

基于智能变电站三层一网的新型保护装置研制

窦乘国, 张宏波, 陆征军

(上海思弘瑞电力控制技术有限公司南京分公司, 江苏 南京 210012)

摘要:随着通信技术的发展,为智能变电站间隔层、过程层、站控层间的采样值(SV)网、面向通用对象的变电站事件(GOOSE)网、制造商信息规范 MMS 网合而为一(三层一网)的工程实践提供可能。基于此新研制的一种保护装置,可以实现网络数据分级分流处理,同时,与相应的交换机配合组网,可以解决以往三层一网组网时数据难以同步的弊端,从而解决保护装置的数据可靠性和可用性问题。在智能站三层一网的架构下,该装置能满足保护控制要求,通过参与相关的试验验证了装置的可靠性。

关键词:三层一网;网关;组网;点对点

中图分类号: TM77

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2015)01-0043-04

在智能变电站的应用过程中,智能变电站的二次设备以其可简化电缆施工及连接、实现信息共享等巨大前景吸引着行业内相关技术和应用朝之发展,智能变电站的技术日趋成熟和稳定,其组网方式一直影响着智能变电站的可靠性、经济性,正因为组网通信环节的瓶颈,实际的智能变电站发展未能尽如人意,光缆铺设复杂,二次设备发热严重且故障率高,变电站信息共享困难,进而影响智能变电站的实施、运行和推广^[1]。智能变电站实现了信息采集和传输的数字化,并通过网络化得以实现高度的信息共享,不同的组网方式,对于智能变电站的信息共享有着不同的约束和限制。结合当前三层一网组网方式的新技术条件,研制了基于智能变电站三层一网组网方式的新型保护装置,可以有效保证网络信息数据的实时性、可靠性,以及采样值(SV)数据的同步。

1 组网的技术发展

目前主流的智能变电站中,一般采用三层两网的组网方式。即按照装置设备安装位置可划分为:间隔层、过程层和站控层,而通信网络结构划分为:过程层网络、站控层网络。其中,过程层网络大多以面向通用对象的变电站事件(GOOSE)加 SV 这样的组网方式进行信息采集和数据传输。而站控层网络中主要依靠制造商信息规范(MMS)实现间隔层设备和变电站监控系统、远动系统之间的信息交互。过程层网络、站控层网络各自通过独立的交换机进行组网,在物理上相互独立。其中,过程层网络一般有 2 种组网方式,即点对点方式和网采网跳方式。

过程层点对点的组网方式就是间隔装置通过专用光纤与合并单元或智能终端连接,其优点是组网原则简单可靠,出故障后影响范围小,最大限度地保证数据传输的及时性、可靠性。其不足主要有:组网光纤错综

复杂,尤其在规模较大的变电站,施工复杂程度变高,而且调试起来比较复杂;点对点的连接方式不利于智能站数据共享;增加了光纤、设备光口等的硬件投资。

过程层网采网跳的组网方式是将过程层的 SV 网和 GOOSE 网共口组网联接,即间隔层装置、合并单元、智能终端通过交换机联接,实现采样数据网络传输、跳闸命令等控制信息网络传输。网采网跳的优势是:可减少通信光缆的铺设联接,组网方式简单,数据共享容易。其不足在于网络数据传输的及时性、可靠性难以保障,尤其是对于利用跨间隔 SV 数据的间隔层装置如母差保护、变压器保护等,时钟丢失时,数据的同步性难以保障,给网采网跳方式的应用带来障碍。

为了最大限度实现数据资源共享、减少现场施工调试工作量,还有三层一网的组网模式,即将间隔层、过程层、站控层间的 MMS 网、SV 网、GOOSE 网合而为一,实现共网传输,也称为三网合一,进一步简化了网络架构,降低了网络组网复杂程度,网络上的数据信息更加丰富。

近年来,相关人员一直在研究和探索形成三层一网的组网方式^[2,3],在装置的研制、保护方案的配置方面也有相关研究和探索提出了很好的方案^[4,5],然而如何划分网络上不同数据报文的优先级确保重要数据优先处理、以及时钟丢失时 SV 数据的同步,一直是三层一网组网方式需要解决的问题。随着通信技术的发展,目前困扰三层一网组网方式的两大障碍技术分别有所突破。

(1) 不同业务报文间的相互隔离。三层两网是通过独立组网的方式分流业务报文;采用三层一网方式组网时,网络上传递各种数据,如何对不同重要程度的数据进行分流,重要的数据优先处理是保障数据实时性和可靠性的关键。虚拟局域网(VLAN)技术是当前经过实际检验的一种有效的数据分流技术,在站内可采用 VLAN 进行信息区分,MMS 通过基于标记的

VLAN 和过程层 SV、GOOSE 隔离;过程层数据流通过静态组播划分实现精确控制,防止不同组播地址信号的相互影响,对未定义组播采用丢弃策略。

(2) 时钟源丢失时的数据同步。三层一网组网方式的另一个关键点是,解决好 SV、GOOSE 数据网采网跳问题,智能变电站继电保护由直采直跳模式切换到网采网跳模式的最大障碍在于:跨间隔保护必须依赖于外部时钟,以保证采样数据同步性,当失去外部时钟或外部时钟出现故障时,跨间隔保护将退出运行。网采网跳模式中,采样数据报文的传输依赖交换机,而报文在交换机内的传输延时是不确定的,因此当外部时钟失去时,保护装置无法判断采样数据是否同步。

随着通信技术的进步,通过交换机报告传输延时的方法可以解决这个问题,原理是精确计算报文在交换机内的驻留延时(ΔT)并写入 SV 报文内,保护装置依赖本地时间基准,利用 MU 固有延时和链路驻留总延时 ΔT 还原收到的多个间隔的采样数据的发生时刻,完成采样值的同步处理,其原理等效直采模式,体现了采样数据谁使用谁同步的基本原则。

2 三层一网装置的研制

2.1 设计思路

该保护装置与通信交换机共同组网,实现三层一网的架构,其组网如图 1 所示。

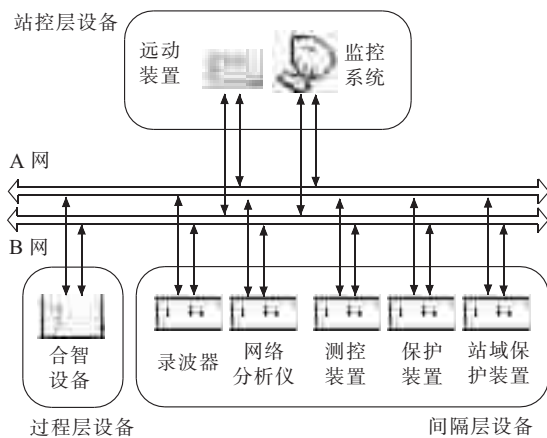


图 1 三层一网组网示意图

在三层两网的组网方式中,站控层和过程层分别组网,过程层设备之间的 GOOSE 接收和发送、SMV 的接收一般是由装置的专门数字化接口板完成的。而装置站控层通信插件上的以太网口实现对监控系统等站控层设备的 MMS 通信。

从图 1 可见,智能变电站三层一网的组网方式中,装置可只通过一个插件上的网络通信口实现与过程层设备、站控层设备信息的交互,不需要专门的数字化接口板再对外连接。实现 GOOSE 通信网、SV 通信网、MMS 通信网的三网合一通信连接。

实现三网合一的关键在于装置能将通信板卡上以太网口接收的数据在装置内部快速可靠分流,由专门的硬件、软件模块对数据进行分别处理,从而达到 SV、GOOSE 和 MMS 共网传输的目的。

基于这一思路,文中提出一种保护装置研制思路:集中收发报文,按照装置应用功能分别处理。对于一个典型的智能变电站内应用的保护装置,其插件相关主要构成如图 2 所示。

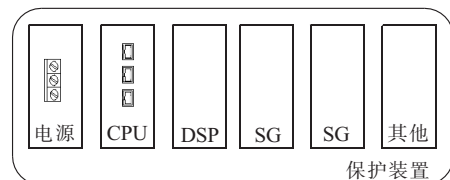


图 2 三层一网保护装置硬件配置示意图

其中,装置通过中央处理器(CPU)插件完成对网络接口功能,其从网络接收 SV、GOOSE、MMS 报文,发送 GOOSE、MMS 报文。CPU 插件提供电口和光口 2 种物理连接方式。数字信号处理器(DSP)插件完成保护逻辑运算。

CPU 板卡接收到原始的 3 种报文后,仅保留站控层的 MMS 报文进行解包处理,而对于过程层的 SV、GOOSE 报文则通过总线背板数据线,转发给 SG 插件,由 SG 插件完成数值处理功能,包括数据同步和数值重采样功能。装置内部的数据交互如图 3 所示。

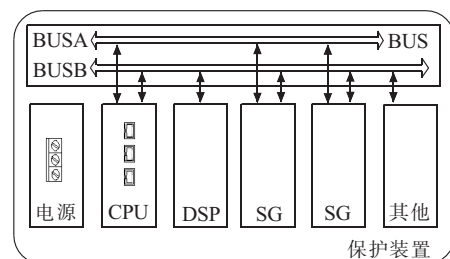


图 3 三层一网保护装置数据交互示意图

装置的总线板(BUS)插件提供 2 种高速总线 BUSA 和 BUSB。其中,BUSA 用来共享 CPU 插件接收到的 SV、GOOSE 数据,SG 插件对接收到的数据进行处理,处理完毕之后,通过 BUSB 进行共享。DSP 插件可以用来进行逻辑运算、保护逻辑处理,最终的命令也通过 BUSB 传递到 CPU 插件,再发送到图 1 中的 A、B 网中。

为了数据分流和可靠,装置内部布置了 BUSA、BUSB 2 种总线。BUSA 本质上相当于一个以太网总线,挂在其上的插件可以根据配置文件的情况,获取需要的数据进行处理;BUSB 则是装置内部的高速总线,用于装置内各个智能插件的数据交互。这样的数据总线分配方式简单可靠。

为满足三层一网情况下网络大容量数据可靠传

输,百兆以太网速不能满足实际需要,因此装置 CPU 插件的网络速率均设计为千兆网络。

2.2 技术细节及处理

根据设计思路,在硬件设计实现满足三层一网的功能支持后,装置内部通信软件的实现在以下几方面进行了特别的处理。

2.2.1 报文分流

三层一网方式的一大弊端就是网络上数据信息量太大,如果不能快速分流数据,势必造成数据存储资源的增大,保护逻辑处理的延迟,从而影响装置整体性能。根据报文的类型和接收地址的不同,实现报文的快速检测分流;CPU 插件通过以太网帧头识别出报文是否是站控层 MMS 报文后,通过其有效帧校验的留给 CPU 板卡处理,其他报文则放置到装置内部的 BUSA 总线上,这样实现了报文类型分流。

在需要配置多块 SG 插件的情况下,则将接收到的过程层数据帧解析帧头部分,通过匹配以太网帧类型、报文鉴别码(MAC)地址、APPID 等方式,识别出该报文数据是否是本板卡需要处理的数据,以此实现多 SG 插件的数据分流处理。

2.2.2 优先级控制技术

站在间隔层保护装置从接收处理角度看,优先级依次为 SV、GOOSE、MMS(SV 优先于 GOOSE 的原因在于只有保护装置有了正确的采样数据,才能连续不断的进行相关运算和处理)。故对于 SV、GOOSE、MMS,该设计由 SG 板卡内部的现场可编程门阵列(FPGA)通过并行工作的方式,保证保护逻辑使用 SV 采样、GOOSE 数据时可尽快得到。从发送角度看,保护装置需要发送 GOOSE 和 MMS 报文。对外网络发送接口均优先判断 GOOSE 的报文发送,MMS 报文发送优先级最低。FPGA 内部在发送数据包处理上是将这 2 类报文分布缓存在不同内存中,每次发送前均先判断是否有 GOOSE 报文发送,再判断是否有 MMS 报文发送;同时,为降低 MMS 报文发送过程中有发送 GOOSE 报文的可能,程序周期执行时也是 GOOSE 执行优先级高;而 61850 的 MMS 程序在执行过程中可以被 GOOSE 打断执行从而进一步保证 GOOSE 报文的优先发送。

对于不同类型的装置,优先级有所不同,对于过程层装置合并单元而言,SV 报文优先级则是最高,需保证 SV 数据发送的均匀性,而 GOOSE 报文则穿插在 SV 报文中发送。

2.2.3 网络风暴抑制技术

三层一网的组网方式在简化网络架构的同时,增大了网络的负担,网络流量比其他组网方式大,因此,装置抵抗网络风暴能力尤为重要。采用 FPGA 实现网

络风暴过滤,报文过滤分为 2 层:MAC 层和解码层。MAC 层根据报文目标地址、报文类型、报文 CRC 进行过滤;解码层通过报文帧数和报文参数进行过滤。

该装置研制完成后参与了国网的新一代智能站三网合一测试,试验过程中装置的稳定性和可靠性以及抗网络风暴能力均能达到相关要求^[6]。

3 三层一网装置的应用及体会

3.1 装置的应用

3.1.1 站域保护控制系统

站域保护特别适用于网采网跳的组网方式,这方面也有不少的研究和应用^[2,3]。文中所研制的 110 kV 站域保护控制系统基于前文所介绍的保护装置,按照国网的相关要求,配置如下功能:

(1) 冗余保护功能。按照 110 kV 变电站的一般规模,配置包括含 2 条 110 kV 线路重合闸功能的线路后备距离保护、线路后备零序方向过流保护及 110 kV 母联分段过流保护,作为单套 110 kV 保护配置的冗余保护功能。

(2) 优化后备保护功能。包括 110 kV 失灵保护、基于 GOOSE 信息的低压简易母线保护及加速主变低压侧过流保护。

(3) 安全自动控制功能。包括低周减载、低压减载、主变过负荷联切及站域备自投功能。

该保护装置继承了网采网跳组网方式的优点,实现了网络资源的共享,用最少的装置、最简的网络架构,实现了全站后备保护冗余配置和优化以及低频低压减载、过负荷联切、备自投功能的集成,提高了全站保护功能配置的可靠性和变电站运行的可靠性。试验表明,站域保护控制系统装置满足相关规范的要求。

3.1.2 110 kV 线路光纤差动保护

对于多间隔和线路纵差保护装置而言,时钟丢失时如何保证数据的同步是最大的问题。而在图 1 系统中,由于网络交换机已将报文在交换机内的驻留延时 ΔT 并写入 SV 报文发出,保护装置很容易依赖本地时间基准,利用 MU 固有延时和链路驻留总延时 ΔT 还原收到的各个间隔的采样数据的发生时刻。可以根据各个间隔的最大延时进行对齐,从而实现数据同步。

文中所研制的 110 kV 线路光纤差动保护基于前文所介绍的保护装置,在时钟丢失的情况下也依旧能够保证两侧装置同步采样,正常可靠运行。

3.2 装置开发应用过程中的体会

(1) 交换机网络风暴抑制。由于全部设备挂在交换机上,必须保证交换机的网络风暴抑制功能,条件许可要模拟网络风暴检测交换机的抗风暴性能。

(2) 双网调试。三网合一应用下,还可考虑通过双

网来提高全网设备的稳定性,保证数据的正确交换。

(3) 交换机流量控制。即便是千兆网络,也需要评估全部设备接入后交换机的流量状况,保证交换机的负载不能过重。

(4) VLAN 确认。通过 VLAN 划分,减少接收设备无效数据的接收,也减少交换机内部数据转存,提高数据的有效流动。

(5) 交换机延时标记确认。为尽可能提高保护的動作速度,对于网络上各级交换机的 SV 数据包的延时时间需要正确统计,为网采需要设定采样回退时间的保护、测控等设备提供参数。

4 结束语

随着通信技术的发展,尤其是交换机技术的发展,三层一网的组网方式成为可能。文中研制的基于三层一网要求的保护装置,在站域保护控制系统、110 kV 线路保护等多间隔保护等方面取得了应用。相关测试试验表明,装置的性能指标满足要求,在网络风暴的环境和时钟丢失的条件下,装置依然能够正常工作。随着智能变电站的发展,三层一网的组网方式由于自身的

优势也会得到推广应用,基于三层一网的保护装置也会有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 陈 磊,张侃君,夏勇军,等.智能变电站站域保护研究综述[J].华东电力,2013,41(5):0947-0952.
- [2] 杜振华,王建勇,罗奕飞,等.基于 MMS 与 GOOSE 网合一的数字化网络保护设计[J].电力系统保护与控制,2010,38(24):178-181.
- [3] 和敬涵,李 倍,刘 琳,等.基于分布式功能的站域保护[J].电力系统保护与控制,2014,42(6):26-32.
- [4] 董新洲,丁 磊.数字化集成保护与控制系统结构设计方案研究[J].电力系统保护与控制,2009,37(1):1-5.
- [5] 高东学,智全中,朱丽均.智能变电站保护配置方案研究[J].电力系统保护与控制,2012,40(1):68-71.

作者简介:

- 窦秉国(1974),男,湖南永州人,工程师,从事继电保护、智能变电站应用的相关研究工作;
- 张宏波(1975),男,吉林伊通人,高级工程师,从事嵌入式软件在电力系统内应用、智能变电站应用的相关研究工作;
- 陆征军(1973),男,江苏张家港人,高级工程师,从事继电保护、智能变电站应用的相关研究工作。

The Development of the New Protective Device Based on the Three-level-in-one-network Situation of Smart Substation

DOU Chengguo, ZHANG Hongbo, LU Zhengjun

(Shanghai SHR Electrical Power Technology Co. Ltd. Nanjing Branch, Nanjing 210012, China)

Abstract: The development of the communication technology makes it possible of integrating the sampled value (SV) network, generic object oriented substation events (GOOSE) network and manufacturing message specification (MMS) network for the bay level, the process level, and the station level (three-level-in-one-network). A new developed protective device for this integration can realize the grading and separate treatment of the network data. Meanwhile, this new device can network with the corresponding switch, which can solve the data synchronization problem under the three-level-in-one-network condition, thus the problem of the data reliability and availability of the protective device can be solved. Under the three-level-in-one-network structure, this device can meet the requirements of protection and control in the smart substation. The reliability of this new developed protective device already has been verified by relevant tests.

Key words: three-level-in-one-network; gateway; networking; point-to-point

(上接第 42 页)

Design of Security Protection for Remote Maintenance in Dispatch and Substation Integrated System

YI Qiang, WAN Shupeng, PENG Hui, ZHANG Kai

(NARI Technology Development Co. Ltd., Nanjing 211106, China)

Abstract: Security protection is a key technique of the dispatch and substation integrated system. From the point of view of security risks in dispatch and substation integrated system, taking remote maintenance as an example, a method based on double-factor login, digital certificate and right authentication for security protection has been designed. Firstly, login with a double-factor strategy makes sure its safety. Secondly, communication packet must be signed and verified. Finally, verifying user's access right in the substation. These measures enhance the system to resist risks in dispatch and substation integrated system.

Key words: dispatching and substation integration system; remote maintenance; double-factor; digital certificate; right management