

# 基于LabVIEW的中国效率自动检测平台设计与实现

李宗原,任高全,郭寅远,陈卓,韩聪

(许昌开普检测研究院股份有限公司,河南 许昌 461000)

**摘要:**标准CGC/GF 035:2013光伏并网逆变器中国效率技术条件是满足中国太阳能资源特征相适应的光伏并网逆变器效率的评估方法。针对光伏并网逆变器进行中国效率测试时,需耗费人工反复操作测试设备以及人工处理测试数据并拟写测试报告。现基于LabVIEW软件技术,通过整合功率分析仪、可编程直流电源供应器及模拟电网电源来搭建中国效率自动测试系统,该测试系统分为软件部分和硬件部分,可对标准CGC/GF 035:2013中全部测试项目进行自动测试并处理数据以及生成Word报告,达到了节约人力、缩短测试周期、提高测试效率的目的。也可对系统进行拓展,对光伏逆变器谐波、间谐波、闪变等电能质量项目进行检测。

**关键词:**LabVIEW软件技术;自动测试;中国效率

**中图分类号:**TP274 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqcd21820

## Design and Implementation of China Efficiency Automatic Detection Platform Based on LabVIEW

LI Zongyuan, REN Gaoquan, GUO Yinyuan, CHEN Zhuo, HAN Cong

(Xuchang KETOP Testing Research Institute Co., Ltd., Xuchang 461000, Henan, China)

**Abstract:** The standard CGC/GF 035:2013 technical specification for China efficiency of grid connected PV inverters is a technical evaluation method of photovoltaic grid-connected inverter efficiency that meets the characteristics of China's solar energy resources. When conducting efficiency tests on photovoltaic grid-connected inverters in China, it takes time and effort to manually operate test equipment and manually process test data and prepare test reports. Now based on LabVIEW software technology, China's efficiency automatic test system was built by integrating a power analyzer, programmable DC power supply and simulated grid power supply. The test system was divided into software and hardware parts. All test items were automatically tested and data were processed and reports were generated to achieve the purpose of saving manpower, shortening the test cycle, and improving test efficiency. The system can also be expanded to test power quality items such as photovoltaic inverter harmonics, interharmonics, and flicker.

**Key words:** LabVIEW software technology; automatic testing; China efficiency

随着检测技术领域的快速发展,检测实验室遇到的问题主要包含:测试成本不断增加、测试系统越来越庞杂以及测试结束后数据处理复杂,由此引发测试效率低下。因此,如何保证测试效率以及降低测试成本成为检测实验室的首要问题。

针对标准CGC/GF 035:2013人工操作测试时间约为32 h,处理数据时间及整理测试报告时

间约为8 h。测试时需人工对测试设备进行操作,每一个测试点均需要重复设置直流源下发最大功率点跟踪曲线(maximum power point tracking, MPPT)、设置功率分析仪(存储及导出数据)。中国效率共有静态测试点80个,动态测试点17个。以上重复操作次数为共计97次,操作十分繁琐。那么使用实验室现有设备再次开发自动测试系统从而提高测试效率,缩减测试时

**基金项目:**2017年河南省科技型企业培育(科技小巨人)专项资金项目(KPJ-201701)

**作者简介:**李宗原(1987—),男,本科,工程师,Email:lizongyuan@ketop.cn

间,节约人力成本势在必行。

近年来,诸多院校和企业都在使用LabVIEW软件进行教学或科学研究<sup>[1-8]</sup>,文献[1]介绍基于LabVIEW与TestSand开发的自动测试系统,能够显著提高测试效率与测试质量。文献[2]介绍基于LabVIEW与AVR32的逆变器结温采集系统,比传统方式采集有更高的精度和测量速度。文献[3-8]介绍了基于LabVIEW开发的虚拟仪器、虚拟实验室以及各种实验平台,由此证明了LabVIEW软件强大的兼容性和扩展性。本文对基于LabVIEW的中国效率自动测试系统<sup>[9-10]</sup>进行了研究,介绍了自动测试系统构成、软件编程方法以及开发完成后的实验验证。

### 1 自动检测平台的构成

众所周知,仪器设备功能的先进性以及设备的采样或输出精度越高,越能保证测试的准确性,因此测试平台选用WT3000功率分析仪。该功率分析仪是一款高精度功率分析仪,用于检测实验室和产品研发工作,主要功能为可对被测对象进行电压、电流、功率进行实时监控采集,其基本精度为读数的0.01%,基本功率精度为读数的0.02%,交流接线方式可满足单相、三相三线以及三相四线制光伏逆变器。62000H程控直流电源供应器可模拟不同温度辐照度下的太阳能电池阵列模拟I-V曲线,具有I-V曲线自动编程功能。61860可回收式电网模拟电源具有高精度、高可靠性,可具备单相或三相输出,可控制电压和频率调节,可为光伏逆变器提供一个稳定且干净的模拟电网。

测试系统利用GPIB接口卡将每一个仪器设备连接起来,每个设备均有一个0~30之间的GPIB地址,使计算机通过GPIB-USB接口卡连接到WT3000功率分析仪、62000H程控直流电源供应器以及61860可回收式电网模拟电源,测试平台系统图如图1所示。

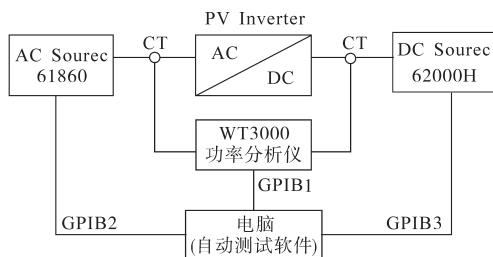


图1 中国效率自动测试平台系统图

Fig.1 China efficiency automatic test platform system diagram

## 2 软件编程

### 2.1 软件结构

软件基于Labview开发,采用模块化的编程思想,有益于平台软件升级扩展。软件用户UI接收用户输入,通过流程管理模块控制硬件;流程管理模块根据CGC/CF 035:2013,预设测试流程,通过GPIB接口控制WT3000,61860和62000H输出功率或采集信号;数据存储模块从流程管理模块获取采集数据,存储到数据文件中;测试流程结束后,结果计算模块读取数据文件,并计算结果;结果通过Office COM组件写入Word原始试验记录中;用户UI利用DSOframer.ocx插件,显示Word原始记录文档。全部测试结束后,软件可根据原始记录与报告的对应关系,导出符合格式要求的报告文档。软件结构如图2所示。

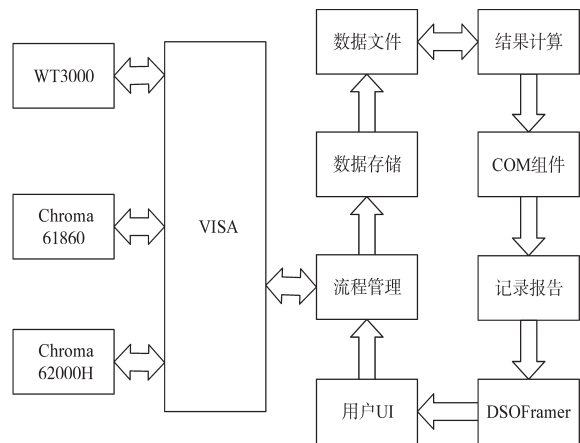


图2 软件结构

Fig.2 Software structure

### 2.2 流程管理

依据CGC/CF 035:2013,测试由静态MPPT效率测试、静态转换效率测试、动态MPPT效率测试和加权效率测试组成。其中,静态MPPT效率测试、静态转换效率测试流程一致,可同时测试;加权效率测试结果可由静态MPPT效率测试和静态转换效率测试结果计算获得;动态MPPT测试,测试17条曲线已经提前编程好,内置在62000H程控直流电源供应器中,软件只需给62000H开始测试信号,并下发测试曲线序号(1~17)。测试结束后,从功率分析仪中读取数据并计算结果。因中国效率评级中动态MPPT效率不参与最终结果计算,因此流程管理模块主要体现静态MPPT效率测试和静态转换效率测试的自动流程管理。

依据 CGC/CF 035:2013, 静态 MPPT 效率测试和静态转换效率测试测试条件包括晶硅组件和薄膜组件, 每种组件下有 5 组测试电压, 每个测试电压下有 8 组测试功率点。流程管理模块负责每种测试条件下的条件设置及特定时长的数据采集。流程管理如图 3 所示。

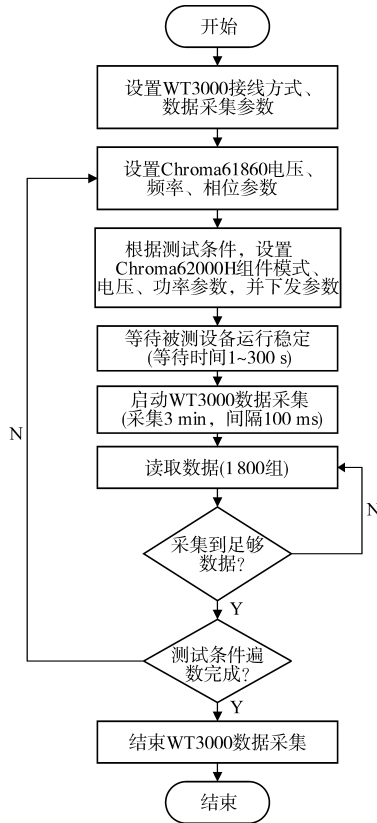


图3 测试流程

Fig.3 Testing process

### 2.3 软件界面

软件界面用于接收用户输入并向用户展示采样数据和测试结果, 如图 4 所示。

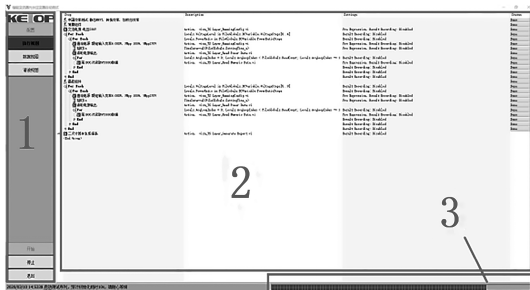


图4 软件主界面

Fig.4 Software main interface

界面共分为 3 个区域:

区域 1: 菜单区域, 试验配置可对被测设备参数设置、交直流源设置、功率分析仪设置, 执行视图可观察试验进程数据采集点数等, 谐波视图可

观察 0~50 次谐波分量。

区域 2: 数据及执行区域, 用来显示试验数据和测试流程。

区域 3: 试验总进度条, 当点击开始试验时进度条会随着试验流程缓慢增加, 当试验结束时, 进度为满格 (100%)。

### 2.4 计算过程

#### 2.4.1 静态 MPPT 效率

根据 CGC/CF 035:2013, 自动测试软件通过 WT3000 功率分析仪进行采集相关数据后进行二次计算, 其中静态 MPPT 效率数据依据下式进行计算:

$$\eta_{MPPTstat,i} = \frac{\sum_{k=1}^n U_{DC,k} \times I_{DC,k} \times \Delta T_k}{\sum_{k=1}^n P_{MPP,PV,k} \Delta T_k} \quad (1)$$

式中:  $\eta_{MPPTstat,i}$  为电压下的静态 MPPT 效率;  $U_{DC}$  为输入电压采样值;  $I_{DC}$  为输入电流采样值;  $P_{MPP,PV}$  为光伏阵列模拟器理论输出的功率值;  $\Delta T$  为采样间隔, 标准中推荐为 100 ms;  $n$  为采样数据的个数,  $(n \cdot \Delta T)$  为 3 min 共 1 800 组数据。

计算的数据自动填写至静态 MPPT 效率表格。

#### 2.4.2 转换效率

各功率测试点下功率分析仪所采集的相关转换效率数据依据下式进行计算:

$$\eta_{con,i} = \frac{\sum_{k=1}^n U_{AC,k} \times I_{AC,k} \times \Delta T_k}{\sum_{k=1}^n U_{DC,k} \times I_{DC,k} \times \Delta T_k} \quad (2)$$

式中:  $\eta_{con,i}$  为电压下的转换效率;  $U_{AC}$  为输出电压采样值;  $I_{AC}$  为输出电流采样值。

计算的数据自动填写至静态转换效率表格。

#### 2.4.3 平均加权总效率

按照中国典型太阳能资源区的效率权重系数, 计算出不同输入电压下的加权总效率如下式所示:

$$\eta = \sum_{i=1}^7 a_{CGC-i} \times \eta_{conv,i} \times \eta_{MPPTstat,i} \quad (3)$$

对不同电压下的加权总效率求平均之后得出逆变器平均加权总效率为

$$\eta_{CC} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \eta \quad (4)$$

式中:  $N$  为测试序列数。

权重系数  $a_{CC-i}$  如表 1 所示。

对采集数据进行二次计算后, 自动填写至平

均加权效率表格。

表1 中国太阳能资源区光伏并网逆变器加权效率的权重系数表

Tab.1 Table of weighting coefficients for weighted efficiency of photovoltaic grid-connected inverters in China's solar energy resource areas

权重系数						
$a_{CGC-1}$	$a_{CGC-2}$	$a_{CGC-3}$	$a_{CGC-4}$	$a_{CGC-5}$	$a_{CGC-6}$	$a_{CGC-7}$
0.02	0.03	0.06	0.12	0.25	0.37	0.15
负载点						
$MPP_1$	$MPP_2$	$MPP_3$	$MPP_4$	$MPP_5$	$MPP_6$	$MPP_7$
0.05	0.10	0.20	0.30	0.50	0.75	1.00

2.4.4 动态MPPT效率

动态MPPT效率所采集的数据依据下式进行计算:

$$\eta_{MPPTdyn,i} = \frac{\sum_{k=1}^n U_{DC,k} \times I_{DC,k} \times \Delta T_k}{\sum_{j=1}^m P_{MPP,PVS,j} \times \Delta T_j} \quad (5)$$

式中: $\eta_{MPPTdyn,i}$ 为第*i*序列的动态MPPT效率; $P_{MPP,PVS,j}$ 为6200H程控直流电源供应器的MPP功率; $\Delta T_j$ 为理论计算值的周期。

动态MPPT效率的整体评估如下式:

$$\eta_{MPPTdyn} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \eta_{MPPTdyn,i} \quad (6)$$

式中: $\eta_{MPPTdyn}$ 为平均动态MPPT效率。

计算出结果后自动填写至动态MPPT效率表格。

3 实验验证

为验证其功能现对某光伏逆变器样机进行实验验证。样机参数为单相AC 220 V,功率为6 kW,MPPT范围为DC 280~480 V。为保证采集数据过程中光伏逆变器输出功率保持稳定,设定等待光伏逆变器达到指定功率点时间为60 s,采集时间为180 s,采集间隔100 ms。设置功率分析仪接线方式为1P2W-1P2W,设置CT变比为1 500:1。实验验证测试图如图5所示。

图5中各设备如下:序号1为61860交流模拟电网电源;序号2为62000H程控直流电压供应器;序号3为光伏逆变器;序号4为CT传感器箱;序号5为WT3000功率分析仪;序号6为计算机(自动测试软件)。

测试流程执行完毕,将自动生成中国效率测试报告,共生成测试报告11页,包括薄膜组件和晶硅组件全部静态MPPT效率、转换效率以及晶硅组件下的动态MPPT效率。生成数据自动描绘曲线图,因测试报告页数过多仅展示最终测试加

权效率,如表2、图6、图7所示。

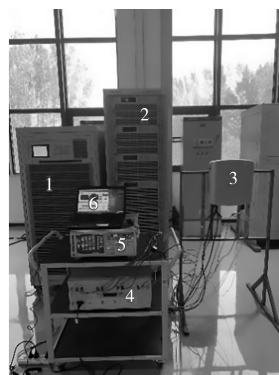


图5 实验验证测试

Fig.5 Experimental verification test

表2 平均加权总效率表格

Tab.2 Average weighted total efficiency table

模拟I/V特性曲线	PV模拟器的I/V特性曲线的MPPT电压/V	不同电压下的加权总效率/%	平均加权总效率/ $\eta_{CGC}/\%$
薄膜组件	$U_{MPPmax}$	280	96.53
	$U_{MPPmin}+0.7\Delta U$	325	96.63
	$U_{MPPmin}+0.5\Delta U$	356	96.01
	$U_{MPPmin}+0.3\Delta U$	386	96.07
	$U_{MPPmin}$	432	95.85
晶硅组件	$U_{MPPmax}$	280	96.19
	$U_{MPPmin}+0.7\Delta U$	340	96.39
	$U_{MPPmin}+0.5\Delta U$	380	96.26
	$U_{MPPmin}+0.3\Delta U$	420	95.92
	$U_{MPPmin}$	480	95.80

注: $U_{MPPmin}$ 为最低MPPT运行电压; $U_{MPPmax}$ 为最高MPPT运行电压; $\Delta U=U_{MPPmax}-U_{MPPmin}$ 。

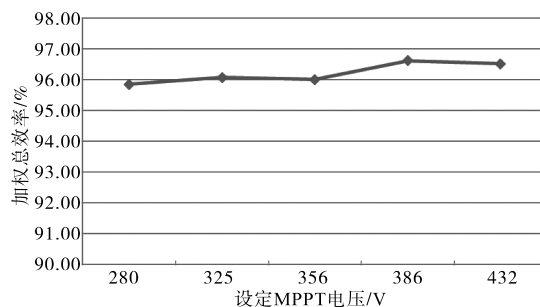


图6 薄膜加权效率曲线

Fig.6 Thin film weighted efficiency curve

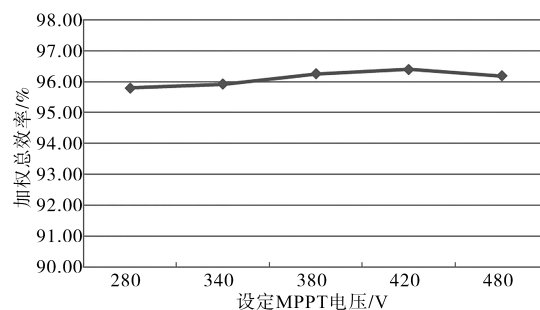


图7 晶硅加权效率曲线

Fig.7 Crystalline silicon weighted efficiency curve



## 4 结论

本文针对标准 CGC/CF 035:2013 光伏逆变器中国效率技术条件而设计的自动测试系统,不仅具有实用性而且易于操作和维护,能够满足单相以及三相光伏并网逆变器的测试,且能够最大化地保证测试精度及测试稳定性。能够实现全自动测试及快速生成测试报告,平均中国效率测试周期缩短至 20 h 以内,大大提高了实验室的测试效率和自动化管理水平。

### 参考文献

[1] 于洪泽,韩松,陆桂军,等.基于LabVIEW与TestStand的关键设备自动测试系统[J].电气传动,2020,50(3):83-86.  
 [2] 周仕平,陈权,王群京,等.基于Labview与AVR32的逆变器结温采集系统研究[J].电测与仪表,2017,54(13):56-61,74.  
 [3] 王政,刘国海,沈跃,等.基于LabVIEW的电能质量监测系统及其数据存储格式的研究[J].电测与仪表,2013,50(6):

83-87,128.  
 [4] 郑东山,骆皓,曹阳,等.基于LabVIEW的双馈风电变流器控制系统设计与实现[J].电气传动,2013,43(9):13-16.  
 [5] 康守强,王玉静,王鹏,等.基于LabVIEW的网络实验平台设计[J].实验技术与管理,2016,33(1):72-74.  
 [6] 徐晓玲,余佼,张明辉,等.基于LabVIEW的传感器虚拟综合实验系统设计[J].实验技术与管理,2019,36(2):134-136,140.  
 [7] 傅键,满庆丰,王钢.基于LabVIEW的多端口直流微电网实验平台[J].实验室研究与探索,2019,38(11):117-119,143.  
 [8] 张凯宇,范艾杰,蔡志明,等.基于LabVIEW的3146A多功能测量系统开发[J].实验室研究与探索,2016,35(1):121-124.  
 [9] 许昌开普检测研究院股份有限公司.一种变流器自动测试系统:中国,2018222238716[P].2019-12-06.  
 [10] 许昌开普检测研究院股份有限公司.变流器自动测试软件V2.0:中国,2018RS1033745[P].2018-12-18.

收稿日期:2020-04-22

修改稿日期:2020-05-15

(上接第71页)

1)完成了切枝装置的整体布局及设计工作,并用AutoCAD对切枝装置进行了三维建模。

2)完成了机械手X轴、Z轴滚珠丝杠副的计算及选型;完成了各个驱动电机及驱动器的选型。

3)完成了PLC选型、I/O口分配及外围电路设计;采用了16路无线智能接收控制器和遥控器控制机械手;完成了切枝系统主控电路设计。

4)在STEP 7-MicroWIN SMART软件中应用运动控制向导对机械手进行了编程。

5)切枝装置试验表明:在对高空树枝进行剪切时,通过遥控器操纵能够顺利地将横向或竖向树枝剪切下来。

### 参考文献

[1] 孔德刚.链锯锯木参数的研究[J].东北林业大学学报,1985,13(4):86-93.

[2] 杨政.基于PLC的工业机械手臂控制设计与触摸屏监控[J].科技与创新,2017(2):113-114.  
 [3] 盛强.基于PLC的绝热层自适应打磨控制系统设计[J].电气传动,2019,49(8):71-74.  
 [4] 应帅.基于PLC的机械手臂控制系统设计的研究[J].科技创新导报,2017(36):81-81,83.  
 [5] 王国轩,聂晓峰,杜江涛,等.真空机械手精确转运系统设计研究[J].科技创新与应用,2019(28):7-11.  
 [6] 李东君.步进电机在剪板机中升降速控制的算法研究[J].电气传动,2016,46(6):58-60,70.  
 [7] 靳哲,肖军.步进电机在石油管件喷漆设备中的应用[J].电气传动,2016,46(7):26-29.  
 [8] 孙泽标.非线性负载下高性能步进电机闭环驱动控制系统设计与实现[D].杭州:浙江大学,2019.  
 [9] 廖常初.S7-200 SMART PLC编程及应用[M].北京:机械工业出版社,2015:106-109.

收稿日期:2020-03-17

修改稿日期:2020-04-21