

# 超高速暂态方向母线保护的研究

李海锋, 王钢, 丁宇, 赵建仓

(华南理工大学电力工程系, 广东 广州 510640)

**摘要:** 提出了一种基于小波变换的超高速暂态方向母线保护。它利用小波变换提取母线内外部故障时的暂态特征, 通过比较母线各回路暂态电压、电流小波变换输出波形的相似性实现母线内外部故障的准确、快速识别。通过 EMTF 对实际电网大量的仿真计算, 验证了所提原理的正确性和有效性。

**关键词:** 母线保护; 小波变换; 暂态保护

**中图分类号:** TM771 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2003)06-0013-06

## 1 引言

母线是电力系统中极为重要的元件, 是输配电的枢纽, 其工作的可靠性将影响到电力系统的安全可靠运行。发电厂或变电所的母线故障是电力系统最严重的故障之一, 必须以极快的速度切除, 否则将会引起事故的扩大, 破坏电力系统稳定运行, 造成电力系统的瓦解事故。随着电力系统规模的日益扩大, 电压等级的不断提高, 对母线保护的快速性提出了更高的要求。

90 年代以来, 人们开始了将微机应用于母线保护的研究。但是所采用的判据主要还是基于电流差动和电流比相式两种保护原理, 同样面临着抗 CT 饱和能力差的缺点。因此, 继电保护工作者一方面对此做了大量的研究工作, 提出一些实用的检测 CT 饱和的判据和方法<sup>[1~4]</sup>, 在一定程度上解决了 CT 饱和问题对母线差动保护的影响; 另一方面也开始研究新的微机母线保护体系结构和原理。文献[5]提出了一种新型的分布式微机母线保护原理, 该原理利用计算机网络连接分散到各回路上的保护单元, 极大地提高了母线保护的可靠性, 但在判据上还是沿用了电流差动原理。文献[6]利用母线上各回路故障分量所对应的正、负序等效阻抗的相角所在的象限判别母线区内外故障。文献[7]则提出了一种基于暂态能量的母线方向保护原理, 它通过计算各回路故障后三相电压、电流故障分量的暂态能量之和综合判别母线区内外故障。然而上述所有这些原理从本质上说都是基于对工频量或工频变化量的计算, 在动作速度上将越来越不能满足电力系统不断发展的要求。因此, 有必要探索新的、反应速度更快的微机母线保护原理。

故障暂态产生的信号中蕴含着大量故障信息,

利用这一故障暂态高频分量构成的暂态保护有可能更大限度地提高保护动作速度。暂态保护应用于超高压输电线路的研究已经取得了不少成果<sup>[8~10]</sup>。本文基于小波原理提出了一种新的暂态方向母线保护。它利用小波变换所提取的系统故障暂态特征进行故障判别, 能够快速、准确地识别母线的内外部故障。

## 2 暂态方向母线保护的基本原理

以图 1 所示的单相单母线模型为例说明暂态方向母线保护的基本原理, 该母线接有  $N$  个回路, 其中保护测量点的电流正方向定为由母线流向线路。

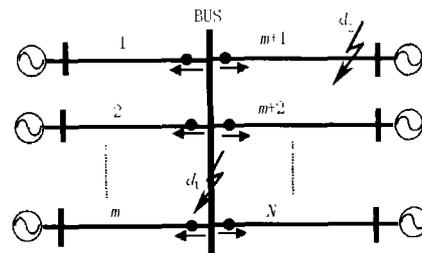


图 1 母线结构图

Fig. 1 Circuit configuration of a bus

当系统某点发生故障时, 根据叠加原理可将故障量分解为两部分的迭加: 故障前负荷分量和故障附加分量。即短路电流、电压分别由负荷分量和故障分量合成。图 2、3 分别为图 1 所示系统在  $d_1$  点(母线内部)和  $d_2$  点(母线外部)故障时, 所对应的系统故障附加分量电路图。显然, 母线上各回路保护测量点的电流、电压可表示为:

$$u_j = u_{j1} + \Delta u_j \quad (1)$$

$$i_j = i_{j1} + \Delta i_j \quad (2)$$

式中,  $j = 1, 2, \dots, N$ , 表示母线上所连接的  $N$  个

回路,  $u_{j1}$ 、 $i_{j1}$  是母线上第  $j$  个回路的负荷工频分量,  $\Delta u_j$ 、 $\Delta i_j$  则是由故障附加电源  $\Delta u_{d1}$  (内部故障时) 或  $\Delta u_{d2}$  (外部故障时) 在第  $j$  个回路上产生的故障分量, 它包括了工频变化量、故障行波产生的高频分量以及由弧光非线性电阻产生的高频分量等。

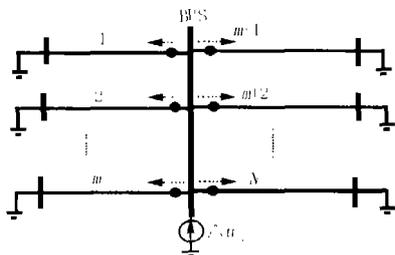


图2 内部故障时的故障附加电路图

Fig.2 The circuit of superimposed components for an internal fault at  $d_1$

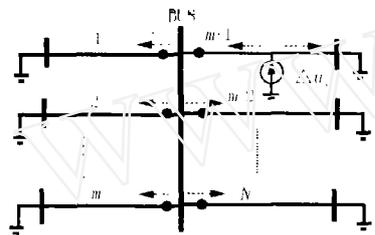


图3 外部故障时的故障附加电路图

Fig.3 The circuit of superimposed components for an external fault at  $d_2$

### 2.1 内部故障

由图2可见, 当母线上  $d_1$  点发生内部故障时,  $\Delta u_{d1}$  所产生的电压、电流波是直接由母线向各回路传播(如图虚线箭头所示), 根据行波的传播特性, 母线上每个回路保护测量点的  $\Delta u_j$  和  $\Delta i_j$  关系可以表示为:

$$\Delta u_j = Z_j \Delta i_j \quad (j = 1, 2, \dots, N) \quad (3)$$

其中:  $Z_j$  为回路  $j$  的波阻抗, 通常为正的常数。显然, 此时不管  $\Delta u_{d1}$  的极性如何, 母线上所有回路的  $\Delta u_j$  和  $\Delta i_j$  极性都相同, 波形也很相似。

### 2.2 外部故障

通过对图3的分析可知, 当母线外部某一回路(这里是第  $m+1$  回路)上  $d_2$  点发生故障时,  $\Delta u_{d2}$  所产生的电压、电流波则是先由故障回路向母线传播, 然后再通过母线向其他非故障回路传播。此时, 母线上非故障回路检测到的  $\Delta u_j$  和  $\Delta i_j$  的关系仍然为:

$$\Delta u_j = Z_j \Delta i_j \quad (j = 1, \dots, m, m+2, \dots, N) \quad (4)$$

而对于故障回路, 由于行波会在母线处发生反射, 而保护测量点离母线的距离又很小, 因此测量点

所检测到的电压、电流波应该是初始波和反射波的叠加, 可以表示为:

$$\Delta u_{m+1} = \Delta u_1 + \Delta u_R = (1 + \beta) \Delta u_1 \quad (5)$$

$$\Delta i_{m+1} = \Delta i_1 + \Delta i_R = (1 - \beta) \Delta i_1 \quad (6)$$

其中: 下标 I 表示初始波, R 表示反射波,  $\beta$  为电压波反射系数, 取值范围为  $[-1, 1]$ 。

将式(6)代入式(5), 并考虑  $\Delta u_1 = -Z_{m+1} \Delta i_1$

有:

$$\Delta u_{m+1} = \frac{1 + \beta}{1 - \beta} (-Z_{m+1}) \Delta i_{m+1} \quad (7)$$

显然有  $\frac{1 + \beta}{1 - \beta} \geq 0$ , 因此由式(7)可知, 此时故障

回路上的  $\Delta u_{m+1}$  和  $\Delta i_{m+1}$  关系与非故障回路上的刚好相反, 即极性相反, 波形也近似相反。这也正是母线外部故障和内部故障的区别所在。

### 2.3 母线保护的判别

通过上述的分析可知, 综合比较母线上所有回路保护测量点的  $\Delta u_j$  和  $\Delta i_j$  波形就可以识别母线的内外部故障: 当所有回路的  $\Delta u_j$  和  $\Delta i_j$  极性相同, 波形相似时, 判为内部故障; 否则为外部故障。

对于三相系统, 可以应用相模变换把三相系统变换成三个独立的由模量表示的单相系统。上面的分析对每一模量都是适用的。

### 2.4 对不同母线接线方式的分析

发电厂和变电站母线的接线方式很多, 如双母线、 $1\frac{1}{2}$  断路器母线等。在这些接线方式下, 母线保护还应具有区分出故障母线组的选择性。本文所提出的原理实际上是针对一个保护区域而言的, 这个保护区域可以是整个变电站的所有高压母线, 也可以是其中的一个母线组, 只要能够获取该保护区域所连接的所有回路的故障方向信息, 即能实现区内、外故障判别, 因此该保护原理适用于各种母线接线方式。以双母线接线为例, 测量双母线上所有回路, 包括母线联络线上的故障方向信息, 能够灵活地实现双母线的各种保护方案, 既可由双母线上所有回路(不包括联络线)构成整个双母线保护, 然后再通过联络线的故障方向判别出故障母线组; 也可由每组母线上的回路及其联络线直接构成各自母线组的保护等。有关不同母线接线方式的具体分析将另文讨论。

## 3 基于小波变换的暂态方向母线保护方案

小波变换作为近年发展起来的一种新型的时频

分析工具,突破了 Fourier 分析在时域中没有任何分辨力的缺陷,可以对指定频带和时段内的信号成分进行分析<sup>[11~13]</sup>。它良好的时频局部化特性,使其对具有奇异性、瞬时性的故障信号检测和特征提取更加准确、可靠。对此,本文基于小波变换提取暂态故障特征构成暂态方向母线保护方案。

小波变换具有分频作用,信号小波变换在各尺度下的输出反映了该信号各个频率分量随时间变化的规律。在高频段上,基波及各种低次谐波受到抑制,其输出几乎为零,因此,利用小波变换能够有效提取故障暂态行波的高频特征。故障暂态信号小波变换在小尺度上的输出,反映了暂态行波的高频特性,可用以实现母线暂态保护方案。

#### a) 故障启动判据

将母线三相电压的模量分别进行小波变换,当有一模量小波变换输出模值大于阈值  $\eta$ ,即满足式(8)时,即判为故障启动状态,进行下一步的母线内外部故障判别。

$$\text{Max}(|W_s(u_a)|, |W_s(u_b)|, |W_s(u_c)|) > \eta \quad (8)$$

#### b) 母线故障判据

判为故障启动后,计算各模量电压的小波变换模极大值,取其中最大值所对应的模量进行母线故障判别计算。比较母线各回路上该模量电压、电流小波变换输出的相似程度,即可进行母线区内外故障的判别。具体的算式如下:

$$\delta = \frac{\sum_m (x_m - ky_m)^2}{\sum_m x_m^2} \quad (9)$$

其中:

$$k = \frac{(\sum_m |x_m|)}{(\sum_m |y_m|)} \quad (10)$$

$m$ : 自判为故障启动状态时刻起,暂态波形小波变换输出的第  $m$  个点。 $m = 0, 1, \dots, N'$ 。 $N'$  为给定时间段内的采样点数。

$x_m, y_m$  为电压暂态波形和对应电流暂态波形小波变换第  $m$  个点的输出。

暂态电压  $u_j$  和电流  $i_j$  的小波变换输出波形反映了  $\Delta u_j$  和  $\Delta i_j$  的高频特征。因此,当  $\Delta u_j$  和  $\Delta i_j$  极性相同,波形相似时,该小波变换输出波形也将很相似,由式(9)算出的  $\delta$  值很小,接近于零;而当  $\Delta u_j$  和  $\Delta i_j$  极性相反时,小波变换输出波形则有较大差异,此时由式(9)算出的  $\delta$  值较大,接近于 4。式(9)给出的相似性判别算式利用了一段时域上的小波变换信息,具有更高的可靠性。

结合 2.3 的分析有:当母线上所有回路由式(9)

算出的  $\delta$  值都很小时,可判为母线故障,此时应该动作跳闸;反之,则应该闭锁保护装置。因此其动作判据为

$$\text{Max}|\delta_i| < \delta_0 \quad i = 1, 2, \dots, N$$

其中: $N$  为母线所连接的回路数; $\delta_0$  为给定的阈值。

## 4 实际系统的仿真实验

为了充分验证本文所提出的母线暂态方向保护的性,以广东 500kV 电网为例进行了 EMTF 仿真计算,图 4 为该系统的等值简化接线图。其中以母线 BUS1 为研究对象。在对暂态信号的分析中,尺度越小,时域局部性越好,但抗干扰性越差,波形中的细小毛刺都会在小尺度上有所反映。为兼顾快速性与抗干扰性,本文选择 2 阶的基函数小波函数在尺度  $j = 4$  上的小波变换输出进行计算分析。

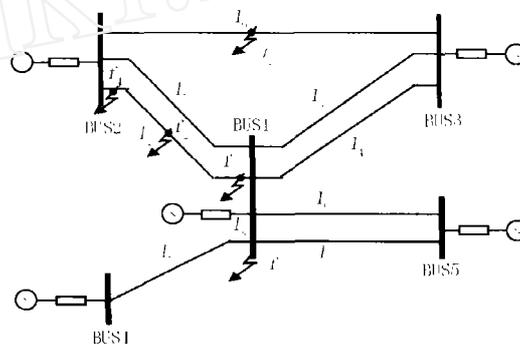


图 4 广东 500 kV 系统等值接线图

Fig.4 The schematic diagram of a 500 kV system

表 1 给出了母线内部(点  $f_1$ )和外部(点  $f_2$ )发生 A 相接地故障时 BUS1 上各个回路的  $\delta$  值。其中, $f_2$  点位于线路  $l_1$  的中点。在表 1 中可以看到,内部故障时所有回路的  $\delta$  都很小,而外部故障时故障回路所对应的  $\delta$  则比较大,这与前面的理论分析一致。

图 5、图 6 则给出了母线外部故障时,故障回路( $l_1$ )和某一非故障回路(这里选取了  $l_3$ ) $\alpha$  模电压、电流及其小波变换输出的波形图。由图 5 可见母线外部故障时,在故障发生的初期,故障回路上  $\alpha$  模电压、电流的小波变换输出波形有很大的差异,其对应的  $\delta$  值比较大为 4.023411;而图 6 所示的非故障回路上  $\alpha$  模电压、电流的小波变换输出波形则几乎一致,所对应的  $\delta$  很小,几乎为零(0.00013)。由两图还可以看出在故障发生一定时间以后,电压、电流的小波变换输出波形就不一定满足这一关系了,但此时已经能根据故障初始波形识别是否发生了母线故障,因此对判据没有影响。

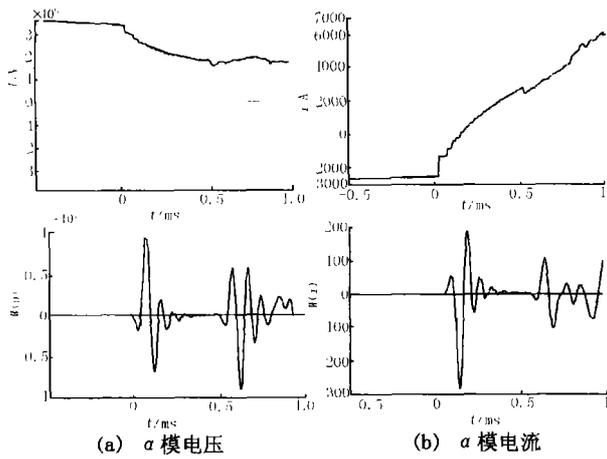


图5 故障回路  $l_3$   
Fig.5 Fault circuit  $l_3$

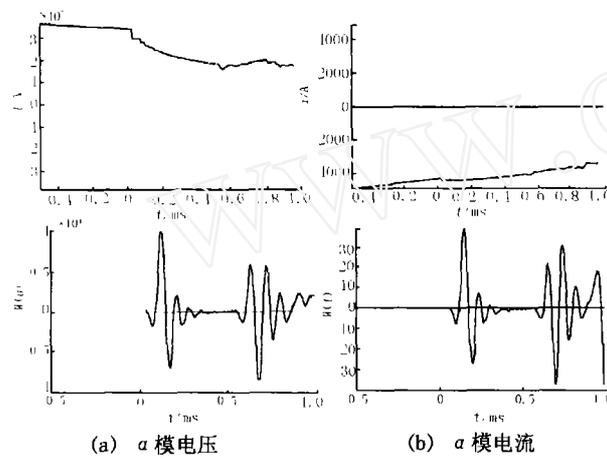


图6 非故障回路  $l_2$   
Fig.6 Non-fault circuit  $l_2$

本文对母线内外部故障的各种情况,包括不同的故障类型、故障地点和故障时刻,进行大量的仿真计算和分析,以验证所提出判据的性能。由于篇幅所限,仅列举其中的典型仿真结果。在仿真计算分析中不妨给定门槛值为  $\delta_0 = 2$ 。

a) 故障类型

对母线内外部故障的各种类型:单相接地短路,两相接地短路,两相短路及三相短路都进行了仿真计算。表2给出了在  $f_1$  和  $f_2$  点发生两相短路、两相接地短路(以 A、B 相为例)及三相短路时,各回路的  $\delta$  值。仿真的结果表明本文给出的判据不受故障类型的影响。

b) 故障地点

表3给出了系统在  $f_3 \sim f_5$  发生单相(A相)接地故障时,各回路的  $\delta$  值。其中  $f_3$ 、 $f_4$  分别位于线路  $l_1$  的出口和末端,  $f_5$  则位于线路  $l_0$  的中点。由表3可以看出,系统在  $f_4$  点发生故障时,除了故障回路的  $\delta$  值大于门槛值外,非故障回路  $l_2$  上的  $\delta$  值也大于门槛值。而在  $f_5$  点发生故障时,则有4个回路的  $\delta$  值大于门槛值。但这不会影响本文所提出的只有当母线上所有回路的  $\delta$  值都小于门槛值才判为母线内部故障这一判据。

c) 故障时刻和短路电阻

对于暂态保护,主要考虑在电压过零点时发生故障对保护的影响,因为从理论上说,这时故障暂态分量中的行波分量最小,对保护的影响应该最大。

表1 在  $f_1$  和  $f_2$  点发生 A 相接地故障时各回路的  $\delta$

Tab.1 The  $\delta$  value of all circuits for a phase - A - to - earth fault at  $f_1$  and  $f_2$

故障点	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$	$\delta_5$	$\delta_6$	$\delta_7$	$\delta_8$
$f_1$	0.000004	0.000004	0.000008	0.000006	0.000020	0.000005	0.000002	0.03610
$f_2$	4.023411	0.000057	0.000133	0.000139	0.000015	0.000013	0.000009	0.07618

表2 在  $f_1$  和  $f_2$  点发生各种类型故障时各回路的  $\delta$

Tab.2 The  $\delta$  value of all circuits for different types of fault at  $f_1$  and  $f_2$

故障点	故障类型	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$	$\delta_5$	$\delta_6$	$\delta_7$	$\delta_8$
$f_1$	AB 接地短路	0.000003	0.000003	0.000006	0.000005	0.000002	0.000004	0.000002	0.036100
	AB 短路	0.000002	0.000003	0.000008	0.000006	0.000002	0.000004	0.000002	0.036906
	三相短路	0.000002	0.000003	0.000006	0.000004	0.000002	0.000004	0.000002	0.036123
$f_2$	AB 接地短路	4.110500	0.000066	0.000153	0.000158	0.000017	0.000014	0.000011	0.135223
	AB 短路	4.118911	0.000095	0.000219	0.000227	0.000026	0.000017	0.000014	0.192032
	三相短路	4.126727	0.000033	0.000077	0.000078	0.000008	0.000009	0.000007	0.188141

表3 在  $f_3, f_4$  和  $f_5$  点发生 A 相接地故障时各回路的  $\delta$ Tab.3 The  $\delta$  value of all circuits for a phase-A-to-earth fault at  $f_3, f_4$  and  $f_5$ 

故障点	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$	$\delta_5$	$\delta_6$	$\delta_7$	$\delta_8$
$f_3$	4.004842	0.000004	0.000008	0.000006	0.000002	0.000005	0.000003	0.036682
$f_4$	3.995163	3.996870	0.000016	0.000016	0.000003	0.000004	0.000003	0.036226
$f_5$	4.020381	4.019494	4.023268	3.800885	0.000002	0.000001	0.000001	0.034124

表4 在给定各点发生初始角为  $0^\circ$  的单相接地故障时各回路的  $\delta$ Tab.4 The  $\delta$  value of all circuits for a single-phase fault of inception angle  $0^\circ$ 

过渡电阻/ $\Omega$	故障点	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$	$\delta_5$	$\delta_6$	$\delta_7$	$\delta_8$
$R_f = 0$	$f_1$	0.000025	0.000020	0.000104	0.000030	0.000065	0.000020	0.000021	0.260216
	$f_2$	3.835770	0.099109	1.154723	1.164392	0.015684	0.000024	0.000028	0.233716
	$f_3$	4.004624	0.000004	0.000008	0.000006	0.000002	0.000005	0.000003	0.036642
	$f_4$	5.053855	5.045038	0.368175	0.378906	0.070378	0.150021	0.140715	0.309490
	$f_5$	4.579374	4.556755	4.192240	4.223791	0.235584	0.000173	0.000032	0.674683
$R_f = 200$	$f_1$	0.297599	0.298073	0.946543	0.950677	0.144706	0.000415	0.000094	0.551265
	$f_2$	4.010560	0.000008	0.000037	0.000012	0.000030	0.000009	0.000009	0.034566
	$f_3$	4.309810	0.660525	1.816522	1.820878	0.150552	0.000893	0.000097	0.435370
	$f_4$	4.092912	4.090886	1.025100	1.026907	0.171453	0.002694	0.003657	0.592943
	$f_5$	3.054447	3.046990	3.590615	3.618524	0.118657	0.022846	0.015991	1.797137

表4给出了故障初始角为  $0^\circ$  时,系统在  $f_1, f_2, f_3, f_4$  和  $f_5$  发生单相接地故障时的仿真计算结果。表4同时给出了在上述情况下过渡电阻为  $200\Omega$  时的仿真结果。表4的结果表明故障时刻和过渡电阻对本文所提出的判据几乎没有影响。在很严重的情况下(初始角为  $0^\circ$ , 过渡电阻为  $200\Omega$ )发生故障,判据的裕度虽然有所降低,如内部故障时各回路的  $\delta$  比原来增大了,但还是远小于给定的阈值。因此,对于判据不会产生根本的影响,仍然能够据此准确识别母线故障。

在仿真计算中,所有算例在故障发生后不到  $1\text{ms}$  的时间内即能准确识别母线的内外部故障,因此所提出的保护方案动作速度非常快,远高于传统的基于工频量和工频变化量的保护。

## 5 结束语

本文提出了基于暂态信号小波变换的母线保护新方法。该方法充分利用了故障暂态信号蕴含的丰富信息和小波变换在信号处理中的卓越性能。利用母线各回路暂态电压、电流小波变换输出波形相似性构成的保护判据能够快速、准确判断母线内外部故障。该判据不受故障类型、故障地点、故障时刻及短路电阻的影响,具有高的灵敏度和可靠性。

## 参考文献:

- [1] Andow F, Suga N, Murakami Y, et al. Microprocessorbased busbar protection relay[C]. 5th Int. Conf. on Developments in Power System Protection, 1993, IEE Pub. No. 368, pp. 103 - 106.
- [2] Peck D M, Nygaard B, Wadelius K. A new numerical busbar protection system with bay oriented structure[C]. 5th Int. Conf. On Developments in Power System Protection, 1993, IEE Pub. No.368, pp. 228 - 231.
- [3] Cesareo Fernandez. An impedance-Based CT Saturation Detection algorithm for bus-bar differential Protection [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2001, 16(4): 468 - 472
- [4] 李贵存,刘万顺,贾清泉,等. 利用小波原理检测间流互感器饱和的新方法[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(5): 36 - 44.
- [5] He Jiali, Luo Shanshan, Wang Gang et al. Implementation of a distributed digital bus protection system[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1997, 12(4): 1445 - 1451.
- [6] Mohicdar S Sachdev, Tarlochan S Sidhu, Harjeet Singh Gill. A busbar protection technique and its performance during CT saturation and CT ratio-mismatch[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2000, 15(3): 895 - 901.
- [7] Apostolov A P. High speed peer-to-peer communications

- based bus protection[J]. Power engineering Society Winter Meeting, 2001, IEEE, Vol.2: 693-698.
- [8] Bo Z Q, Aggarwal R K, Johns A T, et al. A new approach to phase selection using fault generated high frequency noise and neural networks[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1997, 12(1): 106 - 113.
- [9] Johns A t, Aggarwal r k, Bo Z Q. Non-unit protection technique for EHV transmission systems based on fault-generated noise, Part1: signal measurement [J]. IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib, 1994, 141(2): 133 - 140.
- [10] Johns A T, Aggarwal R K, Bo Z Q. Non - mit protection technique for EHV transmission systems based on fault-generated noise, Part2: signal Processing[J]. IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib, 1994, 141(2): 141 - 147.
- [11] 秦前清,杨宗凯. 实用小波分析[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1994.
- [12] 崔锦泰著.小波分析导论[M].程正兴译.西安:西安交通大学出版社,1995.
- [13] 杨福生.小波变换的工程分析与应用[M].北京:科学出版社,1999

收稿日期: 2002-09-30; 修回日期: 2002-12-20

作者简介:

李海锋(1976-),男,博士研究生,研究方向为电力系统继电保护;

王 钢(1966-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为电力系统继电保护及自动化、电力电子;

丁 宇(1978-),女,硕士研究生,研究方向电力系统继电保护。

### Study of transient based directional comparison ultra-high-speed bus protection

LI Hai-feng, WANG Gang, DING Yu, ZHAO Jian-cang

(Dept. of Electrical Engineering, SCUT, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** A novel transient based directional comparison ultra-high-speed bus protection scheme is proposed. In this scheme, wavelet transform technique is applied to extract transient characteristics of internal and external fault of a bus. It identifies an internal fault by comparing the similarities of wavelet transform waveforms of transient voltages and currents in all circuits connected to the bus. The EMTP simulation shows that the proposed scheme is correct and effective.

**Key words:** bus protection; wavelet transform; transient based protection

(上接第 12 页)

- [8] Fouad A A, Vijay Vittal. Power System Transient Stability analysis Using The Transient Energy Function Method[Z]. Prentice - Hall Inc., New Jersey: 1992.
- [9] 郭志忠,于继来,柳焯.暂态能量函数法的动力学意义思考[J].中国电机工程学报,1993,13(11).
- [10] Fouad A A, Stanton S E, Mamandur K R C and Kruempel K C. Contingency Analysis Using the Transient Energy Margin Technique[J]. IEEE Trans on PAS, 1982, 101(4): 757-766.
- [11] 余志文,郭志忠.考虑暂态稳定指标的负荷经济分配

新算法[J].电力系统自动化,2001,25(13): 26-29.

收稿日期: 2002-09-09; 改回日期: 2002-12-12

作者简介:

余志文(1974-),男,博士研究生,主要研究方向为电力系统稳定分析与控制;

郭志忠(1961-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为电力系统稳定分析与控制,配电网安全分析,光电互感器等;

王志伟(1973-),女,工程师,从事 EMS/DMS 方面的研究工作。

### Transient stability function analysis for over loading transmission network

YU Zhi-wen<sup>1</sup>, GUO Zhi-zhong<sup>1</sup>, WANG Zhi-wei<sup>2</sup>, ZHANG Jian<sup>2</sup>

(1. Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2. Beijing Xuji Electrical Co., Ltd, Beijing 100085, China)

**Abstract:** An effective method should be taken to regulate power of the generators and loads when a fault occurs on the long transmission line of overloading transmission network. Transient stability function method is often used to analysis how does these operations affect the stability of the network. This paper testifies that "multi-layered load - cutting control" is appropriate for stability control of this kind of transmission network. It also proposes that the transient process of the system is a variable structure control problem. Normalized magnitude of transient energy and reference point of different operating situation is brought forward to deal with this problem. Both concept and presentation of load-cutting sensitivity is proposed also. All above has been proved on modified WSCC 10-Genrator System.

**Key words:** transient stability; transient energy function; electrical proximity; control scheme list