

基于配电自动化的配网单相接地故障定位与自愈

杨 福¹, 臧 璇², 瞿寒冰¹, 林 山¹, 顾世龙¹, 陈 浩¹

(1. 国网山东省电力公司济南供电公司, 山东 济南 250012; 2. 国网山东省电力公司检修公司, 山东 济南 250118)

摘 要:多数配电自动化系统仅具备相间短路故障自愈功能,对单相接地故障缺乏有效的处理手段。在此背景下,针对中性点非直接接地的配电网提出将小电流故障选线装置接入配电自动化系统,在发生单相接地故障时,通过线路上智能开关的分合控制及单相接地报警信号的时序逻辑来判断故障区间,并通过配电自动化系统隔离故障区域,恢复非故障区域供电,实现配电网单相接地故障自愈。最后通过试验验证策略的有效性和必要性。

关 键 词:单相接地;配电自动化;智能配电网;自愈;供电可靠性

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2020.04.024 中图分类号:TM734 文章编号:1673-9140(2020)04-0176-05

Location and self-healing of single-phase grounding fault based on distribution automation

YANG Fu¹, ZANG Xuan², QU Hanbing¹, LIN Shan¹, GU Shilong¹, CHEN Hao¹

(1. Jinan Power Supply Company, State Grid Shandong Electric Power Company, Jinan 250012, China;

2. Maintenance Company, State Grid Shandong Electric Power Company, Jinan 250118, China)

Abstract: Aiming at the non-directly grounded distribution network of neutral point, this paper proposes to connect the small current fault line selection device to the distribution automation system. When a single-phase ground fault occurs, through the on-off control of the intelligent switch on the line and sequential logic of single-phase grounding alarm signal to determine the fault interval. Then the method isolates the fault area through the distribution automation system, restores the power supply in the non-fault area, and realizes the single-phase ground fault self-healing of the distribution grid. In the end, this paper verifies the effectiveness and necessity of this strategy by experiments.

Key words: single-phase grounding fault; distribution automation; smart distribution system; self-healing; power supply reliability

配电自动化系统以具备遥测、遥信、遥控功能的智能开关和配电终端为基础,实现配电网实时监测和相间短路故障智能自愈,有效减少配网故障停电时间,提高供电可靠性。但现已推广使用的配电自动化系统仅具备相间短路故障自愈功能,而对占到

配网故障 80% 的单相接地故障^[1]却无有效的处理手段,使得接地故障处理难度大,停电时间长,无法满足客户对可靠供电的要求,减弱了配电自动化系统的应用成效。

国内电力工作者对单相接地故障定位和自愈进

行了广泛深入的研究,文献[2]提出综合利用暂态功率方向和暂态电流相似性进行定位,但需要在配电线路上增设零序电压互感器;文献[3]提出了基于线电压和零模电流的定位方法,但需在 FTU 上增加零模电流检测装置,且对通讯要求较高;文献[4]采用 FTU 和“S”信号注入法进行故障定位,但需在 FTU 上增加信号注入装置;文献[5]综合利用变电站和开闭所中的行波选线技术判断故障区段,但仅适用于开闭所较多的配电网,适用性较小;文献[6]提出基于稳态零序电流的单相接地故障定位方法,但也需要在线路 FTU 上增加零序电流检测装置。

该文提出将小电流接地选线装置接入配电自动化系统,在选出故障线路后通过智能开关的分合控制与接地故障信号的时序逻辑来判断故障区段,并实现接地故障自愈。该方法无需检测零序电压、零序电流和增加设备,且具备自动检测和发现配电网接地故障、智能诊断故障区间、快速恢复非故障区供电等功能,提高了配电自动化系统的适用范围,具有很高的实用价值。

1 基本方案

小电流接地选线装置是处理单相接地故障的重要手段,其在配网发生单相接地故障时能够正确选择故障线路,准确率可达 95% 以上。该文将小电流接地选线装置接入配电自动化系统,当发生单相接地故障时,选线装置将接地信号和选线结果发送至配电自动化系统。鉴于中性点非直接接地系统发生单相接地时允许持续运行^[7],配电自动化系统通过顺序分合选线出线断路器及分段智能开关的方式,实时监测单相接地故障信号变化,判断故障区间,并实现故障隔离和负荷恢复。

根据线路上所安装分段开关的不同,配电自动化系统分为集中型、电压—时间型 2 种^[8-9]。

1.1 集中型配电自动化系统接地自愈原理

集中型智能开关装有 FTU,可以检测开关电压、电流、分合闸状态等实时信息,并传送到配电自动化主站。

如图 1 所示,CB1、CB2 为带三段式电流保护的变电站 10 kV 出线断路器, $S_1 \sim S_n$ 为线路 1 的集中

型智能化分段开关, $S_{b1} \sim S_{b3}$ 为线路 2 的智能化分段开关,L1 为线路 1、2 之间的联络开关(正常处于断开状态)。

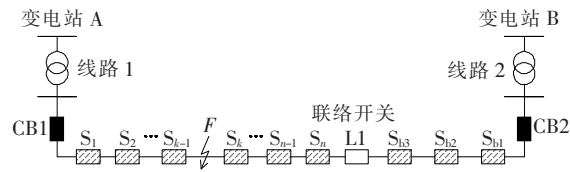


图 1 配电自动化系统单相接地故障自愈原理示意

Figure 1 Principle diagram of self-healing of single-phase grounding fault based on distribution automation system

假设线路 1 的 $S_{k-1} \sim S_k$ 之间的 F 点处发生单相接地故障,变电站 A 监测到 10 kV 母线电压不平衡,同时小电流选线装置判定接地点位于线路 1 上,故障定位与自愈的策略如图 2 所示。

1) 自愈启动。变电站 10 kV 母线接地报警信号及小电流选线装置选线结果启动接地故障自愈预置程序,并发出告警。调控人员确认后启动接地故障自愈程序。

2) 故障线路判断。根据小电流选线结果,配电自动化系统自动遥控拉开所选线路的出线开关(图 1CB1),并启动接地故障 X 时限(根据实际通信延时等情况确定)倒计时。因故障点位于线路 1 上,故 CB1 分闸后故障点切除,接地报警信号消失,程序自动下行。

若 X 时限倒计时结束后接地信号未消失,则判断小电流选线错误,自愈程序自动退出后交由调控人员处理。

3) 故障区间判定。根据开关顺序分合及变电站母线接地报警信号判定故障区间。具体策略如下:

① 当首次 X 时限结束后,配电自动化系统自动遥控拉开线路末段分段开关 S_n ,并再次启动接地故障 X 时限倒计时,倒计时结束后遥控合上出线开关 CB1。因故障点 F 位于 S_n 前段,故 CB1 合闸后送电至故障点,接地信号再次发出,程序判断故障点位于 S_n 前段,并自动下行。

若 CB1 合闸后未再次发出接地信号,则判定故障点位于 S_n 后段,终止故障区间判定,发出故障区间提示,并进行负荷恢复操作。

②依次以 X 时限的延时从线路末端向前遥控拉开 S_{n-1} 、 S_{n-2} ... 仅当 S_{k-1} 开关分闸后,故障点 F 被切除,变电站母线接地报警信号消失,因此判定故障点位于 S_{k-1} — S_k 之间,终止区间判定,将故障区段两端的分段开关 S_{k-1} 与 S_k 闭锁,并发出故障区间提示。

4)非故障区域恢复送电。若故障区间判定为线路末端区间(图 1 S_n 后段),则不必进行非故障区间恢复供电;若判定为其他区间,则自动遥控合上联络开关 L1,并由线路末端最后一级分段开关向前,依次遥控合上故障区间后段的分段开关($S_n \sim S_{k+1}$),将非故障区间由线路 2 恢复供电。

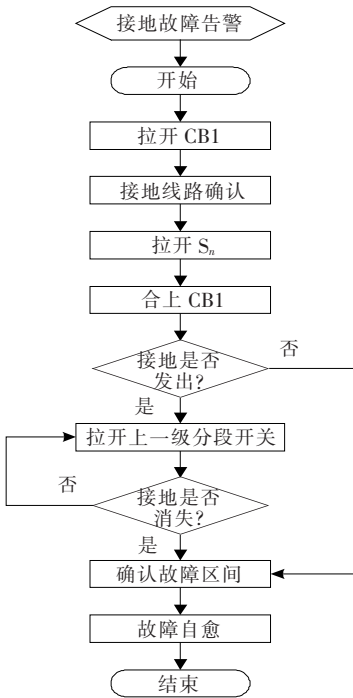


图 2 集中型配电自动化系统故障定位自愈策略

Figure 2 Strategy of fault location and self-healing with centralized types of distribution automation system

1.2 电压—时间型配电自动化系统接地自愈原理

电压—时间型配电自动化系统采用电压型开关,该开关失电压后自动分闸,来电后按照一定延时自动合闸,加入接地故障报警判据后即可实现接地故障区段的自动定位。

接线见图 1, $CB1$ 、 $CB2$ 为带三段式电流保护的变电站 10 kV 出线断路器, $S_1 \sim S_n$ 为线路 1 的电压—时间型智能化分段开关, $S_{b1} \sim S_{b3}$ 为线路 2 的智能

化分段开关, $L1$ 为线路 1、2 之间的联络开关(正常处于断开状态)。

假设线路 1 的 S_{k-1} — S_k 之间 F 点处发生单相接地故障,变电站 A 监测到 10 kV 母线电压不平衡,同时小电流选线装置判定接地点位于线路 1 上,故障定位与自愈策略如图 3 所示。

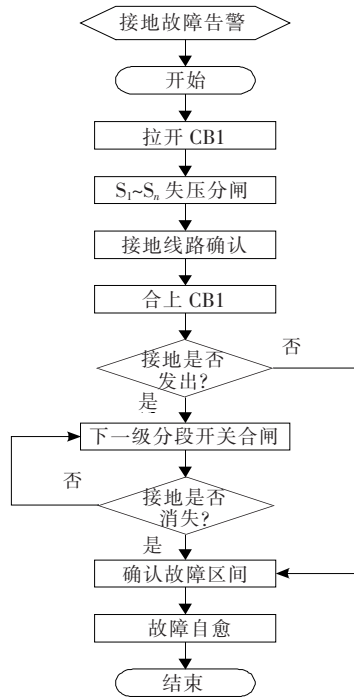


图 3 电压—时间型配电自动化系统故障定位自愈策略

Figure 3 Strategy of fault location and self-healing with voltage-time types of distribution automation system

1)自愈启动。根据变电站 10 kV 母线接地报警信号及小电流选线装置选线结果启动接地故障自愈前置程序,并发出告警。调控人员确认后启动接地故障自愈程序。

2)故障线路判断。根据小电流选线结果,配电自动化系统自动遥控拉开所选线路的出线开关(图 1 $CB1$),并启动接地故障 X 时限(根据实际通信延时等情况确定)倒计时,因故障点位于线路 1 上,故 $CB1$ 分闸后故障点切除,接地报警信号消失,程序自动下行。

若 X 时限倒计时结束后接地信号未消失,则证明小电流选线错误,自愈程序自动退出,由调控人员处理。

3)故障区间判定。 $CB1$ 分闸后 $S_1 \sim S_n$ 因失去

电压而分闸,同时,联络开关 L1 因检测到单侧失去电压而启动联络开关 X_L 倒计时。

①X 时限结束后配电自动化系统自动遥控合上出线断路器 CB1,将 S_1 前段恢复供电。由于 S_1 处于分闸状态,并未送电至故障点,故接地信号未发出,程序自动下行。

若 CB1 合闸后再次发出接地信号,则判定故障点位于 CB1- S_1 之间,给出故障区间提示,并遥控拉开 CB1,将 CB1、 S_1 闭锁,隔离故障区间。

②CB1 合闸后,线路上各级分段开关将按照整定的时限逐级依次自动投入。 S_{k-1} 合闸后即送电至故障点,接地告警信号再次发出,故判定故障点位于 S_{k-1} - S_k 之间,区间判定流程终止并给出故障区间提示,再次遥控拉开 S_{k-1} ,并将故障区段两端的 S_{k-1} 、 S_k 闭锁。

4)非故障区域恢复送电。联络开关 L1 在 X_L 倒计时结束后自动合闸,由线路 2 恢复 S_k - L_1 间负荷供电。

2 现场试验

选择济南电网单相接地故障频繁、选线准确率高的党家庄站 10 kV 母线作为试验。党家庄站位于济南南部片区,10 kV 出线以架空线为主,2016 年共发生 11 次单相接地故障,均选线正确,选线装置正确率 100%。

2016 年 11 月 5 日 19:03,党家庄站 10 kV I 母线 B 相电压降到 0,A、C 两相电压升高至线电压,小电流选线结果为 10 kV 党青线。党青线接线如图 4 所示。

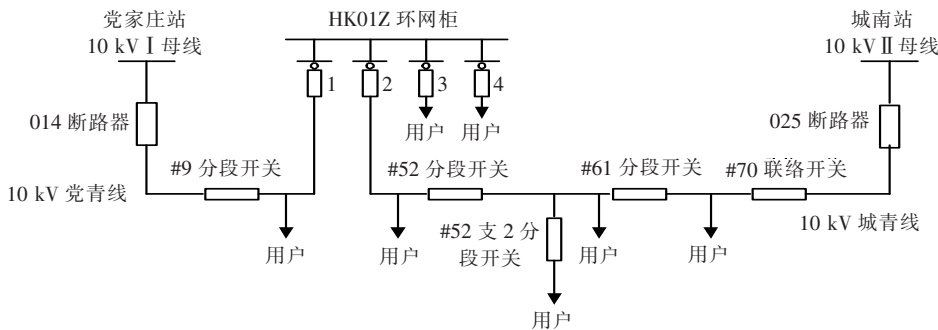


图 4 10 kV 党青线接线示意

Figure 4 Wiring diagram of 10 kV Dangqing line

19:13:23 时调控人员在通知党青线用户后启动自愈程序。19:13:27 时遥控拉开 10 kV 党青线 014 断路器后接地故障信号消失,确定故障点位于党青线上;X 时限延迟后遥控拉开最末端的 #61 分段开关,再合上 014 断路器,接地信号再次发出;配电自动化系统按照整定时限由后向前依次拉开 #52 支 2、#52 等各级分段开关,在 #9 杆分段开关分闸后接地故障消失,判定故障点位于 #9 杆与 HK01Z 环网柜 #1 间隔之间。19:15:31 时配电自动化系统给出故障区间结果,并闭锁故障点前后的 #9 分段开关、HK01Z-1 开关,然后依次遥控合上 #70 联络开关及已分闸的各分段开关,恢复 HK01Z-1 后段送电。

故障发生后 177 s(19:16:20)时全部非故障区域负荷恢复供电。由于故障区间已明确在 #9 杆与

HK01Z-1 开关之间,因此使得巡线精确度明显提高。故障发生后 37 min 时巡线人员发现故障系 18-19 杆间导线因大风造成 B 相断线,引起接地故障。

历史运行数据表明,党家庄片区在发生单相接地故障时,非故障区域平均停电时长约 215 min,故障巡线时间平均时长约 193 min。采用配电自动化接地故障自愈后,非故障区域停电时间缩短至 177 s,减少 98.6%,故障巡线时间缩短至 37 min,效率提升 80.8%。

3 结语

故障自愈是智能电网的核心内容。该文将接地报警信号、小电流选线结果接入配电自动化系统,

通过智能开关自动控制与接地报警信号间逻辑关系自动定位故障区间,实现配电网单相接地故障自愈,并通过现场试验验证了该方法的有效性。

该方法增大了配电自动化系统的应用范围,显著缩短了配网接地故障的停电时间,对提高配电网智能化程度意义重大,具有很强的推广价值。

参考文献:

- [1] 郑顾平,姜超,李刚,等. 配网自动化系统中小电流接地故障区段定位方法[J]. 中国电机工程学报,2012,32(13):103-109.
ZHENG Guping,JIANG Chao,LI Gang,et al. Method of fault area & location for non-solidly earthed distribution system[J]. Proceeding of the CSEE,2012,32(13):103-109.
- [2] 薛永瑞,徐丙垠,李天友,等. 配网自动化系统小电流接地故障暂态定位技术[J]. 电力自动化设备,2013,33(12):27-32.
XUE Yongrui,XU Bingyin,LI Tianyou,et al. Small-current grounding fault location based on transient signals of distribution automation system [J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(12):27-32.
- [3] 张林利,徐丙垠,薛永瑞,等. 基于线电压和零模电流的小电流接地故障暂态定位方法[J]. 中国电机工程学报,2012,32(13):110-115.
ZHANG Linli,XU Bingyin,XUE Yongrui,et al. Smart distribution grid and distribution automation[J]. Proceeding of the CSEE,2012,32(13):110-115.
- [4] 杜刚,刘迅,苏高峰. 基于 FTU 和“S”信号注入法的配电网接地故障定位技术的研究[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(12):73-76.
DU Gang,LIU Xun,SU Gaofeng. Research on technology of grounding fault location combining FTU and “S” signal injecting method in distribution grid[J]. Power System Protection and Control,2010,38(12):73-76.
- [5] 施慎行,董新洲,吴家华,等. 配电线路单相接地故障自愈方案[J]. 电力自动化设备,2012,32(11):97-101.
SHI Shenxing,DONG Xinzhou,WU Jiahua,et al. Self-healing of single-phase grounding fault for power distribution lines [J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(11):97-101.
- [6] 孙永超,邵能灵,郑晓东. 含分布式电源的配电网单相接地故障区段定位新方法[J]. 电力科学与技术学报,2016,31(3):73-80.
SUN Yongchao,TAI Nengling,ZHENG Xiaodong. Research on single-phase grounding fault location of distribution network with DG[J]. Journal of Electric Power Science and Technology,2016,31(3):73-80.
- [7] 秦珣,陈丽安. 基于改进导纳法的小电流接地系统接地故障选线方法[J]. 电力科学与技术学报,2016,31(1):96-102.
QIN Xun,CHEN Li'an. Improved neutral admittance method based grounding faulted feeder detection for power system with small current earthing [J]. Journal of Electric Power Science and Technology,2016,31(1):96-102.
- [8] 李晓,李满礼,倪明. 配电信息物理系统分析与控制研究综述[J]. 中国电力,2020,53(1):11-21.
LI Xiao, LI Manli, NI Ming. A review of analysis and control of cyber physical distribution system[J]. Electric Power,2020,53(1):11-21.
- [9] 封士勇,王江宁,周磊,等. 配电网邻域速动型分布式馈线自动化策略及仿真分析[J]. 电力科学与技术学报,2015,30(4):96-104.
FENG Shiyong,WANG Jiangning,ZHOU Lei,et al. Neighborhood quick distributed feeder automation strategy and its simulation analysis for distribution networks [J]. Journal of Electric Power Science and Technology,2015,30(4):96-104.