

智能变电站二次系统仿真测试和集成调试新模式的探索和研究

纪陵¹, 李忠明¹, 蒋衍君¹, 裘愉涛²

(1. 国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 210003; 2. 浙江电力调度控制中心, 浙江 杭州 310007)

摘要: 针对目前智能变电站二次系统测试和集成调试的环境搭建工作量大、配合环节多、调试周期长、高级应用功能难以进行整系统的集成调试问题, 提出了一种智能变电站二次系统仿真测试和集成调试的新模式。以智能变电站应用功能测试和集成调试为中心, 对二次系统集成测试进行了有效的分离。利用等效仿真和仿真测试技术手段, 构建仿真测试系统, 支撑各部分应用功能的测试和集成调试的进行, 有效地提高了智能变电站二次系统各应用功能集成调试的效率, 同时也达到和真实装置集成在一起进行集成调试模式同样的调试效果。为了实现智能变电站二次系统仿真测试和集成调试的新模式, 还对站控层应用功能业务流嗅探技术和间隔层二次设备通用仿真技术进行了简单的阐述。该模式在智能变电站工厂集成测试、现场集成调试以及智能变电站改扩建调试中进行了实践和应用, 取得了良好的效果, 具有很好的经济效益和社会效益。

关键词: 智能变电站; 仿真测试; 等效仿真; 集成调试; 新模式

Exploration and research of smart substation secondary system simulation testing and integration testing new mode

Ji Ling¹, Li Zhong-ming¹, Jiang Yan-jun¹, Qiu Yu-tao²

(1. Guodian Nanjing Automation Co., Ltd., Nanjing 210003, China; 2. Zhejiang Electric Dispatch and Telecommunication Center, Hangzhou 310007, China)

Abstract: At present, it has large amount of work in environment building, many coordination links, and long debugging period, and the problem that the advanced functions are difficult to make integrated debugging in the whole system in the secondary system test and integration test of smart substation. Aiming to that, this paper puts forward a new mode of intelligent substation secondary system simulation test and integration debugging test. It takes application function test and integration debugging of intelligent substation as the center and separates the integrated test of secondary system effectively. By means of equivalent simulation and simulation test, the simulation test system is constructed to support the application function test and integrated debugging, which not only effectively improves the efficiency of each application function integration debugging of intelligent substation secondary system, but also achieves the same debugging effects as using integrated debugging mode of integrating real device. In order to realize the new pattern, the traffic sniffer technology of station control layer application and the universal simulation technology of spacer layer secondary device are introduced. The model has been applied in smart substation factory integrated test, field integrated debugging and intelligent substation expansion debugging, and achieved good results, which has good economic benefit and social benefit.

Key words: smart substation; simulation testing; equivalent simulation; integrated testing; new mode

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)22-0119-05

0 引言

传统变电站自动化监控主要以四遥功能为主, 实现对变电站运行的远程监视和控制。随着国内智能变电站试点建设迅速推进, 智能变电站除了实现传统电网和设备运行监控的功能外, 还出现了一体化五防、顺序控制、无功优化控制、智能告警、数据辨识等高级应用功能^[1]。这些高级功能应用的推

广和深入, 将有效减轻运行人员的运维工作量, 不断提高变电站生产运行效率, 提升电网运行的智能化水平, 保证了电网安全、稳定、可靠运行。

然而, 智能变电站二次系统应用功能越来越丰富, 也使得智能变电站的工厂集成测试和现场集成调试的工作也变得原来越复杂, 为了实现各应用功能的集成测试和调试, 需要将二次系统的各种设备集成在一起, 在完成各设备单装置配置和联调、虚

端子连接配置和传动对点以及监控系统各应用配置和组态之后才能进行各高级应用功能的测试和集成调试，这就导致了智能变电站整个二次系统集成测试和调试的工作量大、调试周期长、配合环节多、集成调试的难度也大大增加，一些高级应用功能因为缺乏必要的调试时间和设备支撑或者因为需要配合测试的复杂度高，没有能进行测试和集成调试，在实际工程中并未得到推广和应用，这也阻碍了智能变电站的进一步发展。

因此亟需探索一种适应智能变电站发展要求的智能变电站二次系统测试和集成调试的新模式，从而简化智能变电站二次系统应用功能测试和集成调试的复杂度，提高智能变电站二次系统测试和集成调试的效率和水平，并对推动智能变电站建设和高级应用功能的推广都具有十分重要的意义。

本文提出一种智能变电站二次系统仿真测试和集成调试的新模式。针对智能变电站二次系统测试和集成调试的特点，以应用功能测试和集成调试为中心，利用仿真测试的技术手段对支撑各应用功能的采集输入和执行输出的外部特性进行等效和仿真，有效支撑了各应用功能的测试和集成调试的进行，实现了二次系统集成调试的有效分离，提高了智能变电站二次系统各应用功能集成调试的效率，同时也达到和真实装置集成调试模式同样的调试效果。

1 现有变电站二次系统测试和集成调试的模式

如图 1 所示，智能变电站二次系统大多划分为站控层、间隔层和过程层等三层。站控层由一体化监控系统主机、数据通信网关机、综合应用服务器等设备组成，提供站内运行监控和设备管理的人机联系界面，实现对全站电网和设备的运行监视、远方控制、二次设备管理等，并能实现智能告警、数据辨识、故障综合分析等高级应用功能。站控层基于 IEC 61850 规约实现和间隔层保护和测控等二次设备的信息交互。间隔层设备主要包括继电保护装置、安全自动装置、测控装置、故障录波器等设备，主要实现对变电站一次设备的保护、测量和自动化控制等功能，在站控层及网络失效的情况下，仍能独立完成间隔层设备就地监控功能。过程层主要由合并单元和智能终端等设备构成，完成与一次设备相关的实时运行电气量的采集、设备运行状态的监测、控制命令的执行等功能^[1-2]。

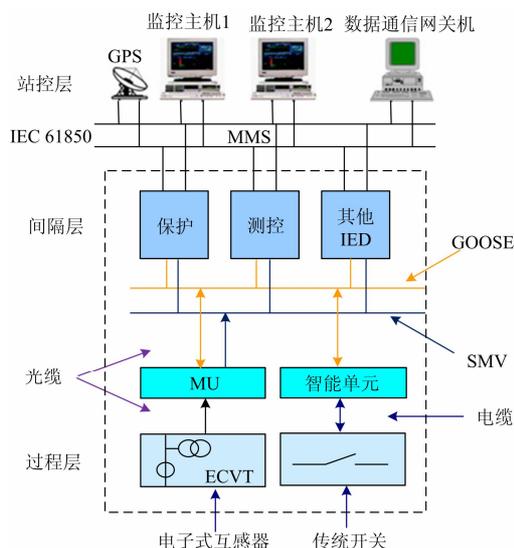


图 1 智能变电站二次系统层次结构图

Fig. 1 Structure diagram of smart substation secondary system

目前，智能变电站二次系统测试和集成调试模式首先需要站控层、间隔层和过程层的所有二次设备都准备好，并完成各层设备的配置和单体调试，然后完成整站二次系统的虚端子配置和数字化网络链路的连接，接着完成二次系统的信号对点和传动试验，同时还要完成监控系统各应用的配置和组态，在完成上述相应工作后才能进行智能变电站高级应用功能的测试和集成调试工作，这就导致了目前智能变电站整个二次系统测试和集成调试的工作量大，调试周期长，且应用功能的集成调试需要配合的环节也较多，调试过程中遇到问题排查的难度也较高，这就使得智能变电站整个二次系统测试和集成调试的成本非常高，整体集成调试的效率较低，一些高级应用功能因为缺乏必要的测试和集成调试的时间，或者因为某些二次设备不到位而不能进行必要的测试和集成调试，导致许多高级应用功能在实际工程中并未得到推广和应用，这也阻碍了智能变电站高级功能的不断推广和应用。

2 智能变电站二次系统测试和调试新模式

为了解决现有智能变电站二次系统测试和集成调试模式中存在的缺陷，文本参照戴维南等效电路的思路，提出了智能变电站二次系统等效仿真测试的思想，打破了原有需要将二次系统的全部二次设备集成在一起才能进行集成调试的思路，将智能变电站二次系统测试和集成调试在逻辑上划分为被测应用功能、应用功能的输入和输出以及支撑被测功能输入的等效采集和被测功能输出的等效执行等

三部分, 智能变电站二次系统等效仿真测试逻辑结构如图 2 所示。



图 2 二次系统等效仿真测试逻辑示意图

Fig. 2 Logical diagram of smart substation secondary system equivalent simulation test

采用智能变电站二次系统等效仿真测试的思路, 以应用功能测试和集成调试为中心, 分析智能变电站二次系统对象结构, 对智能变电站二次系统的功能集成测试重新进行划分, 抽象出全站二次设备对象等效仿真测试系统, 上层高级应用功能的测试和集成调试仅需要全站二次设备采集和控制对象的支撑, 下层二次设备的前置通信测试也仅需要全站二次设备数据对象的数据采集和控制命令下发的支撑。智能变电站二次系统对象结构示意图如图 3。

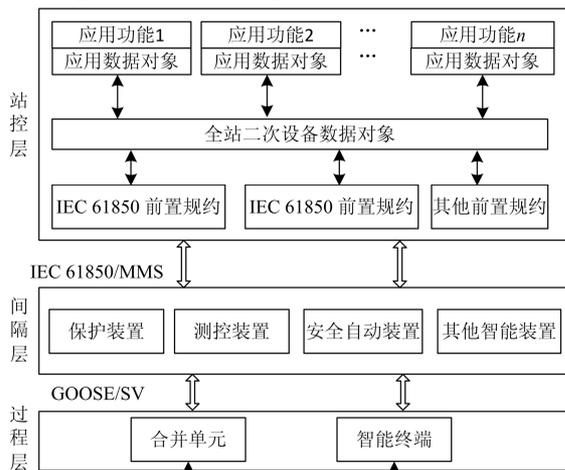


图 3 智能变电站二次系统对象结构示意图

Fig. 3 Structure diagram of smart substation secondary system object

利用等效仿真技术实现对支撑被测应用功能输入和输出部分的二次系统进行等效替代, 支持应用功能的全仿真测试和集成调试, 可以实现智能变电站二次系统的有效分离, 各部分应用功能的仿真集成测试, 可以基于等效仿真系统来实现, 而不依赖于真实装置的支持, 在保证对上对下支撑的二次设备等效仿真测试系统一致的前提下, 从整体上看各部分的测试和集成调试加在一起又能覆盖整个系统的集成测试和调试的所有内容。采用这种新型的二

次系统测试和集成调试模式可以减少二次系统各部分集成调试的环节, 提高智能变电站二次系统测试和集成调试的效率和可实施性, 推动智能变电站高级功能的推广和应用。

对于间隔层二次设备的测试和集成调试可以采用同样的思路, 通过仿真的技术手段实现间隔层二次设备的仿真, 搭建间隔层二次仿真系统, 替代被测二次装置的间隔层外部输入和输出, 同时能实现二次仿真系统和真实物理装置混搭的集成调试^[3], 在保证仿真系统和实际物理装置配置文件和输入输出一致的情况下, 实现间隔层装置之间的全仿真测试和集成调试, 如图 4 所示。

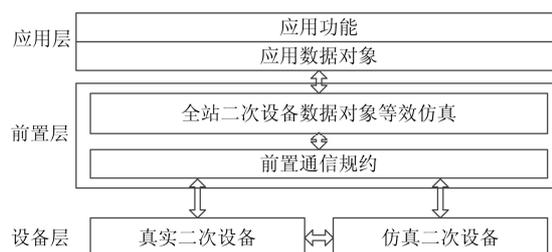


图 4 智能变电站二次系统等效仿真测试逻辑示意图

Fig. 4 Logical diagram of smart substation secondary system equivalent simulation test

3 智能变电站二次系统等效仿真测试关键技术研究

3.1 站控层应用业务流嗅探技术

基于以上思路, 实现站控层高级应用功能和二次设备前置通信测试的有效分离, 需要构建支撑高级应用和二次设备通信测试的全站二次设备对象等效仿真测试系统。通过构建应用业务流嗅探引擎, 实现对全站二次设备实时对象数据库的全实时在线侦测和业务流实时嗅探。应用业务流嗅探引擎能够根据应用功能业务数据的需要, 预先设置各二次设备数据对象信息传输数据值和传送时序, 并能模拟各应用数据采集和传输的全过程, 同时应用业务流嗅探引擎能够实时侦测站控层各高级应用的业务流, 当嗅探到有控制命令发出时, 能够自动截获应用写给二次设备控制对象的下发的控制命令, 能够实现控制业务流的全过程仿真, 同时能自动反馈正确的控制结果, 实现各应用控制业务的全闭环仿真测试, 从而支撑了智能操作票、一键式顺控、无功优化控制等高级应用功能的全过程闭环仿真测试和集成调试。智能变电站应用业务流嗅探流程如图 5。

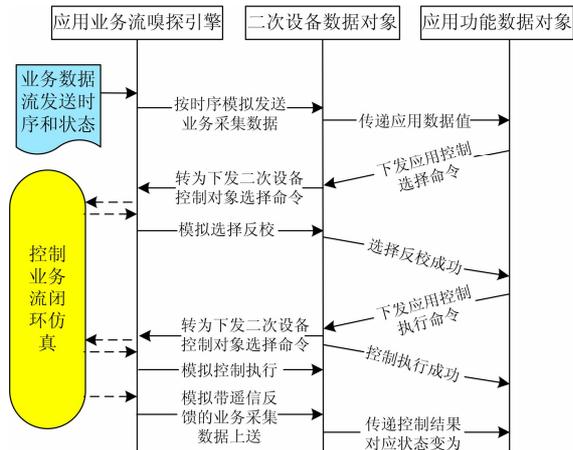


图5 智能变电站应用业务流嗅探流程

Fig. 5 Application of business smart substation sniffer process flow

3.2 基于通用平台的二次设备通用仿真技术

间隔层二次设备仿真系统采用一种基于通用平台的二次设备数字仿真技术, 实现对各类型保护和测控装置的仿真。二次设备通用仿真平台结构如图6所示。二次设备仿真系统基于通用的硬件平台和操作系统, 并通过多线程技术、共享内存技术、绑定多IP等技术实现在通用平台上对通用的多设备仿真的统一支撑, 通过对标准的各类型二次设备装置进行功能抽象, 分解出每个装置所具有的硬件配置、软件属性和保护逻辑, 从而建立一套二次设备通用的仿真平台, 并采用通用的逻辑图的方法, 实现硬件输入输出的定义以及保护和控制逻辑的图形化表达。基于二次设备通用仿真平台, 可以实现二次仿真设备硬件配置、软件属性和保护逻辑的快速可视化配置, 通过动态编译技术, 将不同的硬件配置、软件属性配置、算法文件编译成DLL动态链接库, 实现了基于通用服务器的不同类型保护和测控装置的仿真^[4-5]。为了满足二次设备实时性仿真的要求, 系统采用了基于多线程技术, 直接对操作系统线程进行控制, 既满足了二次设备实时性仿真的要求, 同时也能实现基于通用服务器的多设备仿真。通过对通用服务器网卡绑定多IP地址的方式, 实现了虚拟二次设备IEC 61850多服务端通信连接的仿真^[6]。为了实现对真实二次设备的仿真, 二次仿真系统还对实际装置的HMI进行了封装, 将实际装置的HMI编译成动态链接库, 在通用服务器上进行二次设备仿真时, 可以完全模拟实际二次设备的面板显示和操作, 实现了二次设备的全仿真。此外, 在二次设备仿真的基础上, 还增加了二次设备测试仪的模拟功能, 支持了间隔层二次设备单体功能调试

和仿真测试的需要。

标准化 MMI仿真	IEC 61850 通信仿真	标准化保护 控制功能仿真	测试仪模拟仿真 (输入、输出)
通用硬件配置		通用软件属性配置	
通用保护逻辑配置			
统一支撑平台 (多线程、共享内存、绑定多IP)			
通用操作系统(Windows、Linux)			
通用硬件支撑(服务器、工作站)			

图6 二次设备仿真系统结构图

Fig. 6 Structure diagram of secondary equipment simulation system

4 结语

采用智能变电站二次系统等效仿真测试和集成调试新模式, 在不需要全站二次设备全部搭建在一起的情况下, 利用等效仿真的技术思路实现对支撑各部分应用功能测试的输入采集和输出控制执行的等效仿真, 从而实现了二次系统集成调试的有效分离, 进一步提升了智能变电站仿真测试和集成调试的效率, 这种智能变电站二次系统仿真测试和集成调试的新模式在智能变电站的工厂集成测试和现场集成调试以及智能变电站改扩建调试中进行了应用和实践, 取得了良好的效果。本文仅仅对站控层和间隔层的等效仿真测试和集成调试进行了探索和研究, 对于过程层的集成调试模式的优化还需结合过程层二次设备调试的特点进一步加强研究。通过建立一种适应智能变电站发展要求的二次系统新型调试模式和技术手段, 可以有效地提升智能变电站调试、运维的工作效率和自动化水平, 对智能变电站的建设和应用推广也应具有很好的经济效益和社会效益。

参考文献

[1] 樊陈, 倪益民, 窦仁辉, 等. 智能变电站一体化监控系统有关规范的解读[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(19): 1-5.
FAN Chen, NI Yi-min, DOU Ren-hui, et al. Interpretation of relevant specifications of integrated supervision and control systems in smart substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(19): 1-5.

[2] 王雷, 孙晓飞. 智能站与常规站二次系统主要技术差异[J]. 东北电力技术, 2012, 33(2): 18-20.
WANG Lei, SUN Xiao-fei. Primary technology difference on the second system of smart substation with conventional substation[J]. Northeast Electric Power Technology, 2012, 33(2): 18-20.

- [3] 梁旭, 张萍, 胡明亮. 基于实时仿真技术的变电站数字物理混合仿真与培训系统[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(10): 79-81.
LIANG Xu, ZHANG Ping, HU Ming-liang, et al. Hybrid simulating and training system of substation based on real-time simulation technology[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(10): 79-81.
- [4] 冯正伟, 毕天姝, 徐贵光. 变电站运行仿真分析系统[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(11): 105-108.
FENG Zheng-wei, BI Tian-shu, XU Gui-guang. Simulation and analysis system for substation operation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(11): 105-108.
- [5] 李志兴, 蔡泽祥, 许志华. 继电保护装置动作逻辑的数字仿真系统[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(14): 97-101.
LI Zhi-xing, CAI Ze-xiang, XU Zhi-hua. Digital simulation system of relay protection movement logic[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(14): 97-101.
- [6] 刘焕志, 胡剑锋, 李枫, 等. 变电站自动化仿真测试系统的设计和实现[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(9): 109-112.
LIU Huan-zhi, HU Jian-feng, LI Feng, et al. Design and implementation of simulation test system for substation automation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(9): 109-112.

收稿日期: 2014-06-02

作者简介:

纪陵(1982-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为智能变电站自动化监控系统; E-mail: sacjl@126.com

李忠明(1972-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电力监控及调度自动化;

蒋衍君(1975-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电力监控及调度自动化。