

电力电缆故障低压脉冲自动测距方法

许 珉, 白春涛, 秦毅男, 廖晓辉

(郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 为实现电力电缆故障的自动定位和故障性质的自动判断, 介绍了一种基于低压脉冲反射法的电力电缆故障自动定位方法, 该方法将故障反射波整形为矩形脉冲, 通过设置门槛电压来克服电缆中间接头的反射影响, 利用相关函数, 对信号进行相关处理, 消除其他各种干扰的影响。能自动计算电缆故障距离, 自动判断电缆的低阻短路故障和开路故障。此方法在基于虚拟仪器的电缆故障测距仪上进行了软件实现, 针对电力电缆进行了实测试验, 实测结果验证了该方法的有效性和正确性。

关键词: 电缆故障; 低压脉冲反射法; 自动故障定位; 虚拟仪器; 相关函数

Method of power cable fault automatic location based on low voltage pulse

XU Min, BAI Chun-tao, QIN Yi-nan, LIAO Xiao-hui

(School of Electric Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to realize automatic location of power cable fault and judgment of fault characteristics, a method of power cable fault automatic location based on the principle of low voltage pulse reflection is introduced in the paper. It shapes the fault reflecting wave into rectangle pulse, through setting threshold voltage to overcome the effect of the reflection of cable joint, also it eliminates some other noise interferences by correlative processing in the signal utilizing correlation function. The method can calculate the distance of fault and judge the low resistant short-circuit and open-circuit fault automatically. The software is realized on the instrument of cable fault location based on the virtual instrument and a practice test is made on a section of cable. The experimental results demonstrate that the method is valid and correct.

Key words: cable fault; low voltage pulse reflection method; fault automatic location; virtual instrument; correlation function

中图分类号: TM771

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)07-0037-04

0 引言

采用电力电缆供电具有安全、可靠、美化城市等优点, 随着社会生产的发展, 电力电缆的使用增长迅速。城镇市区人口稠密区、大型工厂、发电厂、交通拥挤区、电网交叉区等地方要求供电占地面积较小, 一般多采用电缆进行供电。今后, 电缆在电力系统中的应用将越来越广泛。但由于电缆埋藏于地下, 运行环境复杂, 使电缆故障的寻找较为困难, 常常需要花费较长的时间。不仅浪费了大量的人力、物力, 而且还会造成难以估量的停电损失。所以快速排除故障对提高电力系统供电可靠性、减少用户和供电部门的经济损失有重要意义。目前故障测距多采用行波法^[1], 由于线芯绝缘介质损耗引起的行波信号衰减, 中间接头等的反射和其他干扰等因素, 直接实现自动测量较困难, 一般是依靠操作人员确定放电脉冲和反射脉冲的起始点。具体的方法是在测距仪器的显示屏上将故障信号的波形调整到合适的大小, 再把光标分别移动到放电脉冲和反射脉冲

的起始点, 计算出故障距离。此方法用户用起来常感不太方便且定位精度与使用者的经验有关。本文采用一种自动故障测量方法, 不需要人工移动光标便可实现故障定位及故障类型的判断, 对多数不太复杂的故障都能自动快速定位, 而对于复杂故障仍可采用移动光标, 由人工根据波形判断计算结果的正确性。此方法在基于虚拟仪器^[2]的电缆故障测距仪^[3]上进行了软件实现, 定位精度高, 具有实用价值。

1 实现原理

电缆线路的故障测试一般包括故障测距和精确定点两部分, 其中故障测距是精确定点的依据, 按其基本原理归纳为两大类: 一类为电桥法; 另一类为行波法^[4~7]。其中行波法又可以分为低压脉冲反射法、直流高压闪络法和冲击高压闪络法。当前现场测试的主要方法是行波法, 下面以低压脉冲反射法为例, 对本文采用的自动故障定位原理进行说明。

1.1 自动故障定位原理

低压脉冲反射法^[1, 8]是向故障电缆的导体输入

一个脉冲信号,通过计算故障点发射脉冲与反射脉冲的时间差 Δt 进行测距,如果已知行波速度 v ($m/\mu s$),可以计算出故障距离 L

$$L = \frac{\Delta t \times v}{2}$$

根据反射脉冲波的正负(极性)可以判断故障的性质,如果采用负的发射脉冲,低阻短路故障反射波的脉冲极性正、负交替,如图1(a)所示。断线故障的脉冲极性全部相同,反射波的脉冲极性都是负,如图1(b)所示。低压脉冲反射法具有操作简单、故障信号的波形直观、对电缆线路技术资料的依赖性小等优点,并可测试电缆的全长和行波在电缆中的传播速度。由于中间接头反射和波形中高频干扰的影响,直接用寻找发射波和反射波的最大值的方法自动进行故障定位,常常出现错误的结果,定位不准确。本文采用类似数字式测距仪检测故障的方法,用计算机软件进行处理,将发射波和反射波整形为矩形脉冲,由于只有“0”和“1”信号,如图1(c)所示,很容易计算出发射脉冲与反射脉冲的时间差 Δt ,从而计算出故障位置。在处理波形时,记录下波形的正负极性,便可告诉测试者电缆故障的性质。由于采用计算机进行波形处理,具有较高的智能性,可以排除中间接头反射和各种干扰的影响,大大提高了定位的准确性和精度。

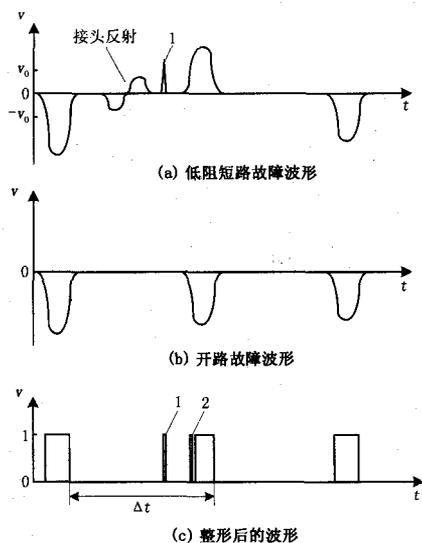


图1 低压脉冲法波形图

Fig.1 Waveform of low voltage pulse method

1.2 自动故障定位的软件抗干扰方法

1.2.1 电缆中间接头的反射波干扰

由于电缆长度不够或电缆出故障后截断等因

素,一些电缆中间存在接头,采用行波法进行故障定位,中间接头处会产生反射干扰,但中间接头处产生的反射干扰一般较弱,幅度较故障点反射波的小,故可以通过设置门槛电压(在仪器界面上设置)来消除,如图1(c)所示为消除中间接头反射干扰后的发射波和反射波(整形后,全部变为“正”)脉冲。

1.2.2 发射波和反射波中的高频分量的干扰

发射波和反射波中的高频分量(在门槛值附近)的存在会导致发射波和反射波被整形为一个矩形脉冲串,如图1(c)中脉冲2,造成故障定位和故障极性判断错误。由于这些脉冲相距很近,时间间隔为十~几十纳秒,软件中可采用计数(覆盖)的方法来消除,当采样值大于门槛值时,不论其后的采样值是否大于门槛值,连续几次将采样值置“1”,便可消除高频分量的干扰(计数的次数可在仪器界面上设置),这也增大了发射波和反射波波形的相似性。

1.2.3 脉冲干扰

图1(c)中脉冲1是一个脉冲干扰,对于脉冲干扰可以采用相关法来消除,相关法常用来研究两个信号的相似性^[4],以实现信号的检测、识别与提取等。采用行波法进行电力电缆故障定位的发射波和反射波相似程度非常大,可以用相关法来消除脉冲干扰。设 $x(n)$ 为发射波, $y(n)$ 为反射波,它们的相关函数为

$$r_{xy}(m) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)y(n+m)$$

它们的相关系数为

$$\rho_{xy} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} x(n)y(n)}{[\sum_{n=0}^{\infty} x^2(n)\sum_{n=0}^{\infty} y^2(n)]^{1/2}} \leq 1$$

当两个信号完全相同时,相关系数等于1。由于发射波和反射波被整形为矩形脉冲,相似程度更大,相关的软件处理较简单,不需计算每次移位的相关值,只需记下发射波的脉宽,小于1/2或1/3(可以在仪器上设置宽度)发射波脉宽的脉冲就被判为干扰脉冲。

2 试验测试结果

某塑料绝缘电缆全长280 m,在距电缆首端100 m处有一接头,距电缆首端200 m处发生低阻接地故障,采用低压脉冲反射法进行故障定位,低压脉冲发生器发送的脉冲幅度为200 V,脉冲宽度为0.5 μs 。图2(a)所示为采用高速AD转换器采集的实测波形,图2(a)中第一个波为发射波,极性为负,中间为接

头反射干扰, 最后一个为故障点的反射波, 极性为正。

中间接头的反射波较故障点弱, 采用设置阈值电压和覆盖的软件整形后的波形如图2(b)所示, 消除了中间接头的反射和信号中高频干扰的影响。

只采用设置阈值电压的软件整形后的波形如图2(c)所示, 可以看出, 在波形中反射波附近的高频干扰被整形为许多宽度很窄的矩形脉冲。

图2(d)所示为利用相关函数法进行离散相关计算后得到的相关曲线, 其中一个信号为采用设置阈值电压整形后的波形, 即图2(c); 另一个信号为图2(c)中的发射波。发射波与发射波的相关是自相关, 发射波与反射波的相关是互相关。根据相关曲线最大值之间的时间差, 就可以计算出故障距离。从相关曲线可以看出, 干扰信号与发射波的相关值较小, 而反射波与发射波的相关值较大, 故将发射波与测试波形进行相关运算, 可以有效地克服干扰信号。但相关计算量较大, 如果利用图2(b), 采用简化的处理方法, 速度较快。经利用本文介绍的方法计算, 本例故障点在距电缆首端196 m处, 根据极性自动判为短路故障。

图3所示为一200 m长的塑料绝缘电缆, 在距电缆首端100 m处有一接头, 在电缆末端200 m处发生开路。利用本文介绍的方法, 采用低压脉冲反射法进行故障定位, 自动计算出故障点在距电缆首端206 m处, 根据极性自动判为开路故障。

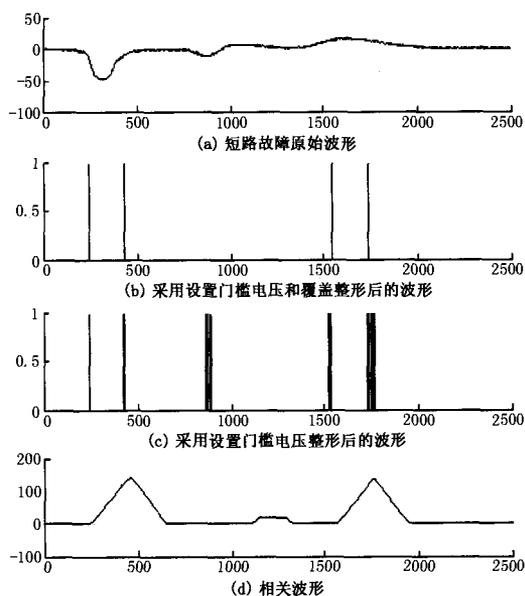


图2 短路故障的实测结果

Fig.2 Experimental result of short-circuit fault

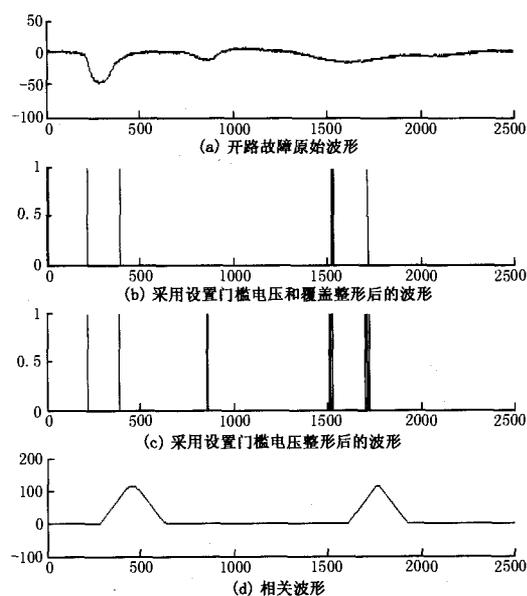


图3 开路故障的实测结果

Fig.3 Experimental result of open-circuit fault

3 结论

为实现电力电缆故障的自动定位, 本文采用了一种用于低压脉冲反射法测量电力电缆故障的智能自动定位方法, 可以自动计算故障距离, 可以自动判断电缆的故障性质(低阻短路和断线故障)。该方法程序实现简单, 计算量小, 用户使用方便, 能克服中间接头的反射等干扰因素的影响, 提高了电缆故障测距仪器的智能化水平。实测试验表明, 该方法的精度高, 可以得到令人满意的结果, 具有实用价值。

参考文献

- [1] 徐丙垠, 李胜祥, 陈宗军. 电力电缆故障探测技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
XU Bing-yin, LI Sheng-xiang, CHEN Zong-jun. Power Cable Fault Location Technique[M]. Beijing: China Machine Press, 1999.
- [2] 艾欣, 杨以涵, 周孝信. 虚拟仪器技术及其在电力系统中的应用[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(15): 54-57.
AI Xin, YANG Yi-han, ZHOU Xiao-xin. Virtual Instrument Technology and Its Application to Power System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(15): 54-57.
- [3] 许珉, 王星海, 王钰. 基于虚拟仪器的电力电缆故障测距仪的研究[J]. 电网技术, 2005, 29(2): 68-72.
XU Min, WANG Xing-hai, WANG Yu. The Research of Cable Fault Location Based on Virtual instru-

- ment[J]. Power System Technology, 2005,29(2):68- 72.
- [4] 胡广书. 数字信号处理导论[M]. 北京:清华大学出版社, 2005.
HU Guang-shu. Introduction to Digital Signal Processing[M]. Beijing:Qinghua University Press,2005.
- [5] 肖东辉, 刘沛, 程时杰. 架空输电线路故障测距方法综述[J]. 电力系统自动化, 1993, 17(8): 46-56.
XIAO Dong-hui, LIU Pei, CHENG Shi-jie. Survey of Fault Location Problem on Overhead Transmission Lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 1993, 17(8): 46-56.
- [6] 熊元新, 刘宾. 基于行波的电力电缆故障测距方法[J]. 高电压技术, 2002, 28(1): 8-10.
XIONG Yuan-xin, LIU Bin. Study of Fault Location Method by Traveling Waves for Power Cables[J]. High Voltage Engineering, 2002, 28(1): 8-10.
- [7] 熊小伏, 林金洪. 基于小波重构的电力电缆故障测距方法[J]. 电网技术, 2003, 27(6):36-38.
XIONG Xiao-fu, LIN Jin-hong. A Wavelet Reconstruction Based Fault Location Method for Power Cables[J]. Power System Technology, 2003,27(6):36-38.
- [8] 牟龙华, 刘建华. 电力电缆故障测距方法的基本工作原理[J]. 继电器, 1999, 27(4):22-24.
MU Long-hua, LIU Jian-hua. Basic Work Principle of Cable Fault Location[J]. Relay, 1999,27(4):22-24.
- [9] 张正团, 文峰, 徐丙垠. 基于小波分析的电缆故障测距[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(1):49-52.
ZHANG Zheng-tuan, WEN Feng, XU Bing-yin. Wavelet Analysis Based Power Cable Fault Location[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003,27(1):49-52.

收稿日期: 2006-10-08; 修回日期: 2006-12-24

作者简介:

许珉(1956-), 男, 教授, 从事电气设备故障诊断及数字信号处理等方面的研究; E-mail:xumin@zzu.edu.cn

白春涛(1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电气设备故障诊断;

秦毅男(1973-), 男, 讲师, 研究方向为数字信号处理的应用。

电力系统及其自动化专业第23届学术年会征文通知

中国高等学校电力系统及其自动化专业第23届学术年会拟于2007年10月在合肥工业大学举行。现将有关事项通知如下:

一、征文范围

- | | |
|--------------------|------------------|
| 1. 电力系统规划与可靠性 | 8. 电力设备监测与故障诊断 |
| 2. 电力系统稳态分析与控制 | 9. 人工智能在电力系统中的应用 |
| 3. 电力系统暂态分析与控制 | 10. 电力市场 |
| 4. 高压直流输电及灵活交流输电技术 | 11. 理论电工 |
| 5. 能量管理系统及配电网自动化 | 12. 教学研究 |
| 6. 电力系统继电保护 | 13. 其他 |
| 7. 电力系统自动化及远动技术 | |

二、论文格式和提交

1. 论文可用中文或英文撰写。论文应由题目、作者信息、摘要、关键词、引言、正文、结论、参考文献和作者简介等组成。论文排版格式详细说明和范例可通过年会网页查看。

2. 每篇论文篇幅一般不超过4页, 篇幅超过4页的录用论文在正常版面费(另行通知)之外每超一页增收100元。

3. 作者通过年会网页提交论文的word文档, 同时按要求填写相关信息, 服务器收到后将自动返回相关信息和论文编号。请勿使用邮政信件或电子邮件提交论文。

4. 征文截止日期为2007年7月31日。

5. 经专家评审后决定论文是否录用。录用通知于2007年9月1日前在网上公布, 作者可在年会网站通过论文编号查询, 年会工作组同时通过E-mail通知作者。如论文没有录用, 恕不退稿。

三、其他事项

本届学术年会大会报告人和报告内容采用大会特邀、个人自荐、单位推荐和专家评审相结合的方式确定。大会报告收入年会论文集, 请报告人按照论文排版格式排版。

年会筹备组通信地址: 安徽省合肥市屯溪路193号, 合肥工业大学电气与自动化工程学院2007电自年会筹备组
邮编: 230009 会议联系人和稿件收件人: 孙鸣、王敏 电话: (0551) 2901828-8023 传真: (0551) 2901938
年会网页: [http:// cus-epsa.hfut.edu.cn](http://cus-epsa.hfut.edu.cn) E-mail: cus-epsa@ea.hfut.edu.cn

合肥工业大学中国高等学校电力系统及其自动化专业第23届学术年会筹备组
2007年3月1日