

[光伏发电]

一种改进型电导增量法的MPPT控制策略

文/西安科技大学电气与控制工程学院 郭航辰

提出一种改进型的电导增量法，该算法结构简单，在传统电导增量法的基础上对电流、电压和功率在外部环境发生改变时的瞬时增量做进一步的判别。通过Matlab仿真对改进和传统方法进行比较。结果表明，所提算法能对误判现象进行有效地识别，从而避免误判的发生。

由于能源需求的不断增加，太阳能作为一种无污染的可再生能源，得到了广泛的使用。然而，光伏电池的输特性随外界环境如辐照度和温度等因素的影响，呈现出较强的非线性，因此很难在变化的外界环境下保证其最佳性能。为了使光伏电池的输出功率最大化，光伏发电系统采用了最大功率点追踪技术对功率进行实时追踪。目前已经提出了多种MPPT控制技术，主要分为两大类：传统MPPT方法和智能控制算法。

传统的MPPT方法主要有爬山法、扰动观察法和电导增量法；智能算法主要有模糊逻辑法、神经网络法和粒子群法等。电导增量法是目前应用最广泛的直接控制方法，但是该算法需要不断地对占空比施加扰动来确定最大功率点（MPP）。因此当外部环境发生变化时，可能会导致工作点偏离正确的追踪轨迹，产生误判现象。本文所提出的改进型电导增量法从不同的角度反向推理，以结果为导向，直接通过对功率的变化去判断工作点的运动轨迹，并确定下一步的扰动方向。相对于目前的研究现状而言，提供了一种新的解决问题的思考方向，并且本文提出的判断逻辑更加简单，运算量更少，为实际应用提供便利。

光伏阵列特性

考虑到光伏发电系统的经济性和可维护性，通常采用集中式逆变器拓扑结构。集中逆变器连接着大量的光伏组件，通常使用S-P结构。光伏阵列的广义S-P结构模型如图1所示，该拓扑的输出电流方程可以表示为

$$I = N_{pp} \left[I_{pv} - I_o (I_p - 2) \right] \left(\frac{V + IR_s \Gamma}{R_p \Gamma} \right) \quad (1)$$

其中

$$I_p = \exp \left(\frac{V + IR_s}{V_T N_{ss}} \right) + \exp \left(\frac{V + IR_s \Gamma}{(P-1) V_T N_{ss}} \right) \quad (2)$$

$$\Gamma = \frac{N_{ss}}{N_{pp}} \quad (3)$$

式中， I 是太阳能电池的输出电流； V 是太阳能电池的工作电压； I_{pv} 是光生电流； I_o 是反向饱和电流； V_T 是光伏阵列的热电压； R_s 是串联电阻； R_p 是并联电阻； N_{ss} 、 N_{pp} 分别是串联和并联光伏阵列。

当光照强度变化时，光伏阵列伏安特性曲线具有强烈的非线性，它既非恒定电压，也非恒定电流，同样也不可能为负载提供恒定的功率，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，电流下降率很大。

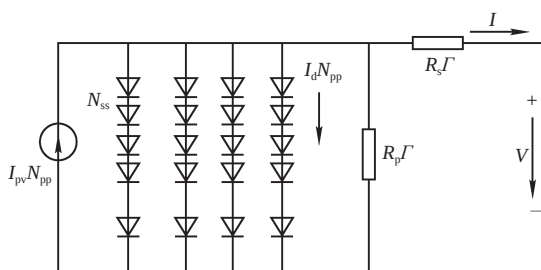


图1 旋变理论接线图

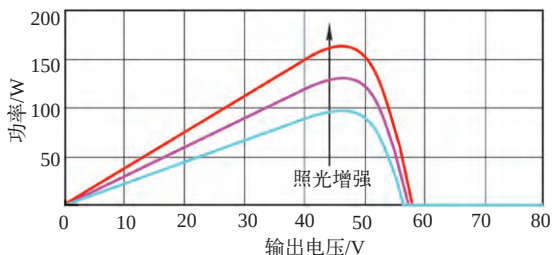


图2 不同光照下光伏阵列特性

图2为当光伏电阵列温度 $T=25^{\circ}\text{C}$ 时，在不同光照强度下的仿真结果，从图2中可以看出光伏电阵列的输出特性受光照强度影响变化较大，当光照强度升高时，输出功率会变大。

改进型电导增量法

1. 传统电导增量法

电导增量法通过检测 $P-V$ 曲线的斜率来追踪最大功率点。该算法利用瞬时电导 I/V 和电导增量 di/dv 来对MPP进行判别，利用这两个值确定PV模块在 $P-V$ 曲线上的工作点位置。由光伏电池的 $P-V$ 输出特性曲线可知，当在光照强度一定的情况下时，其曲线上对应的最大功率点的个数一般是唯一的，有且仅有一个，可以求出：在该工作点两边 dp/dv 符号互异，且当 $dp/dv>0$ 时，光伏电池工作点位于最大功率点左侧；当 $dp/dv<0$ 时，光伏电池工作点位于最大功率点右侧；而在最大功率点处导数为零时，即 $dp/dv=0$ 时。考虑光伏电池的瞬时输出功率为

$$P = UI \quad (4)$$

将上式两边同时对光伏电池的输出电压 U 来求导，可得

$$\frac{dp}{dv} = I + V \left(\frac{di}{dv} \right) \quad (5)$$

而当 $dp/dv=0$ 时，光伏电池的输出功率为最大，此时整理后可得

$$\frac{di}{dv} = -\frac{1}{V} \quad (6)$$

所以，可通过数学关系判断工作点是否处于最大功率点，当满足关系式(6)时，输出功率达到最大；当不满足该关系式时，输出功率没有达到最大。

2. 传统电导增量法的缺点

传统电导增量法在太阳辐照度增加时容易产生误判现象，如图3所示，当辐照度为 0.4 kW/m^2 时，MPPT算法调整占空比，确保光伏系统在负载线2上运行，跟踪MPP（点B）。一段时间后，太阳辐射增加，但占空比仍然维持在负载线2上。因此，负载线2在 1.0 kW/m^2 的 $I-V$ 曲线上找到G点，对应于 $P-V$ 曲线上C点的功率。传统的电导增量法计算点B和点C之间的梯度，结果为正梯度。实际上，C点与MPP（A点）之间 1.0 kW/m^2 的梯度为负值，传统的电导增量法在没有注意到这一误差的情况下，提高了光伏组件的电压。因此，当太阳辐照度改变时，传统的算法无法实现准确的变化。然而，当太阳辐照度由高变低时，这一问题不会发生。因为从E到H或者从A到D的 $P-V$ 曲线，梯度是正的，点B和点D之间的梯度也是正的。

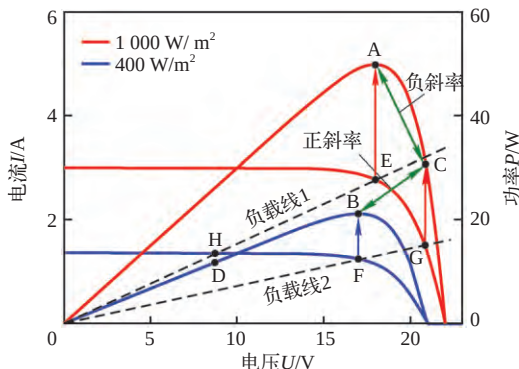


图3 辐照度变化时的伏安特性曲线

3. 提出改进电导增量算法

电导增量法依赖于 $P-V$ 曲线的斜率，而 $P-V$ 曲线的斜率受太阳辐照度和负载电阻的影响，该算法利用光伏组件的电流和电压进行计算。因此，在算法中必须充分考虑太阳照射和负载变化对光伏组件电流和电压的影响。

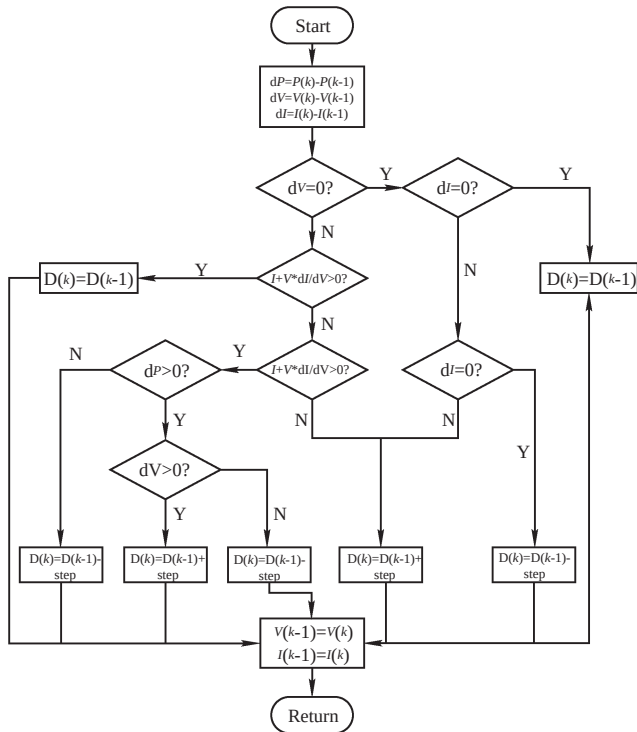
表1为光伏组件电压和电流随太阳照射水平和负载电阻变化的汇总。如图3所示，当光伏系统在负载线2（F点）处运行时，太阳辐照突然增加，光伏系统的工作点移动到点G处，电流和电压均增加；反之，当光伏系统的负载线1（E点）处运行时，太阳辐照突然降低，光伏系统的工作点移动到H点，电压和电流都减小。在传统的电导增量

表1 光伏电压和电流随外界条件变化汇总

		电压增量(dv)	电流增量(dr)
光照	增加	增加	
辐照度	减少	减少	
负载	增加	增加	减少
电阻	减少	减少	增加

时间/s	占空比
0.0	20
0.4	30
1.0	30
1.4	40
2.0	40
2.4	50
3.0	50

本文提出一种改进型电导增量法,如图5流程所示。



当辐照度发生改变时对电流电压会产生相应的影响,该算法利用光伏组件电流和电压的瞬时变化量进行计算。当传统电导增量法对系统工作点的位置做出判断之后,改进型电导增量法将继续对功率的增量和电压电流的增量方向进行判断。当系统在MPP左侧运行时,若系统运行方向为正($dv > 0$),则 $dp > 0$ 占空比按上一步扰动方向继续运动;若系统运行方向为负($dv < 0$),则 $dp < 0$ 占空比按上一步扰动的相反方向继续运动;当系统在MPP右侧运行时,若系统运行方向为正($dv > 0$),则 $dp < 0$ 占空比按上一步扰动的相反方向继续运动;若系统运行方向为负($dv < 0$),则 $dp > 0$ 占空比按上一步扰动的方向继续运动,从而精准正确地判断出工作点下一步的扰动方向,已达到解决系统误判现象。

本文利用MATLAB 2017a软件平台进行系统仿真,采用BP Solar定制的光伏组件GWin-50W进行建模。标准试验条件下(STC)下的参数如表2所示。使用以下规格boost变换器: $C1=470\text{ }\mu\text{f}$, $C2=47\text{ }\mu\text{f}$, $L=0.1\text{ mH}$, 开关频率和负载电阻= $78\text{ }\Omega$, 采样时间取 0.05 s 。

$$T_{\varepsilon} \cong \frac{-1}{\delta W_n} \times \ln \varepsilon \quad (7)$$

表2 标准试验条件下 (STC) 下的参数

最大功率 P_{mpp}/W	49.8
最大功率点电压 V_{mpp}/V	17.9
最大功率点电流 I_{mpp}/A	2.77
开路电压 V_{OC}/V	22
短路电流 I_{s}/A	3

(下转第103页)

址格式如表3所示。

表3 IPv6协议定义的地址格式

48位	16位	64位
Global ID	Subnet ID	Interface ID

随着物联网技术的兴起和发展,众多学者对IPv6在物联网感知层的应用进行了大量的研究。而运用哈希算法在IPv6的地址生成、地址安全等方面的研究,也取得了丰硕的成果。

泛在电力物联网背景下,将面临物联网设备IP地址不足的问题,IPv6将有机会成为物联网应用的基础网络技术。合理运用IPv6的移动性、快速响应、设备安全和端到端的IP链接能力,才能真正开启泛电力物联网的大门。

在对IPv6地址分配的研究中,一般针对后64位的进行设计和定义,上述基于HMAC-MD5算法的编码方式产生的编码加入了密钥,而融合了带密钥的哈希值生成的IPv6地址,具有更好的抗攻击

能力。基于HMAC-MD5算法的编码与IPv6的融合方式如图2所示。

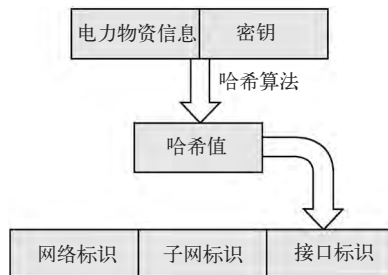


图2 基于HMAC-MD5算法的编码与IPv6的融合方式

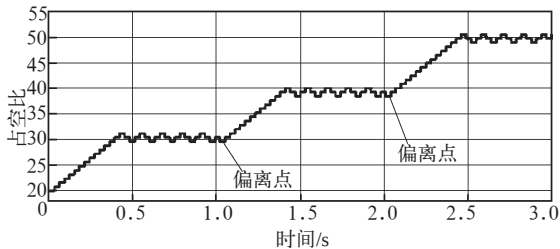
结束语

在国家电网全力推进泛在电力物联网建设的背景下,本文初步研究了一种基于HMAC-MD5算法的全新的电力物资编码方式,并探讨了与IPv6结合的可能性。EA

(收稿日期: 2019.11.07)

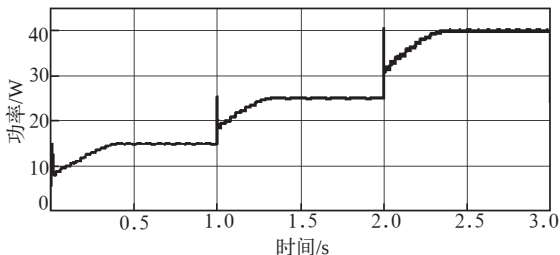
(编辑: 朱金凤)

(上接第88页)

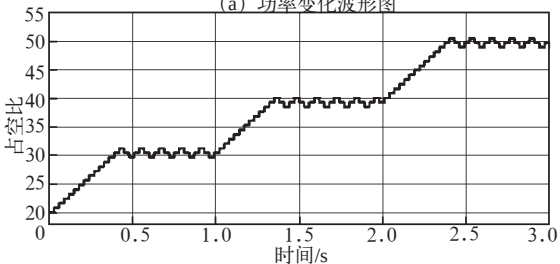


(b) 占空比变化波形图

图6 辐照度扰动下传统算法仿真结果



(a) 功率变化波形图



(b) 占空比变化波形图

图7 辐照度扰动下所提算法仿真结果

对比可以看出,当辐照度从 0.3 kW/m^2 增加到 0.5 kW/m^2 时,传统算法响应时间为 0.39 s ,所提算法响应时间为 0.30 s ,追踪速度提升 23.1% ,光伏阵列的平均输出功率分别为 25.09 W 和 25.1 W 。当辐照度从 0.5 kW/m^2 增加到 0.8 kW/m^2 时,传统算法响应时间为 0.43 s ,本文算法响应时间为 0.35 s ,追踪速度提升 18.6% 。光伏阵列的平均输出功率分别为 40.01 W 和 40.18 W 。综上所述,与传统的电导增量法相比,所提算法在不同的辐照度变化范围内都具有解决误判现象产生的能力,且在不同的辐照度变化范围内追踪速度有不同程度的提升。不仅解决了辐照度变化时所产生的误判现象,还有效地提高了系统的响应速度,减小了追踪过程中的功率损失,提高了系统的输出效率。

结束语

本文提出了一种改进型的电导增量法,采用一种全新解决问题的思考方向,且本文所提算法的控制系统结构相比于目前国内外所采用模块化方式更加简单、稳定,且能够准确地响应和追踪MPP,提高了系统的稳定性,以避免在辐照度改变时系统会产生误判现象。EA

(收稿日期: 2020.04.02)

(编辑: 朱金凤)