

8-14-2020

## Research on Online Simulation Technology of Intelligent Distribution Network Based on Distributed Component Service

Xueshun Ye

*China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China;*

Wanxing Sheng

*China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China;*

Xiaoli Meng

*China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China;*

Keyan Liu

*China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China;*

*See next page for additional authors*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

# Research on Online Simulation Technology of Intelligent Distribution Network Based on Distributed Component Service

## Abstract

**Abstract:** Simulation architecture of intelligent distribution network was investigated based on component service, *Service Oriented Architecture computing framework, modules coordination mechanism and component deployment and realization method were proposed. And data interactive interface, transmission and integration method with online data resources were proposed. Meanwhile, distribution network simulation model, including photovoltaic, wind power and other distributed generation was established*, which designed online power flow, fault calculation, reliability, reactive power optimization, distributed generation locating and sizing function module. An online simulation system of intelligent distribution network was realized on basis of the architecture and method above. Through a 10 kV distribution network example, feasibility of the simulation method proposed was verified.

## Keywords

Service Oriented Architecture (SOA), component, distribution network, online, simulation

## Authors

Xueshun Ye, Wanxing Sheng, Xiaoli Meng, Keyan Liu, and Yinglong Diao

## Recommended Citation

Ye Xueshun, Sheng Wanxing, Meng Xiaoli, Liu Keyan, Diao Yinglong. Research on Online Simulation Technology of Intelligent Distribution Network Based on Distributed Component Service[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(9): 2062-2068.

# 基于分布式组件服务的配电网在线仿真技术

叶学顺, 盛万兴, 孟晓丽, 刘科研, 刁赢龙

(中国电力科学研究院, 北京 100192)

**摘要:** 研究了基于分布式组件服务的智能配电网在线仿真技术架构, 提出了面向服务的基础计算框架、各模块协调机制, 以及分布式部署模式。提出了仿真系统与在线数据源的交互接口、传输方式及整合方法。建立了含光伏、风电等新型设备的配电网数字仿真模型, 设计了在线潮流、故障、可靠性、无功优化、分布式电源选址定容等功能模块。最后, 采用以上架构和方法, 实现了智能配电网在线仿真系统, 并通过某地区 10 kV 配电网算例进行了仿真, 验证了仿真方法的可行性。

**关键词:** 面向服务; 组件; 配电网; 在线; 仿真

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2016) 09-2062-07

## Research on Online Simulation Technology of Intelligent Distribution Network Based on Distributed Component Service

Ye Xueshun, Sheng Wanxing, Meng Xiaoli, Liu Keyan, Diao Yinglong

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

**Abstract:** Simulation architecture of intelligent distribution network was investigated based on component service, *Service Oriented Architecture computing framework, modules coordination mechanism and component deployment and realization method were proposed. And data interactive interface, transmission and integration method with online data resources were proposed. Meanwhile, distribution network simulation model, including photovoltaic, wind power and other distributed generation was established, which designed online power flow, fault calculation, reliability, reactive power optimization, distributed generation locating and sizing function module. An online simulation system of intelligent distribution network was realized on basis of the architecture and method above. Through a 10 kV distribution network example, feasibility of the simulation method proposed was verified.*

**Keywords:** Service Oriented Architecture (SOA); component; distribution network; online; simulation

## 引言

配电网是处于电力系统的末端, 在电力网中主要起电能分配作用的网络, 具有地域分布广、电网规模大、设备种类多、网络连接多样、运行方式多变等鲜明特点。配电网的结构庞大且复杂, 网络

结构由于故障或负荷转移操作中开关的开合而频繁发生变化<sup>[1-2]</sup>。随着城镇化建设和用电需求的增长, 配电网一直在不断改造和扩建, 其规模也不断扩大, 同时各种类型分布式电源的大量接入和自动化程度的不断提高导致其控制和分析变得日益复杂<sup>[3-4]</sup>。

为使配电网始终处于安全、可靠、优质、经济、高效的最优运行状态, 提高配电系统电能质量, 最大限度增加电网企业的经济效益, 提升整个配电系统的管理水平和工作效率, 配电网仿真已成为贯穿配电系统研究、规划和运行的一项重要工作。只有



收稿日期: 2015-06-18 修回日期: 2015-08-31;  
基金项目: 国家电网公司科技(EPRIPDKJ(2013)4265);  
作者简介: 叶学顺(1985-), 男, 湖北, 硕士, 工程师, 研究方向为配电网仿真; 盛万兴(1965-), 男, 河南, 博士后, 教高, 研究方向为智能配电网与微网; 孟晓丽(1972-), 女, 陕西, 硕士, 教高, 研究方向为配电网自愈与仿真。

<http://www.china-simulation.com>

• 2062 •

通过对配电网的深入仿真分析,才能使配电网规划和调度人员的预测更加准确,决策更加科学。目前,配电网的数字仿真系统较少,仿真更多停留在理论分析和培训仿真方面,缺乏对配电网的安全生产、经济运行起到指导作用;或作为高级应用与配电自动化、规划决策等系统深度耦合,功能单一不能全面覆盖整个配电网仿真体系,支持的模型匮乏,算法效率低且计算结果不精确无法反应现场实际状态,难以应对大规模复杂多变的配电网,给现代配电网的发展带来相当不利的影响。因此设计并实现一种智能配电网在线仿真系统,满足在线控制、在线决策的需要,对提高配电网研究、设计和规划水平,保障配电网安全稳定运行有着十分重要的意义。

面向服务架构(Service Oriented Architecture, SOA)在电力信息系统设计中的应用越来越广泛。文献[5]提出采用企业应用集成(Enterprise Application Integration, EAI)技术来解决电力企业面临的信息孤岛问题,并指出 SOA 是实现电网 EAI 的重要模式。文献[6]提出建立基于 SOA 的电力企业服务总线(Enterprise Service Bus, ESB)是解决配电网自动化及管理系统信息集成问题的理想方案。文献[7-8]基于 SOA 设计了一体化数据交换平台,并作为国家电网公司 SG186 工程的重要组成部分。目前,针对配电网在线数字仿真的面向服务 SOA 架构尚属空白。

为弥补配电网数字仿真领域的不足,本文采用 DCOM 分布式组件,设计提出了面向服务的配电网基础计算框架、模块协调机制、分布式部署实现模式,以及在线仿真系统的数据源、交互接口和数据整合方法,并对配电网仿真模型库,功能模块进行了设计。实现了基于分布式组件服务的智能配电网在线数字仿真系统,并通过 10 kV 实际配电网算例验证了所提出的架构和方法的有效性和可行性。

## 1 基于分布式组件服务仿真计算架构

本文设计提出的基于分布式组件服务的智能配电网在线仿真系统整合了包括配电网自动化系

统、生产管理系统、用电信息采集系统等配电网数据源,抽取设备台账数据、配电网网架信息、用采信息等,基于这些在线数据对配电网进行在线仿真。其中,基础技术架构的核心是面向服务的仿真计算基础框架及协调机制、基于分布式 DCOM 组件的部署模式。

### 1.1 面向服务的仿真计算基础框架及协调机制

面向服务 SOA 的智能配电网仿真计算框架中,配电网仿真服务的不同功能模块通过服务松耦合定义,独立于实现服务的硬件平台、操作系统和编程语言,客户端采用预定义的接口和协议连接就可以透明的提交仿真请求并获得结果。通过服务器端统一的服务层,可灵活的横向/纵向扩展功能以适应不断升级的业务。如图 1 所示,面向服务的配电网数字仿真系统架构,将所有仿真模块包装成服务,并规定统一的调用接口,基于 XML 格式传输数据,使得仿真系统客户端可以透明调用仿真算法,同时仿真系统服务器端可以通过服务的方式灵活地扩展功能。服务器端架构包括数据层、封闭层、服务层。数据层从本地数据库与外部数据源抽取仿真所需数据,实现配电网异构数据的融合与清洗。封闭层包括拓扑服务、内存计算、接口服务、通信解析、数据过滤和基本的仿真服务。拓扑服务将仿真所需数据载入集群共享内存,避免对数据库的反复调用影响计算效率,通信解析程序负责解析客户端发来的 XML 文件,数据过滤功能基于开放式仿真接口对接收到的数据进行筛选,抛弃非法请求。服务层基于 DCOM 组件提供统一的仿真算法调用,使用 TCP 和操作系统底层 API 实现不同主机间程序的调用。



图 1 智能配电网在线仿真系统服务器端架构

图 2 为配电网在线仿真系统服务器端数据流程图, 服务器端提供统一的仿真服务, 各集群服务器及仿真服务协调机制如下:

**Step1** 通过指定的方式从分布式集群中定义一台协调服务器, 该服务器的主要功能是响应客户端访问请求, 维持一个待处理任务队列  $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots\}$  并基于动态轮询法分配仿真任务, 具体选取过程按以下步骤执行:

① 对所有参与仿真的节点(节点数量为  $N$ ) 进行轮询, 获取各节点实时性能与当前任务量, 预估当前任务量时间为  $t_i (i < N)$ 。

② 计算所有节点的当前任务预估时间  $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots\}$  和性能系数  $\partial = \{\partial_1, \partial_2, \partial_3, \dots\}$ , 得到待分配任务节点集合  $Re = f_{\min}(T \times \partial, m)$ , 这里的  $f_{\min}(S, m)$  表示取集合  $S$  的最小的  $m$  个数。

③ 根据集合  $Re$  分配  $m$  个任务, 更新待处理任务队列。

**Step 2** 从数据库读取任务队列中的目标网络, 进行统一拓扑并共享到每一台仿真服务器上, 同时协调服务器对各个服务器的持续监控, 并且不断更新, 基于每一个仿真服务器的实时性能分析将任务合理分配到集群中。若发现某个任务网络节点数量超过阈值, 则跳转至 Step 3 进行分割并行处理。

**Step 3** 将网络规模复杂、节点较多的仿真任务进行切割, 分发到空闲仿真服务器中, 同时维持一个协调通信进程, 然后通过整合各个节点的中间结果, 得到最终结果。

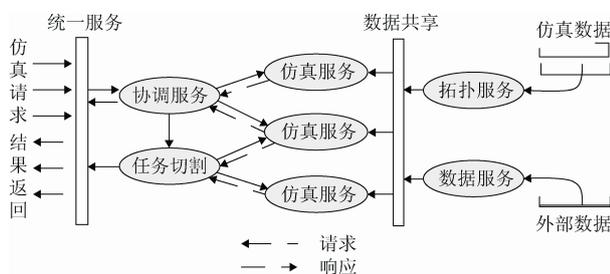


图 2 仿真系统服务器端数据流程图

## 1.2 基于 DCOM 组件的分布式部署模式

对于服务组件的部署方式上本文采用基于

DCOM 的配电网数字仿真系统分布式集群部署模式, 如图 3 所示, 将多用户不同功能的计算请求分布到集群上, 增加仿真吞吐量, 提高整个集群的灵活性和可用性。针对大规模电网计算维数过高、计算量过大且求解效率偏低等问题, 纵向切割配网网络, 将网络规模复杂、节点较多的仿真任务进行切割, 分发到空闲仿真服务器中, 通过整合各个节点的中间结果, 得到最终结果实现并行仿真计算。

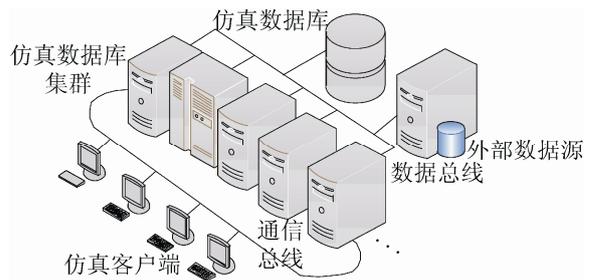


图 3 配电网数字仿真系统分布式部署方式

## 2 在线仿真系统功能体系及实现

智能配电网在线仿真计算分析功能体系是配电网仿真技术的实现载体, 它整合了含配电自动化多个在线数据源, 实现数据管理结构和模式的统一, 并在此基础上实现在线仿真的算法功能。

### 2.1 智能配电网在线仿真功能体系架构

智能配电网在线仿真功能体系架构可以分为 3 个层次: 模型层、算法层、界面层, 各个层次的内容及架构如图 4 所示。

(1) 模型层: 为智能配电网在线仿真系统提供设备及网络模型, 以及基本的参数。其中, 模型库中既包括传统的配电模型, 也包括新型设备模型, 使得能够对配电网中接入的新型设备进行仿真。

(2) 算法层: 实现智能配电网仿真功能的算法, 包括方法库和规则库。算法层是实现配电网仿真计算功能的核心, 包含潮流、故障、可靠性、无功优化、分布式电源选址定容等算法。由于采用了面向服务的架构(SOA), 使得仿真算法功能层各算法之间实现松耦合, 高内聚, 算法层的算法可以实现无缝扩展升级。

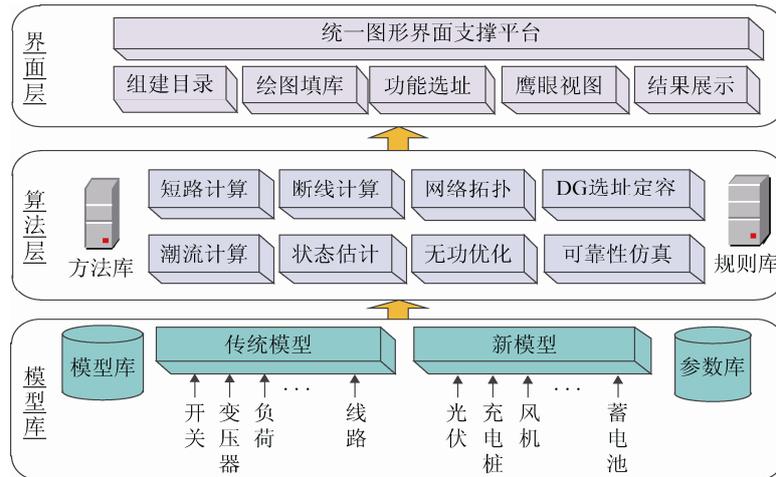


图 4 配电网数字仿真功能体系分层架构

(3) 界面层: 从用户的角度出发, 为智能配电网在线仿真系统提供人机交互接口界面, 包括仿真过程中常用的组建目录、绘图填库、功能选择、仿真工程的多样化视图以及仿真结果的可视化展示。

## 2.2 在线系统数据源、接口与数据整合

为了服务于配电网运行现场, 必须获得真实可靠的在线数据源进行仿真分析, 其中的关键是在线数据源、接口和在线数据的整合方法。智能配电网在线仿真系统外部数据源主要包括安全防护 I 区的配电网自动化系统、调度自动化系统、III 区配电网生产管理系统、营销系统等。仿真系统与配电网中其它系统的数据交互逻辑与接口如图 5 所示。

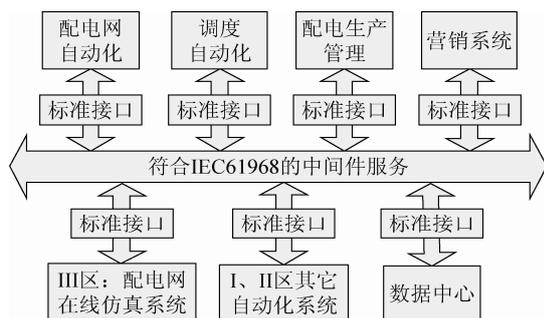


图 5 配电网数字仿真系统与在线数据源交互图

在线数据接口符合 IEC 61968 标准, 模型数据符合 CIM 标准, 在线数据使用电力系统专用格式 CIM-E 格式进行传输, 智能配电网在线仿真系统通过解析接收到的配电网在线数据包获得全网数据,

经过在线数据整合后, 可用于仿真功能实现。其中, 在线数据整合主要包括在线计算数据拼接与设备动态智能映射, 为仿真系统提供了统一、详细的电网模型与实时在线信息。

## 2.3 仿真建模

智能配电网设备及网络模型是进行仿真的基础。针对配电网仿真过程中涉及到的模型种类多、建模方法多、参数多等问题, 本文建立了智能配电网模型库对配电模型进行统一管理。智能配电网模型库由设备模型子模型库、负荷模型子模型库、节点模型子模型库、分布式电源模型子模型库、常用实例模型子模型库和典型接线方式模型子模型库等六类子模型库组成, 如图 6 所示。智能配电网仿真系统通过对各个模型的输入输出接口实现对模型的调用。本文建立的智能配电网模型库既包括传统模型, 如线路、变压器、负荷、开关、发电机、电压源等; 也包含了新模型, 如光伏电池、燃料电池、蓄电池、风机、微型燃气轮机、电力电子装置及其控制系统等。

## 2.4 仿真功能模块实现

智能配电网在线仿真系统的仿真功能主要包括在线潮流、故障、可靠性、无功优化和分布式电源选址定容以及状态估计等支撑功能。各仿真功能之间的逻辑关系及图 7 所示。

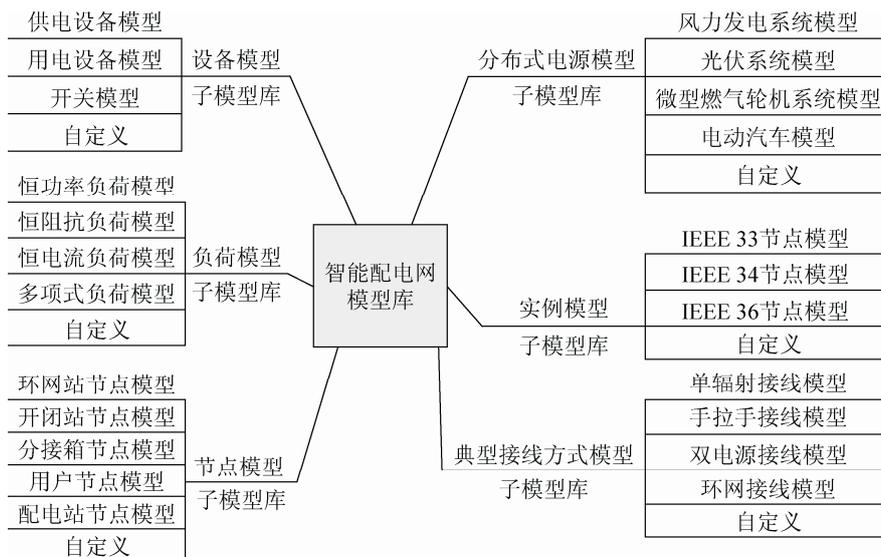


图 6 配电网数字仿真系统模型库

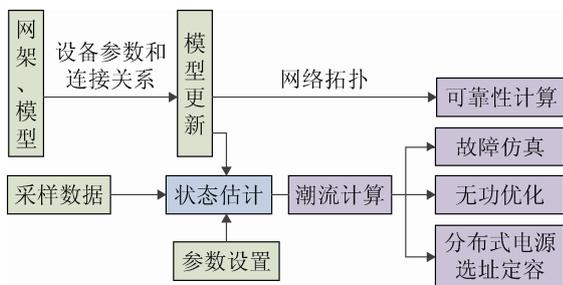


图 7 智能配电网各仿真功能模块之间的逻辑关系

其中，各仿真功能及实现如下：

(1) 配电网在线潮流仿真。采用配电网运行过程实时运行断面数据信息，在进行配电网状态估计基础上，在线仿真该时间界面内的配电网运行态势，可计算出配电网潮流分布、电压、无功等各项运行指标。本文中考虑分布式电源的接入，采用了改进型的前推回代潮流计算方法<sup>[9]</sup>，以满足分布式电源接入后带来的双向潮流等新工况。

(2) 配电网故障仿真。配电网故障类型包括短路和断线两种，分别是：三相短路、两相相间短路、两相接地短路、单相接地短路、三相断线、两相断线、单相断线。本文通过建立故障后配电网序网络(正序、负序和零序)，按照计算各个序网络的故障电流，最后通过序网络的合成，得到各种类型故障情形下的故障电流。

(3) 配电网可靠性仿真。根据配电网结构、电网及设备的运行、维护、维修、故障托数据信息，

采用序贯蒙特卡罗方法对配电网在不同运行环境，不同运行状态下的可靠性指标参数，包括系统平均停电频率、停电持续时间等一系列指标。

(4) 配电网优化仿真。配电网优化仿真功能包括无功优化和分布式电源选址定容。无功优化仿真是根据配电网在不同运行情况下的无功-电压分布情况，通过电容器组的配置和投切，使得系统的无功-电压水平符合要求，从而达到改善电能质量的目的。分布式电源选址定容是通过优化分布式电源的安装位置和容量，实现提供配网运行水平的目的。这两类优化问题都通过建立数学优化多目标优化模型，然后通过求解优化模型，得到最优的方案。其中，在求解多目标数学优化模型时采用了基于精英策略的非支配性遗传算法，该算法收敛性好，最大限度的保持了各优化目标之间的独立性<sup>[10]</sup>。

### 3 仿真系统实现与验证

基于以上的系统架和方法，采用面向对象的设计技术，智能配电网在线仿真系统使用 C++编写实现。仿真系统的各功能模块实现及结果展示逻辑如图 8 所示。

为了验证本文中的基于组件服务的智能配电网在线仿真系统的有效性，通过某地区 10 kV 实际配电网生产系统进行了验证，如图 9 所示。



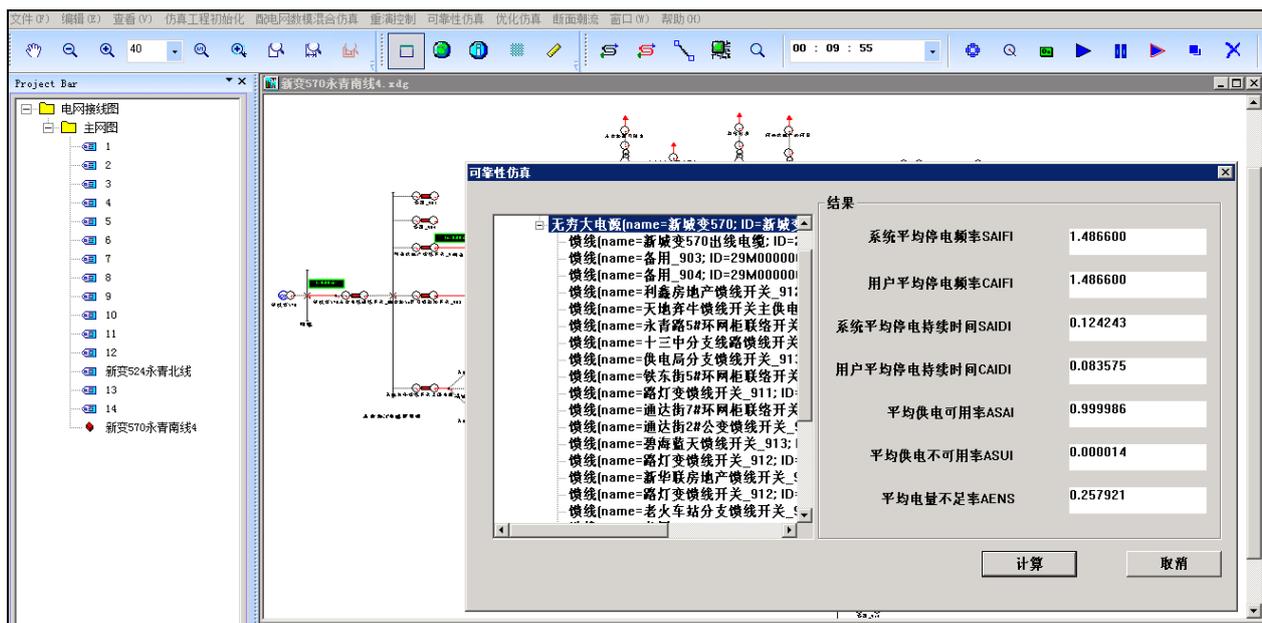


图 10 智能配电网在线仿真系统运行效果

## 4 结论

本文设计提出的智能配电网在线仿真系统, 采用了 SOA 基础计算框架, 仿真服务内聚程度高, 各仿真服务之间通过实现松耦合, 前端通过调用仿真服务实现仿真功能。同时, 通过数据接口实现了在线数据的获取、传输和解析, 为在线仿真的实现提供了数据基础。建立的含新型分布式电源在内的配电网模型库, 方便了仿真系统对模型的管理, 并设计了在线潮流、故障、可靠性、无功优化、分布式电源选址电容等多个功能。通过 10 kV 实际配电网运行案例, 验证表明所提出的仿真方法的有效性, 可以为配电网在线运行分析提供技术支撑。

## 参考文献:

- [1] 尤毅, 刘东, 于文鹏, 等. 主动配电网技术及其进展 [J]. 电力系统自动化, 2012, 36(18): 10-16.
- [2] 孔涛, 程浩忠, 李钢, 等. 配电网规划研究综述 [J].

电网技术, 2009, 33(19): 92-99.

- [3] 田立亭, 张明霞, 汪免伶. 电动汽车对电网影响的评估和解决方案 [J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(31): 43-49, 217.
- [4] 刘伟, 彭冬, 卜广全, 等. 光伏发电接入智能配电网后的系统问题综述 [J]. 电网技术, 2009, 33(19): 1-6.
- [5] 唐跃中, 曹晋彰, 郭创新, 等. 电网企业基于面向服务架构的应用集成研究与实现 [J]. 电力系统自动化, 2008, 32(14): 50-54.
- [6] 刘海涛, 赵江河, 苏剑. 基于 ESB 的配电网自动化及管理系统信息集成 [J]. 电力系统自动化, 2008, 32(16): 47-51.
- [7] 孙丕石, 曹占峰, 王亚玲, 等. 国家电网公司数据交换平台研发与应用 [J]. 电网技术, 2008, 32(22): 62-67.
- [8] 袁鹏, 顾建炜, 郭创新, 等. 基于面向服务架构的配网双编码体系设计 [J]. 电网技术, 2012, 36(1): 271-276.
- [9] 丁明, 郭学风. 含多种分布式电源的弱环配电网三相潮流计算 [J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(13): 35-40.
- [10] 王茜, 张粒子. 采用 NSGA-II 混合智能算法的风电场多目标电网规划 [J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(19): 17-24.