

微电网系统 CIM/XML 模型研究

丁银, 丁明, 毕锐, 高研, 杨为

(合肥工业大学教育部光伏系统工程研究中心, 安徽 合肥 230009)

摘要: 建立基于公共信息模型 (CIM) 的微电网系统, 不仅可以实现高效率的数据交换和“即插即用”的应用程序, 而且也便于系统模型的扩展。针对合肥工业大学微电网实验室, 在研究扩展的分布式各发电单元具体模型的基础上, 提出了微电网各发电单元的 CIM 模型, 为了便于在潮流计算等应用程序中使用此模型, 总结了微电网各发电单元的节点类型, 并分析了针对实验室的导电设备的模型, 以 CIM 中的拓扑模型和设备容器模型建立简单的物理连接和设备的总体联系模型, 并用 XML 语言描述了微电网的整体模型。最后采用潮流计算进行验证性实验, 验证了对 CIM 理解的正确性和导入导出的正确性。

关键词: CIM; XML; 微电网; 建模; 潮流计算

Research on CIM/XML model of microgrid system

DING Yin, DING Ming, BI Rui, GAO Yan, YANG Wei

(Photovoltaic System Research Center of MOE, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The establishment of microgrid system based on common information model (CIM), can not only realize high efficient data exchange and the “plug and play” application, but also can make the expansion of the system model easier. This paper, aiming at microgrid laboratory of Hefei University of Technology, based on the research on the practical models of generation units in distributed generation, advances CIM model of generation units in microgrid system. In order to make use of this model in power-flow calculation and so on, it summarizes the node types in the generation units of microgrid system and analyzes the models of conduction devices aiming at laboratory. With the topology model in CIM and equipment container model, it establishes simply physical connection and overall connecting model of devices as well as describes the general model in XML language. Finally, by adopting power flow calculation, the correctness of the understanding to CIM and import/export is validated.

This work is supported by Chinese National Programs for High Technology Research and Development(863 program)(No.2007AA05Z240) and National Natural Science Foundation of China(No.50837001).

Key words: CIM; XML; microgrid; modeling; power flow calculation

中图分类号: TM74 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)09-0037-06

0 引言

IEC61970 系列标准定义了能量管理系统应用程序接口 (EMS-API), 而公共信息模型 (common information model, CIM) 作为其中重要的一部分, 为信息交换和访问提供一种公共的统一的含义, 提供实际对象的语义名称 (包括它的属性、描述以及与其他对象的关系), 并是 IEC 制定的电力系统自动化中的 SCADA/EMS/DMS 等系统的通用的数据

模型和数据接口^[1-3]。基于 CIM 标准有利于不同厂家之间数据的交换, 并在交换的基础上实现不同厂家各种应用之间的互操作。国内外互操作试验不仅是验证 CIM 的完整性、正确性和 CIM 的互操作性, 而且也验证了基于 CIM/XML 的文件传输的可行性^[4-6]。把可扩展标记语言 (extensible markup language, XML) 应用于电力系统中, 利用其利于跨平台的数据交换和系统的互操作、良好的数据存储格式、可扩展性、高度结构化等优点, 很好地解决了异构平台之间的数据传输。

分布式发电的兴起和广泛引入, 对配电网的系统稳定性、系统的网损、电能质量等带来影响。为了能够更加充分和合理利用分布式发电, 为了实现

基金项目: 国家重点基础研究专项经费项目 (2009CB219700); 国家 863 高技术基金项目 (2007AA05Z240); 国家自然科学基金 (50837001)

微电网和大电网灵活的和断开，微电网能量管理系统将是一个难度很大的问题。能量管理系统中的应用软件的基础是网络建模，建立基于CIM的微电网模型将是非常重要的问题[7-9]。

本文在传统的配电网建模的基础上，研究分布式发电单元CIM模型^[10-11]和节点类型，建立设备之间的连接和联系，并用XML进行了描述。潮流计算

验证程序验证了CIM理解的正确性和导入导出的正确性。

1 合肥工业大学微电网系统

合肥工业大学微电网实验室建立了一个微网系统，图1是一次接线节点系统图。

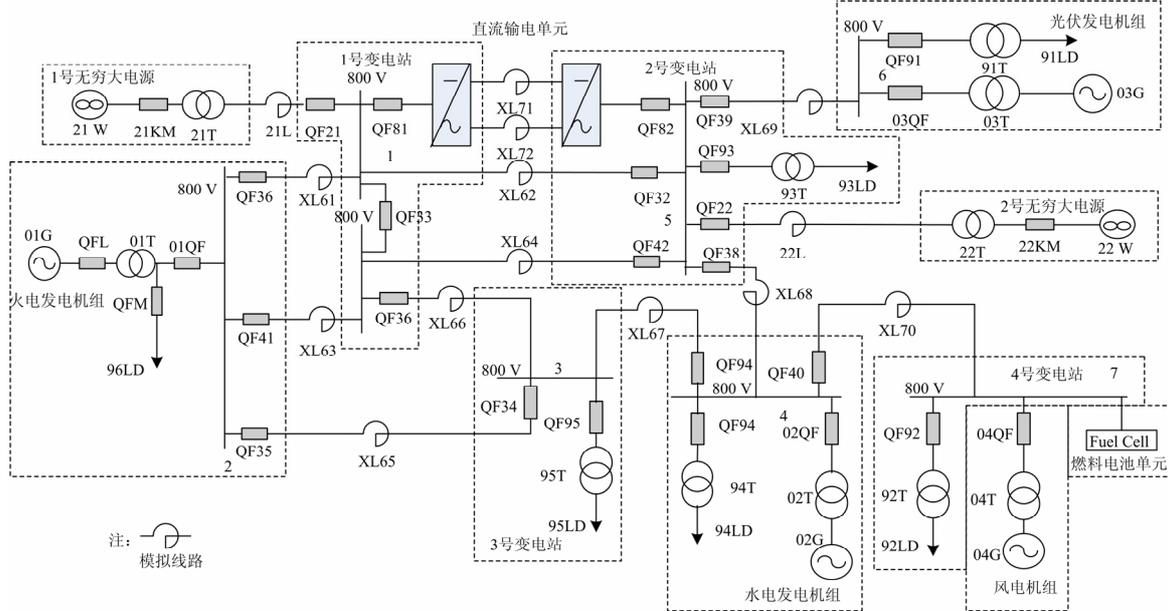


图1 合肥工业大学分布式发电一次系统

Fig.1 DG primary equipment of Hefei University of Technology

合肥工业大学微电网实验室模拟的低压侧均采用380 V，高压侧均采用800 V的电压。系统中包括两台15 kW的模拟发电机组，其中一台模拟汽轮发电机组，另一台模拟水轮发电机组；轻型直流输电系统一套；系统接入2个无穷大电源，在CIM模型中作为等值电源考虑。为了具体描述分布式发电的模型，对分布式发电系统中的三个重要单元进行了CIM描述并确定其类型。

1.1 风力发电单元

实验室的风力发电机采用双馈电机（DFIG），输出功率为15 kW。新扩展的类WindGeneratingUnit从GeneratingUnit继承，描述风力发电机组，可以用于风电场的经济调度。风力发电机的实质是同步发电机或异步发电机，而本实验室使用的是双馈异步电动机，采用文献[10]扩展的异步机模型。异步机AsynchronousMachine与Terminal关联，从而与其他导电设备形成连接关系。如在潮流计算中，需要定义风力发电节点的类型。目前双馈型风机的并网采用交流励磁变速恒频控制。并网控制和功率解耦控制是并网型风力发电机的两大主要控制模式。并网

控制是对并网之前的DFIG定子输出电压进行调制，使其与电网电压在幅值、频率和相位上一致，以抑制并网时的冲击电流。并网控制时DFIG脱网空载运行，定子电流为零（没有功率输出）。当DFIG定子电压和电网电压相同时，DFIG脱网空载运行状态和并网后但输出功率为零（并网空载运行）情况下的运行状态是一样的，因此可认为并网控制是功率解耦控制的一个特例（ $P=0; Q=0$ ）。所以在潮流计算中将其作为PQ节点进行处理^[12-13]。图2用XML语言描述了风力发电单元和异步发电机模型。光伏和燃料电池单元的XML描述与风力发电类似，从略。

```

<cim:WindGeneratingUnit rdf:ID="th_9">
  <cim:GeneratingUnit.initialMW>0</cim:GeneratingUnit.initialMW>
  <cim:GeneratingUnit.maximumOperatingMW>15</cim:GeneratingUnit.maximumOperatingMW>
  <cim:GeneratingUnit.minimumOperatingMW>0</cim:GeneratingUnit.minimumOperatingMW>
  <cim:GeneratingUnit.Contains_AsynchronousMachines rdf:resource="#th_10" />
</cim:WindGeneratingUnit>
<cim:AsynchronousMachine rdf:ID="th_10">
  <cim:Naming.description>PQ_BUS</cim:Naming.description>
  <cim:Naming.name>gen5</cim:Naming.name>
  <cim:SynchronousMachine.MemberOf_GeneratingUnit rdf:resource="#th_9" />
</cim:AsynchronousMachine>

```

图2 风力发电机PQ节点CIM/XML文档片段

Fig.2 CIM/XML document fragment of PQ node of wind turbine

1.2 光伏发电单元

类 PhotovoltaicGeneratingUnit 从类 GeneratingUnit 继承, 描述光伏发电机组。类 PhotovoltaicCell 从类 RegulatingCondEg 继承, 描述的是一个单体光伏电池或者有一组单体光伏电池级联组成的光伏组件, 使用中具体对象为单体光伏电池还是光伏组件, 由其串联数目属性 serialCellNumbers 来识别, 当 serialCellNumbers 值为 1 时为单体光伏电池, 当其值大于 1 时为光伏组件。与风力发电类似, 光伏发电系统也由电容器组来保证功率因数基本为一常数, 因此光伏发电单元在潮流计算中可以看做 PQ 节点。

1.3 燃料电池单元

类 FuelCellGeneratingUnit 从类 GeneratingUnit 继承, 描述燃料电池发电机组模型。燃料电池堆 (Fuel Cell Stack) 是由许多单体燃料电池 (Fuel Cell) 通过级联组成的。采取和类 PhotovoltaicCell 同样的建模方法, 设计了类 FuelCell 描述一个单体燃料电池或者有许多单体燃料电池组成的燃料电池堆, 这样在满足应用需求的同时简化了模型。燃料电池一般由三部分组成: 预处理装置、燃料电池堆和并网逆变器 (power conditioning unit, PCU)。燃料电池系统正常运行时不需要从系统吸收无功, 可以认为最小无功为零。在潮流计算中, 如果燃料电池发电并网节点的无功越限, 可以将该节点作为 PQ 节点处理, 此时的无功注入为无功输出的上限或下限值^[14]。

2 基于 CIM/XML 的微网建模研究

CIM 采用面向对象的类形式来描述各电力系统对象, 通过类之间的关系描述各电力系统对象之间的关系, 包括继承、关联、聚集等。值得指出的是, CIM 虽然定义和规范了网络模型类, 但它并没有规定模型的具体实现过程, 而这也是 IEC61970 标准的一贯宗旨。

微电网建模的目的是为满足网络分析等应用软件的需要, 从而建立整个微电网系统的 CIM/XML 的静态描述文件以及基于 CIM 的微电网的数据库, 为其他应用软件如潮流计算、状态估计、短路计算等定义微电网的网络结构。结合 CIM 及其扩展模型, 描述基于 CIM 的微电网建模的主要模型及其具体实现方法。

下面给出了基于 CIM/XML 的分布式发电系统模型的构建方法。以图 1 中 1 号无穷大电源模型为例, 并使用 XML 描述。首先是对单个设备的连接关系通过 CIM 的拓扑模型建模, 分析了设备的拓扑结构, 建立基于 CIM/XML 的基本拓扑关系。然后, 根据分布式发电新扩展的 CIM 模型, 对不同的分布

式发电设备进行建模, 提取必要的参数, 进行详细的描述。最后, 用 CIM 模型中设备容器 (Equipment Container) 把系统中所有的设备连接起来, 形成了分布式实验室的整体模型。

2.1 拓扑模型

拓扑包是核心包 Core 的扩展, 它与 Terminal 类一起建立连接模型, 即设备是如何连接在一起的物理定义。基于 CIM 的微电网建模的拓扑模型及涉及的类如图 3 所示。拓扑分析的过程一般如下: 首先, 连接节点分析根据网络的运行状态, 把相关的端点无阻抗地连接在一起, 建立起连接点模型, 而 CIM/XML 能够包括网络的连接点模型, 其后不需要另行处理。然后, 多个连接节点通过闭合的开关形成拓扑节点, 从而描述设备间的拓扑点模型。最后, 分析整个网络的拓扑点由闭合支路联接成多少个子系统 (拓扑岛), 由拓扑点模型形成拓扑岛模型。对于图 1 中的母线, 可以归结为单端设备, 即两端端点号相同。对于开关/刀闸、双端变压器等, 因各端点作用不同, 则各端端点号各异。

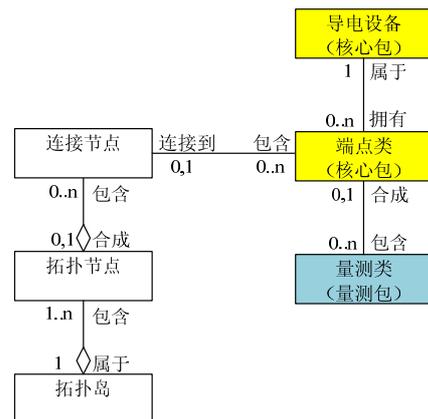


图3 CIM中的拓扑模型

Fig.3 Topological model of CIM

图 4 取导电设备联络馈线 21L 为例, 用 XML 描述相关信息。导电设备 21L 已通过图 4 中的 XML 语言进行了描述。并设定导电设备变压器 21T 的尾部连接节点 ID 为 th_2, 断路器 21KM 的头部连接节点 ID 为 th_3。21L 的左右端点 ID 分别为 th_4 和 th_5, 通过 Terminal.ConductingEquipment 描述所属的导电设备, Terminal.ConnectivityNode 与其他设备的连接节点建立连接关系。

2.2 导电设备建模

设备建模中的主要设备是导电设备, 导电设备是个抽象类, 只有从它继承的最底层的类才是实际的设备。在电力系统网络分析中, 只有知道网络设备的数学模型和它的物理参数才能进行相关的分

析, 因此物理模型就是给出其详尽的描述。结合系统需求, 本文并未考虑全部的导电设备。

```

<cim:ACLineSegment rdf:ID="th_1" /> //馈电线21L的定义
<cim:ConnectivityNode rdf:ID="th_2"> //连接节点定义
  <cim:Naming.description>TAIL_Switch</cim:Naming.description>
  <cim:Naming.name>21T</cim:Naming.name>
</cim:ConnectivityNode>
<cim:ConnectivityNode rdf:ID="th_3">
  <cim:Naming.description>HEAD_Switch</cim:Naming.description>
  <cim:Naming.name>QF21</cim:Naming.name>
</cim:ConnectivityNode>
<cim:Terminal rdf:ID="th_4"> //馈线端点定义
  <cim:Naming.description>HEAD_ACLineSegment</cim:Naming.description>
  <cim:Naming.name>21L</cim:Naming.name>
  <cim:Terminal.ConductingEquipment rdf:resource="#th_1"/>
  <cim:Terminal.ConnectivityNode rdf:resource="#th_2"/>
</cim:Terminal>
<cim:Terminal rdf:ID="th_5">
  <cim:Naming.description>TAIL_ACLineSegment</cim:Naming.description>
  <cim:Naming.name>21L</cim:Naming.name>
  <cim:Terminal.ConductingEquipment rdf:resource="#th_1"/>
  <cim:Terminal.ConnectivityNode rdf:resource="#th_3"/>
</cim:Terminal>

```

图4 联络馈线21L模型的CIM/XML文档片段

Fig.4 CIM/XML document fragment of connection feeder 21L

导线类是个抽象类,图1中包含12条模拟线路,其中有交流线段类(ACLineSegment)XL61~XL70和直流线段类(DCLineSegment)XL71和XL72;连接器类是个抽象类,有无阻抗的导线,用于连接变电站内的其他导电设备,电压量测就是通过连接在母线段的电压互感器得到的;整流逆变器类,既包含整流类,又包含逆变类,该模型主要是为了直流输电系统的建模,图1中的直流输电线路中需要该设备;变压器绕组类,本身包含了绕组的物理参数,1个变压器包含2个以上的变压器绕组,而1个线圈又可以包含1个或多个分接头调整器;等值电源点可用来对电源进行等价,在图1的分布式发电系统中,有两个等值电源点,主要物理参数包含标称线电压,相位和阻抗等。

图5的XML片段描述了导电设备线路21L的长度,通过ConductingEquipment.Terminals描述所拥有的2个端点。Equipment.MemberOf_EquipmentContainer语句连接变压器21T和所属的设备容器的关系。

```

<cim:ACLineSegment rdf:ID="th_1"> //线路模型
  <cim:Naming.description>ACLineSegment</cim:Naming.description>
  <cim:Naming.name>21L</cim:Naming.name>
  <cim:Conductor.Length>5.28</cim:Conductor.Length>
  <cim:ConductingEquipment.Terminals rdf:resource="#th_4"/>
  <cim:ConductingEquipment.Terminals rdf:resource="#th_5"/>
</cim:ACLineSegment>
<cim:PowerTransformer rdf:ID="th_7"> //变压器模型
  <cim:Naming.description>PowerTransformer</cim:Naming.description>
  <cim:Naming.name>21T</cim:Naming.name>
  <cim:Equipment.MemberOf_EquipmentContainer rdf:resource="#th_8"/>
</cim:PowerTransformer>

```

图5 馈电线21L和变压器21T的CIM/XML文档片段
Fig.5 CIM/XML document fragment of feeder 21L and transformer 21T

2.3 模型组装

设备容器作为整合整个系统的类,负责把所有

的设备联结起来,从而形成一个完整的对象模型,设备容器是一个自由灵活的概念,其中可以包含设备对象也可以包含其他的容器对象。CIM中的设备容器模型如图6所示。

一个变电站和电压等级、间隔、复合开关都是聚集关系,也可以看做是它们的总体描述。变电站作为发电和用户的中间环节,起着变换电压、交换和分配电能的作用。分布式发电单元是所有分布式发电单元的超类,它定义了所有分布式电源的一般属性和操作。

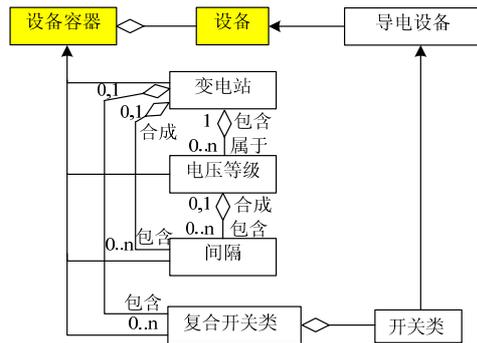


图6 CIM中的设备容器模型

Fig.6 Equipment container model of CIM

容器范围可以在基于CIM的基础上扩展。设备容器模型中定义了厂站、电压等级、设备之间的分级关系。图7定义了变电站的ID为th_8,通过Substation.Contains_VoltageLevels描述了关联中的电压等级,通过EquipmentContainer.Contains_Equipments描述了所包含的设备,并隐含地包括了设备容器的概念。

```

<cim:Substation rdf:ID="th_8">
  <cim:Naming.name>Substation</cim:Naming.name>
  <cim:Substation.Contains_VoltageLevels rdf:resource="#th_12"/>
</cim:Substation>
<cim:VoltageLevel rdf:ID="th_12">
  <cim:Naming.description>VoltageLevel</cim:Naming.description>
  <cim:Naming.name>380</cim:Naming.name>
  <cim:EquipmentContainer.Contains_Equipments rdf:resource="#th_7"/>
</cim:VoltageLevel>

```

图7 设备容器中包含380V电压等级的CIM/XML文档片段

Fig.7 CIM/XML document fragment of 380V voltage rating in equipment container

3 潮流计算验证

3.1 潮流计算验证机制

CIM模型以拓扑关系建立各个设备之间的简单连接关系,以设备容器模式描述各个设备的关系。文献[15-16]提出了采用潮流计算来进行互操作实

验。本文采用了上述微电网系统数据作为实验数据, 通过文本对象模型 (Document Object Model, DOM) 解析实现 CIM/XML 文档的导入导出。

验证的步骤如下图8所示。

1) 潮流计算程序读取原始数据, 得出结果 1。

2) 系统导入微电网 CIM/XML 文档 1, 通过导入 / 导出工具, 由潮流计算读取相关信息, 得出结果 2。

3) 系统调用导出工具, 结果导出为 CIM/XML 文档 2。

4) 清空所有参与运行的数据库, 由潮流计算程序导入 CIM/XML 文档 2, 得到结果 3。

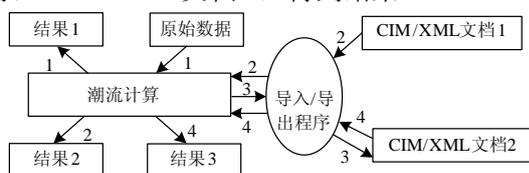


图 8 简化的潮流计算程序验证流程

Fig.8 Simplified procedure for power flow validation

3.2 测试结果比较

1) 原始数据是没有格式的松散数据, 是 TXT 文本格式, 描述的是系统的设备的参数, 结果如表 1 所示。结果 1 和结果 2 的比较, 误差在 0.1% 以内, 可以验证我们对于 CIM 理解的正确性。

2) 结果 2 和结果 3 的比较, 可证明导入导出的正确性。

表 1 潮流计算结果

Tab.1 Result of power flow

节点	结果1	结果2	结果3
	电压幅值/p.u.	电压幅值/p.u.	电压幅值/p.u.
1	1	1	1
2	0.997	0.997	0.997
3	0.995	0.995	0.995
4	0.983	0.983	0.983
5	0.975	0.975	0.975
6	0.964	0.963	0.963
7	0.971	0.971	0.971

4 结论

本文在扩展的分布式 CIM 模型基础上, 研究了用 XML 语言描述微电网系统, 通过采用潮流计算的验证程序, 验证了对于 CIM 模型理解的正确性, 以及基于 XML 的互操作的程序正确性等, 为 CIM 在微电网 EMS 系统应用建立了基础, 提高了系统的开放性, 方便了潮流计算等程序的扩展和维护,

使得算法和数据之间没有很强的耦合关系。

参考文献

- [1] IEC 61970-301, EMS-API-Part 301: Common Information Model (CIM) Base[S].
- [2] 潘毅, 周京阳, 李强, 等. 基于公共信息模型的电力系统模型的拆分与合并[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (15): 45-48.
PAN Yi, ZHOU Jing-yang, LI Qiang, et al. The Separation Combination of Power System Model Based on CIM[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (15): 45-47.
- [3] 刘崇茹, 孙宏斌, 张伯明, 等. 公共信息模型拆分与合并应用研究[J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (12): 51-55, 59.
LIU Chong-ru, SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming, et al. An Investigation on a Common Information Model for Energy Management System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (12): 51-55, 59.
- [4] 辛耀中, 王永福, 任雁铭. 中国IEC61850研发及互操作试验情况综述[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (12): 1-6.
XIN Yao-zhong, WANG Yong-fu, REN Yan-ming. Survey on Research Development and Interoperability Test of IEC 61850 in China[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (12): 1-6.
- [5] Becker D. Report on the Sixth Control Center Application Program Interface CC-API Interoperability Test[R/OL]. <http://www.epriweb.com/public/000000000001010117.pdf>.
- [6] Extensible Markup Language (XML) 1.0". W3C Recommendation[EB/OL].<http://www.w3.org/XML/>. 1998.02.
- [7] 柳明, 何光宇, 卢强. 网络分析应用中的公用信息模型[J]. 电网技术, 2006, 30 (17): 51-58.
LIU Ming, HE Guang-yu, LU Qiang. Common Information Model in Network Analysis Applications[J]. Power System Technology, 2006, 30 (17): 51-58.
- [8] 朱见伟, 丁巧林, 杨宏, 等. 配电网CIM综合模型的构建与应用[J]. 继电器, 2006, 34 (10): 60-63, 72.
ZHU Jian-wei, DING Qiao-lin, YANG Hong, et al. Construction and Application of Electrical Distribution CIM Model[J]. Relay, 2006, 34 (10): 60-63, 72.
- [9] 毛鹏, 魏晋雁, 茹锋. 基于IEC61970的电力系统二次设备CIM建模初探[J]. 继电器, 2007, 35 (11): 65-68, 78.
MAO Peng, WEI Jin-yan, RU Feng. The Primary

Exploration of CIM Modeling for the Secondary Equipments[J]. Relay, 2007, 35 (11) : 65-68, 78.

[10] 丁明, 张征凯, 毕锐. 面向分布式发电系统的CIM扩展[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (20) : 83-87,96.
DING Ming , ZHANG Zheng-kai , BI Rui. CIM Extensions to Distributed Generation System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (20) : 83-87,96.

[11] 顾强, 王守相, 李晓辉, 等. 配电系统元件的公共信息模型扩展[J]. 电力自动化设备, 2007, 27 (10) : 91-95.
GU Qiang, WANG Shou-xiang, LI Xiao-hui, et al. CIM Extension to Distribution System Components[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27 (10) : 91-95.

[12] 王成山, 郑海峰, 谢莹华, 等. 计及分布式发电的配电系统随机潮流计算[J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (24) : 39-44.
WANG Cheng-shan, ZHENG Hai-feng, XIE Ying-hua, et al. Probabilistic Power Flow Containing Distributed Generation in Distribution System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (24) : 39-44.

[13] Feijóo A E, Cidrás J. Modeling of Wind Farms in the Load Flow Analysis[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2000, 15 (1) : 110-115.

[14] Jung J W. Modeling and Control of Fuel Cell Based Distributed Generation Systems[D]. Columbia: The Ohio State University, 2005.

[15] 李荔芳, 刘东, 陈清鹤. 公共信息模型在配电网建模工具中的应用[J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (24) : 55-59.
LI Li-fang, LIU Dong, CHEN Qing-he. Application of CIM in Distribution Grid Modeling Tool[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (24) : 55-59.

[16] 刘崇茹, 孙宏斌, 张伯明, 等. 基于CML XML电网模型的互操作研究[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (14) : 45- 48,74.
LIU Chong-ru, SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming, et al. An Investigation on a Common Information Model for Energy Management System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (14) : 45-48,74.

收稿日期: 2009-05-31; 修回日期: 2009-08-05
作者简介:

丁 银 (1980-), 男, 硕士研究生, 研究方向为分布式发电系统; E-mail: ding_yin1980@126.com

丁 明 (1956-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力系统规划及可靠性、新能源及其利用、柔性输电系统的仿真与控制。

(上接第 26 页 continued from page 26)

[8] 林湘宁, 刘沛, 程时杰. 超高压输电线路故障性质的复值小波识别[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20 (2): 33-38.
LIN Xiang-ning , LIU Pei , CHENG Shi-jie. Identification of the Instant Faults Occurred on the Extra High Voltage Transmission Line with a Complex Wavelet Algorithm[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20 (2): 33-38(in Chinese).

[9] 索南加乐, 邵文权, 宋国兵, 等. 基于参数识别的单相自适应重合闸研究[J]. 中国电机工程学报, 2009, 1 (29): 48-54.
SOUNAN Jia-le, SHAO Wen-quan, SONG Guo-bing, et al. Study on Single-Phase Adaptive Reclosure Scheme Based on Parameter Identification[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 1 (29): 48-54(in Chinese).

[10] 董新洲, 苏斌, 薄志谦, 等. 特高压输电线路继电保护特殊问题的研究[J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (22): 19-22.
DONG Xin-zhou, SU Bin, BO Zhi-qian, et al. Study of Special Problems on Protective of UHV Transmission Line[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (22): 19-22(in Chinese).

[11] 伍凌云, 李兴源, 孙衢, 等. 基于 Prony 辨识的复杂交流系统次同步振荡特性分析[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2008, 40 (3): 155-160.
WU Ling-yun , LI Xing-yuan , SUN Qu , et al. Subsynchronous Oscillation Analysis Based on Prony Identification Method[J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2008, 40 (3): 155-160(in Chinese).

收稿日期: 2009-07-01; 修回日期: 2009-10-19
作者简介:

胡亚平 (1986-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统继电保护研究; E-mail: huyp04229@163.com

吕飞鹏 (1968-), 男, 博士, 教授, 从事电力系统继电保护和故障信息处理智能系统研究;

周 鑫 (1984-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统继电保护研究。