

一种新颖的变步长光伏系统 MPPT 控制方法

李雅梅, 蔡 军

(辽宁工程技术大学 电气与控制工程学院, 辽宁 葫芦岛 125105)

摘要: 太阳能光伏阵列的输出功率随外界环境因素的变化而变化, 为了能高效地利用太阳能电池, 需对光伏阵列进行最大功率点跟踪 (简称 MPPT); 针对定步长电导增量控制法存在的缺点, 提出一种新颖的变步长电导增量法; 该方法通过瞬时功率相对电流的变化值确定 MPPT 步长大小, 使光伏系统 MPPT 快速准确且无震荡; 经 Matlab 仿真及实验证明: 该方法能快速准确地跟踪外部环境变化, 并能保证系统的稳定性。

关键词: 最大功率点跟踪; 光伏发电系统; 电导增量法

A Novel Variable Step-size Controlling Method Used in Maximum Power Point Tracking of PV Power System

Li Yamei, Cai Jun

(Liaoning Technical University, Faculty of Electrica and Control Engineering, Huludao 125105, China)

Abstract: The maximum power point tracking (MPPT) technique is important for solar photovoltaic systems. For the drawbacks of fixed step-size incremental conductance controlling method, a novel variable step size incremental conductance method is proposed. A way that the step size of MPPT is determined by instantaneous power on the current rate of change can make the PV power system fast, exact and non-oscillatory. Matlab simulation results show that: this method can track the maximum power point fast and exactly, and ensure the steady state characteristics of PV systems.

Key words: maximum power point tracking; solar photovoltaic systems; incremental conductance method

0 引言

近年来, 随着人类对环境问题的日益关注以及能源危机的日益突出, 世界各国纷纷将太阳能、风能等可再生能源的利用作为新能源发展战略, 各种太阳能产品不断被开发和研究^[1], 特别是以太阳能光伏发电为核心的新能源产业得到了快速发展。但光伏电池造价高转换效率低, 为了最大限度地利用太阳能发电, 采用最大功率点跟踪 (maximum power point tracking, MPPT) 技术, 控制太阳能电池一直工作在最大功率输出状态。此处提出一种新颖的可变步长电导增量法, 该方法通过瞬时功率相对于电流变化值确定 MPPT 步长大小, 使光伏系统 MPPT 快速准确且无震荡。在 Matlab 中与定步长电导增量法进行了对比仿真实验, 结果表明: 该方法可以更加快速准确地跟踪外部环境变化, 并能保证系统稳定性, 提高对光伏电池的利用率。

1 光伏电池特性

光伏电池是利用半导体材料的光伏效应制成的, 能直接将太阳能转换成电能。因此, 可以假设太阳能板经光照射后, 自己产生一个独立电流源供给负载。光伏电池等效电路如图 1 所示, 根据电子学理论, 可得光伏电池的等效数学模型^[2]:

$$I = I_{ph} - I_o \left\{ \exp\left[\frac{q(U + R_s I)}{nkT}\right] - 1 \right\} - \frac{U + R_s I}{R_{sh}} \quad (1)$$

式中, I 为光伏电池输出电流; U 为光伏电池输出电压; I_o 为二极管反向饱和电流; I_{ph} 为光生电流; q 为电子电荷量; R_{sh} 为光伏电池的并联电阻; R_s 为光伏电池的串联电阻; k 为波尔兹曼常数; n 为二极管特性因子。

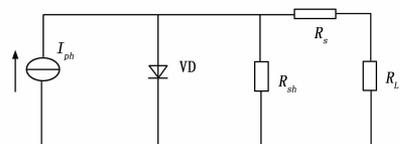


图 1 光伏电池等效电路

图 2 为光伏电池在环境温度为 25 ℃ 时, 不同光照强度下其输出电流、输出电压和输出功率的关系曲线图。易见, 光伏电池输出特性具有明显的非线性特点, 在一定温度和光强下, 光伏电池具有唯一最大功率点。当光伏电池工作在该点时, 能输出当前温度和日照条件下最大功率。由于在实际使用中不能保证负载总是工作在最大功率点上, 需要在负载和光伏电池间加入光伏 MPPT 控制器, 确保光伏电池始终工作在最大功率点, 优化光伏发电系统发电效率, 实现太阳能利用最大化。

2 最大功率跟踪

当太阳能电池接 Boost 变换器时, 考虑 Boost 电路外接电阻为纯电阻的情况, Boost 电路实现阻抗转换的示意图如图 3 所示。假设变换器的变换效率为 100%, 根据 Boost 电路的电路原理, 能量守恒定律, 可得此时 Boost 变换电路等效输入阻

收稿日期: 2013-11-16; 修回日期: 2014-01-28。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51274118); 辽宁省科技攻关项目 (2011229011)。

作者简介: 李雅梅 (1966-), 女, 辽宁阜新, 副教授, 主要从事仪表智能化技术、计算机测控技术及应用方向的研究。

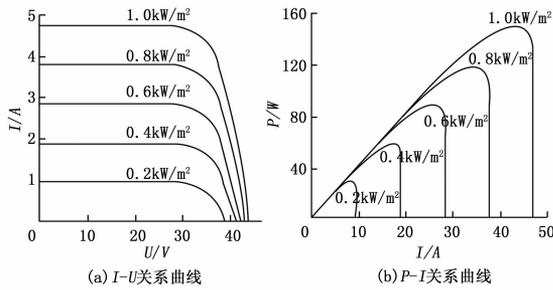


图 2 25℃条件下, 光伏阵列输出特性曲线

抗^[3]为:

$$R_L' = R_L(1 - D)^2 \quad (2)$$

式中, D 为 Boost 电路占空比; R_L 为 Boost 电路外接阻抗; R_L' 为等效电阻。

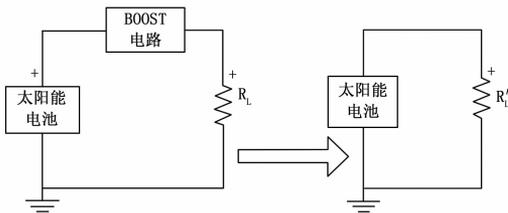


图 3 Boost 电路实现阻抗转换示意图

从式 (2) 可知, 在不考虑 Boost 电路阻抗的时候, 开关占空比越大, Boost 电路输入阻抗就越小。当改变 Boost 电路开关占空比, 使得其等效输入阻抗与光伏输出阻抗相匹配, 则光伏电池将输出最大功率, 这也是利用 Boost 电路实现 MPPT 的理论依据^[4]。

2.1 定步长电导增量法

电导增量法是根据功 P 随输出电压 U 的变化趋势来判断电压 U 变化方向的一种方法, 步长电导增量法的流程图, 图中 Δd 的大小固定, 不能同时兼顾 MPPT 的快速性和稳定性。

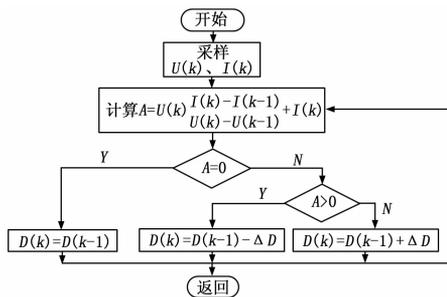


图 4 定步长电导增量法流程图

2.2 变步长电导增量法

本文提出一种新颖的变步长电导增量法。其基本原理为: 通过改变 Boost 电路开关占空比, 使得其等效输入阻抗与光伏输出阻抗相匹配, 进而使光伏电池输出最大功率。并且占空比步长可变。而且占空比跟踪步长可变, 其中变步长的系数取自 dP/dI 的绝对值; 当工作点远离 MPP 时, 加大步长, 加快跟踪速度; 当工作点在 MPP 附近时, 自动减小步长, 以减小小波动导致的功率损失。

首先, 对 $P = UI$ 求全导数并对两边同时除以 dI 可得

$$\frac{dP}{dI} = U + I \frac{dP}{dI} = I \left(\frac{U}{I} + \frac{dP}{dI} \right) \quad (4)$$

在离散控制下, 将 dU 和 dI 分别采用 $\Delta U = U(k) - U(k-1)$ 和 $\Delta I = I(k) - I(k-1)$ 取代。其中: $U(k)$ 和 $I(k)$ 为光伏电池电压和电感的采样值, $U(k-1)$ 和 $I(k-1)$ 为前一次的采样值。根据图 2 (b) MPP 的位置满足条件: $dP/dI = 0$ 并以此判断光伏电池组的实际工作点可得 MPP 的判断条件 ($\Delta I \neq 0$) 如下:

$$\begin{cases} \frac{U}{I} > -\frac{\Delta U}{\Delta I}, \text{MPP 左侧} \\ \frac{U}{I} = -\frac{\Delta U}{\Delta I}, \text{MPP} \\ \frac{U}{I} < -\frac{\Delta U}{\Delta I}, \text{MPP 右侧} \end{cases} \quad (5)$$

并给出变步长电导增量法控制流程图, 如图 5 所示。提出如下变步长大小计算方法:

$$\Delta D = \begin{cases} A \frac{\Delta P}{\Delta I}, \Delta I \neq 0 \\ K \Delta U, \Delta I = 0 \end{cases} \quad (6)$$

其中 K 为与 A 相关的极小正数

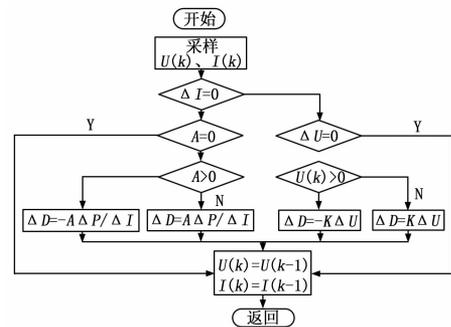


图 5 变步长电导增量法流程图

3 仿真及实验

在 Simulink 创建模型并进行仿真, 采用 ode23tb 算法, 在标准条件 (1 kW/m^2 , $T=25^\circ\text{C}$) 下分别对定步长和新型变步长电导增量法进行仿真实验, 结果见图 6 (a), 定步长算法大约在 0.08 s 才结束暂态, 而变步长方法在大约 0.04 s 结束暂态, 不仅调节速度比定步长方法快, 而且接近稳态时的振荡更小。控制光伏阵列的 $T=25^\circ\text{C}$, 0.02 s 时光照强度 E 由 0.6 kW/m^2 突变至 1 kW/m^2 , 结果见图 6 (b)。

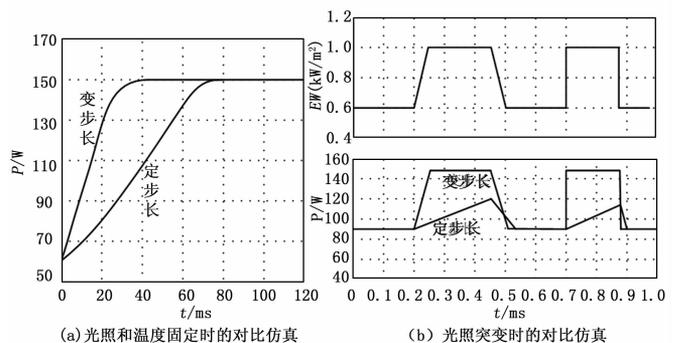


图 6 仿真结果

从图中可以观察到, 当 E 快速变化时, 新型电导增量法能够较快速的跟踪 MPP 的变化, 且系统稳定无震荡。实验结果表明: 新型变步长电导增量法能更加快速准确的实现对光伏系统 MPP 的跟踪。

4 实验

根据图 3 搭建实验电路验证新算法有效性, 选用光伏电池模拟装置太阳能电池, 并在 BOOST 电路输入端并联一个 $360 \mu\text{F}$ 电容以保证太阳能电池能持续供电。系统采用 DSP 芯片 TMS320LF2407A 为 MPPT 控制电路主处理器, 通过改变 BOOST 占空比来实现 MPPT。BOOST 变换器升压电感为 $900 \mu\text{H}$, 滤波电容为 $0.1 \mu\text{F}$ 并联在 BOOST 电路输出端, 光伏电池内阻为 100Ω , $R_L = 150 \Omega$ 。光照强度突变时的实验波形如图 7 所示。

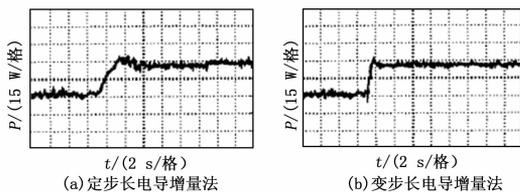


图 7 实验波形

.....

(上接第 1980 页)

表 2 基于 PCA 的识别结果

柔软度	I	II	III	IV	V
正确率	6/6	6/6	6/6	6/6	6/6

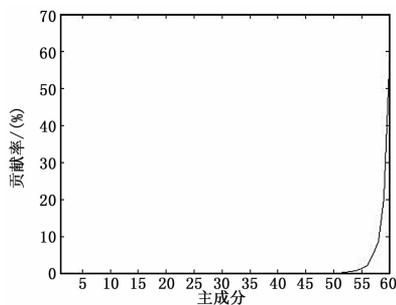


图 5 各主成分的贡献率

虽然 V 类样本受敲击时的瞬间能量有差异, 但是整体能量谱图却相似, 通过 PCA 提取其他特征加以辅助, 5 级柔软度的识别准确率均达到 100%。

4 结论

通过分析纸张声音的差异, 提出基于声音能量的纸张柔软度识别方法, 实现对打印纸 5 级柔软度的识别, 正确率达到 100%。后期研究过程中需要更多的纸张样本进行实验, 提取同级柔软度纸张更多有共性的声音能量特征, 以达到更好的识别效果, 并更好地应用于纸张柔软检测、纸币柔软度清分等

5 结论

此处通过分析光伏电池输出特性 $P-I$ 曲线, 并结合现有电导增量法的研究, 提出了一种新颖的变步长光伏系统 MPPT 控制方法, 并进行了仿真与实验。结果表明: 变步长电导增量法在外界环境突变时能快速跟踪到最大功率点, 并有效地减小了稳态时的振荡, 在实际应用中具有良好的应用背景。如何减小 MPPT 系统体积, 提高 MPPT 系统效率, 将是今后深入研究的方向。

参考文献:

- [1] 田清华, 陈家斌, 张建平. 太阳能热水器自动控制系统的的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2002, 10 (12): 799-800.
- [2] 苏建徽, 余世杰, 赵 为, 等. 硅太阳能电池工程用数学模型 [J]. 太阳能学报, 2001, (4): 409-412.
- [3] 徐鹏飞. 太阳能光伏逆变器的研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [4] 赵 宏, 潘俊民. 基于 Boost 电路的光伏电池最大功率跟踪点跟踪控制系统 [J]. 电力电子技术, 2004, 38 (3): 55-57.
- [5] 朱铭炼, 李臣松, 陈 新, 等. 一种应用于光伏系统 MPPT 的变步长扰动观察法 [J]. 电力电子技术, 2010, 44 (1): 20-22.

领域。

参考文献:

- [1] 陈 洋, 李佩仪. 谈谈生活用纸柔软度的测定 [J]. 造纸科学与技术, 2002, 21 (5): 52-53.
- [2] Tao J S, Yan D B, Liu H B, et al. A study of the relation between the relative bonded area and the fiber flexibility [J]. Journal of Shanxi University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2005, 23 (6): 1-4.
- [3] 袁世炬. 纸张结构、性能与影响因素 [J]. 湖北造纸, 2004, (1): 8-10.
- [4] Teranishi M, Omatu S, Kosaka T. Fatigue level estimation of bill by using supervised SOM based on feature-selected acoustic energy pattern [A]. 2008 8th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS) [C]. 2008: 368-373.
- [5] Teranishi M, Matsui T, Omatu S. Neuro-classification of fatigued bill based on tensional acoustic signal [J]. Soft Computing in Industrial Applications. 2005: 173-177.
- [6] 刘素京. 基于核主成分分析和支持向量机的飞机仓音信号识别 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2009.
- [7] Sheng J L, Zhi H Z, Li L C. Feature extraction method based PCA and KICA [A]. 2010 Second International Conference on Computational Intelligence and Natural Computing (CINC) [C]. 2010, (1): 349-352.
- [8] 李 晖, 曲仕茹. 基于分层梯度方向直方图和 SVM 的人体识别 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (11): 2602-2604.