

# 微元步长自适应增量电导法实现 MPPT 的控制

徐鹏飞, 马高峰, 高金辉

(河南师范大学 物理与电子工程学院; 河南省光伏材料重点实验室, 河南 新乡 453007)

**摘 要:**为了更大程度的提高光伏发电系统的最大输出功率,通过对光伏电池功率、电压( $P-U$ )特性的数学建模分析,在增量电导法的基础上,提出最大功率跟踪控制算法(MPPT)——微元步长自适应增量电导法.改善了传统增量电导法步长选择不确定性的弊端.通过引入变步长控制因子 $k$ ,以微元步长 $\Delta d$ 自适应的跟踪最大功率点.在 Matlab/Simulink 环境下进行了仿真实验.结果表明该算法明显缩短了跟踪时间,并且有效地抑制了系统在最大功率点(MPP)附近的振荡现象,提高了系统的跟踪速度和精度.

**关键词:**光伏电池;微元步长;增量电导法;MPPT

**中图分类号:**TM71;O44

**文献标志码:**A

光能由于具有清洁、无污染、储量丰富等特点,成为缓解全球能源危机、环境污染的首选能源<sup>[1]</sup>.由于光伏阵列的输出特性曲线呈非线性,而且其最大功率输出点(MPP)随着光照强度和环境温度等因素的变化而变化.因此,在光伏发电系统中,通过电力电子技术和控制技术来实现光伏发电的最大功率跟踪是提高光伏发电系统效率的有效途径之一<sup>[2]</sup>.在实际的光伏发电系统中,应采取适当的算法动态的找出该最大功率点,并根据外界环境条件的变化做出自适应的调整,从而保证系统输出最大的功率.

增量电导法实质上是扰动观察法的改进,减小了系统在最大功率点附近产生的振荡,通过修改逻辑判断式使系统能够快速适应环境的变化,减小功率损失,避免发生误判的可能,但是传统的增量电导法在步长的选择上存在一定的困难.为了提高系统跟踪的速度和精度,本文在增量电导法的基础上提出一种新的算法,以微元步长 $\Delta d$ 实现最大功率点的跟踪,在远离最大功率点时,系统能够以较大的步长快速地进行跟踪,在接近最大功率点时,系统以较小的步长高精度的进行跟踪.

## 1 光伏电池特性分析

光伏电池是以半导体 P-N 结上接受太阳光产生光伏特效应为基础,直接将光能转化为电能能量转换器<sup>[3]</sup>.光伏组件一般由若干个光伏电池经过串、并联结合而成,根据光伏电池的等效电路可知光伏阵列的数学模型为可简化为

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

式中: $U, I$ 分别为光伏电池的输出电压和输出电流; $I_{ph}$ 为光电流; $I_{os}$ 为光伏电池的饱和电流; $q$ 为单位电荷; $R_s$ 为光伏电池的串联电阻; $A$ 为光伏电池的特性常数; $K$ 为玻尔兹曼常数; $T$ 为光伏电池的温度光伏阵列的输出功率

$$P = UI. \quad (2)$$

由方程(1)、(2)建立的数学模型(如图 1)知,光伏电池的  $P-U$  特性曲线存在唯一的最大功率点,并且在最大功率点处有  $dP/dU = 0$ .当光伏阵列工作电压小于 MPP 点时,其输出功率随着电压的增大而升高;当光

收稿日期:2013-06-30;修回日期:2014-02-26.

基金项目:河南省重点科技攻关项目(102102310041)

作者简介(通信作者):高金辉(1962—),男,河南方城人,河南师范大学教授,硕士生导师,主要从事光伏发电系统相关技术的研究,E-mail:gjh@htu.cn.

伏阵列工作电压大于 MPP 点时,其输出功率随着电压的增大而减小,

## 2 最大功率跟踪控制算法

### 2.1 传统的增量电导法

传统的增量电导法是通过比较光伏阵列的瞬时电导  $G$  和电导的变化率  $\Delta G$  来进行最大功率跟踪控制. 式(2)两边同时对  $U$  求导知

$$\frac{1}{U} \frac{dP}{dU} = \frac{I}{U} + \frac{dI}{dU} = G + \Delta G. \quad (3)$$

由式(3)可知通过判断  $G + \Delta G$  的符号就可以判断光伏阵列是否工作在最大功率点<sup>[4]</sup>,当  $G$  和  $-\Delta G$  相等时,可实现最大功率点跟踪. 在最大功率点的左侧,曲线斜率大于零;最大功率点的右侧,曲线斜率小于零. 但是由于在选择步长和阈值的大小上存在一定的困难,步长的大小决定了系统跟踪的速度. 如果步长过小,则跟踪时间延长,动态响应品质恶化;如果步长过大,振荡加大,功率波动剧烈,则稳态响应品质恶化,平均输出功率将明显小于最大功率. 这便加大了功率损耗,降低了光伏阵列的发电效率<sup>[5]</sup>.

### 2.2 微元步长自适应增量电导法

针对步长选择困难的问题,本文提出了微元步长自适应增量电导法. 当光伏阵列的输功率离最大功率点比较远时,系统自适应的增加步长,提高追踪速度,改善动态响应特性;当寻优过程接近最大功率跟踪点时,系统自适应的减小步长,提高稳态响应特性.

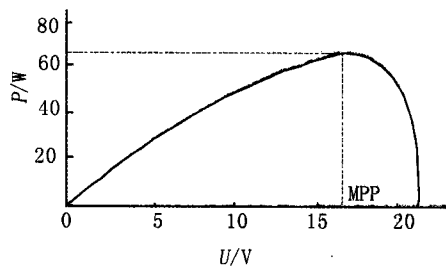


图1 光伏阵列的P-U曲线

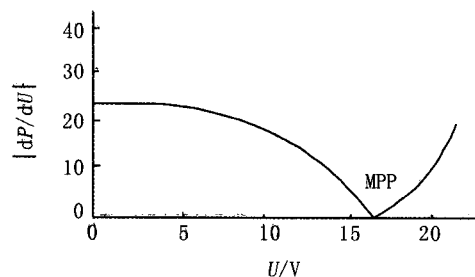


图2 光伏阵列的  $dP/dU$  -U特性曲线

通过分析系统的  $P$ - $U$  输出特性曲线,斜率函数的绝对值曲线  $|dP/dU|$  在最大功率点的左侧逐渐减小至零(MPP处);在最大功率点的右侧由零逐渐增大(如图2). 因此以微元步长  $\Delta d' = |dP/dU|$  作为调整量就能使系统向功率增加的方向跟踪. 但是由于外界环境等因素的影响,需要引入一个变步长控制因子  $k$ ,使系统以微元步长  $\Delta d = k |dP/dU|$  自适应跟踪最大功率点.

变步长控制因子  $k$  是微元步长自适应增量电导法的关键参数,可由下式估算

$$k = \frac{U_{d-\max}}{|dP/dU|_{\max}}, (0 \leq k \leq 1),$$

式中,  $U_{d-\max}$  是传统增量电导法允许的最大步长;  $|dP/dU|_{\max}$  可由光伏阵列的特性曲线估算.

引入变步长控制因子  $k$  后,系统跟踪最大功率点以及微元步长的设置依据如下:

$$\begin{cases} G > \Delta G, \Delta d = k \cdot |dP/dU|; \\ G = \Delta G, \Delta d = 0; \\ G < \Delta G, \Delta d = -k \cdot |dP/dU|. \end{cases}$$

从光伏电池的  $P$ - $U$  特性曲线可看出,光伏电池最大功率点两侧的输出特性具有非对称性,相同的电压变化所引起的功率变化有很大差别,在最大功率点右侧相同电压的变化所导致的功率变化要比左侧大<sup>[6]</sup>. 系统在逼近 MPP 点的过程中,  $P$ - $U$  曲线趋于平缓,  $|dP/dU|$  的值逐渐减小,可使系统自适应的调整步长快速逼近 MPP 点,提高了跟踪速度;在 MPP 点附近,  $|dP/dU|$  的值趋向于零,系统能够自适应的缩小步长,提高了跟踪精度,并且有效地抑制了系统在最大功率点附近的振荡现象.

### 3 微元步长自适应增量电导法的仿真研究

微元步长自适应增量电导法通过对光伏电池特性  $U(m)$ ,  $I(m)$  的实时采样,计算  $G(m)$  和  $\Delta G(m)$  并比较二者大小,根据光伏电池的输出特性以微元步长  $\Delta d$  自适应的跟踪系统的最大功率点,其算法流程如图 3 所示.根据光伏电池的数学模型,在 Matlab/Simulink 环境中建立了光伏发电最大功率跟踪系统的仿真模型<sup>[7]</sup>.系统的具体仿真参数:光伏阵列开路电压为 41.15 V,短路电流为 5.5 A,峰值电压为 34.45 V,峰值电流为 4.90 A,峰值功率为 160 W.

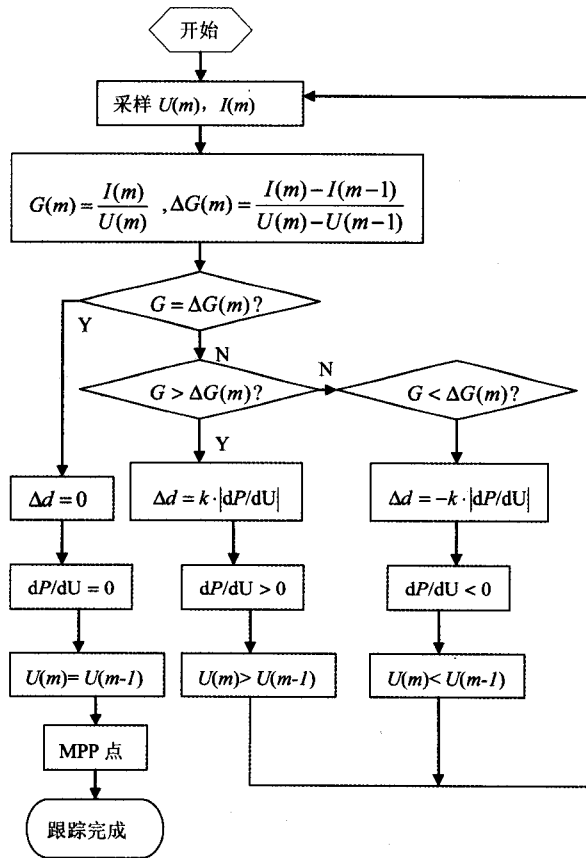


图 3 新算法控制流程图

为了方便分析,在相同的条件下,设定光照强度在 5.0 s 时由  $400 \text{ W/m}^2$  突变到  $900 \text{ W/m}^2$ ,分别对传统增量电导法的输出功率波形(图 4)和微元步长自适应增量电导法的输出功率波形(图 5)进行了仿真.由图 4 可知,传统的增量电导算法以固定的步长跟踪最大功率点,当距离 MPP 点较远时,系统不能快速以大步长逼近最大功率点,而是按照  $P-U$  特性曲线缓慢向 MPP 点靠拢,明显增加了跟踪时间;当系统跟踪到最大功率点后,在阈值的选择问题上,该算法虽然通过修改逻辑判断式减小了 MPP 点附近的振荡,但不能有效地抑制,因此在跟踪速度和精度上还存在一定的弊端.

由图 5 可知,微元步长自适应增量电导算法以微元步长  $\Delta d = k |dP/dU|$  自适应的跟踪最大功率点,当距离 MPP 点较远时,系统根据  $\Delta d$  的大小自适应的快速逼近最大功率点,减少了跟踪时间;当系统跟踪到最大功率点后,微元步长  $\Delta d = 0$ ,系统能够稳定在最大功率跟踪点附近,有效的抑制了振荡与传统的跟踪算法相比,明显提高了系统的跟踪速度和精度.

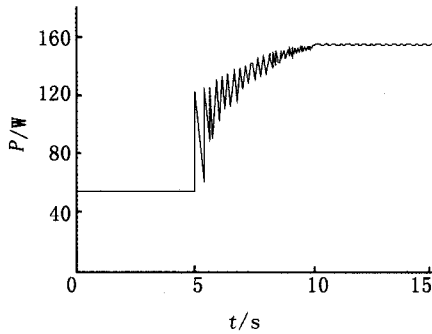


图4 传统增量电导法的功率输出波形

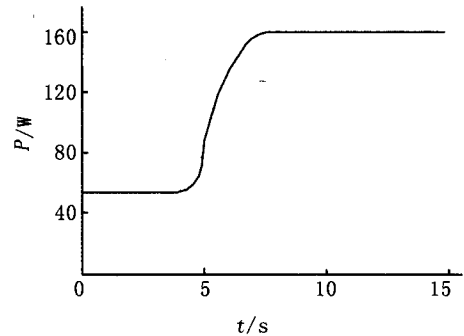


图5 微元步长自适应增量电导法功率输出波形

## 4 结 论

通过分析光伏电池的 P-U 特性曲线,对光伏阵列进行数学建模,在传统增量电导法的基础上,经过改善步长选择不确定性的问题,提出了一种新的微元步长自适应增量电导法来跟踪最大功率点.系统以微元步长  $\Delta d = k |dP/dU|$  动态自适应的实现最大功率点的跟踪,提高了跟踪的速度和精度.经过对该新型算法进行仿真验证,结果表明该算法在外界环境突然变化的情况下,系统基本上保持同步变化,能够快速、精确地跟踪最大功率点,输出稳定的功率,有效地抑制了在 MPP 点附近的振荡现象.

## 参 考 文 献

- [1] 贾利锋,李迎迎,高金辉. Z-源逆变器 MPPT 和逆变控制方法研究 [J]. 河南师范大学学报:自然科学版,2012,40(5):72-77.
- [2] 肖俊明,王东云,李燕斌,等. 基于遗传算法的占空比扰动法在 MPPT 中的应用研究 [J]. 电力系统保护与控制,2010,38(15):43-46.
- [3] 张小平,唐宇,周玉荣,等. 光伏发电系统最大功率跟踪的研究 [J]. 电子科技大学学报,2010,39(4):564-569.
- [4] 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]. 高压电技术,2008,34(6):1145-1154.
- [5] 李晶,窦伟,徐正国,等. 光伏发电系统中最大功率点跟踪算法的研究 [J]. 太阳能学报,2007,28(3):268-273.
- [6] 刘莉,张彦敏. 一种扰动观察法在光伏发电 MPPT 中的应用 [J]. 电源技术,2010,4(2):186-189.
- [7] 苏建辉,余世杰,赵为. 硅太阳能电池工程用数学模型 [J]. 太阳能学报,2001,22(4):409-412.

## Infinitesimal Step Adaptive Incremental Conductance Method MPPT Control

XU Pengfei, MA Gaofeng, GAO Jinhui

(College of Physical and Electronic Engineering; Henan Key Laboratory of Photovoltaic Material, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

**Abstract:** In order to improve the maximum output power of photovoltaic power generation system effectively, a new method based on the incremental conductance method that maximum power point tracking control algorithm (MPPT) — the elementary step adaptive incremental conductance method was innovated by analyzing the character of power and voltage ( $P-U$ ) of photovoltaic cells. It perfects the defects that the step choice uncertainty of traditional incremental conductance method by introducing a variable step length control factor  $k$ , and track maximum power point (MPP) using the method of adaptive infinitesimal step length  $d$ . The validity of the algorithms is verified in computer simulation. It indicated that the algorithms can not only shortens the tracking time, but also control the oscillatory phenomenon of system near MPP, and improve the velocity and precision of tracking.

**Keywords:** photovoltaic cells; infinitesimal step size; incremental conductance method; MPPT