

基于环境参数模型的定电压 MPPT 控制算法研究

戴志威^{1,2,3}, 舒杰^{1,2}, 吴昌宏^{1,2}

(1.中国科学院广州能源研究所, 广东 广州 510650;

2.中国科学院可再生能源, 重点实验室, 广东 广州 510650; 3.中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:根据光伏电池模型和最大功率跟踪(MPPT)原理,提出了一种基于环境参数的最大功率工作点(MPP)电压模型,改进了固定电压跟踪法。该方法实现简单,可以快速稳定地找到MPP,解决了光伏电池跟踪效率和跟踪控制精度难以兼得的矛盾。实验证明,光伏电池环境参数模型演算合理,改进的固定电压跟踪法能快速准确地跟踪MPP,避免了扰动观察法带来的MPP附近振荡问题。

关键词:光伏电池;最大功率跟踪;固定电压法

中图分类号:TM912

文献标识码:A

文章编号:1000-100X(2015)05-0061-03

Research on the Algorithm of Constant Voltage MPPT Control Method Based on Environmental Parameter Model

DAI Zhi-wei^{1,2,3}, SHU Jie^{1,2}, WU Chang-hong^{1,2}

(1. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract: According to the PV cells model and control methods of maximum power point tracking (MPPT), a new modified constant voltage tracking method based on the environmental parameter of maximum power operating voltage model is proposed. The method is easy to track the maximum power point (MPP), and it solves the contradiction between the control efficiency and control precision. The experimental results prove that the model is advisable and the modified method can track the maximum power point quickly and accurately. The proposed method can effectively prevent operation point from fluctuating contrast to perturb and observe method.

Keywords: photovoltaic cells; maximum power point tracking; constant voltage tracking

Foundation Project: Supported by The Natural Science Foundation of Guangdong Province (No.S201204007277); Major Sciences and Technology Project of Guangzhou (No.2010U1-D00231)

1 引言

在所有新能源与可再生能源中,太阳能光伏发电无疑是最受关注、最有发展前景的方向之一。但光伏电池的输出特性受外界环境的影响大,因此有必要采用MPPT控制算法,使光伏电池功率输出最大化。

常见的MPPT控制技术^[1-2]包括:①固定电压法,简单易实现,但忽略了温度对光伏电池输出电压的影响,环境适应性差^[3];②扰动观测法,是最常用的MPPT控制方法,实现简单,但跟踪步长的选取会影响系统跟踪速度和控制精度,MPP附近的振荡和功率计算有误导导致的误判也是其固有缺陷;③电导增量法,是以判断 $di/du=i/u$ 是否成立

为依据来调整占空比,控制效果好,但局限于跟踪步长和阈值的选取,对系统要求较高^[4];④神经网络和模糊控制等人工智能的方法,无需系统模型,但它实现复杂,在实际应用中很少采用^[5]。

对此,这里基于光伏电池最大功率工作点电压 $U_m(T, E_c)$ 的模型,提出了一种改进的定电压控制法。该方法实现简单,可快速稳定地找到MPP,解决了光伏电池跟踪效率与控制精度难以兼得的矛盾,能够同时提高系统的动态和稳态特性。

2 光伏电池数学模型

光伏电池是一种能够吸收太阳光并将其转换为电能的半导体装置,根据光伏电池内部的结构和输出 $I-U$ 特性得到光伏电池的等效电路如图1。

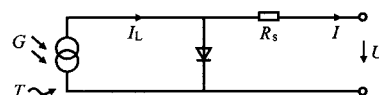


图1 光伏电池等效电路

Fig. 1 The equivalent circuit diagram of PV cells

基金项目:广东省自然科学基金(S201204007277);广州市重大科技专项(2010U1-D00231)

定稿日期:2014-07-09

作者简介:戴志威(1991-),男,湖南常德人,硕士研究生,研究方向为新能源发电中的电力电子与控制技术。

对图 1 的光伏电池等效电路进行分析, 根据二极管 p-n 结的 $I-U$ 特性, 得光伏电池的数学模型的表达式为^[6]:

$$\begin{cases} I = I_L - I_0 [e^{q(U+IR_s)/(kT)} - 1], & I_L = I_{L(T)} [1 + K_0(T - T_1)] \\ I_{L(T)} = E_e I_{SC(\pi, \text{nom})} / E_{e(\text{nom})} \end{cases} \quad (1)$$

式中: I 为光伏电池输出电流; I_L 为光电流; I_0 为二极管饱和电流; q 为单位电荷; R_s 为光伏电池等效串联电阻; k 为玻尔兹曼常数; T 为光伏电池温度; T_1 为标准温度; $I_{L(T)}$ 为标准温度下实际光电流; K_0 为光电流温度系数; E_e 为实际辐照度; $E_{e(\text{nom})}$ 为标准辐照度; $I_{SC(\pi, \text{nom})}$ 为标准条件下短路电流。

图 2 为典型的光伏电池 $I-U$ 和 $P-U$ 特性曲线。光伏电池是一个电流源模型, 在大部分工作电压范围内近似恒定, 在接近开路电压时, 电流下降率很大, 全范围表现出强烈的非线性。

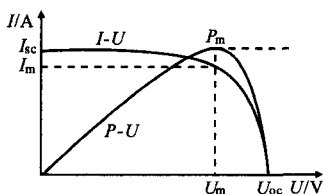


图 2 光伏电池的 $I-U$ 和 $P-U$ 特性曲线
Fig. 2 $I-U$ and $P-U$ curve of PV cells

图 3 为仅改变 E_e 和 T 时的 $P-U$ 曲线。由图 3a 可知, 光伏电池的输出短路电流 I_{sc} 和最大功率点电流 I_m 随 E_e 的上升而增大, I_{sc} 和 E_e 成正比, 也说明 K_0 数量级很小, I_L 近似和 E_e 成正比; 但辐照的变化对光伏电池的输出开路电压 U_{oc} 影响不是很大, 近似于对数关系, 其最大功率点电压 U_m 变化也不大。

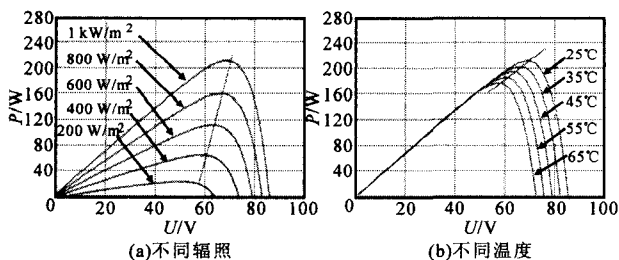


图 3 不同辐照和温度下的 $P-U$ 特性曲线

Fig. 3 $P-U$ curve in different irradiation and different temperature

由图 3b 可见, T 对 I 影响不大, I_{sc} 随 T 的升高微微增加; 但 T 对 U_{oc} 影响较大, U_{oc} 随 T 的升高几乎是线性降低; 同时, 随着 T 的升高, U_m 及 U_{oc} 向左偏移减小, 发电能力也随之降低, 输出功率的衰减率约为 $0.5\% P_{out(25^\circ\text{C})} / ^\circ\text{C}$ 。

3 $U_m(T, E_e)$ 数学模型

根据光伏电池模型, 当光伏电池开路时, $I=0$,

由式(1)第一式得到开路电压为:

$$U_{oc} = (kT/q) \ln(I_L/I_0 + 1), \quad (2)$$

在非部分遮阴的条件下, $P-U$ 特性曲线上存在唯一极值, 令 $\partial P/\partial U=0$, 求得 MPP 电压为:

$$U_m = U_{oc} - (kT/q) \ln[1 + qU_m/(kT)] \quad (3)$$

U_m 是 T 和 E_e 的函数, 写为 $U_m(T, E_e)$ 。该式意为只要确定了某块光伏电池的 T 和 E_e , 就可以确定最大功率点工作电压。但式(3)的形式是方程, 只有通过数值方法才能求解, 应用不便。显然, 由式(3)可知, 当 T 变化, 其他条件不变时, 定义 K_T 为温度系数, $qU_m/(kT)$ 为一常数, 所以 $\partial U_m(T, E_e)/\partial T = kT$ 。当辐照条件变化, 其他条件不变时, 定义 K_{E_e} 为辐照系数。由于 I_L 与辐照度近似成正比, 令 $a = I_{SC(\pi, \text{nom})}/E_{e(\text{nom})}$, $b = q/(kT)$, 则 $I_L = aE_e \cdot e^{bU_m} (1 + bU_m) = 1 + aE_e/I_0$ 。等号右侧为辐照度的一次函数关系, 故 $\partial U_m(T, E_e)/\partial E_e = K_{E_e}$ 。图 4 分别为光伏电池 U_m-T 、 U_m-E_e 特性曲线。实验测量数据与模型求解的线性化结果吻合度很高, 误差很小, 也验证了线性化近似结论的正确性。

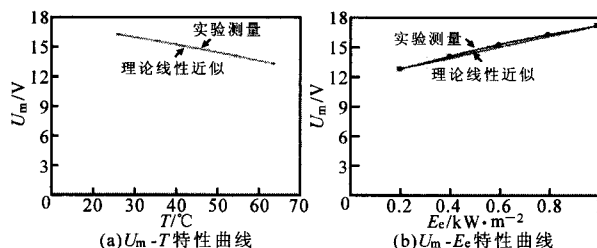


图 4 光伏电池 U_m-T 和 U_m-E_e 特性曲线

Fig. 4 U_m-T & U_m-E_e curve of PV cells

由 $\partial U_m(T, E_e)/\partial T = K_T$ 和 $\partial U_m(T, E_e)/\partial T = kE_e$ 知:

$$U_m(T, E_e) = K_T T + K_{E_e} E_e + C \quad (4)$$

K_T, K_{E_e}, C 可用式(3)获得 3 个 $f(T_i, E_{ei}, U_{mi})$ 求解, C 是常数。

4 改进的定电压算法实现

在传统的固定电压 MPPT 算法中, 目标电压事先给定, 实质是一种稳压控制, 并非真正的 MPPT, 功率损失比较大。根据式(4)结论, 提出一种改进的固定电压算法, 同样也是稳压控制, 但是目标电压根据电池温度和辐照度实时求出, 对环境变化具有自适应性, 因此该方法既保留了传统固定电压法控制简单、系统稳定性好的特点, 也使光伏电池真正工作在 MPP。图 5 为改进的 MPPT 实现原理图。

图 6 为 Boost/Buck 电路的软件控制流程图。图中, 由温度传感器和标准太阳能电池分别采集

得到当前电池温度和辐照度, 利用最大功率点电压模型 $U_m(T, E_e)$ 求出当前环境下 U_m , 采样得到的光伏电池输出电压与 U_m 比较, 偏差做 PI 控制, 指导 DC/DC 变换电路功率管的开关。由于占空比变化, U_{pv} 向着减小误差的方向调整直至误差为零, 以实现光伏电池最大功率输出。

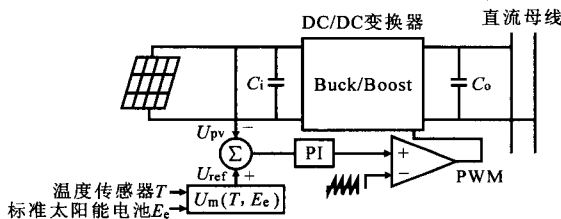


图 5 改进的固定电压 MPPT 实现原理图

Fig. 5 Control figure of modified constant voltage tracking method

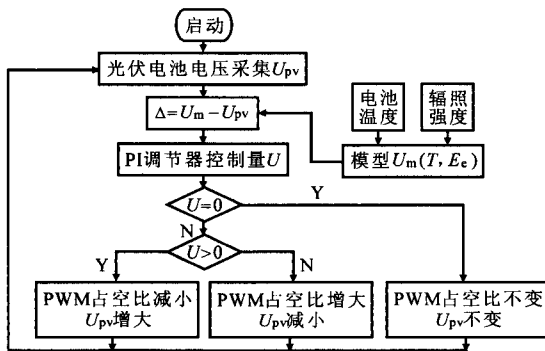


图 6 Buck/Boost 电路控制流程图

Fig. 6 Control figure of Buck/Boost circuit

5 实验验证

为比较改进的固定电压 MPPT 算法和既有 MPPT 算法的控制效果, 搭建实验平台, 选取最常用的电压扰动法为参考, 进行了实验研究。实验采用 3 块额定功率 80 W, 开路电压 21 V 的光伏电池串联, 接入一台光伏并网逆变器。

图 7a 为光伏电池最大输出功率从 100 W 阶跃到 200 W, 改进的定电压法与电压扰动法的系统响应速度和稳定性对比。电压扰动法的过渡时间约为 4 s, 稳态时有振荡; 改进的固定电压法过渡时间约为 0.2 s, 稳态时无振荡。图 7b 为光伏电池最大输出功率从 200 W 降低为 100 W, 改进的定电压法与电压扰动法的系统响应速度和稳定性对比。指令给定瞬间, 功率输出跌落到指令以下, 电压扰动法的起始功率落差约 65 W, 改进的固定电压法起始功率落差约 50 W。电压扰动法的过渡时间约为 6 s, 稳态时有振荡; 改进的固定电压法过渡时间约为 0.2 s, 稳态时无振荡。

实验表明, 改进的固定电压 MPPT 算法的系统响应速度要远高于电压扰动法, 同时, 改进的方

法能有效避免最大功率工作点的振荡, 表现出更好的抗干扰性能。

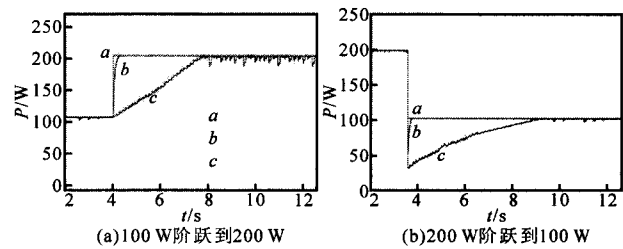


图 7 P_{max} 变化时的系统响应曲线

Fig. 7 Response curve when P_{max} varies

6 结论

在此基于光伏电池数学模型, 推导出了基于环境参数的最大功率点电压模型 $U_m(T, E_e)$, 该模型是关于电池温度和辐照度的二元线性函数, 大大简化了计算流程, 提出了一种新的最大功率点电压计算思路; 结合所模型 $U_m(T, E_e)$, 给出了一种改进的定电压跟踪方法。该方法继承了固定电压法控制简单、稳定快速的优势, 更弥补了传统定电压跟踪方法的不足, 提高了光伏电池功率输出。实验研究证明了推导所得二元线性模型的正确性。改进的固定电压法能快速、有效跟踪光伏电池最大功率点, 有效避免了“爬坡法”最大功率点搜索振荡问题。

参考文献

- [1] Salas V, Olias E, Barrado A. Review of the Maximum Power Point Tracking Algorithms for Stand-alone Photovoltaic Systems[J]. Solar Energy Materials And Solar Cells, 2006, 90(11): 1555-1578.
- [2] Esmar T, Chapman P L. Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques [J]. IEEE Trans. on Energy Conversion, 2007, 22(2): 439-449.
- [3] 戴欣平, 马广, 杨晓红. 太阳能发电变频器驱动系统的最大功率追踪控制法[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(8): 95-99.
- [4] 徐鹏威, 刘飞, 刘邦银, 等. 几种光伏系统 MPPT 方法的分析比较及改进[J]. 电力电子技术, 2007, 41(5): 3-5.
- [5] Dounis A I, Kofinas P, Alafodimos C. Adaptive Fuzzy Gain Scheduling PID Controller for Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic System[J]. Renewable Energy, 2013, 60: 202-214.
- [6] 崔岩, 蔡炳煌, 李大勇, 等. 太阳能光伏系统 MPPT 控制算法的对比研究[J]. 太阳能学报, 2006, 27(6): 535-539.