

# 智能变电站便携式综合测试仪的研制

李澄, 陆玉军, 王宁, 葛永高  
(江苏方天电力技术有限公司, 江苏南京 211102)

**摘要:**结合智能变电站的技术特点和运行维护测试需求,文中提出了一种多功能便携式综合测试仪设计方案,介绍了测试仪的硬件、接口及功能设计。该测试仪适用于智能变电站中二次设备、对时同步装置、变电站网络等多种测试应用,有效增强了智能变电站的运维便利性,提高了运行维护效率。

**关键词:**智能变电站;便携式测试仪;二次设备测试;同步系统测试;网络测试

**中图分类号:**TM71;TM932

**文献标志码:**A

**文章编号:**1009-0665(2016)02-0019-04

作为坚强智能电网的重要组成部分,基于 IEC 61850 标准的智能变电站变革了传统变电站的一、二次设备,变电站中光纤数字式采样值 SV 及开关量 GOOSE 的方式取代了传统的电缆方式<sup>[1]</sup>,信息的数字化、网络化大大简化了传统的二次接线,设备高度集成化、智能化的变电站将简化运行人员操作,缩短设备停电维护时间,促进电网调控集中化,设备维护向集约化发展。

目前,国内开展智能变电站的试点工程的网省公司,对智能站运行维护方面的研究基本都处于探索阶段,运行维护项目和流程也沿用传统变电站运行管理要求,尚缺乏标准化的检修维护流程;运行维护人员还未完全适应和熟悉智能变电站设备技术和运行特点,仍沿用传统的运维思路;从运行维护工具上来看,传统运行维护工具已经无法满足智能变电站的运行维护需求,而新的测试工具往往只是针对某一测试功能设计,变电站运行维护调试需要使用多个工具配合才可完成,增加了运行维护难度,也对运行维护人员的技术水平提出了更高的要求<sup>[2-4]</sup>,因此有必要研制开发一种适用于智能变电站设备特点的综合便携式运行维护调试工具,从而简化运行维护操作,提高智能变电站维护的便利性。

## 1 智能变电站测试需求

作为智能电网的一个重要节点,智能变电站以站内一、二次设备为数字化对象,以高速网络通信平台为基础,通过对数字信息进行标准化,实现站内外信息共享和互操作,实现测量监视、控制保护、信息管理、智能状态监测等功能。而对于站内关键的二次系统设备进行检修测试是保证智能变电站稳定运行的基础。

(1) 二次智能设备功能性测试。主要的测试内容有:对关键的二次设备,如合并单元、智能终端、保护

测控设备等,进行装置的输入输出功能性测试、通讯报文数据的正确性检查、设备数据处理时延的测试、保护逻辑功能的验证及联动测试<sup>[3,4]</sup>。

(2) 同步系统测试。精确统一的时间基准,对电量信息精确采集,电力系统事故分析,保证电力系统安全运行有着重要意义。因此智能变电站的一项重要测试项为同步系统的测试,主要包含:同步系统对时精度测试、守时精度测试、对时数据帧正确性检验<sup>[5,6]</sup>。

(3) 通讯网络检查。通信网络作为智能变电站信息交换的枢纽,其正常运行是智能变电站安全、可靠运行的基础。变电站网络测试功能有:网络通讯介质衰耗以及发送光功率检查、交换机等网络设备的工作状态检查、网络数据报文的捕获及分析、网络性能测试<sup>[7]</sup>。

目前,为了完成以上的测试,需要多种测试设备,甚至有的测试需要多个测试设备进行配合。这需要测试人员具备较高的技术水平,无形中增加了测试复杂度和难度,测试的灵活性和便携性更无从说起。研究一种具备多种测试功能的便携式测试工具,将能有效地提高变电站运行维护效率。

## 2 测试仪设计

### 2.1 总体设计

基于以上分析,本文提出了一种能满足智能变电站关键设备测试需求的便携式测试仪,测试示意图如图 1 所示。

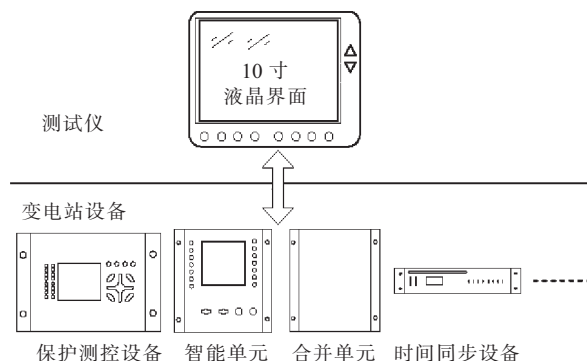


图 1 测试示意图

测试仪集成 10 寸液晶触摸屏界面,无需 PC 客户端软件协同,即可独立完成测试任务。测试仪内部具有大容量锂电池组,能够在现场供电不便的情况下,支持测试仪连续工作 4 h。整台装置采用了紧凑式设计,体积小,重量轻,并提供了便携式提手,大大提高了测试的便利性。测试仪接口丰富,具有强大的实时数据处理能力,其硬件设计如图 2 所示。

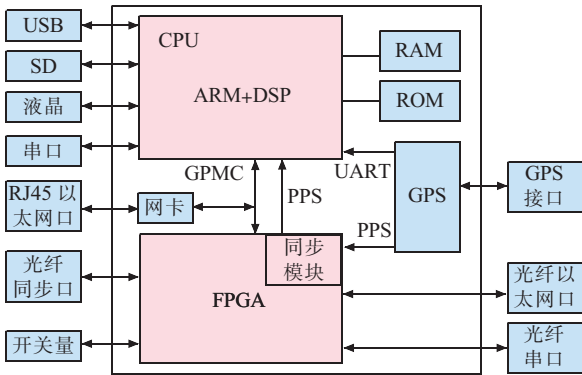


图 2 测试仪硬件结构图

(1) CPU。采用 ARM+DSP 物理架构,具有 10 寸触摸液晶屏、USB 接口、SD 接口、串口、512 MB RAM 以及 512 MB ROM。

(2) 现场可编程门阵列(FPGA)。通过通用内存控制器(GPMC)高速总线与 CPU 连接,扩展了多个接口功能,包括光纤以太网口 3 个(用于收发 IEC 61850-9-1/2 和 GOOSE 数据),光纤串口 5 个(3 发 2 收,主要用于收发 IEC 60044-7/8 或其他电子互感器报文),开关量接口(2 路开出,2 路开入),光纤同步口(2 路输出和 2 路输入)。

(3) GPS 模块。通过 GPS 接口外接天线可接收以获取 GPS 时间,分别输出秒脉冲(PPS)和串口时间信息给 FPGA 中的同步模块和 CPU,同步模块将延时补偿后的 PPS 输出给 CPU。

(4) 百兆网卡芯片通过 GPMC 高速总线与 CPU 和 FPGA 连接。

## 2.2 功能设计

(1) 数字采样信号收发。测试仪具备光纤以太网端口,可以接收或输出多路 IEC 61850-9-1/2 采样值报文,可以模拟现场多合并单元,用于保护设备的测试;测试仪还具备光纤串口,可以接收和发送 IEC 60044-7/8(FT3)采样数据,可以模拟电子式互感器采样数据发送,用于合并单元的测试。并且可以对接收的采样数据进行文波形、有效值、相量、序量、功率、谐波等分析。

(2) GOOSE 收发。测试仪通过光纤以太网口,可以接收和发送多路 GOOSE 报文数据,通过接入光纤交换机或与被测设备直连,实现与被测设备(保护测控装置、智能单元等)间开关量信息的交互。

(3) MMS 客户端。测试仪内部实现了 MMS 客户端,可模拟站控层客户端与站内智能二次设备进行通讯,主要功能有:读取或操作智能二次设备数据模型及配置、召唤遥信遥测值、读取和修改定值、遥控操作等。

(4) 时间同步功能。测试仪具有时间同步测试功能,通过装置内 GPS 模块外接 GPS 天线获取高精度的时钟信息,产生秒脉冲或 IRIG-B 码输出,对二次设备进行同步;还可接入被测设备的对时同步信号或采样同步脉冲信号,检验被测设备的对时数据及精度。

(5) 其他测试功能。测试仪具有网络报文捕获和分析功能,并可对网络光纤通讯介质进行衰耗和光功率检查;实现了 SNMP(简单网络管理协议)客户端,可用于查看交换机设备相关配置和运行状态信息;可模拟大容量数据,对网络性能进行测试。

## 3 测试应用

### 3.1 合并单元测试

合并单元的测试主要内容采样数据的输入输出测试、采样数据的精度测试、GOOSE 开出量验证、时间准确度验证。图 3 给出了除时间准确度测试外的功能性测试接线图。

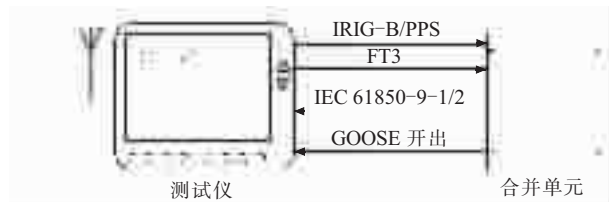


图 3 合并单元功能性测试

测试仪向合并单元发送同步信号(PPS 或 IRIG-B)和电子式互感器报文(FT3),合并单元输出合并后的采样数据(IEC 61850-9-1/2 格式)和可能的 GOOSE 开出量。测试仪通过解析合并单元发送来的采样数据,可验证采样通道配置是否与配置文件一致,验证采样报文是否丢包、重复、错序等;测试仪计算并显示收到的合并单元采样数据的幅值、相角、频率、功率、功率因数等,并与标准采样信号进行精度偏差分析;测试仪通过记录采样数据发送和接收时间,计算报文响应时间,验证合并单元的额定延时,并进行报文发送间隔均匀性及连续性分析;合并单元通过 GOOSE 开出输出自身状态和告警信息,测试仪通过模拟串口链路异常、采样故障、保护电流无效、装置检修等,来验证合并单元的 GOOSE 开出的正确性。

时间精确度测试包含同步精度测试和守时精度测试。同步精度决定合并单元在时间同步系统的作用下能够保持的时间精确度,而守时精度决定了失去同步信号后合并单元能够保持稳定时间精度的时间特性。图 4 给出了时间精确度测试接线图,方法 1 适用于具

有同步测试接口的合并单元,同步精度测试,在测试仪保持同步信号输出的情况下,比较合并单元输出的秒脉冲与测试仪基准脉冲的偏差即可得到同步精度;守时精度测试,断开同步信号,记录合并单元守时状态下的数据变化。方法2可用于不具备同步测试接口的合并单元,通过测试仪在同步信号上增加固定延时,测试合并单元采样数据的时延变化,从而间接的证明合并单元的时间精确度。

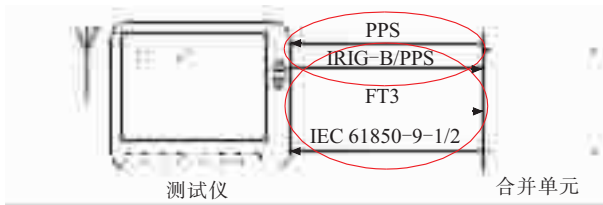


图4 合并单元时间准确度测试

### 3.2 智能单元测试

智能单元本质为传统操作箱加上GOOSE开入开出通讯功能,其测试包含:闭环开入测试和闭环开出测试,如图5所示。闭环开入测试,测试仪的GOOSE开出口与智能单元的GOOSE开入口相连,智能单元的开出接点接入测试仪开入接点,测试仪模拟保护测控设备发送跳闸出口、重合闸出口、断路器和闸刀遥控分合闸等GOOSE开出信号给智能单元,验证智能单元是否正确开出,并测量其动作响应时间。闭环开出测试,接线与闭环开入测试相反,测试仪模拟一次设备开关位置触点位置信息开出给智能单元,智能单元将其转换为GOOSE开出给测试仪,同样验证智能单元的信息的正确性及响应时间。

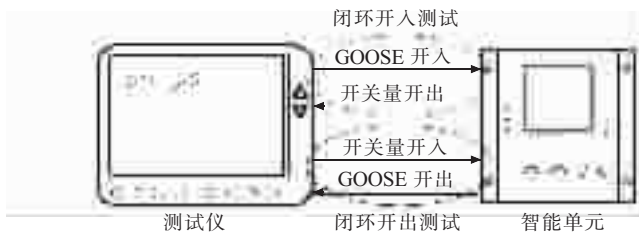


图5 智能单元测试

### 3.3 保护测控设备及联动测试

保护测控设备的测试主要内容采样值检查、GOOSE开入开出检查、保护逻辑功能和定值校验、测控功能验证。测试接线如图6所示,测试仪的采样值输出口、GOOSE输出口、GOOSE输入口分别与保护测控设备的采样值输入口、GOOSE输入口、GOOSE输出口连接,测试仪的MMS通讯口与保护测控装置MMS通讯口相连。测试仪模拟保护测控装置的采样值输入,利用测试仪的GOOSE发送功能模拟保护测控装置保护逻辑相关的GOOSE开入,测试仪接收保护测控装置的GOOSE开出。检查保护测控装置收到的采样值是否与测试仪一致,是否满足精度要求;检查

保护测控装置的GOOSE相关开入状态是否正确显示;检查保护测控装置在数据断链情况下的动作行为;使用测试仪改变采样值的电量信息和相关GOOSE开入状态模拟各类故障,测试保护装置的动作行为、动作时间和动作定值,验证保护测控装置保护逻辑的正确性;测控功能测试,测试仪通过MMS端口接收保护测控装置上送的电量信息和设备发出的状态信息,验证电量信息的正确性以及MMS状态信息与保护动作行为的一致性,通过MMS通讯还可检查被测设备的数据模型及配置信息。



图6 保护测控设备测试

保护联动测试是验证保护测控设备与智能单元等其他设备连接的分系统在保护动作时的联动反应。图7显示了保护联动测试接线图,测试仪模拟故障的采样数据及相关GOOSE开入状态送给保护测控装置,保护测控装置产生保护动作GOOSE开出控制智能单元相应节点开出,测试仪模拟一次设备,接收智能单元的开关动作,并返回开关触点位置信息,智能单元通过GOOSE上送开关状态给保护测控设备。保护测控装置将保护动作信息及开关状态信息通过MMS上送测试仪(模拟变电站后台)。测试仪还可通过MMS发送遥控分合闸命令,从而验证保护测控装置、智能单元执行的正确性及时效性。

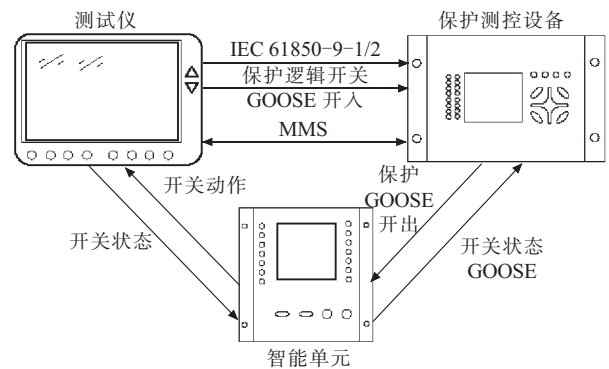


图7 联动测试

### 3.4 时间同步装置测试

对时间同步装置的测试主要内容:对时数据及报文的正确性检验,对时精度测试,同步和守时精度测试。测试仪可接入时间同步设备输出的秒脉冲、IRIG-B、SNTP、IEEE 1588等进行分析和时间信息的验证。对时精度测试,如图8左边所示,测试仪和时间同步装置都接入同一GPS时间源,将时间同步装置输出的PPS+串口或IRIG-B接入测试仪,测试仪计算出

与本机时间的偏差以获得时间同步装置的定时精度。同步及守时精度测试,如图8右边所示,与合并单元的时间精确度测试类似,在测试仪和时间同步装置保持同步信号和断开同步信号2种情况下,分别测试同步精度和守时精度变化。

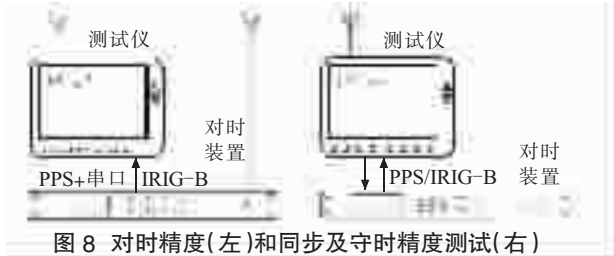


图8 定时精度(左)和同步及守时精度测试(右)

### 3.5 过程层网络性能测试

过程层网络连接过程层和间隔层,传输采样值和GOOSE数据,要求高实时性和高可靠性,过程层网络的性能将直接影响变电站的稳定运行<sup>[8,9]</sup>。如图9所示,将测试仪的光纤以太网口接入过程层交换机,模拟SMV和GOOSE数据发送和接收,测试在不同的数据流量下交换机的吞吐量、丢包率,并选取一条或多条链路作为监测链路计算其传输时延,从而对过程层网络性能状况进行评估。

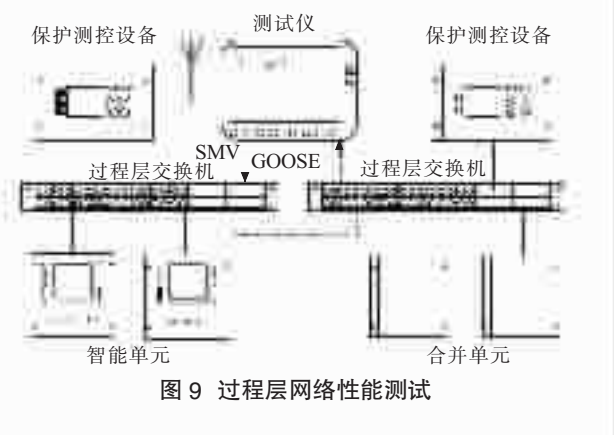


图9 过程层网络性能测试

## 4 结束语

本文针对智能变电站运行维护特点及现场测试需

求,以简化运行维护操作、提高运行维护便利性为出发点,研制出了一种具备多种测试功能的便携式综合测试仪。该测试仪能够满足变电站内主要二次设备(智能单元、合并单元、保护测控设备等)、时间同步设备、网络测试等测试需求,实际测试应用效果良好,能够有效地提高工程测试及日常运行维护工作效率,具有较高的推广价值。

### 参考文献:

- [1] 高翔. 数字化变电站应用技术[M]. 北京:中国电力出版社, 2008:22-32.
- [2] 赵勇,石光,杨经超,等. 智能变电站的运维调试研究[J]. 信息通信,2014(1):275-276.
- [3] 沈富宝,王中秋. 苏州首座220kV智能变电站分析[J]. 江苏电机工程,2015,34(2):45-48.
- [4] 邓洁清,刘一丹,高磊,等. 智能变电站关键智能设备例行检修方案的研究[J]. 华东电力,2013,41(11):2413-2417.
- [5] 马成久,张武洋. 智能化变电站时钟同步精度测试方法研究[J]. 东北电力技术,2011(8):8-9.
- [6] 陈班贤,黄琦,井实,等. 一种用于电力系统的可控同步时钟测试仪的研制[J]. 电测与仪表,2013,50(7):96-100.
- [7] 张小飞,李佩娟,王洁松,等. 智能变电站网络应用及测试技术研究[J]. 江苏电机工程,2012,31(4):34-38.
- [8] 徐勇,陆玉军,张雷. 智能变电站网络交换机在线监测设计与实现[J]. 江苏电机工程,2014,33(2):52-55.
- [9] 刘昊昱,左群业,张保善. 智能变电站过程层网络性能测试与分析[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(18):112-116.

### 作者简介:

- 李澄(1970),男,江苏无锡人,研究员级高级工程师,从事继电保护、变电综合自动化系统、时间同步等领域研究与项目开发工作;
- 陆玉军(1972),男,江苏句容人,高级工程师,从事变电站综合自动化系统的开发及工程应用工作;
- 王宁(1981),男,河北保定人,工程师,从事变电站自动化系统相关研究与技术开发工作;
- 葛永高(1978),男,江苏兴化人,工程师,从事变电站自动化系统相关研究与技术开发工作。

## Development of Portable Integrated Tester for the Smart Substation

LI Cheng, LU Yujun, WANG Ning, GE Yonggao

(Jiangsu Frontier Electrical Power Technology Co.Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** With the technical features of smart substation and the requirements of its operation and maintenance, the paper proposes a design scheme for a multi-functional portable integrated tester, and introduces its hardware design, interface design, function design. The tester is suitable for a variety of test applications in smart substation, for example, secondary equipment test, time synchronization device test, substation network test, etc. It has a certain reference value to enhance the convenience and improve the efficiency of operation and maintenance of smart substation.

**Key words:** smart substation; portable integrated tester; secondary equipment test; synchronization system test; network test