

# 基于高层体系结构的电力系统综合仿真平台

杨选怀, 林昌年, 王国平, 蒲天骄, 徐正清

(中国电力科学研究院, 北京市 海淀区 100192)

## High Level Architecture-Based Power Grid Comprehensive Simulation Platform

YANG Xuan-huai, LIN Chang-nian, WANG Guo-ping, PU Tian-jiao, XU Zheng-qing

(China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China)

**ABSTRACT:** Taking the key links in electric power production as simulation objects, a tentative idea of composing a comprehensive power grid simulation platform is proposed. The composition and functions of this simulation platform is analyzed in detail, and the federation object model (FOM) and the simulation object model (SOM) are designed and the parameters of interaction class are described. According to the features of power system simulation, the data distribution strategy filtering interactive data by the name of substation and the time advance strategy based on stamp-time event are designed. Finally, the implementation of federates and the features of simulation platform are presented. The proposed simulation platform is applied in practical projects, and it is shown that the proposed simulation platform can meet the demand of developing comprehensive simulation system for complicated power grid.

**KEY WORDS:** power grid; comprehensive simulation; high level architecture (HLA); time management; federate

**摘要:** 以电力生产运行主要环节为仿真对象, 提出了构建基于高层体系结构的电力综合仿真平台的设想。详细分析了仿真平台的组成及功能, 描述了联邦对象模型和仿真对象模型及其属性, 并针对电力仿真的特点设计了按照厂站进行数据过滤的数据分发策略和基于时标事件的时间推进策略, 最后介绍了联邦成员的实现方法及仿真平台的特点。文章提出的仿真平台已经应用于实际工程中, 可以满足开发复杂电力综合仿真系统的需要。

**关键词:** 电力系统; 综合仿真; 高层体系结构(HLA); 时间管理; 联邦成员

## 0 引言

电力培训仿真系统作为培训电力运行人员的有效工具, 在电力企业得到了广泛的应用。目前, 针对不同的培训对象已经开发了多种类型的培训仿真系统<sup>[1-10]</sup>, 这些仿真系统在各自应用领域取得

了较好的培训效果, 在一定程度上满足了用户的培训要求。随着我国电力系统的规模日益扩大、运行方式日趋复杂, 对电力运行人员操作技能的要求越来越高, 功能单一的、局部的、孤立的仿真系统难以实现系统互联及电力生产运行全过程的联合仿真, 仿真结果缺乏完整性和真实性, 无法满足培训高素质职工队伍的需要。因此, 开发包含多种仿真应用的综合仿真系统, 拓展仿真系统的功能和应用范围, 越来越受到重视。

国内部分研究者利用网络技术开发了一些联合仿真系统<sup>[10-12]</sup>, 但系统重用性差、修改困难, 不适应开发大规模综合仿真系统的要求。还有研究者在变电站仿真和电力市场仿真中应用了分布交互式仿真技术<sup>[13-15]</sup>, 在仿真系统的通用性和开放性方面取得了一定成效, 但是对电力生产运行各环节的联合仿真问题考虑不足。基于上述分析, 本文将提出基于高层体系结构(high level architecture, HLA)的电力系统综合仿真平台的技术思想, 按照 HLA 的要求封装电力仿真应用、设计信息交互及时间推进策略, 实现电力生产运行全范围、全过程的仿真。

## 1 高层体系结构

HLA 是新一代分布交互式仿真的国际标准, 由 HLA 规则、HLA 对象模型模板、HLA 接口规范 3 个部分组成<sup>[16-18]</sup>。

HLA 规则定义了仿真系统(即联邦)设计阶段必须遵循的基本准则, 描述仿真系统和仿真成员(即联邦成员)的职责, 保证联邦运行阶段联邦成员之间能够正确进行交互。

HLA 对象模型模板定义了一套描述 HLA 对象模型的规则, 是实现联邦信息交互和互操作的基

础。它包括 2 部分：联邦对象模型(federation object model, FOM)和仿真对象模型(simulation object model, SOM)。FOM 描述在联邦执行过程中成员间的共享信息及交换条件。SOM 描述仿真成员参与联邦运行时所能提供的能力。

HLA 接口规范定义了联邦运行过程中支持联邦成员之间互操作的标准服务，是开发运行支撑环境(run-time infrastructure, RTI)的依据。

RTI 是 HLA 的软件实现，提供了一系列用于仿真互连、仿真运行管理的服务，是 HLA 仿真系统进行分层管理控制、实现分布仿真可扩充性的支撑基础。基于 HLA 的典型仿真系统构成如图 1 所示，主要由联邦成员、RTI 组件和联邦执行数据(federation execution data, FED)文件组成，其中联邦成员是 HLA 软件设计和重用的基础部件，它们通过底层通信支持系统互连构成联邦。每个联邦成员包含一个 RTI 大使和联邦成员大使，RTI 大使调用标准服务向 RTI 声明“发布”、“订购”的数据；联邦成员大使以回调函数参数的形式接收 RTI 传递来的交互数据，联邦成员根据自己的需要对这些数据进行处理。

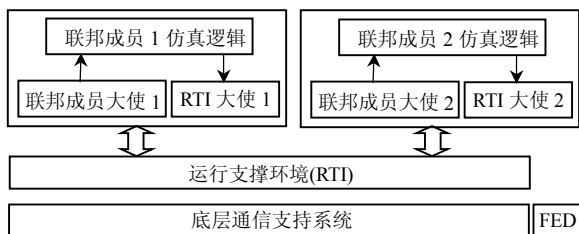


图 1 基于 HLA 的仿真系统组成

Fig. 1 Components of HLA-based simulation system

HLA 是一个开放的、支持面向对象的体系结构。它通过标准化的技术规范，确保了 RTI 的功能与具体应用系统无关，具有通用性、开放性和易扩展的特点，并且支持不同类型、不同时间推进机制的仿真应用之间的互操作，从体系结构上解决了仿真应用的重用性和互操作性问题，使新的仿真系统易于集成和管理，是构建复杂综合仿真系统的理想支撑环境。

## 2 电力综合仿真平台组成及功能

电力生产运行过程中，电网、变电站、电网调度自动化系统、集控中心监控系统、变电站自动化系统及发电厂是密不可分的有机整体。以电力生产运行主要环节为仿真对象的电力综合仿真平台，至少需要实现 7 类功能不同的仿真应用，即：电网仿

真应用、变电站仿真应用、电网调度自动化系统仿真应用、集控中心监控系统仿真应用、变电站综合自动化系统仿真应用、发电厂仿真应用和教员系统。更高级的综合仿真还涉及跨级调度 DTS 的互连，作者将另文阐述。

仿真应用按照 HLA 的要求封装成 HLA 仿真基础部件(即联邦成员)，通过 RTI 协调运行，分别模拟电力生产某个环节的功能，构成一个能够仿真电力生产运行全范围、全过程的综合仿真平台，结构如图 2 所示。

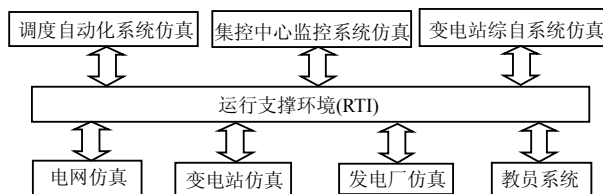


图 2 基于 HLA 的电力系统综合仿真平台体系结构  
Fig. 2 Software architecture of HLA-based comprehensive simulation platform for power system

各类联邦成员的功能如下：

1) 电网仿真。以电力网络为仿真对象，建立电力网络各种电气元件的动态数学模型，采用暂态、中期、长过程一体化计算方法，实现对电网的全动态模拟。包括电力系统潮流计算、频率仿真、正常操作仿真、系统故障仿真、继电保护仿真和自动装置仿真。它通过 RTI 接口接收其它联邦成员的操作命令并对外发布潮流数据、开关刀闸状态及保护动作信息，为联邦运行提供正确的数据资源。

2) 变电站仿真。对变电站一、二次设备进行全范围的建模仿真，主要包括变电站的一次系统、五防系统、控制系统、量测系统、交流系统、直流系统、继电保护与自动装置。它订购电网仿真联邦成员的潮流数据及开关刀闸变位信息，并对外发布本站内开关刀闸操作、变压器档位调节、保护装置状态设置、变电站故障等命令以及二次设备状态信息(如光字、信号灯、压板、把手等)。

3) 调度自动化系统仿真。实现调度自动化系统仿真及远动通信系统仿真，主要模拟自动化系统中遥测、遥信、告警信息的管理和处理过程以及远动通信系统故障后调度自动化系统的现象，包括遥控操作、遥调操作、人工置数、挂/撤牌操作、告警信息产生及处理、曲线报表数据生成、远动通信系统中通信故障或异常时的现象，为电网调度员提供一个虚拟的工作环境。

4) 集控中心监控系统仿真。仿真集控中心监

控系统的功能，主要模拟集控中心监控系统中遥测、遥信、告警信息的管理和处理过程以及数据传输设备故障后监控系统的现象。它与调度自动化系统仿真联邦成员的功能相似，只是监控的变电站的数量较少。

5) 变电站综合自动化系统仿真。仿真变电站综合自动化系统的功能，主要模拟遥测、遥信、告警信息的管理和处理过程。一般它只监控一个变电站，对变电站中的开关、刀闸、光字、信号、重要的压板及切换把手等进行监控。

6) 发电厂仿真。以发电厂内的发电机、汽机、锅炉、燃气机组及其附属设备(磨煤机、循环冷却水系统、压缩空气、天然气调压系统、厂用电)为仿真对象，着重仿真电厂的动力系统，包括发电机冷启动并网、发电机解列带厂用电运行、发电机腰荷运行、发电机正常停机等等。它对外发布发电机出力数据，影响整个仿真电网的潮流和频率，同时接收电网仿真联邦成员的潮流、频率数据及调节操作，改变原动机的出力。

7) 教员系统。监视控制仿真系统的运行，发送全局的仿真控制命令(如训练开始、暂停、恢复、结束、重放)、教员操作命令、故障设置命令以及进行培训评估。

### 3 交互对象及路径空间设计

#### 3.1 FOM 中对象类和交互类设计

电力综合仿真平台包含了 7 类联邦成员，联邦成员之间存在大量的数据交互。根据 HLA 构造系统的思想，首先需要对交互数据进行分类，设计对象类和交互类，并按照对象模型模板的规则进行格式化。

系统主要对象类和交互类设计见表 1、2。

#### 3.2 SOM 设计

仿真系统中，电网仿真成员主要负责开关刀闸状态和潮流数据的维护和更新，它创建量测类的对象实例，其它联邦成员通过订购量测类的属性来获取开关刀闸状态和潮流值。变电站仿真成员和发电厂仿真成员主要负责维护厂站内二次设备元件的状态(如光字、压板、切换把手)，它们作为厂站仿

表 1 对象类及其属性

Tab. 1 Object classes and the attributes

类的名称	属性
电网仿真厂站类	厂站名称
电网仿真量测类(包括遥测)	名称、类型、量纲、值、相位
厂站仿真对象类	厂站名称
厂站仿真遥信类	名称、类型、量纲、值、相位

表 2 交互类及其属性

Tab. 2 Alternating classes and the attributes

类的名称	属性
电网仿真量测交互类(包括遥测)	交互数据
电网仿真故障交互类	故障类型、设备名称、故障位置
电网仿真保护动作信息交互类	信息类型、字节数、时间、厂站名称、动作信息、行为、设备名称、严重等级、顺序事件标志
厂站仿真遥信变位交互类	交互数据
厂站仿真故障交互类	故障类型、设备名称、故障位置
厂站仿真操作交互类	操作类型、字节数、设备类型、值、相位、设备关键字。
厂站仿真保护动作信息交互类	信息类型、字节数、时间、厂站名称、动作信息、行为、设备关键字、严重等级、顺序事件标志
监控操作交互类	操作类型、字节数、设备类型、值、相位、设备关键字
全局控制命令交互类	命令类型、字节数、数据信息

真遥信类的对象实例存在于仿真成员中，其它联邦成员只能订购其属性。调度自动化系统仿真成员、集控中心监控系统仿真成员和变电站综合自动化系统仿真成员具有功能相似性，统称为监控系统仿真成员，它们都从电网仿真成员接收潮流数据、开关刀闸状态，从变电站仿真成员和发电厂仿真成员接收告警信息、二次设备元件状态等数据。仿真系统中 SOM 的订购发布关系如表 3 所示。

表 3 SOM 发布、订购关系

Tab. 3 Published and subscribed relations of the SOM

交互类对象类	电网仿真成员	变电站仿真成员	发电厂仿真成员	监控系统仿真成员	教员系统
电网仿真厂站类	发布	订购	订购	订购	订购
电网仿真量测类	发布	订购	订购	订购	订购
厂站仿真对象类	订购	发布	发布	订购	订购
厂站仿真遥信类	订购	发布	发布	订购	订购
电网仿真量测交互类	发布	订购	订购	订购	订购
电网仿真故障交互类	发布 订购	订购	订购	—	发布
电网仿真保护动作信息交互类	发布	—	—	订购	订购
厂站仿真遥信变位交互类	订购	发布	发布	订购	订购
厂站仿真故障交互类	订购	发布	发布	—	—
厂站仿真操作交互类	订购	发布	发布	—	—
厂站仿真保护动作信息交互类	—	发布	发布	订购	订购
监控操作交互类	订购	订购	订购	发布	发布
全局控制命令交互类	订购	订购	订购	订购	发布

#### 3.3 路径空间设计

综合仿真平台中的每个联邦成员都是包含多种类型仿真对象和大量对象实例的复杂系统，如变

电站仿真成员可以包含数十个开关刀闸和数百个压板；每个联邦成员产生的对象实例和感兴趣的数据也互不相同，为了提高数据交互的效率，有必要采用路径空间(routing space, RS)来限制交互数据的发送和接收范围。本系统设计了一个一维路径空间类，每个厂站(发电厂、变电站)映射成路径空间类值域中的一个值，数据发送者和接收者都使用路径空间进行数据发布和订购，实现以厂站为数据处理单元的数据分发策略。

#### 4 联邦时间推进策略设计

电力综合仿真平台中可以包含多个相同或不同类型的联邦成员，联邦成员之间存在着复杂的相互作用和影响，并且分别分布在不同的计算节点上并行地运行，成员之间的主要交互事件都具有时间相关性，如电网仿真成员产生的潮流数据、变电站仿真成员和发电厂仿真成员的操作事件、监控系统仿真中的遥控遥调操作以及教员系统设置的故障等都需要按照正确的时间顺序执行和交互数据，如何保证事件按照正确的时序被接收和处理是系统设计的关键。

HLA 的时间管理服务提供了仿真运行的协调管理功能，它采用时标顺序(time stamp order, TSO)事件来实现成员之间的同步。TSO 事件是一种带有时标的特殊事件，它被按照时标顺序传递给联邦成员，保证事件以正确时序被获得和处理。HLA 的时间管理服务支持多种时间推进策略<sup>[19-20]</sup>，其中步进时间推进(time advance request, TAR)和事件请求时间推进(next event request, NER)是最常用的 2 种基于 TSO 事件的时间推进策略。

TAR 以一定时间步长推进联邦成员的逻辑时间，而使用 NER 申请时间推进时，如果在申请时间到达之前有 TSO 事件到达，则时间推进到该事件的时标处，因此是变步长的时间推进策略；无论采用哪种时间推进方式，联邦成员都需要首先向 RTI 申请时间推进，RTI 与其它联邦成员进行协商后由时间推进批准回调函数(time advance grant, TAG)批准时间推进。联邦成员时间推进过程如图 3 所示。

仿真平台中的电网仿真成员、变电站仿真成员、发电厂仿真成员是核心联邦成员，包含着复杂

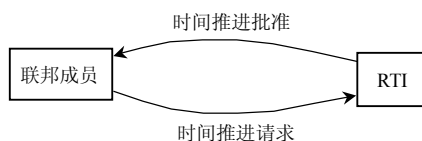


图 3 时间推进过程

Fig. 3 Process of time advance

的仿真逻辑及交互，是设计时间推进策略时的重点分析对象。其中电网仿真成员是对复杂微分方程的连续求解，计算的精确性要求仿真程序采用很小的计算步长(如 0.02s)，电网仿真为了加快计算速度、增强系统的实时性采取了许多有效措施(如自动变步长计算技术)，因此，电网仿真的时间推进策略必须结合仿真算法的特点，具有较快的响应速度并适合变步长的要求，系统采用了基于 NER 的时间推进策略。变电站仿真及发电厂仿真主要模拟潮流变化对站内设备的冲击以及在当前潮流状态和运行方式下操作事件的行为，一般来说无需进行高精度的快速计算，但依然需要对外部事件做出较快的响应，因此也采用了基于 NER 的时间推进策略，时间推进步长适当放宽，在响应快速性与时间推进代价之间取得平衡。监控系统仿真成员及教员系统功能相对简单，但为了实现方便，也采用基于 NER 的时间推进策略。

#### 5 电力综合仿真平台功能实现及其特点

综合仿真平台以自主开发的分布交互式支撑环境 CEPRI-RTI 为基础，采用 VC++ 和 Visual Fortran 开发实现。

联邦开发分为 2 步：首先采用联邦建模工具 FedCreate 建立 FOM 和 SOM 模型，生成联邦执行数据文件，然后用 VC++调用 HLA 标准接口函数对仿真成员进行封装。

电网仿真的核心计算程序用 Fortran 语言实现，基于 HLA 的通信接口采用 VC++开发，电网成员通过 HLA 接口获取联邦交互数据及仿真推进时间，然后调用核心计算程序进行模拟计算，计算结果通过 HLA 接口发送给其它联邦成员，实现了电网仿真程序的整体重用和与其它联邦成员的互操作。电网仿真成员采用基于 NER 的时间推进策略，根据事件类型以及仿真计算的要求，变步长地推进仿真时间；它的时间推进过程既影响其它仿真成员的时间推进，同时也受其它仿真成员时间推进的限制，确保了仿真成员同步推进仿真时间，实现仿真系统协同运行。电网仿真成员的时间推进流程如图 4 所示。

仿真平台的其它联邦成员都按照 HLA 的要求进行了封装，它们的流程实现与电网仿真成员的流程相似。

基于 HLA 的电力系统综合仿真平台具有如下特点：

1) 运行支撑环境与应用层相互分离，从体系结构上解决了系统的开放性和重用性问题，为跨部

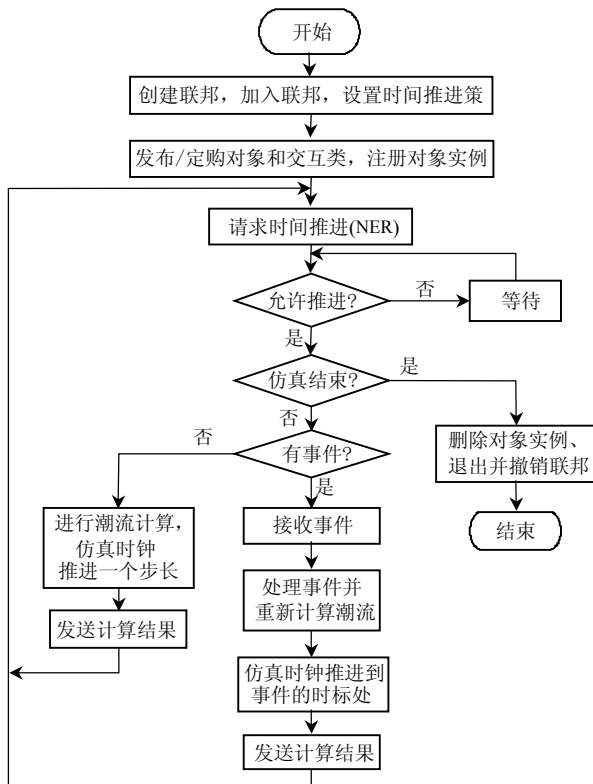


图4 电网仿真联邦成员流程

Fig. 4 Flow chart of grid simulating federate

门、多阶段开发复杂分布式仿真系统创造了条件。

2) 采用标准的联邦执行数据文件描述联邦对象模型, 联邦成员通过标准的接口函数交互对象模型的信息, 模型的一致性和接口函数的标准化提高了仿真系统的互操作能力和重用性。

3) 采用订购/发布机制实现基于类的数据过滤, 采用路径空间实现基于值的数据过滤, 减少了网络数据流量, 提高了通信效率。

4) 采用 HLA 的时间管理服务实现了仿真平台的时间推进策略, 保证了仿真系统的时间一致性。

5) 采用电网仿真、变电站仿真、发电厂仿真、调度自动化系统仿真、集控中心监控系统仿真和变电站综合自动化系统仿真的一体化设计, 可以实现电力生产全过程的联合反事故演习, 具有更高的真实性和更好的培训效果。

## 6 结论

本文研究了 HLA 标准应用于电力综合仿真平台的有关问题, 按照 HLA 规范设计了详细的联邦成员交互对象类及属性、实现了基于厂站名称的数据过滤算法和基于事件请求的时间推进策略, 为解决分布式复杂电力综合仿真系统的重用性、开放性、互操作性、时间一致性问题进行了有益的探索。

在该平台基础上实现电力生产运行主要环节的一体化仿真, 系统的功能更加完整, 结果更真实, 培训效果更好。

## 参考文献

- [1] 张慎明, 姚建国. 调度员培训仿真系统(DTS)的现状和发展趋势[J]. 电网技术, 2002, 26(9): 60-66.  
Zhang Shenming, Yao Jianguo. Current situation and development trend of dispatcher training simulator[J]. Power System Technology, 2002, 26(9): 60-66(in Chinese).
- [2] 董昱, 庄伟, 陶洪铸, 等. 电力系统大规模联合反事故演习的组织实施[J]. 电网技术, 2007, 31(2): 5-8.  
Dong Yu, Zhuang Wei, Tao Hongzhu, et al. Organization and implementation of large-scale joint anti-accident training of power system[J]. Power System Technology, 2007, 31(2): 5-8(in Chinese).
- [3] 张永翔, 段绍辉, 杨卫东, 等. 深圳供电局变电培训仿真系统[J]. 电网技术, 2000, 24(1): 16-18.  
Zhang Yongxiang, Duan Shaohui, Yang Weidong, et al. Substation operator training simulation system of Shenzhen Power Supply Bureau[J]. Power System Technology, 2000, 24(1): 16-18(in Chinese).
- [4] 王邦志, 林昌年, 蒲天骄, 等. 变电站集中监控仿真培训系统的设计与实现[J]. 电网技术, 2004, 28(8): 21-24.  
Wang Bangzhi, Lin Changnian, Pu Tianjiao, et al. Design and implementation of a training simulator for substation control center[J]. Power System Technology, 2004, 28(8): 21-24(in Chinese).
- [5] 侯俊, 李蔚清, 林昌年. 变电站三维交互场景仿真关键技术研究[J]. 电网技术, 2005, 29(9): 70-75.  
Hou Jun, Li Weiqing, Lin Changnian. Research on key technologies of three dimension interactive scene simulation for substation[J]. Power System Technology, 2005, 29(9): 70-75(in Chinese).
- [6] 龚庆武, 姜芳芳, 陈义飞. 基于虚拟现实技术的变电站仿真培训系统[J]. 电网技术, 2005, 29(24): 74-77.  
Gong Qingwu, Jiang Fangfang, Chen Yifei. Virtual reality technique based substation training simulator[J]. Power System Technology, 2005, 29(24): 74-77(in Chinese).
- [7] 杨永生. 基于 Web 的变电站培训仿真器[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(1): 30-32.  
Yang Yongsheng. Web-based training simulator for substation operator[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(1): 30-32(in Chinese).
- [8] 黄文涛, 魏文辉, 吴季浩, 等. 基于变电站数字物理混合仿真技术的多级联合仿真培训系统[J]. 电网技术, 2008, 32(23): 95-98.  
Huang Wentao, Wei Wenhui, Wu Jihao, et al. A multilevel joint simulation training system based on digital-physical hybrid simulating technology of substation[J]. Power System Technology, 2008, 32(23): 95-98(in Chinese).
- [9] 赵菁, 孙晖. 基于 CIM 的集控站仿真培训建模支持系统[J]. 电力系统及其自动化学报, 2005, 11(3): 21-24.  
Zhao Jing, Sun Hui. Modeling support system based on CIM of training simulation for centralized control substation[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2005, 11(3): 21-24(in Chinese).
- [10] 时斌, 韩江虹, 万秋兰, 等. 多电压等级变电站混合仿真培训系统的实现[J]. 电力系统及其自动化学报, 2004, 16(4): 76-80.  
Shi Bin, Han Jianghong, Wan Qiulan, et al. Realization of multi-voltage grade automation substation's mixed training system[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2004, 16(4): 76-80(in Chinese).

- [11] 逢健鹏, 高平, 李峰云, 等. DTS-SOTS 联合故障仿真的系统设计及实现[J]. 电网技术, 2003, 27(8): 54-58.  
Pang Jianpeng, Gao Ping, Li Fengyun, et al. Design and implementation of DTS-SOTS cooperative fault simulation [J]. Power System Technology, 2003, 27(8): 54-58(in Chinese).
- [12] 王磊, 万秋兰, 张雨飞, 等. 客户变电站仿真培训系统柔性构建技术研究[J]. 电网技术, 2007, 31(1): 84-89.  
Wang Lei, Wang Qiulan, Zhang Yufei. Study on flexible building technology for customer substation simulating and training system [J]. Power System Technology, 2007, 31(1): 84-89(in Chinese).
- [13] 杨永生, 郝小欣. 分布交互式仿真技术在变电站仿真中的应用[J]. 电网技术, 2000, 24(9): 49-53.  
Yang Yongsheng, Hao Xiaoxin. Application of high level architecture/run time infrastructure(HLA/RTI) to substation simulation [J]. Power System Technology, 2000, 24(9): 49-53(in Chinese).
- [14] 韩晓光, 杨峰, 董朝霞. 基于 HLA 的电网联合培训系统[J]. 电力系统及其自动化学报, 2007, 19(2): 120-123.  
Han Xiaoguang, Yang Feng, Dong Zhaoxia. Cooperative simulation for power system based on HLA[J]. Proceedings of the CSU-EPSSA, 2007, 19(2): 120-123(in Chinese).
- [15] 曾亮, 齐欢, 王小平, 等. 电力市场仿真平台综述[J]. 继电器, 2006, 34(18): 72-77.  
Zeng Liang, Qi Huan, Wang Xiaoping, et al. Review of the simulating platform of electric market[J]. Relay, 2006, 34(18): 72-77(in Chinese).
- [16] IEEE Std 1516.1-2000, IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture(HLA): Federate interface specification

- [S]. 2000.
- [17] IEEE Std 1516.2-2000. IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA): Object mode template(OMT) specification[S]. 2000.
- [18] IEEE Std 1516-2000. IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA): Framework and rules[S]. 2000.
- [19] Kuhl F, Weatherly R, Dahmann J. 计算机仿真中的 HLA 技术 [M]. 付正军, 王永红, 译. 北京: 国防工业出版社, 2003: 73-107, 141-146.
- [20] 周彦, 戴剑伟. HLA 仿真程序设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002: 11-54.



杨选怀

收稿日期: 2009-03-16.

作者简介:

杨选怀(1967—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力仿真培训系统平台的研究开发工作,  
E-mail: long1631@sina.com;

林昌年(1964—), 男, 硕士, 教授级高工, 主要从事电力系统分析、电力仿真培训系统的研究开发工作;

王国平(1977—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电力仿真培训系统虚拟现实仿真技术研究;

蒲天骄(1970—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力仿真培训系统的研究开发工作;

徐正清(1972—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力仿真培训系统的研究开发工作。

(责任编辑 李兰欣)

(上接第91页 continued from page 91)

- [14] Jang S I, Choi J H, Kim J W, et al. An adaptive relaying for the protection of a wind farm interconnected with distribution networks[C]. IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition, Dallas, Texas, USA, 2003.
- [15] Haslam S J, Crossley P A, Jenkins N, et al. Design and evaluation of a new type of protection for wind farms[C]. Sixth International Conference on Developments in Power System Protection, Nottingham, UK, 1997.
- [16] Crossley P, Haslam S, Jenkins N. Evaluation of a new type of protection relay for wind farms[C]. IEE Colloquium on System Implications of Embedded Generation and Its Protection and Control, Birmingham, UK, 1998.
- [17] Achleitner G, Obkircher C, Fickert L, et al. Overall protection in decentralized wind power plants and decentralized grids[C]. International Conference on Clean Electrical Power, Capri, Italy, 2007.

- [18] Reichard M L, Finney D, Garrity J T. Wind farm system protection using peer-to-peer communications[C]. 60th Annual Conference on Protective Relay Engineers, Texas, USA, 2007.

- [19] 马志云. 电机瞬态分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998: 120-134.  
[20] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1996: 316-380.



杨国生

收稿日期: 2009-02-23.

作者简介:

杨国生(1977—), 男, 硕士, 主要研究方向为电力系统继电保护, E-mail: yangguosheng@epri.ac.cn;

李欣(1984—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统继电保护;

周泽昕(1970—), 女, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护。

(责任编辑 沈杰)

## 《三峡输变电工程总结性研究论文集》征稿启事

按照国务院三峡办的有关要求, 国家电网公司将于 2009 年底出版《三峡输变电工程总结性研究论文集》, 该论文集在归纳、整理已发表的相关论文的基础上继续征集新论文, 欢迎从事三峡输变电工程建设的专家、学者和工程技术人员踊跃投稿, 投稿要求如下:

- 1) 投稿为未公开发表的论文, 请勿一稿多投, 请作者确保论文内容的真实性和客观性。
- 2) 稿件内容可以为综述、理论研究、试验研究、工程设计、工程施工、工程管理、设备研制等。
- 3) 稿件字数控制在 8000 字以内, 如内容丰富可适当增加字数。
- 4) 稿件提交截止日期为 2009 年 8 月 20 日。
- 5) 来稿请注明“三峡输变电工程建设论文”。

投稿邮箱: pst@epri.ac.cn; 联系人: 郭训颖; 联系地址: 北京市海淀区清河小营东路 15 号《电网技术》编辑部; 电话: 010-82812532; 传真: 010-82812532。