

新一代智能站合并单元智能终端集成装置研究

闫志辉, 周水斌, 郑拓夫

(许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 结合新一代智能站的建设原则以及国家电网公司对新一代智能站设备的要求, 设计了一种适用于新一代智能变电站的合并单元智能终端装置集成装置。将合并单元功能和智能终端功能在一个物理设备中实现, 并解决了装置集成后的 SV、GOOSE 共网问题、合并单元和智能终端功能相互独立问题, 增加了装置状态监测功能。设计的装置具有较高的智能化水平。

关键词: 新一代智能站; 合并单元; 智能终端; 装置集成

Study of device with merging unit and intelligent terminal for new intelligent substation

YAN Zhi-hui, ZHOU Shui-bin, ZHENG Tuo-fu
(XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

Abstract: Combined with the construction principles and requirements of new generation intelligent substation, a merging unit intelligent terminal integrated set is proposed. The merging unit functions and intelligent terminal functions are completed in an IED. This paper presents a method of exchanging information of SV and GOOSE in a single port. Merging unit and intelligent terminal functions can be independent of each other in the device. The designed device strengthens the function of device status monitoring. Design of the device has higher intelligent levels.

Key words: a new generation of intelligent substation; merging unit; intelligent terminal; device integration

中图分类号: TM76

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2014)14-0117-05

0 引言

随着国家电网公司对智能变电站的推广, 作为试点工程国内已经建成了多座智能变电站, 在设备建设方面取得了较大进展, 但由于系统较多、功能分散, 智能变电站建设理念、技术创新等方面仍存在问题, 有待于进一步解决^[1]。国家电网公司为了解决上述问题, 总结了现有智能变电站的成功经验和存在问题, 开展了新一代智能变电站建设研究, 积极引导设备制造企业开展设备研制和技术创新^[2]。

本文针对新一代智能站变电站的试点工程设计了一种适用于新一代智能变电站110 kV及以下电压等级间隔的合并单元智能单元装置集成装置, 将合并单元功能和智能终端功能在一个物理设备中实现, 减少间隔装置数量, 提高了经济性, 具有较高的推广价值。

1 过程层设备配置方案

在国家电网公司智能变电站^[3]试点工程的建设

中, 对过程层的方案设计也做了大量的尝试, 已投运的智能变电站中过程层的实现方案有很多种, 其中典型的设计方案中, 互感器配置方案主要分为常规互感器配置方案和电子互感器配置方案, 组网模式主要分为直采直跳方案和过程层三网合一方案等^[4], 每种方案都有自己的优缺点, 国家电网公司依据工程中出现的问题, 对智能变电站制定了一系列的规范, 根据规范的要求, 目前智能变电站的过程层主流设计方案的主要特点为互感器采用常规互感器, 组网模式为直采直跳的设计方案^[5-7]。

合并单元和智能终端作为过程层的主要设备, 产品的功能配置对过程层的设计方案具有很大的影响, 目前工程上常用的合并单元和智能终端根据功能可分为独立装置模式和功能一体化模式两种。

1.1 独立装置模式

目前, 大部分智能变电站采用的如图1所示结构, 网络结构采用组网和点对点结合的方式, GOOSE与SV分别组网, 保护装置一般采用直采直跳模式, 其他设备如测控装置、录波设备等均采用

组网方式。过程层采用的合并单元装置和智能终端装置均为独立装置，合并单元装置完成间隔模拟量采集功能，把间隔模拟量合并后通过 SV 网或点对点模式发送给间隔层设备，智能终端完成间隔的开关量采集及断路器合刀闸的控制功能，通过 GOOSE 网与测控等间隔层设备交互，通过点对点接收保护的跳闸信息完成保护动作。GOOSE 和 SV 单独组网，供间隔层的测控装置、录波设备等获取信息。

该模式的优点是网络结构清晰，装置功能清晰，合并单元和智能终端为独立装置，一台装置故障不影响另外一台装置的功能，可靠性高。缺点是网络设备多，过程层设备多，经济性较差，过程层设备功能独立，信息共享困难，装置间信息交互需要通过外部的网络实现，可靠性低，并且不利于信息融合及高级功能扩展。

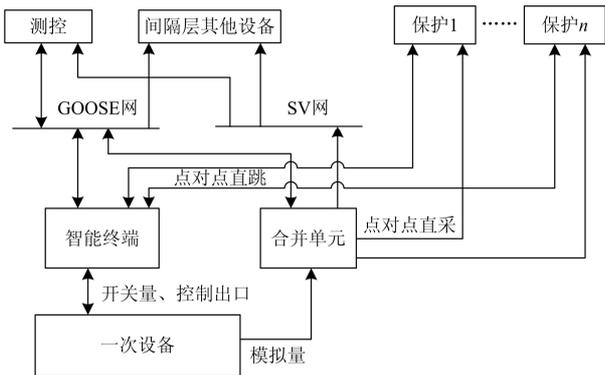


图 1 装置独立模式

Fig. 1 Independent mode of device

1.2 功能一体化模式

该模式中网络结构采用 GOOSE 和 SV 共同组网，直采直跳相互独立的模式，合并单元和智能终端功能集成在一个装置内，系统结构如图 2 所示。在这种模式下，过程层设备采用了合并单元和智能终端功能一体化装置，该装置使用一个 CPU 完成合并单元和智能终端功能，GOOSE、SV 组网口采用共网口模式，点对点口采用独立模式。

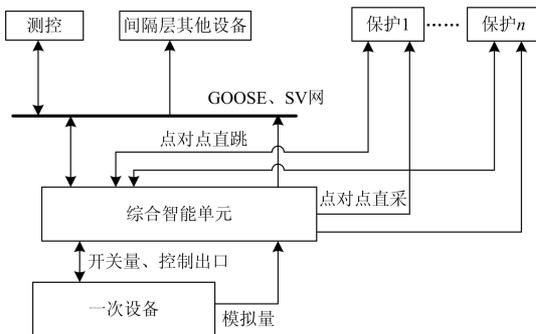


图 2 装置功能一体化模式

Fig. 2 Integrated mode of device function

该模式明显在结构上比独立装置模式有了优化，它简化了网络结构，减少了网络设备和过程层设备，具有较高的经济性，同时，合并单元和智能终端在一个装置内实现，合并单元和智能终端的信息在装置内部相互共享，为开发选相合闸等高级功能提供了便利。同时该模式也存在一些不足：由于合并单元和智能终端功能由一个 CPU 完成，CPU 负荷较大，当装置的组网口受到来自过程层网上网络压力，造成 CPU 负荷突然增大时，有可能会影响到装置的整体性能；直采直跳没有合并为一个网口，过程层设备跟保护装置之间需要两对光纤实现直采直跳，造成装置光口数目较多，发热较大，不利于装置的长期稳定运行。

2 新一代智能设备

国家电网公司经过对现有智能变电站存在的问题进行分析，根据新一代智能变电站对系统集成的要求，在新一代智能变电站试点工程中提出了新一代智能变电站过程层设备的配置原则。该配置原则要求 220 kV 电压等级优先采用合并单元智能终端分开配置；110 kV 及以下电压等级采用合并单元智能终端一体化装置，并针对现有智能变电站过程层设备的问题，对新一代过程层功能一体化装置提出了以下几点具体的要求。

2.1 安全性要求

在目前智能变电站的功能一体化装置模式中，过程层中功能一体化装置均为单 CPU 结构，由一个 CPU 实现智能终端和合并单元的功能，装置功能实现复杂，CPU 负荷比单一装置大，在对 CPU 负荷要求较高的流量控制测试中，装置能够承受的网络压力不高，在工程应用中不利于装置的稳定运行。针对上述问题，国家电网公司提出新一代合并单元智能终端功能一体化装置仅为智能终端和合并单元的装置集成，两个装置功能由两个单独的 CPU 分别实现，功能相互独立，提高装置的整体性能。

2.2 通讯接口要求

在已建成智能变电站的功能一体化装置模式中^[8]，组网的网络结构均采用的是 GOOSE 和 SV 共网模式，但直采直跳均为分离模式，一体化装置与保护装置之间需要使用两对光纤进行通讯，同时装置也需要提供两对光口，不但增加硬件成本，也增加了装置功耗和发热量，不利于装置的长期稳定运行。针对上述问题，国家电网公司提出组网和直采直跳均采用共网口模式，过程层装置与保护装置的直采直跳也采用一对光纤完成通讯。使用上述模式后，装置的光口数目能够节约一半，极大地优化了

装置的硬件资源。

2.3 状态监测要求

依据新一代智能变电站提出的技术装备先进建设目标, 智能设备需增加装置状态监测功能, 对装置的重要参数如光强、通讯状态等做到在线监测, 提高变电站设备的可观测、可控制和自动化水平^[9]。

依据以上国家电网公司对装置的几个要求, 新一代智能变电站的过程层结构如图 3 所示。

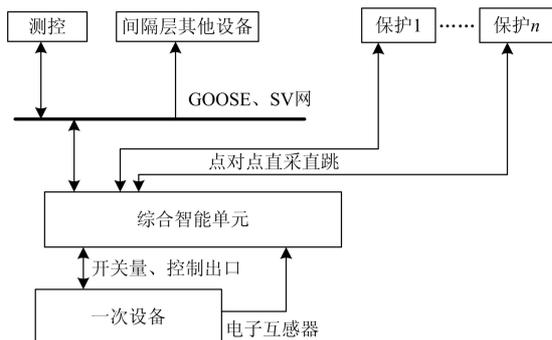


图 3 新一代智能站模式

Fig. 3 A new generation of intelligent substation modes

3 关键技术

3.1 独立 CPU 结构

依据国家电网公司对设备的安全性要求, 智能终端功能和合并单元功能需用不同的 CPU 实现, 且不分主次, 功能独立, 两个 CPU 运行互不影响。在满足独立要求的同时, 作为一个装置整体, 装置对外的接口又要统一, 两个 CPU 共享装置的硬件资源及装置信息。

装置的硬件资源的共享主要包括装置的电源、通讯接口、开入开出、指示灯、对时信息, 两个 CPU 之间的信息也需要一个通道进行交换。对于装置电源共享可以直接通过硬件方式共享即可, 无需考虑。而其他资源共享不能通过硬件互联简单实现, 就需要通过其他途径共享, 本装置的共享信息流如图 4 所示。

两个 CPU 共用开入开出模块, 通过开入开出模块共享装置的开入信息, 控制装置的开出; 由于两个 CPU 相互功能独立, 所以他们之间的信息交换很少, 主要用于互相监视运行状态, 在一块 CPU 故障时, 由另外一块 CPU 及时上送告警信息; 公用接口实现了其他的共享功能: 与外部的通讯共享功能, 实现 GOOSE 收发和 SV 收发; 指示点灯共享功能, 两个 CPU 把点灯信息发送至公用接口, 由公用接口统一驱动指示灯; 装置对时共享功能, 公用接口完成对时功能, 再与两个 CPU 分别对时, 完成对时信

息的共享。

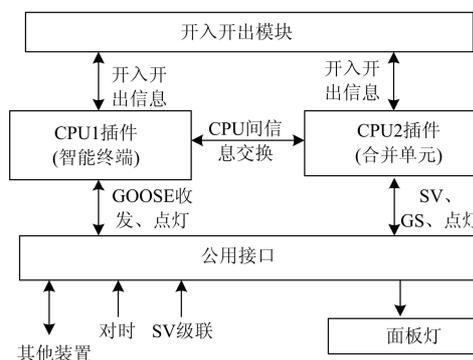


图 4 双 CPU 结构图

Fig. 4 Double CPU structure

3.2 共网口设计方案

在传统的硬件设计中, 装置使用的网络通讯的 MAC 芯片多采用芯片厂家提供的 MAC 控制芯片实现, MAC 控制芯片与处理器之间的接口也各不相同, 但芯片与处理器之间的多为总线结构, 数据读写为一个通道, 数据读写会相互冲突, 同时数据发送的时刻也无法精确控制, 所以装置采用 SV 和 GOOSE 共网口传输方案, 需解决两个问题: 在 GOOSE 发送的同时, 保证 SV 发送的均匀性; 在保证上一条的同时保证 GOOSE 接收的时效性。

本文中设计的装置采用 FPGA 模拟 MAC 芯片的设计方案, 由 FPGA 直接控制 PHY 芯片, 利用 FPGA 的并行处理特性实现网络收发全双工, 并且采用 FPGA 模拟 MAC 功能后, 可利用 FPGA 的实时性实现 SV 发送时刻的精确控制, 共网口的硬件原理图如图 5 所示。

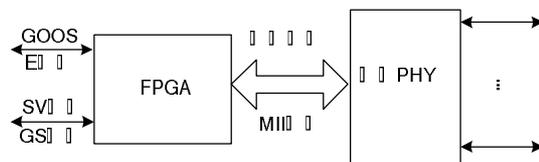


图 5 共网口设计原理图

Fig. 5 Shared port schematic diagram

由于装置的组网口、直采直跳口比较多, 如图 6 所示, 根据智能变电站的一般配置, 至少需要一个组网口、5 个直采直跳口和一个 SV 级联接口, 若采用单口的 PHY 芯片则会造成功耗高、占用面积大等缺点, 目前市场上有多款 4 口、8 口的 PHY 芯片, 使用集成芯片可有效降低板卡功耗, 降低印制板走线难度, 提高板卡的稳定性。装置采用 8 口 PHY 芯片作为外部通讯的接口, 由 FPGA 通过 RMII 接口直接控制。RMII 为全双工通道, 收发通道相互独

立，互不影响，再结合 FPGA 的硬件结构，可实现网络的收发完全独立，而装置的两个 CPU 与 FPGA 的数据交换也是通过两个独立的硬件回路完成，这样就解决 SV 发送和 GOOSE 接收共网口后的相互影响问题，数据的发送不会影响 GOOSE 接收的时效性，并可在 MAC 做更多的过滤机制，有效地防止网络压力过大对装置 CPU 产生影响。

数据共网口发送后，SV 发送和 GOOSE 发送在一个物理通道里实现，数据的发送机制的优劣会对装置的 SV 均匀性及 GOOSE 发送的实时性产生影响。本装置设计的方案采用以 SV 发送为激励，利用 SV 的发送间隔发送 GOOSE 报文或其他报文，既保证了 SV 发送的均匀性，又保证了 GOOSE 报文发送的实时性。

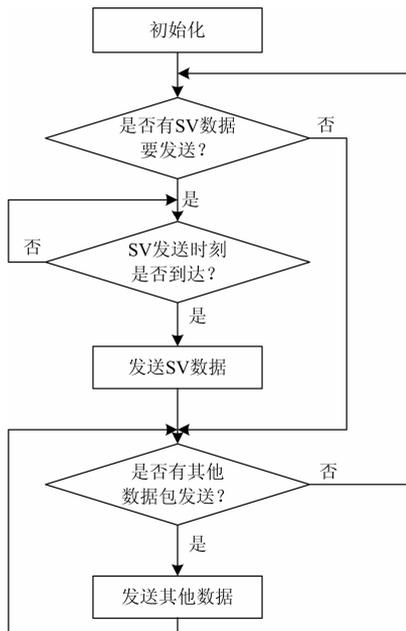


图 6 共网口设计流程图

Fig. 6 Shared port flow chart

装置的发送流程如图 6 所示，在程序初始化完成后，若无 SV 数据发送，则直接检查并发送 GOOSE 报文，防止在没有 SV 发送时发不出 GOOSE。发送一帧数据后再检查是否有 SV 发送数据，在检查到有 SV 发送数据后，则按 SV 发送节拍查缓冲区内的 GOOSE 报文，利用 SV 发送间隔发送 GOOSE 报文。

下面以本装置为例分析共网口发送后对 GOOSE 发送的影响。SV 和 GOOSE 报文的数据发送时序如图 7 所示，每个 SV 发送间隔可分为 3 个时间间隔， T_1 为 SV 报文发送时间， T_2 为 GOOSE

报文发送时间， T_3 为 SV 报文发送前等待时间。目前，合并单元为 80 点采样，故可得出

$$T_1+T_2+T_3 = 250 \mu s$$

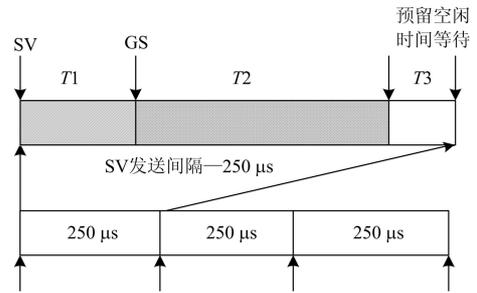


图 7 发送时序图

Fig. 7 Sending timing chart

SV 报文按最大 32 个通道计算，报文长度约为 400 字节，可得出 T_1 的最大值为^[10]

$$T_1 = 400 \times 8 \div (100 \times 10^6) \approx 32 \mu s$$

为保证 SV 发送均匀性，必须保证 SV 报文在预期的时刻发送出来，故在预期的 SV 发送时刻前要预留一定的空闲时间，确保在发送时刻到达时，发送通道能够处于空闲状态，可以立即发送数据，一般设置空闲时间大于两倍的以太网最短包发送时间，这里取 T_3 为 15 μs ，这样就可以得到每个发送间隔留给 GOOSE 发送的时间为

$$T_2 = 250 - 32 - 15 \approx 200 \mu s$$

装置的数据集定义了每组 GOOSE 的通道个数最大为 64 个，这样最长的 GOOSE 包约为 800 个字节，加上数据包之间的空闲位，发送一帧 GOOSE 大约需要 80 μs ，这样一个 SV 发送间隔可以发送两包 GOOSE。装置共定义了 10 个 GOOSE 数据集，这样在数据全部同时变位时，也可以在 1.5 ms 内全部发送完成，满足 GOOSE 发送机制中第一次重发的 2 ms 的间隔要求，不会造成 GOOSE 发送的延迟。

3.3 状态监测实现

状态监测技术是新一代智能变电站的一个核心技术，新一代智能变电站的装置也要求具备状态监测功能。目前，过程层装置已具备一些状态监测功能，例如 RAM 自检、ROM 自检、电源监测、网络数据监测等功能，都有完善的监测机制。根据新一代智能变电站的要求，装置还需增加光强监视功能，过程层装置的主要特点为通讯接口是光纤接口，光纤接口接收数据的正确性对装置的稳定运行有重大的影响，光口的接收光强值的变化趋势就是光纤接口的健康状态的外在特征。

本文设计的装置有两类光纤接口，一类是以太网接口，光波长 1 270 nm~1 380 nm(典型值 1 308

nm), 用于过程层数据收发; 一类是 FT3 接口, 光波长 820 nm~860 nm(典型值 850 nm), 用于接收电子式互感器的数据。以太网接口目前采用支持 SFF-8472 标准的 SFP 光模块, 模块本身支持光强监视功能, 直接通过 SFF-8472 标准协议读出网口的接收光功率。

对于 FT3 光串口, 装置采用 AVAGO 公司提供的 AFBR-2419 光模块, 该光模块支持 RSSI(接收信号强度)输出功能, 可根据芯片手册中的曲线通过 RSSI 的输出值计算出当前的接收光功率值。

4 结论

新一代智能变电站的提出对电力设备的开发带来了新的需求, 对过程层设备的开发也提出了新的要求, 对比目前的过程层设备, 新的需求主要体现在装置的智能化水平上。文中开发的装置通过实现功能独立性、数据共网口及装置状态监测等功能体现装置的智能化水平, 符合新一代智能变电站的设计思想, 装置集成合并单元和智能终端功能, 具有占用柜内空间小、可靠性高等特点, 适用于智能变电站 110 kV 及以下电压等级。

随着新一代智能变电站的推广, 合并单元智能终端装置集成装置将成为 110 kV 及以下电压等级线路间隔的主流配置, 装置的开发具有较高的经济性。

参考文献

- [1] 李孟超, 王允平, 李献伟, 等. 智能变电站及技术特点分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(18): 59-62, 79. LI Meng-chao, WANG Yun-ping, LI Xian-wei, et al. Smart substation and technical characteristics analysis[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(18): 59-62, 79.
- [2] 宋漩坤, 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, 2011, 33(11): 1-6. SONG Xuan-kun, LI Jing-ru, XIAO Zhi-hong, et al. Overall design scheme for new generation intelligent substation[J]. Electric Power Construction, 2011, 33(11): 1-6.
- [3] 曹楠, 李刚, 王冬青. 智能变电站关键技术及其构建方式的探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(5): 63-68. CAO Nan, LI Gang, WANG Dong-qing. Key technologies and construction methods of smart

- substation[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(5): 63-68.
- [4] 易永辉, 王雷涛, 陶永健. 智能变电站过程层应用技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 1-5. YI Yong-hui, WANG Lei-tao, TAO Yong-jian. Process level application scheme in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 1-5.
- [5] Q/GDW 426 智能变电站合并单元技术规范[S]. Q/GDW426 technical specification for smart substation merging unit[S].
- [6] Q/GDW 428 智能变电站智能终端技术规范[S]. Q/GDW428 technical specification for smart substation merging unit[S].
- [7] Q/GDW 441 智能变电站继电保护技术规范[S]. Q/GDW441 technical specification for smart substation merging unit[S].
- [8] 王文龙, 刘明慧. 智能变电站中 SMV 网和 GOOSE 网共网可能性探讨[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(增刊 1): 58-62. WANG Wen-long, LIU Ming-hui. Research on the shared-network of SMV and Goose in smart substation[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(S1): 58-62.
- [9] 李琪林. 智能变电站状态监测技术研究[C] // 2011 国际信息技术与应用论坛论文集(计算机科学), 2011.
- [10] 魏勇, 罗思需, 施迪, 等. 基于 IEC61850-9-2 及 GOOSE 共网传输的数字化变电站技术应用与分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(24): 146-152. WEI Yong, LUO Si-xu, SHI Di, et al. Research and application on digital substation based on IEC61850-9-2 and GOOSE communication in one network[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(24): 146-152.

收稿日期: 2013-09-17; 修回日期: 2013-11-27

作者简介:

闫志辉(1978-), 男, 硕士研究生, 工程师, 从事智能变电站过程层智能设备研发工作; E-mail: yanzhihui@xjgc.com

周水斌(1975-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 从事智能变电站研究及过程层设备研发工作。

郑拓夫(1985-), 男, 硕士研究生, 工程师, 从事智能变电站过程层智能设备研发工作。