

智能变电站非侵入式测试技术研究

鲍伟¹, 高翔², 沈冰¹, 周健¹

(1. 国网上海市电力公司电力科学研究院, 上海 200437; 2. 上海毅昊自动化有限公司, 上海 201204)

摘要: 智能变电站二次系统基于SCD展开,增加了合并单元、智能终端、交换机等。在应用模式中体现了过程层就地化布置的特征,这样对于保护系统的现场测试带来了很大的不便性。为了提高现场运行检修的效率,对于基于IEC 61850标准TEST模式的测试方案进行了研究,提出了基于网络发送测试用例的“非侵入式”测试的技术思路和方案,可实现现场不插拔连接光缆,不变更保护整定值,完成现场运维测试。这种测试模式可以带来现场测试的便利性,呈现智能变电站运维测试相对于常规综自系统的独特优势。

关键词: 智能变电站; 继电保护; SCD; 测试

Research method of “non-intruding test” for smart substation

BAO Wei¹, GAO Xiang², SHEN Bing¹, ZHOU Jian¹

(1. Electrical Science Research Institute of Shanghai Municipal Power Company of State Grid, Shanghai 200437, China;
2. Shanghai Yihao Automation Co., Ltd., Shanghai 201204, China)

Abstract: The secondary circuit of smart substation is based on SCD, which includes a merging unit, an intelligent terminal, as well as a switch, etc. There is a tendency to implementing process level device at the switchyard, and it means inconvenient to test relay system for maintenance issue. In order to improve the efficiency of site routine test, IEC 61850 based test mode is developed, a new method of “non-intruding test” to test relay system is proposed based on network test case, with which it is not necessary to disconnect fiber and adjust setting on site. Under this circumstances, the test procedure will be improved rapidly and furthermore it can prove the unique benefit of smart substation compared to conventional substation.

Key words: smart substation; relay; SCD; test

中图分类号: TM764

文章编号: 1674-3415(2015)20-0125-05

0 引言

自2009年国家电网公司组织推进智能电网战略以来,基于IEC 61850标准的智能变电站自动化技术获得了快速发展,我国已成为智能变电站投运数量最多的国家^[1-2]。智能变电站二次系统基于SCD展开,采用“三层两网”架构,增加了合并单元、智能终端、交换机等^[3],且在应用模式中体现了过程层就地化的模式^[4-7],带来了运行维护测试的复杂性,由此,智能变电站保护系统的测试成为一个迫切需要解决的问题。

2013年国际大电网会议CIGRE成立了B5工作组,开始制定《IEC 61850-10-1 Methodologies for Commissioning Testing of Functions in IEC 61850 Based Systems》草案。计划用三年时间提出基于IEC 61850全数字化保护系统的测试方案(Test Strategy for Protection, Automation and Control (PAC)

functions in a full digital substation based on IEC 61850 applications)。

国内继电保护标委会于2014年8月在杭州组织召开了智能变电站测试技术研讨会,来自制造厂家、运行单位、试验单位等80多人参加了会议讨论,对于如何有效开展智能变电站二次系统测试验证进行了充分的讨论。

本文针对IEC 61850标准体系的特点,通过对于智能变电站测试技术特征的研究,提出“非侵入式”测试的技术思路:即现场不变更接线,不改变保护整定值设置,完成继电保护系统运维测试。这样,可极大地提升智能变电站运维测试的便利性和效率,并可实现保护系统测试的全生命周期管理。

1 智能变电站技术特征

1.1 网络化信息共享

基于IEC 61850架构体系的智能变电站二次系

统呈现为网络化信息共享的特征，信号之间的传递媒介由光缆代替了电缆，以往常规综自系统IED装置基于端子二次联接关系，演变为基于GOOSE数据包的虚端子/虚回路对应关系^[8]，参见图1。

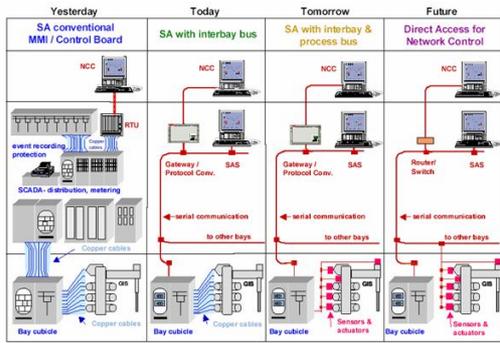


图1 变电站自动化系统发展趋势

Fig. 1 Tendency of substation automation system

1.2 过程层就地化

随着智能化一次设备的推进进程，以合并单元、智能终端为特征的过程层IED装置就地化成为一种必然趋势，变电站自动化系统过程层演变趋势参见图2。过程层设备布置方案增加了现场测试的不便利

性。因此，如何提高智能变电站二次系统的测试效率成为急需解决的问题。



图2 过程层演变过程

Fig. 2 Developing process of a process layer

1.3 二次系统围绕SCD展开

智能变电站工程实施基于SCD展开，通过工程配置工具(System Configurator)及IED配置工具(IED Configurator)，完成变电站二次系统信号关联的配置，SCD信息流参见图3。SCD文件的应用成为智能变电站区别于常规综自站的最重要特征，并构成了智能变电站二次系统信号关联的核心，因此，研究智能变电站测试方案的关键需要基于SCD，获取保护系统信息关联关系，以此，构成保护系统测试方案实施的基点。

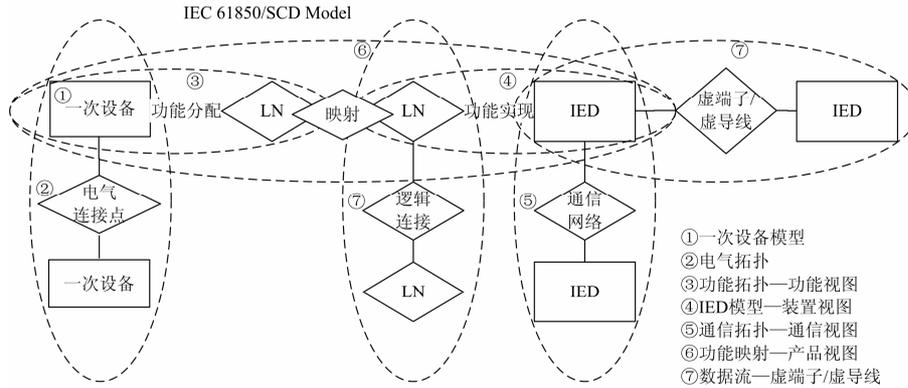


图3 SCD信息示意图

Fig. 3 Information included in SCD

2 测试模式分析

2.1 测试分类

尽管智能变电站二次系统的形态与常规综自系统产生了重大差异，但从二次系统测试视角分析，依旧可以分为工程测试和运维测试两种类型，参见图4。这样划分的主要依据在于这两类测试的目标有所差异。工程测试需要验证二次系统设计方案在工程施工过程中二次回路联接的正确性，保护装置功能配置(含整定值)的正确性。运维测试主要是提高保护系统的可用率，设备(或二次系统)消缺、

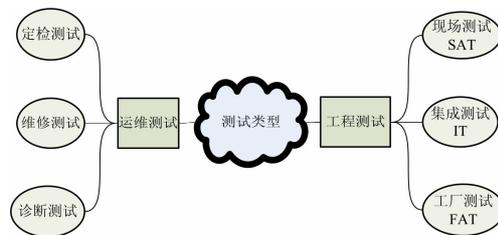


图4 智能变电站保护系统测试类型

Fig. 4 Test modes of protection system of smart substation

结合检修模式的检测构成运维测试的主要内容。这种测试类别的划分是智能变电站“非侵入式”测试

方案设计的基础^[9]。

2.2 现场测试

现场(SAT)测试需要验证所有设备功能、回路的正确性。智能变电站二次系统投产试验与常规综自系统类似,需要进行完整的保护整定值校验、联动试验等。因此,必须从交流电源的输入端施加激励量,验证一、二次联接正确性,确定保护整定值,并最终进行断路器跳合闸试验。智能变电站现场测试所采用的测试方法与常规综自无异,需要在就地柜施加测试激励。

2.3 运维测试

运维试验与投产试验目标具有很大的差异性,主要是验证二次系统是否维持原来的正确性?智能变电站保护系统所采用的保护装置从其实现机理上分析,只要软件版本不变,保护动作特征不会改变,运维测试主要是验证联接环节的健康状况及保护系统的可用率。因此,需要研究在不改变现场接线、不更改现场通信配置的情况下,完成运维测试的可行性。如在工程设计阶段预先考虑好运维测试接口,在SCD文件和IED模型中预留测试模型,在现场网络设计中预留测试通道,运维过程中实现测试和运行状态的切换以及确保运维测试的安全性等。

3 IEC61850 标准 TEST 模式

3.1 TEST 所涉及的信息模型

IEC 61850 标准具有 TEST 模式,对智能变电站中的 IED 进行检修、测试,将涉及到如下模型信息:①LLN0 的 Mod/Beh。其中,Mod 用于切换装置的 Test(Test-Blocked)/ON 状态;Beh 用于读取装置的 Test/ON 状态。由于 Mod/Beh 属于 LLN0,所以从机制上允许在 LD 级别而非 IED 级别进行运行模式控制。②Report、GOOSE 和 SMV 数据的 q 属性。q 中的 test 位(以下检查 q.test)用于定义 IED(更准确的说法是 LD)是否处于测试状态。③Control 服务的 Test 参数。

应用上述信息时,要遵循如下基本原则:1)当 IED 被置为 Test 状态时,从 IED 发出的 Report、GOOSE 和 SMV 数据中的 q.test 都应被置位;2)当 IED 接收数据时,按照“位置对应原则”处理。即:当 IED 的 Mod 被置为 Test 状态时,只响应 q.test 被置位的数据,而丢弃 q.test 未被置位的数据;当 IED 的 Mod 被置为 ON 状态时,只响应 q.test 未被置位的数据,而丢弃 q.test 被置位的数据;另外,IED 的 Mod 还可被置为 Test-Blocked, Test-Blocked 与 Test 的唯一区别是,装置不会产生任何硬输出(wired output)信号。

当 IED 接收控制命令时,同样按照“位置对应

原则”处理。即:当 IED 的 Mod 被置为 Test 状态时,只接受控制参数中 test=TRUE 的控制命令,而忽略 test=FALSE 的控制命令;当 IED 的 Mod 被置为 ON 状态时,只接受控制参数中 test=FALSE 的控制命令,而忽略 test=TRUE 的控制命令。

3.2 对于 IED 的基本要求

对于 TEST 模式的应用,保护装置、合并单元、智能终端必须支持 TEST 模式,具体包括 Mod=ON、Mod=Test-Blocked 等模式;各模式下装置的行为符合 IEC 61850 标准的要求。

IED 装置需要支持 TEST 模式,具体包括 Mod=ON、Mod=Test、Mod=Test-Blocked 等模式;各模式下装置的行为符合 IEC 61850 标准的要求。

IED 在发送和接收 GOOSE、SV 报文时,支持报文中的 Test 标志,对 Test 标志的处理符合 IEC 61850 标准的要求。

IED 的控制服务支持 Test 参数,对 Test 参数的处理符合 IEC 61850 标准的要求。

当 IED 采用点对点光纤连接时,应提供额外测试用端口(包括 GOOSE 端口和 SV 端口),以支持“非侵入式”试验。同时,应有可信任的机制保证测试用端口和运行端口的一致性。

当 IED 同时接收正常报文和带有 Test 标志的报文时,IED 能正常处理不会因额外的网络负载而影响装置运行。通过 MMS 服务完整读取装置的定值,支持以 MMS 服务提供测试结果,如元件启动时间、动作时间、控制命令接受时间、命令执行时间等,且时间精度不差于 2 ms。

3.3 功能的规范化描述

测试是针对“功能”,首先必须对“功能”有规范化的定义。对“功能”的抽象、归纳、规范化描述是 IEC 61850 的基础。IEC 61850 标准定义了变电站自动化“系统”由若干“功能”(如保护、测量、控制等)构成,“功能”可以进一步划分为若干子功能,直至“逻辑节点”,“逻辑节点”代表可以交换数据的最小功能单元,参见图 5。

系统→功能→逻辑节点,逻辑节点本身并不实现功能,但它可以让与功能实现相关的输入、输出、定值、参数等在通信上是可见性的,即逻辑节点使得:“功能”的所有输入和定值都是可控、可设置的;“功能”的所有输出都是可测量的,参见图 6。

这对于测试的意义在于:只要遵循了 IEC 61850,所有功能的行为都是可控制的,功能的输出都是可观测的,这样就为测试用例的设计以及测试过程的执行带来了极大的便利。

图 7 站在更粗的粒度,说明变电站自动化系统中由“逻辑节点”构成的“功能”,以及其输入、输出。

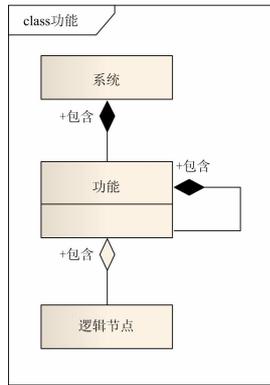


图 5 IEC 61850 对功能的抽象

Fig. 5 Function illustrated in IEC 61850

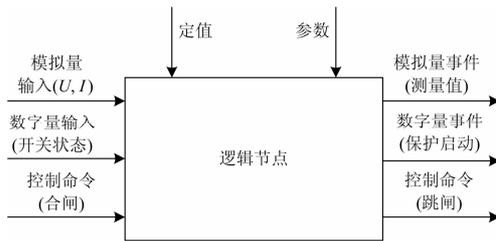


图 6 逻辑节点的输入与输出

Fig. 6 Input & output of logic nodes

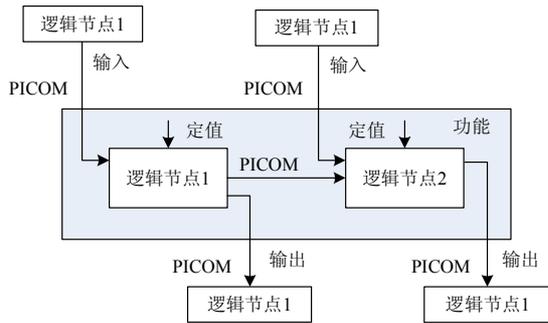


图 7 功能的输入与输出

Fig. 7 Input & output of functions

4 非侵入式测试模式探索

4.1 非侵入式测试基本特征

非侵入式测试具有如下基本特征：①现场不改变接线；②不改变保护定值。通过变电站 GOOSE 网络发送测试激励，完成闭环测试过程。因此，作为测试用例的施加对象，合并单元需要增加测试 GOOSE 报文的接收功能，规定特殊的 MAC 及 APPID。可接收测试装置发出的 GOOSE 报文，根据接收的状态控制信息，设定每一路 SV 通道的幅值、相角和品质信息，并根据合并单元的检修状态发送是否带检修标志的 SV 报文，要求处理时间不大于 5 ms。

为了保证测试过程的安全性，需要规定仅当合并“检修压板”投入后，合并单元的测试功能才能开放。为此，需要在合并单元测试输入端增加一个明显的“测试”操作压板进行安全隔离。

这种测试模式对于保护装置和智能终端则没有特殊要求。保护装置收到带有检修品质的采样值报文后，进行保护判别和发送跳闸 GOOSE 报文。智能终端收到带有检修品质的跳闸 GOOSE 报文，进行跳闸动作，并将出口状态通过 GOOSE 反馈到 GOOSE 网络；根据动作指令和反馈报文的目的地、反馈来源、时间间隔特征等确认动作行为的正确性，形成闭环测试。与此同时，测试装置可通过 MMS 网络获取保护装置的遥测量信息，确认保护装置的采样是否正确。

4.2 合并单元的同步处理机制

非侵入式测试方案对于母线保护、变压器保护等多间隔的合并单元测试信号的施加则需要考虑同步机制。

鉴于 GOOSE 报文中可以包含测试启动指令被发出时的绝对时间，对于测试激励量的同步性可以考虑采用如下机制：测试装置支持 IRIG-B 秒脉冲同步机制，在下发带时间的测试启动指令、合并单元接收指令后，按照预先确定的延时，发出测试激励量。

4.3 非侵入式测试流程

在实施“非侵入式”测试方案时需要设计继电保护设备、合并单元和智能终端中用于自动检测虚端子连接关系的检测配合功能，以期建立标准的合并单元测试模拟量输出虚端子模型和智能终端虚端子信号输出机制，作为继电保护设备的数据源端。同时，需要评估不改变回路接线情况下跨间隔设备之间连锁信息的安全性。

测试示意图参见图 8。实施步骤如下：

1) 测试装置依据 SCD 确定所需要测试的保护系统构成方式及对应的 IED，针对每套保护系统形成对应的测试方案；

2) 选择所需测试的间隔，对该间隔的合并单元装置发送测试 GOOSE 报文，用于触发合并单元的测试置数功能间隔停电或间隔的双套保护中的一套停用检修时，保护装置、合并单元和智能终端分别投入各自的检修压板；

单一间隔的运行设备此时均处于检修状态，设备发出的采样值、GOOSE、MMS 报文均带有检修品质；

合并单元收到测试终端发出的 GOOSE 报文后，经自身检修状态判别正确后，启用测试用例，确定数据大小、品质等发送相应的测试采样值报文(带检修品质)；

保护装置收到带有检修品质的采样值报文, 进行保护判别和发跳闸 GOOSE 报文;

智能终端收到带有检修品质的跳闸 GOOSE 报文, 进行跳闸动作并将出口状态通过 GOOSE 反馈到 GOOSE 网络;

测试装置通过从 GOOSE 网络获取到的智能终端跳闸反馈 GOOSE 报文, 根据动作指令和反馈报文的目的地、反馈来源、时间间隔特征等确认动作行为的正确性, 形成闭环测试;

同时测试终端可通过 MMS 网络获取保护装置的遥测量信息, 确认保护装置的采样是否正确。

由此, 完成非侵入式测试过程。

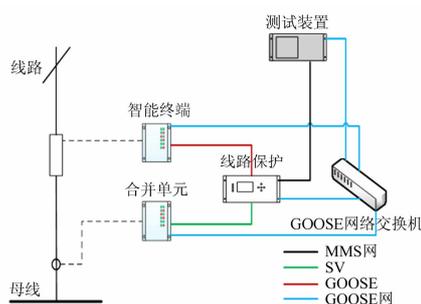


图 8 测试装置示意图

Fig. 8 Test device

5 结论

通过对基于 IEC 61850 标准 TEST 机制的测试方案研究结果表明,“非侵入式测试”方案可支持在线远方测试机制,在不改变现场接线(如插拔光缆等),不改变保护装置整定值前提下,完成对于智能变电站保护系统通信连接方式的测试。

本文提出的基于解析 SCD 的测试方案,能适应“直采直跳”、“直采网跳”、“网采网跳”接线方式,为满足基于 IEC 61850 标准 TEST 机制的非侵入式测试,合并单元、保护装置、智能终端必须支持 TEST 模式,并需要在现有实现技术基础上做一定的改进^[10]。

研究表明,针对智能变电站的运维测试具备了实现探索“非侵入”式测试的可能性,为解决现阶段运维测试的不便利性提供一种可借鉴的技术路径。这种模式可以大大提高智能变电站运维测试的效率,为智能变电站二次系统基于可靠性分析的状态检修机制提供技术验证手段。

参考文献

- [1] 张沛超,高翔.智能变电站[J].电气技术,2010,30(8):4-10. ZHANG Peichao, GAO Xiang. Intelligent substation[J]. Electrical Technology, 2010, 30(8): 4-10.
- [2] 高翔.智能变电站技术[M].北京:中国电力出版社,2012:1-14.
- [3] IEC 61850 communication networks and systems in

substations[S]. 2005.

- [4] 黄益庄.智能变电站是变电站综合自动化的发展目标[J].电力系统保护与控制,2013,41(2):88-92. HUANG Yizhuang. Smart substation is the further objective of SAS[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(2): 88-92.
- [5] 李孟超,王允平,李献伟.智能变电站及技术特点分析[J].电力系统保护与控制,2010,38(18):50-56. LI Mengchao, WANG Yunping, LI Xianwei. Smart substation and technical characteristic analysis[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(18): 50-56.
- [6] 李瑞生,李燕斌,周逢权.智能变电站功能架构及设计原则[J].电力系统保护与控制,2010,38(21):30-38. LI Ruisheng, LI Yanbin, ZHOU Fengquan. The functional frame and design principles of smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 30-38.
- [7] 高磊. IEC 61850 SCL 配置文件比对工具的研究与实现[J].电力系统自动化,2013,46(37):21-29. GAO Lei. Research and implementation of IEC61850 SCL comparer[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 46(37): 21-29.
- [8] 胡道徐,沃建栋.基于 IEC61850 的智能变电站虚回路体系[J].电力系统自动化,2010,34(17):78-82. HU Daoxu, WO Jiandong. Virtual circuit system of smart substation based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(17): 78-82.
- [9] 高翔,杨漪俊,姜健宁,等.基于 SCD 的二次回路监测主要技术方案介绍与分析[J].电力系统保护与控制,2014,42(15):149-154. GAO Xiang, YANG Yijun, JIANG Jianning, et al. Analysis of secondary circuit monitoring methods based on SCD[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(15): 149-154.
- [10] 高磊,石慧,杨毅,等.智能变电站配置描述文件管控系统的研究与实现[J].电网技术,2014,38(12):3328-3332. GAO Lei, SHI Hui, YANG Yi, et al. Research and implementation of configuration description file management system for smart substation[J]. Power System Technology, 2014, 38(12): 3328-3332.

收稿日期: 2015-01-13; 修回日期: 2015-04-21

作者简介:

鲍伟(1969-),男,高级工程师,研究方向为继电保护; E-mail: baowei0322@sina.com

高翔(1962-),男,博士,高级工程师,研究方向为继电保护及变电站自动化系统; E-mail: xiang_gao@syhpower.com

沈冰(1979-),男,高级工程师,研究方向为电力系统控制与保护技术. E-mail: ee_shen_bing@hotmail.com

(编辑 魏小丽)