

基于改进型扰动观察法的MPPT控制策略研究

楼伯良, 吴俊, 黄弘扬, 马智泉, 徐群伟

(国网浙江省电力有限公司电力科学研究院, 杭州 310014)

摘要: 针对传统扰动观察法存在的动态响应和稳态精度不可同时兼顾的矛盾, 提出了基于恒压法结合扰动观察法的MPPT(最大功率点跟踪)复合控制策略。在MPPT控制启动阶段先利用恒压法的快速性迅速定位最大功率点附近区域, 再采用变步长扰动观察法对最大功率点进行精确定位。在Simulink仿真平台上搭建MPPT仿真模型, 仿真结果表明, 相对于传统扰动观察法, 改进型MPPT控制策略不但启动迅速, 外界环境突变时响应速度快, 而且稳态精度高。

关键词: 恒压法; 动态响应; 稳态精度; 复合控制

文章编号: 1007-1881(2019)09-0095-05

DOI: 10.19585/j.zjdl.201909016

中图分类号: TM712

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on MPPT Control Strategy Based on Improved Perturbation Observation Method

LOU Boliang, WU Jun, HUANG Hongyang, MA Zhiquan, XU Qunwei

(State Grid Zhejiang Electric Power Research Institute, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Given the contradiction between dynamic response and steady-state accuracy of traditional perturbation observation method, a composite MPPT (maximum power point track) control strategy based on constant voltage method and perturbation observation method is proposed. In the start-up stage of MPPT control, the fast speed of constant voltage method is used to locate the vicinity of the maximum power point, and then the variable step perturbation observation method is adopted for accurate location. MPPT simulation model is built on the Simulink simulation platform. The simulation results show that in contrast with the traditional perturbation observation method the improved MPPT control strategy can not only start quickly but respond quickly to sudden changes in the external environment and has high steady-state accuracy.

Keywords: constant voltage method; dynamic response; steady-state accuracy; composite control

0 引言

随着人类环保意识的增强, 新能源受到的关注越来越广泛。太阳能作为新能源的一个分支, 具有取之不尽, 用之不竭的特点^[1-2]。如何有效利用太阳能成为当下研究的焦点和热点, 而光伏发电作为利用太阳能的一个有效途径, 怎样提高太阳能转化效率的问题得到国内外专家的广泛关注, 因此, MPPT(最大功率点跟踪)技术应运而生。

当前, 相关领域专家和学者对MPPT的研究越来越广泛, 各种MPPT算法层出不穷。文献[3]对传统扰动观察法进行了优化, 当相邻时刻的功率变化较大时采用大步长, 功率变换较小时采用小步长, 有效提高了跟踪效率。文献[4]所提出的功率预测变步长扰动观察法能很好地解决跟踪速

度和稳态精度的矛盾, 外界环境突变时, 具有较强抗干扰能力。文献[5]把光伏系统输出功率变化区间划分为3个区段, 通过判断区间来选择步长, 有效提高了跟踪效率。文献[6-9]分别采用了模糊控制、神经网络控制、自适应控制和克隆选择算法, 均能实现又快又好的控制。但是由于算法复杂, 难以在实际中得到大范围推广, 目前多限于实验室仿真和理论研究。本文提出了一种基于恒定电压法结合扰动观察法的MPPT复合控制策略, 此复合控制策略就是对传统恒压法和扰动观察法取长补短, 实现动态响应速度和稳态精度的共存。

1 光伏电池数学模型简化

1.1 光伏电池电路模型

由文献[10]通用光伏电池模型得到光伏组件等效电路模型,如图1所示。

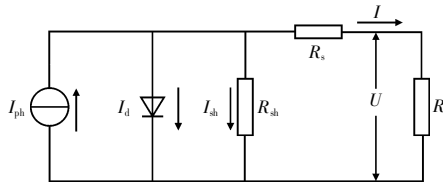


图1 光伏电池电路模型

PV 电池的 $I-U$ 输出如式(1)所示:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left[\frac{q(IR_s + U)}{AKT} - 1 \right] \right] - \frac{(IR_s + U)}{R_{sh}}, \quad (1)$$

式中: I_0 为反向饱和电流; I_{ph} 为光生电流; I 为光伏电池输出电流; R_s 为等效串联电阻; R_{sh} 为等效旁漏电阻; T 为绝对温度; A 为二极管因子; 系数 $K=1.38 \times 10^{-23}$ J/K; 电荷量 $q=1.6 \times 10^{-9}$ C。

为得到简化光伏电池模型,此处仅需4个参数,分别为开路电压 U_{oc} 、短路电流 I_{sc} 、最大功率点对应电流 I_m 和最大功率点对应电压 U_m ,就可以描述光伏电池特性, U_{oc} 、 I_{sc} 、 I_m 和 U_m 均是在标准情况 ($S=1000$ W/m², $T=25$ °C) 下所得。简化式(1)可得:

$$I = I_{sc} - \left\{ 1 - C_1 \left[\exp \left(\frac{U}{C_2 U_{oc}} \right) - 1 \right] \right\} \quad (2)$$

$$C_1 = \left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) \exp \left(\frac{-U_m}{C_2 U_{oc}} \right) \quad (3)$$

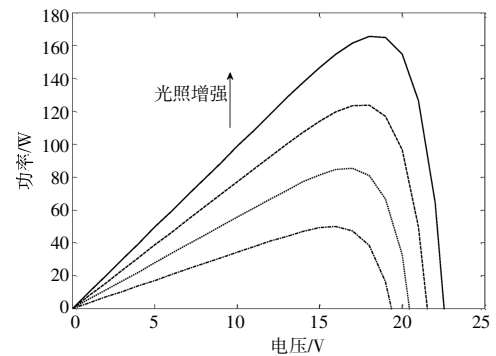
$$C_2 = \left(\frac{U_m}{U_{oc}} - 1 \right) \left[\ln \left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) \right]^{-1} \quad (4)$$

1.2 PV 组件的输出特性

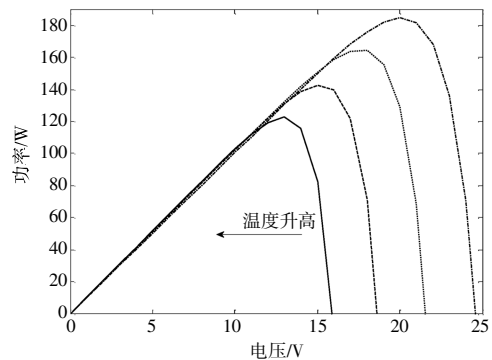
在 Matlab2017b/Simulink 平台上通过搭建光伏组件模型,可得到不同光照和温度条件下的 $P-U$ 输出特性曲线,如图2所示。由图2可知,任意一个温度和光照都会对应一条单峰值的曲线,这个峰值点即为 MPP 点,该点会对应一个电压值,即为 U_m 。光伏组件要时刻进行最大功率输出,就需要对曲线的峰值点进行跟踪,因此,需要通过 MPPT 技术实现。

2 传统扰动观察法控制策略

传统扰动观察法的工作机制是通过在相邻时刻对 PV 组件输出电压施加一个正向扰动 ΔU ,



(a) 温度不变、光照变化的 $P-U$ 特性



(b) 光照恒定、温度变化的 $P-U$ 特性

图2 温度、光照变化条件下的 PV 组件输出特性曲线

判断扰动前后时刻输出功率的变化量 ΔP , 如果 ΔP 大于 0, 则表示最大功率点位于当前工作点的右侧, 还需要继续保持正向扰动; 反之, 则反向扰动。扰动观察法流程如图3所示。由图3可知, 扰动观察法工作机制虽然可以实现最大功率点跟踪, 但是步长 ΔU 难以选择, 若 ΔU 过大, 跟踪速度加快, 但是会造成稳态震荡问题, 降低光伏系统的效率; 若 ΔU 过小, 虽然减轻了稳态震荡, 但是存在动态响应速度迟滞问题。因此, 常规扰动观察法不能同时兼顾跟踪速度和稳态精度。

3 基于恒压法结合变步长扰动观察法的 MPPT 控制策略

由第2节分析可知, 传统扰动观察法采用定步长, 会难以同时兼顾响应速度和稳态精度问题。为了解决此问题, 本文提出一种基于恒压法和变步长扰动观察法的 MPPT 复合控制策略, 复合控制策略流程如图4所示。

(1) 恒压法和变步长扰动观察法的工作机制。由图2(a)的 $P-U$ 特性曲线可知, 曲线的 MPP 点基本近似分布于一条垂直于 x 轴的直线两侧, 一

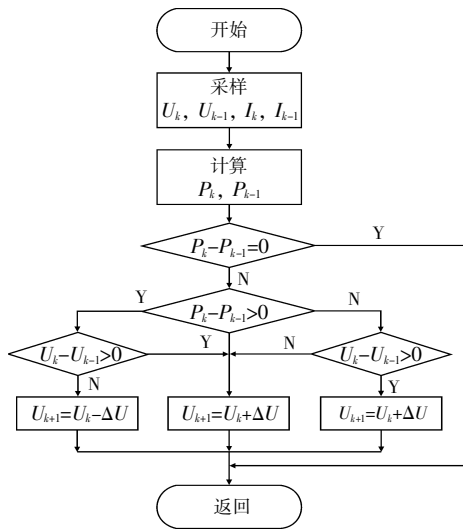


图3 传统扰动观察法控制流程

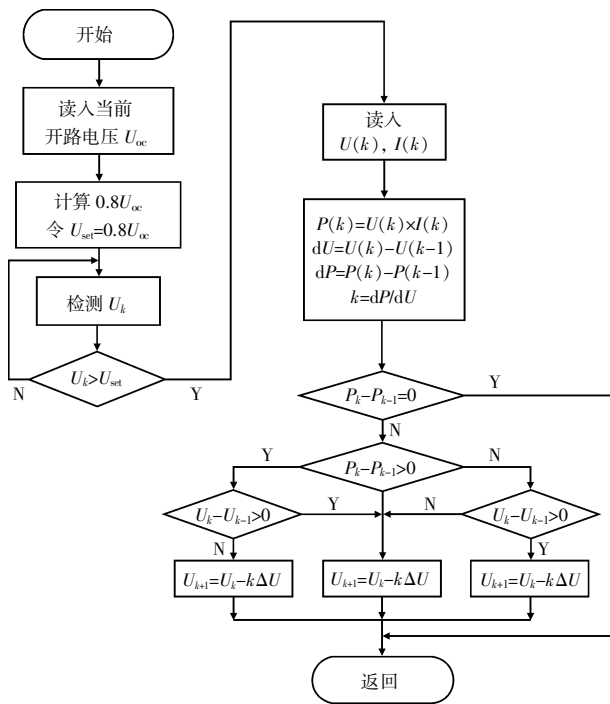


图4 基于恒压法和变步长扰动观察法的控制流程

般满足 $U_m = 0.8U_{oc}$ 作为光伏组件初始电压值^[11], 利用此关系可以达到快速定位 MPP 附近区域的目的, 可极大地加快响应速度。另外, 从图 2(a) 的 $P-U$ 曲线还可以看出, 远离 MPP 时, 斜率较大; 越接近 MPP 时, 斜率越小, 峰值处, 斜率为 0。因此, 变步长扰动观察法首先实时检测相邻时刻的 $I(k)$, $I(k+1)$, $U(k)$ 和 $U(k+1)$; 其次计算出 $P(k)$, $P(k+1)$, dP 和 dU 。由数学关系可知, 在远

离 MPP 时, dP/dU 越大; 在接近 MPP 时, dP/dU 越小。因此 $A = dP/dU$ 可以作为步长实时调整因子, 以 $A \times \Delta U$ 为步长。在恒压法切换到变步长扰动观察法后, 在 MPP 附近可以对 MPP 进行精确定位。恒压法和变步长扰动观察法的控制流程图如图 4 所示。

(2) 新型 MPPT 算法工作机制。启动时, 利用恒压法先快速定位到 MPP 附近, 再启动变步长扰动观察法, 根据实际工作点离 MPP 的位置, 实时计算出步长。当实际工作点离 MPP 相对较远时, MPP 步长越大, 可加快追踪速度; 当实际工作点离 MPP 相对较近时, MPP 步长越小, 可以对 MPP 进行精确定位, 降低震荡程度。可以实现跟踪速度与跟踪精度的兼顾。

4 仿真模型搭建与结果分析

在 Matlab R2017b/Simulink 平台上搭建基于 Boost 电路的复合 MPPT 控制模型, 如图 5 所示。Boost 电路器件参数设置: 电容 $C_1 = 120 \mu F$, 电容 $C_2 = 450 \mu F$, 电感 $L = 15 \text{ mH}$, 负载 $R = 55 \Omega$ 。PV 组件的仿真参数设置: $U_{oc} = 29.96 \text{ V}$, $I_{sc} = 7.79 \text{ A}$, $U_m = 23.64 \text{ V}$, $I_m = 6.05 \text{ A}$ 。另外, 当标准情况下 ($S = 1000 \text{ W/m}^2$, $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$)^[12-15], 光伏组件最大输出功率输出约为 143 W, Simulink 仿真总时间为 2.4 s, 大步长扰动观察法的步长为 0.05 s, 小步长扰动观察法的步长为 0.000 1 s。

在仿真中, 光照强度的变化趋势可以自行设置, 这里设置为: 启动阶段, $S = 1000 \text{ W/m}^2$, $t = 0.8 \text{ s}$ 时, 光照强度突变为 $S = 300 \text{ W/m}^2$; $t = 1.6 \text{ s}$ 时, 光照强度再次突变为 $S = 500 \text{ W/m}^2$ 。Simulink 仿真中, 分别对大步长扰动观察法、小步长扰动观察法和恒压法结合变步长扰动观察法进行仿真对比, 3 种算法控制条件下的输出功率波形如图 6—8 所示。

由图 6 可知, 启动阶段, 标准情况下 ($T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $S = 1000 \text{ W/m}^2$) 时, 在 大步长扰动观察法条件下, 启动迅速, 仅用 0.076 s 即可达到新稳态, 稳态时的输出最大功率为 141.2 W 左右且震荡幅度较大, 这是由于步长选择大造成的, 会降低光伏电池输出效率; 当 $t = 0.8 \text{ s}$ 时, 光照突变为 $S = 300 \text{ W/m}^2$, 到达新的稳态用时约为 0.07 s, 响应速度较快; 选取 2.1~2.3 s 时段的局部放大图可以清

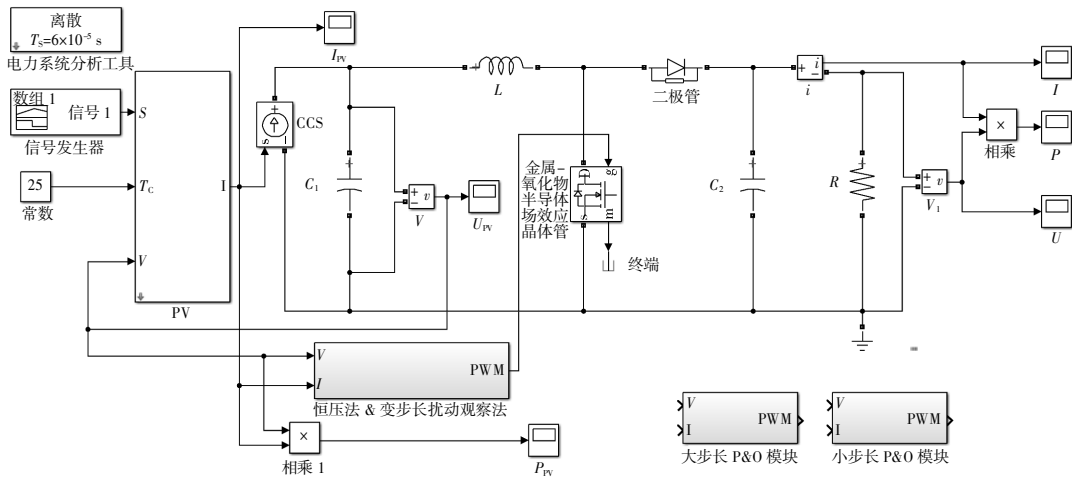


图5 基于 Boost 电路的复合 MPPT 控制模型

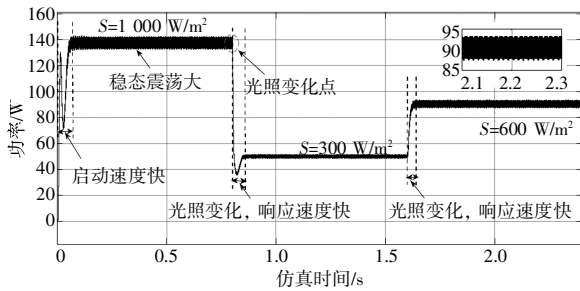


图6 基于大步长扰动观察法 MPPT 控制策略输出功率波形

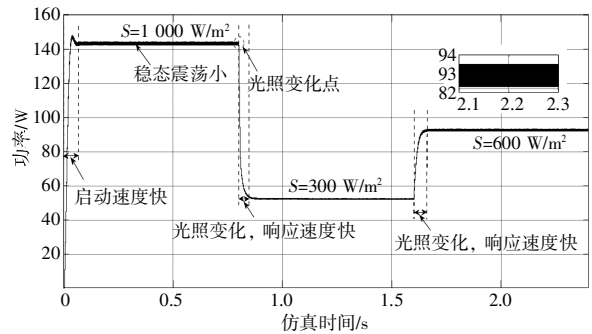


图8 基于恒压法结合变步长扰动观察法的 MPPT 控制策略输出功率波形

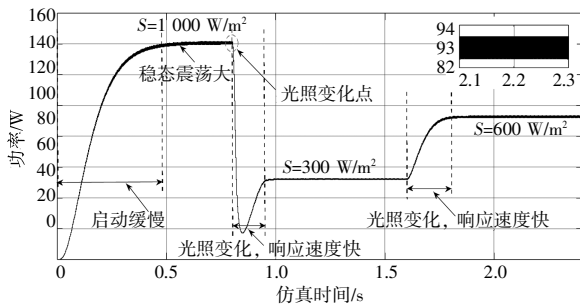


图7 基于小步长扰动观察法 MPPT 控制策略输出功率波形

晰看出，在 $S=600 \text{ W/m}^2$ 的稳态条件下，光伏组件的输出功率在 $93.4\sim 88 \text{ W}$ 之间震荡，震动幅度较大。

由图 7 可知，在小步长扰动观察法控制条件下，启动阶段用时约为 0.55 s ，启动反应缓慢，到达稳态后的输出最大功率为 142.5 W 左右，且震荡幅度很小；当 $t=0.8 \text{ s}$ 时，光照突变为 $S=300$

W/m^2 ，到达新的稳态用时约为 0.18 s ，响应速度慢；选取 $2.1\sim 2.3 \text{ s}$ 时段的局部放大图可以清晰看出，在 $S=600 \text{ W/m}^2$ 的稳态条件下，光伏组件的输出功率在 $92\sim 93.5 \text{ W}$ ，震荡区间很小。

由图 8 可知，在恒压法结合变步长扰动观察法控制条件下，启动阶段，恒压法首先起作用，利用 $U_m=0.8U_{oc}$ 关系式可准确快速定位到最大功率点附近区域，随后切换到变步长扰动观察法对最大功率点进行精确定位。由图 8 还可以看出，启动到新稳态用时仅为 0.078 s ，达到稳定时，最大输出功率约为 142.7 W ，且震荡幅度很小，稳态精度高；当 $t=0.8 \text{ s}$ 时，光照突变为 $S=300$ ，到达新的稳态用时约为 0.077 s ，响应速度较快；选取 $2.1\sim 2.3 \text{ s}$ 的局部放大图可以清晰看出，在 $S=600 \text{ W/m}^2$ 的稳态条件下，光伏组件的输出功率在 $92\sim 93.4 \text{ W}$ ，震荡区间很小，稳态震荡范围与小步长扰动观察法基本一致。

5 结语

针对传统扰动观察法动态和稳态不可调和的矛盾,提出了改进型扰动观察法MPPT控制算法,通过对恒压法和扰动观察法的取长补短,进行优势互补,有效实现了又快又稳地对MPP的精确追踪。相比于传统扰动观察法,改进型复合控制策略不但跟踪速度快,而且稳态精度高,具有良好的推广价值。

参考文献:

- [1] DASH S K, VERMA D, NEMA S, et al. Comparative analysis of maximum power point (MPP) tracking techniques for solar PV application using Matlab simulink[J]. Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE), 2014, 62(5):1-7.
- [2] ROUZBEHI K, MIRANIAN A, CANDELA J I, et al. A generalized voltage droop strategy for control of multiterminal DC grids[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2014, 51(1):607-618.
- [3] 朱圳, 孙以泽, 彭乐乐, 等. 一种优化的最大功率点跟踪变步长扰动观察法[J]. 水电能源科学, 2014(6):202-206.
- [4] 吴雷, 高兴琳. 基于功率预测的变步长扰动观测法MPPT研究[J]. 电源技术, 2015, 39(3):527-528.
- [5] 刘慧文, 王生铁, 温素芳, 等. 光伏系统区段划分变步长MPPT算法设计[J]. 可再生能源, 2018, 36(8):1151-1157.
- [6] 徐晓淳, 刘春生, 李锋. 光伏系统MPPT的改进模糊控制[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 26(9):81-84.
- [7] 吕晨旭. 基于神经网络的光伏系统MPPT控制算法设计[J]. 现代电子技术, 2018, 41(3):132-135.
- [8] 周习祥, 李加升. 基于自适应占空比扰动算法的光伏发电系统MPPT控制[J]. 电气传动, 2012, 42(8):24-28.
- [9] 孙志松, 程若发, 马银平. 基于克隆选择算法的光伏最大功率点跟踪控制[J]. 计算机仿真, 2012, 27(4):333-336.
- [10] 杨永恒, 周克亮. 光伏电池建模及MPPT控制策略[J]. 电工技术学报, 2011, 26(S1):229-234.
- [11] 王彪, 丁运菊, 何湘龙. 基于牛顿插值算法光伏三相桥逆变器的研究[J]. 测控技术, 2017, 36(10):142-146.
- [12] 颜建虎, 刘丹, 李强, 等. 一种分段式变步长爬山法最大功率追踪控制策略[J]. 电气工程学报, 2015, 10(11):111-116.
- [13] 严力兼, 徐迪, 葛爱明. 不均匀光照情况下太阳能最大功率追踪算法[J]. 红外与激光工程, 2013, 42(8):2173-2180.
- [14] AHMED E M, SHOYAMA M. Variable step size maximum power point tracker using a single variable for stand-alone battery storage PV systems[J]. Journal of Power Electronics, 2011, 11(2):218-227.
- [15] 杜毅, 彭良平, 汤济泽. 双级式光伏并网逆变器控制算法研究[J]. 电气传动, 2013, 43(5):33-36.
- [16] 时国平, 钱叶册, 孙佐, 等. 模糊PI控制的扰动观察法在光伏系统中应用[J]. 浙江水利水电学院学报, 2017(4):75-78.

收稿日期: 2019-05-20

作者简介: 楼伯良(1965), 男, 高级工程师, 主要从事电力系统分析计算、发电机励磁、电力电子及电能质量相关工作。

(本文编辑: 徐 晗)