

DOI: 10.7667/PSPC150550

基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术研究

伊 洋, 刘育权, 陈宇强, 王 莉, 江文东, 胡苏凯

(广州供电局有限公司, 广东 广州 510620)

摘要: 介绍了基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术。它是以 IEC61850 标准中的变电站自动化拓扑结构、功能层和逻辑接口、ACSI 模型的基本模型规范和信息交互模型规范、公用数据属性类型中的品质要求为基础, 结合 VLAN、Subnet 等网络技术的应用情况, 对智能变电站站控层、过程层网络状态、链路结构、网络接口位置及接口信息等进行系统组态、流程化管理, 以实现对站控层、过程层设备网络信息的实时、准确管理, 达到对智能变电站通信故障准确定位快速查找的目的。介绍的故障定位技术, 在 110 kV 智能变电站进行了测试应用, 测试结果表明达到了故障定位快速查找和有效评估网络故障可能带来的安全风险的目的。

关键词: 智能化变电站; 故障定位; 公用数据属性; 品质

Research of network communication fault location technique in smart substation based on comprehensive information judgment

YI Yang, LIU Yuquan, CHEN Yuqiang, WANG Li, JIANG Wendong, HU Sukai
(Guangzhou Power Supply Bureau Co., Ltd., Guangzhou 510620, China)

Abstract: This paper introduces the network communication fault location technique in smart substation based on comprehensive information judgment. This technique complies with the IEC61850 standard quality requirements of substation automation system topology, function layer, logical interface, basic model specification and information interaction model specification of ACSI model, and public data attribute type. According to the network technique applications, such as VLAN and Subnet, it can make real-time and precise configuration management and process management for network status, link architecture, network interface position and interface information on station level and process level of smart substation. In this case, it is possible to pinpoint and quickly find communication faults in smart substation. This technique has been tested in 110 kV smart substation. The test results indicate that, by using this technique, communication faults in smart substation can be pinpointed and quickly found and security risk can be assessed efficiently.

Key words: smart substation; fault location; public data attribute type; quality

0 引言

随着智能变电站^[1]的广泛使用, 变电站内的二次回路实现了“实时监控”^[2-3], 有效地提高了设备运行可靠性。但也带来新的问题: (1) 变电站内的网络结构越来越复杂, 由传统的站控层单一网络扩展为站控层、过程层二层网络; (2) 为提高网络性能、减少网络损耗, 对网络内的数据流量等进行了一些列限制, 在站控层网络、过程层网络中大量使用 VLAN 技术、Subnet 技术、组播技术; (3) 部分过程层中的智能设备(如智能终端、合并单元)没有直接接入站控层网络, 其 GOOSE/SV 链路状态的监视,

需要通过相关联的间隔层设备反映, 又造成了这部分设备的链路监视难于区分其自身通信故障, 还是其关联的间隔层设备通信故障导致其状态“监视无效”。

在 IEC61850 标准体系中, IEC61850-1 规范了变电站自动化系统接口模型^[4-5], IEC61850-5 规范了变电站自动化系统功能层和逻辑接口^[6-7], IEC61850-7-1 列举了变电站自动化拓扑例子^[8], IEC61850-7-2 ACSI 模型提供的基本模型规范和信息交换模型规范^[9], IEC61850-7-3 中公用数据属性类型提出了明确的品质(Quality)要求^[10]。这些规范, 只对变电站自动化系统的网络结构和数据的表达方式^[11]提出了明确的要求, 没有对变电站控层、过程

层网络状态监视的实现方法、监视程度提出明确的要求,也就造成了目前网络状态监视的实现方法各不相同,监视程度参差不齐。

基于信息综合判断的智能变电站通信故障定位技术,以 IEC61850 标准体系中的变电站网络结构、模型规范为基础,结合公用数据属性的品质要求,考虑 VLAN\Subnet 的技术的应用情况,对智能变电站各层网络状态、链路结构^[12-14]、网络接口位置及接口信息进行系统组态、流程化管理,实现了的智能对变电站各层网络的网络状态的实时监控,以达到对智能变电站网络通信故障的准确定位快速查找的目的,同时也为网络故障导致的安全风险评估^[15-18]提供依据。

1 基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术原理

基于信息综合判断的智能变电站通信故障定位技术的原理,概括的讲主要是以下几个方面:(1)变电站功能层及逻辑接口模型与变电站拓扑结构相结合为网络故障定位技术提供了链路路径;(2)IED 的信息模型及信息交互服务模型与变电站监控系统的功能相结合^[19-20]为网络故障定位技术提供了网络状态监视功能;(3)以变电站公用数据属性类型里的品质要求为基础,对网络状态监视提出具体要求;(4)结合 VLAN\Subnet 等网络技术的应用情况,进行网络组态、流程化管理,以实现网络状态、网络路径的实时监控,从而达到网络故障定位、快速查找故障的目的。

1.1 基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术的链路路径

基于信息综合判断的智能变电站通信故障定位技术,以 IEC61850 标准体系^[21]中的变电站拓扑结构和功能层及逻辑接口模型为网络状态监视提供链路监视路径。变电站的网络拓扑结构如图 1 所示。变电站功能层及逻辑接口模型如图 2 所示。

从图 1、图 2 中可以看出站控层、间隔层(单元层)、过程层设备的位置和相对结构,为网络状态监视路径提供了监视路径。电站自网络拓扑结构,明确了在智能电子设备(IED)中实现许多功能。图 2 中的各种 IED,允许几种功能在一个 IED 中实现,或一个功能在一个 IED 中实现,其他功能在另外的 IED 中实现。IED(例如常驻在 IED 的功能)采用信息交换机制和其他 IED 的功能通信,因此功能也可分布在多个 IED 中实现。于是,变电站拓扑结构和功能层及逻辑接口模型,为网络状态监视功能实现提供了监视路径。

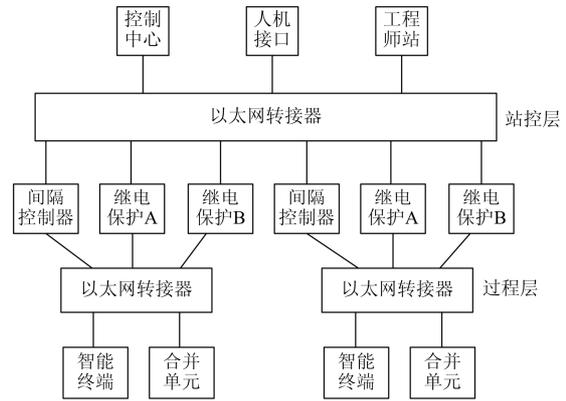


图 1 变电站网络拓扑图

Fig. 1 Topology of substation network

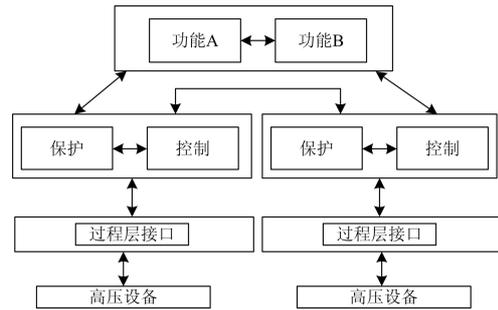


图 2 变电站功能层及逻辑接口模型

Fig. 2 Substation function layer and logical interface model

1.2 基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术的网络状态监视功能

IEC61850 标准中,采用 ACSI 模型提供的基本模型^[22-26]规范和信息交换模型规范,如图 3 所示。

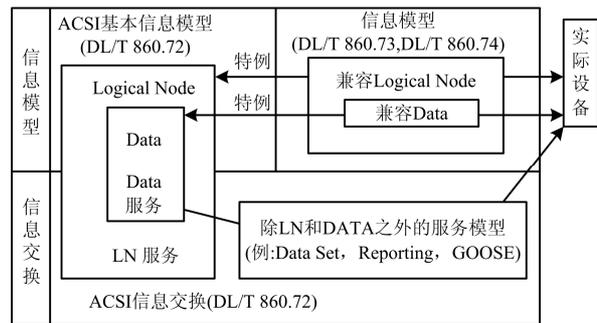


图 3 信息模型和信息交换

Fig. 3 Information model and information interaction

图 3 中明确了信息模型和信息交换规范,为智能变电站网络通信故障定位技术,提供了网络通信状态监视功能。

1.3 基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术品质要求

IEC61850 标准中,公用数据属性类型提出了

明确的品质要求,为通信状态的检测、判断提供了品质要求依据,也为通信状态的监视提供了监视要求,具体如表1所示。

表1 变电站监控系统过程层通信状态监视图

Table 1 Communication status monitoring graph on process level of substation monitoring system

属性名	属性类型	值/值域	M/O/C
	PACKED LIST		
validity	CODED ENUM	good invalid reserved questionable	M
detailQual	PACKED LIST		M
overflow	BOOLEAN		M
outOfRange	BOOLEAN		M
badReferencd	BOOLEAN		M
oscillator	BOOLEAN		M
failure	BOOLEAN		M
oldData	BOOLEAN		M
inconsistent	BOOLEAN		M
inaccurate	BOOLEAN		M
source	CODED ENUM		M
test	BOOLEAN		M
operatorBlocked	BOOLEAN		M

1.4 基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术的网络接口位置组态

由于 VLAN\Subnet 的技术的应用,在进行通信故障定位时,需要对智能变电站各层网络的网络接口位置、接口信息进行管理,为网络故障位置的查找提供依据,以过程层交换接口为例,列举网络接口、接口信息的管理情况,如表2所示。

表2 过程层交换网络接口位置及接口信息

Table 2 Exchange network interface position and interface information on process level

光口号	2	4	6	8	10	12	14	16	18
接线设备	1#变高智能终端A	1#变本体智能终端A	1#变低IB合并单元A	1#变接地变A	未用	未用	未用	未用	未用
VLAN	1001	1001	2004	1001	未用	未用	未用	未用	未用
光口号	1	3	5	7	9	11	13	15	17
接线设备	1#变高合并单元A	1#变本体合并单元A	1#变低IA合并单元A	1#变保护A	未用	未用	未用	未用	未用
VLAN	2001	2002	2003	1001	未用	未用	未用	未用	未用

1.5 基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障判断依据

智能变电站过程层的网络通信是基于发布、订阅的,是根据订阅数据的时间间隔或帧序号判断的。一个数据源可以发布到所接交换机连接的所有需要的地方,两台装置存在一个或多个发布订阅互不影响,因为是每一个订阅都是分别独立判断的。智能变电站过程层网络通信故障判断,主要涉及 GOOSE

通信中断和 SV 通信中断判断。

GOOSE 通信 GOOSE 采用连续多次传送的方式实现可靠传输,如图4所示,其中 $T1=2\text{ ms}$, $T2=4\text{ ms}$, $T3=8\text{ ms}$, $T0=5\text{ s}$ 。一般取 N 倍的允许生存时间(TAL)作为 GOOS 断链的判断条件,即 $N T0$ 。允许生存时间取 $T0$ 时间 n 倍,即 5 ns 。例如,如取 $N=2$ 即两倍的允许生存时间为 GOOSE 断链判据,取 $n=2$ 即允许生存时间为 2 倍的 $T0$,此时接收方判断装置 GOOSE 断链时间为 $N n T0=20\text{ s}$ 。其中 N 、 n 为参数,可根据网络情况设定。

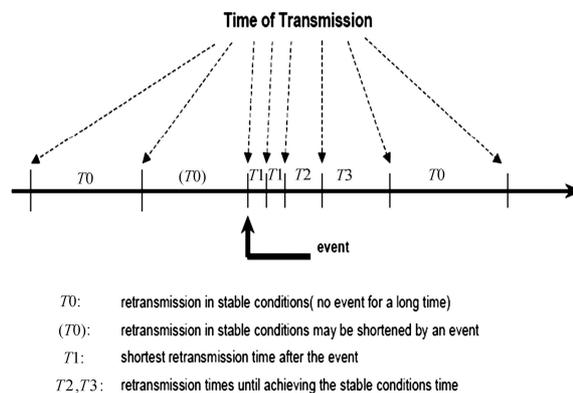


图4 GOOSE 发送机制

Fig. 4 Transmission mechanism of GOOSE

SV 通信中断判断的依据分为两种情况:(1)智能装置连续 T_s (一般取 $T_s=10\text{ ms}$, T_s 可设置)时间没有收到 SV 报文则报断链;(2)根据 SV 报文的序列号判断,中间少 m (m 可设置,一般取 $m=1$)帧判为丢点,少 M 帧(M 可设置,一般取 $M=3$)以上为中断。

2 基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术的建模举例

基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术的建模过程,分为3部分内容:(1)针对 IED 的 CID 文件的网络监视功能进行建模;(2)变电站监控系统的网络监视功能建模;(3)网络接入位置、网络接口信息的组态建模。

2.1 IED 的 CID 文件的网络监视功能进行建模

根据信息模型和信息交互模型规范,在 IED 装置的 ICD 配置文件中增加对通信链路状态监视的功能,然后对 ICD 文件实例化,得到 IED 装置的 CID 文件,实例化的建模过程如下所述。

2.1.1 IED 的 CID 文件的数据集和 dU 建模举例

IED 装置的 CID 文件中,数据集建模过程如下,列举了数据集和 DU 的模型描述。

```
<DataSet desc="遥信" name="dsDin">
```

```
<FCDA ldInst="CTRL" prefix="RPIT" lnInst="4"
```

```

lnClass="GGIO" doName="Ind1" fc="ST"></FCDA>
<FCDA IdInst="CTRL" prefix="RPIT" lnInst="4"
lnClass="GGIO" doName="Ind2" fc="ST"></FCDA>
</DataSet>
<DOI name="Ind1" desc="#1 变保护 GOOSE 中断">
<DAI name="dU">
<Val>#1 变保护 GOOSE 中断</Val>
</DAI>
</DOI>
2.1.2 IED 的 CID 文件的公用数据属性品质建模
<DOType id="CN_SPS" cdc="SPS" desc="单点状态">
<DA name="stVal" bType="BOOLEAN" dchg="true"
fc="ST"></DA>
<DA name="q" bType="Quality" qchg="true" fc="ST"></DA>
<DA name="t" bType="Timestamp" fc="ST"></DA>
<DA name="subEna" bType="BOOLEAN" fc="SV"></DA>
<DA name="subVal" bType="BOOLEAN" fc="SV"></DA>
<DA name="subQ" bType="Quality" fc="SV"></DA>
<DA name="subID" bType="VisString64" fc="SV"></DA>
<DA name="dU" bType="Unicode255" fc="DC"></DA>
    
```

2.2 变电站监控系统网络监视功能建模

变电站监控系统网络监视功能上的建模包括网络状态名称、信号 Ref、品质、值等内容的定义，具体如图 5 实例所示。其中网络状态的名称取自 CID 文件中“desc=#1 变保护 GOOSE 中断”，规约定值即为信号的 Ref，质量即为信号的品质，值为信号的实际值。表 3 中列举了品质图形配色方案，根据不同品质，网络状态显示不同颜色图形，以区分网络状态的实际情况。

图 5 变电站监控系统网络监视功能建模实例图

Fig. 5 Network monitoring model graph of substation monitoring system

表 3 品质图形方案

Table 3 Quality graphics solution

品质类型	inaccurate	faliure	oldData	test
图形方案	灰色圆形	红色XX形	XX色XX形	XX色XX形

2.3 网络接入位置、网络接口信息的组态建模

网络接入位置、网口信息的组态建模，根据表 2 的统计结果，关联数据库里的网络状态监视信号、

网口信息等内容，绘制实时显示的监视画面，实例如图 6 所示。实例中列举的是母差保护相关联的过程层网络状态、网口信息组态监视图。从图中各网口的网络状态，均取自实时数据库，可实时监视网网络状态，同时网络的接口位置，均按实际接入位置填写，于是满足了网络状态、接入位置信息的监视需求。实例图 7 所示，列举了过程层链路链接关系，图中的网络状态监视点，均取自实时数据库，可实时监视网络状态，同时根据链路链接的接收端、发送端信息，可以看出通信状态所影响的链路，能够有效地评估链路中断后，对虚端子回路的影响。

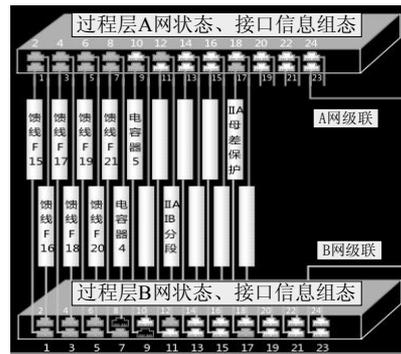


图 6 过程层网络状态、接口信息组态监视建模实例图

Fig. 6 Configuration monitoring model of network status and interface information on process level

接收端	#1主变保护A套	#1主变测控A套	#1主变变高合并单元A套	#1主变变高智能终端A套	#1主变变低合并单元A套	#1主变变低智能终端A套
#1主变保护A套		—		●		●
#1主变测控A套	—		●	●	●	●
#1主变变高合并单元A套	●	●		—	—	—
#1主变变高智能终端A套	●	●			—	—
#1主变变低合并单元A套	●	●				—
#1主变变低智能终端A套	●	●				

图 7 变电站监控系统过程层通信状态监视图

Fig. 7 Communication status monitoring graph on process level of substation monitoring system

3 基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术的实现流程

智能变电站内的网络结构分为站控层网络、过程层网络，基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术的原理、建模过程，对于过程层、站控层网络是一致的，但由于过程层网络涉及到虚端子联络的问题，所以在流程上略有不同，下文分别进行列举，基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术在站控层、过程层网络的实现流程。

3.1 基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术在站控层的实现流程

基于信息综合判断智能变电站网络通信故障定位技术在站控层的实现流程如图 8 所示。

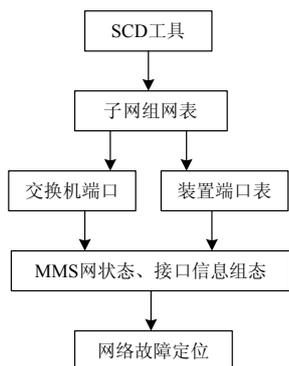


图 8 站控层流程图

Fig. 8 Flow chart on station-level network

3.2 基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术在过程层的实现流程

基于信息综合判断智能变电站网络通信故障定位技术在过程层的实现流程如图 9 所示。

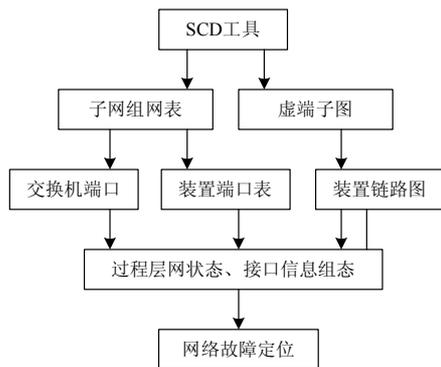


图 9 过程层流程图

Fig. 9 Flow chart on process-level network

4 基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术的应用

基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术,于 2013 年 5 月 30 日在广州 110 kV 云平变,投入运行,截止到 2013 年 8 月 29 日,3 个月试运行阶段,共计出现网络问题 6 次,在每次故障处理过程中,能够对故障可能造成的运行风险有效地进行了评估,同时,大大缩短了故障排除的时间。在未使用本技术的其他变电站,排查除站控层网络故障时,一般 2 人排查处理,统计用时 4~6 h。在 110 kV 云平变使用本技术,故障排除时间(2 人排查处理),基本控制在 1.5 h 以内,极大地提高了故障处理速度,提高了工作效率。

5 结语

基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术,遵循 IEC61850 标准体系对于变电站网络结构的要求,明确地提出了网络状态监视的实现方法;利用品质要求,充分利用网络故障信息;考虑了过程层链路链接关系,有效评估网络故障的风险;对接口位置、接口信息进行组态,准确定位网络故障位置。在工程应用中,取得了良好效果,为智能变电站实现网络故障定位,提供了技术手段和参考依据。

参考文献

- [1] 国家电网公司. Q/GDW 383-2009 智能变电站技术导则[S]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [2] 马杰, 李磊, 黄德斌, 等. 智能变电站二次系统全过程管控平台研究与实践[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(2): 62-72.
MA Jie, LI Lei, HUANG Debin, et al. Research and practice on the whole process management platform of the secondary system in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(2): 62-72.
- [3] 伊洋, 胡苏凯, 周宇, 等. 智能变电站 SCD 文件二维校验码校验方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(2): 113-118.
YI Yang, HU Sukai, ZHOU Yu, et al. Research of smart substation SCD file check based on two-dimensional check code[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(2): 113-118.
- [4] IEC 61850-1 communication networks and systems in substations part 1: introduction and overview[S]. 2003.
- [5] IEC 61850-2 communication networks and systems in substations part 2: glossary[S]. 2003.
- [6] IEC 61850-5 communication networks and systems in substations part 5: communication requirements for functions and device models[S]. 2003.
- [7] IEC 61850-6 communication networks and systems for power utility automation part 6: configuration description language for communication in electrical substation related to IEDs[S]. 2003.
- [8] IEC 61850-7-1 communication networks and systems in substations part 7-1: basic communication structure for substations and feeder equipment principles and models [S]. 2003.
- [9] IEC 61850-7-2 communication networks and systems in substations part 7-2: basic communication structure for substation and feeder equipment abstract communication service interfaces[S]. 2003.
- [10] IEC 61850-7-3 communication networks and systems in substations part 7-3: basic communication structure for substation and feeder equipment common data classes[S]. 2003.
- [11] IEC 61850-8-1 communication networks and systems in

substations part8-1: specific communication service mapping (SCSM) – mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to IEC/IEC 8802-3[S]. 2004.

[12] 丁泉, 李帅. 智能变电站重采样应用研究及其线性插值法误差分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(23): 132-136.
DING Quan, LI Shuai. Application study on resampling in smart substation with error analysis of linear interpolation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(23): 132-136.

[13] 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 substations based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(17): 78-82.

[14] 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): 95-98.
WANG Song, XUAN Xiaohua, LU Chengyu. Version management method of smart substation configuration file[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(17): 95-98.

[15] 朱林, 陈金富, 段献忠. 数字化变电站冗余体系结构的改进及其可靠性和经济性评估[J]. 电工技术学报, 2009, 24(10): 147-151.
ZHU Lin, CHEN Jinfu, DUAN Xianzhong. Improvement of redundant architecture in digital substation and its reliability & economic assessment[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(10): 147-151.

[16] 谷志茹, 刘宏立, 詹杰, 等. 智能电网窄带 OFDM 通信系统噪声抑制[J]. 电工技术学报, 2014, 29(11): 269-276.
GU Zhiru, LIU Hongli, ZHAN jie, et al. Noise suppression investigation of a narrowband power line communication for smart grid[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(11): 269-276.

[17] 窦春霞, 李娜, 徐晓龙. 基于多智能体系统的微电网分散协调控制策略[J]. 电工技术学报, 2015, 30(7): 125-134.
DOU Chunxia, LI Na, XU Xiaolong. Multi-agent system based decentralized coordinated control strategy for micro-grids[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(7): 125-134.

[18] 张结. IEC61850 目标内涵分析[J]. 电网技术, 2004, 28(23): 76-80.
ZHANG Jie. Analysis on intension of objectives in IEC61850[J]. Power System Technology, 2004, 28(23): 76-80.

[19] 罗四倍, 黄润长, 崔琪, 等. 基于 IEC61850 标准面向对象思想的 IED 建模[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(17): 88-92.
LUO Sibe, HUANG Runchang, CUI Qi, et al. IED modeling based on object-oriented technology of IEC61850 standard[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(17): 88-92.

[20] 韩法玲, 黄润长, 张华, 等. 基于 IEC61850 标准的 IED 建模分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(19): 219-222.
HAN Faling, HUANG Runchang, ZHANG Hua, et al. IED modeling analysis based on IEC61850 standard[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(19): 219-222.

[21] 吴在军, 胡敏强. 基于 IEC61850 标准的变电站自动化系统研究[J]. 电网技术, 2003, 27(10): 8-11.
WU Zaijun, HU Minqiang. Research on a substation automation system based on IEC 61850[J]. Power System Technology, 2003, 27(10): 8-11.

[22] 常弘, 茹锋, 薛钧义. IEC61850 语义信息模型的实现[J]. 电网技术, 2005, 29(12): 39-42.
CHANG Hong, RU Feng, XUE Junyi. Implementation of semantic information model in IEC61850[J]. Power System Technology, 2005, 29(12): 39-42.

[23] 王丽华, 马君华, 王传启, 等. 变电站配置描述语言 SCL 的应用研究[J]. 电网技术, 2006, 30(增刊 1): 93-96.
WANG Lihua, MA Junhua, WANG Chuanqi, et al. Research on application of substation configuration description language[J]. Power System Technology, 2006, 30(S1): 93-96.

[24] 李蓓, 沐连顺, 苏剑, 等. 基于关系模型映射的 IEC 61850SCL 配置器建模[J]. 电网技术, 2006, 30(10): 94-99.
LI Bei, MU Lianshun, SU Jian, et al. Modeling of IEC61850 SCL configurator based on relational model mapping[J]. Power System Technology, 2006, 30(10): 94-99.

[25] 姚致清, 张茜, 刘喜梅. 基于 PSCAD/EMTDC 的三相光伏并网发电系统仿真研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(17): 76-81.
YAO Zhiqing, ZHANG Qian, LIU Ximei. Research on simulation of a three-phase grid-connected photovoltaic generation system based on PSCAD/EMTDC[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(17): 76-81.

[26] 缪文贵, 何卫, 张祥文, 等. 构建基于虚拟映射对象的 IEC61850 系统[J]. 电网技术, 2006, 30(增刊 2): 412-422.
MIU Wengui, HE Wei, ZHANG Xiangwen, et al. The application of virtual mapping objects in IEC61850 system[J]. Power System Technology, 2006, 30(S2): 412-422.

收稿日期: 2015-04-06; 修回日期: 2015-12-19

作者简介:

伊洋(1980-), 男, 通信作者, 工程硕士, 工程师, 研究方向为电力系统自动化, 电力系统继电保护; E-mail: 43190870@qq.com

刘育权(1971-), 男, 高级工程师, 研究方向电力系统自动化、继电保护及电力系统运行与管理工作; E-mail: gzpsliuyuquan@163.com

陈宇强(1968-), 男, 高级工程师, 研究方向电力系统自动化、继电保护及电力系统运行与管理工作。E-mail: gzpschengyuquan@163.com

(编辑 姜新丽)