智能变电站过程层组网改进方案

李 辉,刘海峰,赵永生,李振文,陈 宏
(国网湖南省电力公司电力科学研究院,湖南 长沙 410007)

摘要:提出了一种智能变电站过程层组网改进方案。在利用虚拟局域网(VLAN)技术实现网络报文精确控制、确保网络传输性能的同时,参照站内总的网络数据流量和网络记录分析仪以及故障录波装置单光口推荐的接收容量,将经单光口发送至网络记录分析仪以及故障录波装置的数据,借助VLAN技术分为几个光口分别进行传输,有效解决了当智能变电站网络传输流量较大,特别是网络传输流量超出网络记录分析仪以及故障录波装置的百兆以太网光口容量时的数据可靠接收问题。与现有解决方案相比,所提改进方案充分发挥了智能变电站站内信息共享的优势,有效避免了投资成本的大幅增加及直连光纤和光接收模块的大量消耗,并已广泛应用于湖南电网。

关键词:智能变电站;虚拟局域网;过程层;组网;数据传输
中图分类号:TM 73;TM 76 **文献标识码**:A DOI:10.16081/j.issn.1006-6047.2017.03.034

0 引言

随着技术的不断成熟,智能变电站中越来越多地采取将过程层SV网和GOOSE网合二为一,SV与GOOSE组播报文共网传输的方式[1-2]。

考虑到SV组播报文数据量大、占用网络带宽资源多以及GOOSE组播报文数据量小、实时性要求高的特点,在智能变电站过程层网络中需要对数据流进行分类导向及流量控制,以满足智能变电站对信息实时性和高效性的要求。支持IEEE 802.1Q的虚拟局域网(VLAN)技术[3-4]可实现智能变电站网络报文的精确控制,使整个站内过程层网络交换机的每个端口都只发送必要的组播报文,同时与交换机端口相连的终端设备也只接收其所需的组播报文,有效解决了传统共享式组播传输方式造成的网络冲突加剧、智能终端设备组播误收增加的问题,在智能变电站过程层组网方案中得到了广泛应用。但对于采用网络采样的网络记录分析仪以及故障录波装置而言[5-6],其需要接收过程层网络上传输的所有SV和GOOSE组播报文。当智能变电站规模较大时,将导致站内过程层网络上传输的数据流量激增,有时甚至会接近或超出网络交换机、网络记录分析仪以及故障录波装置的百兆以太网光口容量,使得网络传输的载波冲突、延迟抖动加剧,甚至出现丢包现象,严重影响了变电站自动化系统的安全性与稳定性。目前,已有学者针对此问题展开了相关研究。文献[7]提出通过将百兆以太网交换机更换为千兆以太网交换机来降低网络交换机的负载率,提高实时性和可靠性,但是这将导致投资成本大幅上升。此外,当采用此种方案时,与网络交换机接口的大量智能终端设备的相应光接口也须升级更换为千兆光口,这也将导致投资成本大幅增加。文献[8-9]借助VLAN技术,提出了根据系统一次接线形式及继电保护配置特点或者按电压等级来合理规划继电保护GOOSE网络,简化了VLAN配置,有效提高了工作效率。但是此种方案只适用于GOOSE网络配置,对于SV和GOOSE共网传输的方式并不适用。文献[10-11]提出了SV和GOOSE共网传输方式下的过程层网络VLAN划分方案,有效缓解了GOOSE、SV合并组网所带来的大量网络负荷,但均未提出当智能变电站规模较大,导致站内过程层网络上传输的数据接近或超出网络交换机、网络记录分析仪以及故障录波装置的百兆以太网光口容量时的解决方案。另外一种做法是将站内数据流量较大的SV报文信息以直连方式送至网络记录分析仪或故障录波装置。但此种方式将导致站内直连光纤数量及光接收模块的大量消耗,在增加成本的同时,使站内系统架构复杂化,丧失智能变电站信息共享的优势。

本文在介绍智能变电站过程层网络的组网方式、VLAN帧格式和传输规则及分析过程层网络流量的基础上,提出了一种当智能变电站网络传输流量较大,特别是网络传输流量接近或超出网络记录分析仪以及故障录波装置的百兆以太网光口容量时的过程层组网方法;最后结合湖南某220 kV智能变电站验证了所提方法的正确性和有效性。

收稿日期:2016-03-10;**修回日期**:2017-01-10
基金项目:国网湖南省电力公司科技项目(5216A5140026)
Project supported by the Science and Technology Project of State Grid Hunan Electric Power Company(5216A5140026)
发明专利:基于虚拟局域网技术的智能变电站过程层网络配置方法(ZL201310292682.3)
实用新型专利:一种智能变电站故障录波系统(ZL20132041-4107.1);一种智能变电站网络报文记录分析仪系统(ZL2013-20414088.2)

1　智能变电站过程层组网方式

如图 1 所示,智能变电站过程层作为智能变电站 3 层结构的最底层[2],涉及变电站一次设备的数据传输和设备的实时控制,如数据采集和保护跳闸等,过程层网络结构设计的合理性在很大程度上决定了变电站全站运行的稳定性和可靠性,意义重大[12]。

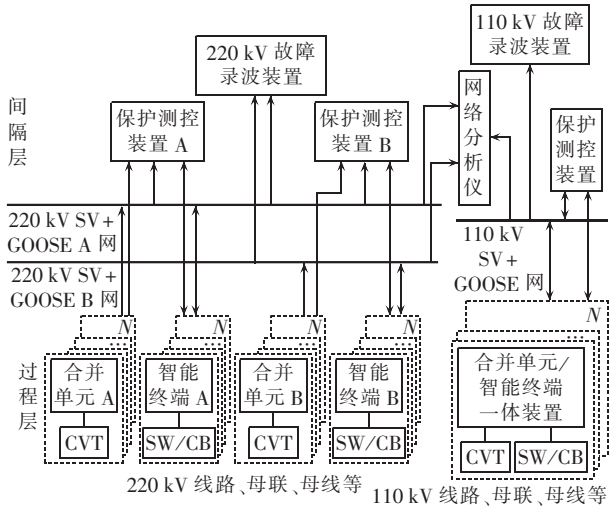


图 1 智能变电站过程层组网结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of process-level networking for smart substation

2　VALN 帧格式及传输规则

VLAN 是一种将局域网设备从逻辑上划分成一个个网段(更小的局域网),从而实现虚拟工作组数据交换的技术。由 VLAN 的特点可知,一个 VLAN 内部的广播和单播流量都不会转发到其他 VLAN 中,从而有助于控制流量、减少设备投资、简化网络管理、提高网络的安全性。

为了实现不同厂商设备间的互操作性,IEEE 于 1999 年颁布了用于标准化 VLAN 实现方案的 802.1Q 协议标准草案,用于解决跨交换机的 VLAN 问题。该标准定义了同一 VLAN 跨交换机通信桥接的规则以及正确标识 VLAN 的帧格式。

2.1　VLAN 帧格式

如图 2 所示,与普通以太网帧相比,IEEE 802.1Q 定义的 VLAN 帧格式中,新增了 4 Byte 的标识首部,即 TAG 字段。TAG 中包含了 2 Byte 的标签协议标识(TPID)和 2 Byte 的标签控制信息(TCI)。TPID 是 IEEE 定义的新的类型,表明这是一个加了 802.1Q 标签的帧。TPID 包含了一个固定的值 0×8100;TCI 则包含了用户优先级(User Priority)、规范格式标记(CFI)及虚拟局域网标识(VALN ID)。

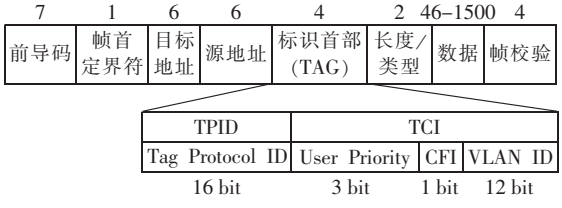


图 2 IEEE 802.1Q 定义的 VALN 帧格式

Fig.2 VLAN frame defined in IEEE 802.1Q

在一个交换网络环境中,以太网帧有 2 种格式:带 VLAN 标志和不带 VLAN 标志的数据帧。带 VLAN 标志的数据帧是指带 802.1Q VLAN 标志(VID)的数据帧;不带 VLAN 标志的数据帧是指不带有 VLAN 标志,或只带有 802.1P 优先级标志且 VID 为 0 的数据帧,也称为优先级标志数据帧。

2.2　VLAN 传输规则

a. 交换机的每个端口均可以被设置为 EDGE 或者 TRUNK 类型。EDGE 类型端口连接单个设备,只能接收同一 VLAN 内的数据;TRUNK 类型端口则可跨不同 VLAN 接收数据。交换机能够将从一个 TRUNK 类型端口接收的数据帧转发到另一个 TRUNK 类型端口。

b. VLAN 传入规则。无论是 EDGE 类型端口或者是 TRUNK 类型端口,当接收到一帧数据后,首先判断其是否为带有 VLAN 标志的数据帧,若该帧为带有 VLAN 标志的数据帧,则不改变数据帧结构,直接传入交换机;若该帧不带有 VLAN 标志,或只带有 802.1P 标志且 VID 为 0,则添加端口的 VID 信息(PVID)后传入交换机。

c. VLAN 传出规则。EDGE 类型端口只传出带有与传出端口相同 VID 信息的数据帧,其余数据帧一律丢弃;TRUNK 类型端口则只要该端口没有被列为目标 VLAN 的禁用端口,均将数据帧依原格式传出[10]。

3　过程层网络流量分析

通常过程层数据报文在传输过程中会在每帧报文前加上 64 bit 的前导符,在帧与帧之间会有 96 bit 的帧间隙。对于 SV 报文,按照 80 点/周期采样值计算,每个 SV 报文最长 254 Byte,每 250 μs 发送一次,数据流量 $S=(64+254\times8+96)\times50\times80\times10^{-6}=8.768$ (Mbit/s)。每台合并单元发送的 SV 报文数据流量为稳定的 8.768 Mbit/s。全站共有合并单元 N 台,正常运行时流量为 $8.768N$ Mbit/s。

对于 GOOSE 报文,每个 GOOSE 报文最大长度约为 500 Byte,按平均 5 s 发送一次计算,假设站内共有 500 路 GOOSE 报文,全站正常的 GOOSE 网络流量也仅为 $(64+500\times8/5+96)\times500\times10^{-6}=0.48$ (Mbit/s)。因此,相比 SV 报文,GOOSE 报文产生的网络流量几乎可以忽略。

由前述计算可知:智能变电站过程层网络负载主要由 SV 报文产生,当百兆光口交换机的单光口传

输的SV报文个数等于或大于11个时,其将接近或超过其单光口的吞吐量,使得网络传输载波冲突、延迟抖动加剧,甚至出现丢包现象。

4 改进的过程层组网方法

本文提出的一种当智能变电站网络传输流量较大,特别是网络传输流量接近或超出网络记录分析仪及故障录波装置的百兆以太网光口容量时的过程层组网方法的具体实现步骤方法如下。

a. 确定各过程层交换机的组网结构及每个过程层交换机端口所接的智能电子设备(IED)。

b. 确定每个IED所发送的报文类型,即确定该IED是发送SV报文还是发送GOOSE报文或者发送2种类型的报文。

c. 确定过程层发送SV报文的IED数量,基于此,确定网络记录分析仪及故障录波装置接入过程层网络的百兆光口数目。根据厂家推荐,每个百兆光口只宜接收4~5个SV报文。

d. 确定各IED之间的数据流向。

e. 将每个发送SV报文的IED所接过程层交换机端口及与该IED同处一个间隔的所有发送GOOSE报文的IED所接过程层交换机的端口单独划分为一个VLAN,并分配一个独立的VLAN标识,同时将端口类型设置为TRUNK类型。

f. 将网络记录分析仪及故障录波装置所接过程层交换机端口的VID设置为1,同时将端口类型设置为TRUNK类型。

g. 将其他剩余的独立发送GOOSE报文的IED所接过程层网络交换机的端口独立划分为一个VLAN,并分配一个独立的VID,同时将端口类型设置为TRUNK类型。

h. 将所有过程层交换机的级联端口的VID设置为1,同时将相关端口的端口类型设置为TRUNK类型。

i. 将过程层交换机所有备用端口的VID设置为1,同时将端口类型设置为EDGE类型。

j. 根据各IED之间的数据流向,在各过程层交换机上设置各端口需要接收的VID,从而完成过程层网络的VLAN配置。

5 工程算例

图3给出了湖南某220 kV变电站交换机组网

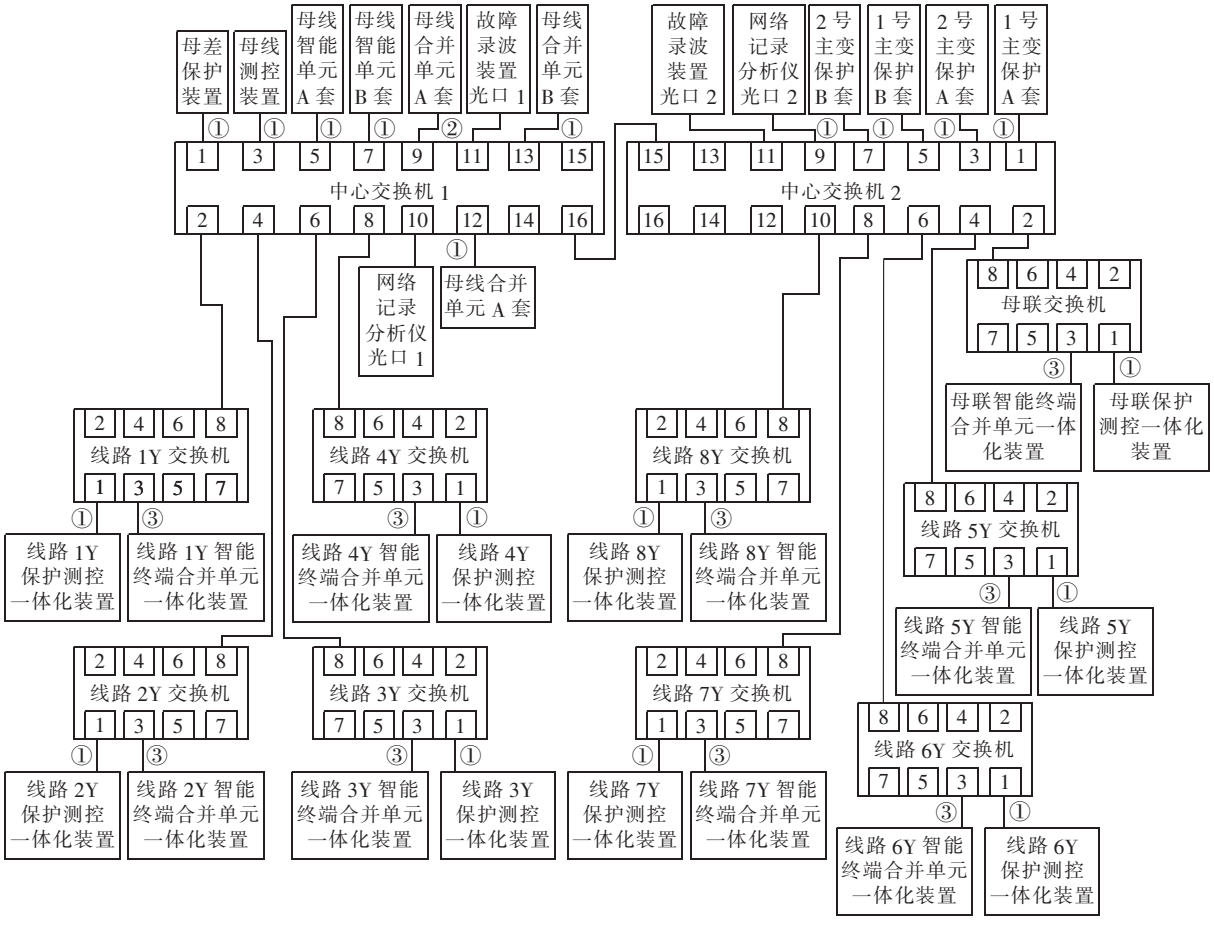


图3 交换机组网结构及IED接入端口连接示意图

Fig.3 Schematic diagram of switch networking and IED input port connection

结构及 IED 接入端口连接示意图。该过程层网络所接 IED 中共有 10 个 IED 发送 SV 报文,分别为线路 1Y—8Y 智能终端合并单元一体化装置、母联智能终端合并单元一体化装置以及母线合并单元 A 套。

以图 3 中线路 1Y 交换机为例,基于本文所提改进方法的 VLAN 具体划分实现如下。对于线路 1Y 交换机,其交换机端口、端口 VID、端口类型、连接设备和接收 VID 如表 1 所示。线路 1Y 交换机 1 号端口与线路 1Y 保护测控一体化装置相连,3 号端口与线路 1Y 智能终端合并单元一体化装置相连,8 号端口与中心交换机 1 级联。图 3 中线路 1Y 交换机 1 号端口与线路 1Y 保护测控一体化装置连线之间标注为 GOOSE,表示该 IED 发送 GOOSE 报文至线路 1Y 交换机;线路 1Y 交换机 3 号端口与线路 1Y 智能终端合并单元一体化装置之间连线之间标注为 SV+GOOSE,表示该 IED 发送 SV 和 GOOSE 报文至线路 1Y 交换机。

表 1 线路 1Y 交换机的相关信息

Table 1 Relative information of switch for line-1Y

交换机端口	端口 VID	端口类型	连接设备	接收 VID
1	137	TRUNK	线路 1Y 保护测控一体化装置	130,137
2	1	EDGE	备用	—
3	137	TRUNK	线路 1Y 智能终端合并单元一体化装置	130,137
4	1	EDGE	备用	—
5	1	EDGE	备用	—
6	1	EDGE	备用	—
7	1	EDGE	备用	—
8	1	TRUNK	与中心交换机 1 级联	130,137

与线路 1Y 间隔相关的数据流向如下:中心交换机 1 的 1 号端口所接的母差保护装置将向线路 1Y 智能终端合并单元一体化装置发送 GOOSE 跳闸报文(VID 为 130),同时还将向线路 1Y 保护测控一体化装置发送闭锁重合闸 GOOSE 报文(VID 为 130);对于线路 1Y 间隔,其间隔内的保护测控一体化装置将向其间隔内的智能终端合并单元一体化装置发送含有保护跳闸及控制信息的 GOOSE 报文(VID 为 137),同时,智能终端合并单元一体化装置也将包含电压、电流信息的 SV 报文和开关、刀闸位置等信息的 GOOSE 报文发送给间隔内的保护测控一体化装置(VID 为 137);线路 1Y 智能终端合并单元一体化装置及线路 1Y 保护测控一体化装置的所有 SV、GOOSE 信息还将通过级联口送至与中心交换机 1 相连的网络记录分析仪及故障录波装置。可以看出,端口 VID 为 130 及 137 的报文只需在 1、3、8 号端口中传输。

如第 2 节所述,表 1 中交换机端口类型设置为 TRUNK 类型表示该端口在未配置禁止端口时,可以接收其他所有端口的报文;端口类型设置为 EDGE 类型表示该端口只传输属于该 VLAN ID 的报文。因此,如表 2 所示,通过在禁止端口设置某 VLAN ID 的报文禁止传输的端口就可实现阻止该报文在此端口传输的目的。

表 2 线路 1Y 交换机的 VLAN 配置

Table 2 VLAN configuration of switch for line-1Y

VID	禁止端口	VID	禁止端口
1	—	137	2,4—7
130	2,4—7		

参照网络记录分析仪及故障录波装置的每个百兆光口只接收 4~5 个 SV 报文的原则,确定网络记录分析仪及故障录波装置接入过程层网络的百兆光口数目为 2,分别为中心交换机 1 中 10 号端口所接网络记录分析仪光口 1、11 号端口所接故障录波装置光口 1 以及中心交换机 2 中 9 号端口所接网络记录分析仪光口 2、11 号端口所接故障录波装置光口 2。

中心交换机 1 上所接网络记录分析仪光口 1 及故障录波装置光口 1 将接收中心交换机 1 上所有的 SV 和 GOOSE 网络报文;中心交换机 2 上所接网络记录分析仪光口 2 及故障录波装置光口 2 将接收中心交换机 2 上所有的 SV 和 GOOSE 网络报文。对于中心交换机 1,其交换机端口、端口 VID、端口类型、连接设备和接收 VID 如表 3 所示,对应的中心交换机 1 的 VLAN 配置如表 4 所示。

中心交换机 2 及其他间隔交换机配置与中心交

表 3 中心交换机 1 的信息

Table 3 Relative information of central switch-1

交换机端口	端口 VID	端口类型	连接设备	接收 VID
1	130	TRUNK	母差保护装置	130
2	1	TRUNK	与线路 1Y 交换机级联	130,137
3	131	TRUNK	母线测控装置	131,132
4	1	TRUNK	与线路 2Y 交换机级联	130,138
5	131	TRUNK	母线智能单元 A 套	131
6	1	TRUNK	与线路 3Y 交换机级联	130,139
7	131	TRUNK	母线智能单元 B 套	131
8	1	TRUNK	与线路 4Y 交换机级联	130,140
9	132	TRUNK	母线合并单元 A 套 SV 口	132
10	1	TRUNK	网络记录分析仪光口 1	130,131,132,137,138,139,140
11	1	TRUNK	故障录波装置光口 1	130,131,132,137,138,139,140
12	132	TRUNK	母线合并单元 A 套 GOOSE 口	132
13	132	TRUNK	母线合并单元 B 套 GOOSE 口	132
14	1	EDGE	备用	—
15	1	EDGE	备用	—
16	1	TRUNK	与中心交换机 2 级联	130

表4 中心交换机1的VLAN配置

Table 4 VLAN configuration of central switch-1

VID	禁止端口	VID	禁止端口
1	—	137	1,3—9,12—16
130	3,5,7,9,12—15	138	1—3,5—9,12—16
131	1,2,4,6,8,9,12—16	139	1—5,7—9,12—16
132	1,2,4—8,14—16	140	1—7,9,12—16

换机1及线路1Y交换机类似。

表5给出了采用本文方法后的现场实际故障录波装置接收端口所接收的中心交换机1、2的实时数据流量和平均数据流量。表6给出了经中心交换机1、2至故障录波装置的合并单元发送的SV报文数据流量统计。

表5 中心交换机1、2的实时数据流量和平均数据流量

Table 5 Real-time data traffic and average data traffic of central switch-1 and central switch-2

装置	实时数据流量		平均数据流量	
	数值/(Byte·s^{-1})	占端口容量比例/%	数值/(Byte·s^{-1})	占端口容量比例/%
中心交换机1	5456785	43.65	5468827	43.75
中心交换机2	5381840	43.05	5397004	43.18

表6 SV报文数据流量

Table 6 Data traffic of SV messages

装置	实时数据流量/(Byte·s^{-1})	平均数据流量/(Byte·s^{-1})
线路1Y智能终端合并单元一体化装置	1075462	1078694
线路2Y智能终端合并单元一体化装置	1075462	1078694
线路3Y智能终端合并单元一体化装置	1075462	1078694
线路4Y智能终端合并单元一体化装置	1075462	1078694
线路5Y智能终端合并单元一体化装置	1075462	1078694
线路6Y智能终端合并单元一体化装置	1075462	1078694
线路7Y智能终端合并单元一体化装置	1075731	1078694
线路8Y智能终端合并单元一体化装置	1075462	1078695
母线合并单元A套	1147713	1150876
母联智能终端合并单元一体化装置	1075462	1078694

由表5、6可知,每个合并单元发送的SV报文数据流量约为1 MByte/s,与前文计算的8.768 Mbit/s相当;采用本文所提方法,10个合并单元发送的SV报文通过中心交换机1、2的2个端口送至故障录波装置的百兆接收光口,每个光口的数据流量约为端口容量的40%,维持在一个较为合理的范围,有效保证了报文的可靠接收。

6 结论

湖南电网大量现场应用结果表明:本文所提方法在利用VLAN技术实现网络报文精确控制、确保网络传输性能的同时,参照发送SV报文的IED数量及借助VLAN技术,将原本经单光口发送至网络记录分析仪及故障录波装置的大量SV报文,分为几个光口分别进行传输,有效解决了当智能变电站网络传输流量较大,特别是网络传输流量超出故障录波装置以及网络记录分析仪的百兆以太网光口容量时的数据可靠接收问题。与现有解决方法相比,所提方法充分发挥了智能变电站站内信息共享的优势,有效避免了投资成本的大幅增加及直连光纤和光接收模块的大量消耗。

目前,新一代智能变电站建设正在如火如荼地开展,层次化保护控制系统作为新一代智能变电站的核心技术,旨在基于跨间隔、跨变电站信息实现最优保护控制策略,其中,信息共享和高可靠的通信网络方案是其重要支撑技术。本文所提大容量数据的有效接收方法对于新一代智能变电站层次化保护的组网实现也具有一定的借鉴意义。

参考文献:

[1] 国家电网公司. 110(66)kV~220kV智能变电站设计规范:Q/GDW 393—2009[S]. 北京:国家电网公司,2009.

[2] 樊陈,倪益民,窦仁辉,等. 智能变电站过程层组网方案分析[J]. 电力系统自动化,2011,35(18):67-71.
FAN Chen,NI Yimin,DOU Renhui,et al. Analysis of network scheme for process layer in smart substations[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(18):67-71.

[3] 刘晓胜,海天翔,郑检,等. 基于虚拟局域网的智能变电站热备份通信[J]. 电力自动化设备,2015,35(7):132-139.
LIU Xiaosheng,HAI Tianxiang,ZHENG Jian,et al. Hot-standby communication of VLAN-based smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(7):132-139.

[4] 邹俊雄,黄成巧,张延旭,等. 智能变电站通信网络虚拟局域网建模与优化配置方法[J]. 电力自动化设备,2015,35(8):137-142.
ZOU Junxiong,HUANG Chengqiao,ZHANG Yanxu,et al. Modelling and optimization of VLAN for smart substation communication network[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(8):137-142.

[5] 付国新,戴超金. 智能变电站网络分析与故障录波一体化设计与实现[J]. 电力自动化设备,2013,33(5):163-167.
FU Guoxin,DAI Chaojin. Integrated design and implementation of network analysis and fault recording for intelligent substation[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(5):163-167.

[6] 常风然,萧彦,张洪,等. 智能变电站录波方案的探索与实践[J]. 电力自动化设备,2011,31(1):109-112.
CHANG Fengran,XIAO Yan,ZHANG Hong,et al. Research and practice of wave recording scheme for smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(1):109-112.

[7] 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):55-59.
WANG Wenlong,LIU Minghui. Research on the shared-network of SMV and GOOSE in smart substation[J]. Proceedings of the

CSEE,2011,31(Supplement):55-59.
[8] 王松,陆承宇. 数字化变电站继电保护的 GOOSE 网络方案[J]. 电力系统自动化,2009,33(3):51-54,103.
WANG Song,LU Chengyu. A GOOSE network scheme for relay protection in digitized substations[J]. Automation of Electric Power Systems,2009,33(3):51-54,103.
[9] 徐科,宋国旺,康宁,等. 基于电压等级划分 VLAN 的 GOOSE 网络配置方法:200910069844.0[P]. 2010-04-07.
[10] 丁腾波,林亚男,赵萌. 智能变电站虚拟局域网逻辑结构划分方案的研究[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(1):115-119,155.
DING Tengbo,LIN Yanan,ZHAO Meng. Research of the virtual local area network in smart substation[J]. Power System Protection and Control,2012,40(1):115-119,155.
[11] 丁津津,高博,刘宁宁,等. 智能变电站网络结构分析与 VLAN 划分方式探讨[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2013,36(3):287-291.
DING Jinjin,GAO Bo,LIU Ningning,et al. Research on network structure and VLAN division plan for smart substation[J]. Journal of Hefei University of Technology(Natural Science),2013,36(3):287-291.
[12] 王海柱,蔡泽祥,张延旭,等. 提升智能变电站信息流实时性和可靠性的定质交换技术[J]. 电力自动化设备,2014,34(5):156-162,168.
WANG Haizhu,CAI Zexiang,ZHANG Yanxu,et al. Custom switching technology to improve reliability and real-time performance of information flow in smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(5):156-162,168.

作者简介:


李　辉

李　辉(1983—),男,山东泰安人,高级工程师,博士,主要研究方向为高压直流输电、电力系统继电保护及自动化技术(**E-mail**:lihui4219@sina.com);

刘海峰(1980—),男,山东莱州人,高级工程师,硕士,主要研究方向为电力系统继电保护及自动化技术、电力系统工程技术管理(**E-mail**:lhfseawind@163.com)。

Improved process-level networking scheme of smart substation

LI Hui,LIU Haifeng,ZHAO Yongsheng,LI Zhenwen,CHEN Hong
(State Grid Hunan Electric Power Corporation Research Institute,Changsha 410007,China)

Abstract: An improved process-level networking scheme of smart substation is proposed. The virtual local area network technology is used not only to realize the precise control of network messages and ensure the transmission performance of process-level network,but also to transfer the data to the network recording analyzers and fault-wave recorders via several optical interfaces according to the total network data traffic and the data reception capacity recommended for single optical interface of these recording devices,which effectively realizes the reliable data reception of these recording devices when the network traffic of smart substation is larger,especially when the network traffic is bigger than the reception capacity of 100 M Ethernet optical interface. Compared with the existing solutions,the proposed scheme fully takes advantage of information sharing in smart substation to effectively avoid the large investment increase and the large consumption of directly-connected fibers and optical receiving modules,which has been widely applied in Hunan power grid.

Key words: smart substation; virtual local area network; process level; networking; data transmission

(上接第 210 页 continued from page 210)

Review and prospect of power system digital hybrid simulation technology

YANG Yang[1],XIAO Xiangning[1],WANG Hao[2],LIU Xuezhong[3],WU Lei[4]
(1. State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources,North China Electric Power University,Beijing 102206,China;2. China Electric Power Research Institute,Beijing 100192,China;
3. State Grid Beijing Shunyi Power Supply Company,Beijing 101300,China;
4. Power Research Institute of State Grid Tianjin Power Supply Company,Tianjin 300000,China)

Abstract: The developmental history and current situation of hybrid simulation technology are discussed and the existing domestic and foreign hybrid simulation platforms are comprehensively and technically summarized and compared,based on which,the interfacing technology of hybrid simulation is discussed in four aspects:equivalent model,phasor extraction algorithm,interfacing location selection and interaction sequence. The connotation,schemes and main problems of each aspect are introduced. Combined with the development of smart grid and the generation-grid-load interaction mode,it is proposed to connect the system at electromagnetic side with the simulation platform of information system via interaction interfaces to form an information-electromagnetic-electromechanical hybrid simulation system,which provides a possible direction for the further development of hybrid simulation technology.

Key words: electric power systems; electromechanical transient; electromagnetic transient; hybrid simulation; interface technology; equivalent models; phasor extraction; interaction sequence; electric power-information system