

基于小波包的永久性单相接地故障的故障选线的仿真研究

陈少华, 桂存兵, 雷宇, 马碧燕

(广东工业大学自动化学院, 广东 广州 510090)

摘要: 利用小波包的分频特性和重构算法, 分别求取各线路中零序电流各频带能量, 选出能量最大的频带为特征频带, 对该频带的零序电流和系统零序电压通过模极大值和极性进行比较初步选定出可能故障的线路, 然后在此基础上利用检测并联电阻投入瞬间在零序电流上所产生的二次奇异点最大值的方法来确定故障线路。仿真结果表明了该方法的有效性和正确性。

关键词: 小波包; 故障选线; 二次间断点检测; 零序电流; 最大值

Simulation and research on permanent single-phase to ground fault based on wavelet packets

CHEN Shao-hua, GUI Cun-bing, LEI Yu, MA Bi-yan

(College of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract: This paper calculates respectively energy of every band in zero sequence current of every line with frequency decomposition and signal reconstruction to select the band with the maximal energy as the feature band. At first, it selects all the "likely faulty" lines by comparing the maximal magnitude zero current and the corresponding polarity in all lines and the polarity of the zero sequence voltage's first half wave, and then, by detecting maximum value of the second break point at the instant of the medium resistance is launched to select the fault line. Simulations indicate that this way is correct and effective.

Key words: wavelet; faulty line selection; detecting of second break point; zero sequence current; maximum value

中图分类号: TM77

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)01-0018-03

0 引言

近年来国内外学者在故障选线方面做了大量的研究, 取得了一定的成果, 但是准确可靠的检测一直没有得到很好的解决^[1]。在发生单相接地故障时, 存在一个明显的接地电容电流比其稳态值大几倍到几十倍, 此过程包含丰富的故障特征, 充分提取这一暂态过程的丰富的特征信息必将大大提高故障选线的可靠性。目前的暂态分析方法多数都是利用从能量的角度来提取某一个特定频带的方法来分析信号^[2], 难免会造成误判。文献[3]中提出一种基于小波变换利用衰减直流分量的选线方法, 不利于实际应用, 而且没有考虑母线故障的情况。文献[4]自适应地选择故障暂态特征最明显的频段进行分析和比较, 提高了故障选线的可靠性, 但是判断过程比较复杂, 抗干扰能力比较差。本文通过选择 coif3 小波对暂态电流进行一维多尺度的小波分

解, 通过比较特征尺度上各馈线的模极大值和取得模极大值时的极性特征来初步确定出所有可能的故障线路, 然后再在此基础上增加检测二次奇异点的方法即用小波分析检测在中值电阻投入瞬间馈线是否有二次奇异点的特征确定永久性接地故障线路, 进一步提高了选线可靠性, 避免了误判和漏判。

1 信号的奇异性检测和模极大值原理

定义 1.1 在某一尺度 a_0 下, 如果存在一点 (a_0, b_0) 使得 $\frac{\partial W_f(a_0, b_0)}{\partial b} = 0$, 则称点 (a_0, b_0) 是局部极值点, 且 $\frac{\partial W_f(a_0, b_0)}{\partial b}$ 在 $b = b_0$ 上有一过零点。如果对 b_0 的某一邻域内的任意点 b 都有 $|W_f(a_0, b)| \leq |W_f(a_0, b_0)|$, 则称 (a_0, b_0) 为小波变换的模极大值点。通常就用 Lipschitz (李普西兹指数) 来描述函数的局部奇异性。

定义 1.2 设 $f(x) \in L^2(R)$, 若 $f(x)$ 对 $\forall x \in \delta x_0$,

基金项目: 广东省科技厅自然科学基金项目 (040094)

小波 $\Psi(x)$ 满足紧支性且连续可微, 并具有 n 阶消失矩 (n 为正整数), 若 $|W_f(s, x)| \leq Ks^a$ (其中 K 为常数), 则称 a 为 x_0 处的奇异性指数 (也称为 Lipschitz 指数)。

定义 1.3 对 $\forall x \in \delta x_0$, 若 $|W_f(s, x)| \leq |W_f(x, x_0)|$, 则称 x_0 为小波变换在尺度 s 下的局部极值点。

由以上的定义可知, 函数 (信号) 的奇异性可以用 Lipschitz 指数 a 来刻画, 其数值可以通过小波变换的模极大值在不同尺度的数值计算出来。由定义 1.2 可知 $\log_2 |W_f(2^j, x)| \leq \log_2 k + ja$, 这样的话就将小波的尺度因子同 a 指数联系起来了^[5]。

2 故障和原理分析

单相接地故障特征如下:

(1)故障线路的暂态零序电流幅值最大, 如果忽略暂态电感电流, 则故障线路的零序电流的数值等于所有健全线路的数值之和。因此, 故障线路的模极大值比非故障线路的模极大值要大得多。

(2)故障线路的模极大值点的极性和零序电压首半波的极性相反, 非故障线路的模极大值点的极性和系统零序电压首半波的极性相同。

(3)当母线发生故障时, 所有线路的模极大值点的极性和系统零序电压首半波的极性都相同。

小电流接地系统发生单相接地后, 系统的零序电压的变化非常明显, 以它作为参考标准时不存在由于系统干扰导致测量不准而影响选线的准确率的问题。

同时针对消弧线圈过补偿方式接地点的残余电流较大, 不利于电弧的熄灭有可能引起弧光过电压的问题, 研究在采用了消弧线圈两端并联 (即中性点) 小电阻的方式中发生单相永久性接地故障时的准确选线以及在这种情况下并入中值电阻对故障选线的影响及其特性问题。

3 仿真结果及分析

本文采用 Matlab 中的 powersystem 工具箱, 以中性点经消弧线圈接地系统为例。仿真采用的系统结构如图 1 所示。在仿真试验中, 取一个具有 3 回出线的 10 kV 配电网为例。线路参数为: 线路长度 L1, L2, L3 分别为 176 km, 125 km, 103 km。正序阻抗为 $0.17 + j1.2 \times 10^{-3} \Omega/\text{km}$, 负序阻抗为 $0.23 + j5.48 \times 10^{-3} \Omega/\text{km}$, 正序容抗为 $9.697 \times$

$10^{-3} \Omega/\text{km}$, 负序容抗为 $6 \times 10^{-3} \Omega/\text{km}$, 补偿方式为过补偿, 补偿度为 10%。中性点并联电阻数值取为 10Ω 。仿真时采样频率取 10 000 Hz, 对采样后的各线路的零序电流采用 coif3 小波包进行 5 层小波分解, 分别比较各节点能量大小, 取能量最大的节点所在频率带为特征频带的自适应选择特征频带的方法结合零序电流模极大值和极性以及零序电压首半波极性初步选定出可能故障的线路, 然后对这些线路在发生永久性故障后并联电阻后的零序电流进行信号奇异性检测^[5,6], 若其中一个奇异点的数值很大, 大于其中任何一条线路奇异点的 1.5 倍以上则该线路为故障线路。图 2 为 L1 距离母线 9 公里处, 相电压达到正的最大值 (0.005 s) 时发生永久性单相接地故障, 接地电阻 $R_D=100 \Omega$, 并联电阻投入时间为 0.06 s, 切除时间为 0.16 s, 各馈线的零序电流和系统零序电压波形。图 3 为采用前述方法求得各个馈线的零序电流特征节点小波变换结果及其二次奇异点的检测结果。

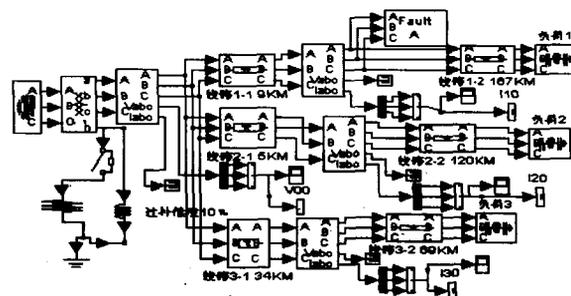


图 1 仿真模型

Fig.1 Simulation model

图 4 为 L2 距离母线 5 公里处, 相电压过零 (0.01 s) 时发生永久性单相接地故障, 接地电阻 $R_D=50 \Omega$, 并联电阻投入时间为 0.065 s, 切除时间为 0.165 s, 各馈线的零序电流和系统零序电压波形。图 5 为采用前述方法求得各个馈线的零序电流特征节点小波变换结果及其二次奇异点的检测结果。

由以上的图形和结果分析可以看出, 无论在相电压达到正的最大值还是过零时, 故障线路的模极大值都最大, 而且取得模极大值时的极性同系统零序电压的极性都相反, 这样就初步把可能故障的线路都选定出来, 同时由中值电阻投入回路瞬间的二次奇异点的检测结果分析可知第一个故障时, L1 的二次奇异点数值最大, 而且大于其他二条线路二次奇异点数值的 1.5 倍以上, 据此可以准确判定出 L1 为永久性故障线路。对于 L2 线路发生的永久性接地故障时的情况可以得出同样的结论。此时, 可以通过手工消除故障, 再进行重合闸操作, 保证系统

的稳定运行和供电连续性。

本文在研究过程中,通过改变故障点位置,线路参数,故障时刻,接地电阻,不同的故障相别以

及负荷变化等进行了大量仿真实验,限于篇幅,不再列举,其结果也都表明了该方法的可行性。

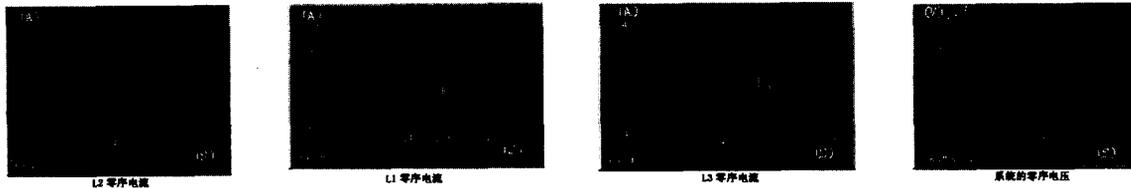


图2 系统零序电压和各线路零序电流

Fig.2 Zero sequence voltage of system and zero sequence current of every line

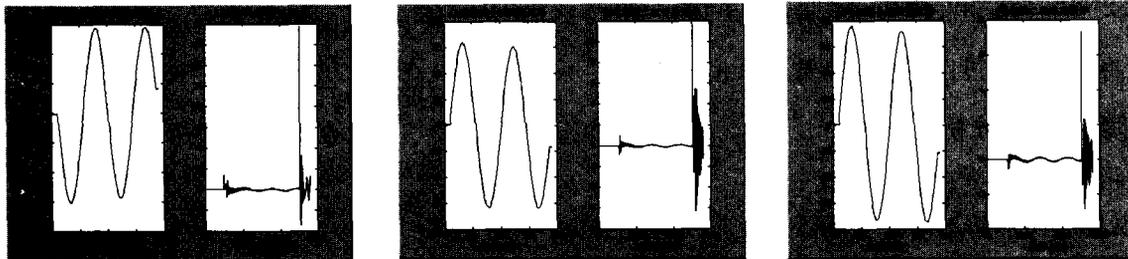


图3 零序电流特征节点小波变换结果及其二次奇异点的检测结果

Fig.3 Wavelet transform of representative point's zero sequence current and the detection of second break point

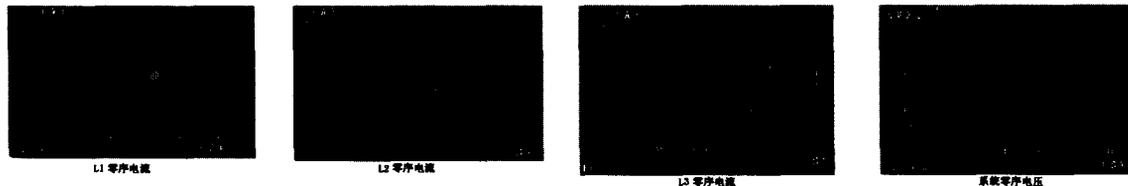


图4 系统零序电压和各线路零序电流

Fig.4 Zero sequence voltage of system and zero sequence current of every line

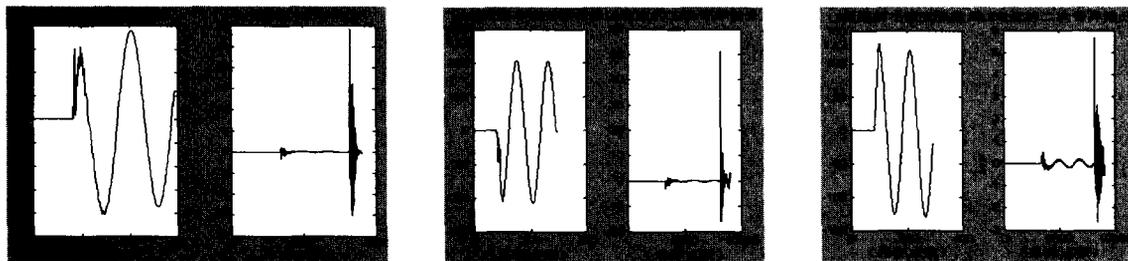


图5 每一条线路的零序电流特征节点小波变换结果及其二次奇异点的检测结果

Fig.5 Wavelet transform of representative point's zero sequence current and the detection of second break point in every line

4 结论

本文采用小波包对线路的零序电流进行多分辨率分析,根据能量最大原则选出特征频带,再利用三条原则进行判别,将每条线路分别和特征非常明显的系统零序电压前半波极性相比较,直接判定

出该线路是否可能故障,然后在此基础上利用中性点并联电阻投入瞬间所产生的最大二次奇异点的特征来确定故障线路。这样可以更可靠,更准确地选出永久性接地故障的线路,有利于重合闸成功,还可以有效地抑制中性点的电压,从而降低了系统

(下转第 25 页 continued on page 25)

- Compensated Neutral Networks[J].Relay,2003,31(5):65-70.
- [2] 曾祥君,尹项根,张哲,等. 配电网接地故障负序电流分布及接地保护原理研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(6):84-89
ZENG Xiang-jun, YIN Xiang-gen, ZHANG Zhe, et al. Study for Negative Sequence Current Distributing and Ground Fault Protection in Middle Voltage Power Systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(6):84-89.
- [3] 贾清泉,刘连光,杨以涵,等. 应用小波检测故障突变特性实现配电网小电流故障选线保护[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(10): 78-82.
JIA Qing-quan, LIU Lian-guang, YANG Yi-han, et al. Abrupt Change Detetion With Wavelet for Small Current Fault Relaying[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(10): 78-82.
- [4] 王娜,周有庆,龚静. 小波变换在配电网单相接地故障选线中的应用[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(10): 27-30.
WANG Na, ZHOU You-qing, GONG Jing. Application of Wavelet Transform to Phase-to-ground Fault Detection in Distribution System[J]. Electric Power Automation Equipment,2003, 23(10): 27-30.
- [5] 毛鹏,孙雅明,张兆宁,等. 小波包在配电网单相接地故障选线中的应用[J]. 电网技术, 2000, 24(6): 9-13.
MAO Peng, SUN Ya-ming, ZHANG Zhao-ning, et al. Wavelet Packet Based Detection of Phase-to-Ground Fault in Distribution Automation System[J]. Power System Technology,2000, 24(6): 9-13.

收稿日期: 2005-09-15; 修回日期: 2006-10-09

作者简介:

康忠健(1971-), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为电力系统稳定分析及非线性控制、电力系统故障检测与诊断; E-mail:kangzjzh@163.com

于伟(1980-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统故障检测与诊断。

(上接第 20 页 continued from page 20)

过电压的几率。该方法抗干扰能力强, 判断结果准确可靠, 不受接地方式和接地电阻的影响, 而且能够在电压过零和最大值时都保持高的选线准确率。

本文中采用的仿真模型是一级线路构成的配电网, 对于有二级线路(同一电压等级)的配电网, 首先对一级线路进行故障选线, 当故障线路含有二级线路时再进一步判定其子网的二级线路是否有故障。

大量的仿真结果表明, 利用本文所介绍的方法实现故障选线具有较高的灵敏性和可靠性。

参考文献

- [1] 马柯,张保会. 中性点非直接接地系统故障选线原理的发展和展望[J]. 继电器, 2003, 31(5): 65-70.
MA Ke, ZHANG Bao-hui. Development and Prospect of the Single-phase Grounding Fault Detection in Unearthed or Compensated Neutral Networks[J]. Relay, 2003, 31(5):65-70.
- [2] 黄景光,吕艳萍. 应用小波包构成暂态零序功率分量的消弧线圈接地系统故障选线保护[J]. 继电器, 2003, 31(6): 1-8.
HUANG Jing-guang, Lu Yan-ping. Single-phase Fault Detection Based on the Wavelet Packet Analysis of Zero-sequence Power Components in the Peterson-coil Grounded System[J]. Relay, 2003, 31(6):1-8.
- [3] 戴剑锋,张艳霞,候喆. 小波重构算法在配电网接地选线中的应用[J]. 电网技术, 2004, 28(3): 43-47.
DAI Jian-feng, ZHANG Yan-xia, HOU Zhe. Application of Wavelet Reconstruction Algorithm in Phase-to-ground Fault Detection of Distribution Networks[J]. Power System Technology, 2004, 28(3):43-47.
- [4] 戴剑锋,张艳霞. 基于多频率分析的自适应配电网故障选线研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(5): 44-47.
DAI Jian-feng, ZHANG Yan-xia. Study on Adaptively Choosing Fault Line Under Single-phase to Ground Fault Based on Analysis of Multi-frequency Bands[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(5): 44-47.
- [5] 胡昌华,李国华,刘涛,等. 基于 MATLAB 6.X 的系统分析与设计——小波分析(第二版)[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.
HU Chang-hua, LI Guo-hua, LIU Tao, et al. System Analysis and Design Based on MATLAB 6.X——Wavelet Analysis [M]. Xi'an: Xidian University Press, 2004.
- [6] 董长虹,高志,余啸海. MATLAB 小波分析工具箱原理与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
DONG Chang-hong, GAO Zhi, YU Xiao-hai. The Theory and Application of MATLAB Wavelet Analysis Toolbox[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2004.

收稿日期: 2006-07-25; 修回日期: 2006-11-07

作者简介:

陈少华(1954-), 女, 教授, 研究方向为继电保护以及人工智能在电力系统中的应用;

桂存兵(1974-), 男, 硕士研究生, 研究方向为继电保护以及人工智能在电力系统中的应用。

E-mail: ahui200491@126.com