

基于小波变换的双端行波测距新方法

郑州¹, 吕艳萍¹, 王杰², 吴凡¹

(1. 武汉大学 电气工程学院, 湖北省 武汉市 430072; 2. 湖北省电力勘测设计院, 湖北省 武汉市 430024)

A New Two-Terminal Traveling Wave Fault Location Method Based on Wavelet Transform

ZHENG Zhou¹, LÜ Yan-ping¹, WANG Jie², WU Fan¹

(1. College of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei Province, China;

2. Hubei Electric Power Survey & Design Institute, Wuhan 430024, Hubei Province, China)

ABSTRACT: A new two-terminal fault location method, which is not affected by traveling wave velocity and length of transmission line, is proposed. By means of phase-modulus transform of abrupt-changed voltage and current, the modulus maximum is solved by dyadic wavelet transform; by use of points corresponding to modulus maximums at both sides, the moments, when traveling waves arrive the buses, can be determined. By means of comparing the polarity, the reflected waves coming from faulty point and adjacent bus respectively can be well recognized; the ratio of fault distance to full length of transmission line can be calculated by the ratio of the times when initial traveling wave arrives buses at two terminals to the times when traveling wave reflected by faulty point arrives buses at two terminals; finally, by use of locating by tower, the faulty point is determined. Simulation results show that the proposed method is effective and possesses high location accuracy.

KEY WORDS: traveling wave velocity; dyadic wavelet transform; modulus maxima; locating by tower

摘要: 提出一种不受行波波速和线路长度变化影响的双端测距新方法。通过对电压、电流突变量进行相模变换, 采用二进小波变换求出模极大值; 利用两侧的模极大值对应点确定行波到达母线的时刻, 并且采用极性对照法很好地解决了故障点和相邻母线反射波的识别问题, 用初始行波与故障点反射行波到达两端母线的时刻之比计算故障距离与线路全长之比; 最后采用杆塔定位的方法确定故障点位置。仿真结果证明, 此方法有效且具有很高的精度。

关键词: 行波波速; 二进小波变换; 模极大值; 杆塔定位

0 引言

高压输电线路故障的准确定位对电网的安全稳定运行具有重要意义。通常, 电力系统故障测距主要有2类方法: 阻抗算法和行波法。行波法与阻抗算法相比有定位速度快, 准确度高且不易受线路参数、系统运行方式、故障类型和故障阻抗等

因素影响的优点, 具有很好的发展前景^[1-5]。

行波测距^[6-10]主要分为单端法和双端法。但无论是单端测距还是双端测距, 它们的测距精度都会受到实际线路长度变化和设定行波波速误差的影响。文献[11]利用地模和线模分量之间的时间延迟区分故障点反射波与对端母线反射波, 但该方法容易受到地模速度变化的影响。文献[12]利用行波极性来分辨故障点和对端母线反射波, 但在母线上有变压器且除故障线路外无其它出线的情况下, 母线反射波极性会发生变化, 此时该方法无法准确识别故障点反射波。

本文采用GPS对时系统进行双端同步采样, 利用小波变换模极大值的对应点确定初始行波和反射波到达双端母线的时刻, 通过电压、电流行波模极大值极性的差别来区别来自故障点以及相邻母线的反射波, 用时间之比计算故障距离与线路全长之比, 最后采用杆塔定位的方法找到故障点。计算过程中无需已知线路长度和行波波速, 测距精度不受实际线路长度变化和设定行波波速误差的影响。

由于普通电容分压式电压互感器不能传变频率高达数千Hz的行波信号^[13], 所以本文的研究方法以线路采用光电式电压、电流互感器为基础。

1 小波变换基本原理与奇异性检测

1.1 二进小波变换

函数 $\varphi(t)$ 为基本小波函数。由基小波的伸缩和平移所产生的函数族 $\varphi_{a,b} = |a|^{-1/2} \varphi[(t-b)/a]$ 被称为连续小波, 其中 a 为尺度因子, b 为平移因子。于是信号 $f(x)$ 的连续小波变换为

$$(W_{\varphi}f)(a,b) = |a|^{-1/2} \int f(x) \overline{\varphi\left(\frac{x-b}{a}\right)} dx = \langle f, \varphi_{a,b} \rangle \quad (1)$$

令 $a = 1/2^j$, 则 $\varphi_{2^{-j}, b}(t)$ 被称为二进小波, $(W_\varphi f)(1/2^{-j}, b) = \langle f, \varphi_{1/2^j, b} \rangle$ 称为信号 $f(x)$ 的二进小波变换。从 a 的取值可以看出, 二进小波变换可以将正频率轴划分为邻接的频带, 实现信号的无重叠全频分解。并且由于二进小波只对尺度参数 a 进行离散化, 而平移参数 b 仍然保持连续变化, 因此二进小波具有平移不变性, 使得它特别适合于信号的奇异性检测^[1]。

1.2 小波变换的奇异性检测理论

小波变换的模极大值被用来检测信号的奇异性。小波模极大值的定义如下:

$W_S f(x) (S = 2^j)$ 是函数 $f(x)$ 的小波变换, 在尺度 S 下, 在 x_0 的某一邻域, 对一切 $x \in (x_0 - \delta, x_0 + \delta)$ 有

$$|W_S f(x)| \leq |W_S f(x_0)| \quad (2)$$

则称 x_0 为小波变换的模极大值点, $W_S f(x_0)$ 为小波变换的模极大值。

小波变换的结果反映了信号在对应位置的变化率, 小波变换的模极大值说明信号在该点具有最大的变化率, 而这点又恰好对应行波信号到达测量母线的时刻。

2 不受波速影响的突变量行波测距

2.1 行波传播特性研究

2.1.1 行波在母线上的传播

行波测距理论基于行波的传播及反射, 而母线上的接线是不固定的, 这就引起行波到达母线时反射波的不确定性。从母线反射角度考虑, 实际系统的母线接线可归纳为以下 2 类: 第 I 类为母线上有变压器或无变压器, 且除故障线路外还有其它出线; 第 II 类为母线上有变压器, 除故障线路外, 没有其它出线。

应用彼得逊法则对行波在母线处的折反射规律进行分析, 所得结论如下(篇幅所限, 推导过程略): 1) 第 I 类母线电压行波反射率为负, 电流行波反射率为正; 随着出线条数 n 的增大、母线对地电容 C 的增大, 电压、电流反射率增加。2) 对于第 II 类母线电流行波的反射率随时间从 +1 到 -1 变化。

2.1.2 非故障线路相邻母线反射波的识别

初始行波在到达测量母线时不仅会发生反射, 还会发生折射。如果观测点所接母线的后面还接有长度小于故障距离的非故障线路, 其相邻母线的反射波将比故障点的反射波先一步达到测量点, 使得故障点反射波到达时刻标定错误, 造成测距失败。定义电压行波正方向为线路指向大地, 电流行波正

方向为从左到右。按图 1 建立仿真模型, 假设 P 母线上未接其它电气设备, 则电压、电流行波在母线 P 处的反射率分别为 1 和 -1。

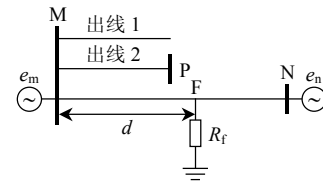


图 1 仿真模型

Fig. 1 Simulation model

设在距母线 M 50 km 处发生经过渡电阻 100 Ω 的单相接地故障, 其行波途径如图 2 所示。图 2 中: t_1 为初始行波到达母线 M 的时刻; t_2 为母线 P 的反射波到达母线 M 的时刻; t_3 为故障点的反射波到达母线 M 的时刻; t_4 为母线 P 二次反射波到达母线 M 的时刻; t_5 为母线 P 一次反射波再经过故障点反射后到达母线 M 的时刻; t_6 为母线 N 的反射波到达母线 M 的时刻。经 EMTP 仿真在观测点得到各对应时刻的电压、电流行波极性关系如表 1 所示。

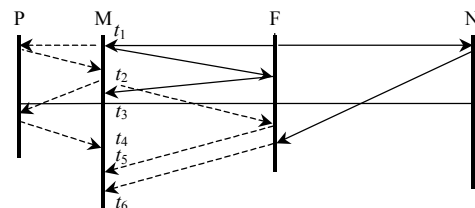


图 2 距母线 M 50 km 处发生故障时的行波折反射图

Fig. 2 Refraction and reflection of the wave when single phase to ground fault occurred at 50 km away from M end

表 1 极性关系对照表

Tab. 1 The concern of wave's polarity

项目	初始行波	故障点反射波	母线 P 的反射波	母线 N 的反射波		
对应时刻	t_1	t_3	t_5	t_2	t_4	t_6
电压行波	+	+	+	+	-	+
电流行波	-	-	-	+	-	-
极性关系	相反	相反	相反	相同	相同	相反

从表 1 中可以明显看出: 故障线路内的反射波到达母线 M 的电压、电流极性关系同初始行波一致, 而非故障母线的反射波到达母线 M 的电压、电流极性关系与初始行波不一致; 并且对于同为故障点反射波到达母线 M 时刻的 t_3 和 t_5 , 有 $t_3 < t_5$ 恒成立。根据这一特点, 就能很准确地区分出故障点的反射波和非故障线路相邻母线的反射波。这是因为故障点的反射波达到母线 M 前都经过偶次反射, 而非故障线路母线的反射波到达前都经过奇次反射。这种极性关系判别法即使遇到第 II 类母线使反射波极性发生变化的情况, 由于电压和电流行波是一致变化的, 所以不会影响判别的正确性。

2.1.3 行波在故障点处的传播

根据行波反射规律可知电流行波在故障点的反射率^[1]为

$$\rho_i = Z_0 / (2R_f + Z_0) \quad (3)$$

折射率为

$$\gamma_i = 1 + Z_0 / (2R_f + Z_0) \quad (4)$$

从式(4)(5)可知电流行波在故障点的反射率和折射率都随 R_f 增大而减小, 但折射率总大于 1。

2.2 相模变换

对于输电线路, 为了消除三相间耦合的影响, 本文选用系数都是整数的凯伦贝尔(Karenbauer)变换对三相电压、电流进行解耦, 以电流变换为例, 有

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \mathbf{S}^{-1} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} i_a + i_b + i_c \\ i_a - i_b \\ i_a - i_c \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: i_a 、 i_b 、 i_c 分别为保护安装处电流值; i_1 、 i_2 、 i_0 为解耦后的电流模分量。由于地模分量 i_0 要流经大地, 会受到很多干扰因素的影响, 所以本文采用线模分量 i_1 进行测距。

2.3 测距算法

本文采用双端行波信号测距, 系统模型如图 1 所示, 为了说明本方法在不同母线结构时的有效性, 建模时考虑 M 侧母线带多条出线, 而 N 侧母线和母线 P 均无其它出线。设线路全长为 L , 波阻抗为 Z_0 , 行波波速为 v , 在距离 M 侧母线为 d 处的 F 点经过渡电阻 R_f 发生短路故障, 行波折反射图见图 3。图中 t_1 、 t_3 和 t_2 、 t_4 分别为行波从故障点第 1 次、第 2 次到达 M 侧、N 侧母线的时刻。

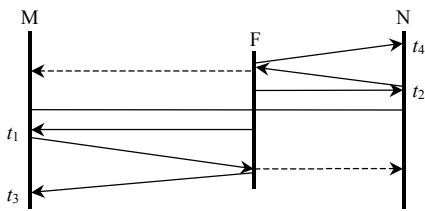


图 3 行波折反射图

Fig. 3 Refraction and reflection of the wave

当 $t_1 < t_2$ 时, 说明故障点靠近 M 侧母线, 所以 t_3 是故障点反射波到达 M 侧母线的时刻, t_4 为故障点折射波到达 N 侧的时刻。由于行波在线路上传播的过程中存在衰减, 作为需要检测的行波信号, 就要求它传播的距离越短越好。所以此时除两侧检测到的初始行波到达时刻 t_1 、 t_2 外, 只需检测故障点反射波到达 M 侧母线的时刻 t_3 , 构建测距方程组为

$$\begin{cases} (t_3 - t_1)v = 2d \\ (t_2 - t_1)v = L - 2d \end{cases} \quad (6)$$

解此方程组得

$$\frac{d}{L} = \frac{t_3 - t_1}{2(t_3 + t_2 - 2t_1)} \quad (7)$$

当 $t_1 > t_2$ 时, 说明故障点靠近 N 侧母线, 所以 t_4 是故障点反射波到达 N 侧母线的时刻, t_3 为故障点折射波到达 M 侧的时刻, 构建测距方程组为

$$\begin{cases} (t_4 - t_2)v = 2(L - d) \\ (t_2 - t_1)v = 2d - L \end{cases} \quad (8)$$

解此方程组得

$$\frac{d}{L} = \frac{2t_1 + t_4 - 3t_2}{2(t_1 + t_4 - 2t_2)} \quad (9)$$

从式(7)(9)可以看出, 此算法只需准确测得初始行波和故障点反射波到达两端母线的时刻, 就能计算出故障距离 d 与线路全长 L 的比值。为了消除周期性整次谐波干扰和减小负荷电流及频率变化对测距结果的影响, 本文采用电流行波的突变量进行分析, 其计算式^[14]为

$$\Delta i_k = \left| |i_k - i_{k-N}| - |i_{k-N} - i_{k-2N}| \right| \quad (10)$$

式中 N 为一个工频周期采样点数。本文选用具有很好信号奇异性检测能力的 hear 小波对故障信号进行二进小波变换, 选取其中第 1 层小波模极大值进行分析。

2.4 杆塔定位

如图 4 所示, 可将杆塔看作垂直于水平地面且高度相等的一组平行线, 杆塔间在地面上的连线和输电线的长度是对应成比例的, 故障点在路线全长的百分比位置与故障距离占杆塔地面距离全长的百分比位置近似相等^[15]。在实际线路上, 可根据各杆塔间的地面直线距离, 计算出各杆塔至测距装置安装处的长度与该线路总长(由各杆塔间的直线距离求和所得)之比, 并列成表格。当线路发生故障后, 由式(7)或式(9)计算的结果查表, 并能确定最靠近故障点的杆塔, 估测出故障点在输电线路上的位置。

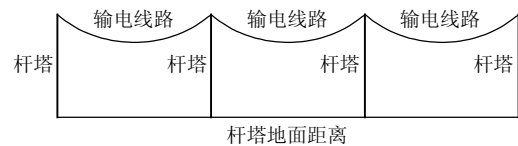


图 4 杆塔分布示意图

Fig. 4 Distribution of poles and towers

采用此方法不需知道线路实际长度(线路实际长度随温度和气候环境而改变, 难以确定), 只需知道杆塔间的地面直线距离, 这一距离是固定不变且便于实测的, 从而消除了线路长度变化对测距精度的影响, 因此这种故障定位方法更具有实用性。

3 仿真验证

为验证本文算法的正确性和有效性，采用 EMTP 进行线路故障仿真。系统接线见图 1，线路采用分布参数模型，具体参数为：全长 $L=400\text{ km}$ ， $r_1=0.02\text{ }\Omega/\text{km}$ ， $L_1=0.9\text{ mH}/\text{km}$ ， $C_1=0.0126\text{ }\mu\text{F}/\text{km}$ ， $r_0=0.3\text{ }\Omega/\text{km}$ ， $L_0=3\text{ mH}/\text{km}$ 。M 侧系统参数为： $R_{m1}=1.0515\text{ }\Omega$ ， $L_{m1}=0.13743\text{ H}$ ， $R_{m0}=0.6\text{ }\Omega$ ， $L_{m0}=0.0926\text{ H}$ 。N 侧系统参数为： $R_{n1}=2.5556\text{ }\Omega$ ， $L_{n1}=0.14298\text{ H}$ ， $R_{n0}=1.9458\text{ }\Omega$ ， $L_{n0}=0.11927\text{ H}$ 。两侧母线每相对地电容均为 $C=0.01\text{ }\mu\text{F}$ 。两侧电源参数为： $\dot{E}_m=500\angle 0^\circ\text{ kV}$ ， $\dot{E}_n=500\angle -30^\circ\text{ kV}$ 。出线 1 和 2 的长度分别为 600、30 km，采样频率为 1 MHz。

设在线路 MN 上距 M 侧母线 50 km 处经过渡电阻 $R_f=100\text{ }\Omega$ 发生单相接地故障。对两侧获取的三相电流，经相模变换后求得 1 模电流的突变量波形见图 5。可看出，突变量电流波形在初始行波到达母线时都产生明显的突变。①、②代表 M、N 侧电流初始行波到达时的模极大值，其对应时刻分别为 $t_1=50\text{ }167\text{ }\mu\text{s}$ 、 $t_2=51\text{ }175\text{ }\mu\text{s}$ 。因为 $t_1 < t_2$ ，所以需要找出故障点反射波到达 M 侧母线的时刻。由于存在非故障线路相邻母线反射波的影响，需要采用电压、电流行波极性关系判别法来确定故障点的反射波到达时刻。

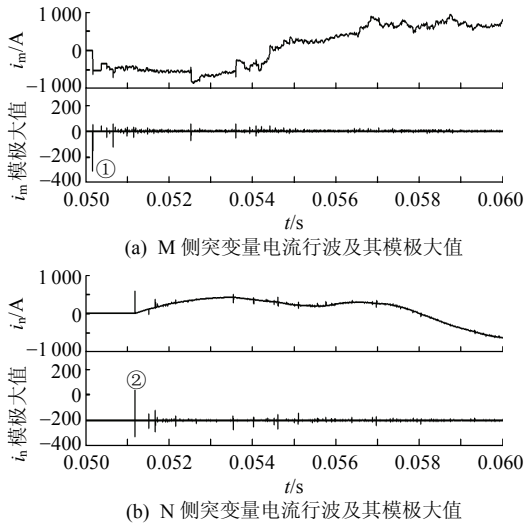


图 5 两侧电流行波及其模极大值

Fig. 5 Current and modulus maxima at both ends of line

M 侧母线处测得的电压、电流行波见图 6。可以看出：①代表初始行波的模极大值，其电压极性为+，电流极性为-；而故障点反射波的电、电压模极大值极性关系应与初始行波一致，符合这一特征且最靠近初始行波到达时刻的是③处。虽然②代表的行波比故障点反射波先到达母线 M，但它的电

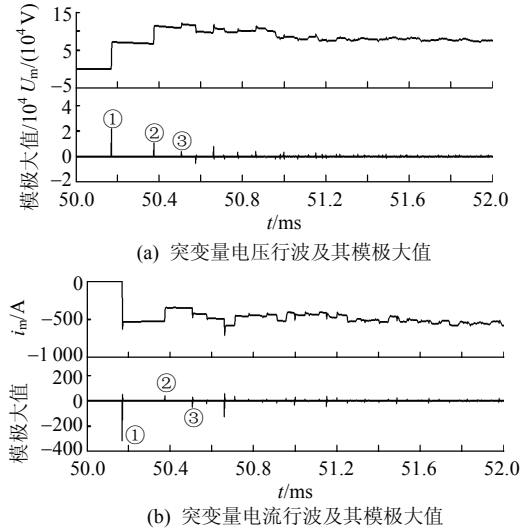


图 6 M 侧行波及其极大值

Fig. 6 Traveling wave of M-bus and modulus maximum

压、电流极性关系与初始行波不一致，所以它代表的是非故障线路相邻母线的反射波。于是确定故障点反射波到达母线 M 的时刻 $t_3=50.303\text{ ms}$ 。按式(7)计算得到 $d/L=0.125=50/400$ ，计算结果相当精确。

在不同故障距离和过渡电阻下的仿真测距结果如表 2 所示。可以看出：在不同的距离处，经大小不同的过渡电阻发生故障，本文算法都有很高的测距精度。尽管过渡电阻的存在会降低故障点反射波的幅值，但是 500 kV 线路发生故障的过渡电阻一般 $\leq 300\text{ }\Omega$ ，这时故障点的反射率最小也能达到 2/5，故障初始行波和故障点反射波到达母线的时刻仍能准确得到，所以一般情况下过渡电阻的大小不影响本文算法的测距精度。

表 2 测距仿真结果

Tab. 2 Simulation results

过渡电阻/ Ω	不同故障距离下的故障比例(d/L)				
	$d=20\text{ km}$	$d=50\text{ km}$	$d=200\text{ km}$	$d=350\text{ km}$	$d=380\text{ km}$
100	0.0501	0.125	0.50	0.8744	0.9493
200	0.0501	0.125	0.50	0.8744	0.9493
300	0.0501	0.125	0.50	0.8744	0.9493

当线路实际长度变化或设定波速与实际波速有误差时，本文算法和一般 D 型双端行波测距法(D 型双端行波测距公式为 $\frac{d}{L} = \frac{[v(t_1 - t_2) + L]}{2L}$ ，式中各参数的含义与本文公式都相同)的测距结果比较见表 3。由表 3 可见，线路实际长度的变化和波速的误差，对本文算法的精度基本没有影响，而对于一般的 D 型算法，这 2 个参数很小的改变都将严重影响测距精度。在相同的条件下，本文提出的方法比 D 型算法有更高的测距精度。

表3 2种算法测距结果比较

Tab. 3 Fault location results comparison of two algorithms

故障距离/km	故障比例	线路长度变化(+1%)		线路长度变化(-1%)		波速误差(+0.1%)		波速误差(-0.1%)	
		本文算法	D型算法	本文算法	D型算法	本文算法	D型算法	本文算法	D型算法
20	0.05	0.0501	0.0455	0.0501	0.0545	0.0501	0.0496	0.0501	0.0505
50	0.125	0.125	0.1213	0.125	0.1288	0.125	0.1246	0.125	0.1254
200	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
350	0.875	0.8744	0.8788	0.8744	0.8712	0.8744	0.8764	0.8744	0.8734
380	0.95	0.9493	0.9545	0.9493	0.9455	0.9493	0.9523	0.9493	0.9477

4 结论

本文提出一种不受波速和线路实际长度变化影响的测距算法。利用突变量行波有效消除了故障波形中存在的周期性整次谐波的影响,采用小波变换模极大值确定出行波到达测量母线的准确时间,并用极性对照法识别来自故障点或相邻母线的反射波,用时间之比计算故障距离和线路全长之比,然后应用杆塔定位的方法找到故障点位置。该方法无需已知行波波速,消除了因波速误差而造成的测距误差,且不受线路实际长度变化的影响,简便易行,测距精度高,具有很高的实用性。

参考文献

- [1] 葛耀中. 新型继电保护和故障测距的原理与技术[M]. 2版. 西安: 西安交通大学出版社, 2007: 181-240.
- [2] 郭林勇, 何正友, 钱清泉. 单端行波故障测距的频域方法[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(25): 99-102.
Wu Linyong, He Zhengyou, Qian Qingquan. A frequency domain approach to single-ended traveling wave fault location[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(25): 99-102(in Chinese).
- [3] 董新洲, 葛耀中, 徐丙垠. 利用暂态电流行波的输电线路故障测距研究[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(4): 76-80.
Dong Xinzhou, Ge Yaozhong, Xu Bingyin. Research of fault location based on current traveling waves[J]. Proceedings of the CSEE, 1999, 19(4): 76-80(in Chinese).
- [4] 于玉泽, 覃剑, 李功新, 等. 电缆-架空线混合线路故障测距方法综述[J]. 电网技术, 2006, 30(17): 64-69.
Yu Yuze, Qin Jian, Li Gongxin, et al. A survey on fault location methods for hybrid transmission lines consisting of power cables and overhead lines[J]. Power System Technology, 2006, 30(17): 64-69(in Chinese).
- [5] 王绍部, 舒乃秋, 龚庆武, 等. 计及TA传变特性的输电线路行波故障定位研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(2): 88-92.
Wang Shaobu, Shu Naiqiu, Gong Qingwu, et al. Study on traveling wave fault location reckoning with transfer characteristic of TA[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(2): 88-92(in Chinese).
- [6] 覃剑, 葛维春, 邱金辉, 等. 输电线路单端行波测距法和双端行波测距法的对比[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(6): 92-95.
Qin Jian, Ge Weichun, Qiu Jinhui, et al. Study on single terminal method and double terminal method of traveling wave fault location in transmission line[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(6): 92-95(in Chinese).
- [7] 覃剑, 葛维春, 邱金辉, 等. 影响输电线路行波故障测距方法的主要因素分析[J]. 电网技术, 2007, 31(2): 28-35.
Qin Jian, Ge Weichun, Qiu Jinhui, et al. Analysis of the main influence factors for transmission line fault location methods based on traveling wave[J]. Power System Technology, 2007, 31(2): 28-35(in Chinese).
- [8] 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.
Qin Jian, Chen Xiangxun, Zheng Jianchao, et al. A new double terminal method of traveling wave fault location using wavelet transform[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(8): 6-10(in Chinese).
- [9] 覃剑. 输电线路单端行波故障测距的研究[J]. 电网技术, 2005, 29(15): 65-70.
Qin Jian. Study on single terminal travelling wave fault location of transmission line[J]. Power System Technology, 2005, 29(15): 65-70(in Chinese).
- [10] 郭林勇, 何正友, 钱清泉. 一种提取行波自然频率的单端故障测距方法[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(10): 69-75.
Wu Linyong, He Zhengyou, Qian Qingquan. A single ended fault location method using traveling wave natural frequency[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(10): 69-75(in Chinese).
- [11] Abur A, Mangnago F H. Use of delays time between model components in wavelet based fault location[J]. Electrical Power and Energy Systems, 2000, 22(6): 397-403.
- [12] 黄子俊, 陈允平. 基于小波变换模极大值的输电线路单端故障定位[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(2): 10-13.
Huang Zijun, Chen Yunping. Non-communication fault locating of transmission line based on wavelet modulus maxima[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(2): 10-13(in Chinese).
- [13] 艾斌, 吕艳萍. 基于小波模极大值极性的行波信号识别[J]. 电网技术, 2003, 27(5): 55-57.
Ai Bin, Lü Yanping. Traveling wave signal identification based on wavelet polarity of modulus maxima[J]. Power System Technology, 2003, 27(5): 55-57(in Chinese).
- [14] 杨奇逊, 黄少锋. 微型继电保护基础[M]. 2版. 北京: 中国电力出版社, 2007: 79-82.
- [15] 索南加乐, 张怿宁, 齐军, 等. 基于参数识别的时域法双端故障测距原理. 电网技术, 2006, 30(8): 65-68.
Suonan Jiale, Zhang Yining, 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): 65-68(in Chinese).



郑州

收稿日期: 2009-07-27.

作者简介:

郑州(1986—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统继电保护, E-mail: wudadianqi@163.com;

吕艳萍(1955—), 女, 教授, 主要研究方向为电力系统继电保护。

(责任编辑 李兰欣)