

全数字化动模测试系统设计与实现

邹贵彬¹, 王晓刚², 高厚磊¹, 向岷江¹

(1. 山东大学电气工程学院, 山东 济南 250061; 2. 烟台龙源电力技术股份有限公司, 山东 烟台 264006)

摘要: 针对基于 IEC61850 标准的数字化保护, 设计并实现了全数字化的动模测试系统。在保留传统动模测试功能的基础上, 根据数字化变电站的分层结构, 对原动模测试系统进行了升级改造, 增加了新型数字化保护的测试功能。结合数字化变电站的技术特点和数字化动模测试平台, 分析了数字化保护性能测试的相关内容。该测试平台的暂、稳态运行和数字化保护试验表明, 测试系统采样准确、输出接口规范、测试功能齐全, 完全满足数字化保护和其他二次设备的检测需求。

关键词: IEC61850; 数字化保护; 数字化变电站; 数字化动模测试系统; 电子式互感器

Design and realization of full digital dynamic model test system

ZOU Gui-bin¹, WANG Xiao-gang², GAO Hou-lei¹, XIANG Min-jiang¹

(1. School of Electrical Engineering, Shandong University, Ji'nan 250061, China;

2. Yantai Longyuan Power Technology Co. Ltd, Yantai 264006, China)

Abstract: For IEC61850 standards based digital protective relay, a full digital dynamic model test system is designed and realized. On the basis of retaining test functions of conventional dynamic model system, according to the configuration of digital substation, the old model system is improved and new test function for digital relay is added. Considering the technical characteristics of digital substation and test platform of digital dynamic model, some contents of digital relay performances testing are discussed. The operation of test platform in the stable and transient status and the test of digital protection device show that data sampling is accurate, output interface is standardized, and test functions are complete, and it entirely meets test requirements for digital protective relay and other secondary equipment.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50777040).

Key words: IEC 61850; digital protective relay; digital substation; digital dynamic model test system; electronic transducer

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2011)03-0109-05

0 引言

数字化变电站(智能变电站)作为未来智能电网的关键节点,其安全可靠运行对整个电网的安全稳定起着重要的作用。而数字化变电站的安全建立在站内一次设备和数字化继电保护等其他二次设备可靠运行的基础上,因此在数字化保护投运前对其原理、性能进行详尽的测试验证是必不可少的重要环节。

常规的微机保护测试手段主要有继电保护测试仪测试和动模试验,二者均是基于提供二次模拟信号来实现,已经无法适应基于IEC61850标准的数字化保护的输入要求,为此必须开发输出标准数字信号格式的测试系统。文献[1]设计了一种基于IEC 61850标准的实时数字仿真系统,其方法是将传统的

RTDS仿真数据输出不经D/A转换和功率放大,而是直接进行相应的格式转换,然后送入数字化保护中,同时反馈保护的信号给RTDS,构成闭环测试系统。文献[2]设计了一种全数字化的继电保护测试系统,能够实现动态和静态测试,但在动态测试时其接收的外界多路模拟电量输入,仍是来自传统互感器,这种方式与全数字化变电站差异较大。作者在文献[3]中提出了基于IEC61850标准的数字化保护动模测试系统,其主要研究内容是针对测试需求以及系统的建立方面。文献[4-11]以及广东昂立和成都天进等公司相继开展了新型数字化保护仿真测试系统设计、一致性测试方案或测试装置等研究,上述所提测试方法基本上都是静态测试,无法真实地模拟实际电力系统的运行,因而无法全面考核数字化保护的动态性能。

随着数字化变电站的大量建设,对数字化保护的入网检测也迫在眉睫。鉴于电力系统动态模拟系

基金项目: 国家自然科学基金项目(50777040); 山东省优秀中青年科研奖励基金(BS2010DX014)

统对测试保护性能的重要性，本文在解析数字化变电站分层建模理论、采样值报文传输规约及GOOSE信息组网方式的基础上，针对传统动模测试系统，进行了系统深入的研究和规划设计，在保留原有动模测试能力的前提下，增加兼容电子式互感器的新型数字化保护和其他智能IED的测试功能。根据数字化变电站的技术特征，分析了测试试验时应侧重的一些内容。

1 数字化变电站结构

数字化变电站和常规变电站一样，也是分层建设。不同之处在于数字化变电站取消了常规变电站过程层与间隔层间传输模拟信号的二次电缆和传输跳合闸命令的信号电缆，而是基于光电式互感器在IEC61850框架下通过光纤和高速以太网交换数字信息，其结构如图1所示。

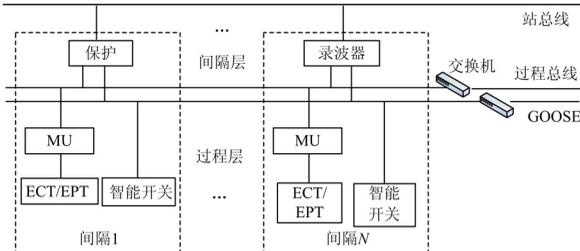


图1 数字化变电站结构

Fig.1 Configuration of digital substation

数字化变电站中的光电互感器采集一次侧电压电流信号并就地数字化，然后按照特定的格式通过光纤传输给过程层中的合并单元。由合并单元将数据组帧打包按照IEC61850系列规约传输到过程总线。过程总线向下联接站内所有的MU，向上联接间隔层中的保护、测控和故障录波等二次设备。保护跳合闸命令和智能开关状态等GOOSE信息通过以太网交换机实现间隔层和过程层相关设备的互联。站级总线联接站控层和间隔层设备。可以看出，变电站内的数字信息都是按照IEC61850标准格式通过高速光纤网络进行传送，数字化、网络化、智能化是数字化变电站的重要特征。

2 电力系统动态模拟系统

2.1 传统的动态模拟系统

电力系统动态模拟由于采用物理模型，能够较为真实、全面地模拟电力系统的实际运行状况，因而被广泛应用于继电保护、安全自动装置或系统暂稳态分析等研究和开发中，传统的动模测试系统如图2所示。

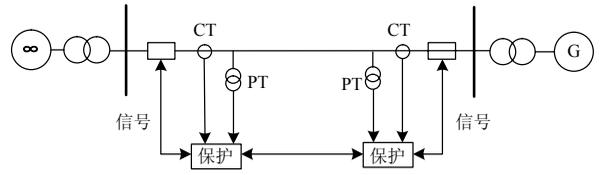


图2 传统的动模测试系统

Fig.2 Test system of conventional dynamic model

由图2可知，传统的电压、电流互感器采集系统一次侧的电压、电流模拟量，然后经过二次电缆传送给保护、测控等二次设备。信号电缆将断路器位置状态传送给保护，同时将保护给出的跳合闸信号传送给断路器。因此在传统动模测试系统中，间隔层设备和过程层设备是通过电缆实现点对点的联接。

2.2 动模系统升级思路

根据 2.1 节所述，传统的动模测试系统只能提供模拟信号给被测试设备，而不能提供数字化保护所需要的数字信号，因此必须对其进行改造方能满足测试需求。由于动模系统在传统的保护试验和系统研究中仍具有重要的作用，因此对动模系统的升级思路是既保留其原有的测试功能，又可实现兼容电子式互感器的数字化保护和其他二次设备的测试功能。

根据目前动模一、二次系统的接口状况和数字化变电站对一、二次系统的接口要求，改造方案中保留原配置的所有传统互感器，并行配置所需要的电子式互感器，增加合并单元、交换机、智能开关单元和数字化故障录波装置等。改造后的动模测试系统如图 3 所示。

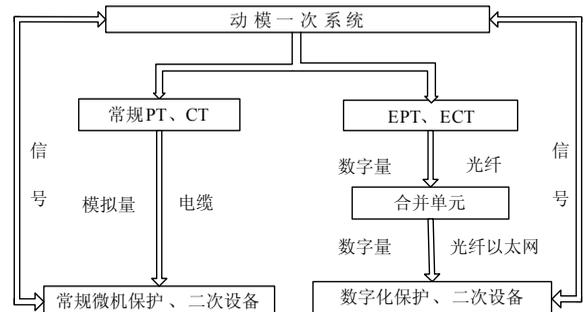


图3 新型动模测试系统

Fig.3 Test frame of new dynamic model system

3 数字化动模测试系统

3.1 测试系统整体方案

基于IEC61850标准的数字化变电站结构特征，以及上述动模系统升级思路，所构建的数字化动模测试系统方案如图4所示。

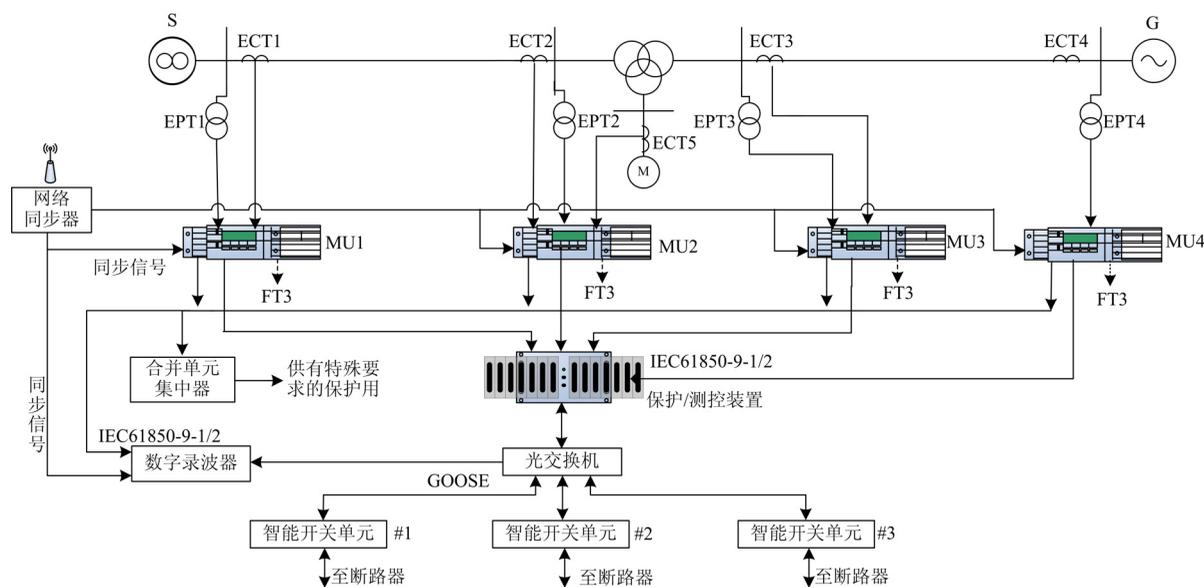


图4 数字化动模测试系统方案

Fig.4 Scheme of digital dynamic model test system

系统工作过程如下：在动模一次系统中，串/并行安装电子式电流/电压互感器，采集到的电流、电压模拟量经就地数字化后，通过光缆传输给相应的合并单元。合并单元再按照 IEC61850-9-1/2 规约将数字信息重新组帧打包，然后通过光纤传给保护和其他测控设备。开关位置信号经智能开关单元数字化后通过交换机传送给保护、测控等装置，同时保护的跳合闸数字信息也通过此交换机传给智能开关单元，进而控制断路器。数字化故障录波器与交换机相连，通过解析 GOOSE 信息，以此反映保护的动作为。

3.2 测试系统的功能

该系统通过配置与实际数字化变电站同样的设备，能够提供与其特性完全一致的二次接口。通过在一次物理元件上设置不同的故障，即可实现对各种数字化保护动作性能的测试和分析。另外，由于该系统是在保留原有测试功能的基础上进行的升级，因而可以实现对比测试，如电子式互感器相对于传统互感器在系统暂稳态下的传变特性、采样准确度以及数字化保护相对于常规微机保护的动作为性能等。

兼容电子式互感器的数字化动模测试系统，完全替代了传统的电缆硬接线和点对点的通信模式，代之以方便灵活的以太网和基于 IEC61850 标准的网络通信。采用此系统简化了保护接线，大大提高了系统的开放性。利用该测试系统可同时满足基于 IEC61850-9-1 标准、9-2 标准以及 IEC60044-8 标准的

保护装置的测试需求，同时具备不同厂商 IED 间互操作性的部分测试功能，具有优异的适应性。

4 数字化保护的性能测试

4.1 数字化保护动模测试内容

随着智能电网的建设，数字化变电站必将取代传统变电站，而数字化保护也将取代常规保护，作为保证智能电网安全运行的第一道防线的数字化保护，其重要性不言而喻。由上可知，数字化变电站有不同于常规变电站的技术特征，动模测试平台也有所不同，因此数字化保护的动模测试不能直接套用常规微机保护的测试内容。结合数字化变电站的特点和数字化动模测试平台，下面探讨了数字化保护动模测试异于传统保护测试的几个主要问题。

1) CT饱和。电磁式电流互感器由于存在电磁饱和问题，一直是常规微机保护的重点检测内容。而光电式互感器不存在电磁饱和现象，因此对 CT 饱和的测试要做修正。具体实现可以通过修改同一个互感器不同相别的比例系数或不同互感器的比例系数来近似模拟互感器的线性传变差异，以此考查数字化保护的灵敏性和可靠性指标。

2) CT断线。CT断线也是测试常规微机保护的重要内容之一，设置 CT 断线，检验保护是否闭锁、报警和误动作等。传统的测试可以将 CT 二次线中的某一相与零线进行短接来实现，而数字化保护测试中可采取从合并单元中拔出某一相光纤来模拟断线。

3) PT断线。PT断线的模拟可参考上面所提方法来实现。

关于空投变压器产生的励磁涌流以及不同合闸角度时出现的非周期分量,通过对比分析电子式电流互感器和传统电流互感器的二次波形可知,两者的传变特性近似相同,因此可采取传统的动模测试方法来实现。其他测试内容,如转换性故障、简单的区内外故障等,测试手段不变。

4.2 测试试验

为验证数字化动模系统的运行性能和测试能力,利用该平台进行了一系列试验,主要包括系统本身的动、稳态试验,测试电子式互感器传变性能、合并单元及网络交换机的运行状况等;其次对南瑞继保和南京新宁公司的数字化线路保护装置进行了动模测试,检验平台的测试功能,测试系统如图4所示。

1) 系统暂、稳态试验。由于该平台保留了传统动模二次系统,可以利用传统故障录波器和新型数字故障录波器各自录取的数据进行对比分析。图5为线路出口处发生AB接地故障时,所对应的录波图。

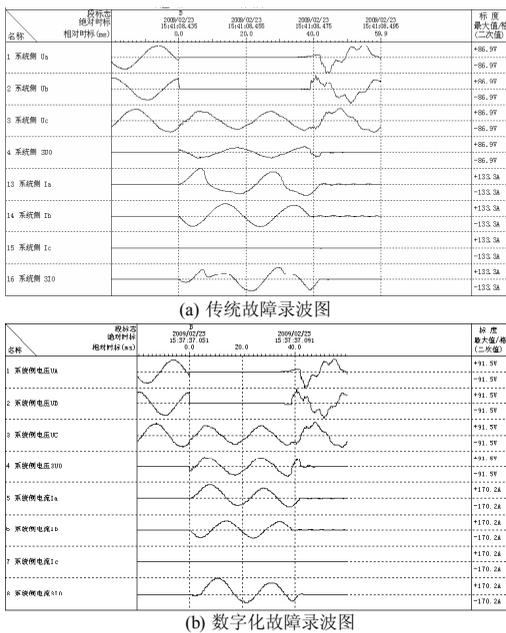


图5 系统暂态试验故障录波图
Fig.5 Fault waveform in the transient test

由图5可知,稳态时两图中电压的有效值相等,故障时B相电流有效值相等。由于出口故障电流较大,使得A相电磁式电流互感器发生饱和,从而波形发生畸变。而电子式电流互感器无磁饱和现象,其波形对称。

2) 对保护装置的测试试验。设置区内外各种类型故障以及转换性故障、系统振荡、暂态超越等,检测保护装置的動作行为,同时考核系统能否具备各种测试能力。图6(a)和图6(b)分别给出了线路区外转区内故障以及振荡加区内故障时的数字化故障录波图。限于篇幅,其他录波图略。

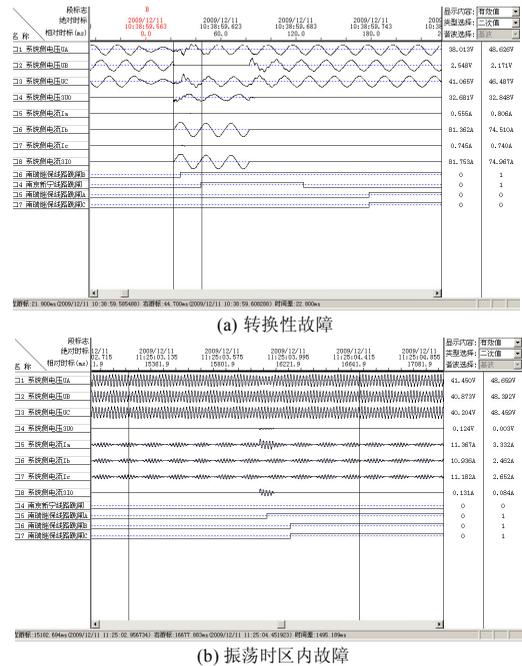


图6 线路故障时保护的動作行为
Fig.6 Operation of relay under line fault

大量的试验表明所构建的测试系统完全满足数字化变电站各层间的通信要求,能够实现保护的暂、稳态测试。

5 结语

随着智能电网的规划建设,数字化(智能)变电站必将替代传统变电站,新型数字化保护和其他二次设备也必将取代传统的二次设备。为了科研和测试的需求,本文在保留传统动模测试功能的基础上构建了新型数字化动模测试平台。该平台能够提供满足 IEC61850 标准要求的二次接口,可实现对各种数字化保护装置及其他智能 IED 的全面检测。另外,针对数字化变电站和测试平台的特点,讨论了数字化保护动模测试与传统保护动模测试的差异以及实现方法。该测试系统的建立,既为新型数字化保护的研究、开发提供验证手段,而且为数字化保护装置的入网检测提供了测试平台。

参考文献

[1] 高广玲,潘贞存,高厚磊,等. 基于IEC61850标准的

- 实时数字仿真系统[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(14): 103-107.
- GAO Guang-ling, PAN Zhen-cun, GAO Hou-lei, et al. Electrical real-time digital simulation system based on IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(14): 103-107.
- [2] 谌争鸣, 陈辉, 陈卫, 等. 全数字化继电保护测试系统设计[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(5): 109-113. CHEN Zheng-ming, CHEN Hui, CHEN Wei, et al. Test system for complete digital protective relay[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(5): 109-113.
- [3] 王涛, 高厚磊, 邹贵彬, 等. 基于IEC61850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. WANG Tao, GAO Hou-lei, ZOU Gui-bin, et al. Dynamic simulation testing system for digital protection based on IEC 61850 standard[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(24): 133-136.
- [4] 杨丽, 赵建国, Peter A C, 等. 全数字化保护系统性能测试方案设计—系统运行特点与保护配置方案[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(11): 38-43. YANG Li, ZHAO Jian-guo, Peter A C, et al. Design of performance testing scheme for all-digital protection systems part one systems characteristics and protection hardware setup[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(11): 38-43.
- [5] 张燕涛, 黄伦, 王庆平, 等. IEC 61850标准一致性测试的方案和现场应用[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(4): 98-102. ZHANG Yan-tao, HUANG Lun, WANG Qing-ping, et al. Scheme and application of IEC 61850 standard conformance test[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(4): 98-102.
- [6] 崔厚坤, 汤效军, 梁志诚, 等. IEC 61850一致性测试研究[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(8): 80-83. CUI Hou-kun, TANG Xiao-jun, LIANG Zhi-cheng, et al. Study on IEC 61850 conformance testing[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(8): 80-83.
- [7] 徐娟萍, 穆国强, 王庆平, 等. IEC 61850标准一致性仿真测试系统[J]. 电网技术, 2007, 31(8): 83-86. XU Juan-ping, MU Guo-qiang, WANG Qing-ping, et al. Research on conformance simulation testing system based on IEC 61850[J]. Power System Technology, 2007, 31(8): 83-86.
- [8] 王晓芳, 向前, 李付亮. 数字化变电站的保护装置测试[J]. 电力科学与技术学报, 2008, 23(3): 79-83. WANG Xiao-fang, XIANG Qian, LI Fu-liang. Protective devices test for digital substations[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2008, 23(3): 79-83.
- [9] 何卫, 王永福, 缪文贵, 等. IEC 61850深层次互操作试验方案[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(6): 103-106. HE Wei, WANG Yong-fu, MIAO Wen-gui, et al. Deep-level interoperability testing of IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(6): 103-106.
- [10] 冯硕, 黄梅, 李晓明. 基于IEC 61850的光数字继电保护测试仪的研制[J]. 继电器, 2008, 36(8): 23-25. FENG Shuo, HUANG Mei, LI Xiao-ming. Development of fiber digital relay protection tester based on IEC 61850[J]. Relay, 2008, 36(8): 23-25.
- [11] 徐科, 吴在军, 闵涛, 等. 基于IEC 61850标准的新型数字保护平台研究与实现[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(2): 79-84. XU Ke, WU Zai-jun, MIN Tao, et al. Digital protection platform based on IEC61850[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(2): 79-84.

收稿日期: 2010-02-20; 修回日期: 2010-06-11

作者简介:

邹贵彬(1971-), 男, 博士, 副教授, 主要从事继电保护和电力系统动态模拟与仿真的教学和研究工作; E-mail: guibinzou@sdu.edu.cn

王晓刚(1972-), 男, 工程师, 主要从事电力领域燃烧控制设备及系统的研究开发工作;

高厚磊(1963-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事继电保护的教学和研究工作。