

The Development about Merging Unit Based on Process Bus of IEC 61850-9-2

Chen Fan, Yimin Ni, Zhaohui He, Jian Shen, Li Xie, Yongfeng Ling, Chunlei Gao,

Xiang Zhao, Bin Zhou, Guofang Huang

NARI Technology CO.Ltd., Nanjing 210003, China

Abstract: The merging unit appear with the application of electronic voltage transformer(EVT)and electronic current transformer(ECT), it is used to implement the digitalization and sharing of the data from the process and provide the support to the development of process layer of digital substation. The present merging unit is realized over serial unidirectional or multidrop point to point link based on IEC61850-9-1, this paper take a research about the merging unit based on standard of IEC61850-9-2. Firstly, The data model is designed and the communication service of merging unit is described. Secondly, The merging unit is developed, the process of sample and organization of 9-2 frame, the selfcheck of device, the implement of IEEE1588 and IGMP protocol is discussed detailed. Thirdly, The application of merging unit is discussed. This device will be used in a project.

Keywords: IEC61850, merging unit, process bus, IEEE1588, GMRP

基于 IEC61850-9-2 标准过程层总线合并单元的研制

樊 陈, 倪益民, 何昭辉, 沈健, 谢 黎, 凌永丰, 高春雷, 赵 翔, 周 斌, 黄国方

国电南瑞科技股份有限公司, 江苏南京, 210003

摘 要: 合并单元是随着电子式电流、电压互感器的产生而出现的, 在一定程度上实现了过程层数据的共享和数字化, 是推进数字化变电站发展的重要保障。针对当前合并单元都是基于 IEC61850-9-1 标准实现点对点串行通信方式的现状, 对基于 9-2 标准的过程层总线的合并单元进行了探讨。阐述了基于 9-2 标准合并单元的数据模型和通信服务功能, 研制了基于 9-2 标准的合并单元, 着重对合并单元的采样、9-2 报文的处理、装置的自检、1588 对时和 GMRP 协议的实现进行了详细讨论。最后对工程化应用进行了相关探讨, 即将投入现场运用。

关键词: IEC61850, 合并单元, 过程层总线, IEEE1588, GMRP

1、引言

随着电力系统向大容量、超高压和特高压方向发展, 一次、二次设备向小型化、智能化、高可靠性方向发展。电子式互感器以其体积小、重量轻、抗电磁干扰能力强、动态范围宽不易饱和、绝缘结构简单、易于数字信号传输等优点, 顺应了电力工程的发展要求, 得到了越来越广泛的应用^[1-3]。电子式互感器通过光纤与合并单元相连, 并由合并单元将采样值上送给间隔层 IED, 合并单元的使用能够简化施工现场的电缆连接, 减少占地面积, 具有较大的工程价值, 同时也能够促进数字化变电站的发展, 并为智能电网的数字化需求提供有力保障。尤其是基于 IEC61850-9-2 标

准(以下简称 9-2 标准)的过程层总线合并单元的研究, 在实现上述功能的同时还能实现跨间隔数据的共享, 使用前景十分广阔。

2、基于 9-2 标准的合并单元的研究

当前电子式互感器所采用的合并单元绝大多数都是基于 IEC61850-9-1 标准, 该标准发送的数据是点对点通信, 各个合并单元之间的数据不能共享, 并不能真正体现 IEC61850 标准过程层总线通信的优势, 目前该标准已被 IEC 废除, 9-2 标准将是今后发展的趋势。由于 9-2 部分所定义的相当灵活, 所以实现起来有一定难度, 为此, IEC 委员会专门出版了针对 9-2 的 Light Edition (以下简称 9-2LE), 针对 9-2 的应用提供了指导, 并对一些参数进行了固化^[4-6]。

"十一五"国家科技支撑计划重大项目 (2008BAA13B06)

基于 9-2/9-2LE 过程层总线的合并单元在实现上按照 IEC61850 的要求, 不仅建立相应的数据模型, 其相关的服务实现也完全按照 MMS 的要求。在数据模型的建立上通过 XML 文件进行数据对象的描述, 并形成相应的配置文件, 其方式和间隔层 IED 的配置文件类似。在相应的服务上, 在 9-1 仅支持“SendMSVMessage”服务的基础上, 增加了“GetMSVCBValues/SetMSVCBValues”等控制服务功能, 可重新设定输入通道数、采样频率等参数, 支持对数据集的更改和对数据对象的直接访问。在数据发送上可以按照需求随意配置相应的数据集, 因而帧格式可灵活定义, 对 ASCII 模型的支持也更加完备, 并支持单播方式。因此 IEC61850-9-2 的映射方法更为灵活, 对 ASCII 模型的支持也更加完备。最为重要的是基于过程层总线的合并单元能够实现过程层数据的共享, 摆脱间隔的约束, 这也是本文研究的意义所在。

2.1 9-2 标准合并单元的数据模型

基于过程层总线的合并单元, 其模型的设计方法和间隔层保护测控 IED (支持 IEC61850 标准) 一样, 数据模型的获取是通过配置文件来获得, 相应配置文件的例子可以参考 9-2LE。在此, 将合并单元的抽象数据结构列出, 如图 1 所示:

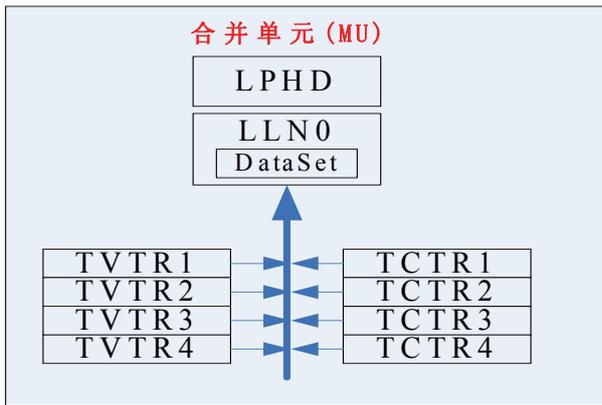


Figure 1. The structure of data model of merging unit
图 1. 合并单元数据模型结构图

由图 1 可以看出, 合并单元内部的逻辑节点主要由 LPHD (逻辑物理设备)、LLN0 (零逻辑节点)、TCTR (电流互感器)、TVTR (电压互感器) 组成^[7-10], 为了清晰展示, 图 1 的电流、电压互感器均带有具体实例名, 即节点后的编号, 而数据集则定义了这个 8 个互感器的采样值, 当然, 上述模型的建立主要还是依照 9-2LE 来建立, 因而显得相对要简单一些。若采

用 9-2 的要求, 逻辑节点和数据集可以任意定义, 因而其灵活性也较大, 在工程应用中不同厂家之间的区别也就越大, 互操作的难度就更大, 因而 9-2LE 提供了一个参考, 便于工程运用。

2.2 9-2 标准合并单元的通信服务功能

基于 9-2 的过程层总线合并单元在通信实现上支持单播和多播采样值服务, 同时还支持“GetMSVCBValues/SetMSVCBValues”服务。多播方式的实现是通过多播采样控制模块来实现, 该模块和报告控制模块类似, 映射到 MMS 类型时均有其自身的结构, 具体如表 1 所示:

Table 2: The structure of MSVCB
表 2: 多播采样值控制模块结构

元素名称	MMS 类型描述	说明
MsvCBNam	ObjectName	控制模块名称
MsvCBRef	ObjectReference	对象索引
SvEna	Boolean	采样值发送使能
MsvID	Visible-string	系统内的唯一标识
DataSet	Object-Reference	数据集名称
ConfRev	Integer	配置版本号
SmpRate	Integer	每秒采样次数
OptFlds		
refresh-time	Boolean	刷新时间
sample-synchronized	Boolean	采样同步
sample-rate	Boolean	采样频率
Sample[1.....n]	Struct	采样数据

表 1 中的元素名称和报告控制模块一样, 在此仅对 OptFlds 所属名称进行阐述, refresh-time、sample-synchronized、sample-rate 均是布尔型, 当为 True 时, 表示多播采样控制模块中包含其在内, 若为 False, 则不包含, 而这一区别将会在发送的 9-2 报文中得以体现。

表 1 中 Sample (采样数据) 中每个数据由两部分组成, 一部分是 4 字节有符号长整型数据域, 另一部分是 4 字节品质域, 品质域每一位都有不同的意义。对于 4 字节的数据域, 分为电压和电流两个部分。对于电压而言, 是以 10mV 为单位表示的一次系统的瞬时电压值; 对电流而言, 是以 1mA 为单位表示的一次系统瞬时电流值。对于 4 个字节的品质域, 这一参数和标准 7-3 中的品质一样, 但 9-2LE 扩展了 Derived 之

一项，如图 2 所示：

```

.... ..00 = validity: good (0)
.... ..0.. = overflow: Not Set
.... ..0... = outOfRange: Not Set
.... ..0 .... = badReference: Not Set
.... ..0. .... = oscillatory: Not Set
.... ..0.. .... = failure: Not Set
.... ..0... .... = oldData: Not Set
.... ..0 .... = inconsistent: Not Set
.... ..0. .... = inaccurate: Not Set
.... ..0. .... = source: process
.... 0... .... = test: False
...0 .... .... = operatorBlocked: False
..1. .... .... = derived: True

```

Figure 2: The parameter of Quality
图 2: 品质 Q 的参数

品质 Q 为 32 位的状态数据，其高字节的 16 位暂未使用，默认为 0，低 16 位的数据有固定的位置，如图 2 所示，其所表示的品质 Q 的值为 0x00002000。Derived 为布尔型变量，当其为 True 时，表示该项所采集的值不是来自于互感器，是属于计算出来的量；当其为 False 时，表明该项采集量来自于互感器。

3、基于 9-2 合并单元的研制

3.1 合并单元数据采样

针对当前工程中所遇到的各种情况，合并单元在设计时考虑到三种可能的采样方式，一种是全部都通过 ECT/EVT 采样（简称数字化采样），另外一种仍然是采用传统的采样方式（简称模拟量采样），第三种就是 ECT/EVT 和传统方式混合使用的情况（简称数模混合采样）。

数字化采样和模拟量采样都是通过采样脉冲来启动的，基于 9-2 标准的合并单元接收装置内部 FPGA 发送的采样脉冲，每收到一个采样脉冲就进入一次中断，然后读入 ECT/EVT 传给 CPU 的数字量数据或者通过 ADC 采集芯片采集的模拟量数据，这样就能保证采集系统采样的同步性。

对于模拟量采样，采集芯片采集的模拟量数据就是当前采样脉冲序号所对应的点。但对于数字化采样，由于数字量数据是通过串口接入的，串口的速度相对比较慢，尤其是在采样频率较高的情况下更为突出。因此，数字化采样方式下本次中断中读入的数据根据各个厂家的 ECT/EVT 处理原理的不同，会延迟 1 或 2 个点。这样就需要将不同序号的点整合成同一序号的点。整合的原则就是：对于数字化采样或者模拟量采样，各自按照自己的采样计数来组织报文，而对于数模混合的方式，则按照数字化采样的点号来组织报文。

3.2 SMV9-2 报文处理

装置通过读取内部的配置文件（如 ICD 配置文件），获取装置的各项参数（如 IP 地址等）和 9-2 报文各项参数的指标，如每个 ASPU 所包含的 ASDU 的数目、采样频率等参数。然后进行网络进行初始化操作并检查各网络端口的有效性。之后通过采样频率所配置的参数动态配置装置的定时中断时间，每次进入中断读取采样数据，然后按照组织报文格式发送报文。

对于单报文（一个多播采样控制模块）的情况，可以根据配置文件的内容确定该报文发送的网络端口。对于多个报文（多个多播采样控制模块），存在一个端口同时发和多个端口分别发的情况。以 9-2LE 报文为例，由于保护电流和测量电流分别发送，为此建立了两个多播控制模块 MSVCB01 和 MSVCB02，两个报文可以通过配置由一个端口同时发出（在采样同步的情况下两者几乎同时发出）；也可通过配置由两个端口分别发出。另外，在报文处理流程中还增加了一些辅助的功能，如装置的自校准功能，仿真调试功能（通过设置成仿真模式，让装置无需加量就可以模拟发送额定的采样数据，通过调用相应的函数来调节采样数据的辐值）。由此可见整个 9-2 报文发送的处理流程相当灵活，具有极强的扩展性和兼容性。

3.3 装置的自检功能

为了在装置异常的情况下能够方便的查处问题所在。基于 9-2 标准的合并单元在设计之初就考虑到全程监视的功能。通过在各个阶段设立相关的 check 函数，在异常的情况下打印出出错的相关信息，已便于及时找到装置异常所在。

首先是对配置文件的自检。装置在读取配置文件的同时会对配置文件中各参数值进行检查，若发现参数越限或者类型不匹配、参数配置前后矛盾等情况会及时告警，打印相应信息并退出主任务。

在采样处理环节，通过对采样脉冲的发送、对时的获取、采样数据的读取等监视装置的采样对时环节的全过程。以保证在读取采样数据时防止双口 RAM 读取异常导致的采样数据异常的情况。为后续的调试和分析提供有效帮助。

在报文处理环节，通过监测报文采样计数器以防止报文的丢失，装置在调试的时候可以通过调用为其编写的函数来监视报文的发送。

上述各个环节所有的异常信息都为其定义了相应的名称，整个过程的所有状态改变可以通过报文将

其上送。

3.4 IEEE1588 对时处理

IEEE1588 是一种用于分布式测量和控制系统的精密时间协议 (Precision time protocol, PTP), 其网络对时精度可达亚 us 级, 能够满足变电站所有系统的对时精度要求, 尤其是能够满足计量的精度要求^[11-13]。为此在基于 9-2 标准的合并单元中增添了 IEEE1588 对时功能。

现有“乒乓”方式所计算出的时间偏差和延迟是基于来回网络延迟相同的条件 (即报文从主时钟到从时钟的网络延迟和从时钟到主时钟的网络延迟时间相同) 计算的, 实际上这两个延迟时间很难完全一样。在实际工程中考虑到网络流量较为固定, 所以暂且将其视为相等。因此当合并单元第一次收到对时报文后, 对时就开始了, 由于网络等各种情况的原因, 对时过程需要经过多个回合以后才能将主从时钟之间的时间偏差逐步降到 1us 以内。当合并单元计算出的时钟偏差连续 5 次在 1us 范围以内后, 就认为装置和主时钟同步上了。此时就通过 IO 管脚向 FPGA 发送秒脉冲同时往 FPGA 的双口 RAM 中写入 1588 秒脉冲有效标志。FPGA 随时检测 1588 秒脉冲标志的有效性。当检测到 1588 秒脉冲有效 FPGA 就将 1588 秒脉冲标志转给采样处理进程, 此时 FPGA 发出的采样秒冲就是和主时钟同步, 此时 9-2 报文中 smpSynch 标志置成 True。

3.3 GMRP 协议应用

GMRP 是目前已有的基于 GARP 的两种应用之一。GMRP 协议数据报文的 MAC 地址是特定的组播 MAC 地址(01-80-C2-00-00-20), 交换机和主机在接收到报文后根据该地址区分 GMRP 协议数据和其他数据^[14-15]。其基本原理是: 当一台主机想加入某一个多播组时, 它将发出 GMRP 加入信息, 交换机将接到 GMRP 加入消息的端口加入该多播组中, 并在 VLAN 中广播该 GMRP 加入信息, VLAN 中的多播源就可以知晓多播成员的存在。当多播源向多播组发送多播报文时, 交换机只把多播报文转发给与该多播组成员相连的端口, 从而实现了在 VLAN 内 2 层多播。

基于上述原理, 为有效减少交换机各端口的流量, 确保合并单元能够收到 IEEE1588 对时报文, 避免主钟接收非 IEEE1588 报文, 在合并单元的开发中也采用了 GMRP 协议, 通过定时发送 GMRP 报文来动态加入 IEEE1588 报文多播组, 接受交换机中接收

的来自主钟的对时报文。由于主钟通常是每 2 秒发送一个 Synch 报文和 Followup 报文, 所以合并单元定时发送 GMRP 报文的间隔也会根据实际情况进行动态调整, 由此在实现 IEEE1588 精密对时的同时降低网络的流量, 能够有效的提高网络的整体性能。

4、合并单元工程化的应用

4.1 工程化配置工具 NsConfig

由于 9-2 标准比 9-1 标准更加灵活, 在报文的定制方面有更大的扩展空间, 这在给现场应用带来方便的同时也给工程维护带来新的挑战。为了使得合并单元能够方便的应用于现场, 必须要有方便实用的工程化配置和维护工具。

自主研发的数字化变电站配置工具 Nsconfig 由 Java 语言开发而成, 可以跨平台运行。NsConfig 工具采用插件的思想, 针对不同的功能开发相应的插件, 各插件之间在功能上能够互相兼容, 能够完成数字化变电站的各种项配置。在此基础上开发了 9-2 标准的插件, 实现对 9-2 标准的合并单元的配置。并生成最终的 ICD 配置文件

整个配置分为两个部分, 一个是装置的基本配置, 包含采样通道, 装置的通信参数的配置。另外一个为报文配置, 包含 9-2 报文的内部属性配置, 如 SvID、DestMac 等参数, 上述两个配置文件均由 NsConfig 工具来实现。同时还可以使用该工具建立装置的数据模型, 定义相应的逻辑节点 LN、数据集 DataSet、多播控制模块 MSVCB 等, 并由此生成装置的 ICD 配置文件以及相应的报文配置文件—SMV92SendPakConfig。9-2 报文每包所包含的 ASDU 的数量以及各报文从合并单元的哪一个端口或者哪几个端口发出都可以灵活配置, 使用非常灵活。这就为 9-2 标准的合并单元工程化应用提供了有力的支撑。

4.2 交换机的选择

随着数字化变电站的发展, 支持 IEC61850 标准, 同时通过 KEMA 认证的交换也越来越多, 尤其是以罗杰康 (REGGEDCOM)、摩莎 (MOXA)、东土等厂家为主。考虑到基于 9-2 的合并单元要采用 IEEE1588 对时, 上述厂家的交换机还必须支持 IEEE1588 协议, 具有边界时钟的功能。当前常用的 MOXA、RUGGECOM 等厂家都有相应的产品。当前在 500KV 数字化变电站的调试中采用了 RUGGEDCO

M2288 型号的交换机。该交换机提供了 9 个高速以太网千兆网口,支持 VLANs 和 IGMP snooping 和 GMRP 多播过滤功能,同时支持 GPS、1588V2、IRIG-B 对时,能够兼容主时钟、从时钟、普通时钟和透明时钟的要求,对时精度 1 μ s。由此可见该交换机各方面的性能都能够满足现场的运行要求。当然,由于罗杰康生产的该款交换机也是新近使用在采用 IEEE1588 对时的变电站中,在装置的联调中也发现了一些问题,对网络风暴的抑制也有些许缺陷,目前也在调试中不断升级完善。

5 结论

基于 9-2 标准和 IEEE1588 对时标准的合并单元的研制目前也是初次尝试,其性能和稳定性仍需今后工程检验。目前开发的该合并单元已通过了相应的动模试验,IEEE1588 对时的误差小于 1 μ s,处在 600ns 以下。在今后的工作里仍需进一步改进,在算法、硬件及实现方式上还需进一步改善和提高,当前经过修改以后精度能够达到 300ns 左右。目前仅仅是将 SV 采样网和 IEEE1588 对时网合在了一起,下一步争取将 GOOSE 网也进行融合,实现过程层设备的通信网 IEEE1588 统一对时。对于智能化变电站提出的将合并单元等过程层设备接入 MMS 网的问题也需要更进一步的探讨,这些都是今后的工作方向。

References (参考文献)

- [1] XU Yan, WU Yong-fei, XIAO Xia. Realization of the merging unit in electronic instrument transformer by using FPGA & DSP[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(2): 275-279. 徐雁,吴勇飞,肖霞.采用FPGA&DSP实现电子式互感器合并单元[J].高电压技术,2008,34(2):275-279.
- [2] DOU Xiao-bo,WU Zai-jun, HU Min-qiang. Information model and mapping implementation of merging unit based on IEC61850. Power System Technology, 2006, 30(2):80-86. 窦晓波,吴在军,胡敏强等.IEC61850 标准下合并单元的信息模型与映射实现[J].电网技术,2006,30(2):80-86.
- [3] LIANG Xiao-bing, ZHOU Jie, YANG Yong-biao. Development

- of a new type of merging unit based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(7): 85-89. 梁晓兵,周捷,杨永标.基于IEC61850的新型合并单元的研制[J].电力系统自动化,2007,31(7):85-89.
- [4] Communication networks and systems in substation—Part 9-1: Specific communication service mapping(SCSM)—sampled values over serial unidirectional multidrop point to point link[S].
- [5] Communication networks and systems in substation—Part 9-2: Specific Communication service mapping(SCSM)—sampled values over ISO/IEC 8802-3[S].
- [6] Implementation guideline for digital interface to instrument transformers using IEC 61850-9-2[S].
- [7] IEC61850-7-1, Communication networks and systems in substations, part 7-1: Basic communication structure for substation and feeder equipment-principles and models[S].
- [8] IEC61850-7-2, Communication networks and systems in substations, part 7-2: Basic communication structure for substation and feeder equipment-abstract communication service interface(ACSI)[S].
- [9] Communication networks and systems in substations-Part 7-3: Basic communication structure for substation and feeder equipment-Common data classes[S].
- [10] Communication networks and systems in substations-Part 7-4: Basic communication structure for substation and feeder equipment-Compatible logical node classes and data classes[S].
- [11] ZHAO Shang-lin, HU Min-qiang, DOU Xiao-bo, DU Yan-sen. Research of Time Synchronization in Digital Substaion Based on IEEE1588[J]. Power System Technology, 2008, 32(21): 91-97. 赵上林,胡敏强,窦晓波,杜炎森.基于IEEE1588的数字化变电站时钟同步技术研究[J].电网技术,2008,32(21):97-102.
- [12] YIN Zhi-liang, LIU Wan-shun, YANG Qi-xun, QIN Yin-li. A New IEEE1588 Based Technology for Realizing the Sampled Values Synchronization on the Substation Process Bus. Automation of Electric Power System, 2005, 29(13): 60-63. 殷志良,刘万顺,杨奇逊,秦应力.基于IEEE1588实现变电站过程层总线采样值同步技术[J].电力系统自动化,2005,29(13):60-63.
- [13] IEEE 1588 Standard for a precision clock synchronization protocol for networked measurement and control systems[S], 2008.
- [14] LI Jing, DUAN Bin, ZHOU Jiang-long, LIU Li-li. Design of a Publish/Subscribe Communication Model Based on GMRP for Substation Communication[J]. Power System Technology, 2008, 32(16): 16-21. 李晶,段斌,周江龙,刘莉莉等.基于GMRP的变电站发布/订阅通信模型设计[J].电网技术,2008,32(16):16-21.
- [15] WANG Song, HUANG Xiao-ming. Filtering methods of GOOSE messages[J]. Automation of Electric Power System, 2008, 32(19): 54-57. 王松,黄晓明. GOOSE 报文过滤方法研究[J].电力系统自动化,2008,32(19):54-57.