

500 kV 玉山智能变电站试验技术应用

李修金,黄伟,袁宇波,邓洁清,强生,高磊,张小易,崔晓祥

(江苏省电力试验研究院有限公司,江苏 南京 211102)

摘 要:近年来随着纯光学互感器、IEEE1588 时钟同步技术、IEC61850-9-2 组网等新技术的发展,在国内一些数字化变电站中已进行了初步应用探索,这些新技术的应用对如何进行数字化变电站进行系统的性能测试评估是当前面临的一个突出难题。介绍了苏州东(玉山变)数字化间隔测试方案及经验,提出了数字化变电站测试内容及方法手段,总结了在数字化间隔测试中遇到的一些问题。

关键词: 数字化变电站; IEC61850; 数字化测试; 智能电网

中图分类号:TM63

文献标志码: B

文章编号:1009-0665(2010)06-0057-04

随着智能电网建设步伐的加快,目前国内数字化变电站技术正得到越来越多的重视与关注,全国各地都积极开展了数字化变电站建设的试点工程。近年来纯光学互感器、IEEE1588 时钟同步、IEC61850-9-2 组网等技术又有了新的突破,并获得初步试用。与常规变电站试验测试相比,变电站内的保护原理并没有本质的区别,更多的是信息传输方式及信息表达的变化,由于数字化新技术中如网络组网、XML 信息配置、IEEE1588 同步技术等,这些给变电站系统性能测试评估带来了许多新的问题,因此与常规变电站试验测试相比增加了很多新的测试内容,但由于在一些方面还缺乏相关数字化测试规范及标准,对数字化变电站性能如何进行有效的测试还处于探索阶段,结合苏州东数字化间隔测试经验,总结了在测试中遇到的一些问题。

1 苏州东数字化间隔测试方案

500 kV 苏州东是国网公司的数字化变电站重点试点项目,全站三层统一采用 IEC61850 协议,保护、测控各自独立组网,保护为单独的双星型网络,测控单元按照光纤环网组网。在苏州东侧选择第一串 500 kV 线路进行数字化的试点,过程层采用光 CT,传输协议采用 IEC61850-9-2,时间同步采用 IEEE 1588 网络精密时钟协议。其三层结构见图 1。

光纤电流互感器(TA)采用独立支柱安装方式,母线穿过光 TA 敏感环,详细配置如下:2 组光 TA,2 个合并器,1 台测控装置,智能操作箱 2 台,故障录波器 1 台,1 台 IEEE1588 时钟设备,本侧数字化线路保护一套,对侧线路保护一套。该套线路保护采用双网络设计,每套线路保护中含 2 个主保护功能,分别接入各自的过程层网络,过程层网络上分别有 GOOSE、IEEE1588、SAV 采样值报文。

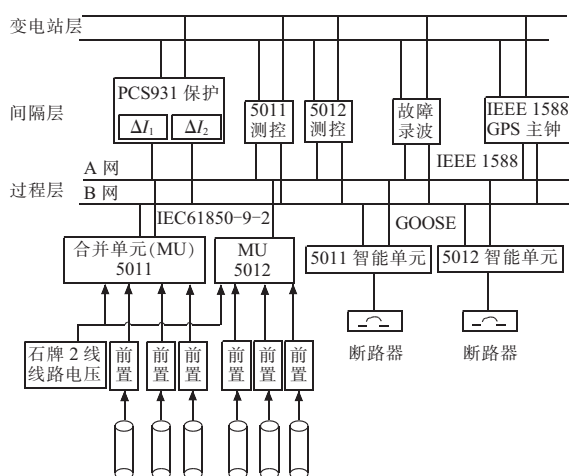


图 1 苏州东数字化间隔三层结构

对数字化光纤差动保护来讲其应用环境与传统保护相比中间传输环节增加,考核环境变化对差动保护的影响对数字化光纤差动保护来讲就显得尤为重要,为了充分模拟现场实际环境,考核光纤差动保护在各种情况下工作的可靠性,围绕苏州东数字化间隔需求,搭建如下测试环境,测试系统见图2。

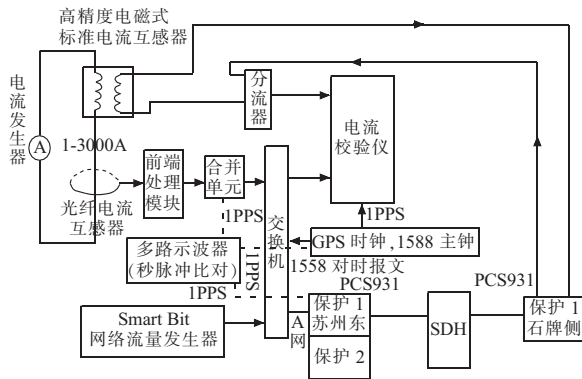


图 2 苏州东数字化间隔整体测试方案图

2 数字化间隔试验测试内容

数字化间隔测试主要进行了以下内容的试验:

(1) IEC61850 通信模型、服务及配置测试;

- (2)光学电流互感器精度、可靠性、极性测试;
- (3)IEEE1588 时钟同步性能及影响测试;
- (4)网络安全与性能测试;
- (5)数字化保护测试;
- (6)数字化测控测试;
- (7)数字化故障录波测试。

2.1 IEC61850 通信模型、服务及配置测试

本次数字化间隔集中了多个厂家的设备,由于都基于 IEC61850 标准,且都通过相关测试认证,所以通信能够实现快速的互操作。但也发现了一些问题,主要体现在^[1]:

- (1) 装置的模型与服务不完全符合电力行业标准《数字化变电站工程化实施技术规范》与国家电网公司企业标准《IEC 61850 工程应用模型》。
- (2)各个厂家对某些服务细节理解存在差异,比如软压板的 SBOw 控制失败,并能返回相应额外原因值各不不统一。
- (3) 装置配置文件中的描述信息与实际功能以及通过 IEC61850 客户端三者读出各不匹配,描述信息与功能信息不一致。如定值可设置的最大最小值。
- (4)多个厂家配置文件缺乏有效统一管理,多基于手工修改与拷贝,无法有效地进行配置文件版本跟踪及管理。

2.2 光学互感器精度、可靠性、极性测试

500 kV 苏州东数字化间隔采用的是纯光纤电子式互感器,光纤互感器由光纤传感头、前置采集模块、合并单元组成,在结构上、原理上与传统的互感器截然不同。互感器传感头与前置采集模块之间采用保偏光纤连接,这一段光纤的要求很高,任何振动、挤压等因素都有可能影响互感器的性能,甚至正常工作,因此需要对这种互感器各个组成环节进行详细测试与分析,测试内容主要针对互感器的精度、可靠性、极性进行了比差、角差试验,光纤可靠性试验,极性试验。

光纤互感器存在固有的毛刺电流,但毛刺电流大小固定,约为 10 A。当互感器一次电流较小时,毛刺电流很明显,甚至湮没真实电流;当互感器一次电流较大时,毛刺电流不明显,互感器的输出逐渐与标准源的波形吻合。(图 3~5 中红色波形为互感器数字量输出,白色波形为升流器二次输出,绿色波形为上述 2 个波形的差。

光纤互感器的光纤环与前置采集模块之间采用保偏光纤连接,该段保偏光纤的性能对外部应力变化、温度变化、振动等比较敏感。由图 6,7 可以看出,在保偏光纤受到挤压或歪捏时,互感器数出会发生

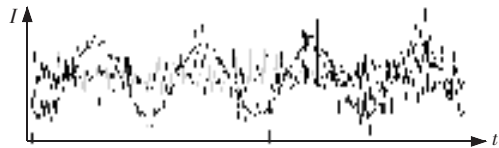


图 3 40 A 一次电流

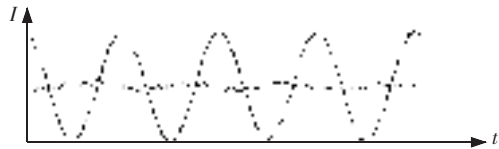


图 4 400 A 一次电流

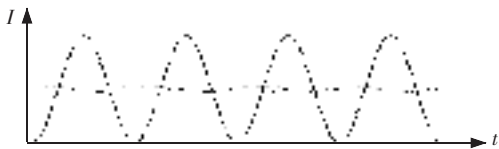


图 5 4 000 A 一次电流

严重畸变。甚至在用力捏保偏光纤时会出现采样值无效的现象,这对光纤互感器现场安装、运行提出了较高要求。

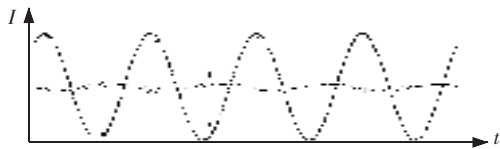


图 6 轻捏光纤

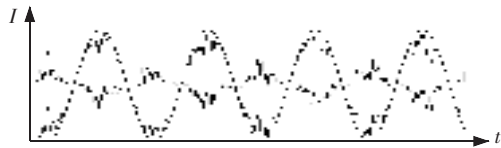


图 7 重捏光纤

图 8 为本次互感器极性校验结构图,采用 Doble 测试仪给互感器时间直流电流,电流从互感器标有 P1 的一端穿入,P2 端穿出。为了得到更大的一次电流,一次导线仍然在光纤环上绕 10 圈。采用互感器数据分析系统接收互感器的 9-2 数据,实施显示波形,从而根据波形与一次施加的直流电流判断互感器极性。

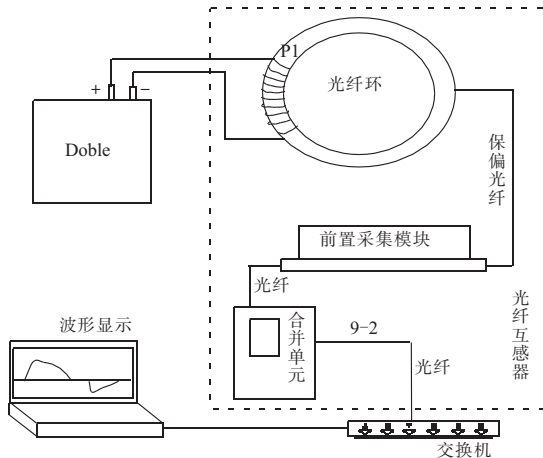


图 8 互感器极性校验图

2.3 IEEE1588 时钟同步性能及影响测试

试验分别引出 MU5011、MU5012、PCS931 保护装置内部芯片中的秒脉冲信号,通过多路示波器记录各装置的同步秒脉冲与 1588 主钟同步秒脉冲之间的时间差。分以下几种情况记录测试结果:

(1)在正常工作方式下的秒脉冲的时间差以及随着时间变化的趋势。

(2)在网上进行风暴测试,考核在网络风暴情况下,各装置秒脉冲时间差的变化趋势。

(3)测试最优时钟选择与切换,在 IEEE1588 主钟切换过程中对合并器及保护的影响^[2]。

(4)测试不同厂家交换机对 IEEE1588 的支持及时钟同步性能。

各装置脉冲同步比对见图 9。

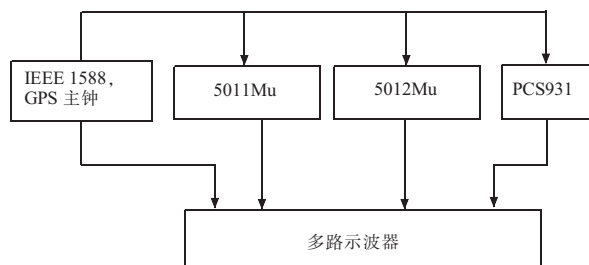


图 9 各装置脉冲同步比对

经过测试表明在正常工作情况下,合并单元秒脉冲时间差的变化范围为 $-340 \sim -130$ ns,另 PCS931 保护测试结果类似,都能满足在 $1 \mu\text{s}$ 以内的同步精度要求。

测试了合并器在失去 IEEE1588 主钟的情况下,大致 5 min 后发出 1PPS 告警,采样值置为失步,合并器具有一定的守时功能,在约 45 min 后合并器偏差可达到 $8 \mu\text{s}$ 以上。另 PCS931 保护没有守时功能。

在最优主钟选择切换(BMC)测试中将 2 台主钟接入交换机,测试自动切换能力,测试表明在切换的过程中,合并器可能导致调整瞬间切换过大超过 $1 \mu\text{s}$ 以内的要求,因此在合并器从钟跟踪最优主钟切换与 IEEE1588 时钟恢复时刻调整方式合并器、保护装置应基于统一的基准进行调整。

另外通过增加了 SmartBit 增加网络流量,测试对 IEEE1588 同步性能的影响,测试结果表明某厂家 IEEE1588 主钟在 20M 流量下无法正常工作出现死机状态。

2.4 网络安全与性能测试

数字化变电站中网络的组网对整体网络的性能及安全影响较大。构建了通过 SmartBits 增加网络负荷流量进行测试,通过设置自动发送 Ethernet 报文、ARP 报文、IP 报文、TCP 报文、IEEE1588、

SMV 报文、MMS 报文模拟测试对各类性能的影响。

网络系统测试示意图见图 10。

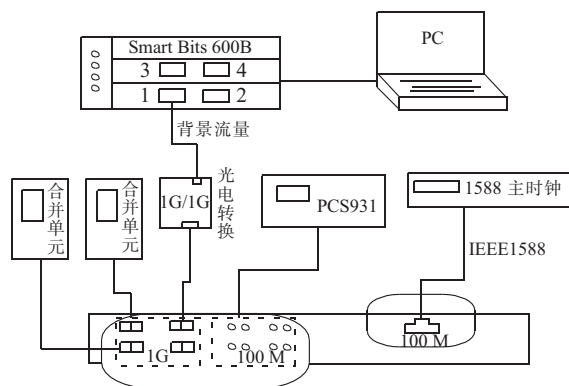


图 10 网络系统测试示意图

通过将 SmartBit 的 2 个端口分别连接到被测交换机上,网络广播流量从测试仪的 1 号端口发出,经过被测交换机的 2 个端口后回到测试仪的 2 号端口,从而测试比较发出报文与收到的报文的数量就可得出交换机的吞吐率,同时也可得出被测交换机对于广播的抑制率。

通过各厂家典型保护与测控装置发送不同格式、不同流量的报文测试各个装置对网络负荷的承受能力,测试表明有些厂家设备受网络流量增加影响较大,易引发无法 ping 通、装置死机、无法正常工作的现象。

通过测试发现了测控组成的环网,比较容易引起环网风暴,发生风暴后只有所有装置重启后才能恢复正常。

测试了光纤通道叠加延时测试与叠加误码测试;通过光纤延时测试装置,测试两侧在不同的通道延时情况下的差动电流。

通过光纤误码发生器,叠加不同的误码,观察差动保护的动作行为。考核装置误码检测机制、告警机制及闭锁逻辑的正确性。

2.5 数字化保护测试

数字化保护测试内容主要包括考核数字化光纤差动保护在两侧电流相对相位不同情况下,两侧装置计算差动电流、制动电流的正确性;考核数字化光纤差动保护的动作时间、采样值精度是否满足要求;模拟被保护线路区内外发生各种类型的瞬时性故障、永久性故障、转换性故障、发展性故障以及系统振荡、系统振荡中发生区内外故障等,测试各故障下动作性能。

继电保护、智能单元的网络性能关系到保护的动作速度,试验中针对 500 kV 线路保护间隔在一定网络流量背景下进行动作性能的测试。

测试中保护装置、智能单元按照变电站实际运

行情况连接,通过间隔交换机进行 GOOSE 通信;保护装置的采样数据由继保测试仪提供;用模拟断路器代替真实的断路器开关,动作返回接点经过智能单元的 GOOSE 返回到交换机;网络背景流量由 SmartBits 通过间隔交换机加入被测系统中,保护动作性能由继保测试仪通过 GOOSE 返回接点而获得,测试系统整体结构如图 11 所示。

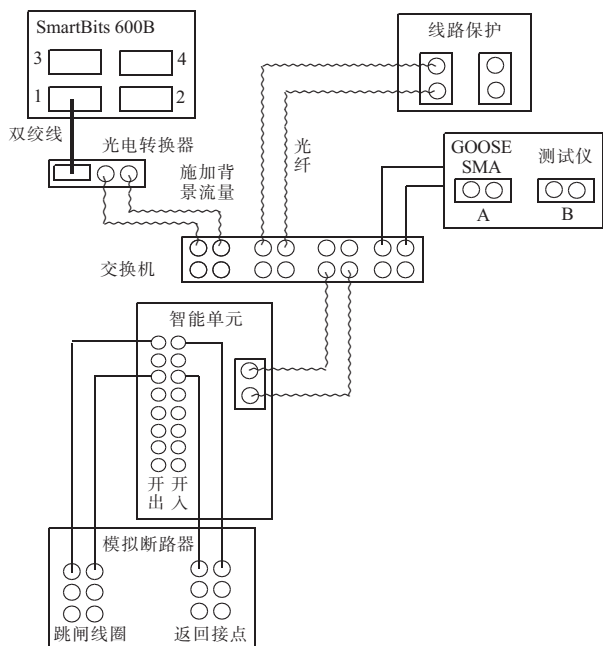


图 11 保护动作性能测试示意

2.6 数字化测控测试

对数字化测控完成了遥测量精度、硬开入与 Goose 开入等遥信结果比对,合闸回路功能、断路器操作回路功能测试验证。

2.7 数字化故障录波测试

苏州东变电站侧配置一台 500 kV 故障录波器,为数字化间隔保护录波分析专用。专用故障录波器接入来自合并单元的 TA/TV 数字量,以及第三套保护动作信号的开关量。故障录波装置采用独立网口分别与 2 个 MMS 网、1 个 SAV 网、2 个 GOOSE 网直接连接。

按图 2 系统验证在各类情况下保护动作情况,验证数字化故障录波能准确地记录故障前后过程的各种电气量的变化情况,支持 IEC61850-9 采样传输。能满足对这些电气量的分析、比较,对分析处理事故,判断保护是否正确动作。

另对数字化过程层采用实时报文监测装置来监测合并器、IEEE1588 时钟、保护装置等交互报文的正确性。先后在试验中发现诸如采样值序号不连续、交换机驻留时间过长、交换机 IEEE1588 互操作存

在理解不一致等问题。

3 对测试中发现的一些问题思考

按照江苏电网“十二五”和“十三五”规划,结合变电站智能化规划进程,今后几年基于数字化变电站技术的智能变电站建设将得到进一步加快。综合以上试验测试发现的一些问题,认为今后在数字化变电站建设与技术看方案选择上应注意以下几点:

(1) 应加强 IEC61850 一致性互操作性试验测试;IEC61850 建模应遵循统一的标准规范要求,对未有规范的模型应进一步制定相关的建模规范。

(2) 对各个厂家配置文件应考虑基于统一平台下进行有效管理;应实现版本的可跟踪维护,确保配置描述信息与装置实际功能一致。

(3) 对组网方案的技术选择应充分论证选择;根据国网公司《智能变电站继电保护技术规范》,各装置之间的采样值 SV、跳闸 GOOSE 应采用“直采直跳”方式^[3,4],苏州东数字化间隔方案中采用采样值、GOOSE 跳闸、IEEE1588 三网合一的方案。作为数字化试点工程,该站方案也不失为一次有益的探索。

(4) 有必要引导网络设备商配置简化,以便于今后工程维护;网络组网后对运行维护人员网络有了非常高的要求,减少对设备厂家的依赖。

(5) IEEE1588 技术应用还需要进一步长时间现场运行验证其稳定性;国网公司《智能变电站继电保护技术规范》与江苏省电力公司《220 kV 数字化变电站技术导则》中规定保护装置应不依赖于外部对时系统实现其保护功能^[3,4],但当前 IEEE1588 应用方案明显依赖于 GPS 卫星,测试表明模拟外部 GPS 信号丢失,保护功能将受到影响。

参考文献:

- [1] IEC61850 Communication Networks and Systems in Substations[S].2003.
- [2] IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems[S].2008.
- [3] 国家电网.智能变电站继电保护技术规范[S].2009.
- [4] 江苏省电力公司.220 kV 数字化变电站技术导则[S].2009.

作者简介:

李修金(1972-),男,江苏徐州人,工程师,主要从事电力系统继电保护试验技术研究;

黄伟(1980-),男,江西临川人,工程师,主要从事数字化变电站与时钟同步领域技术研究;

袁宇波(1975-)男,江苏丹阳人,高级工程师,主要从事电力系统继电保护试验技术研究。

(下转第 65 页)

GB/T14598 规定的严酷等级为IV级标准;特别设计的PCB,满足16位分辨率的噪声要求。

(5) 支持多种通信方式。提供RS232/422/485串行通信口;提供10M/100M自适应以太网接口;支持TCP/IP协议,支持IEC 870-5-103规约;可以通过MODEM和以太网与中心站联网,支持与综自和监控系统联网。

(6) 失电保持功能。电源带有储能功能,可在失去电源下持续供电数秒,以保证全面得到暂态数据。

(7) 极高的同步性。系统借鉴同步相量采样技术,具有极高的同步性;兼容测量CT,可实现高精度相量测量;高同步性可为双端测距提供可靠数据。

(8) 改进的prony算法可准确迅速判定电力系统低频振荡。

(9) 在线故障分析与诊断降低的网络通讯负担,并提供迅速快捷简明信息。

(10) 数据管理单元跨平台设计满足用户多方面不同层次需求。

参考文献:

[1] 薛禹胜. 时空协调的大停电防御框架:(一)从孤立防线到综合防御[J]. 电力系统自动化,2006,30(1):8-16.

[2] 王振树,张波,李欣唐. 新型电力故障录波监测系统[J]. 电力系统自动化,2007,31(10):92-101.

[3] 罗建裕,王小英,鲁庭瑞,等. 基于广域测越技术的电网实时动态监测系统应用[J]. 电力系统自动化,2003,27(24):78-80.

[4] 鲁文,徐晨亮,丁孝华,等. 一种考虑分布电容的模糊故障测距算法[J]. 电力系统自动化,2006,30(8).

[5] 谢小荣,李红军,吴京涛,等. 同步相量技术应用于电力系统暂态稳定性控制的可行性分析[J]. 电网技术,2004,28(1):10-14.

[6] 牟晓勇,黄益庄,李志康,等. 嵌入式双速暂态信号同步录波装置[J]. 电力系统自动化,2003,27(20):92-94.

[7] Michel Meunier Fouierrnsform Wavelets. Prony analysis: Tools for Harmonics and Quality of Power[J]. IEEE Power Delivery,1998,13(4):11-19.

作者简介:

鲁文(1977-),男,江苏南京人,工程师,从事电力系统故障识别与诊断;

刘明祥(1974-),男,江苏南京人,工程师,从事电力系统分析与控制;

孙国城(1963-),男,江苏南京人,教授级高级工程师,从事电力系统分析和控制。

Power Fault Recording and Monitoring System Based on Synchrophasor

LU Wen,LIU Ming-xiang, SUN Guo-cheng

(State Grid Electric Power Research Institute,Nanjing 210003,China)

Abstract: At present, power system interconnection has brought new challenges to the safety and stability of power system operation. In the event that a large-scale and long-duration fault occurs in the interconnected system, the power fault recording and monitoring system (PFRMS) should be able to meet the requirements of fault analysis. The Paper elaborates a power fault recording and monitoring system with the type of DPR-2E. In order to improve system reliability and anti-jamming, the hardware device of DPR-2E adopts a twin CPU system made up of Motorola PowerPC and ADI BlackFin DSP and the software adopts Linux embedded real-time operating system. Based on the platform of synchrophasor measurement and the synchronous clock signal, DPR-2E can supply large-scale original data. Constant-temperature crystal oscillator with good stability and time keeping technique with high precision ensures the veracity of one Pulses Per Second (1PPS) at any time and the synchronous analysis of large-scale fault. The improved prony algorithm identifies the power system low frequency oscillation quickly and exactly. The high accuracy location technology can commendably adapt to the ranging fault due to the variation of line parameters. The system realizes consecutive recording over a long period of time and uniform analysis of the steady, synchrophasor, dynamic and transient data, providing reliable data sources for analysis of the ultra-long, large-scale and developing fault.

Key words: synchrophasor; fault recording and monitoring system; stability recording; low frequency oscillation

(上接第60页)

Application of Test Technology in 500 kV Yushan Smart Substation

LI Xiu-jin, HUANG Wei, YUAN Yu-bo, DENG Jie-qing, QIANG Sheng, GAO Lei, ZHANG Xiao-yi, CUI Xiao-xiang

(Jiangsu Electric Power Research Institute Co., Ltd., Nanjing 211102,China)

Abstract: As the development of new technologies such as pure optical transformer, IEEE1588 clock synchronization technology, IEC61850-9-2 network construction etc. in recent years, these new technologies have been preliminarily explored to be applied in some digital substations. It is a prominent problem to systematically evaluate the performance of digital substation. This paper introduces the project's scheme and practical experience of digital interval test in east Suzhou (Yushan substation), proposes the content and measure of the digital substation test, and concludes some problems in the test.

Key words: digital substation; IEC61850; digital test; smart grid