



面向智能变电站通信的全光交换技术应用

张颢¹, 吴鹏², 王胜¹, 王海¹, 张泰¹, 张凌浩¹

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072;

2. 国网智能电网研究院, 江苏 南京 210003)

摘要: 网络技术的发展促进了传统变电站向智能变电站的演进, 变电站内的各传感器、保护、测控、计量等设备通过交换机完成变电站内的实时信息交互, 由于变电站内的电气设备对时延要求极为苛刻, 光—电—光转换式交换机应对突发式数据交换时难以满足要求。针对变电站通信业务的具体特点和时延要求, 提出了面向智能变电站的全光交换网络架构, 避免了传统交换机的光—电—光转换操作, 实现从保护装置到智能终端、合并单元的快速、可靠通信传输, 可作为目前要求苛刻的变电站网络的拓扑结构。

关键词: 智能变电站; 全光交换网络; 网络保护

中图分类号: TN915

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015400

All optical-switching technology in transformer substation network

ZHANG Jie¹, WU Peng², WANG Sheng¹, WANG Hai¹, ZHANG Tai¹, ZHANG Linghao¹

1. State Grid Sichuan Power Research Institute, Chengdu 610072, China

2. State Grid Smart Grid Research Institute, Nanjing 210003, China

Abstract: The development of network technology promotes the development of the traditional substation to the smart substation, where all devices can exchange the real-time information via the switch in the smart substation. In view of the strict time delay requirement of substation communication service, a full optical switching network architecture for smart substation was proposed, which avoided the operation of optical, electric and optical conversion, and realized the fast and reliable communication between the protection device and the smart terminal as well as the merging unit.

Key words: smart substation, optical-switching network, network protection

1 引言

智能站对站内通信传输进行网络化处理, 各类保护、测控、计量等装置通过站内的交换网络进行信息传递, 改

变了传统变电站内各设备之间采用电缆进行模拟传输的现状, 极大地简化了变电站内的通信拓扑结构, 实现了智能站内各设备之间的信息共享^[1]。根据 IEC61850 及变电站的实际通信需求, 智能站的站内通信流主要分为 SV 报文、

收稿日期: 2015-11-01; 修回日期: 2015-12-01

基金项目: 国家电网公司科技项目“全光交换关键技术及电网应用研究”(No.52420014001G)

Foundation Item: The Science and Technology Project of China State Grid Corporation: Optical Exchange Key Technology and Application in Smart Grid (No.52420014001G)



GOOSE 报文及 MMS 报文,SV 报文主要处理各类采样值数据,将各间隔、主变及母线的各类参数经合并单元送给保护、测控、计量等设备,数据流表现为单向、快速传输,对通信时延要求极高^[2]。变电站内的开关发生变化,其状态、位置信号及闭锁信号将通过 GOOSE 报文传递到相应装置,或者当保护装置发布的跳闸命令也由跳闸 GOOSE 报文发送到相应的智能终端,GOOSE 报文同样要求快速、准确地传输到目的地。MMS 报文主要为站控层与间隔层之间以及站控层设备之间的通信传输报文,MMS 报文对网络时延要求没有 SV 报文及 GOOSE 报文高^[3]。

由于变电站的复杂结构,站内大量的采样信息需要进行实时采样处理,要求变电站的通信网络必须可靠、稳定运行,且通信网络具有极强的处理、转发能力,对变电站的交换机处理能力有极高要求,方能满足变电站内的通信实时性要求。另一方面,随着全光交换技术的发展与成熟,人们开始考虑将全光交换技术引入变电站^[4],由于全光交换避免了交换机内部的光—电—光转换,将提升交换机的处理能力,大大缩短了交换机内的处理时间,将十分有利于变电站内的实时通信传输。同时,由于全光传输不受周围电磁环

境干扰,全光交换也解决了变电站内电传输的干扰问题^[5]。

2 面向智能站的全光交换组网方案

根据智能站的通信业务的具体特点和时延要求,全光交换网络组网方案选用“双纤双向环网”拓扑结构,由核心层、边缘层和外围终端接入层 3 部分组成,如图 1 所示。其中,核心层由 10 个核心节点组成,其中 1 个节点为主节点,其余 9 个为从节点,主节点与从节点的 1、2 号端口依次相连,组成双纤双向环网结构。核心节点根据接收到的控制信息、路由策略及全网当前状态为业务数据的传输配置正确链路。每个从节点的 3~9 号端口连接边缘节点,每个从节点使用独立的波长信道,并可在主干环网中对该波长信道的信号进行上下路功能。主节点具有对 9 个从节点使用的波长信道的波长进行转换的能力和上下路功能。边缘层由边缘节点组成,对内连接核心层的从节点,对外承接终端接入层的业务终端,实现业务数据的接入/分类、数据汇聚/装配、业务数据的调度和发送以及业务数据的接收和拆装。终端接入层中,业务终端与边缘节点相连,生产业务数据和接收来自其他终端的业务数据。

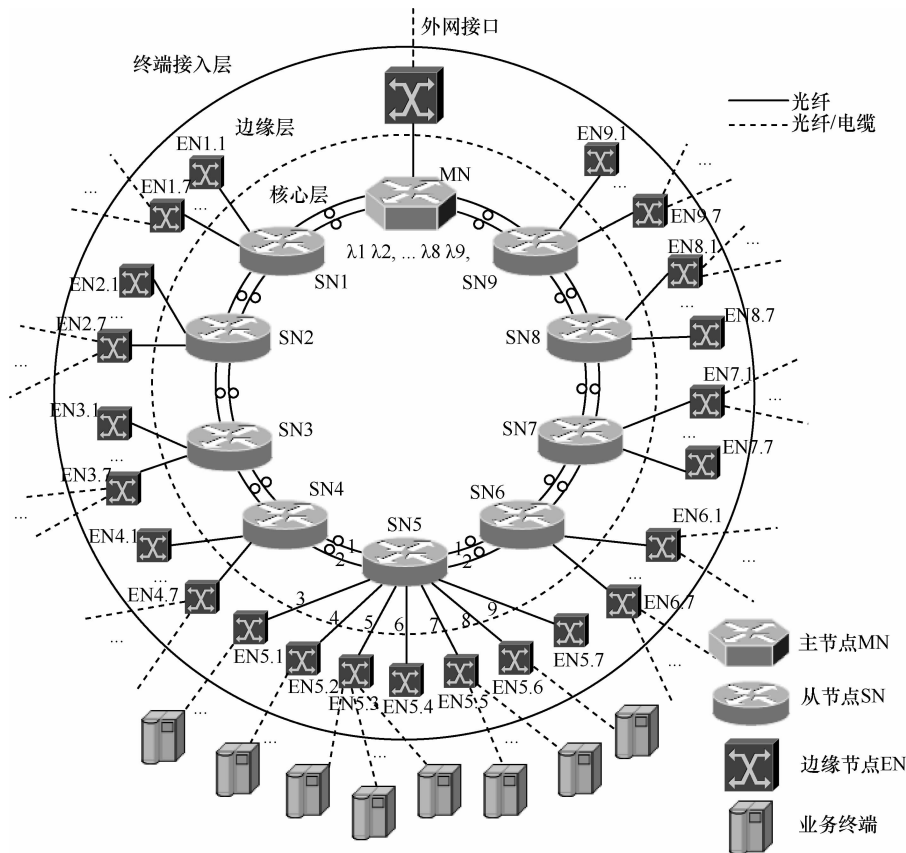


图 1 面向智能站的全光交换组网模型

在环网结构中,每个从节点分别占用一个独立的波长信道,且各从节点采用的波长均不相同,从而保证各从节点的业务在物理上的隔离。各从节点的波长信道分配包括静态配置和动态配置两种方式。静态配置方式,即系统预先为每个从节点指定一个固定的波长信道。比如,从节点 SN 1 采用波长信道 λ_1 、从节点 SN 2 采用波长信道 λ_2 、…、从节点 SN 9 采用波长信道 λ_9 。这种配置方式的好处在于系统结构和管理控制较简单,每个从节点只需要具备一个指定波长的上下路功能。动态配置方式,即系统可以根据网络实际情况动态地为每个从节点分配一个波长信道,各从节点可采用波长信道 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_9$ 中的任意一个。动态方式对系统管理和控制的要求更高,需要一定的动态波长信道分配算法。在动态配置方式中,每个从节点需要具备任意波长的上下路功能,而相应的边缘节点也需要具有波长可调谐的光收发器,这提高了系统成本和实现难度。

主节点结构由 4 个 1×2 光开关、2 个光环形器、2 个 1×9 波导阵列光栅、18 个光收发器和 1 块 FPGA 处理板组成,如图 2 所示。主节点实现对从节点使用的波长信道的波长转换和 9 个波长的信号上下路功能,使数据可以在不同从节点之间进行传输。1、2 号端口与其他节点相连构成环网。4 个 1×2 光开关和 2 个环形器实现“双纤双向”的保护功能,2 个 1×9 的 AWG 实现对 9 个波长的复用和解复用,主节点可接收来自 9 个从节点的不同波长信道的数据信号,并能通过相应的波长信道向不同的从节点发送数据。

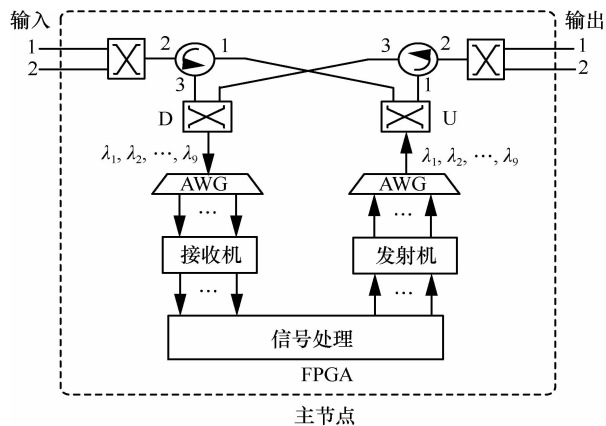


图2 核心层主节点结构示意图

从节点的结构如图3所示,由 4 个 1×2 光开关、2 个光环形器、1 个光插分复用器(OADM)和 1 个多播交换矩阵组成。图中的 1、2 号端口与其他节点相连构成环网,3~9 号端口连接业务终端,是业务数据的输入输出端口,每个从节点

最多可连接 7 个边缘节点。与主节点相同,4 个 1×2 光开关和 2 个环形器实现“双纤双向”的保护功能。OADM 实现单波长通道的上下路功能,多播交换矩阵实现从节点的多播交换功能。每个从节点占用一个独立的波长信道,从节点的波长信道分配包括静态配置和动态配置两种方式。

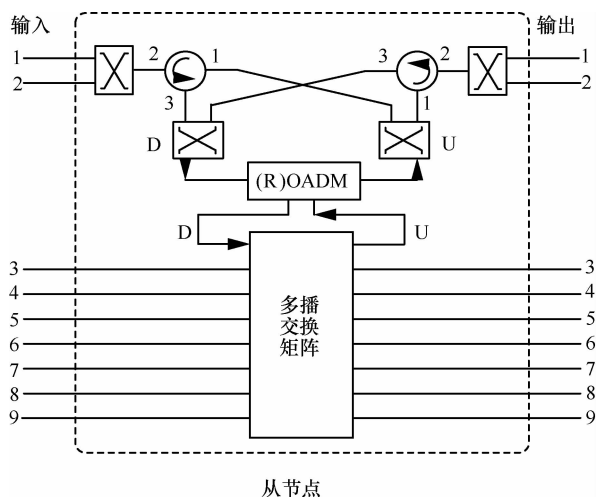


图3 核心层从节点结构示意图

边缘节点的信号处理示意如图4所示,业务终端发送的业务数据需要先进行边缘节点进行分类、汇聚。在业务数据进入核心层实现光交换之前,均需要添加相应的标签路由信息,从节点的控制平面根据相关路由信息配置光交换矩阵的交换状态。在边缘节点中,发送部分将各终端设备的业务数据首先进行业务汇聚,形成统一的业务数据格式。根据业务数据的特点,产生相应的光标签信号,光交换矩阵的控制平面完成标签中相关路由信息的识别,并控制光交换矩阵的状态。已添加标签信息的业务数据,经过一定的电域缓存控制和电光转换,形成光分组数据,进入光交换矩阵进行光交换;接收部分将从节点发送的业务数据进行电光转换至电域,经过一定的电域缓存控制和标签解析,实现业务的分类拆装,最终发送给各目标业务终端。

3 核心层数据交换与保护

3.1 从节点内部交换过程

当业务数据的源地址和目的地址在同一从节点内部时,该业务数据可通过从节点中的光交换矩阵交换到相应的输出端口,从而达到所需的终端。可以看出,该业务数据并不需要经过环网进行传输和交换。

3.2 从节点经环网数据交换过程

当业务数据的源地址和目的地址在不同的从节点内部

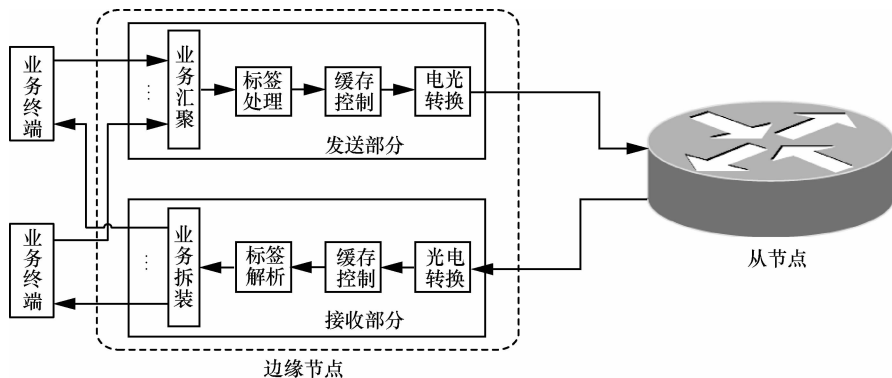


图4 边缘节点信号处理示意

时,该业务数据需要经过环网进行传输和交换。以连接从节点1的源业务终端向连接从节点6的目的业务终端发送业务数据为例,说明业务数据的传输和交换过程,参照图1。

假设源业务数据由从节点1汇聚,使用 λ_1 波长信道发送数据,经从节点1的1号端口上路至环网,数据传送到主节点并经过波分解复用器后,主节点的信号处理模块对 λ_1 波长信道的数据进行接收。经过相应的处理后,主节点使用 λ_6 波长信道转发数据并上路至环网,数据传送到从节点6时,从节点可通过OADM对 λ_6 波长信道的数据进行下路,通过从节点6处的光交换矩阵交换到相应的边缘节点,边缘节点经光电转换等步骤进行业务拆装后,将业务数据送至目标业务终端。

3.3 从节点在环网光纤故障时的数据交换过程

10个核心层节点的1、2号端口之间顺次连接构成环网,正常工作时环网中仅有1条光纤中沿同一方向传输信号,当环网的工作光纤中仅有一处发生断裂等异常情况使信号不能正常到达目标节点时,可以逆向传输信号使通信正常完成,即“双向保护”。当环网的工作光纤中有多处发生断裂等异常情况,即使逆向传输也不能正常通信时,启用备用光纤,信号从备用光纤中传输至目标业务终端,即“双纤保护”。

下面结合节点结构做具体说明。如图5所示,设1端口连接“工作光纤”,2端口连接“备用光纤”,正常情况下光信号仅从“工作光纤”中单向传输。当与OADM相连的A'、B'两个1×2光开关的切换状态分别为连接A、B环形器时,AA'连通、BB'连通,此时业务终端发出的光信号从“输出1/2端口”上路,从“输入1/2端口”下路;当A'、B'两个1×2光开关的切换状态分别为连接B、A环形器时,AB'连通、BA'连通,此时业务终端发出的光信号从“输入1/2端口”上路,从“输出1/2端口”下路。A'、B'两个1×2光开关在这两种组合状态下(AA'&BB'或AB'&BA')切

换,实现环网中信号传输方向的顺、逆时针切换,在环网中“工作光纤”仅发生1处异常时,可以使环网中信号逆向传输到达目标终端,实现“双向保护”。在网络中“工作光纤”发生多处异常情况下,连接1、2号端口的2个1×2光开关可以切换连通状态,实现光信号在“工作光纤”和“备用光纤”之间的倒换功能,实现“双纤保护”。本方案中的“双纤双向”的两重保护保证了电力业务数据的安全稳定传输。

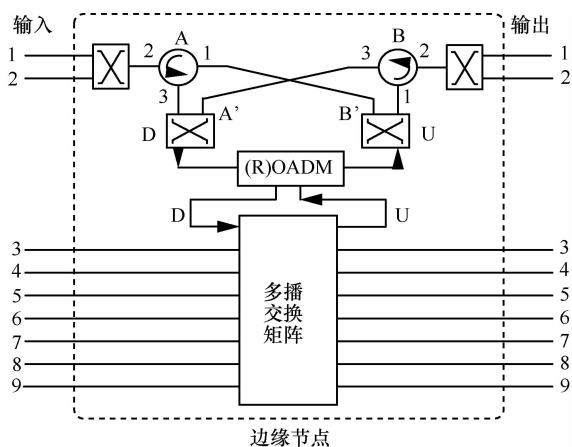


图5 “双纤双向”保护说明

4 结束语

本文提出的一种针对智能站通信业务需求的全光交换网络架构,由核心层、边缘层与终端接入层组成。核心层由环形连接的多个节点组成,该节点将根据接收到的控制信息、路由策略及变电站内的当前网络状态为业务数据配置正确路由,其中从节点使用独立的波长信道,并在主干环网中对该波长信道的信号进行上下路功能,而主节点具有对其他从节点使用的波长信道的波长转换能力和上下路功能。边缘层内接核心层的从节点,外接终端接入层的业务终端,完成终端业务数据的分类、汇聚,并生产交换需要的光标签。

参考文献:

- [1] 窦晓波. 基于 IEC61850 的新型数字化变电站通信网络的研究与实践[D]. 南京:东南大学, 2006.
- DOU X B. Research and application of communication network in new digital substation based on IEC 61850 [D]. Nanjing: Southeast University, 2006.
- [2] 毕燕冰, 蒋林, 张大海, 等. 基于实时数据分发服务的职能变电站 IEC61850 的实现方法 [J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(7): 149-155.
- BI Y B, JIANG L, ZHANG D H, et al. Mapping of IEC61850 to data distribute service for smart substation communication[J]. Proceeding of the CSEE, 2013, 33(7): 149-155.
- [3] 曹海鸥, 严国平, 徐宁, 等. 数字化变电站 GOOSE 组网方案 [J]. 电力自动化设备, 2011, 31(4): 143-150.
- CAO H O, YAN G P, XU N, et al. GOOSE networking scheme for digital substation [J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(4): 143-150.
- [4] 温峰, 洪晓斌, 伍剑, 等. 光突发交换网关键技术及发展[J]. 电信科学, 2003, 19(1): 15-19.
- WEN F, HONG X B, WU J, et al. Key technologies and development of optical burst switching [J]. Telecommunications Science, 2003, 19(1): 15-19.
- [5] 马永刚, 潘建寿, 王健. 符合 IEC61850 标准的全光交换传输环网[J]. 计算机工程, 2010, 36(5): 234-236.
- MA Y G, PAN J S, WANG J. All-optical switching transmission loop network according with IEC61850 [J]. Computer Engineering, 2010, 36(5): 234-236.

[作者简介]



张颀(1982-),男,国网四川省电力公司电力科学研究院工程师,主要研究方向为电力通信及网络优化。



吴鹏(1984-),男,国网智能电网研究院工程师,主要研究方向为电力系统通信。



王胜(1987-),男,国网四川省电力公司电力科学研究院工程师,主要研究方向为网络信息安全、Web 渗透攻击技术。



王海(1983-),男,国网四川省电力公司电力科学研究院工程师,主要研究方向为光纤通信。



张泰(1982-),男,博士,国网四川省电力公司电力科学研究院工程师,主要研究方向为电力通信工程、网络分析优化。



张凌浩(1985-),男,博士,国网四川省电力公司电力科学研究院工程师,主要研究方向为电力信息技术。