

基于 S 变换的暂态电能质量扰动检测与仿真

付娟¹, 周汉勇², 姜勤²

(1. 西安铁路职业技术学院电气工程系, 陕西 西安 710014; 2. 重庆三峡水利电力(集团)股份有限公司, 重庆 404000)

摘要: 提出了基于 S 变换的暂态电能质量扰动检测的新方法。介绍了 S 变换的基本原理和利用 S 变换的幅值矩阵检测电能质量扰动的实现方法。仿真试验表明该方法可以实时准确检测扰动的起止时刻、持续时间和扰动幅度, 适用于电能质量扰动的监测和辨识系统。

关键词: S 变换; 暂态; 电能质量; 扰动检测; LabVIEW7.0 仿真

Power quality detection and simulation using S-transform

FU Juan¹, ZHOU Han-yong², JIANG Qin²

(1. Department of Electrical Engineering, Xi'an Railway Vocational Technical Institute, Xi'an 710014, China;
2. Sanxia Electric Power Corporation, Chongqing 404100, China)

Abstract: The paper proposes a method to detect power quality disturbances based on the S-transform, in which the principle and the realization of the S transform and the realization of power quality disturbances used by the amplitude matrix of S-transform of signals are introduced. The results show that this method can localize the disturbance precisely, so it is suitable to the monitoring and classification system for power quality disturbance.

Key words: S-transform; momentary state; power quality; disturbances detect; LabVIEW7.0 simulation

中图分类号: TM933.4 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)21-0086-04

0 引言

近年来, 大量对电能质量扰动敏感的电力电子器件、精密仪器的应用使电压骤降(voltage sag)、电压骤升(voltage swell)等暂态电能质量问题日益突出。电能质量扰动起止时刻、持续时间、扰动幅度是描述扰动的重要属性, 对电能质量扰动进行有效的检测, 有助于电能质量的综合评估, 对于电能质量的综合治理和提高也具有重要意义。

目前常用的电能质量扰动的检测方法有小波变换^[1]、数学形态学^[2]、瞬时无功功率理论^[3]。S 变换^[4]是由 Stock-well 等学者于 1996 年首次提出的。它是一种新的加窗傅里叶变换, 是加窗傅里叶变换和连续小波变换思想的延伸或推广, 在 S 变换中, 窗函数是一个可随频率的变化而伸缩的高斯函数, S 变换具有连续小波变换所没有的一些优点, 其分辨率是依赖于频率的, 并与傅里叶谱保持直接的联系。

基于 S 变换的方法, 其变换结果与频谱有简单的对应关系。能提取信号任意频率分量的特征, 提取的这些扰动特征直观, 易于理解, 且抗噪能力强, 目前这种方法逐渐显现出较小波变换和其他方法更

强的扰动监测和识别能力, 且借助 FFT 可实现 S 变换的快速计算。文献[5~7]仅对于将 S 变换应用于电能质量扰动的分类进行了研究, 文献[8]只对几种单一的电能质量扰动(电压骤降、电压骤升、电压间断)进行了检测。本文在此基础上基于 S 变换的时频矩阵, 通过比较分析各扰动信号经 S 变换的相关曲线特征, 提出了对暂态电能质量的各种扰动进行检测的新方法。

1 S 变换的基本原理

1.1 一维连续 S 变换

S 变换是一种时频可逆分析方法。其思想是对小波变换和短时傅里叶变换的扩展。

信号 $x(t)$ 的 S 变换 $S(\tau, f)$ 定义如下:

$$S(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\tau-t)^2 f^2}{2}\right) \exp(-2\pi i f t) dt \quad (1)$$

S 变换与傅里叶变换保持紧密的联系。其时频谱与频率有关。利用傅里叶变换与卷积定理, 可以从式(1)推导出式(2)。从而利用现有的快速傅里叶变

换算法实现 S 变换的计算。

$$S(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f + \alpha) \cdot e^{-\frac{2\pi^2 \alpha^2}{f^2}} \cdot e^{j2\pi \alpha \tau} d\alpha \quad (2)$$

式中: $H(f)$ 是 $H(t)$ 的傅里叶变换谱, α 是平移频率, 它控制频域中高斯窗在频率轴上移动。

1.2 一维离散 S 变换

在式 2 中, 令 $f \rightarrow n/NT$, 且 $\tau \rightarrow jT$, 则得一维离散 S 变换:

$$S(jT, \frac{n}{NT}) = \sum_{m=0}^{N-1} H(\frac{m+n}{NT}) \exp(-\frac{2\pi^2 m^2}{n^2}) e^{\frac{j2\pi mj}{N}}$$

$$n \neq 0, j, m, n = 0, 1, 2, \dots, N-1. \quad (3)$$

当 $n = 0$ 时的离散 S 变换定义为:

$$S(jT, 0) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} h(\frac{m}{NT}) \quad (4)$$

2 暂态电能质量扰动的检测

利用文献[9]提供的扰动信号模型产生扰动信号样本, 采样时间为 8 个工频周期, 每周波的采样点为 32, 设频率为 50 Hz。对扰动信号加入幅值为信

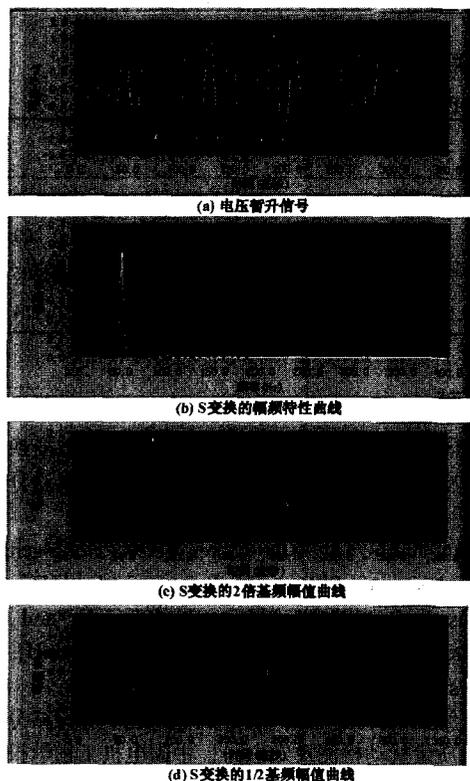


图 1 电压暂升信号及其 S 变换统计信息图

Fig.1 Voltage swell signal and its statistical information graph based on S-transform

号幅值 3.5% 的白噪声, 基于 LabVIEW7.0 仿真平台, 得到信号经 S 变换的 2 倍基频幅值曲线、任一点的频率幅值曲线、1/2 基频幅值曲线及复合扰动信号的 1/2 基频幅值包络线。其统计信息如图 1、2。

比较图 1(c)、图 2(c) 可知: 单一扰动经 S 变换的 2 倍基频幅值曲线首末端的幅值突变点对应扰动的起止时刻; 复合扰动经 S 变换的 1/2 倍基频幅值包络线在扰动起止时刻也有幅值突变。从图 1(d) 可知电压暂升的扰动幅度, 图 2(e) 可知含谐波的电压暂降的扰动幅度。

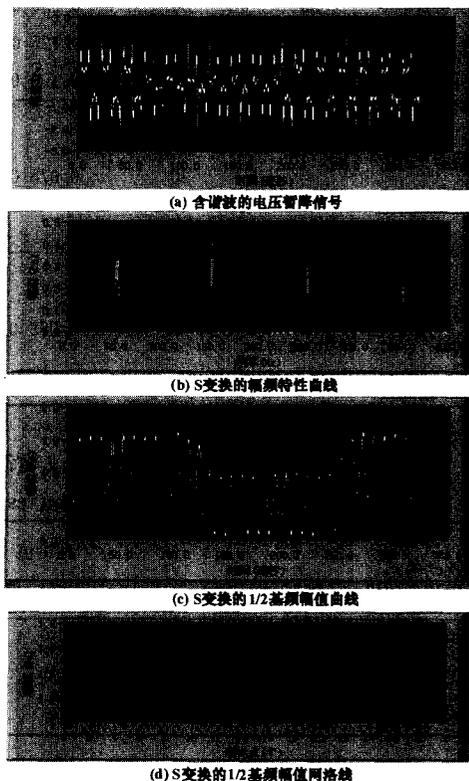


图 2 含谐波的电压暂降信号及其 S 变换统计信息图

Fig.2 Voltage dips with harmonics signal and its statistical information graph based on S-transform

通过对各扰动信号的统计信息图的分析比较, 可以得到: 单一扰动和复合扰动的检测方法不尽相同^[10], 从而得到下面的检测流程图。

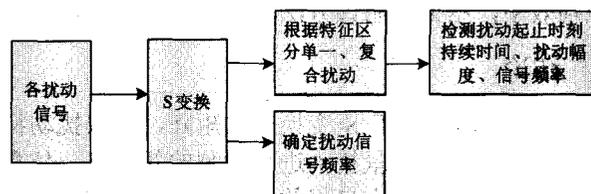


图 3 暂态电能质量扰动检测流程图

Fig.3 Flowchart of transient power quality disturbances

3 仿真分析

仿真信号模拟 50 Hz 的工频电压信号, 采样频率为 800 Hz, 并加入信噪比为 30 dB 的高斯白噪声。

随机设定电压暂降、电压暂升、电压中断、电压尖峰、电压缺口的单一扰动及含谐波的电压暂降、含谐波的电压暂升等复合扰动的起止时刻、扰动幅度, 基于 S 变换的检测结果如表 1、表 2 所示。

表 1 暂态电能质量扰动的检测结果

Tab.1 Detection result of transient power quality disturbances

扰动类型	理论值				检测值			
	频率/Hz	扰动幅度 / (%)	起始时间/s	终止时间/s	频率	扰动幅度 / (%)	起始时间/s	终止时间/s
电压暂升	50	50	0.050 0	0.175 0	50	48.75	0.050 2	0.147 3
电压暂降	50	-60	0.125 0	0.250 0	50	-59.14	0.124 3	0.249 9
电压中断	50	-100	0.100 0	0.225 0	50	-97.85	0.100 2	0.223 0
					49.998 7			
含谐波的电压 暂升	50, 150, 250, 350	30	0.075 0	0.200 0	150.004	30.96	0.079 6	0.209 6
					249.999			
					349.992			
					49.998 8			
含谐波的电压 暂降	50, 150, 250, 350	-40	0.075 0	0.212 5	150.011 0	-39.01	0.075 1	0.214 8
					250.005 0			
					349.995 0			

表 2 暂态电能质量扰动的检测结果

Tab.2 Detection result of transient power quality disturbances

扰动类型	理论值			检测值		
	频率/Hz	起始时间/s	终止时间/s	频率/Hz	起始时间/s	终止时间/s
电压尖峰	50	0.062 5	0.205 0	49.999 9	0.062 6	0.203 6
电压缺口	50	0.062 5	0.206 3	49.999 5	0.062 3	0.205 2
震荡暂态	50, 550	0.125 0	0.175 0	50.001; 249.657	0.125 7	0.174 1

从表 1、表 2 可以看出, 检测出的电能质量的各项指标实际值与理论值误差很小, 可以实现各电能质量扰动精确的检测。

另外, 对此检测方法的抑噪能力进行了研究, 基于 LabVIEW7.0 仿真平台, 生成大量各类扰动信号样本, 在信噪比分别为 20 dB、30 dB、40 dB 的条件下, 应用上面提出的扰动自动检测系统检测其识别效率, 结果表明该方法具有良好的抑噪性能。

4 结论

本文提出了基于 S 变换时频矩阵, 提取扰动特征, 对各类电能质量扰动进行检测的新方法, 仿真结果表明该方法具有良好的检测能力。本文仅对各类仿真扰动信号进行了准确的检测, 其在实际中的应用还有待进一步研究。

参考文献

[1] 严居斌, 刘晓川, 杨洪耕, 等. 基于小波变换模极大值原理和能量分布曲线的电力系统短期扰动分析系统[J]. 电网技术, 2002, 26(4): 16-18.
YAN Ju-bin, LIU Xiao-chuan, YANG Hong-geng, et al. Analysis of Short-term Power System Disturbance Based-on Modulo Maximum Principle and Energy Distribution Curve of Wavelet Transform[J]. Power System Technology, 2002, 26(4): 16-18.

[2] 李庚银, 罗艳, 等. 基于数学形态学和网格分形的电能质量扰动检测及定位[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(3): 25-30.
LI Geng-yin, LUO Yan, et al. Power Quality Disturbance Detection and Location Based on Mathematical Morphology and Grille Fractal[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(3): 25-30.

- [3] 魏磊, 张伏生, 耿中行, 等. 基于瞬时无功功率理论的电能质量扰动检测、定位与分类方法[J]. 电网技术, 2004, 8(6): 53-58.
WEI Lei, ZHANG Fu-sheng, GENG Zhong-xing, et al. Detection, Localization and Identification of Power Quality Disturbance Based on Instantaneous Reactive Power Theory [J]. Power System Technology, 2004, 28(6): 53-58.
- [4] Stockwell R G, Mansinha L, Lowe R P. Localization of the Complex Spectrum: the S Transform[J]. IEEE Trans on Signal Processing, 1996, 44(4): 998-1001.
- [5] Dash P K, Panigrahi B K, Panda G Power Quality Analysis Using S-transform[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2003, 18(2):406-411.
- [6] Dash P K, Panigrahi B K, Sahoo D K, et al. Power Quality Disturbance Data Compression, Detection and Classification Using Integrated So Line Wavelet and S-transform[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2003,18(2): 595 -600.
- [7] Lee I W C, Dash P K. S-transform-based Intelligent System for Classification of Power Quality Disturbance Signals[J]. IEEE Trans on Industrial Electronics, 2003, 50(4): 800-805.
- [8] 刘守亮, 肖先勇, 杨洪耕. 基于 S 变换时频等值线图 and 幅值包络线的短时电能质量扰动检测与分类[J]. 继电器, 2005, 33(22): 49-52.
LIU Shou-liang, XIAO Xian-yong, YANG Hong-geng. Detection and Classification of Short Duration Power Quality Disturbances Based on Time-frequency Contour and Amplitude Envelope of S Transform[J]. Relay, 2005, 33(22): 49-52.
- [9] 占勇, 程浩忠, 丁屹峰, 等. 基于 S 变换的电能质量扰动支持向量机分类识别[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(4): 51-56.
ZHAN Yong, CHENG Hao-zhong, DING Yi-feng, et al. S-transform-based Classification of Power Quality Disturbance Signals by Support Vector Machines.[J]. Proceedings of the CSEE, 2005,25(4):51-56.
- [10] 刘晓芳, 刘会金, 柯定芳. 基于小波变换和神经网络的暂态电能质量扰动自动识别[J]. 继电器, 2005, 33(23): 46-50.
LIU Xiao-fang, LIU Hui-jin, KE Ding-fang. Auto Recognition of Transient Power Quality Disturbances Based on Wavelet and Neural Network[J]. Relay, 2005, 33(23): 46-50.

收稿日期: 2008-10-31; 修回日期: 2008-12-22

作者简介:

付娟(1968-), 女, 硕士, 副教授, 从事电气控制与电能质量教学与研究; E-mail: fujuan3000@126.com

周汉勇(1971-), 男, 工程师, 主要从事电力系统自动化方面工作;

姜勤(1972-), 男, 工程师, 主要从事电力设备安装、调试、检修管理工作。

(上接第 70 页 continued from page 70)

- [11] 何卫, 唐成虹, 张祥文, 等. 基于 IEC61850 的 IED 数据结构设计[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(1):57-60.
HE Wei, TANG Cheng-hong, ZHANG Xiang-wen, et al. Design of Data Structure for IED Based on IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(1): 57-60(in Chinese).
- [12] 李映川, 王晓茹. 基于 IEC61850 的变电站智能电子设备的实现技术[J]. 电力系统通信, 2005, 26(155):54-56.
LI Ying-chuan, WANG Xiao-ru. Preliminary Technology Analysis on Implementing IEDs in Substation Based on IEC61850[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2005, 26(155):54-56 (in Chinese).
- [13] 徐洁磐. 面向对象数据库系统及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2003, 4-5.
- [14] 王照, 任雁铭, 高峰, 等. IEC61850 客户端应用程序的实现[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(19):76-78.

WANG Zhao, REN Yan-ming, GAO Feng, et al. Realization of IEC61850 Client Application Program[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(19): 76-78(in Chinese).

- [15] Jiang Rosen, ZHANG Huang-zhu, Chris. Trip of Open-source Object-oriented Databases db4o[OL]. <http://www.ibm.com/developerworks/cn/java/j-db4o/>. [2006-10-23].

收稿日期: 2008-11-20

作者简介:

魏杰(1981-), 男, 硕士研究生, 主要从事变电站通信网络和系统研究; E-mail: jiewei915@gmail.com

陈奇志(1970-), 女, 硕士, 副教授, 主要从事调度自动化及相关网络通信技术的研究;

潘虹(1982-), 女, 硕士研究生, 主要从事电力市场及相关技术研究。