

# 基于电流行波的母线保护研究

黄润长<sup>1</sup>, 颜惠宇<sup>2</sup>, 崔党思<sup>3</sup>

(1. 西安供电局生技科, 陕西 西安 710032 2. 西北电力职工培训中心电力系, 陕西 西安 710054  
3. 陕西群力无线电器材厂(七九二), 陕西 西安 721003)

**摘要:** 在研究电流行波的基础上, 提出了电流行波母线保护的基本原理。小波变换作为新的数学分支, 在这里用来提取电流行波信号中的故障信息, 实现母线行波保护。大量仿真结果表明, 所提母线行波保护方案具有原理简单、易于实现、不受 CT 饱和影响、动作速度快等特点, 能够满足电力系统母线保护的要求, 具有实际可行性。

**关键词:** 母线保护; 电流行波; 小波变换; 极性比较

**中图分类号:** TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2003)03-0026-03

## 1 前言

在高压电网中, 母线故障不仅会导致大面积停电, 也会引起电力系统稳定破坏, 因此, 母线保护具有非常重要的作用。为快速消除故障, 确保系统的安全, 配备快速、灵敏、可靠性高、选择性好的继电保护装置是十分必要的。目前我国电网中广泛采用的母线保护是差动保护。它的原理是建立在工频量的基础之上的。虽然差动保护基本上满足了系统的要求, 但是把行波保护原理应用于母线保护, 不仅能消除母线差动保护受负荷电流、电流互感器饱和和过渡电阻的影响, 还能进一步提高母线保护的動作速度和灵敏性。本文根据电网对母线提出的基本要求, 对基于小波变换和电流行波极性的母线保护原理进行了研究。理论分析和仿真结果表明, 利用电流行波极性实现母线保护, 具有動作速度快、灵敏度高和简单可靠的特点。

## 2 基本原理

线路或母线故障时, 均会产生沿输电线路运行的行波。设母线所有出线上的电流行波极性均以线路流向母线为正, 则当本母线发生故障时, 所有线路电流行波极性相同, 而当线路发生故障时, 故障线路电流行波极性与非故障线路电流行波极性相反。图 1 所示为某系统母线结构示意图, 表 1 给出了各种故障情况下各支路电流的极性。

由图 1 和表 1 可以得到行波极性比较式母线保护的基本原理: 若与母线相连的所有支路电流行波极性相同, 则认为母线故障, 否则认为母线所连出线故障。

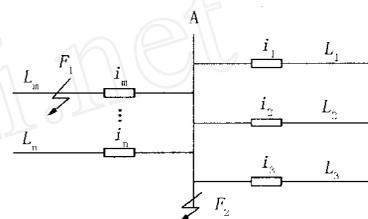


图 1 母线接线示意图

Fig. 1 Connection of busbar

表 1 不同点故障时电流行波极性分析

Tab. 1 Polarity analysis of current travelling wave at different fault locations

故障位置	故障时刻	电流行波极性		
		$i_1$	$i_2$	$i_3$
$F_1$	电压正半周	+	-	+
	电压负半周	-	+	-
$F_2$	电压正半周	+	+	+
	电压负半周	-	-	-

## 3 小波变换在母线行波保护中的应用

### 3.1 小波变换的奇异性检测理论

小波变换是一个较新的数字信号处理工具, 它的最大特点是具有时间—频率局部化的性能, 因而非常适合分析暂态行波这种具有奇异性质的突变信号<sup>[2]</sup>。小波变换的奇异性检测理论是提取行波中故障信息的理论基础, 因此首先对这一理论进行简单介绍。

若函数  $f(x)$ ,  $(f(x) \in R)$  在某处间断或某阶导数不连续, 则称该函数在此处有奇异性, 若函数  $f(x)$  在其定义域有无限次导数, 则称  $f(x)$  是光滑的或没有奇异性。

信号奇异性的位置可以通过小波变换的局部极

大值(即模极大值)位置来刻划。这是由于奇异性检测首先是采用平滑函数  $\psi(x)$  对信号在不同尺度下进行平滑,然后从一阶导数检测出原信号的剧变点<sup>[3]</sup>,其中平滑函数  $\psi(x)$  必须满足条件  $\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(x) dx = 1, \lim_{x \rightarrow \pm\infty} \psi(x) = 0$ 。假定平滑函数可微,定义

$$\psi^1(x) = \frac{d}{dx} \psi(x) \quad (1)$$

由平滑函数的条件可知  $\psi^1(x)$  是小波函数,于是有

$$W_a^1 f(x) = f * \psi^1(x) = f * a \frac{d}{dx} \psi\left(\frac{x}{a}\right) = a \frac{d}{dx} (f * \psi)\left(\frac{x}{a}\right) \quad (2)$$

式(2)说明小波变换  $W_a^1 f(x)$  可以理解为函数  $f(x)$  在尺度  $a$  上经过平滑后的一阶导函数,因此若小波变换在某点取得局部极大值,则表示信号在该点变化最强烈。也就是说由平滑函数的一阶导数确定的小波函数对应模极大值点与信号的奇异点一致。

### 3.2 小波变换在母线行波保护中的应用

图2给出了某系统发生故障时的两个故障电流行波信号  $i_1$  和  $i_2$  以及相应的小波变换结果,其中  $W_1$  和  $W_2$  分别为  $i_1$  和  $i_2$  初始波头对应的小波变换模极大值。由图可以看出利用小波变换模极大值可以准确得到故障初始行波信号的极性,而电流行波母线保护正是利用这一极性信息判断母线是否发生故障,因而利用小波变换可以很容易地实现极性比较式母线保护。

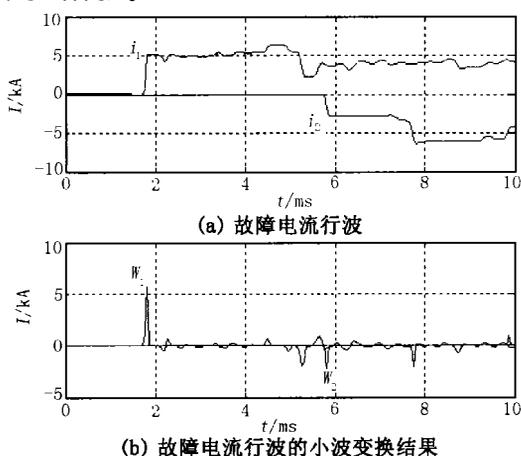


图2 利用小波变换分析行波信号

Fig.2 Use wavelet transform to analyze the travelling wave signals

研究表明,二进小波变换是分析行波的最佳小波变换,三次中心B样条函数的导函数所构成的小

波函数是行波分析的最佳小波函数<sup>[4]</sup>。因此本文利用三次中心B样条小波函数对行波信号进行分析。同时为避免高频干扰信号的影响,本文利用小波变换第三尺度的结果实现行波极性比较式母线保护。

## 4 实例仿真

图3所示为一母线上有三条出线的接线示意图。图中  $F_1$ 、 $F_2$  分别为母线故障、线路故障的两个故障点。

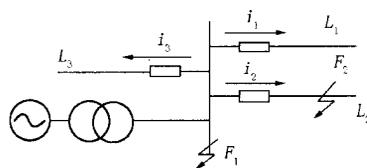


图3 仿真系统示意图

Fig.3 Sketch of the simulation system

### 4.1 母线发生故障

母线  $F_1$  点发生单相接地故障时,各线路检测到的电流行波及其小波变换结果如图4所示,其中图4(a)由上到下依次为电流  $i_1$ 、 $i_2$ 、 $i_3$ ,图4(b)分别为图4(a)各电流对应的小波变换结果, $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_3$  分别为各电流初始行波的模极大值。由图4(b)的模极大值结果可知,  $i_1 \sim i_3$  电流极性相同,由于满足母线故障动作条件,因此判断母线A发生故障。

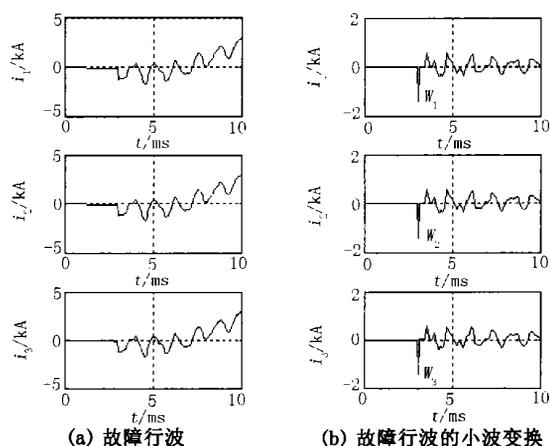


图4 母线上  $F_1$  发生故障时,各线路的电流行波及其小波变换结果

Fig.4 Current travelling waves of each line and their wavelet transform results when fault occurs at the location  $F_1$  of busbar

### 4.2 母线所连 $L_2$ 线路发生故障

图5示出了当线路  $L_2$  上  $F_2$  点发生单相接地故障时,各检测点的电流行波及其小波变换结果。与

图(4)相同,图5(a)由上到下依次为电流  $i_1$ 、 $i_2$ 、 $i_3$ ,图5(b)分别为图5(a)各电流对应的小波变换结果, $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_3$ 分别为各电流初始行波模极大值。由图5(b)可知,此时母线所连各出线检测到的初始电流行波极性并不相同,因此可以得到母线没有发生故障的结论。

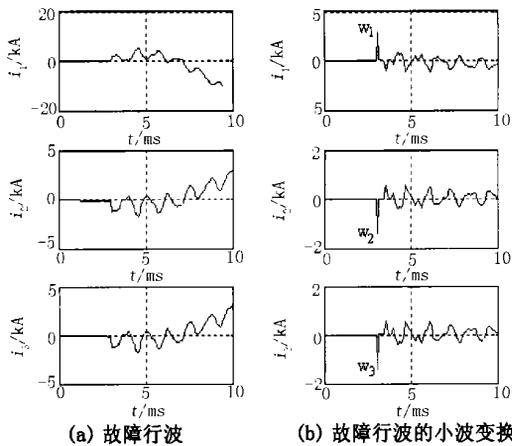


图5 出线  $L_2$  上  $F_2$  点发生故障时,各 CT 检测到的电流行波及其小波变换结果

Fig. 5 Current travelling waves measured by each CT and their wavelet transform result when fault occurs at the location  $F_2$  of outgoing-line  $L_2$

## 4 结论

本文阐明了电流行波母线保护的基本原理,并给出了利用小波变换实现母线行波保护原理的方法和相应的 EMTP 仿真结果。大量 EMTP 仿真结果证明了基于电流行波和小波变换的母线行波保护原理的正确性和实际可行性。

## 参考文献:

- [1] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安:西安交通大学出版社,1996.
- [2] Mallat. S and Hwang singularity detection and processing with wavelets[J]. IEEE Trans. on Information Theory. Vol 38, 1992.
- [3] 程正兴. 小波分析算法与应用[M]. 西安:西安交通大学出版社,1998.
- [4] 董新洲. 小波理论应用于输电线路行波故障测距研究[D]. 西安交通大学博士论文,1996.

收稿日期: 2002-09-16

作者简介:

黄润长(1968 - )男,工程师,主要从事配电网自动化的运行及规划;

崔党思(1966 - )男,工程师,主要从事电力自动化设备的开发。

## Bus-bar protection based on current travelling waves

HUANG Runchang<sup>1</sup>, YAN Hui-yu<sup>2</sup>, CUI Dang-si<sup>3</sup>

(1. Xi'an Power Supply Bureau, Xi'an 710032, China; 2. Train Center of North West Power, Xi'an 710054, China)

3. Shanxi Qunli Wireless Equipment Factory (792) Xi'an 7721003)

**Abstract:** A new bus-bar relaying principle is proposed based on fault generated current travelling waves. Wavelet transform is used here to extract fault information from current travelling waves and to implement bus-bar protection. Analysis and large amount of EMTP simulations prove that new bus-bar protection based on current travelling waves has satisfactory characteristics and is feasible in practice.

**Key words:** bus-bar protection; current travelling waves; wavelet transform; polarity comparison

## 中国一批电力工程年内上马

今年将上马建设的区域和省级电网输变电工程有:华中电网—华北电网联网工程,西北电网与华中电网直流背靠背联网工程换流站土建工程,东北电网—华北电网加强联网工程,山东电网—华北电网联网工程。同时,启动完成华中电网—华北电网加强联网、西北电网—华北电网联网、华北电网—华东电网的可行性研究工作,围绕三峡电站首批机组投产发电,确保三峡电力送往华东和广东的配套输变电工程建设。

专家指出,由于电厂建设周期一般最快也要2~3年时间,因此,未来3年全国电力供求偏紧的形势已成定局。因此,近期上马建设一批区域、省级电网间的输变电工程和调峰水电站建设,通过充分发挥大电网对区域间电网的电力供应调剂作用,通过调峰来缓解部分地区高峰缺电是当务之急。