

输电线路接地故障行波测距新方法

邓军波, 施围

(西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要: 介绍了一种输电线路接地故障行波测距的新方法, 该方法可以消除线路参数不同以及雷击时冲击电晕对行波波速的影响, 通过小波变换得到线模及地模分量到达母线的时刻, 列出三个时间与故障距离的方程, 最后得到与波速无关的故障测距公式。

关键词: 故障测距; 小波变换; 行波

中图分类号: TM713

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2000)08-0016-03

1 前言

准确的故障测距可以加快线路的恢复供电, 其经济效益与社会效益是明显的, 尤其对超高压线路更是如此。故障测距方法大致有两类, 一类是直接计算故障阻抗或其百分比, 另一类是利用高频故障暂态电流电压的行波或故障后用脉冲频率调制雷达系统等来间接判定故障点的距离。直接计算故障阻抗的某些方法会受到诸如故障过渡电阻, 系统阻抗的影响, 且故障后的电流、电压信号需要进行滤波处理, 而行波测距方法原理简单, 且不需要滤波处理, 随着电子、通信技术的发展, 正呈现美好的发展前景。另一方面, 在超高压输电线路中, 由于相间距离大, 线路故障绝大部分为单相接地故障。据1996年全国范围内统计^[1], 330kV及以上电压等级线路接地故障中, 单相接地所占的比例分别是: 330kV为94.74%, 500kV为97.04%。因此, 解决了接地故障的测距问题也就解决了超高压线路故障测距的大部分问题。

2 行波测距中波速的不确定性

线路故障时产生的电压波可分解为地模和线模, 无论选用哪种模波或哪种方法(单端和双端)来进行故障测距, 都必须先确定波速, 然后根据波速与时间的关系确定故障点的距离, 然而, 无论哪种模波在线路上传播的速度是不确定的。波速是影响行波测距的主要因素, 其计算取决于架空线的结构和大地电阻率的分布, 土壤的电阻率随气候变化剧烈, 线路的分布电感随不同的地区和不同的线路结构而不同, 同时, 受气候条件的影响, 线路沿线有不均匀的电晕分布, 如果说运行电压下的线路电晕可以通过线路的设计来避免或减少, 在雷击情况下, 线路电晕的出现是

不可避免的, 实际上, 超高压输电线路遇到的地理条件和气象条件各不相同, 所以遭受雷击的机会较多。雷击引起的电晕的存在显然会影响线路的分布电容, 分布电容与分布电感的变化显然会影响行波线模分量与地模分量的传播速度。另外, 线路参数与频率关系较大, 正序电阻由于导线的集肤效应而随频率上升, 正序电感基本不随频率而变化, 零序电阻随频率上升除了集肤效应外, 与大地的电阻也有一定的关系, 零序电感则由于地中电流穿透深度的变化而随频率下降, 由于零序参数的变化更为剧烈, 故地模分量的传播速度的变化范围更大, 一般的故障测距选用线模分量, 但波速的选取有一定的主观性, 如文献^[2]取 $0.983 \sim 0.986c$, 文献^[3]取 $0.936c$ (11kV)。

3 行波测距新算法

从以上分析可以看出, 在目前的行波故障测距中, 由于地模波速的选取较为困难, 一般选用线模分量, 而线模波速的确定有一定的主观性。

本文提出的方法可以消除波速的影响, 具体方法如下:

如图1为接地故障测距示意图。设线路全长为 l km, 故障点距母线 R 的距离为 x km, 距 S 母线为 $(l-x)$ km, 设全线的线模波速为 v_1 , 对于地模波速, 设全线的地模波速 v_0 。

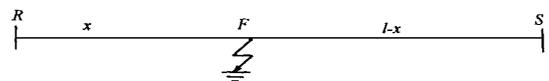


图1 接地故障测距示意图

设线模分量达到母线 R 的时刻为 t_1 , 达到母线 S 的时刻为 t_2 , 地模分量达到母线 R 的时刻为 t_3 , 达到母

线 S 时刻为 t_2 。

现有的双端故障测距公式为：

$$t_1 - t_1 = \frac{x}{v_1} - \frac{L-x}{v_1} \quad (1)$$

其中 v_1 为已知。

实际上,若设 $A = t_1 - t_1, B = t_2 - t_2, C = t_2 - t_1$, 有如下三个方程成立：

$$A = \frac{x}{v_1} - \frac{L-x}{v_1} \quad (2)$$

$$B = \frac{x}{v_0} - \frac{L-x}{v_0} \quad (3)$$

$$C = \frac{x}{v_0} - \frac{x}{v_1} \quad (4)$$

$$\text{由(2)得: } v_1 = \frac{x}{A} - \frac{L-x}{A} \quad (5)$$

$$\text{由(3)得: } v_0 = \frac{x}{B} - \frac{L-x}{B} \quad (6)$$

将(5)、(6)代入(4)解得：

$$x = \frac{LC}{A - B + 2C} \quad (7)$$

4 新算法的 EMTP 仿真

在故障情况下,母线电压为一非平稳信号,Fourier 分析是无能为力的,小波变换具有良好的时频局部化的特点。便于提取非平稳信号的突变信息,本文采用小波变换来确定故障点的行波达到母线的时刻。

若 (x) 满足 $C = \int_0^+ | \wedge () |^2 dx +$, 则称函数 (x) 为小波函数。令 $s(x) = \frac{1}{s} \left[\frac{x}{s} \right]$ ($s > 0$) 是以尺度因子 s 对 (x) 的伸缩,则称 $Wf(s, x) = f * s(x) = \frac{1}{s} \int f(t) \left[\frac{x-t}{s} \right] dt$ 为信号 f 的小波变换。

令 $s = 2^j (j = 1, 2, \dots, J), x = n (n = 0, 1, \dots, N - 1)$ 引入尺度函数 (x)

$$2^j(x) = \frac{1}{2^j} \left[\frac{x}{2^j} \right]$$

定义 $s_2^j f(x) = f * 2^j(x)$ 为平滑算子; $s_2^j f(n) = f * 2^j(n)$ 为平滑系数。 $s_2^1 f(n)$ 为原始信号,则离散二进小波的分解算法为：

$$\text{平滑函数: } s_2^j f(n) = \sum_k h_k s_2^{j-1} f(n - 2^{j-1} k)$$

$$\text{小波函数: } W_2^j f(n) = \sum_L g_L s_2^{j-1} f(n - 2^{j-1} l)$$

小波变换的特点是能把信号的局部性规律特征化出来,某一尺度 s 下,若在 x_0 的某一邻域,对一切 $x (x - , x +)$ 有 $| W_2^j f(x) | \approx | W_2^j f(x_0) |$, 则称 x_0 为小波变换的模极大值点, $| W_2^j f(x_0) |$ 称为模极大值,

模极大值对于检测信号的突变点有重要意义。

系统模型如图 2 所示,由于受 EMTP 程序限制,线路长度取为 30km,线路采用分布参数模型,在线路上设置离 S 点距离为 10km 的点 F 发生单相短路故障,其它参数如下。

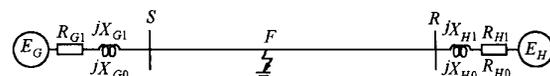


图 2 系统故障测距图

首端电源 $E_G = 335 \quad 0 \text{ kV}, R_{G1} + jX_{G1} = 6.139 + j529.8, jX_{G0} = 130.6$

末端电源 $E_H = 268.5 \quad -25 \text{ kV}, R_{H1} + jX_{H1} = 17.56 + j46.11, R_{H0} + jX_{H0} = 1.6 + j65.13$

500kV 线路

$$R1 = 0.0279 \quad / \text{ km}, \quad R0 = 0.253 \quad / \text{ km}$$

$$L1 = 0.882 \text{ mH} / \text{ km}, \quad L0 = 2.33 \text{ mH} / \text{ km}$$

$$C1 = 0.01306 \mu\text{F} / \text{ km}, \quad C0 = 0.0085 \mu\text{F} / \text{ km}$$

故障发生时,在故障母线上采集电压波形,本文取电压信号采样频率为 1MHz,采样时间 600 μ s,母线 S 的电压波形如图 3 所示,母线 R 的电压波形如图 4 所示,图 5 为母线 S 电压波形的小波变换,图 6 为母线 R 的电压波形的小波变换,一般线路的线模波速约为 $2.95 \times 10^8 \text{ m/s}$,而地模波速约为 $2.0 \times 10^8 \text{ m/s}$,因此很容易区分线模分量与地模分量达到母线的时刻,不会受故障点反射波的影响,由图 5、图 6 可知线模分量达到母线 S 的时间为 45 μ s,达到母线 R 的时间为 78 μ s,地模分量达到母线 S 的时间为 78 μ s,达到母线 R 的时间为 100 μ s,由此可得故障点离 S 端的距离为 9.375km。

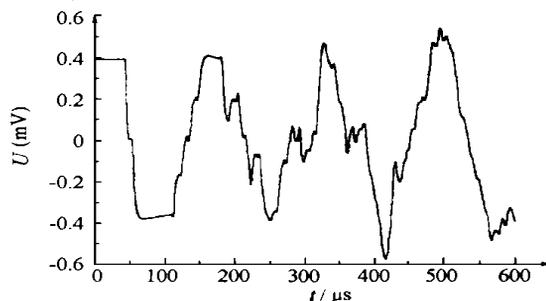


图 3 S 端母线电压

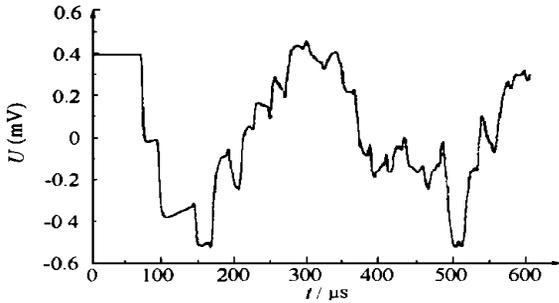
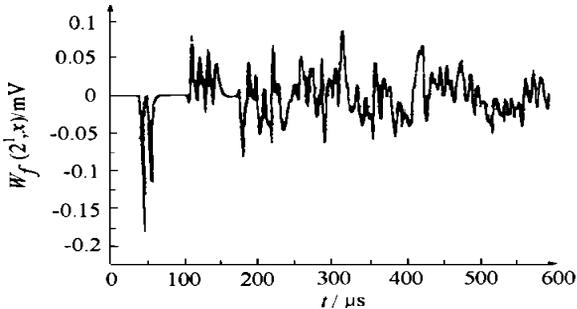
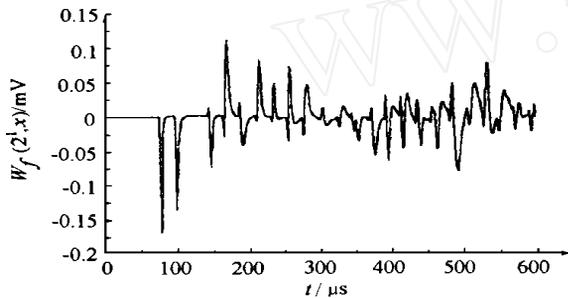


图4 R端母线电压

图5 S端母线电压在 2^1 尺度下的小波变换图6 R端母线电压在 2^1 尺度下的小波变换

A new technique of earth fault location

DENG Jun-bo, SHI Wei

(Xian Jiaotong University, Xian 710049, China)

Abstract: This paper presents a new fault location technique of earth faults. It can avoid the affection of the velocity of travelling wave caused by different transmission lines and the lightning - caused impulse corona, the time of aerial mode and earth mode reaching the bus is measured, three equations involved the time of fault distance are formed, a representation of fault distance independent of the velocity of traveling wave is obtained.

Key words: fault location; wavelet transformation; travelling wave

5 结论

由于影响行波波速的因素较多,对于给定的一条线路确定一个波速会给测距带来误差,本文的方法可以避免波速的影响,也由于零模波速大约为线模波速的 $\frac{2}{3}$,因此通过小波变换容易将第一个达到母线的行波的线模与零模时刻区分开来。EMTP 仿真表明:该方法有较高的测距精度。

参考文献:

- [1] 周玉兰,王玉玲. 1996年全国继电保护与安全自动装置运行情况分析. 电网技术, 1997, (7).
- [2] Harry lee, Mousa A M. GPS traveling wave fault locator systems: investigation into the anomalous measurements related to lightning strikes. IEEE Trans Power Delivery, 1996, 11 (3): 1214 ~ 1223.
- [3] Bo Z Q, Weller G, Jiang F, Yang Q X. Application of GPS based fault location scheme for distribution system. 1998 International Conference on Power system Technology Proceedings, Beijing: 1998, 1: 53 ~ 57.
- [4] 覃剑, 陈祥训, 郑健超. 行波在输电线上传播的色散研究. 中国电机工程学报, 1999, 19(9), 27 ~ 30.
- [5] 施围. 电力系统过电压计算. 西安: 西安交通大学, 1988.

收稿日期: 2000-01-10;

作者简介: 邓军波(1976-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统的过电压保护;施围(1941-),男,博士,博导,主要从事电力系统过电压保护的研究与教学工作。

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告