

DOI: 10.7667/PSPC160365

# 变电站智能化改造的过程层设备平滑接入方案研究

张广嘉, 王冰清, 王乾刚

(长园深瑞继保自动化有限公司, 广东 深圳 518057)

**摘要:** 提出一种应用于传统变电站智能化改造中的过程层设备平滑接入方案, 分别从系统结构、通讯组网方案、功能配置以及内部数据的交互协同模式等多角度对该系统设备进行研究。在系统硬件设计的基础上, 对信号数据流进行分析说明。为了满足大容量数据的接入, 实现集成采集与控制, 对 SV、GOOSE 的发送进行对应的硬件设计; 并以该硬件系统构架为基础, 建立数据总线、IO 总线、校时总线以及管理总线等多层次的总线结构。该方案可以实现大容量数据接入与控制的同时满足变电站智能化改造过程中的平滑切换接入。

**关键词:** 数字化变电站; 集成; 过程层; 多总线; 平滑接入

## Research of the smooth switch access scheme of the process level equipment applied in the intelligent reconstruction of the traditional substation

ZHANG Guangjia, WANG Bingqing, WANG Qiangang  
(CYG Sunrui Co., Ltd., Shenzhen 518057, China)

**Abstract:** A smooth switch access scheme of the process level equipment is proposed, which is applied in the intelligent reconstruction of the traditional substation. The study is carried in various views such as the system structure, the communication network solution, the functional configuration, and the interactive companion mode of the data. Based on the system hardware design, the signal data flow analysis is also showed. In order to meet the demand of signal access of large quantity and the integrated acquisition and control, the hardware is designed for SV and GOOSE sending and receiving, and based on this hardware system structure, a multi-bus framework is set up including LVDS bus, IO bus, GPS bus, and the management bus. The scheme realizes large quantity data access and control, meanwhile meets the demand of smooth switch access during the substation intelligent reconstruction.

**Key words:** digital substation; integrated; process level; multi-bus; smooth access

## 0 引言

基于全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化等基本要求, 数字化变电站具有信息充分共享、标准化数据及通信模型、信号传输实时可靠等优点, 随着数字化变电站的快速发展, 传统变电站的数字化改造也越来越多地应用到实际中<sup>[1-4]</sup>。与新站建造不同, 传统站的数字化改造需要考虑成本、改造过程中的供电可靠性、施工方案的复杂程度等各方面因素。

现有的改造方案中, 母线分裂运行改造方案改造过程相对简单, 接线工作量也较少, 但是该方案在改造过程中要求母线长期分列运行, 同时改造前期全站负荷均集中于一条母线, 运行方式单一, 运行母线故障将导致停电面积扩大, 系统的可靠性低,

另外, 该方案具有明显的局限性, 对电网的一次接线方式要求较高, 不适应于所有主接线方式; 增加母差保护子方案的改造过程不影响全站的保护运行方式及负荷分配, 减少了改造期间设备的停电时间, 被改造的间隔仅需停电一次, 电网运行可靠性高, 但是该方案需要增加母差保护子机接线, 增加了现场接线工作量<sup>[5-8]</sup>。

综合考虑有效的改造利用现有装置、最大限度地降低接线更改及施工过程的配置更改工作量、实现传统变电站到数字化变电站的平滑过渡等要求, 本文提出一种应用于变电站智能化改造的过程层设备平滑接入方案, 该方案是由现有的传统母差保护装置更换板件改造而来, 通过对其进行 SV/GOOSE 的硬件共口设计及多总线系统结构设计, 可以实现将变电站内多个间隔的交流流量以及开关量等模拟信

号转换为 SV、GOOSE 量，并将其输送给数字化保护主机(以下简称数字化主机)，同时可以接受数字化主机发出的 GOOSE 信号并控制其出口跳闸，从而实现过程层设备的集成采集与控制；同时由于装置的配置信息是按照全站的最佳 scd 模式来进行的，因此间隔改造完成后无须更改装置的配置信息，只需插拔光纤即可实现过程层设备的平滑切换接入。

### 1 系统硬件设计

装置的硬件是由现场的传统母差保护装置 BP-2B 改造而来，在原有的板件基础上取消管理板、闭锁板、差动板、分段闭锁板和信号板等板件，其他板件不变且插槽的位置也不变，重新设计添加了光板(间隔板)、汇总板以及总线板完成的。

#### 1.1 板件功能设计

##### (1) 单元板

① 通过哈丁端子外接开入开出——采集间隔开入量，并将其传送至间隔板；接受间隔板下发的命令，控制间隔的开出。

② 接收电流互感器上送的模拟信号，进行 AD 转换后再传送至间隔板。

##### (2) 间隔板

① 每块间隔板通过 FPGA 扩展一组 ISA 总线，读取下挂的单元板的开入量与模拟量信号，形成 GOOSE 和 SV 信号，通过光口发送给数字化主机。

② 接收数字化主机的 GOOSE 跳闸信号，进而控制单元板的开出。

##### (3) 光耦板

将采集的公共开入的信号上传至汇总板。

##### (4) 汇总板

① 通过 FPGA 扩展一组 ISA 总线，用来读取下挂的两块光耦板的公共开入信号。

② 将电压互感器板上送的电压模拟量信号进行 AD 转换，形成 SV 信号，再通过光口上传至数字化主机。

③ 为校时主机，接收 GPS 校时信号，并通过 GPS 校时总线发送校时和同步命令，以控制间隔板的时钟同步。

④ 作为 IO 总线主机，利用 IO 总线实现与间隔板之间如点灯、公共开入等信号的信息交互。

⑤ 每块间隔板扩出一个网口，通过总线板引至汇总板，构成 100 Mbps 以太网的管理总线。

#### 1.2 数据信号流向分析

基于上述板件的功能设计说明，结合图 1 对数据信号的流向进行分析。

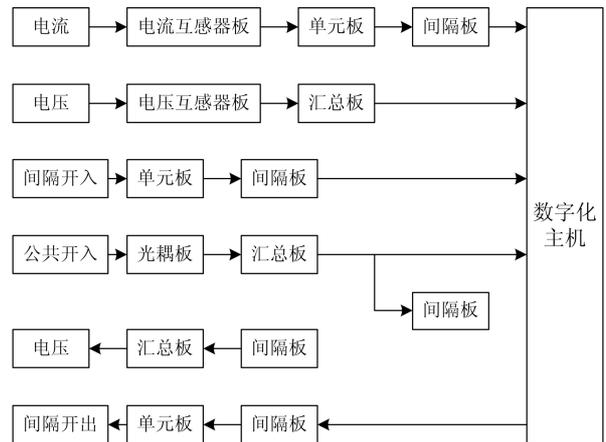


图 1 数据信号流向示意图

Fig. 1 Schematic diagram of data signal flow

(1) 外部大电流信号通过电流互感器板转化成低电流模拟量信号，然后再通过单元板进行 AD 转换，将其上送至间隔板，再通过光口送给数字化主机。

(2) 外部大电压信号通过电压互感器板转化成低压模拟量信号，再通过汇总板进行 AD 采样，之后发送给数字化主机。

(3) 间隔开入量通过单元板接收，然后上送至间隔板，将开入量转化为 GOOSE 信号，通过光口传送给数字化主机。

(4) 数字化主机的 GOOSE 跳闸信号通过间隔板转化为开出信号，进而控制单元的开出。

(5) 公共开入量通过光耦板上传至汇总板，再通过 IO 总线与间隔板进行信息交互。

(6) 间隔板通过 IO 总线将点灯信号传送给汇总板。

### 2 集成采集与控制实现

为了满足该过程层设备的大容量数据接入，实现数据的集成采集与控制，以下分别从 GOOSE 和 SV 共口发送的硬件设计以及系统的多总线结构设计两方面进行分析。

#### 2.1 GOOSE 和 SV 共口发送的硬件开发

集成过程层设备要求交流信号的采集和状态信息的采集必须由不同的板卡完成，以防止相互之间的影响；同时要求 GOOSE 报文和 SV 报文通过同一个 100 M 光以太网口发送出去，以简化变电站现场的光纤接线<sup>[9-12]</sup>。又由于 GOOSE 与 SV 报文不同的发送特点——SV 报文为等间隔发送，每间隔 250μs 发送一帧，且该等间隔性必须满足±10 μs；GOOSE 报文的发送，当无变位时，每 5 s 发送一帧

心跳报文, 有变位时报文呈突发状, GOOSE 报文的实时性为 ms 级, 没有等间隔发送的要求。因此, 采用普通的以太网控制器, 会存在报文之间互相影响的问题, 需要对共口发送进行硬件设计。

如图 2 表示 GOOSE 和 SV 共口发送的硬件结构原理图, 其中 GOOSE 板负责采集开入及控制开出, SV 板负责采集电压电流等交流量, 二者分别通过“数据总线 A”和“数据总线 B”与通信板进行通信; 通信板为不带处理器(CPU)的独立板件, 但配备可编程逻辑器件 FPGA, 利用该 FPGA 实现一个双发送缓存的 MAC, 再通过 RMI 接口与一种公开可知的 PHY 对接, 然后再驱动光模块实现 GOOSE 和 SV 共口发送。

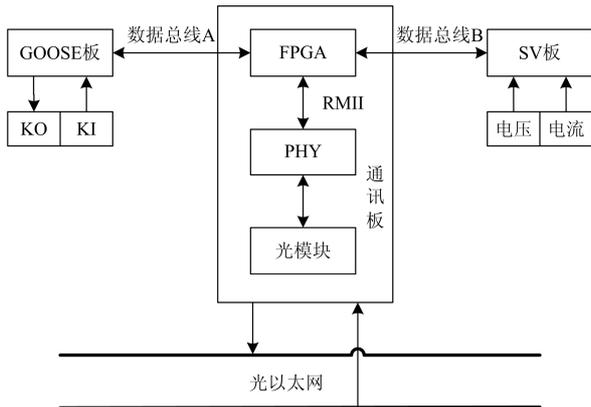


图 2 GOOSE 和 SV 共口发送的硬件结构原理图

Fig. 2 Hardware structure diagram of the shared transmitted port for GOOSE and SV

如图 3 表示 MAC 实现逻辑原理图, 其中“数据总线 A”和“数据总线 B”均为  $\pm \text{clk}$ 、 $\pm \text{data0}$ 、 $\pm \text{data1}$ 。

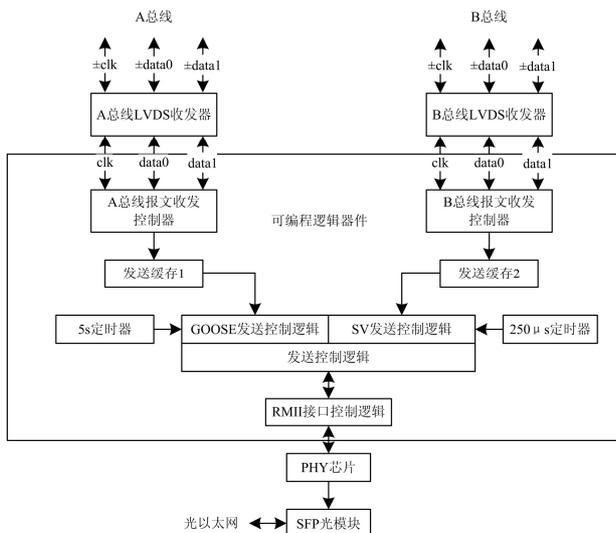


图 3 MAC 实现逻辑原理图

Fig. 3 Logic schematic of MAC

$\pm \text{data1}$  共 3 对 LVDS 差分线, 而  $\pm \text{clk}$  为 100M 时钟,  $\pm \text{data0}$  和  $\pm \text{data1}$  是与  $\pm \text{clk}$  同步的 100M 数据。在 FPGA 内部分别实现 A/B 总线报文收发控制器逻辑模块, 完成 LVDS 总线的通信、串并转换等功能。

上述已提及, 在可编程逻辑器件 FPGA 内部实现一个双发送缓存的 MAC, 其中“发送缓存 1”受 GOOSE 板控制, 其大小为 16kbyte; “发送缓存 2”受 SV 板控制, 其大小为 4kbyte。GOOSE 板发送报文时, 通过“数据总线 A”和 A 总线报文收发控制器模块将报文写入“发送缓存 1”。SV 板发送报文时, 通过“数据总线 B”和 B 总线报文收发控制器模块将报文写入“发送缓存 2”。

为保证 SV 报文准确的 250  $\mu\text{s}$  等间隔发送, 在可编程逻辑器件 FPGA 中实现一个周期为 250  $\mu\text{s}$  的定时器。每次当定时器清零时触发 SV 发送控制逻辑模块, 该模块发送“发送缓存 2”中 SV 报文。

SV 发送完成后, 进入启动发送 GOOSE 报文流程, 根据 GOOSE 报文发送特点——无变位时, 每 5s 发送一帧心跳报文; 有变位时, 报文呈突发状。在 FPGA 中实现一个周期为 5s 的定时器, 当没有有变位时, GOOSE 发送控制逻辑模块由该定时器触发工作; 当有变位时, GOOSE 发送的控制逻辑: 首先获取当前待发送 GOOSE 报文的长度, 然后根据报文长度计算出所需的发送时间。如果当前 250 $\mu\text{s}$  周期剩余的时间大于当前 GOOSE 报文发送所需的时间, 则启动发送 GOOSE。否则, 停止发送 GOOSE, 转而等待定时器清零, 启动发送 SV。

## 2.2 多总线架构设计

基于上述硬件设计, 本课题提出一种多总线的采集与控制架构——数据总线(ISA)、IO 总线(LVDS)、校时总线(GPS)以及管理总线(FE), 系统总线架构图如图 4 所示。

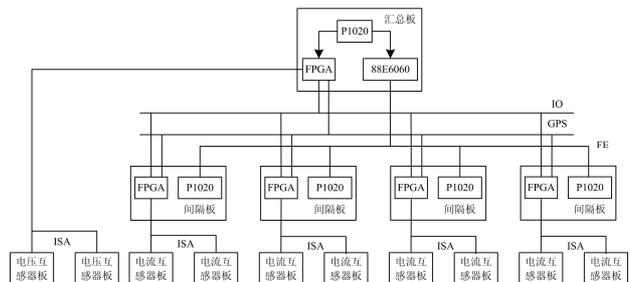


图 4 多总线架构图

Fig. 4 Architecture diagram of multi-bus

### (1) 数据总线(ISA 总线)

通过 FPGA 芯片出几组交流量采集总线, 用于收集交流板采集的电压交流量或电流交流量。该装

置内部共有三组 ISA 总线,其总线结构如图 5 所示。

ISA 总线 1:单元板 1~4 及对应的间隔板 1~2(一个间隔板下挂两个单元板),其中间隔板 1 为地址发起板。

ISA 总线 2: 单元板 5~8 及对应的间隔板 3~4,其中间隔板 3 为地址发起板。

ISA 总线 3: 汇总板、光耦板和电压互感器板(直接通过总线板引到汇总板),其中汇总板为地址发起板。

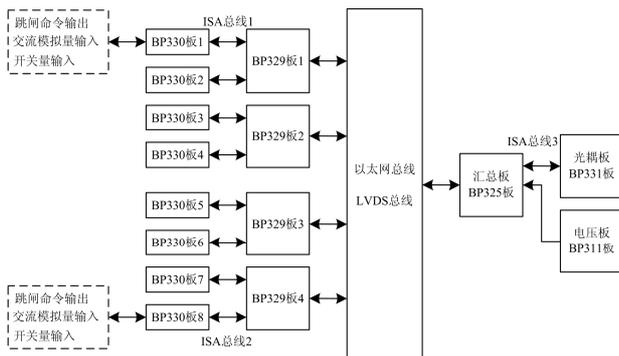


图 5 ISA 总线结构图

Fig. 5 Structure diagram of ISA bus

### (2) IO 总线(LVDS)

两条单向传输的串行总线,构成一条全双工的一主多从的 IO 总线,一条由主机到从机,一条由从机到主机。默认汇总板为主机,间隔板为从机。

IO 总线主要用来实现间隔板与汇总板之间信息的交互,比如点灯信号,公共开入等信号。

### (3) 校时同步总线(GPS)

为了保证所有间隔的采样同步、等间隔发送和校时,汇总板和间隔板之间设计一条单向传输的串行总线,默认汇总板为校时主机,间隔板为校时从机。汇总板接收 GPS 校时信号,将自己的中断计数器和当前绝对时间(毫秒、秒、分、时)通过校时总线发给从机,从机接收到校时信号后调整自己相应的计数器。

### (4) 管理总线(以太网 FE)

整个机框的管理总线采用以太网。每块间隔板的 CPU 出 1 个网口,通过总线板直接引到汇总板上的交换芯片,交换芯片同时也和汇总板上的 CPU 相连。

## 3 智能化改造过程中的应用分析

基于系统的软硬件设计分析,接下来对该过程层设备集成采集与控制方案在变电站智能化改造过程中的应用接入进行说明。

按照全站最终的模式配置 scd 文件,即所有装置的 icd 及其关联信息均不变的情况下,对该过程层设备进行配置。

配置该过程层设备为单个 IED 配置发送多个不同 SVID 的 SV 包,并对其 SVID 名称进行配置,使其 SV 包配置信息与改造后的 MU 发送 SV 包的配置信息完全一致。

修改最终版 scd 中智能终端、间隔保护装置的 GOOSE 发送通道虚端子短地址为该过程层设备的短地址,生成各智能终端与间隔保护装置等 IED 对应的 GOOSE 配置文件,然后修改各个 GOOSE 配置文件名称并将按顺序排列好后的各间隔 GOOSE 配置文件下装到该过程层设备中。

新增该过程层设备 GOOSE 接收用的 ICD 文件,然后将新增的 ICD 文件导入 SCD 中,再在 SCD 中将数字化主机的各支路跳闸及联跳出口关联到该过程层设备所对应的开入虚端子,然后将所生成的“GOOSE.CFG”文件名称修改为“GOOSERx.CFG”后导入该过程层设备。

按照上述方案配置,SV 的接收以及 GOOSE 的收发均与改造完成后的实际信息一致。因此,按照全站改造最终模式对 scd 进行配置并下装后,改造过程中不需再修改配置信息,只需插拔光纤,即可恢复数字化主机的正常通讯和保护投入,实现无缝切换。

## 4 系统技术特点分析

基于上述架构设计及应用分析,总结该集成过程层设备的多总线系统特点如下:

### (1) 实现大容量数据接入与控制

该系统能够接收数字化主机的 GOOSE 出口信号并将其转换为传统硬接点跳闸出口信号;能够将原采集的常规间隔保护失灵开入转换为 GOOSE 信号,最大可支持 24 个间隔保护 GOOSE 报文数据发送;能够将原采集的开关刀闸等位置开入转换为 GOOSE 信号,最大可支持 24 个智能终端 GOOSE 报文数据发送;能够将原采集的电压电流转换成符合 IEC61850-9-2 通讯协议的 SV 报文数据,发送给数字化主机,最大可模拟 24 个合并单元 SV 报文数据发送。

### (2) 多总线系统结构

该系统应用以数据总线、IO 总线、校时总线以及管理总线为基础的多总线数据结构,采用该结构简化了硬件设计,且系统结构清晰,扩充性能好,可靠性高。能够实现板件之间数据信号的高速可靠传输与交互。

### (3) 实现母线保护智能化改造过程无缝切换接入

该过程层设备在智能化改造中的无缝接入有效地实现了传统变电站平滑过渡到智能化变电站, 大幅降低了改造成本, 同时缩短了改造周期。

## 5 结论

本文提出一种应用于传统变电站智能化改造中的过程层设备平滑接入方案, 分别从系统结构、通讯组网方案、功能配置、以及内部数据的交互协同模式等多角度对该系统设备进行研究, 对该系统的技术特点进行研究与论述: 该方案可以实现大容量的数据接入与控制的同时满足母线保护智能化改造过程中的无缝切换接入, 为今后传统站的数字化改造技术的研究与应用提供借鉴。

## 参考文献

- [1] 王超, 王慧芳, 张弛, 等. 数字化变电站继电保护系统的可靠性建模研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(3): 8-13.  
WANG Chao, WANG Huifang, ZHANG Chi, et al. Study of reliability modeling for relay protection system in digital substations[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(3): 8-13.
- [2] 张小易, 彭志强. 智能变电站站控层测试技术研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(5): 88-94.  
ZHANG Xiaoyi, PENG Zhiqiang. Research and application on substation level test technology of smart substations[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(5): 88-94.
- [3] 王同文, 谢民, 孙月琴, 等. 智能变电站继电保护系统可靠性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 58-66.  
WANG Tongwen, XIE Min, SUN Yueqin, et al. Analysis of reliability for relay protection systems in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 58-66.
- [4] 刘育权, 华煌圣, 李力, 等. 多层次的广域保护控制体系架构研究与实践[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(5): 112-122.  
LIU Yuquan, HUA Huangsheng, LI Li, et al. Research and application of multi-level wide-area protection system[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(5): 112-122.
- [5] 陈安伟, 乐全明, 张宗益, 等. 500 kV 变电站智能化改造的关键技术[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(18): 47-50, 61.  
CHEN Anwei, LE Quanming, ZHANG Zongyi, et al. Key technology for smart modernization of 500 kV substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(18): 47-50, 61.
- [6] 魏勇, 王锐. 全数字化变电站二次系统的全生命周期成本管理分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(4): 78-83, 87.  
WEI Yong, WANG Rui. Brief analysis of total life cycle costs management of secondary system of digital substation[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(4): 78-83, 87.
- [7] 田峰, 孙平, 张士然. 常规变电站数字化改造的模式研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(19): 108-112, 115.  
TIAN Feng, SUN Ping, ZHANG Shiran. Research on pattern of conventional substation transformed into digitized substation[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(19): 108-112, 115.
- [8] 余高旺. 新一代智能变电站中多功能测控装置的研制与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 127-132.  
YU Gaowang. Research and application of multifunctional measurement & control device of new generation smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 127-132.
- [9] 闫志辉, 周水斌, 郑拓夫. 新一代智能站合并单元智能终端集成装置研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(14): 117-121.  
YAN Zhihui, ZHOU Shuibin, ZHENG Tuofu. Study of device with merging unit and intelligent terminal for new intelligent substation[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(14): 117-121.
- [10] 王鑫, 许力, 李晓, 等. 基于 FPGA 的 GOOSE 报文解析模块设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(24): 101-107.  
WANG Xin, XU Li, LI Xiao, et al. Design and realization of GOOSE decoding module based on FPGA[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(24): 101-107.
- [11] 莫峻, 谭建成. 智能变电站过程总线通信模型[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(7): 1072-1078.  
MO Jun, TAN Jiancheng. A mathematical model of process bus communication in smart substations[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(7): 1072-1078.
- [12] 刘益青, 高厚磊, 李乃永, 等. 适用于站域后备保护的智能变电站站间信息传输方案[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(2): 96-102.  
LIU Yiqing, GAO Houlei, LI Naiyong, et al. A communication scheme between smart substations for substation-area backup protection[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(2): 96-102.

收稿日期: 2016-03-17; 修回日期: 2016-06-22

作者简介:

张广嘉(1977-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护及控制; E-mail: zhanggj@sznari.com

王冰清(1989-), 女, 通信作者, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护及控制; E-mail: wangbq@sznari.com

王乾刚(1985-), 男, 工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护及控制。

(编辑 张爱琴)