

# 基于 IEC 61850 的合并单元与二次设备通信研究

鄢志平<sup>1</sup>, 聂一雄<sup>1</sup>, 邓忠华<sup>2</sup>

(1. 广东工业大学自动化学院 广东 广州 510090; 2. 广州伟钰光电科技有限公司, 广东 广州 511495)

**摘要:** 介绍了电子式互感器合并单元的(MU)的通信特点。依据变电站通信网路和系统协议 IEC 61850 标准,对规约中规定的就遵循 IEC 61850-9-1 标准设计的电子式互感器合并单元与间隔层二次设备之间的以太网通信进行了详细分析。研制样机的测试结果验证了设计的正确性。

**关键词:** 电子式互感器; 合并单元; IEC 61850; 以太网通信

中图分类号: TM452

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)02-0027-04

## Research on Communication between Merging Unit and Secondary Devices Based on Standard IEC 61850

YAN Zhi-ping<sup>1</sup>, NIE Yi-xiong<sup>1</sup>, DENG Zhong-hua<sup>2</sup>

(1. Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China;

2. Guangzhou Weiyu Photoelectric Technology Co. Ltd., Guangzhou 511495, China)

**Abstract:** This paper introduces the communication features of the merging unit in an electronic transformer, and analyzes the Ethernet network based data communication between the merging unit designed on the basis of IEC61850-9-1 and the secondary devices according to the IEC61850 standard. The test results of the developed prototype verifies the correctness of the communication design.

**Key words:** electronic transformer; merging unit; IEC 61850; ethernet network based communication

## 0 引言

近年来,电子式电流、电压互感器的研究发展迅速,尤其是基于 Rogowski 线圈的电子式电流互感器已进入产品实用化阶段。对于电子式互感器在变电站自动化系统中的推广应用,面临的首要问题是要解决好互感器所在的过程层与间隔层二次设备之间的接口与通信。目前,国际电工委员会已制定出相关国际标准 IEC 60044-7/8 和 IEC 61850,这些标准均详细定义和描述了接口的重要组成部分——合并单元(MU),并严格规范了合并单元与间隔层二次设备(测量、保护等装置)的接口方式,同时也对合并单元与二次设备之间的通信协议做了详细的规定。两者应用层定义的通用数据帧内容一致,但在与二次设备的通信网络上,IEC 61850 标准推荐采用目前占主流地位的以太网<sup>[1]</sup>。笔者通过对 IEC 61850-9-1 所定义的过程层以太网通信协议的具体分析研究,

结合样机测试验证,介绍了合并单元以太网数据通信的实验研究结果。

## 1 合并单元及其通信特点

合并单元作为过程层通信装置模块,它是连接高压端数据采集系统与间隔层测量、保护和监控设备的桥梁,主要负责搜集各互感器的数据采集模块传送来的电流、电压采样数据并对其进行加工,经过重新组帧编码后将现场一次设备的采样值信息送到间隔层二次设备。鉴于目前现场应用的实际情况,考虑到兼容传统设备,MU 除了完成 IEC 规定的功能外,还提供和传统 CT、PT 的接口,使传统电磁式互感器的输出信号也能通过合并单元传送到计量、保护等二次设备,同时 MU 也提供模拟量输出,以便与传统二次设备接口<sup>[2]</sup>。根据其实现的功能要求,MU 进行数据处理和通信呈现出以下特点:

(1)同时处理的任务多:MU 需同时接收各自独立的多路数据,并对各路数据在传输过程中是否发

生畸变进行检验,以防止提供错误数据给保护、测控设备。

(2)实时性、可靠性要求高:MU 所接收的电流、电压信息是保护动作判据需要的信息,接口通信处理时间的快慢将直接影响到保护的動作时间。同时由于此数据通信位于开关附近,故对其抗干扰性要求很高。

(3)通信信息流量大:MU 一般至少需要采集测量用的三相电流、保护用的三相电流以及三相电压、母线电压共 10 路信号。对于变压器的测量,另外还需要采集中性点电流和中性点电压,共 12 路信号。这些信息均是周期性(非突发性)的,接口通信流量较大。在对采样率要求较高的线路差动保护等应用中,通信流量会更大。

(4)通信速度要求较高:遵照 IEC 61850 的发展观点,变电站各个层次之间的联系都将是建立在串行通信的基础上<sup>[3]</sup>,结合前三个特点,这就对通信速度提出了很高的要求。

## 2 以太网通信

IEC 61850 是为适应变电站自动化的发展而制定的国际标准,其中 IEC 61850-9-1 详细定义了间隔层和过程层之间特定通信服务映射 SCSM 与 OSI 通信栈的链路层直接建立单向多路点对点连接,从而实现采样值的传输<sup>[4]</sup>。物理层和链路层推荐采用光纤以太网,其链路层遵循 ISO/IEC 8802-3 标准。

物理层:MU 与二次设备之间的连接可以是光纤传输系统,选用 IEEE 802.3 规定的 100base-FX 或 10base-FL 作为数据输出的物理层;如果考虑了

适当的电磁屏蔽手段,符合 IEEE 802.3 规定的 10base-T 双绞线介质也可作为一种可选的方式来使用。

链路层:数据链路层采用 ISO/IEC 8802.3 协议定义的以太网帧格式。帧格式见表 1。表 1 中 PR 为前导码,自动产生,用于收发双方的时钟同步,是 56 位的二进制数 1010101010...1010;SD 为帧首界定符,自动产生,是 8 位的 10101011,表示跟随的是真正的数据;DA 为目的地址,标准建议默认值为广播地址,即十六进制的 FFFFFFFF,因此发送侧没有必要进行地址配置。然而作为一个可选性能,目标地址应当是可配置的。例如,需要借助交换机将合并单元与间隔层设备连接时可以改变组播地址来实现连接;SA 为源地址,可自行定义,当使用交换机时源地址应使用唯一的以太网地址,不使用交换机时不要求地址的唯一性,源地址都根据 IEC 61850-9-2 部分的附录 C 规范范围 01-0C-CD-04-00-00 ~ 01-0C-CD-04-01-FF 选取;TPID 为协议检验标志,默认值为 0X8100;TCI 为控制信息标志,由 3 部分组成:User Priority(用户优先权标识,3 位)、CFI(规范格式标识,1 位)、VID(虚拟局域网标示,12 位),默认值为 0X8000;TYPE 为帧的数据类型,它说明了高层所使用协议。基于 ISO/IEC 8802-3MAC 子层的以太网类型将由 IEEE 注册机构进行注册。所注册的以太网型(Ethertype)值为 88BA(16 进制);PDU 为协议数据单元;APDU 为应用协议数据单元,由应用协议控制信息 APCI(32 位)和应用服务数据单元组成,后者分通用数据集 ASDU(46 字节)和状态标志数据集 SI(32 字节);FCS 为 32 位帧校验系列,自

表 1 以太网帧格式

元素	PR	SD	DA	SA	TPID	TCI	TYPE	PDU	APCI	ASDU	SI	FCS
长度/位	56	8	48	48	16	16	16	64	32	368	184	32

动产生。

应用层:IEC 61850-9-1 描述的信息交换是通过应用服务数据单元 ASDU 实现的,它是基于严格规定的“标准化”报文传输应用,基本数据集通用数据帧格式见表 2。表 2 中数据集长度的长度域包含随后的数据集长度,总是 44(十进制),这个长度不包括长度域本身;逻辑节点名总为 02;数据集名是唯一的数字,用于标识数据集结构,也就是数据通道的分配,一般为 01。这里允许的取值有 01 或 0xFE(十进制 254),数据集名在运行时不能改变。表 3 定义了数据集为 01 时数据通道信号源的分配;逻辑设备名在一个变电站中是唯一的,用于标志数据集的

来源;额定相电流、额定中性点电流以有效值给出,单位是安培;额定相电压、额定中性点电压参考值相同,单位是  $1/(\sqrt{3} \times 10)$ kV;额定延迟时间为模数转换和数据处理带来的延时的额定值,单位是  $\mu$ s;16 位采样计数器用于检查数据内容是否被连续刷新,每发送一个新的采样数据集,计数器增加 1,溢出后回到 0 重新开始计数;采样速率为给出额定频率下每周波时间内输出的采样数据集数目,为 0 时无意义;配置版本号为在电子式互感器每次修改逻辑设备配置时增加,缺省值为 0;状态字 1 和 2 解释分别见表 4。

表2 ASDU通用数据帧格式

字节 1~2	字节 3	字节 4	字节 5~6	字节 7~8	字节 9~10	字节 11~12
数据集长度	逻辑节点名	数据集名	逻辑设备名	额定相电流	额定中性点电流	额定相电压
字节 13~14	字节 15~38	字节 39~42	字节 43~44	字节 45	字节 46	
额定延时	数据通道 1 号~12 号	状态字 1 和 2	采样计数器	采样速率	配置版本号	

表3 数据集名=01 时数据通道分配

通道 1 号	通道 2 号	通道 3 号	通道 4 号	通道 5 号	通道 6 号
A 相电流保护	B 相电流保护	C 相电流保护	中性点电流	A 相电流测量	B 相电流测量
通道 7 号	通道 8 号	通道 9 号	通道 10 号	通道 11 号	通道 12 号
C 相电流测量	A 相电压	B 相电压	C 相电压	中性点电压	母线电压

表4 状态字 1 和 2 解释说明

	状态字 1		状态字 2	
	解释说明	备注	解释说明	
第 0 位	维修请求 0:正常;1:请求维修		对数据通道 8 号 0:有效;1:无效	
第 1 位	测试状态位 0:正常运行;1:测试		对数据通道 9 号 0:有效;1:无效	
第 2 位	唤醒期内的数据有效性 0:正常,数据有效;1:唤醒期内数据无效	在唤醒期内被置位	对数据通道 10 号 0:有效;1:无效	
第 3 位	合并单元同步方法 0:数据集不能用插值;1:数据集能用于插值	用插值算法时,该位为 1	对数据通道 11 号 0:有效;1:无效	
第 4 位	合并单元同步标志 0:采样已同步;1:同步丢失或无效		对数据通道 12 号 0:有效;1:无效	
第 5 位	对数据通道 1 号 0:有效;1:无效		备用	
第 6 位	对数据通道 2 号 0:有效;1:无效		备用	
第 7 位	对数据通道 3 号 0:有效;1:无效		备用	
第 8 位	对数据通道 4 号 0:有效;1:无效		自定义	
第 9 位	对数据通道 5 号 0:有效;1:无效		自定义	
第 10 位	对数据通道 6 号 0:有效;1:无效		自定义	
第 11 位	对数据通道 7 号 0:有效;1:无效		自定义	
第 12 位	CT 输出数据类型 0: $i(t)$ ;1: $di/dt$	空心线圈置 1	自定义	
第 13 位	量程标志 0:比例因子 SCP=0x01CF;1:比例因子 SCP=0x01E7		自定义	
第 14 位	备用		自定义	
第 15 位	备用		自定义	

### 3 过程层以太网通信的实现

#### 3.1 合并单元装置结构

基于 IEC 61850-9-1 标准,笔者所设计的合并单元装置硬件采用 FPGA\_DSP 技术实现,采用 19 英寸 6U 整机箱背插式结构,插件从装置的背后插背插式结构,插件从装置的背后插拔,带有插座的底板位于机箱的前部。装置面板包括全汉化大屏幕液晶显示器、工作指示灯等,安装于底板的前部。同时还加入交流变换模块和输出信号转换模块,利用软件形式实现通道切换配置,方便与传统互感器及传统二次设备兼容。

#### 3.2 合并单元以太网通信实现方案

合并单元是电子式互感器数字接口的核心,根据合并单元的定义及其所需要实现的功能,设计中把它细划分为 3 个主要功能模块:数据接收模块、数据处理模块和数据输出模块,另外还有一个同步采

样脉冲系列发生模块。数据接收模块利用现场可编程门阵列(FPGA),通过用户编程实现对合并单元接收的多路串行数字信号进行有效性校验,并将其转换成并行信号,同时可利用 FPGA 编程实现产生高压侧同步采样脉冲;数据处理模块数字信号处理器(DSP)通过定时方式读取各路并行数据,其定时工作原理为:在同步有效采样脉冲前沿时刻启动计数器开始计时,定时间隔大小综合信号处理和信号传输时间进行设定,保证  $n$  路( $n \leq 12$ )串行数据完成串并转换且已存入各自相互独立的数据缓冲区并保持稳定以后,此时 DSP 顺时地从数据接收模块数据缓冲区依次读取转换后的各路并行数据;DSP 对数据进行相应处理后给数据包打上正确的包号,然后将各路有效数据按 IEC 61850-9-1 协议规定的帧格式组帧后写入数据输出以太网通信模块(NIC)发送缓冲区,并启动数据发送命令。数据输出模块针对每帧数据自动产生报头和帧校验系列,最终将数据

通过以太网物理信道发送给间隔层的二次测量、保护等设备。其数据发送流程图见图 1。

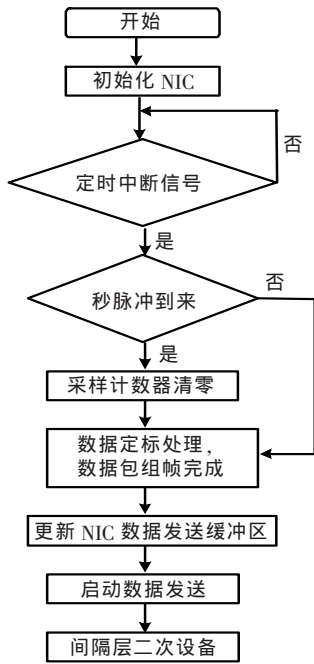


图 1 数据发送流程图

### 3.3 合并单元以太网通信功能测试

将合并单元光纤以太网输出通过光纤收发器连接到计算机,利用 Sniffer 协议分析软件对以太网输出报文进行分析。测试方案见图 2。

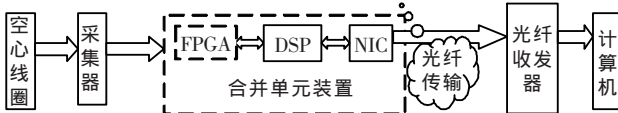


图 2 通信功能测试方案实验框图

实验中,将空心线圈经采集器输出的数字采样值分别接入合并单元装置定义的 A、B、C 数据接收通道,在模拟现场额定一次电流 400 A 的电磁环境下,通过 Sniffer 协议分析软件对合并单元以太网输出帧的内容准确性进行分析验证,并重点校对协议中所描述的状态字内容变化及其报警功能。实验结果证明:所设计的合并单元以太网数据通信完全得以实现;在此基础上,合并单元持续上电 72 h,利用自行开发的分析软件对合并单元以太网输出数据进行跟踪测试,结果未发现合并单元以太网数据输出丢包记录,且所得到的保护和测量信号还原波形完整性良好,见图 3。

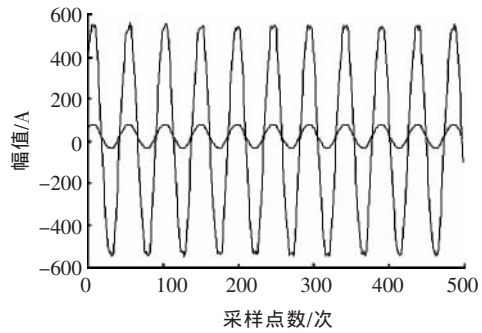


图 3 以太网输出数据还原波形

## 4 结语

合并单元作为电子式互感器智能数据采集和信息处理、传输的核心装置,与二次设备的通信是解决好电子式互感器应用于变电站自动化系统的关键问题所在。笔者通过实验验证表明:合并单元采用光纤以太网传输技术实现与二次设备通信,不仅易于实现且可靠性高;另一方面,近年来,随着以太网通信技术的迅速发展,共享式、交换式以太网技术相继问世,到目前为止已经出现了千兆以太网以及快速交换式以太网,这些都使得以太网通信技术能够更好地满足人们对网络带宽的要求,现已有实验研究表明<sup>[5]</sup>,以太网通信技术能更好地满足电力系统过程层通信的实时性要求。因此,利用光纤以太网实现合并单元与二次设备之间的通信符合电力系统通信网络开放性、稳定性、实时性的发展要求,它的推广应用将更加有利于实现变电站自动化系统的安全、可靠运行。

## 参考文献:

- [1] ZHANG Gang, LI Shao-hui, ZHANG Zhi-peng, et al. A Novel Electro-optic Hybrid Current Measurement Instrument for High-voltage Power Lines [J]. IEEE Trans. on Instrument and Measurement, 2001, 50(1): 59-62.
- [2] 刘 琨, 周有庆, 彭红海, 等. 电子式互感器合并单元的研究与设计[J]. 电力自动化设备, 2006, 26(4): 67-71.
- [3] 殷志良, 刘万顺, 杨奇逊, 等. 变电站自动化过程层与间隔层串行通讯研究[J]. 中国电力, 2004, 32(7): 29-32.
- [4] IEC 61850-9-1. Communication Networks and Systems in Substations. Part 9-1: Specific Communication Service Mapping (SCSM)-sampled Analogue Values Over Serial Unidirectional Multidrop Point to Point Link[S]. 2002.
- [5] UCA 2.0 Standard Document: Part 1. Electrical Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, CA[S]. 2002.