

对不受波速影响的输电线路单端行波法故障测距的探讨

束洪春^{1,2}, 李义³, 宣映霞⁴, 王超¹, 孙向飞², 张杰¹

(1. 昆明理工大学电力学院, 云南 昆明 650051; 2. 哈尔滨工业大学电气工程系, 黑龙江 哈尔滨 150001;
3. 云南华电镇雄发电有限公司, 云南 镇雄 657200; 4. 昆明供电局, 云南 昆明 650051)

摘要: 在不受波速影响的行波法测距研究中, 必须注意研究暂态初始行波、故障点反射波、对端母线反射波相互间的极性关系。而波形处理工具也将影响测距结果。该文通过分析故障初始行波、故障点反射波、对端母线反射波的极性关系来区别不同的行波分量, 以暂态电流行波为分析对象, 并用数学形态学检测故障波形, 对不受波速影响的单端测距算法进一步研究。

关键词: 单端行波法; 波速; 极性; 故障测距; 数学形态学

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)08-0001-06

0 引言

目前, 已投运的输电线路行波故障测距装置中, 无一例外地采用双端行波法作为主要的故障测距算法。双端行波法的最大优点就是它的可靠性较高, 其不足之处在于它要用到线路两侧的故障行波信息, 这势必需要专用的通信通道, 同时必须在线路两侧都装设测距设备, 线路两侧有时隶属两个不同的电力部门, 受电力管理体制所限, 实际操作起来并不方便。而单端行波法只用到线路一侧的行波信息, 相比较而言其投资小, 运行方便。此外, 单端行波法是测距式行波保护的重要基础, 测距结果将对继电保护的动作性能产生直接影响^[1~4]。正因为这些原因, 电力系统工学界仍致力于单端行波法测距的研究, 并取得了一定成果^[5~12]。现阶段, 对于单端行波法的研究主要集中在如何进一步提高其可靠性和测距精度两个方面。众所周知, 行波波速对单端行波法测距精度的影响不容忽视。波速的计算公式基于无损线^[13], 而实际的波速受到线路参数频变及地理位置、气候等诸多因素的影响, 线路电阻对于波速也存在一定影响。国内一些学者提出用实测的方法来解决波速问题, 然而对于每条不同地理位置的线路进行实测波速是不现实的。文献[5, 6]分别提出不受波速影响的行波测距新方法, 从原理上说具有一定的优越性。其中文献[6]提出了基于单端行波法的算法, 因此如果算法能够成立, 无疑将把现有的单端行波法测距精度提高到一个新的水平。但是文献[6]中还有一些重要的问题

值得商榷。主要体现在三个方面: 第一, 文中用到的是暂态电压行波分量, 这就必须解决电压行波分量的提取问题, 此有赖于光学互感器工程实用化进程, 要不然就只能采用专门的电压行波耦合设备, 而这将提高行波测距装置的性能价格比; 第二, 文中所用判据, 即利用到的初始行波、故障点反射波、相邻母线反射波相互间的极性关系, 当且仅当两侧母线均为开路且不考虑变压器及母线分布电容的特殊情况下方能成立; 第三, 文中行波信号的奇异性检测工具用到的是 DB5 小波, DB 小波系均为正交小波。根据信号检测的需要, 往往得对信号作多层的小波分解, 在时频转换时, 就难免会发生相移现象, 因此 DB 小波对行波信号的奇异性定位并不具有优势^[13]。数学形态学的一大优势就是它并不涉及时频转换, 也就不存在相移问题。此外数学形态学只涉及到布尔运算, 其运算量相对较小。因此本文采用数学形态学方法来检测行波信号的奇异性。为更进一步提高现有单端测距算法的测距精度, 本文将在深入分析行波传播特点和信号奇异性检测工具的基础上, 尝试提出用电流行波来实现不受波速影响的精确测距算法, 本算法定位为现有单端测距算法的一种补充算法。

1 暂态初始行波、故障点反射波、对端母线反射波的相互极性关系

在输电线路行波故障测距中, 各行波分量的极性关系十分重要。按照它们相互间的极性关系, 可以有效地辨识出测量母线处各暂态行波分量的性质。本文仅讨论暂态初始行波、故障点反射波、对端母线反射波相互间的极性关系。对于相邻母线反射波可以采用现行的方向行波法或特征行波法消除其

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50347026, 50467002); 云南省科技攻关项目 (2003GG10); 云南省自然科学基金项目 (2005F0005Z, 2002E0025M, 2004E0020M)

影响,或加以利用构造新的测距算法,这不在本文讨论范围之内。

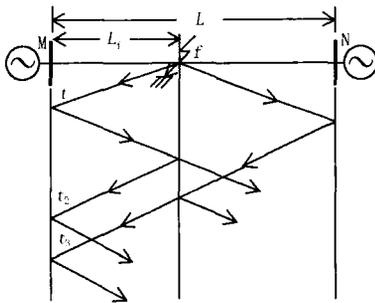


图 1 行波网格图

Fig 1 Lattice diagram of travelling waves

根据文献 [7] 本文将母线分为三类:第一类,母线上接有三回及以上进出线同时接有变压器;第二类,母线上接有两回进出线同时接有变压器;第三类,母线上只接有故障线路而无其它出线。当输电线路发生故障时,如图 1 行波将在波阻抗不连续点持续发生折反射现象。根据文献 [14] 令折射系数:

$$= 2Z_2 / (Z_1 + Z_2) \quad (1)$$

反射系数:

$$= (Z_2 - Z_1) / (Z_1 + Z_2) \quad (2)$$

同时令 M 为测量母线,根据行波的折反射规律可知 M 处故障暂态电压为:

$$u_m(t) = (1 + m) u_f(t - m) + m_r(1 + m) u_f(t - 3m) + n_r(1 + m) u_f(t - 2n - m) + \dots \quad (3)$$

故障暂态电流为:

$$i_m(t) = -(1 - m) u_f(t - m) / Z - m_r(1 - m) u_f(t - 3m) / Z - n_r(1 - m) u_f(t - 2n - m) / Z + \dots \quad (4)$$

为讨论方便,将暂态电流行波分解为暂态初始行波分量、故障点反射波分量、对端母线反射波分量、相邻母线反射波分量。

1) 故障初始行波分量

$$u_1(t) = (1 + m) u_f(t - m) \quad (5)$$

$$i_1(t) = -(1 - m) u_f(t - m) / Z \quad (6)$$

2) 故障点反射波分量

$$u_2(t) = m_r(1 + m) u_f(t - 3m) + \dots \quad (7)$$

$$i_2(t) = -m_r(1 - m) u_f(t - 3m) / Z + \dots \quad (8)$$

3) 对端母线反射波分量

$$u_3(t) = n_r(1 + m) u_f(t - 2n - m) + \dots \quad (9)$$

$$i_3(t) = -n_r(1 - m) u_f(t - 2n - m) / Z + \dots \quad (10)$$

式 (3) ~ (10) 中的 m 为行波在线路 Mf 段的传

播时间, n 为行波在线路 Nf 段的传播时间。 m 为行波在母线 M 处的反射系数, r 为行波在故障点 f 的反射系数, n 为行波在母线 N 处的反射系数, t 为行波在故障点处的折射系数, Z 为线路 MN 的波阻抗。

可见各行波分量间的极性关系由各折反射系数决定:当母线 M、N 均为第一类母线时,必有 m 、 n 小于零;当母线 M、N 为第二类母线时,由于变压器及母线部分电容的影响,初始反射系数为 -1 ;当母线 M、N 为第三类母线时,结论类似于第二类母线。即 r 也小于零且与过渡电阻的大小无关。也即故障点反射波分量与初始行波极性相同,而对端母线反射波与初始行波极性相反。这个结论对于暂态电压及电流行波均成立。要注意的是当母线为第二类或第三类母线时,行波的极性会出现翻转现象,但初始行波、故障点反射波、对端母线反射波三者间的相对极性不变。另外,母线处开路时各反射系数为 $+1$,由于本段线路故障时,本端母线、对端母线开路的机率相当小,而且对于母线一般要考虑其对地的分布电容,因此本文不对母线开路的情况作专门讨论。根据前言部分的结论,本文应用暂态电流行波作为分析对象。

2 数学形态学方法分析行波信号的原理

作为一种表现优异的时频分析方法,小波变换已在电力系统工学中得到了广泛应用^[15]。DB 系列小波是当今应用最为广泛的小波之一。它具有正交性和紧支性的特点,在用 Mallat 算法作分解和回复运算时,在运算速度上具有一定的优势。但 DB 小波的不足之处就是它不具有对称性,将它应用于行波信号的奇异点检测并作多层分解时,存在相移现象。事实上在行波信号的处理中,一般采用光滑函数的导数来构造小波,应用最多的是 Marr 小波和 B 样条小波。不管应用哪一种小波,在进行行波信号处理时都必须进行多层分解。但是小波变换是一种基于卷积的递推算法,在进行多尺度变换时,其计算量相当可观,这大大影响了小波变换在实时处理方面的应用。目前,数学形态学已成功引入电力系统故障工程信号处理。在滤波、消噪、变压器励磁涌流的识别、超高速暂态线路保护、高压线路故障测距,以及动态电能质量波形辨识等方面的相关研究已取得一些成果^[16-19]。文献 [17] 指出利用数学形态学分析电力系统暂态信号具有幅值不衰减、相位不偏移且计算简单等优势。本文采用数学形态学中的形态梯度概念进行行波信号奇异点检测。由于电力系统中待分析信号

为一维信号,为此给出如下定义^[17,20]:

定义 1:令 $f(x)$ 和 $b(x)$ 分别表示一维采样信号和结构元素, D_f 和 D_b 分别表示 $f(x)$ 和 $b(x)$ 的定义域。用结构元素 $b(x)$ 对信号 $f(x)$ 进行的灰度膨胀定义为:

$$(f \oplus b)(s) = \max\{f(s-x) + b(x); s-x \in D_f, x \in D_b\} \quad (11)$$

用结构元素 $b(x)$ 对信号 $f(x)$ 进行的灰度腐蚀定义为:

$$(f \ominus b)(s) = \max\{f(s+x) - b(x); s+x \in D_f, x \in D_b\} \quad (12)$$

利用灰度膨胀和腐蚀可以构造出灰度的开闭运算,用于滤波和消噪。

定义 2:设计一种可变并具有不同原点位置的扁平结构元素如下:

$$b^+ = \{b_1, b_2, \dots, b_{l-1}, \underline{b_l}\} \quad (13)$$

$$b^- = \{\underline{b_1}, b_2, \dots, b_{l-1}, b_l\} \quad (14)$$

其中结构元素 b^+ 和 b^- 分别用来对应于暂态波中上升沿和下降沿的提取。结构元素宽度为 L , 在 b^+ 和 b^- 中的下划线采样点 b_l 分别表示它们的原点位置。

简化的二值多分辨形态梯度定义为:

$$f_{b^+}(n) = (f \oplus b^+)(n) + (f \ominus b^+)(n) \quad (15)$$

$$f_{b^-}(n) = (f \oplus b^-)(n) + (f \ominus b^-)(n) \quad (16)$$

$$Grad_b(n) = f_{b^-}(n) - f_{b^+}(n) \quad (17)$$

上式中 $f_{b^+}(n)$ 和 $f_{b^-}(n)$ 符号正好与暂态波形中的上升沿和下降沿相对应。因此式 (17) 中的 $Grad_b(n)$ 不仅能够定位信号波形中的暂态突变,而且还能够指示出其变化的极性。本文将采用此形态梯度来检测行波信号的奇异性。

3 利用对端母线反射波进行故障精确定位的方法

由第一节的讨论可知,暂态初始行波、故障点反射波三者之间极性相同,而对端母线反射波与这二者间极性相反。数学形态学中的二值多分辨形态梯度可以有效地将各行波分量的极性辨识出来,从而实现准确的行波性质的判别和定位。不妨令故障发生的绝对时间为 t_0 , 初始行波到达时间为 t_1 , 故障点反射波到达的时间为 t_2 , 对端母线反射波到达的时间为 t_3 , 故障线路总长为 L , 故障距离为 l_1 。

现有单端算法测距方程为:

$$l_1 = v_1(t_2 - t_1) / 2 \quad (18)$$

或者为:

$$l_1 = L - v_1(t_3 - t_1) / 2 \quad (19)$$

而在能同时检测到故障初始行波、故障点反射波、对端母线反射波的前提下,根据文献 [6] 得如下方程:

$$v(t_1 - t_0) = l_1 \quad (20)$$

$$v(t_2 - t_0) = 3l_1 \quad (21)$$

$$v(t_3 - t_0) = 2L - l_1 \quad (22)$$

联立求得:

$$l_1 = (t_2 - t_1)L / (t_2 + t_3 - 2t_1) \quad (23)$$

在上述设定中,假定故障点反射波先于对端母线反射波到达。如果对端母线反射波先于故障点反射波到达测量母线,则测距方程调整为:

$$l_1 = (t_3 - t_1)L / (t_2 + t_3 - 2t_1) \quad (24)$$

由上述可知,该方法完全消除了波速的影响。其测距精度在理论上而言要比现有单端测距算法高。需要注意的是在某些特殊情况下,如近测量端(或是远测量端)故障时,可能会发生波形混叠现象,仿真表明行波发生两次折反射后就基本衰减至不可测量,但是也不排除在这种情况下对端母线反射波(或是故障点反射波)检测困难的情况出现。即有可能难以同时检测到故障点反射波和对端母线反射波。因此本算法的可靠性不如现有单端测距算法,但不妨将之作为现有单端测距算法的一种补充。在现场使用时,用现有单端法进行测距,然后用本算法作验证。当两者能同时成功测距时以本算法的测距结果为准;当本算法失效时,以现有单端法测距结果为准,以期尽可能提高测距的精度。

4 电磁暂态仿真试验

本文应用 Matlab 的 PSB 模块进行数字仿真。仿真的 500 kV 电力系统如图 2。篇幅限制,本文仅对测量母线进行分类讨论,并给出 A 相接地的仿真结果。仿真分作两步,首先对测量母线 M 为第一类、第二类、第三类三种情况的故障暂态电压、电流行波的传播特点及极性关系进行相关说明;其次对其中一种情况进行故障测距结果的仿真。为突出分析的重点,设相邻非故障线路相对于故障线路为无限长。

线路结构参数为: $R_0 = 0.2046884 \text{ } \Omega/\text{km}$, $R_1 = 0.0295519 \text{ } \Omega/\text{km}$; $L_0 = 0.002083014 \text{ H/km}$, $L_1 = 0.00088548 \text{ H/km}$; $C_0 = 0.009081663 \text{ } \mu\text{F/km}$, $C_1 = 0.01319818 \text{ } \mu\text{F/km}$ 。母线对地电容取 0.01

μF 。线路 MN 长度为 200 km, 采样频率为 1 MHz。

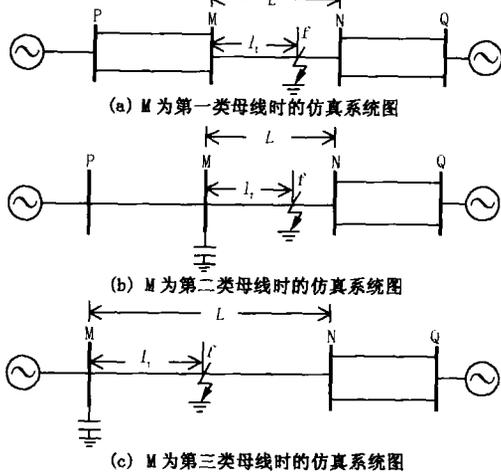


图 2 仿真系统图

Fig 2 Simulated power system

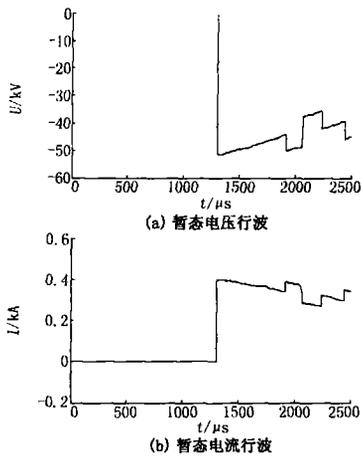


图 3 M 为第一类母线时的暂态行波

Fig 3 Transient travelling waves when bus M belongs to the first type

图 3 至图 5 给出了当测量母线 M 分别为第一、二、三类母线的暂态波形图, 从图中可以看出, 不论测量母线属于哪一类母线, 电流行波都将发生较为明显的反射。从仿真图中还可进一步看出不论对于电压行波还是电流行波都有如下关系成立: 暂态初始行波波头与故障点反射波波头极性相同, 而对端母线反射波波头与这两者极性相反。当 M 属于第二、三类母线时由于分布电容的作用, 电流行波发生正的全反射后又呈指数衰减, 而电压行波发生负的全反射后呈指数上升, 行波的极性翻转现象较为明显。但是初始行波波头、故障点反射波波头、对端母线反射波波头三者间的相对极性不变。而母线开路时的极性关系不在本文讨论范围之内。

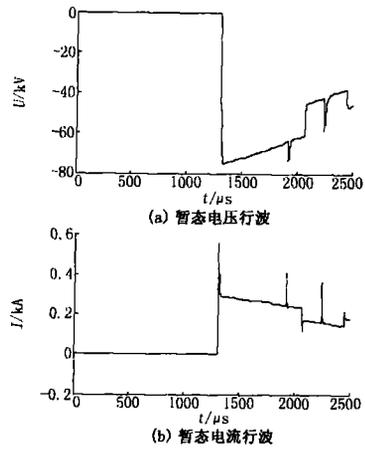


图 4 M 为第二类母线时的暂态行波

Fig 4 Transient travelling waves when bus M belongs to the second type

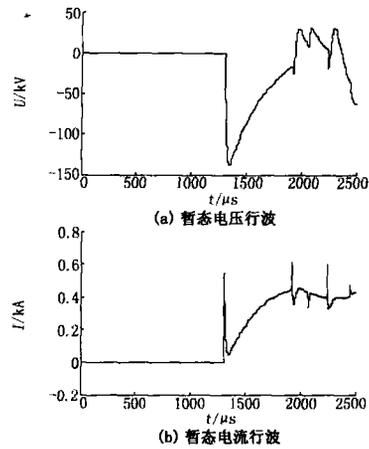


图 5 M 为第三类母线时的暂态行波

Fig 5 Transient travelling waves when bus M belongs to the third type

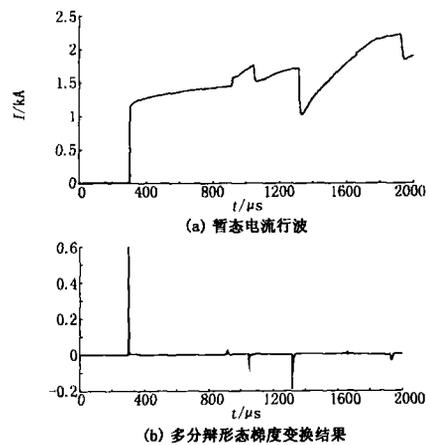


图 6 暂态电流行波及其多分辨形态梯度分析

Fig 6 Transient current travelling waves and its analysis using the multi-resolution morphological gradient

图 6给出了一种故障距离为 90 km时的暂态电流行波波幅图及多分辨形态梯度的检测结果。根据形态变换结果可以看出利用多分辨形态梯度进行波形的奇异性检测时,在定位各行波到达时刻的同时也检测出了行波的极性。从多分辨形态梯度可以确定暂态初始行波、故障点反射波、对端母线反射波到达时刻分别为: $t_1 = 0.000302$ s, $t_2 = 0.000912$ s, $t_3 = 0.001048$ s。取波速度为 $v = 292500$ km/s,根据式(18)可得 $l_1 = 89.21$ km,而根据式(23)可得 $l_2 = 89.97$ km,可见本算法比现有单端测距算法更准确地定位出了故障点。值得注意的是如果将与初始行波极性相反的行波分量认定为故障点反射波,而将极性相同的行波分量认定为对端母线反射波,则此时的测距结果为 $l_1 = 110.295$ km。显然测距结果错误。

需要说明的是本文在仿真过程中并没有专门讨论相邻线路行波及模量间的耦合问题,关于此问题将另外行文讨论,此处不再赘述。

5 结论

1) 利用初始行波、故障点反射波、对端母线反射波三种行波的算法去除了波速度的影响,测距精度比常规算法有了较大的提高。

2) 本文所提的是基于暂态电流行波的测距算法,因此可实现性强;而根据数学形态学算法原理上的优越性使利用多分辨形态梯度处理行波波形的技术有望在今后实用化。

3) 当母线类型为第二类或第三类母线时,行波极性会产生翻转,这是所有基于单端法测距都会遇到的问题,本方法也不例外。需要对极性翻转现象的有效检测及测距结果的可靠性作更进一步的研究。

4) 本文所提算法也存在一些不足之处,如在文中所述的某些特殊情况下可能会造成测距困难。因此从工程应用角度而言,本文算法是对现有单端测距算法的一种补充,着眼于进一步提高测距的精度。

5) 母线及变压器分布电容的处理方法尚需进一步的研究。对于各种电气设备行波模型的研究仍是今后行波测距研究的重点。

参考文献:

[1] 束洪春,司大军,陈学允. 输电线路行波测距式距离保护方法研究[J]. 华北电力大学学报, 2003, 30(4): 1-5.

- SHU Hong-chun, SI Da-jun, CHEN Xue-yun Study on Distance Protection Scheme Based on Traveling Wave Fault Location[J]. Journal of North China Electric Power University, 2003, 30(4): 1-5.
- [2] 司大军. 输电线路行波保护新方法研究(博士学位论文)[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2004.
SIDa-jun The New Approach Research on Transmission Line Protections Based on Traveling Wave, Doctoral Dissertation [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2004.
- [3] 束洪春,司大军,陈学允. 基于分布参数模型的串补线路故障测距方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 22(4): 72-76.
SHU Hong-chun, SI Da-jun, CHEN Xue-yun Study on Location Faults on Series Compensated Lines Based on Distributed Parameter Line Model[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 22(4): 72-76.
- [4] 束洪春,司大军,葛耀中. 高压输电线路电弧故障单端定位时域法新解[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(11): 25-30.
SHU Hong-chun, SI Da-jun, GE Yao-zhong A New Time-domain Method for Locating Arc Fault in EHV Transmission Line Using One Terminal Data[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(11): 25-30.
- [5] 邓军波,施围. 输电线路接地故障行波测距新方法[J]. 继电器, 2000, 28(8): 16-18.
DENG Jun-bo, SHI Wei A New Technique of Earth Fault Location[J]. Relay, 2000, 28(8): 16-18.
- [6] 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]. 电力自动化设备, 2004, 24(12): 29-33.
JIANG Tao, LU Yu-ping Study of Fault Locating Based on Single Terminal Traveling Waves Avoiding Wave Speed Influence [J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(12): 29-33.
- [7] 董新洲. 小波理论应用于输电线路故障测距研究(博士学位论文)[D]. 西安:西安交通大学, 1996.
DONG Xin-zhou Application of Wavelet Transform to Transmission Line Fault Location, Doctoral Dissertation [D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 1996.
- [8] 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, 25(7): 36-39.
LI You-jun, WANG Jun-sheng, ZHENG Yu-ping, et al Comparison of Several Algorithms of Traveling Wave Based Fault Location [J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(7): 36-39.
- [9] 陈平,徐丙垠,葛耀中,等. 一种利用暂态电流行波的输电线路故障测距方法[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(14): 29-32.

- CHEN Ping, XU Bing-yin, GE Yao-zhong, et al. A Novel Method for Fault Location of Transmission Lines Using Fault Transient Current Traveling Waves[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(14): 29-32
- [10] 董新洲, 刘建政, 余学文. 输电线路暂态电压行波的故障特征及其小波分析[J]. 电工技术学报, 2001, 16(3): 57-61.
- DONG Xin-zhou, LIU Jian-zheng, YU Xue-wen. Fault Characteristics and Wavelets Analysis of the Transient Voltage Traveling Waves[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2001, 16(3): 57-61.
- [11] 覃剑, 陈祥训, 郑健超. 不同故障类型情况下行波传播特点的研究[J]. 电网技术, 1999, 23(1): 54-48
- Q N Jian, CHEN Xiang-xun, ZHENG Jian-chao. Study on Traveling Wave Propagation Under Different Types of Faults[J]. Power System Technology, 1999, 23(1): 54-48
- [12] 覃剑, 陈祥训. 基于小波变换技术的新型输电线路故障测距系统[J]. 国际电力, 2001, 5(4): 31-35
- Q N Jian, CHEN Xiang-xun. A New Type of Transmission Line Fault Location System Using Wavelet Transform[J]. International Electric Power for China, 2001, 5(4): 31-35.
- [13] 徐长发, 李国宽. 实用小波方法[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2004
- XU Chang-fa, LI Guo-kuan. Practical Wavelet Method[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2004.
- [14] 吴维韩, 张芳榴, 等. 电力系统过电压数值计算[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- WU Wei-han, ZHANG Fang-liu, et al. Power System Overvoltage Numerical Method[M]. Beijing: Science Press, 1989.
- [15] 王晶, 束洪春, 陈学允. 小波变换电力系统工学应用综述[J]. 电网技术, 2003, 27(6): 52-63.
- WANG Jing, SHU Hong-chun, CHEN Xue-yun. A Survey of Wavelets Transform Applying to Power System Engineering[J]. Power System Technology, 2003, 27(6): 52-63.
- [16] Zhang D J, Li Q, Zhang J F, et al. Improving the Accuracy of Single-ended Transient Fault Locations Using Mathematical Morphology[A]. IEEE/CSEE International Conference on Power System Technology, Kunming(China): 2002. 788-792
- [17] 吴青华, 张东江. 形态滤波技术及其在继电保护中的应用[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(7): 45-49.
- WU Qing-hua, ZHANG Dong-jiang. Morphological Filtering Techniques and Applications in Protection Relaying[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(7): 45-49.
- [18] 束洪春, 王晶, 陈学允. 动态电能质量扰动的多尺度形态学分析[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(4): 63-67.
- SHU Hong-chun, WANG Jing, CHEN Xue-yun. Multi-scale Morphology Analysis of Dynamic Power Quality Disturbances[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(4): 63-67.
- [19] 束洪春, 王晶, 陈学允. 动态电能质量波形辨识的暂态分析方法[J]. 华北电力大学学报, 2004, 31(2): 1-4.
- SHU Hong-chun, WANG Jing, CHEN Xue-yun. Fractal Exponent Wavelet Analysis of Dynamic Power Quality[J]. Journal of North China Electric Power University, 2004, 31(2): 1-4.
- [20] 崔屹. 图像处理与分析——数学形态学方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- CU I Yi. Image Processing and Analyzing——Morphological Methods and Application[M]. Beijing: Science Press, 2000.

收稿日期: 2005-09-20; 修回日期: 2005-12-09

作者简介:

束洪春(1961-),男,博士后,教授,博导,主要研究新型继电保护与故障测距、数字信号处理及DSP应用、电力系统CT技术等;E-mail: kmshc@163.com

李义(1966-),男,高工,从事电力系统新型继电保护研究;

宣映霞(1974-),女,工程师,从事负荷预测研究。

Discussion on the single ended approach based on travelling wave to fault location that can avoid the effect of wave speed

SHU Hong-chun^{1,2}, LI Yi³, XUAN Ying-xia⁴, WANG Chao¹, SUN Xiang-fei², ZHANG Jie¹

(1. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China; 2. Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 3. Huadian Zhenxiang Power Generation Corporation, Zhenxiang 657200, China;

4. Kunming Power Supply Bureau, Kunming 65005, China)

(下转第 12 页 continued on page 12)

- MAO Peng, ZHANG Zhao-ning, L N Xiang-ning, et al Wavelet Neural Networks Based Recognition of Swing and Fault in Power System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(11): 9-13.
- [27] 郁惟慵, 范广军, 迟忠君. 基于模糊集合理论的电力系统振荡与短路的识别 [J]. 继电器, 2002, 30(3): 4-7.
- YU Wei-yong, FAN Guang-jun, CHI Zhong-jun Study on the Discrimination Between Faults and Power Swings Based on Fuzzy Set Theory [J]. Relay, 2002, 30(3): 4-7.
- [28] 焦绍华, 刘万顺, 杨奇逊, 等. 用模糊集合理论识别电力系统振荡中的短路的研究 [J]. 中国电机工程学报, 1998, 18(6): 443-448.
- JIAO Shao-hua, LU Wan-shun, YANG Qi-xun, et al Study on the Discrimination Between Faults and Power Swings Based on Fuzzy Set [J]. Proceedings of the CSEE, 1998, 18(6): 443-448.
- [29] Mechraoui A, Thomas D W P. A New Blocking Principle with Phase and Earth Fault Detection During Fast Power Swings for Distance Protection [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1995, 10(3): 1242-1248.
- [30] Mechraoui A, Thomas D W P. A New Distance Protection Scheme Which can Operate During Fast Power Swings [A]. 6th International Conference on Developments in Power System Protection Nottingham (Britain): 1997. 206-209.
- [31] 林湘宁, 刘沛, 冯兴学. 自适应振荡闭锁判据的理论基础 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(6): 45-50.
- L N Xiang-ning, LU Pei, FENG Xing-xue Theoretical Analysis of the Self-adaptive Blocking Criterion of Power Swings [J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(6): 45-50.
- [32] 林湘宁, 刘沛. 自适应振荡判据的实现 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(7): 49-53.
- L N Xiang-ning, LU Pei Implementation of the Self-adaptive Blocking Criterion of Power Swings [J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(7): 49-53.

收稿日期: 2005-09-09; 修回日期: 2005-10-11

作者简介:

侯慧 (1981 -), 女, 博士研究生, 研究方向为电力系统微机继电保护及安全自动装置; E-mail: hushou@sina.com

尹项根 (1954 -), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电力系统继电保护及安全自动控制、故障仿真与状态监测等;

游大海 (1958 -), 男, 教授, 副博士生导师, 主要研究方向为电力系统自动化、电力系统继电保护。

Measures of detecting fault during power swing in microcomputer distance protection

HOU Hui, YN Xiang-gen, YOU Da-hai

(College of Electrical & Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper introduces measures of detecting fault during power swing in microcomputer distance protection in late years. These measures are divided into three categories of detecting symmetrical fault during power swing, unsymmetrical fault during power swing and new types of measures. Advantages and disadvantages of each criterion are analyzed and summarized respectively and some significant conclusions are reached.

Key words: power system; distance protection; power swing block; fault; wavelet transform; neural network; fuzzy logic

(上接第 6 页 continued from page 6)

Abstract: It needs to analyze the polarities of the initial traveling wave, reflected ones from the fault point and the opposite bus when studying the approach based on travelling wave to fault location that can avoid the effect of wave speed. The waveform processing has some influences on the fault location. By analyzing the polarities of the initial traveling wave, reflected ones from the fault point and the opposite bus, different components in the travelling waves can be distinguished. Further studies on the single ended approach avoiding the effect of wave speed is described in this paper. The transient current travelling wave will be analyzed to determine the fault position, and mathematical morphology is utilized to detect fault waveform.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50347026, 50467002), Yunnan Technologies R & D Programme (No. 2003GG10), and National Natural Science Foundation of Yunnan Province (No. 2005F0005Z, 2002E0025M, 2004E0020M).

Key words: single ended approach based on travelling wave; wave speed; polarity; fault location; mathematical morphology