

智能变电站中基于 CAD 的图形化模型设计 软件开发方案

林 俊, 胡华威

(江苏西电南自智能电力设备有限公司, 江苏 南京 211100)

摘要: 提出由设计院完成智能变电站模型和站内数据流的设计,做到站内数据源统一且唯一。为实现该设计方式,同时简化设计人员工作,制定了图形化模型设计软件的开发方案。方案采用 AutoCAD 的 ActiveX Automation 技术进行二次开发,软件分为图形编辑模块和模型编辑模块,将 IEC61850 模型文件与 CAD 图形相关联,在 CAD 的图块中增加建模所需的扩展属性,通过 XML 数据库在模型文本和图形文件间交换模型信息,以提高访问和搜索模型的速度。使用绘图加定义属性值的方式最终完成图纸和模型的双重设计。

关键词: 智能变电站; IEC61850; CAD; 数据库; 模型; 设计

中图分类号: TM 764; TM 711; TM 73

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2012)09-0142-07

0 引言

随着智能电网建设的开展,越来越多的变电站采用智能化方案进行建设,IEC61850 标准体系与智能变电站建设的全过程结合愈加紧密。在 IEC61850 中详细规定了智能变电站中数据流的产生和传输过程,采用建模的方式描述变电站一、二次系统的设备能力和接线方式,以变电站配置描述语言 SCL (Substation Configuration description Language)为基础,采用可扩展标记语言 XML(eXtensible Markup Language)格式的模型文件作为各类装置和系统信息交互的平台^[1]。

工程中常用的模型工具软件有 2 种:智能电子设备 IED(Intelligent Electronic Device)装置配置工具和系统配置工具。实际工程中由 IED 制造商采用装置配置工具建立 IED 能力描述 ICD (IED Capability Description) 模型文件,由变电站自动化系统 SAS (Substation Automation System)集成商采用系统配置工具根据变电站的主接线图配置系统规范描述 SSD(System Specification Description)模型文件,然后根据变电站的一、二次系统原理图配置变电站配置描述 SCD(Substation Configuration Description)模型文件^[2],并在 SCD 文件中以虚端子的方式体现系统的数据流连接。

在采用 IEC61850 标准体系建设的变电站中,模型文件的交互贯穿在设计、调试、施工、验收的整个建设过程中,以 SCD 文件作为变电站的信息数据源,

建立变电站全景信息模型,实现信息共享。现有的变电站中除了 SCADA 系统外还有继电保护故障信息系统、相量测量单元(PMU)、在线监测系统、配电管理系统(DMS)等各类子系统,它们都要从 SCD 中订阅各自所需的信息,因此在站内必须要保证模型文件的规范和系统信息的统一,同时应保证 SCD 文件是站内唯一的信息数据源^[3]。鉴于此,本文提出一种基于 AutoCAD 的智能变电站图形化模型设计软件的开发方案作为系统配置工具。

1 软件的功能需求

1.1 现有设计方式的缺点

在现有的智能变电站工程中,设计方式和原有的常规变电站基本一致,由 IED 制造厂商提供装置原理图和组屏图,由设计院根据工程规划绘制一、二次系统接线图和网络接线图等工程图纸。在调试、施工时无论是装置配置工具、系统配置工具还是工程的配置工作多由设备制造厂商完成,其中系统配置一般由后台监控系统厂商完成并提供 SCD 文件。这种设计方式的弊端是:

a. 严重依赖设备厂商,在设计、施工、调试、维护过程中都必须有厂商参与,由厂商提供各类配置工具,工具缺乏通用性,对工程的参与人员要求比较高,综合人力成本高,基本上由集成商掌握联调工作进度和工程进度;

b. 多次进行信息人工输入,由于站内可能存在多个子系统,由监控厂家作为系统集成商配置的 SSD 和 SCD 模型需要提供给各子系统使用,而各子系统的要求可能不同,由一个厂商负责修改全站配置信息不利于工作的协调,且难以保证模型的一致性,各系统

收稿日期:2011-05-23;修回日期:2012-07-23

发明专利:基于 CAD 的图形化智能变电站模型设计方法 (CN101989312A)

厂商修改维护需要十分小心;

c. 变电站改扩建不便利,由于系统集成由设备厂商完成,改扩建时若更换厂商,则原有的配置继承非常有限。

1.2 理想的设计方式

理想的智能变电站设计,由第三方设计院承担部分系统集成商的职责,在设计中除了完成常规的一、二次接线图外,还需要根据各设备厂商提供的 ICD 模型文件及变电站一、二次设备的配置原理完成完整的全站数据模型配置和变电站的数据流连接,完整的数据模型包括反映一次接线的 SSD 文件和包含 SSD、ICD 及数据流配置的 SCD 文件,数据流连接包括通用面向对象的变电站事件 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event)和采样值 SV(Sampled Values)的虚端子连接^[4-5],真正做到变电站中只输入一次信息、通过交互的方式实现信息的共享,在设计层面上完善和实现智能变电站的开放性。

1.3 软件的功能需求

图形化模型设计软件需要满足理想的智能变电站设计需求,符合设计人员的使用习惯,降低设计人员对 IEC61850 标准体系理解的要求,尽可能自动将工程中原有的自然语言如图纸、码表、口头交流等技术转化为采用 SCL 的计算机语言模式,使设计人员既能完成常规图纸的设计,又能在此基础上完成全站信息数据源的设计,其主要功能如下。

a. SSD 一次系统建模。软件根据 IEC61850-6 定义的一次设备装置类型建立图元,图元中包含建模时所需属性,如连接端子数、设备名称、类型代码等^[1],表 1 为部分设备类型及所需属性。

表 1 部分一次设备装置类型代码
Tab.1 Part of primary device type codes

| 类型代码 | 含义 | 连接端子数 |
|------|-----------|-------|
| CBR | 断路器 | 2 |
| DIS | 隔离开关或接地开关 | 2 |
| VTR | 电压互感器 | 1 |
| CTR | 电流互感器 | 2 |
| PTW | 变压器绕组 | 1 |
| PTR | 变压器 | 由绕组决定 |

绘制主接线图时给每个具体的图元添加必要的属性值,接线图绘制好后,自动根据接线关系生成 SSD 模型文件。

b. SCD 二次系统集成。设计人员首先绘制二次系统的网络结构图,为网络上的每个 IED 图元导入一个 ICD 模型,并配置好相应的设备名称、通信地址等信息^[6],软件根据 ICD 文件自动生成虚端子图;然后设计人员根据二次回路的设计要求,在二次设备的虚端子图上进行连线操作,软件自动生成虚端子的关联模型并添加到 SCD 中。

c. SCD 全站系统集成。在绘制好的变电站主接

线图上导入 SCD 二次系统集成文件,软件根据定义好的 IED 名称,自动寻找需要关联的一、二次模型文本段落,采用向导式的方法完成二次设备逻辑节点与一次设备的关联,完成全站系统集成。

2 软件的开发方案

为满足软件的功能需求,设计软件采用 AutoCAD 二次开发的方式,将建模与 CAD 图纸设计绑定,通过绘图和定义图元属性值的方式帮助设计人员自动完成建模工作,同时借助于数据库存储 XML 数据,提高模型信息的访问、搜索速度。

在 AutoCAD 中分别开发:图形编辑模块,用于绘制常规图纸和扩展属性定义功能;模型编辑模块,用于最终生成模型文件,支持文件的导入、导出、编辑和校验等高级功能。2 个模块通过访问数据库接口,完成模型信息的共享操作,图 1 所示为软件的总体方案图。

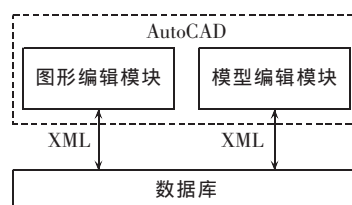


图 1 软件的总体设计方案

Fig.1 Overall scheme of software design

2.1 软件所需关键技术

2.1.1 AutoCAD 的 ActiveX Automation 技术

AutoCAD 是一种结构高度开放的图形绘制平台软件,提供给用户一个功能强大的二次开发环境。从 AutoCAD R14 版本起,AutoCAD 引入了 ActiveX Automation 技术,图 2 所示为 ActiveX Automation 开发结构,VC、VB、Java 等各种面向对象的编程环境下的语言 and 应用程序可通过 ActiveX Automation 与 AutoCAD 进行直接通信,并操纵 AutoCAD 的多种功能,完成图形的绘制和属性的编辑^[7]。

用户通过 ActiveX Automation 访问 AutoCAD 开放的各级对象,包括 Application 对象(AutoCAD 本身)、优先设置(Preferences)对象和文档(Document)对象等,其中 Application 对象处于最顶层,是 AutoCAD

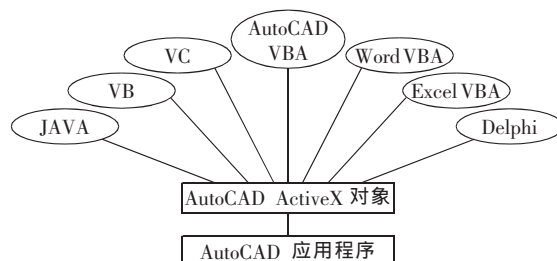


图 2 ActiveX Automation 开发结构

Fig.2 Development structure of ActiveX Automation

ActiveX Automation 对象模型的根对象,如图 3 所示,所有其他对象都是该对象的派生,都要直接或间接通过该对象来获得,且各个对象的获得都需一层一级地进行。

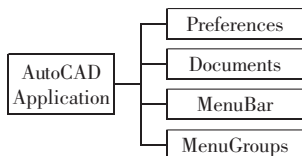


图 3 程序对象

Fig.3 Program objects

Application 对象是 ActiveX 接口的外部对象,它的所有方法和属性对于外部空间都是可用的,用户可以从访问任何一个对象及其属性和方法,从而控制 AutoCAD 进行图形的绘制,并将图形中的属性导出到外部数据库中。

ActiveX Automation 技术使得在 AutoCAD 中开发图形编辑模块和模型编辑模块更加容易,既可以调用 AutoCAD 的编程接口直接访问 AutoCAD 的图形数据,也可以调用外部的 XML 解析程序接口,简化了图形的扩展属性编辑和 IEC61850 模型的编辑,还可通过数据库连接接口共享数据库^[8]。

2.1.2 基于 XML 的 AutoCAD 属性编辑

XML 是互联网联合组织(W3C)创建的一组规范,是为了解决计算机之间传输和交换文档的问题,它包括一组技术。XML 是标准通用标记语言 SGML (Standard Generalized Markup Language)的子集,但它克服了 SGML 描述信息的复杂性、SGML 文档在网络上传输的庞大性和超文本标记语言 HTML (HyperText Transfer Protocol)描述信息的不易扩充性。当然,XML 继承了 SGML 与系统无关和平台独立的特性,也具有 HTML 的简单性。XML 能够结构化地描述信息,具有清楚表达信息的能力^[9]。XML 不但定义了描述文档的组织形式,也定义了对文档校验约束的形式(如 IEC61850-6 标准所描述的 SCL 就是以 XML 格式存储的),同时还定义了一套 Schema 校验体系^[10],保证文本的语法和约束。

AutoCAD 中定义的扩展属性需要按照 IEC 61850-6 的要求来编辑。图块的扩展属性为每个独立设备的属性,通过 AutoCAD 的二次开发,可以将所有属性按 XML 的文件格式输出保存^[11],降低图形编辑模块、数据库、模型编辑模块间的数据转换开销,同时,Schema 校验技术能够保证在图形化关联错误时提示异常信息。图 4 为基于 XML 的 AutoCAD 属性输出。

2.1.3 基于数据库的 XML 存储技术

在智能变电站的设计应用中,若直接对 XML 文本进行编辑,不利于图形界面的开发,因此需借助数

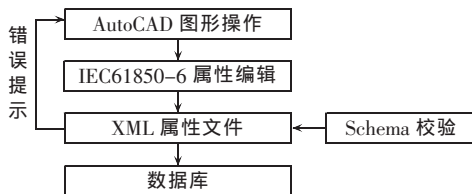


图 4 基于 XML 的 AutoCAD 属性输出

Fig.4 AutoCAD attribute output based on XML

据库的方式对 XML 数据进行存取和操作,将半结构化数据转化为结构化数据,通过查询数据库来提取、综合和分析 XML 文档的数据^[12]。

XML 数据本身的树形结构不同于关系模型中的二维表结构,这种差别在数据库处理 XML 数据的技术上主要表现为:直接将 XML 文本文件作为存储单元,用户只用 XML 文档存取数据,简称为 NXD (Native XML Database);利用在原有关系型数据库基础上扩充的处理 XML 的模块,将 XML 文本格式的目标数据按规则拆分并分别存入传统的二维表,当用户读取数据时通过执行内嵌功能模块将数据进行重组,从而返回原本的 XML 格式数据,简称为 XED (XML Enabled Database)^[13]。使用 XED 时需要将 ICD、SCD 等文件分解为规则的二维表,在建立数据库时需要详细的分解模型文件结构,否则容易造成文件与数据库在转换过程中的信息丢失,影响系统集成质量,而 NXD 应用的是层次数据存储模型,它保持了 XML 文档的树型结构并省去 XML 文档和传统数据库之间的数据转换过程,保证了文件的正确性,但是在实际应用中解析整个 XML 文件通常需要将文件读入内存,构建文档对象模型 DOM (Document Object Model)树,当 XML 文件较大时,整个解析过程用时较长,在软件处理时可以采用分层次解析的方法,尽量缩短解析时间。

基于数据库的 XML 存储技术,使得图形编辑模块和模型编辑模块都能够从数据库中获得需要的信息,如图形编辑模块所需要的扩展属性和模型编辑模块对模型的导入、导出、编辑等各类操作。

2.2 软件的实现

2.2.1 图块编辑功能

该功能主要完成图块编辑定义和属性扩展功能。

由于各设计院所使用的块图元不尽相同,软件提供了图块自定义及修改的功能,图块所需扩展属性由特定 XML 表示,新增图块时,首先需要在 XML 下定义扩展属性,使用 AutoCAD 提供的基础属性组合成扩展属性,然后进行图块的绘制,最后将图块与编辑好的属性类型关联,完成图块与扩展属性的绑定^[14],并通过画图形成图元。图 5 为生成图元的流程图。

a. 扩展属性编辑。扩展属性主要用于绑定 IEC61850 定义的相关属性及软件操作时所需要的

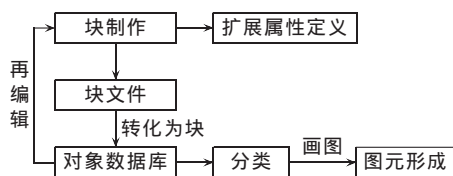


图5 图元生成流程

Fig.5 Flowchart of entity generating

标识,如:二次需要包含 IED 名称、物理设备名称、模型路径等。扩展属性定义如下:

```

<UName name="Device" desc="二次设备">
  <Attribute name="IEDName" desc="IED 名称">
    <P name="value" desc="值"/>
    <P name="color" desc="颜色">7</P>
    <P name="visible" desc="显示否">true</P>
    <P name="font" desc="字体大小">3</P>
    <P name="position" desc="位置">60,-15,0</P>
    <P name="angle" desc="旋转角">0</P>
  </Attribute>
  <Attribute name="DeviceName" desc="物理设备名称">
    <P name="value" desc="值"/>
    <P name="color" desc="颜色">7</P>
    <P name="visible" desc="显示否">false</P>
    <P name="font" desc="字体大小">3</P>
    <P name="position" desc="位置">0,0,0</P>
    <P name="angle" desc="旋转角">0</P>
  </Attribute>
  <Attribute name="ICD_Path" desc="模型路径">
    <P name="value" desc="值"/>
    <P name="color" desc="颜色">7</P>
    <P name="visible" desc="显示否">false</P>
    <P name="font" desc="字体大小">3</P>
    <P name="position" desc="位置">0,0,0</P>
    <P name="angle" desc="旋转角">0</P>
  </Attribute>
</UName>
  
```

b. 图块编辑。根据功能需要,对图元进行分类,一类是一次接线图所需图元,包括开关、刀闸、变压器等一次设备图元,根据这些图元的连接关系图以及图元的扩展属性,可以生成相应的 SSD 文件;另一类是二次接线图、网络图等所需的图元,包括二次设备图元、网络关系图元、虚端子开入和开出端图元等,根据这类图元可以连接生成虚端子图,导出 SCD 的虚端子连接部分信息以及构成 SCD 的各设备 ICD 信息。在完成编辑或修改后选择所定义的图块类型,即可根据预先定义好的扩展属性自动生成图块属性。软件通过 GetSelUnitType() 获取图块类型,通过 SetUnitType() 设置图块属性,代码如下:

```

Dim pDom As XMLDom=GetSelUnitType()
'获取所选择的图块类型,返回 xml 结构的数据集
If Not pDom is nothing Then
  SetUnitType(id,pDom) 'id 为图块标识符
End If
  
```

2.2.2 SCD 编辑功能

SCD 编辑功能分为 SSD 编辑功能和虚端子编

辑功能。SSD 编辑功能主要完成一次接线图的绘制与 SSD 模型文件间的相互转换。虚端子编辑功能主要完成各间隔网络结构图的绘制、各装置 ICD 模型的导入与集成配置及虚端子信息的编辑等。

2.2.2.1 SSD 编辑功能

使用预先定义好的一次图元绘制主接线图,添加扩展属性值,如断路器需对其设备描述、分相信息等进行具体赋值。根据 IEC61850-6 标准定义,SSD 模型文件可按图 6 所示结构分析主接线图并自动生成文件。

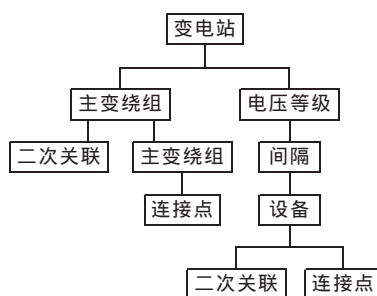


图6 SSD 文档结构

Fig.6 Structure of SSD document

解析生成 SSD 模型文件的方法如下。

a. 确定各设备连接关系。检索主接线图中所有设备的端子,依照端子连接的定义分析出各设备间的连接关系。

b. 确定母线图元的扩展属性中定义的电压等级和单位判断母线的电压等级。

c. 划分间隔及间隔设备。对于确定的电压等级,搜索其母线到母线或者母线到主变之间的所有连接设备串。对于只含 1 个断路器的间隔,搜索到的每个连接串即为一个间隔,间隔以断路器名称命名,连接串内的所有设备即为间隔设备。对于包含 2 个或 2 个以上断路器的连接串,如 3/2 接线方式下,需在 AutoCAD 上对连接设备串进行人工分组,每组为 1 个间隔,间隔名为组名,组成员即为间隔设备。

d. 确定绕组。若连接串既包含母线也包含主变,则母线电压即为绕组电压,根据电压等级确定绕组种类。

e. 确定设备连接信息。连接信息格式为:变电站/电压等级/间隔/连接点,对于连接串内的任意一个设备,连接点名称按顺序依次生成,如 L1、L2、..., 其他信息直接从扩展属性中取得。软件实现方式为通过 ObjectsLinkedMap 函数得到各设备连接关系,通过 GetVSteps 函数获取电压等级,然后分别对每个电压等级检索间隔,划分好间隔后通过 WriteSSD 直接输出。代码如下:

```

Dim bArr()As New ArrayList=Nothing
'所有间隔的存储堆栈
ObjectsLinkedMap() '得到设备的连接关系
Dim vArr()As ObjectID=GetVSteps()
  
```

```

'获取不同电压等级的母线集合
For Each vId As ObjectID In vArr
    Dim bay() As BayTemp = Nothing
    '初始化间隔存储堆栈
    Dim CBR As ArrayList = GetGayCBRs(vId)
    '搜索此电压等级内所有断路器
    If CBR.Count=0 Then
        Continue For
    End If
    For Each index As Integer In CBR
        If CheckIndexInBay(index,bay) Then
            '如果开关已被检索则返回,针对高电压 3/2 等复杂接线
            Continue For
        End If
        Dim bArr As Bay = GetBayDevices(index)
        '获取此断路器所代表间隔
        AddBayToArr(bArr,bay) '把间隔加入间隔堆栈
        CheckGroup(bay)
        '针对 3/2 等复杂接线,如果存在 group,则按 group 划分间隔
    Next
Next
WriteSSD(bArr) '输出 SSD 文档

```

f. SSD 二次关联。作为独立的信息结构,软件单独提供界面供各个设备或间隔与二次设备信息进行关联,关联信息保存在图元的扩展属性中。

2.2.2.2 SCD 编辑功能

SCD 系统集成模块完成各间隔网络结构图的绘制、各装置 ICD 模型的导入与集成及虚端子信息生成等。

a. 绘制网络结构图。根据定义的 IED 图块、设备类型图块绘制网络结构图,每个间隔的网络结构图体现了间隔内设备的通信连接方式和信息走向,如图 7 所示为某间隔内线路保护装置、合并单元及智能单元之间的结构关系。

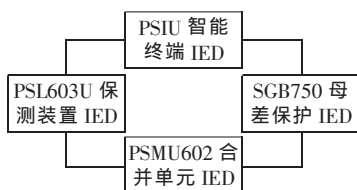


图 7 间隔网络结构图

Fig.7 Structure of bay network

b. 导入装置 ICD 模型。在已绘制的网络结构图上,为每个网络上的 IED 图元导入 1 个 ICD 模型并存入数据库中,同时需要配置相应的设备名称、通信地址等信息,1 个 IED 图元可以配置基于同一个 ICD 模型的一类设备信息,其中 IED 名称作为图元的扩展,它是连接图元和数据库的唯一标识。ICD 导入过程代码如下:

```

If Not KeepVirtual Then
    DeleteInputs(rDom, "","")
End If

```

```

'如果虚端子不保留,删除 icd 带的虚端子
Dim iedArr As New ArrayList
Dim descArr As New ArrayList
GetIEDAndDesc(IEDName.Text, Desc.Text, iedArr, descArr)
'获取要添加的 IED 和描述集合
If iedArr.Count=0 Then
    Return False '没有 IED 则返回
End If
For Each iedn As String In iedArr '逐个 IED 加入数据库
    Dim sql As String=String.Format("select name from ied_table
    where scdid='{0}' and name='{1}'", StationID, iedn)
    '添加记录 sql 语句
    Dim arr As ArrayList=GetSingleList(sql)
    If arr.Count>0 Then
        Continue For '检测 IED 在数据库中是否存在
    End If
    InsertIEDToDb(rDom, iedn, descArr.Item(i))
    'ICD 信息加入数据库
Next

```

c. 生成虚端子信息。软件根据导入的 ICD 文件自动生成虚端子图;软件将站内已经添加的所有设备按树形结构列出,分别为虚端子输入端、虚端子输出端和虚端子关联信息窗口,在关联窗口中选择需要接入的端子,在输出窗口中选择发送端子,软件将连接信息按照 IEC61850-6 中定义的要求将 Inputs 写入接收设备模型中并存入数据库。

2.2.3 数据库功能

数据库功能提供将模型文件分解为数据表和将数据表恢复成模型文件所需的操作接口。根据软件的需要,按照 IEC61850 的要求在数据库中建立模型库、操作员库、图元库和图纸库,数据库的存储以文件为中心,将模型文件按描述层次分解为若干个文本块建立数据表,数据库中除了操作员库外,其他数据库均按照二进制文件方式存储。图 8 为 XML 数据库结构示意图。

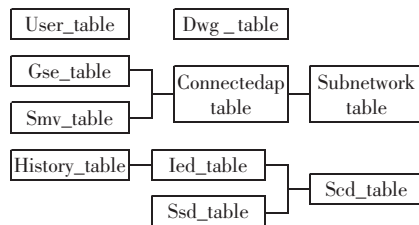


图 8 数据库结构示意图

Fig.8 Structure of database

软件需要根据设计习惯提供一些站内配置信息的表格,如装置定值表、通信地址表、虚端子表等,并且需要将完成设计图纸转换成 SCD、CID 模型文件,上述信息都由软件从数据库中读取相应的信息,组合编辑为所需的文件。表 2 为 PL5001:PSL603U 保护根据 IED 的虚端子信息,从数据库中将关联信息取出后生成的表格,数据流向为从开出量流向开入量。

表2 虚端子信息表
Tab.2 Virtual terminal information sheet

| 开入量 | 开出装置 | 开出数据集 | MAC | APPID | VLAN | 序号 | 开出量 |
|------------|------------------------|----------|-----------------------|-------|------|----|---------------------|
| G_断路器 TWJA | IL5001:PSIU601 智能终端 | dsGOOSE1 | 01-0C-CD- 01-21-06 | 2106 | 0 | 2 | 断路器 A 相位位置 DI1_5-6 |
| G_断路器 TWJB | | | | | | 3 | 断路器 B 相位位置 DI1_7-8 |
| G_断路器 TWJC | | | | | | 4 | 断路器 C 相位位置 DI1_9-10 |
| G_压力低禁止重合闸 | PM5001:SGB750 母差保护 | dsGOOSE1 | 01-0C-CD- 01-21-74 | 2174 | 0 | 11 | 压力低闭锁重合闸 DI2_7 |
| G_远方跳闸 1 | | | | | | 13 | 支路 6 跳闸 |
| G_闭锁重合闸 1 | | | | | | 13 | 支路 6 跳闸 |

3 结语

针对智能变电站设计方式由常规的电缆连线设计向数据模型和数据流设计的转变,提出采用理想的智能变电站设计方式,由第三方设计院承担部分系统集成商的职责,按照设计需求制定了图形化模型设计软件的开发方案。采用 AutoCAD 的 ActiveX Automation 技术,开发图形编辑接口,添加符合 IEC61850-6 标准定义的图形扩展属性,新添加的属性使用 XML 文档格式输入、输出,通过 XML 数据库存储技术与模型编辑模块接口,最终在设计阶段既能够完成常规图纸的设计,包括一、二次接线图,网络图,电缆清册等,又能完成智能变电站调试、施工所需要的虚端子接线图、生成模型文件,建立变电站全景信息模型,真正做到站内使用统一的数据源。另一方面,AutoCAD 的图形化操作界面也符合设计人员的设计习惯,可以降低设计人员对 IEC61850 的理解要求,使智能变电站的数据流设计工作由依靠厂商完成转换为依靠第三方设计机构完成,减少工程中的沟通成本,为工程的顺利实施和今后的改扩建提供了便利。

参考文献:

- [1] 国家发展与改革委员会. DL/T 860.6—2008/IDT IEC 61850-6: 2004 变电站通信网络和系统 第 6 部分: 与智能电子设备有关的变电站内通信配置描述语言[S]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [2] 窦晓波, 陶洪平, 胡敏强, 等. 基于 C#. NET 的 IEC61850 配置工具的设计和实现[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(11): 67-70.
DOU Xiaobo, TAO Hongping, HU Minqiang, et al. Design and realization of IEC61850 configuration tool based on C#. NET[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(11): 67-70.
- [3] 国家电网公司. Q/GDW 383—2009 智能变电站技术导则[S]. 北京: 国家电网公司, 2009.
- [4] 国家电网公司. Q/GDW 393—2009 110(66) kV~220 kV 智能变电站设计规范[S]. 北京: 国家电网公司, 2010.
- [5] 国家电网公司. Q/GDW 394—2009 330~750 kV 智能变电站设计规范[S]. 北京: 国家电网公司, 2010.
- [6] 卞鹏, 潘贞存, 高湛军, 等. SCL 在变电站远程配置管理中的应用[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(4): 54-56.
BIAN Peng, PAN Zhengcun, GAO Zhanjun, et al. Application of SCL in remote substation configuration management[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(4): 54-56.
- [7] 张传伟, 郭卫. ActiveX Automation 技术在 AutoCAD 开发中的应用[J]. 机床与液压, 2002(2): 80-82.
ZHANG Chuanwei, GUO Wei. Application of ActiveX Automation in AutoCAD development[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2002(2): 80-82.
- [8] 王成良. 图形关联信息的数据库查询及其应用[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2002, 25(1): 57-60.
WANG Chengliang. Database queries of drawing's associated information and its application[J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2002, 25(1): 57-60.
- [9] 邓昌智, 张晓钟, 张磊. XML 在机械 CAD 系统中的应用[J]. 现代电子技术, 2003(6): 17-19.
DENG Changzhi, ZHANG Xiaozhong, ZHANG Lei. Application of XML in mechanical CAD system[J]. Modern Electronic Technique, 2003(6): 17-19.
- [10] 樊陈, 陈小川. XML Schema 在变电站 IED 配置中应用[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(3): 120-123.
FAN Chen, CHEN Xiaochuan. Application of XML Schema in substation IED configuration[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(3): 120-123.
- [11] 郝泳涛, 李启炎. XML 技术在图形数据库中的应用[J]. 计算机工程, 2003, 29(2): 226-228.
HAO Yongtao, LI Qiyan. Application of XML technology in CAD database[J]. Computer Engineering, 2003, 29(2): 226-228.
- [12] 李由, 黄凯歌, 汤大权. XML 的数据库存储技术研究[J]. 计算机应用研究, 2002, 19(4): 60-62.
LI You, HUANG Kaige, TANG Daquan. The technology of XML storage in database[J]. Application Research of Computers, 2002, 19(4): 60-62.
- [13] 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): 94-99.
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.
- [14] 曾洪飞, 张帆, 卢择临. AutoCAD VBA & VB. NET 开发基础与实例教程[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008: 207-217.
- [15] 王勇, 何光宇, 梅生伟. 基于 IEC61850 的数字化变电站互操作试验[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(2): 136-139.
WANG Yong, HE Guangyu, MEI Shengwei. Interoperability test of digital substation based on IEC61850[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(2): 136-139.
- [16] 徐科, 吴在军, 闵涛, 等. 基于 IEC61850 标准的新型数字保护平台研究与实现[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(2): 79-84.
XU Ke, WU Zaijun, MIN Tao, et al. Digital protection platform based on IEC61850[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(2): 79-84.
- [17] 韩明峰, 张捷, 郑永志. IEC61850 GOOSE 实时通信的实现方法[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(1): 143-146.
HAN Mingfeng, ZHANG Jie, ZHENG Yongzhi. Realization of IEC61850 GOOSE real-time communication[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(1): 143-146.

- [18] 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 IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(17):78-82.

- [19] 何卫,唐成虹,张祥文,等. 基于 IEC61850 的 IED 数据结构设计[J]. 电力系统自动化,2007,31(1):57-60.

HE Wei,TANG Chenghong,ZHANG Xiangwen,et al. Design of

data structure for IED based on IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems,2007,31(1):57-60.

作者简介:

林 俊(1978-),男,江苏南京人,工程师,从事智能变电站相关专业的应用研究工作(E-mail:njlinj@139.com);

胡华威(1983-),男,浙江东阳人,助理工程师,从事智能变电站相关专业的应用研究工作。

Software development scheme based on AutoCAD for graphical model design of smart substation

LIN Jun,HU Huawei

(Jiangsu Xidiannanzi Smart Electric Power Equipment Co.,Ltd.,Nanjing 211100,China)

Abstract: It is suggested that the design of smart substation model and internal data flow should be taken by the design institute to ensure the unity and uniqueness of substation data sources and a software development scheme of graphical model design is proposed to simplify the engineering of designer. The ActiveX Automation technique of AutoCAD is adopted in the secondary development. The graphics editor and model editor module of its software modules associate the IEC61850 model documents with the CAD graphics. Extended attributes are added in CAD blocks for modeling and the model information exchange between the model text and the graphics file is via the XML database to enhance the speed of model access and search. The final model design and drawings are completed by engineering plus attribute value setting.

Key words: smart substation; IEC61850; CAD; database; models; design

(上接第 121 页 continued from page 121)

Commutation failure of multi-infeed HVDC transmission system with FCC

XIANG Bo,LUO Longfu,XU Jiazhu,ZENG Jinhui,LI Yong,PANG Lizhong

(School of Electrical and Information Engineering,Hunan University,Changsha 410082,China)

Abstract: By integrating FCC(Filter Commutated Converter) into MIDC(Multi-Infeed HVDC) transmission system and based on CIGRE benchmark HVDC model,the extinction angle calculation model is deduced for the hybrid MIDC transmission system composed of FCC and LCC(Line Commutated Converter). By case study,the interaction among inverters during commutation failure is analyzed for different electrical distances and strengths of AC power system and compared between traditional and hybrid MIDC transmission systems. Based on PSCAD/EMTDC,the models of traditional and hybrid MIDC transmission systems are built and the simulative study indicates that,compared with traditional MIDC transmission system,FCC broadens the extinction angle margin,enhances effectively the anti-disturbance capability of commutation process,weakens the interaction among inverters and decreases the possibility of continuous commutation failure.

Key words: filter commutated converter; multi-infeed HVDC transmission; three-phase short circuit fault; commutation failure; models; failure analysis