

# 一种基于 IEC 61850 标准的嵌入式合并单元的研究与实现

程良伦, 田云杰, 陈少华

(广东工业大学自动化学院, 广东 广州 510090)

**摘要:** 合并单元是实现基于 IEC61850 标准的数字化变电站自动化系统的过程层主要设备。简要介绍了合并单元的定义及其相关国际标准, 提出了一种基于 IEC 61850-9-1 标准采用嵌入式技术的合并单元的实现方案, 并对该方案的主要组成部分的实现进行深入的研究分析和详细的阐述。实验结果表明该合并单元具有较高的可靠性和较强的实用性。

**关键词:** 合并单元; 嵌入式技术; IEC61850; 数字化变电站; 性能测试

## Research and implement on embedded system merging unit based on IEC 61850

CHENG Liang-lun, TIAN Yun-jie, CHEN Shao-hua

(Faculty of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

**Abstract:** Merging unit is a primary process device to implement digitalized substation automation system based on IEC 61850. The definition and some international standards of merging unit are briefly introduced and a realization scheme of merging unit based on IEC 61850-9-1 and embedded technology are detailed in this paper. Then it researches deeply and explains detailedly to the mainly parts of this scheme. Experimental results show that merging unit has higher reliability and practicability.

**Key words:** merging unit; embedded technology; IEC 61850; digitalized substation; performance testing

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)20-0055-05

## 0 引言

随着数字化变电站建设的呼声日益高涨, 变电站自动化系统的开放性、互操作性越来越受到人们的重视。为了使变电站内不同厂家的设备之间进行信息共享, 国际电工委员会制定出了关于变电站自动化系统结构和数据通信的国际标准 IEC 61850。我国等同采用并作为电力行业标准, 标准代号为 DL/T860 系列。根据 IEC 61850 标准定义, 变电站自动化系统在逻辑结构上分为 3 个层次——过程层、间隔层和站控层, 标准的第 9 部分规范了实现过程层的数字化设备输出接口——合并单元 (Merging Unit)<sup>[1]</sup>, 奠定了变电站数字化的基础。

目前, 中国的电子式互感器的研制虽然已有了重大突破并取得了一系列的成果, 但是大规模的应用到变电站中尚需一段时日, 针对此种状况, 本设计所提出的合并单元主要依传统的电压/电流互感器为对象, 通过同步采集互感器的电压、电流信息并按照 IEC61850-9-1 协议标准进行数据处理和输

送。以此作为由传统的变电站向基于 IEC 61850 标准的数字化变电站的过渡实现。

## 1 合并单元的定义和模型

合并单元的首次定义是在 IEC60044-7/8 标准中提出, 它是针对数字化输出的电子式互感器而定义的<sup>[2,3]</sup>。其主要功能是同步采集多路互感器的电

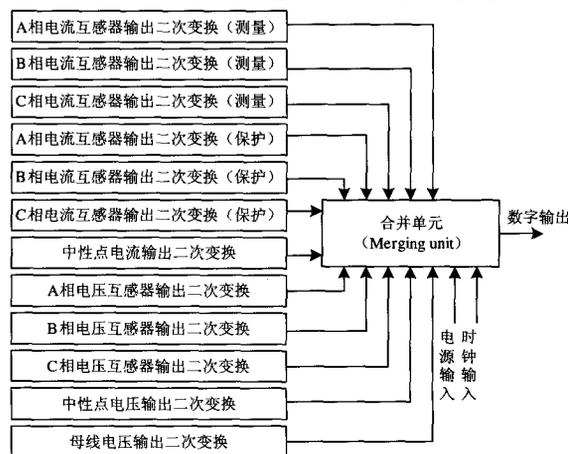


图1 合并单元的定义

Fig.1 The definition of merging unit

基金项目: 广东省教育厅科技计划项目 (070043)

压、电流信息并转换成数字信号，经处理并按照曼彻斯特编码格式发送给二次保护、控制设备。如图1所示，合并单元能同时处理12路电量，采集测量用三相、保护用三相、中性点7路电流信号，采集三相、中性点和母线5路电压信号。后来随着IEC61850标准的制定，对于合并单元的描述又进行了创新，传输的信息中又增加了一些反映开关状态的二进制输入信息和时间标签信息等<sup>[4]</sup>，同时，过程层和间隔层的数据通信采用以太网进行。

## 2 嵌入式合并单元的提出和设计

位于过程层的合并单元能否准确、快速地采集互感器的电量信息，并进行相应处理和发送到间隔层的保护、控制设备，对于数字化变电站的实现至关重要。而嵌入式技术是最近几年发展起来的新型技术，它可以解决电子系统小型化和低功耗、高可靠等问题，对于系统的集成有着无与伦比的优势。所以本设计采用ARM9系列S3C2410芯片作为微处理器，采用Linux作为操作系统来实现基于IEC61850-9-1标准的合并单元功能<sup>[5]</sup>。其结构图及相关应用接口如图2所示。

通常，变电站只需一台GPS接收机供变电站内所有设备同步，在正确识别GPS接收机输出的同步秒脉冲(1PPS，同步信号1)之后，ARM微处理器给合并单元的数据采样模块发送同步转换信号(同步信号2)，数据采样模块对传统的电压/电流互感器进行数据采样和A/D转换，并将转换处理后的信息输送给ARM微处理器。在进行数据处理后，通过以太网接口(本设计为双以太网接口)将数据传送到间隔层的保护、控制设备。同时，该设计还可以对一些开关状态信息进行监测，通过串口进行维护请求等处理。

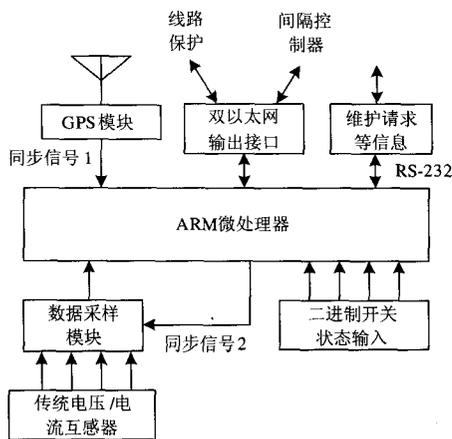


图2 嵌入式合并单元的结构图

Fig.2 Frame structure of the embedded merging unit

## 3 嵌入式合并单元的功能实现

### 3.1 数据采样模块的功能实现

一次设备接口的数据采样模块是合并单元最基本的组成部分，在合并单元的定义中，认为数据采样和传输的实现是多路电压/电流互感器输出的数字信号分别发送到合并单元。在合并单元的实现上，对传统的电压/电流互感器的数据采样可通过数据采样模块来实现。数据采样模块分别采样线路上的电压、测量电流和保护电流等共12路数据(并非所有合并单元都是12路数据)，转换为数字信号后经调制通过光纤发送至合并单元，该模块的实现上，使用ADE7759作为采样和转换芯片。ADE7759是Analog Device公司生产的计量芯片，具有电流通道(CH1)和电压通道(CH2)两个模拟信号通道，通过控制ADE7759进行信号采样，然后从ADE7759中读出电压/电流信息并发送给ARM微处理器。

### 3.2 数据的标定

根据IEC60044-7/8标准，在电子式互感器输入额定电压/电流时，输出的数字量按照协议规定应是一一对应的标准值，其额定二次输出的标准均方根值(有效值)如表1所示，测量用电流/电压互感器能测量2倍额定一次电流/电压而不发生溢出。量程标志为0时，保护电流互感器能测量50倍额定一次电流(0%偏移)或25倍额定一次电流(100%偏移)而不溢出，当量程标志为1时，测量范围增加一倍。

表1 输出数据额定值

Tab.1 Output rating data

互感器	测量电流互感器 (标度因子SCM)	保护电流互感器 (标度因子SCP)	电压互感器 (标度因子SV)
额定值	0x2d41 H	0x01cf H	0x2d41 H
量程标志0	(十进制11585)	(十进制463)	(十进制11585)
额定值	0x2d41 H	0x00e7 H	0x2d41 H
量程标志1	(十进制11585)	(十进制231)	(十进制11585)

本设计的采样对象为传统的电压/电流互感器，不能完全照搬IEC60044-7/8标准的规定，因此根据实际应用情况，制定出本设计的标度因子。此处的标度因子为数据采样模块所采样的数据额定值为标定基准，而对于实际的电压/电流数据还需要乘以变比系数。

表2 实际的传统互感器的输出数据额定值

Tab.2 Factual output rating data of traditional transformer

互感器	测量电流互感器 (标度因子SCM)	保护电流互感器 (标度因子SCP)	电压互感器 (标度因子SV)
模拟(额定值)	5A	5A	220V
数字(额定值)	0x2d41 H (十进制11585)	0x00e7 H (十进制231)	0x2d41 H (十进制11585)

### 3.3 通信的实现

合并单元数字输出有两种技术方案：一种采用点到点链接, 并按照 IEC60870-5-1 规定的 FT3 数据帧格式封装而实现数据传输；另外一种是采用 IEC61850-9 描述的以太网接入方式, 按照 ISO/IEC8802.3 协议规定的帧格式进行数据封装, 并通过 TCP/IP 协议实现数据传输。而 IEC 61850 标准对合并单元的采样值传输服务功能又分为两种, 即 IEC 61850-9-1 和 IEC61850-9-2。前者以 IEC 60044-7/8 为基础, 而后者除“SendMSVMessage”服务外又增加较多内容且对通信网络要求更高, 目前实现有一定难度<sup>[6,7]</sup>。因此, 本设计采用 IEC 61850-9-1 的方式进行采样值映射, 便于实现与变电站内不同 IED 的互操作, 由于本设计采用的是嵌入式技术, 对于系统以后往 IEC 61850-9-2 的实现的转变也简单易行。

IEC61850-9-1 中的数字通信协议栈是参考 ISO 七层协议规定, 但是又和通常使用的以太网框架有很大不同, 因此在实际应用中需进行修改。基于 ISO/IEC802.3 协议的以太网物理传输帧格式中(如表 3 所示), PR 为前导码, 为 56 位二进制 1010101010...; SD 为帧界定符, 为 8 位 10101011; DA 为目标地址, 默认为广播地址, 为 16 进制的 FFFFFFFF; SA 为源地址, 局域网内应唯一; APDU 为应用协议数据单元, 由 32 位应用协议控制信息和应用服务数据单元组成, 而应用服务数据单元分为 46 字节的通用数据段和 23 字节的状态标志数据段; FCS 为 32 位数据校验位。

表 3 合并单元中应用的以太网链路传输帧  
Tab.3 Ethernet link frame of merging unit

PR	SD	DA	SA	TPID	TCI	TYPE	PDU	APCI	ASDU	SI	FCS
7B	1B	6B	6B	2B	2B	2B	8B	4B	46B	23B	4B

通常, 为了满足 IEC61850-9-1 标准通信协议的要求, 需要配置合并单元的相关内容, 例如互感器的额定电压、电流、各通道标志信息等, 每次合并单元重启时都会下载配置该信息, 在更新完配置信息后, 按照配置信息组织数据星向二次保护、控制设备发送数据。在通信时需要发送的 ASDU 的通用数据集帧结构为:

```

Typedef struct MU_ASDU_UNIVERSAL
{
UNIT16 length; /* 数据集长度, 通常为 44 */
UNIT8 LNNAME; /*逻辑设备名, 值为 02 */
UNIT8 DataSetName; /* 数据配置名, 允许值为 01 和 254*/

```

```

UNIT16 DName; /* 逻辑设备名, 站内唯一*/
UNIT16 PhsaArtg; /* 额定相电流 */
UNIT16 NeutArtg; /* 额定中性点电流 */
UNIT16 PhsaVtg; /* 额定相电压 */
UNIT16 DelayTime; /* 额定延时时间*/
UNIT16 DataChannel[12]; /* 1 号数据通道至 12 号数据通道的采集测量值 */
UNIT16 StatusWord1; /* 状态字 1 */
UNIT16 StatusWord2; /* 状态字 2 */
UNIT16 SmpCtr; /* *16 位的采样计数器*/
UNIT8 SampRate; /* 采样频率 */
UNIT8 ConfRev; /* 配置版本号 */
}

```

其中, UNIT16 表示变量为 16 位, UNIT8 表示变量为 8 位。通过特殊通信服务映射 (SCSM) 将合并单元的信息模型映射到以太网的数据链路层上。

此外, 通信发送的数据还应包括二进制输入状态及其品质信息的状态数据集帧, 且在 IEC 61850-9-1 中描述的通用数据集帧和状态数据集帧结构类似, 从而避免了 IEC 61850-7-2 部分所述报告模型来实现这一功能。

## 4 合并单元的测试实验

研究基于传统的电压/电流互感器的合并单元作为过程层设备, 推动了数字化变电站间隔层和站控层的发展和运用, 所以对于合并单元的性能测试是设备于 IEC61850 标准应用的重要保证。针对此要求, 本设计对合并单元的部分性能进行了测试实验。

### 4.1 采样精度的测试实验

采样精度测试主要是验证合并单元所采样的数据是否准确, 能否满足数字化变电站二次保护、控制设备对采样精度的要求<sup>[8]</sup>。通过标准信号提供装置给电压互感器和电流互感器提供标准电压/电流信息, 然后由合并单元发送采样数据, 将采集到的数据和标准信号提供装置进行对比, 来分析该合并单元的采样精度以及输出至合并单元时的干扰和误差。

实验中, 通过多次多相测试, 结果表明测量多路电压/电流均满足电力系统测量精度要求, 证明该合并单元的性能满足系统标准的要求, 可以为二次设备提供准确的数据, 其部分实验数据为表 4 所示。在该实验中, 对标准信号提供装置提供的某一信号进行 30 次采样, 找出这 30 次采样值中的最大值 max 和最小值 min 以及最大值和最小值的差值 max-min。

表 4 A 相测量电压的实验数据表  
Ta.4 The testing data table of voltage phase A

标准源输入电 压/V	最大值/V max	最小值/V min	差值/V Max-min
20	19.90	19.50	0.40
60	60.05	59.94	0.11
140	140.02	139.93	0.09
160	160.04	159.97	0.07
180	180.06	179.98	0.08
200	200.04	199.98	0.06
210	210.05	219.99	0.06
220	220.03	219.98	0.05

由表中数据可以看出,在标准输入电压越接近额定值时,采样系统进行数据采集的线性越好,其采样精度也越高。而在标准源输入电压为 20 V 时,误差更大,线性情况已严重损坏,当其对应装置改变变比系数后误差会更大。

#### 4.2 帧数据流的捕获与验证

测试系统对网络上传输的信息进行检验,以保证不同制造商 IED 之间的互操作性,该实验主要验证合并单元客户端的信息是否可靠完整地传输到保护、控制设备端,同时验证网络上传输的二进制信息是否符合 IEC 61850 标准。其中,对于合并单元客户端和服务端的数据可靠完成性可以通过比较发送和接收到的数据一致性来实现,测试极易实现。而对于以太网中传输的数据类型是否满足 IEC 61850 标准,则需要进行分析,本实验利用 WinPcap 和 Ethereal<sup>[9]</sup>对网卡进行数据抓包,对通信的协议和方式进行验证。同时,用 Delphi 自制一简易界面,将 WinPcap 捕获的数据以文本形式保存到 PC 机中一指定目录,取出信息中的应用数据信息,然后通过指针将不同数据源的数据对应给显示界面的 Tchart 控件的曲线显示数组中,可对数据情况进行界面显示。如图 3 所示,为分析通用数据帧中采样信息数据的界面图。

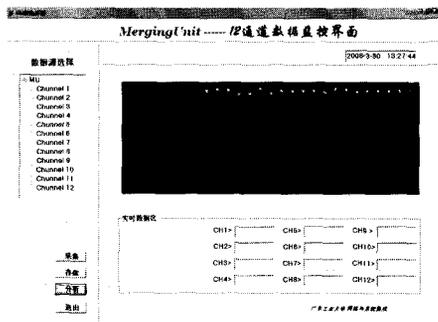


图 3 通用数据帧采样数据界面图

Fig.3 Interface of universal-frame's sampling-data

在接收合并单元送往二次保护、控制装置中采用

软件 Ethereal 软件进行获取网络上传输的信息,然后进行分析,能够验证合并单元的广播发送等信息。

## 5 结论

本文提出了一种基于嵌入式技术的合并单元实现方案,充分利用了嵌入式技术能系统小型化和低功耗、高可靠、执行速度快、数据处理能力强等优点,结合当前电子式互感器尚不能大量实际应用的国内情况下,结合未来变电站通信协议 IEC 61850 标准,为未来基于电子式互感器大量应用的数字化变电站的研究做出了准备,同时经过一系列的实验证明该装置能够满足系统的要求,具有很大的工程应用价值。

## 参考文献

- [1] DL/T860.91-2006/IEC61850-9-1, 变电站通信网络和系统第 9-1 部分: 特定通信服务映射 (SCSM) 通过单向多路点对点串行通信链路的采样值 [S]. DL/T860.91-2006/IEC61850-9-1,Communication Networks and Systems in Substations Part 9-1: Specific Communication Service Mapping (SCSM) Sampled Values Over Serial Unidirectional Multidrop Point to Point Link[S].
- [2] IEC 60044-7 Instrument Transformers : Part 7 Electronic Voltage Transformers[S].
- [3] IEC 60044-8 Instrument Transformers : Part 8 Electronic Current Transformers[S].
- [4] 谢经东, 李红斌, 刘曲波, 等. 一种基于 FPGA&DSP 合并单元的实现方案[J]. 电气应用, 2007, 26(6): 43. XIE Jing-dong, LI Hong-bin, LIU Qu-bo, et al. Realization of Merging Unit Based on FPGA&DSP[J]. Electrotechnical Application, 2007, 26(6): 43.
- [5] 田云杰, 程良伦, 罗晟. 基于 IEC 61850 的嵌入式合并单元的研究[J]. 继电器, 2007, 35(10): 52. TIAN Yun-jie, CHENG Liang-lun, LUO Sheng. Research on Embedded System Merging Unit Based on IEC 61850[J]. Relay, 2007, 35(10): 52.
- [6] 梁晓兵, 周捷, 杨永标, 等. 基于 IEC61850 的新型合并单元的研制[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(7): 85. LIANG Xiao-bing, ZHOU Jie, YANG Yong-biao, et al. Development of a New Type of Merging Unit Based on IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(7): 85.
- [7] 燕沙, 李红斌, 张艳. 基于 LabWindows/CVI 的电子式互感器数字输出分析仪[J]. 高压电器, 2007, 43(3): 200. YAN Sha, LI Hong-bin, ZHANG Yan. Electronic Transformer Digital Output Analyzer Based on LabWindows/CVI[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(3): 200.

(下转第 61 页 continued on page 61)

新的双AD板采样后上送的数据内容,除了24路通道数据外,另附加6个字节的包含通道异常判别、故障通道号的数据。

保护功能算法程序模块增加了采样通道异常后闭锁保护出口的模块。其他各种保护原理、定值项、出口逻辑方式模块不做任何修改。这样能够保持和原系统最大的兼容性。

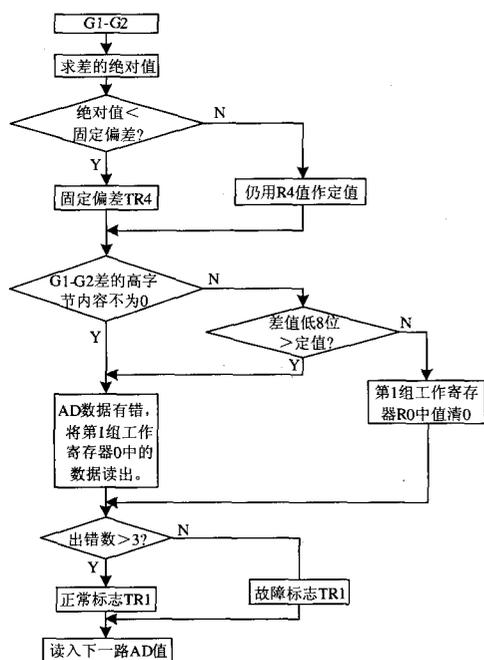


图2 双AD板判错软件流程图

Fig.2 Double AD flow chart for judging of fault

图2是该双AD板判别AD采样异常的软件流程图。图中G1、G2分别代表第一组采样数据和第二组采样数据。R0、R1、R4分别为单片机的内部寄存器。当计算到同一通道连续3点采样差值异常时,发出装置异常信号,给出故障通道号,同时闭

锁保护出口。

为了防止在采样信号本身较小时,由于双通道本身有误差,而误发闭锁信号,采用了固定偏差做门槛,此门槛值主要是为了躲过双通道固有采样误差。以后该门槛会随采样信号的大小而浮动。此判错原理部分借鉴了传统的比率制动差动保护的原理。

#### 4 实际应用

装置的硬件、软件修改结束后,先对其进行了详细的静模实验。特别是对程序做过修改的部分及差动、匝间等主保护进行了各种工况下的故障实验。

静模实验完成后,在华中科技大学动模室与华中电力调度中心、长江电力、华中科技大学的专家共同对装置进行了动模实验。

通过实验证明,经过此双AD改造的保护装置技术性能指标符合国家标准及电力行业标准,满足生产运行要求,提高了整套装置的可靠性。建议试点运行成功后,对其他相关保护装置进行全面升级。此设计给老一代微机保护提供了一个经济便捷的完善方式。

目前,新的双AD板已在葛洲坝电厂2号机和9号机上投入运行,运行情况良好,准备在今年的冬修期间在其他19台机组上全面实施。

收稿日期:2007-08-30; 修回日期:2008-07-01

作者简介:

毛健(1970-),男,高级工程师,从事电力系统继电保护的研究;E-mail:mjemail@163.com

封孝松(1962-),男,高级工程师,从事电力系统继电保护的研究;

周宽裕(1969-),男,工程师,从事工控机平台的研究。

(上接第58页 continued from page 58)

- [8] 杨永标.基于IEC61850标准的合并单元性能测试[J].电网技术,2006,30:442.  
YANG Yong-biao. Performance Testing of Merging Unit Based on the IEC61850[J].Power System Technology, 2006, 30: 442.
- [9] 左群业,张永利.IEC61850规约测试技术研究及应用[J].继电器,2007,35(2):68.  
ZUO Qun-ye, ZHANG Yong-li.Study and Application of IEC61850 Protocol Test Technology[J].Relay, 2007, 35(2):68.

收稿日期:2008-01-02; 修回日期:2008-03-31

作者简介:

程良伦(1965-),男,教授,博士生导师,从事电力系统自动化,计算机控制技术,嵌入式数据库,网络与信息化控制,工业控制网络,传感器网络等领域的创新性研究;

田云杰(1979-),男,硕士研究生,从事变电站自动化系统和控制网络与集成的研究;E-mail:ttyyjj126@126.com

陈少华(1954-),女,教授,硕士生导师,研究方向为继电保护及人工智能在电力系统中的应用。