

中性点不接地系统单相接地故障定位新方法

霍 琤, 彭敏放, 谭享波

(湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082)

摘要: 提出了基于模糊信息融合的中性点不接地系统单相接地故障定位的新方法及其实现。该方法融合电流注入原理和零序电流幅值比较原理来应用模糊计算和模糊推理实现定位。针对有分支的复杂树形电网, 进行分层定位处理, 将复杂线路分解为简单线路进行处理。这种方法与传统的定位方法相比具有显著优势, 故障定位准确性高, 易于实现且适用于复杂树形电网。

关键词: 故障定位; 中性点不接地系统; 信息融合

中图分类号: TM773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)24-00016-04

0 引言

在我国农村低压配电网大都采用中性点不接地方式运行, 在分支繁多、接线复杂的树状配电网中, 单相接地故障是发生机率最高的一种故障。虽然发生单相接地故障, 但线路的线电压不变, 对负荷连续供电没有多大影响, 所以规程允许中性点不接地系统继续运行 1~2 h, 不必跳闸。但是接地后非故障相电压升高 $\sqrt{3}$ 倍, 尤其是弧光引起的过电压极易造成两相或三相短路事故, 长时间弧光电流引起局部过热, 则可能导致架空线路烧毁, 所以应迅速查找并排除接地点, 提高系统的供电可靠性。

最初采用的大多是人工拉线法, 这种方法虽然可以正确选线, 但是对于保障供电可靠性非常不利, 已经逐渐被淘汰。长期以来, 国内外有关科研和现场工程技术人员对此进行了大量的工作, 研究了一些单相接地定位方法并有一部分研制了装置应用于现场, 但是实际的定位效果都不是很理想。

本文所提出的中性点不接地系统单相接地故障定位新方法融合了电流注入原理和零序电流幅值原理, 弥补了单一使用任意一种故障定位原理的不足, 并将模糊信息融合应用到了故障定位中, 提高了定位的正确率, 该法适用于有分支的树形线路且易于实现。

1 基于模糊信息融合的故障定位原理

基金项目: 国家自然科学基金(50277010); 湖南省自然科学基金(04JJ6034); 湖南省电力科研基金(20023009); 湖南省科技计划项目(05FJ3008)

迄今已提出诸多中性点不接地系统单相接地故障定位原理与方法^[1~5], 这些方法各有其优点和不足, 在不同线路、不同的系统运行方式下, 各种方法的检测精度不一样。由于系统接地故障电流小, 故障检测困难, 故障线路和非故障线路的区别不明显, 使得检测到的故障特征量具有很大的模糊性和不确定性, 故障定位正确率较低。所以单一的一种故障检测方法难以满足现场运行的要求, 对此如能对各种接地故障检测方法进行融合处理, 减少干扰信号的影响及单一故障检测方法的缺陷, 就可以提高故障检测的精度和鲁棒性。本文提出的基于模糊信息融合的中性点不接地系统单相接地故障定位的新方法就是利用模糊计算和模糊推理对电流注入法和零序电流幅值比较原理进行智能融合, 提高故障定位的正确性。

1.1 电流注入法原理

电流注入法不利用中性点不接地系统单相接地故障的故障量, 而是利用系统发生单相接地故障时暂时处于不工作状态的接地相 PT 人为向系统注入一个特殊的信号电流(频率不同于电网中原有的谐波频率), 然后通过寻迹原理检测、跟踪注入信号的传输路径和特征实现故障选线和定位^[5,6]。电流注入法的明显优势是不受系统运行方式的影响, 在任何结构的配电网中都可使用, 尤其适合在复杂树状配电网的故障定位中使用。但由于信号电流微弱, 仍容易产生测量和计算的误差。故不适宜仅以电流注入原理作为单独判据。

1.2 零序电流幅值比较法原理

在中性点不接地系统发生单相接地故障时, 故障线路零序电流的幅值等于非故障线路的对地电容电流和的幅值。即在各线路长度接近的情况下, 故

障线路零序电流的幅值将大于任意一条线路(故障或非故障)的对地电容电流的幅值。通常根据这一原理进行故障选线。这种方法在具体实现时有两种变形,在实际中都各有应用。其一为若某一条线路的零序电流幅值和其他线路(除线路*i*)的零序电流之和的幅值相等,则这条线路就是故障线路。另一个变形,预先计算出各线路对地电容的大小,当系统发生单相接地故障时,将各条线路测得的零序电流幅值与本线路预先计算出的电容电流幅值比较,不相等的即为故障线路,若都相等则为母线故障。零序电流幅值比较法的优势在于原理简单容易实现,而且因为它具有两种变形,对特定线路具有针对性,可以有较好的选线效果。

单独使用电流注入法在理论上是可以完成故障定位,但是实际中,由于信号电流微弱及外部干扰所以并不能保证它的可靠性,这里我们选取零序电流幅值比较法作为补充。因为零序电流幅值比较方法对于某些电路具有特殊的变形应用(尤其对于最后一级分支线路),它的判定正确率可能优于电流注入法(因为信号电流从母线传输至故障点,势必会微弱许多),可以提高定位的正确率,而且零序电流幅值比较法方便实现,所以零序电流幅值比较法和电流注入法一起作为故障定位的判据,可以有效提高故障选线和定位的正确率。

1.3 模糊信息融合故障定位

信息融合是对不同信息源或传感器采集的数据按既定的规则进行结合,以获得对处理对象更全面、更可靠的认识和理解。通常可分为数据层信息融合、特征层信息融合和决策层信息融合。本文所讨论故障定位方法的信息融合过程如图1所示,对特征层和决策层进行了信息融合处理。特征层信息融合对应于故障特征量的提取。采用滤波、坐标变换及快速傅里叶变换等融合算法对系统参数、各采样信号进行融合处理,判断故障定位启动信号,并实现参数预处理。决策层信息融合应用模糊计算和模糊推理对测量点的故障特征量及对不同测量点的故障特征量进行数据融合处理,确定故障位置。

特征层信息融合方法已经在故障定位研究中得到了较好的应用。这里着重讨论决策层信息融合方法。常规的故障定位对于某条线路的输出结果是故障或者没有故障,如果用1代表有故障,0代表没有故障,则故障定位输出取 $\{0, 1\}$ 中的值。模糊故障定位的思想就是把故障定位中的绝对隶属关系灵活化,使元素对集合的隶属度从原来只能取 $\{0, 1\}$ 中

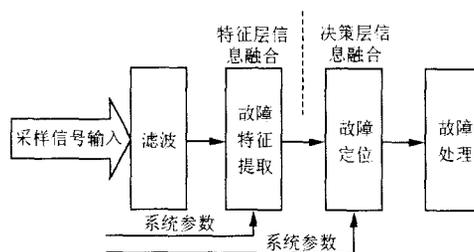


图1 信息融合过程

Fig 1 Information fusion process

的值扩充到可以取 $[0, 1]$ 中的任意数值。用隶属函数表示各故障定位方法输出的不确定性,然后进行模糊逻辑运算,得出综合的故障定位模糊结果,再进行清晰化处理,得出最后的判断。

为了实现中性点不接地系统单相接地故障的正确选线和定位,我们对故障信息进行分层处理,简单说需要经过四个步骤:

1) 线路参数的采集和设定。如对于各段线路的故障定位方法的可信度系数 K_{xy} (x 代表方法, y 代表线路)。 K_{xy} 的确定可以由分析计算确定及实验得来,且使一条线路的 K_{xy} 的和为1。如对线路*i*而言,零序电流幅值比较法的定位可信度系数为 K_{ai} ,电流注入法的定位可信度系数为 K_{bi} ,且 $K_{ai} + K_{bi} = 1$ 。如果这两种方法对于该线路的定位效果是相同的,可以取 $K_{ai} = K_{bi} = 0.5$ 。

2) 变电站母线端的处理。将变电站的各条出线设为第一层。将各条出线看作简单的无分支线路进行分析,得出各出线发生故障的可信度。

3) 馈线端的处理。将各出线上的分支设为第二层。第一层的检测计算结果作为第二层计算的一个系数,将检测计算结果作为各分支发生故障的可信度。

4) 故障定位。对模糊可信度的清晰化处理,根据模糊规则,转换为实际输出判断,得到故障定位结果。

现以图2所示的具有多条出线(n)且各条出线都有多条分支(m)的较复杂树形线路为例予以说明。

如图2所示,在线路分支处的每个CT上获取测试信号,然后进行预处理,处理结果首先经过隶属函数的处理得出隶属度(故障定位方法的隶属函数根据具体情况可选取为:三角函数、正态函数、梯形函数、折线函数和S形函数等,这里选择折线函数),然后对这些数据进行融合处理。模糊信息融合的计算方法很多,为了适应接地故障选线定位的

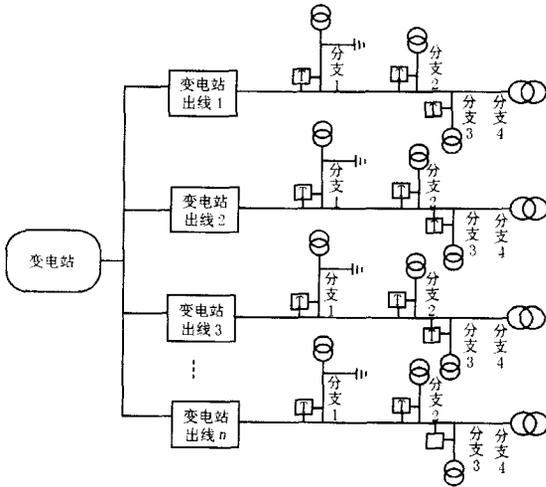


图 2 树形线路示意图

Fig 2 Complex tree distribution networks

特点,通常取加法运算。

线路 $i(i = n)$ 发生故障的可信度

在出线 i 的始端,将由零序电流幅值比较法检测到的故障特征经过隶属函数的处理后得出对故障决策的隶属度 a_i ,将由电流注入法检测到的故障特征经过隶属函数的处理后得到对故障决策的隶属度 b_i ,取故障定位方法的可信度系数为 K_{a_i} 和 K_{b_i} ($K_{a_i} + K_{b_i} = 1$), 然后进行加法运算:

$$\mu_i = K_{a_i} a_i + K_{b_i} b_i$$

则 μ_i 为线路 i 发生故障的可能性也就是可信度,同时也作为线路 i 上所有支路可能发生故障的可信度系数。

线路 i 上支路 $j(j = m)$ 发生故障的可信度

在线路 i 上的支路 j 的始端,将由零序电流幅值比较法检测到的故障特征经过隶属函数的处理后得出其对故障决策的隶属度 a_{ij} ,将由电流注入法检测到的故障特征经过隶属函数的处理后得出其对故障决策的隶属度 b_{ij} ,取故障定位方法的可信度系数为 $K_{a_{ij}}$ 和 $K_{b_{ij}}$ ($K_{a_{ij}} + K_{b_{ij}} = 1$), 进行加法运算:

$$Y_{ij} = \mu_i (K_{a_{ij}} a_{ij} + K_{b_{ij}} b_{ij})$$

则 Y_{ij} 为线路 i 上的支路 j 发生故障的可能性也就是可信度。

故障选线和定位结果的输出

对于以上得到的数据结果进行比较处理,可以认为 Y_{ij} 最大的支路最有可能是故障线路。由于 10 kV 配电网多应用于农村电网中,其网络结构也多类似于图 2 所示的有分支的树形线路,它的一个特点就是分支线路的长度都较短,所以确定了最后一级分支后就可以说是实现了定位。

对于系统网络比较复杂,出线数 n 及支路数 m 都比较大时,计算过程将有可能比较复杂,这时可以采用比较简化的方法:首先在第 一步时计算出 μ_i 后进行一次筛选,比较选出 μ_i 中由大到小排列的前三位,在第 步中只对于这三条线路上的各条支路进行计算。则无论多复杂的系统,到最后一步时也都只是 9 条支路在进行比较,便于系统软件的设计实现。

2 实施方案

基于融合电流注入法和零序电流幅值比较原理的中性点不接地系统单相接地故障定位装置根据硬件结构可以分为三个部分:主机、分支机群和通信模块。各分支机通过通信模块和主机交互信息,并根据主机的指示进行故障信号的采集和处理并向主机提供必要的分支信息用于故障选线和定位。本文考虑了对定位正确率有很大影响的通信问题,目前配电系统中应用的通信方式主要有电话拨号、光纤、无线通信、电信电缆、电力线载波等。但是这些方法都存在着不尽如人意的缺点,如覆盖范围小,可靠性不容易得到保障,设备复杂昂贵等,不十分适用等。因此利用 GSM 短消息业务进行通信。所以装置的通信模块采用 GSM 短信息技术实现,通过给主机和每个分支机分配唯一的地址 (SM 号),实现主机和分支机的数据远程双向传输。

基于融合电流注入法和零序电流幅值比较原理,利用 GSM Modem 构成的中性点不接地系统单相接地故障定位装置的结构如图 3 所示。

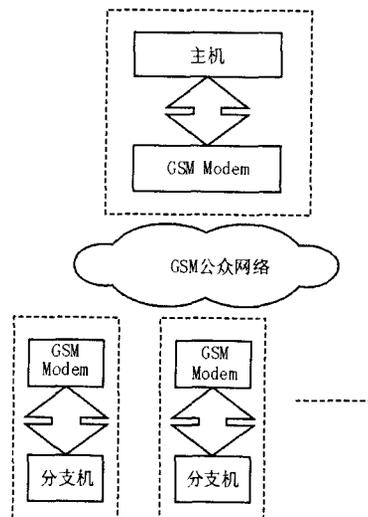


图 3 利用 GSM 网络通信的中性点不接地系统馈线故障定位装置原理示意图

Fig 3 Grounding fault location system using GSM for communications in distribution feeders

在配电网故障定位的实际使用中,主机和分支机中的信号检测电路不可避免地受到工频电流和谐波电流的干扰,因此增强信号检测电路的抗干扰能力是故障定位装置设计的关键问题。本装置采用采集 CT二次侧的故障电流信号经电流-电压变换后进入滤波环节,选用 12 阶的 Bessel 带通滤波器,它能实现最靠近注入信号频率的四次、五次谐波分量衰减达到 60 dB,完全满足工程需要。

3 结束语

本文针对有多条分支的复杂树形电网提出了中性点不接地系统单相接地故障定位的新方法及其实现,该方法较以往的故障定位方法更适用于复杂树形电网,可以有效地提高故障定位的正确率,有利于保障供电可靠性。应用这种新方法研制的中性点不接地系统单相接地故障定位装置易于安装、故障定位准确、可以适用于农村电网的实际情况。

参考文献:

- [1] 肖白,束洪春,高峰.小电流接地系统单相接地故障选线方法综述[J].继电器,2001,29(4):16-20.
XIAO Bai, SHU Hong-chun, GAO Feng Survey of Methods of Fault Line Selection for Single-phase-to-earth Fault in Networks with Ungrounded Neutral[J]. Relay, 2001, 29(4): 16-20.
- [2] 陈炯聪,齐郑,杨奇逊.基于模糊理论的小电流单相接地选线装置[J].电力系统自动化,2004,28(8):88-91.
CHEN Jiong-cong, QI Zheng, YANG Qi-xun A Fault Line Detection Device for the Non-solidly Grounded System Based on Fuzzy Sets Theory[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(8): 88-91.
- [3] 曾祥君, Li K K,等.信息融合技术在电力系统故障检测中的应用探讨[J].中国电力,2003,36(4):8-12.
ZENG Xiang-jun, Li K K, et al Discussion on Application of Information Fusion Techniques in Electric Power System Fault Detection [J]. Electric Power, 2003, 36(4): 8-12.
- [4] 李孟秋,王耀南,王辉,等.小电流接地系统单相接地故障点探测方法的研究[J].中国电机工程学报,2001,21(10):6-9.
LI Meng-qiu, WANG Yao-nan, WANG Hui, et al A New Approach on Detecting the Single-to Ground Fault Location on Power System with Neutral Unearthed [J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(10): 6-9.
- [5] 王新超,桑在中.基于“S注入法”的一种故障定位新方法[J].继电器,2001,29(7):9-11.
WANG Xin-chao, SANG Zai-zhong A New Approach of Fault Location Based on "S Injecting Signal" [J]. Relay, 2001, 29(7): 9-11.
- [6] 桑在中,潘贞存,李磊,等.小电流接地系统单相接地故障选线测距和定位的新技术[J].电网技术,1997,21(10):50-55.
SANG Zai-zhong, PAN Zhen-cun, LI Lei, et al A New Approach of Fault Line Identification, Fault Distance Measurement and Fault Location for Single Phase-to-Ground Fault in Small Current Neutral Grounding System [J]. Power System Technology, 1997, 21(10): 50-55.
- [7] 权太范.信息融合神经网络——模糊推理理论与应用[M].北京:国防工业出版社,2002.
QUAN Tai-fan Information Fusion Theory and Application Based on NN-FR Technology[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2002.

收稿日期: 2005-03-28; 修回日期: 2005-05-08

作者简介:

霍琦(1980-),女,硕士研究生,主要从事小电流接地系统故障定位系统的研究; E-mail: houcheng325@yahoo.com.cn

彭敏放(1964-),女,副教授,博士研究生,主要从事电路与系统测试及诊断、智能信息处理等研究;

谭享波(1978-),男,硕士,主要从事小电流接地系统故障定位系统的研究。

New method of fault location for single-phase grounding in networks with ungrounded neutral

HUO Cheng, PENG Min-fang, TAN Xiang-bo

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: Based on data fusion, a new method for single-phase grounding fault location of distribution feeders in networks with ungrounded neutral is proposed. The method integrates current injection theory with zero-sequence current range comparison. Hierarchical technique is used for the complex tree networks with branches. The proposed method is superior to the traditional fault location method in accurate fault location and easy to be realized and applied to complex tree networks.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50277010), National Natural Science Foundation of Hunan Province (No. 04JJ6034) and Electric Power Research Fund of Hunan Province (No. 20023009).

Key words: fault location; networks with ungrounded neutral; information fusion