

基于虚拟仪器的电力暂态信号小波分析仪

陈小勤,何正友,钱清泉

(西南交通大学 牵引动力中心电气化自动化研究所,四川 成都 610031)

摘要: 电力设备出现绝缘老化、绝缘电阻降低、局部放电等异常现象会破坏电力系统原正常状态,出现暂态现象,产生暂态信号。因此,电力系统迫切需要用于暂态信号分析的装置,基于虚拟仪器设计了一套电力暂态小波分析仪。分析仪硬件由信号调理板、NI PCI-6143 数据采集卡及计算机组成。软件主要完成对所采集的暂态信号的显示、小波变换、后处理及应用分析等功能。利用 EMTDC (Electromagnetic Transients including DC) 仿真数据对系统软件的功能进行了演示,结果表明,设计的分析仪是可行的。

关键词: 电力暂态信号; 小波分析仪; 虚拟仪器

中图分类号: TM 76; TM 774

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2006)10-0098-03

0 引言

长期以来,电力暂态信号的研究一直是学术界研究的热点。例如,掌握电力系统故障发生的影响与严重性,对大型电力设备的运行情况或故障进行早期诊断和预测,开展电力设备的状态检修,进行大型电气试验如高压电力设备、线路投/切,以及输/配电线路故障定位、选线、测距等,皆需长期监测或采集电力暂态信号,并针对记录的信号作进一步分析处理,以提供用户或电力公司对所发生电力事故进行了解。由于暂态信号的频率随时间变化而变化,传统的傅里叶变换已不能满足这一分析要求,因此,开发研制实用的电力暂态信号小波分析仪是十分必要的。

近年来,虚拟仪器的兴起给该系统的研制提供了一条新的研究途径,它除了在性能、用户可编制性等方面有诸多优点外,在实际应用及社会效益等方面也具有突出优势^[1]。基于此,本文设计了一种基于虚拟仪器的电力暂态信号小波分析仪系统。该系统软件以美国 NI 公司开发的 LabVIEW 为平台,将小波分析仪系统的设计模块化、框图化,完成系统的各个逻辑和测量分析功能设计。

1 电力暂态信号及其小波分析方法

1.1 电力暂态信号的产生及特点

电力系统正常运行时所发出的各种信号较平稳,一旦设备出现异常现象,如绝缘老化,个别部位对地绝缘电阻降低,或由于天气、化学等原因引起局部放电,都会破坏原正常状态,出现暂态现象^[2],产生暂态信号。

电力系统暂态信号为高频信号且混有相对较窄的脉冲或暂态,其产生的一般原因为故障或者不良

电力变化事件的发生,但也不排除一些开关设备的正常动作而引起的信号突变。因此,电力系统暂态大致可分为两大类^[3],一类是不影响电网、线路或设备正常运行的扰动暂态,另一类是由于线路或设备异常所产生的故障暂态,如故障行波暂态、电弧故障暂态等^[3],引起该暂态发生的电力系统事故具有突发性强、维持时间短、复杂程度高、破坏力大的特点,因此,故障暂态信号尤其是高压输电线路的故障信号拥有相当宽的频率范围,从直流分量到几百千赫兹的高频分量,以及不确定幅值和衰减率的衰减直流分量。总之,电力暂态信号实质上是一种非平稳突变信号,其持续时间很短(几毫秒)。

1.2 小波分析方法

1.2.1 连续小波变换系数表示法^[4]

设 $\psi \in L^2(R)$ 满足“容许性”条件 $\int_R \psi(t) dt = 0$ 的一个基小波,于是属于 $L^2(R)$ 的电力暂态信号 $x(t)$ 的连续小波变换 CWT (Continuous Wavelet Transform) 表示为

$$Wx(b, a) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \bar{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt = \langle x(t), \psi_{a,b}(t) \rangle \quad (1)$$

$Wx(b, a)$ 在时频空间上表征了电力暂态信号,它包含暂态信号的所有特征信息。按照上述连续小波变换后,可以在不同的尺度上得到一系列的小波变换系数,这些系数完备地描述了暂态信号的特征。

1.2.2 多分辨率分析快速小波变换结果表示法^[5]

基于多分辨率分析的快速小波变换是利用正交小波基将信号分解为不同尺度下的各个分量,其实现过程如图 1 所示,图中 g 和 h 相当于一组高通和低通滤波器。

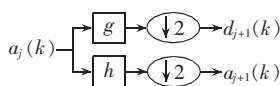


图 1 快速小波分解过程结构图

Fig.1 Structure of fast wavelet decomposition

设一暂态信号 $x(n)$ 经上述快速变换后,在第 j 分

解尺度下 k 时刻的高频分量系数为 $d_j(k)$, 低频分量系数为 $a_j(k)$, 进行单支重构后得到信号分量 $D_j(k)$ 、 $A_j(k)$ 所包含的信息的频带范围为

$$D_j(k): [2^{-(j+1)}F_s, 2^{-j}F_s]$$
$$A_j(k): [0, 2^{-(j+1)}F_s]$$
$$j=1, 2, \dots, J$$

(2)

式中 F_s 为信号采样频率; J 为最大分解尺度。

原始信号序列 $x(n)$ 可表示为各分量之和, 即

$$x(n) = D_1(n) + A_1(n) =$$
$$D_1(n) + D_2(n) + A_2(n) =$$
$$\sum_{j=1}^J D_j(n) + A_J(n)$$

(3)

为统一, 用 $D_{j+1}(n)$ 代替 $A_j(n)$ 则有

$$x(n) = \sum_{j=1}^{J+1} D_j(n)$$

(4)

式中 $D_j(n)$ 表征了暂态信号 $x(n)$ 在不同尺度(不同频段)的分量。

1.3 小波分析后处理方法

考虑到 CWT 后的系数非常多, 若都作为特征, 必严重降低分类器的性能, 也不适合实时应用场合, 需要降维; 而基于多分辨分析的快速小波变换要实现不同频段信号分量的特征提取或分类也是困难的, 这样, 暂态信号的小波变换后处理方法是必要的。

模极大值提取、奇异性检测, 统计处理或聚类分析, 神经网络分类、能量分布特征分析、熵等均可作为小波分析的后处理方法^[6], 其途径都是将小波变换后的系数再次进行处理。

2 系统构成及功能

本系统在理论上以小波变换为分析工具, 技术上以计算机、虚拟仪器为依托, 将前置单元(数据采集卡 NI PCI-6143)采集的暂态电流、电压信号在 PC 机上作分析。图 2 为分析仪系统的构成图。

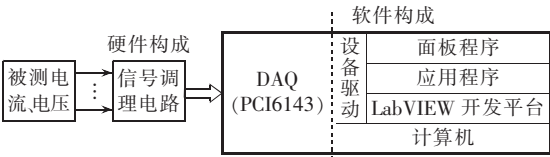


图 2 分析仪系统构成

Fig.2 Structure of analysis instrument

2.1 分析仪的硬件结构

分析仪的硬件结构主要由信号调理板、PCI 总线的多功能数据采集卡及计算机组成。被测信号共 8 路, 即三相电流、电压和零序电流、电压, 这 8 路信号来自于实际电网中的电流、电压互感器二次侧, 一般为 5 A 电流和 100 V 电压, 且可能含干扰噪声, 所以将进行电流、电压转换, 通过信号调理后电流、电压变为 $-5 \sim +5$ V 的电压信号送入数据采集卡。

数据采集卡为前置单元核心, 用于电流、电压信号的采集。仪器设计采用 NI PCI-6143 数据采集卡, 是一块性价比较好的产品, 它是插卡式结构, 可直接插入到计算机 PCI 总线扩展插槽内。该数据采

集卡为用户提供了 8 路 16 位精度的模拟输入通道, 每通道的信号输入量程为 ± 5 V; 板上还装有 8 个 16 位分辨率的 AD 转换器, 可做到 8 路信号同时采样; 另外, 带有 2 个 24 位的定时器和 8 根数字 IO 线^①。同时, PCI-6143 每通道的采样率为 250×10^3 次/s, 高速的采样率能保证精确地采样动态信号, 且 PCI 总线传输速率高、数据吞吐量大, 有利于被采集的大量数据尽快传至上位机。

通用计算机作为后台机, 用于接收前置单元传输的数据, 在以 LabVIEW 为平台建立的软件系统中对其进行各种变换、处理与分析。

2.2 软件设计及功能描述

对于一个虚拟仪器 VI(Virtual Instrument)系统而言, 硬件解决了信号的输入和输出^[7], 而软件则对硬件采集得到的信号进行分析和处理。本分析仪后台机软件部分的整个程序流程如图 3 所示, 主要完成对采集的暂态信号的显示、变换、处理与分析等功能。

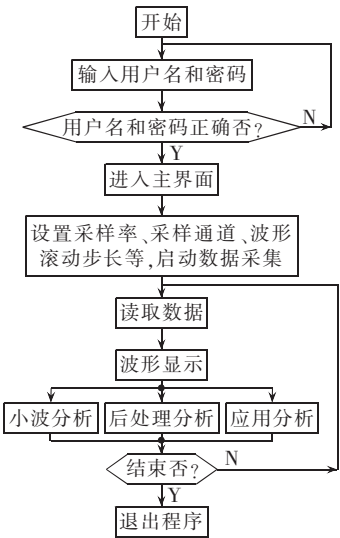


图 3 主程序流程图

Fig.3 Flowchart of main program

2.2.1 显示功能

显示功能可按设置好的采样率、通道总数和设置好的每次读取数据点数、单位数据长度等, 完成波形的显示。具体讲, 它可完成如下几点工作: 按所选择信号通道显示其波形; 调整波形滚动步长; 使波形滚动暂停; 当显示暂停时, 还可对波形进行放大与缩小; 通过移动红色游标指示某点的幅值与时刻。

2.2.2 小波变换功能

小波变换功能可以完成连续小波变换、离散小波变换及小波包变换。变换之前可选择小波类型及分解层数等重要参数。

2.2.3 后处理功能^[8-9]

软件设计的后处理功能包括有小波熵计算, 模极大值提取、奇异性检测, 小波变换系数的统计处理或聚类分析, 小波神经网络分类、基于小波分析的能量分布特征分析等模块^[6]。其中, 小波熵的计算是按

① National instruments information of PCI-6143.

文献[8]中定义的小波熵及其计算方法实现的。

2.2.4 应用分析功能

基于以上变换和处理,本软件还设计了如下几种应用分析,即行波测距、故障分类、故障选线、电能质量分析、数据压缩等。

另外,软件功能还附加有傅里叶变换、频谱分析、保存、打印与帮助等。

3 功能演示

建立 EMTDC(Electromagnetic Transients including DC)仿真模型见图 4,模拟单相接地故障,运行获得故障电流与电压,并保存数据,用于演示本软件部分功能,证明其可用性。

在此以计算小波熵为例,波形如图 5、图 6 所示。图 5 显示了 2 路信号经离散小波变换后重构的波形,最上层为 1 层近似部分,下面为 4 个层次细节部分的波形;图 6 中有 2 路原始信号和其能量熵(WEE_1 、 WEE_2)的波形。

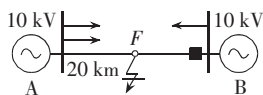


图 4 故障仿真模型

Fig.4 Fault simulation model

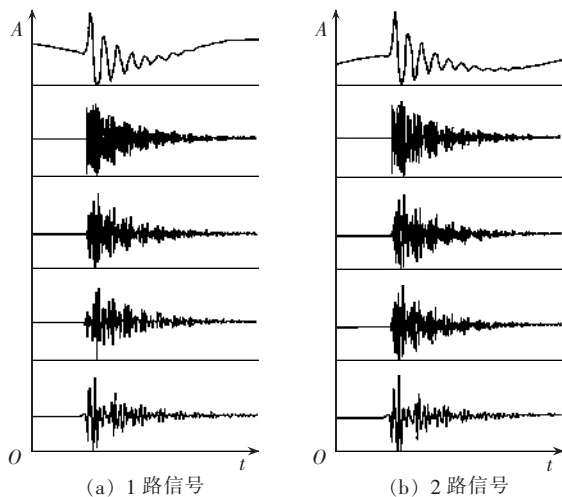


图 5 小波变换子界面

Fig.5 Sub-interface for wavelet transform

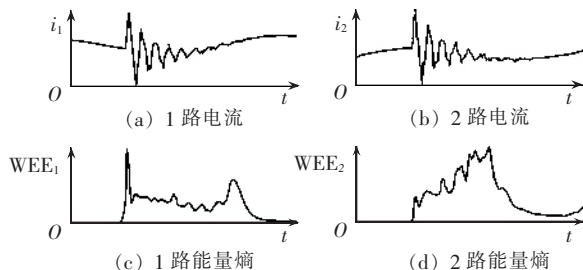


图 6 小波熵分析子界面

Fig.6 Sub-interface for wavelet entropy analysis

4 结语

本文将虚拟仪器与电力暂态信号的小波分析方法结合,设计了一种基于虚拟仪器的电力暂态信号小波分析仪器系统,为一新型仪器的研制提供了新方

案,实验也表明该系统不仅人机界面直观,如同真实仪器,而且使用方便可行,并有望运用于实际系统中。

参考文献:

- [1] 樊江涛,刘静芳,陈剑云. 基于 LabVIEW 的牵引供电系统谐波负序分析仪[J]. 华东交通大学学报,2004,21(5):54-58.
FAN Jiang-tao,LIU Jing-fang,CHEN Jian-yun. Harmonic and negative sequence analytical instrument based on LabVIEW in traction supply system[J]. Journal of East China Jiaotong University,2004,21(5):54-58.
- [2] 胡国胜,任震,黄雯莹. 小波变换在电力系统中应用研究[J]. 电力自动化设备,2002,22(3):71-78.
HU Guo-sheng,REN Zhen,HUANG Wen-ying. Application of wavelet transform to electric power system[J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(3):71-78.
- [3] 何正友,钱清泉. 电力系统暂态信号分析中小波基的选择原则[J]. 电力系统自动化,2003,27(10):45-48.
HE Zheng-you,QIAN Qing-quan. Mother wavelet option method in the transient signal analysis of electric power systems[J]. Automation of Electric Power Systems,2003,27(10):45-48.
- [4] 何正友,王晓娟,钱清泉. 利用小波分析实现 EHV 输电线路单端量暂态保护的研究[J]. 中国电机工程学报,2001,21(10):10-14.
HE Zheng-you,WANG Xiao-ru,QIAN Qing-quan. A study of EHV transmission lines non-unit transient protection based on wavelet analysis[J]. Proceedings of the CSEE,2001,21(10):10-14.
- [5] 何正友,蔡玉梅,钱清泉. 小波熵理论及其在电力系统故障检测中的应用研究[J]. 中国电机工程学报,2005,25(5):23-43.
HE Zheng-you,CAI Yu-mei,QIAN Qing-quan. A study of wavelet entropy theory and its application in power system[J]. Proceedings of the CSEE,2005,25(5):23-43.
- [6] 何正友,曹军军,陈小勤,等. 基于 TMS320F2812 的电力系统暂态小波分析仪研制[J]. 四川大学学报:自然科学版,2004,41(增刊):363-367.
HE Zheng-you,CAO Jun-jun,CHEN Xiao-qin, et al. Development of the power system transient signal wavelet analysis instrument based on TMS320F2812[J]. Journal of Sichuan University: Natural Science, 2004,41(Supplement):363-367.
- [7] 李震梅,杨爱军,谷笑娜. 基于虚拟仪器的电能质量监测和分析的软件设计[J]. 山东理工大学学报:自然科学版,2004,18(5):8-12.
LI Zhen-mei,YANG Ai-jun,GU Xiao-na. Software design of power quality monitoring and analyzing system based on virtual instrument[J]. Journal of Shandong University of Technology: Natural Science, 2004,18(5):8-12.
- [8] HE Zheng-you,CAI Yu-mei,QIAN Qing-quan. A study of wavelet entropy theory and its application in power system[C]// International Conference on Intelligent Mechatronics and Automation Society,Proceeding of the 2004 IEEE. Chengdu,China: IEEE,2004:847-851.
- [9] HE Zheng-you,CHEN Xiao-qin,CAI Yu-mei. A study of algorithm and application in transient signals wavelet post-analysis methods[C]// 2005 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition:Asia and Pacific Dalian,China:IEEE, 2005:1-6.

(责任编辑:汪仪珍)

作者简介:

陈小勤(1981-),女,四川大竹人,硕士研究生,主要研究方向为电力暂态信号小波分析方法、熵在电力系统中的应用(E-mail:chenchen81425@126.com);

何正友(1970-),男,四川自贡人,教授,博士研究生导师,研究方向为现代信号处理理论及其在电力系统中的应用、配电自动化;

钱清泉(1936-),男,江苏丹阳人,教授,中国工程院院士,研究领域为信息论、智能监控及综合自动化。

(下转第 109 页 continued on page 109)

Wavelet transform analysis instrument of electric power transient signal based on virtual instrument

CHEN Xiao-qin, HE Zheng-you, QIAN Qing-quan

(School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Abnormalities of electric power devices, such as insulation aging, insulation resistance decreasing and local discharging, may destroy normal conditions of power system and cause transient phenomena and corresponding signals. The instrument used for electric power transient signal analysis is essential. A set of electric power transient wavelet analyzer based on virtual instrument is designed. Its hardware consists of the signal conditioning card, NI PCI-6143 data acquisition card and computer. The software mainly realizes waveform display, wavelet transform, post processing and application analysis of acquired transient signals. System functions are demonstrated with EMTDC (ElectroMagnetic Transients including DC) simulated data and the result shows its feasibility.

This project is supported by the National Natural Science Foundation of China(50407009).

Key words: electric power transient signal; wavelet analysis instrument; virtual instrument