

光伏并网发电试验系统研究

杨清宇¹, 张子光¹, 邢志勳¹, 马训鸣²

(1 西安交通大学 电信学院, 陕西 西安 710049; 2 西安工程大学 机电学院, 陕西 西安 710048)

摘 要: 研究了一种户用两级式光伏并网发电试验系统, 给出了系统的总体实现方案, 设计并实现了试验系统的主要功能模块. 通过本试验系统, 可以实现将太阳光辐照强度和温度用于最大功率点跟踪及并网发电系统与电力调度中心的实时通信, 提高最大功率点跟踪的快速性和准确性, 增强光伏发电的可调度性.

关键词: 光伏并网发电; 最大功率点跟踪; 可调度性

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)01-0127-04

Research on Photovoltaic Grid-Connected Test System

YANG Qing-yu¹, ZHANG Zi-guang¹, XING Zhi-meng¹, MA Xun-ming²

(1 School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2 School of Mechatronics, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

Abstract: A kind of two-stage photovoltaic grid system is researched in this paper. Overall implementation plan and main functional modules to achieve inverter are presented. Solar radiation intensity and temperature can be used in maximum power point tracking (MPPT), grid-connected and real-time communication with the use of the system, which increase MPPT speed and accuracy as well as enhance the schedulability of photovoltaic power generation.

Key words: photovoltaic grid-connected system; MPPT; schedulability

1 引言

目前, 国内外光伏发电得到了快速的发展, 尤其是屋顶光伏并网发电装置具有成本低、不占空间及无污染等优点受到各国政府的关注. 但光伏发电受到太阳光辐照强度、温度等气象因素影响^[1], 输出功率具有强烈的非线性、波动性和不可控性, 光伏发电难于调度使用^[2]. 大容量并网使用会影响电网的安全运行, 造成电力系统备用容量增大, 增加电力系统运行成本. 因此, 如何使光伏发电系统快速准确地跟踪系统的最大功率点、增强系统的可调度性变得尤为重要. 本文研究了一种将太阳光辐照强度等气象因素应用于最大功率点跟踪及实现与电力调度中心实时通信的光伏并网发电试验系统.

2 光伏并网发电试验系统总体结构

试验系统针对户用的两级式三相光伏并网逆变器, 将实时采集的光照强度和温度数据应用于系统的最大功率点跟踪以及将系统运行数据、电能指标及输出功率实时发送给电力调度中心. 本部分重点阐述本试验系统的设计目标与设计功能、原理以及总体方案.

2.1 光伏并网发电试验系统的功能设计

光伏并网发电试验系统的设计目标包括四个方面: 最大功率点跟踪^[3]、交直流逆变控制、并网控制、实时通信及电能质量监测. 实现思路为先设计基本硬件电路, 然后针对设计目标开发相应的软件和功能模块.

(1) 最大功率点跟踪. 主要是通过系统的环境预测模型(使用实时采集的太阳光辐照强度和温度

预测下一时刻的光照强度和温度值)为基于进化计算的最大功率跟踪算法提供先验信息,进一步求出系统最大输出功率时的电压值,通过调整逆变器 Boost 升压电路^[4]开关管控制信号的占空比,使系统工作在最大功率点。

(2) 交直流逆变控制. 主要功能是通过 DC/AC 电路开关管的控制,使逆变器输出电压为标准的正弦波,本设计采用电压空间矢量脉宽调制(Space Vector Pulse Width Module, SVPWM)^[5]方法实现交直流逆变。

(3) 并网控制. 主要功能是结合三相逆变器状态方程,采用无差拍控制策略^[6]实现光伏并网发电系统的输出电流与电网电压同频同相。

(4) 实时通信及电能质量监测. 主要功能是实现系统与电力调度中心的远程实时通信,并计算系统输出电能指标(电压、电流、功率、功率因数及频率等),将系统的各个电能指标发送给电力调度中心以提高户用光伏并网发电的可调度性,电力调度中心将接收到的电能指标作为电力调度的根据,合理安排光伏能源与常规能源的调度计划。

2.2 光伏并网发电试验系统的总体设计

逆变器采用两级式结构,前级 DC/DC 电路采用 Boost 升压电路结构,后级 DC/AC 电路采用三相全桥式逆变结构. 系统采用 LC 低通滤波电路,滤除逆变器输出电流中的高频谐波,并网电路采用继电器实现^[7];控制系统以 FPGA 为核心,包括 FPGA 系统电路、信号检测电路、过零检测电路及通信电路. 图 1 所示为试验系统的体系结构图。

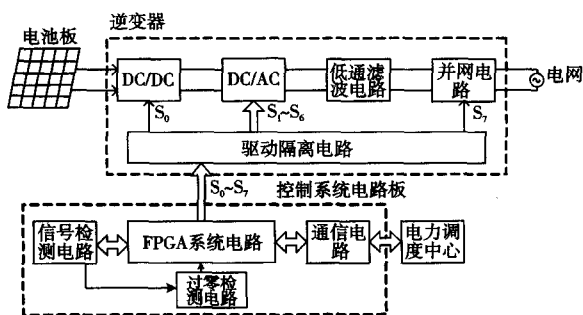


图1 试验平台系统结构图

3 光伏并网发电试验系统硬件设计

试验系统的基本原理如图2所示. 逆变器的DC/DC升压电路将太阳能电池板输出的直流电升至400 V, DC/AC电路将上述稳压直流电逆变为

三相交流电,低通滤波电路滤除高频谐波,并网电路在控制系统的控制下实现自动并网和脱网;太阳光辐照强度、温度、电池板电压、电池板电流、电网电压以及并网电流经过传感器转换为模拟小信号,再经过调理电路转换为AD可接受的电压信号. 将信号检测电路调理后的电网电压信号送至过零检测电路,输出与电网电压同频同相的方波,通过检测该方波信号的上升沿实现并网电流与电网电压同频同相。

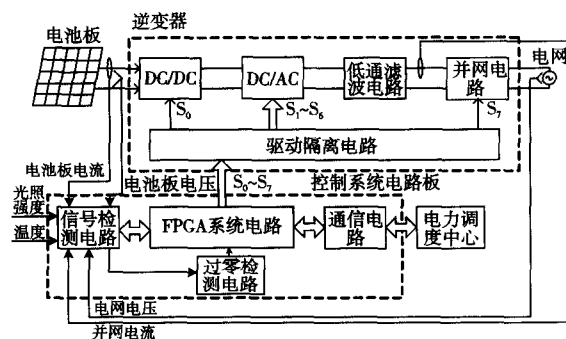


图2 试验系统硬件整体结构

FPGA根据采集的太阳光辐照强度、温度、电池板输出电压电流值,实时动态调整DC/DC升压电路开关管控制信号的占空比,使系统工作在最大功率点处. FPGA将AD转换的结果进行FFT变换和数据处理,实现对各种参数的检测,并将计算结果通过TCP/IP通信电路发送给电力调度中心. 试验系统的硬件从功能上可以划分为逆变器部分和控制系统部分。

3.1 逆变器部分

逆变主电路采用两级式结构^[8]. 其中,Boost电路采用某公司生产的既有模块,其输出效率可高达96%. 逆变电桥采用英飞凌公司生产的FS75R12KT3模块,此模块为6单元IGBT模块,模块接收最大电流75 A,最大电压1 200 V,成本相对较低,可以作为三相逆变主电路开关电桥使用. Boost电路与IGBT模块连接原理图如图3所示。

图3中,Boost电路将一个光伏发电系统的输出电压提升到逆变电路需要的DC直流电电压,并将其波动稳定在合适的电压值附近,IGBT模块起到逆变功能,经由右侧滤波电路后,三相交流电送入电网。

IGBT驱动模块采用富士公司生产厚膜IGBT专用高速驱动器EXB481,EXB841只需外部提供一个+20 V单电源,就能在内部产生一个-5 V反偏

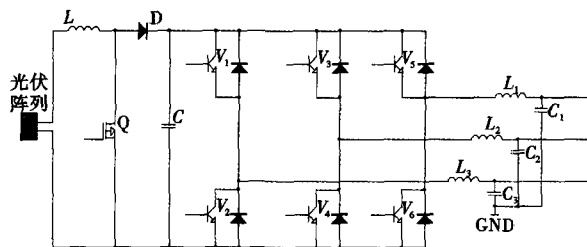


图3 逆变器原理图

压,模块采用高速光藕隔离,射极输出。EXB841还设计有短路保护和慢速关断功能,以提供对器件的保护,已经能满足一般用户的需求。

3.2 控制系统部分

控制系统部分为整个试验系统的主体部分,用于控制逆变器实现最大功率点跟踪、交直流逆变、并网发电及电能指标监测和实时远程通信。控制系统部分包括FPGA系统电路、信号检测电路、过零检测电路和通信电路。

选用Xilinx公司的XC5VLX330TFPGA作为控制系统的主处理器,本芯片运算性能高、程序可部分重配置,内部集成以太网MAC及多个DSP48E单元。FPGA系统电路是FPGA处理器的最小系统,系统采用一片MAX706S-ESA,来实时监测FPGA系统的电压,当系统上电时或复位键按下时,输出复位信号。本设计扩展了64 Mb FLASH和64 Mb SDRAM,采用日历芯片DS1302,FPGA从中读取当前时间,用于标记电能指标。

信号检测电路包括传感器、前端调理电路、模拟开关和模数转换芯片,见图4。前端调理电路选用TI公司的高精度运算放大器TLC2652,将传感器采集的双极性信号转换为单极性信号。选用ADI公司的低阻抗高速导通的模拟开关ADG704实现转换通道的选择,模数转换芯片采用高速、低功耗、六通道同步采样的高性能模数转换芯片ADS8364,FPGA通过控制模拟开关选通信号CS实现对太阳光辐照强度、温度、电池板电压、电池板电流、并网电流及电网电压的同步采样。AD转换完成后EOC管脚输出半个周期的低电平,FPGA检测到该管脚上的下降沿后,从ADS8364的并行输出管脚读取转换结果。

电压电流调理电路如图5所示。通过电压跟随器将传感器输出电压减半,再经过一个加法器将双极性信号转变成单极性信号,以便AD模块的识别利用。电压传感器采用HNV025A霍尔电压传感器,它利用磁补偿原理工作,能检测直流交流电压。

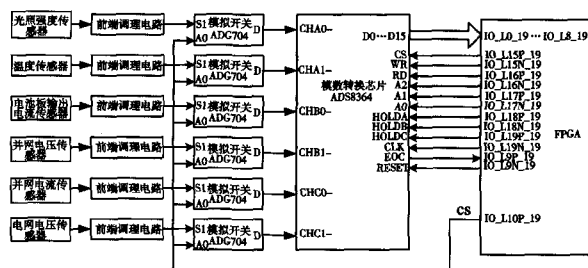


图4 信号检测电路原理图

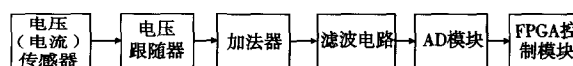


图5 调理电路示意图

它的额定输入电流为 $\pm 10\text{ mA}$,额定输出电流为 $\pm 25\text{ mA}$,电源电压 $\pm 15\text{ V}$,精度为 0.6% ,响应时间小于 $40\text{ }\mu\text{s}$,绝缘电压为 3 kV ,满足系统需求。电流传感器采用HDC-05SY霍尔电流传感器,其工作原理与HNV025A相似,测量直流、交流、脉冲以及各种不规则波形的电流。额定输入电流为 $\pm 100\text{ mA}$,额定输出电流为 $\pm 50\text{ mA}$,电源电压 $\pm 15\text{ V}$,该传感器线性误差在 0.15% 以内,响应时间为 $1\text{ }\mu\text{s}$,交流绝缘电压为 2.5 kV 。

过零检测电路如图6所示。电网电压先经过电压互感器采样,再将采样电压送到过零比较器进行过零检测,得到与电网电压同频同相的方波信号,最后,将该方波信号输出给FPGA,用于实现并网电流对电网电压的相位跟踪;过零比较器采用LM139实现,光耦隔离将模拟电路和数字电路隔离开,避免模拟信号噪声对数字电路造成影响,采用高频光耦隔离器6N137实现,限幅二极管确保输出方波信号不高于 3.3 V 。

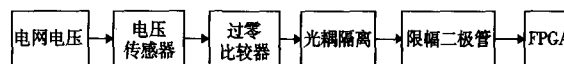


图6 过零检测电路示意图

通信电路选用Marvel公司的商用千兆物理层网络芯片M88E1111,支持10/100兆、1/10吉以太网通信,适用于IEEE 802.3。M88E1111与FPGA和RJ45的硬件连接如图7所示,在Xilinx编程环境中,例化了以太网MAC控制器的IP核,实现将待发送的数据按通讯协议封装后发送给M88E1111和从接收到的数据帧中读出数据,本设计采用8 bit收发数据模式。

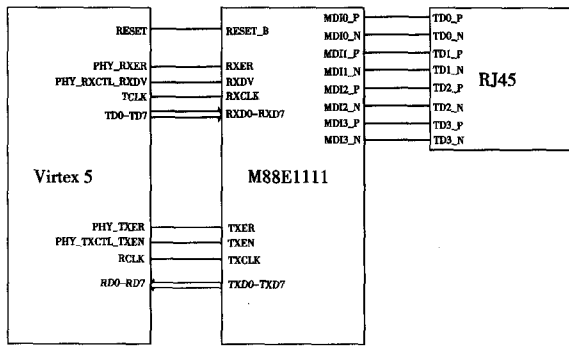


图 7 通信电路原理图

4 结束语

本文设计了可实时远程监测电能质量的光伏并网发电试验系统,完成了系统的总体结构和的主要功能模块的设计。该试验系统将太阳光辐照强度和温度的短期预测模型的预测值作为最大功率点跟踪算法的先验信息,实现对最大功率点的快速准确跟踪;实时计算系统输出电能指标,并实现系统与电能调度中心的远程通信,为电力调度提供参考,增强光伏发电的可调度性;以 FPGA 作为核心控制芯片,可以实现部分程序的重配置,方便不同最大功率点跟踪算法的验证。

本文所设计的试验系统调试和运行情况表明,设计方案合理,实际应用效果良好,保证了系统工作在最大功率点附近,提高了系统的发电效率,减少了电能损耗,增强了光伏发电系统的可调度性,并满足

对光伏发电最大功率点控制技术的研究需要。

参考文献:

- [1] 杨金焕,于化从,葛亮. 太阳能光伏发电应用技术 [M]. 北京:电子工业出版社,2009.
- [2] 卢静,翟海青. 光伏发电功率预测统计方法研究 [J]. 华东电力,2010,(38)4:563-567.
- [3] 何薇薇,杨金明. 太阳能光伏发电最大功率跟踪系统研究 [J]. 电力电子技术,2008,42(8):30-32.
- [4] 王兆安,黄俊. 电力电子技术 [M]. 北京:机械工业出版社,2000.
- [5] 田亚菲,何继爱,黄智武. 电压空间矢量脉宽调制 (SVPWM)算法仿真实现及分析 [J]. 电力系统及其自动化学报,2004,(4):68-71.
- [6] 张超,王章权,将燕君. 无差拍控制在光伏并网发电系统中的应用 [J]. 电力电子技术,2007(41):3-5.
- [7] 董密,罗安. 光伏并网发电系统中逆变器的设计与控制方法 [J]. 电力系统自动化,2006,30(20):97-102.
- [8] 梁雪峰. 5kW 光伏并网逆变器的研究 [D]. 北京:北京交通大学,2008.

作者简介:

杨清宇 男,(1974—),副教授,硕士生导师.研究方向为电力系统控制与诊断、智能控制理论及应用.

张子光 男,(1984—),硕士研究生.研究方向为光伏发电技术.

邢志勤 男,(1985—),硕士研究生.研究方向为嵌入式系统.

马训鸣 男,(1963—),教授,硕士生导师.研究方向为机电控制及自动化.

(上接第 126 页)

- [10] Cheon J H, Jun B. A polynomial time algorithm for the braid Diffie-Hellman conjugacy problem [C]//Proc CRYPTO 2003. Berlin: Springer-Verlag, 2003: 212-225.
- [11] El-Rifai E A, Morton H R. Algorithms for positive braids [J]. Quart J Math Oxford Ser, 1994, 45(2): 479-497.
- [12] Gebhardt V. A new approach to the conjugacy problem in Garside groups [J]. J Algebra, 2005, 292(1): 282-302.
- [13] 左黎明,刘二根,汤鹏志. 一种基于椭圆曲线的代理多重盲签名方案 [J]. 微电子学与计算机,2010,27(9): 69-72.
- [14] 秦艳琳,吴晓平. 对一种代理盲多重签名的分析与改进 [J]. 微电子学与计算机,2010,27(10):37-40.

作者简介:

左黎明 男,(1981—),硕士,讲师,CCF 会员 (E20-0013632M).研究方向为网络信息安全、非线性系统.