

证据理论在配电网故障定位中的应用

高艺文, 刘明忠, 吴杰

(国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610041)

摘要: 将不同的故障指示器当作独立的传感器, 利用其采集的故障信息形成不同的证据, 然后通过改进的 D-S 证据理论对形成的证据进行融合, 最后依据改进的决策原则得到最终的故障定位结果。仿真分析表明, 该方法在故障信息误报或漏报的情况下, 定位结果仍然可信。为基于故障指示器的故障定位方法提供了新的参考。

关键词: 容错性; 证据理论; 信息融合; 故障定位

中图分类号: TM711 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2018)06-0001-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.06.001

Application of Evidence Theory to Fault Location of Distribution Network

Gao Yiwen, Liu Mingzhong, Wu Jie

(State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: Firstly, different fault indicators are treated as independent sensors to form different evidences with the fault information collected by them. Then, the evidences formed are fused through the improved D-S evidence theory, and the final fault location results are obtained according to the improved decision principles. Simulation results show that the proposed method is still reliable in the case of false or missing fault information. It provides a new reference for fault location method based on fault indicator.

Key words: fault tolerance; evidence theory; information fusion; fault location

0 引言

配电网自动化目的在于实现配电网线路的在线监视及快速准确的故障定位, 从而迅速完成故障抢修, 提高供电可靠性。配电线路故障指示器作为一种经济、实用的监测设备在配电网自动化中得到大量的应用。当线路发生相间故障或单相接地故障时, 故障指示器会翻牌(或闪光)进行就地指示, 并将识别到的故障信息通过无线网络上报配电网运行控制主站。主站根据上报的故障信息进行故障定位, 并将定位的结果提供给抢修人员, 从而缩短故障排查时间, 快速地恢复供电。在实际应用中, 由于故障指示器安装在户外, 受到大风、暴雨、雷电等天气的影响, 极易引起故障指示器发生信息误报和漏报的情况, 导致传统的故障定位方法不再适用。

目前配电网故障定位方法有以下几类: 一类是

人工智能法, 如文献[1-4]将遗传、蚁群和神经网络等人工智能算法引入到配电网故障定位中, 虽可实现故障定位, 但智能算法普遍存在建模复杂、计算速度慢等问题; 另一类是矩阵法, 如文献[5-6]提出了矩阵算法及其改进算法, 虽可实现故障定位但仍存在故障信息漏报或误报时导致定位结果可信度低的问题。此外, 文献[7]提出将配电线路故障指示器、配电变压器和用户投诉电话当作传感器, 利用不同传感器采集的故障信息进行信息融合得到最终的故障定位结果; 然而实际情况中配电变压器和用户投诉电话的信息获取难度较大, 且主观性较强, 故障定位效果不佳。下面将不同的故障指示器当作独立的传感器, 利用其采集的故障信息形成不同的证据, 然后通过改进的 D-S 证据理论对形成的证据进行融合, 最后依据改进的决策原则得到最终的故障定位结果。仿真分析表明, 该方法在故障信息误报或漏报的情况下, 定位结果仍然可信。

指示器下游。若故障指示器没有故障信息上报时，则可知故障一定在故障指示器上游。所以根据故障指示器上报的故障信息，均可提供一种可疑故障区段的证据。

图 2 为简单的配电网在某时刻发生故障时故障指示器故障信息上报情况，则可得表 2。

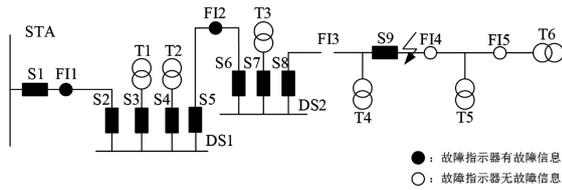


图 2 故障时指示器上报情况

表 2 根据故障指示器上报信息情况形成的证据

故障指示器	是否上报故障信息	证据(可疑故障区段)
FI1	是	Z2 Z3 Z4 Z5 Z6
FI2	是	Z3 Z4 Z5 Z6
FI3	是	Z4 Z5 Z6
FI4	否	Z1 Z2 Z3 Z4
FI5	否	Z1 Z2 Z3 Z4 Z5

2.3 基于证据理论的多故障指示器信息融合

如图 3 所示，在配电网故障时，可以获取多个故障指示器上报的故障信息。每一种故障信息都可以确定一定范围的故障区段，然而信息畸变的存在使得每一种故障信息确定的故障区域都存在错误的可能性。而证据理论可以融合多个证据，综合考虑多个证据的决策，可以提高决策的可靠性。

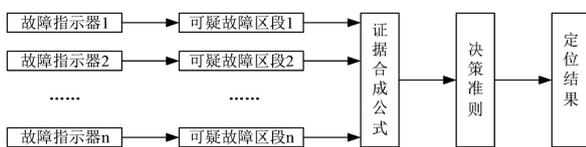


图 3 基于证据理论的多故障指示器信息融合

2.4 基于改进 D-S 证据理论的故障定位的处理流程

- 1) 根据故障指示器上报的故障信息获得 n 个可能发生故障区段的证据。
- 2) 根据式 (5)、式 (6) 对证据体进行修正。
- 3) 根据式 (4) 进行计算得到不同区段的发生故障可信度。
- 4) 根据不同区段发生故障的可信度按照第 1.3 节的决策准则获得故障定位结果。

3 仿真分析

3.1 信息健全时的计算分析

图 4 所示为某地区配电网：STA 为变电站；HW1、HW2 为环网柜；S1 为变电站出线断路器开关，S2-S9 为负荷开关；T1-T9 为配电变压器；FI1-FI9 为故障指示器。

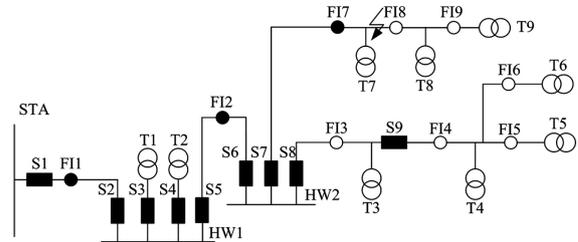


图 4 信息健全时故障指示器运行情况

根据第 2.1 节的定义方法可得故障判定区段划分如表 3 所示。

当故障发生在区段 Z8，此时 FI1、FI2、FI7 均上报故障信息，其他故障指示器无故障信息上报。设每个区段发生故障的概率一样， λ 取 0.95， δ 取 0.1。

根据各故障指示器上报故障信息的情况，可得证据结果和各区段发生故障的概率，如表 4 所示。

根据各故障指示器提供的证据，按照第 2.4 节步骤利用 Matlab 计算可得不同区段发生故障的可信度，如表 5 所示。

由表 5 可得，区段 Z8 的可信度值最大，满足决策准则条件，则可判定故障最有可能发生在区段 Z8，与实际情况相符，区段 Z9 的可信度值次之，作为故障发生区段的备选方案。

3.2 信息不健全时的计算分析

如图 5 所示，当故障发生在区段 Z6，FI1、FI2、FI3、FI5 均正常上报故障信息，故障指示器 FI4 漏报故障信息，其他故障指示器也无故障信息上报。仍设每个区段发生故障的概率一样， λ 取 0.95， δ 取 0.1。

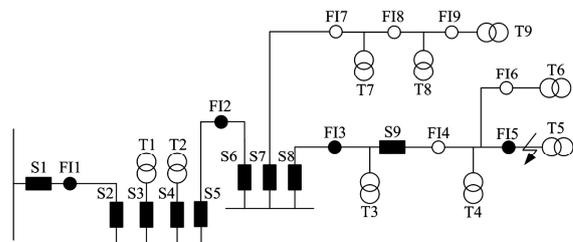


图 5 信息漏报时故障指示器运行情况

表 3 故障判定区段划分情况

区段 Z1	区段 Z2	区段 Z3	区段 Z4	区段 Z5	区段 Z6	区段 Z7	区段 Z8	区段 Z9	区段 Z10
S1, F11	F11, F12	F12, F13, F17	F13, F14	F14, F15, F16	F15	F16	F17, F18	F18, F19	F19

表 4 证据结果和各区段发生故障的概率

故障指示器	是否上报故障信息	证据结果(可疑故障区段)	各区段发生故障的概率
F11	是	{Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8, Z9, Z10}	$\{\frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}\}$
F12	是	{Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8, Z9, Z10}	$\{\frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}\}$
F13	否	{Z1, Z2, Z3, Z8, Z9, Z10}	$\{\frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}\}$
F14	否	{Z1, Z2, Z3, Z4, Z8, Z9, Z10}	$\{\frac{1}{7}, \frac{1}{7}, \frac{1}{7}, \frac{1}{7}, \frac{1}{7}, \frac{1}{7}, \frac{1}{7}\}$
F15	否	{Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z7, Z8, Z9, Z10}	$\{\frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}\}$
F16	否	{Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z8, Z9, Z10}	$\{\frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}\}$
F17	是	{Z8, Z9, Z10}	$\{\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}\}$
F18	否	{Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8}	$\{\frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}\}$
F19	否	{Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8, Z9}	$\{\frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}\}$

表 5 信息健全时不同区段发生故障的可信度

区段 Z1	区段 Z2	区段 Z3	区段 Z4	区段 Z5	区段 Z6	区段 Z7	区段 Z8	区段 Z9	区段 Z10	Θ
0.823%	2.56%	8.641%	2.074%	0.558%	0.179%	0.179%	60.175%	18.775%	6.035%	0.001%

表 6 信息漏报时不同区段发生故障的可信度

区段 Z1	区段 Z2	区段 Z3	区段 Z4	区段 Z5	区段 Z6	区段 Z7	区段 Z8	区段 Z9	区段 Z10	Θ
0.235%	0.731%	2.468%	14.189%	3.820%	76.404%	1.228%	0.664%	0.197%	0.063%	0.001%

表 7 信息误报时不同区段发生故障的可信度

区段 Z1	区段 Z2	区段 Z3	区段 Z4	区段 Z5	区段 Z6	区段 Z7	区段 Z8	区段 Z9	区段 Z10	Θ
20.009%	62.250%	5.929%	1.423%	0.383%	7.662%	0.123%	1.596%	0.473%	0.152%	0.001%

根据第 2 章的处理方法可得每个区段发生故障的可信度如表 6 所示。

由表 6 可得,区段 Z6 的可信度值最大,且满足决策准则条件,则可判定故障最有可能发生在区段 Z6 与实际情况相符,区段 Z4 的可信度值次之,作为故障发生区段的备选方案。

如图 6 所示,当故障发生在区段 Z2, F11 正常上报故障信息, F15 误报故障信息,其他故障指示器均无故障信息上报。仍设每个区段发生故障的概率一样, λ 取 0.95, δ 取 0.1。

根据第 2 章的处理方法可得每个区段发生故障的可信度如表 7 所示。

由表 7 可得,区段 Z2 的可信度值最大,满足决策准则条件,则可判定故障最有可能发生在区段

Z2 与实际情况相符。

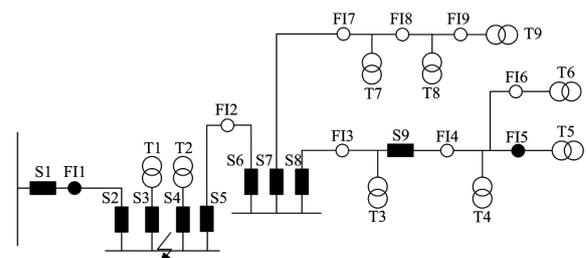


图 6 信息误报时故障指示器运行情况

4 结 语

利用每个故障指示器的故障信息上报情况形成可疑故障区段的证据,然后通过改进的 D-S 证据理论对发生故障的可疑区段进行融合,得到每个区
(下转第 22 页)

参考文献

[1] 戴晓亮. 无功补偿技术在配电网中的应用[J]. 电网技术, 1999, 23(6): 1-7.

[2] 麦敏坚. 探讨改善配网的电压质量[J]. 广东科技, 2008(8): 139-141.

[3] 杜修柯. 电网配电网的最优无功补偿研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2008, 29(3): 4-7.

[4] 张勇军, 任霞, 廖美英, 等. 10 kV 长线路杆上无功优化补偿[J]. 中国电力, 2000, 33(9): 50-52.

[5] 樊丽霞, 魏青艳. 无功补偿在配电网中的应用[J]. 山西电力, 2005(6): 34-35.

[6] 王笑棠, 王曜飞, 宋亚夫, 等. 串补解决 10 kV 配电网线路高压与低压问题的研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2015, 36(2): 33-37.

[7] 梁一桥, 吕佳铭, 饶崇林, 等. 一种 10 kV 配网智能串联补偿装置研制及其工程应用[J]. 电网技术, 2014, 38(S2): 220-225.

[8] 卓谷颖, 江道灼, 梁一桥, 等. 改善配网电压质量的固定串补技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(8): 61-67.

[9] 赵文忠, 王东平. 串联无功补偿技术在配电网中的应用分析[J]. 低压电器, 2010(5): 37-44.

[10] 邓昆玲, 郭厚静, 程晓磊. 串联补偿对提高线路输电能力的影响分析[J]. 内蒙古电力技术, 2011(4): 1-3.

[11] 雷宪章, POVH D. 串联补偿技术在距离高电压交流输电系统中的应用[J]. 电网技术, 1998, 22(11): 34-38.

[12] 宋怡群, 曹荣江, 顾霓鸿. 超高压和特高压串联电容补偿装置的通用原理设计[J]. 电网技术, 1989(2): 32-35.

作者简介:

李 磊(1986), 工程师, 从事配电运维、配电自动化运行与管理相关工作;

唐 朝(1984), 工程师, 从事配电运检分析管理、配电自动化管理等工作;

范福强(1989), 工程师, 从事配电运维、配电自动化运行相关工作;

汪辰珏(1994), 助理工程师, 从事配电自动化运维工作;

全 翾(1985), 工程师, 从事配电网运维检修管理工作;

张 禹(1985), 工程师, 从事配电网运维检修管理工作;

李卓雯(1986), 硕士、工程师, 从事配电网运检计划管理工作;

曾 娜(1987), 工程师, 从事配电网生产技改大修项目管理相关工作。

(收稿日期: 2018-07-06)

(上接第4页)

段发生故障的可信度, 随后依据改进的决策原则确定最终故障区段, 并提供备选方案, 对误报和漏报的情况具有一定容错能力。最后的仿真分析也验证该方法的可行和有效, 给基于故障指示器的故障定位方法研究提供了新的参考。

参考文献

[1] 费军, 单渊达. 配网中自动故障定位系统的研究[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(9): 32-34.

[2] 刘文轩, 严风, 田霖, 等. 基于 LVQ 神经网络的配电网故障定位方法[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5): 90-95.

[3] 郭壮志, 陈波, 刘灿萍, 等. 基于遗传算法的配电网故障定位[J]. 电网技术, 2007, 31(11): 88-92.

[4] 陈歆技, 丁同奎, 张钊. 蚁群方法在配电网故障定位中的应用[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(5): 74-77.

[5] 刘健, 倪建立, 杜宇. 配电网故障区段判断和隔离的统一矩阵算法[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(1): 31-33.

[6] 蒋秀洁, 熊信银, 吴耀武, 等. 改进矩阵方法及其在配电网故障定位中的应用[J]. 电网技术, 2004, 28(19): 60-63.

[7] 彭正良. 基于改进 D-S 证据理论的配电网故障定位与分析[D]. 济南: 山东大学, 2016.

[8] 汪永伟, 刘育楠, 杨英杰, 等. D-S 证据理论中冲突处理新方法[J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(12): 4316-4320.

[9] 高湛军, 李思远, 彭正良, 等. 基于网络树状和改进 D-S 证据理论的配电网故障定位方法[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(6): 65-71.

[10] 蒋黎明, 何加浪, 张宏. D-S 证据理论中一种新的冲突证据融合方法[J]. 计算机科学, 2011, 38(4): 236-238.

[11] 郑国华, 黄朵, 张伟, 等. 基于最大概率的故障指示器故障判定方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(16): 105-110.

作者简介:

高艺文(1989), 工程师, 主要研究方向为配电网自动化、继电保护。

(收稿日期: 2018-09-04)