

基于多智能体 SOA 模型的电力系统信息集成的应用研究

毕睿华, 杨志超, 王玉忠

(南京工程学院电力工程学院, 江苏 南京 211167)

摘要: 分析了电力系统信息的横向集成(集成化平台)和纵向集成(网络化平台)的特点和需求, 提出在多智能体系统(MAS)模型上构建面向服务架构(SOA)结构体系解决电力信息系统集成问题; 分析了电力信息系统的集成框架, 提出了接口智能体(界面层)、信息集成总线和服务智能体(模型层)、决策/协调层的三层结构; 分析了SOA的元模型机构, 提出联邦管理智能体的概念, 形成在SOA模型下的多智能体的联邦或联盟的协作关系。

关键词: SOA; 多智能体系统; 信息集成; 服务智能体; 联邦管理智能体

Studies on information integration of MAS-based SOA model in power system

BI Rui-hua, YANG Zhi-chao, WANG Yu-zhong

(School of Power Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract: The characteristics and needs of horizontal integration (the integrated platform) and vertical integration (the network platform) in the power system information integration are analyzed and service-oriented architecture (SOA) built on the multi-agent system (MAS) model is introduced to solve the power system integration issues. The electric power information system integration framework is analyzed and three-tier structure including the interface agent (interface layer), UIB and SA, organization layer is introduced. The SOA meta-model structure is analyzed and the federation management agent is introduced to construct the collaborative relationships among the multi-agents built on SOA.

Key words: SOA; multi-agent system; information integration; SA; federation management agent

中图分类号: TM71

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2010)07-0063-06

0 引言

在“以信息化带动工业化, 以工业化促进信息化”的战略构想的指引下, 电力系统信息化建设服务于电力系统企业的市场化运营, 为企业的未来积聚竞争优势。特别是互联网技术的成熟, 电力行业(主要指发电企业及电网企业)信息化实现跨越式发展, 信息技术应用的深度和广度上达到前所未有的地步。

随着电力工业的迅速发展, 大容量、高参数、大电网、高电压、高自动化水平, 已成为现代化电厂的基本特征。大型火电机组配备的集散控制系统(DCS), 集成了过去众多生产控制系统的功能, 使生产过程信息成为网络资源, 成为信息化电厂的基础。另外, 发电企业与电网分开管理、竞价上网、对企业的经营管理提出了更高的要求, 发电企业综

合运用已有的管理信息系统(MIS)分析DCS系统提供的实时数据, 制定机组生产计划、执行机组优化运行。电网企业目前初步建立电力宽带信息网络。随着能量管理系统(EMS)等生产自动化系统的发展, 电网运行实时信息开始从自动化走向标准化, 如EMS的应用程序接口标准IEC61970, 横向将和支持配电管理系统(DMS)、地理信息系统(GIS)等的应用程序接口标准IEC61968接轨, 纵向将和支持变电站(含光电互感器)的应用程序接口标准IEC61850互补接轨, 构成完整的标准化体系。除此以外, 生产自动化系统和管理信息系统(MIS)有一体化的趋势, 催生新一代生产管理系统。

目前电力系统信息化面临的难题表现如下:

1) 由于缺乏有效的整合信息平台, 电力信息系统的异构性问题突出, 表现如下:

①应用异构——第三方厂家开发的应用程序的数据标准不一致。

②数据异构——数据以各种不兼容格式存储。

基金项目: 南京工程学院自然科学基金资助项目(KXJ08062)

③结构异构——各信息系统采用了多种体系结构。

④平台异构——由多厂家提供的不同的硬件和系统软件构成计算机系统平台。

⑤网络异构——采用多种不同的通信网络技术产品构建不同的网络传输平台。

2)由于各应用系统的开发厂商和开发时间的不同,存在同一信息或数据对象来自不同的应用系统的多信息源问题。

3)缺乏统一的信息平台,信息一定程度不能共享,网络资源和硬件资源利用率低,管理系统缺乏跨应用系统的生产业务流程管理的能力,难以构造有效的知识管理系统,不支持管理层和决策层的综合分析和辅助决策。

2003年7月,美国能源部主持召开了“美国电力传输技术展望”专题研讨会。会议提出建设“综合能源及通信系统体系结构”(Integrated Energy and Communication System Architecture, IECSA)。它是开放式的、基于标准的架构,集成了数据通信网络和智能设备,用来支持未来的电力交换系统。美国希望在这一结构上实现电力系统信息的横向集成(集成化平台)和纵向集成(网络化平台)。

1 多智能体系统 (MAS) 在电力信息集成中的应用架构

智能体 (Agent) 是一种具有感知能力、问题求解能力和与外界通信能力的实体程序。它通过预先定义的协议与外部 Agent 进行通信,并以一种松散耦合的方式进行分布式智能求解。

多智能体系统 (MAS) 由多个松散耦合的、粗粒度的智能体 (Agent) 组成,在兼顾单个 Agent 系统优点的同时,重点解决功能独立的 Agent 之间通过协商、协调和协作,完成复杂的控制任务或解决复杂的问题^[1]。它具有:①求解能力增强。通过协作充分发挥集体智能性,可以解决单个 Agent 无法完成的复杂问题;②求解效率高。采用分布式的数据结构,使各个节点并行求解,从而提高效率;③可扩充性和容错性。多个 Agent 从整体上协调工作,一个或几个 Agent 的加入、退出或出错时,不会使最终的决策失误。

多智能体 (multi-agent system, MAS) 理论是设计和实现复杂软件系统和控制系统的新途径,因其适用条件与电力系统的特征几乎完全吻合,因而受到众多学者的关注。Genesereth^[2]通过多智能体技术将丰富的“孤岛型”信息资源集成起来,以增加

系统软件的总体价值。Nwana^[3]和 Michael^[4]两人认为目前大多计算机系统经常会发生业务变化及重组等问题,对异构系统的集成需求已越来越强烈。MAS 可以方便地求解分布式问题,具有很强的伸缩性,而且允许遗留应用系统之间实现互联和互操作^[5-9]。从软件工程的观点来看,MAS 已被证明为是开发大型分布式系统和进行信息集成的有效方法。

我国从“八五”期间就开始从事多智能体理论和应用研究,在电力系统中应用研究也取得了一定的进展。文献[10-12]利用多智能体理论研究电力市场的问题,对其中的主体——发电商、配电商、电力交易中心 (PX)、独立调度 (ISO) 等分别进行了建模,设计了基于多智能体的仿真平台框架。文献[13]提出了基于多智能体的电网调度操作票指导系统设计方案。文献[14]提出了基于多智能体理论的电压无功优化控制的原理、结构和实现框架,并对全局无功电压优化控制的数学模型和目标函数进行了分析与改进。以上文献只是涉及了多智能体理论在电力系统控制中的应用,但对于控制系统的中枢——电力信息系统,对其进行基于多智能体理论的集成和整合应用的研究还处于起步阶段。

从企业的管理模型上看,电力系统信息系统整合框架如图 1 所示,包括决策/协调层、事务处理层以及数据模型层。在事务处理层,电力企业的调度自动化系统、配电自动化系统、其它客户信息系统以及新增事务处理系统等都独立存在,各个系统与其他系统之间的信息交互通过信息集成总线 (UIB) 实现,新增的辅助决策系统和事务处理系统都直接挂接在信息集成总线上,通过信息集成总线来与原有的事务处理系统进行数据交换。

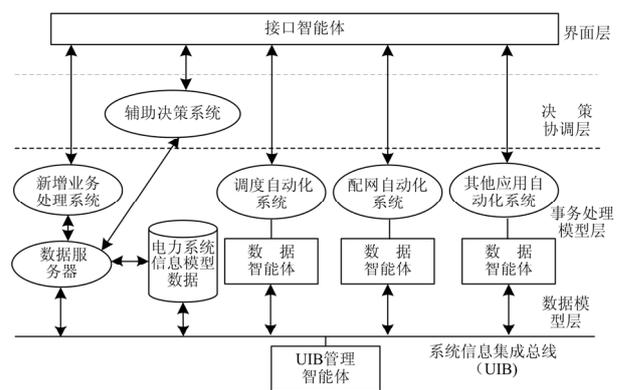


图 1 电力系统信息集成框架

Fig.1 Power information system integration framework

信息集成平台实际上是一个交互系统,因此能把系统整合框架抽象为三层,即为界面层、模型层、决策协调层。

界面层是人与系统的结合点, 由一组接口智能体 (interface agent, IA) 组成^[15]。图 2 所示为界面接口智能体的工作状况。用户通过与接口智能体通信达到与应用系统的交互, 以及与其它用户接口智能体的交互的目的。接口智能体的外在表现形式和功能主要由用户的业务特征和工作习惯决定, 包括用户级视图的功能分析, 用户业务特性和工作习惯的研究, 接口智能体学习和训练方法以及知识来源的确定, 人机相互激励环境的建立等。

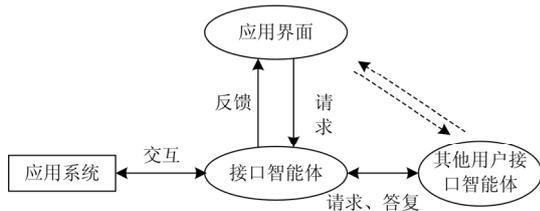


图 2 接口智能体
Fig.2 Interface agent

模型层的建立是从用户需求分析入手, 将现实问题空间映射到计算机空间, 其关键是信息集成总线 (UIB) 管理智能体和数据服务智能体 (SA) 的实现。信息集成总线 (UIB) 是信息整合平台的核心, 服务智能体 (SA) 是集成异质信息资源的重要桥梁。

(1) 信息集成总线 (UIB)

UIB 的管理智能体是决策和协调层运行的基础平台, 包括内存和缓冲区构件、日志构件、通信构件、系统信息服务、进程服务、名字服务、元数据服务、公共数据访问 (GDA) 服务、高速数据访问 (HSDA) 服务、可缩放矢量图像 (scalable vector graphics, SVG) 图形服务、扩展服务和数据接口等, 同时通过扩展实现软件智能体构件的“即插即用”。

GDA^[16]从系统获得数据 (输入数据和结果), 可以足够用来集成多种应用和系统以便在近实时或者非实时模式操作应用系统。HSDA 所访问的数据可以是电力系统实时数据、计算数据、设备的参数以及下发到系统的控制。SVG 采用基于 XML 的图形标准^[17], 将各个系统内图形文件转化为标准的 SVG 格式文件。

在分布式系统中, UIB 管理智能体提供, 实现对服务的构造、查找、通信和使用的机制。服务的实体包括硬件设备、软件 (如应用程序或工具)、信息 (如数据库) 以及系统的使用者。机制的建立要求满足以下约定^[18]: ①各个子系统之间严格按照 IEC61968 的公共信息模型 (common information model, CIM) 进行数据建模。②各个子系统提供标准的组件接口规范 (CIS) 接口, 用于让其他系统

通过接口访问本系统的数据。③为各个子系统提供系统适配器。系统适配器是对集成的系统的高效包装, 对于要实现数据交互的各个子系统, 需要单独实现。适配器是一种请求会话接口, 用于请求方与服务方建立连接对象, 并管理其生命周期。当一个子系统需要从另一个子系统获取数据时, 首先通过信息集成总线 (UIB) 向提供数据的子系统发起连接请求; 适配器接到请求后调用该系统的组件接口规范 (CIS) 接口, 按要求组织数据; 将数据发送给服务端, 由服务端将它发给子系统。

(2) 数据服务智能体 (SA)

数据服务智能体 (SA) 按照 Web 应用数据标准—可扩展标记语言 XML/RDF 规范, 从各个业务处理系统中读入数据文件, 并按照 CIM 模式数据库定义的规范生成标准的数据文件。在系统整合实现中, 采用先进的基于 CIM 的客户/服务器构件进行系统的集成, 提供在线的方式下接入标准的数据集成。同时采用企业信息模型以 XML/RDF 文件方式输出, 提供在线和离线的两种方式下接入非标准的和不带中间件平台的系统, 能够组成适应各种需求的接口适配器。数据服务智能体 (SA) 与其他系统联系如图 3 所示。

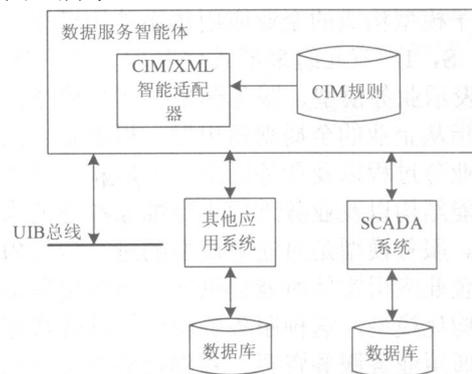


图 3 数据服务智能体架构
Fig.3 Data service agent framework

决策/协调层是企业业务流程的反映, 业务处理、决策及组织的融合是本层的核心。它位于模型层和界面层之间, 负责解释执行界面层传来的消息, 使模型层智能体协调运作, 完成用户所要求的状态变化。多 Agent 之间的合作可以有串行、并行和混合三种合作方式。文献[19]提出了层次合作模型, 通过该模型将合作对象通过联合能力组成一个层次合作序列, 将众多 Agent 个体之间复杂的依赖和合作关系转变为几个联合体之间简单的串行合作。文献[20]提出联邦结构模型, 基于这一模型将各个智能体分成组织者和协作者两种角色。这两种角色在

每次任务下达过程中动态确定。其中组织者就是任务的承担者，而协作者则是协同任务的承担。文献[21]提出负载驱动的委托关系模型，基于这一模型，委托方智能体通过和可委托关系的智能体协商，决定如何将部分行为委托给它执行，协同完成计划。这种委托和被委托行为从局部范围看，造成了委托方智能体的负载减轻，效率提高，受托方智能体负载加重，获得额外工作量。然而从整个系统环境看，委托行为本身带来了系统负载向合理的方向流动，即重负载委托方减轻，轻负载被委托方加重。

2 基于 SOA 模型的信息系统集成方案

面向服务的架构 (service-oriented architecture, SOA) 是一种基于服务驱动的松耦合、多应用集成的技术解决方案，是目前信息系统技术发展的主流方向。它来源于早期的基于组件的分布式计算技术，在世界主要信息技术公司和标准化组织推动下，已经成为一个广泛认可的规范^[22]。基于 SOA 的 MAS，把 MAS 和 SOA 的实现架构结合起来，利用服务机制对 Agent 进行封装，可通过多个 Agent 之间的合作实现复杂信息系统的各种功能^[20]。

SOA 元模型是由业务模型、服务模型及实施模型 3 个子模型构成的企业应用体系结构模型，它可用 (B, S, I) 三元组来形式化表示。其中 B、S、I 分别表示业务模型、服务模型和实施模型。业务模型是指从企业的全局视角出发，根据企业的职能角色、业务过程以及业务活动三个层次，对企业的业务功能结构以及业务过程进行抽象描述的应用体系框架。服务模型是对业务模型的进一步抽象，它是针对企业应用实体所能提供应用服务资源能力的一种结构化模型，这种服务资源包括基础数据服务资源、通用业务服务资源、基础业务服务资源、流程服务资源和第三方提供的其他可用服务资源等。实施模型是指根据企业的具体需求，结合所依赖的应用平台，从企业内、外提供的不同类型的服务中选取所需的服务，并根据不同的行业规则特点与企业的具体解决方案进行服务的动态选择与组装。

在开发与部署过程中，SOA 元模型提供了三层服务管理机制，即：①管理服务及其接口；②管理业务模型向服务模型间的关系映射与转换；③管理底层的应用系统平台与服务间的交互与组装。整个 SOA 元模型的体系结构如图 4 所示。

基于 SOA 模型的集成方案应包括以下环节：

1) 定义信息系统内部与外部各种相关应用资源要素，对系统内与各个子系统间的不同业务实体进行抽象，并对其属性与功能进行分析描述。

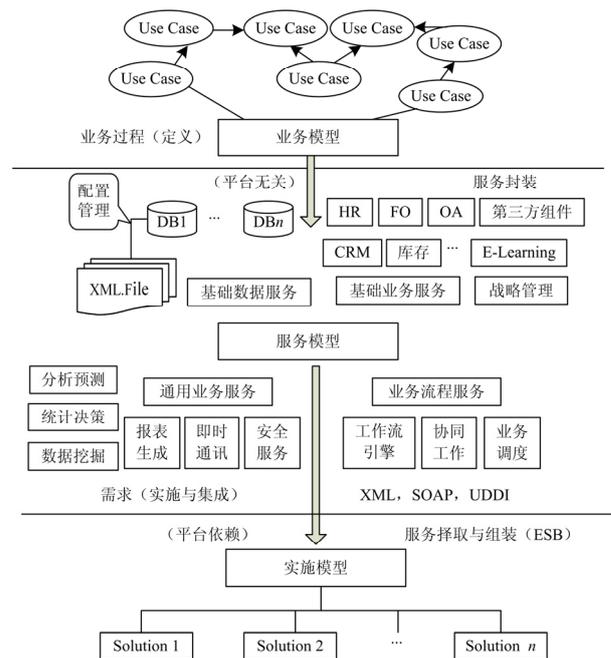


图 4 SOA 元模型结构图

Fig.4 Element model of structure

2) 对系统内、外不同的业务实体间存在的关系进行抽象，建立系统的业务模型，增加定义了系统集成边界，并实现跨信息系统间的数据准备和业务流程与规则的定义。

3) 部署基于 SOA 的基础设施平台，包括统一描述、发现和集成协议 (universal description discovery and integration, UDDI) 服务注册中心，基于简单对象访问协议 (SOAP) 的消息引擎等^[23]。

4) 方案库中存在信息系统的针对性方案，则根据方案库中提供的方案以及业务模型，从 UDDI 中心筛选出所需要的业务服务单元。

5) 形成新的完整解决方案，存入方案库，并将私有的企业资源规划 (ERP) 系统服务单元发布到 UDDI 中心进行注册，供合作伙伴调用。

3 在 SOA 模型下的多智能体的协作

在多智能体的协作机制上，我们提出集成系统的智能体组成联邦或联盟 (Agent 为较松散联系)，并交由联邦管理智能体 (manage agent, MA) 集中调度。各智能体在平等协商的基础上进行协调和合作，包括联邦规划、联邦活动和合作协调，以实现紧凑一致的协同工作。联邦管理智能体是整个系统中的核心部件。在联邦管理智能体的通信模型中，熟人模型和自身模型是两个主流模型。熟人模型是对目前了解的其它智能体的描述，记录了它们的意

向、技能、兴趣、当前状态等。它指出了已知的所能解决问题的范围, 是开展规划和协调活动的前提之一。随着协作的开展, 熟人模型会不断地更新。自身模型是对联邦管理智能体 (MA) 的描述, 记录了其意向、技能、当前状态等, 是联邦管理智能体 (MA) 开展行为控制的依据。联邦管理智能体 (MA) 的结构如图 5。在此基础上构建基于 MAS 的 SOA 架构, 并应用于电力系统信息集成体系中。

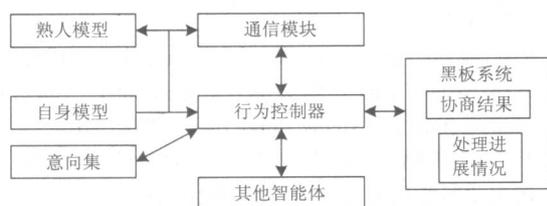


图 5 联邦（联盟）管理智能体结构

Fig.5 Federal(Union) management agent architecture

4 结语

虽然多智能体理论在电力系统运行与控制中的应用近几年称为电力学科的热点问题之一, 但在电力系统运行与控制的中枢神经——信息的集成和控制的应用上, 并没有取得很大的进展。问题一是对于利用多智能体理论建立的电力系统信息集成系统中, 各个智能体的角色、功能的研究还比较模糊。问题二是在电力系统信息集成系统中, 实现统一的信息模型, 进一步解决多数据源的研究还有待深入。问题三是一部分文献提出了多种多智能体之间决策协调的组织结构, 但对这些结构的优缺点没有比较, 更没有构建具体的模型加以评价。

参考文献

- [1] GUP, Balasubramania N S, Norrie D H. Bidding-based Process Planning and Scheduling in a Multi-agent System[J]. Computers Industry Engineering, 1997, 32(2): 477-496.
- [2] Genesereth M R, Ketchpel S P. Software Agents[J]. Communications of the ACM, 1994, 37(7): 48-53.
- [3] Nwana H S. Software Agents: An Overview[J]. The Knowledge Engineering Review, 1996, 11(3): 205-244.
- [4] Michael W, Nicholas R J. Intelligent Agents: Theory and Practice[J]. Knowledge Engineering Review, 1995, 10(2): 115-152.
- [5] Talukdar S, Ramesh V C, et al. Multiagent Organizations for Real-time Operations[J]. Proc IEEE, 1992, 80(50): 765-77.
- [6] Zhang Z L, Zhang C Q. Result Fusion in Multi-agent Systems Based on OWA Operator[A]. in: Computer Science Conference, ACSC 23rd[C]. Australasia: 2000.

- 234-240.
- [7] Barthes J P A, Tacla C. Agent Supported Portals and Knowledge Management in Complex R&D Projects[A]. in: The Sixth International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design[C]. Amsterdam: 2001.287-292.
- [8] Leseure M J, Brookes N J. A Support Tool for Knowledge Management Activities[A]. in: Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology, ICMIT 2000 [C]. 2000. 696-701.
- [9] Wang Chin-bin, Chen Yuh-min, Chen Yuh-zen. A Distributed Knowledge Model for Collaborative Engineering Knowledge Management in Allied Concurrent Engineering[A]. in: Engineering Management Conference[C]. 2002. 701-707.
- [10] Liu H J, Yuan B, Dai H W, et al. Framework Design of A general-purpose Power Market Simulator Based on Multi-agent technology[A]. in: IEEE Power Engineering Society Summer Meeting[C]. 2001.1478-1482.
- [11] Praca I, Ramos C, Vale Z A. Competitive Electricity Markets: Simulation to Improve Decision Making[A]. in: IEEE Porto Power Tech Proceedings[C]. Porto(Portugal): 2001. 532-538.
- [12] Lam Y C, Wu F F. Simulating Electricity Markets with Java[A]. in: IEEE Power Engineering Society Winter Meeting[C]. 1999. 406-410.
- [13] 周明, 任建文, 等. 基于多智能体的电网调度操作票指导系统研究与实现[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(4): 58-62.
ZHOU Ming, REN Jian-wen, et al. A Multi-agent Based Dispatching Operation Instructing System in Electric Power Systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(4): 58-62.
- [14] 曹立霞, 厉吉文, 等. 基于多 Agent 技术的分布式电压无功优化控制系统[J]. 电网技术, 2004, 28(7): 30-33.
CAO Li-xia, LI Ji-wen, et al. Distributed Optimal Voltage/reactive Power Control System Based on Multi-agents System[J]. Power System Technology, 2004, 28(7): 30-33.
- [15] 徐敏杰, 胡兆光, 周原冰, 等. 基于多智能体的电力软科学智能实验室研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(21): 5020-5024.
XU Min-jie, HU Zhao-guang, ZHOU Yuan-bing, et al. Research of Electric Soft Science Intelligent Laboratory Based on Multi-Agent[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(21): 5020-5024.
- [16] 鲁尊强, 王会诚, 等. 基于 IEC61970 的开放式调度自动化集成平台[J]. 电网技术, 2006, 30: 89-92.
LU Zun-qiang, WANG Hui-cheng, et al. Open

Dispatching Automation System Integration Platform Based on IEC 61970[J]. Power System Technology, 2006, 30: 89-92.

[17] 王志南, 吴文传, 等. 基于 IEC 61970 的 CIS 服务与 SVG 的研究和实践[J]. 电力系统自动化, 2005,29(22): 60-63.
WANG Zhi-nan, WU Wen-chuan, et al. Study and Implementation of CIS and SVG based on IEC61970[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(22): 60-63.

[18] 吴琳, 周炜. 基于 UIB 软总线的配电管理系统内部信息交互[J]. 电力信息化, 2007, 5(7): 60-62.
WU Lin, ZHOU Wei. Intenal Information Exchange in Distribution Management System Based on UIB[J]. Power Infromationization, 2007, 5(7): 60-62.

[19] 赵龙文. 多 Agent 的层次合作模型及任务规划[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2006, 34(1): 96-100.
ZHAO Long-wen. Layered Model and Task Planning for Multi-agent Cooperation[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2006, 34(1): 96-100.

[20] 任明, 王成道. 基于联邦结构的多 Agent 协作[J]. 华东理工大学学报, 2006, 30(3): 311-314.
REN Ming, WANG Cheng-dao. Research of Multi-agent Cooperating Based on Federation Structure[J]. Journal of East China University of Science and Technology, 2006, 30(3): 311-314.

[21] 喻超, 毋国庆. 委托驱动的多 Agent 协调模型[J]. 计算机工程, 2006, 31(5): 18-19, 22.
YU Chao, WU Guo-qing. Consignable Relationship-driven Coordination Model of Multi-agent Consignable Relationship-driven Coordination Model of Multi-agent[J]. Computer Engineering, 2006, 31(5): 18-19, 22.

[22] 饶元. 面向服务体系结构的企业资源计划系统应用模型与集成策略[J]. 计算机集成制造系统, 2006(10): 1570-1576.
RAO Yuan. Application Model & Integration Strategy of SOA-based ERP System[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2006(10): 1570-1576.

[23] 吴浩, 王积鹏. 一种基于 SOA 的 MAS 设计方法[J]. 中国电子科学研究院学报, 2007(2): 19-25.
WU Hao, WANG Ji-peng. Method for Multi-agent System Design Based on SOA System[J]. Journal of CAE IT, 2007(2): 19-25.

收稿日期: 2009-04-13; 修回日期: 2009-05-23

作者简介:

毕睿华 (1977-), 男, 讲师, 研究方向为电力信息化, 继电保护信息系统; E-mail: biruihua@126.com

杨志超 (1960-), 男, 副教授, 研究方向为自动控制, 虚拟现实仿真技术在电力系统中的应用;

王玉忠 (1966-), 男, 副教授, 研究方向为研究方向为电力系统自动化及信息化、继电保护。

(上接第 62 页 continued from page 62)

利条件。事实证明, 有功功率大于 25% 才能进行厂用切换是不必要的, 只要机组运行平稳, 任何时候都可以切换。在低有功时候厂用电功角小, 有利于并联切换进行。

当某些特殊运行方式下, 如果功角超过切换限制定值, 或者无法降低到安全范围以内, 可以采取串联切换厂用电。为保证串联切换时开关动作可靠性, 平时需加强对切换开关的检修维护。

参考文献

[1] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 2004.

[2] 张兵海, 刘继安. 火力发电厂低压厂用电系统保护定值配合问题的探讨[J]. 继电器, 2006, 35 (3): 68-70.
ZHANG Bing-hai, LIU Ji-an. Setting Guide Analysis of Relay Protection in Power Plant LV Auxiliary Power System[J]. Relay, 2006, 35 (3): 68-70.

[3] 盘学南. 运行变压器分接开关档位的调整方法[J]. 变压器, 2003,40(1): 30-31.

[4] 陈华中. 变压器原边电压不等并联运行时的环流分析[J]. 机电工程, 2001,18(5): 205-206.
CHENG Hua-zhong. Analysis of Circulating Electric Current when the Transformer Original Side Voltage with Unequal Parallel Connection[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2001,18 (5): 205-206.

收稿日期: 2009-05-18; 修回日期: 2009-05-27

作者简介:

兀鹏越 (1976-), 男, 硕士, 工程师, 从事电站启动调试技术研究工作; E-mail: wupengyue@tpri.com.cn

何信林 (1978-), 男, 硕士, 工程师, 从事电站启动调试技术研究工作;

王团结 (1980-), 男, 硕士, 工程师, 从事电站启动调试技术研究工作。