

DOI: 10.7667/PSPC170362

分层备用保护型馈线自动化技术研究

肖小兵¹, 黄亮亮², 王宇¹, 高吉普¹, 刘斌¹, 温彦军², 凌万水²

(1. 贵州电网有限责任公司电力科学院, 贵州 贵阳 550002; 2. 上海金智晟东电力科技有限公司, 上海 200233)

摘要: 将后备分层保护技术特点引入智能分布式馈线自动化系统, 提出一种新型的分层备用保护型馈线自动化算法。根据配电网络拓扑结构及供电方向定义每回线配电终端的区域属性和层级属性, 同时采用组播传输方式实现智能分布式 FA 通信, 最终实现故障快速隔离与非故障区域恢复。经过 RTDS 仿真验证及现场验证表明, 该方法可快速完成故障处理, 当终端通信故障或下级开关动作失效时, 上级开关自动动作, 在减少故障处理时间的同时, 提高了分布式馈线自动化系统的可靠性。

关键词: 分层后备保护; 馈线自动化; 组播; 区域属性; 层级属性

Research of distributed feeder automation with level and protective backup

XIAO Xiaobing¹, HUANG Liangliang², WANG Yu¹, GAO Jipu¹, LIU Bin¹, WEN Yanjun², LING Wanshui²

(1. Electric Power Research Institute of Guizhou Power Grid Co., Ltd., Guiyang 550002, China;

2. Shanghai Wiscom Sunset Electric Power Technology Co., Ltd., Shanghai 200233, China)

Abstract: The configuration characteristic of level and protective backup is introduced to intelligent distributed Feeder Automation (FA), then a new distributed feeder automation algorithm with level and protective backup is proposed. This algorithm defines the zone and level polarity of one circuit distribution terminal according to distribution network topology and power supply direction, meanwhile adopts multicast transmission to realize intelligent distributed FA communication, and eventually realizes fault fast isolation and non-fault area restoration. RTDS simulation and on-site experience show that the proposed method can solve the fault quickly; when the terminal communication fault or lower switch operation failure, the upper switch will operate automatically. It can both decrease the failure interruption time and increase the reliability of distributed FA system.

This work is supported by Electric Power Research Institute of Guizhou Power Grid Co., Ltd. (No. GZ2015-2-0052).

Key words: level and protective backup; feeder automation; multicast transmission; zone polarity; level polarity

0 引言

在供电企业, 配电环节在智能电网建设过程中起着承接电源和用户的关键作用, 非正常状态下故障处理的馈线自动化(FA)系统已成为未来配电网技术发展的必然趋势。目前配电网中使用的馈线自动化技术分为集中式 FA 和就地式 FA 两种, 其中就地式 FA 分为重合器式和智能分布式两种^[1]。

面对复杂配电网, 文献[2-4]提出了基于主站实现的集中式馈线自动化方案, 发生故障时配电终端将故障信息上送给主站, 主站根据故障信息及配电

网连接模型进行故障定位, 远方遥控配电终端完成故障处理, 由于完全依赖主站导致馈线自动化失效的风险较高, 同时集中式馈线自动化无法提供实时快速的故障隔离处理能力, 不适应配电网的负荷增长以及现场拓扑频繁变动等特点。文献[5-10]提出了就地式馈线自动化方案, 该方案依赖馈线上的电气量触发动作, 靠时序配合来完成 FA 功能, 包括电压时间型, 电压电流型, 自适应型, 该方案需要馈线断路器多次跳开重合完成故障隔离, 对系统及用户冲击大、缺乏选择性, 且非故障区域恢复时间较长, 不适用于多电源多分支的复杂网络。文献[11-12]从保护角度提出了“保护+断路器+备自投”的技术方案, 该方案通过继电保护设备之间的时间与信号配合实现 FA 功能, 这种模式对配电网接线方式

基金项目: 贵州电网有限责任公司电力科学研究院科技项目资助 (GZ2015-2-0052)

以及运行方式非常敏感, 且需要在现场配置的设备种类很多, 配置方法复杂, 难以在配电网大量使用。文献[13-16]提出了智能分布式馈线自动化方案。该方案依靠点对点通讯通过相邻信息的判断完成故障处理。这种方案由于维护简单, 独立性好等特点, 逐渐受到用户的青睐。然而由于其采用点对点通讯, 一旦某一个环节失效, 整条线路分布式 FA 就退出运行, 使整个系统失去 FA 支持, 用户的供电可靠性也就无法保证。本文结合传统继电保护的上下级备用对智能分布式 FA 进行改进, 提出一种新型的分层后备保护式 FA 方案, 保留智能分布式 FA 独立性好、就地运行、维护简单等优点, 减少智能分布式 FA 的故障处理时间, 同时在下级动作失败时, 上级设备可以自动投入备用, 提高智能分布式馈线自动化的可靠性。

1 继电保护分层后备技术

继电保护中通常采用分层后备配置管理, 将保护按照功能和区域位置分为主保护和后备保护, 主保护基本不受系统运行方式影响, 快速切除故障, 在主保护拒动的情况下, 由后备保护切除故障, 避免由于单个保护元件、断路器或二次系统存在问题时, 不能及时隔离故障的情形^[17-19]。

目前继电保护装置大部分采用 IEC 61850 通信模型, 其中线路保护、变压器保护等主设备保护装置作为继电保护中的主保护, 差动保护、断路器失灵近后备保护等其他后备保护装置作为继电保护中的后备保护, 主保护仅依靠本地电气信息、GOOSE 网络闭锁信息快速完成本地保护功能, 当主保护发生异常无法完成故障切除时, 后备保护依据预设的阶梯式时间定值完成后备保护, 通过扩大故障隔离区域完成故障切除。

本文将继电保护的分层后备原理引入配电网智能分布式 FA, 对智能配电装置进行通信与功能的分层设计, 引入组播传输方式改变配电网智能分布式 FA 故障时刻点对点的通信方式, 同时增加 FA 后备保护功能, 通过快速通信与阶梯式时间定值实现配电网中分层备用保护型 FA。

2 分层备用保护型 FA 原理

2.1 配电终端属性

将配电网根据供电电流潮流方向进行区域划分, 各区域内配电终端在故障发生时刻以组网方式进行通信, 同时将各区域中的各线路分段点和分支点进行层级划分, 线路末端的层级为 0, 线路分段点的层级向电源侧依次增加, 电源点的层级最大。

根据区域和层级的划分将配电网中的每台配电终端赋予两个属性: 区域属性 Z 和层级属性 L。当配电网发生负荷转供, 线路末端发生变化, 会进行新的区域和层级划分。典型电缆型配网结构如图 1 所示, 根据属性定义对图 1 的各开关属性进行描述。

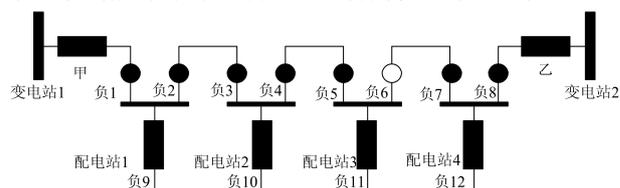


图 1 典型电缆型配网结构图

Fig. 1 A typical cable distribution network

本文研究的分层备用保护型 FA 技术以开关为单位进行讨论, 为讨论方便默认一台配电终端控制一个开关, 若配电终端控制多个开关, 则配电终端内部仍然以开关为单位进行处理, 因此分层后备式保护 FA 技术仍然适用。以图 1 为例, 变电站 1 提供的供电线路有甲-负 9, 甲-负 10, 甲-负 11, 甲-负 6, 变电站 2 提供的供电线路有乙-负 12, 乙-负 6, 因此该配电网划分为六个区域, 其中负 9, 负 10, 负 11, 负 12 为线路末端, 负 6 为联络开关, 同属于两个区域, 且为两个区域的线路末端, 因此层级在区域中均为 0, 各配电终端的属性如表 1 所示, 其中开关与区域无关者没有层级属性, 变电站保护甲、乙不接入配网进行 FA 定位。

表 1 配电终端层级属性表

Table 1 Zone and level polarity of distributed terminals

开关	1	2	3	4	5	6
负 1	1	3	5		5	
负 2		2	4		4	
负 3		1	3		3	
负 4			2		2	
负 5			1		1	
负 6					0	0
负 7						1
负 8				1		2
负 9	0					
负 10		0				
负 11			0			
负 12				0		

2.2 分层备用保护型 FA 机制

2.2.1 通信方式

组播传输为在发送者和接收者之间实现一点对多点的网络连接, 若一个终端向组播地址发送报文后, 属于该组播地址的所有终端均可收到该报文。IANA 将 D 类地址空间分配给 IP 组播, 其范围从

224.0.0.0 至 239.255.255.255。组播 IP 地址和 MAC 地址存在一定映射关系, MAC 地址的第 48 位为 1 时表示该报文为组播报文, 否则为单播报文^[20-21]。智能电网中一般设置组播 MAC 地址前 32 位固定为 0x010CCD01, 后 16 位可将区域属性加入组播地址中, 如图 1 所示。配电终端可能存在多个区域属性, 例如负 2 的配电终端属于区域 2、3、5, 因此可设置三个组播 MAC 地址, 包含三个区域属性, 表明接收这三个组播地址的传输数据, 而负 2 的上游开关负 1 和开关甲包含了负 2 的区域, 因此传输数据时任选一个区域属性的组播地址即可, 负 1 和开关甲都能收到传输数据。按照表 1 的区域划分, 图 1 中配电终端的组播地址表如表 2 所示。

表 2 配电终端组播 MAC 地址

开关	组播地址表
负 1	0x010CCD010001、0x010CCD010002
	0x010CCD010003、0x010CCD010005
负 2	0x010CCD010002、0x010CCD010003
	0x010CCD010005
负 3	0x010CCD010002、0x010CCD010003
	0x010CCD010005
负 4	0x010CCD010003、0x010CCD010005
负 5	0x010CCD010003、0x010CCD010005
负 6	0x010CCD010005、0x010CCD010006
负 7	0x010CCD010006
负 8	0x010CCD010004、0x010CCD010006
负 9	0x010CCD010001
负 10	0x010CCD010002
负 11	0x010CCD010003
负 12	0x010CCD010004

以太网报文帧不经 TCP/IP 协议, 直接映射到数据链路层和物理层, 即传输层和网络层为空, 这种映射方式可以减少网络协议栈处理, 保证报文传输、处理的快速性, 因此本文选择在故障时刻采用以太网报文帧进行故障定位及隔离。在配电网络中若某条线路出现故障, 则故障上游的配电终端均检测到过流信号, 向自身所处区域发送以组播方式发送以太网报文帧, 组播地址通过区域参数属性进行区分, 为防止报文丢失以太网报文帧的传输间隔设为 2 ms、16 ms、16 ms、32 ms 递增, 同时能够满足快速故障隔离的时间需求, 非故障区域恢复以及平时的通信由于时间需求不紧迫, 采用 udp 报文进行传输。

2.2.2 分层备用保护 FA

故障发生时刻, 检测到过流故障的配电终端以

组播方式向自身所处的区域发送带有故障信息和自身属性的故障闭锁报文。若配电终端的自身层级 L 为 0, 表明自身为供电线路末端, 则故障点在本层终端立即跳闸。若配电终端收到区域 Z 内的任一下层终端上送的故障闭锁报文认为故障发生在下层终端, 闭锁本终端跳闸。若配电终端在一定时间内未收到区域 Z 内的下层终端上送的故障闭锁报文则认为故障出现在本层终端, 立即跳闸进行故障隔离, 同时以组播方式向相邻下层终端发送故障隔离命令; 下层装置隔离完成后, 表明线路故障点隔离成功。同时下层终端搜索信息表查找本区域的联络开关, 发送合闸命令恢复非故障区域供电。

每台配电终端同时具有后备保护跳闸功能, 后备保护时限定值可设, 可根据配电终端所在区域设置不同的后备保护时限, 配电终端收到闭锁信号后启动后备保护跳闸逻辑。假设发生故障时, 故障点开关由于异常未及时跳开, 故障点的上级配电终端收到闭锁信号后进入后备保护跳闸逻辑, 当后备保护逻辑运行一定时间(后备保护时限)后发现故障仍未消除, 表明下级配电终端隔离异常, 立即跳闸扩大隔离故障区域。当上级配电终端出现异常时, 则由变电站内的出口保护作为 FA 的后备进行线路故障隔离。

以图 1 为例, 假设负 4、负 5 之间线路发生故障, 开关甲, 负 1 至负 4 的配电终端检测到过流信号, 负 1 至负 4 进入保护型 FA 判断, 同时向区域 3 发送故障闭锁报文。负 1、负 2、负 3 收到报文对层级 L 进行比较, 若收到层级 L 小于自身层级 L_{self} , 认为自身管辖线路内无故障, 产生闭锁开关跳闸信号, 同时开启后备保护逻辑。负 4 在保护型 FA 延时时间内未收到闭锁信号, 认为负 4 处于故障点跳闸, 同时向相邻下层终端负 5 发送跳闸命令, 完成故障隔离。负 5 跳闸完成后搜索自身的下层终端信息表查找发现存在联络开关负 6, 发送命令让联络开关负 6 完成非故障区域的供电恢复。

假设负 4 开关异常, 无法完成故障隔离, 负 3 的配电终端后备保护时限到后发现故障仍未消除则表明负 4 开关出现异常, 立即进行跳闸, 扩大故障隔离区域, 后备保护不进行非故障区域的供电恢复。

3 分层备用保护型 FA 实现

将本文提出的分层备用保护型 FA 在智能配电终端中实现, 主要包括下层终端属性的建立, 分层保护型 FA 判断, 以及后备保护逻辑三部分。配电终端采用局部拓扑参数模型, 仅保留本终端以及和本终端有直接电气连接的相邻设备的参数模型, 限

制拓扑改变带来的影响,更适应配电网的网架结构。

3.1 配电终端属性建立

每台配电终端均可由模型工具生成固定的区域参数,该参数在配电网中唯一存在,若配电终端在拓扑结构中 N 个配电终端相邻,则参数模型中存在 N 个唯一的区域参数 Z_{org} 。当配网结构发生变化,增加配电终端后,需要对该终端设置新的区域属性 Z_{org} ,同时修改该终端相邻的拓扑参数即可,保证了智能分布式FA维护简单的优点。

系统运行过程中,配电终端实时检查自身是否处于供电线路末端,处于供电线路末端的配电终端根据模型中的 Z_{org} 设置自身区域属性 Z ,并将自身层级属性 L_{self} 设为0。同时配电终端将 Z 、 L_{self} 、开关状态以及其他信息合成属性报文发送给相邻配电终端。若存在多个相邻终端,则从参数模型中选取不同的 Z_{org} 进行区域属性配置,由此保证每台配电终端根据供电潮流方向存在各自独立的区域。

配电终端收到属性报文,若本地开关状态为合则表明属性报文的发送终端为自身的下层终端,另一侧终端为上层终端,根据属性报文数据计算自身属性 L_{self} 和 Z_{self} 。

$$L_{self} = L_{receive} + 1 \quad (1)$$

$$Z_{self} = Z_{receive} \quad (2)$$

根据 Z_{self} 设置组播地址加入组播地址表,同时将收到的下层终端信息添加至下层终端属性表,将自身属性和下层终端属性表合成属性报文发送给另一侧终端,如收到两个下层终端发送的属性报文,则表明本终端属于两个区域,存在两个 Z_{self} 和 L_{self} ;若配电终端本地的开关状态为分,则发送属性报文的终端不属于下层终端,无需传递;属性报文传递至电源点处为止,由此能够保证每个区域内的 L 属性唯一,电源点 L 属性最大,随着供电方向递减至线路末端,下层终端信息表中开关状态为分的终端即为本区域的联络开关。

下层终端信息表根据网络实时拓扑图自动更新,从而保证了分层备用保护型FA的适用性与扩展性,不受拓扑变更的影响,终端属性建立如图2所示。

3.2 分层后备保护型FA判断

配电终端初始化时设置分层保护FA闭锁时间 T_1 和后备保护时间 T_2 , T_1 、 T_2 设置需要满足一定的规则,如下式所示。

$$40 \text{ ms} < T_1 < 100 \text{ ms} \quad (3)$$

$$T_2 = T_1 + T_{trip} + 40 \text{ ms} \quad (4)$$

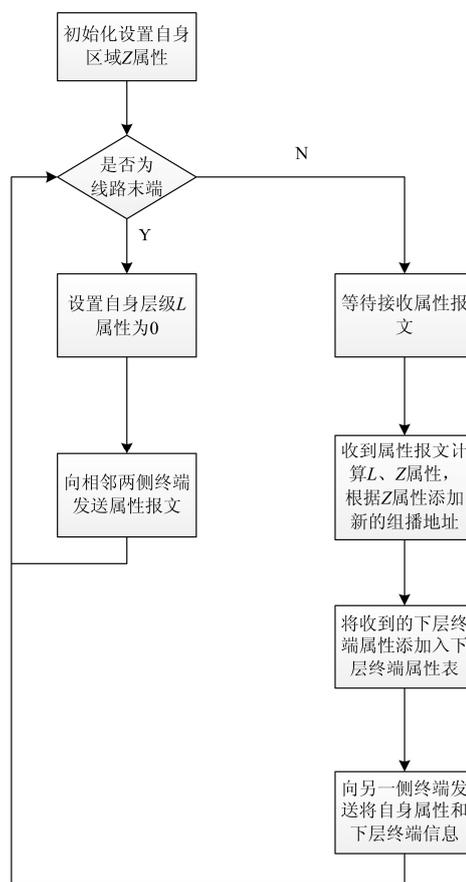


图2 配电终端属性建立流程图

Fig. 2 Establishment process of distributed terminals property

分层后备保护型FA故障隔离流程如图3所示。

1) 发生故障时配电终端检测到故障后,进入分层后备保护型FA逻辑,以组播方式向自身所在区域发送以太网报文帧,若配电终端 L_{self} 为0则立即跳闸。

2) 配电终端收到故障闭锁报文后解析报文中的 $L_{receive}$ 、 $Z_{receive}$,若 $Z_{receive}$ 与 Z_{self} 相同,且 $L_{receive}$ 比 L_{self} 小则设置闭锁信号。

3) T_1 时间到时查看是否设置闭锁信号,若收到闭锁信号则不是故障点,同时启动后备保护逻辑,若未收到闭锁信号则证明该配电终端处于故障上游,跳闸隔离故障点。

4) 故障上游配电终端向相邻下层终端发送开关跳闸命令,保证故障点完全隔离。

5) 故障点两侧隔离完成后由故障下游的配电终端寻找本区域内的联络开关,进行非故障区域的恢复。

6) 步骤3)中收到闭锁信号的配电终端检测到 T_2 时间内故障未隔离,表明故障点开关发生异常,立即进行后备保护跳闸扩大故障隔离范围。

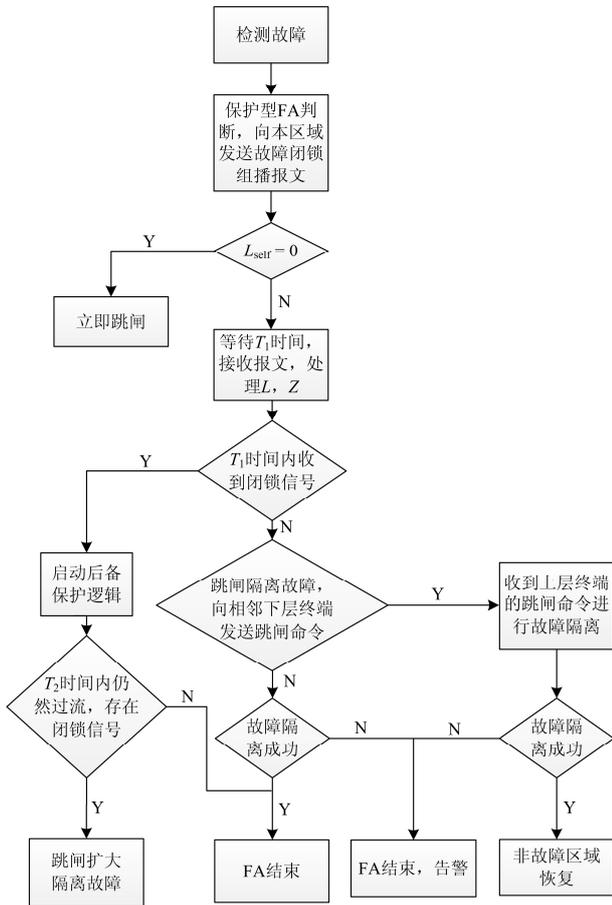


图3 分层后备型保护 FA 流程图

Fig. 3 Flow chart of FA with levels and protective backup

4 测试验证

4.1 RTDS 仿真验证

选择实时数字仿真器 RTDS 进行仿真验证, 建立如图 1 所示的配电网模型系统, 开关分别接入智能配电终端 DTU 和 FTU, 智能配电终端已实现分层后备型保护 FA 算法, 各终端配置 T_1 为 50 ms, T_2 为 180 ms, 出口变电站保护设为 250 ms。选择母线故障、分段线路故障、支线故障等故障类型对故障隔离时间、非故障区域恢复时间及故障定位的准确性进行测试, 测试时间为 RTDS 检测到的继电器动作时间, 各故障记录如表 3 所示。

故障 1、2、3 为正常馈线自动化处理过程, 故障隔离在 0.1 s 内完成, 非故障区域供电恢复在 2 s 内完成, 其中处于线路末端的配电终端检测到故障后, 认为故障点在自身下游, 无需等待 T_1 时间立即跳闸, 如故障 3 的负 12, 故障 4 的负 9。

当开关出现异常后, 由上层配电终端在后备保护时限后进行后备保护跳闸, 如故障 4 的负 1; 故障时刻非故障点的配电终端通信出现异常时, 故障

表 3 各故障类型的 FA 处理结果

Table 3 FA results of different faults

序号	故障项目	故障隔离时间 (跳闸时间)	非故障恢复 时间(合闸时间)
1	负 3、负 4、负 10 之间故障	负 3: 0.065 s 负 4: 0.070 s 负 5: 0.072 s	负 6:1.323 s
2	负 2、负 3 之间故 障	负 2:0.068 s 负 3:0.071 s	负 6:1.235 s
3	负 12 下游故障	负 12:0.04 s	无
4	负 9 下游故障, 负 9 开关异常	负 9:0.04 s, 失败 负 1:0.2 s	无
5	负 3、负 4、负 10 之间故障, 负 2 未 发出故障闭锁报 文	负 3: 0.065 s 负 4: 0.071 s 负 5: 0.072 s	负 6:1.325 s
6	负 2、负 3 之间故 障, 负 2 未发出故 障闭锁报文	负 1:0.070 s 负 2:0.068 s 负 3:0.071 s	负 6:1.245 s

仍然能够快速切除, 如故障 5。故障时刻故障点的配电终端通信出现异常时, 上层终端未收到故障闭锁报文, T_1 时间到后跳闸, 导致扩大一级故障隔离区域。

根据上述测试证明配电线路中对于不同的故障类型, 在正常情况下分层后备型保护 FA 均能在 0.1 s 内完成故障隔离, 2 s 内完成非故障区域供电恢复。当故障点开关发生异常时, 上层终端能进行后备保护, 扩大故障隔离区域。当故障点终端发生通信异常时, 会扩大一级故障隔离区域进行故障隔离, 而传统的分布式 FA 在通信异常时则全线退出 FA, 无法进行故障隔离。

4.2 现场实例验证

目前贵阳市的分布式 FA 采用就地型分布式 FA 方式, 故障定位时间较长, 根据线路长短一次故障定位需要几十秒, 甚至几分钟, 而且需要保护多次跳开、重合, 对供电线路产生冲击, 为此在贵阳市选取 2 条手拉手线路验证本文设计的分层备用保护型分布式 FA 方法, 与原有的就地型分布式 FA 进行比较研究。为了对本文设计进行验证, 将线路一次开关均换成断路器, 设备改造与调试完成后进行了现场实验, 首先采用 Digsilent 按照拓扑与故障场景进行仿真, 并将仿真生成的故障通过馈线自动化测试仪注入到各台智能分布式 FA 终端中进行验证, 设置 T_1 时间为 50 ms, T_2 时间为 200 ms, 变电站出口变保护为 300 ms, 在正常情况下分层备用保护型 FA 均能在 0.1 s 内完成故障隔离, 2 s 内完成非故障区域供电恢复, 当故障点开关发生异常时, 上层终端能进行后备保护, 扩大故障隔离区域。

5 结论

目前传统的智能分布式 FA 就地运维简单, 配网自适应能力较高, 但是 FA 闭锁条件严酷, 一旦某一个环节失效, 整条线路的 FA 就退出运行, 使得整个系统失去 FA 系统的支持。本文提出的基于分层控制与备用保护式的馈线自动化(FA), 引入了传统继电保护的上下级备用, 同时保持智能分布式 FA 系统独立性好、维护简单等优点, 可以实现整条线路 0.1 s 故障隔离, 2 s 非故障区域恢复供电, 在下级动作失败时, 上级设备可以自动投入备用, 减少了智能分布式 FA 的故障处理时间, 同时提高了智能分布式 FA 的可靠性。

参考文献

- [1] 王良. 智能配电网自动化应用实践的几点探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 12-16.
WANG Liang. Discussion on application practice of distribution automation method for smart distribution grid[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20): 12-16.
- [2] 刘海涛, 沐连顺, 苏剑. 馈线自动化系统的集中智能控制模式[J]. 电网技术, 2007, 31(23): 17-21.
LIU Haitao, MU Lianshun, SU Jian. Centralized and intelligent control mode of feeder automation[J]. Power System Technology, 2007, 31(23): 17-21.
- [3] 刘健, 张小庆, 张志华, 等. 配电网两相接地短路故障定位与供电恢复[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(5): 105-110.
LIU Jian, ZHANG Xiaoqing, ZHANG Zhihua, et al. Location and restoration of two-phase grounded short-circuit in distribution systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(5): 105-110.
- [4] 孙中伟, 郭庆瑞. 集中控制模式的馈线自动化系统密钥管理研究[J]. 电力系统通信, 2009, 30(11): 71-74.
SUN Zhongwei, GUO Qingrui. Key management for feeder automation systems with centralized mode[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2009, 30(11): 71-74.
- [5] 马天祥, 程肖, 杜旭浩, 等. 配电自动化系统中单相接地故障定位新方法[J]. 陕西电力, 2016, 44(8): 67-70.
MA Tianxiang, CHENG Xiao, DU Xuhao, et al. A new location method of single phase to earth fault in distribution automation system[J]. Shaanxi Electric Power, 2016, 44(8): 67-70.
- [6] 杨帆, 代锋, 姚德贵, 等. 基于最小二乘 QR 分解算法的接地网磁场重构方法及应用[J]. 电工技术学报, 2016, 31(5): 184-191.
YANG Fan, DAI Feng, YAO Degui, et al. Least square QR factorization arithmetic based magnetic field reconstruction on grounding grid and its application[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(5): 184-191.
- [7] 彭松, 刘红伟, 王焕文, 等. 基于电压电流复合型成套装置的 10 kV 架空馈线自动化实现方案的研究与应用[J]. 广东电力, 2012, 25(9): 79-86.
PENG Song, LIU Hongwei, WANG Huanwen, et al. Research and application of automation implementation scheme for 10 kV overhead feeders based on voltage/current composite package unit[J]. Guangdong Electric Power, 2012, 25(9): 79-86.
- [8] 翁望月, 刘健, 刘巩权, 等. 电压时间型馈线自动化开关参数整定及故障处理模拟校验软件的研究与开发[J]. 陕西电力, 2014, 42(3): 49-53.
WENG Wangyue, LIU Jian, LIU Gongquan, et al. Study & development of feeder automation system parameter setting with voltage-time type sectionalizers and fault treatment simulation software[J]. Shaanxi Electric Power, 2014, 42(3): 49-53.
- [9] 杜景远, 许明, 房牧, 等. 基于参数调整的电压-时间型馈线自动化运行方法: 中国, 201210454935.8[P]. 2012-11-13.
- [10] 刘健, 张伟, 程红丽. 重合器和电压-时间型分段器配合的馈线自动化系统的参数整定[J]. 电网技术, 2006, 30(16): 45-49.
LIU Jian, ZHANG Wei, CHENG Hongli. The parameter setting of feeder automation system based on mutual coordination of recloser with voltage-time type of sectionalizers[J]. Power System Technology, 2006, 30(16): 45-49.
- [11] 邹贵彬, 高厚磊, 许春华, 等. 馈线自动化自适应快速保护控制方案[J]. 电网技术, 2013, 37(10): 2920-2925.
ZOU Guibin, GAO Houlei, XU Chunhua, et al. A fast adaptive protection and control scheme for feeder automation[J]. Power System Technology, 2013, 37(10): 2920-2925.
- [12] 陈彦翔, 黄景光, 丁婧. 微电网自适应电流保护原理完善及其新算法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(22): 22-27.
CHENG Yanxiang, HUANG Jingguang, DING Jing. Improvement of micro grid adaptive current protection principle and research on its new algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(22): 22-27.
- [13] 凌万水, 刘东, 陆一鸣, 等. 基于 IEC 61850 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 IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(6): 90-95.
- [14] LING Wanshui, LIU Dong. A distributed fault localization, isolation and supply restoration algorithm based on local topology[J]. International Transactions on Electrical Energy Systems, 2015, 5(7): 1113-1129.
- [15] 杜东威, 叶志峰, 许永军. 基于 GOOSE 的综合型智能分布式馈线自动化方案[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(24): 183-189.
- DU Dongwei, YE Zhifeng, XU Yongjun. A solution of integrated intelligent distributed feeder automation based on GOOSE[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(24): 183-189.
- [16] 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.
- [17] 裘渝涛, 胡雪平, 凌光, 等. 国网公司智能变电站继电保护标准体系研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(20): 7-13.
- QIU Yutao, HU Xueping, LING Guang, et al. Research on State Grid's technical specification system of relay protection in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(20): 7-13.
- [18] YIN Xianggen, ZHANG Zhe, LI Zhenxing, et al. The research and development of the wide area relaying protection based fault element identification[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(1): 95-107. DOI: 10.1186/s41601-016-0023-z.
- [19] 刘育权, 华煌圣, 李力, 等. 多层次的广域保护控制体系架构研究与实践[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(5): 112-122.
- LIU Yuquan, HUA Huangsheng, LI Li, et al. Research and application of multi-level wide-area protection system[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(5): 112-122.
- [20] 唐岚, 张学智. IP 组播通信机制及相关问题的研究[J]. 西安工业学院学报, 2000, 20(3): 209-214.
- TANG Lan, ZHANG Xuezhi. Research of IP multicast communication mode and correlative problems[J]. Journal of Xi'an Institute of Technology, 2000, 20(3): 209-214.
- [21] 诸坚彬, 秦会斌, 崔佳东, 等. 基于组播技术的信息传递[J]. 计算机应用与软件, 2016, 33(8): 172-174.
- ZHU Jianbin, QIN Huibin, CUI Jiadong, et al. Information transmission based on multicast technology[J]. Computer Application and Software, 2016, 33(8): 172-174.

收稿日期: 2017-03-08; 修回日期: 2017-12-11

作者简介:

肖小兵(1986—), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为智能变电站与配网研究; E-mail: 253570868@qq.com

黄亮亮(1981—), 女, 通信作者, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为智能配电网。E-mail: huangll@wiscom.com.cn

(编辑 张爱琴)