

数字化变电站过程层 GOOSE 通信方案

徐成斌, 孙一民

(国网南京自动化研究院/南京南瑞集团公司, 江苏省南京市 210003)

摘要: 列举了数字化变电站过程层面向通用对象的变电站事件(GOOSE)通信方案必须重视的一些约束条件,指出了与运行系统的可靠性和可维护性、工程方案的可操作性、GOOSE 通信应用范围相关的要素,提出了保护信息的分类方法和优先级的划分原则,分析了 GOOSE 应用对现有设计习惯的影响。为了同时兼容数字化变电站设计过程与传统变电站设计过程,提出了“虚端子”的设计思路。

关键词: 数字化变电站; QoS; GOOSE; 过程层局域网; 智能操作箱; 虚端子

中图分类号: TM73

0 引言^[1]

面向通用对象的变电站事件(GOOSE)解决方案是数字化变电站过程层模式的亮点之一,也是饱受争议的部分。去除装置之间、控制屏之间硬连接线的优点非常明显,随之而来的安全性和可靠性方面的担忧也不能忽视。GOOSE 工程方案成功的前提是:保护装置能正确、快速反映电力系统故障和异常工作状态,并可靠地切除故障元件。如何诊断和维护网络通信系统?如何实现不同厂家装置之间基于 GOOSE 的互操作?网络替代硬连接线情况下二次部分如何设计?这些问题也必须有可靠、合理、可操作的答案。本文将分析这些问题的背景,提出 GOOSE 通信的工程方案,并论证方案的合理性。

1 GOOSE 应用的约束条件^[2-5]

1.1 网络交换机性能约束

网络交换机性能约束体现在网络带宽限制、存储转发速率、系统冗余倒换时间和故障恢复时间等方面。目前,100 Mbit/s 网络带宽限制是主要的性能约束参数。为了实现过程层 GOOSE 报文对优先级的需求,要求交换机支持 IEEE 802.1P 和 IEEE 802.1Q 协议。服务质量(QoS)(优先级)、虚拟局域网(VLAN)的支持功能,是选择交换机的必要条件。GOOSE 报文的信息量并不大,而且较长的网络报文都是分包发送的,只要交换机支持 QoS,GOOSE 报文总能优先到达目的地。鉴于上述理由,GOOSE 网和变电站层监控网并不是一定要物理分开。平均失效间隔时间(MTBF)应是选择交换机的重要指标。

1.2 嵌入式系统性能约束

嵌入式系统性能约束是指 CPU 的处理速度、网络接口芯片的过滤能力和数据交换速度。多 CPU 模式能提高数据处理速度,直接存储器存取(DMA)数据交换方式能提高网络接口芯片的数据交换速度。嵌入式系统性能决定了过程层保护测控装置通过测量单元(MU)接入的采集通道数、采样点密度,以及保护功能能否实现。

1.3 应用功能范围约束

应用功能范围约束是指 GOOSE 应用的边界要划分,在考虑带宽约束和装置处理能力的前提下,根据继电保护装置可靠性、选择性、灵敏性和速动性的要求,确定哪些硬连接线可以用 GOOSE 替代实现。在数字化试验站,采用 GOOSE 通信方案的同时,一些重要的屏间硬连接线还要继续保留。为了测试 GOOSE 通信应用的效果,肩负开入开出终端重任的智能操作应当具备开入开出的录波功能。经过这些波形的分析,可以验证 GOOSE 解决方案是否稳定可靠。如果间隔层装置之间通过 GOOSE 通信实时交换开关和电动刀闸的位置信息,从而实现间隔“五防”的间隔联锁功能,那么 GOOSE 通信方案将接受大量实际工程的检验。通过这些 IEC 61850 协议站经验和数据的积累,探索出数字化试验站过程层 GOOSE 通信的合理解决方案非常切实可行。

1.4 运行系统可靠性约束

运行系统可靠性约束作为解决方案的重点应综合考虑。过程层 GOOSE 网络采用双网。采取以下措施可显著提高网络通信可靠性:过程层 GOOSE 网络与变电站层网络物理分开;按保护和控制的作用范围划分 VLAN 子网;采用工业级交换机,将交

换机集中安装在控制室;保留一些重要的硬连接线;保护功能和 GOOSE 通信采用不同的 CPU;杜绝网卡缓冲区溢出现象的发生;按信号的重要程度划分 GOOSE 报文优先级等。对于 100 Mbit/s 以太网而言,全站 GOOSE 报文占用的网络带宽并不大,关键在于如何防止网络风暴的出现。

1.5 工程方案可操作性约束

运行系统可靠性约束比工程方案可操作性约束重要。工程方案可操作性约束和运行系统可靠性约束应寻求平衡点。变电站保护和控制功能的变化、数字化变电站规模大小的不同都会影响平衡点的选择。这是数字化变电站系统设计不可回避的问题。

1.6 运行系统可维护性约束

数字化变电站通信系统的规模和复杂程度远远超出目前的变电站综合自动化系统,通信系统的设计应考虑可维护性。首先应提供 GOOSE 通信网络在线和离线诊断工具。各通信节点应具备故障告警和故障诊断的在线功能,IEC 61850 标准没有对这些方面进行约定,扩充 GOOSE 网络通信状态异常告警数据是 GOOSE 通信应用不可或缺的部分。

2 GOOSE 通信网络的优化设计^[6-7]

GOOSE 通信网络设计必须考虑优化。这里所说的优化不仅局限于网络的结构,还包括通信软件的设计,以及不同装置通信模块间的配合,防止网络阻塞现象的发生,避免通信网络瘫痪。本文将结合 GOOSE 应用的约束条件,阐明优化设计所涉及的各个层面。

2.1 优先级的规划

IEEE 802.1Q 引入了媒体访问控制(MAC)报文优先级的概念,并将优先级的决定权授予使用者,假设使用者都将优先级定义为最高,等于没有优先级。优先级按照由高到低的顺序定义如下:

1)最高级:电气量保护跳闸;非电气量保护信号;保护闭锁信号。

2)次高级:非电气量保护跳闸;遥控分合闸;断路器位置信号。

3)普通级:刀闸位置信号;一次设备状态信号。

2.2 数据集定义的原则

1)优先级相同的变量才能定义在同一个数据集内。

2)按保护功能节点类型组织最高级数据集。

3)按信号类型组织次高级数据集。

4)非电气量保护信号构建为一个数据集,与其他最高级保护数据变量分开。

5)受装置 CPU 处理能力约束,最高级和次高级数据集成员数不宜过大。

6)数据品质可增强 GOOSE 报文数据的可靠性。

7)在 IEC 61850 标准中,DO 是数据对象的简称,DA 是数据属性的简称。DO 由若干 DA 组成。采用 DA 方式传送品质,避免 DO 方式对网络资源的浪费。

8)双位置状态信号自身可以反映数据的有效性,建议不发送它的品质数据。

9)普通级数据集成员数可适当扩大,以 MAC 报文字节数小于 256 为宜。

2.3 信号的传输方式

GOOSE 通信采用的是订阅/发布式机制,不同于请求/响应式机制,这样设计的出发点是基于传输速率和网络资源的考虑。为了防止网络负载过重情况下丢失 GOOSE 报文,同一个 GOOSE 报文会发送几次。GOOSE 事件发送机制见图 1。

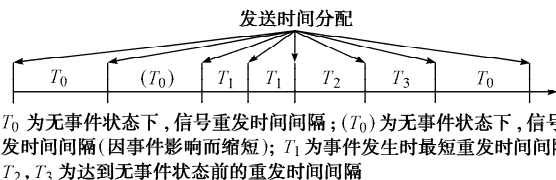


图1 事件发送时间

Fig. 1 Transmission time for events

继电器触点的平均动作时间接近 4 ms,合理的最高级和次高级报文传输应在 4 ms 内。建议采用 0 ms, 1 ms, 2 ms, 4 ms 的间隔连续发送 4 次。非电气量保护信号和普通级信号采取变位传输结合定时发布机制。状态变位时按 0 ms, 1 ms, 2 ms, 4 ms 的间隔连续发送 4 次。非电气量保护信号定时发布间隔为 10 ms。非电气量保护信号传输为多播方式,普通级信号传输为广播方式。在 100 Mbit/s 以太网传输速率限制下,假设每个 MAC 报文的字节数固定为 256,则 1 ms 内最大报文数为 39 个。对于 1 000 个装置来说,1 s 内实现普通级信号全网同步只占用 2.56% 的带宽。关键是要避免某个时刻多个装置同时发送而造成网络异常。例如装置上电启动后,普通级信号会主动发布一次。在时钟同步前提下,根据 MAC 多播地址的低 2 个字节在 1 s 内固定分配普通信号的发布点。

2.4 防止网卡溢出故障

采样率、网络带宽和装置 CPU 处理能力是 GOOSE 网传输性能的最大约束。采样率决定了保

护运算及逻辑程序的固定服务时间,100 Mbit/s 带宽决定了固定服务时间内 MAC 报文的最大个数,是防止网卡溢出故障的重要依据。以现有保护装置 24 点采样为例:保护中断服务时间为 0.833 ms;0.833 ms 内最大报文数为 83 个 MAC 报文,每个报文字节数按 100 计算;某种网络接口芯片的缓冲区报文个数限制在 56,小于 83。

通过上述数据计算不难发现:网卡溢出故障发生的概率很高。网卡溢出故障会造成网络通信 1 s~3 s 的中断,可见其危害性很大。在采取多播地址过滤和源地址过滤等预防措施后,网卡溢出故障就不可能发生。

3 GOOSE 通信网络的检测方法^[7-8]

检测方法分为在线和离线 2 种形式。在 GOOSE 程序开发过程中,etherreal 工具软件提供了很大的帮助。它具有报文解析、分类查询、报文时间显示(ms 精度)等功能。离线检测软件参考 etherreal 的功能设计,增加网络流量统计(细化到 MAC 地址)、MAC 地址过滤等实用功能。与离线检测相比,在线诊断功能更可靠、实用。防患于未然,是维护系统稳定运行的重要原则。严重的 GOOSE 网络故障包括交换机故障、装置网卡故障和 MAC 广播风暴。

采用双网互备模式 GOOSE 报文在 2 个通信网同时传送,只有很小的概率会发生双网同时故障。正常情况下每隔 1 s 就应该收到相关装置的 GOOSE 报文,未收到就表明有异常情况发生,连续 3 次未收到则应当告警,告警可通过 IEC 61850 报告服务实现。采用 VLAN 划分子网,缩小每个子网的报文数量,有效抑制广播报文数量,错开正常情况下装置 MAC 广播报发送时刻,均是抑制 MAC 广播风暴的有效方法。

4 过程层 GOOSE 通信的设计规范^[9-10]

IEC 61850 标准使业内产生了这样的印象:数字化变电站二次设计输出端子接线图的需求将不复存在,取而代之的是基于接口控制文件(ICD)的 GOOSE 控制块、数据集和数据变量的定义。这完全是一个错觉。不同厂家装置之间的互操作以装置的 ICD 为依据,这仅仅是方式之一,而且以这种方式进行交流既不方便,也不符合习惯。可扩展置标语言(XML)格式的装置 ICD,有利于解析、存储和传输,但是直接阅读非常困难。通过 ICD 进行技术交流,仅限于通信专业人员。二次设计应继承现有

的规范,仍然基于端子进行设计。这种思路的实现引申了如下问题:虚端子如何定义?二次设计有何变化?依据二次设计图纸如何实施工程?本文下面将详细讨论这些问题,并提出解决方案。

4.1 虚端子的定义方法

引入虚端子概念将保持现有二次设计的规范改变最小。二次设计人员已经习惯了基于端子进行交流的方法,这种方法在相关规范的指导下已非常完善。保护和测控装置程序的 I/O 设计也是基于端子。用端子定义来说明装置的 I/O 接口,通过端子输出原理图和二次接线图进行。工程实施时,对照端子蓝图检查装置及屏柜之间的硬连接线。这些传统方法依然是数字化变电站二次设计、施工及维护的可靠方法。只是这些端子仅仅以概念的形态存在,故称其为虚端子。具有输出特性的虚端子在装置 ICD 的 GOOSE 部分进行定义。具有输入特性的虚端子在工程实施时,依据二次接线图与相关装置的输出虚端子连接。装置 ICD 仅仅作模板,被 GOOSE 组态软件使用。

4.2 二次设计的变化

由上述可以发现二次设计的变化确实很小。值得注意的是:一些传统的压板因为不属于任何装置而消失了,但这些压板的功能不能消失,还要落实并继续保留。压板通常分为投退型、出口型和闭锁型 3 类。以出口型压板为例,可以在控制室安装一个压板操作屏,所有压板位置信息由压板装置采集。压板装置将压板位置信息通过 GOOSE 全网广播,保护装置定时广播其收到的压板位置信息,便于系统监视和诊断。压板装置在现有的变电站综合自动化系统中不存在。与失灵相关的、通过硬连接线实现的保护闭锁逻辑,可以分散到各相关装置,或由压板装置集中实现。保护闭锁逻辑可以通过组态软件生成,并下装到保护或压板装置。

4.3 工程实施的变化

工程实施过程发生了相应的改变:二次电缆连接工作变成了 GOOSE 通信组态工作;查线工作变成了 GOOSE 组态工具的一个辅助功能;二次接线施工人员成了二次设备供应商的工程服务技术员。为了适应这些变化,GOOSE 组态工具必须具备很好的方便性、友好性和完备性,例如输出端子接线表、快速查线提示等功能。

4.4 GOOSE 组态流程

与虚端子连接相关的所有工作都通过 GOOSE 组态工具实现。组态按以下步骤进行:

1)以装置的 ICD 文件为模板导入输出虚端子

的定义。

2)按装置说明书定义输入虚端子。

3)将虚端子定义信息存为模板。

4)按工程要求配置装置,并选择对应的装置模板,设定 MAC 地址和多播地址。

5)根据二次接线图用鼠标左键拖拽方式,将输出虚端子和输入虚端子连接。GOOSE 通信相关参数自动由输出虚端子传递给输入虚端子。

6)配置保护装置间的闭锁逻辑。

7)将配置文件下载到装置。

5 结语

数字化变电站 GOOSE 通信功能的解决方案非常具有挑战性,它涉及计算机通信、嵌入式系统应用、保护测控装置研发和变电站二次设计等多个层面。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。希望本文能达到抛砖引玉的目的,推动 GOOSE 通信技术的应用和完善。

参考文献

- [1] IEC 61850-10 Communications networks and systems in substations. 2005.
- [2] 殷志良,刘万顺,杨奇逊,等.基于 IEC 61850 标准的过程总线通信研究与实现.中国电机工程学报,2005,25(8):84-89.
YIN Zhiliang, LIU Wanshun, YANG Qixun, et al. Research and implementation of the communication of process bus based on IEC 61850. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(8):84-89.
- [3] 殷志良,刘万顺,杨奇逊.基于 IEC61850 的通用变电站事件模型.电力系统自动化,2005,29(19):45-50.
YIN Zhiliang, LIU Wanshun, YANG Qixun. Generic substation event model based on IEC 61850. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(19): 45-50.
- [4] 孙一民,李延新,黎强.分阶段实现数字化变电站系统的工程方

案.电力系统自动化,2007,31(5):90-93.

SUN Yimin, LI Yanxin, LI Qiang. A grading solution for building digital station. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(5): 90-93.

- [5] 高湛军,潘贞存,从伟.基于光纤以太网的纵联保护通信方案.电力系统自动化,2005,29(1):57-60.
GAO Zhanjun, PAN Zhencun, CONG Wei. Research on pilot protection communications based on the fiber optic Ethernet. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(1): 57-60.
- [6] 高翔,周健,周红,等. IEC 61850 标准在南桥变电站监控系统中应用.电力系统自动化,2006,30(16):105-107.
GAO Xiang, ZHOU Jian, ZHOU Hong, et al. Application of IEC 61850 standard in monitoring system for Nanjiao Substation. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(16): 105-107.
- [7] 童晓阳,李岗,陈德明,等.采用 IEC 61850 的变电站间隔层 IED 软件设计方案.电力系统自动化,2006,30(14):54-57.
TONG Xiaoyang, LI Gang, CHEN Demin, et al. IEC 61850 based software design scheme of bay level IED in substations. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(14): 54-57.
- [8] IEEE C37.115—2003 Standard test method for use in the evaluation of message communications between intelligent electronic devices in an integrated substation protection, control, and data acquisition system. 2003.
- [9] DL/T 5103—1999 35 kV~110 kV 无人值班变电所设计规程.1999.
DL/T 5103—1999 Design code for unattended substation of 35 kV~110 kV. 1999.
- [10] DL/T 5149—2001 220 kV~500 kV 变电所计算机监控系统设计技术规程.2001.
DL/T 5149—2001 Technical code for designing computerized monitoring and control system of 220 kV~500 kV. 2001.

徐成斌(1972—),男,硕士,长期从事电力系统保护应用研究。

孙一民(1965—),男,硕士,长期从事变电站综合自动化系统研究。E-mail: sunym@sznari.com

A Communication Solution of Process Layer GOOSE in Digitized Substation

XU Chengbin, SUN Yimin

(Nanjing Automation Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: Some restrictions relevant to the application of generic object oriented substation event (GOOSE) in process layer are listed. The important factors concerning reliability and maintainability of operation system, maneuverability of solution along with application scope of GOOSE are pointed out. It brings forward rules about data categorizing of relay protection and priority of events. The affection of GOOSE application to the current design habit is analyzed. The virtual terminator concept is introduced which integrates the design criterion of traditional substation and digitized substation.

Key words: digitized substation; QoS; GOOSE; process layer LAN; intelligent operating unit; virtual terminator