

基于 IEC 61850 标准的数字化保护动模测试系统

王涛¹, 高厚磊², 邹贵彬², 王大鹏¹, 马凯², 汤磊², 钱卫钧³

(1. 山东电力研究院, 山东 济南 250002; 2. 山东大学电气工程学院, 山东 济南 250061;
3. 山东工业职业学院, 山东 淄博 256414)

摘要: IEC 61850 标准的应用给变电站自动化系统带来了重大变革, 也给继电保护检测带来了新的挑战。介绍了数字化变电站的特点和组网方式, 在此基础上讨论了数字化保护与传统保护在测试方面存在的区别。详细阐述了在传统电力系统动模系统基础上构建数字化保护测试系统的思想和实施方案。依据所提出的方法, 在山东大学电力系统动模实验室成功开发出满足 IEC61850 标准的测试平台, 可实现对数字化保护及二次设备的综合测试功能。

关键词: IEC 61850; 数字化保护; 保护测试; 动态模拟系统

Dynamic simulation testing system for digital protection based on IEC 61850 standard

WANG Tao¹, GAO Hou-lei², ZOU Gui-bin², WANG Da-peng¹, MA Kai², TANG Lei², QIAN Wei-jun³

(1. Shandong Electrical Power Research Institute, Jinan 250002, China;
2. School of Electrical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;
3. Shandong Vocational College of Industry, Zibo 256414, China)

Abstract: The application of IEC 61850 standard has brought significant change to the substation automation system, and also brought the new challenge to the protection test. This paper introduces the characteristic and network composition of digital substation first and then discusses the differences between traditional micro-processor based protection and 61850 based protection (digital protection) in the aspect of test methods. The idea and implementation scheme for building digital protection test system based on traditional power system dynamic simulation system are presented in detail. The proposed test system has been successfully developed recently in Shandong University according to the designing idea. This new platform is able to perform comprehensive tests to the IEC 61850 based protection devices and other secondary equipments.

This work is supported by the Key Scientific Grant of Shandong Electrical Power Company(No.2008A-11).

Key words: IEC 61850; digital protection; protection test; dynamic simulation system

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)24-0133-04

0 引言

随着计算机和网络通信技术的发展, 越来越多符合 IEC 61850 标准的智能电子设备(IED)被集成到系统中, 作为电网节点的变电站正在进入数字化技术时代。借助 IEC61850 标准可以方便地进行站内信息的共享, 使功能得到大大的提升。实践证明, 该标准能够很好地解决各厂商设备间的互操作性问题, 同时运用抽象通信服务接口(ACSI)技术可以将应用与具体通信协议分离, 从而不断地适应新技术的发展。2002 年, 国内外多家公司的 IEC 61850 产

品就已经达到了实际应用水平。2006 年 3 月国内首套符合 IEC 61850 标准的变电站自动化系统顺利投运。

IEC61850 作为通用的国际标准, 集合许多新技术, 它的推广应用给变电站自动化系统带来机遇和挑战。在数字化变电站中, 由于保护设备按照 IEC 61850 标准的要求进行制造, 其硬件和软件结构与传统的微机保护相比有较大的差异。传统的继电保护测试工具, 如动态物理模型、实时数字仿真(RTDS)和便携式保护测试仪, 都不再适用于这种新型保护(称为数字化保护)。因此, 有必要开发新的测试方法和测试工具以适应这种新式保护的测试需要^[1,2]。

本文简要介绍了基于 IEC 61850 标准的数字化

基金项目: 山东电力集团公司重点科技项目资助课题(No. 2008A-11)

变电站的结构特点和站内信息通信方式；分析了数字化保护装置的测试需求；设计开发出基于传统动模一次系统的数字化保护测试平台。文章详细介绍了该动态模拟测试系统的电气构成和特点，以及如何使用该系统完成数字化保护的性能测试和评估。

1 IEC 61850 标准

IEC 61850 是迄今为止最为完善的关于变电站自动化的通信标准，也是 TC57 近年来发布的最重要的一个国际标准。其制订的出发点是“同一世界，同一技术，同一标准”，目的是实现变电站内智能设备的互操作性^[3]。

IEC 61850 标准共包括 10 部分内容，从技术层面上大致给出了 5 类规范，即通信服务、通信语义、通信实现、配置描述语言和一致性测试规范。与传统的通信协议体系相比，具有以下突出特点：使用面向对象建模技术；使用分层、分布体系；使用抽象通信服务接口(ACSI)、特殊通信服务映射 SCSM 技术；使用 MMS 技术；具有互操作性；具有面向未来的、开放的体系结构^[4]。

2 数字化变电站的特点和组网方式

按照 IEC 61850 标准的内容，数字化变电站无论从物理上还是逻辑上都分为三个层次，即变电站层、间隔层和过程层，并且规定了层与层之间的通信网络，如图 1 所示。

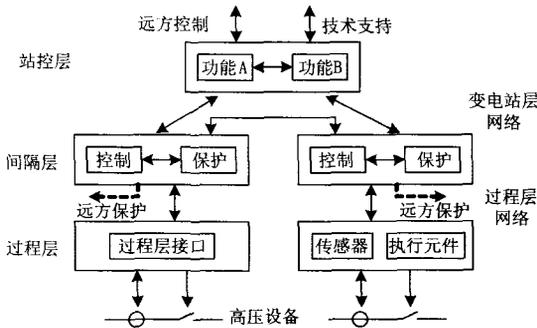


图 1 变电站功能分层模型
Fig.1 Hierarchical model of station functions

数字化变电站具备如下特点：

- ① 一次设备智能化；
- ② 二次设备网络化；
- ③ 运行管理自动化；
- ④ 全站统一数据模型和通信服务平台；
- ⑤ 信息采集、传输、处理、输出数字化、光纤化。

变电站应用技术的上述特点，使得电气量采集、

断路器控制的方式发生了很大的改变，站内二次系统的通信结构则发生了根本性的变化。从目前来看，变电站通信网络的数字化过程可分为三个渐进阶段，即点对点组网方式、过程总线组网方式和过程总线与站级总线合并的组网方式。

点对点组网方式是指过程层互感器的测量数据、断路器的控制信号同保护装置之间的采取基于以太网的点对点的方式连接，其中测量数据遵循 IEC 61850-9-1 或 IEC 6004-8 标准；保护、测控装置通过站级总线与变电站层设备进行信息交互。

过程总线组网方式是指测量数据、控制信息通过过程总线合并传输给保护和测控装置，过程总线遵循 IEC 61850-9-2 标准；间隔层与变电站层之间通过站级总线进行信息交互。

随着以太网技术的发展，过程总线和站级总线最终将连接成一条总线，即过程总线与站级总线合并的组网方式。这样可以大大简化设备间的通信接线，提高信息共享程度。

3 数字化保护装置的测试要求

在数字化变电站中，数字化保护装置直接输入来自电子式互感器的数字化电压和电流信号，省略了隔离变换、低通滤波、采样/保持、A/D 转换等硬件模块；跳合闸信号的传输则由光纤以太网取代传统的电缆硬接线方式。要实现对这种新型保护装置的实验或测试，测试工具或系统必需满足以下条件：

- (1) 提供符合 IEC61850 标准要求的数字式电压和电流信息；
- (2) 能够模拟电力系统不同故障类型及故障暂态过程；
- (3) 具备数字化变电站的典型组网模式和通信条件；
- (4) 具备记录数字信息和显示模拟信号的设备条件。

电力系统动态物理模拟系统是对继电保护装置进行检测的最有效手段之一，在我国获得广泛应用。传统动模系统建立在电力系统的传统一、二次模式基础之上，无法提供数字化保护装置所需要的测试条件，因而不能直接用来作为数字化保护的测试平台。

4 数字化保护动模测试系统建立

4.1 测试系统构建思想

根据数字化保护测试要求及传统动模系统所具备的资源条件，可以考虑在传统动模一次系统基础上进行数字化升级改造。

如图 2 所示, 升级方案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。

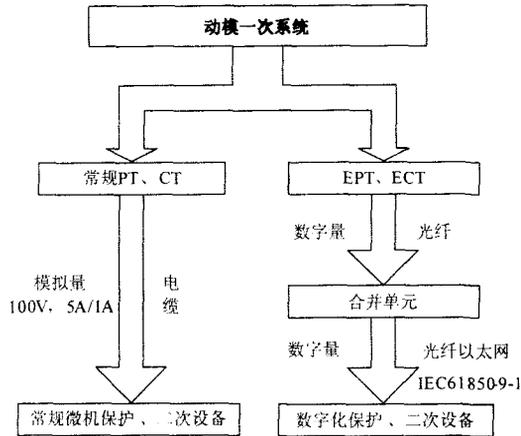


图 2 动模测试系统数字化升级方案

Fig.2 Digitally upgrading scheme for dynamic simulation testing system

为了进一步完善数字化保护的功能测试, 更好

地模拟数字化变电站的实际运行环境, 方便进行动作情况分析, 还需要配置开关智能单元、数字录波器、光交换机、网络同步器等设备, 并采用光纤以太网构建完整的数字化保护测试系统。

4.2 测试系统实现方案

根据以上构建思想并结合数字化变电站的典型结构和配置, 设计出如图 3 所示的数字化保护动模测试系统实现方案。其一次系统由两条输电线路、三绕组变压器、发电机及等值电源系统组成。过程层设备有电子式互感器、合并单元及智能开关单元; 间隔层设备主要是保护装置和控制设备, 它们可以作为固定设备用于构成数字化变电站模拟系统, 也可以是来自不同厂家的被试装置, 根据需要与系统进行连接。

文中在第 2 部分已经分析了数字化变电站的组网方式。考虑到在实际数字化变电站中, 过程层采样数据流量很大, 为保证数据通信的可靠性, 本测试系统中合并单元与数字化保护之间的通信采用点对点组网方式 (IEC61850-9-1); 而保护的跳闸、重合闸信息、保护和测控装置的闭锁信息、断路器位置状态信息等, 由于数据流量较小, 对网络带宽要求不高, 因此采用 GOOSE 网结构的方式进行通信 (IEC61850-9-2) [5]。

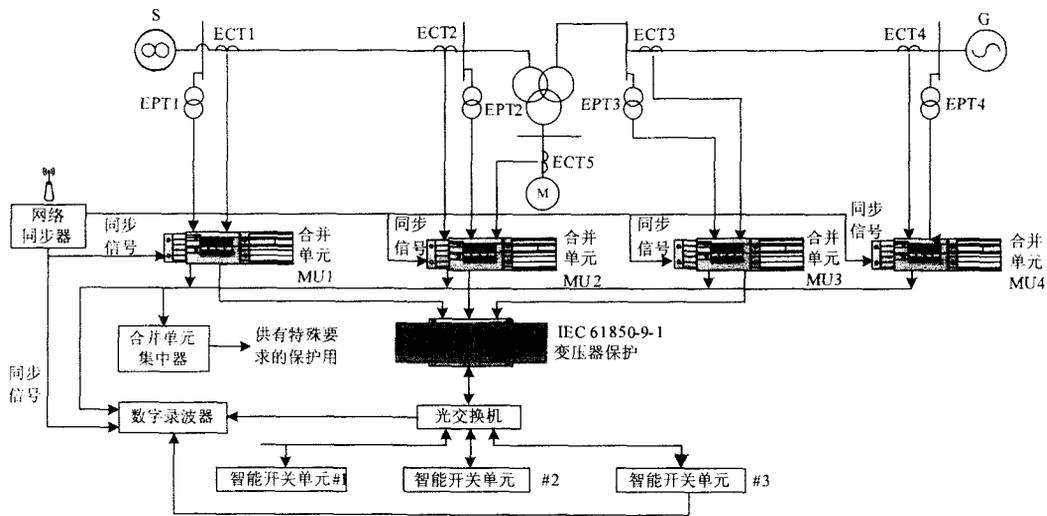


图 3 数字化保护动模测试平台实现方案

Fig.3 Schematically planning of dynamic simulation testing system for digital protection

4.3 测试系统可实现的功能

图 3 所示数字化保护测试系统能为间隔层保护装置及监控设备提供与数字化变电站二次特性相一致的数字量电压、电流信号; 智能开关单元与保护装置之间可实现 GOOSE 信息传递; 所配置的数字

式故障录波器既能接收合并单元传来的数字式电压电流信号又能接收 GOOSE 网络信息, 并可显示出故障电压、电流模拟信号及保护装置动作时间信号。因此, 该系统完全满足数字化保护的测试需求, 可以实现对线路保护、变压器保护、母线保护装置及

其它数字监控设备的功能测试和性能测试。同时该系统还可以同时完成对同类传统保护装置的测试,为两类互感器及两类保护的性能提供对比和分析。

5 系统建立及试验结果

本文提出的新型数字化保护测试系统已于2008年底在山东大学电力系统动态模拟省重点实验室建设完成。在原动模一次系统基础上通过配置符合 IEC 61850 标准要求的、且适合动模系统规格要求的高质量电子式互感器、合并单元、智能开关单元、光交换机以及数字式故障录波器等设备,开发出一套完整的能对数字化保护及二次设备进行动、稳态检测的新型物理模拟测试系统。过程层设备及故障录波器均采用最新定制产品。

测试系统开发完成后,为验证该平台是否达到预期的设计目标,进行了一系列的测试。具体包括系统组成设备的单机工作状态测试,IED 之间的通信情况检测以及保护设备的性能评估。本文重点介绍利用新开发的测试平台对 X7211 系列数字化变压器保护装置进行试验的情况,并给出其中的一些测试结果。在进行保护试验时,测试系统采用双端供电模式(单台发电机对无穷大系统),其中无穷大系统侧电压为 1 000 V,三绕组变压器的电压变比为 1000/700/400。试验项目包括变压器的稳态运行、空载合闸、不同电压等级侧的内部故障和外部故障。典型的录波图如图 4、图 5 所示。

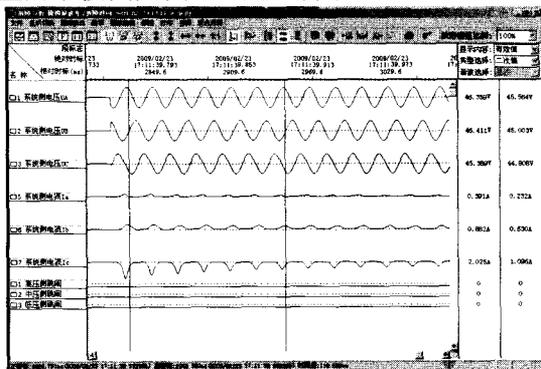


图 4 变压器空载合闸
Fig.4 No-load closing of transformer

图 4 为典型的变压器空载合闸录波图。由高压侧的三相电流波形可以发现明显的励磁涌流特征,而保护装置可靠不动作(正确反应)。

图 5 为典型的变压器高压侧区内 A 相接地故障录波图。图中记录了高压侧和中压侧的电流波形以及保护的跳闸信号。不难发现,保护装置于故障发生 24.5 ms 后发出跳闸信号(从 GOOSE 信息中提取)。

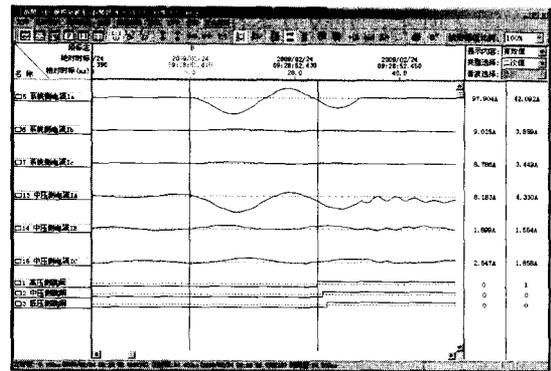


图 5 高压侧区内 A 相接地短路
Fig.5 A-phase grounding short circuit in high voltage side

大量的试验结果表明,所构建的测试系统能够提供与数字化变电站相一致的二次电气环境,满足了数字化保护装置和其他二次监控设备的各项测试要求。

6 结论

基于 IEC 61850 标准的数字化保护的应用给保护测试提出了更高的要求。本文从分析数字化变电站的特征出发,分析了数字化保护与传统保护在测试手段上存在的区别,设计开发出一种新型数字化保护动模测试系统。该系统可实现以下功能:

- (1) 评估不同类型的数字化保护装置的功能和性能,如线路保护、变压器保护和母线保护。
- (2) 对来自不同厂家的 IED 进行互操作试验。
- (3) 评估电子式互感器的暂、稳态响应情况,分析其对数字化保护的影响。
- (4) 研究数字化变电站的相关技术。

参考文献

[1] 吴俊兴, 胡敏强, 吴在军. 基于 IEC61850 标准的智能电子设备及变电站自动化系统的测试[J]. 电网技术, 2007, 31 (2): 70-74.
WU Jun-xing, HU Min-qiang, WU Zai-jun. Testing of IEC61850 Based Intelligent Electronic Device and Substation Automation System[J]. Power System Technology, 2007, 31 (2): 70-74.

[2] 冯硕, 黄梅, 李晓朋. 基于 IEC61850 的光数字继电保护测试仪的研制[J]. 继电器, 2008, 36 (8): 23-25, 45.
FENG Shuo, HUANG Mei, LI Xiao-peng. Development of Fiber Digital Relay Protection Tester Based on IEC61850[J]. Relay, 2008, 36 (8): 23-25, 45.

[3] 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.
(下转第 141 页 continued on page 141)

- Measurement & Control Technology, 2004, 23 (11):69-73.
- [3] 高宏. 智能高压综合保护器的设计[J]. 科技情报开发与经济, 2007, 17 (23):268-269.
GAO Hong. Design of the Intelligent comprehensive Protector with High-voltage Switch[J]. Sci-Tech Information Development & Economy, 2007.
- [4] 中华人民共和国能源部. 煤矿安全规程. 能源安保 [19921017]号[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1992.
People's Republic of China Department of Energy. Coal Mine Safety Regulations Energy Security No. [19921017][M]. Beijing: Coal Carbon Industry Press, 1992.
- [5] 李艳东. 煤矿漏电保护装置的现状及发展方向[J]. 科技咨询导报, 2007, 20:209.
LI Yan-dong. Status and Development of Leakage Protection System for Coal Mine[J]. Science and Technology Consulting Herald, 2007, 20:209.
- [6] 陈奎, 唐轶. 双屏蔽电缆监视线保护原理的研究[J]. 华北电力大学学报, 2000, 23 (3): 50-54.
CHEN Kui, TANG Yi. Study on the Protection principle of the Phase screened Cable Monitor Wire[J]. Journal of North China Electric Power University, 2000, 23 (3): 50-54.
- [7] 梁睿, 王崇林, 刘建华, 等. 一种新算法在监视线保护中的应用[J]. 高电压技术, 2008, 34 (3): 504-507.
LIANG Rui, WANG Chong-lin, LIU Jian-hua, et al. Application of a Novel Algorithm in the Cable Monitor Wire Protection[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34 (3): 504-507.
- [8] 王泉根. 高压漏电保护装置误动作的一般原因及解决方法[J]. 电世界, 2006, 47 (3): 55.
WANG Quan-gen. General Causes and Solutions of Mal-operation on High Voltage Leakage Protection Device[J]. Electrical World, 2006, 47 (3): 55.
- [9] 唐轶, 陈奎, 陈庆, 等. 导纳互差之绝对值和的极大值法小电流接地选线研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25 (6): 49-54.
TANG Yi, CHEN Kui, CHEN Qing, et al. Study on Earthed Faultlocation Method in Indirectly Grounding Power System Using Maximum Value of Absolute Value Summation of Measurement Admittance Mutual Difference[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25 (6): 49-54.
- [10] 曾祥君, 尹项根, 张哲, 等. 零序导纳法馈线接地保护的研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21 (4): 5-10.
ZENG Xiang-jun, YIN Xiang-gen, ZHANG Zhe, et al. Study on Feeder Grounding Fault Protection Based on Zero Sequence Admittance[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21 (4): 5-10.
- [11] 唐轶, 陈奎, 陈庆, 等. 馈出线测量导纳互差求和小电流接地选线研究[J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (11): 69-73.
TANG Yi, CHEN Kui, CHEN Qing, et al. Study on the Earthed Fault Detection Method in Indirectly Earthed Power System Using Summation of Outgoing Feeder Measurement Admittance Mutual Difference[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (11): 69-73.

收稿日期: 2009-03-06 修回日期: 2009-04-11

作者简介:

陈奎(1973-), 男, 博士, 副教授, 现从事电力系统继电保护和煤矿供电系统的研究和教学工作。E-mail: jdbh2001@163.com

(上接第 136 页 continued from page 136)

- CAO Feng-mei, REN Yan-ming, WANG Zhao, et al. Advices on Interoperability Test of Substation Automation System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (3): 86-89.
- [4] 任雁铭, 秦立军, 杨奇逊. IEC61850 通信协议体系介绍和分析[J]. 电力系统自动化, 2000, 24 (8): 62-64.
REN Yan-ming, QIN Li-jun, YANG Qi-xun. Study on IEC61850 Communication Protocol Architecture[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24 (8): 62-64.
- [5] 李晓朋, 赵成功, 李刚. 基于 IEC 61850 的数字化继电保护 GOOSE 功能测试[J]. 继电器, 2008, 36(7): 59-61.
LI Xiao-peng, ZHAO Cheng-gong, LI Gang. Goose Test of Digital Relays Based on IEC61850[J]. Relay, 2008, 36(7): 59-61.
- 收稿日期: 2009-04-17; 修回日期: 2009-06-15
- 作者简介:
- 王涛(1975-), 男, 硕士, 高工, 主要研究方向为继电保护; E-mail: wh5611@sina.com
- 高厚磊(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为继电保护, 数字化变电站应用技术等; E-mail: houleig@sdu.edu.cn
- 邹贵彬(1971-), 男, 副教授, 主要研究方向为电力系统动态模拟, 基于行波的保护原理及实现技术。