

数字化变电站 GOOSE 组网方案

曹海欧¹, 严国平¹, 徐 宁¹, 李 澄²

(1. 江苏省电力公司 调度通信中心, 江苏 南京 210024;

2. 江苏方天电力技术有限公司, 江苏 南京 210036)

摘要: 分析了 IEC61850 标准中保证面向通用对象的变电站事件(GOOSE)服务具备实时应用特征的相关协议规范。数字化变电站内部主要通信报文为基于客户/服务器模式的 MMS 报文、GOOSE 报文和采样报文。讨论了主要通信报文的应用特点;基于 GOOSE 网络通信的安全性、可靠性、实时性,讨论了在数字化变电站发展过程中,从独立组网至全站共网的各种组网方式以及装置单环网、星形网等网络结构在 GOOSE 组网应用中的优缺点,分析了 VLAN 技术、报文优先级、链路聚合等网络技术在 GOOSE 组网过程中的应用。最后结合具体实例对 GOOSE 组网方式、组网结构以及交换机的配置进行分析研究。

关键词: IEC61850; GOOSE; 数字化变电站; 交换机; 网络技术

中图分类号: TM63; TP393

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2011)04-0143-04

随着光电互感器、智能断路器、网络通信技术的发展以及 IEC61850 标准的发布,各电网公司分别开始建设数字化示范变电站。面向通用对象的变电站事件 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event)作为 IEC61850 标准中的重要部分,基于 GOOSE 网络通信代替传统的硬接线模式实现开关位置、闭锁信号以及跳闸命令等实时信息的可靠传输。其在过程层应用的可靠性、实时性、安全性能否满足继电保护的要求主要依赖于各智能设备的通信处理能力以及 GOOSE 网络的组网方案^[1-2]。本文根据 GOOSE 协议的特点及应用背景,讨论了数字化变电站 GOOSE 组网方式以及网络结构,分析了 GOOSE 组网中应用的一些关键网络技术,并结合工程实例讨论了 GOOSE 网络的组网方案。

1 GOOSE 介绍

IEC61850 借鉴公共设施通信体系(UCA)的通用变电站状态事件 GSSE(Generic Substation State Event)引入了 GOOSE。在数字化变电站中,GOOSE 是一种实时应用,为保证 GOOSE 的可靠性及实时性,IEC61850 规定 GOOSE 通信协议栈如图 1 所示^[3-4]。

a. 基于 4 层通信协议栈。 GOOSE 协议栈只用了国际标准化组织开放系统互联(ISO/OSI)中的 4 层,其目的是提高可靠性和降低传输延时。

b. IEEE802.1Q 的应

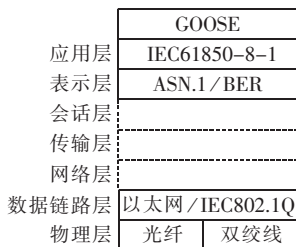


图 1 GOOSE 通信协议栈
Fig.1 GOOSE protocol stack

用。在数据链路层,GOOSE 采用 IEEE802.1Q、IEEE 802.1P 协议,保证 GOOSE 报文的优先传送并提高了 GOOSE 网络的安全性。

c. 基于 P2P 通信方式。 GOOSE 服务是以高速 P2P(Peer-to-Peer)通信为基础的,P2P 体系结构消除了主/从方式和非网络化的串行连接方案存在的缺陷,网络化的连接同时也降低了设备的维护成本。

d. GOOSE 应用层协议中包含数据有效性检查和 GOOSE 消息的丢失、检查、重发机制,以保证接收智能装置(IED)能够收到消息并执行预期的操作。

e. 传输介质基于光纤以太网或双绞线,通信速率达到 10 M、100 M、100000 M。应用在过程层 GOOSE 网络中,建议采用光纤传输来提高抗干扰能力。

2 GOOSE 组网方式

2.1 数字化变电站报文

按照 IEC61850 标准的描述,数字化变电站分为 3 层:站控层、间隔层和过程层。各层次内部以及层次之间采用高速通信网络,通信报文主要分为 3 类^[2,5-6]。

a. 基于客户/服务器模式的制造报文规范 MMS (Manufacturing Message Specification)报文。 该类报文主要为站控层设备与间隔层设备之间以及站控层设备之间的通信报文,基于 IEC61850-8-1 标准,通信模型利用 ISO 的所有 7 层协议,这类报文所传输信息的实时性要求相对于过程层与间隔层之间的信息以及间隔层之间的信息要低。

b. GOOSE 报文。 GOOSE 报文传送的数据信息主要包括间隔层之间的闭锁信号,间隔层与过程层之间的位置信号、状态信号以及控制信号。该类型的信息对实时性及可靠性要求较高。正常状态下,

报文长度较短,网络负载较小,在故障状态下特别是母线故障时,报文的信息量短时比较密集。

c. 采样报文。该类型报文传输的信息为过程层至间隔层的采样数据,单向传输,报文协议基于 IEC61850-9-1(点对点模式)、IEC61850-9-2 协议(组网方式)。这类报文特点:实时性要求高;报文长度固定;网络负载量固定不变,并由采样频率确定。

2.2 GOOSE 组网方式

在数字化变电站发展过程中,随着网络技术的发展,GOOSE 网络的组网方式分 3 个阶段逐渐改进。

a. GOOSE 独立组网。基于 GOOSE 传送的信息对实时性以及可靠性的要求,GOOSE 网络采用独立组网,IED 装置具备独立的 GOOSE 通信口。独立组网优点在于:避免了与不同优先级数据的同网传输,保证了数据传输的可靠性;数字化变电站内部网络之间基于物理隔离,某一网络故障不会影响到另一网络的运行,提高了数字化变电站的安全性。

b. GOOSE 与站控层共用网络方式。这种组网方式的前提是支持 IEEE802.1P 协议交换机的应用。在正常状态还是故障状态时,基于 MMS 的站控层报文占用的带宽远大于 GOOSE 报文所占带宽,支持 IEEE802.1P 协议的交换机保证网络上 GOOSE 报文的优先传送。

c. 数字化变电站内共用网络方式。随着网络通信技术的发展,采样报文基于 IEC61850-9-2 标准,过程层网络与变电站层网络合并是数字化变电站组网方式发展的目标。这种组网方式的优点在于:间隔层智能设备仅需一个通信口,降低了智能设备的成本,同时降低了数字化变电站的网络建设成本。

在实际工程应用时,应根据电压等级、网络负载量、网络通信介质、经济性、安全性等因素确定 GOOSE 的组网方式^[4]。

3 GOOSE 网络结构

GOOSE 网络结构主要有装置单环网、交换机环形网和星形网^[7-9],各有其优缺点。

3.1 装置单环网

装置单环网是指装置内部自带交换功能、实现一进一出的 2 个网络口、环网中所有装置串联的通信方式,如图 2 所示。

优点:网络结构简单、投资费用低。

缺点:

a. 装置间的报文传输

延时随环网中装置数目的增加而增加,实时性差;

b. 环网发生故障时自愈时间需要数十毫秒至数百毫秒,不能满足继电保护装置之间数据交换的性能要求;

c. 装置检修时对环网通信的影响很大;

d. 对装置性能要求更高,要求装置具备交换功能。

3.2 交换机环形网

环形网是指连接装置的交换机之间采用实时环网的通信方式,如图 3 所示。

优点:网络冗余性最好,交换机之间网络发生故障时,通过环网自愈依然可以保证网络通信。

缺点:

a. 网络实时性差,环

网中节点间的网络通信延时要高于星形网,另外环网中的自愈时间不能满足继电保护装置之间数据交换的性能要求;

b. 网络可靠性较差,环网通信基于快速生成树协议,通信故障时可能会引起网络风暴问题;

c. 设备兼容性较差,不同厂家交换机的私有快速生成树协议实现方式存在差异,互联时可能会有问题;

d. 投资成本高于星形网,因为交换机需要的网口数要多于星形网。

3.3 星形网

星形网是指交换机之间采用级联方式组网,如图 4 所示。

优点:网络实时性好,网络延时最少,可以满足继电保护装置之间实时数据交换的性能要求,不会产生网络风暴。

缺点:网络冗余性较差,星形网交换机之间网络发生单点故障时,网络通信将受到较大影响。

IEC61850 标准要求 GOOSE 报文延时小于 4 ms。如前所述,环网发生故障时的自愈时间不能满足 GOOSE 网络的实时性要求,为了提高 GOOSE 网络的可靠性,通常过程层 GOOSE 网络采用双星形网。在智能装置处理 GOOSE 报文时,采用双发双收方式,不存在网络切换过程。

4 GOOSE 组网中的网络通信技术的应用

数字化变电站信息传输基于以太网实现,VLAN 划分(IEEE802.1Q 协议)、报文优先级定义(IEEE 802.1P 协议)、链路聚合(IEEE802.3ad 协议)等通信技术在 GOOSE 网络中的应用提高了数字化变电站的可靠性、实时性以及安全性。

4.1 虚拟网络 VLAN 技术及应用

VLAN(Virtual LAN)划分是为了解决以太网的广

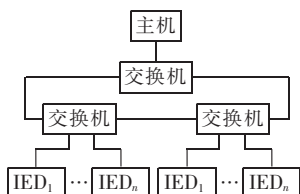


图 3 交换机环形网

Fig.3 Loop-type network of switch

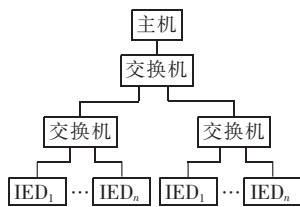


图 4 星形网

Fig.4 Star-type network

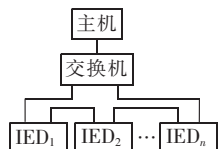


图 2 装置单环网

Fig.2 Single loop-type network of device

播问题和安全性而提出的一种网络技术,在以太网帧的基础上增加了 VLAN 头,通过 VLANID 把用户划分为更小的工作组,限制不同工作组间的用户二层互访,每个工作组就是一个虚拟局域网。

支持 IEEE802.1Q 协议的 IED 终端设备发送的以太网报文中增加了 4 字节的 802.1Q 帧头,封装格式见图 5。TPID(0x8100)为支持 IEEE802.1Q 的标志;TCI 标识中包括 3 位优先级标志(IEEE802.1P 协议)以及 12 位 VLAN 标识,最多支持 4096 个虚拟网络。

	8	7	6	5	4	3	2	1
1	TPID							
2	0x8100							
3	priority			CFI		VID		
4	VID							

图 5 虚拟网标签
Fig.5 Virtual LAN tag

实际组网时,终端 IED 支持 IEEE802.1Q 协议不是构建虚拟网络的必要条件,但构建网络的交换机必须支持 VLAN。交换机常用的 4 种 VLAN 划分方法为:根据端口划分 VLAN;根据介质访问控制 MAC(Media Access Control)地址划分 VLAN;根据网络层划分 VLAN;根据 IP 组播作为 VLAN。GOOSE 网络应根据端口划分 VLAN。

下面是 GOOSE 网络引入 VLAN 的主要优点。

a. 限制广播包的传输范围。交换机不能为类似 GOOSE 的多播报文建立地址映射,报文都会被广播到网络上所有端口,造成了网络资源的浪费。通过划分 VLAN,交换机将广播报文限制在本 VLAN 范围内,提高了网络资源的利用效率,限制了“网络风暴”影响范围。

b. 提高系统安全性。IEC61850 对 GOOSE 安全性未作要求,任何接入 GOOSE 网络的设备都有可能对网络上的运行设备构成威胁。通过配置 VLAN 实现网络上不同 VLAN 之间逻辑隔离,从而实现信息访问的安全。

在 GOOSE 通信网络的设计阶段,需要规划 VLAN 以及采用何种方式划分,VLAN 划分的基本出发点是功能的应用。需要了解:基于 GOOSE 建立了一些什么样的应用、这些应用需要交换的数据有哪些、数据涉及到哪些 IED、数据的通信量有多大,这些因素都会影响到 VLAN 最终的划分^[10]。另外需要考虑 IED 设备以及交换机 VLAN 功能能否满足应用的要求。

4.2 报文优先级定义及应用

IEEE802.1P 协议是 IEEE802.1Q 协议的扩充协议,为以太网上数据包定义不同的优先级,确保关键应用和时间要求高的信息流优先进行传输,同时照顾优先级低的应用和信息流。如图 5 所示,以太网数据包中 3 比特的优先级标签定义 8 个优先级,交换机报文阻塞时,优先发送优先级高的数据包。

根据数字化变电站的应用要求,过程层 GOOSE 网络中传输的信息优先级按照由高到低的顺序做定义。

- a. 最高级:电气量保护跳闸;保护闭锁信号。
- b. 次高级:遥控分合闸;断路器位置信号。
- c. 普通级:刀闸位置信号;一次设备状态信号。

站控层与过程层公用网络时,应设置 GOOSE 报文的优先级高于站控层非实时性报文的优先级。

4.3 链路聚合技术及应用

链路聚合技术(IEEE802.3ad)将数个以太网端口汇聚成一个带宽更大的逻辑链路,主要用于交换机之间级联通信。应用在 GOOSE 网络中的主要优点:

a. 在以太网星形网络上,交换机级联的端口往往成为网络通信的瓶颈,通过链路聚合技术扩大交换机之间的通信带宽;

b. 星形网络交换机之间通信中断往往对网络造成的影响最大,链路聚合技术实现了交换机之间通信通道的冗余,在 GOOSE 网络设计时,充分考虑交换机之间并联通道走不同光缆,当某一路径上的通信中断时,不会影响网络的继续运行。

5 GOOSE 组网实例

以 110 kV 数字化变电站过程层 GOOSE 单独组网为例讨论 GOOSE 网络的组建方案。

GOOSE 网络基于双星形网络结构,每个智能装置提供双 GOOSE 通信口分别接入 GOOSE 双网中。GOOSE 网络中的信息交换分为 2 种类型。

a. 本间隔(线路、主变、母线)设备之间的信息交换。通信设备包括本间隔的保护装置、测控装置、智能单元等设备。传输信息包括分合命令,开关刀闸位置,启动信号、闭锁信号等。

b. 母线间隔设备与其他间隔(线路、主变)设备之间的信息交换。交换的信息包括母差保护与各间隔保护之间的启动、闭锁信息,母差保护与各间隔智能单元之间的分合命令及位置信息,母线测控装置与各间隔设备之间的联闭锁信息等。

基于罗杰康交换机 RSG2100,按照间隔配置交换机以及划分 VLAN,单 GOOSE 网络配置方案如图 6 所示(图中, V_n 为第 n 间隔内部数据划分的 VLAN, V_{nk} 为第 n 间隔送给母线间隔的数据划分的 VLAN, V_{mk} 为母线间隔送给其他各间隔的数据划分的 VLAN),组网原则如下:

a. 交换机之间的级联通道应用链路聚合技术,采用双光纤连接;

b. 按照间隔划分 VLAN,为每一间隔(包括母线间隔)分配 2 个 VLAN,一个 VLAN 作为本间隔内部装置之间交换数据的 VLAN(标号为 V_n),另一个 VLAN 作为本间隔发送到其他间隔数据的 VLAN(标号为 V_{nk});

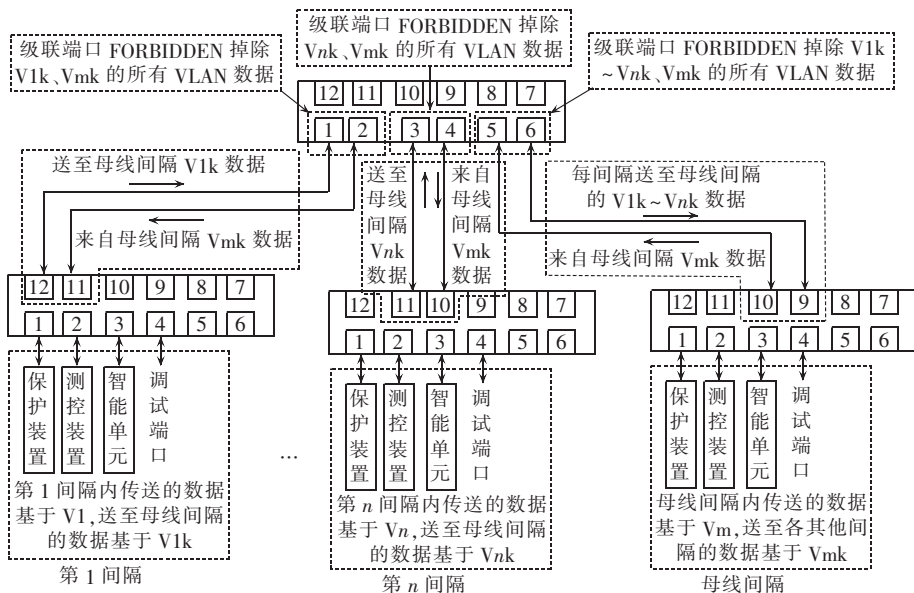


图 6 单 GOOSE 网组网方案

Fig.6 Networking scheme for single GOOSE network

c. 交换机上所有的端口都设置为 TRUNK 端口,以保证不同 VLAN 的数据可以被智能装置接收;

d. 通过设置顶层交换机 VLAN 的禁止端口,隔离 GOOSE 网络报文的传输范围,保证间隔内部的通信报文被限制在本间隔交换机范围内,母线间隔与其他间隔之间的通信报文只被传送到需要接收该报文的间隔交换机中;

e. 每个间隔设置一个专用调试端口,访问数据的数据 VLAN 基于 V_n ,数据的传播范围被限制在本间隔交换机范围内;

f. GOOSE 网络上的信息按照 4.2 节要求划分不同优先级。

按间隔组网并划分 VLAN 的 GOOSE 组网方案提高了 GOOSE 网络的安全性及可靠性;

a. 提高了 GOOSE 网络的利用效率,限制了“网络风暴”的传播范围;

b. 物理上同一间隔的设备只接入同一交换机,某一交换机出现故障时,不会影响到其他间隔的运行;

c. 正常情况下,变电站按照间隔进行调试检修,专用调试口的访问范围被限制在本间隔的交换机范围内,保证了调试检修的安全性。

6 结语

本文对数字化变电站 GOOSE 网络方案以及相关网络技术进行了讨论并提出了一些应用建议。GOOSE 网络的组建需要综合考虑 IED 装置要求、交换机的性能、网络的通信数据类型、数据的通信量等相关因素。只有综合运用这些方面的知识,组织相关方面的技术人员共同研讨,才能提出比较合理可行的工程方案。

参考文献:

[1] 国家发展与改革委员会. DL/T 860.81-2006 IEC61850-8-1 变

电站通信网络和系统:第 8-1 部分特定通信服务映射 (SCSM)到制造报文 MMS(ISO 9506-1 和 ISO 9506-2)和 ISO/IEC8802-3 的映射[S]. 北京:中国电力出版社,2006.

[2] 高翔. 数字化变电站应用技术[M]. 北京:中国电力出版社,2008: 12-13.

[3] 宋丽君,王若醒,狄军峰,等. GOOSE 机制分析、实现及其在数字化变电站中的应用[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(14): 31-35.

SONG Lijun,WANG Ruoxing,DI Junfeng,et al. Analysis and implementation of GOOSE mechanism and its application in digital substation[J]. Power System Protection and Control,2009,37(14): 31-35.

[4] 范建忠,马千里. GOOSE 通信与应用[J]. 电力系统自动化,2007,31(19):85-89.

FAN Jianzhong,MA Qianli. GOOSE and its application[J]. Automation of Electric Power Systems,2007,31(19):85-89.

[5] 贺振华,胡少强. IEC61850 标准下通用变电站事件模型与采样值传输模型比较[J]. 继电器,2008,36(1):80-83.

HE Zhenhua,HU Shaoqiang. Comparison between generic substation event model and sampled value model based on IEC61850[J]. Relay,2008,36(1):80-83.

[6] 徐成斌,孙一民. 数字化变电站过程层 GOOSE[J]. 电力系统自动化,2007,31(19):91-94.

XU Chengbin,SUN Yimin. A communication solution of process layer GOOSE in digitized substation[J]. Automation of Electric Power Systems,2007,31(19):91-94.

[7] 中国电力企业联合会. DL/T860 系列标准工程化实施技术规范[S]. 北京:中国电力出版社,2007.

[8] 肖韬,林知明,田丽平. 关于变电站 GOOSE 通信方案的研究[J]. 华东交通大学学报,2008,25(4):66-70.

XIAO Tao,LIN Zhiming,TIAN Liping. Study on the program of GOOSE communication substation[J]. Journal of East China Jiaotong University,2008,25(4):66-70.

[9] 窦晓波,吴在军,胡敏强,等. 与 GOOSE 联动的数字化变电站巡视系统[J]. 电力自动化设备,2008,28(11):94-98.

DOU Xiaobo,WU Zaijun,HU Minqiang,et al. Remote video system of digital substation supporting linkage with GOOSE[J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(11):94-98.

[10] 李兰崇. 浅谈虚拟局域网 VLAN 技术[J]. 信息技术,2007,36(3):23,162.

LI Lanchong. Simply discussing VLAN technology in virtual local network[J]. Information Technology,2007,36(3):23,162.

(编辑:汪仪珍)

作者简介:

曹海欧(1979-),男,江苏盐城人,工程师,主要从事继电保护整定及继电保护专业技术管理工作(E-mail:cho1603@

163.com);

严国平(1965-),男,江苏常州人,处长,高级工程师,主要从事电力系统继电保护专业技术管理工作;

徐宁(1976-),男,江苏南京人,副处长,工程师,主要从事电力系统继电保护专业技术管理工作;

李澄(1970-),男,江苏南京人,高级工程师,主要从事数字化变电站开发工作。

GOOSE networking scheme for digital substation

CAO Haiou¹,YAN Guoping¹,XU Ning¹,LI Cheng²

(1. Jiangsu Electric Power Dispatching and Communication Center,Nanjing 210024,China;

2. Jiangsu Frontier Electric Technologies Co.,Ltd.,Nanjing 210036,China)

Abstract: The protocols in IEC61850 standard to ensure the real-time performance of GOOSE service are analyzed. The internal communication messages of digital substation are mainly MMS messages,GOOSE messages and sampling messages,and their application features are analyzed. Based on the security,reliability and real-time performance of GOOSE network,the development of networking mode from special network to common network in digital substation is discussed and the application features of single loop-type and star-type network structures in GOOSE networking are explained. Applications of VLAN technology,message priority technology and link aggregation technology in GOOSE networking are studied. Case study is provided for GOOSE networking mode,network structure and switch configuration.

Key words: IEC61850; GOOSE; digital substation; switch; network technique