

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

魏勇¹, 罗思需², 施迪², 梁小刚², 李俊刚¹, 崔全胜¹

(1. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 山西晋中供电分公司, 山西 晋中 030600)

摘要: 分析了数字化变电站过程层采样值的两种通信传输方式: 点对点的 IEC61850-9-1 方式及网络化的 IEC61850-9-2 方式, 提出了网络化采样值 SMV 与 GOOSE 信息共网传输的方案, 从技术角度分析了方案的可行性。分析了共网传输模式下的主要业务数据类型: SMV, GOOSE, PTP1588 网络报文, 对各自的网络数据流量及可能的网络通信时延因素: 存储转发延时, 交换延时, 线路延时, 帧排队延时进行了定量分析。结合某实际数字化变电站工程进行了该技术方案仿真计算和应用分析, 工程应用实践表明所提出的共网传输技术方案是可行的, 对数字化变电站过程层网络性能研究具有参考价值。

关键词: 数字化变电站; IEC 61850-9-2; GOOSE; 共网传输; 网络流量; 通信时延; PTP1588

Research and application on digital substation based on IEC61850-9-2 and GOOSE communication in one network

WEI Yong¹, LUO Si-xu², SHI Di², LIANG Xiao-gang², LI Jun-gang¹, CUI Quan-sheng¹

(1. XJ Electric Corporation Limited, Xuchang 461000, China;

2. Jinzhong Power Supply Branch, Jinzhong 030600, China)

Abstract: This paper analyzes two kinds of communication transmission modes for sample measure value (SMV) at the process level of digital substation, namely the point-to-point IEC 61850-9-1 mode and web-based IEC 61850-9-2 mode. The scheme for communication of SMV and GOOSE information in one network is proposed, and its feasibility is analyzed from the technical aspect. The main data types in the mode of communication in one network such as SMV, GOOSE, and PTP1588 are analyzed, and each net data traffic as well as possible communication delay factors including store-and-forward delay, switching delay, line delay and frame queuing delay is analyzed quantitatively. Combining with a practical project in a digital substation, the simulation and application analysis of the proposed technique scheme are conducted, and the results show that the scheme of communication in one network is feasible, and it has reference value for the study of net performance at the process level of digital substation.

Key words: digital substation; IEC61850-9-2; GOOSE; communication in one network; network traffic; communication delay; PTP1588

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)24-0146-07

0 引言

变电站综合自动化技术经过 10 余年的发展, 目前已经基本成熟, 得到了大量的工程应用, 获得了巨大的成功。随着 IEC61850 变电站建模通信标准体系标准的颁布实施及电子互感器技术的发展, 各地各种应用模式的数字化变电站试点工程建设如雨后春笋般蓬勃开展, 变电站自动化技术进入了数字化时代^[1]。

目前无论国外还是国内, 对符合 IEC 61850 的

全数字化变电站的研究、工程试点都是热点, 但是多处于站控层和间隔层部分的 IEC61850-8 的试点, 或者是在过程层采用 FT3/IEC61850-9-1 点到点模式实现采样值数字化传输, 国内真正基于 GOOSE 及网络方式 (IEC61850-9-2) 采样值共网传输的数字化变电站还未在工程中应用^[2]。

在 2008 年法国巴黎召开的第 42 届国际大电网会议上由专家提议, 国际电工委员会 (IEC) 决定废弃 IEC61850-9-1 及 IEC60044 技术标准^[3], 随着 IEC61850-9-1 的废除, 基于 IEC61850-9-2 标准的变

电站自动化系统的推广应用是一种必然的趋势,国内外已经开始了 IEC61850-9-2 网络化采样值方式的技术研究及产品开发,部分地区的招标技术要求中,明确要求采用 IEC61850-9-2 网络化采样值方式作为过程层组网方案^[4-5]。

文献[6]对数字化变电站 GOOSE 网络的性能进行了专项测试,测试结果表明 GOOSE 技术完全可应用于数字化变电站各项网络化应用功能的实现,测试环境是在采样值网络和 GOOSE 网络共网传输的环境下进行的,从技术角度分析网络化采样值和 GOOSE 共网传输是可行的。

本文在现有的数字化变电站工程应用模式基础上,在分析点到点的 IEC61850-9-1 采样值传输模式和 IEC61850-9-2 网络化采样值传输模式之后,提出了在数字化变电站过程层采用 IEC61850-9-2 网络化采样值组网方式,并和 GOOSE 信息一起物理共网传输的方案,并对这种传输模式下的网络流量及可能的通信时延进行了定量的估算和分析。本文最后结合某实际的数字化工程进行了该技术方案的应用分析。

1 现有工程应用组网模式

依据国网公司数字化(智能)变电站调研情况统计资料^[7],数字化变电站现有的工程建设及应用模式归纳起来可以分为下列几种:

A. 采用电子互感器,采用智能终端设备,过程层采用 GOOSE 技术。

采样值网络单独组网。

采样值通过光纤点对点传输。

B. 采用电子互感器、未采用智能终端设备,跳合闸回路采用传统电缆模式。

采样值组网,传输格式采用 IEC61850-9-1、IEC 60044。

采样值通过光纤点对点传输。

C. 采用传统互感器,采用智能终端设备,过程层采用 GOOSE 技术。

D. 变电站监控系统采用 IEC61850 规约通信,仅站控层与间隔层设备间通信采用 IEC61850 规约。

从上面的统计情况可知,目前采用 IEC61850-9-2 网络化采样值及 GOOSE 共同组网的应用模式尚未见到。

下面将分析在数字化变电站过程层中依据采样值 SMV 和 GOOSE 信息传输方式不同而划分的几种常见的组网方案,最后重点对所提出的“IEC61850-9-2 网络化采样值及 GOOSE 共同组网的组网”方案从过程层网络性能角度进行详细理论分析。

2 过程层组网方案

2.1 IEC61850-9-1 采样值点到点传输方案

IEC61850-9-1 是 IEC 为了适应数字化采样值传输方案在数字化变电站建设初期,为了兼容传统的 IEC60044 互感器数据传输标准制定的临时标准,该模式只提供报文传输一种服务,即通过单向多路点对点串行通信链路的采样值传输方式。合并单元提供多个光纤数据输出接口,与间隔层设备之间通过光纤一对一(点对点)进行连接。点对点传送方式只需考虑传送介质的带宽和接受方 CPU 处理数据的能力,而不用担心数据流量对于其他间隔设备传输的影响,因为它并没有通过网络与其他间隔共享网络带宽。

IEC61850-9-1 方案实现模式简单固定,但不灵活,数据通道固定为 12 路,帧格式固定而且不允许改变,映射方法也相对固定、简单,对抽象通信服务接口(Abstract Communication Service Interface, ACSI)模型的支持不够完备,比较适合于测量表计的数字化采样值接口方式^[8],图 1 给出了该模式的工程应用配置示意图。

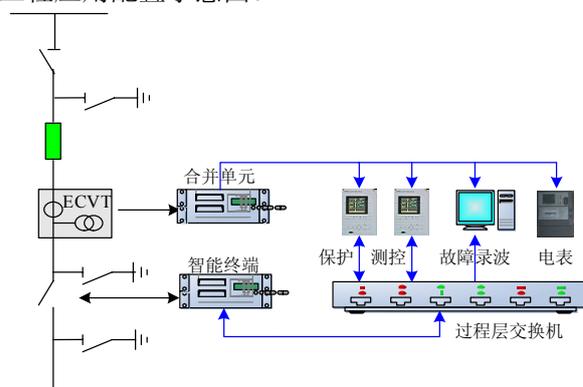


图 1 IEC61850-9-1 传输方案的应用

Fig.1 Application of IEC61850-9-1 scheme

目前已经投运的大多数数字化工程都采用了图 1 方式的技术方案,典型项目如 110 kV 洛阳金谷园数字化变电站工程及更早期的 110 kV 云南翠峰数字化变电站工程。

2.2 IEC61850-9-2 采样值网络化传输方案

IEC61850-9-2 采样值网络化传输方式实现了从电子互感器经合并器输出的采样值以网络方式传输到间隔层设备,即合并单元的数字化采样值输出接入过程层网络,保护、测控、计量等设备不再与合并单元直接相连,而是通过网络获取采样值,这样就达到了采样值数据的信息共享。通过交换机本身的优先级技术、虚拟网(VLAN)技术、组播技术

等可以有效地防止采样值传输流量对过程层网络通信性能的影响。更重要的方面在于网络传输模式有效地解决了点对点传输模式下的一些缺陷，如便于实现跨间隔保护（母线保护、变压器保护等），便于实现全站或区域性的集中保护；可灵活配置数据集的内容，帧格式可灵活定义，并支持单播方式；合并单元可以下放至就地端子箱安装，只需一根光纤就可方便地将此间隔的合并单元接入主控室的过程层网络，方便了就地采集器至合并单元的光纤连接。随着交换机网络管理技术的迅速发展及其应用成本的降低，采样值网络传输模式势必在数字化变电站得到推广应用。

IEC61850-9-2 的 ACSI 通信服务支持报文传输（SendMessage）、控制块值读/设置和数据值读（GetDataValue）等三种服务。

IEC61850-9-2 方案更加符合数字化变电站所倡导的全站信息数字化网络传输的发展方向，体现了数字化变电站“信息传输网络化”的特征，图 2 给出了该模式的工程应用配置示意图。

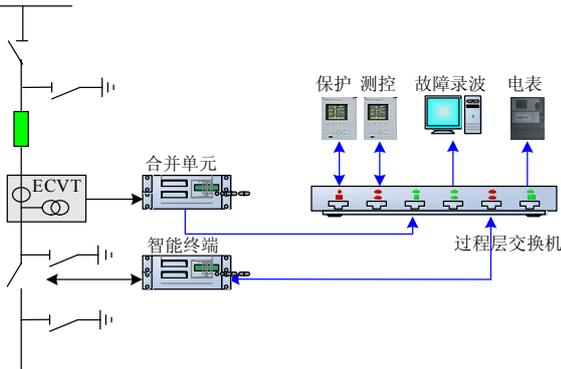


图 2 IEC61850-9-2 传输方案的应用
Fig.2 Application of IEC61850-9-2 scheme

考虑到 IEC61850-9-2 配置定义过于灵活，为了便于工程应用，国际上推出了 IEC61850-9-2 LE 版本。其实是一个工程定制版的 IEC61850-9-2，目前，国内各种工程应用所采用的网络化采样值方式基本都是 IEC61850-9-2 LE。

新版的 IEC61850 标准体系中已经明确表示准备废除 IEC61850-9-1 的点到点采样值方式，只采用 IEC61850-9-2 方式。这也从技术标准上引导了数字化变电站过程层采样值传输方式的技术选择。

目前正在建设或规划中的大多数数字化工程都采用了图 2 方式的技术方案，典型项目如 110 kV 绍兴大岗数字化变电站工程、500 kV 长春南智能变电站工程等。

2.3 IEC61850-9-2 采样值及 GOOSE 共网传输方案

由于部分地区对于电子式互感器及整个数据传输环节的技术成熟度理解差异较大，如华东地区专家们认为在现阶段为了确保间隔层保护控制功能的可靠实现，应当不用或者慎用电子式互感器，在数字化变电站中只采用 GOOSE 技术实现“虚接线”和联闭锁、跳合闸功能，即 GOOSE 单独组网，互感器采用传统互感器或者采用电子互感器后，单独组 IEC61850-9-2 采样值传输网，所以现阶段很多数字化工程中，过程层尽管采用了 IEC61850-9-2 采样值组网方式，但和 GOOSE 网基本是独立的两个物理网络，这可能更多是从运行管理角度去考虑的。

本文认为如果数字化变电站采用了 IEC 61850-9-2 采样值组网方式，就没有必要在物理上单独设立 GOOSE 网，应当采用网络化采样值和 GOOSE 共网传输的组网方式。从技术经济角度分析，有以下几个原因可以说明物理共网传输方式是可行的，也是必要的。

① GOOSE 信息采用了特有的发布/订阅机制，有完善的超时重传机制，GOOSE 数据量和占用网络带宽的比例都是比较小的，这从接下章节的流量分析中也可体现，GOOSE 信息可以和 SMV 采样值物理上共享/复用过程层高速工业以太网（甚至是在不久的将来进入千兆网后，实现全站网络合一），共网传输后的通信性能和单独组网方式，无论 SMV 采样值和 GOOSE 信息都不会有明显差别。

② 过程层传输的信息除了 SMV 采样值和 GOOSE 信息外，还有少量辅助信息，如对时信息（SNTP/PTP1588），网络设备管理信息等，这些信息采用各自独立的物理通道后，技术实现和运行维护都不方便。

③ 采用共网传输方案后，可以在保证性能的前提下，省掉大量的网络通信设备，如工业交换机，这对于数字化变电站降低投资成本，加快推广应用具有重要意义。

④ 采用共网传输方案后，网络化保护及控制功能、电压切换/PT 并列等辅助功能实现起来更加便捷。

⑤ 网络通信技术的飞速发展也揭示着千兆及更高速率的网络通信速率、更低成本的应用方案即将到来，多种信息共网综合传输是大势所趋。

当然，需要注意的是，由于目前间隔层数字化设备硬件资源相对紧张，部分厂家现场运行设备甚至出现箱体温度过高的问题，采用 SMV 和 GOOSE 共网传输后，对这些设备的 CPU 芯片选型、软硬件设计也提出了更高的要求。

图 3 给出了网络化 SMV 采样值和 GOOSE 信息共网传输的结构示意图。

目前山西及河南电网建设或规划中的大多数数字化工程都采用了图 3 方式的技术方案, 典型项目如 110 kV 晋中范村数字化变电站工程、110 kV 郑州吴河数字化变电站工程、220 kV 郑州陈庄数字化变电站工程等。

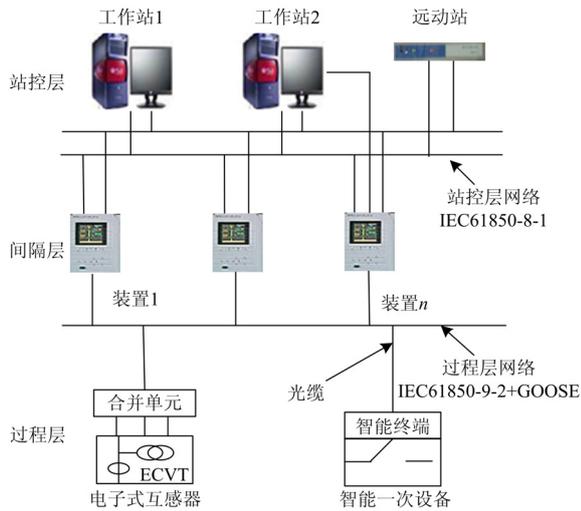


图 3 SMV 及 GOOSE 共网传输结构示意图

Fig.3 Structure of SMV and GOOSE communication in one network

3 共网传输网络流量及通信时延分析

浙江省电科院在研究数字化变电站继电保护 GOOSE 信息实时性的时候, 对过程层网络通信时延的构成进行了详细的分析^[9], 笔者也曾发表学术论文探讨了过程层 GOOSE 网络的测试方法^[6], 但经文献检索后发现针对过程层 SMV 采样值和 GOOSE 共网传输情况下的网络流量及通信时延尚未见报道。本文下面将对 SMV 和 GOOSE 共网传输方式下的网络流量计算和通信时延估计进行说明, 并且针对在此传输方式下一般会存在的网络对时信息, 如 SNTP 和 PTP1588 网络对时报文进行了网络流量估算。

3.1 网络流量计算

数字化变电站过程层采用 SMV 和 GOOSE 共网传输模式后, 经分析可知, 网络上传的主要信息类型包括 IEC61850-9-2 采样值数据包信息和 GOOSE 信息, 以及为了实现过程层设备时钟同步而引入的网络对时报文信息, 依据不同的对时方案, 主要可分为 SNTP 报文和 PTP1588 报文 (考虑到 PTP1588 网络对时方案更具有代表性, 极有可能成为未来数字化变电站对时标准技术, 下面的流量及

时延分析均以 PTP1588 为例进行分析)。

IEC61850-9-2 采样值数据包流量用 $Q_{SMV-9-2}$ 标识, GOOSE 信息流量用 Q_{GOOSE} 标识, 网络对时信息流量用 $Q_{SYN(SNTP/PTP)}$ 标识, 总的网络流量用 Q_{ALL} 标识。在忽略网络管理报文等其他辅助报文产生的网络流量开销前提下, 有:

$$Q_{ALL} = Q_{SMV-9-2} + Q_{GOOSE} + Q_{SYN(SNTP/PTP)}$$

(1) $Q_{SMV-9-2}$ 流量计算

按照 IEC61850-9-2 LE 方式实施的工程中, 实际最大报文长度:

在 80 点采样率, 每 5 点一帧的应用模式下, 每帧最大报文长度为 [662] 字节 = 5 296 位;

在 256 点采样率, 每 8 点一帧的应用模式下, 每帧最大报文长度为 [1037] 字节 = 8 296 位;

按照每帧 1 点 (12 个模拟量通道) 计算, 一个合并器每秒的数据流量:

$$Q = [159] \text{ 字节} \times 8 \text{ bit/字节} \times 50 \text{ 周波/s} \times 80 \text{ 帧/周波} = 5.088 \text{ Mbit/s};$$

过程层采样值通信流量只占用 100 M 端口的 4% 左右。

上面各算式中, 括号 [] 内的量, 如 662, 159, 1037 等都是不同 SMV 数据包的长度, 这些长度的计算将在另文论述, 此处不再展开说明。

(2) Q_{GOOSE} 流量计算

由于 IEC61850 中定义了 GOOSE 信息的发送采用变长时间间隔算法, 按照 $T_0=10 \text{ s}$ 计算, 一个智能设备每秒的数据流量:

$$Q = [6016] \text{ 字节/帧} \times 8 \text{ bit/字节} \times (1/10) \text{ /秒} = 0.048 \text{ Mbit/s};$$

通常情况下, GOOSE 流量和 SMV 采样值流量比较, 对网络带宽的影响基本可以忽略。

上面各算式中, 括号 [] 内的量, 如 6 016 等是归一化后的 GOOSE 数据包的长度, 这些长度的计算将在另文论述, 此处不再展开说明。

(3) $Q_{SYN(SNTP/PTP)}$ 流量计算

数字化变电站过程层的时钟同步可以采用脉冲及 IRIG-B 码方式, 但这需要架设额外的对时硬总线及相关的辅助设备如光扩展箱等, 价格不菲, 施工不便, 没有充分体现数字化变电站的特点。采用本文所述的共网传输模式后, 所有的过程层设备都实现了直接上网, 所以可以选用网络方式的对时技术。主要有 SNTP/NTP 及 PTP1588 技术, 前者精度能达到数十毫秒至秒级, 可满足站控层对时需要, 但无法直接满足过程层对时精度要求 (一般可以通过辅助措施, 如对时脉冲配合实现过程层对时精度要求), 后者最初应用于航天军工及高精度运动测控

方面,精度可达到毫秒级,目前已经有试点数字化变电站工程采用 PTP1588 技术实现过程层时钟同步,华东电科院组织相关厂家做过相关的互操作试验^[10],测试结果基本令人满意。在本文的共网传输模式下,对时技术采用 PTP1588 的纯网络对时方案,下面的流量计算也仅考虑 PTP1588 报文流量。

在 PTP1588 对时方案下,主要包括下面几种对时报文: announce 报文,同步报文(包括 Sync, Follow_Up 报文), delay 报文(包括 Delay_Req, Delay_Resp, PDelay_Req, PDelay_Resp, Pdelay_esp_Follow_Up 报文),依据使用习惯,我们设定 announce 报文和同步报文的发送周期均为 1 s, delay 报文的发送周期为 8 s。

下面以最坏的情况,按 announce 报文,同步报文和 delay 报文均在一秒内发送,计算一个合并器发出的 PTP 报文流量。

下面各算式中,括号内的量,如 82, 64, 72 等都是每种不同类型对时报文的长度,这些长度的计算将在另文论述,此处不再展开说明。

①1 步钟 + delay request-respond 机制:

此种模式下, announce, sync, delay_req, delay_resp 报文,最坏情况报文流量:

$$Q_1 = (82+64+64+72) \times 8 = 282 \times 8 = 2\ 256 \text{ bit/s}$$

②2 步钟 + delay request-respond 机制:

此种模式下,有 announce, sync, follow_up, delay_req, delay_resp 报文,最坏情况报文流量:

$$Q_2 = (82+64+64+64+72) \times 8 = 346 \times 8 = 2\ 768 \text{ bit/s}$$

③1 步钟 + peer delay 机制:

此种模式下,有 announce, sync, pdelay_req, pdelay_resp 报文,最坏情况报文流量:

$$Q_3 = (82+64+72+72) \times 8 = 290 \times 8 = 2\ 320 \text{ bit/s}$$

④2 步钟 + peer delay 机制:

此种模式下,有 announce, sync, follow_up, pdelay_req, pdelay_resp, pdelay_resp_follow_up 报文,最坏情况报文流量:

$$Q_4 = (82+64+64+72+72+72) \times 8 = 426 \times 8 = 3\ 408 \text{ bit/s}$$

按照第④种情况最坏情况下分析,1 个合并器的 PTP1588 报文每秒钟数据流量 Q_4 为 3.408 Kbit/s,与每秒钟 GOOSE 的报文流量 0.048 Mbit/s 相比,小了一个数量级,当然更小于 IEC 61850-9-2 LE 的 SMV 报文流量。

经过上面的分析可知,共网传输模式下,总的网络流量为:

$$Q_{\text{ALL}} = Q_{\text{SMV-9-2}} + Q_{\text{GOOSE}} + Q_{\text{SYN}} (\text{SNTP/PTP}) =$$

$$5.088 \text{ Mbit/s} + 0.048 \text{ Mbit/s} + 0.003\ 408 \text{ Mbit/s} = 5.139\ 408 \text{ Mbit/s}$$

从上面的结果可知共网传输模式下网络流量及网络带宽占用与采样值单独组网方式变化很小,可以忽略不计。

3.2 网络时延分析

(1) 网络时延计算模型

通信网络的延时,可定义为一帧报文从发送者到接收者的网络传输花费的全部时间。

网络延时主要包含四种因素:

①存储和转发

指交换机存储收到的数据直到全部一帧被接收完,接着交换机转发数据帧从相应的端口出去。这个延时与被转发的帧的大小成比例,并且与速率成反比。

$$L_{sf} = FS / BR$$

式中: L_{sf} 是存储转发延时; FS 是以位计算的帧大小; BR 是以位/秒为单位计算的速率。

例如对于 100 Mbps 速率交换机:

最大的以太网帧 1518 字节延时是 $1518 \times 8 / (100 \times 10^6) \mu\text{s} = 121 \mu\text{s}$

最小的以太网帧 64 字节的延时是 $64 \times 8 / (100 \times 10^6) \mu\text{s} = 5 \mu\text{s}$

9-2 的以太网帧 159 字节的延时是 $159 \times 8 / (100 \times 10^6) \mu\text{s} = 13 \mu\text{s}$

GOOSE 的以太网帧 752 字节延时是 $752 \times 8 / (100 \times 10^6) \mu\text{s} = 60 \mu\text{s}$

② 交换机制

以太网交换机的内部是交换机制,由复杂的硬件电路执行存储转发引擎、MAC 地址表、VLAN、COS 及其他的功能。交换机制产生的延时用以执行这些逻辑功能。各个厂商交换机制延时各不相同,对于同一厂商型号基本相同。如罗杰康产品的交换机制延时是 $7 \mu\text{s}$ 。

③ 线路传输

数据位在光纤链路上的传输速度大约是光速 ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$) 的 $2/3$ 。当部署很长距离以太网线路时,这个延时可能值得注意。对于 100 km/1 km/100 m 的链路延时可以计算出:

$$L_{wl} = L / V$$

$$L_{wl} (100 \text{ km}) = 1 \times 10^5 / (2/3 \times 3 \times 10^8) \mu\text{s} \approx 500 \mu\text{s}$$

$$L_{wl} (1 \text{ km}) = 1 \times 10^3 / (2/3 \times 3 \times 10^8) \mu\text{s} \approx 5 \mu\text{s}$$

$$L_{wl} (100 \text{ m}) = 1 \times 10^2 / (2/3 \times 3 \times 10^8) \mu\text{s} \approx 0.5 \mu\text{s}$$

对于局域网中距离,这个延时和其他延时影响相比可忽略不计。

④ 帧排队

帧冲突在广播式以太网中存在,以太网交换机用队列结合存储转发机制来消除帧冲突的问题。

队列给延时引入了非确定性因素,原因归咎于通常很难预测网络上精确的通信工况。

服务级别 COS 为以太网帧引入了优先级方案,减轻排队延时,然而并不能保证服务的质量。

(2) 过程层信息时延计算

在一个单独 100 Mbps 端口汇聚 9-2 帧通信,选择配置使这个到接收者的 100 Mbps 链路接近饱和:每周期采样率为 80 个点并且 12 个合并器,每一个都在发送采样值。每一个 9-2 帧都是 1272 位长度,假设在所有 12 个合并器中采样都是同步进行的,12 个帧将会以每 $1/(50 \times 80) \text{ s} = 250 \mu\text{s}$ 的间隔速度到达交换机。

一个 9-2 采样值帧的最好和最坏情况下延时、抖动分别是:

$$L(\text{best}) = (1272/100 + 7) \mu\text{s} \approx 20 \mu\text{s}$$

$$L(\text{worst}) = (1272 \times 12/100 + 7) \mu\text{s} \approx 160 \mu\text{s}$$

$$\Delta L = L(\text{worst}) - L(\text{best}) = 160 \mu\text{s} - 20 \mu\text{s} = 140 \mu\text{s}$$

在一个单独 100 M 端口汇聚 GOOSE 帧通信,选择配置使这个到接收者的 100 M 链路接近饱和:发送速率为 5 ms、10 ms、20 ms、10 s,每一个智能

设备都在发送 GOOSE 帧。每一个 GOOSE 帧都是 6016 位,并且假设所有 12 个智能设备发送都是同步进行的。

一个 GOOSE 帧的最好和最坏情况下延时、抖动分别是:

$$L(\text{best}) = (6016/100 + 7) \mu\text{s} \approx 67 \mu\text{s}$$

$$L(\text{worst}) = (6016 \times 12/100 + 7) \mu\text{s} \approx 728 \mu\text{s}$$

$$\Delta L = L(\text{worst}) - L(\text{best}) = 728 \mu\text{s} - 67 \mu\text{s} = 661 \mu\text{s}$$

4 实际工程仿真计算

4.1 工程概况

某 110 kV 数字化变电站主接线为 110 kV 内桥,10 kV 单母三分段,现有 110 kV 进线两回,主变 2 台,10 kV 线路 24 回,10 kV 母分 1 回,10 kV 电容器 4 组,10 kV 消弧线圈 2 回。

4.2 过程层配置

该数字化变电站过程层采用本文所述的 SMV 和 GOOSE 共网传输方案。

110 kV 线路保护使用一个合并器的数据:进线的电压、电流;

110 kV 桥分段使用一个合并器的数据:桥电流;

变压器保护使用 5 个合并器数据:高压进线电流、桥电流、低压分支 1 的电流、低压分支 2 的电流、桥电流;

母线保护使用 5 个合并器的数据:高压进线 1 电流、高压进线 2 电流、变压器 1 高压侧套管电流、变压器 2 高压侧套管电流、桥电流;

10 kV 采用一体化开关设计,电子互感器直接提供信号给保护测控装置、电表。

4.3 流量及时延仿真结果

按照第 3 节的过程层网络流量计算方法及通信时延估算方法,可得出该示例变电站的仿真计算结果如表 1 所示^[11]。

表 1 流量及时延仿真计算结果

Tab.1 Traffic and delay simulation results

交换机节点名称	流量/ (Mbit/s)	时延/ μs
110 kV 进线 1	1×5.139	$2 \times (121 \times 5.09/100 + 7 + 12.7) = 51$
110 kV 进线 2	1×5.139	$2 \times (121 \times 5.09/100 + 7 + 12.7) = 51$
变压器 1	5×5.139	$2 \times (121 \times 25.44/100 + 7 + 12.7) = 101$
变压器 1	5×5.139	$2 \times (121 \times 25.44/100 + 7 + 12.7) = 101$
桥分段	1×5.139	$2 \times (121 \times 5.09/100 + 7 + 12.7) = 51$
主干	3×5.139	$2 \times (121 \times 15.26/100 + 7 + 12.7) = 76$
110 kV 线路	1×5.139	$2 \times (121 \times 5.09/100 + 7 + 12.7) = 51$
变压器	5×5.139	$2 \times (121 \times 25.44/100 + 7 + 12.7) = 101$
分段	5×5.139	$2 \times (121 \times 5.09/100 + 7 + 12.7) = 51$
母线	2×5.139	$2 \times (121 \times 10.18/100 + 7 + 12.7) = 64$

5 结论

本文在归纳现有数字化变电站试点建设模式的基础上,创新提出了“网络化采样值和 GOOSE 信息共网传输”的过程层组网技术方案,对共网传输方式下的数据类型进行了归类分析,给出了该方式下的网络流量计算方法和通信时延估算公式,最后还结合某数字化变电站示例工程进行了仿真计算和应用分析,目前采用该技术方案的数字化变电站已成功投运,运行状况良好。鉴于过程层网络通信性能是数字化变电站关键技术指标之一,本文的研究成果对于数字化、智能变电站的建设,尤其是网络化采样值及 GOOSE 共同组网方式在数字化变电站的推广应用起到了极好的示范作用。东北电网电科院组织的数字化变电站“三网合一”动模试验结果也和本文结论基本一致^[12]。

参考文献

- [1] 魏勇. 变电站网络化二次系统关键技术研究[J]. 电力系统保护及控制, 2009, 37 (8): 53-58.
WEI Yong. Research and application on key technologies of power secondary system in substation based on network[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (8): 53-58.
- [2] 魏勇. 变电站网络化二次系统研究及应用[R]. 许昌: 许继电气技术中心, 2008.
WEI Yong. Research and application on substation secondary system based on network[R]. Xuchang: XJ Electrical Corporation, 2008.
- [3] 赵希才. 2008 年国际大电网会议系列报道——电力系统保护与自动化[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(23): 1-3.
ZHAO Xi-cai. A review of CIGRE' 2008 on protection and automation, power system protection and automation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(23): 1-3.
- [4] 220 kV 广东阳江核电数字化变电站招标技术要求[S]. 广州: 广东核电集团公司, 2009.
Technical requirements of Guangdong Yangjiang nuclear power digital substation[S]. Guangzhou: Guangdong Nuclear Power Group Corporation, 2009.
- [5] 500 kV 长春南智能变电站招标技术要求[S]. 北京: 国家电网公司, 2009.
Technical requirements of 500 kV south Changchun intelligent substation[S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2009.
- [6] 魏勇. 数字化变电站 GOOSE 网络测试[J]. 电力系统保护及控制, 2009, 37 (24): 96-100,104.
WEI Yong. Testing of digital substation GOOSE network[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (24): 96-100, 104.
- [7] 数字化(智能)变电站调研情况总结[R]. 北京: 国家电网公司, 2009.
Summary report of investigation and study on digital (smart) substation[R]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2009.
- [8] 王红青. 基于 IEC61850-9-2 接口的保护动模试验[J]. 华东电力, 2008 (6): 51-53.
WANG Hong-qing. The protection dynamic simulation based on IEC61850-9-2 interface[J]. East China Electric Power, 2008 (6): 51-53.
- [9] 王松. 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): 55-58, 107.
WANG Song. A GOOSE network scheme for relay protection in digitized substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (3): 55-58, 107.
- [10] 数字化变电站 PTP1588 的互操作试验报告[R]. 上海: 华东电科院, 2009.
Interoperability test report on PTP1588[R]. Shanghai: East China EPRI, 2009.
- [11] 宋小会. 数字化变电站过程层网络分析[R]. 许昌: 许继电气技术中心, 2008.
SONG Xiao-hui. Analysis on process level network of digital substation[R]. Xuchang: XJ Technical Center, 2008.
- [12] 500 kV 智能化变电站保护及二次组网动模试验报告[R]. 沈阳: 东北电力科学研究院有限公司, 2010.
500 kV smart substation protection and network system dynamic simulation test report[R]. Shenyang: Northeast Electric Power Research Institute, Co., Ltd, 2010.

收稿日期: 2009-12-15; 修回日期: 2010-01-22

作者简介:

魏勇 (1973-), 男, 硕士, 研究方向为数字化变电站系统方案及相关产品研发; E-mail: yongw@xjgc.com

罗思需 (1964-), 男, 总工, 高级工程师, 从事继电保护运行管理工作;

施迪 (1969-), 男, 工程师, 从事继电保护运行管理工作。