

# IEC61850 SCL 配置工具的研究与实现

祁忠, 笃竣, 张志学, 王炎初

(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102)

**摘要:** IEC61850-6 部分规定了变电站配置描述语言 SCL(Substation Configuration Language), 用于对变电站系统结构、通信系统结构及 IED 功能配置进行统一的描述。简要介绍了 SCL 语言及其文件结构, 依据配置工具的功能特点, 采用 MVC 的设计模式设计系统架构, 详细介绍了 SCL 解析器、数据模型的构建、配置模板库及各个配置界面的实现方法。

**关键词:** IEC61850; 变电站配置描述语言; IED; SCL 配置工具

## Research and implementation of IEC61850 SCL configuration tool

QI Zhong, DU Jun, ZHANG Zhi-xue, WANG Yan-chu

(NARI-Relays Electric Co., Ltd, Nanjing 211102, China)

**Abstract:** Part 6 of IEC61850 defines a specified language which is called Substation Configuration description Language (SCL) for describing substation primary system structure, communication system configuration and IED function configuration. This paper simply explains SCL and the SCL file structure, based on the function of the configuration tool, using MVC design pattern, designs the system architecture, then introduces SCL parser, the constitution of the data model, the implementation of the configuration template and the user interface detailedly.

**Key words:** IEC61850; substation configuration language; intelligent electronic device; SCL configuration tool

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)07-0076-06

## 0 引言

IEC61850 是 IEC TC57 制定的关于变电站通信网络和系统的最新国际标准<sup>[1]</sup>, 具有信息分层、面向对象的统一建模、面向应用的数据自描述及与具体网络无关的抽象通信服务接口等特点, 能够实现变电站内不同制造厂商智能电子设备 (IED) 间的互操作和无缝集成, 并能适应未来网络技术的发展。为了实现 IED 间的互操作和无缝集成, IEC61850-6 部分规定了变电站配置描述语言 SCL(Substation Configuration Language), 用于对变电站系统结构、通信系统结构及 IED 功能配置进行统一的描述, 使得配置数据可以被不同的 IED 识别。

目前采用 IEC61850 标准的变电站自动化系统在我国逐步得到推广应用, 在工程的实施过程中, 一个很重要的工作是使用 SCL 对变电站系统和 IED 功能进行描述, 如果通过手工书写 SCL 文件来进行配置, 不但工作量大而且容易出错, 所以开发一套简单易用的可视化编辑工具, 可以大大减轻配置工作量, 加快工程实施进度。

## 1 SCL 介绍<sup>[2]</sup>

SCL 基于可扩展标记语言 XML (Extensible Markup Language) 1.0 版, 通过 XML Schema 规定了 SCL 文件的具体语法结构。IEC61850 标准使用了 8 个 Schema 文件, 分别为根文件 SCL.xsd, 变电站相关语法定义文件 SCL\_Substation.xsd, 通信相关语法定义文件 SCL\_Communication.xsd, IED 相关语法定义文件 SCL\_IED.xsd, 数据类型模板语法定义文件 SCL\_DataTypeTemplats.xsd, 基本复杂类型定义文件 SCL\_BaseTypes.xsd, 基本简单类型定义文件 SCL\_BaseSimpleTypes.xsd, 枚举类型定义文件 SCL\_Enums.xsd。这几个 Schema 文件, 确保了 SCL 配置文件的规范性和一致性。

从系统建模的角度看, SCL 描述了三种基本对象模型, 即变电站模型、IED 模型、通信模型。变电站模型和 IED 模型是层次结构模型, 通信模型是非层次结构模型。从 SCL 文件结构的角度看, SCL 文件包含一个 SCL 根元素, 根元素由五个部分组成, 分别为头部分 (Head)、变电站部分 (Substation)、智能电子设备部分 (IED)、通信系统部分

(Communication)、数据类型模板部分(DataTypeTemplates),每一部分都有详细严格的定义。头部分描述了SCL文件的版本、修订号、名称影射等信息,变电站部分描述了变电站的功能结构、一次设备及拓扑关系,智能电子设备部分描述了IED的配置信息,包括访问点、逻辑装置、逻辑节点实例、数据集、数据实例及提供通信服务的能力,通信系统部分描述了逻辑节点之间通过逻辑总线和IED访问点的连接关系,数据类型模板部分描述了逻辑节点类型、数据对象类型、数据属性类型及枚举类型。如图1为SCL的文件结构示意图。

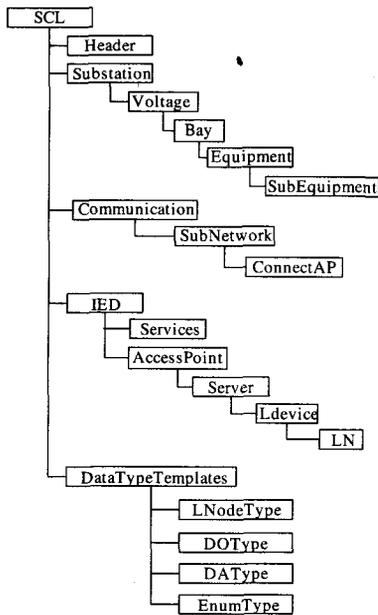


图1 SCL文件结构示意图

Fig.1 Sketch map of SCL file architecture

## 2 系统设计<sup>[3~5]</sup>

SCL配置工具主要有两大功能,其一是实现对SCL文件的解析,其二是提供一个可视化的界面实现对SCL文件的编辑。本文根据MVC(Model-View-Control)模式的设计思想,同时为了简化系统架构,把View与Controller合并在一起,设计成Model/View的两层结构。SCL配置工具系统架构如图2所示。视图层代表与用户交互的界面,包括树形视图界面,属性编辑界面,变电站配置界面。模型层代表了与配置工具有关的数据对象,包括文档结构树,语法结构树,配置模板库。树形视图显示SCL文件的层次结构,通过对树的操作实现对SCL文档元素的增加、删除。属性编辑界面用二维表格显示SCL元素的属性列表,用户可以修改

SCL文档元素的属性值。变电站配置界面用图形化的方式显示和设计变电站的一次系统结构。

采用Model/View两层结构,实现了数据存储与用户界面进行分离,使得同一数据模型可以在不同的View上显示,同时也可以实现改变View,而不必改变底层的数据结构。

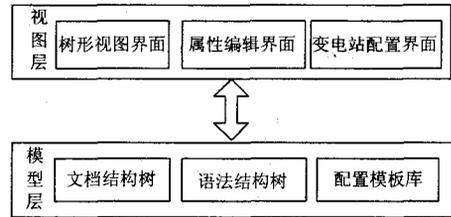


图2 SCL配置工具架构

Fig.2 System architecture of SCL configuration tool

## 3 SCL配置工具的实现

### 3.1 软件框架

SCL配置工具软件框架如图3所示。首先SCL解析器通过解析IEC61850-6标准定义的SCL Schema文件,创建SCL语法结构树,SCL语法结构树规定了元素的层次关系及元素类型定义,明确了元素具有哪些属性、哪些子元素,通过SCL语法结构树规范SCL文件创建过程。其次SCL解析器通过解析SCL文件,生成SCL文档结构树。树形编辑界面显示SCL文档结构树,通过对树节点的增加、删除,来实现对SCL文档的操作。属性编辑界面显示SCL元素的属性列表,实现对SCL元素属性的编辑。变电站编辑界面用于绘制变电站系统的一次接线图,从而生成变电站信息模型,实现了图形和模型的有机结合。界面控制用于实现树形编辑界面、属性编辑界面、变电站编辑界面之间消息同步。另外配置模板库包含了IEC61850-7-x标准模型以及厂家扩充模型,用户在建模时,可以标准配置模板库中挑选模型,也可以从厂家扩展配置模板库中挑选模型。

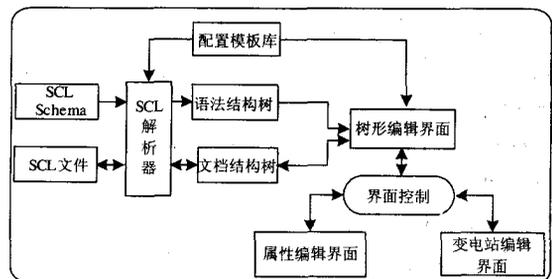


图3 软件框架图

Fig.3 Diagram of software frame

考虑到软件的可复用性、跨平台性和可移植性,本工具采用面向对象的软件分析和设计方法,使用 Xerces 作为 SCL 解析器,使用 QT3.3.2 来实现用户界面。

### 3.2 SCL 解析器

Xerces 是由 Apache 组织所推动的一项 XML 文档解析开源项目,它目前有多种语言版本包括 JAVA、C++、PERL、COM 等。本文选用 Xerces C++。Xerces C++ 是一个非常健壮的、支持模式验证的解析器,提供了基于文档对象模型(Document Object Mode DOM)的分析器, SAX2 (Sample API For XML2.0) 分析器。DOM 是一种基于树形结构的解析器,把 XML 文档转化为内存中的一棵树,可以对树节点进行遍历、增删、编辑等。SAX 是一种基于事件的模型解析器,在解析 XML 文档的时候可以触发一系列的事件。应用程序只要关联 Xerces C++ 提供的一个共享动态库,就可以通过 DOM 或 SAX2 API 来分析、操作、生成、验证 XML 文档。Xerces 还提供了对 XML 文档进行 Schema 校验的功能。

### 3.3 构建数据模型

为了便于对 SCL 文档进行编辑和保存,本文使用 DOM API 来解析 SCL 文档,在内存中建立文档结构树,通过对树节点的增加、删除、编辑,来实现对 SCL 文档的操作。编辑完成后,通过 DOM API,又可以方便地把文档树结构保存为 SCL 文件。文档树结构体现了 SCL 元素之间的父子层次关系,但是没有规定树节点具体含义,树形编辑界面也就无法正确地对文档结构树进行操作。如何定义每个树节点具体含义呢?通常的做法是根据 Schema 的定义,预先定义好模板类,比如根节点 CSCLNode、变电站节点 CSubstationNode、IED 节点 CIEDNode 等等,模板类体现了对应的元素、元素类型定义以及对元素的可能操作,但是 SCL 的 Schema 定义了几百个类,类与类之间又有继承和聚合关系,如果每一个类都对应一个具体模板类,就需要定义几百个模板类,结构复杂,工作量大,并且不能适应 Schema 的变化。本工具通过解析 Schema 文件,构建语法结构树来解决这个问题。

Xerces C++ 提供了对 XML Schema 文件进行解析的功能。本文使用具有语法缓冲功能的 SAX2 API 解析 XML Schema,在内存中建立 SCL 语法结构树。SCL 语法结构树规定了元素的层次关系及元素类型定义,明确了元素具有哪些属性、哪些子元素。

通过解析 SCL 文档和 Schema 文件建立数据模

型,数据模型中涉及到的主要类如图 4 所示。使用文档类 SCLDocument、一般元素类 SCLGeneralElement、属性类 SCLAttribute 类构建文档结构树,使用语法池 SCLGrammarPool、元素类型定义类 SCLElementType、属性类型定义类 SCLAttributeType 构建语法结构树。元素声明类 (XSElementDeclaration)、类型定义类 (XSTypeDefinition)、复合类型定义类 (XSComplexTypeDefinition)、简单类型定义类 (XSSimpleTypeDefinition) 是 SAX2 API 中关于 Schema 解析的相关类。为了避免频繁的检索语法结构树,提高效率,为文档结构树中的每个 SCLGeneralElement 对象关联一个 SCLElementType 对象,通过 SCLElementType 对象以及 XSElement 区域性 Declaration 对象来确定元素的具体含义和元素类型定义,从而避免了定义大量的模板。

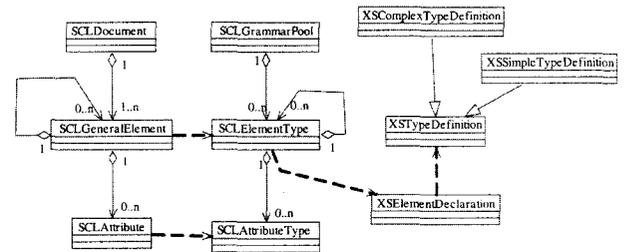


图 4 数据模型类图

Fig.4 Class diagram of data model

### 3.4 构建配置模板库

IEC61850-7 部分定义了公共属性类型、公共数据类型和逻辑节点类型。逻辑节点类型定义了逻辑节点包括哪些数据、数据的类型、数据是可选还是强制的等。公共数据类型定义了数据包含哪些属性、功能约束、触发条件等。我们用 XML 文件来表示 IEC61850 的所有逻辑节点和公共数据类型,构建 IEC61850 标准配置模板库。用户在做配置时,可以直接从模板库中挑选相应的逻辑节点类型,生成逻辑节点实例,也可以按照需要从模板库挑选公共数据类型,组合成新的逻辑节点类型或数据类型。

IEC61850-7 部分定义的公共数据类型和逻辑节点类型包含了变电站自动化系统涉及到的大部分数据,但各个制造厂商的 IED 装置各不相同,有些设备信息在 IEC61850-7 部分没有定义。制造厂商通常都会对 IEC61850 模型进行必要的扩展,来满足对装置建模的需要。我们对制造厂商扩充后的公共数据类型和逻辑节点类型也用 XML 文件来表示,构建厂家扩展配置模板库。用户在建模时,可以从标准配置模板库中挑选模型,也可以从厂家扩展配

置模板库中挑选模型。下面用一段 XML 文件, 描述南瑞继保公司配置模板库中的逻辑节点 PTOC 的模型。

```
<LNodeType id="NRR_PTOC_OC" InClass="PTOC">
  <DO name="Mod" type="NRR_INC_Mod" desc="Mode"/>
  <DO name="Beh" type="NRR_INS_Beh" desc="Behaviour"/>
  <DO name="Health" type="NRR_INS_Health" desc="Health"/>
  <DO name="NamePlt" type="NRR_LPL" desc="Name Plate"/>
  <DO name="Str" type="NRR_ACD" desc="Start "/>
  <DO name="Op" type="NRR_ACT" desc="Operate "/>
  <DO name="StrVal" type="NRR_ASG_SG"/>
  <DO name="OpDITmms" type="NRR_ING_SG"/>
  <DO name="PTOCena" type="NRR_SPG_SG"/>
  <DO name="PTOCSoftEna" type="NRR_SPC"/>
</LNodeType>
```

### 3.5 树形编辑界面的实现

树形编辑界面采用继承于 QT 的 QListView 的对象来显示数据模型中的文档结构树。为了便于分类显示, 把树节点元素所有可能出现的子元素类型先添加到该节点下。通过对树节点的操作, 来实现对 SCL 元素的选择、增加、删除。在向树节点增加子节点时, 要根据父节点相应元素的类型定义, 来约束添加子元素的类型。比如 Substation 节点下, 只能添加电压等级对象、变压器对象、逻辑节点对象、功能对象等。树形编辑界面实现中用到的两个重要类是继承于 QListView 的 SCLViewTree 类和继承于 QTreeWidgetItem 的 SCLViewItem 类, 通过创建 SCLViewTree 对象建立树形视图, 通过创建 SCLViewItem 对象建立树节点。下面的代码片段实现了树的创建过程。

```
//创建树形视图函数
void SCLViewTree::Create()
{
  //获取文档树对象
  SCLDocument*pDoc= ::GetDocument();
  //得到文档树的根节点
  SCLElement* pRootEle = pDoc->Root().first();
  //创建树根节点
  SCLViewItem*pRootItem=new SCLViewItem( this,
pRootEle->GetName() );
  //设置根节点关联数据
  pRootItem->SetData(pRootEle,pRootEle->pType );
  //创建子节点
  pRootItem->CreateChildItem();
}
//递归创建子节点函数
```

```
void SCLViewItem::CreateChildItem()
{
  //树子节点列表
  QPtrList<SCLViewItem> childs;
  //得到当前树节点元素对象
  SCLElement* pEle = Element();
  //得到元素类型对象
  SCLElementType* pEleType = Type();
  //把树节点元素所有的子元素类型先添加到该节点下
  for(SCLElementType* pChildType = pEleType->FirstChild(); pChildType;
pChildType = pEleType->NextChild() )
  {
    SCLViewItem* pTypeItem = new SCLViewItem( this,
pChildType->GetName() );
    pTypeItem->SetData( NULL, pChildType );
    //在子元素类型节点下, 创建树节点元素的子元素节点
    SCLElement* pChildEle = NULL;
    for( pChildEle = pEle->GetFirstChild(); pChildEle; pChildEle =
pEle->GetNextChild() )
    {
      if(pChildEle->pType == pChildType )
      { //创建子元素节点
        SCLViewItem* pChildItem = new
SCLViewItem( pTypeItem, pChildEle->GetName());
        pChildItem->SetData(pChildEle, NULL);
        childs.append(pChildItem);
      }
    }
  }
  //递归创建子节点
  for(SCLViewItem* pChildItem = childs.first(); pChildItem;
pChildItem = childs.next() )
  pChildItem->CreateChildItem();
}
```

### 3.6 属性编辑界面的实现

属性编辑界面用 QT 的二维表格 QTable 对象来显示当前选中元素的属性列表。二维表格有两列, 第一列显示属性名, 第二列显示属性值, 用户可以在第二列上编辑属性值。通过解析 Schema 文件, 可以获取属性的类型和值的范围。对于枚举类型的属性, 提供一个列表选择框, 列出所有枚举值, 用户从中选择一个枚举值; 对于其他类型的属性, 用户通过文件编辑框输入属性值, 工具可以对输入值的有效性进行校验。属性编辑界面是与树形视图界面紧密结合在一起, 当用户在树形视图上选择不同的 SCL 元素时, 属性编辑界面相应的改变属性列

表。

### 3.7 变电站配置界面的实现

在变电站配置界面上，通过图形化的操作，绘制变电站一次接线图，配置逻辑节点和变电站的功能关联，建立变电站模型。根据 IEC61850-6 的定义，配置工具需要提供以下几种基本图元，包括开关图元、刀闸图元、变压器图元、电压互感器图元、电流互感器图元和其他一些常用设备图元。用户通过拖拉的方式，增加各种设备图元，通过在不同图元的端点间画连接线，建立一次系统拓扑关系。

变电站配置界面主要类的关系如图 5 所示。每个设备图元都设计成一个图元类，一个设备元件对应一个图元对象，比如开关图元类 SCLGraphCBR。每个图元类具有位置、大小、端点等属性和绘制、移动、删除、缩放等方法。为了体现变电站层次结构，设计了电压等级图元类 SCLGraphVoltage、间隔图元类 SCLGraphBay。电压等级图元是一个个矩形框，电压等级图元包含该电压等级下的所有间隔图元，间隔图元包含该间隔内的所有设备图元。考虑到这些图元具有的共性，抽象出这些图元的公共基类 SCLGraphBase。SCLGraphBase 继承于 QT 的 QCanvasPolygonalItem 类，SCLGraphBase 的虚函数 drawShape() 在每个子类中实现，完成不同图元形状的绘制。每个 SCLGraphBase 对象都引用一个 SCLElement 对象，表示图元对应的 SCL 元素。每个 SCLGraphBase 对象包含有 0 到 3 个 SCLGraphNode 端点对象。

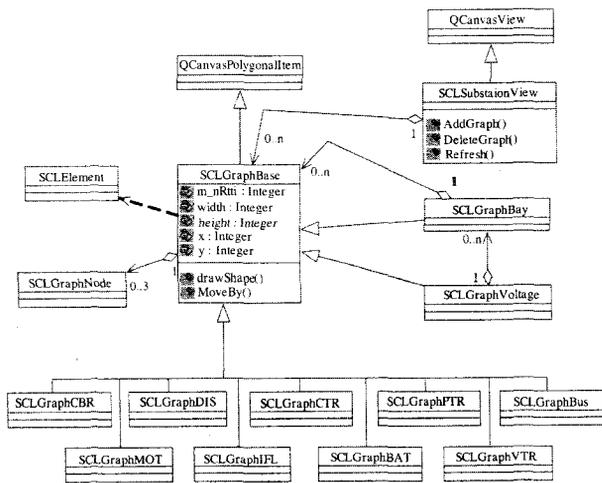


图 5 变电站配置界面类图

Fig.5 Class diagram of substation configuration interface

所有这些图元都显示在变电站视图类 SCLSubstationView 上。SCLSubstationView 类继承于 QT 的 QCanvasView 类，重实现了 contentsMouse

PressEvent、contentsMouseRelease Event、contentsMouseMoveEvent、contentsContextMenuEvent 等鼠标事件函数，以响应用户的各种操作，实现图元的增加、删除、移动、连接，完成变电站一次接线图的绘制。

为了保存变电站一次接线图上的坐标信息，本工具利用 IEC61850-6 的扩展语法，为电压等级、间隔、变压器、设备等元素增加坐标属性定义  $sxy:x$  和  $sxy:y$ 。

### 3.8 控制类的实现

上述提到的三种配置界面不是孤立的，而是相互关联、相互影响的。比如用户在树形视图上的间隔节点下增加一个开关设备，那么变电站配置界面的间隔图元内要自动增加一个开关设备图元，同样的，如果在变电站配置界面上增加一个开关设备图元，树形视图要自动增加一个开关设备节点。又比如，用户在属性编辑界面中更改了元素的属性，这种更改要同时反映到树形视图、变电站配置界面上。

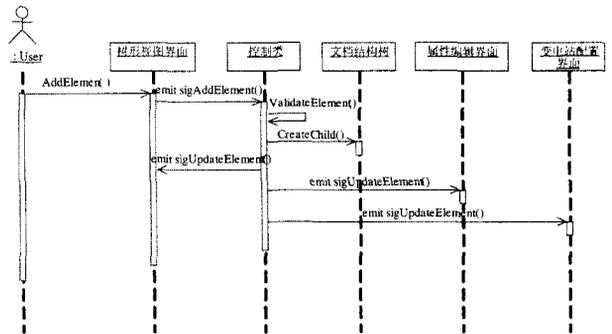


图 6 添加元素操作序列图

Fig.6 Sequence diagram of adding element

为此，设计了控制类 SCLDocControl 来实现这些功能。用户在界面上的任何操作，都要发送消息通知控制类，由控制类来更改文档结构树，如果更改成功，控制类向所有界面发送文档元素发生改变的消息，各个界面接受消息并做出相应的改动。如图 6 为用户从树形视图添加 SCL 元素的操作序列。为了使控制类具有消息接收和发送的功能，我们让控制类 SCLDocControl 继承 QT 的 QObject 类，利用的 QT 的“信号和槽”的机制，调用 connect 函数，建立消息与消息处理函数的对应关系。

## 4 SCL 配置工具的应用

本文实现的 SCL 配置工具已经应用到实际工程中，既可以作为 IED 配置工具使用，生成 ICD、CID 文件，也可以作为系统配置工具使用，生成

SSD、SCD 文件。由于本工具采用解析 Schema 文件生成语法结构树来得到元素定义, 具有较好的灵活性和通用性, 在制作山东省保护信息系统工程配置文件时, 体现了这一点。山东省的《继电保护及故障信息系统通信接口规范》中对 IEC61850-6 的 SCL 进行了扩展, 如对一次资源对象元素以及 IED 元素扩展一个 uri 属性<sup>[6]</sup>, 本工具不用修改任何程序, 只要指定使用山东省保护信息系统的 Schema 文件, 就能自动改变树形视图的层次结构和属性编辑界面, 生成符合其规范的配置文件。

## 5 结语

在实际使用过程中, 本工具还有一些不足的地方。IEC61850 中一些重要的配置如 GOOSE 配置、报告控制块配置、采样控制块配置等, 使用本工具配置时先要在树形视图上添加节点, 再在属性编辑界面中设置属性, 这种方式不够方便, 也不够直观。下一步要分析和研究通过图形化的方式来实现这些重要的配置, 进一步提高配置工具的实用性和易用性。

## 参考文献

- [1] 谭文恕. 变电站通信网络和系统协议 IEC61850 介绍[J]. 电网技术, 2001, 25(9): 8-15.  
TAN Wen-shu. An Introduction to Substation Communication Network and System-IEC61850[J]. Power System Technology, 2001, 25(9): 8-11.
- [2] Ray P S, Duttgupta P B, Bhakta P. Coordinated Multi-machine PSS Design Using both Speed and Electric Power[J]. IEEE Proceedings of Gener, Transm and Distrib, 1995, 142(5): 503-510.
- [3] 蒋铁铮, 陈陈, 曹国云. 同步发电机励磁非线性预测控制技术[J]. 控制与决策, 2005, 20(4).  
JIANG Tie-zheng, CHEN Chen, CAO Guo-yun. Nonlinear Predictive Control of Synchronous Machine Excitation[J]. Control and Decision, 2005, 20(4).
- [4] 于少娟. 迭代学习控制理论及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.  
YU Shao-juan. Iterative Learning Control Theory and Applications[J]. Beijing: China Machine Press, 2005.
- [5] 徐敏, 林辉. 基于 PSB 的迭代学习励磁控制的仿真研究[J]. 计算机工程, 2005, 31(20): 13-21.  
XU Min, LIN Hui. Simulation Research of Iterative Learning in Excitation Control Based on PSB[J]. Computer Engineering, 2005, 31(20): 13-21.
- [6] 兰州, 甘德强, 倪以信, 等. 电力系统非线性鲁棒自适应分
- [2] IEC/TC57, IEC 61850 Communication Networks and Systems in Substations[J]. 2004.
- [3] 樊陈, 陈小川, 马彦宇, 等. 基于 IEC61850 的变电站配置研究[J]. 继电器, 2007, 35(8): 41-44.  
FAN Chen, CHEN Xiao-chuan, MA Yan-yu, et al. Research of Configuration About Substation Based on IEC61850[J]. Relay, 2007, 35(8): 41-44.
- [4] 李蓓, 沐连顺, 苏剑, 等. 基于关系模型映射的 IEC61850 SCL 配置器建模[J]. 电网技术, 2006, 30(10): 94-98.  
LI Bei, MU Lian-shun, SU Jian, et al. Modeling of IEC61850 SCL Configurator Based on Relational Model Mapping[J]. Power System Technology, 2006, 30(10): 94-98.
- [5] Erich Gamma Richard Helm 等. 设计模式-可复用面向对象软件的基础[M]. 李英军, 等译. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [6] 山东省电力调度中心继电保护及故障信息系统通信与接口规范[S].

收稿日期: 2008-05-16; 修回日期: 2008-07-04

作者简介:

祁忠 (1977-), 男, 工程师, 主要从事变电站自动化系统的研究和开发工作; E-mail: qizhong@nari-relays.com

笃峻 (1975-), 男, 工程师, 主要从事变电站自动化系统的研究和开发工作;

张志学 (1974-), 男, 工程师, 主要从事变电站自动化系统的研究和开发工作。

(上接第 44 页 continued from page 44)

- [2] Ray P S, Duttgupta P B, Bhakta P. Coordinated Multi-machine PSS Design Using both Speed and Electric Power[J]. IEEE Proceedings of Gener, Transm and Distrib, 1995, 142(5): 503-510.
- [3] 蒋铁铮, 陈陈, 曹国云. 同步发电机励磁非线性预测控制技术[J]. 控制与决策, 2005, 20(4).  
JIANG Tie-zheng, CHEN Chen, CAO Guo-yun. Nonlinear Predictive Control of Synchronous Machine Excitation[J]. Control and Decision, 2005, 20(4).
- [4] 于少娟. 迭代学习控制理论及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.  
YU Shao-juan. Iterative Learning Control Theory and Applications[J]. Beijing: China Machine Press, 2005.
- [5] 徐敏, 林辉. 基于 PSB 的迭代学习励磁控制的仿真研究[J]. 计算机工程, 2005, 31(20): 13-21.  
XU Min, LIN Hui. Simulation Research of Iterative Learning in Excitation Control Based on PSB[J]. Computer Engineering, 2005, 31(20): 13-21.
- [6] 兰州, 甘德强, 倪以信, 等. 电力系统非线性鲁棒自适应分
- 励磁控制设计[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(17): 1-5.
- LAN Zhou, GAN De-qiang, NI Yi-xin, et al. Decentralized Nonlinear Robust Adaptive Excitation Control Design for Power Systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(17): 1-5.
- [7] Bien Z, Huk K M. Higher-order Iterative Control Algorithm[J]. IEEE Proceedings Part D: Control Theory and Applications, 1999, 136(3): 105-112.
- [8] Kuc T Y, Lee J S, Nam K. An Iterative Learning Control Theory for a Class of Nonlinear Dynamic Systems[J]. Automatica, 2000, 36: 717-725.

收稿日期: 2008-12-01; 修回日期: 2008-12-26

作者简介:

于少娟 (1971-), 女, 副教授, 硕士生导师, 博士, 研究方向为智能控制(学习控制)及其在电力电子传动方向的应用。E-mail: yushao66@public.ty.sx.cn