

基于模糊 PID 控制的光伏并网发电系统设计

范晓聪, 方建安*

(东华大学 信息科学与技术学院, 上海 201620)

摘要:随着全球能源危机的日益加剧以及光伏并网发电系统成本的不断降低,人们对光伏并网发电系统的关注也越来越多。针对“光伏并网发电系统具有非线性,以及光伏阵列的输出电压一般较低”等问题,在光伏并网发电系统的模型设计时增加一级 DC/DC 变换器,以提高输出电压,利于后级 DC/AC 逆变器的控制。控制策略采用了模糊 PID 控制,并利用 Matlab/Simulink 对模糊 PID 算法和该模型进行了仿真。研究结果表明基于模糊 PID 控制以及增加一级 DC/DC 变换器的光伏并网发电系统的模型是可行的。

关键词:光伏并网发电系统;DC/DC 变换器;模糊 PID 控制

中图分类号:TM46

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2010)09-0104-04

Design of Grid-connected photovoltaic system based on fuzzy-PID control

FAN Xiao-cong, FANG Jian-an

(College of Information Science and Technology, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: With the growing global energy crisis and the lower cost of photovoltaic power systems, more and more attention is paid on it. Aiming at the nonlinear of the PV grid-connected system, and the low value of output voltage, a new model was designed by adding a DC/DC converter to increase the input voltage value of DC/AC inverter, which is be neficial to control of sub sequent-stage DC/AC inverters. Fuzzy-PID control was used to control the DC/DC converter, Matlab/Simulink was used to simulate the model. This results indicate that the model based on the fuzzy-PID control and DC/DC converter is feasible.

Key words: PV grid-connected system; DC/DC converter; fuzzy-PID control

0 引 言

随着全球能源供应的日益紧张,人们对太阳能的利用越来越关注。而 DC-DC 变换器由于其具有成本低、可靠性高、结构简单等诸多优点,被广泛地应用在工业生产中。伴随着 2008 年奥运会以及 2010 年上海世博会的召开,开关电源芯片市场规模预计将超过 54 亿美元,未来发展前景可观。结合 DC/DC 和 DC/AC 的两级式光伏发电系统也越来越受到重视^[1]。同时,由于光伏并网系统亦是一个非线性系统,对控制策略的研究也更加值得关注。

本研究先对 DC/DC 变换器进行建模,然后设计相应模糊 PID 控制策略,并用 Matlab 仿真验证模糊 PID 算法的可行性。最后给出基于 DC/DC 变换器和模糊

PID 控制的光伏并网发电系统的模型,并用 Simulink 仿真验证模型是可行的。

1 DC/DC 变换器的建模

DC/DC 变换器是一个典型的强非线性系统,可分为 Buck 降压电路、Boost 升压电路、Buck-Boost 升-降压电路以及 Cuk 升-降压电路等^[2]。Buck 降压电路和 Boost 升压电路分别如图 1、图 2 所示。

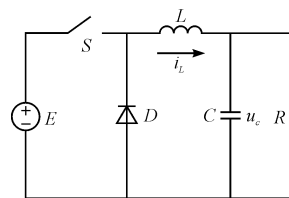


图 1 Buck 降压电路

收稿日期:2010-05-19

作者简介:范晓聪(1988-),女,浙江台州人,硕士研究生,主要从事电力电子、系统建模以及控制理论方面的研究. E-mail: Fanxiaocong88@163.com

通信联系人:方建安,男,教授,博士生导师. E-mail: jafang@dhu.edu.cn

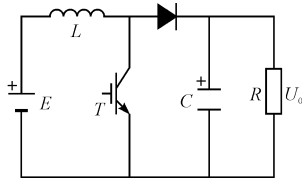


图2 Boost 升压电路

对 DC/DC 变换器的建模方法一般可以分为两类,一类是数字仿真法,用如 PSIM、Matlab 等仿真软件建模;另一类是解析建模仿真法,如状态空间平均法、离散法以及符号法等。本研究采用直接数字仿真法,以 Buck 电路为例的 Matlab 仿真^[3]图如图 3 所示。

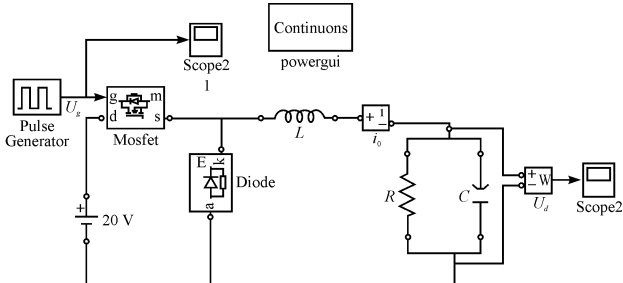


图3 BUCK 电路仿真图

现假定 $U_{in}=20\text{ V}$, $U_o=12\text{ V}$, $f=20\text{ kHz}$, $R=20\text{ }\Omega$, $L=0.24\text{ mH}$, $C=0.26\text{ mF}$,可得到如图 4 所示的 Buck 输出电压曲线图。

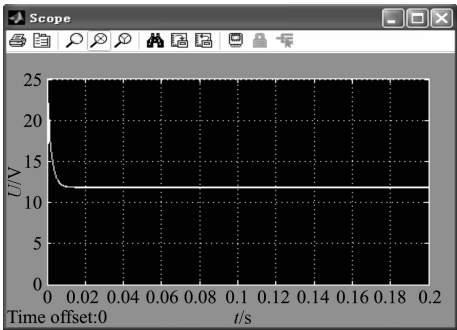


图4 Buck 输出电压图

图 4 中,Buck 降压电路的输出电压最终稳定在 12 V 左右,但存在着一定的超调现象。

2 模糊 PID 设计

由于 DC/DC 变换器本身具有非线性,且线性控制策略(如 PID 控制)仅能保证工作点附近的局部稳定,难以获得比较理想的动态性能,本研究设计了一模糊 PID 控制器来实现 DC/DC 变换器的控制策略。一种基于模糊 PID 控制算法的 DC/DC 变换器结构框图^[4]如图 5 所示(图中 e 为变换器的实际输出电压与理想输出电压的偏差, ec 为其变换量, u 是提供给 PWM 发生器的脉冲信号宽度;在设计模糊控制器时,将 e 和 ec

作为系统输入, u 作为控制器的输出)。

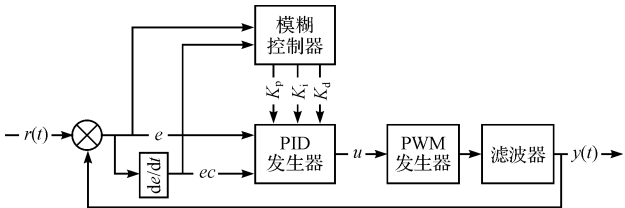


图5 基于模糊 PID 控制算法的 DC/DC 变换器

模糊控制系统的输入量是电压的偏差 e 和偏差变化率 ec ,输出量为 PID 参数的修正量 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 。把在论域内变化的变量分成 7 个等级,每个等级作为一个模糊变量,对应一个模糊子集或隶属度函数,即:正大(PB)、正中(PM)、正小(PS)、零(Z)、负小(NS)、负中(NM)和负大(NB)。模糊控制规则如表 1、表 2、表 3 所示^[5]。

表 1 ΔK_p 规则表

	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	Z	Z
NM	PB	PB	PM	PS	PS	Z	NM
NS	PM	PM	PM	PZ	Z	NS	NS
Z	PM	PM	PS	Z	NS	NM	NM
PS	PS	PS	Z	NB	NS	NM	NB
PM	PS	Z	NB	NS	NM	NB	NB
PB	Z	Z	NM	NM	NM	NB	NB

表 2 ΔK_i 规则表

	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	Z	Z
NM	NB	NB	NM	NS	NS	Z	Z
NS	NB	NM	NS	NS	Z	PS	PS
Z	NM	NM	NS	Z	PS	PM	PM
PS	NM	NS	Z	PS	PS	PM	PB
PM	Z	Z	PS	PS	PM	PB	PB
PB	Z	Z	PS	PM	PM	PB	PB

表 3 ΔK_d 规则表

	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NE	Z
NS	Z	NS	NM	NM	NS	NS	Z
Z	Z	NS	NS	NS	NS	NS	Z
PS	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
PM	PB	PS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

根据模糊控制规则得到 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 的曲面图形如图 6 ~ 图 8 所示。

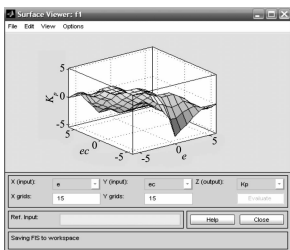


图 6 ΔK_p 曲面图

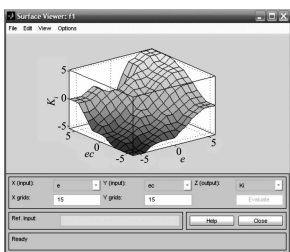


图 7 ΔK_i 曲面图

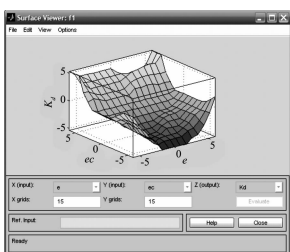


图 8 ΔK_d 曲面图

采样 Buck 降压电路的输出电压,经过模糊控制器对 PID 参数进行整定,并通过 PWM 控制 Buck 电路中的 MOSFET 开关管。模糊 PID 控制和传统 PID 控制的响应曲线对比图如图 9 所示(其中实线为模糊 PID,虚线为传统 PID 控制)。

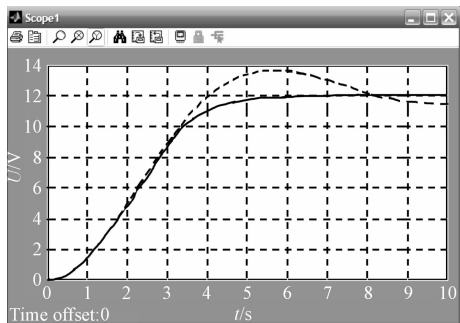


图 9 模糊 PID 和 PID 控制响应曲线对比

从图中可以看到传统 PID 控制的响应曲线仍存在超调现象,系统稳定速度也较慢。相比之下,模糊 PID 控制的响应曲线具有超调量小、稳定性好以及动态响应等优势,便于控制非线性系统。

3 光伏并网发电系统设计

在环境污染能源枯竭日益严重的今天,光伏发电越来越得到人们的重视,同时也将成为世界各国竞相发展的热点。其中,光伏并网发电系统^[6]将是光伏发电应用的发展趋势。

光伏并网发电系统是一非线性系统,在设计过程中,MPPT^[7]、孤岛效应等问题一直是研究的重点,其中 MPPT 问题可采用扰动观测法或电导增量法来实现,分别如图 10 和图 11 所示。本研究将模糊 PID 控制策略运用到光伏并网发电系统中,并结合 Boost 升压电路,利用上述的模糊推理设计控制策略,构成两级式并网发电系统。两级式 PV 并网系统总体结构框图和主电路图分别如图 12、图 13 所示。

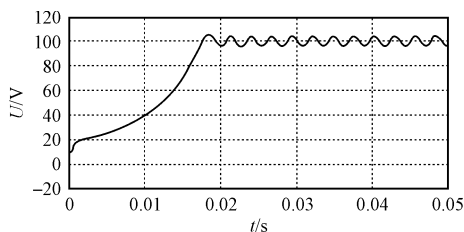


图 10 扰动观测法

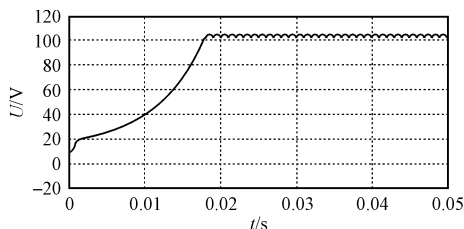


图 11 电导增量法

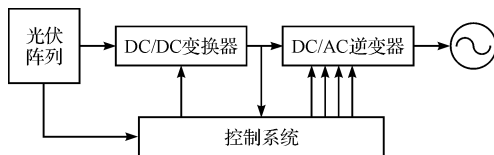


图 12 两级式 PV 并网系统结构框图

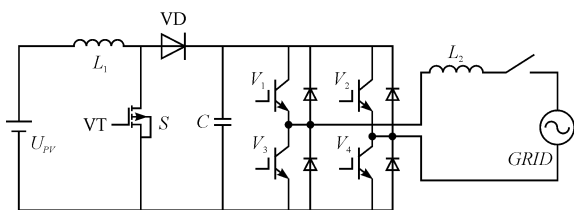


图 13 两级式 PV 并网系统主电路图

从图中可以看出,两种方法都能及时、准确地跟踪光伏阵列的最大功率点电压。但扰动观测法相对而言波动较大,在 MPPT 跟踪过程中会有部分功率的损失。因此,电导增量法能更好地实现 MPPT 的跟踪。

利用 Matlab/Simulink^[8]对上述建立的光伏并网发电系统的模型进行仿真,基于模糊PID控制的Boost输出电压响应曲线图如图14所示,0.1 s前和0.2 s前的光伏并网发电系统的输出电压曲线图如图15、图16所示。

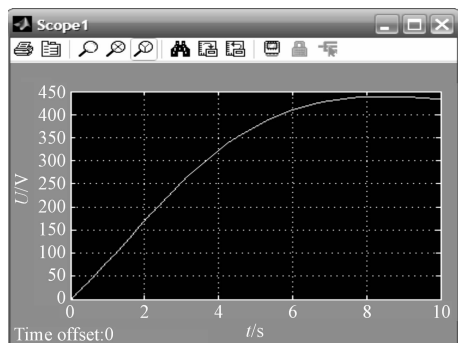


图14 模糊PID控制输出电压响应曲线

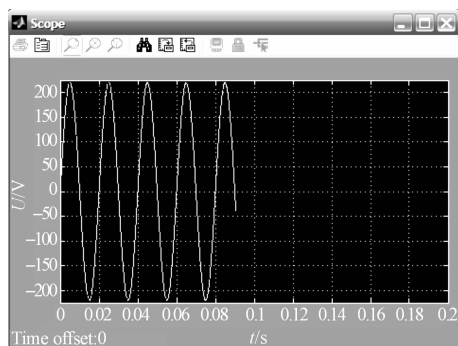


图15 0.1 s前PV发电系统的输出电压

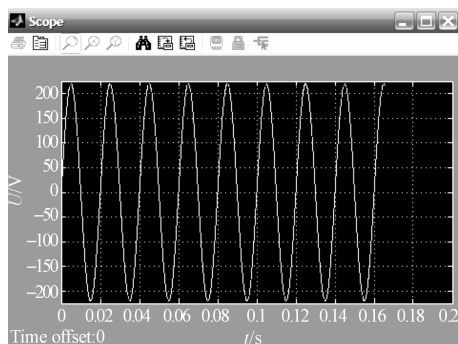


图16 0.2 s前PV发电系统的输出电压

从图中可以看出,系统的输出电压为交流220 V左右,频率为50 Hz,符合本国对交流电使用的情况,且系统稳定性好,验证了此模型的可行性。

随着DSP技术的日趋完善和进步,针对光伏并网发电系统,可以利用TMS320LF2407A^[9]对控制系统进行数字化设计,以更好地实时修改参数,对过压、欠压、超温以及孤岛等故障进行处理,如图17所示。

从光伏并网系统的输出采样电压电流信号给DSP^[10],设计相应的控制算法,结合PWM馈送回主电路中,实现整个系统的数字化控制。

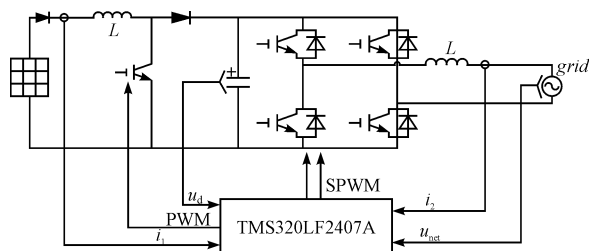


图17 基于DSP的光伏系统结构图

4 结束语

利用模糊PID控制算法来设计DC/DC变换器,相较于常规的PID控制,具有更好的动态性能和稳定性,且易于对参数进行非线性整定。而作为DC/DC变换器的一个应用,将其与模糊PID运用到光伏并网发电系统中,具有一定的可行性。

伴随着科技的不断进步,DC/DC变换器本身也在不断地发生变化,如最近德州仪器(TI)宣布推出两款适用于便携式电子应用的高效2 A降压DC/DC转换器。与此同时,随着DSP技术的日趋成熟与完善,这将为更好地为研究DC/DC变换器及其应用带来便利。

参考文献(References):

- [1] BOSE B K. Energy, environment, and advances in power electronics [J]. *IEEE Trans. Power Electron*, 2000, 15 (4): 688 - 701.
- [2] 林渭勋. 现代电力电子电路[M]. 1版. 杭州:浙江大学出版社, 2002.
- [3] 郑阿奇. MATLAB实用教程[M]. 2版. 北京:电子工业出版社, 2007.
- [4] AHMED R, CHOUKHA M F. Design and Analysis of Fuzzy Controllers for DC-DC Converter [C]//Proceedings of IEEE International Symposium on Control, Communications and Signal Processing. Hammamet: [s. n.], 2004: 479 - 482.
- [5] 刘 栩, 冀捐灶, 牛 刚, 等. 基于预测模糊PID控制的航空DC/DC变换器设计[J]. *电测与仪表*, 2009, 46(7): 66 - 69.
- [6] WAI Rong-jong, WANG Wen-hung. Grid-connected photovoltaic generation system [J]. *IEEE Trans. Circuits and Systems*, 2008, 55(4): 953 - 964.
- [7] JAIN S, AGARWAL V. A single-stage grid connected inverter topology for solar PV systems with maximum power point tracking [J]. *IEEE Trans. Power Electron*, 2007, 22 (9): 1928 - 1940.
- [8] 张宝生, 王念春. Matlab在电力电子教学中的应用[J]. *电气电子*, 2004, 26(3): 102 - 104.
- [9] 张毅刚, 赵光权, 孙 宁, 等. TMS320LF240X系列DSP原理、开发与应用[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2006.
- [10] 李海森, 李思纯, 周 天. 高速DSP原理、应用与实验教程[M]. 1版. 北京:清华大学出版社, 2009.

[编辑:李 辉]