

基于 IEC 61850 标准的过程总线通信研究与实现

殷志良, 刘万顺, 杨奇逊, 秦应力

(华北电力大学 电力系统保护与动态安全监控教育部重点实验室, 北京市 昌平区 102206)

RESEARCH AND IMPLEMENTATION OF THE COMMUNICATION OF PROCESS BUS BASED ON IEC 61850

YIN Zhi-liang, LIU Wan-shun YANG Qi-xun Qin Yin-li

(The Key Laboratory of Power System Protection and Dynamic Security Monitoring and Control in North China Electric Power University, Ministry of Education, Changping District, Beijing 102206, China)

ABSTRACT: The real-time and reliable transmission of the sampled values and trip signals via the ETHERNET is the most important part of the process bus communication based on IEC 61850. The Publisher/subscriber communication architecture, which is the base of the transmission of the two types of message, is analyzed in depth. On the basis of the experimental platform of the process bus communication applied to the transmission of the transformer differential protection, the mechanism of the sampled values and trip signals is revealed, and a practical scheme is proposed to ensure the Quality of the Service of the communication. The researching result is valuable for process bus communication design of the new substation automation system.

KEY WORDS: IEC 61850; Process bus; Sampled values; Trip signals; Publisher/subscriber.

摘要: 采样测量值和跳闸命令在以太网上的实时、可靠传输是基于 IEC 61850 标准的过程总线数据通信的重要内容。该文深入分析了这两类信息所共同遵循的发布者/订阅者通信结构, 构建了应用于变压器差动保护的过程总线通信实验平台, 揭示了采样测量值和跳闸命令传输的实现机制, 提出了保证过程总线通信服务质量的方案。实验验证了此方案的有效性和实用性。该研究结果对于新一代的变电站自动化系统过程总线通信设计具有参考意义。

关键词: IEC 61850; 过程总线; 采样测量值; 跳闸命令; 发布者/订阅者

1 引言

电子式电流、电压互感器的逐步实用化^[1-3]和智

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50277012)。

Project Supported by National Natural Science Foundation of China(50277012).

能开关设备的改进, 使得变电站自动化系统过程层与间隔层之间并行电缆连接将被基于交换式以太网的串行通信网络所代替, 这种通信方式又称作过程总线 (process bus) 通信^[4], 采样测量值和跳闸命令是过程总线上数据通信最为重要的两类信息。IEC 61850 标准定义了两种抽象模型: 采样值传输 (SAV) 模型和通用的以对象为中心的变电站事件 (GOOSE) 模型。其中 SAV 模型应用于采样值传输及相关服务, 而 GOOSE 模型则提供了变电站事件 (如命令、告警等) 快速传输的机制, 可用于跳闸和故障录波启动等。为简化叙述, 以下将采样值报文称之为 SAV 报文, 跳闸命令报文称之为 GOOSE 报文。

SAV 报文和 GOOSE 报文的传输均采用发布者/订阅者 (publisher/subscriber) 通信结构^[5], 本文分析了此种通信结构在这两类信息传输中的灵活应用。由于过程总线上数据通信流量大且报文优先级存在差异, 利用交换式以太网^[6-7]传输这两类信息的可行性必须深入研究和实验验证, 为此搭建了基于 IEC 61850 标准的过程总线通信平台, 在此基础上揭示了 SAV 模型和 GOOSE 模型映射到具体通信堆栈的实现机制, 并通过实验提出一种实用方案, 以保证过程总线通信的服务质量 (Quality of Service)。

2 发布者/订阅者通信结构

发布者/订阅者通信结构在复杂的分布式系统中应用广泛^[8], 它可在各通信节点之间形成点对多点的直接通信。与点对点通信结构和客户/服务器通信结构相比较, 发布者/订阅者通信结构是一个或多

个数据源（即发布者）向多个接收者（即订阅者）发送数据的最佳解决方案，尤其适合于数据流量大且实时性要求高的数据通信。

采样值和跳闸命令传输的通信过程均由发布者的控制模块进行控制，如图 1 所示^[5]。发布者和订阅者之间实现报文传输（SendMessage）、控制值设置（SetControlValue）和数据值获取（GetDataValue）等服务。其中，控制值设置是对发布者控制模块的属性进行设置，而数据值获取则是对数据集（data set）的数据对象(data object)及其属性值(data attribute)进行读取，这两种服务的实时性要求都不高。本文仅对报文传输服务的实现机制做深入研究，因为其实质就是如何保证SAV报文和GOOSE报文的快速、可靠传输。

从图 1 可以看出，缓冲型工作方式是发布者/订阅者之间报文传输通信关系的重要特征，这意味着只有最近发布的数据保留在网络缓冲区内，新的数据会完全覆盖先前的数据。对于SAV模型，发送缓冲区的数据集内容主要由电流逻辑节点（TCTR）和电压逻辑节点（TVTR）的数据对象信息组成，对于GOOSE模型，缓冲区的数据集内容可由用户自定义^[5]。

入采样计数器参数—SmpCnt 来解决，即发布者输出的 SAV 报文中包含采样计数信息。

跳闸命令传输是事件驱动的数据通信方式，发布者（如保护设备）由事件（如线路短路故障）触发后，从数据集中收集所需数据，然后通过发送缓冲区发送出去，它具有异步传输和随机性特点。跳闸命令传输的实时性和可靠性要求都很高，通过引入 3 个控制参数—SqNum, timeAllowedToLive 和 StNum 可满足以上要求。其中，SqNum 为 GOOSE 报文的发包计数器，其作用与上述 SmpCnt 一样，timeAllowedToLive 是 GOOSE 报文存活时间，它提示订阅者等待下一 GOOSE 报文到来的最长时间。为保证报文传输的可靠性，即使外部状态不再变化，GOOSE 报文也应持续重发，其重发间隔可自定义。StNum 也是发包计数器，与 SqNum 内容不同，它表示由于外部状态变化导致 GOOSE 报文发送的计数情况，显然一般情况下 StNum<=SqNum。发布者输出的 GOOSE 报文中包含上述 3 个控制参数信息。

3 过程总线通信

3.1 通信平台

相对于共享式以太网，交换式以太网具有端口带宽独享、端口之间全双工通信、支持虚拟局域网（VLAN）和报文优先级设置等诸多优点，过程总线上数据通信流量大（如采样值信息）且报文优先级不一样（如相对于开关设备状态检测信息，采样值传输和跳闸命令传输更重要），故过程总线的网络核心部件选择以太网交换机而不是集线器。

基于IEC 61850 标准搭建了过程总线通信实验平台，如图 2 所示，各符号表示意义如下：TE：保护测试仪，在此实验中给每个合并单元(MU)提供三相电流值 (I_a, I_b, I_c)；SVP1、2、3：采样值信息处理单元，收到对应的合并单元输出的同步脉冲（Sync，格式自定义）后，对测试仪输出的电流信息进行模数变换等信号处理，并发送给合并单元；MU1、MU2、MU3：变压器高、中和低三侧的合并单元，同步采集并合并三相电流信息后按照 IEC 61850-9-1 标准规定格式输出 SAV 报文；PPS：秒脉冲，用以同步变压器各侧的合并单元，保证采样同步；RS232：合并单元设备诊断信息出口，例如：同步状况、和 SVP 通信联系正常与否等；PROCESS BUS：过程总线，实现 SAV 报文和 GOOSE 报文的网络传输。主要网络部件是交换机；TP:变压器差动保护设备，由于测试重点是过程总线通信性能，对

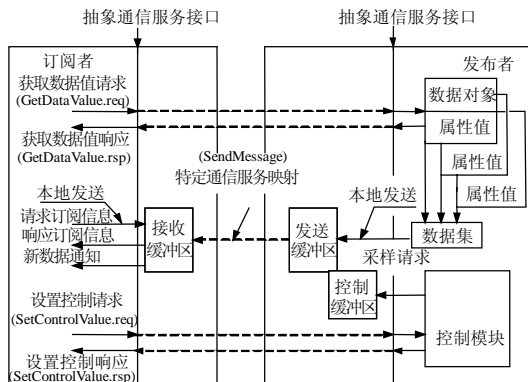


图 1 发布者/订阅者通信结构

Fig. 1 Publisher/subscriber communication architecture

虽然采样值和跳闸命令的传输均采用了发布者/订阅者通信结构，但是由于这两类报文传输驱动方式完全不同，故必须引入不同的控制参数以满足各自的传输要求。

采样值传输是一种相对时间驱动的数据通信方式。执行时间间隔一定，最主要的传输要求是实时、快速性。当由于通信网络原因导致报文传输丢失时，发布者并不重发，因为此时采集最新的电流、电压信息更为必要，但是一旦发生漏包情况，订阅者（如保护设备）必须能够检测出来。这可通过引

其算法等均做了简化; SWCH、SWCM、SWCL: 变压器高、中和低各侧的开关控制器, 接收 TP 输出的 GOOSE 报文, 向操作机构发送跳闸命令; PC: PC 机, 不仅可利用 Etherpeek 软件监视过程总线上数据流动情况, 且通过向过程总线发送低优先级报文可观察其对 SAV 报文和 GOOSE 报文传输的影响作用。

3.2 报文传输实现机制

IEC 61850 标准针对变电站所有功能定义了比较详尽的逻辑节点 (logical node) 和数据对象, 并提供了完整的描述数据对象模型的方法和面向对象的服务。这些抽象的通信服务、通信对象及参数通过特殊通信服务映射 (SCSM) 可映射到底层应用程序, 其映射一般遵循 MMS+TCP/IP+ISO/IEC 8802.3 模式^[9], 而 SAV 模型和 GOOSE 模型的报文传输映射实现比较特殊: 应用层专门定义了协议数据单元 (Protocol Data Unit PDU), 经过表示层编码后, 不经 TCP/IP 协议, 直接映射到数据链路层和物理层, 即传输层和网络层均空。这种映射方式的目的是避免通信堆栈造成传输延时, 从而保证报文传输的快速性。

3.2.1 应用层

(1) SAV 报文

PDU 中数据集内容固定不变, 主要包含 12 路电流、电压信息 (7 路电流量和 5 路电压量) 和反映采样值有效性的状态信息^[10]。过程总线通信平台 (图 2) 中变压器保护设备只需各侧的三相保护电流信息, 但遵循 IEC 61850-9-1 的 SAV 报文应为其它电流、电压信息保留相应位置, 只是其对应的状态信息反映为无效^[10-11]。

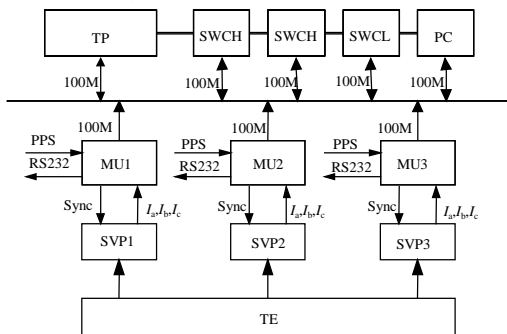


图 2 基于 IEC 61850 的过程总线通信实验平台
Fig. 2 Process bus communication experiment based on IEC 61850

(2) GOOSE 报文

抽象语法记法 1 (ASN.1) 是定义数据结构和协议格式表示方法的通用语言, 并且广泛应用于定

义应用层协议。GOOSE 报文的 PDU 格式规范^[9]如下:

```
IEC61850 DEFINITIONS ::= BEGIN
IMPORTS Data FROM ISO-IEC-9506-2
IEC 61850-8-1 Specific Protocol ::= CHOICE {
gseMngtPdu [APPLICATION 0] IMPLICIT GSEMngtPdu,
goosePdu [APPLICATION 1] IMPLICIT IECGoosePdu,
}
IECGoosePdu ::= SEQUENCE {
gocbRef [0] IMPLICIT VISIBLE-STRING,
timeAllowedtoLive [1] IMPLICIT INTEGER,
.....
.....
allData [11] IMPLICIT SEQUENCE OF Data
security [12] ANY OPTIONAL,
}
.....
END
```

此定义中, DEFINITIONS, IMPORTS, CHOICE, IMPLICIT 和 SEQUENCE 等均为 ASN.1 的专用术语, 对上述 PDU 的抽象表述格式分析如下:

(1) 由 DEFINITIONS 可知本数据结构的模块名称是 IEC61850。

(2) IMPORTS 构件指出此模块引用了 ISO-IEC-9506-2 中定义的 Data 参数, 这从 IECGoosePdu 定义的元素 allData 中也能得到印证。元素 allData 所反映的信息在 GOOSE 报文中十分重要, 它直接决定了 SWCH、SWCM、SWCL (图 2) 的动作行为。Data 参数中包含了丰富的数据类型, 如布尔型, 整型、比特序列等等, 这些数据类型选择可由用户自定义。这也是在定义 GOOSE 方面, IEC 61850 较之 UCA2.0 的一个灵活之处^[12]。

(3) 由于最上一级的结构使用了 CHOICE 类型, 对于 GOOSE 报文传输, 需选择变量 goosePdu, 其标志名称是 IECGoosePdu, IECGoosePdu 的格式由 13 个元素序列组成, 分别是 gocbRef、timeAllowedtoLive 等, 这 13 个元素所代表的信息是 GOOSE 报文的主体内容。

3.2.2 表示层

表示层的作用是对应用层的 PDU 编码以适合在以太网上进行传输, SAV 报文和 GOOSE 报文传输编码遵循 ASN.1 的基本编码规则 (BER)。编码是由 3 个可变长部分组成的 3 元组: 数据类型的标签

(TAG)、数据长度(LENGTH)和数据值(VALUE)。它们通常被称为TLV3 元组，格式如图 3 所示^[13]，其中类型标识符占 1 个字节，其第 8 比特和第 7 比特表示标签类型，标签分为四类：通用类(Universal)、应用类(Application)、上下文类(Context-specific)和专用类(Private)。第 6 比特表示抽象数据类型的格式，分为简单的(Simple)和结构化的(Structured)^[13]，上述GOOSE报文的协议数据格式规范中，VISIBLE STRING和INTEGER等均是简单类型，而SEQUENCE和SEQUENCE OF等均是结构类型。如果数据类型是结构化的，在BER编码时，值(图 3)的组成成分又包含TLV3 元组。

标签(类型标识符)	长度标识符	值(内容)
-----------	-------	-------

图 3 ASN.1 基本编码格式

Fig. 3 Basic encoding rules format

(1) SAV 报文

类型标示符规定为 0X80，即标签(图 3)为上下文类^[10]，SAV报文中数据集中数据的类型主要为VISIBLE STRING, INT, BOOLEAN等简单类型，遵循上述编码规则，其值(图 3)将直接反映数据内容，不再有TLV3 元组嵌套，故其编码实现比较简单。

(2) GOOSE 报文

相对于 SAV 报文的编码，GOOSE 报文的编码实现要复杂一些，因为 GOOSE 报文协议数据单元格式中标签类型既有应用类(如 goosePdu)，又有通用类(如 IECGoosePdu 和 gocbRef 等)，而数据类型既有结构类型，又有简单类型。需要注意的是，报文协议数据单元格式中专用术语 IMPLICIT 的引进可以带来效率更高的编码。

3.2.3 数据链路层

此层遵循 ISO/IEC 8802.3 协议(即以太网协议)，对这两类报文传输做了如下特殊处理：

(1) 报文的以太网类型(Ethertype)由IEEE 著作权注册机构进行注册，是独一无二的，如SAV报文的以太网类型是 0x88BA，GOOSE报文对应 0x88B8^[9-10]，而抽象通信服务接口(ACSI)的核心服务所映射报文一般都是IP包，其以太网类型是 0x0800。这种独一无二的以太网类型有利于接收方对SAV报文和GOOSE报文的解码过程优化。

(2) 提供报文传输的优先级服务(IEEE802.1p)，如规定过程总线上，SAV报文和GOOSE报文默认优先级为 4，而其它报文优先级一

一般为 1^[9-10]，从而保证过程总线数据通信时，SAV报文和GOOSE报文优先发送出去。

(3) 分配特定范围的组播地址。由于 SAV 报文和 GOOSE 报文一般都是组播包，有多个接收者，而这些报文接收者(如图 2 中的变压器保护设备、开关控制器等)一般都在同一局域网里，通过分配 SAV 报文和 GOOSE 报文各不相同的特定范围物理组播地址，并采取在介质访问控制(MAC)层的硬件地址过滤方法(在网络接口控制器驱动程序中易于实现)，可提高组播报文的接收性能。

3.3 设计方案和实现

3.3.1 交换机选择

对于通信网的服务质量，其主要性能参数是：报文传输的可靠性、传输延迟和延迟抖动等。在过程总线通信中，报文传输延迟为发送节点的应用程序发出报文到接收节点的应用程序接收到报文的时间间隔，SAV 报文与 GOOSE 报文的传输延迟要求均在 4ms 以内。为保证过程总线通信服务质量，针对通信平台(图 2)提出了具体设计方案。

由于过程总线通信所处的恶劣电磁环境，故应选择工业交换机。交换机按交换原理有 3 种工作方式：直通式、存储转发式和混合式。直通式报文延迟非常小，但不能提供错误检测能力，存储转发式报文传输比较可靠，但与直通式相比，其报文延迟要大些。通信平台(图 2)中，高、中和低侧合并单元周期性几乎同时都向同一端口(变压器保护设备)发送采样值信息，这必定会造成 SAV 报文在交换机里有等待延时，延时计算公式为

$$D_q = \sum_{k=1}^{N_q} [96 + L_k] t \quad (1)$$

式中 D_q 为等待延时； N_q 为交换机缓冲区帧个数；96 为以太网规定的帧之间最小间隙的比特数； L_k 表示第 k 帧报文长度(以 bit 表示)， t 为传输 1 个 bit 所需的时间。

过程总线通信平台(图 2)中，合并单元个数为 3，故 $N_q=2$ ，每个合并单元发送的 SAV 报文长度均固定，为 111 字节，故 $L_k=888$ ，由于工作在 100Mbit/s 方式下，故 $t=0.01\mu s$ ，可以计算 SAV 报文在交换机等待的最大延时为 $D_q=19.68\mu s$ ，可见其数值在 SAV 报文传输时延要求(4ms)中所占比重较小。故选择存储转发式交换机。由于合并单元、保护设备和开关控制器所传输信息的重要性，它们均应直接和交换机端口相连，保证各自享有独立的带

宽, 报文传输优先级采用端口静态配置方法。

3.3.2 合并单元

合并单元设计需要完成以下三个功能模块:

(1) 同步功能模块

合并单元同步不仅要求一个合并单元能够给其对应的多路 A/D 同时发送转换命令, 而且要求各个合并单元之间所发出的转换命令也保持高精度的同步, 后者对于需要多个测量点采样信息的变压器差动保护十分重要。采用文献[14]提供的方法在正确识别外部输入的同步秒脉冲时钟信号后, 合并单元给 3 路采样值信号处理单元发送同步模数转换信号, 能够可靠地保证各合并单元(图 2)之间的同步。

(2) 多路数据采集和处理功能模块

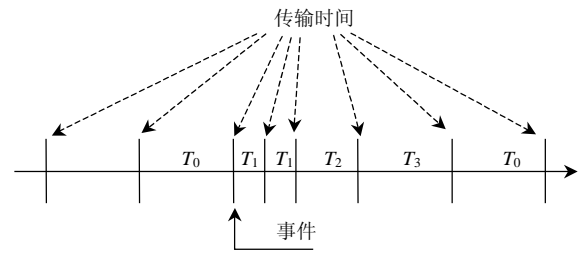
合并单元给 3 路采样值信号处理单元发送同步转换信号后, 将同时接收 3 路通道的输出数据(I_a , I_b , I_c), 对其有效性进行校验, 并对这些数据进行正确排序以输出给串口发送功能模块。此功能模块数据通信具有多任务并行处理、高可靠性、强实时性和通讯速度高等特点。现场可编程门阵列(FPGA)是基于硬件电路实现, 其执行速度为纳秒级, 且能实现多任务同时处理功能, 利用FPGA实现此模块功能能够满足数据通信要求^[11]。

(3) 串口发送功能模块

遵循 IEC 61850-9-1 的合并单元是单向传输(只发送采样值信息而无需接收任何信息), 但是其与交换机的接口必须工作在全双工方式下, 原因是: 交换机对组播包和广播包无地址过滤能力, 为防止过程总线上其它组播/广播包(如来自于其它合并单元发送的数据包)的影响, 必须让合并单元具备同时收发数据包能力。

3.3.3 GOOSE 报文发送

通过报文重发和重发时间间隔逐渐增大(图 4)机制^[9], 可使GOOSE报文传输的可靠性与减轻网络通信流量达到较好的统一。当采用交换式光纤以太网和报文优先级设置时, 大量实验证明GOOSE报文连续丢失的帧数最多不超过 2^[15]。基于此点, 在过程总线通信(图 2)中, 当变压器保护判断发生故障后, 立即发送GOOSE报文(即给各开关控制器发送跳闸命令), 并重发两次, 时间间隔取 2ms, 以后重发间隔为 1s, 即在图 4 中, $T_1=2\text{ms}$, $T_2=T_3=T_0=1\text{s}$ 。



注: T_0 为稳定状态下报文重发(长时间内无事件发生); T_0 为由于事件发生导致时间间隔变短; T_1 为事件发生后最短的重发时间间隔; T_2, T_3 为重发直到再次回到稳定状态。

图 4 GOOSE 报文传输时间

Fig. 4 Transmission time for GOOSE message

3.3.4 实验结果

在过程总线通信实验(图 2)中, 针对 SAV 报文和 GOOSE 报文传输做了测试。

SAV 报文传输延迟时间主要包括: 采样值信号处理(模数转换等)、合并单元组帧、网络传输和变压器保护设备解包接收。经测试报文传输延迟抖动小于 $500\mu\text{s}$, 平均延迟约为 $2800\mu\text{s}$ 。

GOOSE 报文传输延迟时间主要包括: 变压器保护设备组帧、网络传输和开关控制器解包接收。经测试报文传输延迟抖动小于 $300\mu\text{s}$, 平均延迟约为 $1500\mu\text{s}$ 。当保护设备重复发送 GOOSE 报文时, 各开关控制器均能无遗漏收到, 这证明了 GOOSE 报文传输的可靠性。

通过交换机端口配置, 使 PC 机与交换机所连端口为低优先级。利用 PC 机周期性发送大量数据包, 发现它对 SAV 报文和 GOOSE 报文传输无任何影响。

3.3.5 讨论

本过程总线实验平台是针对变压器差动保护的, 保护的正確动作证实了合并单元的同步能够得到可靠保证。这种以变电站的间隔为单位构建过程总线的方案用于实现线路保护和变压器保护是比较理想的, 电流差动式母线保护的实现可以采取两种办法: ①基于本实验平台(图 2)的思想, 借助于交换机采集个数较多的合并单元输出的电流信息, 其关键是保证母线保护设备与交换机通信接口处理的高效性, 因为交换机内部报文等待延时并不是报文传输延时的瓶颈, 这在文中已经证明和叙述了。②单独给母线保护设备配备一个合并单元, 此合并单元采集母线上各连接元件的电流信息, 合并单元设计可遵循 IEC 61850-9-2, 因为在此标准里, 合并单元所采集电流、电压信息是可以自由灵活定义的(不再要求必须是 12 路)。

4 结论

本文深入分析了基于 IEC 61850 标准的过程总线上两类重要类型报文(采样值和跳闸命令)传输所共同遵循的通信结构,指出了此种结构在标准中的灵活应用,构建了符合 IEC 61850 标准的过程总线通信实验平台,分析了两类报文传输的实现机制,并验证了利用交换式以太网进行采样值和跳闸命令传输的可行性。

此实验平台的成功构建对于新一代变电站自动化系统过程总线通信的工程实现具有参考意义。

参考文献

- [1] 罗苏南, 叶妙元, 徐雁. 光纤电压互感器稳定性的分析[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(12): 15-19.
Luo Sunan, Ye Miaoyuan, Xu Yan. Stability research on optical fiber voltage transformer[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(12): 15-19.
- [2] 罗苏南, 田朝勃, 赵希才. 空心线圈电流互感器性能分析[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(3): 108-113.
Luo Sunan, Tian Zhaobo, Zhao Xicai. Performance analysis of air-core current transformer[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(3): 108-113.
- [3] 张可畏, 王宁, 段雄英, 等. 用于电子式电流互感器的数字积分器[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(12): 108-113.
Zhang Kewei, Wang Ning, Duan Xiongying *et al.* A digital integrator for electronic current transducer [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(12): 108-113.
- [4] Brunner C, Schimmel G, Schubert H. Standardization of serial links replacing parallel wiring to transfer process data [C]. 34-209, CIGRE, Paris, France, 2002: 34-209.
- [5] IEC61850-7-2 Communication networks and systems in substations-part 7-2: Basic communication structure for substation and feeder equipment - Abstract communication service interface[S]. 2003.
- [6] 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, 2004, 23(3): 16-19, 145.
Sun Junping, Shen Wanxing, Wang Sun-an. Study of the new substation automation network communication system[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 23(3): 16-19, 145.
- [7] 辛建波, 段献忠. 基于优先级标签的变电站过程层交换式以太网的信息传输方案[J]. 电网技术, 2004, 22(28): 26-30+31.
Xin Jianbo, Duan Xianzhong. A transfer scheme based on priority-tag in switched Ethernet for substation process-level[J]. Power System Technology, 2004, 22(28): 26-30+31.
- [8] 孙军平, 盛万兴, 王孙安, 等. 基于以太网的实时发布者/订阅者模型研究与实现[J]. 西安交通大学学报, 2002, 36(12): 1299-1302.
Sun Junping, Shen Wanxing, Wang Sunan *et al.* Research on the real-time publisher/subscriber model based on Ethernet and its implementation[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2002, 36(12): 1299-1302.
- [9] 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.
- [10] IEC61850-9-1 Communication networks and systems in substations-part 9-1: Specific communication service mapping - Sampled values over serial unidirectional multidrop point to point link[S]. 2003.
- [11] 殷志良, 刘万顺, 秦应力, 等. 一种基于 FPGA 技术的电子式互感器接口实现新方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 14(28): 93-96+99.
Yin Zhiliang, Liu Wanshun, Qin Yingli *et al.* A new FPGA-based method for realizing the interface to electronic transducer[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 14(28): 93-96+99.
- [12] IEEE PSRC WGH6. Application considerations of UCA2 for substation Ethernet local area network communication for protection and control [R]. Dec 2003.
- [13] Harney S. Total SNMP[M]. Upper Saddle River (NJ): Prentice-Hall, 1998.
- [14] 殷志良, 刘万顺, 杨奇逊, 等. 一种遵循 IEC 61850 标准的合并单元同步的实现新方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 11(28): 57-61.
Yin Zhiliang, Liu Wanshun, Yang Qixun *et al.* New method for implementing the synchronization of merging unit according to the IEC 61850 standard [J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 11(28): 57-61.
- [15] Brand K, Ostergag M, Wimmer W. Safety related, distributed functions in substations and the standard IEC 61850[C]. IEEE Bologna Power Tech Conference, 2003: 315-319.

收稿日期: 2005-03-17。

作者简介:

殷志良(1978-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统微机保护及变电站自动化;

刘万顺(1941-), 男, 教授, 博士生导师, IEEE 高级会员, 从事电力系统微机保护及变电站自动化研究;

杨奇逊(1937-), 男, 教授, 博士生导师, 中国工程院院士, 从事电力系统微机保护及变电站自动化研究;

秦应力(1951-), 男, 教授级高工, 从事电力系统微机保护及变电站自动化研究。