

DOI: 10.7667/PSPC170146

基于数据驱动的线路保护定值自适应整定方法研究

周勳¹, 张波¹, 刘日亮², 范敏³, 韩琪³

(1. 中国电力科学研究院, 北京 100192; 2. 国家电网公司, 北京 100031; 3. 重庆大学自动化学院, 重庆 400044)

摘要: 为了提高配电网供电可靠性, 在配电自动化系统中, 通过对线路开关的控制, 实现配电网故障自动隔离与恢复供电。然而配电网拓扑复杂, 线路重构后配电负荷和运行方式的改变, 使得线路上的开关保护定值需要相应的调整, 而传统联络开关无法解决这一难题。采用具有智能互联功能的联络开关, 基于数据驱动思想, 设计了一种线路保护定值自适应整定工作机制。智能联络开关作为线路的智能中枢, 能够根据获取的分段开关遥测、遥信等数据, 应用自适应整定工作机制来计算保护定值, 实现线路重构后开关保护定值与配电负荷和运行方式的自动匹配。算例分析和工程实例验证了方法的有效性和适用性。

关键词: 智能电网; 配电自动化; 智能联络开关; 保护定值自适应; 智能线路保护

An adaptive adjustment method of line protection setting based on data-driven

ZHOU Meng¹, ZHANG Bo¹, LIU Riliang², FAN Min³, HAN Qi³

(1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China; 2. State Grid Corporation of China, Beijing 100031, China; 3. College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: In order to improve the reliability of distribution grid, it achieves automatic fault isolation and restoration of power supply by controlling the line switches in distribution automation system. However, the topology of the distribution grid is complex. The change of distribution load and operating mode after line reconstruction makes the protection settings of the line need adjusting accordingly, which cannot be solved by traditional tie switches. This paper designs a work mechanism of adaptive protection setting adjustment based on data-driven idea by using smart tie switch. As the intelligent center of the line, smart tie switch uses the tele-metering and tele-signaling data acquired from section switches to compute protection settings by using the proposed mechanism, which can realize automatic matching of switch protection settings and distribution load & operating mode after line reconstruction. The effectiveness and applicability of the method are verified by example analysis and engineering project.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 61473050) and Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. PD71-15-049).

Key words: smart grid; distribution automation; smart tie switch; adaptive protection setting; smart line protection

0 引言

在我国智能电网逐步发展的过程中^[1-2], 配电负荷日渐增加, 各种智能电网保护策略相继提出^[3-5], 而联络开关作为当下电力配置的主流形式发挥着重要作用。在配网线路上增加联络开关^[6-7]是提高电力配置效率的有效途径。随着联络开关安装规模的不断扩大以及配电网结构越来越复杂^[8-10], 虽然已有

的保护定值整定管理技术^[11-14]得到了飞速发展, 但如何对具有联络开关的线路进行智能化的定值整定仍是一项亟待解决的技术难题^[15]。在线路实际运行过程中联络开关从热备状态切换到运行状态后, 线路已经重构, 而线路保护的定值却依旧没有变化, 线路保护的选择性将受到限制。因此, 研究联络开关转入运行状态后对线路保护定值进行自适应调整的方法, 对于提高配电网的供电可靠率, 达到建设智能电网的目的显得尤为重要。本文采用具有智能互联功能的联络开关, 设计一种基于数据驱动的智

基金项目: 国家自然科学基金(61473050); 国家电网公司科技项目(PD71-15-049)

能联络开关线路保护定值自适应整定方法,实现线路重构后开关保护定值与配电负荷和运行方式的自动匹配。

1 联络开关线路保护

配电系统中普遍存在着两类开关,即联络开关和分段开关。其中联络开关是在两条主馈线、两个变电站、环路型式的分支线之间起联络作用的开关,通常情况下是断开的。这两类开关在配电系统中有故障隔离、供电恢复和配电网重构的重要作用^[7]。

传统的联络开关线路定值整定,是根据联络开关两侧的配网线路特性在每个分段开关处都整定一个定值。平时联络开关处于热备状态,当线路发生永久短路故障后,故障点由分段开关隔离,然后联络开关由热备状态进行开关合闸切换到运行状态,恢复部分线路的供电。此时联络开关线路系统已经重构,线路定值已经发生变化,而在分段开关上整定的线路保护定值还保持不变,显然是不合理的。如果在此状态下重构线路再发生故障,则会导致故障隔离不准确,无法尽可能地缩小停电区域,无法满足线路保护选择性的要求。

传统的联络开关线路工作模式如下:

1) 正常状态:线路正常工作,互联联络开关处于热备状态。两侧电源正常供电,各分段开关均处于合位。

2) 故障状态:线路故障状态后,各分段开关根据线路故障状态以及自身的整定定值进行故障的隔离。

3) 故障自愈:智能互联联络开关根据自身逻辑对线路进行恢复供电,此时联络开关处于运行状态。

故障排查后,控制联络开关从运行状态切换到热备状态,至此联络开关完成了完整的运行切换的周期。

2 保护定值自适应整定策略

当配电网线路发生故障,传统联络开关转为运行状态后会导致配网线路系统固有定值发生改变,例如:线路长度、用户负荷和变压器容量等,从而使原来整定在分段器的定值与当前线路系统实际定值不匹配,无法保证线路保护的选择性,可能导致重构线路发生故障时无法合理隔离故障。因此采用具有智能互联功能的联络开关,设计一种基于数据驱动的线路保护定值自适应整定方法。该方法主要思路分为两阶段。

第一阶段:配电网的联络开关与分段开关实现互联互通,在配电线路运行过程中智能联络开关可

以监控分段开关的各遥测、遥信、定值等信息。

第二阶段:在智能联络开关投入到运行状态后,根据其获取的线路电流方向、故障点位置等数据对分段开关的保护定值进行计算并重新整定,使其各分段开关与线路重构后的运行定值自适应匹配,保证线路重构后的线路保护的选择性。

3 保护定值自适应整定计算方法

在配电线路出现三相短路或者两相相间短路时常采用的保护方式为三段式过流保护。动作于跳闸的继电保护在技术上一般要满足可靠性、选择性、速动性和灵敏性。三段式过流保护包括电流过流保护、限时电流过流保护和定时限过流保护。

以电流过流保护为例说明保护定值自适应整定计算方法。当供电网络中任意点发生三相短路和两相短路时,流过短路点与电源间线路中的短路电流包括短路工频周期分量、暂态高频分量和衰减直流分量。其短路工频周期分量 I_k 近似可以表示为

$$I_k = K_\phi \frac{E_\phi}{Z_s + Z_k} \quad (1)$$

式中: Z_k 为系统等效电源的相电动势; Z_s 为短路点到保护安装处的阻抗; K_ϕ 为保护安装处到系统等效电源间的阻抗; E_ϕ 为短路类型参数,三相短路取1,两相短路取 $\sqrt{3}/2$ 。

以下详述每一步骤的调整。

1) 动作电流自适应计算

为保证选择性,保护装置的启动电流应按躲开下一条出口处短路时通过保护的最大短路电流来整定,以图1为例说明。图中 L 为线路, I_k 为短路电流。A、B、C、D为四个分段开关。 $Z_{s,max}$ 为线路最大运行方式。 $Z_{s,min}$ 为线路最小运行方式。 $I_{A-B,max}$ 、 $I_{B-C,max}$ 、 $I_{C-D,max}$ 为各段线路最大短路电流。 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 为四个故障点。 $I'_{set,1}$ 、 $I'_{set,2}$ 为分段开关过流保护的整定值,以式(2)进行计算。

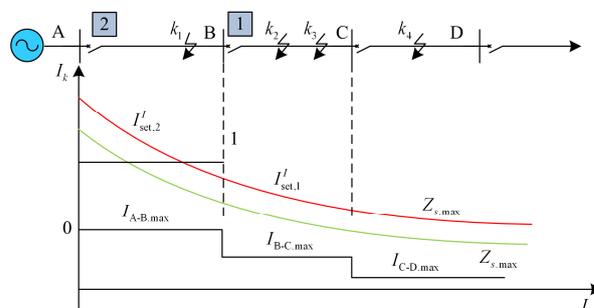


图1 过流保护示意图

Fig. 1 Overcurrent protection diagram

$$I_{set,i}^I = K_{rel}^I I_{x-y,max} \quad (2)$$

式中： $I_{set,i}^I$ 为第 i 个分段开关过流保护的整定值；由于非周期分量的影响、实际的短路电流可能大于计算值、保护装置的实际动作值可能小于整定值，需考虑一定裕度，因此引入可靠系数 K_{rel}^I 取 1.2~1.3； $I_{x-y,max}$ 为 x-y 段线路最大短路电流值。

2) 动作时间自适应计算

过流保护的動作时间在考虑速动性故障情况下尽快让开关跳闸。同时为了保证线路保护的选择性，各开关间需要存在一定的时间差，考虑到保护整组動作时间一般小于 100 ms，每级开关相差按照 100 ms 计算。

3) 数据驱动自适应调整计算

智能联络开关根据获取到的各区间段线路的系统等效电源的电动势，短路点到分段开关阻抗，分段开关与上级分段开关或者电源阻抗等信息，采用上述计算方法可自行对线路进行计算并整定定值。

其他定值调整。如：限时过流电流整定定值、定时过电流整定定值和零序保护整定定值则可类似采用上述方式进行处理。

4 保护定值自适应整定工作模式

在具有互联功能的配电线路网络中，与分段开关相比，联络开关更具能源供给优势。由于联络开关的特殊位置，只要线路一端能正常供电，则联络开关就可以使用 PT 进行供电。

联络开关具备区域开关管理功能，可以作为服务端，采用无线通信(4G/3G/2G)的方式与各分段开关通信；其他分段开关可以作为客户端，也采用无线的方式与联络开关进行通信，一旦线路重构，及时将分段开关的遥信、遥测和定值等信息传送给联络开关；联络开关便能够及时获取整体的拓扑结构。整个联络开关系统如图 2 所示。

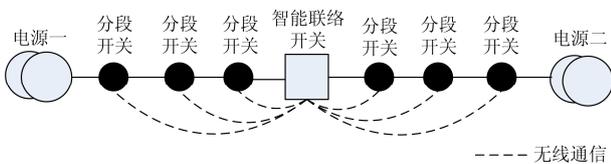


图 2 智能联络开关系统图

Fig. 2 System diagram of smart tie switch

智能联络开关投运前，将线路两端各段特性和定值，输入到智能互联联络开关并保存，智能联络开关根据线路运行状态以及各分段开关状态等自动地对线路上分段开关的定值进行计算并自发进行分段开关的整定。智能联络开关工作流程如图 3 所示。

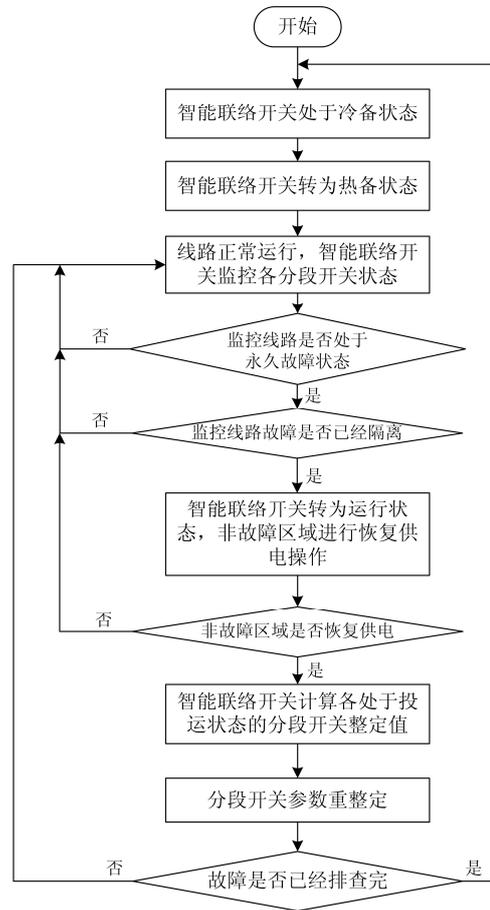


图 3 智能联络开关工作流程图

Fig. 3 Flow chart of smart tie switch

与具有传统联络开关的线路一样，智能联络开关处于热备状态，线路各部分均是正常供电。在故障发生后，由分段开关进行故障隔离，由智能联络开关切换到运行状态进行线路的恢复供电。但是智能联络开关在切换到运行状态时进行以下步骤：

1) 故障位置判断

智能联络开关在切换到运行状态后，通过通信获取其他分段开关的遥信状态并通过判断电流方向来确定故障点的位置，为定值自适应建好相应的模型。

2) 智能联络开关线路定值自整定

智能联络开关通过自身已经保存的线路各段的线路定值并结合故障点位置，计算系统重新组合后的各分段开关的整定定值。

3) 分段开关定值重整定

智能联络开关把步骤 2) 计算出来的新的整定值通过通信通道下发到各分段开关，至此各分段的整定值与线路实际运行定值已经匹配。

通过以上步骤，分段开关又能准确地对线路进行保护。如果后续在线路未检修完整的情况下，线

路又发生了永久故障, 则重复 1)–3) 的步骤。

智能联络开关在检测到线路已检修完, 同时智能联络开关被人工操作与分位时, 则智能联络开关对线路上的分段开关整定定值更新。

5 仿真分析

利用 Matlab 的 Simulink 模块构造电气系统图进

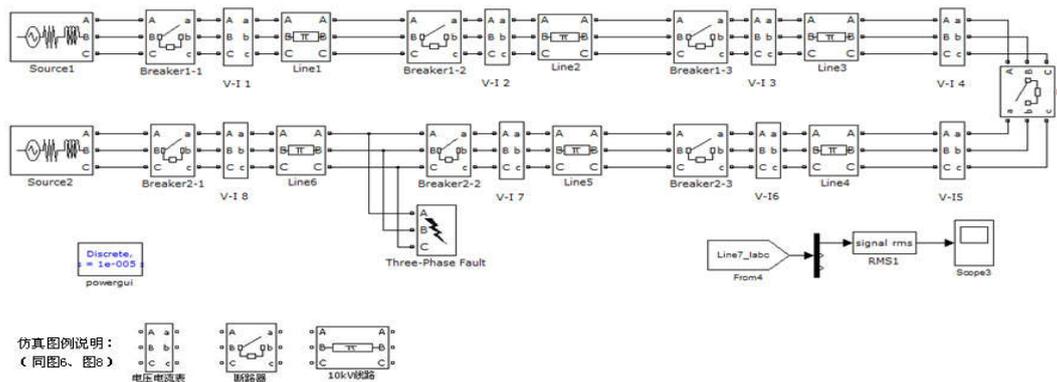


图 4 系统仿真图

Fig. 4 System simulation diagram

第一次故障发生在 Breaker2-1 和 Breaker2-2 之间, Breaker2-1 和 Breaker2-2 隔离故障。

原 Source1 线路末端发生故障, Source1 线路电流仿真图和系统仿真图分别如图 5 和图 6 所示。由图 5 可知 Break1-3 整定值为 1500 A。

但是当 LL 联络开关合闸后, 由于系统参数已经变化, 此情况下 Source1 线路末端发生故障, Source1 线路电流仿真图和系统仿真图分别如图 7 和图 8 所示。

由图 7 可知, 系统重构线路末端发生短路流过系统的电流约为 1250 A, 而此时如不改变 Break1-x 的整定定值, 而整条线路保护则可能失去了选择性。通过上述仿真, 一旦发生线路重构, 联络开关投入使用, 两条线路参数都会发生变化, 短路电流也将随之发生变化, 分段开关的保护跳闸时序也将不同,

行仿真分析, 获得直观的实验效果。图 4 为具有智能联络开关的配电线路系统仿真图, 图中为两条三分段线路, 使用智能联络开关进行系统连接。Source1、Source2 为变电站电流源, Breaker1-x、Break2-x 为断路器, LineX 为线路, LL 为智能联络开关, Three-Phase Fault 为故障点。线路变电站出口常用线径为 185 mm。

参照原系统参数整定的保护定值如不进行调整, 则线路的分段保护将可能失去选择性, 因此根据线路重构的变化情况动态地调整整定定值是非常必要的。

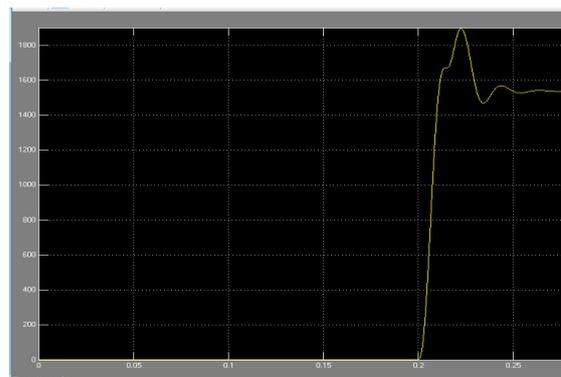


图 5 Source1 线路电流仿真图

Fig. 5 Current simulation diagram of Source1 line

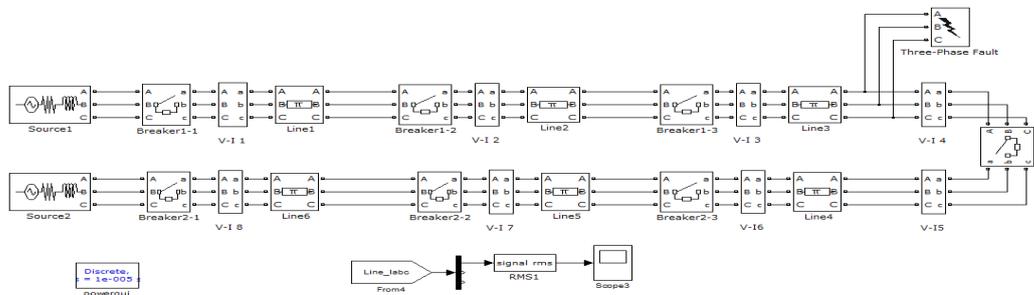


图 6 Source1 线路末端发生故障系统仿真图

Fig. 6 System simulation diagram of Source1 line end failure

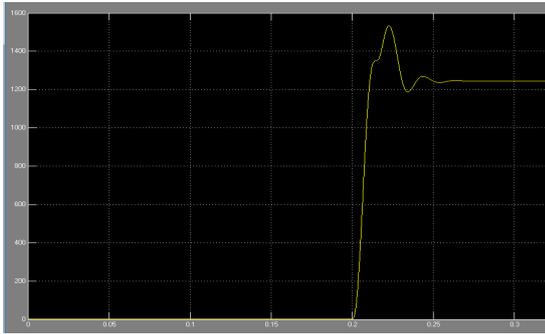


图 7 Source1 线路重构后电流仿真图

Fig. 7 Current simulation after Source1 line reconstruction

6 算例验证

以某一条 10 kV 线路进行算例分析, 取可靠系数为 1.1, 当联络开关处于热备状态时线路电源一线路定值和电源二线路定值如表 1 所示。

表 1 线路定值表

Table 1 Line setting table

电源一线路	保护定值	电源二线路	保护定值
$I_{A-B.max}$	1400 A/0.3 s	$I_{F-E.max}$	1390 A/0.3 s
$I_{B-C.max}$	1350 A/0.2 s	$I_{E-D.max}$	1360 A/0.2 s
$I_{C-LL.max}$	1330 A/0.1 s	$I_{D-LL.max}$	1320 A/0.1 s

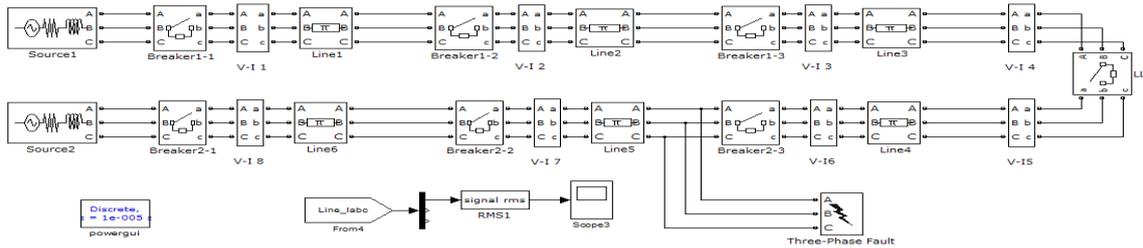


图 8 Source1 线路重构后末端发生故障系统仿真图

Fig. 8 System simulation diagram of Source1 line end fault after reconstruction

1) 线路正常运行

线路正常运行情况下, 联络开关处于分位, 分段开关处于合位, 线路运行正常, 如图 9 所示。

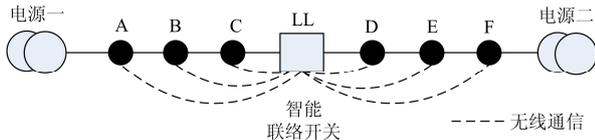


图 9 线路正常运行

Fig. 9 Line normal operation

以上线路定值均输入到智能联络开关中。根据式(1)、线路运行状态、时间级差要求, 分段开关 A 过流定值为(1400 A, 0.3 s), 开关 B 过流定值为(1350 A, 0.2 s), 开关 C 过流定值为(1330 A, 0.1 s), 开关 D 过流定值为(1320 A, 0.1 s), 开关 E 过流定值为(1360 A, 0.2 s), 开关 F 过流定值为(1390 A, 0.3 s)。

2) 故障隔离与非故障区域恢复供电

在 K1 点发生故障后, 开关 F 故障跳闸, 联络开关 LL 根据线路状态、开关 F 的事件信息控制开关 E 进行分闸, 开关 E 和开关 F 闭锁合闸, 至此故障已经隔离。随后智能联络开关投入到运行状态, 对非故障区域进行恢复供电。故障隔离与自愈过程如图 10 所示。

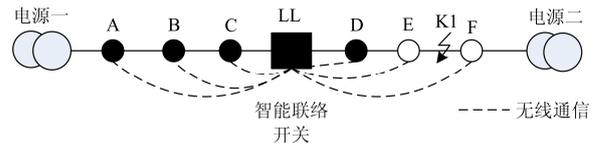


图 10 故障隔离与自愈

Fig. 10 Fault isolation and self-healing

3) 线路重构后定值进行调整

线路重构后, LL-D 段线路使用电源一供电, 联络开关的联络功能调整为分段功能, 电源一线路的末端分段开关 C 调整为中间分段开关, 两条线路的长度、负荷等参数也发生了变化, 以及根据式(1)、线路运行状态、时间级差要求进行调整, 调整的结果如表 2 和图 11 所示。

表 2 重构后线路定值表

Table 2 Setting table after reconstruction

电源一线路	保护定值	电源二线路	保护定值
$I_{A-B.max}$	1400 A/0.5 s	$I_{E-F.max}$	故障区域
$I_{B-C.max}$	1350 A/0.4 s		
$I_{C-LL.max}$	1330 A/0.3 s		
$I_{LL-D.max}$	1300 A/0.2 s		
$I_{D-E.max}$	1250 A/0.1 s		

对应开关整定定值如下: 分段开关 A 过流定值为(1400 A, 0.5 s); 开关 B 过流定值为(1350 A, 0.4 s);

开关 C 过流定值为(1330 A, 0.3 s); 联络开关 LL 为投运状态, 过流定值为(1300 A, 0.2 s); 开关 D 过流定值为(1250 A, 0.1 s), 开关 E 和开关 F 闭锁。

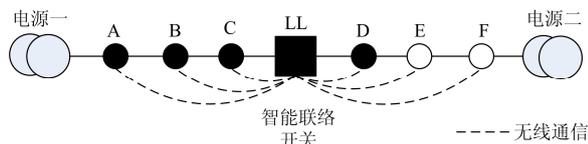


图 11 线路重构调整定值

Fig. 11 Setting auto-tuning after line reconstruction

4) 线路重构后发生故障

在智能联络开关对各分段开关进行定值重新整定后, K2 点发生故障, 此次由于各分段期的定值与重构后的配网线路一致, 联络开关 LL 则可以正常跳闸, 避免了由于定值不匹配导致的开关 C 跳闸, 从而保证了线路保护的选择性, 如图 12 所示。

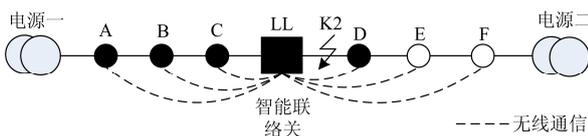


图 12 定值自整定后, 再次发生故障

Fig. 12 Fault occurs again after the setting auto-tuning

5) 故障隔离

智能联络开关 LL 跳闸, 联络开关控制开关 D 分闸, K2 故障点被隔离出来。然后联络开关再重复步骤 4) 的线路重构后定值自整定的工作, 故障隔离如图 13 所示。

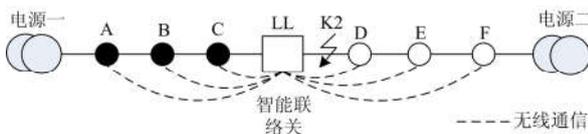


图 13 故障隔离

Fig. 13 Fault isolation

通过上述算例, 验证了配电网线路进行重构后的保护定值自适应整定的过程。智能联络开关对线路分段保护的定值自适应调整后, 确保各开关定值与线路系统参数匹配, 提高了线路保护的选择性。由以上算例分析可知, 配电网线路定值进行自适应调整的方法是提高配电网供电可靠率的有效措施。

7 工程实例

以某县一条 10 kV 线路进行工程验证, 系统配置如图 9 所示。现场参数配置使用前述方法进行演算并录入到配电系统。初始定值如表 1 所示, 工程于 2016 年 4 月实施完成并投入运行。

2016 年 7 月 23 日晚上 10 点 24 分, 由于遇到强降水, 导致山体滑坡冲断电杆, 线路发生短路。第一次短路区域位 DE 之间。系统正确动作并有效隔离故障。联络开关投入, 系统自动重新重构调整定值。

2016 年 7 月 24 日晚上 1 点 20 分, 狂风压断大树 LL 与 D 之前再次发生短路故障, 系统又一次正确动作, 并有效隔离故障。

从现场使用情况来看, 该方案论证有效可行。但是由于试点线路较为简单, 还需论证各种更复杂条件下的情况。

从线路是否使用智能联络开关的工作状态对比分析来看, 智能联络开关实施了线路保护定值自适应整定方法, 线路在非故障区域恢复供电最大时间、系统重构后的保护级差配合、开关合闸次数、运维成本等性能方面有较大的改善, 具体对比见表 3。

表 3 性能对比分析

Table 3 Comparison analysis of performance

项目名称	使用普通联络开关	使用智能联络开关
非故障区域恢复供电最大时间	非故障区域恢复供电最大时间超过 70 s	非故障区域恢复供电最大时间小于 30 s
系统重构后的保护级差配合	不具备	具备
开关合闸次数	故障线路的分段开关需要合闸操作 2 次	故障线路的分段开关只需要 1 次合闸操作
运维成本	运维成本高	运维成本降 60%以上

8 结论

本文概述了现有线路联络开关以及线路定值整定的不足, 并提出了采用智能联络开关的线路定值自适应整定方法, 并对该方法进行了实例化的验证说明。该方法具备以下优点。

1) 线路定值整定简便: 初次运行将线路定值均输入到智能联络开关, 线路上其他分段开关的整定值均由该智能联络开关自主计算并自主整定。

2) 线路维护简单: 在线路负荷变更后, 只需要重新将线路定值输入到智能联络开关, 线路上其他开关便可以更新到与该线路匹配的整定值。

3) 提高了供电可靠率: 在线路已经有部分区域处于隔离状态下, 可以使该线路依旧具备与重构后线路匹配的整定定值, 保证了线路保护的选择性。

4) 线路保护具备良好的选择性, 减轻了定值运维的劳动强度。

参考文献

[1] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网的基本理念[J]. 天津大学

- 学报, 2011, 44(5): 377-384.
- YU Yixin, LUAN Wenpeng. Basic philosophy of smart grid[J]. Journal of Tianjin University, 2011, 44(5): 377-384.
- [2] 于士斌, 徐兵, 张玉侠, 等. 智能配电网自愈控制技术综述[J]. 电力系统及其自动化学报, 2013, 25(5): 65-70.
- YU Shibin, XU Bing, ZHANG Yuxia, et al. Review on self-healing control technique in smart distribution grid[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2013, 25(5): 65-70.
- [3] BO Zhiqian, LIN Xiangning, WANG Qingping, et al. Developments of power system protection and control[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1: 9pp.
- DOI 10.1186/s41601-016-0012-2
- [4] 熊小伏, 陈星田, 郑昌圣, 等. 继电保护系统状态评价研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(5): 51-58.
- XIONG Xiaofu, CHEN Xingtian, ZHENG Changsheng, et al. Overview of research on state evaluation of relaying protection system[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(5): 51-58.
- [5] ZHANG Baohui, HAO Zhiguo, BO Zhiqian. New development in relay protection for smart grid[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1: 8pp.
- DOI 10.1186/s41601-016-0025-x
- [6] 杨文字, 刘健, 余健明, 等. 配电网分段和联络开关的优化规划[J]. 中国电力, 2004, 37(2): 50-54.
- YANG Wenyu, LIU Jian, YU Jianming, et al. Optimal allocation of sectionalizing and loop switches in distribution networks[J]. Electric Power, 2004, 37(2): 50-54.
- [7] 王守相, 王成山. 配电系统联络开关的优化配置[J]. 继电器, 2002, 30(12): 24-27.
- WANG Shouxiang, WANG Chengshan. Optimal tie switches allocation in distribution systems[J]. Relay, 2002, 30(12): 24-27.
- [8] 杨济川, 李雪男. 智能电网建设中配电网的发展与改进[J]. 供用电, 2011, 28(1): 1-4.
- YANG Jichuan, LI Xuenan. The development and improvement of distribution network in the construction of smart grid[J]. Distribution & Utilization, 2011, 28(1): 1-4.
- [9] 马钊, 周孝信, 尚宇炜, 等. 未来配电网形态及发展趋势[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(6): 1289-1298.
- MA Zhao, ZHOU Xiaoxin, SHANG Yuwei, et al. Form and development trend of future distribution system[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(6): 1289-1298.
- [10] 金波, 肖先勇, 陈晶, 等. 考虑保护失效和电网动态平衡特性的连锁故障风险评估[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(8): 1-7.
- JIN Bo, XIAO Xianyong, CHEN Jing, et al. A method of risk assessment considering protection failures and dynamic equilibrium of power grid[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(8): 1-7.
- [11] 段献忠, 杨增力, 程逍. 继电保护在线整定和离线整定的定值性能比较[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(19): 58-61.
- DUAN Xianzhong, YANG Zengli, CHENG Xiao. Performance analysis of relay settings determined according to off-line calculation and on-line calculation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(19): 58-61.
- [12] 孟龙, 刘清贵, 晁勤, 等. 基于 LIBSVM 识别并网 PV 系统阻抗的输电线电流保护自适应策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(24): 17-23.
- MENG Long, LIU Qinggui, CHAO Qin, et al. Research on adaptive strategy for overcurrent protection based on identifying the equivalent impedance of grid-connected PV system by LIBSVM[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(24): 17-23.
- [13] 陈金富, 石东源, 段献忠. 电网继电保护整定计算原则自定义技术研究[J]. 继电器, 2007, 35(增刊 1): 42-45.
- CHEN Jinfu, SHI Dongyuan, DUAN Xianzhong. Study on relay setting based on self-define technology[J]. Relay, 2007, 35(S1): 42-45.
- [14] 郝文斌, 洪行旅. 智能电网地区继电保护定值整定系统关键技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(2): 80-82.
- HAO Wenbin, HONG Xinglü. Key technology research on local net setting system of protective relaying setting for smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(2): 80-82.
- [15] 刘渊. 一种有效的 10 kV 架空线多台分段开关过流保护配合策略的研究[J]. 电气技术, 2015, 16(8): 54-59.
- LIU Yuan. Research on an effective coordination strategy of over-current protection for multiple sectional switches of 10 kV overhead line[J]. Electrical Technology, 2015, 16(8): 54-59.

收稿日期: 2017-02-07; 修回日期: 2017-10-29

作者简介:

周 勤(1987—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为电力系统自动化; E-mail: zhoulm@epri.sgcc.com.cn

张 波(1984—), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为电力系统自动化; E-mail: 15138480@qq.com

刘日亮(1983—), 男, 通信作者, 学士, 工程师, 研究方向为配电网电力系统自动化. E-mail: riliangl@163.com

(编辑 周金梅)