

# 电力系统紧急控制多代理信息系统中UCA2.0应用初探

陈中, 吴在军, 王海风, 徐磊

(东南大学电气工程学院, 江苏南京 210096)

**摘要:** 电力系统紧急控制需要信息快速交换, 而多代理系统契合了该需要, 每一个代理可以是一个智能电子化设备, 他们之间的信息交互需要通信的无缝连接。UCA2.0 技术的面向对象的建模自描述技术以及基于 MMS 的通信技术适应了这种发展, 对多代理系统的建模和服务进行了初探。针对 STATCOM, 应用面向对象技术, 定义了设备模型、功能模型、数据模型, 并且在建模的基础上, 探讨了在UCA背景下的 Client-Server、Peer - Peer 等协议在紧急电压控制中的实现方式和过程, 并且通过示例系统进行了信息交换模拟。

**关键词:** UCA2.0; 紧急控制; 多代理系统

## Exploratory study of multi-agent information exchange system based on UCA2.0 in emergency control of power system

CHEN Zhong, WU Zai-jun, WANG Hai-feng, XU Lei

(Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** The exploratory work of multi-agent system UCA2.0 modeling is conducted. Each control agent is an integral element in the PEC, and each agent can be an intelligent electronic device, which needs information seamless communication. UCA2.0 object-oriented modeling techniques and the description on MMS communication technologies are adapted to such a development. With STATCOM as an example, via the application of object-oriented technology, the definitions of equipment models, functional models, and data models, are explored primarily in the paper. Based on the modeling, the realization way and process of client-server and peer-peer protocols in the emergency voltage control based on UCA are discussed. The information exchange is simulated by example system as well.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China(No.50807008).

**Key words:** UCA2.0; post-emergency control; multi-agent system

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)24-0100-06

## 0 引言

“美加 814”大停电后, 电力系统级联灾害事故的防治和研究已经成为各国政府和电力工作者研究的问题, 当系统遭受比较严重的故障时, 通过一系列紧急控制以维持电网稳定和重要负荷的供电成为焦点。基于“第三类控制”提出的“后紧急控制”框架, 结合了区域信息和当地信息, 通过全面的信息处理, 能快速协调控制器以达到全面的控制和信息优化<sup>[1-4]</sup>。

在第三类控制框架中, 多代理系统研究的是各个本地自治代理之间行为的协调以及各个本地和信息交换管理中心信息的交换, 共同组成稳定防御体

系。在各个控制代理组成的多代理系统框架中, 各个代理除了具有当地控制功能, 而且还有很强的通信能力, 能和其它代理进行信息交换, 以快速、准确地完成控制任务。但是各个控制代理是由不同个人、不同语言、不同开发工具、不同通信协议开发的, 多代理系统应用面临的一个最大障碍就是各个控制代理采用的通信协议和用户界面均不相同, (如文献[5]中报告了利用 INTERNET 协议原理设计的多代理之间的信息交换), 因而难以实现信息无缝集成 (Seamless Integration) 和互操作。同样的困难在工业控制领域更为严重, 而且解决的愿望更加迫切, UCA2.0 成为广泛应用的解决工具。为了适应这种需要, 本文也同样基于UCA2.0<sup>[6-9]</sup>, 对多代理系统的建模和通信进行了初步探讨, 并且在具体系统中进行了模拟。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50807008)

## 1 UCA 简介

随着计算机技术和网络通信技术的发展,在工业控制领域出现了越来越多的智能化电子设备(IED)。这些设备除了具有很强的当地控制功能外还有很强的通信能力,可以用它们组成大的控制系统。但是这些设备使用的通信协议大都是各厂商自己开发并专用的,不同厂商的设备之间缺乏互操作性(interoperation)。当把不同厂商的设备集成在一起构成一个系统时,人们就必须设计各种不同的通信接口设备以完成不同通信协议的转换,其维护工作将变得极为庞杂,系统运行费用也将提高,而可靠性将降低。面对这种情况,人们迫切希望能有一个大家共同遵循的国际标准对通信架构和协议做出全面的定义,使不同厂商的设备互联、集成变得简单、容易,使不同厂商的设备间实现互操作。为了适应这种需要,由美国电力研究院(EPRI)联合ABB、SIEMENS等国际大制造商和一些大电力公司制定了公共设施通信协议体系(Utility Communication Architecture UCA)。UCA2.0已经在北美地区广泛使用,成为一个重要的地区性标准。

UCA2.0协议体系为解决互操作性使用了面向对象建模技术和制造商信息规范(MMS)技术。面向对象建模技术包括面向对象、面向设备、自我描述等新技术也正在不断地得到应用,使得将目前的信息采集、信息监控向信息管理方向发展。MMS作为OSI七层参考模型应用层中的底层,UCA则构筑在MMS之上。UCA中定义的各种服务、对象协议均映射到MMS的对象、服务和协议上。MMS可以面向不同的通信协议和通信标准,这样UCA协议中就不用定义通信的底层行为,真正做到面向对象编程。

## 2 面向对象的代理信息建模

UCA2.0标准采用面向对象的建模技术,数据

自描述技术,使得建立的模型成为开放的系统模型。多代理系统基于UCA2.0进行建模,下面具体以电压稳定控制中起动态电压支撑作用的STATCOM元件为例说明建模过程。所需说明的是,目前的STATCOM的建模工作,UCA2.0还没有开展,并没有标准的定义,本文所作的仅仅是尝试性工作。

UCA标准中为了实现互操作性,采用了面向对象的建模技术,定义了设备模型和数据模型以及描述数据对象的方法和一套面向对象的服务。对于数据对象的定义,本文和IEC61850类似,采用服务器(server)、逻辑设备(LD)、逻辑节点(LN)、数据对象(DO)和数据属性(attribute)树型层次结构分层描述数据对象。

首先,对STATCOM进行功能分解和分配,对于STATCOM而言,尽管各个模型的功能不完全相同,但至少包含以下各项功能:

就地测量功能:电流、有功、无功以及功率因数,电容电压等。

调节控制功能:恒定电压、恒定无功控制。

自我保护功能。

故障录波功能。

人机接口功能:供就地设定和手动。

代理特需功能:和多代理相关的特需功能运算(推理机),比如相邻节点电压计算功能以及二次电压控制功能等等。

一个AGENT可能包含一个或多个服务器。服务器(server)为AGENT中一个通信实体,逻辑装置(LD)包含在IED的服务器中,主要由逻辑节点和附加的服务(如定值整定等)组成。逻辑节点(LN)由代表应用特定意义的若干数据和服务组成。UCA2.0标准用逻辑节点描述设备的功能,实际设备的每一个功能都定义为相应逻辑节点类的一个实例。逻辑节点名和数据名定义设备的标准化的语义(含义),代表从通信网络可视的实际应用功能和相应信息。

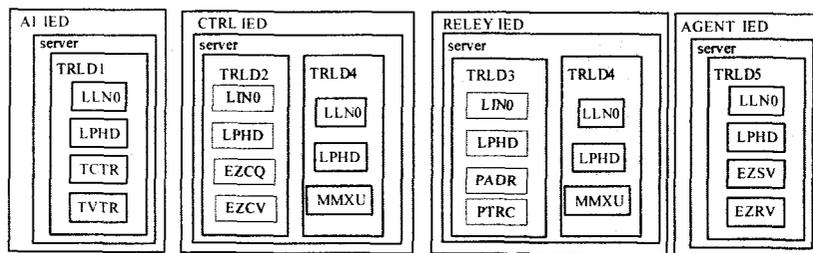


图1 STATCOM设备对象模型

Fig.1 Object model of STATCOM device

图1采用数据对象的嵌套结构给出了STATCOM的对象模型。图中包含了四个逻辑设备。

逻辑设备 TRLD1 驻留在模拟量输入模块 AI IED 中,表示 CT、VT 功能。逻辑设备 TRLD2 和 TRLD4 集成在控制模块 IED 中,其中 TRLD2 定义为控制功能(包括恒定电压 EZCV、恒定无功控制 EZCQ 等),TRLD4 对应于数字测量功能。逻辑设备 TRLD3 和 TRLD4 集成在保护模块 IED 中,其中 TRLD3 定义为自我保护功能(包括过电流保护 PADR 和记录功能 PTRC 等),TRLD5 驻留在代理模块 IED 中,描述代理所特需的功能,针对于本文来说,有特定的自身电压控制功能和临近电压控制功能。所有逻辑设备均定义了逻辑节点 LLN0 和 LPHD。逻辑节点 LLN0 代表逻辑设备的公共数据,如铭牌、设备运行状态信息。逻辑节点 LPHD 代表拥有逻辑节点的物理设备的公共数据,如物理设备的铭牌、运行状况信息。

为了实现互操作性和系统无缝集成,UCA 强调面向对象建模和对基于客户/服务器(Client/Sever)结构的应用数据交换的定义。不同 AGENT 能够实现互操作,互相的信息交换,关键在于所交换信息语义的标准化,即逻辑节点语义的定义。逻辑节点的语义由数据和数据属性描述,而对这些数据对象的操作则用服务定义。因此,逻辑设备中的逻辑节点和数据设备中的逻辑节点和数据对于多代理系统的描述和信息交换至关重要。

为了说明问题简单起见,本节以 STATCOM 的控制模块中的恒定电压 EZCV 逻辑节点为例说明数据对象模型定义。按照 UCA 定义的逻辑节点模型,EZCV 的数据对象模型如图 2。

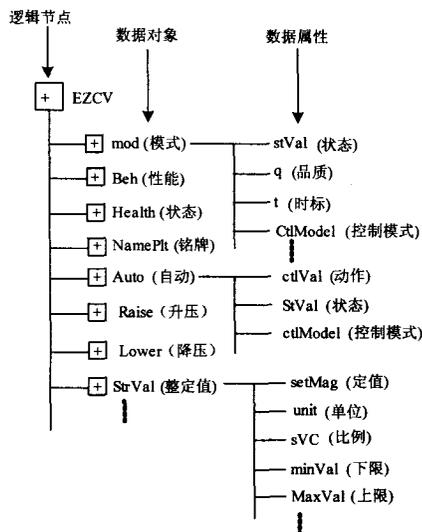


图 2 EZCV 数据对象定义  
Fig.2 Difinition of EZCV data objection

逻辑节点 EZCV 中包含了恒定电压控制常用的数据对象,其中 Mod、Beh、Health 和 NamePlt 是有关逻辑节点 EZCV 本身的描述,指明工作模式,性能、铭牌等信息; StrVal 就是 STATCOM 电压整定值的描述,包含上限和下限,Auto、Raise、Lower 是控制数据对象,表示自动调整电压、升高电压、降低电压等控制。

每一类数据对象的属性和服务分别会由 UCA 进行了详细定义。以 StrVal 为例,其属性由公共数据类 ASG 定义,包括定值大小、单位、比例、上下限等。其服务由 ACSI 定义,包括 GetDataValues, SetDataValues 等等,而 Auto 等控制对象服务有 OPERATE, CANCEL 等。

通过这一系列的标准化的数据对象定义使得同一厂家或不同厂家的多个 IED 具有交换信息并使用这些信息进行正确协同操作的能力。只要是遵循标准的 IED,均可以通过 IEC61850 的 ACSI 并按照其对象命名方法享受所定义的服务,并能正确“理解”这些参数的语义,例如:对数据对象 StVal:

GetDataValues “MYLD1.EZCV.StrVal.setMag” 将返回 STATCOM 的电压定值;

SetDataValues “MYLD1.EZCV.StrVal.maxVal” 可以设定 STATCOM 电压定值的上限。

从以上定义可以看出,面向对象的数据自描述在数据源就对数据本身进行自我描述,传输到接收方的数据都带有自我说明,不受预先定义的限制进行传输,简化了对通信的管理和维护工作。以设置 STATCOM 的 RAISE (升压) 节点为例,说明面向对象的数据自描述方法提供的优越性。

1) 对象名称 标准定义了采用逻辑设备名(Logical Device name)、逻辑节点名(Logical node name)和数据类名(Data class name)层次结构建立对象名的命名规则。图 3 表示了 STATCOM 的电压设置点的分层结构的对象名。

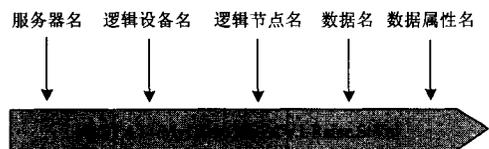


图 3 STATCOM 状态的分层结构描述示例  
Fig.3 Hierarchical structure of STATCOM

2) 通信服务 标准采用面向对象的方法,定义了对象之间的通信服务,比如,对数据模型定义了读数据值、设定数据值、读数据定义和读数据目录等通信服务;对控制模型定义了选择、执行、取消

等通信服务等。图4给出了STATCOM电压升压服务(Operate EZCV1.Raise(ON))和发现数据变化后报告升压当前状态和品质服务(Report Q0EZCV1.Raise(ON))示例。



图4 服务示例

Fig.4 Example of serve

采用面向对象的建模技术,面向设备建模和数据自我描述适应了应用功能的需要和发展,满足应用互操作性要求。

### 3 信息交换协议

多代理系统应用在电压稳定中,信息交换管理

中心作为电压稳定中的管理者,获取上传信息,处理后通过信息交换通道下传给各个本地信息交换代理,因此信息交换管理中心和各个本地信息交换代理之间通信可以采用 Client-Server 形式,即各个本地信息交换代理都是 Server,而信息交换管理中心是 Client,以循环方式各个 Server 向 Client 上传数据,而 Client 向各个 Server 下传数据。各个本地信息交换代理作为电压稳定中的执行者,在紧急情况下和其它代理协调,以事件驱动方式,各个本地信息交换代理之间通信可以采用 P-P 通信方式,即每一个本地信息交换代理都是 PEER,都直接进行点对点的通信,能满足信息交换通道的要求。

本文以图5两区四机系统为例,说明信息交换协议的应用。

需要说明的是具体交换协议,简单起见,协议以通信原语表示,并且只说明了重要的参数。

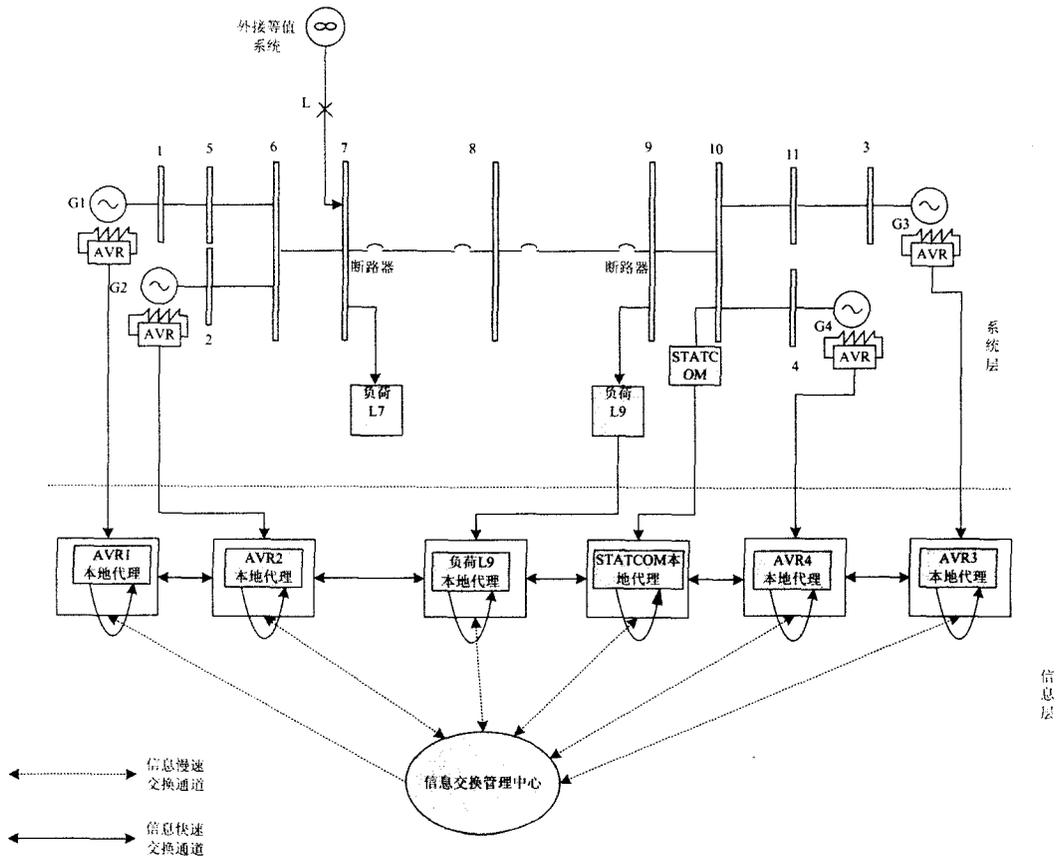


图5 示例系统信息交换框图

Fig.5 Information exchange framework of example system

第一步:建立联系 本地代理和信息交换管理中心之间以及本地代理之间交换信息都必须首先建立

联系。UCA 提供了两种联系方法:点对点,点对多。本地代理和信息交换管理中心之间建立点对

多的联系，服务由 Multicast services 提供，输入参数包括权限参数（如客户代码、视图、密码等等）Multicast(“CenT”, “Lod9”, “AVR1”, “AVR2”, “AVR3”, “AVR4”, “STATCOM”);

本地代理和本地代理之间建立点对点的联系，服务由 ASSOCIATE 提供，输入参数包括服务器参数、用户参数。

ASSOCIATE (“AVR1”, “STATCOM”)

ASSOCIATE (“Lod9”, “STATCOM”)

以此类推。

第二步：控制策略设定 本地代理上传信息至管理中心，管理中心对上传数据综合，指定控制策略，并且下传至各个代理。可用 REPORT 服务实现。

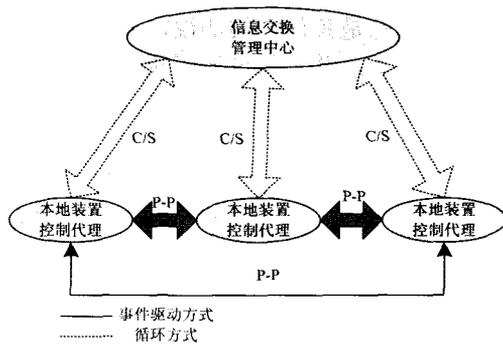


图 6 信息交换方式

Fig.6 Mode of information exchange

第三步：事故仿真

针对电压稳定中 AVR1、AVR2、AVR3、AVR4、负荷 L9、STATCOM 进行协调。具体过程如下：AVR1、AVR2、AVR3、AVR4、STATCOM 协调。1 s 时线路输电走廊由于外接系统发生电压级联故障，联络线 L 被动解列断线，L9 本地代理通过测量和计算得到负荷 L7 在 1.8 s 时电压低于 0.9，通过信息快速信息交换通道要求 AVR1、AVR2、AVR3、AVR4、STATCOM 多代理控制器之间进行协调，以预防 7 号节点电压继续下降；

REPORT(“FromLod9ToAVR1”, “data-change”, “SVHEna=1”)

REPORT(“FromLod9ToAVR2”, “data-change”, “SVHEna=1”)

REPORT(“FromLod9ToAVR3”, “data-change”, “SVHEna=1”)

REPORT(“FromLod9ToAVR4”, “data-change”, “SVHEna=1”)

REPORT(“FromLod9ToSTAT”, “data-change”, “SVHEna=1”)

参数 “data-change” 表示数据变化驱动，参数 SVHEna 表示二次电压使能；SVHEna=0 表示要求电压维持；SVHEna=1 表示要求电压上升使能；SVHEna=2 表示要求电压下降使能。

AVR1、AVR2 已经达到控制限值，不予帮助，而 AVR3、AVR4、STATCOM 在 2.8 s 时迅速改变自身电压控制策略，试图提高负荷 L7 节点电压；

OPERATE(MySTAT4/MYLD4/Q0EZSV1.Raise)=ON;

OPERATE(MyAVR34/MYLD4/Q0EZSV1.Raise)=ON;

OPERATE(MyAVR44/MYLD4/Q0EZSV1.Raise)=ON;

并且报告信息：

REPORT(“FromAVR1TooLod9”, “data-change”, “SVHStu=0”)

REPORT(“FromAVR2ToLod9”, “data-change”, “SVHStu=0”)

REPORT(“FromAVR3ToLod9”, “data-change”, “SVHStu=1”)

REPORT(“FromAVR4ToLod9”, “data-change”, “SVHStu=1”)

REPORT(“FromSTATToLod9”, “data-change”, “SVHStu=1”)

SVHSt=0 调整失败

SVHSt=1 调整成功

由于无功缺额大，即使控制器之间进行快速协调，也不能保证系统稳定，电压仍然继续下降，外围电压稳定已经失败，根据信息控制中心的控制策略，负荷 L9 是重要负荷，要尽可能地确保供电，8 s 时，负荷 L9 本地信息交换代理发出指令，主动要求线路 8—9 断路器动作，断开线路，使得一个孤岛形成两个子孤岛，一个由 G1、G2、负荷 L7 组成，但是已经电压失稳，牺牲了负荷 L7；另一个子孤岛由 G3、G4、STATCOM 和负荷 L9 组成，电压稳定，保证了负荷 L9 的供电。同时电压稳定也围绕负荷 L9 进行了动态压缩，AVR3、AVR4、STATCOM 作为核心代理。

包含负荷 L9 的子孤岛系统在 20 s 进入另一个稳态，二次电压的各个中心也回到正常值。信息管理中心信息接受负荷 L9 的上传稳态信息，发现电压比初始电压要高，下达指令要求降低电压；本地代理在 30 s 时接收到下传指令，并协调动作，降低负荷 L9 的电压，进入了另外一个稳态。

REPORT(“FromLod9ToCenT”, “periodic”, “VVal”)

```
REPORT("FromCentTtoLod9","periodic",
"SVHEna=2")
REPORT("FromCentTtoAVR3","periodic",
"SVHEna=2")
REPORT("FromCentTtoAVR4","periodic",
"SVHEna=2")
OPERATE(MySTAT4/MYLD4/Q0EZSV1.Lowe
r)=ON
OPERATE(MyAVR34/MYLD4/Q0EZSV1.Lowe
r)=ON
OPERATE(MyAVR44/MYLD4/Q0EZSV1.Lowe
r)=ON
```

#### 4 结语

电力系统极端紧急控制系统中每一个代理是一个智能电子化设备,他们之间的信息交互需要通信的无缝连接。UCA2.0技术的面向对象的建模自描述技术以及基于MMS的通信技术适应了这种发展,本文针对STATCOM,定义了设备模型、功能模型、数据模型,并且在建模的基础上,探讨了在UCA背景下的Client-Server、Peer-Peer等协议在后紧急电压控制中的实现方式和过程,并且通过示例系统进行了信息交换模拟。研究表明,UCA技术契合了紧急控制对信息交换的发展,能满足设备信息的无缝整合的要求,具有较好的应用前景。

#### 参考文献

- [1] 陈中,杜文娟,王海风,等.电压稳定后紧急控制多代理系统框架[J].电力系统自动化,2006,30(12):33-37. CHEN Zhong, DU Wen-juan, WANG Hai-feng, et al. Framework of Multi-agent System in Post-Emergency Voltage Stability Control[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006,30(12):33-37.
- [2] 陈中,杜文娟,王海风.后紧急控制多代理信息系统容错技术[J].电力系统自动化,2006,30(18):17-20. CHEN Zhong, DU Wen-juan, WANG Hai-feng. Fault Tolerance Technology of Multi-agent Information System in Post-emergency Control[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006,30(18):17-20.
- [3] 陈中,杜文娟,王海风,等.电压稳定后紧急控制重要区域分层布防[J].电力系统自动化,2006,30(19):23-27. CHEN Zhong, DU Wen-juan, WANG Hai-feng, et al.

Hierarchical Defending of Important Area in Post-emergency Voltage Stability Control[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006,30(19):23-27.

- [4] WANG Hai-feng. The "Third-Category" Method and Multi-agent System Theory in Power System Applications[A].in: Invited Penal Paper, IEEE General Meeting[C]. San Francisco(USA): 2005.1128 - 1129.
- [5] WANG Hai-feng, Li H, Chen H. Coordinated Secondary Voltage Control to Eliminate Voltage Violations in Power System Contingencies[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18(2): 588-595.
- [6] 张东. UCA 在电力系统中的应用[D].济南: 山东大学,2001. ZHANG Dong.The Study of Application of UCA to Power System[D].Jinan: Shandong University,2001.
- [7] 周友. 基于UCA体系的运动设备及传输规约的设计[D]. 济南: 山东大学,2000. ZHOU You. The Design of Remote Power Facility and System Transmission Protocol Based on UCA in Electric Power System[D]. Jinan: Shandong University,2001.
- [8] 吴在军. 变电站内部通信网络与系统的研究[D]. 南京: 东南大学, 2004. WU Zai-jun. The Study of Commuacaiton Network and System in Substation[D]. Nanjing: Southeast University,2004.
- [9] 周乐荣,韦岗.一种基于UCA体系的网络化远动通信结构[J].电力系统及其自动化,2004,28(10):65-70. ZHOU Le-rong, WEI Gang. A UCA-based Networked Control Center and Substation Communication Architecture[J].Automation of Electric Power Systems, 2004,28(10):65-70.

收稿日期: 2008-12-31; 修回日期: 2009-02-08

作者简介:

陈中(1975-),男,博士,主要研究方向为电力系统稳定运行与控制,FACTS的应用研究;E-mail: chenzhong\_seu@163.com

吴在军(1975-),男,副教授,博士,研究方向为变电站自动化系统;

王海风(1960-),男,教授,博导,研究方向为电力系统分析和控制,FACTS的应用研究。