

配电网故障定位技术综述

马士聪¹, 高厚磊¹, 徐丙垠^{2,3}, 薛永端^{2,3}

(1.山东大学电气工程学院, 山东 济南 250061; 2.山东理工大学电气技术研究所, 山东 淄博 255049;
3.山东科汇电气股份有限公司, 山东 淄博 255087)

摘要: 对国内外配电网的故障定位方法进行了归纳总结。按不同故障类型分别介绍了短路及接地故障下的定位方法, 对其中有代表性的方法, 重点分析其基本原理、优缺点、后续改进及现场应用情况。分析了目前定位方法中存在的主要问题, 并针对这些问题, 结合配电网的发展趋势及用户对供电可靠性的要求, 对未来配电网故障定位技术的研究进行了初步展望。

关键词: 配电网; 架空线; 中性点非有效接地系统; 故障区段定位; 故障测距

A survey of fault location methods in distribution network

MA Shi-cong¹, GAO Hou-lei¹, XU Bing-yin^{2,3}, XUE Yong-duan^{2,3}

(1. Shandong University, Jinan 250061, China; 2. Shandong University of Technology, Zibo 255049, China;
3. Shandong Kehui Electric, Co. Ltd, Zibo 255087, China)

Abstract: Various fault location methods for distribution network at home and abroad are summarized. According to the fault type, the location methods for short circuit fault and earthed fault are introduced. And the basic theories, characteristics, improvement and applications of the representative methods are analyzed. The main problems in the applications of these methods are analyzed. In view of these questions, users' requirements and the development of distribution network, the improvement and research about fault location technical are proposed preliminarily.

Key words: distribution network; overhead line; neutral ineffectively grounding system; fault section identification; fault position estimation

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)11-0119-06

0 引言

供电企业一个基本任务是不断提高供电可靠性。据统计, 电力用户遭受的停电事故 95% 以上是由配电网引起的(扣除发电不足因素), 其中大部分是故障原因^[1]。因此, 准确地测定配电网故障位置, 对于及时隔离并修复故障、提高供电可靠性具有十分重要的意义。

根据测量时线路是否带电, 配电网故障定位技术可分为在线和离线两种方式。实际的配电网故障绝大部分是绝缘击穿故障, 在线路停电后, 绝缘恢复, 故障电阻上升至数千欧甚至数兆欧, 难以通过直流电阻或注入信号寻迹等简单的方法测定故障点位置, 通常需要采用高压设备将故障点击穿后测寻故障点。目前, 离线定位法主要用于电缆故障定位。对于架空线路来说, 由于供电距离较长, 通过施加高压击穿故障比较困难, 尤其是线路通常与配电网变压器直接相连, 外加高电压会对用户用电设备

带来危害。因此, 离线定位不适用于架空线路。

在具体实现方式上, 故障定位方法可分为利用多个线路终端(FTU)/或故障指示器(FPI)的广域故障区段定位法以及直接利用线路出口处测量到的电气量信息计算故障距离的故障测距法。前者用于交通便利、自动化水平较高的城区配电网完成快速故障隔离; 后者用于供电距离较长、不易巡检的乡镇配电网或铁路自闭/贯通系统完成故障点查找。

针对不同故障类型, 本文将详细介绍实际应用中的短路故障定位技术和小电流接地故障定位技术。并根据目前定位技术中存在的问题, 对未来故障定位研究进行初步展望。

1 短路故障定位方法

电力系统短路故障是指引起电流急剧增大, 电压大幅度下降, 并进一步导致电气设备损坏的相与相或相与地之间的短接^[2]。短路分为三相短路, 两相短路、两相对地短路和单相对地短路(发生于大

电流接地系统，即中性点直接接地或经小电阻接地的系统)。短路故障特征明显，故障定位的实现相对简单。

1.1 故障区段定位法

短路故障电流幅值较大，易于检测，通常采用“过电流法”^[3,4]实现架空线路短路故障的区段定位，原理与过流保护相同。

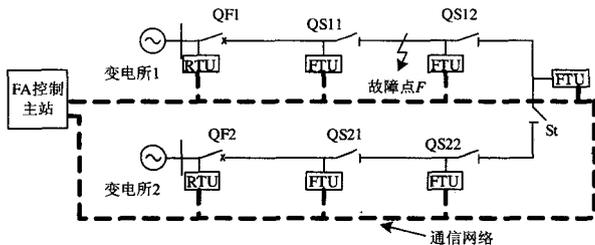


图1 典型馈线自动化系统结构图

Fig.1 The diagram of a FA system

“过电流法”需要借助馈线终端装置（FTU）或故障指示器（FPI）定位故障区段。以图1所示的手拉手环网馈线自动化（FA）系统为例，在线路出现短路故障时，FTU检测到过流现象并上报至FA控制主站。主站分析故障信息，确定故障区段。在变电所保护动作跳开故障线路后，遥控分段开关隔离故障，恢复非故障区段供电。

“过电流法”原理简单，判据明确，同时具有较好的灵敏度。FPI在故障定位实现上与FTU相同，其测量方式分为直接测量和非接触式测量（测量电磁场）两种。采用非接触式测量^[5]监测故障信息具备一定的现场应用优势，测量装置的灵敏度和可靠性是该研究能否推广的关键。

1.2 故障测距法

对于郊区及乡镇配电网，供电距离长，采用故障测距的定位方法既可以降低成本，又可以减轻寻线负担。

1.2.1 阻抗法

阻抗法^[6,7]是利用故障时测到的电压和电流求取故障回路的阻抗，又因故障回路阻抗与故障距离成正比，从而据此定位故障。阻抗法原理简单，投资少，但配电网结构复杂，分支线、混合线路较多，且负荷影响较大，故阻抗法不能简单的直接用于测距计算，实际应用中常常作为辅助测距方法，结合“S注入法”计算故障距离或配合行波法确定故障距离^[8]。

奥地利采用的是将馈线预先分段，利用标准的电力系统分析软件对各段线路进行离线短路计算^[3]。当故障发生时，远端继电器测量故障电抗并上报主站，

与短路计算得到的故障阻抗对比判断故障区段。这种阻抗定位策略在故障发生时仅需作出对比判断，节省了计算时间，且准确率高，实际运行效果良好。

1.2.2 电流对比法

为克服阻抗法对负荷影响考虑不足的缺点，欧洲一些发达国家采取了一些改进措施^[3]，在计算中考虑实时采集的负荷电流，通过电流对比定位故障区段。该方法对自动化实现程度要求较高，它是利用SCADA/EMS/DMS/D-SCADA计算各条线路的故障电流并与各点测量上报的故障电流进行对比，判断故障位置。此方法将各监测点的故障信息与SCADA等系统监测的负荷电流等电网运行信息综合运用，故障判断更为准确，在芬兰实际运行效果良好，但由于仅以电流作为判据，定位精度受故障电阻影响较大，需要作进一步的改进。

2 接地故障定位方法

接地故障是指中性点非有效接地系统发生的单相相对地短接，又称小电流接地故障。其工频故障电流微弱，故障电弧不稳定，而由线路电容充放电引起的暂态信号幅值较大，信息量丰富。针对小电流接地故障的特点，故障定位研究中采用了多种解决策略。

2.1 故障区段定位法

2.1.1 “S”注入法

“S注入法”是利用故障时暂时“闲置”的接地相电压互感器注入一个特殊信号电流，通过对该信号进行寻迹来实现故障选线和定位^[9]。在实际工程应用中可以在线路节点和分支点安装信号探测器，通过检测信号的路径来定位故障区段，也可以通过手持探测器沿线巡检，信号消失的点即为故障点。文献[10]提出了基于注入信号原理的“直流开路、交流寻踪”的离线故障定位方法，该方法致力于解决停电情况下故障点绝缘有可能恢复，必须外加直流高压使接地点保持击穿状态，从而保证注入信号的流通回路，通过信号寻迹确定故障位置，还要注意外加高压对用户的影响。“S注入法”原理先进，不受消弧线圈影响，适用于只安装两相CT的架空线路；但该方法需要附加信号注入设备，且注入信号强度受PT容量限制，对于高阻接地及间歇性故障，检测效果不好。

2.1.2 零序电流法

零序电流法利用线路零序电流的幅值及相位特征进行故障区段定位^[11]。对于谐振接地系统，由于消弧线圈的补偿作用，故障线路零序电流的变化特征不明显，幅值和相位判据失效，文献[12]提出对

谐振系统故障后的稳态零序电流增量进行分解,根据分解后的电流增量的相位定位故障区段;文献[13]提出在故障发生后通过改变消弧线圈的补偿度,监测线路零序电流的增量变化来判断故障区段,文献[14]详述了零序电流增量法的基本原理及配合 FTU 的定位策略,这几种措施从一定程度上提高了零序电流法的检测灵敏度,但对于高阻故障,检测仍然比较困难。

另外可以利用暂态零序电流^[5]幅值较大,且判据不受中性点运行方式影响的特点,直接比较各点的暂态零序电流幅值实现故障区段定位。利用暂态信号充分提高了检测灵敏度,但缺点是故障暂态信号的获取和判断不太稳定,导致定位可靠性不高,需要进一步改进。

2.1.3 中电阻法

中电阻法是对稳态零序电流法的一种成功改进。由于谐振接地系统的稳态故障电流无法用于故障检测,需要在中性点投入中电阻产生足够大的零序电流,通过比较沿线 FTU 检测到的零序电流幅值判断故障区段。该方法适用于谐振接地系统,从根本上克服了稳态法灵敏度低的缺点,但需要改动变电所的中性点接地方式,同时也带来了一定的成本问题。

2.1.4 零序功率方向法

功率方向法是通过检测零序功率的有功分量或无功分量进行故障定位。对于中性点不接地系统,检测沿线零序无功功率的方向即可判断故障区段,但不适用于谐振接地系统,文献[15]提出的零序有功分量(或称有功功率)适用于谐振接地系统,但有功分量较小,不易检测,且受 CT 不平衡电流的影响,可靠性低。

文献[16]提出的暂态零模功率方向法原理与首半波法类似,首先利用暂态零模电压、电流计算出故障方向,然后通过比较各 FTU 测量的故障方向判断故障区段。该方法不受中性点运行方式影响,不需要在中性点投入中电阻或向系统注入信号,但需要在线路上加装零序电压互感器,成本高、施工不方便,而且大量的电压互感器容易引起铁磁谐振。

2.1.5 相关法

相关法^[17]是一种通过判断相邻 FTU 检测到的暂态零模电流相关性确定故障区段的故障定位方法。该方法仅需要测量暂态零模电流信号,避免了安装电压互感器带来的问题,且检测灵敏度高,不受中性点运行方式影响,不需要加装任何设备,成本低,易于实现,但需要应用于实现馈线自动化的网络或安装 FPI,且各 FTU/FPI 间需架设通信网络。

2.1.6 其它方法

除上述方法外,早期研究中的端口故障诊断法,是对可及端口施加激励,通过检测端口故障电流源是否为零判断故障端口,故障端口包含故障分支,进而通过分支判据判别故障分支^[18]。在此基础上,文献[19]借鉴模拟电路故障诊断理论,结合字典法的概念,提出了改进的端口比值分支定位法。该方法属于离线测量法,应用于架空线路难度很大,且需要获取线路两端的信息,应用有所局限。

此外,加信传递函数法通过在故障线路出口处施加高频信号(单位阶跃波、窄脉冲波、方波),在频域内构建配电系统的传递函数,由传递函数的频谱特性构造判据进行故障定位^[20]。传递函数法取用地模分量作为故障定位的信息依据,因此具有不受负载参数变化影响的优点,且能够实现多分支辐射网的故障定位问题,但同时存在无法处理只有线模分量的短路故障的定位问题,目前尚未投入实际运行。

2.2 故障测距法

2.2.1 “S”注入法

“S注入法”除用于故障区段判断外,也可以用于故障测距。通过检测注入信号的电压电流,计算变电站至故障点的故障阻抗,以故障距离与故障阻抗成正比为判据计算故障点位置^[21]。该方法灵敏度受注入信号强度影响,定位效果需要现场实际运行以进一步验证。

2.2.2 微分方程法

微分方程法^[6]是通过列写线路的暂态微分方程,利用测量的暂态电压、电流信号求取测量端至故障点间线路电感实现故障测距,又称之为暂态阻抗法。该方法不受中性点运行方式影响,克服了稳态法中故障信号微弱难以用于定位的缺点,灵敏度大为提高。但由于所使用的模型没有考虑线路的分布电容,测距误差大,不能满足实用化的要求。

2.2.3 行波法

根据行波理论,线路上的任何扰动,其电气量均以行波的形式向系统的其它部分传播,因此在理论上可以利用测量到的暂态行波信号实现各种类型故障测距。其基本原理是通过测量故障产生的行波在故障点与母线之间往返一次的时间(单端法)或利用故障行波到达两端的时间差(双端法)来计算故障距离。输电线路输电距离长,利用GPS同步对时可以准确计算故障距离,配电线路结构复杂,分支点多,在配网中应用行波测距关键要解决故障波头的识别及混合线路波阻抗变化的问题,同时需要考虑其经济成本。文献[22]所采用的C型故障测距是

根据脉冲发射测距原理提出的,它可以在停电条件下对线路离线测量,但信号发射接收装置成本较高,还需要解决抗干扰问题,实用化难度大。文献[23]针对带分支线配电网提出先定位故障区段,再计算故障距离的行波测距方法,仿真显示测距结果准确,但仍然存在伪故障点的判断问题。文献[24]提出利用适用于各种故障类型的行波线模分量实现故障测距,为解决分支线路定位,需要在主线路及各分支线路末端安装测距装置,应用成本过高。文献[25]开发出低成本的行波信号传感器,沿线安装在容性装置的接地线上,通过双端测距计算故障距离,但装置的安装条件对方法的应用有一定限制。综合上述几种方法,在配电网中应用行波测距必须使用双端测距,单端测距是不可行的,而双端测距又会增加成本,其应用受到局限。

2.2.4 参数辨识法

参数辨识是在系统结构已知的前提下,建立其等效数学模型,通过线路首端检测到的电气量求取模型内各元件参数的办法,在电力系统一般应用时域^[26]和频域^[27]两种参数识别,求解工具通常为最小二乘法。输电网结构简单,参数均匀,求解过程只需要辨识少量参数,故障测距比较准确^[28]。文献[29]对中性点不接地系统建立零序网络等效模型,利用零序电流、电压信号,辨识各出线对地电容,与已建模型电容比较选出故障线路,再辨识故障线路电感计算故障距离,由于小电流接地系统零序分量较小,仅能保证一定程度的选线判断,用于故障测距会大大降低计算精度,实际应用效果有待进一步验证。

3 配电网故障技术展望

(1) 用户对供电可靠性要求不断提高。下一步提高供电可靠性的必然途径,就是通过准确的故障定位应对故障停电问题。从国内外的的发展状况来看,配电网在提高供电可靠性上显得越来越重要,其故障检测也受到越来越多的重视。

(2) 现有的故障定位技术相对成熟。适用范围也涵盖了各种接地方式及故障情况,且具备现场应用的条件。实际应用中,要因地制宜,选择合理的定位策略,并积极地推广应用,摸索经验。

(3) 建立故障管理系统。通过故障管理系统可以充分利用获取的各种故障信息,如配合故障投诉系统^[30,31]采用信息融合技术做出最优判断。同时可以记录各种定位方法的运行性能及准确率,有助于对比分析,为改进及开发提供可信的数据。

(4) 根据分布式电源的并网要求,制定合适的

保护方案。随着分布式电源在系统中比重越来越大,使传统配电网的运行和管理更加复杂。在分布式电源规模占系统比例较大的情况下,其接入会影响到系统保护的定值及定位判据,需要建立相应的保护方案及定位策略。各国对分布式电源接入的要求有着不同的规定,包括有条件接入、积极接入及有源网络等。带分布式电源的配电网故障定位也要根据不同的并网要求选择合适的定位策略,国外已开始了相关研究^[32]。

4 结束语

本文介绍了国内外实际应用中的配电网故障定位技术,并对未来故障定位技术的研究方向做出了展望。从综述中可以看出,不同的定位技术都有各自的特点及适用范围,工程上应结合当地配电网的结构及现场条件综合选择最合适的定位方案。同时可以看出,可靠性要求的不断提高,使配电网故障定位技术受到越来越多的重视,获取现场的运行经验,改进并完善各种定位技术将是下一步的研究重点。

参考文献

- [1] 李天友,金文龙,徐丙垠.配电技术[M].北京:中国电力出版社,2008.
LI Tian-you, JIN Wen-long, XU Bing-yin. The Technical in the Distribution Network[M]. Beijing: China Electric Power Press,1998.
- [2] 刘万顺.电力系统故障分析[M].北京:中国电力出版社,1998.
LIU Wan-shun. Power System Fault Analysis[M]. Beijing: China Electrical Power Press,1998.
- [3] Working Group WG03 Report. Fault Management Electrical Distribution Systems[A].In: CIRED [C].France: 1999.
- [4] The Effectiveness of Distribution Protection Working Group Report. Distribution Line Protection Practices-industry Survey Results[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1988,3(2):514-524.
- [5] 孙波,孙同景,薛永端,等.基于暂态信息的小电流接地故障区段定位[J].电力系统自动化,2008,32(3):52-55.
SUN Bo, SUN Tong-jing, XUE Yong-duan, et al. Single Pphase to Ground Fault Section Location Based on Transient Signals in Non-solidly Earthed Network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008,32(3): 52-55.
- [6] Lehtonen M,Hakola T. Neutral Earthing and Power System Protection[M].Vaasa,Finland:ABB Transmitt Publication, 1996.
- [7] Zimmerman K, Costello D. Impedance-Based Fault

- Location Experience[J]. IEEE, 2000: 211-226.
- [8] 卢继平,黎颖,李健,等.行波法与阻抗法结合的综合单端故障测距新方法[J].电力系统自动化,2007,31(23):65-69.
LU Ji-ping, LI Ying, LI Jian, et al. Non-communication Fault Locating of Transmission Line Based on Traveling Wave and Impedance Method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(23): 65-69.
- [9] 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):50-52,55.
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):50-52,55.
- [10] 张慧芬,潘贞存,桑在中.基于注入法的小电流接地系统故障定位新方法[J].电力系统自动化,2004,28(3):64-66.
ZHANG Hui-fen, PAN Zhen-cun, SANG Zai-zhong. Injecting Current Based Method for Fault Location in Neutral Isolated Power System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004,28(3):64-66.
- [11] 伊贵业,杨学昌,吴振升.用在线监测器的配电网故障定位法.清华大学学报,2000,40(7):35-38.
YI Gui-ye, YANG Xue-chang, WU Zhen-sheng. Power Distribution Network Ground Fault Location Algorithm Using On-line Detectors[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2000, 40(7):35-38.
- [12] 吴杰,王政.基于FTU的小电流接地系统故障定位方法再研究[J].继电器,2004,32(22):29-34.
WU Jie, WANG Zheng. Reinvestigation for Approaches to Fault Location Based on FTU in Power System with Neutral Unearthed[J]. Relay, 2004,32(22):29-34.
- [13] 齐郑,刘宝柱,王璐,等.广域残流增量选线方法在辐射状谐振接地系统中的应用[J].电力系统自动化,2006,30(3):84-88.
QI Zheng, LIU Bao-zhu, WANG Lu, et al. Application of Wide Area Remnant Current Increment Method of Line Detection in Ratial Neutral-point Resonant Grounded System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(3):84-88.
- [14] 王政,吴杰.配合FTU的小电流系统单相接地故障定位方法[J].电力自动化设备,2003,23(2):21-26.
WANG Zheng, WU Jie. Method of Single Phase Grounding Fault Locating for FTU in Networks with Ungrounded Neutral[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003,23(2):21-26.
- [15] 杨汉生,赵斌,姚晴林,等.基于零序功率的小电流选线方法[J].继电器,2002,30(11):30-32.
YANG Han-sheng, ZHAO Bin, YAO Qing-lin, et al. A New Method of Fault Line Selection for Single-phase-to-earth Fault in Networks with Ungrounded Neutral Based on Zero Sequence Power[J]. Relay, 2002,30(11):30-32.
- [16] 薛永端,陈羽,徐丙垠,等.利用暂态特征的新型小电流接地故障监测系统[J].电力系统自动化,2004,28(24):83-87.
XUE Yong-duan, CHEN Yu, XU Bing-yin, et al. Characteristic Transient Based Monitoring System for Earth Fault in Non-solidly Earthed Network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004,28(24):83-87.
- [17] 马士聪,徐丙垠,高厚磊,等.检测暂态零模电流相关性的小电流接地故障定位方法[J].电力系统自动化,2008,32(7):48-52.
MA Shi-cong, XU Bing-yin, GAO Hou-lei, et al. An Earth Fault Locating Method in Feeder Automation System by Examining Correlation of Transient Zero Mode Currents[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008,32(7):48-52.
- [18] 侯自力,彭兰芳.端口故障诊断法原理及算法[J].北京邮电学院学报,1990,13(2):66-72.
HOU Zi-li, PENG Lan-fang. Port-fault Diagnosis: the Principle and Algorithm[J]. Journal of Beijing University of Ports and Telecommunications, 1990, 13(2): 66-72.
- [19] 侯自力,彭兰芳.树枝型电力网短路故障的端口比值分支定位法[J].电子科学学刊,1990,12(6):641-645.
HOU Zi-li, PENG Lan-fang. Port Ratio Branch Location of Short Fault for Tree Type Power Nnetwork[J]. Journal of Electronics, 1990, 12(6): 641-645.
- [20] 伊贵业,杨学昌,吴振升.配电网传递函数故障定位法的判据分析[J].电力系统自动化,2000,24(19):29-33.
YI Gui-ye, YANG Xue-chang, WU Zhen-sheng. Analyzing the Criteria of Transfer Function Algorithm for Locating Ground Faults in Power Distribution Network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(19):29-33.
- [21] 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.
- [22] 于盛楠,杨以涵,鲍海.基于C型行波法的配电网故障定位的实用研究[J].继电器,2007,35(10):1-4,12.
YU Sheng-nan, YANG Yi-han, BAO hai. Study on Fault Location in Distribution Network Based on C-type Traveling-wave Scheme[J]. Relay, 2007,35(10):1-4,12.
- [23] 严凤.中性点非有效接地系统单相接地行波定位方法

的研究[D].北京:华北电力大学,2003.

YAN Feng. Research on Traveling Wave-based Fault Location Schemes for Single-phase-to-earth Faults in Neutral Ineffectively Grounded Systems[D]. Beijing: North China Electric Power University,2003.

[24] 季涛.基于暂态行波的配电线路故障测距研究[D].济南:山东大学,2006.

JI Tao. Study on Fault Location of Distribution Feeders Based on Transient Traveling Waves[D]. Jinan: Shandong University,2003.

[25] ZENG Xiang-jun, LI K K, LIU Zheng-yi, et al.Fault Location Using Traveling Wave for Power Networks[A].In: LASm IEEE[C]. 2004.

[26] 索南加乐,张悛宁,齐军,等.基于参数识别的时域法双端故障测距原理[J].电网技术,2006,30(8):66-70.

SUONAN Jia-le, ZHANG Yi-ning, QI Jun, et al. Time Domain Fault Location Method Based on Transmission Line Parameter Identification Using Two Terminals Data[J]. Power System Technology, 2006, 30(8): 66-70.

[27] 康小宁,索南加乐.基于参数识别的单端电气量频域法故障测距原理[J].中国电机工程学报,2005,25(2):22-27.

KANG Xiao-ning, SUONAN Jia-le. Frequency Domain Method of Fault Location Based on Parameter Identification—Using one Terminal Data[J]. Proceedings of the CSEE, 2005,25(2):22-27.

[28] YUAN Liao. Algorithms for Power System Fault Location and Line Parameter Estimation[A]. In: 39th Southeastern Symposium on System Theory[C]. 189-193.

[29] 谢芝东.基于参数识别的小电流接地系统单相接地故障选线与定位技术的研究[D].合肥:合肥工业大学,2007.

XIE Zhi-dong. The Study of Single-phase-to-earth Fault

Selection and Fault Location Based on the Model Parameter Identification Method in Non-grounded Neutral System[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2007.

[30] 束洪春,孙向飞,司大军.基于故障投诉电话信息的配电网故障定位粗糙集方法[J].电网技术,2004,28(1):64-66,70.

SHU Hong-chun, SUN Xiang-fei, SI Da-jun. A Robust Approach to Distribution Network Fault Location Based on Fault Complain Call Information[J]. Power System Technology,2004,28(1) :64-66,70.

[31] 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, LIU 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.

[32] Bretas A S, Moreto M, Salim R H, et al. A Novel High Impedance Fault Location for Distribution Systems Considering Distributed Generation[A].In: Transmission & Distribution Conference and Exposition TDC '06. IEEE/PES[C]. Latin America: 2006.1- 6.

收稿日期:2008-07-17; 修回日期:2008-08-19

作者简介:

马士聪(1980-),男,博士研究生,研究方向为配电网故障测距及暂态分析; E-mail:mashicong2002@163.com

高厚磊(1963-),男,教授,博士生导师,主要从事电力系统继电保护、故障测距、广域同步测量及广域保护方面的研究;

徐丙垠(1961-),男,教授,博士生导师,主要从事电力线路故障监测,配电网自动化,及开关磁阻电机在风力发电方面的研究。

(上接第98页 continued from page 98)

Power Systems,2001,25(5):64-66.

[4] 任建文,周明,李庚银.电网故障信息综合分析及管理系统的研究[J].电网技术,2002,26(4):38-41.

REN Jian-wen,ZHOU Min,LI Geng-yin.Study of Grid Fault Information Analysis and Management System[J]. Power System Technology,2002,26(4):38-41.

[5] 汪源生.基于Web的继电保护信息管理系统的开发和应用[J].电力系统自动化,2001,25(5):64-66.

WANG Yuan-sheng.Web-based Management Information System of Protection Relay[J]. Automation of Electric

收稿日期:2008-07-16; 修回日期:2008-11-29

作者简介:

王皓(1970-),男,高级工程师,硕士,从事继电保护及整定计算方向的研究管理工作;

杨建旭(1983-),男,工程师,从事故障信息系统的研发工作; E-mail: yang-jian-xu@163.com

何鸣(1957-),女,高级工程师,硕士,从事继电保护的研究管理工作。