

DOI: 10.7667/PSPC160700

# 新一代智能变电站控制保护一体化智能终端研究与开发

安永帅, 李刚, 樊占峰, 杨智德, 郑拓夫, 田萍

(许继集团有限公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 适应新一代智能变电站对二次设备功能一体化的要求, 对集成保护控制功能的智能变电站一体化智能终端进行研究。结合间隔层和过程层二次设备的工程配置, 对一体化智能终端的接口标准化、功能整合、信息共享、整装置的即插即用、软硬件集成以及可靠性设计等进行研究。依托新一代智能变电站层次化保护系统体系架构, 提出一种实现间隔功能自治的一体化装置设计方案。采用多 CPU 信息融合与高速交互技术, 在一套装置中集成了合并单元、智能终端、测控和保护装置的功能。基于紧凑型设计原则开发了适用于 220 kV 线路间隔的智能变电站控制保护一体化智能终端样机。通过测试验证, 表明方案能减少二次设备数量, 简化智能变电站系统架构。

**关键词:** 新一代智能变电站; 控制保护; 一体化; 智能终端; 功能集成

## Research and development on intelligent terminal units incorporated with control and protection functions in new generation smart substation

AN Yongshuai, LI Gang, FAN Zhanfeng, YANG Zhide, ZHENG Tuofu, TIAN Ping  
(XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** Adapt to the functional integration requirements for secondary equipment in new generation smart substation, intelligent terminal units incorporated with control and protection functions are researched. Combined with project application of bay and process layer equipment, the standardization of interface, function integration, information sharing, the plug and play of whole device, software and hardware integration and reliability design of intelligent terminal are studied. Depending on architecture of hierarchical protection system in new generation smart substation, a design scheme of integrated device is given, which could realize functional autonomy in interval. The function of merging unit, intelligent terminal, measurement and control, as well as protection are integrated in one device using multiple CPU information fusion and high-speed interactive technology. Based on the compact design, the intelligent terminal unit incorporated with control and protection functions is developed, which is suitable for the 220 kV line interval. Through the test verification, it shows the proposal could effectively reduce the number of secondary equipment and simplify the system architecture of smart substation.

**Key words:** new generation smart substation; control protection; integration; intelligent terminal; functional integration

## 0 引言

智能变电站是统一坚强智能电网的重要基础和支撑<sup>[1-2]</sup>, 随着智能电网的快速发展, 智能变电站在设计、建设与运维检修方面取得了较大的进展, 但在技术标准体系、关键技术发展路线和配套专业管理机制等方面仍存在一些亟待解决的问题。突出表现在二次设备功能分散, 一台物理设备对应一种功

能, 数量较多; 信息共享不充分、站内信息网络较复杂, 导致所需安装空间较大、控制柜温升问题严重、硬件配置重复、全站接线繁杂, 在增大设备投资和调试难度的同时, 也增加了设备长时间运行的故障几率。另一方面, 数字化采样后, 较常规保护增加了合并单元处理传输、保护装置 SV 报文解析处理、保护 GOOSE 报文传输以及智能终端的解析等环节, 导致数字化线路保护的動作时间较常规线路保护慢 5~10 ms 左右, 影响了保护的速动性和效率, 继而影响稳定计算边界。综上所述, 现有的智能变电站二次设备难以全面适应电网对实现“大运

**基金项目:** 国家电网公司科技项目“智能变电站一体化控制保护智能终端开发”

行”、“大检修”和控制保护设备集成化、规范化的需求<sup>[3-4]</sup>。

为突破当前智能变电站发展的“瓶颈”，2012年国家电网公司提出研究和建设新一代智能变电站，以“系统高度集成、结构布局合理、装备先进适用、经济节能环保、支撑调控一体”为今后发展的目标，对智能设备集成化和业务系统一体化及站内信息流的统一提出了更高的要求<sup>[5]</sup>。

目前对智能变电站二次设备的集成研究主要集中在过程层合并单元智能终端设备的集成和间隔层保护测控装置的集成,应用限于 110 kV 及以下电压等级。其研究仅限于装置本身,未考虑到给变电站的运行、管理和维护带来的影响<sup>[6]</sup>。针对 220 kV 及以上的间隔,由于电压等级较高,保护的功能配置较为复杂,实现二次设备的高度集成不仅面临技术上的风险,同时也面临运行检修的压力。有鉴于此,为适应 220 kV 及以上电压等级新一代智能变电站对二次设备一体化装置的需求,本文对智能变电站间隔层设备和过程层设备的应用配置、二次系统架构优化、功能整合、信息共享、整装置的即插即用、软硬件集成以及可靠性设计等进行研究。在此基础上开发了面向间隔的新一代智能变电站控制保护一体化智能终端(以下简称一体化智能终端),为控制保护一体化智能终端在新一代智能变电站中的工程应用打下了基础。

## 1 一体化智能终端整体方案

与智能变电站的过程层和间隔层设备相比,一体化智能终端的信息获取与利用方式发生了较大变化。一次设备的模拟量数据和状态量数据以及过程层和间隔层设备的处理信息及运行信息等,都不再借助于站内网络,而是通过装置内部的信息共享机制即可获取。二次设备功能整合可以将外部的信息交互转移到设备内部实现,将外部的电磁干扰杜绝在箱体外部,减少了信息流被干扰的可能性。功能整合带来的益处明显,但是整合之后给运行管理、后期维护带来的变化也非常大,如何适应已有规程,或者合理修改规程,是二次功能整合范围需要重点考虑的问题<sup>[7]</sup>。

### 1.1 一体化智能终端的功能整合周界分析

实现二次设备的功能整合与装置集成不是简单地把各个设备的功能堆砌在一起,而是要对装置的功能、输入输出量、信息流和通信报文等进行认真分析,如图 1 所示。考虑各种装置的功能约束条件和数据流边界,按照系统最优原则,确定二次设备在功能、信息、互联等方面的周界,通过系统集成

去最大限度地满足周界的约束<sup>[8]</sup>。

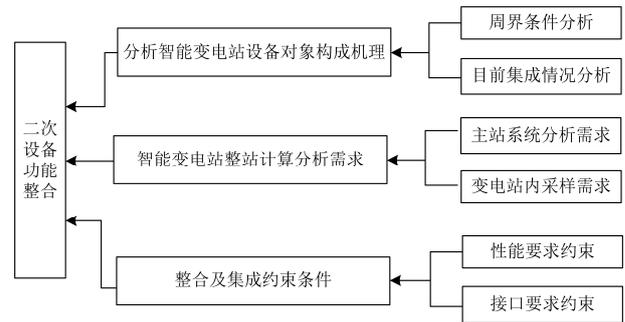


图 1 二次设备功能整合

Fig. 1 Secondary equipment function integration

通过以上分析,确定一体化智能终端集成同一间隔内合并单元、智能终端、保护和测控的功能,实现“间隔功能自治”。

### 1.2 一体化智能终端的应用配置

围绕一次设备间隔的数据采集、测量、控制和保护,对变电站二次系统在各种间隔的典型配置方案和布置方式进行研究,结合区域层次化保护系统架构确定一体化智能终端的应用配置方案<sup>[9-10]</sup>。

变电站典型保护配置有线路保护、主变保护和母线保护 3 大类,主变保护和母线保护需要的输入量和输出量均是跨多个间隔,线路保护仅采用本间隔(光纤差动还需要对侧通道)的信息。本文以典型 220 kV 线路间隔为例,线路保护与断路器智能终端、合并单元通过装置内部总线实现信息共享,跨间隔保护功能由层次化站域保护实现。220 kV 线路间隔一体化智能终端应用配置方案如图 2 所示。

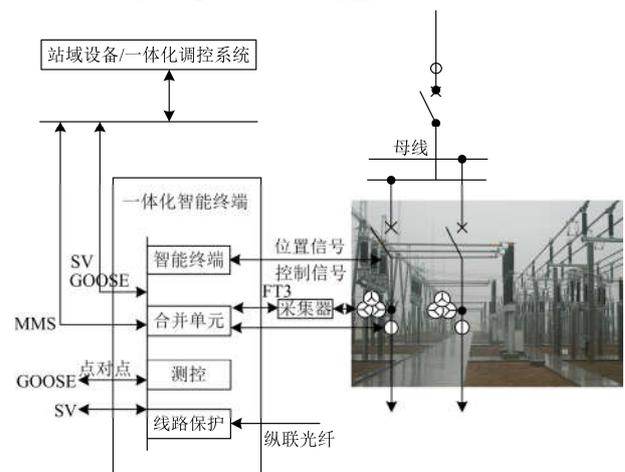


图 2 220 kV 线路间隔一体化配置方案

Fig. 2 220 kV line bay integration scheme

采用一体化智能终端后,智能变电站的二次系统架构如图 3 所示,可使全站的系统架构得到简化,有效提高系统的集成度。

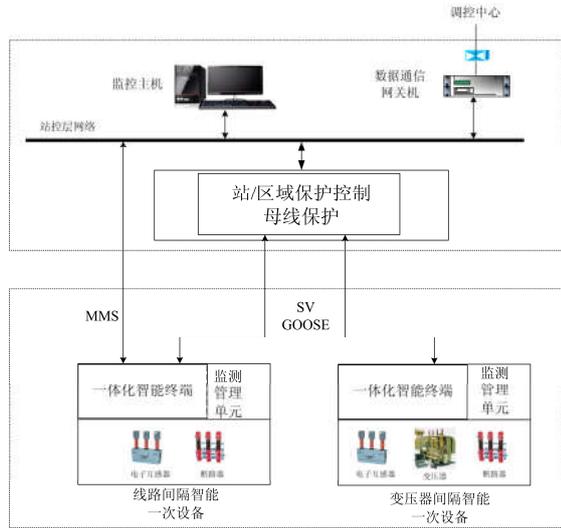


图 3 全站系统架构

Fig. 3 Station system architecture

### 1.3 一体化智能终端的信息流

对智能变电站一个线路间隔内二次设备对象之间的连接关系和信息流进行梳理,图 4 为 220 kV 线路间隔信息流。

如图 4 所示,本间隔设备间的互联信息达到总信息量的 80%以上。线路保护配置信息如模拟量、开关量均来自于本间隔合并单元与智能终端,测控装置配置信息如模拟量、开关量均来自于本间隔合并单元与智能终端。智能终端的接收控制量除了站域/母差有控制信息外,其他全部来自本间隔线路保护和测控。间隔以外除了跨间隔保护外,信息主要是对外发送的监视量,并没有对间隔内的控制量。

### 1.4 一体化智能终端的对外接口

依据整合方案的研究,结合智能变电站信息流分析,确定一体化智能终端的对外接口。

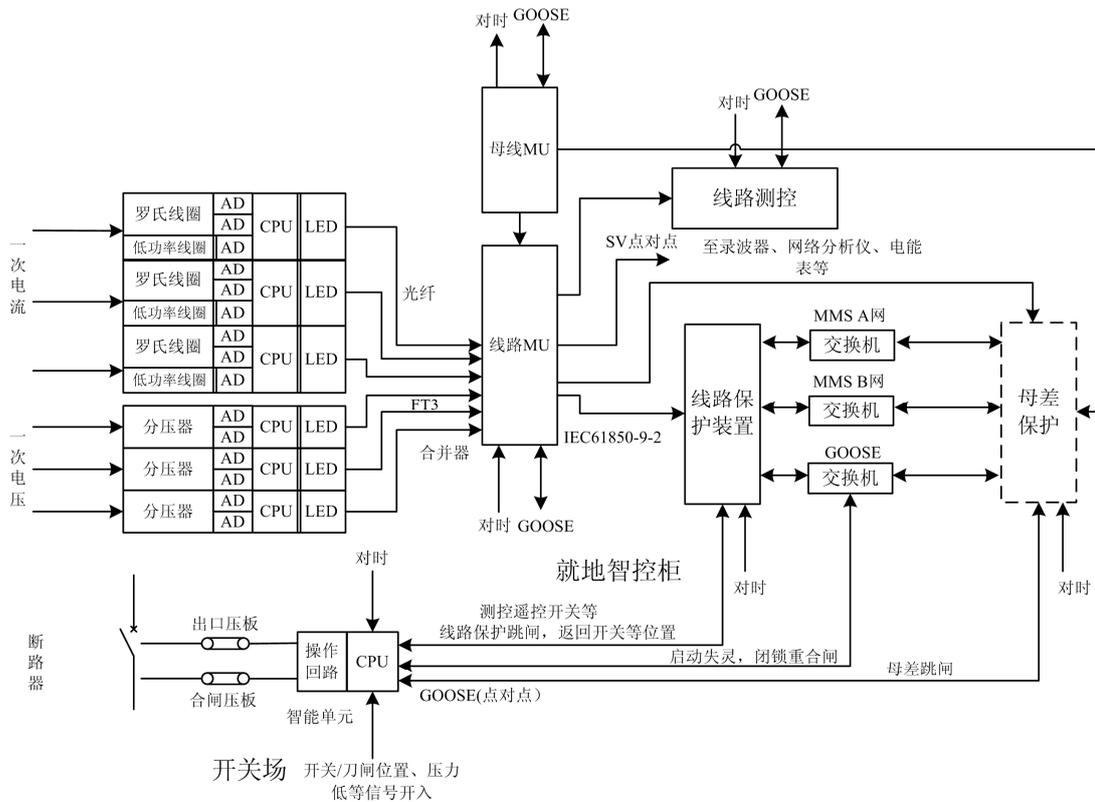


图 4 220 kV 线路间隔信息流

Fig. 4 Information flow of 220 kV line bay

如图 5 所示,一体化智能终端的对外接口包括两个 MMS 光口实现与站控层双网通信,一个可配置对时口采用光 B 码或 IEEE 1588 接入,3 个 SV/GOOSE 接口作为与母差/变压器等跨间隔保护、站域(层次化)保护、故障录波装置等的接口,一个光纤差动接口接入线路差动保护对侧电流。两个调试

接口用于装置的调试和维护,其中一个调试口以 RJ45 的形式设置在面板上,便于就地调试,另一个调试口则以光以太网口形式引出,便于接入维护子站或管理单元。两个光串口与采集器、级联母线合并单元以及就地控制器连接。考虑到一体化装置的紧凑性,仅设置一个对时接口,可通过网络接入

1588 双时钟以提高对时的可靠性<sup>[11]</sup>。

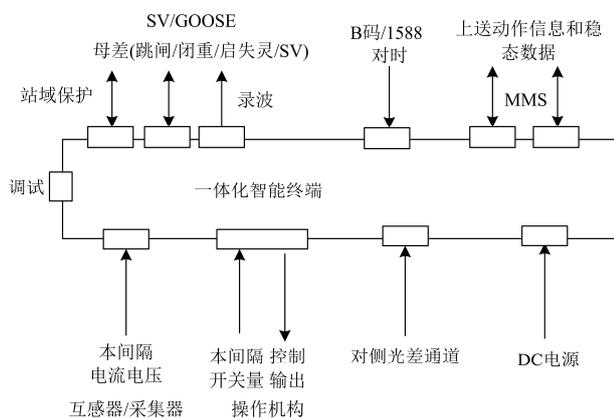


图5 对外接口

Fig. 5 External interface

对外接口除了电源和极少部分的开入采用电缆外, 其他接口均是光纤以太网, 非常有利于采用标准化和高防护的航空插头。对于 MMS 和调试维护等确需采用电以太网口形式的工程, 可以通过配置光纤配线架等进行光电转换扩展连接。

## 2 关键技术研究

### 2.1 逻辑功能分区和板卡整合

为提高设备的集成度, 应最大限度减少装置的逻辑功能分区, 将多个逻辑功能集成在一个硬件分区中, 以减少相应的 CPU 板卡; 同时, 为提高装置的运行可靠性, 又需要尽可能使各个模块的逻辑功能独立, 以避免单个模块发生故障时影响其他模块的功能<sup>[12-13]</sup>。因此在保证装置功能完全整合的基础上, 如何合理地布置板卡和进行逻辑功能的分区, 是需要研究的首要关键技术。本文将功能模块分隔成相互独立的最小模块, 最小模块统一设计, 满足设计复用, 提高设备的稳定性。根据保护、测控业务输入输出信号相似的特点, 将一体化智能终端划分为 4 大硬件分区和 6 大逻辑功能模块, 逻辑功能分区如图 6 所示。

硬件分区 A 包含合并单元模块与智能终端模块, 负责完成本间隔电压电流和开关量的采集以及控制输出, 向整个装置提供基础的数据流。硬件分区 B 包含线路主保护和重合闸模块, 负责完成纵差保护与保护重合闸等功能。硬件分区 C 包含测控模块, 负责完成采样数据处理、逻辑闭锁和同期合闸等控制、正反向有功/无功电量的计算和存储等功能。硬件分区 D 包含 HMI 接口模块, 负责整个装置的基础共享信息、人机交互信息、调试功能, 并通过 MMS 上送动作信息和稳态数据。

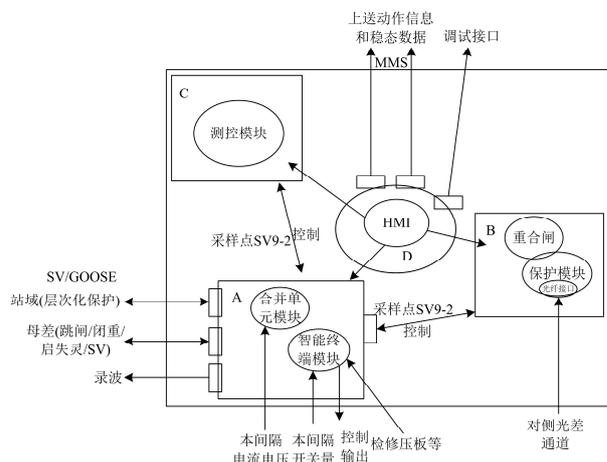


图6 逻辑功能分区

Fig. 6 Logical function partition

### 2.2 多种采样数据融合

由于采样业务存在模拟量/数字量 SV、数字量 FT3、数字 FT3+数字量 SV, 以及 80 点/24 点等多种需求<sup>[14]</sup>, 为达到满足效率和插件通用性的平衡, 如图 7 所示, 通过前端 80 点采样+合并单元抽点重采样的方法, 实现基础采样数据的共享和多种采样数据的融合使用。

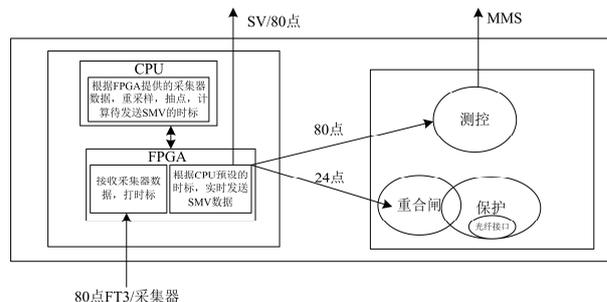


图7 多种采样数据融合

Fig. 7 Multiple sampling data fusion

### 2.3 多 CPU 信息交互共享技术

一体化智能终端的多模块设计和集成, 需要以高效高速的多 CPU 信息交互共享技术为基础。如图 8 所示, 本文通过设计通信硬模块完成 SV 数据的接收, GOOSE 收发和对装置的对时。由通信硬模块和接口 CPU 虚拟通信软模块来实现多个 CPU 之间的数据通信和信息交互。接口 CPU 通过内部以太网网口接收 SV 通道数据、来自外部的 GOOSE 和其他 CPU 处理的信号, 并通过内部以太网口发送信息至合智一体/保护/测控 CPU, 完成逻辑处理, 以解决多 CPU 之间的内部数据通信及信息共享与交互。该方法已申请发明专利《一种智能变电站中多 CPU 数据通信系统及方法》, 申请号 2015 1 0216497.5。

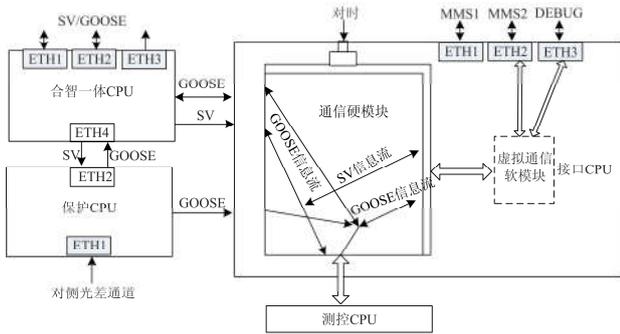


图 8 多 CPU 信息交互共享

Fig. 8 Multi CPU information sharing & interaction

### 2.4 一体化智能终端的可靠性设计

二次设备功能高度集成对一体化智能终端的可靠性提出了更高的要求，为此研究装置的 CPU、FPGA，电源模块以及出口继电器核心器件的特性，选用稳定性好、集成度高、使用寿命长的高性能器件。装置内部 PCB 板上器件排布密度大，信号线密集，增加了内部的电磁骚扰强度，通过采取合理布线、增加瞬态抑制二极管 TVS(Transient Voltage Suppressor)新型保护器件等措施来增强对浪涌、静电放电的防护。

一体化智能终端的集成化和密闭封装设计将加剧装置内的温升，因此从元件级、封装级和系统级对热设计进行研究和热仿真，制定能够保证装置可靠工作的散热方案。元件级热设计根据板上各元件的发热情况进行元件的合理布局，使发热量较大的元件布置在温度最低的区域，降低元件热量的积蓄及元件之间的热影响，同时采用热管将元件散发的热量传送到板卡边缘和机壳处。

由于相关规范要求装置内 CPU 芯片和电源功率芯片应采用自然散热，封装级热设计通过在器件间隙增加散热底盘，敷设导热垫，以及在热量聚集区域增加金属通孔来把印制板上的热量引导到外部，如图 9 所示。

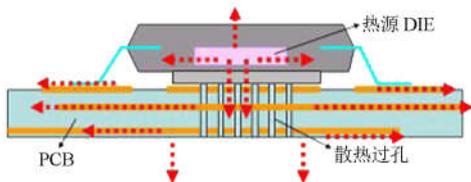


图 9 金属过孔传热

Fig. 9 Metal through hole to transfer heat

在保证设备承受外界各种机械应力和提供可靠环境防护的前提下，通过系统级热设计充分保证与机箱内板卡器件与外界的高效率交换。为解决密封装置的散热问题，将 4U 全宽装置机箱下盖板设计

成单层呼吸孔的形式，上盖板设计成上下两层，下层设计有凹形导水槽和隐藏呼吸散热孔，对应开孔部分安装一个不开孔的上层板，隐藏呼吸散热孔下设置金属防尘网，并将上层板和下层板固定在一起，从而在保证机箱密闭防尘的同时降低密封装置内的温度。该方法已申请发明专利《一种降低密封装置内部温度的方法》，申请号 2014 1 0701030.5。

如图 10 所示，1 为上盖板下层板，2 为凹形导水槽，3 为金属防尘网，4 为隐藏散热呼吸孔，5 为螺孔，6 为上盖板上层板，7 为螺柱，8 为用螺母把上层板、下层板、金属防尘网固定在一起。实践证明：采用新颖的设计结构和增加导热板散热片，能够把发热功率较大器件的热量导出去，增加装置内外的热交换，还可以避免灰尘或危险物体进入装置。

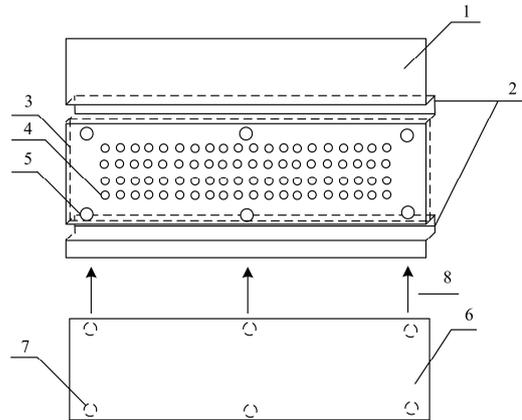


图 10 降低内部温度的盖板设计

Fig. 10 Plate for reducing internal temperature

一体化智能终端的使用寿命主要由组成设备的电子元器件寿命来决定，同时装置运行环境和装置设计也对其寿命具有重要影响，因此通过装置的环境适应性设计、可维修性和易维护性设计等方面来提高装置的使用寿命。此外通过减少光口，将多个业务数据合并到一个光纤以太网介质，减少体积；通过对器件采取降额设计降低功耗。通过以上设计，提高了装置长期运行的稳定性和可靠性。

### 2.5 故障自诊断与分级容错机制

智能变电站的控制保护设备应具有在线自动检测功能，在正常运行期间，装置中单一电子元件(出口继电器除外)损坏时，不应造成保护误动作，且能发出装置异常信号。一体化智能终端集成了保护、测控、合并单元和智能终端等多种装置的功能，内部具有几个能够独立工作的逻辑模块，因此故障自诊断系统不仅需要每个逻辑模块内部的在线自检，还需要能够对模块之间的链路连接情况进行监视，从而对装置的整体运行状况依据预定的故障策略进

行判别、诊断和相应处理。

对开入回路光耦失电、对时异常(未超出 10 min 守时时间)、GOOSE 异常(部分 GOOSE 链路异常)、控制回路断线、开出击穿和断线等不影响装置基本采集、控制和保护功能的异常情况等进行日志记录、异常告警和局部闭锁的同时,进行容错运行,待故障修复后使装置恢复到正常模式下运行。

对工作电源失电、RAM/FLASH/程序错误、板卡间通信终端、保护跳闸开出回路断线、GOOSE 和 SV 链路全断等严重故障进行装置故障告警、闭锁出口直至退出一体化智能终端全部功能避免误动,有效地保证了装置运行的可靠性。

## 2.6 一体化智能终端“即插即用”技术研究

智能变电站建立在 IEC 61850 标准体系基础之上,使得 IED“即插即用”在变电站全寿命周期的应用成为可能<sup>[15]</sup>。针对智能变电站改扩建、故障消缺时更换设备困难的情况,本文对一体化智能终端整装置的“即插即用”技术进行研究,提出了相应的技术方案。

1) 基于主流厂家保护、测控、合并单元和智能终端的 ICD 模板库,构建融合以上装置功能的一体化智能终端的 ICD 模板库,并基于“四统一”设计规范构建虚端子、通信网口等外部接口的映射关系。

2) 在设计阶段,按照智能变电站最终规模进行一次性设计,预扩建的间隔使用典型型号装置的 ICD 代替,形成全站的 SCD 文件。改扩建时,基于 ICD 模型库互换规则,用实际投运装置的 ICD 置换变电站 SCD 文件中缺省装置的 ICD 模型,实现新增装置不改变原有的二次回路和对外接口。

3) 利用 IED 配置工具对 SCD 工程配置进行一致性校验、分发和下装,无需二次配置,同时将该装置的所有配置进行一键备份和存储。

4) 装置故障需要更换时,更换备用装置,利用 IED 配置工具对更换的装置进行整体置换,恢复过程中包括对固件和程序版本的一致性检查、工程配置的一致性恢复等。

一体化智能终端装置“即插即用”技术的应用,能够简化安装调试,缩小改扩建的影响范围,缩短故障消缺的时间,提高变电站的改扩建效率。

## 2.7 一体化智能终端的远程可视化维护技术研究

目前,智能变电站由于实现了全站信息数字化和信息共享标准化,已经能够通过后台工作站/维护主站/数据管理单元、维护子站/数据采集单元实现远程复归、远程巡视等维护功能<sup>[16-17]</sup>。随着精细化管理要求的不断提升,传统的运维模式和技术已经不能适应智能电网运维需求。针对变电站信息传递

由“实”到“虚”,设备自检和通信能力由“弱”到“强”的特点,当前提出的运维目标是智能可视化运维。

一体化智能终端集成了多种二次设备的功能,能够充分利用二次设备的自检功能和丰富的状态信息,实现相关设备之间虚回路配置检查和运行状态自诊断,并通过 MMS 向厂站端的一体化监控在线传送全面的运行状态、自检信息和日志报告。与一体化监控系统结合,实现 SCD 模型文件管理、二次设备状态监测以及继保管理等远程维护功能。

一体化智能终端的可视化维护技术,在目前基于虚拟二次回路和配置信息监视进行可视化展示的基础上,利用装置内部的自检和监测信息,基于 G 格式对合并单元采样回路、保护逻辑和智能终端动作出口的过程实施可视化展示,显示保护内部动作逻辑、动作时序、故障量及保护定值等,具体展示方式如图 11 所示。

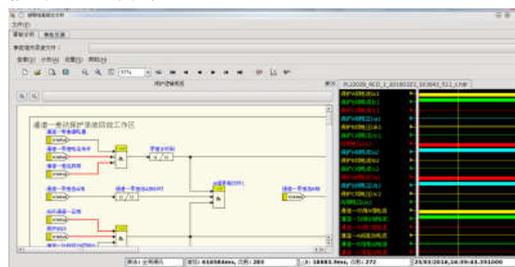


图 11 保护逻辑可视化展示

Fig. 11 Visual display of protection logic

## 3 一体化智能终端的软硬件架构

在前面所述的研究基础上,研制了适用于 220 kV 电压等级线路间隔的一体化智能终端。

### 3.1 一体化智能终端的硬件架构设计

一体化智能终端的硬件架构如图 12 所示,采用基于分布式多处理器的架构进行设计实现。

该硬件架构具有以下功能特点如下:(1) CPU 插件的中央处理器基于飞思卡尔的高性能 MPC 系列处理器设计,主频可达 800 MHz,内含浮点处理单元以及快速以太网通信接口,拥有优秀的计算性能和通信处理能力。(2) 采用模块化设计思想,各个模块在独立工作的同时,可以通过数据共享和交互协同工作,实现复杂的采样、数据解析、控制、保护和网络通信等功能。(3) 采用高性能大容量 FPGA 与 CPU 之间通过 PCI express 总线连接,数据传输速率为 2.5 Gbit/s,而交互量最大的采样值传输所需传输带宽最大约为 20 M 左右,因此完全能够满足实时性的要求。(4) 各模块体现“平台化”、“标准化”、“弱耦合”的原则,具有较强的适用性和可扩展性。

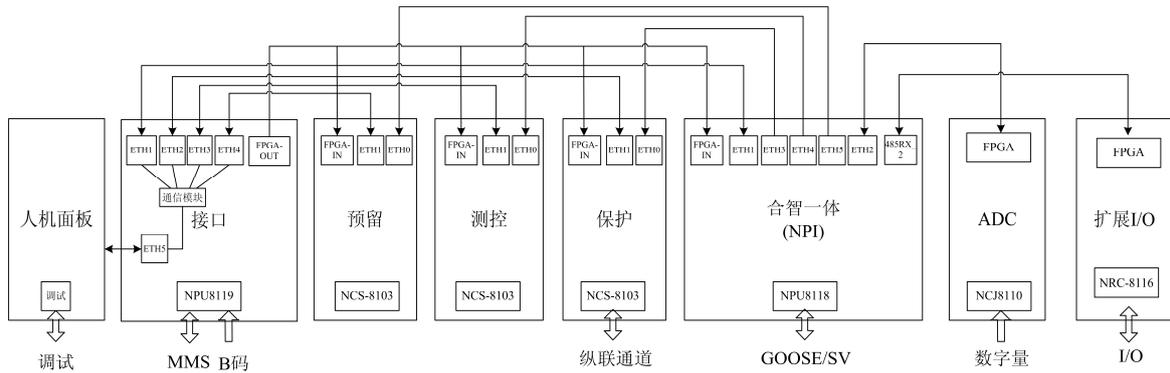


图 12 一体化终端的硬件架构

Fig. 12 Hardware architecture of integrated device

### 3.2 一体化智能终端的高速通信总线设计

各模块间采用基于多点低电压差分信号 (Multipoint low Voltage Differential Signaling, M-LVDS) 的高速通信总线进行连接, 该总线通信速率可达 500 Mbps。共模电压范围  $\pm 2$  V, 具有良好的抗电磁干扰性能, 提供 ESD (Electro-Static discharge) 静电释放保护从而支持热插拔功能。

高速通信总线具有如下特点: (1) 针对多点互联应用进行优化, 多个驱动器或者接收器件基于串行接口共享单一的物理链路, 收发信号线少, 有利于节省背板端口资源。(2) 各模块的数据交互通过硬件逻辑接口完成, 延时均匀稳定。(3) 支持多主方式, 具有完善的总线仲裁和校验机制, 数据传输安全可靠。

如图 13 所示, 装置内部设置了 3 个数据总线, 分别为传输控制保护数据等的业务总线, 传输采样值和 GOOSE 数据的采样总线, 以及传输开入开出信息和 HMI 信息的 I/O 总线, 前两个采用了高速通信总线, I/O 总线由于实时数据量小, 基于成本考虑采用异步差分 RS-485 总线。

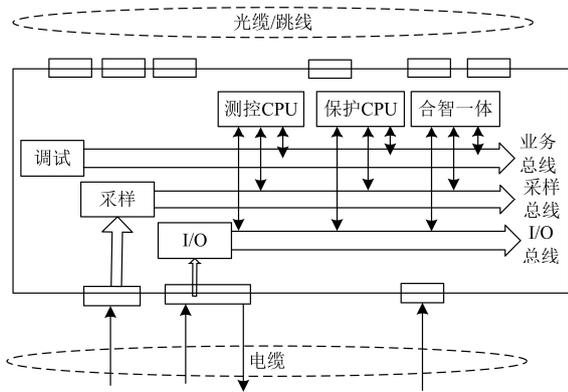


图 13 装置的高速通信总线

Fig. 13 High speed communication bus of device

### 3.3 一体化智能终端的硬件功能模块设计

为保证产品性能的稳定, 装置的 CPU 模块采用保护、测控、合并单元和智能终端原有成熟的方案, 这些方案均经过上千座智能变电站的稳定运行考验, 从而避免了产品升级中跨度过大的风险。另一方面, 为适应装置背部多个 CPU 模块对 HMI 和 I/O 信息共享的需求, 考虑到未来的可扩展性需求, 设计了智能化的 I/O 模块和 HMI 模块。

智能 I/O 模块通过数字光耦将输入的开关量电压转换为数字信号, 由 FPGA 打包通过总线传递给各个逻辑功能模块。智能 HMI 模块如图 14 所示, 包括液晶 (可选)、按键和指示灯, 用于实现人机交互, 由接口 CPU 控制。

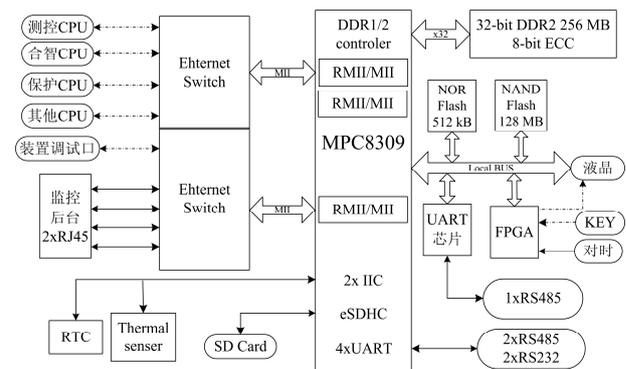


图 14 智能 HMI 模块设计

Fig. 14 Design of smart HMI module

### 3.4 一体化智能终端的软件平台设计

一体化智能终端的软件分为底层驱动软件、操作系统平台和应用软件。底层驱动与处理器相关, 不需要修改。应用模块对应的合并单元、智能终端、测控和保护等应用已经较为成熟, 主要工作集中在标准模板中进行裁剪, 不再赘述。由于多功能集成和标准化的模块设计对软件平台的实时性和容错性

提出了更高的要求,在此重点阐述软件平台的设计。

如图 15 所示,为了实现平台的通用性以及模块弱耦合的目的,软件平台支持多种模块的加载和引导。通过将基础的 FTP、RPC 以及 IEC 61850 模型等服务与应用接口分层封装的方法,实现各个应用模块对基础服务的动态调用,从而降低了 CPU 的占有率。同时,为适应多任务并行处理的需求,在自检模块中增加了定期调度的监控任务模块,对每个实时任务的运行状态进行检查,一旦发现某一任务在监控周期内出现异常,则对其进行超时复位,避免多个任务竞争陷入死循环,从而提高了系统的稳定性和容错性。为防止数据量较大时阻塞模块的通信接口,设计了完善的网络压力处理机制,保证各个模块在“数据流量风暴”情况下能够正常工作。

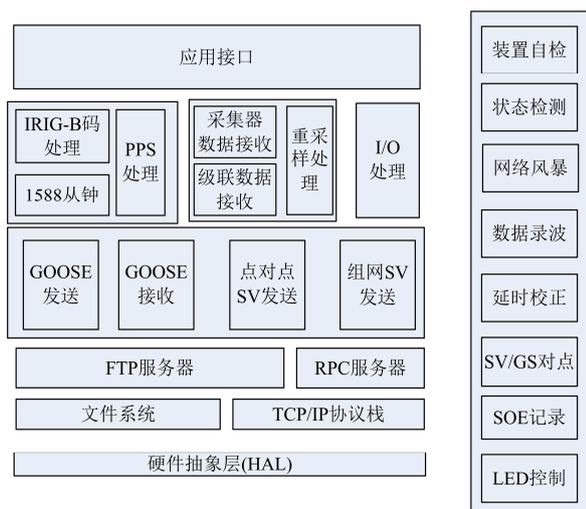


图 15 软件平台设计

Fig. 15 Design of software platform

#### 4 一体化智能终端的测试验证

2016 年 10 月,在新一代智能变电站的工厂化联调环境中对智能变电站控制保护一体化智能终端进行了测试,验证了一体化智能终端的各项功能达到设计要求,为在新一代智能变电站中的工程应用打下了基础,测试配置如图 16 所示。

装置交流测试结果数据如表 1 和表 2 所示,交流采集精度完全满足对合并单元和测控装置的 0.2 级精度要求。通过保护测试仪测试近端故障情况下的整体保护动作时间的测试结果见表 3。

由表 3 可以看出:一体化智能终端由于减少了合并单元和智能终端与保护装置的传输和解析环节,速动保护的動作时间较目前的数字化保护装置减少了 5 ms 左右。

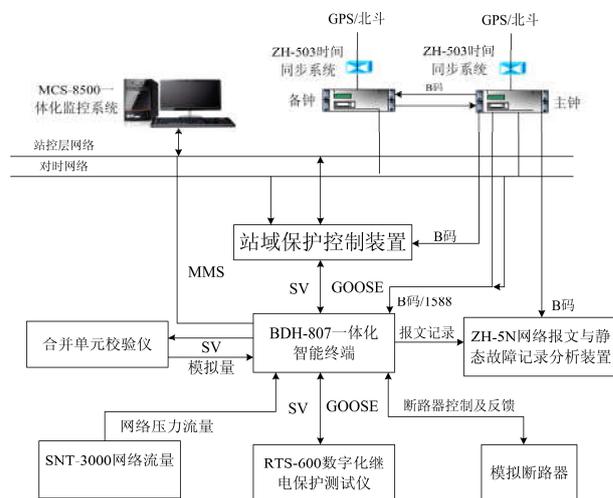


图 16 测试配置图

Fig. 16 Configuration diagram of test

表 1 标准电流精度测试结果

Table 1 Test results of standard current accuracy

施加量	5%	20%	80%	100%	120%
比差(%)	0.031	0.091	0.062	0.038	0.081
相差(/)	1.92	2.013	2.109	2.172	2.018

表 2 标准电压精度测试结果

Table 2 Test results of standard voltage accuracy

施加量	2%	20%	80%	100%	120%
比差(%)	0.023	0.036	0.062	0.058	0.037
相差(/)	1.31	1.019	0.915	0.672	0.618

表 3 速动保护动作时间(近端故障)

Table 3 Results of the AC accuracy test

	MU+交换机+保护装置	一体化智能终端
10 次平均	26.586 ms	21.933 ms

#### 5 结论

本文通过对新一代智能变电站控制保护一体化智能终端相关技术的研究,开发了适用于 220 kV 及以上电压等级新一代智能变电站的装置。在一台装置内部整合了合并单元、智能终端、主保护、测控等现有智能变电站中需要 5 台装置实现的功能。目前已经通过了工厂联调测试,即将在辽宁某 220 kV 新一代智能变电站挂网试运行。

#### 参考文献

- [1] 刘振亚. 智能电网技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
  - [2] 国家电网公司. Q/GDW 383-2009 智能变电站技术导则[S]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- State Grid Corporation of China. Q/GDW 383-2009

- guidelines for smart substation[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2009.
- [3] 国家电网公司. 智能变电站试点工程评价报告[R]. 北京: 国家电网公司, 2011.  
State Grid Corporation of China. The evaluation report of smart substation pilot project[R]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2011.
- [4] 宋璇坤, 李敬如, 肖智宏, 等. 新一代智能变电站整体设计方案[J]. 电力建设, 2012, 33(11): 1-6.  
SONG Xuankun, LI Jingru, XIAO Zhihong, et al. Overall design scheme for new generation intelligent substation[J]. Electric Power Construction, 2012, 33(11): 1-6.
- [5] BO Z Q, LIN X N, WANG Q P, et al. Developments of power system protection and control[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(1): 1-8.
- [6] 宋璇坤, 刘开俊, 沈江. 新一代智能变电站研究与设计[M]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [7] 倪益民, 杨宇, 樊陈, 等. 智能变电站二次设备集成方案讨论[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(3): 194-199.  
NI Yimin, YANG Yu, FAN Chen, et al. Discussion on integration of secondary devices in smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(3): 194-199.
- [8] 冯绍军, 陈禹六. 系统集成的约束机理研究[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(5): 19-23.  
FENG Shaojun, CHEN Yuliu. Constraint principle of system integration[J]. System Engineering-Theory & Practice, 2002, 22(5): 19-23.
- [9] 李宝伟, 文明浩, 李宝潭, 等. 新一代智能变电站 SV 直采和 GOOSE 共口传输方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(1): 96-101.  
LI Baowei, WEN Minghao, LI Baotan, et al. Research of the scheme for SV direct sampling and GOOSE transmit in the same port in new generation smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(1): 96-101.
- [10] 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.
- [11] 李俊刚, 刘星, 张爱民, 等. 智能变电站 IEEE1588 时钟同步冗余技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(20): 97-101.  
LI Jungang, LIU Xing, ZHANG Aimin, et al. Research on redundant technology of IEEE1588 clock synchronization system in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(20): 97-101.
- [12] 姚致清, 赵倩, 刘喜梅. 基于准同步原理的逆变器并网技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(24): 123-131.  
YAO Zhiqing, ZHAO Qian, LIU Ximei. Research on grid-connected technology of inverter based on quasi synchronous principle[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(24): 123-131.
- [13] 宋璇坤, 李颖超, 李军, 等. 新一代智能变电站层次化保护系统[J]. 电力建设, 2013, 34(7): 24-29.  
SONG Xuankun, LI Yingchao, LI Jun, et al. Hierarchical protection & control system for new generation smart substation[J]. Electric Power Construction, 2013, 34(7): 24-29.
- [14] 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.
- [15] 李晓朋, 裘愉涛, 钱建国, 等. 智能变电站二次设备互换性探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(14): 76-81.  
LI Xiaopeng, QIU Yutao, QIAN Jianguo, et al. Discussion on interchangeability of secondary devices in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(14): 76-81.
- [16] 秦红霞, 武芳璞, 彭世宽, 等. 智能电网二次设备运维新技术研讨[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 35-40.  
QIN Hongxia, WU Fangyue, PENG Shikuan, et al. New technology research on secondary equipment operation maintenance for smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 35-40.
- [17] 张巧霞, 贾华伟, 叶海明, 等. 智能变电站虚拟二次回路监视方案设计及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10): 123-128.  
ZHANG Qiaoxia, JIA Huawei, YE Haiming, et al. Design and application of virtual secondary circuit monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 123-128.

收稿日期: 2016-05-16; 修回日期: 2016-11-19

作者简介:

安永帅(1977-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为智能变电站智能设备研发和系统方案研究; E-mail: 18737493793@139.com

李刚(1979-), 男, 高级工程师, 研究方向为智能变电站智能设备研发;

樊占峰(1975-), 男, 博士研究生, 研究方向为电力系统保护与控制。

(编辑 周金梅)