

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.190502

## 基于冗余通信的就地化分布式母线保护研究

王智勇<sup>1</sup>, 裘愉涛<sup>2</sup>, 董新涛<sup>1</sup>, 邓茂军<sup>1</sup>, 王志伟<sup>1</sup>, 詹智华<sup>3</sup>

(1. 许继集团有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 国网浙江省电力有限公司, 浙江 杭州 310000;  
3. 中国电力科学研究院有限公司, 北京 100192)

**摘要:** 针对传统母线保护运维难度大、可靠性低等问题, 通过比对基于环网通信的无主分布式和有主分布式母线保护各自特点, 提出了基于冗余通信的就地化环网有主分布式母线保护解决方案。研究了以主机内部时钟作为同步对时源的采样同步方法, 并提出了分布式系统身份拓扑定位技术, 实现保护功能不依赖外部时钟、保护子机免配置和即插即用。最后结合分布式母线保护环网数据流大小, 对 IEC61850-9-2 和 GOOSE 帧格式报文进行了适用性分析, 提出了满足百兆口带宽和传输延时要求的新环网通信帧格式。通过现场运行检验, 验证了该技术方案的可行性。

**关键词:** HSR 网络; 就地化保护; 分布式母线保护; 主机内时钟同步; 自动编号; 通信帧格式

### Research on outdoor installation distributed busbar protection based on redundant communication

WANG Zhiyong<sup>1</sup>, QIU Yutao<sup>2</sup>, DONG Xintao<sup>1</sup>, DENG Maojun<sup>1</sup>, WANG Zhiwei<sup>1</sup>, ZHAN Zhihua<sup>3</sup>

(1. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China; 2. State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Hangzhou 310000, China; 3. China Electric Power Research Institute Co., Ltd., Beijing 100192, China)

**Abstract:** In view of the problems of traditional bus protection, such as low reliability and difficulty in operation and maintenance, by comparing the characteristics of distributed bus protection with host and the protection without host, a solution of distributed local bus protection with host based on redundant ring network communication is proposed. A sampling synchronization method using host internal clock as synchronization source is studied and an identity topology location technology for distributed system is proposed, which can achieve the protection function independent of the external clock and the free configuration and plug and play. Finally, the applicability of IEC 61850-9-2 and GOOSE frame format message is analyzed according to the size of data flow in distributed bus protection ring network, a new communication frame format is proposed which can meet the requirements of bandwidth and transmission delay in using 100 M port. The feasibility of the technical scheme is verified by the pilot running in substation.

This work is supported by Science and Technology Project of the Headquarter of State Grid Corporation of China (No. 521104180017) "Research on Outdoor Protection Construction Scheme and Key Technologies".

**Key words:** HSR network; outdoor installation protection; distributed busbar protection; host internal clock synchronization; number automatically; communication frame format

## 0 引言

传统常规母线保护采用集中式结构, 所有的二次回路均通过电缆接入保护装置, 站内二次回路繁多、接线复杂, 给现场运维带来了一定的困难。随

着智能变电站技术的发展, 用光缆取代了二次电缆, 简化了二次回路<sup>[1]</sup>。由于母线保护接入的间隔众多, 最多可达 36 个间隔, 采用点对点模式时, 母线保护需要配置大量的以太网接口, 存在接口数量多、发热量大等问题<sup>[2]</sup>。并且合并单元和智能终端等环节的延时影响了保护的速动性<sup>[3]</sup>, 其抗干扰性能差、高故障率影响了保护的可靠性<sup>[4]</sup>。

2017 年国家电网继电保护发展纲要提出了以就地化为特征的继电保护技术体系。各厂家开展了

基金项目: 国家电网有限公司总部科技项目资助(521104180017)“就地化保护构建方案及关键技术研究”; 中原千人计划-中原科技创新领军人才(204200510007)

就地化积木式母线保护研制和试点, 相比于集中式母线保护装置, 积木式母线保护装置符合继电保护分散布置、就地安装的发展趋势, 取得了较大的进步, 但具体方案仍未完全确定。文献[5-6]提出了基于星型网络的分布式母线保护方案, 该方案依然要求主机有大量的光纤接口, 由于安装体积和防护等级的要求, 不能就地户外安装。文献[7]提出了基于HSR环网的全主分布式母线保护方案, 该方案各子机均包含全部保护和管理功能, 环内交互信息较多, 通信机制复杂。

本文结合就地化保护现有成果<sup>[8]</sup>提出基于冗余通信的有主分布式母线保护解决方案, 进行了环网采样同步、子机身份拓扑定位等技术研究。结合分散安装的应用特征, 对智能变电站常用的 IEC 61850-9-2 和 GOOSE 帧格式<sup>[9]</sup>进行适用性分析, 在 HSR 技术基础上重新定义适用于有主分布式母线保护环网通信数据帧格式。该方案具备功能布局清晰、环网通信简单可靠等特点, 依赖子机身份拓扑定位技术, 真正实现免配置和即插即用。

## 1 HSR 通信特点及数据帧格式

HSR(高可用性无缝环网)是基于并行冗余技术的环形网络典型应用, 在环形拓扑结构上实现网络通信可靠、无缝冗余<sup>[10]</sup>。HSR 环网由多个双连接终端节点串联组成, 每个终端节点有两个环网端口, 通过全双工链路互连, 如图 1 所示。

HSR 采用节点冗余技术, 终端节点有两个端口连接在环网中, 在环网双向形成两个独立的网络, 即在链路层实现报文经两个端口同时发送和接收。这种方式下网络故障后无需切换, 只要有一个方向的通道正常, 报文就会被送到目的地, 在环网单点

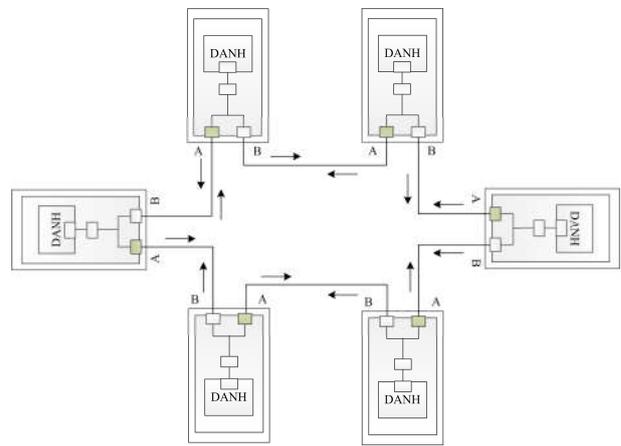


图 1 环型配置 HSR 示例

Fig. 1 HSR example of ring configuration

故障时实现无缝自愈, 能够确保数据传输的零丢包, 保证了业务传输的可靠性。

链路层判别两个端口接收报文是否重复, 如果已接收则丢弃重复帧。为了让接收端检测是否为重复帧, 发送端 LRE(链路层冗余单元)添加用于识别重复帧的 HSR 标识前缀, 包含序列号的 6 字节字段, 如图 2 所示。接收端 LRE 使用 HSR 标签中的序列号和源 MAC 地址来检测是否重复。LRE 仅将两帧中的先到帧转发给上层, 丢弃重复帧。

HSR 标签中包括以下字段。

(1) 16 位以太网类型 EtherType=0x892F

(2) 4 位路径标识符(PathID)

0000-0001: 来自 HSR 节点(A/B)的帧

0010-1111: 来自 7 个 PRP 网络(A/B)的帧

(3) 12 位帧大小(LSDUsize)

(4) 16 位序列号(SeqNr)

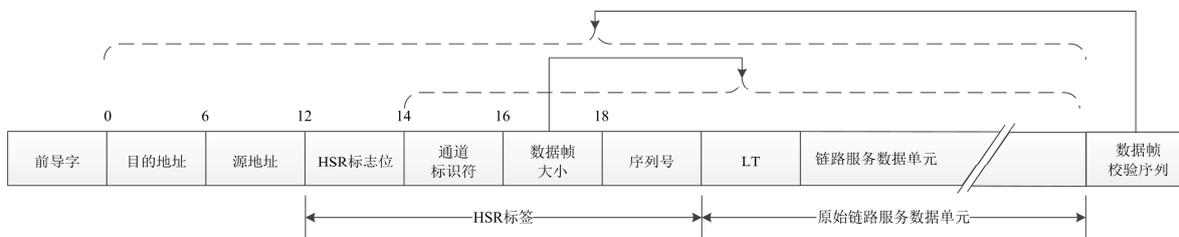


图 2 HSR 数据帧格式

Fig. 2 HSR frame format

## 2 就地化分布式母线保护方案

就地化分布式母线保护按保护功能和通信功能部署, 可分为环网无主式和环网有主式, 其网络拓扑均为双向冗余环形网络。

### 2.1 环网无主式

无主式母线保护配置  $N$  台子机, 各子机均具备完整的管理和保护功能。每台子机采集所接间隔模拟量和开关量, 并将其通过环网发送给其他子机, 同时接收其他子机采集的模拟量和开关量, 各子机

汇集完整的数据后进行保护逻辑运算,并直接驱动所接间隔跳闸。同时每台子机均接入站控层和过程层网络与其他设备进行信息交互。

无主式母线保护各子机需要兼顾管理、采样、跳闸及保护逻辑运算等功能,对硬件性能要求较高,提高了设备成本。各子机之间需交互关键信息,监测定值是否相同、检修状态是否一致等,通信机制复杂<sup>[11]</sup>。另外,保护动作后各子机均上送动作报告和故障录波,增加了站控层网络通信压力。

### 2.2 环网有主式

#### 1) 总体方案

有主式母线保护采用 N+1 模式,按间隔配置子机,配置一台主机包含全部管理和保护功能,为减少子机数量采用 PT 间隔子机兼做主机。主机包含全部管理和保护功能,并实现与站控层、过程层通信。保护子机完成本间隔模拟量和开关量数据的采集与发送,以及跳闸出口功能,同时透明转发其他子机的模拟量及开关量信息。保护主机与各间隔子

机之间采用手拉手的方式形成双向冗余环网,环网结构如图 3 所示。

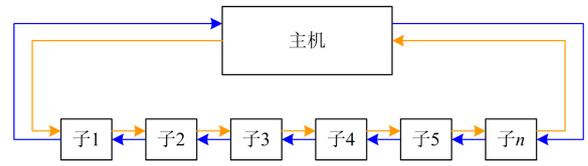


图 3 有主分布式环网结构示意图

Fig. 3 Transmission diagram of distributed ring network including host and sub machine

#### 2) 实现方案

就地化母线保护子机(含主机)采用全封闭、无防护机箱,安装于各间隔就地端子箱附近。装置无液晶和按键,通过布置在控制室的管理单元进行集中管理,实现保护装置的远程人机界面操作。保护子机不集成操作回路,保护动作后驱动独立配置的就地化操作箱作用于跳闸。有主分布式母线保护方案如图 4 所示。

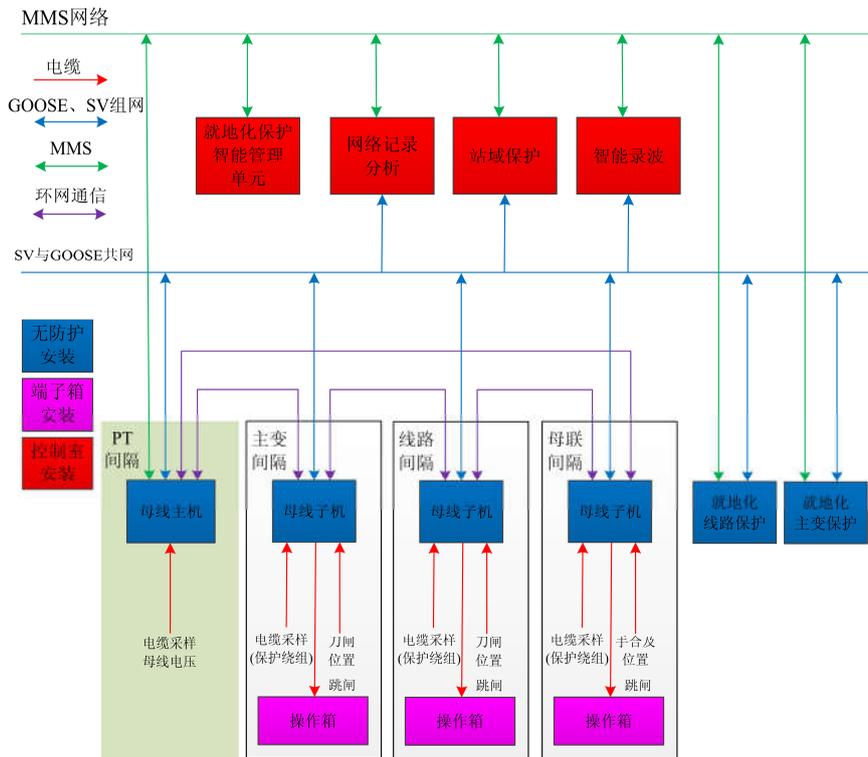


图 4 有主分布式母线保护方案

Fig. 4 Scheme of distributed busbar protection with host

如图 4 所示,就地化母线保护各子机(含主机)手拉手组成环形网络,PT 间隔子机除了集成母线电压采集功能外还兼做保护主机。保护主机通过环形网络接收各间隔子机的模拟量数据和刀闸位置等开关量数据。开关量数据用于母线运行方式判别,模

拟量数据经同步处理后用于保护逻辑判断。保护动作后将跳闸命令报文经环网发送到各间隔子机,子机接收跳闸命令后跳本间隔断路器。

保护主机通过 SV+GOOSE 共享网络<sup>[12]</sup>实现与线路、主变保护的启动失灵及失灵联跳等 GOOSE

信息交互。保护主机还兼顾通信、管理功能, 主机接入 MMS 网络, 与就地化智能管理单元及综合自动化系统通信。在管理单元中实现就地化母线保护装置的界面集中展示、配置管理、备份管理、保护设备在线监视与诊断等功能。

所有子机(含主机)均接入 SV+GOOSE 共享网络, 将采集的本间隔模拟量和开关量信息以标准 SV 和 GOOSE 报文格式上送过程层网络, 为站域保护、智能录波器等提供数据来源<sup>[13]</sup>。

### 3 采样数据同步方案

就地化母线保护以电流差动保护作为主保护, 采样数据同步性将直接影响差动保护的性能<sup>[14]</sup>。保护装置数据同步一般有两种方式<sup>[15]</sup>, 一种是采样数据插值同步法, 另一种是采样序号同步法。

插值同步法对子机的采样率要求较高(80 点/周), 且需要依据每组报文的固定延时进行前推, 点对点模式的智能变电站母线保护多采用此方式。但环网模式下每组采样值报文的传输延时并不固定, 文献[7]提出固定延时加可测的变化延时, 再进行插值同步的方法, 其变化延时通过乒乓算法获取, 同步精度达到 10 μs。但乒乓算法需依赖问答报文, 增加了间隔子机的运算量和网络压力, 同时处理环节过多会影响采样数据的可靠性。

采样序号同步法是主机将接收到的各子机中相同序号的采样值调整为同一时刻, 方案如图 5 所示。

接收子机1 采样值序列								
接收子机2 采样值序列		0	1	2				
对齐后子机1 采样序列			0	1	2			
对齐后子机2 采样序列				0	1	2		
采样序号		1 198	1 199	0	1	2		

图 5 同步采样同步方案

Fig. 5 Synchronization scheme of synchronous sampling

采样序号同步法要求所有子机在同一时刻采集数据并标记相同序号, 这就要求各子机时钟同步, 若采用站内统一时钟源给各子机对时, 则造成保护功能依赖时钟装置, 降低保护可靠性。本文提出一

种以保护主机内部时钟作为同步对时源的方案, 由主机固定间隔 1 s 发送同步报文, 子机收到同步报文即进行时钟校正, 并对同步报文进行延时补偿后转发给下一子机, 已同步的子机由自身定时器产生采样中断实现各间隔同步采样。

时钟同步过程如图 6 所示。

1) 整秒时刻主机发送同步报文, 报文中含子机驻留补偿时间域  $T_b$ , 初始为 0。

2) 子机 1 记录接收到同步报文的帧头时刻  $T_r$ , 解包获取补偿时间  $T_b$ , 计算  $T_r+(T_s-T_b)$  可得到采样序号 0 数据的采样时刻。注:  $T_s$  为采样中断时间间隔, 按采样率 1 200 Hz 考虑,  $T_s$  为 0.833 ms。

3) 子机 1 记录发送报文的帧头时刻, 通过接收时刻和发送时刻计算出同步报文在子机 1 的驻留时间  $\Delta T_1$ , 将  $T_b+\Delta T_1$  得到新的  $T_b$  写入同步报文中的驻留补偿时间字段后将同步报文发送给子机 2。

4) 子机 2 到子机  $N$  重复子机 1 的 2)、3) 操作。

5) 各子机计算出的采样序号 0 的采样时刻为同一时刻。完成时钟同步的各子机由各自定时器经  $T_s$  产生采样中断进行模拟量采样, 按采样率 1 200 Hz 考虑, 采样序号从 0 到 1 199 循环, 直至下一个整秒再次进行时钟同步。

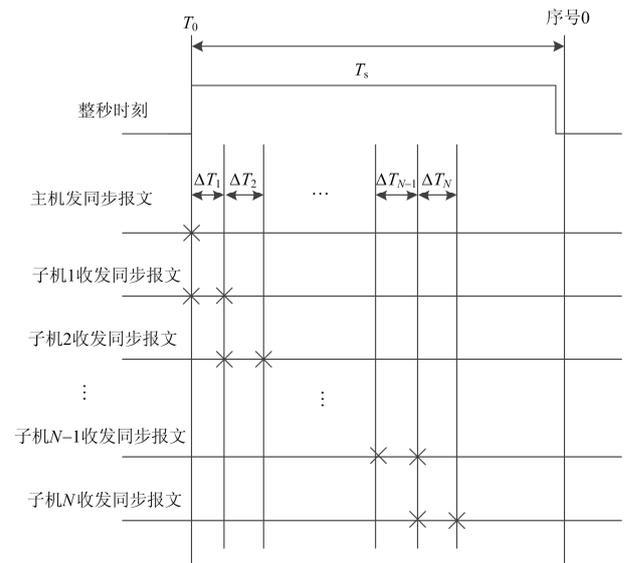


图 6 主机内时钟同步方案

Fig. 6 Host internal clock synchronization scheme

利用主机内部时钟作为同步对时源的原理类似于常规微机保护 CPU 控制各 AD 采样的模式, 具有原理简单清晰、易实现等特点。主机可通过双向发送同步报文, 在发生环网单点故障时依然能保证所有子机的同步采样。

### 4 分布式系统拓扑定位方案

母线保护需要通过各间隔刀闸和母联断路器位置识别母线运行方式<sup>[16]</sup>, 传统常规保护通过二次回路接线来建立一次间隔与保护逻辑中支路序号之间的拓扑关系<sup>[17]</sup>, 智能站中通过虚端子连线来实现。就地化分布式母线保护则需要给每个子机设置所接间隔编号, 通过此编号使一次间隔与保护逻辑中支路序号建立对应关系。由于智能管理单元与各间隔子机无直接网络联系, 无法直接通过智能管理单元设置各间隔子机编号。可使用厂家调试工具一对一设置, 但此操作方式过于依赖设备厂家, 扼杀了就地化保护免配置和即插即用的特点<sup>[18-19]</sup>。

本文提出一种分布式系统子机身份拓扑定位的自动编号方案。通过智能管理单元在主机中整定各子机支路编号参数, 并下发子机支路编号初始化报文来修改各子机中对应间隔编号。在智能管理单元对主机中的子机支路编号进行整定操作时, 在环网中单向发送编号初始化报文, 从主机 A 端口发出, 经环网中各子机完成编号修改后, 再从 B 端口收回, 主机判断各子机编号初始化完成。子机编号初始化报文格式如表 1 所示, 报文包含子机位置序号、子机位置序号与间隔编号对应关系。其中位置序号由子机在环网中的位置来确定, 与主机 A 端口侧连接的第一个子机序号为 1, 其他子机序号按此方向依次加 1, 间隔编号按照子机接入的一次设备在母线保护逻辑所占的支路编号来确定。

表 1 自动编号初始化报文

Table 1 Initialization message format of numbering automatically

说明	报文内容
ASDU 数据 T-L	标记 =80H 长度
子机环网位置序号	标记 =81H 子机位置序号 S(1 字节)
子机配置表 T-L	标记 =82H 长度
子机 1	支路编号 N(1 字节)
子机 2	支路编号 N(1 字节)
...	...
子机 N	支路编号 N(1 字节)

具体过程如下。

- 1) 智能管理单元对主机进行子机编号整定操作时, 主机发送编号初始化报文。
- 2) 子机 1 收到报文解包, 按位置序号 S 进行偏移获得支路编号 N, 并进行初始化设置。
- 3) 初始化完成后, 将 S 加 1 写入初始化报文,

从另一端口转发初始化报文。

4) 子机 2 到子机 N 重复子机 1 的 2)、3)操作。

5) 主机收到子机 N 的初始化报文检查序号 S 与配置的子机个数相等判断初始化完成。否则判为初始化失败, 经固定时间间隔再发初始化报文。

本方案可实现更换式检修时免设置和即插即用。母线保护子机按远期配置时, 可实现扩建间隔时不停电、免设置即插即用。支路编号初始化报文仅在装置上电或修改支路编号参数时发送一次, 不会影响环网通信效率。

### 5 环网通信帧格式

#### 5.1 环网报文特征及流量分析

就地化母线保护环网报文包括采样值、跳闸命令、开入及时钟同步四类报文<sup>[20]</sup>。各子机报文流量大小与子机所在位置及子机总数有关, 如图 3, 与主机相邻的子机 1 和子机 N 的报文流量最大。以 IEC61850-9-2 采样值报文、开入及跳闸 GOOSE 报文为例, 按最大配置 36 台子机分析报文流量。

单个间隔子机 SV 报文长度=基本长度 50 bytes+HSR 标签 6 bytes +APDU 内部标识长度 93 bytes(最大)+采样数据长度 6×8 bytes=197 bytes。36 间隔报文总长度=197×36=7 092 bytes。

单个间隔子机 GOOSE 报文包含 6 个开入通道、6 个告警信号和 6 个模拟量通道(装置温度、工作电压等), 报文长度=基本长度 50 bytes+HSR 标签 6 bytes+APDU 内部标识长度 255 bytes(最大)+6×3 bytes+6×3 bytes +6×6 bytes =383 bytes。考虑最严重的情况所有间隔同时发送 GOOSE 报文, 36 间隔总长度=383×36 =13 788 bytes。

跳闸出口报文按 36 路开出计算, 报文长度=基本长度 50 bytes+ HSR 标签 6 bytes +APDU 内部标识长度 255 bytes(最大)+36×3 bytes=419 bytes。

同步报文采用 IEC61588 格式, 长度可按最短以太网报文 64 bytes 考虑<sup>[21]</sup>。

综上可得报文总长为 21 363 bytes, 通信速率为 100 Mbit/s 时, 传输时间为 1 709.04 μs, 大于采样间隔 833.333 3 μs, 不满足要求。

#### 5.2 帧格式改进

环网报文若按照标准 IEC61850-9-2 和 GOOSE 格式传输, 传输时间不满足保护采样率要求。因此需要对报文格式进行改进。标准 IEC61850-9-2 和 GOOSE 为支持自由配置和共享<sup>[22]</sup>, 报文中含大量的标识和配置信息。以采样报文为例, 采样数据只有 48 bytes, 但报文总长度却有 197 bytes。因此可以考虑将采样报文和开入报文合并, 使用改进的帧

格式。参考 IEC60044-8 协议帧格式设计新的以太网报文, 其 LSDU 如表 2 所示。

表 2 环网通信帧格式

Table 2 Network communication frame format

报文内容	说明
长度(2 字节, 值为 62)	报文长度
DataSetName (1 字节)	表征数据通道分配特征值
	01: 对应为标准通道映射
	02: PT 间隔子机通道映射
	03: 母联间隔子机通道映射
LDName(1 字节)	04: 线路及主变间隔子机通道映射
	识别数据集信号源的一个独立数, 按照子机所分配元件编号设置
额定延迟时间(2 字节)	子机固定处理时间
保留(2 字节)	同步方案使用插值同步时, 用于延时补偿域
SmpCnt(样本计数器, 2 字节)	1 200 sps 时, 样本计数器范围为 0~1 199
DataChannel#1(2 字节)	采样值、状态监测值等
DataChannel#2(2 字节)	
...	...
StatusWord #1(2 字节)	DataChannel 数据品质、告警信息、开关量信息
StatusWord #2(2 字节)	
...	...

从第 1 节的分析可知, 含 HSR 标签的以太网报文除 LSDU 外基本长度为 32 bytes, 表 2 显示 LSDU 内部标识固定长度 10 bytes, 单个子机按三相电流、6 个状态监测信号、6 个告警信号和 6 个开入量计算, 可用 12 个 DataChannel 和 2 个 StatusWord 完成数据传输, 共 28 bytes, 单个子机报文长度=70 bytes。按 36 个间隔子机设计, 考虑最严重的情况所有间隔同时发送, 总长度=70 bytes×36=2 520 bytes。

加上跳闸 GOOSE 报文和对时报文, 报文总长度 3 003 bytes, 通信速率为 100 Mbit/s 时, 传输时间为 240.24 μs, 小于采样间隔 833.333 3 μs, 满足装置 1 200 Hz 采样速率所需。

## 6 结论

本文提出了一种分布安装、环形组网的有主式就地化母线保护解决方案。对子机采样同步方案进行了比对研究, 利用主机内部时钟作为整套保护同步对时源, 采用采样序号同步方式使母线保护功能不依赖于外界时钟。提出通过间隔编号初始化报文实现分布式系统各子机身份拓扑定位技术, 实现子机免设置、更换式检修、即插即用以及改扩建时不

停电调试。对环网中的报文种类、数据流大小进行综合分析, 确认标准 IEC61850-9-2 和 GOOSE 报文格式并不适用于环网传输, 在现有环网数据帧基础上按照 IEC60044-8 协议帧设计了新的帧格式, 在使用百兆口时能够满足带宽和传输延时的要求。依托于此技术方案研制的就地化母线保护正在开展试点应用, 运行情况良好。

## 参考文献

- [1] BO Zhiqian, LIN Xiangning, WANG Qingping, et al. Developments of power system protection and control[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(1): 1-8. DOI:10.1186/s41601-016-0012-2.
- [2] 张旭泽, 郑永康, 康小宁, 等. 智能变电站继电保护系统所面临的若干问题[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(6): 90-96.  
ZHANG Xuze, ZHENG Yongkang, KANG Xiaoning, et al. Several problems of intelligent substation relay protection system[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(6): 90-96.
- [3] 袁宇波, 卜强生, 高磊, 等. 智能变电站数字采样延时特性分析与试验[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(24): 76-80, 88.  
YUAN Yubo, BU Qiangsheng, GAO Lei, et al. Analysis of time delay characteristic of protection action in intelligent substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(24): 76-80, 88.
- [4] FAN Xiao, ZHANG Zhe, YIN Xianggen. Reliability evaluation of protection system in smart substation based on process layer network[C] // Power Engineering Conference (UPEC), September 1-4, 2015, United Kingdom.
- [5] 邹贵彬, 王晓刚, 高厚磊, 等. 新型数字化变电站分布式母线保护[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(11): 94-97.  
ZOU Guibin, WANG Xiaogang, GAO Houlei, et al. Distributed busbar protection of digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(11): 94-97.
- [6] 王风光, 张祖丽, 张艳. 分布式母线保护在智能变电站中的应用[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(2): 37-39, 43.  
WANG Fengguang, ZHANG Zuli, ZHANG Yan. Application of distributed busbar protection in smart substation[J]. Electric Power Engineering Technology, 2012, 31(2): 37-39, 43.
- [7] 周小波, 汪思满, 吴正学, 等. 环网分布式母线保护装置就地化实现探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 104-108.  
ZHOU Xiaobo, WANG Siman, WU Zhengxue, et al.

- Local placing implementation research of distributed HSR busbar protection[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 104-108.
- [8] 裘愉涛, 王德林, 胡晨, 等. 无防护安装就地化保护应用与实践[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 1-5. QIU Yutao, WANG Delin, HU Chen, et al. Application and practice of unprotected outdoor installation protection[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20): 1-5.
- [9] IEC 61850 communication networks and systems for power utility automation[S]. Ed 2.0, 2010.
- [10] IEC 62439-3-2012 工业通信网络. 高可靠性自动化网络, 第 3 部分: 平行冗余协议 (PRP)及高可用性无缝冗余度(HSR)[S]. 2012.
- [11] 郑玉平, 吴通华, 戴魏, 等. 变电站二次设备就地化系统网络架构探讨[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(16): 20-26. ZHENG Yuping, WU Tonghua, DAI Wei, et al. Discussion on network architecture of outdoor installation protection system in substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(16): 20-26.
- [12] XU Fei, WANG Bin, DONG Xinzhou, et al. Research of protection communication system in process level of intelligent substation[C] // The International Conference on Advanced Power System Automation and Protection, October 16-20, 2011, Beijing, China: 2424-2429.
- [13] 薛健斌, 罗奕飞. 基于过程层 SV 和 GOOSE 网络的站域后备投应用[J]. 云南电力技术, 2014, 42(3): 84-86. XUE Jianbin, LUO Yifei. Application of substation backup power automatic switching based on SV and GOOSE network of process layer[J]. Yunnan Electric Power, 2014, 42(3): 84-86.
- [14] YANG Chengcheng, SONG Guobing, SHEN Quanyu. A novel principle dispensing with data synchronization for distributed bus protection[C] // Institution of Engineering and Technology: 11th Conference on Developments in Power System Protection, 2014: 1-6.
- [15] 张言苍. 智能变电站网络采样同步新技术[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(8): 143-147, 155. ZHANG Yancang. Network sampling synchronization method for smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(8): 143-147, 155.
- [16] 黄继东, 肖锋, 王智勇, 等. 母线保护刀闸位置异常时的自适应校正[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(6): 122-127. HUANG Jidong, XIAO Feng, WANG Zhiyong, et al. Adaptive correction scheme of switch position abnormality of busbar protection[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(6): 122-127.
- [17] 鲍伟, 王可, 高翔, 等. 基于可视化仿真的智能变电站二次安措校核方法[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(24): 150-157. BAO Wei, WANG Ke, GAO Xiang, et al. Verification of security measures for smart substations based on visualized simulation[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(24): 150-157.
- [18] 杨剑友, 赵张磊, 奚洪磊, 等. 就地化保护智能运维检修模式研究[J]. 浙江电力, 2018, 37(12): 57-61. YANG Jianyou, ZHAO Zhanglei, XI Honglei, et al. Research on intelligent maintenance and repair mode for localized protection[J]. Zhejiang Electric Power, 2018, 37(12): 57-61.
- [19] 黄晓明, 黄志华, 张华娇, 等. 变电站整站二次设备就地化及运维方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(5): 173-178. HUANG Xiaoming, HUANG Zhihua, ZHANG Huajiao, et al. Research on the localization and maintenance scheme of secondary equipment in substation[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(5): 173-178.
- [20] WANG Haizhu, CAI Zexiang, SU Zhongyang, et al. The analysis of relay protection communication mechanism based on IEC61850[C] // The International Conference on Advanced Power System Automation and Protection October 16-20, 2011, Beijing, China: 223-227.
- [21] LI Wenyan, HAO Cuijuan, QIN Lijun, et al. Research of time synchronization in ECT/EVT of intelligent substation IEEE1588-based[C] // 2011 IEEE Power Engineering and Automation Conference, 2011.
- [22] 高志远, 黄海峰, 徐昊亮, 等. IEC 61850 应用剖析及其发展探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(1): 162-169. GAO Zhiyuan, HUANG Haifeng, XU Haoliang, et al. Discussion on applications of IEC 61850 and its development[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(1): 162-169.

收稿日期: 2019-05-06; 修回日期: 2019-08-03

作者简介:

王智勇(1978—), 男, 高级工程师, 研究方向为电力系统继电保护; E-mail: xjtc\_wangzhiyong@126.com

裘愉涛(1967—), 男, 教授级高级工程师, 研究方向为继电保护. E-mail: zdqyt@vip.sina.com

(编辑 许威)