

背板总线在继电保护装置过程总线功能实现中的应用

丁 毅, 叶品勇, 徐頔飞, 尹 军

(国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 210003)

摘 要: 智能变电站对继电保护装置提出面向过程总线功能要求, 本文设计了一种基于背板总线实现方案, 优化装置内部数据/配置流, 提升装置面向过程总线通信及数据处理能力。提出一种多主通信背板总线结构, 在分析面向过程总线功能及性能要求基础上, 提出继电保护装置过程总线功能设计总体架构; 根据应用数据类型设计背板总线数据/配置流, 分析以太网扩展、采样值接收与同步、报文透明传输等问题; 基于 61850 模型导出背板总线配置信息并设计下载流程。该设计方案在 110kV 智能变电站主变保测一体化装置中得到应用, 满足装置面向过程总线功能及性能要求。现场运行结果表明该设计方案的有效性和实用性。

关键词: 智能变电站; 继电保护; 背板总线; 61850; 过程总线

0 引言

IEC 61850将智能变电站自动化系统分为站控层、间隔层、过程层三层设备, 其中继电保护装置属于间隔层设备^{[1][2]}。相比于常规变电站, 智能变电站在过程层采用IED(智能电子设备)完成开关量/模拟量采集和控制命令发送等与一次设备相关功能, 并以数字信号方式经由过程总线与继电保护装置等间隔层设备通信^[2]。过程总线应用简化了继电保护装置内部结构, 但对其功能和性能提出新的要求, 包括多间隔高速以太网通信、SV接收与同步处理、GOOSE报文收发、基于61850模型的功能配置以及数据传输的实时性和可靠性保证等^[3]。

基于以太网的过程总线技术已得到广泛应用, 采用快速、交换式以太网技术, SV及GOOSE报文在过程总线上传输的实时性和可靠性已得到充分验证^{[4][5][6]}。而组网和点对点两种过程总线应用模式的提出, 要求继电保护装置必须提升其通信及处理能力以接收过程总线数据^[7]。一般采用功能独立的分立模件分别实现过程总线数据接收处理、继电保护逻辑运算等功能, 模件之间采用直接通信或使用兼容CAN总线的FlexRay总线交换数据^{[2][8]}。通过增加通信模件仅能扩展有限过程总线通信能力, 且装置内部数据/配置流复杂; 而FlexRay总线数据传输速率偏低, 不能满足智能变电站多间隔通信要求, 且硬件接口和配置参数复杂。

针对以上问题, 本文提出一种基于背板总线的继电保护装置平台架构, 优化装置内部面向过程总线数据/配置流, 简化装置功能和参数配置。在扩展

继电保护装置通信和计算能力的同时, 提升装置接入过程总线的灵活性。

1 过程总线功能设计

1.1 主变保测一体化装置典型配置

智能变电站继电保护装置与一次设备的直接电气连接被独立于一次设备的 IED 代替, 包括合并单元和智能终端^{[9][10]}。以 110kV 智能变电站主变保测一体化装置为例, 该装置与过程层 IED 典型连接配置按功能分类如图 1 所示, 包括高中低三侧及其它部分共接入 5 个合并单元, 11 个智能终端, 均通过过程总线接入。图中每侧方框左边为 SV 接入, 右侧为 GOOSE 接入。

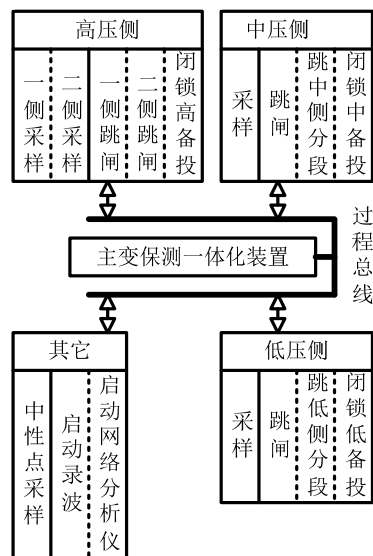


图 1 110kV 主变保测一体化装置过程总线功能接入图

继电保护装置与过程层IED之间连接方式分组网和点对点两种模式^[7]。结合 110kV 主变保测一体化装置，继电保护装置过程总线相关功能描述如下^{[5][10]}。

a) 多端口高速以太网通信，满足点对点和组网两种应用模式要求，实现多间隔通信；

b) SV 接收，具备 61850-9-2 报文解码及处理能力；

c) 支持 GOOSE 报文处理，按应用层配置实现状态量、模拟量、整数、品质属性、时标等信息收发；

d) 结合 61850 模型实现过程总线功能灵活配置；

e) 过程总线通信状态监视，提供异常告警功能。

1.2 功能总体设计

110kV 智能变电站主变保测一体化装置由保护模件、测控模件、监控模件以及若干通信模件组成，其功能总体设计如图 2 所示。过程总线数据由通信模件接入，装置采用背板总线对数据进行优化处理。

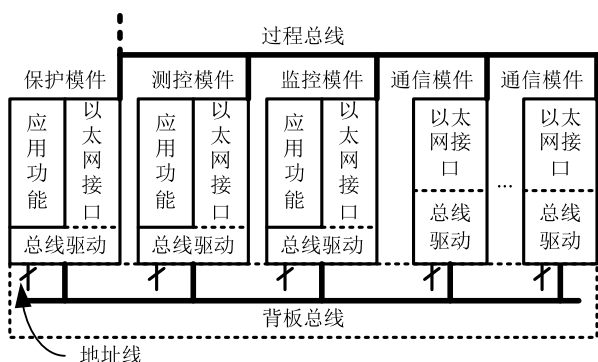


图2 装置过程层功能总体设计架构图

图2中背板总线连接各模件，背板地址线唯一标识模件。保护模件、测控模件以及监控模件等应用模件功能可分应用、以太网接口以及总线驱动三部分。其中应用功能由主控制器完成，各应用模件实现不同应用功能；以太网接口和总线驱动功能由FPGA芯片实现，以太网接口配合硬件接口完成多路以太网收发^[11]。

背板总线在各分立模件间建立物理通信连接。通过总线可扩展模件间灵活的逻辑连接，满足模件间多样的通信要求，实现装置面向过程总线程序、配置、数据以及通信状态监视一体化。

2 背板总线设计

2.1 单模件功能及通信接口设计

单模件功能及通信接口如图3所示。其中虚线部分仅在应用模件中包含，以主控制器为中心完成应用功能；其余部分应用模件和通信模件共有，由FPGA芯片实现。图中单模件向外提供的通信接口包括背板总线和以太网口。

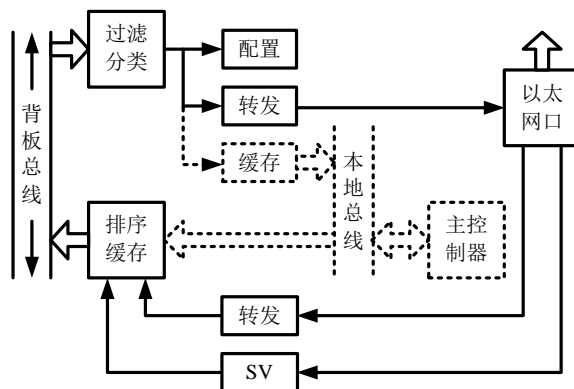


图3 单模件功能及通信接口

图3中取自背板总线数据经过滤分类后分别处理。其中配置报文用于功能配置；转发报文透明转发至以太网口，缓存报文通过本地总线交由主控制器处理，两者均可GOOSE报文和SV报文。从以太网口接收报文亦分转发报文和SV报文两种，前者透明转发至背板总线，后者经同步、插值以及采样率调整后重新组帧再转发至背板总线。

主控制器亦具备双向数据传输能力。接收数据通过查询缓冲区获取；发送数据先通过本地总线写入排序缓存区，再由总线驱动发送。

2.2 背板总线通信协议^[12]

基于背板总线的通信协议层次关系如图4所示。分应用数据层、传输控制层、数据链路层和物理层四层。

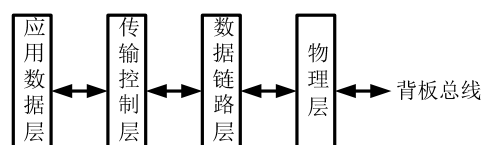


图4 通信协议层次关系图

物理层包含时钟线、控制线以及可配置的数据线。数据链路层为协议核心，其数据帧由7段组成，如图5所示。

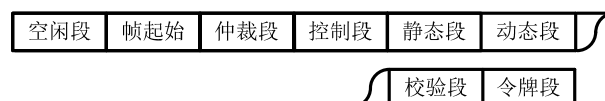


图5 数据链路层数据帧

仲裁段标注报文优先级和源地址，令牌段保证总线控制正确轮转，以上两段与空闲段、帧起始段采用异步传输方式；控制段标注目的地址，数据分静态段和动态段两部分，包含传输控制内容和应用数据，其中静态段占用固定时隙，动态段按需分配时隙，校验段校验数据传输正确性，以上四段采用同步传输方式。数据链路层主要完成以下功能。

- a) 数据在单模件间按模件地址进行单播/组播/广播式数据传递；
- b) 基于优先级进行总线冲突仲裁，按令牌环轮询原理，通过优先级设定实现多主通信，保证每个模件均能有效占用总线时间；
- c) 总线数据传输校验及异常处理。

传输控制层根据报文类型提供可靠通信连接控制和简单不可靠信息传送服务。数据链路层功能由FPGA芯片实现；传输层及以上通信协议由主控制器完成，其中传输控制层保证通信可靠性，应用数据层扩展接入数据类型。

3 数据流设计

3.1 背板总线通信报文设计^[11]

应用数据报文可分为三类：a) 初始化报文，包括程序下载、配置传输等；b) 强实时性报文，包括SV和GOOSE报文；c) 弱实时性报文，包括总线和通信状态监视报文。其中b)类报文传输无需确认；a)、c)两类报文需进行传输确认，定义传输控制层报文格式如表1所示。

表1 传输控制层报文		
序号	字段名称	说明
1	源地址	模件地址
2	目的地址	模件地址
3	帧标志/报文编号	起始、结束及发送序号
4	类型	应用数据类型
5	数据	应用数据
6	校验码	CRC 校验

其中源地址和目的地址均为模件地址；帧标志/报文编号字段用于长报文传输；应用数据类型可扩展。在需进行确认传输时，确认报文把收到的应用数据类型最高位取反，源地址和目的地址颠倒后原样发回，发送端收到后进行是否重发判断。

3.2 SV处理及同步^[9]

SV在背板总线传输报文分两类：一类直接透明传输；另一类经同步、插值及采样率转换后采用内部SV报文格式传输，其处理在通信模件完成，

步骤如图6所示。

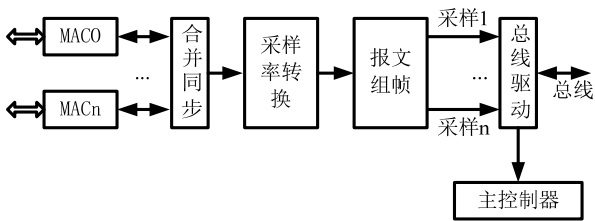


图6 SV处理过程示意图

合并同步模块完成多个合并单元之间数据同步与合并，包括点对点时间同步和组网计数器同步两种模式。总线各应用模件对数据采样率要求不尽相同，需专门模块完成插值同步和采样率转换处理。报文组帧模块经抽取处理后按表2所示格式进行内部SV报文组帧处理。

表2 背板总线内部SV报文格式		
序号	字段名称	说明
1	采样节拍	连续性判断和模件间同步
2	延迟点数	延迟处理
3	间隔数	源到端间隔数
4	属性	间隔及通道属性
5	数据	采样数据

从图6可知，主控制器可分别从以太网口和背板总线接收SV数据。过程层SV接入装置后的同步分点对点和组网两种模式，点对点模式下由监控模件发送同步信号至各模件完成同步；组网模式时仅需按序号进行同步处理。

3.3 透明传输数据流

GOOSE报文和SV报文均支持背板总线透明传输，其数据流如图7所示。

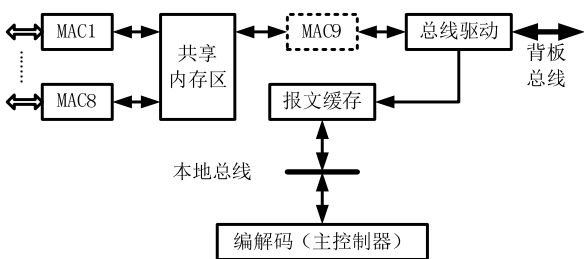


图7 透明传输数据流示意

如图7所示，单模件向装置外提供8个以太网口；虚线框表示虚拟以太网口用于连接背板总线。所有以太网口收发共享统一内存区，根据配置转发数据。包含虚拟以太网口，所有端口数据均等同处理，共有以下3条数据流。

- a) 以太网口收到报文后经背板总线转发至其它模件；

b) 以太网口收到报文后经背板总线转发至报文缓存区由主控制器查询解码;

c) 其它模块数据经背板总线转发至报文缓存区由主控制器查询解码。

3.4 配置信息及下载^[13]

总线配置信息包括程序和功能两部分, 所有配置流程由监控模块完成。程序配置可分主控制器和 FPGA 两部分; 功能配置由 61850 模型导出, 其流程如图 8 所示。

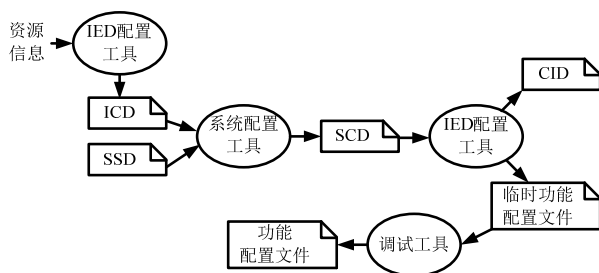


图 8 过程总线功能配置流程

资源信息指面向装置的软硬件资源; 系统配置工具、IED 配置工具以及调试工具均为支持智能变电站 IED 开发工具软件; ICD、SSD、SCD、CID 等 4 个文件为 61850 模型标准文件。临时功能配置文件下载至监控模块, 调试工具增加私有配置信息生成功能配置文件。结合程序配置, 监控模块过程总线配置步骤如下。

- 上电后加载自身程序并开始运行;
- 通过背板总线查询其它模块有无程序更新, 如有则通过总线下载;
- 解析功能配置文件, 通过总线下传配置信息;
- 总线各模块配置结束后回传报文至监控模块, 全部配置完成后监控模块下发正式运行报文;
- 总线上某模块异常重启后, 与该模块相关的程序和配置都应重新加载。

4 试验验证^{[9][10]}

基于背板总线开发的 110kV 主变保测一体化装置应用于某智能变电站工程, 已完成工程试验验证。装置背板总线共有 5 个节点模块, 其数据交互如图 9 所示。

通信模块 1 和 2 以点对点模式分别接入过程总线 SV 和 GOOSE, SV 占用 5 个以太网口, GOOSE 占用 11 个以太网口。SV 中电压和保护电流输入保护模块, 采样周波点数为 24 点; 电压和测量电流输入测控模块, 采样周波点数为 80 点。GOOSE 以透明转发方式传输, 其中与跳闸相关部分分别输入保

护模块和测控模块, 其它仅输入保护模块。程序和配置由监控模块在初始化阶段下传, 监视信息长周期查询, 因此仅通信模块数据需实时传递。

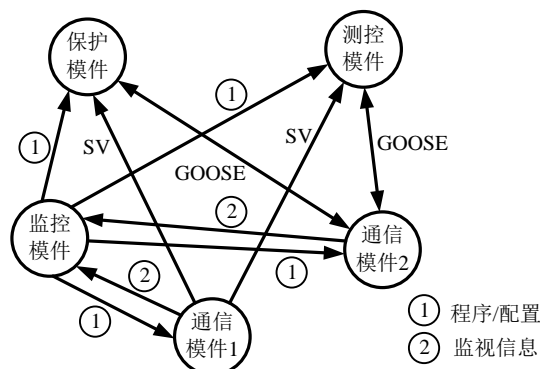


图 9 主变保测一体化装置总线模块数据交互

总线配置带宽为 320Mb, 最长报文传输时间约为 40.15us, 最大轮转周期为 $40.15\text{us} \times \text{总线节点数目}$, 而轮转周期受 SV 采样率控制。测控模块每周波 80 点采样, 轮转周期最短为 250us, 则最多模块节点数为 6 个, 满足 110kV 主变保测一体化装置 2 个通信模块节点的要求。

GOOSE 报文在变位重传时对总线负荷有影响。经验证, 11 个间隔 GOOSE 变位同时传递, 报文传输时间约为 30us 左右, 不影响 SV 传递, 且其延时小于 250us。

5 结论

本文提出一种基于背板总线的继电保护装置面向过程总线功能解决方案。基于功能和性能要求设计了该方案总体架构, 分析了总线数据流以及基于 61850 模型的配置流程。设计的背板总线配置简单, 功能可靠, 优化了继电保护装置面向过程总线数据流。基于背板总线设计的 110kV 主变保测一体化装置已应用于某智能变电站工程, 满足继电保护装置面向过程总线功能和性能要求。后续可扩展背板总线功能至集中式保护和站域保护等应用场合。

参考文献:

- 任燕铭, 秦立军, 杨奇逊. IEC 61850 通信协议体系介绍和分析[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(8): 62-64.
- 窦晓波, 吴在军, 胡敏强. 借鉴 IEC 61850 功能分层的保护装置的设计[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(23): 65-70.
- 杨丽, 赵建国, Peter A Crossley, 等. 数字化变电站继电保护系统过程总线结构研究[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(8): 111-115.

- [4] 殷志良, 刘万顺, 杨奇逊, 等. 基于 IEC 61850 标准的过程总线通信研究与实现[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(8): 84-89.
- [5] 王博, 苏瑞. 遵循 IEC 61850-9-2 实现变电站采样值传输[J]. 电网技术, 2009, 33(19): 200-203.
- [6] 梁国坚, 段新辉, 高新华. 数字化变电站过程层组网方案[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(2): 94-98.
- [7] 国家电网公司.Q/GDW 441-2010 智能变电站继电保护技术规范[Z]. 2010.
- [8] 牛志刚, 肖昆, 王建林, 等. FlexRay 总线在电力系统继电保护装置中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(16): 73-77.
- [9] 刘琨, 周有庆, 彭红梅, 等. 电子式互感器合并单元(MU)的研究与设计[J]. 电力自动化设备, 2006, 26(4): 67-71.
- [10] 宋丽君, 王若醒, 狄军锋, 等. GOOSE 机制分析、实现及其在数字化变电站中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(14): 31-35.
- [11] 刘益青, 高厚磊, 魏欣, 等. 智能变电站中过程层和间隔层功能一体化 IED 的设计[J]. 电力系统自动化, 2011,

35(21): 58-62.

- [12] 李云志, 李立萍, 杨恒. 基于 FPGA 的 LVDS 高速差分板间接口应用[J]. 半导体技术, 2008, 33(12): 1138-1142.
- [13] 国家电网公司.Q/GDW 396-2009 IEC 61850工程继电保护应用模型[Z]. 2009.

作者简介:

- 丁 毅 (1979—), 男, 湖南会同人, 工程师, 硕士, 从事继电保护装置平台研究, Email: dingyi_nj@sohu.com;
- 叶品勇 (1982—), 男, 福建蒲城人, 工程师, 硕士, 从事继电保护装置平台研究;
- 徐頔飞 (1984—), 男, 江苏南京人, 助理工程师, 硕士, 从事继电保护装置平台研究;
- 尹 军 (1971—), 男, 安徽巢湖人, 高级工程师, 从事继电保护研究。