

固定电压法与改进电导增量法 结合的光伏发电系统最大功率点跟踪

崔东君 彭宇 杨进

(国网北京顺义供电公司,北京 101399)

摘要: 由于光照强度、光伏阵列温度、负载时时变化,使光伏电池阵列的最大功率点也发生变化,需采用适当的最大功率点跟踪(MPPT)算法提高光伏转换率。提出固定电压法与改进的电导增量法结合的MPPT方法,先采用固定电压法将光伏阵列的工作点调整到最大功率点附近,以保证跟踪的快速性;而后利用变步长的电导增量法,使工作点电压与最大功率点电压近似相等。仿真结果表明,固定电压与电导增量法结合追踪最大功率点能够快速、准确地跟踪光伏阵列的最大功率点,减少了在最大功率点振荡的能量损失,提高了光伏发电系统的能量转换率。

关键词: 光伏阵列;最大功率点跟踪;固定电压法;改进电导增量法

Abstract: As the light intensity, photovoltaic array temperature and load change from time to time, the maximum power point tracking (MPPT) of photovoltaic cell array is changed too, so it needs to adopt the appropriate MPPT algorithm to improve the photovoltaic conversion rate. The MPPT algorithm combined with constant voltage method and improved incremental conductance method is proposed. Firstly, constant voltage method is adopted to adjust the operating point of photovoltaic array near to maximum power point to ensure the fast MPPT. And then, improved incremental conductance method is adopted to make the voltage of operating point approximately be equal to the voltage of maximum power point. The simulation results show that the maximum power point of photovoltaic array can be tracked quickly and accurately combined with constant voltage method and improved incremental conductance method, which reduces the energy losses of maximum power point oscillation and improves the energy conversion rate of photovoltaic generation system.

Key words: photovoltaic array; maximum power point tracking; constant voltage method; improved incremental conductance method

中图分类号: TM732 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)03-0078-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.03.018

0 引言

目前新能源发电技术蓬勃发展,尤其是光伏发电的应用已经进入寻常百姓家庭。政府的政策扶植和电力公司购买发电客户电能流程的便捷程度都促使着光伏发电应用的迅猛发展。光伏发电具有无噪声、无污染、取之不尽、用之不竭等优点,是一种前景广阔的绿色能源^[1]。

从光伏发电技术上说,发电效率仍有待提高,以便为发电客户带来更大的经济效益。光伏发电系统中制约发电量的主要因素是电池阵列的发电量受环境因素影响。电池表面温度和日照强度的变化都可以导致输出特性发生较大的变化,另外光伏电池的转换效率低且价格昂贵。因此需要加装最大功率追

踪(maximum power point tracking, MPPT)装置,捕捉光伏电池的最大功率点,提高太阳能的利用率。常用的MPPT方法为扰动观察法、固定电压法、增量电导法。其中扰动观察法被测参数少,易于实现,但在最大功率点附近会产生振荡,环境变化较快时功率损失大且可能发生误判;固定电压法最为简单,但其忽略了温度变化的影响,正逐渐被其他方法取代;电导增量法通过修改逻辑判断式减小了振荡,但在步长和阈值的选择上存在一定的困难^[2]。

下面将固定电压法与改进的电导增量法相结合跟踪最大功率点,当外界环境突变时,采用固定电压法将光伏阵列的工作点电压调整到最大功率点附近,以保证跟踪的快速性。在此基础上,采用变步长的电导增量法进一步靠近最大功率点,提高光伏阵列的利用效率。两种方法相结合,相互取长补短,达

到高效追踪最大功率点的目的。

1 光伏电池特性

1.1 光伏阵列的数学模型^[3]

定义 t_c 为在任意太阳辐射强度 R (W/m^2) 及任意环境温度 t_a ($^{\circ}C$) 下的电池温度, 则有如下公式:

$$t_c = t_a + t^* R \quad (1)$$

式中 t^* 为光伏电池模块的温度系数, $^{\circ}C \cdot m^2/W$ 。

在参考条件下 I_{sc} 为短路电流, U_{oc} 为开路电压, I_m 、 U_m 为最大功率点电流和电压, 则当光伏阵列电压为 U 其对应的电流 I 为

$$I = I_{sc} [1 - C_1 (e^{\frac{U}{c_2 U_m}} - 1)] \quad (2)$$

$$C_1 = (1 - I_m/I_{sc}) e^{-\frac{U_m}{c_2 U_m}} \quad (3)$$

$$C_2 = (U_m/U_{oc} - 1) \ln(1 - I_m/I_{sc}) \quad (4)$$

考虑太阳辐射变化和温度变化时

$$I = I_{sc} [1 - C_1 (e^{\frac{U-dC}{c_2 U_m}} - 1)] + dI \quad (5)$$

$$dI = \alpha R/R_{ref} \cdot dt + (R/R_{ref} - 1) I_{sc} \quad (6)$$

$$dU = -\beta dt - R_s dI \quad (7)$$

$$dt = t_c - t_{ref} \quad (8)$$

式中 R_{ref} 、 t_{ref} 为太阳辐射和光伏电池温度参考值, 一般取 $1 kW/m^2$ 、 $25^{\circ}C$; α 为在参考日照下, 电流变化温度系数, $A/^{\circ}C$; β 为在参考日照下, 电压变化温度系数, $V/^{\circ}C$; R_s 为光伏模块的串联电阻, Ω 。

1.2 光伏电池特性曲线

光伏电池既非恒流源, 也非恒压源, 而是一种非线性直流电源。其输出电流在大部分工作电压范围内近似恒定, 在接近开路电压时, 电流下降很大。选用光伏电池在不同温度、辐射强度下的 $P-U$ 特性曲线如图1、图2所示。

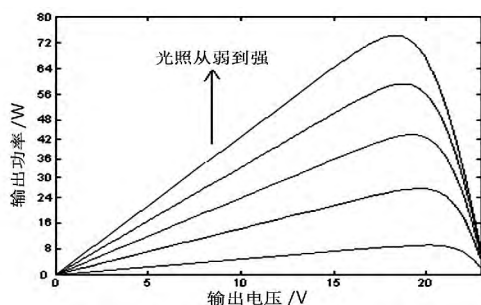


图1 不同光强条件下电压和功率的关系曲线

由图1可见, 光伏电池在任何时刻都存在一个最大功率输出的工作点, 而且随着光强和温度的变化而变化。因此需采用 MPPT 控制, 跟踪不同条件

下的最大功率点, 提高光伏电池能量的利用率^[4]。

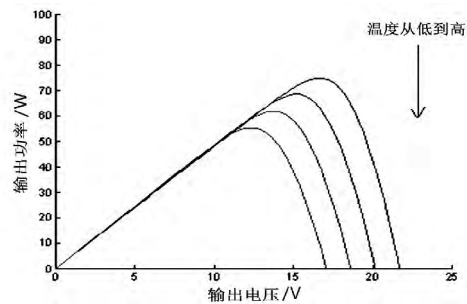


图2 不同温度时电压和功率的关系曲线

2 MPPT 控制算法

2.1 固定电压法原理

不同日照时的阵列最大功率点位置基本都位于某个恒定电压 $U_m = \text{const}$ (const 为常数) 的垂直线附近, 特别是日照比较强时该点距离 U_m 更近。在工程上允许把最大功率点出现的轨迹近似处理为一根电压垂直线 $U_m = \text{const}$, 且最大功率点电压约为开路电压的 78%。调整工作点电压至 $0.78U_{oc}$ 处以提高光伏阵列的效率, U_{oc} 为开路电压值^[5]。

2.2 电导增量法原理

电导增量法是通过比较光伏电池阵列的瞬时导纳与导纳变化量的方法来完成最大功率点的跟踪。

$$P = U \times I \quad (9)$$

$$\frac{dP_{\max}}{dU} = I + U \times \frac{dI}{dU} = 0 \quad (10)$$

$$\frac{dI}{dU} = -\frac{I}{U} \quad (11)$$

其达到最大功率点的条件是当输出电导的变化量等于输出电导的负值时, 光伏电池阵列工作于最大功率点。随后通过比较光伏阵列的电导增量和瞬间电导来改变控制信号, 在电导增量大于瞬间电导的区域增加工作电压, 在电导增量小于瞬间电导的区域减小工作电压, 当两者相等时, 电压保持不变; 在电压不变电流增加时, 增加工作电压, 在电压不变电流减小时, 减小工作电压。电导增量法控制流程图^[6]如图3所示。

2.3 固定电压法与改进电导增量法结合的 MPPT

利用固定电压法可将工作点电压与最大功率点电压之差减小, 但工作点还未到最大功率点。但固定电压法跟踪最大功率点忽略了温度对光伏阵列的影响。当温差较大时固定电压法的精度较低。进而引

入电导增量法使工作点进一步向最大功率点靠近。

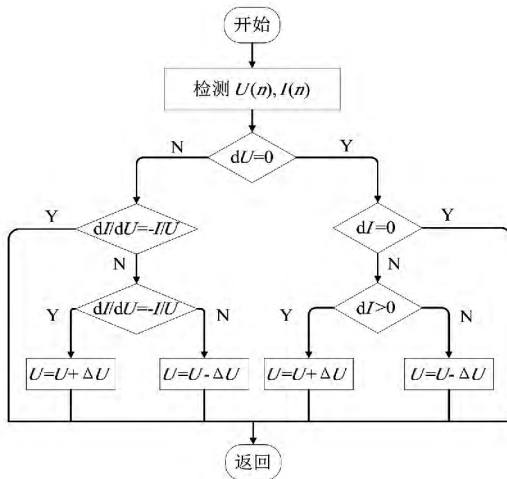


图 3 电导增量法最大功率点追踪控制流程图

传统的电导增量法能够根据外界环境的变化做出正确的跟踪判断,但它的步长是固定的。步长过小会造成功率损失,步长过大又会是光伏阵列在最大功率点处振荡加剧^[7]。针对以上不足,引入将固定跟踪步长改为可变步长,并且根据工作点离最大功率点的远近调整步长大小的方法。下面分别加以说明。

由光伏阵列的 $P-U$ 曲线可知,在最大功率点 P_{max} 处有 $dP/dU = 0$,而在其它点 dP/dU 均不为 0。因此令 $step = N \cdot |dP/dU|$ 作为算法中步长数据, N 为比例因子。当工作点与最大功率点很近时, $|dP/dU|$ 随之减小,以较小步长调整工作点电压;当工作点远离最大功率点时, $|dP/dU|$ 随之增大,以较大步长调整工作点电压^[8]。

先采用固定电压法进入最大功率点附近后,改用变步长方法进行 MPPT 的控制方法。相对于传统的 MPPT 方法,该方法控制效果好,调整速度快,适应于不同环境下的控制情况。其步骤为:当光伏阵列输出电压在固定电压控制算法设定的电压 $\pm \Delta U$ 之外,执行固定电压算法;当光伏阵列的输出电压在控制算法设定的电压 $\pm \Delta U$ 之内,进行变步长的电导增量法;在执行电导增量法时,根据 $|dP/dU|$ 不断调整步长大小。算法流程图如图 4 所示。

3 仿真分析

利用 Matlab(一种数学计算与仿真分析软件)软件对常用的固定电压法(即 constant voltage tracking, CVT)、扰动观察法(perturbation and observation, P&O)、电导增量法(increment conductance, INC)的

最大功率点跟踪情况进行仿真分析。将这 3 种方法的结果与固定电压法与电导增量法结合的方法进行比较,说明固定电压法与电导增量法结合的最大功率点跟踪有其优势。

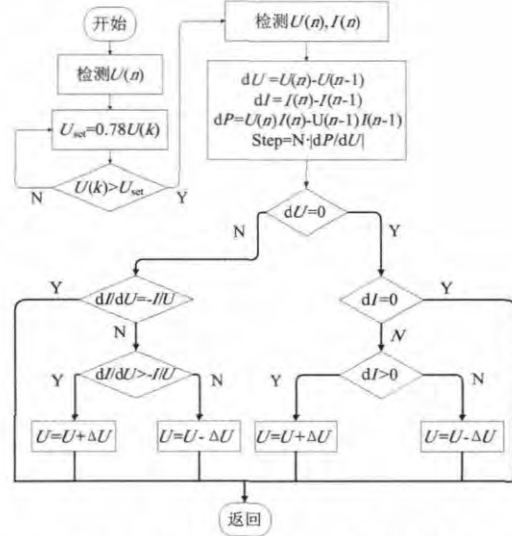


图 4 固定电压与电导增量结合的最大功率点追踪控制流程图

以尚德公司生产的 STP-260 光伏阵列为例,其参数为: $I_{sc} = 8.09 \text{ A}$, $U_{oc} = 44.0 \text{ V}$, $I_m = 7.47 \text{ A}$, $U_m = 34.8 \text{ V}$, 短路电流温度系数为 0.055% , 开路电压温度系数为 -150 mV/k 。仿真温度设为 $t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ 。通过仿真得到在 $S = 1000 \text{ W/m}^2$ 时最大功率点功率为 260.5 W , 在 $S = 400 \text{ W/m}^2$ 时的最大功率点功率为 97.34 W 。在 0.2 s 时光强从 $S = 1000 \text{ W/m}^2$ 变化到 $S = 400 \text{ W/m}^2$, 在 0.3 s 时光强从 400 W/m^2 变化到 1000 W/m^2 。采用固定电压法、扰动观察法、电导增量法和固定电压法与电导增量法结合的方法(简称结合法)分别进行 MPPT 仿真。根据光伏阵列的输出电压、温度、光强、短路电流温度系数及开路电压温度系数计算出光伏阵列的输出电流。

表 1 不同追踪方法的输出功率均值

MPPT 方法	P/W	
	$S = 1000 \text{ W/m}^2$	$S = 400 \text{ W/m}^2$
CVT	258.8	95.2
P&O	259.1	96.7
ICA	259.2	96.8
结合法	259.8	97.2

图 5 ~ 图 8 为不同方法的仿真波形比较,图 9 表示结合法中固定电压法执行时间,纵坐标为 1 表示 MPPT 执行的是固定电压法;为 0 表示 MPPT 执行的是电导增量法。表 1 列出了各方法下的输出功

率均值。

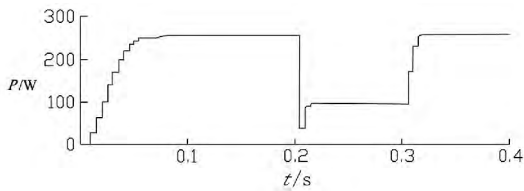


图5 固定电压法输出功率曲线

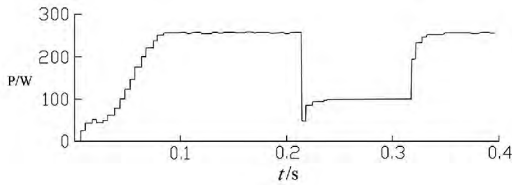


图6 扰动观察法输出功率曲线

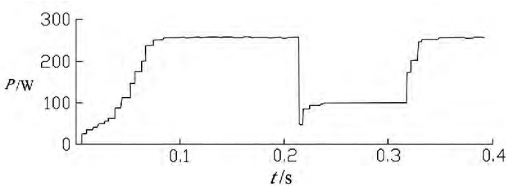


图7 电导增量法输出功率曲线

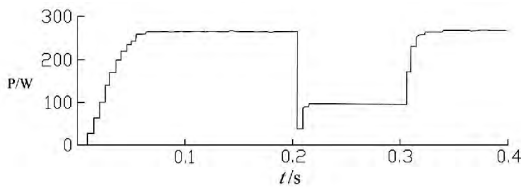


图8 结合法输出功率曲线

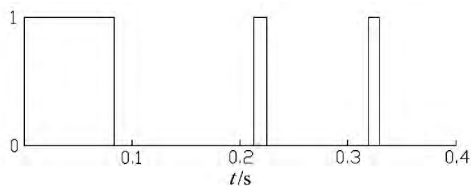


图9 结合法中固定电压法运行时间

从图5可以看出,固定电压法能迅速到达最大功率点附近,但当外部环境条件发生变化时,固定电压法功率损失较多;图6所示 $\Delta d = 0.01$ 的扰动观察法,此处步长选择较小,跟踪速度较慢,若选择大步长则会产生较大振荡;图7为电导增量法,其跟踪速度较慢,准确性和扰动观察法相近;图8为结合法,其具有了固定电压法的快速性,又有电导增量法的准确性。在光强突变时结合法采用固定电压法对最大功率点进行快速跟踪,使工作点快速移动到最大功率点附近;在稳态输出时,采用电导增量法,不断逼近最大功率点。

表1数据显示固定电压与电导增量结合的方法跟踪效果高于其他方法,从仿真分析可知结合法能更有效地跟踪最大功率点,使输出功率更大。

4 结 论

在常用的 MPPT 算法基础上提出了固定电压法与电导增量法结合的 MPPT 算法。该方法在固定电压法的基础上加入了电导增量法。先利用固定电压法将工作点电压快速调整到最大功率点附近,再由变步长的电导增量法准确跟踪最大功率点,此处对电导增量法步长的选取进行了改进,引入变步长的电导增量法,使其跟踪效率进一步提高。最后的仿真说明此方法切实有效。

参考文献

- [1] 王岩,李鹏,唐劲飞.基于模糊参数自校正PID方法的光伏发电系统MPPT控制[J].电力自动化设备,2008,28(3):55-58.
- [2] 周林,武剑,栗秋华,等.光伏阵列最大功率点跟踪控制方法综述[J].高电压技术,2008,34(6):1145-1154.
- [3] 茆美琴,余世杰,苏建徽.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.
- [4] 乔兴宏,吴必军,邓赞高,等.模糊/PID双模控制在光伏发电MPPT中应用[J].电力自动化设备,2008,28(10):92-95.
- [5] 熊远生,俞立,徐建明.固定电压法结合扰动观察法在光伏发电最大功率点跟踪控制中应用[J].电力自动化设备,2009,29(6):85-88.
- [6] Tac-Yeop Kim, Ho-Gyun Ahn, Seung Kyu Park, et al. A Novel Maximum Power Point Tracking Control for Photovoltaic Power System under Rapidly Changing Solar Radiation[C]. Proceeding of IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2001: 1011-1014.
- [7] 陈兴峰,曹志峰,许洪华,等.光伏发电的最大功率跟踪算法研究[J].可再生能源,2005,19(1):8-11.
- [8] 冯冬青,李晓飞.基于光伏电池输出特性的MPPT算法研究[J].计算机工程与设计,2009,30(17):3925-3931.

作者简介:

崔东君(1984),工学硕士,工程师,从事供电方案制定、工程组织相关工作;

刘彭宇(1979),工学硕士,顺义供电公司营销部主任,从事营销管理工作;

杨进(1971),工学学士,顺义公司营销部副主任,从事客服专业管理工作。(收稿日期:2015-01-15)