

基于故障投诉信息的配电网故障定位

屠强¹, 刘伟², 郭志忠^{1, 2}

(1 哈尔滨工业大学电气工程系, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2 许继电力科学研究院, 北京 100085)

摘要: 针对自动化程度较低的配电网故障定位问题, 根据配电网的结构和运行特点, 利用馈线分层模型, 并结合模糊集理论, 构造了更为合理的隶属函数, 该函数计及了故障历史记录和实际用户数的影响, 建立了一种基于故障投诉信息的配电网故障定位算法。通过对其适用性的扩展, 使该算法具备了在多电源网络中应用的能力。算例表明该算法是合理而有效的。

关键词: 配电网; 故障投诉信息; 故障定位; 模糊集

中图分类号: TM711 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)24-0024-05

0 引言

配电网故障的迅速定位对于缩短停电时间、提高故障检修效率、改善配电网安全性指标、提高供电可靠性和服务质量具有重要意义。对于自动化程度较高的系统, 故障定位一般是作为配电网集成化故障定位、隔离和自动恢复供电系统的一部分来完成的; 对于自动化程度较低的系统, 可以通过用户投诉电话来获得故障信息, 通过故障投诉推理算法来完成故障定位。针对基于配电网自动化的故障定位问题, 文 [2] 提出了一种利用开关的故障信息进行故障区间定位和隔离的矩阵算法, 但其并不适合自动化程度较低的配电网, 而且对多电源网络也没有加以考虑。针对基于故障投诉信息的故障定位问题, 文 [3, 4] 分别提出了两种基于模糊集理论的故障定位方法, 但其数学模型都没有充分利用系统的已有信息, 会在一定程度上影响算法的准确性, 而且也没有考虑多电源网络的情况。

本文从配电网的结构和运行特点入手, 针对自动化程度较低系统的故障定位问题, 提出了一种基于模糊集基本理论的新型故障定位数学模型和算法, 通过对其适用性的扩展, 使该算法具备了在多电源网络中应用的能力。

1 数学模型

1.1 馈线分层

首先, 将配电网馈线上所有可开断设备 (包括开关、断路器、熔断器等) 作为节点, 建立馈线的有向图描述模型, 即网络描述矩阵 D 。节点间边的方向就是相应节点间线路的潮流方向, 在边上沿着该

方向, 称潮流的上行节点是下行节点的父节点, 反之, 称下行节点是上行节点的子节点。对于有 N 个节点的馈线, D 是一个 N 阶方阵, 其构造过程利用了有向图的双亲表示法^[1], 具体如下: 如果节点 j 是节点 i 的父节点, 则矩阵元素 $D_{ij} = 1$, 否则令 $D_{ij} = 0$ 。

由于矩阵 D 包含馈线上的所有可开断设备, 因此, 它能够详细的反映馈线的当前运行方式及节点间的相互关系。同时, 由于配电网通常具有开环运行的特点, 因此利用 D 阵对馈线上任何一个节点沿着潮流反方向回溯而上直到变电站, 就能够找到针对该节点的一条供电路径。定义变电站出口断路器的供电层次是 1, 该断路器所有子节点的供电层次是 2, 以此类推, 每个节点所处的供电层次均比其父节点多 1, 经过这种处理, 一条供电路径就可以分为多个供电层次。故障定位的推理算法就是在这种“供电层次”的概念上提出的。

1.2 投诉信息的模糊化

虽然基于用户投诉信息的配电网故障定位可以脱离配电网自动化系统, 但由于用户知识水平和自身主观原因等因素的限制, 使得大量的不确定性因素甚至是错误因素存在于投诉信息当中, 给故障定位的准确性带来影响。因此, 基于投诉信息的配电网故障定位问题很难用精确模型及方法加以解决。目前, 专家系统在这方面有一定的应用, 但该方法需要获取专家知识, 且适应性不佳; 还有使用模糊集理论^[3, 4]和贝叶斯法^[5]的故障定位方法, 但没有对实际配电网的特点和信息加以充分利用。

本文对基于投诉信息的故障定位模糊集模型进行了改进, 并尽可能地利用了配电网的实际特点和有效信息。所谓模糊集就是以不同强度 (隶属度)

具备某种特性的所有元素的集合,模糊集由其隶属函数来描述,隶属函数是模糊集的基本概念,借助它才能对模糊集进行量化,才有可能利用数学方法分析和处理模糊信息。然而,隶属函数的确定并没有一个统一的计算公式,通常由相关领域的知识、经验或统计来确定,正确的隶属函数是使模糊集恰当的表现模糊概念的关键。本文只对模糊集理论在配电网故障定位中的应用进行探讨,对于其更深层次的理论不做进一步论述。

由于用户的投诉电话可能来自不同的供电区域,因此,首先根据投诉的用户信息检索到用户所联接的电力设备(如配变),并得到控制该设备的熔断器、短路器或刀闸等可开断设备,并由此利用矩阵 D 向上回溯,找出所有可能的开断设备,同时得到各设备所处的供电层次。然后,根据各个可能的开断设备所处的层次,按照式(3)得到由该投诉电话所确定的各设备隶属于故障的隶属度。

式(1)和式(2)描述了基于故障投诉信息的隶属函数的求取方法。

$$A(C_i) = P_i / \sum_{j=1}^n P_j \quad (1)$$

$$P_i = \begin{cases} 1 + 0.1 \times (i-1) + r_i & i = n, n-1 \\ 1 + 0.1 \times (i-1) & i < n-1 \end{cases} \quad (2)$$

其中: P_i 为加权因子, i 表示第 i 层, C_i 为该投诉电话对应的第 i 层可开断设备, n 为投诉用户的上行相邻可开断设备所在层, r_i 为系统的历史故障记录中,该投诉用户所在路径的第 i 层可开断设备及其以下相邻供电区域发生的故障次数占系统总故障次数的百分比。

式(1)又称为隶属函数,该式针对基于投诉信息的故障定位问题的不确定性,使用模糊集中隶属度的概念,达到了将投诉信息模糊化的目的。式(2)是通过不断地试验与总结来确定的,它与文献[3,4,5]所述方法最大的不同就在于引入了投诉用户区域故障在历史故障记录中所占的比率 r_i 。即,如果投诉用户所在区域故障在历史故障中所占比率较大,那么就可以认为这一区域属于故障相对多发区域,它在计算隶属度时的加权因子就应该适当加大,当前投诉故障发生在该区域的可能性也较大,这显然更贴近人们的一般认识。

在接到用户的投诉信息后,一般认为用户的上行相邻可开断设备及其父节点设备发生开断的几率较大,因此式(2)中对应 n 和 $n-1$ 层的加权因子较大,同时由于下层设备开断不会导致上层用户失电,

因此 n 层以后的节点不予考虑。

2 算法实现

随着故障后用户投诉电话的不断增加,此时就可以按照式(3)计算得到综合所有投诉电话信息后各设备隶属于故障的隶属度:

$$A_{m-n}(C_i) = A_m(C_i) + A_n(C_i) - A_m(C_i)A_n(C_i) \quad (3)$$

其中: $A_m(C_i)$ 为第 m 个投诉电话到来后,设备 C_i 的隶属度; $A_{m-n}(C_i)$ 为第 m 个和第 n 个投诉电话到来后,设备 C_i 的总隶属度。把每个设备在所有相关投诉电话到来后的隶属度用上式进行计算,就可以得到各设备的最终隶属度,当某设备的最终隶属度大于某个阈值时,该设备就是最终确认发生开断的设备,至此完成故障定位。式(3)可以写成另外一种形式 $A_{m-n}(C_i) = A_m(C_i)[1 - A_n(C_i)] + A_n(C_i)$,由于 $A_m(C_i)$ 与 $A_n(C_i)$ 均为 $0 \sim 1$ 之间的数,很显然 $A_{m-n}(C_i)$ 也只能在 $0 \sim 1$ 之间,它反映了故障发生在该区域的当前概率。

但是,有时候可能会出现这样的情况:经过故障推理确定了某一设备开断,但通过查询发现所有投诉电话均来自该设备下游少数几个可开断设备以下的供电区域,而多数下游设备均无投诉,此时就可以认为定位结果无效,故障发生在各投诉电话所在区域的可能性更大,可通过电话咨询无投诉的设备的下游用户,以进一步确认定位结果。

投诉电话的频次和位置固然重要,但系统中的各供电区域(变压器支路末端可开断设备直接与用户相连的下游区域)一般存在用户数量的差别,用户少的区域,故障时的投诉也相对较少,用户多的区域则反之,有时可能会造成遮蔽现象,即用户较多区域的投诉信息掩盖了用户较少区域的投诉信息,造成结果的误判或延长定位时间。为了减少这种现象的发生,对不同区域内的投诉电话数量按式(4)进行折算。

$$N_{C_i} = \text{int}(N_{C_i} \cdot N_M / N_i) \quad (4)$$

其中: N_{C_i} 为区域 i 折算后的投诉电话数, N_{C_i} 为区域 i 实际的投诉电话数, N_M 为各投诉电话所在供电区域中用户最多的区域用户数, N_i 为区域 i 的实际用户数, int 表示取整。经过上述折算过程,能够在很大程度上避免遮蔽现象的发生。在计算式(3)的过程当中,需要用到上式,例如:某区域来了1次投诉电话,但经过式(4)计算后,该投诉电话可能会被折算成2次,也就是说需要多考虑1次投诉,之后再按

照式(3)计算故障的隶属度。

对于隶属函数判断阈值的选取,一般可以设为 $0.85 \sim 0.9$ 之间。但是,由于配电网实际状况多种多样,包含很多不确定因素,所以,除了根据缺省阈值判定故障区域外,还要根据实际现场状况和长期运行经验来灵活的制定故障定位策略,例如,如果在允许时间内隶属函数值无法达到阈值,这时就需要电话咨询部分用户来加快定位过程。

在实际的停电管理系统中,在受理用户投诉电话后,一般需要几个步骤:首先进行故障定位,在GIS图上快速获得并显示用户位置和相关信息;如果故障区域在计划停电(检修、限电等)范围内,或在已发现故障停电范围内,马上答复用户;如果确认故障区域是新产生的,则向调度人员发出警告信息,并通知抢修人员进行抢修。为了更准确的判定故障开断设备,必要时可以咨询部分用户,以获得其是否停电的信息,然后根据反馈信息重新推理。

3 对多电源网络的扩展

上节提出的故障定位推理方法稍做修改就可以应用到多电源配电网中。下面以双电源网络为例加以说明。

对于一个双电源配电网,由于电源不唯一,故障后开断设备也不唯一,因此各开断设备相对于不同的电源具有不同的层次,此时无法直接应用前述推理算法,需要对数学模型加以修改。可以从任一个电源开始,找到至投诉用户上行相邻可开断设备的一条供电路径,对该路径进行分层,然后运用推理算法,可得到相对于该电源的一个开断节点;然后再从另一个电源开始,用同样的方法得到相对于这个电源的另一开断节点。综合两个开断节点,就可以得到最终的故障定位结果。这一扩展方法的实质,就是分别以两个电源为根节点,构造两个网络描述矩阵 D ,需要注意的是,在构造该模型时,不以实际的潮流方向为准,而是在假设另一个电源不存在的前提下进行构造。

这样,在接到投诉电话后,利用上述两个网络描述矩阵做两次分层,然后分别应用推理算法进行故障定位的推理过程,将两次推理结果相结合,即得到最终的推理结果。

多电源并列运行的情况同样可以认为是双电源的一种扩展,数学模型的构造及推理算法与双电源完全一样,而单电源网络仅仅是多电源网络的一个特例而已。这样,本方法就可以应用到基于投诉信

息的复杂配电网单重故障定位当中。

基于投诉信息的故障定位过程如下:

a 针对不同的电源点,利用拓扑分析建立有向图描述模型,即网络描述矩阵 D ,并利用各网络描述矩阵对可开断设备进行分层处理。

b 受理用户投诉电话,并利用投诉信息及分层结果,计算各设备隶属度。

c 使用式(4)对投诉电话数量进行折算。

d 使用式(3)对各可开断设备的最终隶属度进行计算。

e 如果在规定时间内最大隶属度超过阈值,则判断得到最终开断设备;否则继续等待用户的故障投诉信息;若超过规定时间仍未达到阈值,则可判定为用户误报或用户内部故障,同时清除当前投诉记录,等待接收下一组投诉信息。

f 必要时可咨询部分用户的用电情况,以获得更为准确的定位结果。

4 算例分析

图1是具有两个变电站的配电网,节点3是联络开关,图中所示为打开状态,其余开关均闭合;配变及其两端的熔断器整体看作一个可开断设备;由于线路末端的用户供电区域内部可能发生故障而开断,所以把这些区域作为节点,如20~31。同时设定可开断设备隶属度的判定阈值为0.90。设节点18、20、22、24、25、27、29、30的下行相邻供电区域发生的历史故障次数占系统总故障次数的百分比,分别为:0.1、0.2、0.1、0.1、0.1、0.2、0.1、0.1,其余节点的该值均为0。

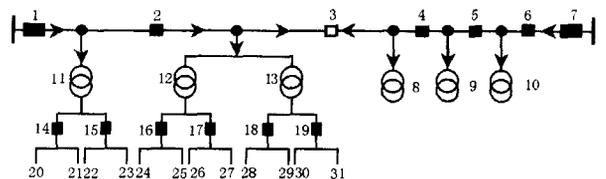


图1 双电源配电网

Fig 1 Distribution network with double power sources

4.1 单电源网络

考察图1中节点3左侧部分,该部分可以认为是一个单电源网络。先以节点13开断后的故障定位计算过程为例加以说明。后面的算例也是一样。

假设第1个投诉电话来自节点30的下行相邻区域,处于第5层,利用前面几式进行计算,则由节点30回溯而上直到节点1,其间经过的各层次节点的隶属度分别为 $A(C_{30}) = 0.246$, $A(C_{19}) = 0.213$,

$A(C_{13}) = 0.197, A(C_2) = 0.180, A(C_1) = 0.164$, 虽然节点 30 的隶属度最大,但其数值仍太小,第 1 次投诉电话还不足以确定最终开断节点。假设第 2 个投诉电话来自节点 31 的下行相邻区域,则计算得上面各隶属度分别为 $A(C_{31}) = 0.233, A(C_{19}) = 0.515, A(C_{13}) = 0.484, A(C_2) = 0.451, A(C_1) = 0.417$, 同理,节点 19 隶属度最大,但其值仍太小,并不能就此下最后结论,需要继续等待投诉电话。假设前后总共受理了 8 次投诉,分别来自表 1 所列节点,那么最终可获知,节点 13 的隶属度持续最大,并且最后达到了 0.9 以上,据此可最终判定,真正的故障区域是节点 13 的相邻下行区域,至此完成故障定位。

表 1 节点 13 开断后的故障定位结果

Tab 1 Result of fault location when node 13 broken

投诉次数 / 节点号	最大隶属度 / 节点号	最终开断设备
1/30	0.246/30	—
2/31	0.515/19	—
3/29	0.584/13	—
4/30	0.731/13	—
5/29	0.783/13	—
6/28	0.860/13	—
7/31	0.888/13	—
8/29	0.910/13	13

表 2 节点 28 内部故障后的定位结果

Tab 2 Result of fault location when fault occurs in node 28

投诉次数 / 节点号	最大隶属度 / 节点号	最终开断设备
1/28	0.230/18, 28	—
2/28	0.406/18, 28	—
3/28	0.543/18, 28	—
4/28	0.648/18, 28	—
5/28	0.730/18, 28	—
6/28	0.791/18, 28	28

通过上面的算例可以看出,对于引起节点 13 开断的故障,显然会导致 28、29、30、31 失电,来自这些区域的投诉信息可以作为定位依据,而且其结果也是正确的。引起节点 28 内部开断的故障,其投诉电话全部集中在该节点下行供电区域,显然判定时的隶属度还没有达到阈值,而且节点 18 的隶属度也一直与节点 28 相等。鉴于投诉电话过于集中,此时投诉受理人员应该主动向节点 29 下行区域内的用户进行咨询,如果该区域内没有发生停电,则可判定节点 28 下行区域发生内部故障;否则可判定节点 18 开断。

当使用文献 [3] 的方法进行定位计算的时候,会发现,第 8 次投诉电话到来时,最大隶属度在节点 19,而不是节点 13,同时该数值仅为 0.876,还没有达到判断阈值,可见该方法在判定速度和准确性上都要劣

于本文所述方法。

4.2 多电源网络

如果图 1 中的联络开关 3 闭合,则形成双电源配电网络。首先,分别以两个变电站为根节点,按照第 3 节所述方法,构造两个网络描述矩阵,然后分别用这两个矩阵进行分层和推理,可以得到两次故障定位结果。表 3 和 4 就分别描述了这两次定位过程,前者以节点 1 上游变电站为根节点得到,最终判定节点 2 开断;后者则是以节点 7 上游变电站为根节点得到,最终判定节点 3 开断;将以上两次判定结果结合起来,就可以知道节点 2、3 之间的线路及其用户方向的供电区域很可能有故障发生,这一结果在实际当中应该还是比较合理的。同时,文献中的任何方法,都不具备对多电源网络的处理能力,这也是本文方法的一大优势所在,它显著扩展了基于故障投诉信息故障定位的适用范围。

表 3 节点 2、3 开断后的故障定位结果 - 1

Tab 3 Result of fault location when node 2 and 3 broken - 1

投诉次数 / 节点号	最大隶属度 / 节点号	最终开断设备
1/24	0.246/24	—
2/25	0.381/16	—
3/26	0.484/12	—
4/27	0.584/12	—
5/29	0.629/2	—
6/30	0.696/2	—
7/30	0.751/2	—
8/27	0.795/2	—
9/29	0.831/2	—
10/24	0.862/2	—
11/25	0.887/2	—
12/25	0.907/2	2

表 4 节点 2、3 开断后的故障定位结果 - 2

Tab 4 Result of fault location when node 2 and 3 broken - 2

投诉次数 / 节点号	最大隶属度 / 节点号	最终开断设备
1/24	0.165/24	—
2/25	0.272/16	—
3/26	0.360/12	—
4/27	0.447/12	—
5/29	0.496/3	—
6/30	0.561/3	—
7/30	0.617/3	—
8/27	0.666/3	—
9/29	0.709/3	—
10/24	0.746/3	—
11/25	0.779/3	—
12/25	0.807/3	—
13/31	0.903/3	3
—	—	—

通过前面的两类算例也可以看出,故障区域越接近电源点(层次越小),定位所需的判据就越多,

这是由于越接近电源点的故障,它所导致的停电用户也会越多,在规定时间内投诉用户相应的也会越多,要想准确定位,就必须充分利用已有的投诉信息。

5 结语

本文从配电网的结构和运行特点入手,针对基于投诉信息的配电网故障定位问题,提出了采用模糊集理论的定位算法。具有统一的表达形式,能够同时运用于单电源和多电源配电网的故障定位当中,可以在一定程度上缩短故障处理时间,提高检修效率和服务质量、改善系统的安全性指标。

参考文献:

- [1] 严蔚敏,吴伟民. 数据结构 [M]. 北京:清华大学出版社,1997.
YAN Weimin, WU Weimin. Data Structure [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1997.
- [2] 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.
LU Jian, NI Jian-li, DU Yu. A Unified Matrix Algorithm for Fault Section Detection and Isolation in Distribution System [J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23 (1): 31-33.
- [3] 王海斌,邱家驹. 基于模糊集理论的配电网故障定位研究 [J]. 浙江电力, 1999, (4): 1-4.
WANG Hai-bin, QU Jia-jia. Research on Fault Localization in Distribution Network Based on Fuzzy Set Theory [J]. Zhejiang Electric Power, 1999, (4): 1-4.
- [4] 束洪春,王晶,葛耀中. 基于故障投诉电话信息的配电网故障诊断方法 [J]. 电力系统自动化, 2000, 24 (11): 39-41.
SHU Hong-chun, WANG Jing, GE Yao-zhong. Study of Fault Location Based on Trouble Calls for Distribution Network [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24 (11): 39-41.
- [5] 蔡建新,刘健. 基于故障投诉的配电网故障定位不精确推理系统 [J]. 中国电机工程学报, 2003, 23 (4): 57-61.
CAI Jian-xin, LU Jian. An Uncertainty Reasoning System Based on Trouble Call Information for Locating Faults on Distribution Network [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23 (4): 57-61.

收稿日期: 2005-05-30; 修回日期: 2005-08-23

作者简介:

屠强 (1958 -), 男, 博士研究生, 从事配电网分析方面的研究;

刘伟 (1975 -), 男, 工学博士, 从事配电网安全分析方面的研究; Email: eman_lw@sina.com

郭志忠 (1961 -), 男, 教授, 博士生导师, 研究领域为电力系统稳定、电力市场、光电技术及计算机技术在电力系统中的应用。

Fault location in distribution network based on trouble calling information

TU Qiang¹, LU Wei², GUO Zhi-zhong^{1,2}

(1. School Electric Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2 XJ Electric Power Research Institute, Beijing 100085, China)

Abstract: Aiming at the problem of fault location in distribution network with lower automation level, based on the network's structural and operational characteristic, the layered model of distribution network is employed. Combined with fuzzy set theory, a more reasonable subsection function is constructed, considering the influence of history faults records and real consumer numbers. A new algorithm for fault location is built based on trouble calling information. Through expanding the algorithm's applicability, it can be used in manipulating multi-source network. The examples prove it is an reasonable and efficient algorithm.

Key words: distribution network; trouble calling information; fault location; fuzzy set

欢迎订阅

欢迎投稿

欢迎刊登广告