

DOI: 10.7667/PSPC180495

基于双层 CRC 校核的智能变电站配置文件在线诊断方法

万勇, 辛建波, 谢国强, 杨越, 桂小智, 潘本仁

(国网江西省电力有限公司电力科学研究院, 江西 南昌 330000)

摘要: 针对智能变电站配置文件变动带来的校核难问题, 提出了基于双层 CRC 校核的智能变电站配置文件在线诊断方法。该方法能有效地提高智能变电站配置文件的安全性和一致性。首先分析基于 IEC61850 的智能变电站配置文件及其形成机制。接着介绍 CRC 算法原理及其在智能变电站配置文件的动态校核应用情况, 结合变电站配置文件特点采用双层 CRC 校核的原理, 进一步详细研究该方法的实现过程和具体步骤。基于双层 CRC 校核方法研发了具有可视化功能的智能变电站配置文件在线诊断系统。现场应用情况证明了所提方法的有效性。

关键词: 智能变电站; 配置文件; 校核; 双层; 循环冗余校核

Online diagnosis method for configuration file of smart substation based on double CRC checking method

WAN Yong, XIN Jianbo, XIE Guoqiang, YANG Yue, GUI Xiaozhi, PAN Benren

(State Grid Jiangxi Electric Power Company Research Institute, Nanchang 330000, China)

Abstract: In view of the difficulty of checking the changes of smart substation configuration files, this paper presents an online diagnosis method for smart substation configuration files based on double CRC checking. This method can effectively improve the security and consistency of smart substation configuration files. This method can efficiently realize the security and consistency of the configuration file. Firstly, the configuration file and its formation mechanism of smart substation based on IEC61850 are analyzed. Then it introduces the principle of CRC algorithm and its application in the dynamic check of the smart substation configuration file. It combines the characteristics of the substation configuration file with the principle of double decker CRC checking, and further studies the implementation process and specific steps of the method. Based on the double CRC checking method, an online diagnosis system for smart substation configuration files with visual functions is developed. The application of the on-line diagnosis system proves the effectiveness of the method.

This work is supported by Science and Technology Project of Jiangxi Electric Power Company (No. 521820160015).

Key words: smart substation; configuration file; check; double layer; cyclic redundancy check

0 引言

随着智能变电站建设的逐步推广和深入应用, 智能变电站普遍采用当前电力系统最全面的自动化协议 IEC61850 标准。IEC61850 标准采用面向对象技术, 通过统一的信息模型, 实现不同厂家智能电子设备的相互可操作性^[1]。由于 IEC61850 标准可使智能变电站建设和运维变得规范、统一和透明, 我国也等同采用 IEC61850 标准, 形成我国的电力行

业标准编号 DL/T 860。

IEC61850 采用变电站配置描述语言 SCL, 实现变电站和智能电子设备的功能描述。IEC61850 配置文件以统一格式提供了变电站和站内智能电子设备的配置情况, 配置文件更新的正确性和及时性, 直接影响变电站是否可靠运行^[2]。

因此, 研究智能变电站配置文件的在线诊断方法, 能够实时、简便地检测智能电子设备现场变化情况, 使得智能电子设备现场运行情况与配置文件描述完全一致, 对于智能变电站高效、可靠运行具有重要意义。

基金项目: 江西省电力公司科技项目 (521820160015)

1 IEC61850 配置文件

智能变电站配置文件主要包括智能电子设备能力描述文件 ICD，智能电子设备实例配置描述文件 CID，系统规范描述文件 SSD，全站配置描述文件 SCD^[3-5]。

ICD 文件是设备厂家提供的设备能力描述文件，表示智能电子设备的基础信息，同一型号智能电子设备的 ICD 文件是一样的^[6-7]。CID 文件由智能电子设备厂商根据 SCD 文件中与特定的智能电子设备的相关配置生成，每个智能电子设备配备一个。

区别 ICD 文件和 CID 文件侧重于智能电子设备，SSD 文件主要标志变电站的整体结构和逻辑关系，不涉及具体的智能电子设备。而 SCD 文件是 IEC61850 变电站的主导文件，明确了变电站的结构和站内各个智能电子设备的关系，该文件可以看作是上述 IEC61850 配置文件的总和，是整个 IEC61850 配置文件的最终体现。

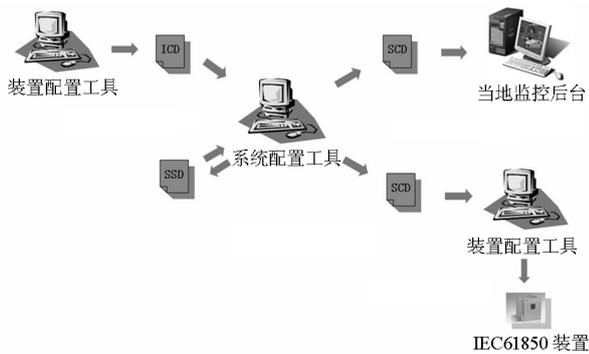


图 1 智能变电站配置文件实现过程
Fig. 1 Realization process of configuration file in smart substation

智能变电站配置文件实现过程如图 1 所示。设备厂商根据所提供智能电子设备的功能，智能电子出厂前先形成设备自身的 ICD 文件^[8]。设备厂商针对自家公司生产的智能电子设备，采用对应的配置工具，结合智能电子设备所应用的具体运行环境，将变电站的相关信息加入到智能电子设备的 ICD 文件，从而生成对应的 CID 文件^[9]。

进一步采用系统配置工具对整个变电站结构进行配置^[10]。系统配置工具首先对整个变电站的概括进行配置，形成描述变电站整体运行情况的 SSD 文件。最后借助系统配置工具汇总各个智能电子设备 CID 文件所包含的关于实例化的设备信息，以及 SSD 文件描述的变电站信息，生成 SCD 文件^[11]。

2 CRC 动态校核

在智能变电站运行过程中，很多因素均会影响站内配置文件的变动，但是由于智能变电站的网络化、信息化，传统的二次回路已经变得虚拟化。当变电站现场情况变动后，现场运行人员很难判断智能电子设备内部的配置是否也随之改变，尤其当智能电子设备数量规模日益庞大，变电站运行方式变化而进行频繁更改，配置文件的管理难度更大^[12]。

考虑到当前智能变电站配置文件遵循电力网络专用和隔离认证等安全措施，遭受第三方恶意攻击的风险相对较低，本文只考虑非恶意攻击的配置文件安全问题^[13-14]。

循环冗余校核(Cyclic Redundancy Check, CRC)是一种根据网络数据包或电脑文件等数据产生简短固定位数校核码的快速算法，主要用来检测或校核数据传输或者保存后可能出现的错误。CRC 利用除法及余数的原理，实现错误侦测的功能，具有原理清晰、实现简单等优点，因此，在电力信息领域也得到了广泛的应用。

本文将 CRC 应用到智能配电站配置文件的在线诊断，通过配置文件所生成的 CRC 码的变化情况，方便地实现配置文件的安全性和一致性两项功能。

需要注意的是，文献[15]深入研究了 CRC 校核不具备抵御第三方恶意信息攻击的能力，本文在不考虑第三方恶意攻击前提下，主要利用 CRC 的简单性实现配置文件的校核功能，具体包括：1) 具有抵抗非恶意攻击的校核功能，能纠正配置文件在传输和配置过程中的误码情况，提高配置文件的安全；2) 通过该校核码的变化情况，便可实时获知配置文件是否发生变化，方便掌握配置文件的改动情况。

2.1 CRC 校核

智能变电站配置文件在存储和数据传输过程中，由于各类噪声影响，容易出现配置文件的比特差错问题。为了保障配置文件数据的正确率，配置文件对数据进行差错检测，当且仅当检测的结果为正确时，说明该智能变电站配置文件没有数据差错的问题，配置文件才可以做进一步的应用。信息领域中差错检测的方式有多种，而 CRC 是应用最广泛的一种差错检测方法。

CRC 校核同其他差错检测方式一样，需要完成形成校核位和检验校核位的过程。首先将待检验的数据采用 CRC 算法，生成比特冗余位(又称帧检验序列, Frame Check Sequence, FCS)，并将 FCS 添加到原数据后面，实现校核码的生成过程。校核是采用相同的 CRC 算法，计算原数据的 FCS，并与附

加在原数据后面的FCS作一致性比较。两者完全相同时,可以确认原数据的完好性^[16]。

2.2 动态校核

在保障CRC配置文件完好性的基础上,实施智能变电站配置文件的动态校核,确保CRC配置文件与智能电子设备的现场运行具有一致性。动态校核主要包括如下几个方面。

(1) 通过在线二次智能电子设备CRC校核码进行校核。主要是获取智能电子设备配置文件的CRC校核码,与本站标准SCD文件中的CRC校核码进行一致性对比,校核智能电子设备配置文件的正确性^[17]。

(2) 通过分析二次智能电子设备发出的报文进行校核。主要是分析报文中包含的各字段,并与管控系统中的SCD文件进行比对,比对MAC地址、控制块引用、数据集、标识、配置版本、条目等配置信息是否正确^[18-19]。

(3) 通过定时巡检及主动校核。主要是设置定时或者人为触发方式,来校核智能电子设备上送的CRC码是否和SCD文件的CRC码一致,进而校核配置文件正确性。

2.3 双层CRC校核方法

从智能变电站配置文件的实现方式可以得知,配置文件不仅涉及变电站的整体信息,还涉及到每个智能电子设备的配置信息,因此配置文件的实现过程就比较繁琐。随着智能变电站规模的不断扩大,以及更多智能电子设备在变电站的安装应用,导致整个配置过程更加复杂,所形成的配置文件也更加庞大,所以当配置文件采用CRC进行校核时,校核过程的效率就显得十分重要。

在算法的软硬件平台确定的情况下,CRC的算法效率,主要取决于待验证的数据长度。因此,本文将结合智能变电站的配置文件的形成机制,采用双层CRC校核方法。双层CRC校验码充分利用现有变电站配置文件的原校验码,对所有智能变电站配置文件的原校验码进行二次CRC校验,形成一个汇总的CRC总值,通过该CRC总值,可方便实现多个智能变电站配置文件管理,如图2所示。

双层CRC校核方法充分利用智能电子设备和智能变电站这一“组成单元和整体”的逻辑关系。首先对各个智能电子设备进行CRC校核,运行人员根据每个智能电子设备对应的CRC校核码,可以快速定位配置文件修改变动的内容。

接着在各个智能电子设备配置文件所产生CRC码的基础上,计算出智能变电站配置文件的

CRC总值。运行人员只需通过掌握单一而且简单的CRC总值,便可以快速了解到整个变电站的文件配置的变化情况。若需要知道具体的智能电子设备变化情况,运行人员也可以通过CRC总值反推到各个智能电子设备CRC码,从而定位状态发送变化的智能电子设备或配置文件不一致的智能电子设备。

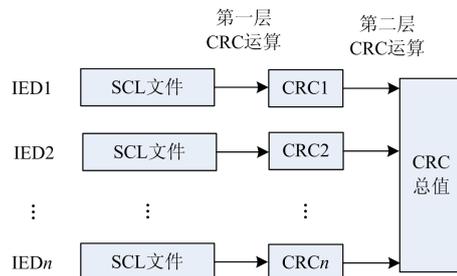


图2 基于双层CRC的配置文件校核方法

Fig. 2 Configuration file checking method based on double CRC

值得指出的是,由于CRC校验码长度非常短小,以CRC16算法为例,校验码的长度仅有16 bit,对于长度通常为几千甚至几兆字节的配置文件来说,几乎可以忽略校验码的长度。由于双层CRC校核方法占用的运算和通信资源较小,并不影响双层CRC校核方法在实际智能变电站的可用性。

3 具体实现

智能变电站由众多的智能电子设备及相关的网络设备等组成,智能电子设备的配置文件实现是智能变电站配置文件的核心和难点^[20],本文将重点分析智能电子设备的CRC码校核过程,得到各个智能电子设备的CRC码。

在各个智能电子设备CRC码的基础上,进一步采用CRC算法,便可计算得到整个变电站CRC总值,通过CRC总值便可以很容易观察智能电子设备配置文件的变化情况。

3.1 变电站CRC码

变电站的智能电子设备尽管功能上千差万别,但经过IEC61850建模后,形成了具有可交互性的模型和数据结构,从而提供给配置工具生成对应的SCD文件。

配置工具生成CRC过程中,首先对导入或导出的配置文件进行合法性检查,使得所生成的配置文件能通过SCL文件的schema验证。在此基础上,将配置文件所生成二位码的数据流,进行对应的CRC计算,从而得到对应的CRC校核码。

具体实现上,智能变电站包含了过程层、间隔层和变电站层,变电站配置文件主要涉及间隔层的

智能电子设备和过程层的合并单元和智能开关，不同层的设备根据自身特点，采用对应的配置文件的CRC，下文将具体分析。

1) 间隔层设备的CRC

当保护配置文件发生变化后，在保护设备在线监测系统中，通过手动方式触发智能电子设备的IEC61850服务，进而读取CID文件并解析private位段的对应内容。

配置示例 1:

```
<Private type="智能电子设备 virtual terminal connection CRC">XXXXXXXX</Private>
```

2) 过程层设备的CRC

通过GOOSE虚端子向外主动发送过程层CRC信息，具体配置方法如下:

在智能电子设备的G1访问点下PI_PROT逻辑智能电子设备的LLN0中扩展DOI为智能电子设备CRC反映虚回路CRC码及最新下载时间，并将该数据添加到PI_PROT的dsGOOSE0数据集中。

配置示例 2:

```
<DO name="智能电子设备CRC" type="CN_INS_PCS-915GA-D_00112527" transient="false" desc="智能电子设备 校核码"/>
<DOI name="智能电子设备CRC" desc="智能电子设备校核码">
  <DAI name="dU" valKind="Set">
    <Val>智能电子设备 校核码</Val>
  </DAI>
  <DAI name="stVal" sAddr="B01.Iec61850.智能电子设备CRC" valKind="Set"/>
  <DAI name="t" sAddr="MNL:B01.master.goose_down_time" valKind="Set"/>
</DOI>
<DataSet name="dsGOOSE0" desc="GOOSE 数据集0">
  <FCDA IdInst="PI_PROT" lnClass="LLN0" doName="智能电子设备CRC" daName="stVal" fc="ST"/>
  <FCDA IdInst="PI_PROT" lnClass="LLN0" doName="智能电子设备CRC" daName="t" fc="ST"/>
</DataSet>
```

3.2 实现步骤

智能变电站配置文件的CRC校核，涉及智能变电站过程层和站控层的所有智能电子设备，可以实现对整个变电站配置文件的在线诊断，如图3所示，包括以下关键步骤:

1) 导入SCD文件，提取智能电子设备的CRC码。

导入配置文件SCD，通过VTD-XML方法进行解析，提取SCD中所有智能电子设备的CRC码，

并存入对应数据库中，用于和后面抓获的报文及保护配置文件相对比。

2) 配置文件及报文CRC码获取。

同时接入站内过程层和站控层网络，过程层网络主要获取保护或测控智能电子设备的CID配置文件，过程层网络主要抓获智能终端及合并单元的智能电子设备报文。根据抓获到的CID及报文解析出对应CRC码。

3) 针对修改内容，把步骤1)分析得到的CRC和步骤2)中获取到的CRC码相对比。

4) 根据步骤3)的结论，若CRC码一致则不报警。若不一致，对于CID文件则通过高可视化的形式展示和SCD文件是否不一致;对于报文文件则对比报文配置。

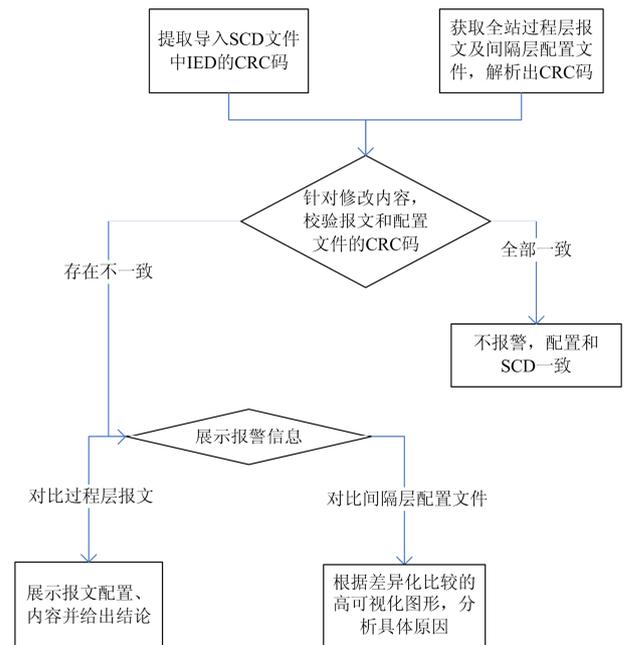


图3 实现步骤

Fig. 3 Implementation steps

4 开发与应用

4.1 可视化开发

本文采用基于双层CRC的校核方法，对智能变电站内所有智能电子设备进行高效在线分析，以实时检测配置文件的变动情况，并通过高可视化的形式展示出智能电子设备的配置或报文是否和当前SCD一致^[21]。

智能变电站配置文件在线诊断系统的可视化开发与应用平台如图4所示，在可视化开发环境中，直接调用开发系统所提供的接口，便可完成所需的软件功能开发。采用可视开发工具，可以较方便地生成配置文件在线诊断系统。

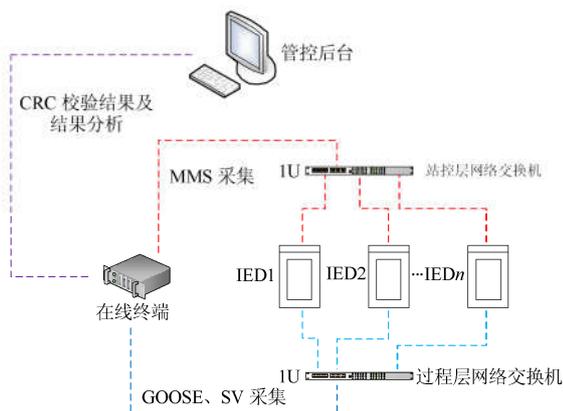


图 4 开发与应用平台

Fig. 4 Development and application platform

配置文件在线诊断系统采用事件驱动方法, 对每一个智能电子设备由于配置文件变动而产生的变化, 由系统产生相应的消息, 再传递给相应的 CRC 验证码生成和校核响应函数进一步处理。

4.2 应用

本文所研发的可视化智能变电站配置文件在线诊断系统, 能帮助现场运行人员直观地掌握智能变电站配置文件的变动情况, 下文将重点介绍 CRC 标准化校核模块和 SCL 文件差异化比较模块的应用情况。

配置数据管理及可配置的 CRC 标准化校核模块, 标准化校核模块主要设计站内蓝图、表格、文档、SCD、CID 等文件管理及站内终端通信, 管理站内 CRC 校核的一致性结果, 如图 5 所示。

| 序号 | IED名称 | IED描述 | CRC码 |
|----|--------|---------------|----------|
| 1 | CC2201 | 公用测控 | 7255A891 |
| 2 | CE2201 | 母联测控 | 747310BC |
| 3 | CL1101 | 110kV 神头线测控 | F1A9226F |
| 4 | CL2201 | 安洲线测控 | EC408DA7 |
| 5 | CL2202 | 安洲线测控 | B4AD2EE2 |
| 6 | CT1001 | #1 主变低压侧测控 | 46E2300C |
| 7 | CT1101 | #1 主变中压侧测控 | 40A7ED77 |
| 8 | CT2201 | #1 主变高压侧测控 | 50DCBC22 |
| 9 | CT8001 | #1 主变本体测控 | 89A08B06 |
| 10 | DPJ201 | 通用频率电压紧急控制装置 | |
| 11 | IE2201 | 母联智能终端 | E25F7D0B |
| 12 | IL1101 | 110kV 神头线智能终端 | 182461B5 |

图 5 标准化校核模块

Fig. 5 CRC standardization checking module

SCL 文件差异化比较模块。实现二次智能电子设备 CRC 校核码的在线校核, 并把校核结果实时推送至远方后台。实现在线虚通道正确性检查校核。

在线终端和后台系统之间如何通信, 如何完成在线终端 CRC 校核结果到远方后台的推送, 如图 6 所示。



图 6 配置文件差异化比较模块

Fig. 6 Configuration file differentiation comparison module

5 结语

本文提出了基于双层 CRC 校核的智能变电站配置文件在线诊断方法。该方法结合智能变电站配置文件的形成机制, 既能高效地掌握整个变电站配置文件的变动情况, 又可以快速地定位到具体的智能电子设备。通过本文提供的智能变电站基于在线监测的配置文件校核方法, 将站内配置修改情况以高可视化的形式进行表达, 便于用户查看, 为修改后配置的验证提供了有效的手段, 提升了电网运行的稳定性与可靠性。

参考文献

- [1] 宋璇坤, 闫培丽, 吴蕾, 等. 智能变电站试点工程关键技术综述[J]. 电力建设, 2013, 34(7): 10-16. SONG Xuankun, YAN Peili, WU Lei, et al. Review of key technology for smart substation pilot projects[J]. Electric Power Construction, 2013, 34(7): 10-16.
- [2] 张旭泽, 郑永康, 康小宁, 等. 智能变电站继电保护系统所面临的若干问题[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(6): 90-96. ZHANG Xuze, ZHENG Yongkang, KANG Xiaoning, et al. Several problems of intelligent substation relay protection system[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(6): 90-96.
- [3] 杨威, 王进虎, 王娜. 新一代智能变电站检修机制测试技术[J]. 智能电网, 2016, 4(2): 209-212. YANG Wei, WANG Jinhu, WANG Na. Testing technology of maintenance mechanism for the new generation of intelligent substation[J]. Smart Grid, 2016, 4(2): 209-212.
- [4] 汪溢, 黄曙, 马凯. 继电保护在线校核技术研究[J]. 热力发电, 2016, 45(8): 87-93. WANG Yi, HUANG Shu, MA Kai. Relay protection online verifying technology[J]. Thermal Power Generation,

- 2016, 45(8): 87-93.
- [5] 陈锦山, 唐志军, 何燕玲, 等. 智能变电站二次系统信息安全测试方法[J]. 广东电力, 2017, 30(9): 75-80.
CHEN Jinshan, TANG Zhijun, HE Yanling, et al. Testing method for information security of secondary system of intelligent substation[J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30(9): 75-80.
- [6] 黄少雄, 胡世骏, 黄太贵, 等. 智能站软压板状态正确性校验的研究[J]. 电网与清洁能源, 2016, 32(6): 95-100.
HUANG Shaoxiong, HU Shijun, HUANG Taigui, et al. Study on the actual settings of the soft jumps in a smart substation[J]. Power System and Clean Energy, 2016, 32(6): 95-100.
- [7] 杨毅, 高翔, 朱海兵, 等. 智能变电站 SCD 应用模型实例化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 107-113.
YANG Yi, GAO Xiang, ZHU Haibing, et al. Case study on SCD application based on demo smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 107-113.
- [8] 高志远, 黄海峰, 徐昊亮, 等. IEC 61850 应用剖析及其发展探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(1): 162-169.
GAO Zhiyuan, HUANG Haifeng, XU Haoliang, et al. Discussion on applications of IEC 61850 and its development[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(1): 162-169.
- [9] 梅德冬, 周斌, 黄树帮, 等. 基于 IEC 61850 第二版变电站配置描述的集成配置[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(11): 132-136.
MEI Dedong, ZHOU Bin, HUANG Shubang, et al. Decoupling integrated configuration of substation configuration description based on IEC 61850 edition 2.0[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(11): 132-136.
- [10] 梅德冬, 樊瑞, 周斌. IEC 61850 模型信息的规则表达与校核研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(3): 131-136.
MEI Dedong, FAN Rui, ZHOU Bin. Research on regular expressions and check of IEC 61850 model information[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(3): 131-136.
- [11] 刁东宇, 翟明玉, 王海峰, 等. 一种基于 CIM/E 的 IEC 61850 SCL Schema[J]. 浙江电力, 2016, 35(8): 13-17.
DIAO Dongyu, ZHAI Mingyu, WANG Haifeng, et al. A description method of IEC 61850 SCL schema file based on CIM/E[J]. Zhejiang Electric Power, 2016, 35(8): 13-17.
- [12] 吕晓敏. 嵌套循环冗余码(CRC)的优化与检验[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [13] ADNAN A, MAHMOOD A N. Cyber security of smart grid infrastructure[M]. The State of the Art in Intrusion Prevention and Detection, CRC Press, Taylor & Francis Group, USA, 2014: 449-472.
- [14] 王智东, 王钢, 许志恒, 等. 一种改进的 GOOSE 报文 HMAC 认证方法(英文)[J]. 电网技术, 2015, 39(12): 3627-3634.
WANG Zhidong, WANG Gang, XU Zhiheng, et al. An HMAC based authenticated method for GOOSE packets[J]. Power System Technology, 2015, 39(12): 3627-3634.
- [15] 王智东, 王钢, 许志恒, 等. 结合域含义的 GOOSE 报文加解密方法[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2016(4): 63-70.
WANG Zhidong, WANG Gang, XU Zhiheng, et al. Encryption and decryption methods of GOOSE packets based on domain implication[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2016(4): 63-70.
- [16] 周秦英. 扩展缩短 CRC 码研究和 CRC-RS、CRC-Turbo 的 FPGA 硬件实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2004.
- [17] 邓洁清, 车勇, 单强, 等. 基于标准中间过程文件的 SCD 版本比对的优化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(14): 95-99.
DENG Jieqing, CHE Yong, SHAN Qiang, et al. Optimal research of SCD version comparison based on the standard middle process files[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(14): 95-99.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 张巧霞, 贾伟华, 叶海明, 等. 智能变电站虚拟二次回路监视方案设计及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10): 123-128.
ZHANG Qiaoxia, JIA Weihua, YE Haiming, et al. Design and application of virtual secondary circuit monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 123-128.
- [21] 周成, 吴海, 胡国, 等. 基于 IEC 61850 第二版非侵入式自动测试系统的研制[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(14): 143-147.
ZHOU Cheng, WU Hai, HU Guo, et al. Non-intruding development of automatic test system based on IEC 61850 edition2.0[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(14): 143-147.

收稿日期: 2018-04-28; 修回日期: 2018-06-02

作者简介:

万勇(1985—), 男, 硕士, 高工, 主要研究方向为继电保护及自动化技术、智能电网技术; E-mail: gytdzgy@163.com

辛建波(1985—), 男, 硕士, 高工, 主要研究方向为继电保护及自动化技术、智能电网技术、特高压直流输电;

谢国强(1984—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为自动化技术、电网运行维护。

(编辑 张爱琴)