100 kW光伏并网逆变器自动检测平台的建设与研究

王康坚[1]，王绥瑜[2]，庞松岭[2]

（1. 海南电网有限责任公司海口供电局，海南 海口 570102；2. 海南电网有限责任公司电力科学研究院，海南 海口 570000）

摘要：根据并网逆变器特性，结合并网逆变器的各检测标准，开展100 kW光伏逆变器自动检测平台的建设与研究，为光伏并网检测提供手段和支撑。介绍了系统结构、工作原理和主要功能，通过远程可控开关柜将直流模拟源、交流模拟源、防孤岛检测装置和变压器等连接在同一个系统，通过电能质量分析仪、功率分析仪和示波器等测试装置对试验项目数据的采集，通过主控机进行系统的数据分析，实现对并网逆变器的全自动检测。检测系统可实现对光伏并网逆变器、光伏离网逆变器和储能并网逆变器等进行性能测试。实际使用表明，该系统能够实现全自动检测，不仅减少了测试时间，而且提高了检测准确度，具备对光伏并网系统进行综合试验检测的能力。

关键词：光伏；并网；离网；逆变器；自动检测

Construction and research of automatic detection platform for 100 kW photovoltaic grid-connected inverter

WANG Kangjian[1], WANG Suiyu[2], PANG Songling[2]

(1. Haikou Power Supply Bureau, Hainan Power Grid Co., Ltd., Haikou 570102, China; 2. Research Institute of Electric Power Science, Hainan Power Grid Co., Ltd., Haikou 570000, China)

Abstract: According to the characteristics of grid-connected inverter, combined with the detection standard of grid-connected inverter, the construction and research of 100 kW photovoltaic inverter automatic detection system are carried out, and means and support for photovoltaic testing are provide. The system structure, operating principle and main functions are introduced, the detection platform connected DC simulation source, AC simulation source, anti-island detection device and transformer in the same system through the remote controllable switch cabinet, the test data are acquired through the power quality analyzer, power analyzer and oscilloscope test device, systematic data analysis are treated by the maincontroller, realized automatic detection of grid-connected inverter. The detection system can realize the test performance of grid-connected photovoltaic (PV) converters, off-grid PV inver tersand energy storage inverters. The practical application shows that the system realize automatic detection, which not only reduced the test time, but also improved the detection accuracy, with comprehensive test detection ability of the grid-connected system.

Key words: photovoltaic; grid-connected; off-grid; inverter; automatic detection

0 引言

近年来我国光伏行业发展迅速，2013年南方电网正式印发了《南方电网公司关于进一步支持光伏等新能源发展的指导意见》，其中着重指出要做好新能源并网的检测工作。鉴于海南建设国际旅游岛的国家发展战略，海南电网发展向更加智能、高效、可靠和绿色的方向转变。到2015年底，海南省已累计建成的光伏发电装机

容量为24万kW，比2014年底20.56万kW增长了16.73%，目前海南光伏发电区域主要分布在东方、洋浦、临高和海口等地。

随着我国新能源发展迅速，并网系统在电网中所占比重越来越大，并网逆变器作为光伏发电系统中重要组成部分，对并网逆变器可靠性与稳定性也提出了更高要求[1-3]。目前，我国光伏并网逆变器检测的有关标准主要依据北京鉴衡认证中心发布的CGC/GF001：2010技术规范[4-5]。但是，国内外并网逆变器检测平台通常在测试过程采用手动进行测试，系统安全性较差；烦琐的接线和拆线造成整个检测周期过长、效率低，并且无法保证试验数据的一致性[6-7]。

针对已有光伏并网逆变器检测平台存在的不足，本文借鉴国内外实验系统的建设经验，构建一个电网拓扑结构先进，控制与操作灵活，可进行系统研究、标准制定、设备检测和系统功能性验证的多功能光伏并网逆变器检测平台。介绍了光伏并网逆变器检测平台的拓扑结构及工作原理，描述了各组成部分的功能，及系统软硬件的实现方法。

1 并网逆变器检测方法及试验项目

1.1 系统测试内容

参考国内外并网逆变器技术规范的相关国家标准、行业标准及企业标准[8-13]，并结合研究性试验需求，确定并网特性检测内容包括两大部分：一是通用技术条件检测、机体构造、效率测试和噪声等；二是并网性能检测，主要包括电能质量、有功/无功控制能力、防孤岛保护性能和电压/频率响应特性等检测。下面主要介绍并网逆变器性能检测项目[8-12]。

1）设备安全检查项目。包括外观及结构检查、防护等级、保护连接、接触电流、冲击耐压验证、固体绝缘的工频耐受电压、局部放电试验、电气间隙及爬电距离、稳定性试验、搬用要求、接线端子要求、灼热丝试验和电热丝引燃试验等。

2）基本功能测试项目。包括额定输入/输出试验、自动开关机、软起动、恢复并网、通信一致性、通信互操作性、通信功能验证、冷却系统、防雷、噪声、温升及有功功率控制试验、电压/无功调节试验、光伏方阵绝缘阻抗检测试验和光伏方阵残余电流检测试验等。

3）功能性能测试项目。包括最大转换效率、MPPT效率、转换效率、谐波和波形畸变、功率因数、三相不平衡度和直流分量等。

4）保护性能测试项目。包括过电压/欠电压保护、过频/欠频保护、极性或相序错误保护、直流输入过载保护、短路保护、防反放电保护、防孤岛效应保护、低电压穿越和操作过电压保护等。

1.2 检测方法与原理

根据系统测试项目，100 kW并网逆变器检测平台能够完成电能质量检测、防孤岛保护特性检测、电压/频率响应特性检测和逆变器效率检测等光伏电站并网性能测试。

（1）电能质量检测

依据GB/Z 19964—2012《光伏电站接入电网技术规定》等标准对分布式电源的要求，对并网逆变器向当地交流负载提供电能和向电网发送的电能质量进行监测，从而检测谐波、电压偏差、电压不平衡度、直流分量、电压波动和闪变等方面是否满足GB/T 14549—1993《电能质量公用电网谐波》、GB/T 12325—2008《电能质量供电电压偏差》、GB/T 12326—2008《电能质量电压波动和闪变》和GB/T 15543—2008《电能质量三相电压不平衡》等国家相关标准。依据上述标准和规定，对此项进行检测时，所需设备有直流模拟源以及电能质量监测装置等。检测电气原理如图1所示。

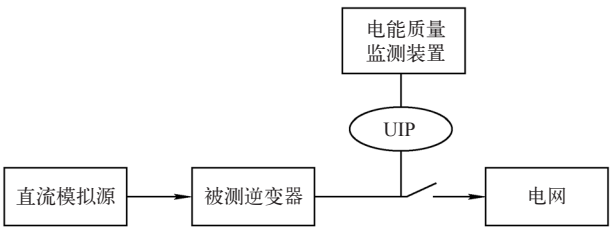

图1 电能质量检测电气原理图

Fig. 1 Schematic of electrical energy quality detection

（2）防孤岛保护特性检测

依据IEC 62116—2008《并网连接式光伏逆变器孤岛防护措施测试方法》，电网要求并网逆变器必须能够检测出孤岛状态，并在规定的时限内与电网断开，防止出现孤岛效应。对于非计划性孤岛，防孤岛效应保护应保证在孤岛发生到并网开关跳开（将逆变器与电网断开）时间不得大于2 s。通过防孤岛保护特性检测，判断逆变器防孤岛效应保护是否满足并网要求。图2为防孤岛保护特性检测原理图。

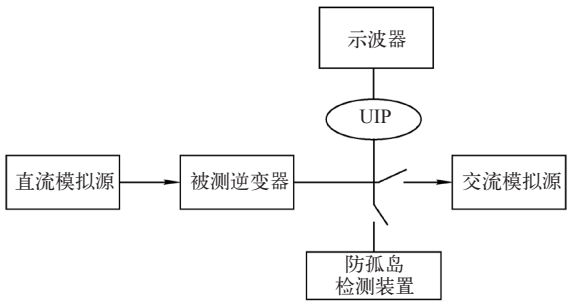

图2　防孤岛保护特性检测原理图

Fig. 2 Schematic of islanding prevention detection

（3）电压/频率响应特性检测

当逆变器并网时，输出电压应与电网相匹配，输出频率应与电网同步，且应具备一定的耐受系统电压、频率异常的能力。依据IEEE 1547《分布式电源与电力系统互连IEEE标准》和UL 1741《用于分布式电网的逆变器、变换器和控制器》等标准，正常运行时，逆变器在并网点处的电压允许偏差应符合GB/T 12325－2008《电能质量供电电压允许偏差》的规定。当逆变器并网点处电压超出规定的电压范围时，应停止向电网线路送电。当逆变器并网点频率超过49.5~50.2 Hz范围时，应在0.2 s内停止向电网线路送电。如果在指定的时间内频率恢复到正常的电网持续运行状态，则无须停止送电。图3为电压/频率响应特性检测原理图。

（4）逆变器效率检测

DC/AC的转换是并网逆变器的一个重要参数，逆变器要在光伏发电系统有效运行，必须进行效率检测。逆变器效率检测受以下参数影响：功率等级、输入电压、输出电压、功率因数、谐

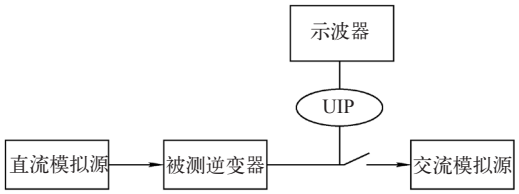

图3　电压/频率响应特性检测原理图

Fig. 3 Schematic of voltage / frequency response characteristic detection

波、非线性负载和温度。依据NB/T 32004—2013《光伏发电专用逆变器技术规范》对并网逆变器进行检测。图4为并网逆变器效率检测原理图。

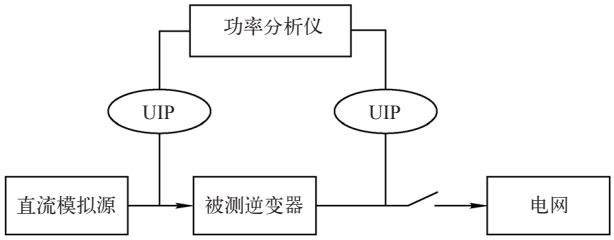

图4　并网逆变器效率检测原理图

Fig. 4 Schematic of utility-interconnected photovoltaic inverters efficiency detection

2　检测平台的设计方案

2.1　检测平台的结构

该检测平台能够完成逆变器转换效率、31次防孤岛试验、过欠电压和过欠频等安全保护试验，以及80次低电压穿越测试、谐波等特性的全自动测量，各检测标准符合国家电网Q/GDW 617—2011《光伏电站接入电网技术规定》和Q/GDW 618—2011《光伏电站接入电网测试规程》。本测试系统方案总体规划如图5所示。

检测平台是通过远程可控开关柜将直流模拟源、交流模拟源、防孤岛检测装置和变压器等连接在同一个系统，进行测试系统开关的统一闭合与断开操作，对应不同的试验项目有不同的系统组合方式，使用者可以快捷地进行不同试验之间的切换操作。

测量系统包括电能质量分析仪、功率分析仪和示波器等装置，为试验项目数据的采集提供数据，通过主控机进行系统的数据分析统一进行处理，同时按照预设的格式出具试验报告，同时可

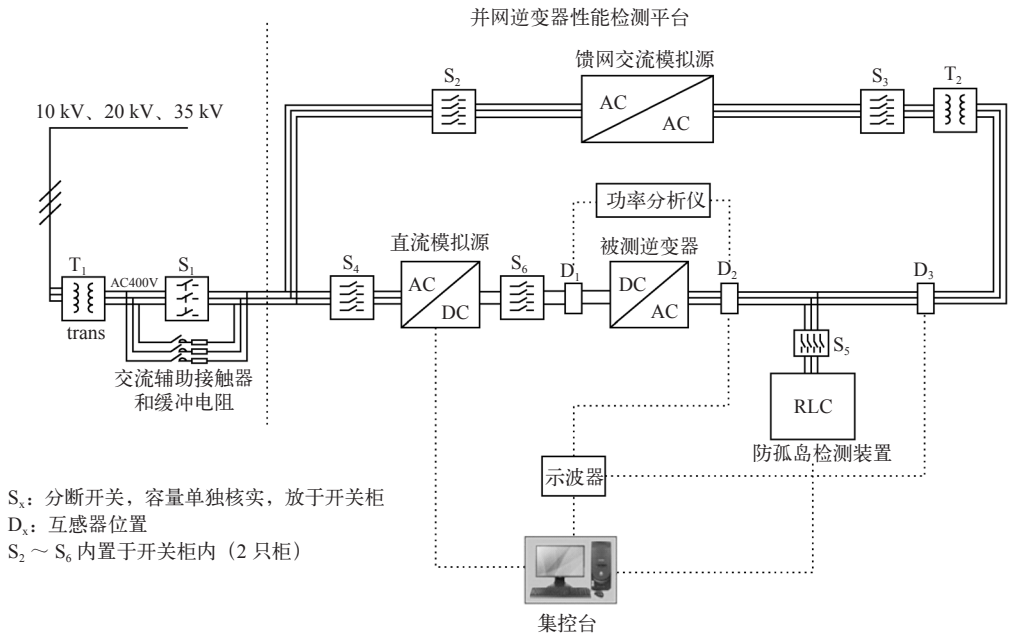

图5　光伏并网逆变器检测平台结构图

Fig. 5 Structure of grid-connected photovoltaic converters test platform

以对不合格项目分类储存，为测试项目分析提供原始数据。

2.2　硬件系统

硬件系统主要包括可编程直流模拟源、可编程交流模拟源、防孤岛RLC负载和远程控制开关柜，以及其他数据采集设备如功率分析仪、示波器、电能质量分析仪、安规测试仪、漏电流测试仪、防孤岛参数测试仪和绝缘阻抗测试仪等。通过远程开关柜的不同组合实现不同功能，避免检测中因频繁改动线路影响测试效率。

可编程直流模拟源用来模拟各种太阳板电压电流输出特性以及具备储能电池模拟功能，保证后期测试储能逆变器同样可以顺利进行，直流模拟源具备提供逆变器输入电源的模拟功能。

可编程交流电源为检测平台提供各种扰动，包括电压波动，电压暂升/降、谐波扰动及三相不平衡等，模拟电网可能会出现的状态。

防孤岛试验检测装置由阻性负载、感性负载和容性负载共同组成，自带电气参数检测系统。三相负载功率独立控制，功率输入采用分段式组合控制，可以任意组合模拟各种功率负荷，具备全自动加载测量能力，满足防孤岛效应试验的测试要求。

功率分析仪提供测试的电压、电流和功率等参数，同时具备实时读取所需各次谐波、相位角以及效率等参数。示波器具备电流波形采集功能，为测试记录时间要求提供可靠依据，同时兼容数据库的读取和远程控制，满足孤岛检测和电网波动检测的要求。

2.3　软件系统

整个检测系统包含对设备开关的远控，每个开放通信协议设备的调试，以及对自动测试流程的编辑部分。以LabVIEW为开发环境编写系统软件，LabVIEW具有良好的易用性、稳定性和良好的运行效率[14-15]。根据每个设备提供的通信协议，对平台内各设备的集中控制，测试流程自动进行，并自动出具规定格式的试验检测报告。通过上位机软件远程控制开关柜中所有的断路器及接触器的控制和显示，能够同时控制试验系统中直流模拟源、交流模拟源、防孤岛设备等的起动停止以及各个设备控制参数设置。通过预设好的程序对直流模拟源、交流模拟源和防孤岛检测等设备进行智能切换，按照设定好的程序和时间运行，完成自动化测试流程。

工控机配备多个端口，可以控制所有检测设备，同时配备以太网接入端，满足部分测量数据通过网口进行数据的下载，同时数据库可提供保存流程和数据的功能。

3 检测平台的功能

开展100 kW光伏逆变器自动检测平台的建设与研究，搭建平台为光伏并网检测提供手段和支撑。该平台具备以下特点。

1）检测平台具备AC/DC、AC/DC/AC的工作状态模拟功能，包括光伏电池板*IV*特性曲线的模拟，电网侧电压波动和频率变动的模拟。

2）集成控制系统通过远程操控软件对光伏并网逆变器双向模拟设备进行远程控制操作，测试过程可以按预先编好的程序自动进行测试，同时通过平台集成的数据采集系统或相应测试的数据，按照用户定义的格式自动生成测试报告，本测试系统可以满足电网模拟试验以及各种电能指标试验等。

3）测试过程可以按预先设定的试验步骤，自动调整各设备参数，完成测试流程，并保存测试报告，可以将工作效率调高5～10倍。

4）检测平台可对光伏并网逆变器、光伏离网逆变器进行检测，未来还可扩展储能并网逆变器等的检测。具备电能质量指标、有功/无功控制能力、防孤岛保护特性和电压/频率响应特性等通用性能指标检测能力。

检测平台的成功研制，将为国内光伏电站检测认证体系的完善提供技术支撑，有助于提升我国光伏发电并网研究试验能力。同时，检测平台还可对光伏电站并网影响评价研究提供试验检测手段，促进光伏并网系统的规范发展。

4 结束语

光伏并网逆变器是光伏发电系统的重要组成部分，其质量直接关系到电网系统的安全稳定和可靠运行。本文参照国内外光伏并网发电系统的相关标准，在研究了光伏并网逆变器试验检测方法的基础上，通过设计相应的硬件、软件，搭建出光伏并网逆变器检测平台。试验证明，该检测平台能实现全自动测试、测量准确度高，可拓展完成光伏并网逆变器、光伏离网逆变器和储能并网逆变器性能测试、保护功能测试等相关试验，具有易用性、稳定性和可扩展性。

参考文献

[1] 沈辉，曾祖勤．太阳能光伏发电技术[M]．北京：化学工业出版社，2005．

[2] 迟永宁．光伏发电并网运行研究及应用[J]．电气应用，2015，34(1)：15-16.
CHI Yongning．Research and application of grid-connected photovoltaic power generation[J]．Electrotechnical Application，2015，34(1)：15-16．

[3] 郭放，李大中．光伏并网逆变器性能检测技术及智能检测平台系统研究[J]．电力学报，2012，27(5)：498-501．
GUO Fang，LI Dazhong．Research on performance detection technology and intelligent detection platform system of photovoltaic grid-connected inverter[J]．Journal of Electric Power，2012，27(5)：498-501．

[4] 闫华光，章欣，杨湘江，等．光伏并网逆变器检测平台的研制[J]．电网技术，2011，35(6)：139-143．
YAN Huaguang，ZHANG Xin，YANG Xiangjiang，et al．Development of detection platform for photovoltaic grid-connected inverter[J]．Power System Technology，2011，35(6)：139-143．

[5] 400 V以下低压并网光伏发电专用逆变器技术要求和试验方法：CGC/GF001：2010(CNCA/CTS 0004－2009)[S]．

[6] 杜金平．光伏并网逆变器测试技术及自动检测平台的研究[D]．北京：华北电力大学，2014．
DU Jinping．Research on test technology and automatic detection platform of photovoltaic grid-connected inverter[D]．Beijing：North China Electric Power University，2014．

[7] 崔剑，王金梅，陈杰，等．光伏并网逆变器性能

（下转第 103 页）

科学，2017，35(4)：203-207.
ZHANG Bing，ZHOU Buxiang，SHI Min，et al. Short-term load forecasting based on grey correlation analysis and random forest regression model[J]. Water Resources and Power，2017，35(4)：203-207.
[7] 李斌，丁艺．区域电力需求分析[J]．统计与决策，2007(3)：90-92.
LI Bin，DING Yi. Regional power demand analysis[J]. Statistics and Decision，2007(3)：90-92.
[8] 柴建，卢全莹，张钟毓，等．工业化、城镇化进程中电力需求分析及预测[J]．运筹与管理，2015(1)：164-172.
CHAI Jian，LU Quanying，ZHANG Zhongyu，et al. Analysis and forecast of electric power demand in the process of industrialization and urbanization[J]. Operations Research and Management Science，2015(1)：164-172.

作者简介

王月强（1982－），男，高级工程师，主要研究方向为电力自动化。

(收稿日期：2019－02－12)EA

王月强

(上接第 95 页)

指标检测与分析研究[J]．自动化仪表，2015，36(9)：84-87.
CUI Jian，WANG Jinmei，CHEN Jie，et al. Detection and analysis of performance index of photovoltaic grid-connected inverter[J]. Process Automation Instrumentation，2015，36(9)：84-87.
[8] 光伏发电专用逆变器技术规范：NB/T 32004—2013[S].
[9] Test procedure of islanding prevention measures for utility-interconnected photovoltaic inverters：IEC 62116—2008 [S].
[10] 光伏系统并网技术要求：GB/T 19939—2005[S].
[11] 光伏电站接入电网技术规定：Q/GDW 617—2011[S].
[12] 光伏电站接入电网测试规程：Q/GDW 618—2011[S].

作者简介

王康坚（1983－），男，助理工程师，主要研究方向为新能源调度。

(收稿日期：2018－08－15)EA

王康坚