

基于功率前馈的单相光伏并网控制策略

姜世公,王 卫,王盼宝,刘桂花

(哈尔滨工业大学 电气工程及自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 根据单相光伏并网逆变器的特点,针对两级式拓扑结构,对传统的双环控制方式(电压外环、电流内环)进行了详细分析,在此基础上提出一种基于输入功率前馈环节的新型光伏并网逆变器控制算法。该算法将光伏板输出功率作为前馈量加入到电流内环,使电流环给定含有输入功率信息。通过分析,该算法能有效提高传统控制方式输出电流对输入功率发生变化时的响应速度,使系统的动态响应性能更加优越。通过 Matlab/Simulink 对所设计算法进行了仿真分析,并给出有/无功率前馈环节输出电流对输入功率变化响应的对比,结果显示了该算法的有效性。同时设计 1 kW 试验样机,试验结果表明样机的动态响应特性也有明显的提高,进而证明了理论分析的正确性。

关键词: 并网逆变器; 两级式拓扑; 双环控制; 功率前馈; 电流环; 动态响应

中图分类号: TM 615

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2010)06-0016-04

1 单相光伏并网发电系统

光伏并网发电系统的核心是并网逆变器,其主要功能是将光伏电池发出的直流电转化为和电网电压同频、同相的交流电,使其向负载供电的同时又向电网馈送能量^[1-2]。

1.1 单相光伏并网发电系统主电路拓扑结构

当前常规的光伏并网发电系统拓扑结构主要有集中式结构和串联式结构^[3-7]。图1为现今工业应用中单相光伏并网发电系统主电路的典型拓扑结构,其主要由DC/DC和DC/AC两级能量变换组成,前级DC/DC(Boost)部分完成升压及最大功率点跟踪(MPPT)功能,以获取光伏板最大的输出能量并且保证后级逆变电路能够正常工作。DC/AC全桥逆变器完成逆变功能,输出与电网电压同频、同相的正弦并网电流,保证系统单位功率因数运行。

由于 DC/DC 变换环节和 DC/AC 逆变环节具有独立的控制目标和手段,2 部分可以分开设计,系

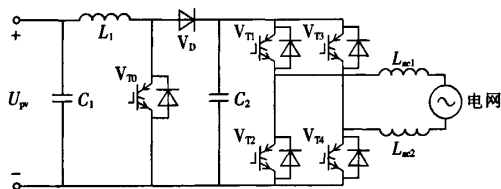


图 1 单相光伏并网发电系统主电路

Fig.1 Main circuit of grid-connected single-phase PV system

统前、后级之间耦合不紧密,因此系统的控制环节比较容易设计和实现;为了保证光伏阵列可以在一个比较宽的输出电压范围内工作,此拓扑单独采用一级具有 MPPT 功能的升压调整单元。同时,升压调整单元的设置可以使逆变环节的输入相对稳定,而且输入的电压较高,这样都有利于提高逆变环节的转换效率^[8]。

1.2 单相并网发电系统控制原理

图 2 为图 1 所示单相光伏并网发电系统的控制结构图,按实现的功能不同,控制结构也分为两大部分。

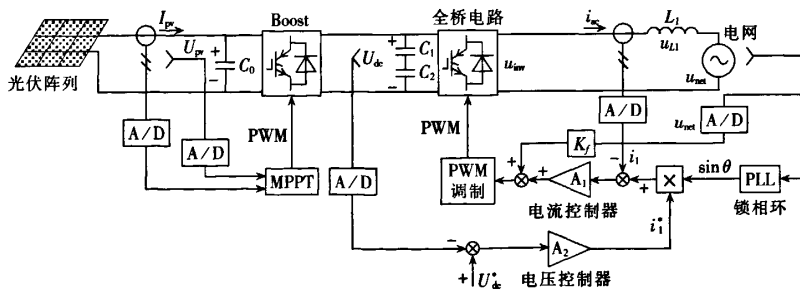


图 2 单相光伏并网发电系统控制结构图

Fig.2 Control structure of grid-connected single-phase PV system

对于 Boost 电路的电压环主要控制光伏阵列输出电压,实现 MPPT。对于逆变环节,包括 2 个环路,电压外环用于稳定直流母线电压,交流并网电流内环实现并网电流的单位功率因数运行。其中,电网电压前馈环节用于消除电网电压扰动对系统的影响。

考虑到光伏电池的功率输出特性;在相同的外界环境条件下,总有一个工作电压对应于最大输出功率。因此,系统通过光伏阵列的电压和电流检测进行 MPPT 算法跟踪最大输出功率对应的电压给定值,通过调节 Boost 电路开关管占空比 D 实现 MPPT。直流母线电压为整个系统的重要参量,其值过低,不满足功率管裕度固有的交、直流变比关系;其值过高,会使功率管过压损坏。因此,直流母线电压闭环控制,使其电压值 U_{dc} 稳定在合理的指令给定值 U_{dc}^* ,正弦指令幅值为直流母线电压闭环的输出量,其正弦量为与电网锁相的单位正弦信号。指令值与实际采样的误差经过调节器后与三角载波比较发生 PWM 信号。

光伏阵列输出电压、电流通过采样后通过 MPPT 算法,其输出作为直流输入电压给定,是 Boost 电路 PWM 开关占空比 D 的函数,由于直流母线电压受控于后级逆变电路,且稳定于某一给定值,所以占空比 D 的变化将会影响直流输入电压,即光伏阵列输出电压 U_{pv} ,式(1)给出了占空比 D 、直流母线电压 U_{dc} 和光伏板输出电压 U_{pv} 的关系^[9]:

$$U_{dc} = U_{pv} / (1 - D) \quad (1)$$

DC/AC 逆变单元是并网逆变器的核心部分,其工作原理是根据控制回路发出 PWM 开关信号控制全桥功率器件的开通和关断,实现将高压直流电逆变成与电网电压同频、同相的单相交流电,并将其平稳并入电网。

光伏并网逆变器,实质上是一个有源逆变系统。就并网系统而言,可以分为电流型和电压型两大类。电流型的特征是直流侧采用电感进行直流储能,从而使直流侧呈现高阻抗的电流源特性。电压型的特征是直流侧采用电容进行直流储能从而使直流侧呈低阻抗的电压源特性。图 1 中采用的是电流控制电压型逆变器(VSI),直流母线给定值和采样值经过比较后,其误差经过 PI 调节器输出与通过锁相环 PLL 获得的电网相位信息相乘作为电流环给定,与输出电流比较后经过 PI 调节器输出与三角波比较得到控制全桥 4 个功率器件的 PWM 波形。

2 带有功率前馈环节的并网电流控制

本文所设计的并网发电系统采用两级式拓扑结构,直流变换环节和逆变环节有各自的控制目标和控制方法。

2.1 DC/DC 变换器控制原理

光伏电池是一种复杂的非线性直流电源,它的输出特性受光照强度、温度、湿度、压强、风速等多方面因素影响,其中光强和温度的影响最大^[10]。由文献

[11]可知光伏电池在不同光强和温度下都存在一个最大功率点,且此功率点对应唯一的光伏电池输出电压,通过调节光伏电池的输出电压使其趋近最大功率点的输出电压,即可实现 MPPT。当光伏阵列工作在最大功率点时,光伏阵列等效内阻等于其负载阻抗,即 MPPT 的实质就是控制逆变系统的等效阻抗与光伏阵列工作在最大功率点时的等效内阻匹配,进而使得光伏阵列输出最大功率^[12-14]。

对于图 2 所示系统而言,Boost 电路占空比 D 的变化可影响整个系统的等效阻抗,所以通过控制占空比 D 使电路工作在最大功率点电压 U_m ,以获得此时光伏板输出的最大功率。当外部环境变化时,最大功率点随之变化,此时要求系统通过 MPPT 算法改变占空比 D ,以求尽快跟踪到光伏阵列的最大功率点电压 U_m ,因此系统输入电压,即光伏阵列输出电压要尽量快地响应占空比 D 的变化^[15-17]。通过分析系统的小信号模型可以得到光伏阵列输出电压 U_{pv} 与 Boost 电路占空比 D 之间的传递函数:

$$G_{U_{pv}D}(s) = \frac{-U_{dc}\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2)$$

$$\omega_n = \frac{1}{\sqrt{LC_0}}, \quad \xi = \frac{1}{2R_{MP}} \sqrt{\frac{L}{C_0}}$$

其中, U_{dc} 为直流母线电压。

相关参数为 Boost 电路升压电感 $L=2$ mH,输入滤波电容 $C_0=100$ μ F,母线电压 $U_{dc}=380$ V,光伏阵列最大功率点等效内阻 $R_{MP}=46.28$ Ω (温度 20℃,光强 $S=800$ W/m²)。图 3 给出了 $G_{U_{pv}D}$ 的波特图。

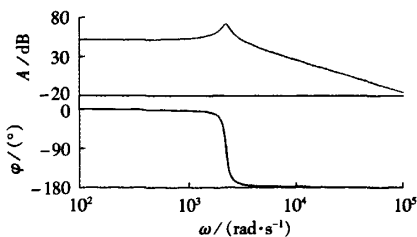


图 3 直流升压环节波特图

Fig.3 Bode chart of Boost stage

2.2 DC/AC 逆变环节控制原理

光伏并网逆变系统交流侧电压矢量关系见图 4。

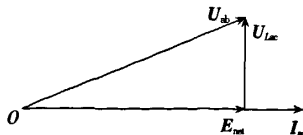


图 4 并网逆变器交流侧矢量关系

Fig.4 Relation of vectors at AC side of grid-connected inverter

图 4 中, E_{net} 为电网电动势矢量, U_{dc} 为交流斩波电压基波矢量, I_c 为交流并网电流矢量, U_{Lc} 为交流侧电感电压矢量。

并网电流为

$$i_{ac} = \frac{dU_{dc} - U_s}{L_{ac}s} \quad (3)$$

其中, d 为正弦调制占空比; U_s 为电网电压。

考虑开关频率足够高, 直流母线电压稳定为 U_{dc} , 此时通过控制正弦调制占空比 d 就可以控制交流侧并网电流, 忽略全桥电路开关管死区时间的非线性影响, SPWM 控制方式下的桥式逆变电路可视为一个惯性环节, 电流环控制结构如图 5 所示。其中, G_{ci} 为内环系统调节器传递函数, T_{PWM} 为系统 PWM 开关周期, L_{ac} 为滤波电感, U_s 为电网电压。

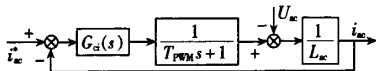


图 5 电流内环控制结构

Fig.5 Control structure of current loop

系统设计 SPWM 载波频率参数为 16.67 kHz, 相应的载波周期为 60 μ s, 交流滤波电感 $L_{ac}=4$ mH。在控制结构中电网电动势为扰动量, 假设利用电网电压前馈环节已消除电网电动势扰动影响的情况下, 电流环的开环传递函数为

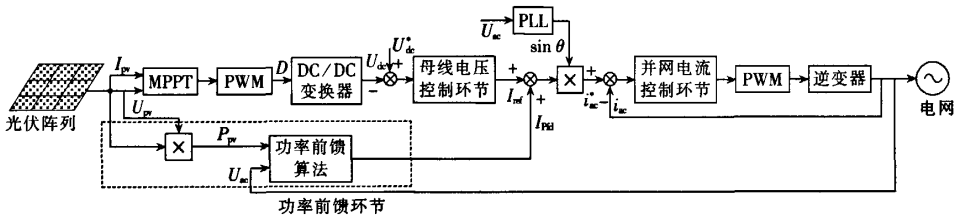


图 7 加入功率前馈环节的控制结构图

Fig.7 Control structure with power feedforward

在图 7 中虚线框内为输入功率前馈环节, 其原理是将输入电压 U_{pv} 和输入电流 I_{pv} 采样后经过计算得到输入功率 P_{pv} 。通过式(5)可以求得对应输入功率为 P_{pv} 时的输出电流峰值 I_{Pfd} :

$$I_{Pfd} = \sqrt{2} P_{pv} / U_{acRMS} \quad (5)$$

其中, U_{acRMS} 为电网电压有效值。

将 I_{Pfd} 作为前馈量与 DC/AC 控制环节电压外环调节器输出量相加后与锁相环 PLL 得到的电网电压相位信息的乘积作为电流内环给定 i_{ac}^* , 如式(6)所示。

$$i_{ac}^* = (I_{Pfd} + I_{ref}) \sin \theta \quad (6)$$

其中, I_{ref} 为电压外环调节器输出量。

由于在传统双环控制结构中, 电压外环响应速度低于内环, 通过本文所设计的功率前馈环节可以建立输入功率和输出电流的直接联系, 当输入功率发生变化的时候, 不需要前级 DC/DC 变换器和电压外环的处理, 直接将输入功率变化信息传递给并网电流控制环节, 提高了整个光伏并网系统对光伏阵列输出功率变化的动态响应性能。

3 仿真及试验结果

为了验证上述控制方法的有效性, 在 Matlab/

$$G_1(s) = \frac{G_{ci}}{(T_{PWM}s + 1)L_{ac}s} \quad (4)$$

图 6 为电流内环开环波特图。

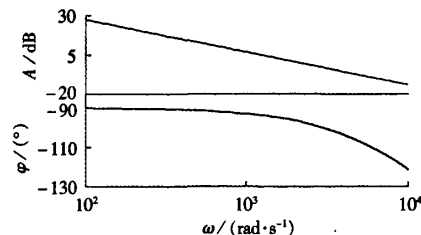


图 6 电流内环开环波特图

Fig.6 Bode chart of current loop

2.3 加入功率前馈环节的并网电流控制

对于光伏并网系统, 当直流侧输入功率变化时, 要求输出电流尽快对其变化做出响应。因此本文在传统双闭环控制的基础上设计了一种控制算法, 使得交流侧输出能够更快地对直流侧输入功率变化做出响应。其控制结构如图 7 所示(图中, D 为 DC/DC 升压环节的占空比)。

Simulink 环境下对图 2 所示电路进行了建模仿真, 图 8 为有功功率前馈环节(上图)和无功率前馈环节(下图)的仿真结果对比(图中 i_1, i_2 分别为有功功率前馈环节和无功率前馈环节的电流, t_1 为有功功率前馈环节调节时间, t_2 为无功率前馈环节稳定时间)。

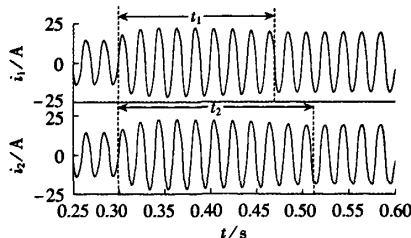


图 8 有功/无功率前馈环节输出电流比较

Fig.8 Comparison of output current between current loops with and without power feedforward

在 0.3 s 时光强增加 50%, 此时系统输入功率增加, 从仿真结果中可以看出有功功率前馈环节时并网输出电流在 0.17 s 后趋于稳定, 而无功率前馈环节时并网输出电流在 0.21 s 后趋于稳定。由此可以证明本文设计的控制算法可以有效地提高输出电流对输入功率的响应速度, 提高整个系统对输入功率变化的动态特性。

根据图1所示的主电路拓扑结构,本文设计了一台1 kW的试验样机,光伏阵列采用6块BP3160串联,输出峰值功率为960 W,当系统工作在最大功率点时输出电压 $U_m=210.6$ V(大气温度20℃,光照强度 $S=800$ W/m²)。逆变器输出电压有效值为220 V,交流侧滤波电感为4 mH,Boost及全桥控制电路的开关频率均为16.6 kHz。试验样机效率可达95.31%,功率因数为0.9854,THD为3.77%,各项指标满足要求。图9为输出功率为945 W时,电网电压 u_g 和并网电流 i_g 波形。

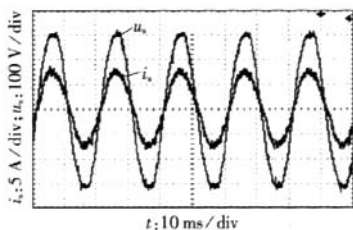
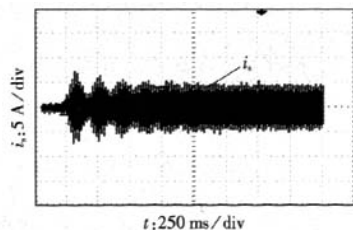


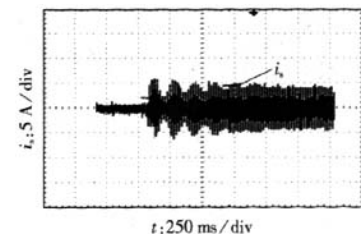
图9 电网电压和并网电流波形

Fig.9 Waveforms of grid voltage and paralleling current

图10中(a)(b)分别为当输入功率变化时,无功功率前馈环节并网逆变器与有功功率前馈环节并网逆变器输出电流波形,可以看出当外部光强突然增加,输入功率由50 W变为480 W时,有功功率前馈环节的并网逆变器输出电流对输入功率变化的响应速度明显快于无功功率前馈环节的并网逆变器。



(a) 无功功率前馈环节并网逆变器输出电流响应波形



(b) 有功功率前馈环节并网逆变器输出电流响应波形

图10 有/无功功率前馈环节输出电流响应波形对比

Fig.10 Comparison of output current responding to input power change between current loops with and without power feedforward

4 结论

本文介绍了两级式单相光伏并网系统拓扑及其控制结构,分别对相互解耦的两级能量变换环节进行了详细分析,在传统并网电流控制方法基础上设

计了一种基于输入功率前馈的并网电流控制算法,并对其原理进行分析和仿真,通过仿真结果可见,所设计的算法可有效地加快输出电流对输入功率变化的响应速度。最后,根据文中提到的拓扑和所设计的控制算法设计了一台1 kW的试验样机,系统各项指标符合设计要求,同时具有良好的动态响应特性。

参考文献:

- [1] 王飞,余世杰,苏建徽,等. 太阳能光伏并网发电系统的研究[J]. 电工技术学报,2005,20(5):72-74.
WANG Fei,YU Shijie,SU Jianhui,et al. Research on photovoltaic grid-connected power system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2005,20(5):72-74.
- [2] 杨水涛,丁新平,钱照明. Z-源逆变器在光伏发电系统中的应用[J]. 中国电机工程学报,2008,28(17):112-118.
YANG Shuitao,DING Xinping,QIAN Zhaoming. Study on Z-source inverter for photovoltaic generation system[J]. Proceedings of the CSEE,2008,28(17):112-118.
- [3] KJAER S B,PEDERSEN J K,BLAABJERG F. A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules[J]. IEEE Transaction on Industry Applications,2005,41(5):1292-1360.
- [4] KJAER S B,BLAABJERG F. Design optimization of a single phase inverter for photovoltaic applications[C]//Power Electronics Specialist Conference,IEEE PESC'03. Acapulco,Mexico:IEEE,2003:1183-1190.
- [5] MEINHARDT M,CRAMER G. Past,present and future of grid connected photovoltaic-system and hybrid-power-systems[C]//IEEE-PES Summer Meeting, Seattle,USA:IEEE,2000:1283-1288.
- [6] MYRZIK J M A,CALAI M. String and module integrated inverters for single-phase grid connected photovoltaic systems - a review[C]//IEEE Bologna PowerTech Conference,Bologna,Italy: IEEE,2003:430-437.
- [7] BOUTOT T,CHANG L. Development of a single-phase inverter for small wind turbines[C]//IEEE Electrical and Computer Engineering Canadian Conference(CCECE98). Waterloo,Canada:IEEE,1998:305-308.
- [8] 张崇巍,张兴. PWM整流器及其控制[M]. 北京:机械工业出版社,2003:17-18.
- [9] 张占松,蔡宣三. 开关电源的原理与设计[M]. 北京:电子工业出版社,2002:19-28.
- [10] MUTOH N,OHNO M,INOUE T. A method for MPPT control while searching for parameters corresponding to weather conditions for PV generation systems[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics,2006,53(4):1155-1165.
- [11] GOW J,MANNING C. Controller arrangement for boost converter systems sourced from solar photovoltaic arrays or other maximum power sources[J]. Proc Inst Elect Eng,2000,147(1):15-20.
- [12] GOW J A,MANNING C D. Development of a model for photovoltaic arrays suitable for use in simulation studies of solar energy conversion systems[C]//Proceedings of the 6th International Conference on Power Electronics and Variable Speed Drives. Nottingham,UK:[s.n.],1996:69-74.
- [13] JAIN S,AGARWAL V. Comparison of the performance of maximum power point tracking schemes applied to single-stage grid-connected photovoltaic systems[J]. IET Electric Power Applications,2007,1(9):753-762.
- [14] FEMIA N,PETRONE G,VITELLI M. Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method[J]. IEEE Transactions on Power Electronics,2005,20(7):963-973.
- [15] HOHM D P,ROPP M E. Comparative study of maximum power point tracking algorithms using an experimental,programmable, maximum power point tracking test bed[C]//IEEE Photovoltaic Specialists Conference. Anchorage,USA:IEEE,2000:1699-1702.

(下转第30页 continued on page 30)

- [J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(6): 100-105.
LI Jing, SONG Jiahua, WANG Weisheng. Modeling and dynamic simulation of variable speed wind turbine with large capacity[J]. Proceeding of the CSEE, 2004, 24(6): 100-105.
- [12] 廖勇, 杨顺昌. 交流励磁发电机励磁控制[J]. 中国电机工程学报, 1998, 18(2): 87-90.
LIAO Yong, YANG Shunchang. The excitation control of alternation current excited generator[J]. Proceedings of the CSEE, 1998, 18(2): 87-90.
- [13] 苑国锋, 柴建云, 李永东. 变速恒频风力发电机组励磁变频器的研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(8): 90-94.
YUAN Guofeng, CHAI Jianyun, LI Yongdong. Study on excitation converter of variable speed constant frequency wind generation system[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(8): 90-94.
- [14] 张崇魏, 张兴. PWM 整流器及其控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [15] 李永东. 交流电机数字控制系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

(责任编辑: 康鲁豫)

作者简介:

曾志勇(1984-), 男, 福建建宁人, 硕士, 主要研究方向为双馈风力发电控制技术(E-mail: austzeng@163.com);
冯 靖(1984-), 女, 安徽淮南人, 硕士, 主要研究方向为抑制谐波与无功补偿;
周宏范(1982-), 男, 安徽合肥人, 助理工程师, 主要研究方向为电力传动控制技术。

MPPT control strategy based on active power reference

ZENG Zhiyong¹, FENG Jing¹, ZHOU Hongfan²

(1. School of Electrical Engineering and Communication, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China; 2. SDIC Xinji Energy Co., Ltd., Huainan 232001, China)

Abstract: Based on the analysis of the relationship between wind-turbine characteristics and DFIG power, the mathematic equation of the stator power and the wind-turbine power is deduced, and the speed-power curve is constructed. With the stator power as the control variable, the automatic maximum power point track is implemented via the power close-loop control based on the power equilibrium. The optimal power, as the stator active power reference, is calculated in real time according to the angle speed variation of DFIG. It is a simple MPPT method without wind speed sensor. In order to control the stator power in real time, the linear decoupling control of rotor current is carried out based on the feedforward algorithm and the vector control technique is applied in the generator power decoupling control. The results of system simulation and experimental research verify its feasibility and reliability.

Key words: wind power generation; VSCF; DFIG; MPPT; vector decoupling control

(上接第 19 页 continued from page 19)

- [16] 禹华军, 潘俊民. 光伏电池输出特性与最大功率跟踪的仿真分析[J]. 计算机仿真, 2005, 22(6): 248-252.
YU Huajun, PAN Junmin. Simulation analysis of output features and the maximum power point tracking of PV cells[J]. Computer Simulation, 2005, 22(6): 248-252.
- [17] SERA D, TEODORESCU R, KNOLL M. Optimized maximum power point tracker for fast-changing environmental conditions[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008, 55(7): 2629-2637.

(责任编辑: 柏英武)

作者简介:

姜世公(1983-), 男, 山东青岛人, 博士研究生, 研究方向为光伏并网发电系统能量变换和控制技术等(E-mail: jiangshigong1@163.com);
王 卫(1963-), 女, 上海人, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为光伏并网发电、电力电子与电力传动、照明电子技术等。

Power-feedforward-based control strategy of grid-connected single-phase PV system

JIANG Shigong, WANG Wei, WANG Panbao, LIU Guihua
(Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: The traditional double-loop control strategy is analyzed according to the characteristics of two-stage grid-connected single-phase PV inverter, based on which a control algorithm with power feedforward is proposed. The output power of PV panels is added to the reference of current close-loop as power feedforward, which improves the dynamic response to the input power changes. Simulations with Matlab/Simulink are carried out and the comparison of output current response to input power change between controls with and without power feedforward verifies its effectiveness. The experimental result of 1 kW PV inverter prototype proves the correctness of theoretical analysis.

This work is supported by the Harbin Scientific Research Innovation Talents Foundation(2008RFXG007).

Key words: grid-connected PV inverter; two-stage topology; double-loop control strategy; power feedforward; current closed-loop; dynamic response

作者: 姜世公, 王卫, 王盼宝, 刘桂花, JIANG Shigong, WANG Wei, WANG Panbao, LIU Guihua
作者单位: 哈尔滨工业大学, 电气工程及自动化学院, 黑龙江, 哈尔滨, 150001
刊名: 电力自动化设备 ISTIC EI PKU
英文刊名: ELECTRIC POWER AUTOMATION EQUIPMENT
年, 卷(期): 2010, 30(6)
被引用次数: 8次

参考文献(17条)

1. 王飞;余世杰;苏建徽 [太阳能光伏并网发电系统的研究](#)[期刊论文]-[电工技术学报](#) 2005(05)
2. 杨水涛;丁新平;钱照明 [Z-源逆变器在光伏发电系统中的应用](#)[期刊论文]-[中国电机工程学报](#) 2008(17)
3. KJAER S B;PEDERSEN J K;BLAABJERG F [A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules](#)[外文期刊] 2005(05)
4. KJAER S B;BLAABJERG F [Design optimization of a single phase inverter for photovoltaic applications](#) 2003
5. MEINHARDT M;CRAMER G [Past, present and future of grid connected photovoltaic-system and hybrid-power-systems](#) 2000
6. MYRZIK J M A;CALAIS M [String and module integrated inverters for single-phase grid connected photovoltaic systems-a review](#) 2003
7. BOUTOT T;CHANG L [Development of a single-phase inverter for small wind turbines](#)[外文会议] 1998
8. 张崇巍;张兴 [PWM整流器及其控制](#) 2003
9. 张占松;蔡宣三 [开关电源的原理与设计](#) 2002
10. MUTOH N;OHNO M;INOUE T [A method for MPPT control while searching for parameters corresponding to weather conditions for PV generation systems](#)[外文期刊] 2006(04)
11. GOW J;MANNING C [Controller arrangement for boost converter systems sourced from solar photovoltaic arrays or other maximum power sources](#) 2000(01)
12. GOW J A;MANNING C D [Development of a model for photovoltaic arrays suitable for use in simulation studies of solar energy conversion systems](#)[外文会议] 1996
13. JAIN S;AGARWAL V [Comparison of the performance of maximum power point tracking schemes applied to single-stage grid-connected photovoltaic systems](#) 2007(09)
14. FEMIA N;PETRONE G;VITELLI M [Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method](#)[外文期刊] 2005(07)
15. HOHM D P;ROPP M E [Comparative study of maximum power point tracking algorithms using an experimental, programmable, maximum power point tracking test bed](#) 2000
16. 禹华军;潘俊民 [光伏电池输出特性与最大功率跟踪的仿真分析](#)[期刊论文]-[计算机仿真](#) 2005(06)
17. SERA D;TEODORESCU R;KNOLL M [Optimized maximum power point tracker for fast-changing environmental conditions](#)[外文期刊] 2008(07)

本文读者也读过(1条)

1. 王飞, 谢磊, 周毅人, 马利明, WANG Fei, XIE Lei, ZHOU Yi-ren, MA Li-min [单相光伏并网逆变器的控制策略研究及](#)

引证文献(8条)

1. 陈骏峰, 詹艳梅, 杨璇, 尹江飞 单相光伏并网逆变器100Hz振荡的分析与抑制[期刊论文]-电力电子技术 2013(5)
2. 廖志凌, 徐东, 崔晓晨, 梅从立, 刘国海 基于无源阻尼改进的并网逆变器电压背景谐波抑制策略[期刊论文]-电测与仪表 2013(1)
3. 张勤进, 刘彦呈, 王川 结合五电平逆变和功率前馈的光伏并网系统[期刊论文]-电力系统及其自动化学报 2012(6)
4. 薛家祥, 张文, 侍威, 林志慧, 梁泳全 一种单相非隔离光伏并网逆变器的控制设计[期刊论文]-低压电器 2013(8)
5. 殷桂梁, 郭磊, 张田田, 程猛 基于自适应陷波器的单相分布式电源并网控制方案的研究[期刊论文]-电力系统保护与控制 2013(13)
6. 彭双剑, 罗安, 荣飞, 吴敬兵, 吕文坤 LCL滤波器的单相光伏并网控制策略[期刊论文]-中国电机工程学报 2011(21)
7. 郭铮, 罗安, 黎燕, 彭双剑 新型光伏逆变器及其前馈功率预测控制[期刊论文]-电力自动化设备 2013(6)
8. 陈建萍, 张文 单相光伏逆变器的并网控制仿真[期刊论文]-赣南师范学院学报 2013(3)

引用本文格式: 姜世公, 王卫, 王盼宝, 刘桂花, JIANG Shigong, WANG Wei, WANG Panbao, LIU Guihua 基于功率前馈的单相光伏并网控制策略[期刊论文]-电力自动化设备 2010(6)