

智能变电站二次系统集成测试平台设计

智能变电站二次系统集成测试涉及环节多、周期长，严重影响了智能变电站工程建设效率。分析了智能变电站与常规变电站二次系统测试的主要差异，归纳了智能变电站集成测试的主要内容，设计了满足IEC 61850标准的二次系统集成测试平台，完成了典型间隔的间隔层和过程层设备测试，实现了二次系统的可视化展示与管理，从而提高了系统联调测试效率，具有工程实用价值。

李 峰¹ 吴振杰² 牛 强¹ 梁经宛¹ 赵 宝¹/1.许继集团有限公司

2.国网浙江省电力公司杭州供电公司



李 峰/工程师

智能变电站^[1]是智能电网的重要环节和支撑。目前，我国已经建成投产的智能变电站约有1 000余座，在智能变电站标准制定、方案设计、设备研制、工程建设和运维管理等方面实现了重大突破。然而，智能变电站二次设备的实现方式和应用方式较常规变电站有较大变化，尤其在调试、施工等方面存在巨大的差异，这些因素导致智能变电站二次系统联调测试工作复杂，涉及环节及调试设备多，周期过长，严重影响了智能变电站工程建设效率。

本文针对智能变电站二次系统技术特点，对比分析了智能变电站与常规变电站测试的主要差异，总结归纳了智能变电站集成测试的主要内容，设计了满足IEC 61850标准的二次系统集成测试平台，为实现智能变电站二次系统联调的标准化、通用化和实用化提供了有益探索，也为提高智能变电站工程建设效率提供了支撑。

关键词/Keywords

IEC 61850 ·

智能变电站 ·

二次系统 ·

集成测试 ·

智能变电站与常规变电站调试区别

1. 调试流程的主要差异

常规变电站调试流程可分为设备出

厂验收和现场调试两大部分。出厂验收为站内设备出厂前的质量检查把关，并不涉及调试具体内容；调试工作主要在现场调试阶段，调试阶段按照流程又可细分为单体调试、分系统调试和系统调试。

智能变电站调试以变电站功能为主线展开，侧重于系统集成的设备配置核查、组态配置核实与功能应用实现^[2]。目前，智能变电站二次系统调试的标准流程为：组态配置→系统测试→系统动模→现场调试→投产试验^[3]。

图1展示了智能变电站与常规变电站二次系统调试过程的主要区别，其中厂内的二次系统集成测试^[4]（Integrated Testing, IT）是智能变电站特有的调试环节。

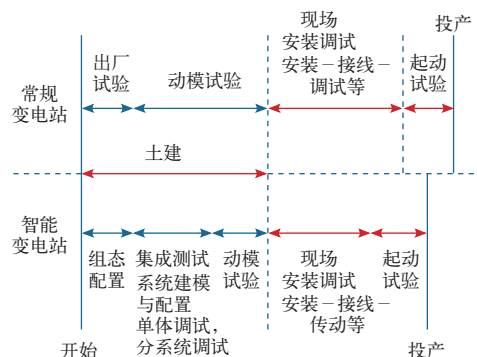


图1 智能变电站与传统站调试对比

集成测试是在单体调试已经完成，将所有的智能电子装置（IED）或功能模块按照设计要求组装成子系统或系统后，测试各部分工作是否达到相应的技术指标或系统功能是否正常实现。如下表所示，测试包括各IED或模块连接起来后各接口的数据通信是否正常；一个模块的功能实现是否会影响另一个模块的功能；各个子功能模块组合起来，能否

达到预期的功能；整体结构设计是否有缺陷或问题；单个IED或模块的误差累积是否会放大，从而达到不能接受的程度等。因此，集成测试能够发现并排除在单体调试或模块连接中可能发生的问题，最终构成满足技术要求或特定功能的系统。

表 智能变电站集成测试的主要内容^[3, 5]

序号	测试内容
1	单装置功能试验
2	二次系统装置互联互通试验
3	合并单元同步性能和延时测试
4	时钟系统测试
5	智能终端出口时间、SOE准确度及分辨率检验测试
6	计算机监控系统试验
7	高级应用相关功能技术方案试验
8	站控层和过程层网络性能测试

2. 模型文件的主要差异

常规变电站保护调试只需按设计图样进行。智能变电站保护调试，则要事先了解ICD、SSD、SCD和CID等模型文件之间的相互关系、系统配置及工作流程，具体如图2所示。

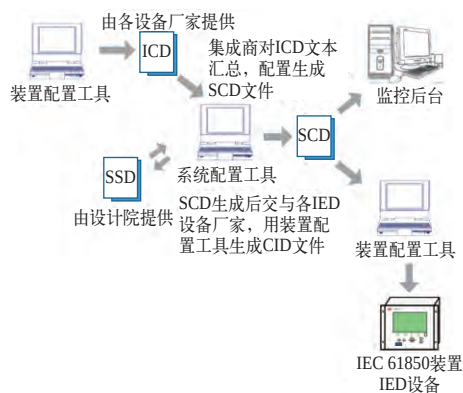


图2 系统配置及工作流程

各设备厂商提供装置自描述信息ICD，系统集成商通过组态工具和SSD文件（包含一次系统的单线图、设备逻辑节点和设备类型定义等），组态形成工程项目的SCD文件（包含变电站一次系统、二次设备配置、通信网络及参数配置）。二次设备厂家使用装置配置工具和全站统一的SCD文件，提取CID文件（包含与ICD数据模板一致的信息，也包含SCD文件中针对该装置的配置信息，如通信地址、IED名称等）下载到装置，供调试人员进行

测试。因此，调试人员在试验前必须熟悉全站SCD文件和装置的CID文件，掌握采样值报文格式（每个通道的具体定义）、GOOSE报文格式（虚端子数据集的定义及对应关系）、全站网络结构和交换机配置等，这是常规变电站调试所不具备的内容。

3. 调试项目的差异

相比于常规变电站，智能变电站增加了过程层网络和相关设备，过程层网络性能测试是系统测试的一项重要内容^[6]。与常规试验项目相比，智能变电站二次系统集成测试增加了电流和电压信号的同步检查、合并单元同步及延时测试等，一般需要利用标准源给合并单元加量检查输出准确度，并接收合并单元发出的报文数据，对比波形分析电压和电流相位，并分析数据的同步性和延时，以及检查并列功能报文配置的正确性等。

同时，智能变电站采用光纤取代电缆通信，GOOSE、SV等输入输出信息与传统屏柜的端子存在着对应关系，表征了设备之间、系统SCD配置连接线之间的关系等，即虚端子。设计院根据ICD文件编制了虚端子表，规定了虚端子间的连接关系，系统集成商根据虚端子表编译SCD文件。虚端子表相当于常规变电站的二次回路图样，尤其在保护IED之间的虚端子连接中十分重要，如果连错，正常的保护配合关系则不能实现，或相应的参量信息不能正确送达相关装置。

目前，智能变电站的虚端子连接关系不透明，调试人员只能通过特定的软件才能知晓各个端子的连接状态，效率极低，且二次设备的回路状态、软压板投退状态等监视起来异常困难，虚回路的可视化展示成为集成测试和现场运维管理亟需解决的主要问题之一。

4. 分系统试验的差异

将配置好的SCD文件利用设备配置工具下发到各智能设备（保护、测控、智能终端和合并单元等），观察装置有无异常现象，如退出运行、死机等问题。按调试大纲，利用数字校验仪及SCD文件对各智能装置进行校验。模拟故障验证配置文件及虚端子逻辑关联的完整性、连接的正确性、保护分闸逻辑的正确性和报文及事件顺序记录

(SOE) 时标、故障录波及监控显示的正确性, 试验方法与常规变电站相同。

与常规变电站调试不同的是, 智能变电站新增了网络报文记录分析功能调试。网络通信实时状态检测需使用专用仪器的软件(模拟网络风暴), 检查GOOSE网络的稳定性; 对网络交换机进行局域网划分, 保证网络采集SV数据端口的实时性; 利用分析软件检查相应端口MAC地址输出的正确性。将保护装置、监控、故障录波、对时系统及模拟断路器信息接入相应网络, 完成设备信息互联。

5. 调试仪器的差异

根据智能变电站系统特点和调试项目的需要, 在常规调试设备的基础上, 智能变电站集成测试需要增加网络分析仪、数字化继电保护测试仪和便携式录波器等^[7], 继电保护测试仪和便携式录波器应支持GOOSE和SV传输技术。

由此可见, 智能变电站二次系统集成测试工作是一项涉及多需求、多任务环节和多测试设备的繁杂工作, 如果能够设计一套基于IEC 61850标准的集成测试平台, 实现集成测试的标准化、通用化和可视化, 对于提高智能变电站二次系统集成测试工作效率意义重大。

集成测试平台架构设计

智能变电站二次系统集成测试平台拟由软件功能模块和硬件平台组成。

软件功能模块主要由规范性验证模块、IEC 61850通信测试模块、功能自动测试模块、SCD文件配置模块和可视化展示与管理模块等几部分组成, 具体如图3所示。

硬件平台拟由“时间同步模块+继电保护测试模块+网络分析模块+管理与展示模块”四部分构建。

图4中, 集成测试平台能够实现模块的同步准

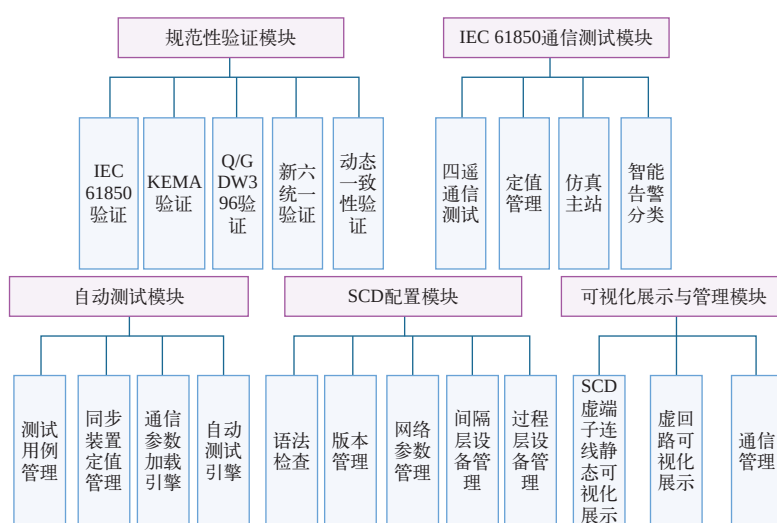


图3 二次系统集成测试平台功能架构设计

确度、守时特性^[8]等测试。时间同步模块为系统设备提供统一时间, 支持IRIG-B码和IEEE 1588输出; 继电保护测试模块完成合并单元、智能终端和继电保护等设备的单装置功能测试、互联互通试验等; 网络分析模块主要完成过程层网络性能测试; 管理与展示模块配置一台服务器, 可以完成计算机监控系统试验、高级应用功能验证等, 同时, 重点实现二次系统虚回路的可视化展示与管理功能。

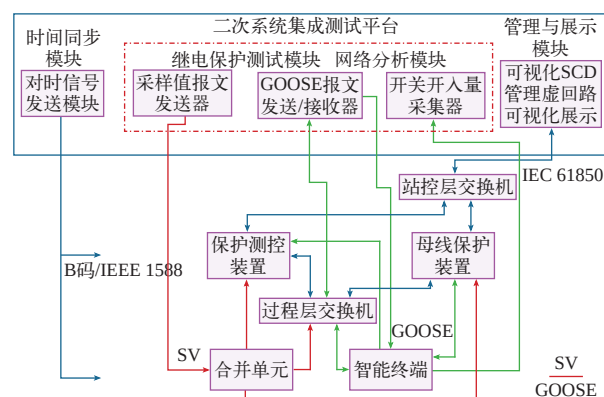


图4 二次系统集成测试平台构建示意图

通过构建集成测试平台, 实现模拟一个完整的间隔进行联动试验及性能测试、模拟保护之间的动态性能和对网络性能进行测试等功能, 并实现对二次设备及回路的可视化管理与展示, 从而缩短智能变电站系统集成测试周期, 提高系统集

成测试效率,同时也为新设备的测试验证、压力状态下的网络设备行为考核提供了有效的测试手段和测试环境。

主要功能实现

1. 站控层通信规约测试

采用成熟的智能变电站后台监控软件,对间隔层设备进行站控层通信规约验证,主要完成四遥通信测试、定值管理、仿真主站和智能告警分类等功能。

2. 二次设备自动测试

该模块满足智能变电站继电保护等二次设备输入输出的三种应用方式，即“SV+GOOSE”、“SV+GOOSE+硬开入开出”和“小电压模拟量信号输入+GOOSE+硬开入开出”，可根据被测对象的需要切换自身工作状态，具体设计思路为：

1) 模块提供单独的SV Config菜单。在此SV Config菜单中支持读取被测装置的配置文件，根据被测装置需要，自动生成数字化继电保护测试模块SV信息的发送配置（包括SV帧格式、组数、每组通道个数、通道系数和采样率等），支持局部人工修改。该模块使能后，继电保护测试模块按照配置内容发送SV报文；如果该模块没有使能，继电保护测试模块输出小电压模拟量信号。

2) 模块提供单独的GOOSE Config菜单。在此GOOSE Config菜单中支持被测装置的配置文件导入，根据被测装置的配置文件自动生成继电保护测试模块的GOOSE收发配置，同样支持局部人工修改。调试人员可以设置继电保护测试模块的开入开出和GOOSE数据的映射关系。对于继电保护测试模块的开入和GOOSE数据有映射关联的，该开入用做GOOSE开入，否则仍作为硬开入使用；对于继电保护测试模块的开出和GOOSE数据有映射关联的，该开出用作GOOSE开出，否则仍作为硬开出使用。

平台支持以上SV Config、GOOSE Config菜单的配置信息导出、保存和重新导入。

3. 网络测试

网络测试模块在常规网络测试的功能基础

上,增加了网络压力测试功能,能够展示网络异常告警信息,可以对丢包、延时和网络整体性能进行测试,满足智能变电站的二次系统集成测试的需要。

该模块能够实现对保护、交换机等主要二次装置的在线监测功能,对这些装置的主要运行参数,如温度、光口光强及电源电压等信息(实际工程中故障率较高的几个模块)实时采集,并根据预先设定的各参量阈值进行分析、预警,同时支持将告警信息上送至监控系统。

1) 监测对象：主要二次设备（如网络交换机、合并单元、智能终端和保护等）。

2) 监测信息：工作电压、温度、光口光强和链路状态等。

3) 监测方式：状态监视、历史曲线、链路状态诊断和综合故障分析等。

4. 可视化展示与管理功能

SCD配置器能够根据IED设备的虚端子连线自动生成二次回路信息图，包含传输方式、传输方向及数据描述等，以图形界面的形式静态展示IED二次虚回路连接情况，便于检查虚端子连接的正确性，如图5所示。

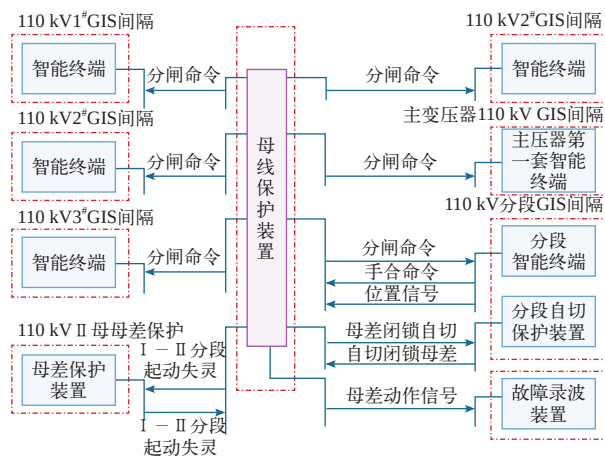


图5 母差保护二次回路静态可视化展示示意图

服务器内嵌虚回路可视化展示软件工具，继电保护测试模块通过对被测IED施加SV、GOOSE量值模拟现场环境，展示工具通过SCD文件解析各IED设备之间的连接关系，包括设备收发的GOOSE及SV通道信息，由IED提供每组GOOSE信

息与通道信息之间的映射关系，并将其上送展示工具，实现对相关开关量与通道间的详细信息展示（线路状态、压板状态和通道量值等），如图6所示。

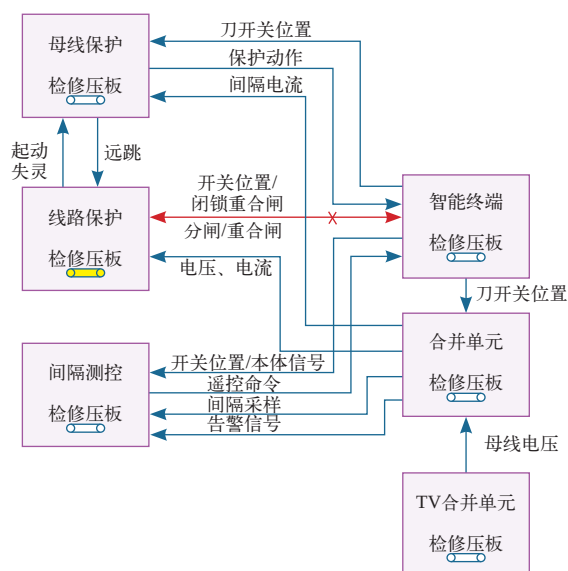


图6 二次回路动态可视化展示示意图

5. 二次设备自动测试

二次设备自动测试技术方案如图7所示。设计人员编译生成目标程序时，同时生成一个文件，将此文件导入集成测试平台即可实现本装置所有的保护相关项目测试，并打印测试报告，从而实现系统主要二次设备的自动化测试。

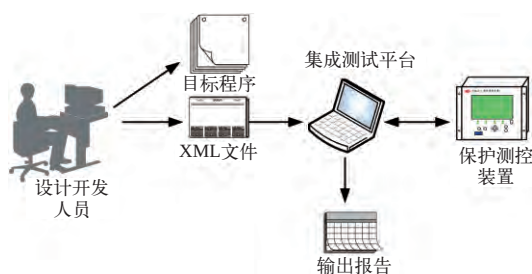


图7 二次设备自动测试技术方案

采用本集成测试平台后，能够将原本分散的、涉及多环节的二次系统集成测试任务集中在一个硬件平台上实现，理论上可缩短二次系统测试周期20%以上。本平台还可用于智能变电站现场检修，对现场需要变更的二次装置进行验证，将现场验证的工作量放到测试平台中，这样可以大大简化现场工作量，远期预期可实现现场二次设备的即插即用。同时，本平台的可视化展示与管

理功能也为实现智能变电站二次系统的可视化运维与管理提供了有益参考。

结束语

本文分析了智能变电站与常规变电站二次系统测试工作的主要差异，提出了一种智能变电站二次系统集成测试平台设计方案，能够实现模拟一个完整的间隔进行联动试验及性能测试、模拟保护之间的动态性能和对网络性能进行测试等功能，还能够实现虚回路的可视化展示与管理等功能，为提高智能变电站整体建设效率提供了有益探索。

本平台理论上可实现不同设备厂商IED的互联互通测试，但由于各厂商IED模型文件存在一定差异，若要真正意义上实现平台的标准化和通用化，尚需进一步开展相关研究工作。

参考文献

- [1] GB/T 30155—2013 智能变电站技术导则[S]. 北京：中国标准出版社，2014.
- [2] 陈宏，黄国方，陈金猛，等．基于IEC 61850的变电站二次系统工程调试与质量控制[J]．电力建设，2012，33（9）：15-19.
- [3] 国家电网公司．Q/GDW 689—2012 智能变电站调试规范[S]．北京：中国电力出版社，2012.
- [4] 岑文豪，田英杰，沈冰，等．智能变电站集成测试初探[J]．华东电力，2012，40（5）：76-78.
- [5] 朱维钧，唐志军，林冶．智能变电站二次系统工厂验收规范的研究[J]．电力与电工，2012，32（4）：16-19.
- [6] 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.
- [7] 冯军．智能变电站原理及测试技术[M]．北京：中国电力出版社，2011.
- [8] 林冶，唐志军，邓超平，等．智能变电站二次系统现场调试技术研究[J]．电力与电工，2012，32（2）：4-7.

（收稿日期：2014-10-29） EA