

DOI: 10.7667/PSPC152152

基于 GOOSE 的综合型智能分布式馈线自动化方案

杜东威, 叶志锋, 许永军

(长园深瑞继保自动化有限公司, 广东 深圳 518057)

摘要: 在配网自动化的馈线自动化方案中, 智能分布式 FA 目前相对是一种最为快速的就地型馈线自动化方案, 但是配电网网架复杂多变, FA 方案也需要有较好的适用性。提出了一种基于区域型配电终端和单元型配电终端的综合型智能分布式 FA 方案, 详细阐述了该方案的系统架构、故障定位原理、故障隔离和供电恢复以及工程配置模型等全过程。从试验检测到实际运用证明了该方案具有良好的适应性。

关键词: 智能分布式; GOOSE; 故障定位; 故障隔离; 供电恢复

A solution of integrated intelligent distributed feeder automation based on GOOSE

DU Dongwei, YE Zhifeng, XU Yongjun

(CYG SUNRUI Co., Ltd., Shenzhen 518057, China)

Abstract: Among all of the feeder automation methods of the distribution automation system, intelligent distributed feeder automation is the fast local solution, however, the distribution network is complex and changeable, so the FA solution should be have good applicability. This paper proposes a solution of integrated intelligent distributed feeder automation based on area distribution terminal and unit distribution terminal, and states the whole process of system architecture, principle of fault location, fault isolation, service restoration and project configuration model. The experiment and practical application all certify this solution have perfect applicability.

Key words: intelligent distribution feeder automation; GOOSE; fault location; fault isolation; service restoration

0 引言

智能分布式 FA(Feeder Automation)是一种就地型的馈线自动化方案, 它不需要配网主站的参与, 只依靠配电终端之间的间隔层通信即可完成。由于它是基于 GOOSE 的快速通信^[1], 配电终端在故障后的十几毫秒内即可完成信息的收集, 所以智能分布式 FA 可以在几秒到十几秒的时间内快速实现非故障区域的供电恢复^[2-3]。

目前, 国内外有很多文献提出了智能分布式 FA 的模式和思路, 文献[4]提出了分区模型, 并建立了开环、闭环状态下分布式 FA 的动作原理; 文献[5]提出了“子站级”、“馈线级”、“开关级”三种智能分布式 FA 的系统结构, 并构建了智能分布式 FA 的 IEC 61850 建模思路; 文献[6]介绍了一种实时拓扑识别的分布式馈线自动化控制方法, 提出通过 STU 的接力查询, 自动获得馈线拓扑结构的理念; 文献[7]阐述了基于 GOOSE 的配网自动化技术, 突出了此技术的快速、易扩展等特点。以上研究成果对实

施智能分布式 FA 提供了巨大的理论支撑和实践指导, 但是较少文献从智能分布式的原理、基于装置的实际建模到面向工程的实际配置去详细阐述智能分布式 FA 的实用化应用。

本文介绍了一种基于 GOOSE 信息的区域型配电终端和单元型配电终端相结合的综合型分布式 FA 方案, 详细阐述了故障定位、故障隔离、非故障区域供电恢复的原理, 并介绍了面向工程的区域型配电终端获取配电网拓扑的方法, 以及智能分布式 FA 在工程中的 GOOSE 建模和 GOOSE 配置过程, 最后结合试验检测的验证, 说明该方案在智能分布式 FA 关键技术上所表现的灵活性和适用性。

1 系统架构

综合型智能分布式 FA 是基于支持 IEC 61850 标准的智能配电终端实现, 配电终端的配置以一次开关为单位, 同目前的配网自动化建设配置相同, 无需增加控制器等设备^[5]。需要说明的是, 需实现分布式 FA 功能的整个供电区域内的所有终端需采

用光纤以太网或 EPON 通信网络组网,如图 1 所示。在物理层上,同现在基于光纤通信的配网自动化建设基本上没有区别,但是在逻辑层上具有以下特点:

- 1) 整个供电区域内的所有配电终端之间的 GOOSE 通信处于间隔层网络;
- 2) 配电终端与配网主站之间的通信属于站控层网络。

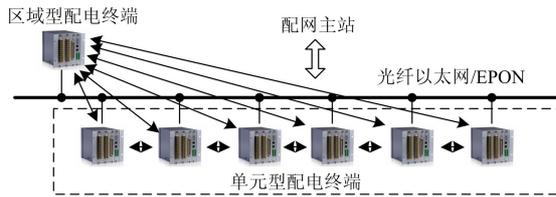


图 1 系统架构

Fig. 1 System architecture

综合型智能分布式 FA 将整个区域内的配电终端划分为两类:单元型配电终端和区域型配电终端。这两种配电终端仅是逻辑意义上的划分,在硬件平台上没有区别,一般选取安装场所便于维护的配电终端完成区域型配电终端的功能。其中,单元型配电终端主要完成与相邻单元型终端的 GOOSE 信息交互^[4],负责所在区段的故障定位和故障隔离,而区域型配电终端需完成与区域内所有其他单元型配电终端的 GOOSE 信息交互,负责整个区域内的非故障区段的供电恢复。整个馈线自动化区域内,只需要一个配电终端承担起区域型配电终端的职责。

2 实施步骤与关键技术

以图 2 所示的一个配电网为例,图中的 3 个变电站开关、7 个分段开关,以及 2 个联络开关均配置基于 IEC 61850 标准的智能配电终端。在此区域内的 12 个配电终端中,我们选取位于变电站的配电终端实现区域型配电终端的功能,因为站内工作条件相对优越,更加利于设备的安全运行,并且终端还可以配置人机化界面,方面对设备的调试和维护。在本例中,选取位于变电站 A 的 CB1 开关所对应的配电终端作为区域型配电终端。

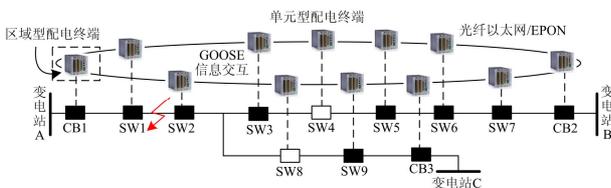


图 2 智能分布式 FA 配置

Fig. 2 Configuration of intelligent distributed feeder automation

2.1 故障定位

故障定位是实现智能分布式 FA 的第一步,也是甚为关键的一步,选取一个具有广泛适用性的定位模型至关重要。考虑到配电网线路的繁冗复杂,若要使故障定位方案具有最大的兼容性,就要将复杂的配电网肢解到最小的单体。无论如何繁杂的网架结构,均是通过开关一级级的级联实现的,而其中的任一个开关即在其位置发挥着桥梁的作用,所以,本方案选取以开关接点为单位建立故障定位模型^[4]。

如图 3 中的开关 SW 为单个开关接点模型,在配电网中,开关 SW 需与两侧的其他开关相连接,于是定义开关 SW 两侧的连接区域分别为 M 邻域和 N 邻域,其中每个邻域考虑最大有 3 个电源方向的开关接点相连接(可扩展),对于变电站出口开关,因为处于馈线的首级,所以仅定义 1 个 M 邻域模型即可。这样就把复杂的配电网分解成了一个单体的开关接点模型,而智能配电终端即可以以开关接点模型为单位去建模。

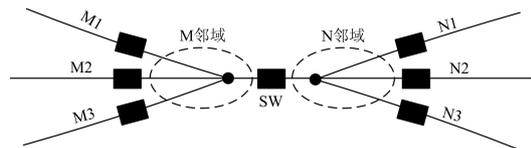


图 3 故障定位模型示意图

Fig. 3 Diagram of fault location model

配电网的任何一个分段或联络开关均存在 M 邻域和 N 邻域,只要这两个邻域内任何一处发生故障,那么该开关即处于故障区段内。目前,多数配电网还是单电源供电,那么在单电源供电的情况下,判断某个开关处于故障区段内的定位判据为:其 M 或 N 邻域内有且只有 1 个发生故障的开关接点。当然,随着分布式电源的逐渐接入及合环运行^[8],故障定位也需要考虑多电源供电的情况。在多电源供电的情况下,需要引入功率方向的判断,故障定位判据为:其 M 或 N 邻域内有开关接点发生故障,且故障接点的功率方向均是流入本邻域^[4]。

2.2 故障隔离

依据上一节的开关接点模型,图 2 中的开关 SW1 的 M 邻域包括自身和 CB1 接点,N 邻域包括自身和 SW2 接点,将 CB1 定义为 SW1 的 M 邻域内的 M1 开关接点,将 SW2 定义为 SW1 的 N 邻域内的 N1 开关接点。同理,SW2 的 M1 接点为 SW1,SW2 的 N1 接点为 SW3,N2 接点为 SW8,其中 M 邻域和 N 邻域仅是开关接点的两侧,并无从属关系。

当开关 SW1 和 SW2 之间发生故障时, 对于开关 SW1 来说, 它的 M 邻域内有自身和 CB1 开关, 共 2 个开关接点检测到故障, 而它的 N 邻域内只有自身 1 个开关接点检测到故障^[4], 所以, N 邻域满足故障定位判据, 于是确定开关 SW1 位于故障区段; 对于开关 SW2, 其 M 邻域满足故障定位判据, 确定开关 SW2 位于故障区段。

一旦配电终端确定了自身所属的开关接点处于故障区段, 接下来只需根据所属的开关类型(断路器或负荷开关)选择不同的动作机制即可。

从故障定位到故障隔离这一过程具有以下特点:

1) 每台配电终端只需要与相邻的配电终端进行 GOOSE 信息交互;

2) 每台配电终端只确定自身是否处于故障区段;

3) 每一个开关接点, 只听从自身所属的配电终端的跳闸指令;

4) 从故障定位到故障隔离, 仅通过相邻配电终端之间的相互通信即可完成。

2.3 供电恢复

恢复非故障区段供电是实现馈线自动化的最后一个环节, 它涉及到故障隔离结果的检测、联络开关的侦查与切换、负荷转供的预判以及转供后的负荷统计等, 是一个相对独立, 但是又全局性很强的过程, 所以, 将供电恢复功能交给区域型配电终端来完成, 不仅方便进行全局性的逻辑处理, 而且在逻辑层次上也相对清晰。区域型配电终端需获得所有单元型配电终端的相关 GOOSE 信息, 在正常工况下, 即判断联络开关位置、统计全区域的负荷状况, 在故障发生后, 实时检测故障的完成情况(成功隔离、拒跳、误动、闭锁等)^[2], 等待故障区段内的开关全部跳开之后, 正确地选择联络开关合闸, 并启动变电站开关合闸, 恢复非故障区段的供电, 并在供电恢复之后进一步监测负荷的运行状况^[9-10]。

在整个供电恢复过程中, 正确地选择联络开关至关重要, 如果建立的模型不合理, 特别是线路拓扑复杂时比较容易出错。本方案提出了“找电源”的建模原理。因为联络开关是在电源站之间起到负荷转供、联络备用的作用, 那么不管网架多复杂, 只要锁定到电源站之间的供电路径^[11-12], 即可准确地找到联络开关的位置。网络中的电源站是一个电源集, 每两个电源站之间即是一条电源路径, 而每一条电源路径上可以有多条供电路径。以图 2 中线路为例, 其中的电源站个数 $n=3$, 首先根据式(1)计算出电源路径个数 p , 计算后的结果等于 3。

$$p = C_n^2 = \frac{n!}{2 \times (n-2)!} \quad (1)$$

然后根据电源路径个数逐一确定每条电源路径上的供电路径。在本例中有: $j1=\{\text{变电站 A、SW1、SW2、SW3、SW4、SW5、SW6、SW7、变电站 B}\}$; $j2=\{\text{变电站 A、SW1、SW2、SW8、SW9、变电站 C}\}$; $j3=\{\text{变电站 B、SW7、SW6、SW5、SW4、SW3、SW8、SW9、变电站 C}\}$ 。再根据各供电路径中的开关位置, 筛选有效供电路径, 确定联络开关位置。本例中的 $j3$ 路径上有两个开关处于分位, 不满足联络开关的条件, 只有路径 $j1$ 、 $j2$ 有效, 其联络开关分别为 SW4 和 SW8。最后, 区域型配电终端根据发生故障的开关接点所处的供电路径, 选择所在供电路径上的联络开关合闸。

如图 2 中故障发生后, CB1 所对应的区域型配电终端通过汇总全区域所有单元型配电终端的信息, 等待开关 SW1、SW2 的成功隔离, 一旦检测到这两个开关的跳位信号之后, 即启动联络开关合闸逻辑。因为 SW1、SW2 不但处于有效供电路径 $j1$, 还处于有效供电路径 $j2$, 那么路径 $j1$ 和 $j2$ 中的联络开关均可以启动合闸。然后区域型配电终端结合需转供的新增负荷进行负荷预判^[9], 确定联络开关 SW4、SW8 的合闸优先级, 在满足负荷转供的条件后, 经延时启动高优先级的联络开关合闸, 与此同时, 启动此前因故障跳开的变电站开关 CB1 合闸, 实现非故障区段的供电恢复, 之后进一步监测合闸后的负荷状况, 最终确定本次馈线自动化功能的彻底完成。

2.4 异常情况处理

智能分布式 FA 是一种系统性的 FA 技术, 它不仅依赖于可靠的算法, 还依赖于强大的通信网络。当通信网络出现异常或中断时, 会造成信息的缺失, 直接影响分布式 FA 逻辑判别的准确性。所以, 出于配电网安全可靠的考虑, 当区域内的任一台配电终端检测到通信异常时, 该配电终端及时上送通信异常信号给区域型配电终端, 区域型配电终端通过“FA 总闭锁开出”信号广播至全区域单元型终端, 以终止当前的 FA 进程。

另外, FA 处理过程中出现的开关拒动、误动情况也直接影响着供电的可靠性, 所以在出现此异常情况时, 必须及时作出有效的应对措施, 比如在开关拒动时可以选择扩大故障切除范围^[2], 在本方案中, 出于安全性的考虑, 当区域型配电终端判断出需跳闸的开关出现拒跳或者非相关开关出现误动,

则终止全部 FA 进程，若联络开关出现拒合，在存在次优先级联络开关的情况下，则启动次优先级联络开关合闸，否则，只启动变电站出口开关合闸，并终止 FA 进程。

3 工程配置

3.1 网架拓扑构建

单元型配电终端是以线路拓扑的最小单位(开关接点)为模型，其作为独立的单元，不需要获知整个网络的拓扑，但是针对区域型配电终端，在逻辑层面上，它是一个全域的概念，准确地获得该区域的网架结构至关重要。2.3 章节提出了“找电源”的建模方案，即将复杂的供电网络肢解成不同的供电路径。在工程上，可以通过图模、文本转换的方式实现。

1) 图模转换

首先将需实现智能分布式 FA 的配电网拓扑模型化，在图模中仅需定义变电站开关图元及编号、分段开关图元及编号、链接线即可。如图 2 中示例，绘制后的图形化网架如图 4 所示，然后将图模文件以*.pic 格式保存。

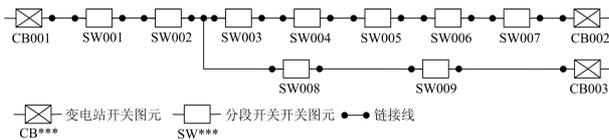


图 4 图模转换示意图

Fig. 4 Diagram of graph mode conversion

2) 文本转换

在完成图模转换之后，生成装置易读取的*.cfg 格式的配置文件。配置文件要求用户通过特殊口令可查看、可编辑，一方面可供用户了解当前的拓扑信息，另一方面不排除在转换错误的情况下，配置人员进行必要的人工修正。针对图 2 中示例，生成的配置文件内容如图 5 所示。

```

NetTop.cfg x
$$$图模生成时间 : 2015/7/12 11:45:17$$$
$$$图模生成路径数目 : 3 $$$
JOB1: CB001 SW001 SW002 SW003 SW004 SW005 SW006 SW007 CB002
JOB2: CB001 SW001 SW002 SW008 SW009 CB003
JOB3: CB002 SW007 SW006 SW005 SW004 SW003 SW008 SW009 CB003
  
```

图 5 网络拓扑配置文件

Fig. 5 A configuration file of network topology

至此，即完成了由实际的区域配电网拓扑到模型及文本配置的转化。区域型配电终端根据生成的网络拓扑配置文件进行逻辑转化，另外，图模和配置文件还供工程备份及后续的拓扑扩展与调整使用。

3.2 GOOSE 配置

基于区域型配电终端和单元型配电终端共同完成的智能分布式 FA 离不开面向对象的变电站事件(GOOSE)这个基础的信息网络，并且这个信息网络需要能够灵活配置、可靠扩展。其工程配置过程如图 6 所示^[5]。

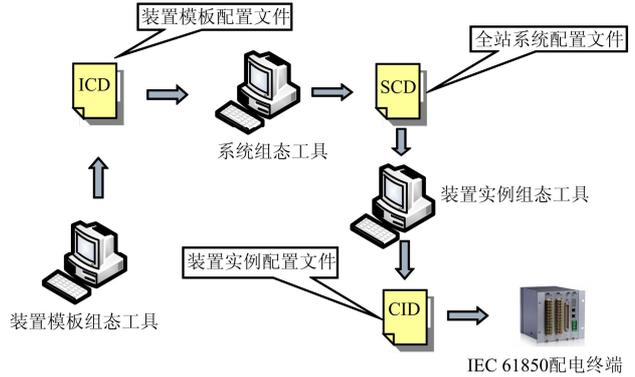


图 6 IEC 61850 工程配置示意图

Fig. 6 Diagram of IEC 61850 engineering configuration

在图 6 中，装置模板 ICD 文件是实现智能分布式 FA 所需要的 GOOSE 模型的载体，GOOSE 输入和输出信号以 GGIO 类型的 LN 存在于 ICD 文件中。根据逻辑功能以及安装位置的不同，共有区域型终端、变电站单元型终端和分段开关单元型终端三种不同的 ICD 模板文件。其中，区域型配电终端的 GOOSE 模型从功能上可以分为三部分：联络开关合闸、变电站合闸和故障隔离；对于单元型配电终端，不管是位于变电站出线的单元型终端，还是位于分段开关处的单元型终端，其 GOOSE 模型从功能上均包括故障隔离和供电恢复两个部分，其具体的 GOOSE 信号模型如图 7 所示^[13-16]。

根据各终端的 ICD 文件完成全区域 SCD 文件的配置是完成智能分布式 FA 工程应用的另一个重要环节。SCD 配置根据图模建立全区域的 IED 模型^[17]，如图 4 中拓扑，需建立区域型终端(变电站 CB001)、变电站单元型终端(CB002、CB003)和分段开关单元型终端(SW001~SW009)共计 12 个 IED 模型，然后，进行逻辑上两种类型的 GOOSE 虚端子关联。

1) 区域型终端与单元型终端之间的配置，根据图模中的图元编号与区域型终端的 GOOSE 信号一一对应进行关联；

2) 单元型终端之间的配置，自定义各单元型终端的 M 邻域和 N 邻域位置，按顺序进行关联。

在图 7 中展示的是在 SCD 配置中，区域型终端(CB001)、变电站单元型终端(CB002)和分段开关单

元型终端(SW001、SW002)之间的 GOOSE 信号关联, 其中按图 4 中图元的编号定义, SW001、SW002 和 CB002 分别作为区域型配电终端 GOOSE 模型中的“接点 01”、“接点 02”和“变电站 02”; CB001

和 SW002 分别位于 SW001 的 M 邻域和 N 邻域, SW001 又位于 SW002 的 M 邻域, 以此类推, 完成整个区域的 SCD 文件配置, 最后生成各个配电终端逻辑使用的 CID 文件。

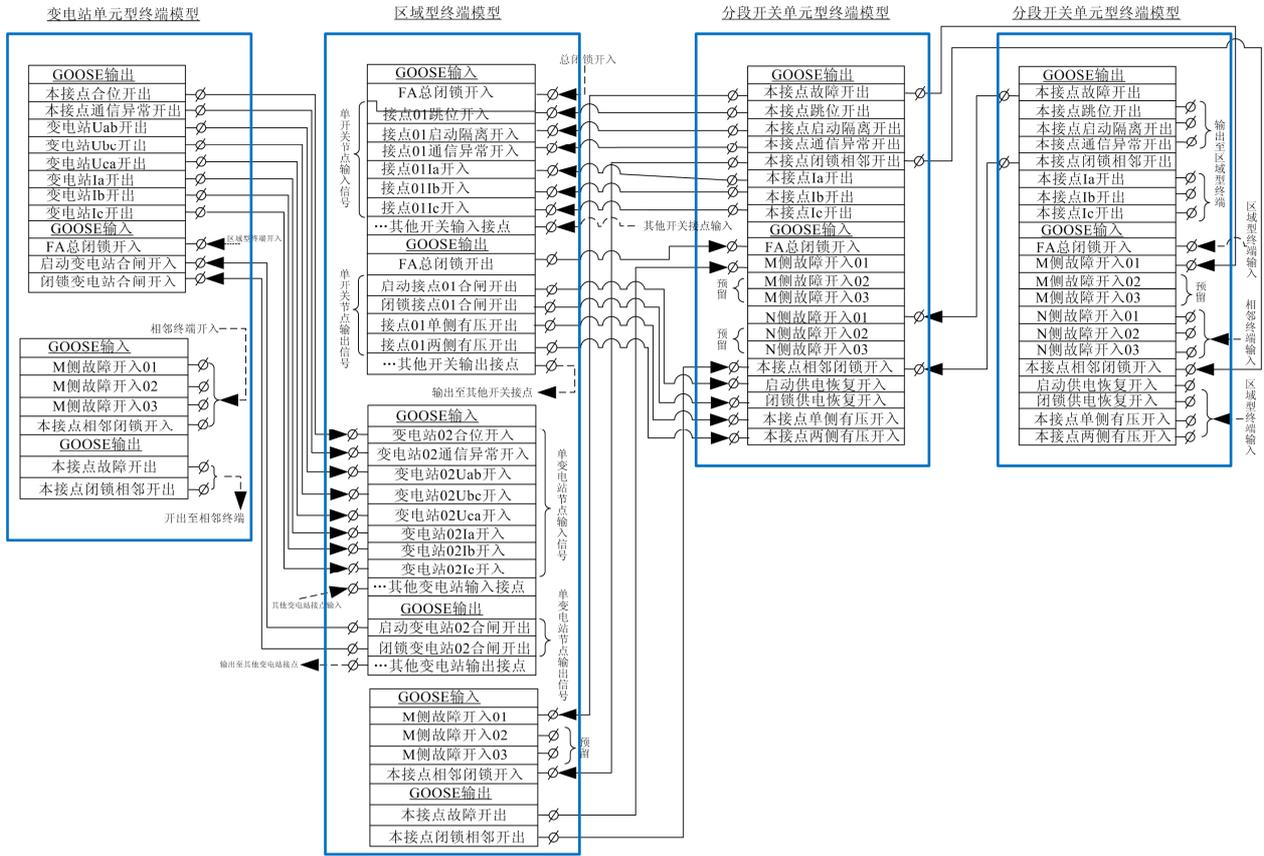


图 7 GOOSE 模型配置示意图

Fig. 7 Diagram of goose model's configuration

4 试验验证

图 8 是上海电科院针对架空线智能分布式馈线自动化的检测拓扑图, 拓扑图中有三条 10 kV 变电站出线, 8 个负荷开关和 3 个变电站出线开关, 针对这 11 个开关各配置 1 台硬件配置完全相同的智能配电终端。

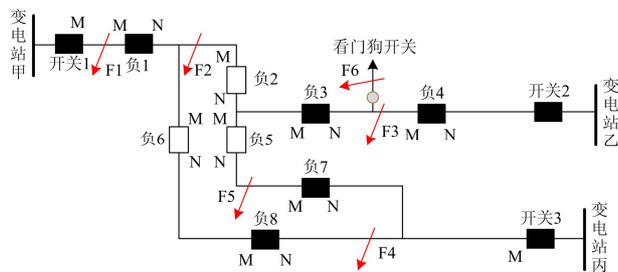


图 8 上海电科院试验检测示意图

Fig. 8 Test diagram of shanghai electric power research institute

第一步, 将上述拓扑图形进行图模、文本转换, 并生成 4 条供电路径信息:

$j_1 = \{\text{开关 1, 负 1, 负 2, 负 3, 负 4, 开关 2}\};$

$j_2 = \{\text{开关 1, 负 1, 负 2, 负 5, 负 7, 开关 3}\};$

$j_3 = \{\text{开关 1, 负 1, 负 6, 负 8, 开关 3}\};$

$j_4 = \{\text{开关 2, 负 4, 负 3, 负 5, 负 7, 开关 3}\}.$

第二步, 拟定“开关 1”的配电终端承担起区域型配电终端功能, 其他开关的配电终端担任单元型配电终端, 其中“开关 2”和“开关 3”为变电站单元型终端, 其他负荷开关为分段开关单元型终端。

第三步, 拟定图 8 中 M、N 标识为各开关的 M、N 邻域, 并进行 GOOSE 工程化配置, 其中“负 1”的 N 邻域有“负 2”和“负 6”两个开关接点, 进行 GOOSE 配置时, “负 1”的“N 侧故障开入 01”和“N 侧故障开入 02”分别对应“负 2”和“负 6”的“本接点故障开出”, 同理, “负 2”和“负 6”的 M 邻域亦然。

至此，即完成了从实验拓扑到装置工程化配置的转化。

在整个实验过程中分别针对正常工况和异常工况下各个位置故障进行检测，该方案均能灵活、正确地进行处理，下面针对几种特殊情况进行说明。

1) 分段开关之间故障

如图 8 中 F3 处故障，在“负 3”的 N 邻域和“负 4”的 M 邻域内有且只有一个“负 3”检测到故障，于是“负 3”和“负 4”发出“启动故障隔离开出”信号给区域型配电终端。“开关 1”的区域型配电终端结合整个网络拓扑确定故障位置位于供电路径 j1 和 j4，区域型配电终端实时检测“负 3”和“负 4”的位置变化，只有当“负 3”和“负 4”完全跳开之后，才启动“供电路径 j1 或 j4 上的联络开关”和“开关 1”合闸，其中 j1 和 j4 路径上联络开关的合闸优先级判断是区域型配电终端在故障之后将故障前“负 3”的 M 邻域负荷进行转供预判确定。

在本测例中，区域型配电终端具有以下两个特点：

a) 自动判断网络拓扑中供电路径的联络开关位置，无需远程设置某开关是分段开关还是联络开关^[4]；

b) 在负荷转供之前已通过负荷预判确定了不同联络开关的合闸优先级，无需通过整定不同合闸延时去区分优先级^[4]。

2) 联络开关近端故障

如图 8 中的 F2 处故障，在“负 1”判断出处于故障区域之后，发出“本接点闭锁相邻开出”信号，若相邻开关已满足联络开关的合闸条件，则收到“本接点相邻闭锁开入”信号之后闭锁本接点本次合闸。在本测例中，“负 2”和“负 6”被相邻开关闭锁合闸。

在本方案中，均不指定某个开关是否是联络开关，各个开关根据自身开关位置，以及“本接点单侧有压”和“本接点两侧有压”条件去自动判断是否具有联络合闸条件，当不具有联络合闸条件时，收到“本接点相邻闭锁开入”信号不作处理。

3) 联络开关调整

如图 8 中网络，在供电路径 j1 中，只有“负 2”开关处于分位，所以，“负 2”是供电路径 j1 的联络开关，在供电路径 j2 中，“负 2”和“负 5”两个开关处于分位，则该路径为非有效供电路径，该路径中不存在联络开关。在本测例中，通过将“负 5”开关合上，“负 3”开关断开来实现联络开关的调整。在这种情况下，保证智能分布式 FA 的正确执行，装置必须能自动适应新的运行方式。区域型配电终

端在正常工况下实时检测全区域的开关状态，当检测出开关位置变动时，则重新判断各个供电路径的有效性，当“负 5”开关合上，“负 3”开关断开后，则供电路径 j1 出现了两个开关分位，供电路径 j2 出现了 1 个开关分位，则纠正供电路径的有效性：j1 路径无效，j2 路径有效。同时区域型配电终端根据三个变电站的母线电压以及供电路径中的开关位置状态，顺序判断路径中的每个开关是单侧有压，还是两侧有压，并将判断结果 GOOSE 开出至相关开关接点。

在本测例中，区域型配电终端结合线路拓扑实现了联络开关的自动切换，不需要相邻设备的接力查询^[6]，并且也解决了联络开关两侧必须安装 PT 的问题。

4) 看门狗开关故障

如图 8 中的 F6 处故障，因为看门狗开关与变电站开关合理配合可以将故障分支线单独隔离，避免了整条线路停电，所以即便故障发生在“负 3”和“负 4”的邻域内也不会造成“负 3”和“负 4”的隔离跳闸。

假若该分支线是重要敏感线路，需要改造纳入到智能分布式 FA 网络中时，因为分支线为纯负荷线路，不在区域型配电终端拓扑建模时的电源路径内，所以，只需要修改“负 3”的 N 邻域和“负 4”的 M 邻域的 GOOSE 信息关联即可，区域型配电终端和区域内的其他配电终端均不受影响，所以，该方案能比较好地适应 FA 线路拓扑的改变^[5]。

5) 异常情况处理

如图 8 中 F3 处故障，当故障发生之后，区域型配电终端即获知“负 3”和“负 4”处于故障区段，并实时检测其开关位置的状态，当超过设定时间，“负 3”和“负 4”仍没有全部跳开，或者非“负 3”和“负 4”出现了位置变化，则判断 FA 过程中出现了开关拒动或误动，此时区域型配电终端发出“FA 总闭锁开出”信号，闭锁全区域内的 FA 进程。

当区域内任一配电终端开出“本接点通信异常开出”时，区域型配电终端同样发出“FA 总闭锁开出”信号，闭锁全区域内的 FA 进程。

在异常闭锁处理方面，综合型智能分布式 FA 方案具有以下特点：

a) 无需相邻配电终端之间传递拒动、误动信息^[4]，区域型配电终端可自动进行判断，减少了相邻配电终端之间的信息量；

b) 区域型配电终端能够集中进行全区域控制，在异常情况下能及时终止进程，减少事故的发生。

5 结语

馈线自动化是配网自动化建设的一个重要组成部分。本文介绍了一种基于 GOOSE 的综合型智能分布式 FA 方案, 从区域型配电终端和单元型配电终端的系统架构, 到故障定位、故障隔离、供电恢复的判断原理以及面向工程的模型配置, 详细阐述了智能分布式 FA 的实现过程, 并结合上海电科院智能分布式馈线自动化功能专项检测案例, 验证了该方案的技术特点。另外, 综合型智能分布式 FA 的理念在国网绍兴镜湖新区项目建设上也得到了灵活的应用, 随着不断的使用和完善, 综合型智能分布式 FA 能够为智能配电网的建设做出更大的贡献。

参考文献

- [1] 王鑫, 许力, 李晓, 等. 基于 FPGA 的 GOOSE 报文解析模块设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(24): 101-107.
WANG Xin, XU Li, LI Xiao, et al. Design and realization of GOOSE decoding module based on FPGA[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(24): 101-107.
- [2] 刘健, 赵树仁, 负保记, 等. 分布智能型馈线自动化系统快速自愈技术及可靠性保障措施[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(17): 67-71.
LIU Jian, ZHAO Shuren, YUN Baoji, et al. Fast self-healing technology in distributed intelligent feeder automation systems and its reliability enhancement[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(17): 67-71.
- [3] 刘健, 张小庆, 陈星莺, 等. 集中智能与分布智能协调配合的配电网故障处理模式[J]. 电网技术, 2013, 37(9): 2608-2614.
LIU Jian, ZHANG Xiaoqing, CHEN Xingying, et al. Fault location and service restoration for distribution networks based on coordination of centralized intelligence and distributed intelligence[J]. Power System Technology, 2013, 37(9): 2608-2614.
- [4] 刘健, 负保记, 崔琪, 等. 一种快速自愈的分布智能馈线自动化系统[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(10): 62-66.
LIU Jian, YUN Baoji, CUI Qi, et al. A distributed intelligent feeder automation system with fast self-healing performance[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(10): 62-66.
- [5] 凌万水, 刘东, 陆一鸣, 等. 基于 IEC61850 的智能分布式馈线自动化模型[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(6): 90-95.
LING Wanshui, LIU Dong, LU Yiming, et al. Model of intelligent distributed feeder automation based on IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(6): 90-95.
- [6] 高孟友, 徐丙垠, 范开俊, 等. 基于实时拓扑识别的分布式馈线自动化控制方法[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(9): 127-131.
GAO Mengyou, XU Bingyin, FAN Kaijun, et al. Distributed feeder automation based on automatic recognition of real-time feeder topology[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(9): 127-131.
- [7] PARIKH P, VOLOH, MAHONY M. Fault location, isolation, and service restoration (FLISR) technique using IEC 61850 GOOSE[C] // IEEE Power & Energy Society General Meeting, Vancouver, July 21-25, 2013: 1-6.
- [8] 刘健, 张小庆, 同向前, 等. 含分布式电源配电网的故障定位[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(2): 36-48.
LIU Jian, ZHANG Xiaoqing, TONG Xiangqian, et al. Fault location for distribution systems with distributed generation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(2): 36-48.
- [9] 杨超. 基于 RTDS 平台的智能分布式馈线自动化仿真测试[J]. 华东电力, 2014, 42(12): 2568-2571.
YANG Chao. Simulation testing of intelligent distributed feeder automation based on RTDS environment[J]. East China Electric Power, 2014, 42(12): 2568-2571.
- [10] 陈春, 汪飒, 刘蓓, 等. 一种智能配电网安全运行控制方法[J]. 电工技术学报, 2015, 30(12): 357-366.
CHEN Chun, WANG Feng, LIU Bei, et al. A method of safe operation control of smart distribution system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(12): 357-366.
- [11] 罗日成, 李卫国. 基于图论的配电网电气连通性分析算法[J]. 电工技术学报, 2005, 20(10): 98-102.
LUO Richeng, LI Weiguo. Research on the algorithm of electric connectivity analyzing for distribution network based on graph theory[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2005, 20(10): 98-102.
- [12] 麻秀范, 丁宁, 李龙. 配电网重构中网络辐射形与连通性的判断[J]. 电工技术学报, 2014, 29(8): 289-293.

- MA Xiufan, DING Ning, LI Long. Judging radial and connectivity of network in distribution networks reconfiguration[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(8): 289-293.
- [13] 徐成斌, 孙一民. 数字化变电站过程层 GOOSE 通信方案[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.
- [14] 韩国政, 徐丙垠. 基于 IEC 61850 标准的智能配电终端建模[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(2): 104-107.
- HAN Guozheng, XU Bingyin. Modeling of intelligent distribution terminal according to IEC 61850[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(2): 104-107.
- [15] 韩国政, 徐丙垠, 索南加乐, 等. 基于 IEC 61850 的配网自动化通信技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(2): 62-66.
- HAN Guozheng, XU Bingyin, SUONAN Jiale, et al. Communication technology for distribution automation based on IEC 61850[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(2): 62-66.
- [16] 齐昕, 张育臣, 唐喜, 等. 基于 IEC 61850 的配网成套开关状态监测系统研制[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 109-114.
- QI Xin, ZHANG Yuchen, TANG Xi, et al. Development of distribution network switchgear condition monitoring system based on IEC 61850[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 109-114.
- [17] 梅德冬, 樊瑞, 周斌. IEC 61850 模型信息的规则表达与校验研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(3): 131-136.
- MEI Dedong, FAN Rui, ZHOU Bin. Research on regular expressions and check of IEC 61850 model information[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(3): 131-136.

收稿日期: 2015-12-10; 修回日期: 2016-03-12

作者简介:

杜东威(1985-), 男, 工程师, 主要从事配网自动化产品研发; E-mail: dudw@sznari.com

叶志锋(1983-), 男, 工程师, 主要从事配网自动化产品研发; E-mail: yezf@sznari.com

许永军(1977-), 男, 工程师, 主要从事配网自动化产品研发。E-mail: xuyj@sznari.com

(编辑 魏小丽)