

智能变电站过程层GOOSE信号数据流向及配合关系分析

针对智能变电站过程层通信不透明的现状,阐述了过程层网络GOOSE信号产生的机理,信号优先级划分,信号传输方式及数据流向,系统地总结了过程层网络GOOSE的特性。通过对典型220 kV变电站二次设备间GOOSE信号配合关系的剖析,直观地呈现了电力系统发生故障时保护装置的动作为及GOOSE数据流的生命周期,并结合智能变电站产品研发及全站调试经验,给出了工程应用中一些GOOSE问题的解决方案。

何涛 李亚爽 窦中山 董磊超 茹东武 朱云峰/许继电气股份有限公司

0 引言

智能变电站已经成为建设坚强智能电网的重要基础和有力支撑,我国提出到2020年全面建成坚强智能电网,截至2012年底,国家电网系统内已经投运的智能变电站达217座,2013年建成新一代智能变电站试点站6座^[1],但是智能变电站技术目前正处于前期试验运行阶段,仍然是边总结经验边推进建设。由于智能变电站区别于传统变电站的典型特征是舍弃了大量的电缆接线,采用了光纤以太网进行过程层网络数据通信,其通信变得不透明、不可视,这使得过程层网络在一定程度上变得不可控。数据的实时性、可靠性分析往往靠调试现场实测或工程估算得出^[2],制约了智能变电站建设的推广。因此,对过程层网络进行深入研究,是业界同行们面临的一个重大课题。

本文以过程层GOOSE为切入点,围绕GOOSE信号产生的机理、信号传输方式、数据流向及系统发生故障时二次设

备间GOOSE信号配合关系等要点展开,分析了GOOSE报文的特性,从而使过程层网络在一定程度上变得更加清晰明朗,为智能变电站运行维护人员了解过程层网络提供了一些参考,对相关产品研发、传统变电站改造和工程调试也有一定的借鉴意义。

1 智能变电站过程层网络构成

过程层网络是智能变电站二次系统数据通信的载体,也是二次设备数据采样和下发执行命令的唯一途径,实时性与可靠性要求高,其运行稳定性决定着全站的安全稳定运行。过程层设备包括电子式互感器、合并单元、智能终端、一次设备智能组件和过程层交换机等设备。为了减少网络流量和干扰,使保护装置能够正确快速反映系统故障和异常工况,并可靠切除故障设备,一般采用星形网络结构分网传输,即把SV网络、GOOSE网络从物理上分开,且可按电压等级将过程层网络分成多个物理网络^[3-6]。基于前期运行经验和不断尝试,新一代智能变电站采用了SV、GOOSE报文共网传输^[7],辽宁220 kV何家变电站还采用了SV、GOOSE和1588对时报文“三网合一”的形式,大大优化了过程层网络结构。

智能变电站引入的过程层网络实现了跨设备、跨间隔和跨专业的数据信息共享,同时也使得全站保护自动化系统稳定可靠运行极大地依赖于过程层网络。



何涛/工程师

关键词/Keywords

过程层网络·
GOOSE信号·
数据流向·
传输路径·
配合关系·
工程应用·

2 过程层GOOSE信号产生机理及数据流向

2.1 过程层GOOSE信号的产生机理及传输机制

GOOSE信号是一种基于因果关系的由事件触发的报文，别称虚端子，从功能上与传统的硬开入、继电器接点开入类似，其通信采用发布/订阅机制。为防止网络负载过重情况下丢失GOOSE报文，同一个GOOSE报文会重发多次，重发的时间间隔逐渐增大，当重发间隔增大到最大值时，GOOSE报文将以最大时间间隔不断重发该报文，直到有新事件产生为止^[7]。GOOSE报文事件发送机制如图1所示。

T_0 ：无事件状态下报文重发时间间隔，即心跳时间，一般配置为5 s； (T_0) ：从无事件状态过渡到有新事件状态，报文重发时间间隔（因有事件产生而缩短）； T_1 ：新事件发生时最短报文重发时间间隔，一般配置为2 ms； T_2 、 T_3 ：达到无事件状态前的报文重发时间间隔（ $T_2=2T_1$ 、 $T_3=2T_2$ ）。

基于网络分析设备对过程层数据的全景监控，对过程层GOOSE信号的产生机理进行了分类，涵盖了所有变电站操作及部分状态监测，体现了GOOSE信号对变电站业务的重要支撑作用，并对信号优先级进行了划分，保证了重要GOOSE

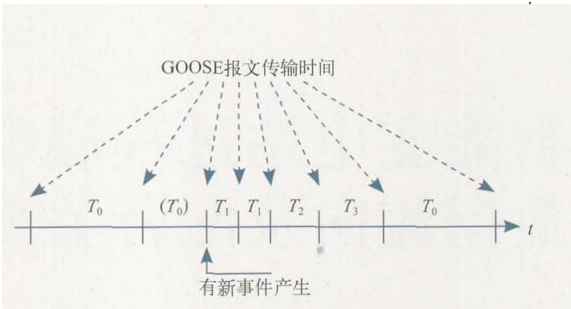


图1 GOOSE报文变时间间隔重发机制

信号的快速传送。GOOSE信号产生机理及优先级如表1所示。

2.2 GOOSE信号的传输方式及数据流向

《智能变电站继电保护技术规范》中明确要求“保护应直接采样，对于单间隔的保护应直接跳闸，涉及多间隔的保护（母线保护）宜直接跳闸。继电保护设备与本间隔智能终端之间通信应采用GOOSE点对点通信方式，继电保护之间的联锁信息、失灵起动等信息宜采用GOOSE网络传输方式”。基于上述技术要求，结合过程层装置与间隔层装置间的业务往来关系，对过程层GOOSE信号的传输方向、传输路径和传输方式进行了分析，如表2所示。

GOOSE信号的发送方与接收方处在不同的功能分层时其传输方向为纵向传输，处在相同功能分层时为横向传输。对表2中的信号实例说明如下：

表1 GOOSE信号产生机理及优先级

产生机理	具体说明	优先级
跳合闸动作	间隔层装置动作、起动失灵、闭锁信号和测控操作等	最高
硬开入变位	主要包括断路器位置、刀开关位置、硬压板、普通遥信开入、手合/手跳开入和复归开入等	较高
装置运行状态及自检	间隔层装置动作信号、异常告警信号。过程层装置电压切换并列信号、运行异常信号、链路异常信号、配置异常信号和动作结果反馈信号等	一般
非电量监测信号	实时性要求不高的模拟量信息，如温湿度传感器输出信息、直流小信号采集等，一般为浮点数或者整形数	最低

表2 GOOSE信号的传输方向及传输路径

传输方向	传输路径	传输方式	信号实例
纵向传输	①过程层装置→间隔层装置	点对点	开关位置、刀开关位置和遥信开入等
	②间隔层装置→过程层装置	点对点	保护跳、测控跳、手合和重合闸等
	③过程层装置→过程层网络→间隔层装置	组网	网口断链、过程层装置异常等
	④间隔层装置→过程层网络→过程层装置	组网	刀开关闭锁、停用重合闸和操作允许等
横向传输	⑤间隔层装置1→过程层网络→间隔层装置2	组网	起动失灵、闭锁备自投和远跳等
	⑥过程层装置1→过程层网络→过程层装置2	组网	电压并列刀开关位置、另一套装置告警等

1) 路径③中, 由于智能终端安装在开关场一次设备附近, 且其本身不接入MMS网, 但又需要监控其运行状态, 路径③就建立了和监控系统的联系, 智能终端直跳口断链、超温告警和控制回路异常等可以迅速经该间隔测控装置上送至监控系统, 方便运行人员及时排除设备故障。

2) 路径⑥中, 母线电压合并单元进行远方并列操作时, 要根据从过程层网络上获取的母联智能终端提供的断路器位置与隔离刀开关位置进行逻辑判别。双网配置时, 由于B套保护装置未提供备用遥信接入来传递B套智能终端异常信息, B套智能终端异常信息可经由A套智能终端再经测控装置上送至监控系统。

2.3 GOOSE信号的特性

通过对GOOSE报文和过程层GOOSE信号订阅关系的分析, 总结出了GOOSE信号的一些特性, 其特性是基于智能变电站设备分布和功能业务产生的, 主要有以下几个方面:

1) GOOSE 服务器传输 GOOSE 报文都是以数据集的形式发送, 一帧报文对应一个数据集, 一次发送将整个数据集中所有成员的数据值同时发送。具体包括数据对象的通道状态、时标和品质因数等数据属性, 任一数据属性的变化都会触发新的GOOSE发送。

2) 一个接收端只能对应于一个发送端, 一个发送端可以对应于多个接收端。前者与传输方式无关, 后者则存在于组网传输方式。这与传统变电站螺钉接线柱端子对应关系相对随意有着很大不同, 也就对变电站前期设计及二次设备设计提出了更高的要求。

3) 单向报文与双向报文同时存在于过程层网络, 上行报文远多于下行报文, 纵向传输报文远多于横向传输报文^[8], 体现了变电站数据信息分散采集与共享集中处理的技术原则。

4) GOOSE报文是一种突发式的高实时性低带宽的流量^[9], 系统稳定时GOOSE报文数据量非常小, 系统故障时GOOSE报文数据量会猛增。这与SV报文量仅与采样点数和发送通道数有关不同。

3 220 kV变电站保护配置及GOOSE配合关系

3.1 典型220 kV智能变电站保护配置

220 kV变电站作为区域电网骨干, 直接承担着城市或大型厂矿的供电任务, 具有十分重要的地位。其主接线一般采用双母线或双母线双分段形式, 《智能变电站继电保护技术规范》中要求“220 kV 及以上电压等级继电保护系统应遵循双重化配置原则, 每套保护系统装置功能独立完备、安全可靠, 双重化配置的两个过程层网络应遵循完全独立的原则”, 间隔层装置及过程层装置配置如表3所示。

表3 220 kV变电站装置配置

间隔名称	合并单元	智能终端	保护装置	测控装置
母线	电压	PT智能	母线保护	母线测控
	合并单元	终端		
母联	电流	智能	母联保护	母联测控
间隔	合并单元	终端		
线路	双端	双端智能	线路保护 (含重合闸)	线路测控
间隔	合并单元	终端		
主变压器	各侧	各侧智能	主变压器保护, 本体	主变压器
间隔	合并单元	终端		
			非电量保护	测控

除主变压器本体非电量保护外, 上述装置均采用双重化配置, 第一套组成A网, 第二套组成B网。其中各间隔所需母线电压由母线电压合并单元级联至间隔合并单元, 各间隔保护测控装置从间隔合并单元直接采样, 动作时直接跳间隔智能终端, 所有合并单元数据均接入母线保护, 母线保护也普遍采用了直接跳各间隔智能终端的方式。

3.2 各种故障及开关失灵时GOOSE信号配合关系

变电站不同设备发生故障时, 由于故障点处在不同的位置, 保护装置的动作行为及动作顺序也不同, 还存在跨间隔的联闭锁及起动失灵行为。信号配合关系包含在全站系统配置文件(SCD)中, 需要在调试阶段进行GOOSE连线, 并生成配置文件下装到保护装置中。下面从GOOSE信号传递和配合的角度出发, 对不同故障情况进行详细分析。

(1) 母线区内故障

母差跳闸GOOSE信号直跳故障母线所有智能终端并发送至过程层网络,若经断路器固有跳闸延时后,间隔仍然有电流且有合位无跳位,则认为该间隔断路器失灵。当主变压器高压侧断路器失灵时,母差跳主变压器高压侧GOOSE出口(和启动失灵共用出口)不会返回,需要联跳主变压器三侧断路器。GOOSE配合关系为母差跳主变压器高压侧GOOSE信号经过程层网络发送至主变压器保护,接收端为高压侧启动失灵GOOSE开入,启动主变压器保护高压侧失灵保护动作,经短时跳开主变压器其余两侧,从而真正切除故障。

(2) 主变压器本体故障和线路故障

故障点处于母线保护范围之内,间隔本身保护范围之内。首先由间隔差动保护动作,当间隔断路器失灵时,跳该间隔GOOSE出口不会返回,GOOSE信号(含启动失灵信号)经过程层网络发送至母线保护,该间隔启动失灵开入及解除电压闭锁开入,启动所在母线断路器失灵保护动作,跳开母联断路器及故障母线所有支路,最终切除故障。

(3) 充电至故障母线

当母线检修结束重新投入运行或新扩母线投运时,需短时投入母联充电保护。若被充电母线出现接地故障,由于故障点与运行母线电气距离很近,短路电流将会很大,母联充电保护能够快速动作。当母联断路器失灵时,跳母联GOOSE信号经过程层网络发送至母线保护母联失灵启动开入,母联失灵保护经延时动作跳全站,以故障持续时间加长和扩大停电范围的代价,实现了故障隔离。

(4) 故障伴随异常

若某支路电流品质异常时发生母线区内故障,此时母差保护被闭锁,各支路差动保护判定为区外故障也不能动作,主变压器高压侧复压过电流保护作为邻近母线的后备保护能够动作出口,经1时限跳母联断路器以缩小故障范围;经2时限跳主变压器高压侧断路器切除故障。若再发生主变压器高压侧断路器失灵,则动作行为同上述。

3.3 过程层网络GOOSE突发流量分析

以母线区内故障且某主变压器高压侧断路器失灵为例,按全站最大支路数24个,双母线接线故障母线接入12个支路考虑,搭建如图2所示试验环境,对保护动作过程中GOOSE信号突变情况进行实测。母线保护单帧跳闸GOOSE(506 Byte),主变压器保护单帧跳闸GOOSE(298 Byte),间隔智能终端发送双点位置GOOSE(338 Byte)、分相断路器位置GOOSE(974 Byte)、事故总信号GOOSE(922 Byte)和跳合闸出口监视GOOSE(1 806 Byte)。

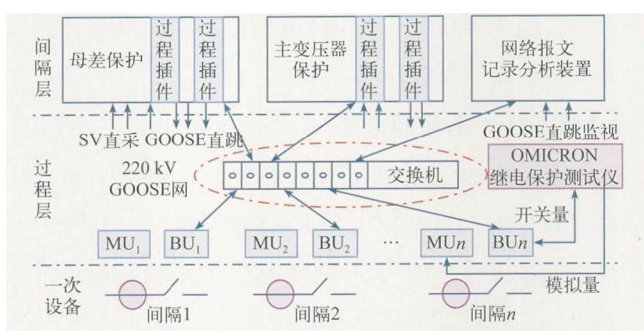


图2 220 kV单网GOOSE报文试验环境

母线保护装置跳闸GOOSE突发流量： $506 \times 4 \times 25 \times 2 = 101\ 200\ \text{Byte} \approx 98.83\ \text{KB}$,其中25为24个支路直跳口加一个GOOSE组网口,2为故障切除后跳闸返回报文。

各间隔智能终端GOOSE突发流量： $(338 + 974 + 922 + 1\ 806) \times 4 \times 11 = 177\ 760\ \text{Byte} \approx 173.59\ \text{KB}$,其中11为故障母线接入的12个支路去除1个失灵支路。

主变压器保护装置跳闸GOOSE突发流量： $298 \times 4 \times 3 \times 2 = 7\ 152\ \text{Byte} \approx 6.98\ \text{KB}$ 。

综上,在故障持续时间260 ms内,220 kV变电站过程层GOOSE单网突发流量为 $(98.83 + 173.59 + 6.98)/0.26 \approx 1.075\ \text{Mbit/s}$,与网络报文记录分析装置监视结果一致^[10]。

4 工程应用中GOOSE相关问题的解决方案

4.1 屏柜出口压板的去留

国家电网公司“六统一”标准化设计规范中

明确要求, 保护屏柜上应设置跳闸出口压板和启动失灵出口压板, 方便间隔检修或消缺时退出相关保护及跳闸出口, 但智能站采用GOOSE直跳模式, 原有屏柜出口压板已经失去意义。为了保证变电站相关操作的安全进行, 可采用在保护装置发送端设置GOOSE出口软压板的方式。

4.2 传统站多条电缆共同接一个端子的问题

双母线双分段接线形式下母差保护装置起分段失灵开入有两个来源, 分别为独立于母线保护的分段充电保护及对侧母差保护。两种开入来源应对的情况却不一样: 前者针对被充电母线出现接地故障; 后者则针对分段单CT接线下的死区故障。传统变电站中两条开入电缆同时接在母差保护装置同一个开入端子上, 但在智能站中GOOSE虚端子却无法这么实现, 这就需要母差保护为每个分段支路提供两个失灵GOOSE开入, 并为两个开入分别设计不同的逻辑, 来实现上述保护功能。

4.3 单套保护与双套保护间失灵回路的优化

在220 kV变电站中, 跨电压等级的主变压器保护装置为双套, 110 kV中压侧母线保护装置为单套, 这就需要110 kV侧母线保护接收双套主变压器保护的跳中压侧GOOSE出口。因此, 母线保护中主变压器支路起动失灵开入、解除电压闭锁开入和开入软压板等均应双套设计。两套起动失灵开入或逻辑起动主变压器支路失灵, 解除电压闭锁开入与逻辑本套起动失灵开入, 且母线保护装置应提供两个GOOSE组网口, 以满足双重化配置的两个过程层网络应遵循完全独立的原则。

5 结束语

在智能变电站中, 如果监控系统是大脑, 那么过程层网络可谓是全站的神经中枢。本文系统地分析了过程层GOOSE信号的数据流向及配合关系, 对智能变电站产品设计和调试工作有一定的参考意义。

前期投运站的过程层设备及网络比较庞大,

仍需通过新试点站的建设, 从现场运行中汲取经验, 大胆创新, 不断优化改进过程层网络结构和通信配置, 达到节约投资, 提高网络带宽利用率的目的。这是下一步智能变电站建设应该重点关注的, 也非常值得智能变电站建设工作者和相关产品设计人员进行积极思考和探索。

参考文献

- [1] 刘阳. 智能变电站继电保护测试技术研究及应用获突破 [EB/OL]. [2014-12-18]. http://digitalpaper.stdaily.com/http_www.kjrb.com/kjrb/html/2014-12/18/content_286865.htm?div=-1
- [2] 王海柱, 蔡泽祥, 邵向潮, 等. 智能变电站过程层网络关键对象建模与仿真 [J]. 中国电力, 2013 (6): 80-84.
- [3] 国家电网公司. Q/GDW 383—2009 智能变电站技术导则 [S].
- [4] 国家电网公司. Q/GDW 441—2010 智能变电站继电保护技术规范 [S].
- [5] 易永辉, 王雷涛, 陶永健. 智能变电站过程层应用技术研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2010 (21): 1-5.
- [6] 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 (增刊1).
- [7] DL/T 860.81—2006 第8-1部分: 特定通信服务映射 (SCSM) 对MMS (ISO 9506-1和ISO 9506-2) 及ISO/IEC 8802-3的映射 [S]. 2006.
- [8] 刘玮, 王海柱, 张延旭. 智能变电站过程层网络报文特性分析与通信配置研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42 (6): 110-115.
- [9] 苏麟, 孙纯军, 褚农. 智能变电站过程层网络构建方案研究 [J]. 电力系统通信, 2010, 31 (7): 10-13.
- [10] 刘昊昱, 左群业, 张保善. 智能变电站过程层网络性能测试与分析 [J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40 (18): 112-116.

(收稿日期: 2015-12-08) EA