

一种基于 SVG 的 SSD 文件生成新方法研究

唐昆明¹, 龙泓吉¹, 张太勤²

(1. 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室(重庆大学), 重庆 400044;

2. 重庆新世杰电气有限公司, 重庆 400030)

摘要: 为实现智能变电站配置过程中 SSD 文件的生成, 增强智能变电站配置工具的图形表述能力, 设计了一种基于 SVG(可缩放矢量图形)的智能变电站 SSD 文件生成方法。该方法深入研究 SVG 与 SCL 组合的方式, 通过编辑 SVG 的内部文档类型定义(DTD)文件, 在 SVG 文件中引入 SCL 元素及属性, 设计包含 SCL 信息的设备图元, 实现在变电站一次接线图绘制的同时添加符合 SCL 语法的变电站配置信息。可将绘制的变电站一次接线图导出为 SVG 文件, 利用已配置 SCL 信息的接线图实现 SSD 文件的自动生成。所设计的方法可增强配置工具的图形编辑能力, 降低对工程人员 IEC 61850 专业知识的要求, 简化 SSD 文件的生成过程。

关键词: IEC61850; 变电站配置描述语言; 可缩放矢量图; XML; DTD

Research of a new method of generating SSD file based on SVG

TANG Kunming¹, LONG Hongji¹, ZHANG Taiqin²

(1. State Key Laboratory of Power Transmission Equipments & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Chongqing Xinshijie Electric Power Corporation, Chongqing 400030, China)

Abstract: In order to generate the SSD file in configuration process of intelligent substation and enhance the graphical representation capability of configuration tool, this paper designs a method of generating SSD file based on SVG. According to the characteristics that the SVG and SCL are based on XML language, this paper edits the internal document type definition (DTD) file, declares SCL elements and attributes in the SVG file, then designs equipment element which contains SCL information. By this way, we can add the configuration information which conforms to SCL syntax when drawing the primary connection diagram of substation, and export the primary connection diagram of substation to SVG file. By using the primary connection diagram which has been configured the SCL information, we can generate the SSD file. This method can enhance the capability of graphics editing of configuration tool, reduce the requirement of engineers' professional knowledge of IEC 61850, and simplify the process of creation of SSD file.

Key words: IEC61850; SCL; SVG; XML; DTD

中图分类号: TM76

文章编号: 1674-3415(2015)21-0120-06

0 引言

为了解决来自不同厂商 IED 间的互操作问题, 国际电工委员会制定了 IEC 61850 标准。IEC 61850 在第 6 部分中定义了变电站配置描述语言 SCL, 使变电站的设备和功能的自描述成为可能。IEC 61850 发布之初定义了六种文件用于变电站的描述, 分别是 SSD、ICD、SCD、SED、IID 以及 CID 文件, 同时 IEC 61850 定义了三类配置工具来完成配置过程。因此, 变电站的配置过程如图 1 所示^[1-8]。

IEC 61850 标准发布后, 国内各机构根据 IEC61850 开发智能变电站配置工具。目前常见的配置工具功能

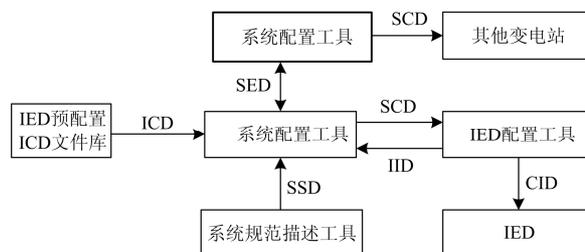


图 1 变电站配置过程

Fig. 1 Configuration process of substation

多集中在 IED 配置工具和系统配置工具上^[4-5], 对系统规范描述工具的研究与开发相对较少。SSD 文件

用于描述变电站电气主接线图和所要求的逻辑节点, 在变电站的配置过程中起到重要的作用。文献[4]介绍了一种 SCL 配置工具的开发过程, 其开发的配置工具也可以初步生成 SSD 文件, 但是主要还是基于对文件的直接操作, 方法较复杂; 文献[5-6]提出将 SVG 用于配置工具开发的想法, 为配置工具的开发提出新的思路; 文献[7-8]利用 SVG 技术设计图元与储存变电站一次接线图形文件, 但没有考虑直接在设备图元中加入其相应的 SCL 信息。上述方法需通过其他的方式配置 SCL 信息, 而不是对图元的直接操作, 且为了生成格式良好的 SSD 文件还要经过其他转换。为此, 本文结合 SVG 技术, 设计了一种基于 SVG 技术的 SSD 文件生成方法, 将 SVG 与 SCL 进行结合, 实现图形绘制与基于图元的信息配置, 增强配置工具的图形表示能力, 简化 SSD 文件的生成过程。

1 SVG 中扩展 SCL 信息的可行性

智能变电站配置描述语言 SCL 与可缩放矢量图 SVG 都基于可扩展标记语言(Extensible Markup Language, XML), 是 XML 技术在不同领域中的拓展与应用。XML 语言良好可扩展性为 SCL 与 SVG 的组合提供了可能^[9]。

1.1 SVG 技术介绍

SVG(Scalable Vector Graphics)是可缩放矢量图形的简称, 是一种用 XML 来描述二维矢量图形的语言, 且标准开放, 可扩展性很强。SVG 是一种基于文本的图形格式, 可描述任意复杂图形, 为电力图形的绘制带来便利。

1.2 SCL 与 SVG 的组合方式

SVG 与 SCL 均基于可扩展标记语言(XML), 这为二者的组合提供了很好的理论基础, 实现二者结合的方法有以下两种。

第一种是将 SVG 信息扩展到 SCL 文件中。根据 XML 语法规则, SCL 文件可以通过添加外部命名空间的方式得到扩展^[10], 在文件头部分引入 SVG 的命名空间, 就可将 SVG 信息添加到 SCL 文件中, 但扩展后的 SCL 文件并不符合 SVG 语法规范, 变电站一次接线图无法显示, 所以这种方式不能达到通过图形绘制生成 SSD 文件的目的。

第二种是将 SCL 信息扩展到 SVG 文件中。对 SVG 文件进行 SCL 扩展又有两种方式: 引入其他命名空间和编写内部 DTD。

一种方式是依据 XML 语法规则, 将 SCL 语言命名空间引入 SVG 文件, 使 SVG 文件中可以包含设备 SCL 信息, 这种方法可以完成图像的显示, 但

SVG 的 DTD 文件中并未定义 SCL 命名空间中的元素, 在 SVG 文件解析时这些元素可能被忽略, 进而导致 SSD 文件的信息丢失, 故这种方式也存在一定弊端。

另一种方式是根据实际需求编写满足要求的内部文档类型定义(DTD)文件, 在 SVG 文件中扩展相应的 SCL 元素及属性, 虽然这种方式较复杂, 但是可以在最大程度上保证添加信息的准确与完整, 避免信息丢失, 故本文采用编写内部 DTD 文件的方式来实现 SVG 文件的 SCL 扩展。

2 内部 DTD 的编写

SVG 引用的外部 DTD 文件(W3C 组织发布)中为 SVG 元素的扩展留有扩展接口<!ENTITY % SV G.g.extra.content " ">, 允许我们在 SVG 文件内部扩展自定义的实体元素及其属性。

根据 SCL 中对变电站段落的描述, 使用 UML 对各元素间的关系进行描述(如图 2 所示), 由图 2 可以明确通过扩展接口所要扩展的元素及其属性。

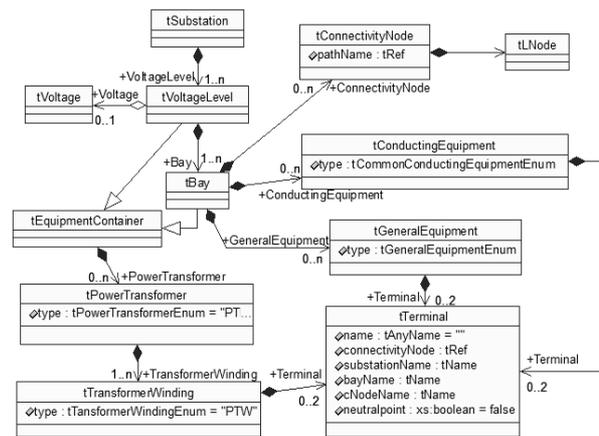


图 2 满足 IEC 61850 的变电站模型

Fig. 2 IEC 61850 model of substation

实体元素扩展的具体方式如下:

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" standalone="no"?>
<!DOCTYPE svg SYSTEM "svg11.dtd"
[<!ENTITY % SVG.g.extra.content"|Substation|
VoltageLevel|Voltage|Bay|PowerTransformer|
TransformerWinding|ConductingEquipment|
GeneralEquipment|Terminal|LNode|SubEquipment|
ConnectivityNode">]>
```

通过外部 DTD 文件预留的接口<!ENTITY % SVG.g.extra.content " ">, 在 SVG 文件内部定义如下 SCL 中的实体元素: 变电站 Substation、电压等

级 VoltageLevel、电压 Voltage、间隔 Bay、变压器 PowerTransformer、变压器绕组 TransformerWinding、导电设备 ConductingEquipment、通用设备 GeneralEquipment、端点 Terminal、逻辑节点 LNode、子设备 SubEquipment、连接节点 ConnectivityNode。

上述自定义的实体元素严格符合 SCL Schema 的定义。完成符合 SCL Schema 规定的实体元素的定义后，为保证各实体元素的属性也符合 SCL Schema 规定，下一步就要对各元素的属性进行定义。以逻辑节点 LNode 为例，将逻辑节点的 IEC 61850 模型用如图 3 的统一建模语言表示。

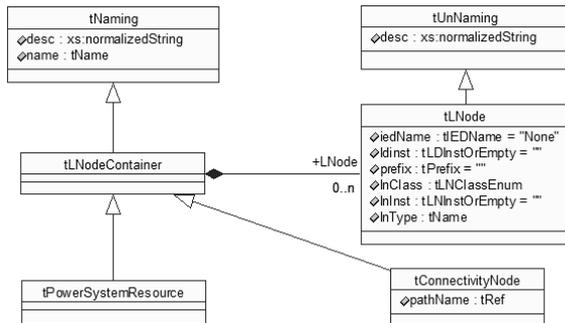


图 3 满足 IEC 61850 的逻辑节点模型

Fig. 3 IEC 61850 model of LNode

SCL 中对 LNode 的定义如下^[11]:

```

<xs:complexType name="tLNode">
<xs:complexContent>
<xs:extension base="tUnNaming">
<xs:attribute name="iedName" type="tIEDName"
use="optional" default="None"/>
<xs:attribute name="ldInst" type="tLDInstOrEmpty"
use="optional" default=""/>
<xs:attribute name="prefix" type="tPrefix"
use="optional" default=""/>
<xs:attribute name="lnClass" type="tLNClassEnum"
use="required"/>
<xs:attribute name="lnInst" type="tLNInstOrEmpty"
use="optional" default=""/>
<xs:attribute name="lnType" type="tName"
use="optional"/>
</xs:extension>
</xs:complexContent>
</xs:complexType>
    
```

表 1 是对逻辑节点 LNode 属性的归纳。

从表 1 可以看出，LNode 的 6 个属性中，lnClass 为必须出现的属性，其余 5 个可选，所以在编写内部 DTD 文件时，lnClass 的属性值为 #REQUIRED，

表 1 逻辑节点 LNode 属性

Table 1 Attribute of LNode

属性	说明	是否必备
iedName	智能电子设备名称	optional
ldInst	逻辑设备实例	optional
prefix	逻辑节点前缀	optional
lnClass	逻辑节点类	required
lnInst	逻辑节点实例标识	optional
lnType	逻辑节点类型定义	optional

其余的属性为 #IMPLIED。LNode 属性的内部 DTD 如下代码所示：

```

<!ELEMENT LNode ANY>
<!ATTLIST LNode xmlns:SCL CDATA #FIXED
"http://www.iec.ch/61850/2006/SCL"
iedName CDATA #IMPLIED
lnInst CDATA #IMPLIED
prefix CDATA #IMPLIED
lnClass CDATA #REQUIRED
ldInst CDATA #IMPLIED
lnType CDATA #IMPLIED
    
```

>

本文根据 SCL 语法规则以及 SVG 内部 DTD 书写规范，通过预留的扩展接口编写完整的、扩展了 SCL 信息的内部 DTD 文件，内部 DTD 文件实际上是一个 XML 文件的格式模板，它将 SCL Schema 规范完整地扩展到 SVG 文件中，在配置图元 SCL 信息时必须遵循内部 DTD 文件的规定，以此就可以保证所添加的 SCL 信息符合 SCL Schema 的规范。内部 DTD 文件可实现 SCL 与 SVG 二者的结合，使变电站 SCL 信息可以添加到 SVG 图形中。

3 包含 SCL 信息的 SVG 图元设计

SVG 与 SCL 结合的目的是既能实现变电站一次图形的显示，又能在图形文件中加入变电站的 SCL 信息，达到通过图形绘制生成 SSD 文件的目的。故本文设计了包含 SCL 信息的设备图元。

3.1 图元的设计

SVG 中有 <svg> 和 <g> 两个框架元素，<svg> 元素用来产生一块画布，它是 SVG 文件的根元素，<svg>...</svg> 元素之间所包含的 SVG 被称为 SVG 文件；<g> 元素是一种用来群组相关图形元素在一起的容器元素。本文使用 <g> 元素来构建设备图元。

以三绕组变压器为例，其含有三个线圈和三个连接点，在 SVG 文件中可以使用 <g> 元素构建三绕

组变压器, 三绕组变压器具体的 SVG 代码如下:

```
<g id="PTR">
<circle r="2" cx="385" cy="130" style="fill:black"/>
<line x1="385" x2="385" y1="130" y2="145"
style="stroke:black;strokewidth:1"/>
<circle r="10" cx="385" cy="155" style="fill:none;
stroke:black;strokewidth:1"/>
<line x1="407" x2="417" y1="162" y2="162"
style="stroke:black;strokewidth:1"/>
<circle r="2" cx="417" cy="162" style="fill:black"/>
<circle r="10" cx="397" cy="162" style="fill:none;
stroke:black;strokewidth:1"/>
<circle r="10" cx="385" cy="169" style="fill:none;
stroke:black;strokewidth:1"/>
<line x1="385" x2="385" y1="179" y2="190"
style="stroke:black;strokewidth:1"/>
<circle r="2" cx="385" cy="190" style="fill:black"/>
</g>
```

上述代码显示效果如图 4 所示。

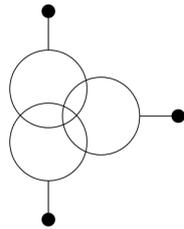


图 4 三绕组变压器图元

Fig. 4 Three-winding transformer element

3.2 图元 SCL 信息的添加

在已编写好的内部 DTD 的基础上, 可以在不影响 SVG 图形渲染的前提下为设备图元添加 SCL 信息。下例为三绕组变压器添加了相应的 SCL 信息。

```
<g id="PTR">
.....
<!--三绕组变压器 SVG 代码-->
.....
<!--以下代码是为 PTR 添加的 SCL 信息-->
<PowerTransformer name="T1" type="PTR">
<LNode lnInst="1" lnClass="PDIF" ldInst="F1"/>
<LNode lnInst="1" lnClass="TCTR" ldInst="C1"/>
<TransformerWinding name="W1" type="PTW">
<Terminal connectivityNode="S12/D1/Q1/L1"
substationName="S12" voltageLevelName="D1"
bayName="Q1" cNodeName="L1"/>
```

```
</TransformerWinding>
<TransformerWinding name="W2" type="PTW">
<Terminal connectivityNode="" substationName=""
voltageLevelName="" bayName="" cNodeName="">
.....
</TransformerWinding>
<TransformerWinding name="W3" type="PTW">
<Terminal connectivityNode="" substationName=""
voltageLevelName="" bayName="" cNodeName="">
.....
</TransformerWinding>
</PowerTransformer>
```

为三绕组变压器加入 SCL 信息后的显示效果如图 5 所示。

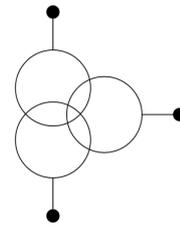


图 5 包含 SCL 信息的 PTR 图元

Fig. 5 PTR element contains SCL information

由图 5 可见, 为三绕组变压器图元添加了相应的 SCL 信息后, 图元的显示不受影响。

在 XMLSpy 中对扩展后的 SVG 文件进行验证, 验证结果显示本例在语法与格式上都是符合 SVG 规范的, 验证结果如图 6 所示。

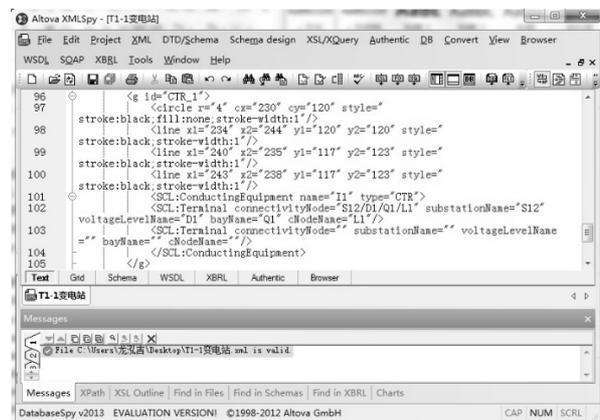


图 6 SVG 文件验证结果

Fig. 6 Validation results of SVG file

4 SVG 图形绘制与 SSD 文件生成

4.1 SVG 图形绘制

SVG 是作为网络应用的图形格式提出的, 它具

有天然的平台无关性,且 SVG 支持脚本语言。本文使用脚本语言对设计好的 SVG 基本图元进行封装,以实现对图元的各种编辑功能。

图元封装后,在图形绘制界面就可以根据变电站的需要选取相应图元,进行变电站一次接线图的绘制。一次接线图绘制好后,工程人员可直接在绘制好的一次接线图中选中相应图元,为其配置 SCL 信息,并可配置好的一次接线图储存为 SVG 文件。

工程人员通过软件绘制一次接线图的时序图如图 7 所示。

用软件绘制的 T1-1 变电站一次接线图如图 8 所示。

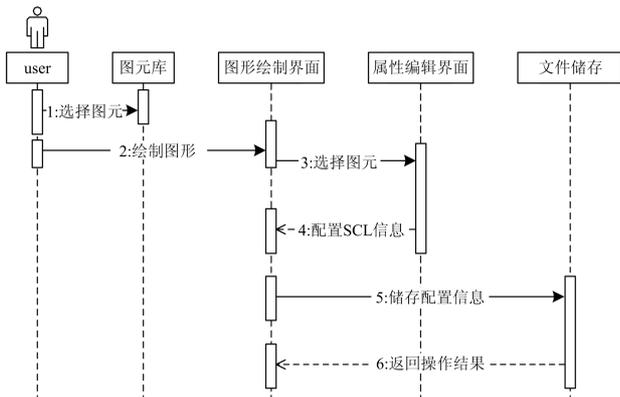


图 7 绘制图形时序图

Fig. 7 Sequence diagram of graphing

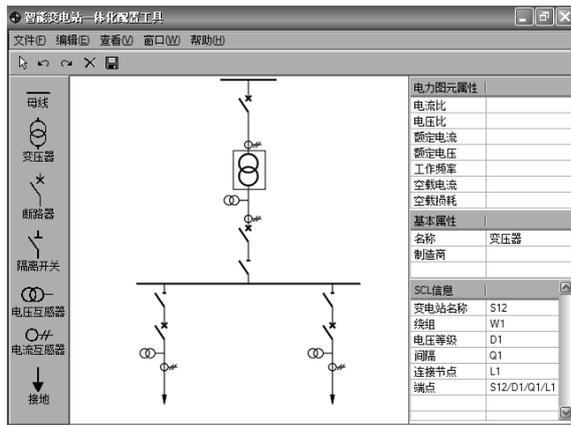


图 8 T1-1 变电站一次接线图

Fig. 8 Primary connection diagram of substation

绘制图形的过程中为图元配置了 SCL 信息,所以导出的 SVG 图形文件中已经包含变电站的 SCL 信息。导出的 SVG 文件中包含的部分 SCL 信息如下 XML 文件所示:

.....

```

<g substation_name="S12">
  <g voltagelevel="D1">
    <Voltage multiplier="k" unit="V">220</Voltage>
    <g bay="Q1">
      <LNode lnInst="1" lnClass="PDIS" ldInst="F1"/>
      .....
      <PowerTransformer name="T1" type="PTR">
        <LNode lnInst="1" lnClass="PDIF" ldInst="F1"/>
        <LNode lnInst="1" lnClass="TCTR" ldInst="C1"/>
        <TransformerWinding name="W1" type="PTW">
          <Terminal connectivityNode="S12/D1/Q1/L1"
            substationName="S12" voltageLevelName="D1"
            bayName="Q1" cNodeName="L1"/>
        </TransformerWinding>
        <TransformerWinding name="W2" type="PTW">
          <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q2/L3"
            substationName="S12" voltageLevelName="E1"
            bayName="Q2" cNodeName="L3"/>
        </TransformerWinding>
      </PowerTransformer>
      .....
    </g>
  </g>

```

由于本文定义的内部 DTD 文件严格符合 SCL Schema 的规定,所以导出文件中的 SCL 信息的格式良好,为 SSD 文件的生成打下很好的基础。

4.2 SSD 文件生成

图形绘制工具在完成一次接线图的绘制与配置后将图形储存为 SVG 文件,该文件中包含完整的 SCL 信息。将图形文件生成 SSD 文件实际上就转化为对 SVG 文件的遍历操作:首先按照 SCL Schema 规范和 SSD 文件的结构创建相应节点,然后把遍历操作得到的变电站相关 SCL 信息添加到创建的相应节点,完成 SSD 文件的生成^[12]。

5 结语

本文在研究智能变电站配置工具的过程中,针对 SSD 文件的生成问题,设计了一种基于 SVG 的 SSD 文件生成方法。文章深入研究 SVG 技术与 SCL 语言,采用编写内部 DTD 文件的方式实现 SVG 与 SCL 的结合,设计了包含完整 SCL 信息的设备 SVG 图元,可以在变电站一次接线图绘制的同时为设备配置相应的 SCL 信息,无需过多转换就可生成格式良好的 SSD 文件。本文设计的方法可增强配置工具的图形表述能力,降低对使用者 IEC 61850 专业知识的要求,简化 SSD 文件的生成过程,将 SCL 信息格式封装于图元内部,配置 SCL 信息时操作简

单, 不易出错, 工程应用方便, 为智能变电站的配置工作提供有益的参考。由于本文的方法要对含 SCL 信息的图元进行封装, 工程组态时内部 SCL 信息格式不便修改, 若标准更新或需增加图元, 只需要对更新或扩展部分重新设计与封装即可。

参考文献

- [1] 王珍珍, 孙丹. IEC 61850 配置文件测试的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(6): 95-98, 123.
WANG Zhenzhen, SUN Dan. Research on testing of IEC 61850 configuration files[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(6): 95-98, 123.
- [2] 何磊, 田霞, 韩永进, 等. IEC 61850 配置文件工程化测试探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(16): 147-150, 154.
HE Lei, TIAN Xia, HAN Yongjin, et al. Research on regular expressions and check of IEC 61850 model information[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(16): 147-150, 154.
- [3] 梅德冬, 樊瑞, 周斌. IEC 61850 模型信息的规则表达与校验研究[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.
- [4] 王凤祥, 方春恩, 李伟. 基于 IEC61850 的 SCL 配置研究与工具开发[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(10): 106-109.
WANG Fengxiang, FANG Chunen, LI Wei. Design of substation configuration tool based on IEC61850 standards[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(10): 106-109.
- [5] 王德文, 朱永利, 邸剑, 等. 一种改进的 SCL 系统配置工具[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(12): 75-79.
WANG Dewen, ZHU Yongli, DI Jian, et al. An improved SCL system configuration tool[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(12): 75-79.
- [6] 屈志坚, 刘明光, 陈秋琳, 等. 基于 SVG 和持久框架的 SCADA 图库一体化配置系统[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(8): 124-127.
QU Zhijian, LIU Mingguang, CHEN Qiulin, et al. SCADA graph-database configuration system based on SVG and persistence framework[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(8): 124-127.
- [7] 苗斌, 童晓阳, 郑永康, 等. 基于 IEC 61850 的智能变电站图形化系统配置器原型设计[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(7): 82-87.
MIAO Bin, TONG Xiaoyang, ZHENG Yongkang, et al. Prototype design of graphic system configuration tool for intelligent substation based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(7): 82-87.
- [8] 魏杰. 基于 SVG 及 IEC61850 的图形显示系统关键技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2010.
WEI Jie. The research of key technologies for graphic display system based on SVG and IEC 61850[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2010.
- [9] 纪陵, 蒋衍君, 施广德. 基于 SVG 的电力系统图形互操作研究[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(7): 105-109.
JI Ling, JIANG Yanjun, SHI Guangde. SVG-based graphics interoperability of electric power systems[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(7): 105-109.
- [10] 李浩, 陆歌皓, 刘宝龙. XML 及其相关技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.
- [11] Communication networks and systems for power utility automation-part6: configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs[S]. 2010.
- [12] 赵涵, 常弘, 刘晓晖, 等. 基于 IEC61850 的系统描述工具中的 SSD 文件生成算法[J]. 电工电能新技术, 2010, 29(1): 67-70.
ZHAO Han, CHANG Hong, LIU Xiaohui, et al. Algorithm of generating SSD documents in system description tool based on IEC61850[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2010, 29(1): 67-70.

收稿日期: 2015-01-28; 修回日期: 2015-02-10

作者简介:

唐昆明(1959-), 男, 副教授, 研究方向为电力系统保护与综合自动化等;

龙泓吉(1987-), 男, 通信作者, 硕士研究生, 研究方向为智能变电站. E-mail: xm912l@163.com

(编辑 周金梅)