伏阵列在实际条件下输出特性曲线具有多峰值的问题,在广泛调研现有MPPT方法的条件下,提出一种基于变步长优化控制的全局最大功率跟踪算法,所提方案可以准确的定位多峰值 $P-U$ 曲线的全局最大功率点,在光照不均条件下也可以保证光伏系统的输出功率最优。所提方案实现简单,速度快,精度高,文中通过仿真验证了所提方案的正确性,为光伏系统发电能效提升提供了新的思路。

参考文献:

- [1] XIA C L, SONG Z F. Wind energy in China: current scenario and future perspectives[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, 13(8):1966-1974.
- [2] ZHANG S, TSENG K J, VILATHGAMUWA D M, et al. Design of a robust grid interface system for PMSG-based wind turbine generators[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011, 58(1):316-328.
- [3] 胡书举, 李建林, 许洪华. 永磁直驱风电系统变流器拓扑分析[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(4):77-81.
HU Shuju, LI Jianlin, XU Honghua. Analysis of converter configuration for direct-drive wind power system with PMSG[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(4):77-81.
- [4] 宣晓伟. 居民分布式光伏发电推广面临的问题和建议[J]. 经济纵横, 2015, (3):78-82.
XUAN Xiaowei. Problems and suggestions for the promotion of resident distributed photovoltaic power generation[J]. Economic Aspects, 2015(3):78-82.
- [5] 王 科. 分布式光伏发电的前景、问题及建议[J]. 安徽科技, 2014, (4):35-37.
WANG Ke. Prospects, problems and suggestions of distributed photovoltaic power generation[J]. Anhui Science and Technology, 2014(4):35-37.
- [6] 张 兴, 曹仁贤. 太阳能光伏并网发电及其逆变控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
ZANG Xing, CAO Renxian. Solar photovoltaic grid-connected power generation and its inverter control[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2011.
- [7] 王 丰. 单元化MPPT光伏系统的优化设计及其在直流微网中的应用研究[D]. 西安: 西安交通大学, 2013.7.
WANG Feng. Optimization design of unitized MPPT photovoltaic system and its application in DC microgrid[D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 2013.
- [8] PATEL H, AGARWAL V. MATLAB - based modeling to study the effects of partial shading on PV array characteristics[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2008, 23(1): 302-310.
- [9] ALONSO R, IBANEZ P, MARTINEZ V, et al. An innovative perturb, observe and check algorithm for partially shaded PV systems[C]//European Conference on Power Electronics and Applications. [S.l.]:[s.n.], 2009:1-8.
- [10] PATEL H, AGARWAL V. Maximum power point tracking scheme for PV systems operating under partially shaded conditions[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008, 55(4): 1689-1698.
- [11] TOUSI S M, MORADI M H, BASIR N S, et al. A function-based maximum power point tracking method for photovol-

(下转第220页)

- [17] 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求:GB/T 11022—2011[S]. 2011.

Common specifications for high-voltage switchgear and control gear standards:GB/T 11022—2011[S]. 2011.

王春艳(1983—), 第一作者, 男, 工程师, 主要从事GIS新产品研发及科技管理工作。

巫世晶(1963—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事机械与动力方面的研究。

王亚鸽(1986—), 男, 工学硕士, 工程师, 主要从事GIS新产品研发工作(通讯作者)。

刘 分(1980—), 女, 工程师, 主要从事GIS新产品研发工作。

李松磊(1983—), 男, 工程师, 主要从事GIS新产品研发工作。

马志强(1990—), 男, 助理工程师, 主要从事GIS新产品研发工作。

(上接第214页)

taic systems[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2016, 31 (3): 2120-2128.

- [12] SEYEDMAHMOUDIAN M, RAHMANI R, MEKHILEF S, et al. Simulation and hardware implementation of new maximum power point tracking technique for partially shaded PV system using hybrid DEPSO method[J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2015, 6(3):850-862.

- [13] SUNDARESWARAN K, SANKAR P, NAYAK P S, et al. Enhanced energy output from a PV system under partial shaded conditions through artificial bee colony[J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2015, 6(1):198-209.

- [14] LYDEN S, HAQUE M E. A simulated annealing global maximum power point tracking approach for PV modules under partial shading conditions[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2016, 31(6):4171-4181.

- [15] GHASEMI M A, FORUSHANI H M, PARNIANI M. Partial shading detection and smooth maximum power point tracking of PV arrays under PSC[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2016, 31(9):6281-6292.

- [16] 刘家赢, 韩肖清. 一种改进的变步长电导增量法在光伏MPPT中的应用[J]. 电气应用, 2014, 33(13):23-27.

LIU Jiaying, HAN Xiaoqing. Application of an improved

variable step size conductance increment method in photovoltaic MPPT[J]. Electrical Applications, 2014, 33(13):23-27.

- [17] 王冰清. 光伏发电系统MPPT研究[D]. 北京: 北方交通大学, 2013.

WANG Bingqing. Research on photovoltaic power system MPPT[D]. Beijing: North Jiaotong University, 2013.

- [18] 陈 剑, 赵争鸣, 袁立强, 等. 光伏系统最大功率点跟踪技术的比较[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2010, 50(5): 700-704.

CHEN Jian, ZHAO Zhengming, YUAN Liqiang, et al. Comparison of maximum power point tracking technology for photovoltaic systems[J]. Journal of Tsinghua University(Science and Technology), 2010, 50(5):700-704.

- [19] 王建华, 韩 伟. 光伏阵列的仿真模型研究[J]. 信息技术, 2011(6):122-126.

WANG Jianhua, HAN Wei. Research on simulation model of photovoltaic array[J]. Information Technology, 2011(6): 122-126.

王 露(1986—), 女, 本科, 工程师, 主要从事高电压试验以及EMC试验研究工作。