

基于背板总线的继电保护装置过程总线功能设计

丁毅,叶品勇,郭晓,徐颀飞,尹军

(国网南京自动化股份有限公司,江苏 南京 210003)

摘要:设计了一种基于背板总线的继电保护装置平台架构。该方案优化装置内部数据流和配置流程,提升装置面向过程总线的通信及数据处理能力。在分析继电保护装置的功能及性能要求的基础上,提出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流和配置流程,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 IEC61850 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 110 kV 智能变电站主变保护测控一体化装置中得到应用,满足装置面向过程总线的功能及性能要求,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;IEC61850;过程总线;数据处理;通信

中图分类号: TM 773

文献标识码: B

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.08.028

0 引言

IEC61850 将智能变电站自动化系统分为站控层、间隔层、过程层 3 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智能电子设备(IED)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、采样值(SV)接收与同步处理、GOOSE 报文收发、基于 IEC61850 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^[4-6]。而组网和点对点这 2 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,且装置内部数据流和配置流程复杂;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流和配置流程,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 主变保护测控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 110 kV 智能变电站主变保护测控一体化装置为例,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、低压三侧及其他部分共接入 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。

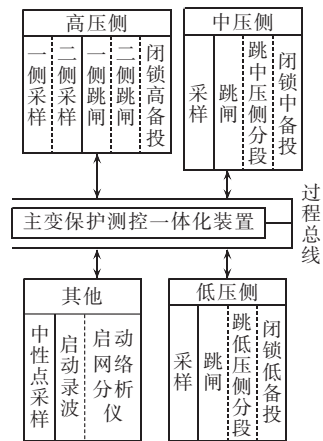


图 1 110 kV 主变保护测控一体化装置
过程总线功能接入

Fig.1 Aggregation of process bus functions in
integrated measuring and control device of
110 kV primary transformer protection

继电保护装置与过程层 IED 之间连接方式分组网和点对点 2 种^[7]。结合 110 kV 主变保护测控一体化装置,继电保护装置过程总线相关功能描述为^[5,10]:

a. 多端口高速以太网通信,满足点点和组网 2 种应用模式要求,实现多间隔通信;

b. SV 接收,具备 IEC61850-9-2 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 IEC61850 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

110 kV 智能变电站主变保护测控一体化装置由保护模块、测控模块、监控模块以及若干通信模块组成,其功能总体设计如图 2 所示,点划线表示地址线。过程总线数据由通信模块接入,装置采用背板总线对数据进行优化处理。

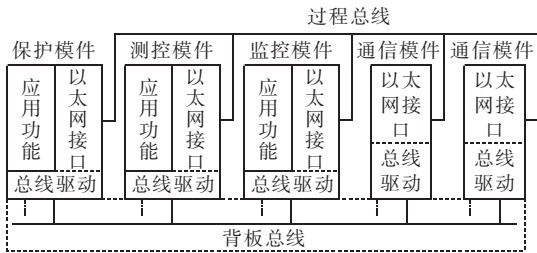


图 2 总体功能设计

Fig.2 Design of overall functions

图 2 中背板总线连接各模块,背板地址线唯一标识模块。保护模块、测控模块以及监控模块等应用模块功能可分应用、以太网接口以及总线驱动 3 个部分。其中应用功能由主控制器完成,各应用模块实现不同应用功能;以太网接口和总线驱动功能由现场可编程门阵列(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块间建立物理通信连接。通过总线可扩展模块间灵活的逻辑连接,满足模块间多样的通信要求,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 单模块功能及通信接口设计

单模块功能及通信接口如图 3 所示。其中虚线部分仅在应用模块中包含,以主控制器为中心完成

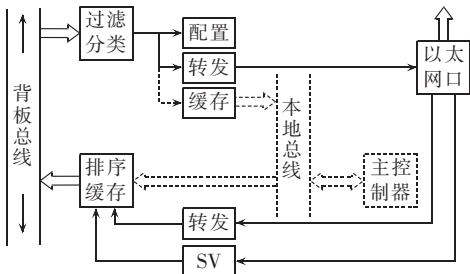


图 3 单模块功能及通信接口

Fig.3 Functions and communication interfaces of single module

应用功能;其余部分应用模块和通信模块共有,由 FPGA 芯片实现;单模块向外提供的通信接口包括背板总线和以太网口。

图 3 中取自背板总线的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,两者均可为 GOOSE 报文和 SV 报文。从以太网口接收的报文分为转发报文和 SV 报文 2 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^[12-13]

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 4 层。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。

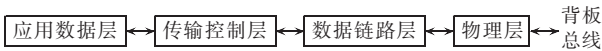


图 4 通信协议层次关系图

Fig.4 Hierarchical relation of communication protocol

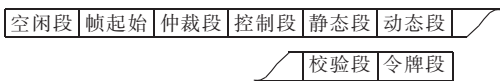


图 5 数据链路层数据帧

Fig.5 Data frame of data link layer

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 2 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 and 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 4 段采用同步传输方式。

数据链路层主要完成以下功能:

- a. 数据在单模块间按模块地址进行单播/组播/广播式数据传递;
- b. 基于优先级进行总线冲突仲裁,按令牌环询问原理,通过优先级设定实现多主通信,保证每个模块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 3 类:初始化报文,需进行传输确认,包括程序下载、配置传输等;强实时性报文,无需进行传输确认,包括 SV 和 GOOSE 报文;弱实时性报文,需进行传输确认,包括总线和通信状态监视报文。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

Tab.1 Message of transfer control protocol layer

序号	字段名称	说明
1	源地址	模块地址
2	目的地址	模块地址
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

表 1 中源地址和目的地址均为模块地址;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 2 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,其处理在通信模块完成,步骤如图 6 所示。

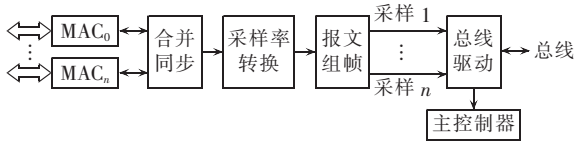


图 6 SV 处理过程

Fig.6 Processing of SV

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 2 种模式。总线各应用模块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

Tab.2 Format of internal SV message of backboard bus

序号	字段名称	说明
1	采样节拍	连续性判断和模块间同步
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 and 组网 2 种模式,点对点模式下由监控模块发送同步信号至各模块完成同步;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。

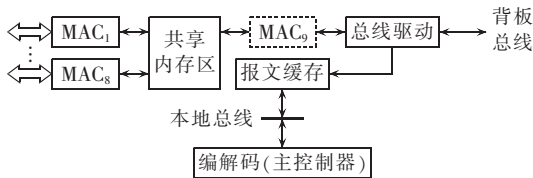


图 7 透明传输数据流

Fig.7 Data flow of transparent transmission

如图 7 所示,单模块向装置外提供 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他模块;
- 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. 其他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^[14]

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 IEC61850 模型导出,其流程如图 8 所示。

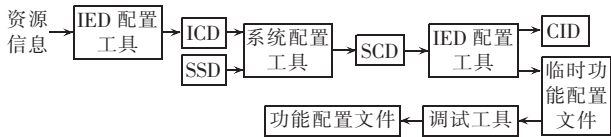


图 8 过程总线功能配置流程

Fig.8 Configuration of process bus functions

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^[15];ICD、SSD、SCD、CID 4 个文件为 IEC61850 模型标准文件^[16]。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:

- a. 上电后加载自身程序并开始运行;
- b. 通过背板总线查询其他模块有无程序更新,如有则通过总线下载;
- c. 解析功能配置文件,通过总线下载配置信息;
- d. 总线各模块配置结束后回传报文至监控模

件,全部配置完成后监控模块下发正式运行报文;

e. 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 110 kV 主变保护测控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。

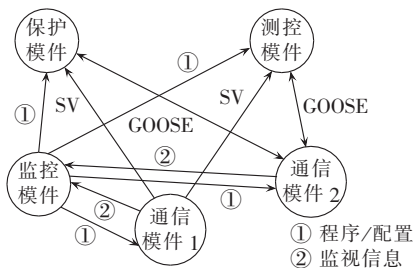


图 9 主变保护测控一体化装置总线模块数据交互
Fig.9 Data exchange of bus module in integrated measuring and control device of primary transformer protection

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,采样周期点数为 24 点;电压和测量电流输入测控模块,采样周期点数为 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,其他仅输入保护模块。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。

总线配置带宽为 320 Mb,最长报文传输时间约为 40.15 μ s,实际轮转周期等于最长报文传输时间和总线节点数目的乘积,而轮转周期受 SV 采样率控制。测控模块每周期 80 点采样,轮转周期最短为 250 μ s,则模块节点数最多为 6 个,满足 110 kV 主变保护测控一体化装置 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 30 μ s,不影响 SV 传递,且其延时小于 250 μ s。

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 IEC61850 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 110 kV 主变保护测控

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:

- [1] 任燕铭,秦立军,杨奇逊. IEC61850 通信协议体系介绍和分析[J]. 电力系统自动化,2000,24(8):62-64.
REN Yanming,QIN Lijun,YANG Qixun. Study on IEC61850 communication protocol architecture[J]. Automation of Electric Power Systems,2000,24(8):62-64.
- [2] 窦晓波,吴在军,胡敏强. 借鉴 IEC61850 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.
DOU Xiaobo,WU Zaijun,HU Minqiang. Design of protection by referring to function leveling in IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(23):65-70.
- [3] 杨丽,赵建国,PETER A C,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.
YANG Li,ZHAO Jianguo,PETER A C,et al. Research of process bus architecture for protection system of digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(8):111-115.
- [4] 殷志良,刘万顺,杨奇逊,等. 基于 IEC61850 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.
YIN Zhiliang,LIU Wanshun,YANG Qixun,et al. Research and implementation of the communication of process bus based on IEC61850[J]. Proceedings of the CSEE,2005,25(8):84-89.
- [5] 万博,苏瑞. 遵循 IEC61850-9-2 实现变电站采样值传输[J]. 电网技术,2009,33(19):199-203.
WAN Bo,SU Rui. Implementation of sampled value transmission complying with IEC61850-9-2[J]. Power System Technology,2009,33(19):199-203.
- [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.
LIANG Guojian,DUAN Xinhui,GAO Xinhua. Networking schemes for process bus level of digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(2):94-98.
- [7] 国家电网公司. Q/GDW441—2010 智能变电站继电保护技术规范[S]. 北京:中国电力出版社,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.
NIU Zhigang,XIAO Kun,WANG Jianlin,et al. Application of FlexRay in protective relay unit of electric power system[J]. Power System Protection and Control,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.
LIU Kun,ZHOU Youqing,PENG Hongmei,et al. Research and design electronic transducer merging unit[J]. Electric Power Automation Equipment,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.
SONG Lijun,WANG Ruoxing,DI Junfeng,et al. Analysis and implementation of GOOSE mechanism and its application in digital substation[J]. Power System Protection and Control,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.
LIU Yiqing,GAO Houlei,WEI Xin,et al. Design of IED with integrated functions of process level and bay level in intelligent substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 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.
LI Yunzhi,LI Liping,YANG Heng. Application of LVDS difference interface based on FPGA[J]. Semiconductor Technology,2008,33(12):1138-1142.
- [13] 蔡月明,仇新宏,李惠宇,等. 基于低压差分信号高速串行总线的智能变电站硬件平台设计[J]. 电力系统自动化,2012,36(21):73-76.
CAI Yueming,QIU Xinhong,LI Huiyu,et al. Smart substation hardware platform design based on low voltage differential signal high-speed serial bus[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,36(21):73-76.
- [14] 国家电网公司. Q/GDW396—2009 IEC61850 工程继电保护应用模型[S]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [15] 任翔,周心亮. 基于 IEC61850 的变电站系统配置工具设计与实现[J]. 江苏电机工程,2012,31(1):21-23.

- REN Xiang,ZHOU Xinliang. Design and implementation of substation system configuration tool based on IEC61850 [J]. Jiangsu Electric Engineering,2012,31(1):21-23.
- [16] 王丽华,张青山,张马龙,等. IEC61850 建模工具的设计与实现[J]. 电力系统自动化,2008,32(4):72-76.
WANG Lihua,ZHANG Qingshan,ZHANG Malong,et al. Design and implementation of modeling tool based on IEC61850 [J]. Automation of Electric Power Systems,2008,32(4):72-76.

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方面的研究工作(E-mail:yi-ding@sac-china.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方面的研究工作;

郭 晓(1982-),男,山东淄博人,工程师,硕士,从事继电保护方面的研究工作;

徐鹏飞(1984-),男,江苏南京人,助理工程师,硕士,从事继电保护装置平台方面的研究工作;

尹 军(1971-),男,安徽巢湖人,高级工程师,从事继电保护方面的研究工作。

Process bus function design based on backboard bus for relay protection

DING Yi, YE Pinyong, GUO Xiao, XU Difei, YIN Jun

(Guodian Nanjing Automation Co., Ltd., Nanjing 210003, China)

Abstract: A kind of relay protection platform based on backboard bus is designed, which, with the optimized internal data flow and configuration process, enhances the process-bus-oriented communication and the data processing ability. The requirements of relay protection in functions and performances are analyzed, and a general framework of process bus function design is put forward. The data flow and configuration process are designed according to the types of application data and several topics are discussed, such as Ethernet extension, sample receiving and synchronization, transparent message transmission, etc. The configuration information of backboard bus is deduced based on IEC61850 model and its download process is designed. The proposed design scheme is applied in the integrated measuring and control device of primary transformer protection for 110 kV smart substation and the requirements for process-bus-oriented functions and performances are satisfied. Site operation proves its effectiveness and practicability.

Key words: smart substation; relay protection; backboard bus; IEC61850; process bus; data processing; communication