

文章编号: 2096-1618(2016)03-0297-04

基于阻增量光伏动态模型的高精度恒压法设计

倪 雨

(成都信息工程大学, 四川 成都 610225)

摘要:针对传统恒压法在光强和温度大范围变化时不能准确跟踪光伏电池最大功率点的问题,以高精度阻增量光伏动态模型为基础,推导精度更高的最大功率点动态模型,据此提出 MPPT 恒压控制系统的参考电压值随光强和温度的变化而变化的动态恒压法,并与传统 MPPT 恒压控制法做对比研究,仿真实验结果表明,高精度动态恒压法较传统恒压法能更精确跟踪最大功率点,输出功率更平稳,提高了光伏电池组件的光电转换效率。

关键词:电力电子与电力传动;新能源发电;阻增量;最大功率点;动态模型;恒压法;动态恒压法

中图分类号:TM914.41

文献标志码:A

0 引言

光伏发电是太阳能发电的主要方式之一,光伏电池的转换效率决定系统的发电能力,光伏电池输出特性的非线性决定其输出功率曲线存在最大功率点,MPPT 技术则是提高光伏电池发电效率的重要方式。

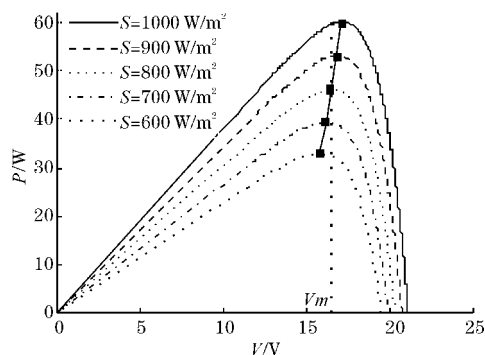
如何快速精确地跟踪最大功率点一直是科学研究和工程应用的难点^[1],中外学者研究并建立许多实用的光伏模型^[2-5],奠定了 MPPT 算法研究的基础,并做了大量的相关研究工作^[6-15]。MPPT 算法按照实现原理主要有恒定电压法和扰动观测法。恒定电压法实现方式简单但在光强和温度大范围变化时不能精确跟踪最大功率点,存在较大的能量损失。扰动观测法相对复杂,可以在环境条件大变化时对最大功率点进行精确跟踪,但是硬件成本高,且容易出现误判而影响最大功率跟踪效果的情形。为了克服 MPPT 传统恒压法的缺点,论文基于高精度阻增量光伏动态模型^[2]提出一种高精度恒压控制法。

首先分析传统恒压法的原理,研究光强和温度大范围变化时 MPPT 的误差情况;然后,分析一种高精度阻增量光伏动态模型,并推导高精度最大功率点模型,以此为基础提出一种适用于光伏电池 MPPT 的动态恒压法;最后,仿真实验验证动态恒压法能够精确跟踪光伏电池最大功率点。

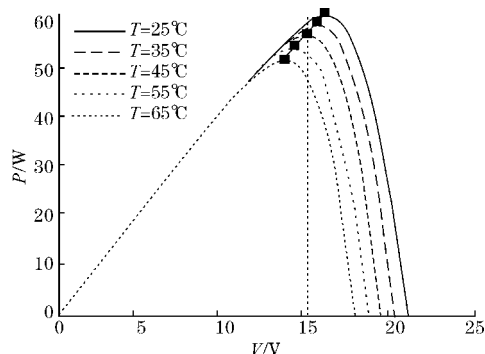
1 恒压控制法的原理

恒压控制法:利用光伏电池最大功率点变化时光伏电池端电压基本恒定的特点,通过控制置于光伏电

池后端的开关变换器,以保持光伏电池端电压恒定,从而使负载功率近似达到光伏电池最大输出功率的简单方法。在较短时间内,光伏电池输出特性可分为两种情况:温度基本不变而光强可以瞬时变化;光强基本不变而温度可以瞬时变化。两种情形的光伏电池最大功率点运动方式如图 1 所示。图 1 中, S 表示光强 (W/m^2), T 表示温度 ($^{\circ}\text{C}$)。



(a) 温度不变,光强变化



(b) 光强不变,温度变化

图 1 不同光照和温度下最大功率点运动规律

由图 1(a)可知,当光强在较小范围内变化且温度不变时,最大功率点近似分布在一条近似垂直的直线上,因此可以采用垂线代替,即保持光伏电池端电压恒

收稿日期:2016-06-12

基金项目:四川省科技支撑计划资助项目(2015GZ0204);四川省教育厅科研基金资助项目(15ZA0187)

定。而由图 1(b)可知,当温度在较大范围变化时,光伏电池最大功率点近似分布在一条倾角约 45°的直线上,光伏电池端电压在较大范围内变动,实际工作点偏离实际最大功率点较远,此时恒压法控制存在较大能量损失。为了减少传统恒压法控制造成的能量损失,提高 MPPT 系统跟踪精度,基于一种光伏动态模型,提出一种改进恒压法。

2 动态恒压法

2.1 高精度阻增量光伏动态模型

在 MPPT 算法研究中,光伏电池常用简化四参数模型

$$I=I_{ph}-I_o[\exp(C(V+IR_s))-1] \tag{1}$$

式(1)中, I_{ph} 、 I_o 、 R_s 和 C 分别为光伏电池的等效光生电流、等效饱和电流、等效串联电阻和等效比例因子。以太阳能光伏电池厂家在标准测试条件下的4个电气参数(I_{sc} 、 V_{oc} 、 I_m 、 V_m)为基础,根据文献[2]阻增量法可求得式(1)的4个参数。考虑到太阳光光强和光伏电池表面温度对4个特性参数的影响,可得高精度阻增量光伏动态模型为^[2]

$$I=I_{ph}-I_o[\exp(C_t(V+IR_{st}))-1] \tag{2}$$

$$I_{ph}=\frac{S}{S_{ref}}\cdot(1+\alpha(T-T_{ref}))\cdot I_{ph} \tag{3}$$

$$I_o=\frac{I_{ph}}{\exp(C_tV_{oct})-1} \tag{4}$$

$$C_t=\frac{T_{ref}}{T}\cdot C \tag{5}$$

$$R_{st}=\frac{1}{C_tI_{sct}}\ln(\frac{I_{ph}-I_{sct}+I_o}{I_o}) \tag{6}$$

式(3)~(6)即为简化四参数模型的实时参数表达式。式(3)中, S 为光强, S_{ref} 为标准参考光强, T 为光伏电池表面温度, T_{ref} 为参考温度。式(4)中, V_{oct} 为光伏电池实时开路电压, $V_{oct}=\ln[e+\eta(S-S_{ref})]\cdot[V_{oc}+\beta(T-T_{ref})]$, e 为自然对数底数,近似值取2.71828; η 为开路电压光强补偿系数,取0.0005(W/m²)⁻¹; β 为开路电压温度补偿系数;式(6)中, I_{sct} 为光伏电池实时饱和电流, $I_{sct}=S\cdot(S_{ref})^{-1}\cdot[1+\alpha(T-T_{ref})]\cdot I_{sct}$, α 为短路电流温度补偿系数。

2.2 动态恒压法

2.2.1 动态恒压法

动态恒压法:以传统恒压法为基础,根据光强和温度动态调整最大功率点电压给定值,实现负载功率对

任意情形下光伏电池最大功率的精确跟踪。动态恒压法的基本思想是,实时调整传统恒压法中的最大功率点给定电压(标准条件下:25℃,1000W/m²),让其随着光强和温度的变化而变化,让每一时刻跟踪的电压均为当前光强和温度下的最大功率点电压。

2.2.2 实现方法

由动态恒压法的原理可知,精确最大功率点模型是关键。基于阻增量光伏动态模型,构造最大功率点方程,再使用阻增量法^[2],则最大功率点动态模型为

$$\begin{cases} \exp(\frac{I_{mt}}{I_{ot}+I_{ph}-I_{mt}}+2C_tI_{mt}R_{st})=\frac{I_{ph}-I_{mt}+I_{ot}}{I_{ot}} \\ V_{mt}=I_{mt}(\frac{1}{C_t(I_{ot}+I_{ph}-I_{mt})}+R_{st}) \end{cases} \tag{7}$$

式(7)能给出任意光强和温度下的光伏电池最大功率点电压,以 V_{mt} 作为恒压法参考电压,从而实现动态恒压的目标。可见,动态恒压法要求测量光强和光伏电池表面温度,须附加光强传感器和温度传感器。

3 对比实验

仿真对比研究两种恒压法的控制效果。为保证能量连续,文中选择 boost 电路作为 MPPT 系统的主电路,仿真电路原理图如图 2 所示。

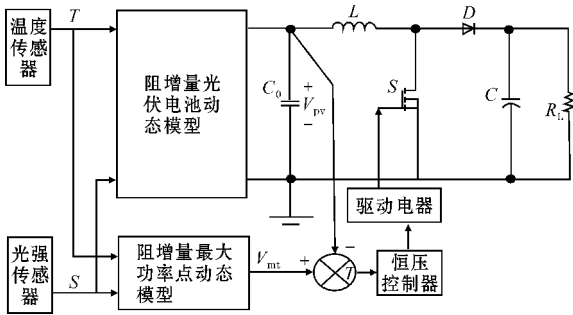


图 2 动态恒压法 MPPT 系统原理图

由图 2 可知,动态恒压法 MPPT 系统的给定电压与温度和光强有关,MPPT 系统是一个随动系统。图 2 中,功率电路主要参数为: $C_o=1000\mu F$, $L=300\mu H$, $C=200\mu F$ 。光伏电池主要参数如表 1 所示。

表 1 光伏电池主要参数		
符号	定义	值
I_{sc}	短路电流/A	3.8
V_{oc}	开路电压/V	21.1
V_m	峰值电压/V	17.1
I_m	峰值电流/A	3.5
P_m	最大功率/W	59.85

注:标准测试条件为 $T=25\text{℃}$, $S=1000\text{W/m}^2$

根据表 1 数据、光强和温度条件,采用文献[2]方法,得到图 2 中阻增量光伏电池动态模型和最大功率

点动态模型。根据图 2,采用 Matlab\Simulink 构造动态恒压法 MPPT 仿真模型。

当温度和光强分别跃变时,两种恒压法的仿真实验结果如图 3 和图 4 所示。

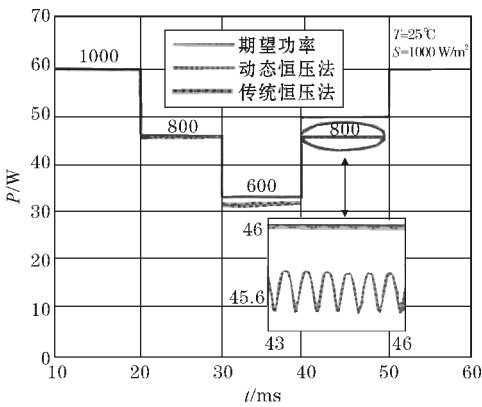


图 3 光强变化时两种恒压法跟踪效果对比

图 3 中,光伏电池表面温度保持在 25 ℃,在 10 ~ 60 ms(略去启动过程以突出跟踪精度),光强(W/m^2)每 10 ms 跃变一次,依次为 1000、800、600、800、1000。由图 3 可知,光强跃变 800,传统恒压法存在约 0.4 W 偏差(0.87%),跃变至 600 时,传统恒压法存在约 2 W 偏差(6%),即光伏电池的发电效率降低 6%,且存在 0.2 W 功率波动;高精度恒压法实现了准确跟踪。可见,采用传统恒压法时,光强偏离标准光强值越远,光伏电池发电效率越低。

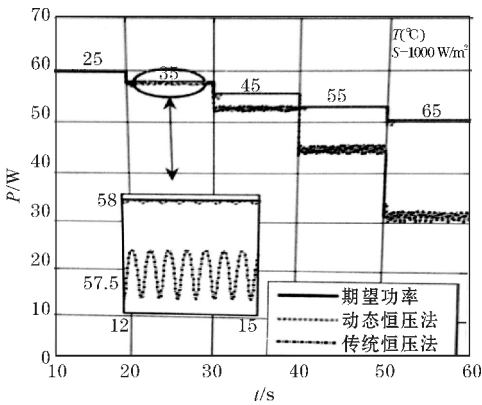


图 4 温度变化时两种恒压法跟踪效果对比

图 4 中,光强保持为 $1000 \text{ W}/\text{m}^2$,在 10 ~ 60 s(略去启动过程以突出跟踪精度),温度每 10 s 跃变一次,依次为 25 ℃、35 ℃、45 ℃、55 ℃、65 ℃。由图 4 可知,电池表面温度由 25 ℃ 跃变至 35 ℃ 时,传统恒压法存在 0.5 W 偏差(0.86%);由 35 ℃ 跃变至 45 ℃ 时,传统恒压法存在 2.5 W 偏差(4.51%);由 45 ℃ 跃变至 55 ℃ 时,传统恒压法存在 8.5 W 偏差(16.19%);由 55 ℃ 跃变至 65 ℃ 时,传统恒压法存在 12 W 偏差(27.27%),光电转换效率下降明显;高精度恒压法实

现了准确跟踪。可见,随着光伏电池表面温度的增加,传统恒压法最大功率点跟踪误差随之增加,最大功率跟踪偏差率也随之增加。动态恒压法则总能精确跟踪最大功率点,并保持功率平稳。

当光伏电池表面温度为 25 ℃,光强变化时,动态恒压法在 PV 特性上的跟踪效果如图 5 所示。图 5 中,A 为光强从 $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ 跃降至 $800 \text{ W}/\text{m}^2$,B 为光强从 $800 \text{ W}/\text{m}^2$ 跃降至 $600 \text{ W}/\text{m}^2$,C 为光强从 $600 \text{ W}/\text{m}^2$ 跃升至 $800 \text{ W}/\text{m}^2$,D 为光强从 $800 \text{ W}/\text{m}^2$ 升到 $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ 。

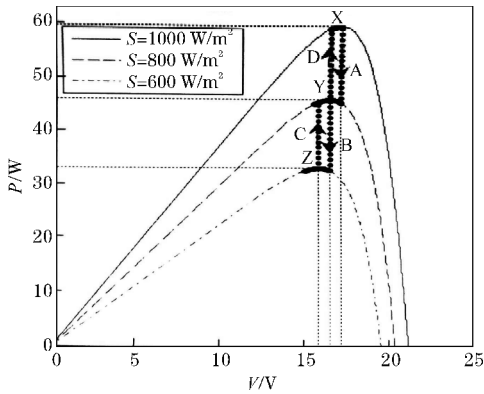


图 5 动态恒压法的跟踪效果

由图 5 可知,最大功率点 X(17.1 V, 59.85 W),Y(16.4 V, 46 W),Z(15.7 V, 33 W)分别对应 3 个不同光强下的最大功率点电压,在动态恒压法的作用下,系统总能够运行在最大功率点位置。

仿真结果表明,动态恒压法对于最大功率点的跟踪精度较传统恒压法更高,且输出功率更平稳。当环境变化剧烈时,传统恒压法会造成较大功率损失;动态恒压法总能准确跟踪最大功率点。每当光强或温度改变后,动态恒压法总能及时调整恒压值,实现了对任意光强和温度下光伏电池最大功率点的准确跟踪。

4 结束语

以高精度阻增量光伏电池动态模型为基础,求得高精度最大功率点动态模型,进而提出一种恒压值可调整的动态恒压控制法,并给出一种实现方法,还将动态恒压控制法与传统恒压法做了仿真对比研究。仿真结果表明,动态恒压法能够精确跟踪光伏电池的最大功率,且输出功率更平稳,几乎没有功率损失。动态恒压法方法必须依赖准确的光伏动态模型,否则,MPPT 精度难以保证。光强和温度测量系统实现简便,成本低,故动态恒压法具有较高工程应用价值。

参考文献:

- [1] 赵争鸣,陈剑,孙晓英. 太阳能光伏发电最大功率点跟踪技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [2] 倪雨,郝帅翔. 阻增量光伏动态模型研究[J]. 电机与控制学报, 2014, 18(6): 96-101.
- [3] 廖志凌,阮新波. 任意光强和温度下的硅太阳能电池非线性工程简化数学模型[J]. 太阳能学报, 2009, 30(4): 430-435.
- [4] 苏建徽,于世杰,赵为,等. 硅太阳能电池工程用数学模型[J]. 太阳能学报, 2001, 22(4): 409-412.
- [5] 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(Sup. 1): 229-234.
- [6] 董密,杨建,彭可,等. 光伏系统的零均值导增量最大功率点跟踪控制[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(21): 48-53.
- [7] 吴海涛,孙以泽,孟婷,等. 粒子群优化模糊控制器在光伏发电系统最大功率点跟踪中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(6): 52-57.
- [8] 张超,何湘宁. 短路电流结合扰动观察法在光伏发电最大功率点跟踪控制中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(30): 98-102.
- [9] Chan D S H, Pang J C H. Analytical methods for the extraction of solar-cell single-and double-diode model parameters from I - V characteristics [J]. IEEE Trans on Electron Devices, 1987, 34(2): 286-293.
- [10] Yazdani A, Dash P P. A control methodology and characterization of dynamics for a photovoltaic system interfaced with a distribution network[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2009, 24(3): 589-594.
- [11] Marcelo G V, Jonas R G, Ernesto R F. Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2009, 24(5): 1198-1208.
- [12] Singer S, Bozenshtein B, Surazi S. Characterization of PV array output using a small number of measured parameters [J]. Solar Energy, 1984, 32(5): 603-607.
- [13] 黄汉奇,毛承雄,陆继明,等. 光伏发电系统的小信号建模与分析[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(22): 7-14.
- [14] Esram T, Kimball J W, Krein P T, et al. Dynamic maximum power point tracking of photovoltaic arrays using ripple correlation control [J]. IEEE Trans Power Electronics, 2006, 21(5): 1282-1291.
- [15] 刘东冉,陈树勇,马敏,等. 光伏发电系统模型综述[J]. 电网技术, 2011, 35(8): 47-52.

Study of High-accuracy Real-time Constant Voltage Method based on Resistance-Increment Solar Dynamic Model

NI Yu

(Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: In this paper, for the problem that the traditional constant voltage method can not accurately track the maximum power point of photovoltaic cells with the light intensity and temperature changing in a wide range, then based on the high-accuracy resistance increment solar dynamic model, the high-precision maximum power point dynamic model was derived and the real-time constant voltage method, MPPT (Maximum Power Point Tracking) system reference voltage changing with the light intensity and temperature, is proposed, and the comparative study with traditional MPPT constant voltage control method was done. Simulation results show that the high-accuracy real-time constant voltage method can more accurately track maximum power point and more stably output power than the traditional constant voltage method, and improve the photoelectric conversion efficiency of photovoltaic cells components.

Key words: power electronics and power drives; new energy power generation; increase resistance; maximum power point; dynamic model; constant voltage method; real-time constant voltage method