智能变电站过程层网络中开关量多设备共享应用方案研究

吴 刚，程中普，郝申军

(许继电气股份有限公司，河南 许昌 461000)

摘要：介绍了智能变电站二次设备之间的过程层网络 GOOSE 报文交互的基本原则，分析了过程层网络中可能存在的启失灵开入、单双套配合、联闭锁信号等源与接收端之间的多设备共享关系。提出了多个 GOOSE 源对应于同一个接收设备、多个接收设备对应于同一个 GOOSE 源、多个二次设备之间 GOOSE 广泛共享等开关量共享方案。从失灵 GOOSE 开入共享、充电手合 GOOSE 开入共享、双套配置间相互闭锁重合闸、测控设备跨双网上送告警等方面阐释了多设备共享的实施方案。给出了此类多设备共享类 GOOSE 开入在接入二次设备之后基于辅助电气量回路的隔离原则。

关键词：多设备共享；过程层网络；闭锁重合闸；启失灵

Application scheme of intelligent substation switch value multi-device sharing

WU Gang, CHENG Zhongpu, HAO Shenjun
(XJ Electric Co., Ltd., Xuchang 461000, China)

Abstract: This paper outlines the basic principles of process-layer network GOOSE message communication between intelligent substation secondary devices and analyzes possible multi-device sharing relationship between receiving terminal and sources such as start failure input, single/double protection configuration, block/unblock signal, etc. The switch value sharing schemes of multi GOOSE source corresponding to one receiving equipment, multi-receiving equipement corresponding to one GOOSE source, GOOSE wide sharing among multi secondary equipments, etc. are proposed. The implementation scheme of multi-device sharing is expounded in terms of failure GOOSE input sharing, charging hand-switch GOOSE input sharing, mutual blocking reclosure between double-set configuration, measurement and control equipment cross dual net up-sending warning, etc. The isolation principles based on auxillary electrical circuit after such multi-sharing GOOSE input switching into secondary devices are given.

Key words: multi-device sharing; process layer networks; blocking reclosure; start failure

中图分类号： TM77 文献标识码：A 文章编号： 1674-3415(2015)10-0144-05

0 引言

网络通信技术的快速发展给智能变电站的发展提供了有力的技术支撑，信息传输介质由光纤取代了传统电缆，交换机的大量使用使得变电站内的全景数据信息得到充分共享，一次、二次设备之间的通信及互操作变得更加直观、便捷[1]。

常规变电站中的运行中存在着回路解环、回路串扰、定检复杂等诸多风险和不便。智能变电站中过程层网络交换机取代了繁杂的二次回路电缆[2]，使得设备之间的信息交互简洁、抽象，因此在很大程度上规避了常规变电站的潜在风险。

根据继电保护配置的基本原则，双套保护之间的过程层网络应该相互独立[3-4]，过程层采样及跳闸的输入输出应满足按照直采直跳方式，保护设备间配合的GOOSE开入宜采用过程层网络通信方式[2]。《智能变电站继电保护技术规范》对于双套过程层网络之间的独立性也做出了功能约束性要求：

1) 每套保护系统功能独立完备、安全可靠，双重化的过程层网络应遵循完全独立的原则；

2) 当一个网络异常或退出时不应影响另一个网络的运行；

3) 两套保护之间不应有任何电气联系，一套保护异常或退出时不应影响另一套保护的运行；

4) 保护装置等智能电子设备间的相互启动、相互闭锁、位置状态等交换信息可通过GOOSE 网络

传输，双重化配置的保护之间不宜直接交换信息。

由此可见，在智能变电站中，GOOSE 开关量之间不能跨双网，但是在一些特定的情况下，两套设备间的相互闭锁、启失灵开入、联跳信息等确实需要在两套保护装置之间共享[5]。此外，在保护功能配置中，基于冗余配置的考虑，双套保护之间也需要考虑启动配合，例如双套配置中的 A 套启动 B 套，因此需要两套保护之间进行信息的交互，这些交互也常常通过开关量来实现。本论文对此类开关量交互的实现方式进行了研究和论述。

1　过程层 GOOSE 交互的原则

过程层GOOSE按照类别分为：刀闸位置、开关位置、启失灵开入、联闭锁信号、遥控命令等，这些GOOSE开入的交互原则细化如下：

1) 过程层跳闸GOOSE按照直采直跳方式即点对点方式接入，即保护装置和智能终端之间为专用的物理链路；

2) 过程层开关、刀闸位置GOOSE开入按照点对点方式接入适用对象，此类GOOSE开入接收可与跳闸GOOSE开出公用一组GOOSE物理链路(RX、TX)；

3) 保护之间的联闭锁信号、启失灵信号采用过程层组网方式接入；

4) 双套保护过程层网络之间不允许有交叉，确因保护配合需要跨接两套保护装置的GOOSE开关量可通过“GOOSE开关量-电气开关量-GOOSE开关量”转换后的辅助隔离回路链接。

2　过程层 GOOSE 多设备共享应用研究

一般情况下，双套保护之间的过程层GOOSE交互均为比较明晰的纵向对应关系，但是在以下场合下，会存在单个GOOSE被多个设备共享的情况：

1) 多台保护设备协同保护同一个被保护对象。例如双重化配置的继电保护。

2) 一个开关量对应多个保护设备。例如，一个手合开入要同时作用于两台智能终端，但两台智能终端的操作对象又是同一台断路器[4]。

3) 主保护和远、近后备保护之间配合用的联闭锁、启动后备保护信号。例如，闭锁重合闸、启失灵开入等等。

4) 一套保护对应多套保护。例如220 kV变电站中，110 kV母线保护对应双套变压器保护的启失灵回路。

下面从线路保护、变压器保护、母线保护分别举例给出多点同源、多源同点的多设备共享的可能性实现方案。

2.1 单套母线保护对应两套变压器保护

在 220 kV 变电站中，220 kV 侧保护双套配置，110 kV、10 kV 保护装置均采用单套配置。变压器保护装置按照高压侧的电压等级配置，220 kV 双配且跨接高、中、低三侧，双配模式下变压器保护每侧都有对应的、相互独立的智能终端，但是 110 kV 母线保护装置单配，在这种情况下就会出现一套母线保护装置对应两个智能终端的情况。

为保证跳闸的可靠性，母线保护上面向主变支路的跳闸 GOOSE 开出要分别设计两个相同的跳闸开出，跳主变支路出口和跳主变支路备用出口，即分别作用于变压器保护中压侧的双套智能终端，两个跳闸 GOOSE 出口通过专用光纤以点对点的方式分别接到两个智能终端，如图 1 所示。

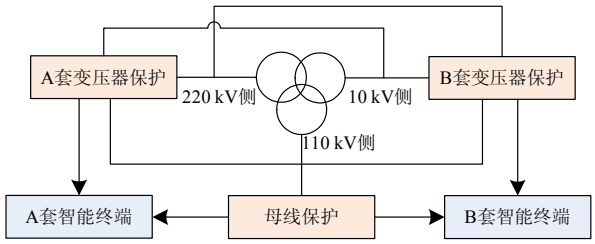


图 1　220 kV 系统跳闸回路图

Fig. 1 Tripping circuit of 220 kV system

在图 1 所示的系统中，通过母线保护装置跨接双套过程层的网络，完全消除了保护的死区，即母线保护通过 A 套过程层网络和 B 套过程层网络同时作用于跳闸，任一过程层网络故障时均可以由另外一个过程层网络作为后备网络跳闸，不会造成故障时漏跳断路器。此外，图 1 所示的系统解决方案也为不停电、不退保护实现纵向检修“智能终端-变压器保护单元”提供了方便。

2.2 启动母线装置失灵保护

110 kV 变电站中主变保护装置习惯上采用主、后分离的原则，即：主保护一台，高压侧后备保护一台、中压侧 1 分支后备保护一台、中压侧 2 分支后备保护一台、低压侧 1 分支后备保护一台、低压侧 2 分支后备保护一台，共计 6 台保护装置。这些变压器保护装置需要考虑分别启动母线保护装置上的断路器失灵保护，此时就会存在母线保护接入多台装置的启失灵开入的问题，如图 2。江西、四川等省份的智能变电站工程中广泛采用了此配置。这种配置方案的优点在于，在主保护拒动或者退出运行时，后备保护能够动作，若断路器跳闸失败依然可以由后备保护动作并启动母线保护作为远后备方案。

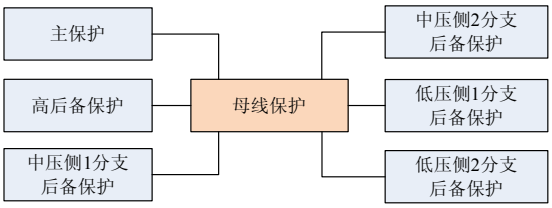


图 2 变压器保护启动失灵逻辑

Fig. 2 Failure starting loigc schematic of transfomer protection

此外随着继电保护技术的发展，继电保护的正确动作率逐渐提高，但是没有更好的办法解决二次回路中未知的开路问题。例如图 2 中，即便主保护正确动作，但是如果主保护到断路器智能终端的跳闸回路开路，最终一样会造成断路器拒跳。在主保护跳闸失败时，图 2 中有两级后备保护作为解决方案：其一主保护启动母线保护的失灵保护，通过母线保护的失灵联跳保护跳开变压器各侧；其二，故障侧的后备保护动作跳闸并启动母线保护的失灵保护。

在图 2 中，母线保护接收到来自各套变压器保护的启失灵开入后有以下三种处理方案：

1) 母线保护将各开入并联后启动失灵保护；

2) 过程层合并各变压器保护装置的 GOOSE 启失灵开入；

3) 母线保护装置对每个来自每一个变压器保护装置的启失灵开入单独设计失灵逻辑。

方案 1 是在母线保护装置上对各个装置的启失灵开入进行“或”逻辑合并处理，如图 3。此方式简单、直接，但是存在两个不同的启失灵 GOOSE 开入相互“搭车”后启动母线失灵保护的缺陷：如主保护的启失灵开入满足 300 ms，高后备启失灵开入满足 300 ms，配合后启失灵开入的存续时间为 600 ms，造成可能会满足失灵保护的动作延时。

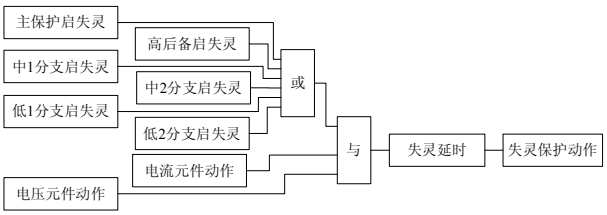


图 3 变压器保护启失灵逻辑示意图

Fig. 3 Start failure logic diagram of transformer protection

方案 2 是在过程层映射 GOOSE 开入时对多点 GOOSE 进行合并处理，在进入保护装置之前将启装置失灵 GOOSE 开入合并。此方案对保护装置的过程层接收功能提出新的要求，需要能够支持对多个不同源的 GOOSE 开入进行多点合并映射处理。

方案 3 是母线保护装置中对每台变压器保护装置各设计一个失灵逻辑，失灵开入处理、失灵电流判别、电压闭锁判据、跳闸驱动逻辑相互独立，所有的启动失灵逻辑完成后合并在一起动作于失灵保护的跳闸出口。此方案相对较为完美，不会造成启失灵开入之间相互“搭车”，同时也更符合断路器失灵保护倾向于防误动的思想。

2.3 线路保护闭锁重合闸

在 220 kV 及以上系统中，母线保护跳闸出口触点需要闭锁重合闸。在重合闸双配的情况下，从理论上两套保护应相互闭锁重合闸，即任一套母线保护动作则需要闭锁两套线路保护的重合闸。

在常规变电站中，母线保护跳闸出口触点连接到操作箱的 TJR 触点，利用操作箱的 TJR 触点闭锁重合闸。在具体实现方案上，可以按照纵向关系对应闭锁重合闸(如图 4(a))，也可以交叉闭锁重合闸(如图 4(b))。

智能变电站过程层网络要求相互独立，因此双重化配置的保护之间不能直接交换闭锁信息，因此图4(b)所示闭锁重合闸的方案则无法通过GOOSE网络闭锁重合闸。为解决此问题，我们可借助基于电气量的辅助隔离回路闭锁重合闸，如图5所示。

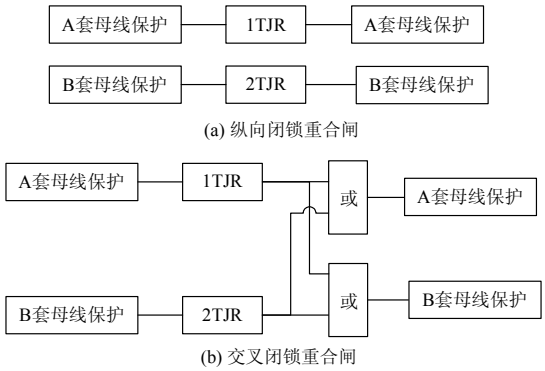


图 4 常规变电站闭锁重合闸回路图

Fig. 4 Blocking reclosure circuit of tranditional substation

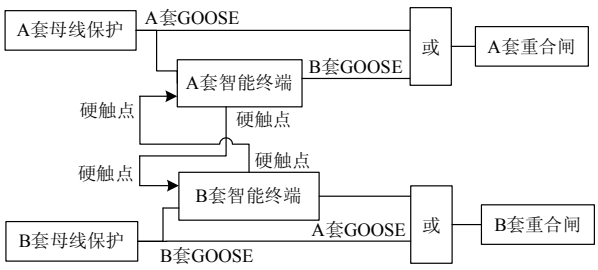


图 5 智能变电站闭锁重合闸示意图

Fig. 5 Blocking reclosure schematic of intelligent substation

从上图可见，A 套智能终端输出硬触点，该硬

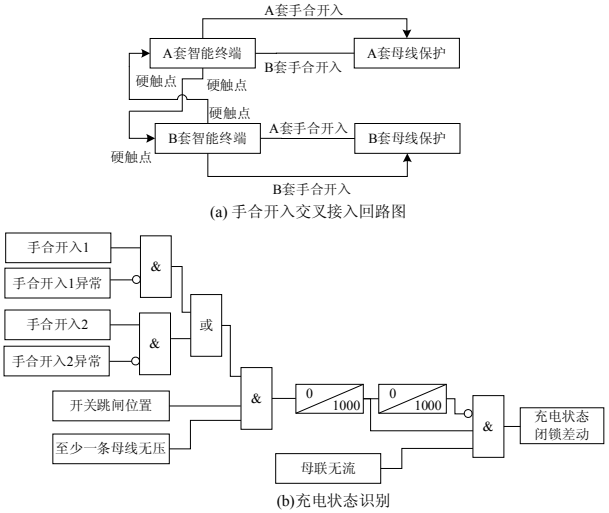
触点接入到 B 套智能终端。B 套智能终端接收到硬触点之后在其内部解析为 GOOSE 开入发送到 B 套的过程层网络上，由此可以闭锁 B 套重合闸。

母线故障时，若其中一套母线保护退出运行或者未正确动作，则无法对其所在的纵向对应的重合闸回路放电。图 4、图 5 所示方案通过两套保护间相互传输闭锁重合闸信号，可以安全可靠地实现任一套保护动作后闭锁断路器对应的两套重合闸回路，防止重合闸动作于永久性故障上。若双套之间的开入传递回路开路，则会存在无法闭锁另外一套重合闸的风险。

2.4 母线保护手合开入跨接双网

国网六统一标准化设计规范中要求充电保护功能放到母线保护装置的差动保护中实现。母线保护通过引入母联手合开入实现母联充电状态的自动识别，在充电到母联死区时由大差保护动作仅跳开母联开关，闭锁母线差动保护动作跳运行支路，防止误跳、多跳。

双套配置情况下两套智能终端手动合闸的操作的对象是同一个母联断路器。若通过 A 套智能终端合闸，母联 A 套智能终端的手合开入发送给 A 套过程层网络，A 套母线保护通过 A 套过程层网络接收 A 套智能终端的手合开入。鉴于 A、B 两套保护过程层网络相互独立，B 套保护则无法接收到 A 套智能终端的手合开入，无法识别出充电状态及闭锁保护，充电到死区时可能 B 套保护会误动并跳开运行母线，严重时会造成全站失压。参考闭锁重合闸的相互传输模式，母线保护需要对两套保护装置的手合开入相互传输，传输方案如图 6(a)所示。母线保护接收后进行合并处理，如图 6(b)所示。



(a) 手合开入交叉接入回路图

(b)充电状态识别

图 6 智能变电站母线充电保护解决方案

Fig. 6 Bus charging protection solution of intelligent substation

在系统运用时，只能操作某一套智能终端的手合来对完成检修的母线进行充电。图 6 的方案中，任一套智能终端合闸均通过辅助隔离回路通知另外一套保护，做好防止充电到死区时误跳运行母线的准备。若传递回路开路，则充电到死区故障时，另外一套母线保护必然会误跳运行母线，造成全站失压，因此必须保障两套网络之间手合开入传递回路的可靠连接。

2.5 跳闸出口链路状态监视

现有的智能变电站均为直采直跳模式，对于母线保护而言，直跳即每个间隔一个专用的跳闸链路，这些面向于支路的跳闸链路的物理通断状态由智能终端进行监视[2]。智能终端实时判别保护发送的跳闸GOOSE报文，如果$4T_0$(T_0为GOOSE心跳报文的时间，一般设置为5 s)时间内收不到数据，则保护判定为直跳口物理链路中断。《智能变电站继电保护技术规范》要求智能终端的告警信息通过GOOSE 上送，因此智能终端判定为链路中断后将断链状态映射为GOOSE开入，将此GOOSE开入上送到过程层网络中，由测控装置接收该GOOSE开入并发出相应的告警报文。

在220 kV变电站工程应用中，测控装置习惯上单配，保护装置、智能终端为双配。此时牵涉到双套智能终端的链路告警上送到单套测控装置的问题，即测控装置则需要跨接双网，从两个物理端口分别接入两套保护装置的直跳口断链告警，如图7所示。

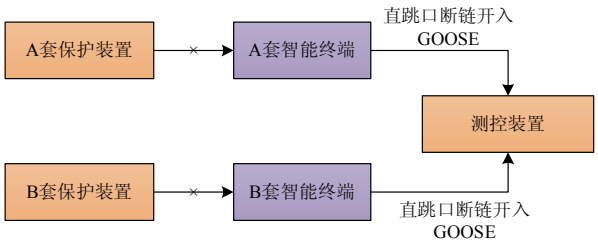


图 7 直跳口断链上送示意图

Fig. 7 Schematic of straight-jump port broken link sending

此外，通过测控装置(单套)遥控双套智能终端时也同样存在一个开关量对应两个使用对象的问题，测控装置下发的遥控命令，应分别连接至两套智能终端，两套智能终端分别连接至断路器的两个操作线圈中。

2.6 启动分段失灵触点

在双母双分接线系统中，从分段开关位置处分开，配置两台母线保护装置完成对整个母线系统的保护。在分段 1 和分段 2 的死区上发生故障时需要

左右两台保护装置均动作才能隔离故障。分段 1 死区位置发生故障时，左面的母线保护装置判为区内故障，差动保护瞬时动作，但是对侧保护装置是区外故障。

为促成对侧差动保护动作，在本侧差动保护动作时向对侧母线保护发送跳闸 GOOSE 开入，该开入用于启动对侧差动保护，对侧差动保护接收到该开入后判断开关位置、母联电流以及复合电压，满足条件后封掉分段 1 的电流，促成对侧差动保护动作。

在这里牵涉到一个 A、B 两套保护装置之间的多点开入共享的配合问题。假设 A 套保护拒动或者退出运行，则 A 套保护的启对侧失灵 GOOSE 开入无法启动 A 套保护装置的对侧保护装置的差动保护，因此两套保护之间应该互相启动，即：右侧保护装置既接收 A 套左侧保护装置的启对侧失灵 GOOSE 开入，又要接收 B 套左侧保护装置的启对侧失灵 GOOSE 开入，并对 A、B 两套保护装置的启对侧触点做相同的处理。接收启对侧失灵触点的逻辑示意如图 8。

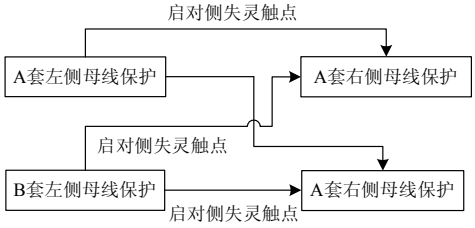


图 8 交叉启动对侧失灵触点示意图

Fig. 8 Schematic of overlapping start offside failure contact

3 结论

论文分析了智能变电站的过程层 GOOSE 网络的构建方案[3-4]，介绍了在双套保护装置过程层 GOOSE 网络相互独立的情况下产生的开关量无法共享的问题。在不影响过程层 GOOSE 网络完全独立的前提下，论文提出了开关量多设备共享的解决方案。

论文基于 110 kV 及以上的变电站工程，介绍了具有代表意义的 GOOSE 开关量多设备共享方案，对于智能变电站保护装置开发，智能变电站工程设计、运行维护等具有的一定的应用价值和指导意义。

参考文献

[1] 张清枝, 魏勇, 赵成功. 变电站网络化二次系统关键技术研究及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(8): 46-52.
ZHANG Qingzhi, WEI Yong, ZHAO Chenggong. Research and application on key technologies of power secondary system in substation based on network[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(8): 46-52.

[2] 李瑞生, 李燕斌, 周逢权. 智能变电站功能架构及设计原则[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 24-27.
LI Ruisheng, LI Yanbin, ZHOU Fengquan. The functional frame and design principles of smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 24-27.

[3] 樊陈, 倪益民, 窦仁辉. 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. Analysis of network scheme for Process layer in smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(18): 67-71.

[4] 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, 38(21): 1-5.
YI Yonghui, WANG Leitao, TAO Yongjian. Process level application scheme in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 1-5.

[5] 曹海欧, 严国平, 徐宁. 数字化变电站 GOOSE 组网方案[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(4): 143-146.
CAO Haiou, YAN Guoping, XU Ning. GOOSE networking scheme for digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(4): 143-146.

收稿日期：2014-08-11； 修回日期：2014-11-18

作者简介：

吴 刚(1966-)，男，本科，工程师，主要研究方向为电力系统继电保护与控制；E-mail: 56425137@qq.com

程中普(1983-)，男，本科，助理工程师，主要研究方向为电力系统继电保护与控制；

郝申军(1980-)，男，本科，助理工程师，主要研究方向为电力系统继电保护与控制。

(编辑 魏小丽)