

基于凯伦贝尔变换的单端母线集成保护

张 飏¹, 和敬涵¹, 薄志谦²

(1. 北京交通大学电气工程学院, 北京 100044; 2. AREVA 保护和控制公司, 英国)

摘要: 电力系统暂态保护具有响应快、准确度高, 不受工频振荡、过渡电阻等影响的特点。提出了基于凯伦贝尔变换的单端母线集成保护基本原理。故障发生后, 对某条母线所有出线的暂态电流行波, 应用凯伦贝尔变换进行解耦, 得到模量, 然后对其进行小波变换, 可由小波变换的模极大值的极性判别出故障发生的相对位置。理论分析和仿真结果表明, 应用凯伦贝尔变换来实现单端母线集成保护是切实可行的, 在硬件条件满足要求的情况下可以投入实际应用。

关键词: 暂态保护; 集成保护; 凯伦贝尔变换; 模极大值; 小波变换

中图分类号: TM773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)22-0001-04

0 引言

自过电流继电器在电力系统第一次问世以来, 至今已过了一个世纪。保护装置技术从机电式、晶体管式、集成电路式发展到了微处理机式。目前, 在电力系统保护领域里, 以微处理机为基础的数字式继电器已逐步取代传统继电器。然而, 基于工频信号的各种保护原理仍然发挥着主导作用。

近年来随着对电力系统暂态过程研究的深入, 利用故障产生的暂态分量的保护得到了发展^[1]。输电线路故障时会产生从工频到高频的故障暂态分量。这些故障高频分量信号中含有多于工频信号的故障信息, 可以用来实现利用工频信号实现不了的新型保护。暂态保护利用故障产生的暂态分量来进行故障的判别, 实现保护功能, 具有响应快和准确度高的优点, 而且不受工频现象如过渡电阻、系统振荡、CT饱和等的影响^[2]。

本文提出一种新型的暂态电流行波极性比较集成保护基本原理, 通过比较单端母线所有出线暂态电流行波模量的极性, 就可以判断出故障发生的相对位置, 保护不仅具有新的性能, 还具有集成保护特性。

1 基于单端母线的集成保护基本原理

线路发生故障时, 故障点产生的暂态行波会传播到各条线路。对于某条母线的出线来说, 来自故障侧出线的暂态电流行波极性与其余出线的暂态电流行波极性不相同。来自非故障侧出线的暂态电流行波同极性。这就是基于单端母线暂态电流行波极性比较的集成保护基本原理。

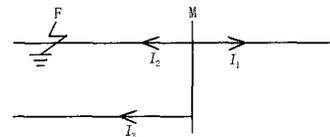


图 1 基于单端母线的集成保护基本原理示意图
Fig 1 Sketch map of the basic integrated protection principle of a single bus

如图 1 所示, 在线路中的 F 点发生故障时, I_2 的暂态电流行波与 I_1 、 I_3 的暂态电流行波极性将相反, I_1 和 I_3 的暂态电流行波极性将是一致的。

与以往的暂态行波极性比较保护原理相比, 该原理仅仅需要单端母线的暂态电流行波量就可以判别出故障的相对位置, 而且一条母线仅仅需要一个极性判别装置, 而不需要在每个出线上都设一个装置。对每条母线的极性信息进行综合就可以判别出故障发生的具体位置^[3]。

利用小波变换的模极大值对应于暂态行波的奇异性这一特性, 首先检测小波变换的模极大值, 如果检测到模极大值, 则可判断为系统出现故障。再利用小波变换模极大值的极性就可以判别出故障发生的相对位置。

2 小波变换奇异性检测和模极大值理论

暂态行波信号是一种具有突变性的、非平稳性的高频暂态信号, 从故障的电流电压信号中提取出有效的故障特征是构造暂态行波保护的前提与关键所在, 而现有的常规保护中所用的分析工具常采用傅立叶变换来对故障信号进行分析, 但是, 傅立叶变换只能得到故障信号在频域的一些信息。用傅立叶

变换来对暂态行波信号进行描述完全达不到所要的有用的故障信息,因此,需要新的数学工具来刻画故障信号。小波变换不同于仅限于时域或频域的信号分析方法,它是一种新的可达到时域或频域局部化的时频分析方法,被认为是傅立叶分析发展的新阶段。它具有许多其他时频分析所不具备的优良特性。这使得小波变换成为信号处理的一种强有力的新工具和手段。

设 $W_s f(x)$ 是函数 $f(x)$ 的小波变换函数,在尺度 s 下,在 x_0 的某一领域内,对一切 x 都有 $|W_s f(x)| \leq |W_s f(x_0)|$, 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。

线路在故障以后的暂态行波信号中包含着丰富的故障信息。故障后在保护装置检测点检测到的暂态行波初始波头、故障点反射波以及对端母线的反射波,对应着暂态行波信号的突变点,具有很大的奇异性。这些暂态行波信号的突变点对应着故障发生的地点、时刻,以及电压电流的极性等重要信息。理论与实践证明:小波变换的模极大值与信号的突变点是一一对应的。因此,为从故障后的暂态行波信号中得到重要的故障信息,可以转化为对信号的小波变换后的模极大值的检测^[4]。

小波变换的模极大值点与信号突变点是一一对应的。小波变换模极大值极性表示突变点的变化方向,模极大值大小表示突变点的变化强度。突变信号也称为奇异信号。小波变换模极大值满足关系式 $|W_{\max} f(x)| \sim k_s$, 式中 $W_{\max} f(x)$ 为信号 $f(x)$ 的小波变换模极大值, k 为常数, s 为分解尺度, α 为 Lipschitz 指数,信号的突变点, Lipschitz 指数为非负,所以信号小波变换的模极大值随着分解尺度的增大,保持不变或随之增大。

3 暂态电流行波模量的选取

对于实际的三相线路,其各相之间存在着耦合关系,描述每一相的波动方程,相互之间是不独立的,因此其相电流的求解比较复杂。为了消除相间的耦合影响,实现类似单根线路的波动方程关系,一般通过相模转换将相量转换成模量以消除耦合。模变换法可对三相系统进行解耦处理,把三相系统分解成三个独立的模量,再把单项系统的分析结果推广到三相系统中。

模量方程式是相互独立的,由很多的模变换矩阵可以选择,其中凯伦贝尔变换是比较常用的一种。暂态电流行波的凯伦贝尔变换式为:

$$\begin{bmatrix} I \\ I \\ I \\ I_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

其中: I_a 、 I_b 、 I_c 分别为相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 凯伦贝尔变换下的 α 模分量、 β 模分量和 0 模分量。其中 0 模分量在三相导体和大地之间传播, α 模分量在 A 相和 B 相导体之间传播, β 模分量在 A 相和 C 相导体之间传播, α 模分量和 β 模分量仅传播在导体之间,所以又称线模分量。

0 模分量随着频率升高衰减很严重,一般不选 0 模分量作为小波变换的对象;而线模暂态行波信号作为测量信号可以保证足够的灵敏度,可以作为测量信号来进行小波分析^[5,6]。本文采用 α 模分量作为测量信号。

4 仿真结果分析

针对本文所提出的基于凯伦贝尔变换的单端母线集成保护基本原理,利用 PSCAD 和 MATLAB 对不同的故障类型和故障位置进行了仿真验证。

仿真系统的系统结构如图 2 所示。

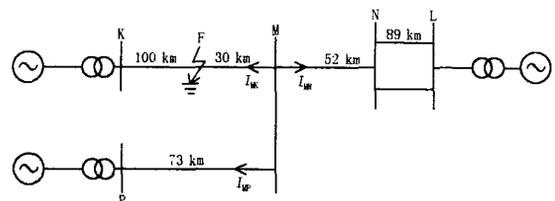


图 2 系统结构图

Fig 2 System configuration

限于篇幅,这里仅给出图中 F 点发生 A 相单相接地短路和 ABC 三相短路的仿真结果。图中横标代表时间,纵坐标分别代表电流 α 模分量值和小波变换系数。

4.1 线路 KM 段发生 A 相单相接地短路

母线 M 的三条出线, MN, MK, MP 的暂态电流行波 α 模量与小波变换仿真结果如图 3、图 4、图 5 所示。

4.2 线路 KM 段发生 ABC 三相短路

母线 M 的三条出线, MN, MK, MP 的暂态电流行波 α 模量与小波变换仿真结果如图 6、图 7、图 8 所示。

综上所述,可以清楚地看到,在线路 MK 中的 F 点发生故障时, MK 侧的暂态电流行波极性与 MN 侧、MP 侧的暂态电流行波极性将相反, MN 侧和 MP 侧的暂态电流行波极性将是一致的。根据该原理,通过比

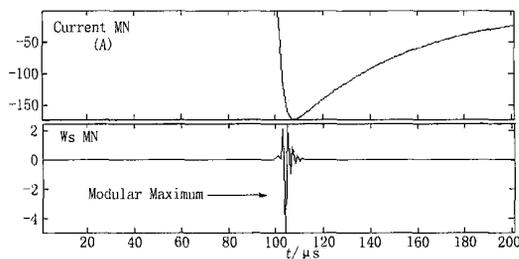


图 3 MN侧暂态电流行波 模量及其小波变换波形

Fig 3 Responses of transient current traveling wave mode and its wavelet transform at side MN

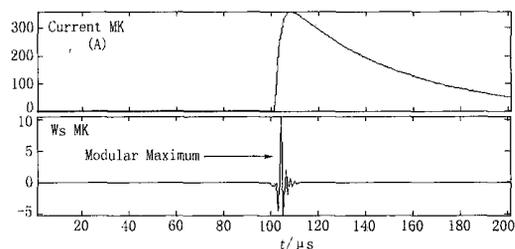


图 4 MK侧暂态电流行波 模量及其小波变换波形

Fig 4 Responses of transient current traveling wave mode and its wavelet transform at side MK

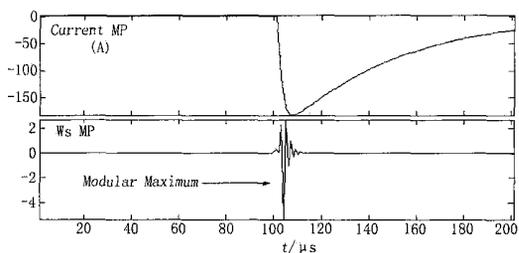


图 5 MP侧暂态电流行波 模量及其小波变换波形

Fig 5 Responses of transient current traveling wave mode and its wavelet transform at side MP

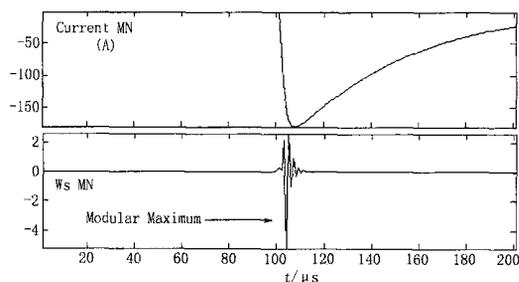


图 6 MN侧暂态电流行波 模量及其小波变换波形

Fig 6 Responses of transient current traveling wave mode and its wavelet transform at side MN

较单端母线所有出线暂态电流行波模量的极性,就可以判断出故障发生的相对位置。利用单端母线各出线的暂态电流行波 模量进行小波变换后的模

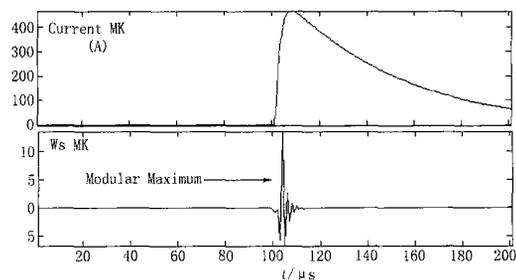


图 7 MK侧暂态电流行波 模量及其小波变换波形

Fig 7 Responses of transient current traveling wave mode and its wavelet transform at side MK

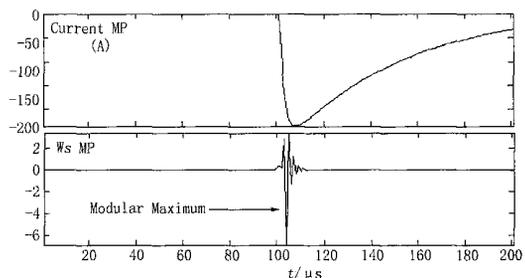


图 8 MP侧暂态电流行波 模量及其小波变换波形

Fig 8 Responses of transient current traveling wave mode and its wavelet transform at side MP

极大值极性来判别故障的相对位置是切实可行的。

5 结论

本文对基于凯伦贝尔变换的单端母线集成保护基本原理进行了分析和仿真,得出如下结论:

- 1)对于某条母线的的所有出线来说,来自故障侧出线的暂态电流行波极性与其余出线的暂态电流行波极性不相同。
- 2)来自非故障侧出线的暂态电流行波同极性。
- 3)应用凯伦贝尔变换来实现单端母线集成保护是切实可行的。

参考文献:

- [1] 夏明超,黄益庄,王勋. 高压输电线路暂态保护的发展与现状 [J]. 电网技术, 2002, 26(11): 65-69.
XIA Ming-chao, HUANG Yi-zhuang, WANG Xun. Developments and Actuality of High Voltage Transmission Line Transient Protection [J]. Power System Technology, 2002, 26(11): 65-69.
- [2] 董新洲,葛耀中,贺家李,等. 输电线路暂态行波保护的现状与展望 [J]. 电力系统自动化, 2000, 24(10): 56-61.
DONG Xin-zhou, GE Yao-zhong, HE Jia-li. Situation and

- Expectation of Transmission Line Transient Protection [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24 (10): 56-61.
- [3] 薄志谦,和敬涵,董新洲. 电力系统的集成保护 [J]. 继电器, 2005, 33 (14): 6-10, 47.
Bo Z Q, HE Jing-han, DONG Xin-zhou Integrated Protection of Power Network [J]. Relay, 2005, 33 (14): 6-10, 47.
- [4] 董杏丽,葛耀中,张言苍,等. 基于小波变换的暂态行波极性比较式方向保护原理研究 [J]. 电力系统自动化, 2000, 24 (14): 11-15, 29.
DONG Xing-li, DONG Xin-zhou, ZHANG Yan-cang The Element Research of Directional Protection Based on Current Traveling Wave Polarity Comparison Utilizing Wavelet Transform [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24 (14): 11-15, 29.
- [5] 张举,张晓冬,林涛. 基于小波变换的暂态行波电流极性比较式方向保护 [J]. 电网技术, 2004, 28 (4): 51-54.
ZHANG Ju, ZHANG Xiao-dong, L N Tao Directional Protection Based on Current Traveling Wave Polarity Comparison Utilizing Wavelet Transform [J]. Power System Technology, 2004, 28 (4): 51-54.
- [6] 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
GE Yao-zhong New Relay Protection and the Elements and Technology of Faults Range Acquisition [M]. Xi an: Xi an Jiaotong University Press, 1996

收稿日期: 2006-06-28; 修回日期: 2006-09-04

作者简介:

张 颢 (1980 -), 男, 在读研究生, 主要研究方向为电力系统及其自动化; E-mail: dqzhangb@master04.bjtu.edu.cn

和敬涵 (1964 -), 女, 副教授, 主要研究方向为电力系统继电保护及控制;

薄志谦 (1955 -), 男, 教授, 主要研究方向为输电线路的无通道保护和暂态保护。

Integrated protection of a single bus based on Karrenbauer transformation

ZHANG Biao¹, HE Jing-han¹, Z Q Bo²

(1. Beijing Jiaotong University, Beijing 10084, China; 2 AREVA T&D Automation, England UK)

Abstract: Power system transient protection has the advantages of high response speed, high accuracy and being not affected by power frequency phenomena, e.g., oscillation and transition resistance. This paper presents the basic integrated protection principle of a single bus based on Karrenbauer transformation. The mode can be obtained when the Karrenbauer transformation is used to decouple the transient current traveling wave all the emanating line of a single bus, while fault occurs. The relative situation of the fault can be distinguished by the polarity of the modular maximum through wavelet transform of the mode. Theoretical analysis and extensive simulation studies show that it is feasible to utilize the Karrenbauer transformation to realize integrated protection. It can be put into operation when the hardware is satisfied.

Key words: integrated protection; Karrenbauer transformation; modular maximum

许继电气与华中电网签定特高压保护及自动化技术战略合作协议

2006年10月27日,许继电气公司与华中电网公司在许昌签定特高压保护及自动化技术战略合作协议。双方将集中在人才、技术和市场推广等方面的优势,共同致力于“十一五”国家重大技术装备研制和重大产业技术开发专项课题——《1000 kV特高压交流系统保护控制装置及监控系统的研制》,这标志着双方的合作又进入了一个新阶段。

许继集团常务副总裁、许继电气总经理李富生与华中电网公司副总经理卢放分别代表双方在战略合作协议上签字。

根据1000 kV特高压交流试验示范工程的建设目标,国家发展和改革委员会组织,国家电网公司主持“十一五”国家重大技术装备研制和重大产业技术开发专项课题《特高压交流系统保护控制装置及监控系统的研制》,该课题由许继电气股份有限公司承担。课题的主要任务包括:1000 kV交流特高压系统研究;满足1000 kV交流特高压系统示范工程的保护控制装置及监控系统;研究保护功能配置及各保护的整订原则。为圆满完成任务,许继电气与华中电网协议合作完成《特高压交流系统保护控制装置及监控系统的研制》。根据协议,许继电气公司和华中电网公司结合晋东南-南阳-荆门1000 kV特高压交流输电线路示范工程,提出1000 kV输电系统的交流成套保护装置、过压保护控制与重合闸装置、变电站监控系统的设计方案,并研制出适合于1000 kV输电系统的交流成套保护装置、过压保护控制与重合闸装置、变电站监控系统,通过国家电网公司组织的验收试验,投入示范工程使用。