

基于模糊控制的光伏发电系统 MPPT 设计*

荆红莉 赵 鹏

(榆林学院 榆林 719000)

摘 要: 为了提高光伏发电的效率,分析了光伏发电系统最大功率点跟踪控制的原理,选出了实现最大功率跟踪的硬件电路。针对光伏电池输出的非线性特点,提出了将模糊控制应用于光伏发电的 MPPT 控制中,设计了模糊控制器,并在正常光照及光照强度变化的条件下对模糊算法控制系统和扰动观察算法控制系统进行了仿真实验,得出两种算法控制下系统输出的电压波形。通过对波形的对比分析,进一步证明了模糊 MPPT 控制系统响应快,抗干扰能力强,系统稳定性好。

关键词: 光伏发电;MPPT;模糊控制;MATLAB 仿真

中图分类号: TM615 TN710 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.4034

Design of MPPT in photovoltaic generation
system based on fuzzy control

Jing Hongli Zhao Peng

(Yulin University, Yulin 719000, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of the photovoltaic power generation, this paper analyzed the photovoltaic maximum power point tracking control system principle, choosed the hardware circuit to achieve maximum power tracking. According to the nonlinear characteristics of photovoltaic cells output, fuzzy control is put forward to the application of photovoltaic power generation MPPT(maximum power point tracking) control, the fuzzy controller is designed; and under the condition of the normal illumination and the disturbance of light intensity observed output voltage waveforms of fuzzy system and P&O system by simulation experiment. Through comparison and analysis of waveforms proved that the fuzzy MPPT control system has faster response speed, better stability and stronger anti-jamming ability.

Keywords: PV system;MPPT(maximum power point tracking);fuzzy control;MATLAB simulink

1 引 言

能源和环保是目前人类关注的热点问题。为了缓解能源危机、保护生存环境,人类开始开发利用清洁、环保的可再生能源^[1]。光伏发电是太阳能利用的一种主要形式,其特点是安全、环保、不枯竭。但由于光伏发电效率低、成本高,因此到目前为止没能广泛应用。为了提高光伏发电效率,国内外电光伏专家分别从对光伏阵列最大功率点的跟踪方法及采用高频链逆变器等方面进行深入研究。光伏阵列输出具有非线性特征,使光伏电池输出功率在一定的工况下存在最优点,并且随着光照和温度参数的改变,最优工作点也会随着改变。为了能一直获得最大输出功率,光伏发电系统必须进行最大功率点的跟踪(maximum

power point tracking,MPPT)控制。MPPT 控制的设计包括硬件电路设计和 MPPT 算法设计两大部分^[2]。

2 光伏系统 MPPT 原理及实现电路

为了实现最大功率点跟踪控制,光伏发电系统常借助于 DC/DC 变换电路,通过对开关器件占空比 D 的调节进行阻抗匹配,从而使光伏阵列输出最大功率,提高光伏系统的发电效率。常用的 DC/DC 变换电路有升压 Boost 电路、降压 Buck 电路、升降压 Buck-Boost 电路等^[2]。由于 Boost 电路具有输入端电流连续,不需外加储能电容,功率开关一端接地使驱动电路设计简单等优点,所以本设计采用 Boost 电路拓扑结构实现光伏发电系统中的 MPPT 功能。Boost 电路 MPPT 电路如图 1 所示。

收稿日期:2015-07

* 基金项目:榆林学院高层次人才科研启动基金(14KG33)项目

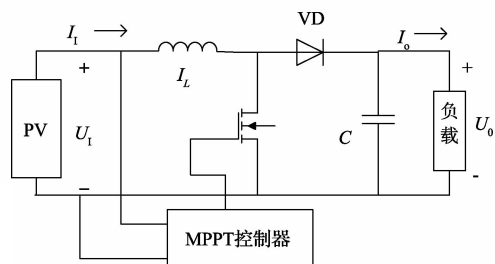


图1 光伏系统 MPPT 控制电路

根据功率平衡可得：

$$U_1 I_1 = \frac{U_o^2}{R_L} \quad (1)$$

U_1 为 Boost 电路输入电压, I_1 为输入电流; U_o 为输出电压, I_o 为负载电流; R_L 为负载电阻。由图 1 知：

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} \quad (2)$$

根据 Boost 电路的输入输出关系：

$$U_o = \frac{U_1}{1-D} \quad (3)$$

D 为开关占空比。由式(1)~(3)可得 Boost 电路的等效输入电阻 R_1 ：

$$R_1 = (1-D)^2 R_L \quad (4)$$

由此可见通过调节占空比 D , 即可改变 Boost 电路的等效输入电阻 R_1 , 如果使其刚好等于光伏电池的等效内阻, 则光伏电池输出最大功率。

3 光伏系统 MPPT 算法

实现最大功率点跟踪的常用典型控制方法为基于检测的扰动观察法、电导增量法和基于参数选择的恒定电压法, 以及神经网络控制算法等^[3]。如表 1 所示为这几种常用方法的对比。通过比较可以看出, 就控制性能来看, 电导增量法和神经网络算法的控制结果振荡小、精度高。但电导增量法对硬件电路要求较高、且存在步长的选择问题; 神经网络算法又需长时间的训练。提出将非线性系统常用的模糊控制应用到光伏发电系统中, 实现 MPPT 功能。模糊控制是基于经验知识的专家控制方式, 适用于模型复杂、模型未知的非线性系统。光伏发电系统中光伏电池的输具有非线性点, 并且受到温度、光照强度、工艺等因素

表 1 常用 MPPT 算法比较

方法	优点	缺点
恒压法	简单、稳定	精度、适应性差
扰动法	算法简单、易实现	有振荡、易误判
电导增量	效果好、稳定性高	算法复杂
神经网络	不需模型、容错性强	算法复杂、需长时间训练
模糊控制	速度快、精度高、适应性强	需历史经验

的影响, 难以用传统的控制方法实现精确控制。因此利用模糊控制不需建立被控对象精确数学模型, 通过模糊语言和专家经验制定模糊控制规则, 实现模拟人工智能控制的优点, 将其应用于光伏发电系统来实现跟踪光伏电池输出的最大功率点^[4]。

4 MPPT 模糊控制器的设计

4.1 输入、输出量的确定

本设计的模糊控制器采用两输入单输出的二维结构模式^[5]。其输入分别为光伏电池输出特性曲线 $P-U$ 上相邻两点之间的功率差 E , 以及两相邻点连线的斜率 dE 。

$$E = P(n) - p(n-1) \quad (5)$$

$$dE = \frac{P(n) - p(n-1)}{U(n) - U(n-1)} \quad (6)$$

式中: $P(n)$ 和 $U(n)$ 分别表示光伏阵列第 n 次采样的输出功率和电压值。输出量为 n 点的占空比增量 dD 。

4.2 输入输出量模糊子集与论域确定

设计将输入功率偏差 E 和偏差斜率 CE 以及输出量 dD 分别分成 5 个模糊子集, 即:

$$E = CE = dD \{NB, NS, ZE, PS, PB\} \quad (7)$$

式中: (NB) 表示负大、(NS) 负小、(ZE) 零、(PS) 正小、(PB) 正大。将输入、输出论域规定为 $-6 \sim 6$ 。实际值的变化不在规定范围内, 可通过量化因子把它们分别划归到模糊论域中^[6]。

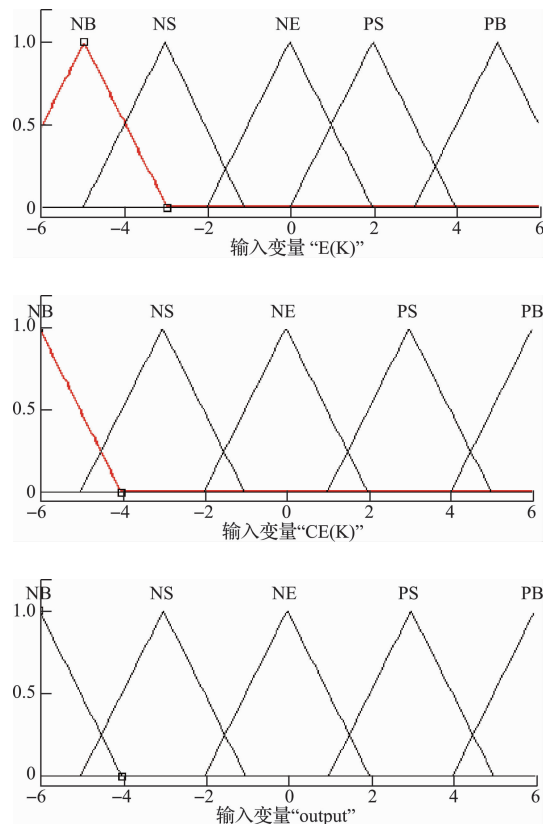


图2 模糊控制下的隶属度函数

4.3 隶属度函数的确定

根据光伏电池的输出特性,考虑到控制的实时性,为提高系统的分辨率,设计选择三角函数作为输入、输出量的隶属度函数。实际的输入、输出值乘以量化因子后根据三角函数的关系将划分到不同的论域内。隶属度函数如图2所示。

4.4 模糊规则

本设计根据功率偏差 E , 偏差斜率 CE 来决定当前输出占空比的增量,通过分析光伏电池输出 $P-U$ 曲线,考虑其他外界因素影响,可以得到 MPPT 控制的规则如下^[7]。

1) 当 $E > 0$ 时,按原改变方向调整输出量,否则按反方向调整。

2) 当 CE 较小时,为减小损耗,选用较小的变化量; CE 较大时,为提高跟踪速度,选较大变化量。

根据以上规则得到模糊规则推理如表2所示。

表2 模糊规则推理

CE	E				
	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NB	ZE	NB	NB
NS	NB	NS	ZE	NS	NB
ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
PS	PB	PS	ZE	PS	PB
PB	PB	PB	ZE	PB	PB

由模糊规则推理表可知本系统共25条规则,通过模糊推理得到模糊语言下 dD 的权值。

4.5 解模糊法

根据模糊规则推理得到的输出量仍为模糊量,采用重心法进行反模糊化,将其转化为占空比的实际变化量,对 Boost 电路的开关进行控制^[8]。

5 模糊控制 MPPT 仿真、分析

在 MATLAB 环境下建立模糊控制器的仿真模型如图3所示。将其封装后应用在光伏发电系统的前级仿真模型中实现 MPPT 控制,如图4所示。系统的仿真参数如下:光伏电池工作电压 $U_m = 21.7 \text{ V}$, 开路电压 $U_{oc} = 24.2 \text{ V}$, 工作电流 $I_m = 4.5 \text{ A}$, 开路电流 $I_{sc} = 4.8 \text{ A}$ 。电感 $L = 3 \text{ mH}$, 电容 $C = 300 \mu\text{F}$ 。在温度为 25°C , 光照强度为 1000 W/m^2 , 分别采用扰动观察法和模糊控制两种方法得到 Boost 电路的输出电压如图5所示。由于光伏电池输出电压受温度影响较小,所以在温度不变的情况下改变光照强度,在 0.1 s 光照强度从 1000 W/m^2 变为 400 W/m^2 , 0.2 s 变为 600 W/m^2 , 0.3 s 变为 1000 W/m^2 。图6为在扰动观察和模糊控制算法下得到的 Boost 的输出电压波形。通过图5和图6的比较可以看出,模糊控制下系统在 0.015 s 达到稳定,而扰动观察控制下系统达到稳定需要 0.02 s ;在光照强度变化时,模糊控制系统稳定仅需 0.02 ,扰动观察系统要达到稳定最大需 0.1 s 。通过仿真波形可以看出模糊控制下系统的稳定性更好、抗干扰能力更强。

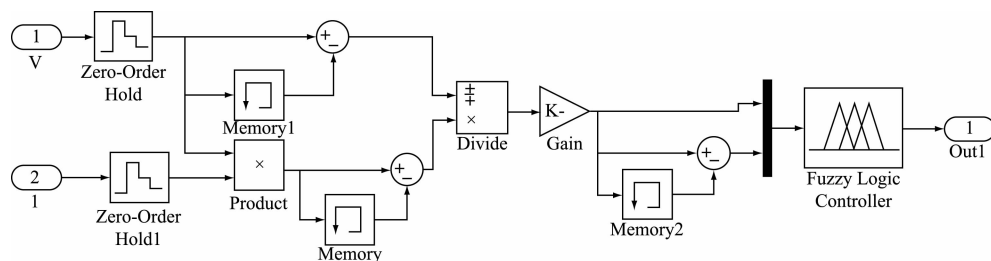


图3 模糊控制器仿真模型

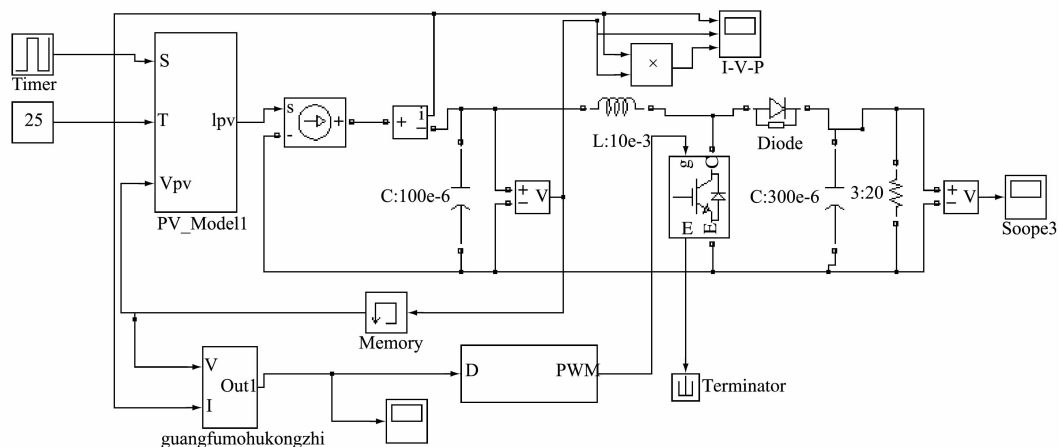


图4 光伏系统 MPPT 仿真模型

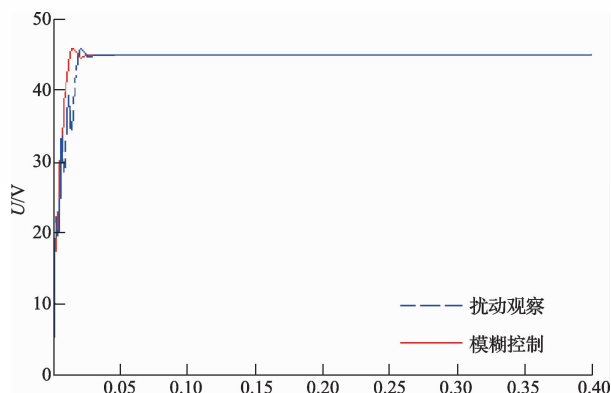


图5 $S=1\,000\text{ W/m}^2$ 两种 MPPT 方法 Boost 电路输出电压对比曲线

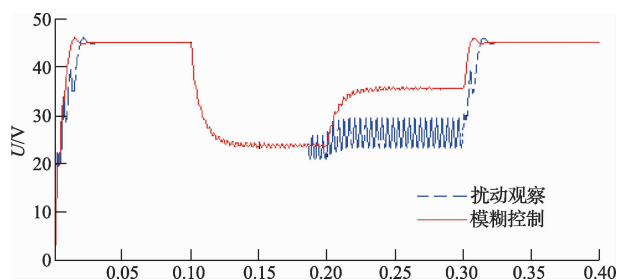


图6 光照强度变化时,两种 MPPT 方法 Boost 电路输出电压对比曲线

6 结 论

针对光伏发电系统的最大功率跟踪问题,提出了将模糊控制策略应用于光伏发电系统,设计了 MPPT 模糊控制器^[9]。在 MATLAB 环境下建立了系统仿真模型,并在光照强度稳定和突变两种情况下对系统进行了仿真实验。通过比较模糊控制和常用的扰动观察控制下系统的输出电压波形,证明了用模糊控制实现光伏发电系统的 MPPT 功能,系统的响应速度更快,动态、稳态性能更好^[10]。

参 考 文 献

- [1] 李慧慧. 基于模糊控制的光伏系统最大功率点跟踪研究[D]. 太原:太原科技大学,2010.
- [2] 李绍武,张昌华. 光伏发电系统的一种模糊 MPPT 控制方法[J]. 湖北民族学院学报,2014,32(3):318-321.
- [3] 徐锋. 一种基于模糊控制的光伏发电系统的 MPPT 控制[J]. 电源技术,2014,138(1):92-96.
- [4] 王云飞,尹忠东,申燕飞. 基于模糊控制的 MPPT 在光伏并网发电系统中的应用[J]. 现代电力,2011,28(4):54-58.
- [5] 徐鹏威,刘飞,刘邦银,等. 几种光伏系统 MPPT 方法的分析比较及改进[J]. 电力电子技术,2007,41(5):3-5.
- [6] 马小平. 光伏发电系统控制优化及实验研究[D]. 北京:北京交通大学,2014.
- [7] 姚绪梁,佟为明,尹国慧,等. 无位置传感器直流无刷电动机自整定模糊控制系统研究[J]. 仪器仪表学报,2009,30(1):187-192.
- [8] 杜新杰,祝连庆,姜小平,等. 基于模糊 PID 的酶免分析仪加样臂运动控制[J]. 电子测量与仪器仪表学报,2014,28(3):327-332.
- [9] 邱爱中,邱大为,郝华辉. LCL 滤波光伏并网逆变器控制策略[J]. 国外电子测量技术,2013,32(11):38-40.
- [10] 李安定. 太阳能光伏发电系统工程[M]. 北京:北京工业大学出版社,2001.

作 者 简 介

荆红莉,1976 年出生,硕士。主要研究方向为电力电子与拖动。

E-mail:2459878792@qq.com