

# 基于数学形态学的单端定位保护新原理

马静<sup>1</sup>, 王增平<sup>1</sup>, 徐岩<sup>1</sup>, 刘浩芳<sup>1</sup>, 赵洋<sup>2</sup>

(1. 华北电力大学电力系统保护与动态安全监控教育部重点实验室, 河北保定 071003;

2. 河北省电力研究院, 河北石家庄 050021)

**摘要:** 利用多分辨形态梯度结合多层形态滤波器, 提出了一种基于单端暂态电气量的定位保护新原理。在多分辨形态梯度的基础上, 将得到的各级形态梯度均进行形态滤波, 以有效抑制各种随机噪声和脉冲噪声。并通过暂态信号的相对传输时间和极性确定故障发生的精确位置。EMTP仿真结果表明该方法对超高压输电线路不同位置的各种故障均具有较高的测距精度。同时, 该算法的计算量较多尺度小波变换的计算量小, 有利于工程实现。

**关键词:** 电力系统; 数学形态学; 故障暂态电流; 多分辨形态梯度

**中图分类号:** TM77      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1003-4897(2006)11-0001-06

## 0 引言

随着电力系统的发展, 大容量机组和超高压输电线路的大量增加, 将对输电线路传输容量和系统稳定性提出更高的要求<sup>[1]</sup>。在保证安全性的前提下, 保护跳闸越快, 制动面积越小, 系统稳定裕度越大。因此, 近年来人们又将目光投向故障产生的高频暂态信号。目前提取暂态信号的主要手段是利用各种小波分析理论, 小波的应用使得暂态保护有质的突破, 但在某些情况下, 必须靠增加分析的尺度来分辨, 也就是牺牲保护的速度来确保可靠性。并且小波变换也有一定的局限性, 如窗口宽度, 抗干扰性、采样速率、相位移、幅度衰减和信号非周期衰减分量等问题。数学形态学的出现为暂态量保护提供了新的发展空间<sup>[2~4]</sup>。它是一种非线性分析方法, 经其处理后的信号不存在相位移和幅度衰减的问题。另一方面, 数学形态学计算简单, 其算法只有加减法和取极值计算, 不涉及乘除法, 因而对实时信号和图象处理的速度快、时延小。

输电线路的准确测距对于提高距离保护的性、快速查找故障点, 减轻故障巡线负担, 减少停电检修时间, 提高电网供电可靠性, 保障系统安全运行具有重大意义<sup>[1]</sup>。现有的故障测距算法可以分为两大类<sup>[5]</sup>: 一类是阻抗测距方法<sup>[6]</sup>; 一类是行波测距方法<sup>[7]</sup>。行波测距方法又可分为单端测距方法和双端测距方法。不同于传统的行波保护, 本文提出了一种利用多分辨形态梯度结合多层形态滤波器

实现单端暂态电气量故障定位的新方法。该方法先将各级形态梯度进行形态滤波, 较好地抑制了故障产生的各种噪声的同时, 有效地提取出故障暂态电流信号。然后对其进行相对传输时间和极性的分析, 以确定故障发生的精确位置。EMTP仿真结果表明, 该方法对超高压输电线路各种不同情况的故障均具有较好的效果。

## 1 数学形态学

### 1.1 形态学的基本概念和基本运算

数学形态学是以腐蚀和膨胀两种基本运算为基础, 并引出其它几种常用的数学形态运算, 它们的定义如下:

设  $f(x)$  是一维多值信号,  $g(x)$  为结构元素—收集信号信息的一种“探针”, 可提取有用的信息进行特征分析和描述。 $H, K$  分别为  $f(x)$  和  $g(x)$  的定义域,  $H = \{1, \dots, M\}$ ,  $K = \{1, \dots, N\}$ , 且  $M > N$ 。则信号  $f(x)$  关于  $g(x)$  的形态膨胀和腐蚀的计算公式如下:

$$(f \oplus g)(x) = \max_y \{f(x-y) + g(y)\} \quad (1)$$

$$(f \ominus g)(x) = \min_y \{f(x+y) - g(y)\} \quad (2)$$

式中:  $\oplus$  和  $\ominus$  分别为膨胀运算和腐蚀运算,  $x \in H$ ,  $y \in K$ 。

### 1.2 多层形态滤波器设计

形态滤波是一种非线性变换, 用来局部探测目标信号或图像的几何特征。考虑到电力系统信号的特点和工程计算的要求, 以及简化程序资源的需要, 本文选取扁平结构元素, 如式(3)至(4)所示。因为这样的结构元素在进行噪声消除时既保持信号的形

基金项目: 华北电力大学博士学位教师科研基金资助项目 (200512003)

状,又能最大限度地消除毛刺形状的噪声。

$$\text{第一层: } g_1(x) = \{0, 0, 0, 0, 0, 0\} \quad (3)$$

$$\text{第二层: } g_2(x) = \{0, 0, 0, 0\} \quad (4)$$

则每层形态滤波输出信号  $y_i(x)$  为

$$y_i(x) = [ (f \oplus g_i)(x) + (f \ominus g_i)(x) ] / 2 \quad (5)$$

其中:  $i = 1, 2$ 。

### 1.3 多分辨形态梯度

基本形态梯度定义为:原始采样函数  $f(x)$  分别经过结构元素  $g(x)$  腐蚀、膨胀后的数字差分。可表示为:

$$G_{\text{grad}} = (f \oplus g)(x) - (f \ominus g)(x) \quad (6)$$

形态梯度是不同于一般常规物理意义下的梯度。而梯度运算是突现边缘信息的有效工具,故可以用来进行图像的边缘检测和信号处理。但仅利用普通的形态学梯度无法满足高灵敏度奇异性检测的要求。类似小波分析,多分辨率分析的概念也被用于数学形态学,也就是多分辨率形态学梯度。为了提取暂态波形的上升和下降边沿,在多分辨形态学梯度中,定义了一种可变并具有不同原点位置的结构元素,如下所示:

$$g^+ = \{g_1, g_2, \dots, g_{l-1}, \underline{g}_l\} \quad (7)$$

$$g^- = \{\underline{g}_l, g_{l-1}, \dots, g_2, g_1\} \quad (8)$$

式中:结构元素长度  $l$  等于  $2^{1-m} \times l_g$ , 其中  $m$  为多分辨形态梯度的分析级数,  $l_g$  为结构元素在第一层的初始宽度。在  $g^+$  和  $g^-$  中带下划线的元素  $\underline{g}_l$  表示它们的原点位置。

结合  $g^+$ 、 $g^-$  和形态梯度定义式,多分辨形态梯度第  $m$  层输出为:

$$P_{g^+}^m = (P^{m-1} \oplus g^+)(x) - (P^{m-1} \ominus g^+)(x) \quad (9)$$

$$P_{g^-}^m = (P^{m-1} \ominus g^-)(x) - (P^{m-1} \oplus g^-)(x) \quad (10)$$

$$P_g^m(x) = P_{g^+}^m(x) + P_{g^-}^m(x) \quad (11)$$

由式 (10)、(11) 可见,若用扁平结构元素提取信号的正负突变,需要错开腐蚀和膨胀运算的操作次序,否则在应用式 (10) 至 (12) 时,会出现零信号输出结果<sup>[3]</sup>。因此,本文考虑采用斜线型结构元素。通过与结构元素的匹配而不是通过起点的调整<sup>[4]</sup>来实现奇异信息的正确识别。大量的仿真研究表明,至少进行两层多分辨形态梯度分析才可有效地提取出暂态信号,其结构元素如下:

$$\text{第一层: } g^+ = K_1 \{7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0\} \quad (12)$$

$$g^- = K_1 \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\} \quad (13)$$

$$\text{第二层: } g^+ = K_2 \{3, 2, 1, 0\} \quad (14)$$

$$g^- = K_2 \{0, 1, 2, 3\} \quad (15)$$

在每层中结构元素中,  $g^-$  用以提取暂态波形中下降边沿的信息,  $g^+$  用以提取暂态波形中上升边沿的信息。  $K_1$ 、 $K_2$  大小与输入信号的峰值成正比。

## 2 保护方案设计

本文利用多分辨形态梯度结合多层形态滤波器,可有效地提取出故障暂态信号。其具体实现方案如图 1 所示。

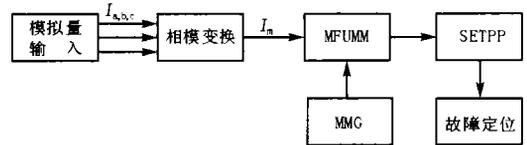


图 1 方案设计框图

Fig 1 Block diagram of the new scheme

其中:MMG代表多分辨形态梯度程序模块;MFUMM代表多层形态滤波程序模块;SETPP代表单端暂态量定位保护程序模块。

由于地模分量存在着严重地衰减和参数随频率变化的问题,波速不稳定,对定位精度影响很大,而线模分量没有上述缺点,因此采用线模分量作为输入信号:

$$I_m = 2I_b - I_a - I_c \quad (16)$$

根据式 (7) 至 (15) 对线模分量  $I_m$  进行两层多分辨形态梯度分析。并对每层形态梯度分别利用式 (3) 至 (5) 进行两层形态滤波处理。由于采用形态滤波技术,抗噪性能明显增强,当在仿真数据上叠加 10% 的白噪声时,也得到比较满意的结果。

经形态滤波后,就可获得所需的暂态信号,将其输入至 SETPP 模块,即可进行故障定位。

## 3 基于时间差和极性的单端故障定位保护新原理

输电线路发生故障时,将会产生很丰富的暂态电流信号。这些信号从故障点向线路两端传播,当碰到线路的不连续点时,信号就会发生反射和折射。本文利用监测到的高频暂态电流初始信号及随后若干个反射信号的极性和到达保护安装处的时间差来确定故障位置。

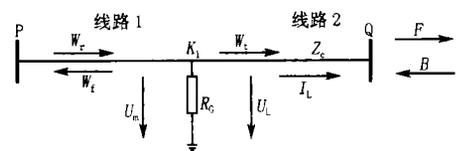


图 2 故障点的过过程

Fig 2 Transmission wave of fault point

假设  $R_G$  和  $Z_C$  分别为故障点的过渡电阻和波阻抗。前行波和反行波以及电压电流的参考方向如图 2 所示。当在  $K_1$  点发生短路故障时,故障点将线路分为线路 1 和线路 2,入射波  $W_r$  从线路 1 传播至故障点,同时产生反射波  $W_f$  和透射波  $W_t$ 。根据图中的参考方向,在线路 1 中入射波即为其前行波,反射波为其反行波,  $W_r = F_1, W_f = B_1$ 。利用行波电压电流关系式,以及 KCL 和 KVL 定理,可得到反射系数公式:

$$K_{gf} = \frac{W_f}{W_r} = \frac{B_1}{F_1} = \frac{Z_C^2}{2R_G Z_C + Z_C^2} \quad (17)$$

由反射系数公式可知,当信号从故障点反射回来,由于  $K_{gf} > 0$ ,信号极性不发生改变。

同理可得母线端部有  $n$  条出线时的反射系数公式:

$$K_{mf} = \frac{W_f}{W_r} = \frac{1 - n - j\omega C_s Z_c}{1 + n + j\omega C_s Z_c} = \frac{1 - n^2 + (\omega C_s Z_c)^2 - j2\omega n C_s Z_c}{(1 + n)^2 + (\omega C_s Z_c)^2} \quad (18)$$

其相角为:

$$= \arctan\left(-\frac{2\omega n C_s Z_c}{1 - n^2 + (\omega C_s Z_c)^2}\right)$$

由相角公式可以看出,当信号从母线反射回来,由于采样频率很高,  $C_s Z_c \gg n$ ,因此 近似可表示为  $\arctan\left(-\frac{2n}{\omega C_s Z_c}\right)$ ,由此可见 接近  $-180^\circ$  信号极性发生改变。信号传播过程可以用 Bewley - Lattice 结构图进行分析,如图 3 所示,保护安装在线路 V 母线附近,“+、-”表示信号的极性<sup>[8,9]</sup>。由结构图可以看出,若初始信号经故障点的反射波比经对端母线的反射波要提前到达保护安装处,也就是  $t_2 < t_3$ ,故障发生在线路前半段;反之,则线路后半段发生故障。

计算输入至 SETPP 模块的暂态信号的模极大值  $W_s i(t)$ ,当  $|W_s i(t)| > K$  ( $K$  为门限值,取故障初相角为零度时初始信号模极大值)时,开始进行信号极性的判断。如图 4 所示,当模极大值由“-”变“+”时,判定此暂态信号为“+”极性,并记录模极大值为“-”的时刻;反之,若模极大值由“+”变“-”时,判定此暂态信号为“-”极性,并记录模极大值为“+”的时刻。取初始信号到达保护装置的时刻作为起始时刻,此后的暂态信号通过和初始信号比较极性和时间差确定故障位置。

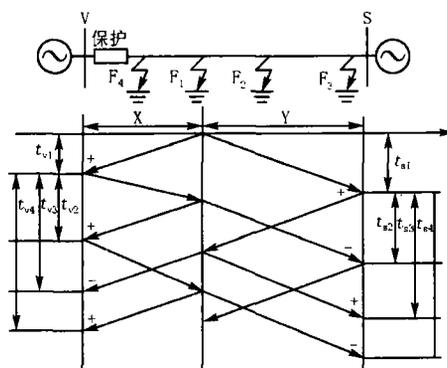


图 3 简廉线 500 kV 超高压输电线路 Bewley-Lattice 结构图

Fig 3 Bewley-Lattice diagram for a Lin-Lian 500 kV EHV transmission line

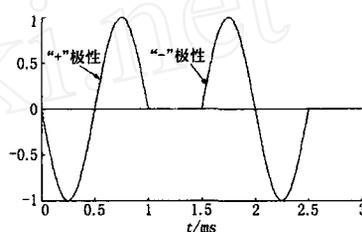


图 4 正负极性示意图

Fig 4 Schematic diagram of “+” and “-” polarities

### 3.1 故障位置 $x < L_Q / 2$

由前面的分析可知,若连续两个暂态信号极性相同,则线路前半段发生故障,并且若和初始信号的时间差为  $t_2$  处可监测到有“-”极性的信号存在,则表明区内发生故障,否则故障在区外。如图 5 所示,故障初始相角为  $30^\circ$ ;过渡电阻为 100 时的单相接地故障。定位保护 SETPP 模块在监测到两个极性同为“+”的暂态信号后,在  $t_3$  末端,监测到“-”极性的信号,应立即动作跳闸。根据公式 (20) 在不知道线路参数的情况下,即可进行故障定位,此时假定暂态信号沿线传播速度恒定。可测得  $t_2 = 0.538$  ms,  $t_3 = 0.811$  ms,因此可计算出故障距离  $x = 79.76$  km。

$$t_{vj} = \frac{2 \times L_Q}{v} - t_2 \quad (19)$$

$$x = \frac{t_2}{t_2 + t_3} \times L_Q \quad (20)$$

其中:  $v$  是暂态信号在路上的传播速度;  $t_2$  是第一个与第二个暂态信号的时间差。

### 3.2 故障位置 $x > L_Q / 2$

若连续两个暂态信号极性相反,则线路前半段发生故障,并且若和初始信号的时间差为  $t_2$  处可监

测到有“+”极性的信号存在,则表明区内发生故障,否则故障在区外。为了简便直观地分析,可以认为保护安装在S处,如图1所示。此时 $y > L_Q/2$ ,可利用公式(22)进行计算。如图6所示,定位保护SETPP模块在监测到两个极性相反的暂态信号后,在 $t_{i3}$ 末端,监测到“+”极性的信号,则立刻动作跳闸,同理可测出故障距离 $x = 119.85 \text{ km}$ 。

$$t_{mj} = \frac{2 \times L_Q}{v} - t_2 \quad (21)$$

$$y = \frac{t_3}{t_2 + t_3} \times L_Q \quad (22)$$

其中: $t_3$ 是第一个与第二个暂态信号的时间差,如图3所示。

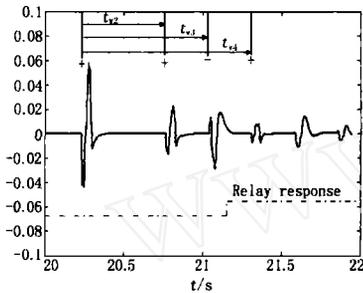


图5 b相 80 km区内故障

Fig 5 Phase b earth fault at 80 km from busbar V on section Q

### 3.3 故障位置接近母线处的情况

为了避免暂态信号的混叠而出现的保护判据失灵,预先设置 $T_{max}$ ,在这个时间段内进行故障范围的区分。 $T_{max}$ 定义为:

$$T_{max} = 2 \times L_{max} / v \quad (23)$$

其中: $L_{max}$ 为本线路长度。因此,本文选取 $L_{max} = K_K \cdot L_Q$ ,其中 $K_K$ 为大于1的可靠系数。对于本文200 km长的线路而言,由于 $T_{max} < 2 \text{ ms}$ ,因此本原理不受CT饱和的影响。

线路上发生故障的位置是随机出现的,如果故障点距母线较近,则无法区分出第一个暂态信号和从故障点或母线反射回来的第二个信号。根据

Nyquist条件有 $\Delta t_s \geq 2 \times \Delta t_r$ ( $\Delta t_s$ 为第一个和第二个暂态信号的时间间隔, $\Delta t_r$ 为采样间隔),根据式(19)可知 $\Delta t_s = 2x/v$ , $\Delta t_r = 1/f$ 即有 $2x/v \geq 2/f$ , $x \geq v/f$ ,其中 $f$ 为定位装置硬件的采样频率。因此,对本文来说,采样频率为1 MHz,暂态信号传播速度取为光速,则对单端定位而言,约有300 m的盲区存在。

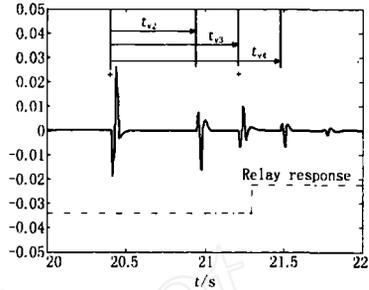


图6 b相 120 km区内故障

Fig 6 Phase b earth fault at 120 km from busbar V on section Q

## 4 EMTF仿真结果验证

为了验证上述算法的正确性和有效性,本文利用EMTP仿真软件对蔺河-廉州500 kV超高压输电线路进行分析,系统接线如图3所示。线路长度为200 km,母线处各种设备对地电容为 $C_s = 0.015 \mu\text{F}$ 。本文选取1 MHz采样频率。系统参数如下:

1) V端系统阻抗:

$$Z_{v1} = 1.2857 + j55.6377, \quad Z_{v0} = 2.8764 + j37.1267;$$

2) S端系统阻抗:

$$Z_{s1} = 1.6714 + j35.5391, \quad Z_{s0} = 4.7 + j37.9784;$$

3) 线路参数:

$$Z_1 = 0.01808 + j0.27747 \text{ /km}; \quad C_1 = 0.012917 \mu\text{F/km};$$

$$Z_0 = 0.23084 + j0.9728 \text{ /km}, \quad C_0 = 0.0081161 \mu\text{F/km}.$$

表1 不同过渡电阻及故障位置时测距结果(初始相角45°)

Tab 1 Simulation results with different fault resistances and locations

过渡电阻	$K_1 (10 \text{ km})$			$K_2 (60 \text{ km})$			$K_3 (110 \text{ km})$			$K_4 (150 \text{ km})$			$K_5 (198 \text{ km})$		
	$t_{i2}/\text{ms}$	$t_{i3}/\text{ms}$	$x/\text{km}$	$t_{i2}/\text{ms}$	$t_{i3}/\text{ms}$	$x/\text{km}$	$t_{i2}/\text{ms}$	$t_{i3}/\text{ms}$	$x/\text{km}$	$t_{i2}/\text{ms}$	$t_{i3}/\text{ms}$	$x/\text{km}$	$t_{i2}/\text{ms}$	$t_{i3}/\text{ms}$	$x/\text{km}$
50	0.068	1.283	10.067	0.405	0.945	60.000	0.608	0.743	109.992	0.337	1.012	150.037	0.014	1.336	197.926
100	0.067	1.282	9.933	0.404	0.944	59.941	0.609	0.743	109.911	0.336	1.011	150.111	0.016	1.337	197.634
200	0.067	1.284	9.919	0.405	0.948	59.867	0.610	0.742	109.763	0.339	1.012	149.815	0.016	1.334	197.630
300	0.066	1.282	9.792	0.404	0.948	59.763	0.611	0.743	109.749	0.337	1.008	149.888	0.017	1.335	197.485

表 2 不同故障初始相角故障时测距结果 (过渡电阻为 50  $\Omega$ )

Tab 2 Simulation results with different fault inception angles

故障位置	0°			30°			45°			60°			90°		
	$t_2/\text{ms}$	$t_3/\text{ms}$	$x/\text{km}$												
80 km	0.535	0.808	79.672	0.537	0.810	79.733	0.538	0.811	79.763	0.541	0.809	80.148	0.540	0.809	80.059
120 km	0.539	0.805	119.792	0.542	0.811	119.88	0.543	0.812	119.852	0.542	0.810	119.82	0.540	0.811	120.059

表 3 不同相别故障时测距结果 (过渡电阻为 0  $\Omega$ , 初始相角 90°叠加 10%白噪声)

Tab 3 Simulation results with different fault phases

故障位置	b			a			bc			bc接地			abc接地		
	$t_2/\text{ms}$	$t_3/\text{ms}$	$x/\text{km}$												
100 km	0.676	0.675	99.926	0.675	0.676	100.074	0.674	0.675	100.074	0.676	0.676	100	0.675	0.674	99.926

仿真结果见表 1、表 2 和表 3, 表 1 为故障初始相角为 45° 时, 在不同地点以及不同过渡电阻的情况下的测距结果。表中还标出了时间差, 通过公式 (20) 和 (22) 计算出故障点的位置。从表中可以看出, 对接近母线处故障依然有较高的测距精度。最大误差仅为 0.26%。表 2 为不同故障初始相角故障时测距结果。由表可以看出, 即使在 0° 故障角的情况下, 误差也仅为 0.164%, 仍可保证准确测距。表 3 给出了不同相别故障时的情况, 同样定位结果比较理想。

因此, 本文所提方法不受过渡电阻、故障初始相角、故障类型以及故障位置的影响。主要原因是暂态信号在母线和故障点处发生反射和折射, 虽然幅值有所衰减, 然而却不影响信号极性, 本文正是基于信号的极性和时间差提出的定位保护新原理。

## 5 结论

1) 本文提出了一套基于数学形态学提取暂态量的新方案, 利用多分辨形态梯度结合多层形态滤波器可以从含有各种随机噪声和脉冲噪声的电流信号中提取出暂态分量。

2) 利用基于故障时间差和信号极性的定位保护原理进行故障识别和故障测距。EMTP 仿真结果表明本方案满足在各种情况下对各种故障类型的监测, 尤其对诸如初始角很小或过渡电阻很大等各种较恶劣的故障均有很高的测距精度。

3) 由于数学形态学计算简单, 其算法只有加减法和取极值计算, 不涉及乘除法, 因此本原理较多尺度小波变换提取暂态量的情况计算量小, 实时性强, 且不受 CT 饱和的影响。

4) 若与文献 [10] 结合使用, 会提高本判据区分区内外故障的能力, 可达到区外故障可靠不动作, 区内故障精确测距的目的。

5) 由于本方法存在死区问题, 用阻抗法的测距

结果作为补充, 可弥补两者的不足, 实现精确故障定位。

## 参考文献:

- [1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用 (第二版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2002  
WANG Wei-jian. New Types of Protective Relaying and Fault Location Their Theory and Techniques [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996
- [2] 欧阳森, 王建华, 宋政湘, 等. 基于数学形态学的电力系统采样数据处理方法 [J]. 电网技术, 2003, 27(9): 61-65.  
OUYANG Sen, WANG Jian-hua, SONG Zheng-xiang, et al. A New Power System Sampled Data Proceeding Method Based on Morphology Theory [J]. Power System Technology, 2003, 27(9): 61-65.
- [3] 林湘宁, 刘沛, 高艳. 基于数学形态学的电流互感器饱和和识别判据 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(5): 44-48.  
L N Xiang-ning, L U Pei, GAO Yan. A Novel Method to Identify the Saturation of the Current Transformer Using Mathematical Morphology [J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(5): 44-48.
- [4] Wu Q U, Zhang J F, Zhang D J. Ultra-high-speed Directional Protection of Transmission Lines Using Mathematical Morphology [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2003, 18(4).
- [5] 康小宁, 索南加乐. 基于参数识别的单端电气量频域法故障测距原理 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(2): 22-27.  
KANG Xiao-ning, SUONAN Jia-le. Frequency Domain Method of Fault Location on Parameter Identification using one Terminal Data [J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(2): 22-27.
- [6] 胡帆, 刘沛, 程时杰. 高压输电线路故障测距算法仿真研究 [J]. 中国电机工程学报, 1995, 15(1): 67-72.  
HU Fan, L U Pei, CHENG Shi-jie. Investigation of the

- High Voltage Transmission Line Fault Location by Digital Simulation[J]. Proceedings of the CSEE, 1995, 15(1): 67-72.
- [7] 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.
- Q N Jian Study on Single Terminal Traveling Wave Fault Location of Transmission Line[J]. Power System Technology, 2005, 29(15): 65-70.
- [8] ZHANG Dong-jiang, WU Henry, BO Zhi-qian, et al Transient Positional Protection of Transmission Lines Using Complex Wavelets Analysis[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2003, 18(3).
- [9] Bo ZQ, Redfern M A, Weller G C. Positional Protection of Transmission Line Using Fault Generated High Frequency Transient Signals[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2000, 15(3).
- [10] 马静, 王增平, 徐岩, 等. 利用多分辨形态梯度实现单端暂态量保护新方案[J]. 华北电力大学学报, 2005, 32(5): 7-10.
- MA Jing, WANG Zeng-ping, XU Yan, et al New Scheme of Single-ended Transient Based Protection Using Multi-resolution Morphological Gradient[J]. Journal of North China Electric Power University, 2005, 32(5): 7-10.

收稿日期: 2005-11-17; 修回日期: 2005-12-05

作者简介:

马静(1981-),男,博士研究生,研究方向为电力系统继电保护;E-mail: majing\_1234@sohu.com

王增平(1964-),男,教授,博士生导师,研究方向为电力系统继电保护和变电站综合自动化;

徐岩(1976-),男,讲师,博士,研究方向为电力系统继电保护。

### New positional protection based on mathematical morphology and one terminal transient data

MA Jing<sup>1</sup>, WANG Zeng-ping<sup>1</sup>, XU Yan<sup>1</sup>, LU Hao-fang<sup>1</sup>, ZHAO Yang<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Power System Protection and Dynamic Security Monitoring and Control under Ministry of Education, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;

2. Hebei Electric Power Research Institute, Shijiazhuang 050021, China)

**Abstract:** This paper presents a novel principle of positional protection (PP) on the basis of one terminal transient signals by using multi-filter units of mathematical morphology and multi-resolution morphological gradient. Multi-filter units can effectively and gradually suppress a variety of random and pulsed noises existing in fault-generated transient signals which can be detected by using multi-resolution morphological gradient. The fault can be located accurately according to relative traveling time and polarities of transient signals. A typical 500kV extremely high voltage (EHV) transmission system has been simulated by EMTP to evaluate the method. The simulation results show that this method is capable of locating correctly under various types of faults occurring at different positions on the power lines. Meanwhile, this algorithm has less computational complexity than multi-resolution wavelet transform, which makes it possible to put into practice.

**Key words:** power system; mathematical morphology; fault transient current; multi-resolution morphological gradient

## 许继:打破直流输电国外垄断

直流输电是世界发达国家作为解决高电压、大容量、长距离送电和异步联网的重要手段。它容量大,同等电压等级下输电能力是交流输电的3至5倍;距离远,传输距离达到1200 km,比交流电长一倍;此外还有占用输电走廊小、输电容量可调可控等优点。但直流输电的关键技术以前只掌握在ABB、西门子、AVERA三家电力装备大公司手中。受技术限制,过去国内企业连参与直流输电工程项目投标的资格都没有。

破局之变始于2005年5月,许继一举中标贵广一回直流工程中价值6.57亿元的“控制保护设备”和“换流阀体设备”供货合同,这是有史以来第一个以中方为主导的直流输电项目。

20多年的努力已取得回报,目前许继拥有多项自主知识产权的直流控制保护系统技术,性能达到了国际先进水平,并且建立了一支60多人的高水平专业人才队伍,从工程设计技术上和装备制造技术上,中国企业已完全能够独自承担直流输电控制保护系统设计、成套供货和工程服务。