

[馈线自动化]

架空线路的智能分布式馈线自动化实现方案

文/广东电网有限公司珠海供电局 陆小鹏 吴炬卓 张晨晨 李惠俊

针对架空线路电压-时间型馈线自动化处理故障时间长，冲击电网次数多等缺点，基于智能型终端，提出智能分布式馈线自动化改造方案。本方案已在珠海地区多条架空线路上成功实施，有利于提高配电网架空线路供电可靠性。

配电网自动化对于提高配电网供电可靠性，扩大配电网供电能力，进而实现配电网高效经济运行具有较强的推动的作用。馈线自动化作为配电网自动化中重要的功能，是实现配电网快速隔离故障以及快速复电的有效手段，其运行情况对配电网自动化的实施效果产生直接影响。

对于配电网中应用的馈线自动化，按照故障处理模式可以分为集中型和就地型两类。集中型馈线自动化需要配电自动化主站的参与，通过通信网络实时监视配电网运行状况，远程控制开关设备进行故障隔离和非故障区域复电，主要应用于可靠性要求较高的区域配电网。就地型馈线自动化能够独立完成故障的处理，包括重合器式和智能分布式两类。其中重合器式为非通信型故障处理模式，靠自动化开关相互配合实现馈线自动化。重合器式馈线自动化造价相对较低，适应范围较广，但其隔离故障时需要自动化开关多次重合闸，导致对线路形成多次冲击，且故障隔离时间长。智能分布式馈线自动化为近几年提出的故障处理模式，通过智能型终端之间的信息交互，实现快速故障隔离，进而缩短了故障处理时间，同时降低了对通信系统的依赖程度。

目前，珠海地区架空线馈线自动化主要采用电压-时间型模式，属于重合器式馈线自动化一种。为克服该模式的缺点，本文研究了改造方

案，采用智能分布式馈线自动化方式，利用无线通信通道，通过相邻配电智能型终端两两间的信息交互，就地实现故障快速定位、隔离以及非故障区域自动恢复供电，并可在异常情况下，切换至常规的电压-时间型馈线自动化。

电压-时间型馈线自动化

电压-时间型馈线自动化是就地型馈线自动化的典型代表，适用于线路分段联络就地隔离故障。图1所示的架空线电压-时间型馈线自动化示意图中，CB1和CB2为变电站出线开关，FS1~FS5为分段开关，LS为联络开关。正常运行时，变电站出线开关和分段开关处于合闸状态，联络开关处于分闸状态。FTU为自动化终端，用于与配电网主站交互信息。

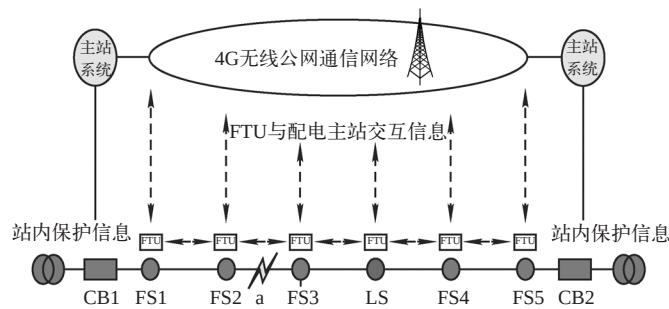


图1 架空线电压-时间型馈线自动化示意图

在图1中，当线路a点发生故障时，变电站出

线开关CB1检测到故障电流动作跳闸,随后分段开关FS1、FS2和FS3因失电压而分闸。经过第一次重合闸延时后,变电站出线开关CB1重合,分段开关FS1和FS2相继得电压,经过延时 X_F 时限自动合闸。当分段开关FS2合闸于故障时,引起开关CB1再次跳闸,进而使分段开关FS1和FS2再次因失电压而分闸。此时,分段开关FS2由于维持合闸的时间小于 Y 时限,进而闭锁在分闸状态。与此同时,分段开关FS3由于在分闸位置检测到残电压也闭锁在分闸状态。经过第二次重合闸延时后,变电站出线开关CB1第二次重合,分段开关FS1得电压,并经过延时 X_F 时限自动合闸,即可恢复分段开关FS2前段健全线路的供电。对于联络开关LS,当故障侧失电压时,经过延时 X_L 时限后自动合闸,恢复分段开关FS3后段健全线路的供电。如果联络开关LS两侧带电时间没有超过 Y 时限,则不重合闸。另外,为避免电网闭环运行,在 X_F 时限或 X_L 时限内检测到联络开关两侧带电时,所有的分段开关应禁止合闸。

由以上分析可以得到各开关的动作信息以及时间配合关系,如图2所示。不需要主站参与,仅依靠自动化开关的动作逻辑与时间配合,电压时间型馈线自动化即可实现就地隔离故障,恢复非故障区域供电的功能。但在隔离故障过程中,变电站的出线开关需要重合闸动作两次,故障隔离时间长,且对电网形成多次冲击。

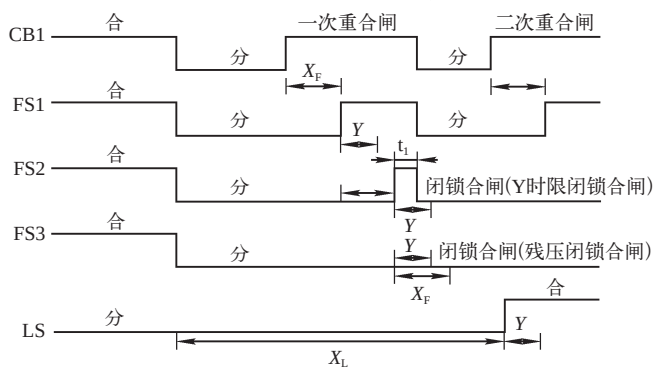


图2 各开关动作示意图（电压-时间型）

智能分布式馈线自动化

为了缩短故障处理和非故障区域恢复供电的时间,同时减少因开关动作对电网造成的冲击次数,本文在电压-时间型馈线自动化原理基础上进行改造。改造方案将原有的终端控制器升级为智能终端控制器,同时具备智能分布式以及电压-时间型馈线自动化功能,其中电压-时间型馈线自动化与原有功能一致。智能终端控制器配置的通信模块采用4G无线公网,同时设立2个完全独立的

数据通信通道;一个通道用于配电主站与终端之间的自动化监控数据传输;另外一个通道用于相邻终端之间的智能分布式自动化数据传输,如图3所示。

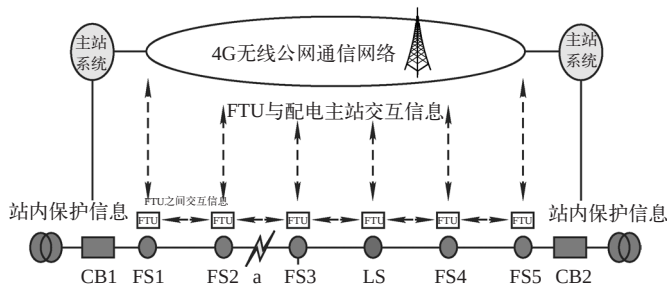


图3 架空线智能分布式馈线自动化示意图

1. 故障隔离原理

当图3中的a点发生故障时,变电站出线开关CB1检测到故障电流动作跳闸,随后分段开关FS1、FS2和FS3因失电压而分闸。此时,分段开关FS1和FS2的终端检测到故障电流,而分段开关FS3和联络开关LS的终端没有检测到故障电流。经过第一次重合闸延时后,变电站出线开关CB1重合,分段开关FS1得电压,且其终端向分段开关FS2终端发信询问是否检测到故障电流。当得到分段开关FS2终端检测到故障电流的信息后,分段开关FS1经过延时 X_F 时限自动合闸。随即分段开关FS2得电压且其终端向分段开关FS3终端发信询问是否检测到故障电流,当得到分段开关FS3终端没有检测到故障电流的信息后,则判断故障点在分段开关FS2和分段开关FS3之间,分段开关FS2和分段开关FS3将同时闭锁在分闸位置,进而达到隔离故障的目的。与此同时,当联络开关LS故障侧失电压时,其终端向分段开关FS3终端发信询问是否检测到故障电流,当得到分段开关FS3终端没有检测到故障电流的信息后,联络开关LS经过延时 X_L 时限后自动合闸,恢复分段开关FS3后段健全线路的供电。

根据以上故障隔离过程,则各开关的动作信息以及时间配合关系如图4所示。对比图2和图4可以看出,智能分布式馈线自动化在定位、隔离故障和恢复非故障区域供电的过程中,变电站出线开关和故障点电源侧分段开关只需要重合闸一次。相比于电压-时间型馈线自动化,在缩短故障处理时间的同时,减少了由于开关动作给电网带来冲击的次数。

以FTU1~FTU3表示分段开关FS1~FS3的智能终端、FTU(LS)表示联络开关的智能终端,根据智能分布式馈线自动化故障处理原理,当架

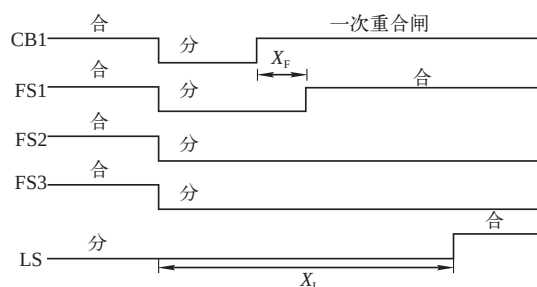


图4 各开关动作示意图（智能分布式）

空线路不同地点发生故障时，则各终端之间的信息交互及各开关动作情况如图5所示。

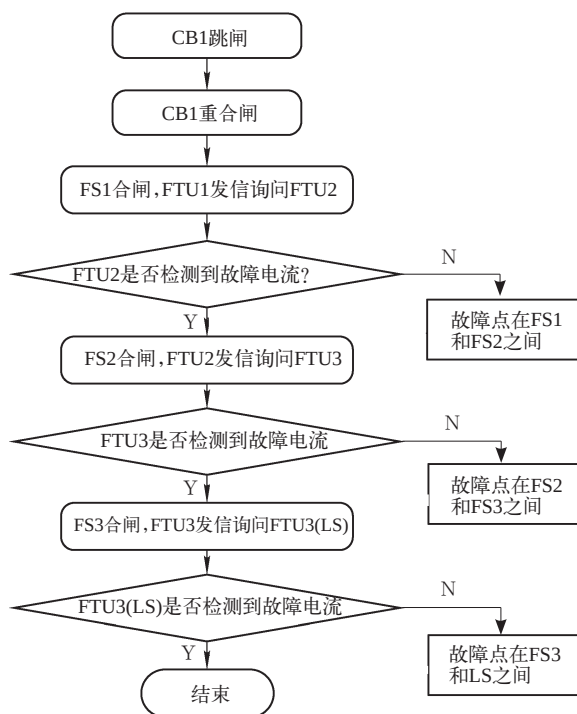


图5 故障点定位流程图

2. 异常情况处理策略

(1) 通信异常

如图3所示，当a点发生故障，同时分段开关FS2的终端通信出现异常时，分段开关FS1和FS2的终端均检测到故障电流，但分段开关FS1得电压后，其终端无法接收到来自分段开关FS2的终端的信息，这时分段开关FS1启动近后备故障处理策略，闭锁在分闸状态。对于分段开关FS3，其终端没有检测到故障电流，同时也没有接收到来自分段开关FS2的终端的信息，也闭锁在分闸状态。

(2) 开关拒动

如图3所示，当a点发生故障，同时变电站出线开关CB1跳闸后分段开关FS2仍处于合闸状态

时，分段开关FS1得电压后，其终端接收到来自分段开关FS2的终端的“故障定位在本处”信息，分段开关FS1启动近后备故障处理策略。经过延时后，分段开关FS2依然在合闸状态，其终端向分段开关FS1的终端发送“隔离失败”信息，分段开关FS1的终端接收信息后，将分段开关FS1闭锁在分闸状态，进而隔离故障。

试验验证

为了验证故障情况下，本文提出的智能分布式馈线自动化的开关动作的正确性和可靠性，根据现场架空线路，利用原有的负荷开关和智能终端建立如图6所示的试验模型。

在图6中，72T1开关、43T1开关和25T1开关为分段负荷开关，48T1开关为联络负荷开关，FTU为智能终端。

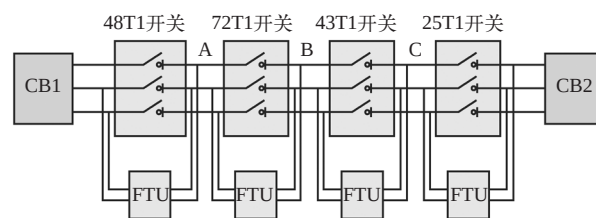


图6 试验模型图

当故障点分别位于分段A、分段B和分段C时，通过继电保护仪施加短路电流，模拟通信正常和异常情况下的接地故障和相间故障，同时记录每个开关的动作情况和动作时间。试验内容和结果见下表。

表 试验内容和结果

故障点位置	通信状态	故障类型	动作模式
A	正常	接地和相间故障	智能分布式馈线自动化
	异常	接地和相间故障	电压时间型馈线自动化
B	正常	接地和相间故障	智能分布式馈线自动化
	异常	接地和相间故障	电压时间型馈线自动化
C	正常	接地和相间故障	智能分布式馈线自动化
	异常	接地和相间故障	电压时间型馈线自动化

从上表可以看出，本文提出的智能分布式馈线自动化能可靠隔离接地故障和相间故障。当通信状态正常时，动作模式为智能分布式馈线自动化，当通信状态异常时，动作模式能自适应切换到电压时间型馈线自动化。

传感器会重新选择中继节点,达到提升数据包传输可靠性的目的,有效地避免了数据在传输过程中出现的丢失现象,为后续智能电梯的规范管理提供良好的数据基础。

如果上述中传感器节点重新选择了中继节点,具体方式有:设位于传感器节点通信范围内且距离汇聚节点更近的传感器节点为备选节点,传感器节点重新选择中继节点时向各备选节点发送请求,接收到所述请求的备选节点计算自身的状态值并进行反馈,该传感器节点选择其中状态值最大的备选节点作为新的中继节点;所述状态值的计算公式为

$$\psi_r = \phi_1 \frac{1}{y_r} \sum_{j=1}^{y_r} H_j + \phi_2 \frac{E_r}{E_0 + y_r} \quad (3)$$

式中, ψ_r 是备选节点 r 的状态值; ϕ_1 、 ϕ_2 是预设的影响状态值的权重系数; y_r 代表了将备选节点 r 作为中继节点的传感器节点数量; H_j 是将备选节点 r 作为中继节点的第 j 个传感器节点最新计算的对该中继节点的信任度; E_r 是备选节点 r 的当前剩余能量; E_0 是预设的为一个传感器节点转发数据所需的能耗。

通过设定传感器节点重新选择中继节点的具体机制,积极借助上述计算公式,将传感器节点上状态值最大的备选节点作为新的中继节点,

由此能够对备选节点的信任度进行客观合理的评价,还能够获得备选节点的实际能量情况,从而确定其状态值,以此推动中继节点顺利的执行任务,将接收到的数据包全面转发出去。通过这种方式,能够从各个层面平衡各个中继节点的能量,最终有效地延长智能电梯运行状态参数的采集周期。

值得注意的是,虽然本次研究中的智能电梯安全管理系统有详细的应用说明,但是在实际的应用过程中必须要结合现实情况,要求专业的维修技术人员进行辅助使用,参照一定的数据标准,按照计算公式进行评定,不要采用等同替换或修改的方式,有可能造成最终判定成果误差。

结束语

通过设计安全管理系统并应用于智能电梯中,能够实时掌控电梯的运行数据,分析电梯的运行安全状况。同时,通过日常数据的收集和计算,对智能电梯实时合理的安全评价,能够加强用户、维修人员之间的信息交互,及时地对智能电梯实时有效检验和维修保养,大大降低了不安全事故的发生概率,全面提升了乘客的生命财产安全,在现实生活中值得推广应用。EA

(收稿日期:2020.10.13)

(上接第48页)

结束语

目前,应用于架空线路的电压-时间型馈线自动化在定位、隔离故障以及恢复非故障区域的供电过程中,具有处理时间长,多次冲击电网等缺点。为克服以上缺点,本文提出基于智能终端的智能分布式馈线自动化改造方案。方案利用无线通信通道,通过相邻智能型终端之间的信息快速交互,就地定位、隔离故障以及恢复非故障区域的供电,属于缓动型智能分布式馈线自动化,具有以下特点:

1) 改造方案充分结合原有的电压-时间型馈线自动化,无须对线路原有保护配置作任何改动,最大限度降低由于新增智能分布式馈线自动化带来维护管理难题。

2) 智能分布式馈线自动化通过相邻终端之间交互故障电流信息,按照故障点电源侧检测到故障电流,负荷侧没有检测到故障电流原理进行故

障点定位。在故障处理过程中,由于变电站出线开关重合闸动作一次,故障点电源侧分段开关重合一次,进而缩短了故障处理时间,减少了对电网的冲击次数。

3) 在光纤通信条件不具备情况下,采用无线通信方式。由于交互信息限于相邻两个终端之间且信息量少,降低了对通信的要求。在某个终端通信出现异常或者开关拒动时,相邻设备启动后备隔离策略并快速隔离故障。同时,当通信整体出现异常时,可自适应切换到原有的电压-时间型自动化模式。

本文提出的改造方案已在架空线路上成功实施,有利于提高配电网供电可靠性。另外,本文提出的智能分布式馈线自动化不能解决线路多点故障问题,如何实现这一功能有待进一步研究。EA

(收稿日期:2020.05.19)