「光伏系统」

多通道小型家用逆变器效率检测系统设计

文/海南电网有限责任公司电力科学研究院　王绥瑜　庞松岭
北京群菱能源科技有限公司　张进滨　程本立

以太阳能为代表的新能源的开发与应用前景广阔，光伏逆变器作为光伏发电系统重要组成部分，其将直接影响整个光伏系统的发电效率。目前，家用逆变器测试业务越来越多，但其检测效率偏低。设计一种多通道小型家用逆变器效率检测系统，测试系统由多通道数据采集单元、功率分析仪、直流电源、可编程交流负载等组成。通过上位机控制软件对逆变器输出端与输入端采集的电压、电流进行转换效率计算、分析和评价，可同时测试出多种不同型号的小型家用逆变器的效率，解决了小型家用逆变器的效率测试效率低的问题，达到了节约检测时间，提高检测效率的技术效果。

随着能源的日益紧张和环境的污染，人们致力于开发各种新型清洁能源来取代传统的化石能源，其中，太阳能是应用最为广阔的新型能源之一。近年来我国太阳能发展显著，目前在全球光伏市场上处于主宰地位。

光伏逆变器是光伏发电系统重要组成部分，是一种将直流电转换为交流电的电力电子装置。随着我国光伏产业的快速发展，光伏逆变器产业得到蓬勃发展，应用于家庭民用的光伏逆变系统所占市场份额越来越大。目前，小型（家庭）分布式光伏发电作为一种重要光伏发电技术类型，对有效利用太阳能，缓解供用电压力具有重要的意义。现今欧洲各国以及日本、美国等国家政府推广实施太阳能光伏工程计划，大力普及太阳能住宅，在住宅的屋顶上装太阳能电池板以及发电设备。国内众多厂商推出了中小功率的相关产品，更多小功率的逆变器进入家庭、企业。

光伏逆变器的转换效率直接影响光伏并网发电系统的发电量。因此，光伏电站的投资者、总承包方都非常注重光伏逆变器的转换效率。逆变器的效率不仅对其自身的损耗、容量以及成本等有直接关系，而且还对逆变器前面各级设备的效率和成本有很大影响。

光伏逆变器的效率测试烦琐，现有的测试系统只能对单一的逆变器进行测试，导致测试时间长，效率不高。随着小型家用逆变器的越来越多，提高逆变器测试效率需求越来越迫切。针对上述现有技术中的不足，本文通过国内外逆变器检测方法的分析，提供了一种小型家用逆变器测试系统的设计方案，通过上位机控制系统控制直流电源，并通过上位机控制系统控制可编程交流负载模拟家用电器设备的工作以及根据不同待测逆变器的额定容量控制可编程交流负载的工作状态；从而能同时测试出多种不同型号的小型家用逆变器的效率，解决了小型家用逆变器的效率测试效率低的技术问题，达到了节约检测时间，提高检测效率的技术效果。

逆变器效率测试现状

为保证光伏系统的安全运行，逆变器在投入

使用前都会进行性能检测试验。目前我国逆变器测试认证主要依据CGC/GF001：2009（CNCA/CTS0004—2009）《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》、NB/T 32004—2013《光伏发电并网逆变器技术规范》、GB/T 30427—2013《并网光伏发电专用逆变器技术要求和试验方法》。以上标准或技术规范主要针对逆变器的性能指标、电磁兼容、保护功能、安全及环境试验等十多项的技术要求。根据CGC/GF004：2011《并网光伏发电专用逆变器技术条件》规定，逆变转换效率是在规定的测量周期T_M时间内，由逆变器在交流端口输出的能量与在直流端口输入的能量的比值，逆变转换效率如式（1）所示

$$\eta=\frac{\int_0^{T_M}P_{AC}(t)\mathrm{d}t}{\int_0^{T_M}P_{DC}(t)\mathrm{d}t}\times100\% \qquad (1)$$

式中，P_{AC}为交流输出端口的瞬时输出功率，P_{DC}为直流输入端口的瞬时输入功率。

由于光伏逆变器的转换效率不是一成不变的，为了更加客观地反映光伏逆变器在不同输出功率情况下的转换效率，欧美等国家根据实际运行地气候、日照条件等的影响，推出了欧洲效率（European Efficiency）和加州效率（California Efficiency），即通过不同输出功率条件下发电效率配以相应的加权系数来计算、评价真实使用环境下的逆变器发电效率。

欧洲效率与加州效率计算公式如下

$$\eta_{EURO}=0.03\eta_{5\%}+0.06\eta_{10\%}+0.13\eta_{20\%}+0.10\eta_{30\%}+0.48\eta_{50\%}+0.20\eta_{100\%}$$

$$\eta_{CEC}=0.04\eta_{10\%}+0.05\eta_{20\%}+0.12\eta_{30\%}+0.21\eta_{50\%}+0.53\eta_{75\%}+0.05\eta_{100\%}$$

式中，η_{EURO}为欧洲效率；η_{CEC}为加州效率；$\eta_{i\%}$为逆变器i%额定输出功率下的转换效率。

我国太阳能资源条件与欧美相差较大，欧洲效率或加州效率不能适用于我国的使用要求。我国于2013年推出了中国效率，根据太阳能资源区分为四类，在每一类地区中选取代表性区域分析不同功率区间的年累计发电量，按照欧洲效率以及加州效率取点的原则，在此基础上选取相对稳定且能覆盖全功率范围的统计区间，并计算出每段功率分档上的年发电量的权重占比。如下表所示。

表

逆变器负载率		5%	10%	20%	30%	50%	75%	100%
转换效率		η_1	η_2	η_3	η_4	η_5	η_6	η_7
加权值	I类	0.01	0.02	0.04	0.12	0.30	0.43	0.08
	II类	0.01	0.03	0.07	0.16	0.35	0.34	0.04
	III类	0.02	0.05	0.09	0.20	0.34	0.28	0.02
	IV类	0.03	0.06	0.12	0.22	0.33	0.22	0.02

根据CGC/GF004：2011规定，无变压器型最大转换效率应不低于96%，含变压器型逆变器最大转换效率应不低于94%。根据工信部2015年发布的《光伏逆变器制造行业规范条件（2015年本）》，含有变压器的光伏逆变器中国加权效率不得低于96%，不含变压器的光伏逆变器中国加权效率不低于98%（微型逆变器相关指标分别不低于94%和95%）。

多通道家用光伏逆变器效率检测系统设计

目前，国内多家第三方检测认证机构已经按照CGC/GF 035：2013（CNCA/CTS 0002—2014）《光伏并网逆变器中国效率技术条件》对光伏逆变器展开中国效率的测试认证工作。随着小型家用逆变器越来越多的进入人们的生活中，对小型家用逆变器转化效率的测试也越来越多。如何让逆变器效率测试变得简单快捷将是取得行业内制胜的关键。为此，需要开展小型家用逆变器进行快速、有效的检测系统设计。本文设计一种多通道家用逆变器效率测试试验平台，逆变器测试平台由逆变器综合性能测试分析系统和通信及数据采集系统构成，如图所示。

多通道小型家用逆变器效率检测系统由直流电源、多通道数据采集单元、可编程交流负载、系统测控软件等组成。多通道数据采集单元由功率分析仪和数据记录仪组成，功率分析仪与数据记录仪分别与上位机控制系统连接，采集接口分别连接待测逆变器的直流输入端口和交流输出端

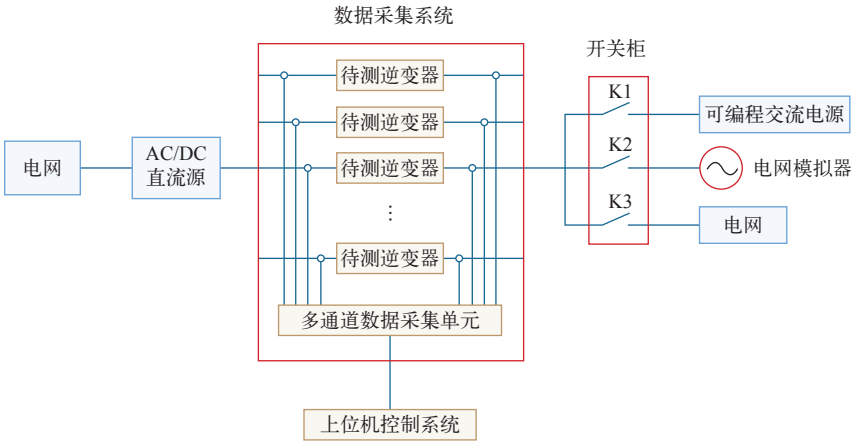

图　多通道家用逆变器效率测试系统架构图

口。上位机控制系统通过数据线连接接口板卡通信，接口板卡连接至多通道数据采集单元中的各检测仪器，包括功率分析仪、电能质量分析仪、数据记录仪等。上位机控制系统实时监控各个设备的运行情况。通过对逆变器输出端与输入端采集的电压、电流进行模－数转换，上位机控制系统对逆变器的转换效率进行计算、分析和评价。直流电源作为各路待测逆变器的输入端，模拟电网的变化，应能至少提供待测小型家用逆变器最大直流输入功率的1.5倍，且直流电源的输出电压与被测逆变器的直流输入电压的工作范围相匹配，试验期间输出电压波动不超过5%。待测逆变器的输出侧连接负载电路，负载电路可以包括多种负载，例如可编程交流负载、电网或者电网模拟器，通过开关来实现不同负载的切换。电网模拟器的容量大于被测逆变器额定功率的2倍。多通道小型家用逆变器效率检测系统的检测步骤如下所示：

1）将多个待测逆变器接到多通道数据采集单元上。

2）启动所述多通道小型家用逆变器效率检测系统，在开始测试时，上位机控制系统控制直流源加载太阳能功率曲线模拟太阳能电池供电，可编程交流负载模拟实际家用电器设备的工作。

3）在测试过程中，多通道数据采集单元同时采集多个待测逆变器交流输出端口的输出功率和直流输入端口的输入功率，上位机控制系统根据多通道数据采集单元采集的数据在显示屏上实时显示；上位机控制系统可控制多通道小型家用逆变器效率检测系统的通信、数据存储、功率控制、电压调节和负载加载等参数设置功能。

4）在进行转换效率测试过程中，包括最大转换效率测试和逆变器效率曲线测试，其中，测量负载点包括：5%、10%、15%、20%、25%、30%、50%、75%、100%以及最大转换效率处和最大功率点处的转换效率。

5）测试完成后，上位机控制系统分别根据检测到的多个待测逆变器交流输出端口的输出功率和直流输入端口的输入功率，分别计算多个待测逆变器的测试效率，并以曲线图的形式导出试验报告。

6）上位机控制系统根据试验报告的处理结果，自动给出检测是否合格的结论。

结束语

本文设计了一种多通道小型家用逆变器测试系统，可以同时测试多种小型家用逆变器转换效率。测试数据通过显示单元实时显示，并可自动生成测试报告，相比于传统的逆变器效率测试，实现了具有同时测试各路逆变器效率具有的设计方法和测试系统，极大地提高了测试效率。**EA**

（收稿日期：2017.09.27）
（编辑：朱金凤）