

一种基于新的相模变换矩阵的输电 线路故障测距改进算法

郭亮¹, 吕飞鹏¹, 罗长亮¹, 蒋科¹, 李鹏飞²

(1. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065; 2. 山东电力工程咨询院, 山东 济南 250013)

摘要:针对已有电力系统行波故障测距算法中采用的相模变换、小波变换存在的不足,提出了一种结合新的相模变换矩阵和提升小波的行波故障测距改进算法,实现了单一模量反映所有故障类型,简化了高频小波系数的计算,提高了计算速度。通过 Matlab 仿真实验,验证了与普通小波测距相比,算法具有较高的测距精度。

关键词:相模变换;提升小波;故障测距;输电线路;暂态行波

Abstract: Considering the deficiencies of the used phase-mode transformation and wavelet transform in the available transmission line fault location algorithms, an improved algorithm for the fault location based on a new phase-mode transformation matrix and lifting wavelet is proposed. All types of fault can be reflected by a single modulus, the calculation for the wavelet coefficients with high frequency is simplified, and the calculation speed is enhanced. Matlab simulation shows that the algorithm has a higher accuracy compared with the traditional wavelet location methods.

Key words: phase-mode transformation; lifting wavelet; fault location; transmission line; transient traveling wave

中图分类号: TM755 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)06-0038-04

0 引言

故障测距是电力系统查找输电线路故障点的重要依据。在输电线路故障后及时、准确地找到故障点,对修复线路,保证可靠供电以及电力系统的安全稳定、经济运行具有非常重要的作用。行波故障测距法因其原理简单,近年来受到了国内外学者的关注,得到了广泛的研究^[1~11]。现有的行波故障测距法多采用相模变换与小波变换相结合对暂态行波信号进行分析。目前常用的 Clark、Karrenbauer、Wedpohl 等变换矩阵在分析时域问题时应用最多,但其在继电保护应用中的最大缺陷是单模量不能适用于所有类型故障。若要使模量能反映所有类型故障,必须使用双模量或选相配合,从而使计算量大大增加^[12]。传统的基于卷积的离散小波变换计算量大,计算复杂度高,对存储空间的要求高,不利于硬件实现^[14]。

针对已有行波故障测距算法存在的不足,提出了一种结合新的相模变换矩阵和提升小波的行波故障测距法。该算法通过对电流行波进行相模变换,再利用提升小波分析线路两端电流行波线模量来实现高精度故障测距。与已有的行波测距法相比,该方法不

仅解决了单一模量不能反映所有故障类型的问题,还具备运算所需存储空间小,计算量小和计算效率高优点。最后将其仿真结果与普通小波测距结果进行了对比。

1 新的相模变换矩阵的分析

相模变换的数学本质就是将参数矩阵化为对角阵。对于三相均匀换位线路,根据其相模变换矩阵的构造原则,即第一列各元素相等,第二、三列元素之和均为零,文献 [13] 构造出一种新的相模变换矩阵,其原始阵为

$$S = \frac{1}{15} \begin{bmatrix} 5 & 5 & 5 \\ 5 & -1 & -4 \\ 5 & -4 & -1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$S^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & -3 \\ 1 & -3 & 2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

对故障暂态相电流进行相模变换,可以提取线模分量,即 1 模量和 2 模量。表 1 给出了各种类型故障下使用该相模变换矩阵所得到的 1 模量和 2 模量的值。通过表 1 可知,运用该相模变换矩阵得到的模量

表 1 各种故障类型下的电流量模值

故障类型	边界条件	1 模量	2 模量
BG	$i_b = i_c = 0$	i_a	i_a
BG	$i_b = i_c = 0$	$2i_b$	$-3i_b$
CG	$i_b = i_c = 0$	$-3i_c$	$2i_c$
AB	$i_c = 0, i_b = -i_a$	i_b	$-4i_b$
BC	$i_a = 0, i_b = -i_c$	$5i_b$	$-5i_b$
CA	$i_b = 0, i_a = -i_c$	$4i_c$	$-i_c$
ABG	$i_c = 0$	$i_a + 2i_b$	$i_a - 3i_b$
BCG	$i_a = 0$	$2i_b - 3i_c$	$2i_c - 3i_b$
CAG	$i_b = 0$	$i_a - 3i_c$	$i_a + 2i_c$
ABC	$i_a + i_b + i_c = 0$	$i_a + 2i_b - 3i_c$	$i_a - 3i_b + 2i_c$

值在所有类型故障下均为非零值,即 1 模量和 2 模量均能单独反映所有类型故障^[13],因此可以任意选取其中之一作为仿真分析对象。

2 提升小波变换

提升小波于 1996 年由 Sweldens 提出,其算法的基本思想是,将现有的小波滤波器分解成基本的构造模块,分步骤完成小波变换^[14]。传统的小波都可以找到等效的提升方案。如图 1 由提升算法构成的小波变换过程可以分为以下 3 个阶段。

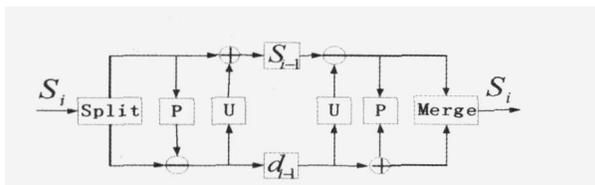


图 1 提升算法的分解和重构

(1)分解。将输入信号 S_i 分为两个子集 S_{i-1} 和 d_{i-1} ,最简单的方法是按奇偶性分,分解过程 $F(S_i) = (S_{i-1}, d_{i-1})$;

(2)预测。在基于原始数据相关性的基础上,用偶数序列 S_{i-1} 的预测值去预测奇数序列 d_{i-1} ,即将滤波器 P 对偶数信号作用后作为奇数信号的预测值,奇数信号的实际值与预测值相减得到残差信号,重复分解和预测过程,经 n 步后原信号集可用 $\{S_n, d_n, \dots, S_1, d_1\}$ 来表示;

(3)更新。更新的基本思想是找出一个更好的子数据集 S_{i-1} ,使之保持原始数据集的一些特性。构造一个更新算子 U, $S_{i-1} = S_{i-1} + U(d_{i-1})$ 。

综上所述,提升算法可以实现原位运算,在每个

点都可以用新的数据流替换旧的数据流。当重复使用原位提升滤波器组时,即可得交织的小波变换系数。

电力暂态信号分析处理中的小波基的选择目前主要倾向于经验性选择。因为对故障暂态信号进行研究需要提取的是非平稳信号的瞬时、突变成分,即提取有限频带上的信息,所以在小波基的选取上,需要考虑其在时、频两域的紧支撑性和带通滤波性能,又为了能准确检测出信号中的奇异点,该小波函数必须具有正则性^[7,15]。综合考虑,这里选择 db4 小波作为提升小波的小波基

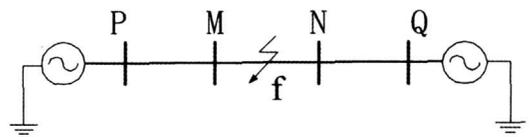


图 2 仿真模型

3 算例仿真

为了验证所提出的算法,用 Matlab/Simulink 建立一个 500 kV 双电源系统模型,如图 2。设定仿真时间为 0.05 s 采样频率为 1 MHz 分布参数线路 PM、MN、NQ 的长度皆为 300 km,故障起始时间为 0.025 s 接地电阻为 10 Ω ,线路参数为

$$\begin{aligned}
 R_1 &= 0.01273 \Omega / \text{km} \\
 R_0 &= 0.3864 \Omega / \text{km} \\
 L_1 &= 0.9337 \times 10^{-3} \text{ H} / \text{km} \\
 L_0 &= 4.1264 \times 10^{-3} \text{ H} / \text{km} \\
 C_1 &= 12.74 \times 10^{-3} \mu\text{H} / \text{km} \\
 C_0 &= 7.751 \times 10^{-3} \mu\text{H} / \text{km}
 \end{aligned}$$

以线路 MN 为研究对象,其区内故障点为 f 先以 A 相单相接地故障为例,设定故障点 f 距母线 M 端 45 km,运行仿真可得 M 端和 N 端的 1 模量暂态电流波形及其高频小波系数如图 3 所示。

再以 CA 两相相间短路为例,设定故障点 f 距母线 M 端 135 km,运行仿真可得 M 端和 N 端的 1 模量暂态电流波形及其高频小波系数如图 4 所示。

测距算法采用不受波速影响的双端行波测距^[5]。故障距离采用以下公式进行计算。

$$X = \frac{(t - t_0) \times l}{2(t - 2t_0 + t_0)} \quad (3)$$

其中 l 为线路全长, t_0 为故障初始行波从故障点

到达测量端母线的时刻, t_1 为故障点反射波到达测量端母线的时刻, t_2 为故障初始行波从故障点到达对端母线的时刻。

分别对 M、N 两端的提升小波系数进行测量得到 3 个波头的时间, 再代入式 (3) 计算可得测距结果。以上两个例子的仿真结果如表 2 所示, 可见该算法能够比较准确地确定故障地点。

为了进一步验证该算法, 表 3 给出了各种类型故障下分别采用提升小波和普通小波所得的部分测距结果。通过比较可以看出, 采用提升算法后大多数故障测距结果精度比普通小波测距高, 能够满足精确故障定位的要求。

表 2 算例的仿真结果

故障	t_1 /ms	t_2 /ms	t_3 /ms	X /km	ϵ /km
AG 45 km	25.157	25.467	25.883	44.884	0.116
CA 135 km	25.469	26.399	25.571	135.174	0.174

注: ϵ 为绝对误差, 其他符号意义同式 (3)。

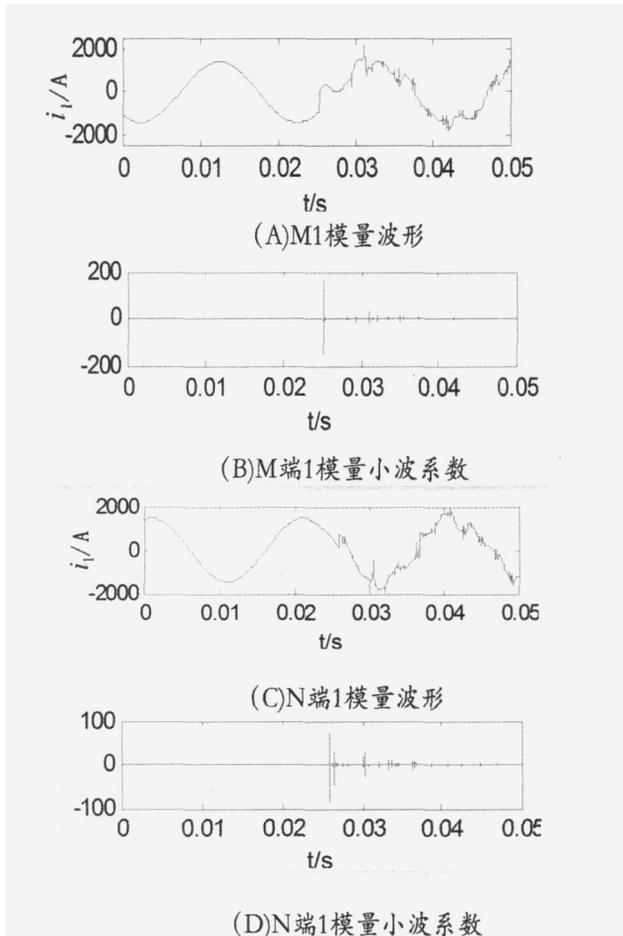


图 3 1 模量波形及其提升小波变换 (45 km, A 相)

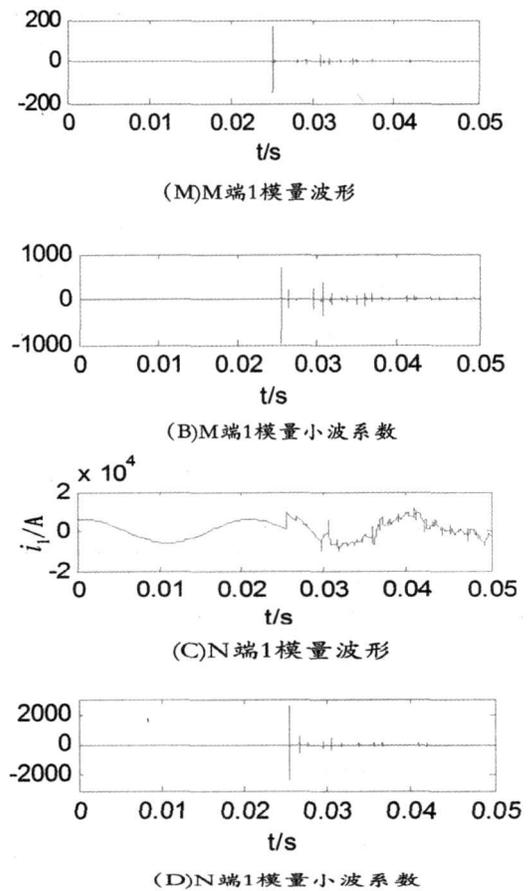


图 4 1 模量波形及其提升小波变换 (135 km, CA 相间)

表 3 各种故障类型下的仿真

故障类型	故障仿真距离 /km	提升小波测距 /km	绝对误差 /m	普通小波测距 /km	绝对误差 /m
单相接地短路	40	40.068	68	39.999	1
	90	90.058	58	90.231	231
	180	180.000	0	179.971	29
	220	220.000	0	219.932	68
两相相间短路	40	40.068	68	39.999	1
	90	90.058	58	90.231	231
	180	180.000	0	179.971	29
	220	220.000	0	219.932	68
两相接地短路	40	40.068	68	39.999	1
	90	90.058	58	90.231	231
	180	180.000	0	179.971	29
	220	220.000	0	219.932	68
三相接地短路	40	40.068	68	39.999	1
	90	90.058	58	90.231	231
	180	180.000	0	179.971	29
	220	220.000	0	219.932	68
三相短路	40	40.068	68	39.999	1
	90	90.058	58	90.231	231
	180	180.000	0	179.971	29
	220	220.000	0	219.932	68
三相短路	280	280.271	271	280.271	271

4 结 论

针对传统相模变换矩阵的不足,提出了一种采用新的相模变换矩阵,并结合提升小波的故障测距改进算法。通过分析及仿真得出以下结论:所提出的算法,不仅能反映所有类型的故障,减小计算的工作量,而且相较于普通小波测距,多数情况下测距结果精度较高。

参考文献

[1] 陈平,葛耀中,索南加乐,等. 基于故障开断暂态行波信息的输电线路故障测距研究[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(8): 56-59, 64.

[2] 覃剑,陈祥训,郑健超,等. 利用小波变换的双端行波测距新方法[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(8): 6-10.

[3] 李友军,王俊生,郑玉平,等. 几种行波测距算法的比较[J]. 电力系统自动化, 2001, (14): 36-39.

[4] 蒋涛,陆于平. 不受波速影响的输电线路单端行波故障测距研究[J]. 电力系统自动化, 2004, 24(12): 29-32.

[5] 李泽文,曾翔君,徐小箐,等. 输电线路双端行波故障定位新算法[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(15): 40-43.

[6] 董杏丽,葛耀中,董新洲,等. 基于小波变换的行波测距式距离保护原理的研究[J]. 电网技术, 2001, 25(7): 9-13.

[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.

[8] 范春菊,张兆宁,郁惟镛. 小波方法在超高压输电线路故障测距中的应用[J]. 电网技术, 2003, 27(8): 50-53.

[9] 黄雄,王志华,尹项根等. 高压输电线路行波测距的行波波速确定方法[J]. 电网技术, 2004, 28(19): 34-37.

[10] 覃剑,葛维春,邱金辉,等. 影响输电线路行波故障测距精度的主要因素分析[J]. 电网技术, 2007, 31(2): 28-35.

[11] 徐丙垠. 利用暂态行波的输电线路故障测距技术[D]. 西安:西安交通大学, 1991.

[12] 王安定,葛耀中. 模量变换技术在反应故障分量的微机保护中的应用研究[J]. 电力系统自动化, 1988, 12(3): 17-27.

[13] 宋国兵,李森,康小宁,等. 一种新相模变换矩阵[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(14): 57-60.

[14] 葛哲学,沙威. 小波分析理论与 MATLAB7 实现[M]. 北京:电子工业出版社, 2005. 3.

[15] Mognago F H, Abur A. Fault location using wavelets[J]. IEEE Trans On PWRD, 1998, 13(4): 1475-1480.

作者简介:

郭亮(1982-),男,硕士研究生,从事电力系统继电保护研究。

吕飞鹏(1968-),男,博士,教授,从事电力系统继电保护和故障信息处理智能系统研究。

罗长亮(1983-),男,硕士研究生,从事电力系统继电保护研究。

蒋科(1983-),男,硕士研究生,从事电力系统继电保护研究。

李鹏飞(1981-),男,硕士,从事电力系统继电保护研究。

(收稿日期:2009-09-01)

(上接第 25 页)

一级母线接地判断方式为:二级支路均无不平衡电流但一级母线传感器有不平衡电流;

由于母线和负荷支路同时接地的情况非常少,所以可以只定义为上述方式,并且多个继电器室发生多负荷支路接地时,绝缘监测装置仍可上传信号。

4 结束语

通过对变电站直流系统接地告警方式的设计,可以使运行人员直观地监视到直流系统故障状况,锁定故障点,及时排除故障,当然由于直流馈线并未最终

的负荷端,运行人员可以绘制更为详细的二级接线图,以方便下级支路的查找。

参考文献

[1] 贾秀芳. 直流系统绝缘监测综合判据[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(16): 47-49.

作者简介:

李俊儒(1982-),女,助理工程师,德阳电业局。

刘玲(1982-),女,助理工程师,德阳电业局。

赖民昊(1981-),男,助理工程师,成都电业局。

(收稿日期:2009-07-08)