

10 kV 配电网故障定位的研究和实现

司冬梅¹, 齐郑¹, 钱敏², 闫宝庚³

(1. 华北电力大学, 北京 102206; 2. 国电北仑第一发电有限公司, 浙江 宁波 315010;

3. 大庆石油管理局电力集团, 黑龙江 大庆 163453)

摘要: 随着对配电网供电可靠性要求的提高, 配电网故障点的及时发现显得日渐重要, 配电网的故障定位技术对于配电网安全可靠性具有非常重要的意义。本文在基于信号注入法的原理基础上, 提出了一种“直流定段, 交流定点”的交直流综合定位方法。该方法分两步走, 第一步定出故障区域, 第二步定出故障点, 将直流信号和交流信号注入法相结合, 优势互补, 通过多次现场实验验证, 可以有效地处理 10 kV 配电网中的单相接地故障。本文阐述了交直流混合定位法的原理, 并介绍了信号源的注入和信号的检测方法, 最后利用现场试验数据和 ATP 仿真验证此方法的可行性。

关键词: 故障定位; 配电网; 直流法; 交流法

Study and realization on fault location about 10 kV distribution network

SI Dong-mei¹, QI Zheng¹, QIAN Min², YAN Bao-geng³

(1. North China Electric Power University, Beijing 102206, China; 2. Zhejiang Beilun Thermal Power Plant, Ningbo 315010, China;

3. Daqing Petroleum Administration Power Group, Daqing 163453, China)

Abstract: As the requirement of reliability for distribution networks is raising, the prompt discovery of the fault point of distribution networks is becoming important. Therefore, the research of fault location of distribution networks is important. Based on principle of injecting current method, a synthesized fault location of AC and DC signal, which uses DC signal to fix the fault segment and AC signal to fix the fault position, is proposed in this paper. There are two steps in this method. The first step is fault region determination, and the second step is fault position determination. The method combining the DC signal with AC signal can effectively deal with single-phase grounding on 10 kV distribution networks, which is verified in experiment on spot. The paper expounds the principle of synthesized fault location of AC and DC signal, presents the injecting method of signal source and detecting method of method, and verifies the feasibility of this method with experiment on spot and the ATP simulation.

Key words: fault location; distribution networks; method of direct current; method of alternating current

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)18-0024-05

0 引言

我国中低压电力系统大多数采用中性点不接地或经消弧线圈接地的运行方式, 即为小电流接地系统。在小电流接地系统中, 单相接地是一种常见的临时性故障。发生单相接地后, 故障相对地电压降低, 非故障两相的对地电压升高, 系统相电压由对称变成了不对称, 但线电压却依然对称, 因而不影响对用户的连续供电, 系统可运行 1~2 h, 这也是小电流接地系统的最大优点。但是若带故障长期运行, 可能引起绝缘的薄弱环节被击穿, 发展成为相间短路, 使事故扩大, 影响用户的正常用电^[1]。同时弧光接地还会引起全系统过电压, 进而损坏设备, 破坏系统安全运行。因此, 当发生单相接地故障时, 必须及时采取措施, 找到故障线路并切除故障。随

着工业的发展, 电力网络规模逐渐增大, 网络结构逐渐加大, 用户对供电的要求也越来越高^[2]。一方面, 在系统运行时要防止故障的发生; 另一方面, 在故障发生后要尽快进行故障定位, 迅速排除故障, 保证系统正常运行。据统计, 在小电流接地系统的接地短路故障中, 35 kV 电网大约占 10%, 10 kV 电网大约占 90%。而 10 kV 配电网分支多, 结构复杂给故障巡线带来诸多困难, 这就迫切需要研究出一种新的能快速进行故障定位的方法, 快速恢复供电以适应生产和生活的需要。

本文在基于信号注入法的原理基础上, 提出了一种“直流定段, 交流定点”的交直流综合定位方法。该方法将直流信号和交流信号注入法相结合, 优势互补, 通过多次现场实验验证, 可以有效地处理 10 kV 配电网中的单相接地故障。本文详细分析

了交直流混合定位法的原理,并介绍了信号源的注入和信号的检测方法,给出了现场试验数据,最后利用 ATP 仿真验证此方法的可行性。

1 10 kV 配电网线路特征

本文将着重对 10 kV 配电网的故障定位系统进行研究和实现。10 kV 配电网作为配电网的一种,具有以下特点:

(1) 线路分支多,网络结构复杂。文献[4]提出的行波法在 35 kV 配电网行之有效,运行良好,但 10 kV 配电网分支多,且分支又产生子分支,有时多到十几代,信号衰减可达 1 万倍,难以检测,效果不明显。即使能够检测到故障反射波,也只给出到故障点的距离,而且满足一定距离点可能有多个点,其中一个点是真的故障点,其它都是伪故障点,识别真伪故障点也难以解决。

(2) 接地电阻大。10 kV 杆塔大多为石灰杆,一旦出现接地,受接地介质和环境电压等诸多因素的影响往往数值不为零,而呈现出几千欧、甚至几十千欧。配电网发生单相接地故障后,故障信号相对较弱,容易被其他信号淹没。如“s注入法”^[5]只适用于接地电阻不大于 $1\text{ k}\Omega$ 的情况。接地电阻大一直是困扰研究者的难题,克服高电阻的影响是配网故障定位研究的难题。

(3) 总体长度长、对地电容大。10 kV 配电网线路很长,至少都要几十公里,有些线路长达上百公里。对地电容对注入交流信号有分流作用,线路越长,线路对地电容越大,分流越大,因此定位所需的电流信号越小,给定位带来了困难。在线路电容大、高阻接地的情况下,对地电容对注入电流的分流作用甚至大于流过接地电阻的电流。

2 定位的实现

交直流综合定位方法是基于注入法思想提出的,通过母线 PT 向接地线的接地相注入交流或直流信号,然后由工作人员手持专用的信号电流探测器查找故障线路和故障点。系统发生单相接地故障时,故障线路从系统中隔离出来,如图 1 所示^[6]。C 相发生接地时,向 C 相线路注入信号电流。此电流仅沿 C 相线路流动并经接地点入地,来确定接地故障点 F。

由于 10 kV 配电网发生单相接地时接地电阻很大,所以线路阻抗相比接地电阻很小,可以忽略不计,但线路很长,不能忽略分布电容的影响。停电后故障相的等效电路如图 2 所示, Z_c 为线路容抗, R_g 为接地过渡电阻。电容对直流信号开路,所以直

流法便可忽略电容的影响。

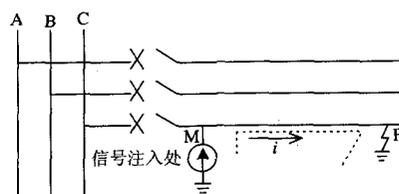


图 1 停电后接地故障相等效电路

Fig.1 Equivalent circuit of grounded fault line after power cut

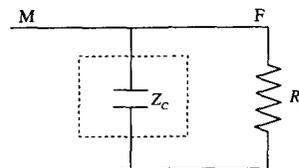


图 2 停电后故障相的等效电路

Fig.2 Equivalent circuit of fault line after power cut

2.1 二分法

线路很长且分支较多时,若是盲目检测信号寻找故障将会浪费时间,我们利用数学中二分法的思想来解决这个问题。先把线路网络进行拓扑分析,对线路进行中点对折检测,不断缩短故障区域,直至找到故障点。如图 3 所示为一条 30 km 长的线路,根据二分法原理,确定 A 点(距始末端约 15 km,线路总长度的 1/2 位置)作为第一个检测点,根据电流的大小可以确定故障点在 I 或 II 区域,假设故障在 II 区域,又可在 II 区域进行拓扑分析将 B 作为第二检测点,根据检测的电流大小将 II 区域分为 III 和 IV 两个区域,以此类推最后可确定故障分支或故障点。

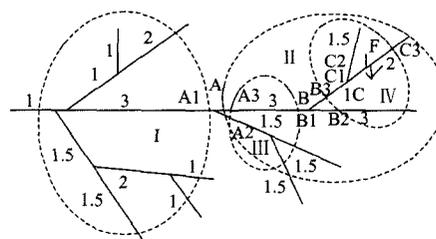


图 3 二分法示意图

Fig.3 Sketch map of dichotomy

2.2 直流法定位

直流注入法是向故障相注入 100 mA 左右直流电流,直流电源输出电压为 0~5000 V 可调,通过调整电源电压保持注入电流为 100 mA;再用直流探测器判别故障路径,通过分支节点处各个分支的直流检测确定故障路径,将故障区域缩小到某一故障段内。沿线路寻迹直到故障点。

10 kV 配电网故障定位的两大难题是分支多和接地电阻大。绝大多数线路都是分支之中又有分支，线路非常复杂。

当发生单相高阻接地时，对于交流信号注入法，其接地阻抗远远高于导线对地的分布电容的容抗，因此交流信号流入故障点的电流就非常小，信号的能量大部分流向了导线的分布电容，所以在高阻接地故障定位中，交流信号注入法效果不明显。我们考虑到由于电容对直流开路，直流法可以避免电容电流的影响，而且能够击穿故障点，从而降低过渡电阻（一般可以降到3-4K），针对前面提出的两大难题（多分支和接地电阻大），直流信号法都能有效地解决。用直流法确定故障小段或故障分支。

直流检测是直流法的关键技术，直流检测器主要是应用霍尔效应和传感器技术。当电流通过一根长的直导线时，在导线周围产生磁场，磁场的大小与流过导线的电流成正比，这一磁场可以通过软磁材料来聚集，然后用霍尔器件进行检测，由于磁场与霍尔器件的输出有良好的线性关系，因此可利用霍尔器件测得的讯号大小，直接反应出电流的大小。电声传感器可以根据电流的大小，设置电流门限在大于电流某值时发声。当线路有电流时，传感器发出声响传到地面，检测人员根据声音有无判断导线电流的有无，当测得线路有电流时说明故障在测量点下游，若测得线路无电流说明故障在测量点上游。测量如图4所示。但直流法测量时，测量人员必须上杆两米左右，如图中A点，虽然只靠直流法也能最终找到故障点，但是测量起来比较麻烦又浪费时间，我们这里考虑只用直流法确定故障小段或故障分支。

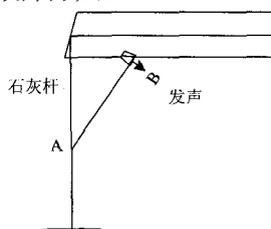


图4 直流检测图

Fig.4 Chart of detecting direct current

由于直流法不受电容影响，优点很多。线路的分布电容和无功补偿电容不影响定位效果。架空线路中有一段电缆或者多个电缆段都不影响直流法的定位效果。

2.3 交流法及其检测

直流定位法效果明显，但直流法检测麻烦，所以为了快速定位故障点，我们在直流法已确定故障段的基础上，利用交流法定位具体故障点。交流电

流产生同频交变磁场，交变磁场能够产生感应电动势，从而能够实现地面检测。

交流故障定位方法的主要思想是故障区段内向故障相注入5000V左右的恒流交流信号100~400mA，再用交流检测器在地面沿线路寻找故障。当测得线路有电流时说明故障在测量点下游，若测得线路无电流说明故障在测量点上游。

注入交流法的基波频率的选择：为了防止现场50Hz工频及谐波信号的干扰，注入信号的频率 f 在工频 N 次谐波和 $N+1$ 次谐波之间（ N 为正整数）。同时也要考虑 f 的大小对容抗的影响，若 f 太大，容抗为 $Z_c=1/j\omega c=1/j2\pi f$ 会很小，因此对注入信号的分流很大，不利于检测。若注入信号基波频率太小，考虑到检测装置为探测信号装置，不利于探测，综合考虑所以选择基波频率 f 为60Hz，其频率特性如图5所示。

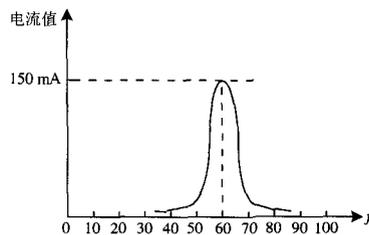


图5 交流检测仪频率特性

Fig.5 Frequency property of detecting alternating current

交流法最大的优点是可以在地面进行信号检测，检测方便。可以近距离遥测导线电流，即用手持检测器在地面就可以检测到线路中的电流。当测得线路有电流时说明故障在测量点下游，若测得线路无电流说明故障在测量点上游，测量时可采用二分法。

2.4 信号源

本装置采用60Hz交流信号，以尽量减小线路电容的影响，而且能够躲避周围环境的50Hz信号。首先将220V市电经变频转换成220V、60Hz电源，再经升压变压器升压产生高压交流信号，直流源可以通过对高压交流信号的整流滤波得到，如图6所示。

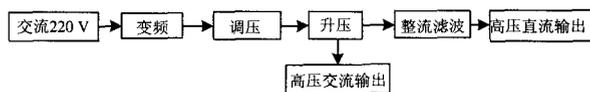


图6 信号源硬件图

Fig.6 Hardware chart of source

3 现场实验

本方法在河北保定固城变电所进行的实验中得到验证。线路如图7所示。

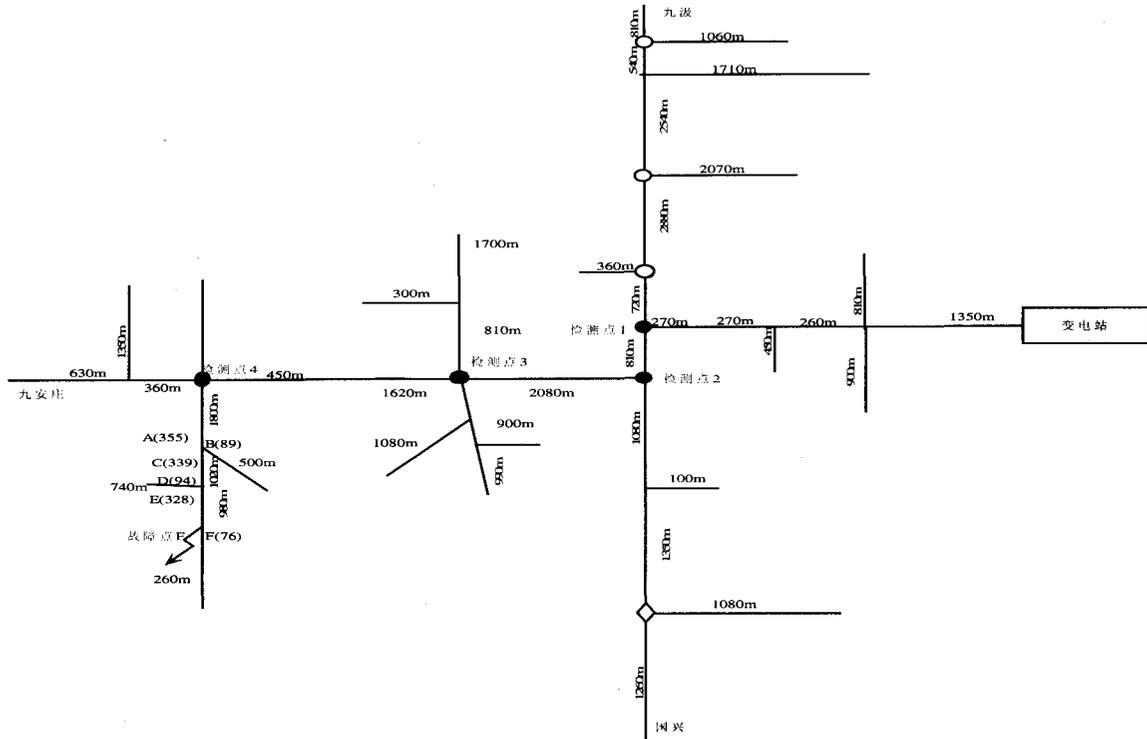


图 7 保定固城 10 kV 线路

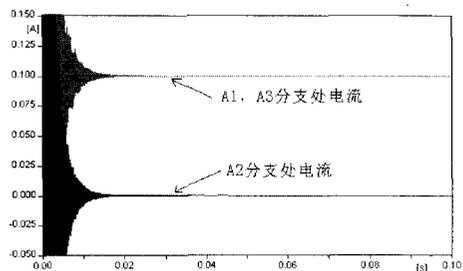
Fig.7 10 kV line in Gucheng, Baoding

首先由变电站工作人员设置单相接地故障, 故障设置完成后, 在变电站从故障相注入直流电流信号 130 mA。根据网络拓扑图和二分法确定第一大分支为监测点 1, 用直流信号检测器分别检测 1 处分支的电流情况, 结果测量九汲方向的分支时直流检测器没有报警声, 向南通往国兴方向的分支处有报警声, 这样, 便可确定故障在国兴或九安庄分支上, 我们根据检测点 2 的电流情况, 可确定故障在九安庄分支上, 又经过 3, 4 的检测最终确定故障小分支。在上步直流法确定的故障分支进行交流法定位, 在变电站从故障相注入交流电流信号 150 mA。在分支处检测电流大小如图 7 所示, 图中数值是指电流的相对大小, 并非线路中的真实电流。通过对比各点的电流强度可看出, 故障路径为 A-C-E, 从检测点 E 寻迹, 线路电流点即为故障点, 在 F 点, 检测器显示值瞬间减小, 说明 F 点即为故障点, 从开始查找故障到最后确定故障点只用了半小时, 且操作方便易控制。

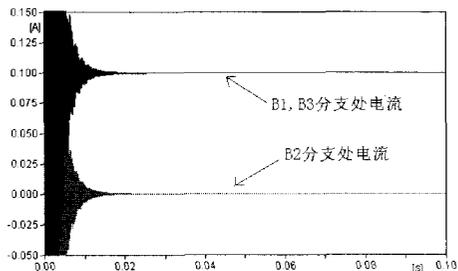
4 ATP-EMTP 仿真分析

本文采用图 3 所示的线路对所提出的“直流定

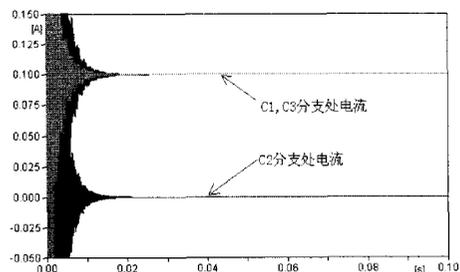
段, 交流定点”的交直流综合定位方法进行仿真分析。线路全长 30 km, 采用集总参数模型, 取线路电容为 $0.02 \mu\text{F}/\text{公里}$; 线路电感 $1.27 \text{mH}/\text{公里}$; 线路电阻 $0.1 \Omega/\text{公里}$; 忽略相间电容、电阻及电感, 接地电阻为 $20 \text{k}\Omega$, 注入信号交流 60 Hz、1000 V, 直流 1000 V。根据拓扑分析, 利用二分法确定 A, B, C 三点为直流检测点。在三点各分支的电流情况如图 5, 6, 7 所示。在图 5 中可看出, 电容对于直流开路, 所以电流只能流向故障线路, 非故障线路 A2 电流为零, 故障线路 A3 电流与 A1 电流波形基本重合, B 点和 C 点处的电流情况基本相同。这说明直流在流向故障点的故障路径中基本没有衰减, 因此不受线路分支多和线路复杂的影响。由直流仿真情况, 可得到 C 处小分支 3 为故障分支, 在此故障分支上注入交流大约 110 mA, 结果如图所示, 故障点 F 前电流为 100 mA, 故障点后电流大约基本为 0, 故障点前后的电流差别很大, 在交流检测仪的探测结果明显, 因此可以准确的定位到故障点。



(a) A 处各分支电流情况



(b) B 处各分支电流情况



(c) C 处各分支电流情况

图 8 直流检测电流情况

Fig.8 Situation of current of detecting direct current

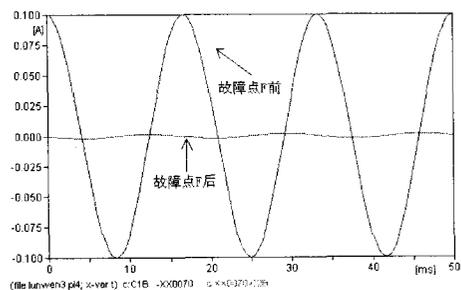


图 9 故障点 F 前后电流情况

Fig.9 Situation of current at back and forth of F

5 结论

本文通过理论分析,将直流法和交流法有效地结合起来,直流法可以避免电容和分支多的影响,交流法检测方便,优势互补,这两种方法的结合使故障定位的效率、精度、可靠性都得到了大大的提高。通过多次现场实验验证以及 ATP 仿真验证,可

以有效地处理 10 kV 配电网中的单相接地故障。不受网络结构、分布电容、线路参数和接地故障电阻的影响,对于分支繁多,线路复杂的 10 kV 配电网非常有效,提高了电力生产效率。这套装置已经在北京大兴、通州、内蒙等地做过大量的现场实验,得到了很好的评价。

参考文献

- [1] 季涛,孙同景,薛永端,等.配电网故障定位技术现状与展望[J].继电器,2005,33(24):32-37.
JI Tao, SUN Tong-jing, XUE Yong-duan, et al. Current Status and Development of Fault Location Technique for Distribution Network[J].Relay, 2005, 33(24): 32-37.
- [2] 郭俊宏,谭伟璞,等.电力系统故障定位原理综述[J].继电器,2006,34(3):76-81.
GUO Jun-hong, TAN Wei-pu, et al. Summary on Fault Location Principle in Power System[J].Relay, 2006,34(3): 76-81.
- [3] 严凤,杨奇逊,齐郑,等.基于行波理论的配电网故障定位方法的研究[J].中国电机工程学报,2004,24(9):37-43.
YAN Feng, YANG Qi-xun, QI Zheng, et al. Study on Fault Location Scheme for Distribution Network Based on Traveling Wave Theory[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(9): 37-43.
- [4] 蔡秀雯,杨以涵,等.基于脉冲发射原理的配电网故障定位方法的研究[J].继电器,2007,35(2):1-5.
CAI Xiu-wen, YANG Yi-han, et al. A New Scheme of Travelling Wave Fault Location for Distribution Network Based on Wavelet Transform[J]. Relay, 2007, 35(2): 1-5.
- [5] 桑在中,潘贞存,丁磊,等.“S注入法”选线定位原理及应用[J].中国电力,1997,30(6):44-45,62.
SANG Zai-zhong, PAN Zhen-cun, DING Lei, et al. The Principle and Application of “S Injection Method”[J].Electric Power, 1997, 30(6): 44-45, 62.
- [6] 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 Neutrall Isolated Power System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(3): 64-66.
- [7] 张一尘.高电压技术[M].北京:中国电力出版社,2005.
ZHANG Yi-chen. High Voltage Technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.

收稿日期:2007-12-05; 修回日期:2008-03-28

作者简介:

司冬梅(1983-),女,硕士研究生,研究方向为电力系统分析与控制,小电流接地电力系统故障定位; E-mail: sidongmei2008@126.com

齐郑(1977-),男,讲师,研究方向为电力系统自动化;

钱敏(1983-),男,学士,研究方向为电力系统自动化。