

DOI: 10.7667/PSPC151348

基于全模型 SCD 二次系统在线监测及智能诊断应用分析

曹海欧¹, 高翔², 杨毅³, 印吉景⁴

(1. 国网江苏省电力公司, 江苏 南京 210024; 2. 上海毅昊自动化有限公司, 上海 201204; 3. 国网江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103; 4. 国网江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 210024)

摘要: 智能变电站 SCD 文件构成了二次系统的核心组成部分。针对现阶段 SCD 应用过程中存在的问题, 结合江苏 500 kV 高邮智能变电站, 提出了基于全模型 SCD 的可视化在线技术方案。实现了智能变电站二次系统“图实相符”的可视化应用, 及保护二次系统异常状态的智能诊断。印证了“源端数据维护”机制的可行性, 为智能变电站各种高级应用提供了可借鉴的技术路径。

关键词: 智能变电站; 继电保护; SCD; 可视化; 智能诊断

Analysis of online monitoring and intelligent diagnosis based on the full model SCD secondary system

CAO Haiou¹, GAO Xiang², YANG Yi³, YIN Jijing⁴

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China; 2. Shanghai Yihao Automation Co., Ltd., Shanghai 201204, China; 3. State Grid Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China; 4. State Grid Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 210024, China)

Abstract: SCD plays the key role within the secondary circuits of a smart substation. This paper illustrates present situation of SCD application and proposes an online-visualized technical solution based on complete SCD model associated with 500 kV Gaoyou substation. It is realized that the application of "physical connection matching picture" for substation secondary circuits as well as smart diagnostic of an abnormal situation for secondary circuits. Furthermore, the mechanism of "source data maintenance" is proved to be possible, and the technical solution is recommended for the advanced application of smart substation.

Key words: smart substation; relay; SCD; visualization; smart diagnostic

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 IEC61850 标准的智能变电站自动化技术获得了快速发展。国家电网公司自 2013 年起组织开展新一代智能变电站试点, 2014 年度有六个新一代智能变电站投运, 2015 年将增加到 50 个站。迄今已经有 3000 座以上的智能变电站投入运行, 2015 年又将有 1500 座智能变电站投运。我国已成为智能变电站投运数量最多的国家^[1-4]。

智能变电站有别于常规综合自动化系统的最大特征是二次系统深度依赖于变电站配置描述文件 SCD, 智能电子设备 IED 通过数据集(DATA Set)定义了与其他 IED 信号关联。常规综自系统 IED 装置基于端子二次联接关系, 演变成了数据包(GOOSE OUT)的发送和(GOOSE IN)接收的对应关系。常规

综自系统以 IED 装置端子排作为管理界面的特征消失, 边界管理困难^[5]。由此, SCD 成为智能变电站的核心要素。由于光缆代替电缆, 信息流代替了物理联接, 二次系统呈现为“黑匣子”特征, 二次系统的耦合度增加。对于运行管理带来了新的挑战。

本文将分析现阶段 SCD 文件工程应用特征, 结合江苏 500 kV 高邮智能变电站工程, 探讨基于全模型 SCD 二次系统可视化及智能诊断的应用方案, 以有效改进智能变电站二次系统的可维护性, 为变电站“无人值守”、“调控一体化”、“运维一体化”管理模式提供可靠的技术支撑。

1 智能变电站 SCD 现状分析

1.1 智能变电站二次系统特征

智能变电站工程实施一般基于 SCD 通过工程配置工具及 IED 配置工具, 完成二次系统信号关联

的配置, 参见图 1。

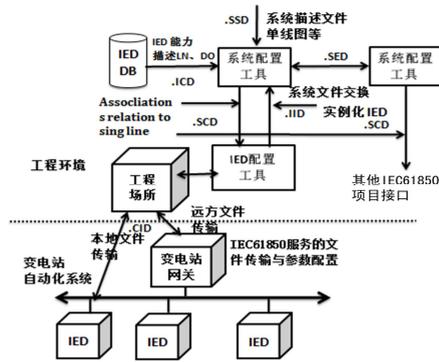


图 1 IEC61850 工程配置过程示意图

Fig. 1 IEC61850 project configuration

其中 SCD 文件描述了：① 变电站一次设备模型与电气拓扑信息；② 功能视图，自动化功能在各间隔内的分配；③ IED 视图，IED 能力描述；④ 通信视图，通信配置信息；⑤ 产品视图，IED 视图中的 LN 与功能视图中的 LN 的映射；⑥ 数据流，IED 之间的水平通信与垂直通信，参见图 2^[6]。

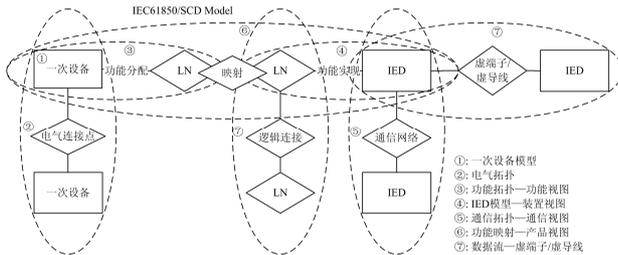


图 2 SCD 信息示意图

Fig. 2 SCD information

1.2 SCD 工程应用现状

智能变电站的工程实施流程深度依赖于集成商的系统配置工具和厂家的装置配置工具。配置工具各异造成 SCD 文件规范性差。且现阶段智能变电站二次系统的设计方案具有探索性特征，如有“网采网跳”、“直采网跳”、“直采直跳”方案；有采用电子式互感器，也有采用常规互感器加合并单元；过程层有合并单元、智能终端合一；还有合并单元与智能终端分离模式等。加上供应商的 IED 设备未定型，每个智能变电站工程几乎均呈现为研发态。体现为 SCD 文件几乎是“千站千面”，造成运行维护极度困难。某些地方进行智能变电站间隔扩建或 IED 装置升级时，不得不采取全站停电或模拟搭建完整站方案进行 SCD 的验证试验。

按照 IEC61850 标准的工程配置流程，SCD 应该包含 SSD，参见图 3。实际上迄今为止的所有工程中应用的 SCD 文件均没有 SSD，也没有一、二

次的模型关联等。

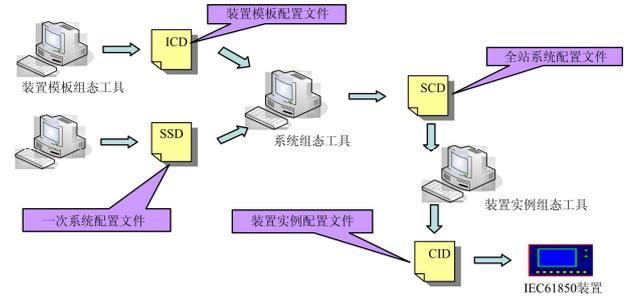


图 3 配置文件生成的标准流程描述

Fig. 3 SCD configuration procedure

1.3 SCD 管理方案分析

目前 SCD 文件基本采取离线管理机制，文献[7]提出了基于 CRC 的 SCD 管控思路，核心思想在于通过配置工具形成过程层 SCD 子文件(CRC)，由装置配置工具将配置文件要求下载至 IED 装置，IED 配置工具需要生成同样的 CRC；运行过程中通过读取 IED 装置承载于 GOOSE 包的 CRC，比对与 SCD 配置文件所产生的 CRC 差异。这个要求已经纳入 Q/GDW 1396-2012，《IEC61850 工程继电保护应用模型》。然而，CRC 管理机制无法实现对于虚回路/虚端子的直接管理，且有效性取决于装置配置工具在 CRC 算法上与系统配置工具的一致性。对于系统配置工具和装置配置工具有极高的一致性要求。因此，国调中心组织编写了企业标准《智能变电站继电保护工程文件技术规范》，提出了 CIPD 文件格式的要求，明确了 CRC 校验码计算规则，以期实现系统配置文件的配置要求与装置配置过程实现机制的一致性。这意味着所有已经运行的智能变电站保护装置必须升级，现场工作量及其巨大，对于存量智能变电站及未来将投产的智能变电站并不具备工程应用上的可操作性。

文献[8]系统性地分析了“离线、在线、实时”SCD 管控方案的特征，提出了 SCD 管理必须实现“设计、配置、运行”一体化管理，才能有效控制智能变电站二次系统的运行风险。

文献[9]从智能变电站 SCD 全生命周期管理的视角，阐述了三个关键问题：(1) SCD 文件的唯一性和变更的可跟踪性；(2) 变更过程中 SCD 文件的安全访问控制问题；(3) SCD 变更确认后运行过程中对装置内配置信息的在线监视问题。

2 SCD 需解决的关键问题

2.1 SCD 模型应用规范性

现阶段工程 SCD 仅仅反映二次虚回路的关联

性，缺乏完整的模型文件，无法支持源端数据维护等各种高级应用，等效于采用 IEC61850 体系完成了 IEC60870-5-103 规约的工程实施。图 4 为高邮变工程 SCD 截图，可以看出工程 SCD 文件没有变电站标签、缺乏一次设备模型、也没有过程层交换机模型。仅包含过程层 IED 之间的信息关联性，停留在满足互操作的基本要求。



图 4 高邮变 SCD 截图
Fig. 4 Gaoyou SCD

IEC61850 标准的重要思想就是支持面向对象的建模，因此，SCD 的应用必须借鉴 SSD 用于描述变电站一次拓扑结构的思路，规范一次设备建模原则；规范二次设备的配置原则，以实现一、二次设备的模型关联。IEC61850Ed2.0 新增了 LCCH 逻辑节点，用于交换机建模。

在此基础上，可以构建完整描述智能变电站一次拓扑、一、二次关联模型，及涵盖二次系统联接关系的物理对象模型，如压板、过程层交换机、联接光缆等。可为“源端数据维护”奠定模型基础。

2.2 SCD 模型扩展一致性

鉴于现阶段工程 SCD 不足以描述智能变电站完整信息，因此，需要对于工程 SCD 模型进行必要的模型扩展。然而这种扩展方式不能改变二次虚端子/虚回路的联接特性。因此，全模型 SCD 扩展必须采用基于原工程 SCD，增加了涵盖 SSD 属性的补充模型，不改变已经通过工程试验验证的二次回路功能性部分。

鉴于 SCD 全模型推演是在工程 SCD 基础上，因此，所有的二次隔离环节(压板)以工程中应用的为依据。一次拓扑及一、二次关联、通信联接关系以 CAD、SCD 为依据。在建立完整 SCD 模型后，意味着二次系统所有的物理对象具备了模型特征。可以依据 SCD 所描述的模型关系，实现二次系统异常判断的智能化。实现“项目设计(CAD)、工程配置(SCD)、运行管理”一体化管理，为智能变电站

的运行提供可靠技术支撑。

2.3 SCD 模型映射完整性

实现工程 SCD 模型扩展后，需要解决的是如何采用图模映射技术，实现二次系统可视化展示。这里需要考虑两个层面的可视化，其一是物理联接光缆与光缆中所承载的报文模型对应关系；其二是 GOOSE 报文所涵盖的虚回路信息与保护系统二次功能回路的对应关系。这样，就可以在通信链路与物理维护对象，“数据包”与功能回路的对应关系，及隔离点“压板”与虚回路的对应关系。

3 基于全模型 SCD 工程应用实例

3.1 国调 80 号文及相关标准要求

针对现阶段智能变电站二次系统管理存在的问题，国调中心下达了调继[2014]80 号文，“继电保护设备在线监视与分析提升方案”，明确了智能变电站必须部署用于在线监测保护系统运行状态的装置，参见图 5。

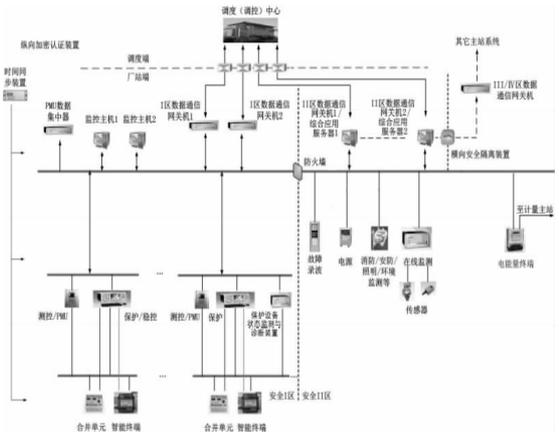


图 5 保护状态监测示意图
Fig. 5 Relay monitoring system

为便于智能变电站二次系统的运行维护，浙江省电力公司自 2013 年起牵头组织编写了《智能变电站二次设备在线监视和智能诊断技术规范》，该规范提出了继电保护 SCD 模型的概念。在此基础上，继电保护标委会启动了《智能变电站二次设备在线监视和智能诊断技术导则》行业标准的编写。

根据国调 80 号文及《智能变电站二次设备在线监视和智能诊断技术规范》的要求，需要在智能变电站部署在线监测设备，通过实时报文(SV、GOOSE、MMS)的获取，实现智能变电站二次系统的在线监测与智能诊断。

3.2 高邮变工程实施方案

江苏 500 kV 高邮智能变电站按一址两站建设，500 kV 部分采用户外 HGIS, 3/2 断路器接线, 220 kV

部分采用户外 GIS, 双母线双分段接线。变电站有扬州侧 220 kV 小室, 泰州侧 220 kV 小室, 500 kV 小室及通信控制楼。因此, 分别在四个小室按照 A、B 网段部署“在线监测与智能诊断装置”RSS-501,

分别接入 GOOSE 网和 MMS 网。通信楼部署“在线监测与智能诊断装置”的管理单元, 汇集三个小室的信息。采用远程通信技术, 实现在任一部署点均可看到整站信息, 方案部署图参见图 6。

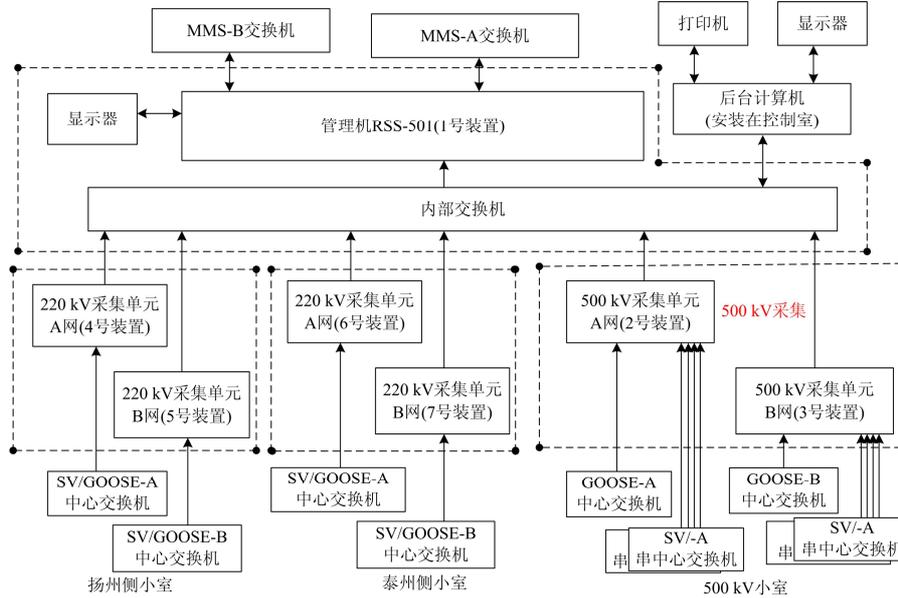


图 6 在线监测装置现场部署示意图

Fig. 6 Relay monitoring system application scheme

3.3 可视化在线监测

由于高邮变采用了常规互感器, 因此, 在 SCD 应用模型中补充了常规互感器二次模型。建立高邮变全模型 SCD 后, 鉴于交流变电站基于间隔建设、检修、运行的特征。采用图模映射技术, 实现间隔一、二次设备, 二次设备之间物理联接关系的可视化, 参见图 7。这样做的意义在于间隔内任何物理联接关系均可以采用模型映射, 使得智能变电站二次系统组网关系基于间隔展示、分析。

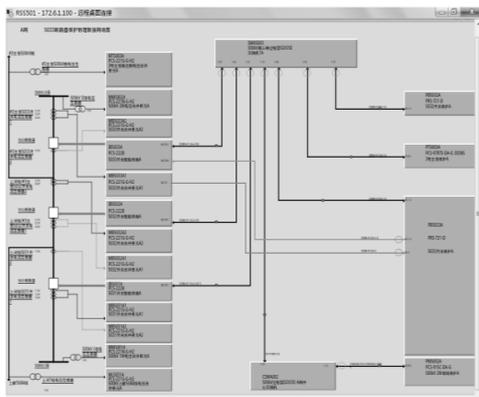


图 7 间隔物理联接可视化

Fig. 7 Physical connection in a bay

保护二次系统原理图可视化方式是项目研究

的重点, 需要突出保护功能配置、检修隔离点(如 IED 功能投退压板、输入/输出压板、及装置检修压板)等。因此, 项目研究重点实现了不同压板的建模, 如输入/输出软压板, 功能投退软压板, 检修压板, 跳合闸硬压板等。由此, 还原了保护二次系统原理图特征, 具备了实现检修维护隔离点压板可视化的基础, 参见图 8。

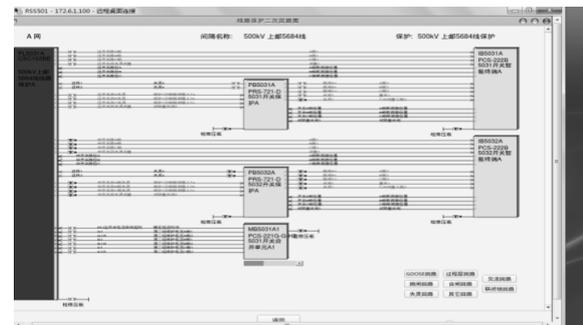


图 8 保护二次原理图可视化

Fig. 8 Visualization of relay secondary circuit

4 信息安全机制设计

在站控层“保护在线监测装置”需要作为客户端对线路保护、主变保护和母线保护进行基于 IEC61850 的 TCP/IP 通信连接, 订阅上述保护中的压板状态报告, 用以收集各个保护压板实时状态。

4.1 防对压板状态的写入和篡改

“保护在线监测装置”订阅压板状态使用了 IEC61850 中对压板报告控制块的登记功能, 而该压板报告控制块的唯一作用就是用于被客户端读取压板状态(stVal)的, 换句话说这是只允许读取的报告, 对该报告控制块内的数据路径进行写入都会被拒绝。“保护在线监测装置”没有任何相对应的写入路径数据, 也没有实现遥控修改压板所需要的“先选择后操作(SBO)”的程序模块, 因此, 可以完全排除“保护在线监测装置”设计缺陷导致保护压板异常的可能。

4.2 防误遥控跳合闸操作

“保护在线监测装置”不与测控装置进行 IEC61850 数据通信, 如果要进行遥控就要经过与测控装置 TCP/IP 和 MMS 通信建立, 对正确的遥控地址进行“先选择后操作(SBO)”并发送正确的遥控参数。“保护在线监测装置”在应用中不配置实现这些功能所必要的通信参数、遥控地址数据和功能模块, 因此, 可以避免出现对测控装置的遥控跳合闸进行遥控操作的可能。

4.3 防乱发随机报文扰乱网络正常通信

“保护在线监测装置”使用嵌入式 Linux 系统, 仅监测软件在其上运行, 可以避免中毒现象, 也不存在异常乱发报文, 这点可以通过网络分析仪监视其网络通信数据得到验证。

“保护在线监测装置”在站控层仅作为只读的客户端与被监测的保护建立只读压板状态的订阅关系, 及时监测压板位置的变化, 不会对站控层通信产生任何扰乱和异常的操作影响。

5 主要技术特征

5.1 物理联接与链路的映射

智能变电站用光缆替代电缆, 一个光缆包含了以通信链路联接为特征的二次回路关联关系, 并以 GOOSE 报文方式体现。因此, 对于光缆所承载的报文需要建立模型对应关系, 及光缆所承载的报文, 及报文所对应的光缆。因此, 在光缆可视化设计方案中采用了“链路映射技术”, 在物理联接画面上选择任意光缆, 可以展示该光缆所包含的所有联接链路信息(图 9)。

5.2 链路与功能回路的映射

智能变电站以 GOOSE 报文的发送接收对应于常规综自系统的二次硬接线, 或者说 GOOSE 包含了虚回路信息。项目研究实现了 GOOSE 链路与功能回路映射的可视化(图 10)。

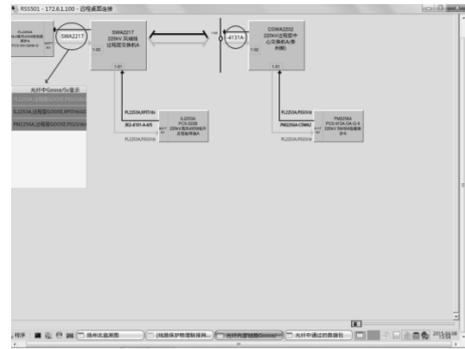


图 9 光纤链路可视化
Fig. 9 Optical fiber visualization



图 10 GOOSE 链路可视化
Fig. 10 GOOSE visualization

5.3 基于模型的智能诊断

在建立全模型 SCD 后, 整个二次系统具备了基于模型的对象管理基础, 因此, 构建了二次系统智能诊断的模型基础。实现对于装置及联接环节异常的准确判断。如对于装置进行告警信号的配置, 在变电站运行过程中出现装置异常现象, 可展示异常告警画面(图 11)。对于光纤联接(包含: 智能设备、交换机及其包含的物理端口及物理连接)的异常判别。可准确定位具体光纤、端口, 在间隔物理联接图上给出告警提示(图 12)。



图 11 高邮 5684 线保护装置告警示意图
Fig. 11 Gaoyou 5684 line protection alarming

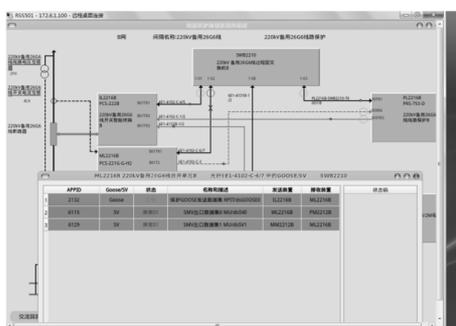


图 12 高邮线路间隔光纤中断告警示意图

Fig. 12 Gaoyou line bay fiber disconnected alarm

6 结论

本文分析了现阶段 SCD 应用存在的问题,研究了高邮智能变电站 SCD 文件特征,结合高邮变工程实现了 80 号文下达后国内第一个对 500 kV 全站的全模型 SCD 在线监测应用。在可视化实现技术上基于业务的功能回路,摒弃了以往基于链路的可视化展示的弱点,实现 SV、GOOSE 报文与二次系统功能回路的映射,使得运维人员无需关注 IEC61850 特征,仍然可以以常规综自的方式,实现智能变电站二次系统的运维管理。

在建立全模型 SCD 后,整个智能变电站二次系统具备了基于模型的对象管理基础,实现二次系统智能诊断将具备信息源的基础。可依据在线获取的保护系统信息,即合并智能终端、保护装置及二次回路状态,结合一、二次设备的关联关系,对于二次系统的异常状态进行智能判断,为运行检修提供决策依据。

参考文献

- [1] 张沛超,高翔. 智能变电站[J]. 电气技术: 智能电网技术及装备专刊, 2010(8): 4-10.
ZHANG Peichao, GAO Xiang. Smart substation[J]. Electrical Technology: Special Issue for Smart Grid Technology and Equipment, 2010(8): 4-10.
- [2] 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.
- [3] 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.

- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 高翔. 智能变电站应用技术探讨[J]. 供用电, 2014(2): 54-59.
GAO Xiang. Application technology of smart substation[J]. Distribution & Utilization, 2014(2): 54-59.
- [7] 王松,宣晓华,陆承宇. 智能变电站配置文件版本管理方法[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(17): 1-4.
WANG Song, XUAN Xiaohua, LU Chengyu. Version management method of smart substation configuration file[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(17): 1-4.
- [8] 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.
- [9] 张沛超,姜健宁,杨漪俊,等. 智能变电站配置信息的全生命周期管理[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(10): 85-89.
ZHANG Peichao, JIANG Jianning, YANG Yijun, et al. Life-cycle management of smart substation configuration information[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(10): 85-89.

收稿日期: 2015-08-11; 修回日期: 2015-09-30

作者简介:

曹海欧(1979-),男,硕士,高级工程师,研究方向为继电保护及变电站自动化系统;

高翔(1962-),男,通信作者,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

杨毅(1983-),男,博士,工程师,研究方向为智能变电站二次系统及信息安全、电力系统继电保护试验。

(编辑 姜新丽)