

智能变电站二次系统试验方法综述

王彪¹ 甄威¹ 张华¹ 黄琦² 井实² 胡凤凯² 吴杰²

(1. 四川电力科学研究院, 四川 成都 610072; 2. 电子科技大学, 四川 成都 610054)

摘要:伴随经济发展及能源综合利用需求,国家电网公司提出建设坚强智能电网的目标。智能变电站作为智能电网基本要素,获得快速发展机遇。但目前仍没有一个灵活、全面、可靠的智能变电站二次系统调试试验方法,以完整地检验智能变电站二次系统的功能。首先描述了国内关于智能变电站试验方法现状,最后详细介绍一种全新的试验方法,即智能变电站全场景试验方法。该试验方法是基于电网仿真、无线同步与传输和分散注入,将实验室的试验能力带到了电力现场,为智能变电站二次系统调试提供了一种全新的试验方法。

关键词:智能变电站; 二次系统; 全场景试验; 数字仿真; 无线 1588 同步; 分散注入

Abstract: With the development of economy and the demand of comprehensive energy utilization, the State Grid Corporation advances the goal of building a strong and smart grid. As the important part of the smart grid, the smart substation gets a fast development opportunity. But there is still no flexible, comprehensive and reliable test method for the commissioning of the secondary system of smart substation. Firstly, the current situation of the domestic test methods for smart substation is described. And then, a new test method, that is, whole scene test method of smart substation, is introduced, which is based on power grid simulation, wireless synchronization with the transmission and dispersed injection. It brings the test ability of the laboratory to the site of power system, and provides a new test method for the secondary system commissioning of smart substation.

Key words: smart substation; secondary system; whole scene test; digital simulation; 1588 wireless synchronization; dispersed injection

中图分类号: TM932 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2012)02-0004-05

0 引言

2011年国家电网公司提出“十二五”期间将建设数千座智能变电站,推动了智能变电站及其相关产业的发展,也为实现智能电网打下坚实的基础。

根据《智能变电站导则》,定义智能变电站是采用先进、可靠、集成、低碳、环保的智能设备,以全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化为基本要求,自动完成信息采集、测量、控制、保护、计量和监测等基本功能,并可根据需要支持电网实时自动控制、智能调节、在线分析决策、协同互动等高级功能的变电站。

与数字化变电站相比,数字变电站是智能变电站的技术基础,而智能变电站更加强调体现智能化和适应智能电网发展的高端应用技术,例如:设备状态监测、基于多信息融合技术的综合故障诊断和智能操作票系统等。

下面首先描述了智能变电站试验方法现状,最后介绍了一种全新的智能变电站试验方法,即智能变电站全场景试验方法,并介绍了该试验方法的概念、技术实现和工程应用。

1 智能变电站试验方法现状

智能变电站是由智能化一次设备和网络化二次设备组成,这些新型设备的使用使得智能变电站的试验方法区别于传统变电站试验方法。

在智能变电站中,电子式互感器首先将模拟信号转换成以数字化方式表达的模拟量信号,经光纤传送至合并单元,合并单元接收多台采集器信号并根据不同装置(继电保护装置、测控装置和计量装置等)需要对数字量信号进行组织、分配,并经不同光纤将不同信号送至各二次设备。智能变电站中的网络交换机是利用GOOSE网络实现保护间状态信号和命令信号传递任务,是实现保护间复杂配合关系的关键性

环节。因此,智能变电站现场试验的检验范围应包含合并单元和网络交换机,以检查其完成信息组织、分配和传递功能的正确性。

而进行传统变电站的继电保护装置现场试验时,只需要经电缆向继电保护装置信号输入端注入试验信号,即可检验保护装置技术性能。

目前保护设备检验方法有3种。方法1是向被试保护设备提供试验信号,检验范围没有包括实际完成信号组织、分配任务的合并器和交换机,试验连接关系图如图1所示。

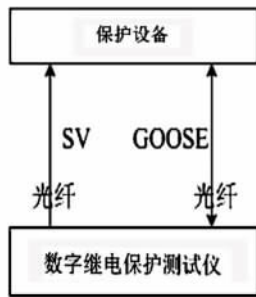


图1 继电保护测试系统1

方法2的试验范围包含了“保护设备和智能终端”,但检验范围也没有包括实际完成信号组织、分配任务的合并器和交换机,试验连接关系图如图2所示。

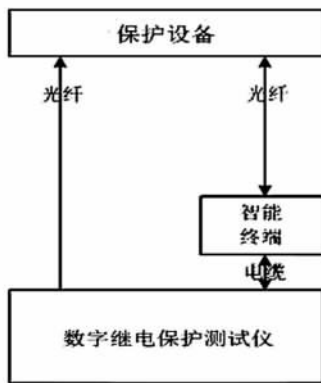


图2 继电保护测试系统2

方法3的试验范围包含了“合并器、保护设备和智能终端”,但不能实现跨间隔保护信息(包括SV信息和GOOSE信息)组织正确性的检验,也不能完成复杂保护配置正确性检验,无法进行网络性能的检验,试验连接关系图如图3所示。

若智能变电站仍采用上述传统变电站保护装置试验方法,都不能完整地检验整个智能变电站二次系统的功能,这样给智能变电站运行带来重大隐患。

为了全面地进行智能变电站二次系统各项试验,

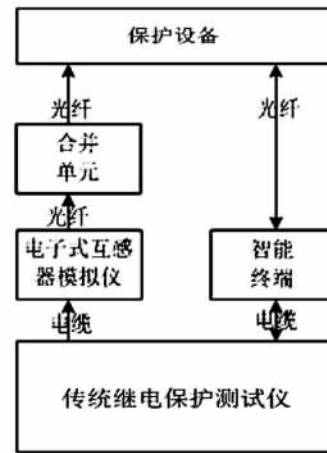


图3 继电保护测试系统3

目前在国内主要采用动模试验方法^[1-3]。文献[1]介绍了浙江500 kV兰溪、海宁数字化变电站开展的系统级动模试验,以验证工程中应用的基于IEC 61850标准的过程层、间隔层及站控层3层设备的适用性,考核各设备在故障期间的动作行为、整体配合性能。并详细分析了整体动模试验难点,提出试验方案,内容包括:建立变电站级物理动态模拟一次系统,构建与试验规模相适应的过程层、站控层2层网络,智能终端、保护装置、数字式录波器、保护信息主子站等3层设备在实验系统中的接入方式,试验项目设计原则,模拟故障试验项目和网络性能测试项目和装置测试性能要求。

文献[2]是在传统动模一次系统基础上进行数字化升级改造,即在保留原动模系统常规电流、电压互感器的基础上,串联接入电子式电流互感器,并联接入电子式电压互感器,同时配置合并单元,将电气量信息转换成符合IEC 61850-9-1标准的数据格式。这样改造后的动模系统可以在保留原功能不变的前提下,提供符合数字化保护要求的数字量输出,从而实现数字化变电站试验需求。但是动模试验不具备灵活性,试验工作量大。

部分文献也对智能变电站二次系统试验进行了探讨^[4-5],但是没有提到一个能够全面地完整地检验二次系统性能的试验方法。文献[4]详细阐述了智能变电站二次系统的试验对象及试验内容,但是没有介绍一种能够完成现场系统试验的试验方法。文献[5]阐述了数字化变电站的技术特点与结构特点,比较了数字化变电站二次系统检验与常规综合自动化变电站在检验范围、检验方法方面的差异,并指出了研究一种新的检验方法,研究思路主要是研制一种数

数字化变电站通用的测试接口装置,这样一方面是把模拟信号转换为数字式保护可以接收的数字信号,另一方面是把数字式保护发送的 GOOSE 报文转换成空接点信号,这样测试接口装置就成为连接传统测试仪器和数字化变电站之间的桥梁,可是该方法仍不能实现对智能站二次系统完整全面的试验。

文献 [6]介绍了一种基于 IEC 61850 通信规约,由 PC 机和嵌入式测试仪两部分构成的自动检测系统,能够实现对测试设备的自动虚拟接线,可方便、灵活地设置检测方案,实现基于检测方案的输入信号自动模拟、输出信息自动验证、测试过程自动记录等功能。该自动检测系统主要应用于智能变电站间隔层二次设备的检测。

文献 [7]介绍了一种智能变电站仿真测试系统,该测试系统首先利用电磁暂态仿真得到电压、电流采集信号,并按照 IEC 61850 协议打包送至通信卡;基于 PCI 总线的通信卡提供光纤以太网端口与保护装置及控制设备相连;保护装置产生的开关变位等信息通过 GOOSE 网,并经通信卡返回测试主机,由测试主机模拟智能断路器的动作情况;通过对测试系统不同运行方式的仿真,实现对智能变电站二次系统各项性能、指标的测试。该仿真测试系统虽然实现智能变电站二次系统的各项功能检验,但是只能应用于实验室,不同于之后提到的智能变电站全场景试验方法,后者基于电网仿真、无线同步与传输、分散注入,而且将实验室的试验能力带到电力现场。

2 智能变电站全场景试验方法

从上面关于智能变电站试验方法的描述可知,目前还没有出现对智能变电站二次系统功能进行完整性检验的试验方法,下面介绍一种实现智能变电站二次系统完整性测试的试验方法。

2.1 智能变电站全场景试验方法

智能变电站全场景试验方法是指将智能变电站二次系统视为一个整体,将合并单元和网络交换机纳入检验范围,性能检验时保持智能变电站二次系统接线完整性和输入信息完整性,从而达到检验智能变电站整体性能的目的。

图 4 给出了变电站一次系统和二次系统的接线示意图。全场景试验方法是利用采集器模拟器代替电子式互感器,开关模拟器代替断路器,首先通过电

网数字仿真智能变电站一次系统,将时域仿真结果以无线形式发送至采集器模拟器,在保持二次系统接线完整性的条件下,采集器模拟器将仿真结果经光纤传送给合并单元,合并单元同步地将数据进行分配、组织后传送给继保装置、测控装置、计量装置和网络交换机等,继保装置将保护的命令动作传送至智能操作箱,通过开关模拟器检测智能操作箱发出的开关动作命令,以检测二次系统功能的正确性。

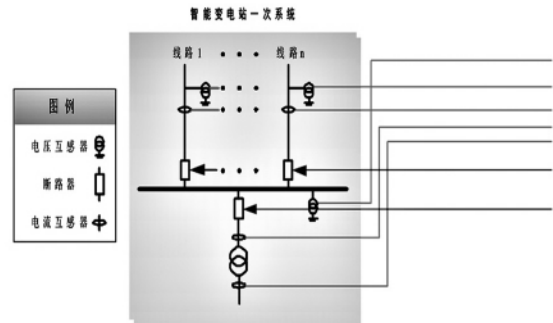


图 4 智能变电站一次系统、二次系统关系示意图

可见,该试验是基于电网仿真、无线同步与传输和分散注入的全场景试验方法。

2.2 智能变电站全场景试验系统

智能变电站全场景试验系统由变电站仿真系统、无线主控主机、采集器模拟器和开关模拟器组成。图 5 是利用本试验方法检验智能变电站二次系统性能的示意图。利用图 5 所示试验系统可以完成智能变电站二次系统整体性能的测试和继电保护行为的检验,可以完成智能变电站继电保护装置、测量控制装置、安控装置、故障录波器等设备的单体调试和二次系统整体性能测试,也可为调度端联调提供测试条件。

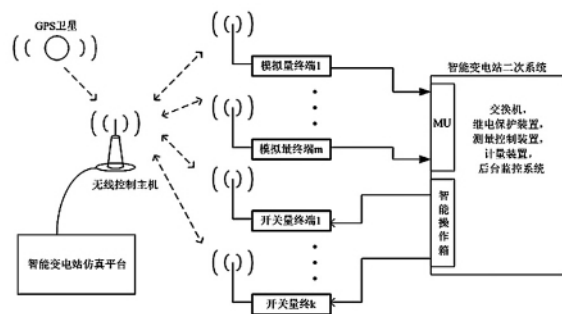


图 5 智能变电站二次系统全场景试验示意图

下面介绍全场景试验系统的各部分职能。

1) 智能变电站仿真平台

由图形化建模软件、电力系统仿真软件、模拟量波形显示软件和试验控制软件及笔记本电脑组成,完

成智能变电站仿真平台建模、时域仿真、以仿真结果的波形显示以及试验过程控制,显示由“开关模拟器”检测的“智能操作箱”分、合闸命令发生时刻。

2) 无线控制主机

完成试验系统与 GPS 的对时,完成与“采集器模拟器”和“开关模拟器”的时间校正。接收“智能变电站仿真平台”的时域仿真结果并以无线传输方式将时域仿真结果下装到“采集器模拟器”。完成试验的同步控制。

无线控制主机由 GPS 对时模块、高稳定主时钟模块、基于无线方式的 IEEE 1588 授时模块、无线收发控制模块组成。

3) 采集器模拟器

接收“无线控制主机”发送的仿真数据。在“无线控制主机”控制下,多台“采集器模拟器”信号同步输出到合并单元。采集器模拟器包括无线收发模块、高稳定从时钟模块、输出控制模块、曼彻斯特编码转换模块。

4) 开关模拟器

开关模拟器实现下述功能。

(1) 检测变电站智能操作箱发出的开关操作命令,将开关操作命令打上时间标记,并将“带时标的开关操作命令”以无线方式发送到“无线控制主机”。

(2) 接收“无线控制主机”转发的“智能变电站仿真系统”开关状态,将开关状态转换成“开关位置”信号,并将开关位置信号送至变电站的“智能操作箱”实现对智能变电站开关状态的模拟。

2.3 技术实现

全场景试验的技术路线如下。

(1) 将智能变电站二次系统(包含继电保护装置、测量控制装置、计量装置、安控装置、后台监控系统等设备)视为检验对象。试验时,被试二次系统保持联接完整性。

(2) 以变电站一次主接线及与之直接相联的线路、电源为对象,建立“变电站仿真系统”。“变电站仿真系统”可以仿真被试二次系统工作所需要的全部工频信号。

(3) 根据变电站电子式电流、电压互感器配置及试验需求,确定“采集器模拟器”数量。

(4) 根据二次系统整体性能试验需求,确定“开关模拟器”数量。

(5) 根据对智能变电站继电保护装置及二次系

统整体性能检验需要,确定仿真条件,建立仿真对象的动态微分方程组,利用数值仿真方法,得到对象系统的时域仿真结果。

(6) 利用无线传输技术,将变电站时域仿真结果分别送到各个“合并单元”。在统一时钟控制下,各合并单元同步输出“变电站仿真系统”的时域仿真结果。试验人员检查二次系统信息组织、分配、传输正确性,检查二次设备(继电保护、测量控制装置、安控装置、计量装置、后台监控系统等)行为正确性。

由于电网仿真只需要一台笔记本,无线控制主机、采集器模拟器和开关模拟器也便于携带,利用这套全场景试验系统可以实现在变电站对二次系统(包括继电保护装置、测控装置、安控装置、网络分析仪、故障录波器、监控系统等)功能和技术性能进行完整检测,提高了现场试验质量,为智能变电站建设提供了新的技术手段。

2.4 工程应用

基于该试验方法的全场景试验装置已于 2011 年年底成功地应用于四川 220 kV 绵阳东和泰兴智能变电站,实现了对智能站二次系统功能的检验测试,使用效果良好。

3 总结

由于智能变电站中全新技术和设备的使用,使得智能变电站的试验方法也区别于传统变电站。首先描述了国内智能变电站常用的试验方法及存在的问题,最后介绍了智能变电站全场景试验方法。该方法将智能变电站二次系统视为一个整体,将合并单元和网络交换机纳入检验范围,性能检验时保持智能变电站二次系统接线完整性和输入信息完整性,从而达到检验智能变电站整体性能的目的。

参考文献

- [1] 周春霞,詹荣荣,姜健宁,等. 500 kV 数字化变电站动模试验研究[J]. 电网技术, 2011, 34(6): 193-197.
- [2] 王涛,高厚磊,邹贵彬,等. 基于 IEC 61850 标准的数字化保护动模测试系统[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(24): 133-136.
- [3] 周家旭,张延鹏. 智能化变电站保护及过程层组网试验研究[J]. 东北电力技术, 2010(10): 25-27.
- [4] 王云茂,张春欣. 智能变电站二次系统试验技术探讨[J]. 电力与电工, 2010, 30(2): 19-22.

- [5] 吴卫民. 110 kV 数字化变电站二次系统检验规范的研究[J]. 华东电力 2009, 37(7): 1185 - 1188.
- [6] 梅德冬, 黄国方, 孙军陵. 智能变电站二次设备自动检测系统设计[J]. 低压电器 2011(4): 43 - 46.
- [7] 河南省电力公司洛阳供电公司. 智能变电站仿真测试系统[DB]. 中国科技成果数据库 2011.

作者简介:

王彪(1985)男, 工程师, 主要从事电力系统分析与仿真计算工作;

甄威(1956)男, 教授级高级工程师, 主要从事电力系统仿真、继电保护技术研究工作;

张华(1985)男, 工程师, 主要从事电力系统分析与仿真计算工作;

黄琦(1976)男, 博士, 教授, 博士生导师, 从事电力系统广域测量与控制、智能电网等方面研究工作;

井实(1980)男, 博士研究生, 从事电力系统广域测量与控制、智能变电站保护技术等方面研究工作;

胡凤凯(1987)男, 硕士研究生, 从事电力系统广域测量与控制研究工作;

吴杰(1986)男, 硕士研究生, 从事检测技术与自动化装置研究工作。

(收稿日期: 2012 - 02 - 21)

=====

(上接第3页)

置、测控装置的影响及检查故障录波(报文分析装置)的录波性能(报文分析、查找故障的能力)。

(4) 光纤链路、过程层网络异常工况对保护装置的影响。

(5) 智能变电站相关标准、规程、反措执行情况及实施效果。

2.3.4 系统级测试试验内容

(1) 模拟量回路联调试验, 正常运行工况下合并单元、保护装置、测控装置、故障录波装置(网络报文分析装置)示值正确性检查, 对于级联合并器或跨间隔保护需检查其同步性能, 对于电压合并器需要检查其并列及切换功能。

(2) 开关量联调试验, 检查智能终端示值及响应性能、间隔层设备(保护、测控等)与智能终端的互操作性检查。

(3) 间隔层设备联调试验, 主要为间隔层设备间闭锁、启动失灵等信号互通性检查。

(4) 监控系统联调试验, 监控系统与间隔层设备间的信号互通性检查。

(5) 远动通信系统检查及操作试验。

3 结 语

智能变电站二次设备系统级测试是保证变电站顺利投产的重要环节, 也是检验变电站所使用的电气设备功能及性能是否满足设计和运行要求的关键试验, 是检查变电站全站二次设备互操作性的重要手段。试验结果可作为设备投产依据, 也为将来变电站运行维护提供参考资料。只有应用科学的测试方法,

建立完善严格的测试流程, 利用完备的监控和测试手段, 才能通过系统级测试对智能变电站系统的有效性、可靠性、适用性、经济性进行合理评估, 为智能变电站的推广和现场运行维护提供良好的技术支撑。

参考文献

- [1] 姜振超, 刘明忠. 智能变电站二次系统调试技术研究[J]. 电网技术 2011, 35(1): 12 - 17.
- [2] 高翔, 张沛超. 数字化变电站的主要特征和关键技术[J]. 电网技术 2006, 30(23): 67 - 71, 87.
- [3] 龚晓波, 胡敏强, 吴在军, 等. 数字化变电站通信网络性能仿真分析[J]. 电网技术 2008, 32(17): 98 - 104.
- [4] 辛耀中, 王永福, 任雁铭. 中国 IEC 61850 研发及互操作试验情况综述[J]. 电力系统自动化 2007, 31(12): 1 - 6.
- [5] 操丰梅, 任雁铭, 王照, 等. 变电站自动化系统互操作实验建议[J]. 电力系统自动化 2005, 29(3): 86 - 89.
- [6] 邱智勇, 陈建民, 朱炳权. 基于 IEC 61850 标准的 500 kV 三层结构数字化变电站建设[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(12): 103 - 107.
- [7] 李兰欣, 苗培青, 王俊芳. 基于 IEC 61850 的数字化变电站系统解决方案的研究[J]. 电网技术 2006, 30(S2): 321 - 324.
- [8] 周春霞, 詹荣荣, 姜建宁, 等. 500 kV 数字化变电站动模试验研究[J]. 电网技术 2010, 34(6): 193 - 197.
- [9] 崔厚坤, 汤效军, 梁志成, 等. IEC 61850 一致性测试研究[J]. 电力系统自动化 2006, 30(8): 80 - 83.

作者简介:

姜振超(1981)男, 硕士研究生, 工程师, 从事继电保护试验、控制保护新技术研究工作;

刘明忠(1964)男, 大学本科, 高级工程师, 从事继电保护试验、控制保护新技术研究工作。

(收稿日期: 2012 - 02 - 15)