

利用 IEC 61850/MMS 的电力远动 实时数据交换新方法

王德文, 朱永利, 邸 剑

(华北电力大学计算机科学技术学院, 河北省 保定市 071003)

A New Approach to Exchange Real-time Data of Power Telemonitoring Systems by Using IEC 61850/MMS

WANG De-wen, ZHU Yong-li, DI Jian

(School of Computer Science and Technology, North China Electric Power University, Baoding 071003, Hebei Province, China)

ABSTRACT: IEC 61850 for substation communication is the foundation of seamless communication of monitoring and control information of a power system in the future. Based on the analysis of the problems existing in the current communication protocols for power system telemonitoring, the implementation of IEC 61850 applications to the communication of power system telemonitoring information has been studied. In the paper, the network structure, communication model for telemonitoring information of a power system have been proposed based on IEC 61850 and manufacturing message specification. To solve the compatibility of the existing power telemonitoring systems with new ones based on IEC 61850, a software architecture and information model of the proposed gateway are designed, and the mapping between current power telemonitoring protocols to abstract communication service interface has been given. Furthermore, considering the actual requirements of power system telemonitoring based on IEC 61850, the telecommunication software based on a subset of manufacturing message specification has been designed and implemented, which is dedicated to the real-time communication of power telemonitoring. A prototype system for power telemonitoring based on the above models has been developed and firstly gone through field-testing carried in a practical subtransmission network, and the validity and feasibility of the proposed models and methods have been proven.

KEY WORDS: international electrotechnical commission 61850; manufacturing message specification; power system telemonitoring; abstract communication service interface; gateway

基金项目: 国家自然科学基金项目(60574037; 50477038); 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-04-0249);

Project Supported by National Natural Science Foundation of China(60574037; 50477038); Program for New Century Excellent Talents in University (NCET-04-0249).

摘要: 变电站通信标准 IEC 61850 是将来电力系统无缝通信系统体系标准的基础之一。该文对现有电力系统远动通信协议中存在的一些缺陷进行了分析, 对将 IEC 61850 应用于电力远动通信的实现方法进行了研究, 提出基于 IEC 61850 和制造报文规范的远动系统的网络结构与通信模型。同时, 为了解决现有远动系统到新型远动系统的平稳过渡, 该文设计了基于 IEC 61850 与制造报文规范的网关的软件结构和数据与服务模型, 并给出传统远动规约与抽象通信服务接口之间映射的实现方法。另外, 结合基于 IEC 61850 的电力远动通信的需要, 首次对制造报文规范的通信功能子集进行了设计与实现, 使其成为一种面向电力远动的实时通信软件。开发的基于上述模型的原型系统首次通过在某地区电网进行的工业现场试验, 验证了模型的正确性和方案的可行性。

关键词: 国际电工委员会 61850; 制造报文规范; 电力远动; 抽象通信服务接口; 网关

0 引言

网络化的电力远动系统摒弃了调制解调器, 极大提高了传输速率, 使得通信设备可快速、自由、平等地交换信息。因此, 电力远动信息的网络化传输已经成为电力远动通信系统发展的必然趋势。目前工程中所使用的 IEC 60870-5-104 是面向字符的远动协议, 仅仅考虑具体设备的数据格式的统一, 并没有对变电站自动化系统内部各种实际对象进行统一的建模和描述, 各个厂商按照各自不同的理解进行设计与实现, 使得不同系统之间互操作性比较差。

目前, IEC 61850 已成为变电站内部网络数据通信的国际最新标准, 在国内外新的变电站自动化

系统中正在受到推崇。它采用面向对象方法和统一建模语言,通过所定义的逻辑设备、逻辑节点、数据对象、数据属性与公共数据类等来描述变电站及设备的信息,并为其建立基于对象的数据模型,同时借助于基于可扩展标记语言(extensible markup language, XML)的变电站配置描述语言(substation configuration description language, SCDL)使模型的自描述成为了可能。另外使用特殊通信服务映射(specific communication service mapping, SCSM)与抽象通信服务接口(abstract communication service interface, ACSI)可以方便地适应底层通信技术的发展,以上所有的这些特性都是传统远动规约所不具备的。因此IEC 61850不应仅仅局限于变电站内部,还应向远动系统扩展,以实现整个系统的无缝连接^[1]。IEC TC57小组正在开展将IEC 61850引入电力远动的研究工作,包括在变电站之间以及变电站与控制中心之间的通信均使用基于IEC 61850的通信规约,并研究IEC 61850与IEC 60870-5-101/104之间的映射以实现调度自动化系统向IEC 61850的平稳过渡^[2]。目前,国内外IEC 61850的研究与应用仍然主要局限于变电站内^[3-5],应用于电力远动实现变电站到调度中心通信的研究还很少,且后者尚停留在实验室研究阶段。文献[6]中采用将IEC 61850的ACSI映射到实时CORBA-TAO的方法来实现变电站和调度中心之间的通信,但是由于未采用制造报文规范(manufacturing message specification, MMS)作为实时通信协议,无法实现与其它符合IEC 61850的智能电子设备(intelligent electronic device, IED)进行互操作。

目前将IEC 61850引入电力远动面临的主要问题包括:①IEC 61850标准与IEC 61970的协调问题,这一工作正在由IEC TC57小组开展研究^[7-8];②IEC 61850的核心通信服务是借助制造MMS来实现的,而目前我国MMS产品依赖进口,价格昂贵;③在厂站各种IED设备和规约并存的条件下数据交换存在转换问题。

在此背景下,本文根据IEC 61850的数据与服务模型,对MMS的服务与协议进行裁减,提出了基于IEC 61850/MMS的远动系统通信模型和网关结构模型,突破了电力远动的传统体系结构和传输模式,能够实现网络环境下调度主机、各厂站主机或IED之间直接、快速、准确、自由的信息交换,开发的基于IEC 61850的电力远动系统首次通过了

工业现场试验。

1 基于IEC 61850的远动系统网络结构

随着计算机网络与通信技术的发展,基于异步传输模式(ATM)和数字同步系列(synchronous digital hierarchy, SDH)的电力数据通信网在我国电网已初具规模。同时,以太网技术正被引入变电站自动化系统过程层的数字化采集、间隔层测量、保护和控制单元的数据通信,从而在变电站自动化系统的各个层面实现网络化的信息共享,简化了系统结构,使信号电缆大为减少。虽然变电站之间、变电站到控制中心之间的数据交换没有在IEC 61850标准中定义,但IEC 61850作为全世界唯一的基于网络通信平台的变电站网络通信标准,必将成为变电站到控制中心的唯一通信协议。这样从过程层到间隔层、从间隔层到变电站层、从变电站到调度中心都采用IEC 61850标准作为唯一的通信协议,从而可省去变电站与调度之间数据交换所需的规约转换。鉴于以上考虑,本研究提出了如图1所示的基于IEC 61850的远动系统网络结构。

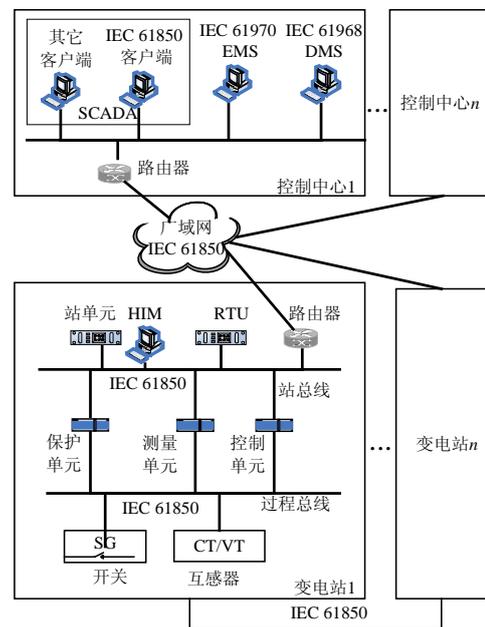


图1 基于IEC 61850的远动系统网络结构

Fig. 1 Network structure of telecontrol system based on IEC 61850

2 基于IEC 61850/MMS的远动通信模型

虽然基于IEC 61850的IED正在逐步推出,但是目前现有的变电站自动化系统仍然在使用不遵循IEC 61850的各种传统IED和规约,实现这些现有

IED和规约到IEC 61850 的整体替换代价很大, 今后较长时间内将是非IEC 61850 系统和IEC 61850 系统共存的过渡时期^[9-11]。在这个过渡阶段, 如何推进 IEC 61850 系统的实际应用, 又能保障现有系统到 IEC 61850 系统的平稳过渡, 是迫切需要解决的一个难题。因此, 本文在变电站和控制中心引入了网关机制, 提出了一种基于IEC 61850/MMS的远动通信模型, 如图 2 所示。

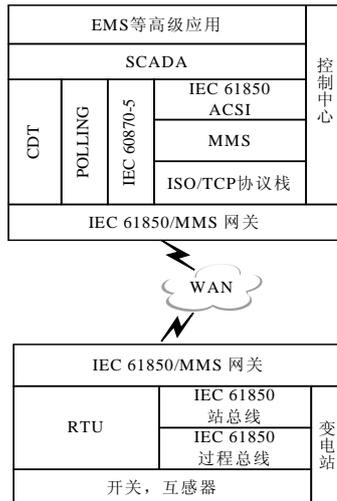


图 2 IEC 61850/MMS 远动通信模型
Fig. 2 IEC 61850/MMS-based telecontrol communication model

在模型中, 控制中心或集控主站的 SCADA 系统将按照 IEC 61850 模型进行设计, 前置通信机作为 IEC 61850 客户端与站内的 IEC 61850 IED 直接进行数据的交换, 而对于变电站层和间隔层所遗留的 RTU、继电保护装置和间隔测控单元等非 IEC 61850 设备, 采用 IEC 61850/MMS 通信网关对其进行封装, 成为一个遵循 IEC 61850 的 IED。这样, 所有设备和主机将都处于 IEC 61850 的框架下, 进行直接、快速的数据交换。

3 IEC 61850/MMS网关的设计

3.1 IEC 61850/MMS网关的软件结构

IEC 61850/MMS网关是新型远动通信模型的核心, 它被用于传统IED向IEC 61850/MMS通信网络的连接与规约转换, 其软件结构如图3所示。主要包括ACSI/MMS服务器、IED配置器、IEC 61850 实时库、数据集中器、协议转换器、协议驱动器等, 它们的作用解释如下:

(1) ACSI/MMS服务器对外提供标准的IEC 61850服务, 使网关成为一个完全遵循IEC 61850的 IED。

(2) IED 配置工具根据 IEC 61850 所提供的变电站配置描述语言文档模式文件进行数据的定义, 生成配置 IED 描述文件 (configured IED description, CID), 使其配置数据可与不同制造商提供的 IED 和系统配置工具之间相互交换。另外, 它还可以对配置和描述文件进行 SCL 与 XML 的语法验证与解析, 提供给 IEC 61850 实时库。

(3) IEC 61850 实时库接收 IED 配置工具所生成的配置与描述文件, 在内存中建立 IEC 61850 的数据模型。

(4) 数据集中器负责收集所连接的间隔测控单元或 RTU 等设备传送来的状态变位、测量值、电能累积量、事件顺序记录、故障录波等监控信息, 同时, 接收就地与远动主站所发出的控制、召唤、升降和对时等命令。

(5) 协议转换器对 IEC 60870-5 等规约的报文进行解析, 完成 IEC 60870-5 等规约与 IEC 61850 的转换;

(6) 协议驱动器提供了系统运行所需的通信环境, 包括串口通信、TCP/UDP、OSI 协议栈与 MMS 等。

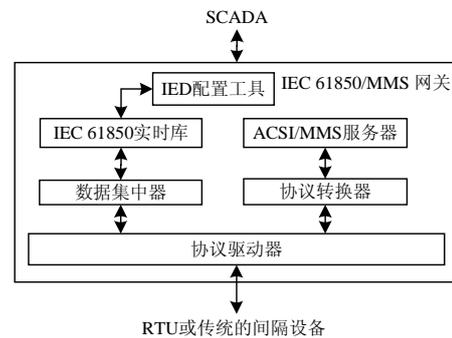


图 3 IEC 61850/MMS 网关的软件结构
Fig. 3 Software architecture of gateway based on IEC 61850/MMS

3.2 IEC 61850/MMS 网关的数据模型

本文考虑到远动系统所涉及到的变电站设备包括数据采集、计量、继电保护和电压控制等 IED, 从 ACSI 中抽取与远动相关的逻辑节点, 如电流互感器 TCTR、电压互感器 TVTR、断路器 XCBR 等, 并通过服务器、逻辑设备、以及这些逻辑节点所包含的数据对象和数据属性建立起 IEC 61850 的数据模型, 如图 4 所示。

图 4 中给出了具有单母线、一条 220 kV 进线和 2 条 110 kV 出线的某变电站的一次接线图, 它被划分为 4 个间隔: D1Q1、E1Q1、E1Q2 和 E1Q3。以 E1Q2 为例: TCTR、TVTR、XCBR 和 XSWI 等逻辑节点分布在过程层, MMXU、PIOC、MMTR 和

CSWI等逻辑节点分布在间隔层，断路器XCBR和隔离开关XSWI的闭合控制通过CSWI实现，电流互感器TCTR、电压互感器TVTR的测量和计量通过MMXU、MMTR和PIOC得以实现。

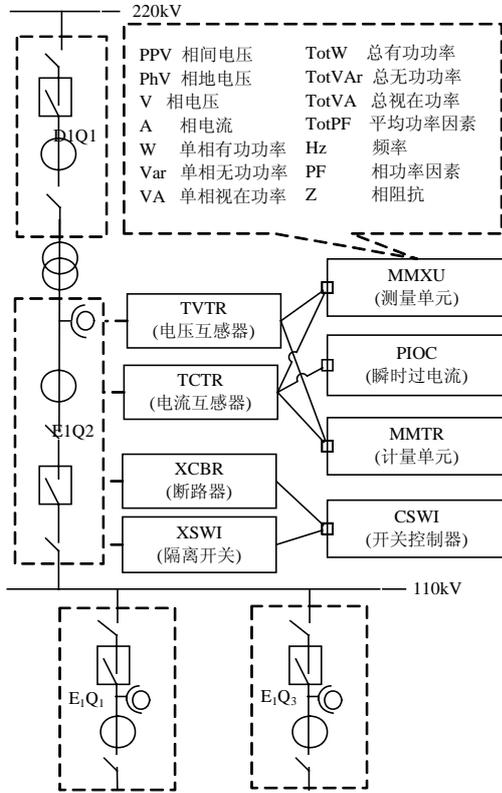


图4 IEC 61850/MMS 网关的数据模型
Fig. 4 Data model of IEC 61850/MMS gateway

3.3 ACSI/MMS 服务模型

IEC 61850-7部分定义了一套面向对象的、与实际通信协议无关的ACSI，核心的ACSI被映射到了MMS^[12]。通过分析，本研究发现在IEC 61850的应用过程中存在着如下问题：

(1) MMS协议并不是专为IEC 61850而设计的，它适用于各种工业自动化系统，过于复杂，而对于IEC 61850的应用只需要MMS的一个子集的支持。

(2) IEC 61850与MMS的映射并不是一一对应^[13-14]，造成ACSI服务向MMS服务的映射机制的实现成为了开发IEC 61850系统的一个难点问题。

(3) 绝大多数IEC 61850系统都采用国外MMS产品，例如SISCO的MMS-EASE Lite，依赖进口，价格昂贵，不利于IEC 61850的推广与应用。基于以上原因，本文提出并设计了一个ACSI/MMS通信模型，如图5所示。

MMS 应用实体(application entily, AE)由一组

提供特殊通信能力的MMS 应用服务元素(application service element, ASE)来定义。实现一系列的MMS 服务与协议，并且提供MMS接口库函数的底层实现，IEC 61850的ACSI服务通过SCSM被映射到MMS。MMS建立在ISO开发环境(ISO development environment, ISODE)的基础上，ISODE用来支持OSI的上层，包括关联控制服务元素(association control service element, ACSE)、表示层和会话层，采用RFC1006在TCP协议栈上实现OSI的传输服务，TCP/IP由操作系统提供支持，链路层和物理层采用以太网，因此这是一种MMS+ISODE+ RFC1006+ TCP/IP+以太网的实现方式。本文在实现过程中，以IEC61850的信息模型为基础，在满足IEC 61850系统性能需求的条件下，对IEC 61850所不需要的MMS服务与协议进行适当的裁减，改进了MMS与IEC61850不相一致的部分，由于直接针对IEC61850而设计，便于ACSI到MMS的直接映射，简化了映射过程，提高了IEC61850的开发效率。

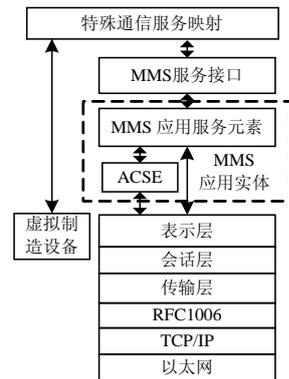


图5 ACSI/MMS 通信模型
Fig. 5 Communication model of ACSI/MMS

3.4 传统运动规约到ACSI的映射

本文以IEC 60870-5-104和循环运动规约(cyclic digital transmit, CDT)为例讨论传统运动规约到ACSI的映射过程。

IEC 60870-5-104是将IEC 60870-5-101应用于TCP/IP的运动规约，也是目前主要的网络化运动通信协议。本研究在IEC 60870-104中定义的服务同IEC 61850的ACSI之间建立了如表1的对应关系：

目前国内的运动系统仍然有大量的CDT规约在使用。CDT采用传统的串行工作方式，并且独占信道，其通信方式与ACSI的基于客户/服务器的通信模型存在明显的差异，本文通过对CDT子站的报文进行解析，给出了表2所示的映射规则。

表 1 IEC 60870-5-104 与 ACSI 映射的基本规则

104 定义的服务	ACSI 中相应服务
连接	关联
循环遥测	报告, 触发选项为 “cyclic-integrity”
总召唤	报告, 触发选项为 “General-Interrogation”
遥控遥调	带值选择、取消、操作和命令中止等
子站事件	报告, 触发选项为 “data-change”、“filtered-changed”
电能	报告, 触发选项为 “filtered-changed”
校时	RFC 2003 的简单网络时间协议(SNTP)

表 2 CDT 与 ACSI 映射的基本规则

CDT 定义的帧	ACSI 中相应服务
重要遥测(A 帧)	报告, 触发选项为 “cyclic-integrity”
次要遥测(B 帧)	
一般遥测(C 帧)	
通信状态(D1 帧)电能脉冲计数值 (D2 帧)事件顺序记录(E 帧)	报告, 触发选项为 “filtered-changed”
遥控命令、升降命令、设定命令等	带值选择、取消、操作和命令中止等”

4 模型的实现与工业现场测试

采用本文所提出的 IEC 61850/MMS 的远动通信模型, 构建了一个基于 IEC61850 电力远动通信的原型系统, 其软件部分由 IEC 61850/MMS 网关程序、SCL 配置工具以及(supervisory control and data acquisition, SCADA)图形软件等构成。该系统已在河北省邯郸供电公司调度中心投入试运行(与现有调度自动化系统并列)。

本研究对于系统的现场工业试验进行了初步的性能测试与分析, 测试的环境为: 滏园 110 kV 变电站内的 IEC 61850/MMS 网关设备通过 10/100 Mbps 自适应以太网接入 RTU 设备, 并利用 SDH 2M 通信专线与调度中心 SCADA 主机相连。

在现场试验中, 首先使用协议分析器 Ethereal 对 MMS 的初始化、获取标识, 获取状态, 获取能力, 读取变量列表, 读变量, 写变量、读取变量类型和信息报告等主要服务进行了协议测试, 验证了 MMS 服务的正确性。随后, 进行了 100 s 时间段内的通信测试: 网关的输入吞吐量如图 6 所示。在 0~5s 的时间段内进行了双边的应用关联、目录和数据类型的获取; 在 5~30 s 内对遥测与遥信的信息报告进行了传送; 在 30~100 s 内 SCADA 系统随机发送控制报文, 对其动态性能, 即对突发随机事件发生时的网络性能进行观测。

结合图6可以分析出: 在大多数时间内, 远动网络中只有遥测、遥信报文, 网络负荷很低。只有当遥控命令、开关变位等随机事件发生之后, 网络负荷短时间内才会增大。

IEC 61850 所定义的报文延时是端到端延时,

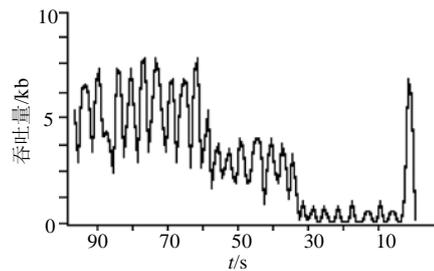


图 6 网关的输入吞吐量
Fig.6 Throughput of gateway

包括通信节点的协议处理时间与网络的传输延时。本次测试中, 共处理了1893个报文, 表3给出了部分典型报文的端到端延时的示例。

表 3 报文的端到端延时
Tab.3 End-to-end delay of message

ACSI 报文类型	请求/发送时刻/s	证实/接收时刻/s
关联	0.299 132	0.336 478
获取目录	0.340 719	0.386 313
获取数据定义	2.905 930	2.964 307
报告	6.722 630	6.765 434
带值选择	34.410 220	34.432 945

在表 3 中, “报告” 是一种非证实性服务, 被用来实现通信变位和事件顺序记录, “报告” 行的 2 个数据之差即为一个报告从发送到接收的延时 (43ms)。表中的其它ACSI报文为证实性服务, 用于通信连接、数据模型的获取以及遥控等功能, 每种报文包括请求和响应 2 个过程。表中每行数据之差为这 2 个过程的延时, 它们一般用于通信的初始化过程; 系统初始化后, 以上服务将很少被使用, 因此对系统性能起决定性因素的是“报告”的传输时间。在电网发生故障时, 多个变电站会几乎同时产生“报告”并主动发送给调度中心, 调度中心对所接受到的所有“报告”的总延时会略大于 43 ms, 但不会超过 100 ms, 因为调度端的数字化数据交换速率为百兆或千兆级。IEC 61850 规定了变电站层与本地或远程系统之间的访问控制命令报文属于低速报文, 总传输时间必须小于 500 ms^[15], 系统延时(不超过 100 ms)明显满足了这一要求。目前SDH光通信专网已经可以向用户提供百兆级的通信速率, 采用这样的通信网络, 本系统对于电网收集电网故障信息的时间估计可以限制在 20 ms 以内。

5 结论

IEC 61850 标准向调度远动系统扩展将是未来电力系统无缝通信系统的发展趋势, 这一目标的实现需要一个长期的发展过程。本文对电力远动通

信进行了深入地研究和探索,主要结论如下:

(1) 以 IEC 61850 的信息与服务模型为基础,采用 MMS 作为实时通信协议,提出了基于 IEC 61850/MMS 的远动通信模型,突破了传统电力远动的体系结构和通信模式。

(2) 设计了 IEC 61850/MMS 网关的服务模型,并给出了其与传统远动规约映射的实现方法,解决了现有远动系统到 IEC 61850/MMS 远动系统的平稳过渡这一难题,具有实用价值。

(3) 结合基于 IEC 61850 的电力远动通信的需要,首次对 MMS 进行了简化设计与实现,使其成为一种面向电力系统自动化的实时通信软件,一方面解决了 MMS 过于复杂的问题,另外一方面简化了映射过程,提高了开发和运行效率。

(4) 开发的基于上述模型的原型系统首次通过了在某地区电网进行的工业现场试验,验证了模型的优越性及方案的可行性。

参考文献

- [1] 谭文恕. 远动的无缝通信系统体系结构[J]. 电网技术, 2001, 25(8): 7-10.
Tan Wenshu. Seamless telecontrol communication architecture [J]. Power System Technology, 2001, 25(8): 7-10(in Chinese).
- [2] Christoph Brunner. Status update on IEC 61850—current activities of IEC TC57, WG10 [C]. International Conference on Advanced Power System Automation and Protection 2007, Korea, April 24-27, 2007.
- [3] 孙军平, 盛万兴, 王孙安. 新一代变电站自动化网络通信系统研究 [J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(3): 16-19.
Sun Junping, Sheng Wanxing, Wang Sun'an. Study on the new substation automation network communication system [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(3): 16-19(in Chinese).
- [4] 殷志良, 刘万顺, 杨奇逊, 等. 基于 IEC 61850 标准的过程总线通信研究与实现 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(8): 84-89.
Yin Zhiliang, Liu Wanshun, Yang Qixun, et al. Research and implementation of the communication of process bus based on IEC 61850 [J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(8): 84-89(in Chinese).
- [5] Ozansoy C R, Zayegh A, Kalam A. The real-time publisher/subscriber communication model for distributed substation systems [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2007, 22(3): 1411-1423.
- [6] 朱永利, 黄敏, 邸剑. 基于广域网的电力远动系统的研究 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(7): 119-124.
Zhu Yongli, Huang Min, Di Jian. The study on WAN-based telecontrol system for power systems [J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(7): 119-124(in Chinese).
- [7] Brodt W, Dinges R, Schinzel G, et al. Application of IEC 61850 for modeling of control center view of a substation and for the communication between substation and control centers [R]. Report to the IEC TC57 SPAG, 2002. 01.
- [8] Preiss O, Kostic T. Unified information models in support of location transparency for future utility applications [C]. Proceedings of the 39th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS '06), Hawaii, USA, 2006.
- [9] Yi Yonghui, Cao Yijia et al. An IEC 61850 universal gateway based on metadata modeling [C]. IEEE PES General Meeting, Tampa, USA, 2007.
- [10] 朱炳铨, 任雁铭, 姜健宁, 等. 变电站自动化系统实现 IEC61850 的过渡期策略 [J]. 电力系统自动化, 2005, 29(23): 54-57.
Zhu Bingquan, Ren Yanming, Jiang Jianning, et al. Strategy for Implementation of IEC 61850 in Substation Automation System During Transitional [J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(23): 54-57(in Chinese).
- [11] 孙一民, 李延新, 黎强. 分阶段实现数字化变电站系统的工程方案 [J]. 电力系统自动化, 2007, 31(5): 90-93.
Sun Yimin, Li Yanxin, Li Qiang. A grading solution for building digital station [J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(5): 90-93(in Chinese).
- [12] IEC61850-8-1 Communication networks and systems in substations. part 8-1: Specific Communication Service Mapping (SCSM)-Mappings to MMS(ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3 [S]. 2004.
- [13] 何卫, 缪文贵, 朱送怡, 等. IEC 61850 模型与 MMS 映射的矛盾及其解决建议 [J]. 电力系统自动化, 2006, 30(23): 97-100.
He Wei, Miao Wengui, Zhu Songyi, et al. Contradiction in the mapping of IEC 61850 model and MMS and its solutions [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(23): 97-100(in Chinese).
- [14] 何卫, 唐成虹, 张祥文, 等. 基于 IEC 61850 的 IED 数据结构设计 [J]. 电力系统自动化, 2007, 31(1): 57-60.
He Wei, Tang Chenghong, Zhang Xiangwen, et al. Design of data structure for IED Based on IEC 61850 [J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(1): 57-60(in Chinese).
- [15] IEC61850-5 Communication networks and systems in substations. part 5: Communication requirements for functions and device models [S]. 2004.

收稿日期: 2007-10-30。

作者简介:

王德文(1973—), 男, 博士研究生, 从事电力系统远动通信和计算机网络方面的研究, wdewen@gmail.com;

朱永利(1963—), 男, 博士生导师, 教授, 从事电力系统自动化、电力系统远动和人工智能方面的研究;

邸剑(1968—), 男, 博士研究生, 从事计算机网络和计算机通信方面的研究。

(编辑 王彦骏)