

智能变电站虚拟二次回路监视方案设计及应用

张巧霞¹, 贾华伟¹, 叶海明², 肖亮¹, 李江林¹, 张庭¹, 张道农³

(1. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 国网浙江省电力公司检修分公司, 浙江 杭州 311232;
3. 华北电力设计院工程有限公司, 北京 100120)

摘要: 针对智能变电站硬电缆回路被虚拟二次回路代替造成的信息不透明问题, 提出了一种可视化的虚拟二次回路监视方案。该方案由过程层及间隔层设备判断虚拟二次回路异常并产生异常信号, 利用一体化监控系统的数据传输通道, 将虚拟二次回路异常信号以遥信的形式传输到站控层, 站控层解析收到的异常信号并展示。在研究 IEC 61850 的短地址模型的基础上, 利用短地址实现了站控层的遥信数据点与过程层及间隔层的虚拟二次回路异常信号之间的映射关系。根据现场使用情况, 该方案解决了虚拟二次回路状态监视手段缺乏的问题, 方便了问题的查找和定位, 对运维人员来说是非常有用的。

关键词: 一体化监控系统; 虚拟二次回路; 虚拟二次回路监视; 短地址; SCD

Design and application of virtual secondary circuit monitoring in smart substation

ZHANG Qiaoxia¹, JIA Huawei¹, YE Haiming², XIAO Liang¹, LI Jianglin¹, ZHANG Ting¹, ZHANG Daonong³

(1. XJ Electric Co., Ltd., Xuchang 461000, China; 2. Maintenance Branch, Zhejiang Electric Power Corporation, Hangzhou 311232, China; 3. North China Power Engineering Co., Ltd., Beijing 100120, China)

Abstract: Aiming at the information opaque problem that caused by hard cable loops are replaced by virtual secondary circuit in smart substation, a solution of visualized circuit monitoring is proposed, which uses the IEDs in process layer and bay layer to determine whether a virtual secondary circuit is abnormal and generating abnormal signals, then the signals are sent to station layer by data transmission channel of the integrated supervision and control systems in the form of telesignalling, finally, the abnormal signals are received and analyzed and displayed by the station layer. Based on the research of IEC61850's short address model, it establishes the mapping between telesignalling in station layer and virtual secondary circuit abnormal signals in process layer and the bay layer by short address. According to the usage in smart substation, the solution is very helpful to operation and maintenance personnel, it solves the lack of means for monitoring on virtual secondary circuit state, and is convenient to find and locate the problem.

Key words: integrated supervision and control systems; virtual secondary circuit; virtual secondary circuit monitoring; short address; SCD

中图分类号: TM764 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2015)10-0123-06

0 引言

智能变电站中通信网络取代了常规的二次回路, 数字信号取代了物理上的电气信号^[1], 实现了少量光纤代替传统变电站的大量电缆, 把设备的功能从硬件回路中解脱出来。同时, 由于保护装置无端子, 无连线, 所有信息都隐没在光纤中^[2], 也给运维带来了不便。先进的智能变电站技术加上相应的运维技术支撑才能真正体现智能变电站相比传统变电站的进步。为此, 业界提出了虚端子和虚拟二

次回路的概念, 并对它们做了大量的研究, 文中简称虚拟二次回路为虚回路。

文献[1]采用图形化设计的虚回路设计展示设备之间的信息传递, 提供了智能变电站二次系统设计的可视化手段; 文献[2]则首先在国内提出了GOOSE虚端子的概念和初步应用场景, 从组态角度考虑了虚端子配置流程; 文献[3]首先提出了虚回路体系, 提供了一个基于网路多播管理的自动配置和设计方案。这些研究都侧重于如何定义、设计、配置虚回路, 未对虚回路的监视和管理做更深一步

的研究和讨论。在实际的运行中，虚回路监视能够帮助运维人员及时、准确地掌握保护系统的运行状况，出现问题时，方便问题的查找和定位，降低检修人员的劳动强度^[4]。

1 虚回路监视内容分析

《智能变电站一体化监控系统功能规范》中规定：二次设备运行状态信息范围和来源应该包含装置 SV/GOOSE/MMS 链路异常告警信号。并没有详细规定监视哪些内容。对于现场运行来说，虚回路上从数据起点到最终的监视画面，每个环节都很重要。因此虚回路监视应该包括从数据发送装置到监视画面的各个环节。根据实际的运行经验，本文总结了虚回路监视内容如下：

1) 站控层数据的过程层来源

监视站控层数据来源于过程层的哪组 GOOSE 中的哪个数据点，当系统数据出现异常时，方便问题查找。在配置阶段可以将过程层点的描述传递到站控层点，这样可以保持两者的描述一致，且不用重复配置。

2) GOOSE 虚回路异常

GOOSE 虚回路异常包括 GOOSE 断链异常和配置不一致异常^[5]。GOOSE 断链异常，包括间隔层装置的 GOOSE 断链异常和过程层装置的 GOOSE 断链异常。GOOSE 配置不一致是指收发双方的配置版本、数据集数目等不一致、收发报文中数据类型不匹配等异常。

3) SV 虚回路异常

SV 虚回路异常包括 SV 断链、配置不一致、SV 不同步、SV 延时越限^[6]。SV 不同步，是指 SV 信号源装置的时间与主时钟失去同步。SV 延时越限，是指在组网形式下，装置收到的 SV 延时越限值超出了延时越限配置的限制值。

4) 虚回路上的软压板

智能变电站安全措施由智能终端跳合闸出口压板、检修压板、GOOSE 发送/接收软压板等多种安措技术组合而成，其特点是安措种类多、空间分布广、不直接可观^[7]。接收压板投入时，所关联通道上送的数据将不再被处理；出口软压板投入时，所关联通道上的数据才能发送出去。因此，软压板也属于虚回路的一部分，也应对其状态进行监视。

2 虚拟回路监视实现方案

虚回路监视过程其实就是异常信号生成、异常信号传递、异常信号解析、最后通过画面展示过的

程^[8-10]。智能变电站一体化监控系统实现了数据从过程层传递到间隔层再到站控层的数据通道，而且，过程层装置和间隔层装置具备判断虚回路异常的功能，因此可以基于一体化监控系统实现虚回路监视。

2.1 方案整体架构

基于一体化监控系统的实现方案整体框架如图 1 所示。虚回路异常信号由接收装置产生，过程层装置通过 GOOSE 信号把异常告警传输给间隔层测控装置，测控装置将过程层的虚回路异常信号及自身的虚回路异常信号以遥信的形式传送到站控层。站控层监控系统根据配置文件解析这些信号并以可视化的方式展示给用户。

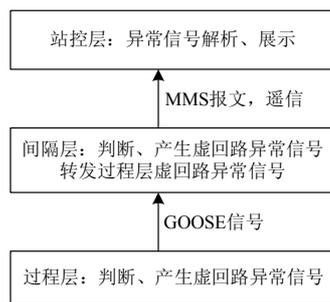


图 1 基于一体化监控系统的实现方案整体框架

Fig. 1 Framework of solution based on integrated supervision and control systems

该方案利用一体化监控系统从过程层到站控层的数据传输通道，不需要在间隔层增加额外的设备，也不用从站控层直接连到过程层交换机上获取报文，避免了破坏现有三层两网结构。

2.2 实现方案需要解决的问题

为了实现在第 1 章节中叙述的虚回路监视的内容，在配置阶段需要实现解决以下问题：

- 1)建立站控层数据点与过程层数据源的映射关系；
- 2)建立站控层的遥信点与过程层及间隔层虚回路异常告警信号的映射关系。对站控层来说这些虚回路异常信号与刀闸位置信号等其他遥信没有什么区别。站控层程序必须能够区分出哪些是虚回路异常信号，并解析这些信号，根据这些信号找到报警源信息。
- 3)建立虚回路与虚回路上的接收软压板及发送软压板的映射关系。

2.3 解决方案

2.3.1 增加配置文件的解决方案

要解决 2.2 节中提出的站问题，一个办法是通过增加配置文件，实现过程如图 2 所示。先在各设备的 ICD 文件中配置虚回路异常信号点，然后通过 ICD 文件生成全站 SCD 文件，在 SCD 文件中配置虚回路连接，然后再从 SCD 文件中将有映射关系的

点一一挑选出来, 生成配置文件, 最终站控层展示程序通过 SCD 文件加配置文件解析异常信号。该方法配置工作量很大, 且容易出错。



图2 增加配置文件方案

Fig. 2 Solution of increasing configuration file

观察 SCD 文件可知, 虚回路连接信息, 间隔层设备数据模型、过程层设备数据模型等所有信息都在 SCD 文件中^[11]。那么, 只要在 SCD 文件中通过某种方式建立起有映射关系的两个点的联系即可。

2.3.2 基于短地址的解决方案

短地址 sAddr 是 IEC 61850 标准中定义的一个模型字段, IEC 61850 标准中描述短地址:

sAddr 属性用于分配短地址给 DO 属性。短地址可用在通信中, 使通信更为有效或者使客户端或者服务器侧处理报文更为有效^[12]。

sAddr 的值可以事先约定, 用于存放 IED 厂商的私有信息是合法的, 并不影响互操作性。通过短地址完全能够建立起 SCD 文件中两个数据点之间的映射关系。

短地址方案需要考虑目前各厂家中已经对短地址的定义不同、用途不同的情况, 因此短地址方案要兼容已有的功能。短地址方案描述如下:

1) 保留已有的短地址内容, 在 sAddr 中增加数据关联字段, 不影响原来的内容, 规定关联字段以“::connection:”开头。短地址格式为

“::connection:关联字段 1;关联字段 2;...”, 关联字段可以有多个。

2) 为了实现多种数据映射, 将短地址分为 DATA、LNK、RYB 三类, DATA 表示站控层与过程层数据关联; LNK 表示虚回路异常信号关联; RYB 标识虚回路与软压板的关联。

3) 因为每个厂家内部的数据模型不同, 内部数据分类及数据标识都不同, 因此不规定具体的关联字段的具体形式, 只约定 sAddr 字段相同的两个数据为关联数据。

4) sAddr 的关联字段在生成 ICD 文件时, 通过装置的内部模型及装置的 IEC 61850 模型自动生成, 然后再利用配置工具形成 SCD 文件, 最后导出 CID 文件, CID 文件下装到装置, 后期不需要配置。

2.3.2.1 站控层与过程层数据映射实现

通过短地址方案, 站控层数据点的过程层来源映射关系实现过程如图 3 所示。

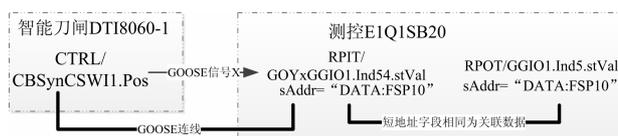


图3 站控层数据点与过程层数据映射实现过程

Fig. 3 Process of establishing mapping between data in station layer and data in process layer

对于许继的装置来说, 关联字段=数据类型+数据标识, 例如 FSP10, 表示第 10 个单点遥信。每个厂家内部的数据模型不同, 因此这里不规定具体的数据标识, 只约定数据标识部分相同的两个数据为关联数据。各个厂家按照自己的数据模型生成关联字段即可。

2.3.2.2 间隔层虚回路异常信号上送实现

以 GOOSE 断链信号上送过程为例, SV 断链上送过程相同。间隔层虚回路异常信号上送实现过程如图 4 所示。

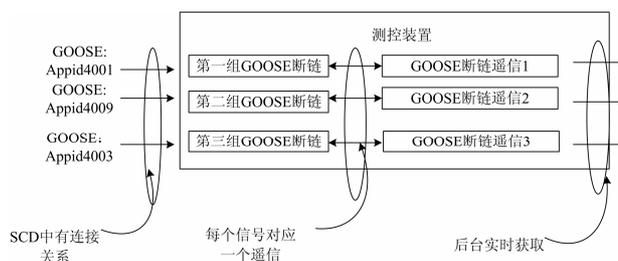


图4 间隔层虚回路异常信号上送过程

Fig. 4 Process of sending abnormal signal in bay layer

站控层链路异常遥信点短地址配置规则为:

LNK+链路类型+告警类型+GOOSE 组序号。LNK 标识了是链路异常信号告警; 链路类型约定 01 为过程层 GOOSE, 02 为间隔层 GOOSE, 03 为间隔层 SV; 告警类型约定 01 为 GOOSE 断链告警类型, 02 为 GOOSE 配置不一致告警; 组号按照 APPID 从小到大排序, 第一组为 1, 依次增加。

GOOSE 链路告警按顺序固化, 短地址内标示出第一组、第二组、第三组等, 例如图中“GOOSE 断链告警遥信 1”配置的短地址为“LNK01001”, “GOOSE 断链告警遥信 2”配置的短地址为“LNK01002”; 监控系统收到“GOOSE 断链告警

遥信 1”时,解析其短地址字段,得到其组序号为 1,然后搜索 SCD 内本装置所有 GOOSE 连线信息,按照 APPID 进行排序,按从小到大顺序,APPID 最小的即对应到第一组断链。GOOSE 配置不一致、SV 断链告警、SV 不同步等其他的虚回路异常告警信号的上送实现方式也一样。

2.3.2.3 过程层虚回路异常信号上送实现

过程层虚回路异常信号上送实现过程如图 5 所示。

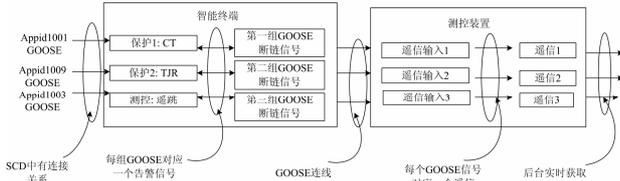


图 5 过程层虚回路异常信号上送过程

Fig. 5 Process of sending abnormal signal in process layer

过程层设备短地址配置规则与间隔层装置一样,GOOSE 链路告警按顺序固化,短地址内标示出第一组、第二组、第三组,例如:第一组 GOOSE 断链信号的短地址配置为 LNK0101001。

过程层链路异常信号上送过程如下:

第一步,通过前述的站控层数据来源映射实现过程,找到遥信 1 对应的过程层源信号 GOOSE 链路告警信号 1;第二步,解析第一组 GOOSE 断链告警信号 1 的短地址,区分出该信号时过程层 GOOSE 断链告警;第三步:从短地址中解析出 GOOSE 组号,搜索该过程层装置内所有连线信息,按照 APPID 进行排序,从小到大顺序,APPID 最小的即对应到第一组断链,以此类推。过程层装置 GOOSE 配置不一致告警信号上送的实现方式也一样。

3 可视化展示

智能变电站利用 SCD 文件描述变电站自动化系统,SCD 包含的信息量非常大,文件大小一般可达 20~90 MB^[13-14]。虚回路相关的配置信息隐没在“浩瀚”的信息中,要想以人工阅读的方式从 SCD 文件中获取是非常困难的。因此可视化展示分为两个部分:

- 1) 配置信息:展示虚回路相关的配置信息。
- 2) 动态运行信息:实时监视虚回路连接状态,异常信号产生等运行信息。

3.1 虚回路配置信息展示

虚回路静态配置信息展示如图 6 所示,展示方案描述:

1)左侧为装置选择区,以树的形式列出全站所有装置,用户点击树节点选择装置,选中的装置为当前装置;

2)右侧为数据展示区,以当前所选择的装置为中心,左侧为该装置订阅的 GOOSE、SV 组,右侧为从该装置订阅的 GOOSE、SV 组;

3)点击某条连线时,在下面的表格中展示该 GOOSE、SV 组的所属装置、MAC 地址、APPID 及数据集中的数据列表等信息。

图 6 基于图元样式及数据模型自动生成,生成过程如下:

- 1)定义好装置图元、连接线图元、连接点图元样式;
- 2)解析 SCD 文件生成数据模型;
- 3)数据与图元关联,自动生成图形。

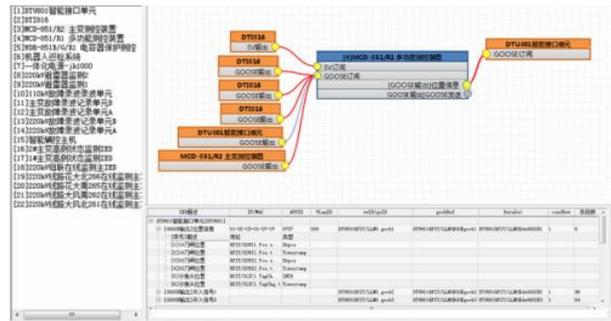


图 6 虚回路配置信息展示

Fig. 6 Virtual circuit configuration information display

3.2 虚回路运行监视

二次回路动态可视化时,不同厂家缺乏实现统一性^[15]。本方案采用分层展示的方法,按照电压等级—间隔—装置—回路四级展示虚回路。

第一层展示电压等级间的虚回路,不同电压等级之间存在 GOOSE、SV 连接情况时,画出连接示意图,虚回路中断时,该回路用特殊线形标示。电压等级间的虚回路连接展示如图 7 所示。

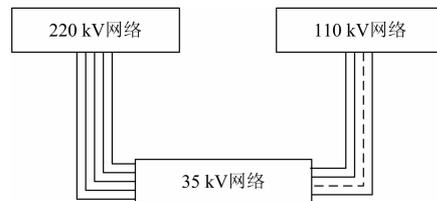


图 7 电压等级间虚回路展示

Fig. 7 Virtual circuit between different voltage level display

第二层以间隔为单位,在第一层画面中点击某个电压等级,显示该电压等级下各间隔之间的虚回路连接。在第二层图中点击某个间隔时进入第三层

画面,以装置为单位展示此间隔内的 IED 之间的虚回路连接,左边为间隔层设备,右边为过程层设备。在第三层画面中点击某个 IED 设备时,进入第四层画面,以该设备为中心展示此设备所有的虚回路,第四层画面如图 8 所示。

在各层画面内动态展示:

1) 虚回路的连接状况,当某条链路中断时,在示意图中用特殊线形表示,并标示中断符号;

2) 当虚回路上的输入或者输出压板退出时,此虚回路为断开状态;

3) 当某个 IED 检修压板投入时,相关的虚回路

用特殊线形表示;

4) 第四层展示画面上在接收端实时展示收到的数据值。

展示画面由站控层系统自动生成,画面的生成依赖两个条件:一个是数据模型,一个是图形。系统读取全站 SCD 文件,建立起虚回路连接模型及数据映射模型。系统先定义好画面布局及设备、虚回路连线、SV 接收压板等画面元素的图形样式,然后将图元样式与数据模型结合起来,在适当的位置上绘制出各个图元,最终生成虚回路展示画面。

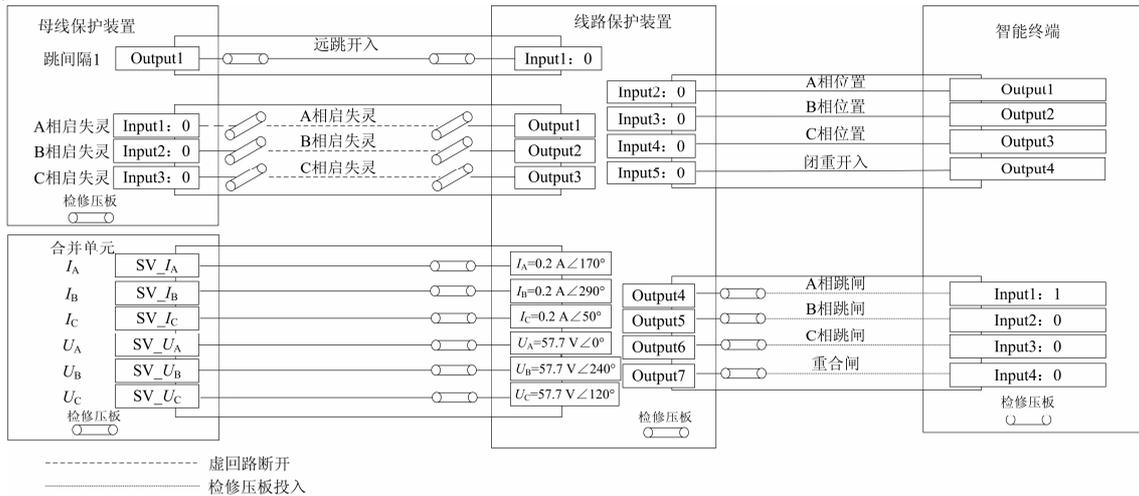


图 8 装置虚回路展示

Fig. 8 Virtual circuit of IED

4 总结

本文分析了智能变电站中对系统正常运行至关重要的虚回路监视内容,并基于一体化监控系统实现了对虚拟二次回路运行状态的全景数据监视,解决了智能变电站二次回路不可见,回路状态不可视的问题。在智能变电站推广建设过程中,取得了较好的实际应用效果。

参考文献

- [1] 修黎明, 高湛军, 黄德斌, 等. 智能变电站二次系统设计方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(22): 124-125.
XIU Liming, GAO Zhanjun, HUANG Debin, et al. Secondary system design method for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(22): 124-125.
- [2] 高亚栋, 朱炳铨, 李慧, 等. 数字化变电站的“虚端子”设计方法应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(5): 124-127.

GAO Yadong, ZHU Bingquan, LI Hui, et al. Application research on design method for “virtual terminal” of digital substation[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(5): 124-127.

- [3] 张晓虎, 罗隆福, 李勇, 等. 基于光纤以太网通信的大功率工业整流系统多点测量与能效分析[J]. 电工技术学报, 2014, 29(4): 111-112.

ZHANG Xiaohu, LUO Longfu, LI Yong, et al. Energy efficiency analysis and multi-point measurement of high power industrial rectifier system based on optic fiber Ethernet[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(4): 111-112.

- [4] 胡道徐, 沃建栋. 基于 IEC 61850 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 substations based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(17): 78-82.

- [5] 殷志良, 刘万顺, 杨奇逊, 等. 基于 IEC 61850 的通用变电站事件模型[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(19):

- 45-50.
YIN Zhiliang, LIU Wanshun, YANG Qixun, et al. Generic substation event model based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(19): 45-50.
- [6] 姜宪国, 王增平, 李琛, 等. 区域自治式后备保护分区方案[J]. 电工技术学报, 2013, 23(1): 235-236.
JIANG Xianguo, WANG Zengping, LI Chen, et al. Zoning scheme of regional autonomy backup protection[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 23(1): 235-236.
- [7] 刘彬, 林俊. 数字化变电站虚回路智能检测软件开发与应用[J]. 广西电力, 2011, 34(2): 5-7.
LIU Bin, LIN Jun. Development and application of intelligent software for virtual circuit test in digital substation[J]. Guangxi Electric Power, 2011, 34(2): 5-7.
- [8] 王增平, 张晋芳, 张亚刚. 基于主接线图形特征的厂站内拓扑分析新方法[J]. 电工技术学报, 2012, 27(2): 255-256.
WANG Zengping, ZHANG Jinfang, ZHANG Yagang. A novel graphic characteristic based method for topology analysis in substations and power plants[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(2): 255-256.
- [9] 李晶, 段斌, 周江龙, 等. 基于GMRP的变电站发布/订阅通信模型设计[J]. 电网技术, 2008, 32(16): 16-21.
LI Jing, DUAN Bin, ZHOU Jianglong, et al. Design of a publish/subscribe communication model based on GMRP for substation communication[J]. Power System Technology, 2008, 32(16): 16-21.
- [10] 张炳达, 姚浩, 张学博. 数字化变电站过程层通信故障发生装置[J]. 电力系统及其自动化学报, 2015, 27(1): 60-61.
ZHANG Bingda, YAO Hao, ZHANG Xuebo. Digital substation process layer communication fault generator[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2015, 27(1): 60-61.
- [11] 刘希峰, 韩振峰, 李颖. GOOSE报文与SCD文件间对应关系的应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(24): 96-98.
LIU Xifeng, HAN Zhenfeng, LI Ying. Application research of relationship between GOOSE message and SCD files[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(24): 96-98.
- [12] IEC 61850-6: 与变电站有关的 IED 的通信配置描述语言[S].
IEC 61850-6 configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs[S].
- [13] 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): 150-154.
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): 150-154.
- [14] 陈小鑫, 缪希仁. 数字变电站监控系统与通信技术[J]. 高压电器, 2013, 49(8): 68-69.
CHEN Xiaoxin, MIAO Xiren. Monitoring system and communication technology of digital substation[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(8): 68-69.
- [15] 刘蔚, 杜丽艳, 杨庆伟. 智能变电站虚回路可视化方案研究与应用[J]. 电网与清洁能源, 2014, 30(10): 32-33.
LIU Wei, DU Liyan, YANG Qingwei. Research and application of smart substation virtual circuit visualization[J]. Power System and Clean Energy, 2014, 30(10): 32-33.

收稿日期: 2014-08-08; 修回日期: 2014-08-22

作者简介:

张巧霞(1979-), 女, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为电力系统自动化产品研发; E-mail: zhangqiaoxia@xjgc.sgcc.com.cn

贾华伟(1980-), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为电力系统自动化产品研发;

叶海明(1964-) 男, 高级工程师, 从事电力系统自动化专业的运行、检修和专业管理工作。

(编辑 魏小丽)