

DOI: 10.7667/PSPC160403

基于故障关联系数的广域后备保护新方法

韩旭杉¹, 王玉财², 吕飞鹏², 陈钊³, 何世恩³, 马彦宏¹

(1. 国网甘肃省电力公司, 甘肃 兰州 730050; 2. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065;
3. 甘肃省电力公司风电技术中心, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 为了降低广域后备保护通信量, 提高故障识别的容错性, 提出了基于故障关联系数的广域后备保护新方法。在故障发生后, 主站对子站上传的母线各序电压比例系数进行排序以确定候选故障线路。然后, 主站向相关子站索取候选故障线路及其相邻线路的保护和方向元件的动作信息, 用于计算线路的故障关联系数。最后, 主站通过融合线路的故障关联系数并且和设定的阈值进行比较来实现故障线路的识别。仿真算例表明, 新算法广域通信量小, 并且具有较高的容错性, 可提高广域后备保护的性能。

关键词: 广域后备保护; 故障识别; 容错性; 故障关联系数

A new algorithm of wide area backup protection based on fault correlation coefficient

HAN Xushan¹, WANG Yucui², LÜ Feipeng², CHEN Zhao³, HE Shien³, MA Yanhong¹

(1. State Grid Gansu Power Grid Company, Lanzhou 730050, China; 2. School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 3. Wind Power Center of Gansu Power Grid, Lanzhou 730050, China)

Abstract: In order to reduce the communication traffic of wide-area backup protection (WABP) and improve the fault-tolerance capability of fault identification, this paper proposes a new algorithm of WABP based on fault correlation coefficient. After power grid is fault, the master station ranks the sequence voltage proportional coefficient from substations in order to identify the candidate fault line. Then master station obtains the action information of protection and direction component of candidate fault line and adjacent line to calculate fault correlation coefficient of line. Lastly, the master station integrates the fault correlation coefficient of line and compares it with the given threshold value to identify the fault line. The simulation example shows the new algorithm has small wide area communication traffic and high fault-tolerance capability and can significantly improve the performance of WABP.

Key words: WABP; fault identification; fault-tolerance capability; fault correlation coefficient

0 引言

继电保护是电力系统的第一道防线, 随着电网结构的日趋复杂, 运行方式日益灵活, 只根据保护安装本地的电气信息量来进行决策和判断的传统后备保护暴露了越来越多的缺陷^[1-2], 传统后备保护选择性和灵敏性之间的矛盾愈加突出。基于广域测量系统的广域后备保护为解决传统后备存在的问题提供了新的思路。目前, 国内外众多学者已经对广域后备保护进行了深入研究, 其中重点研究集中在广域后备保护系统的构成^[3-5]、保护系统的分区原则^[3,5-6]以及故障元件识别^[7-10,11-14]等几个方面。

由于广域测量系统采集信息范围广, 距离远, 所以实际应用当中出现信息采集丢失与错误的情况

在所难免。这就要求基于广域测量系统的广域后备保护在算法设计上要具有高的容错性。文献[9]通过引入关联系数使算法具备了一定的容错能力。文献[15]提出了一种高容错性的广域后备保护算法, 该算法主要用于变电站集中式广域后备保护。

信息融合技术是信息理论的重要组成部分, 它为设计出具有高容错特性的广域后备保护算法提供了一条新思路。在文献[11-12]中, 作者应用人工智能算法来处理采集到的状态信息, 建立了基于遗传算法的信息融合数学模型, 用于识别故障元件。但是采取人工智能的信息融合算法普遍存在运算量大, 实现原理较为复杂的问题。

故障发生以后, 首先变化的是各种电气量, 然后才是保护和方向元件的状态量。基于此, 本文首

先根据故障后电气量的变化确定候选故障线路, 在确定候选故障线路以后, 依据线路保护和方向元件的动作信息, 计算出候选故障线路及其相邻线路的故障关联系数, 最后将获得的故障关联系数进行融合并且与设定的门槛值进行比较, 以确定故障线路。这样以来, 故障识别算法仅需获取候选故障线路及其相邻线路的保护及方向元件的状态量, 有效地降低了广域后备保护系统的通信量, 并且通过算例表明算法具有较高的容错性。

1 区域集中式广域后备保护系统结构

区域集中式广域后备保护结构能够实现保护区域内信息的共享和交互, 故该结构更加适用于本文提出的基于故障关联系数的故障线路识别算法。其结构如图 1 所示, 一般选择保护区域内重要的枢纽变电站作为区域主站, 其他变电站作为区域子站。安装于区域子站中的智能电子设备 (Intelligent Electronic Device, IED), 完成测量信号的采集、上传并执行上层下达的断路器跳闸命令。区域主站通过广域通信网和各个子站之间进行数据的传输, 获取保护区域内的电气量和状态量信息, 进行区域电网运行状态的在线监视。当保护区域内发生故障时, 区域主站通过信息融合算法能够对故障线路进行有效的识别, 并且将断路器跳闸决策命令下发到区域子站执行, 同时与 SCADA 系统和 EMS 系统进行数据信息的交互。为了解决通信一致性和不同装置之间的互操作问题, 各个变电站内部以及主站和子站之间的通信均可以可采用 IEC61850 通信规约。由于系统对区域主站的正常工作依赖性较强, 可另选择备用主站, 并且对决策单元与广域通信网络进行双重化配置, 以提高系统的可靠性。

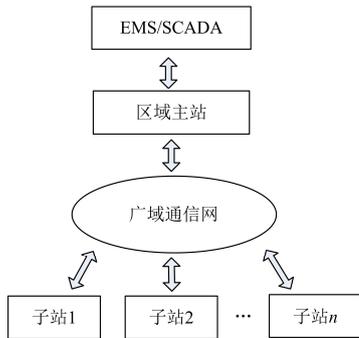


图 1 区域集中式广域后备保护系统结构图

Fig. 1 Structure of centralized wide-area backup protection system

2 候选故障线路的确定

当电网发生故障以后, 母线各序电压分布具有较为明显的特征: 越靠近故障点的母线, 其负序电压和零序电压越高, 而其正序电压越低。据此特征,

可以在子站的 IED 中构建如式(1)的广域后备保护启动判据^[8]。

$$\begin{cases} K_{i(1)} = U_{i(1)} / U_N < K_{\text{set}(1)} \\ K_{i(2)} = U_{i(2)} / U_N > K_{\text{set}(2)} \\ K_{i(0)} = U_{i(0)} / U_N > K_{\text{set}(0)} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $U_{i(1)}$ 、 $U_{i(2)}$ 、 $U_{i(0)}$ 分别为母线 i 的正序、负序及零序电压的幅值; U_N 为母线的额定相电压; $K_{i(1)}$ 、 $K_{i(2)}$ 、 $K_{i(0)}$ 分别为母线 i 的正序、负序及零序电压的比例系数; $K_{\text{set}(1)}$ 、 $K_{\text{set}(2)}$ 、 $K_{\text{set}(0)}$ 分别为母线 i 的正序、负序及零序电压启动的阈值; 考虑到电压互感器的复合误差一般在 10% 以内, 故 $K_{\text{set}(2)}$ 及 $K_{\text{set}(0)}$ 可取为 0.1, 用于灵敏反应各种不对称故障。当电网发生对称短路故障时, 系统中的负序分量及零序分量很小, 但此时母线的正序电压下降较为明显, 故 $K_{\text{set}(1)}$ 可取 0.5。

正常情况下, 子站 IED 对母线各序电压进行实时监测并且进行保护启动判据的判断。故障发生后, 子站将保护启动的母线及其各序电压比例系数上传到区域主站。考虑到线路故障时, 线路两侧母线电压及其相邻母线的各序电压变化最大。故可将保护启动的母线按照各序电压比例系数进行排序(正序比例系数从小到大排序, 负(零)序比例系数从大到小排序), 将各排序集合中排在前两位的母线确定为故障关联母线, 连接故障关联母线之间的线路定义为候选故障线路。

3 故障关联系数

3.1 方向元件动作系数

方向元件能够对故障方向进行有效的识别, 定义方向元件的方向为: 流出母线时为正, 流入母线时为负。则方向元件的动作系数可定义为

$$D = \begin{cases} 1 & \text{方向元件判定为正方向} \\ -1 & \text{方向元件判定为反方向} \\ 0 & \text{方向元件不动作} \end{cases} \quad (2)$$

3.2 保护元件动作系数

在高压输电网中, 主要以光纤差动保护和高频保护作为线路的主保护, 距离保护作为线路的后备保护, 故可定义主保护的动作为

$$P = \begin{cases} 1 & \text{主保护元件动作} \\ 0 & \text{主保护元件不动作} \end{cases} \quad (3)$$

距离保护的动作为

$$R = \begin{cases} 1 & \text{距离保护元件动作} \\ 0 & \text{距离保护元件不动作} \end{cases} \quad (4)$$

3.3 候选故障线路及其相邻线路故障关联系数

为了得到保护元件和方向元件对线路故障的支持程度,定义了2个故障关联系数:本故障线路故障关联系数 A_F 和相邻线路故障关联系数 B_F 。

A_F 反映了候选故障线路两端的保护及方向元件对本线路故障的判断结果,其表达式为

$$A_F = \alpha_1 P + \sum_{i=1}^2 (\alpha_2 R_i^I + \alpha_3 R_i^{II} + \alpha_4 R_i^{III} + \alpha_5 D_i) \quad (5)$$

式中: $i=1, 2$ 分别代表候选故障线路两端的IED; P 为线路两端的主保护动作系数; R_i^I 、 R_i^{II} 、 R_i^{III} 为线路两端距离保护I段、II段、III段的动作系数; D_i 为线路两端方向元件的动作系数; $\alpha_1 \sim \alpha_5$ 分别代表主保护、距离I段、距离II段、距离III段、方向元件的权值系数。权值系数表示各保护信息对线路故障的确认程度。如果主保护及距离I段动作,则故障发生在本线路内的可能性非常大,故可取 $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ 。距离II段及距离III段的保护范围超过本线路的全长,所以当距离II段及III段动作时,故障不一定发生在本线路中,故可取 $\alpha_3 = \alpha_4 = 1/2$ 。方向元件动作时并不能直接判定线路的故障状态,故取 $\alpha_5 = 1/2$ 。

A_F 在计算时综合考虑了本线路的所有保护元件及方向元件的动作信息,故能以较大的冗余信息来降低丢失或者错误信息对最终判断结果的影响。

相邻线路故障关联系数 B_F 可表示为

$$B_F = \frac{1}{2} R^{III} + D_A \quad (6)$$

式中: R^{III} 为相邻线路远端距离III段动作系数,其权重系数可取为1/2; D_A 为利用相邻线路近端及远端的方向元件的动作系数所求得的综合判定值。其取值情况参考文献[14]可取为

$$D_A = \begin{cases} 1 & (-1, 1) \\ 0.5 & (-1, 0) \text{ 或 } (0, 1) \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

式中:括号内数字分别代表相邻线路近端及远端方向元件的动作系数。如果相邻线路近端方向元件动作系数-1,远端方向元件动作系数为1,则表明本线路发生故障的可能性很大,故取 $D_A = 1$ 。当近端或者远端的方向元件只有一个正确输出,另一个方向元件不动作时,可取 $D_A = 0.5$,以降低综合判定值对本线路故障的支持程度。其他情况包括(0, 0), (1, 0), (1, 1), (0, -1), (1, -1), (-1, -1)6种情形,代表相邻线路两端的方向元件都不动作以及误动作的情况。为了清除上述情况对最终判定结果的影响,此时 $D_A = 0$,表示相邻线路方向信息不对本线路是

否故障进行判断。

4 广域后备保护新方法的实现

4.1 广域后备保护的基本原理

新算法实现的基本原理如图2所示,具体分析如下。

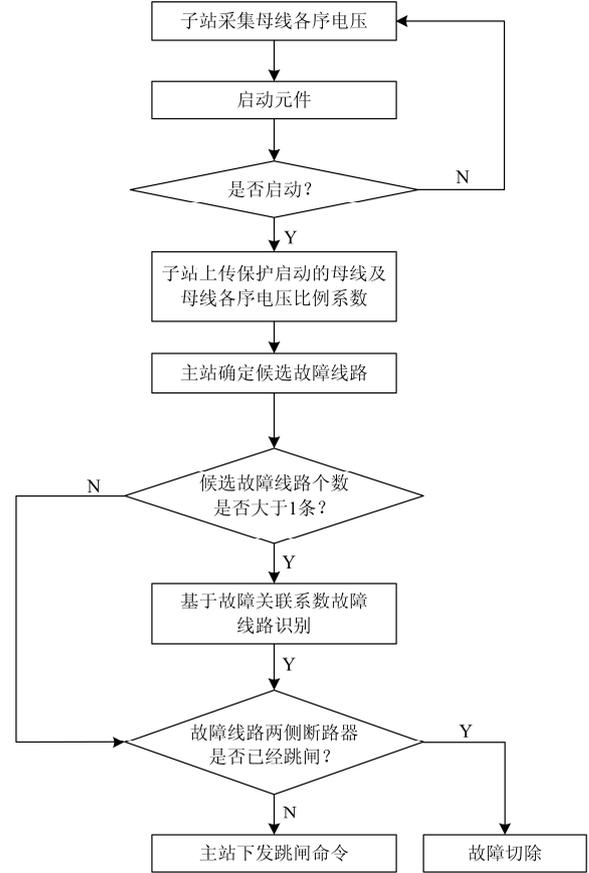


图2 广域后备保护基本原理图

Fig. 2 Fundamental principle diagram of wide area backup protection

(a) 子站对母线电压各序分量进行实时采集,并且依据判据(1)来判定是否有启动元件动作,如果有启动元件动作,则子站将启动元件动作的母线及母线各序电压比例系数上传至区域主站。

(b) 区域主站对接收到的母线各序电压比例系数进行排序,以确定故障关联母线及候选故障线路。

(c) 主站通过发送召唤命令,向子站索取候选故障线路及其相邻线路的传统保护及方向元件动作系数,并且依据式(5)一式(7)生成候选故障线路及其相邻线路的故障关联系数,基于故障关联系数对真实的故障线路进行最终的识别。

(d) 主站监视故障线路两端的断路器是否可靠动作。如果动作,则故障由传统主保护可靠切除。

如果存在断路器不动作的情况, 则原因可能来源于两个方面: 一是故障线路传统保护拒动; 二是线路两端的断路器失灵。上述两种情况的判别, 可通过第三步中获得的保护信息加以区分。如果是原因一, 则主站再次向故障线路断路器下发跳闸命令。如果是原因二, 则主站向故障线路的相邻线路的断路器下发跳闸命令, 以实现广域后备保护的功能。

4.2 基于故障关联系数的故障线路识别

候选故障线路的故障关联系数 A_F 及其相邻线路的故障关联系数 B_F 是本算法实现的基础。故障发生后, 区域主站通过式(8)将 A_F 与 B_F 的值融合, 其值可作为候选故障线路的故障输出值。对所有候选故障线路的输出值进行综合比较, 就能确定出故障线路, 其具体判据如式(9)所示。

$$F_{out(L_i)} = A_{F(L_i)} + \sum_j B_{F(L_j)} \quad j \neq i \quad (8)$$

式中: L_j 为保护信息范围内线路 L_i 的所有相邻线路。

如果线路 L_i 确定为故障线路, 则其故障判断结果应满足如式(9)判据。

$$\begin{cases} F_{out(L_i)} \geq \forall F_{out(L_k)} \\ F_{out(L_i)} \geq F_{set(L_i)} \end{cases} \quad (9)$$

式中: $F_{out(L_k)}$ 为其他候选故障线路的故障输出值; $F_{set(L_i)}$ 为线路 L_i 故障判断结果的阈值。

阈值的选取是实现本算法的关键。由于线路故障判断结果是融合本线路及相邻线路的传统保护及方向元件的动作信息获得的。因此, 阈值的取值也必须综合考虑两者。

对于候选故障线路本身的信息融合阈值可按如下思路来求解: 在图3中, 假设线路故障 d_1 发生在 IED1 距离保护的 I 段范围以内, d_2 发生在 IED1 距离保护的 I 段范围以外, 且两次故障中 IED2 完全失效。此时, 保护动作系数及本线路故障关联系数值如表1所示。



图3 简单线路故障示意图
Fig. 3 Diagram of simple line fault

表1 保护动作系数及故障关联系数

	P	R^I	R^{II}	R^{III}	D	A_F
d_1 故障	0	1	1	1	1	2.5
d_2 故障	0	0	1	1	1	1.5

将两次故障求得的故障关联系数的平均值作为候选故障线路本身的信息融合阈值, 即为2。

对于相邻线路信息融合的阈值可按如下思路求解: 当相邻线路的个数为 n_j 时, 考虑相邻线路所有的方向元件及距离元件有一半不正确动作时, 按照式(6)计算得到的相邻线路的 B_F 之和为 $3n_j/4$, 将其作为相邻线路信息融合的阈值。

综合考虑两者, 可得到线路 L_i 阈值的具体表达式为

$$F_{set(L_i)} = 2 + \frac{3n_j}{4} \quad (10)$$

当上传的广域信息出现丢失或错误时, 本算法通过将候选故障线路及其相邻线路的故障关联系数进行融合, 能够降低或者消除丢失信息及错误信息对最终判断结果的影响, 算法本身具有较高的容错特性。本算法具体的容错特性将在算例分析中具体加以分析。

5 算例分析

为验证本文提出的基于故障关联系数的故障线路识别方法具有广域通信量小、容错性高的特点, 利用电磁暂态仿真软件 PSCAD/EMTDC 搭建 IEEE5 机 14 节点系统进行仿真验证。在图4中, 数字1~40为 IED 编号, $L_1 \sim L_{20}$ 为线路编号, $B_1 \sim B_{14}$ 为母线编号。

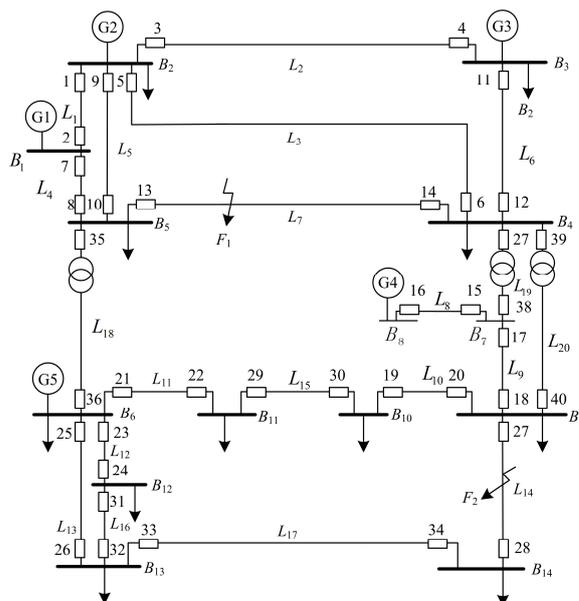


图4 IEEE5 机 14 节点系统图
Fig. 4 IEEE5-generator 14-bus system

5.1 候选故障线路的有效性分析

对线路 L_7 、 L_{14} 分别进行故障设置。其中, F_1 为

距离母线保护 B_5 侧 30% 的故障点。 F_2 为距离母线 B_9 侧 40% 的故障点。考察的故障类型包括：单相接地短路、单相经高阻接地短路、两相相间短路、两相接地短路及三相短路。

F_1 点发生单相接地短路时，对系统中保护启动母线各序电压比例系数进行统计，结果如表 2 所示。

从表 2 可以看出，母线 B_4 、 B_5 零序和负序电压比例系数最高，而正序电压比例系数最低，由此可以确定母线 B_4 、 B_5 为故障关联母线，线路 L_7 为故障候选线路。

表 2 F_1 发生单相接地短路时各序电压比例系数

Table 2 Result of sequence voltage proportional coefficient of start-up buses with F_1 single line to ground fault

启动母线	保护启动母线各序电压比例系数/%		
	$K_{(0)}$	$K_{(1)}$	$K_{(2)}$
B_1	14.8	91.1	11.6
B_2	13.2	89.4	13.8
B_3	11.8	93.8	12.7
B_4	22.8	89.1	21.4
B_5	34.9	86.4	25.2

故障点 F_1 和 F_2 发生其他类型的故障时，故障关联母线及候选故障线路的确定情况如表 3 所示。

表 3 故障关联母线及候选故障线路

Table 3 Fault correlation bus and candidate fault line

故障类型	故障关联母线/候选故障线路	
	F_1	F_2
AG	B_4 、 B_5 / L_7	B_9 、 B_{14} / L_{14}
AG(100 Ω)	B_1 、 B_3 、 B_4 、 B_5 / L_4 、 L_6 、 L_7	B_9 、 B_{13} 、 B_{14} / L_{14} 、 L_{17}
BC	B_4 、 B_5 / L_7	B_9 、 B_{14} / L_{14}
BCG(100 Ω)	B_1 、 B_4 、 B_5 / L_4 、 L_7	B_7 、 B_9 、 B_{14} / L_9 、 L_{14}
ABC	B_4 、 B_5 / L_7	B_9 、 B_{14} / L_{14}

当 F_1 和 F_2 发生金属性单相接地短路时，零序电压比例系数及负序电压比例系数保护判据的灵敏性较高，此时确定的候选故障线路只有 1 条。当 F_1 和 F_2 发生三相短路及两相相间短路时，此时并没有零序分量的产生，但是正序电压的跌落较为明显，确定的候选故障线路也只有 1 条。当发生经高阻接地的单相短路及两相接地短路时，正序电压升高，零序电压降低，保护判据的灵敏度下降，确定的候选故障线路有 2~3 条。

从表 3 可以看出，在各种故障类型下，候选故障线路都能够有效地包含真实的故障线路，且候选故障线路的个数相对于保护区域内总的线路数而言大为减少。

5.2 判断故障线路算法容错性分析

在 F_2 点发生单相经高阻接地短路时，由表 3 可知此时确定的候选故障线路为 L_{14} 和 L_{17} ，在保护信息完全正确情况下，与候选故障线路 L_{14} 和 L_{17} 相关保护动作系数及故障相关系数如表 4 和表 5 所示，表格中“ \times ”表示判断不需要的保护动作信息。

候选故障线路的故障相关系数确定后，由式(8)、式(10)可算得候选故障线路的故障输出值及门槛值如表 6 所示。依据判据(9)，可以看出在所有保护信息都正确的情况下线路 L_{14} 被正确判断为故障线路。

表 4 线路 L_{14} 相关保护动作系数及故障关联系数

Table 4 Protection action coefficient and fault correlation coefficient of L_{14} line

线路	IED	P	$R^I / R^{II} / R^{III} / D$	故障关联系数
L_{14}	27	1	1/1/1/1	$A_F = 5$
	28		0/1/1/1	
L_9	17	\times	$\times / \times / 1 / 1$	$B_F = 3 / 2$
	18		$\times / \times / \times / -1$	
L_{10}	19	\times	$\times / \times / 1 / 1$	$B_F = 3 / 2$
	20		$\times / \times / \times / -1$	
L_{17}	33	\times	$\times / \times / 1 / 1$	$B_F = 3 / 2$
	34		$\times / \times / \times / -1$	
L_{20}	39	\times	$\times / \times / 1 / 1$	$B_F = 3 / 2$
	40		$\times / \times / \times / -1$	

表 5 线路 L_{17} 相关保护动作系数及故障关联系数

Table 5 Protection action coefficient and fault correlation coefficient of L_{17} line

线路	IED	P	$R^I / R^{II} / R^{III} / D$	故障关联系数
L_{17}	33	0	0/0/1/1	$A_F = 1 / 2$
	34		0/0/0/-1	
L_{14}	27	\times	$\times / \times / 1 / 1$	$B_F = 1 / 2$
	28		$\times / \times / \times / 1$	
L_{13}	25	\times	$\times / \times / 0 / 1$	$B_F = 1$
	26		$\times / \times / \times / -1$	
L_{16}	31	\times	$\times / \times / 0 / 1$	$B_F = 1$
	32		$\times / \times / \times / -1$	

表 6 候选故障线路判断结果

Table 6 Judgment result of candidate fault line

线路	故障输出值	门槛值	判断结果
L_{14}	11	5	故障
L_{17}	3	4.25	正常

由于每个 IED 内集中有多个保护信息，故信息丢失与错误的情况有多种可能。考虑到实际系统中，由于 IED 故障或者传输通道的破坏造成 IED 内全部信息丢失的可能性较大。同时，IED 内全部信息错

误的可能性较小, 但可以将这种情况作为一种极端情况加以考虑。以候选故障线路 L_{14} 的判断为例, 在下文中将给出单个 IED 信息全部丢失与错误, 两个 IED 信息全部丢失与错误的极端情况, 以检验算法的容错性。

情况 1: 故障线路某一侧 IED 保护信息全部丢失

当 IED27 保护信息全部丢失时, 本线路故障相关系数变为 1.5, 其相邻线路的故障相关系数不变。此时, 线路 L_{14} 的输出值为 7.5, 而线路 L_{14} 的门槛值为 5, 判断结果为线路 L_{14} 故障。

情况 2: 故障线路的相邻线路某一侧 IED 保护信息完全丢失

当 IED17 保护信息完全丢失时, 本线路故障相关系数不变, 其相邻线路 L_9 的故障相关系数变为 0.5。此时, 线路 L_{14} 的输出值为 10, 而线路 L_{14} 的门槛值为 5, 判断结果为线路 L_{14} 故障。

情况 3: 故障线路某一侧及相邻线路某一侧 IED 保护信息完全丢失

当 IED28 和 IED17 保护信息全部丢失时, 本线路故障相关系数变为 1.5, 其相邻线路 L_9 的故障相关系数变为 0.5。此时, 线路 L_{14} 的输出值为 6.5, 而线路 L_{14} 的门槛值为 5, 判断结果为线路 L_{14} 故障。

情况 4: 故障线路两侧保护信息完全丢失

由于线路故障, 当 IED27 和 IED28 保护信息完全丢失时, 本线路故障相关系数变为 0, 其相邻线路的故障相关系数不变。此时, 线路 L_{14} 的输出值为 6, 而线路 L_{14} 的门槛值为 5, 判断结果为线路 L_{14} 故障。可见, 即使故障线路两侧的 IED 完全失效, 本算法通过融合相邻线路的保护信息也能对故障线路进行有效的判断。

情况 5: 故障线路某一侧 IED 保护信息全部错误

当 IED27 的保护信息全部错误时, 线路 L_{14} 的主保护拒动, IED27 所在一侧的距离 II 段和 III 段均拒动作, 其方向元件将故障误判为反方向。此时, 本线路故障相关系数变为 1, 其相邻线路的故障相关系数不变。线路 L_{14} 的输出值为 7, 而线路 L_{14} 的门槛值为 5, 判断结果为线路 L_{14} 故障。

情况 6: 故障线路某一侧及相邻线路某一侧 IED 保护信息全部错误

考虑 IED27 及 IED17 内保护信息全部错误的情况。线路 L_{14} 的主保护拒动, IED27 一侧方向元件误判为反方向。同时, IED17 一侧距离 III 段拒动且方向元件误判为反方向, 相邻线路 L_9 方向元件的综合判定值变为 0。此时, 本线路故障相关系数变为 1, 其相邻线路的故障相关系数变为 4.5。线路 L_{14} 的故

障输出值为 5.5, 而线路 L_{14} 的门槛值为 5, 判断结果为线路 L_{14} 故障。在这种情况下, 保护信息错误的位数为 7 位, 总的保护信息的位数为 21 位。可见, 当有 30% 的保护信息出错时, 本算法仍然能对故障线路进行有效的判断, 算法具有较高的容错性。

6 结论

为了减少广域通信量, 提高算法的容错性, 本文提出一种基于故障关联系数的广域后备保护新算法。本算法具有以下特点。

1) 根据故障后电气量变化确定候选故障线路, 子站只需上传候选故障线路及其相邻线路的保护及方向元件的动作信息就能对故障线路进行最终的判断, 大幅减少了广域通信量和区域主站的数据处理负担。

2) 通过对候选故障线路的故障关联系数及其相邻线路的故障关联系数进行融合, 并且与设定的门槛值进行比较, 能实现对故障线路的有效识别。当单个 IED 或两个 IED 信息完全丢失或者完全错误的情况下仍然能对故障线路进行有效识别, 算法具有较高的容错性。

参考文献

- [1] 谷松林. 基于广域保护系统的距离后备保护整定方案[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(1): 40-47.
GU Songlin. A distance backup protection setting scheme based on wide area protection system[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(1): 40-47.
- [2] 李俊刚, 张爱民, 张杭, 等. 广域保护系统数据网络可靠性评估[J]. 电工技术学报, 2015, 30(12): 344-350.
LI Jungang, ZHANG Aimin, ZHANG Hang, et al. Reliability evaluation of the wide area protection system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(12): 344-350.
- [3] 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): 112-123.
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): 112-123.
- [4] 余文辉, 王少荣, 柳斐, 等. 基于在线自组织同步 MAS 的电网广域保护系统[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(3): 69-76.
YU Wenhui, WANG Shaorong, LIU Fei, et al. A wide-area protection system based on synchronized MAS

self-organizing online for power grid[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(3): 69-76.

[5] 李振兴, 尹项根, 张哲, 等. 分区域广域继电保护的系统结构与故障识别[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(28): 95-103.
LI Zhenxing, YIN Xianggen, ZHANG Zhe, et al. Study zone-division wide area protection[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(28): 95-103.

[6] 何志勤, 张哲, 尹项根, 等. 集中决策式广域后备保护分区模型与优化算法[J]. 中国电机工程学报, 2014, 29(4): 212-219.
HE Zhiqin, ZHANG Zhe, YIN Xianggen, et al. Partition model and optimization algorithm for wide-area backup protection base on centralized decision-making mode[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 29(4): 212-219.

[7] SERIZAWA Y, MYOUJIN M, KITAMURA K, et al. Wide-area current differential backup protection employing Broad band communication and time transfer systems[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1998, 13(4): 1046-1052.

[8] 金恩淑, 汪有成, 陈喜峰. 基于分区域广域继电保护系统的故障识别算法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(9): 68-76.
JIN Enshu, WANG Youcheng, CHEN Xifeng. Fault identification algorithm based on zone-division wide area protection system[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(9): 68-76.

[9] 丛伟, 潘贞存, 赵建国. 基于纵联比较原理的广域继电保护算法研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(21): 8-14.
CONG Wei, PAN Zhencun, ZHAO Jianguo. A wide area relaying protection algorithm based on longitudinal comparison principle[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(21): 8-14.

[10] 杨增力, 石东源, 段献忠. 基于方向比较原理的广域继电保护系统[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(22): 77-81.
YANG Zengli, SHI Dongyuan, DUAN Xianzhong. Wide-area protection system based on direction comparison principle[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(22): 77-81.

[11] 汪旸, 尹项根, 张哲, 等. 基于遗传信息融合技术的广域继电保护[J]. 电工技术学报, 2010, 25(8): 174-179.
WANG Yang, YIN Xianggen, ZHANG Zhe, et al. Wide area protection base on genetic information fusion technology[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(8): 174-179.

[12] 李振兴, 尹项根, 张哲, 等. 基于多信息融合的广域继电保护新算法[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(9): 14-18.
LI Zhenxing, YIN Xianggen, ZHANG Zhe, et al. Wide area protection algorithm based on multi-information fusion[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(9): 14-18.

[13] 王睿, 王晓茹, 黄飞, 等. 基于相关矩阵的电网广域后备保护算法[J]. 电力系统及其自动化, 2013, 37(4): 69-74.
WANG Rui, WANG Xiaoru, HUANG Fei, et al. Wide area backup protection algorithm for power grid based on correlation matrix[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(4): 69-74.

[14] 李珊, 何怡刚, 项胜, 等. 基于故障电压比较与多信息融合的广域后备保护算法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 92-98.
LI Shan, HE Yigang, XIANG Sheng, et al. A wide backup protection algorithm based on fault voltage comparison and multi-information fusion[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 92-98.

[15] 张保会, 周良才. 具有高容错性能的广域后备保护算法[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(5): 66-71.
ZHANG Baohui, ZHOU Liangcai. Wide area backup protection algorithm with fault-tolerance performance[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(5): 66-71.

收稿日期: 2016-03-23; 修回日期: 2016-07-15

作者简介:

韩旭彬(1977-), 男, 高级工程师, 研究方向为电力系统保护与控制; E-mail: hanxs@gs.sgcc.com.cn

王玉财(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向电力系统继电保护及其可靠性; E-mail: yucaiwang@163.com

吕飞鹏(1968-), 男, 教授, 硕士生导师, 研究方向为电力系统继电保护和故障信息智能处理系统等。

(编辑 葛艳娜)