

基于小波变换的电能质量扰动信号的检测

储 珺, 马建伟

(河南科技大学电子信息工程学院, 河南 洛阳 471003)

摘要: 为对电能质量进行有效的治理, 提高用电效率, 有必要对扰动信号进行实时检测和定位。针对当前电力系统存在的电能质量扰动信号中持续时间长、发生随机性大及不容易检测的特点, 采用小波变换对电力系统的高频扰动、瞬时脉冲、电压切痕信号进行检测。研究表明, 该方法能够精确定位扰动信号产生的时刻和持续的时间, 证实了该法的准确性和优越性。

关键词: 小波变换; 瞬时脉冲; 电压切痕; 电能质量; 检测

Detection of power quality disturbed signals based on wavelet transform

CHU Jun, MA Jian-wei

(Electronic Information Engineering College, Henan University of Science & Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: To manage power quality efficiently and improve the efficiency of power, it is necessary to detect and locate the disturbed signal in real time. In view of the characteristics of the current power system, such as the short duration, the wide occurrent randomness and detecting uneasily in power quality disturbed signals, this paper applies wavelet transform to detect voltage disturbance, impulse and notch. The research indicates that this method can precisely locate the moment of disturbed signals and its duration, at the same time, its accuracy and advantage are confirmed.

Key words: wavelet transform; impulse; notch; power quality; detection

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)05-0034-03

0 引言

现今, 随着半导体制造业、信息业等高新产业的发展, 微电子技术、计算机技术的广泛应用, 用户对电能质量的要求越来越高, 电能质量问题受到了广泛的关注。电能质量不仅对电网的安全、经济运行有着重要的意义, 而且其质量的好坏直接影响着用户侧设备能否正常工作。一个理想的电力系统应以恒定的频率和正弦波形, 按规定的电压水平对用户供电, 但在实际情况下, 特别是当前不对称负荷与非线性负荷在容量上、数量上日益增大, 干扰成分不断增加, 使到达用户的电能会偏离正弦波形而发生畸变, 电能质量日益恶化。

电能质量的变坏会给负载带来影响, 比如故障、不稳定、短时中断等, 快速准确的监测扰动信号对电能质量的提高非常重要, 电能质量信号的持续检测是一个非常重要的领域, 其可以进行在线分析和对一些突发事件进行事后诊断。目前, 分析电能质量的方法很多, 文献[1]应用加窗傅立叶变换和小波结合的方法对电能质量进行分析, 文献[2~3]

提出S变换应用于电能质量分析, 文献[4~6]将提出小波和神经网络结合的方法应用于电能质量扰动辨识, 文献[8]提出连续小波变换在非整数次谐波测量方法。

对电能质量扰动信号进行检测分析, 实质上就是对电能信号进行突变检测。长期以来, 傅里叶变换是研究函数奇异性的主要工具, 但其难以确定奇异点在空间的位置和分布情况, 不适于分析含有短时高频分量的电能质量扰动信号。小波变换不仅具有由粗及精作多分辨率分析的能力以及在尺度二进制情况下快速算法的特点, 还具有在时、频两域突出信号局部特征的能力, 可以聚焦到信号的任意细节, 能够很好地处理突变信号。本文应用 Daubechies 小波对电能质量扰动电压信号进行分析, Daubechies 小波是唯一不对称的小波; 具备刻画信号的全局和局部奇异性变化的特点, 尤其是对局部奇异变化非常敏感。

1 小波变换的基本理论^[10]

小波变换作为信号分析的一种工具, 同傅立叶变换类似, 其过程就是将时间信号 $f(t)$ 同某个函数(基函数)进行卷积运算的过程, 不同的是, 傅立叶

变换的基函数为三角函数,而小波变换的基函数为小波函数。

设函数 $\psi(t) \in L^2(\mathbb{R})$ 并且满足 $\int_{\mathbb{R}} \psi(t) dt = 0$ 称 $\psi(t)$ 为母小波函数。对母小波 $\psi(t)$ 进行伸缩和平移变换,若记伸缩因子为 a 平移因子为 b , $a, b \in \mathbb{R}$, 且 $a \neq 0$, 则可得下列函数族 $\psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$, 称 $\psi_{a,b}(t)$ 为连续小波基。

函数 $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$ 的连续小波变换 (CWT) 定义为 $W_{a,b} = \int_{\mathbb{R}} f(t) \psi_{a,b}(t) dt$, 因此, $f(t)$ 的连续小波变换就相当于信号 $f(t)$ 通过一单位冲激响应为 $h_a(t) = |a|^{-1/2} \psi(-t/a)$ 或一传递函数为 $H_a(\omega) = |a|^{1/2} \hat{\psi}(-a\omega)$ 的系统的输出。

信号 $f(t)$ 的连续小波变换就是一系列带通滤波器对 $f(t)$ 滤波后的输出, $W_{a,b}$ 中的 a 反映了带通滤波器的带宽和中心频率, b 则为滤波后输出的时间参数。伸缩因子 a 的变化形成的一系列带通滤波器都是恒 Q 滤波器, Q 为滤波器的品质因数, 它等于滤波器中心频率与带宽之比; $Q = \omega_0 / \Delta\omega$, 其中 ω_0 与 $\Delta\omega$ 分别为母小波 $\psi(t)$ 的中心频率和带宽。伸缩因子 a 变化, 带通滤波器的带宽和中心频率也变化。 a 小, 中心频率大, 带宽也宽; a 大, 中心频率小, 带宽也窄。 $f(t)$ 通过这样的带通滤波器滤波, 对分析信号 $f(t)$ 的局部特性很有价值。信号变化缓慢的地方, 主要为低频成分, 频率范围也比较窄, 此时小波变换的带通滤波器应相当于 a 大的情况; 反之, 信号发生突变的地方, 主要是高频成分, 频率范围比较宽, 小波变换的带通滤波器相当于 a 小的情况; 伸缩因子 a 由大到小变化, 滤波的范围也从低频到高频变化。

因此, 从系统响应的角度来分析, 信号 $f(t)$ 的连续小波变换实质上为其经一系列带通滤波器滤波后的输出。另外, 从频谱分析的角度来看, 小波变换是将信号分解到一系列选择性相同的频带上; 这种时频局部化的特性正是分析电能扰动信号所需要的。

2 扰动信号检测

为了实现小波变换对电能质量扰动信号的局部检测技术, 对实际的电能质量信号进行分析, 信号幅值为 330 V, 基本频率为 50 Hz。信号内含有扰动信号, 扰动信号包括高频干扰, 瞬时脉冲, 电压切痕。

2.1 高频干扰信号的检测

图 1a) 显示了五个周期的基波频率为 50 Hz 的周期信号^[8]。在第三、四周期时段被高频衰减噪声信号污染, 噪声信号发生 0.04 s 时, 噪声信号如下式: $50\sin(30 \times 2\pi 50 t) \times \exp(-20t)$ 。图 1 采用 db4 小波对该含高频扰动的信号分析结果, 从结果可以分析出, 小波变换能对这种高频扰动信号发生的起始时刻时刻精确定位, 小波系数的模极大值所在的时刻对应扰动信号发生时刻和结束时刻。

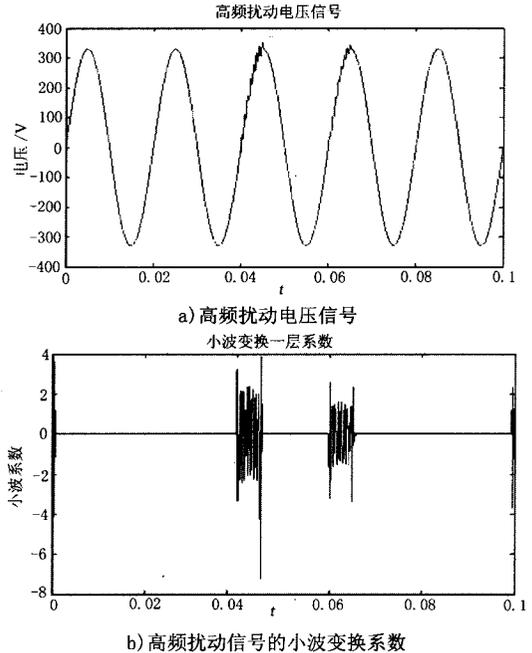


图 1 电压高频扰动信号和小波系数

Fig.1 High frequency voltage signals disturbance and wavelet coefficients

2.2 瞬时脉冲信号检测

瞬时脉冲是指在一定时间间隔内, 两个连续稳态电压之间在极短时间内发生的一种突变现象, 引起的原因主要是雷击, 也可能由于系统电流发生突然变化引起。图 2 显示的在一、三、五周期上出现脉冲的信号和小波变换系数, 从检测结果可知, 小波变换精确定位出脉冲发生时刻点。

2.3 电压切痕信号的检测

电压切痕是一种持续时间小于 0.5 周波的周期性电压扰动, 它主要是由电力电子装置在发生相间短路时, 电流从一相转换到另一相而产生的。用常规的谐波分析仪很难检测出来^[9]; 图 3 显示的电压切痕信号和小波变换系数, 分析结果显示, 小波变换能够对电压切痕信号精确的定位, 包括切痕的起始位置。

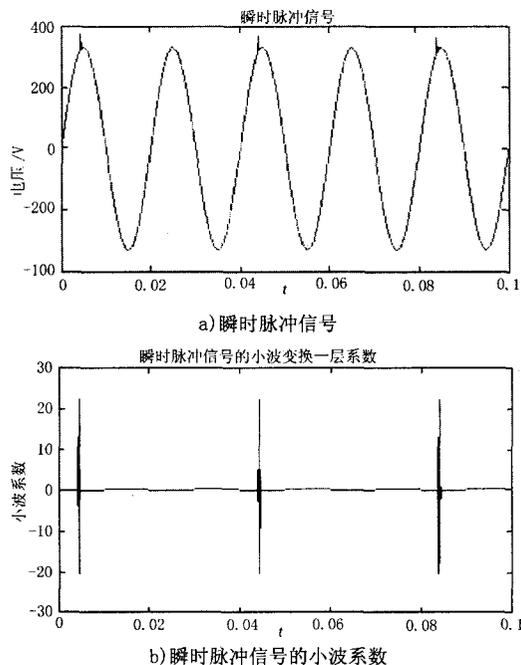


图 2 瞬时脉冲信号和小波系数

Fig.2 Impulse signals and wavelet coefficients

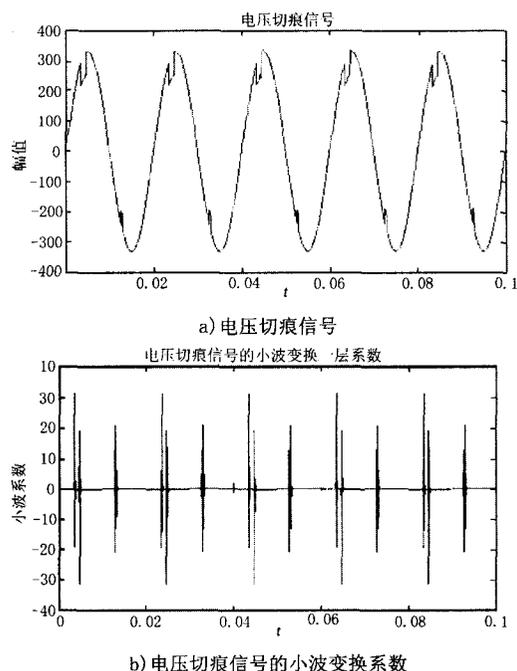


图 3 电压切痕信号和小波系数

Fig.3 Notch signals and wavelet coefficients

由上分析结果可知,采用小波变换对电压扰动信号进行分析,小波系数能够精确定位扰动发生的时刻,对上述三种暂态信号发生在第三周期的起始时刻和检测结果进行统计,其扰动检测结果如表 1 所示,从表 1 中可以看出,检测到的扰动起止时刻与

实际值误差很小,这表明采用此法能够实现较为准确的扰动检测。

表 1 扰动信号起始时刻的检测结果

Tab.1 Detection results of disturbed signals

扰动类型	起始时刻		结束时刻	
	实际值	检测值	实际值	检测值
高频扰动	0.040 00	0.039 98	0.045 00	0.045 24
瞬时脉冲	0.044 13	0.044 16	0.044 27	0.044 84
电压切痕	0.043 43	0.043 46	0.044 62	0.045 14
	0.052 64	0.052 58	0.052 95	0.053 46

3 结论

小波变换时频局部化的性质,对电能瞬态扰动信号的分析有着重要的意义。本文应用小波变换对电能质量扰动信号进行检测,提取扰动信号的特征量。由上分析知小波变换能检测出暂态电能质量信号,确知短时扰动发生的时刻和受扰程度,这为进一步的电能质量实时监测和治理提供了一种方法。由于小波变换算法的实时、高精度要求较高,实际的检测系统可采用DSP芯片为处理芯片^[1],根据处理结果的不同特征,可对电能质量扰动信号类型进行自动识别,利用控制系统,能够采取有效措施来改善电能质量。

参考文献

[1] 潘朝洪,张昱,金心宇.加窗傅立叶和小波变换在电能质量分析中的综合应用[J].江南大学学报(自然科学版),2007,8(4):403-408.
 PAN Chao-hong, ZHANG Yu, JIN Xin-yu. Integrated Application of Windowed FFT and Wavelet Transform on Power Quality Analysis[J]. Journal of Jiangnan University(Natural Science Edition), 2007,8(4):403-408.
 [2] 全惠敏,戴瑜兴.基于S变换模矩阵的电能质量扰动信号检测与定位[J].电工技术学报,2007,8(8):119-125.
 QUAN Hui-min, DAI Yu-xing. Detection and Localization of Power Quality Disturbances Based on S-Transform Module Matrixes[J].Transactions of China Electrotechnical Society, 2007,8(8):119-125.
 [3] 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.
 [4] 谷湘文,高培生,吴为麟.基于S变换和神经网络的电能质量多扰动分类识别[J].机电工程,2007,9(9):46-49
 GU Xiang-wen, GAO Pei-sheng, WU Wei-lin. Classification and Recognition of Power Quality Multi-disturbance Based on S-transform and Neural Networks[J].Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2007,9(9):46-49.

(下转第 64 页 continued on page 64)

应的防护技术和管理措施提供理论依据,对于增强系统安全性有一定的实用价值。

参考文献

[1] 戴宗坤, 罗万伯, 唐三平,等.信息系统安全[M]. 北京:金城出版社, 2000.
DAI Zong-kun, LUO Wan-bo, TANG San-ping, et al. Safety of Information System[M]. Beijing: JINCHENG Publishing Company,2000.

[2] 关义章, 蒋继红, 方关宝,等. 信息系统安全工程学[M]. 北京:金城出版社, 2000.
GUAN Yi-zhang, JIANG Ji-hóng, FANG Guan-bao, et al. Safe Engineering Science of Information System[M]. Beijing: JINCHENG Publishing Company,2000.

[3] 汪培庄.模糊系统理论与模糊计算机[M].北京:北京科学出版社,1996.
WANG Pei-zhuang. Fuzzy System Theory and Fuzzy Computer[M]. Beijing: Science Publishing Company of Beijing,1996.

[4] 张李义.信息系统开发的动态风险模糊估测方法[J].系统工程理论与实践,2001,21(10):88-92.
ZHANG Li-yi. Safety Assessment of Information System Development[J]. Theory and Practice of System Engineering, 2001,21(10):88-92.

[5] 李洪兴.工程模糊数学及应用[M].天津:天津科学技术出版社, 1993.

(上接第 36 页 continued from page 36)

[5] 李习武, 王艳松.基于小波神经网络的电能质量扰动辨识[J].电气技术, 2007,9(9):56-58.
LI Xi-wu, WANG Yan-song. Recognition of Power Quality Disturbances Based on Wavelet Network[J]. Electrical Engineering, 2007,9(9):56-58.

[6] Gaing Zwe-Lee Wavelet-based Neural Network for Power Disturbance Recognition and Classification Power Delivery[J]. IEEE Trans on Publication Date,2004,(19):4.

[7] 赵凤展, 杨仁刚.基于时域、小波变换和FFT的电能质量扰动识别[J].继电器,2006,4(8):50-55.
ZHAO Feng-zhan, YANG Ren-gang. Power Quality Disturbances Classification Based on Time-domain,Wavelet Transform and FFT[J]. Relay, 2006,4(8):50-55.

[8] Malabika B, Biswajit B. Analysis of Power Quality (PQ) Signals by Continuous Wavelet Transform[A]. In: Power Electronics Specialists Conference[C]. 2007.

[9] 程浩忠,艾芊,张志刚,等. 电能质量[M]. 北京:清华大学出版社, 2009.
CHENG Hao-zhong, AI Qian, ZHANG Zhi-gang, et al.

LI Hong-xing. Engineering Fuzzy Mathematics and Its Application[M]. Tianjin: Technology Publishing Company of Tianjin,1993.

[6] 伍晓平. 电力信息应用系统的安全性建设[J]. 电力信息化, 2004, 2(7): 55-58.
WU Xiao-ping. Security Construction of Electric Power Information System[J]. Electric Power Information, 2004, 2(7): 55-58.

[7] 余勇, 林为民. 电力信息系统安全保障体系[J]. 电力信息化, 2003, 1(3): 58-60.
YU Yong, LIN Wei-min. Guarantee System of Electric Power System[J].Electric Power Information,2003, 1(3): 58-60.

[8] 李鹤田,刘云,何德全. 信息系统安全工程可靠性的风险评估方法[J]. 北京交通大学学报, 2005, 29(2): 62-64.
LI He-tian, LIU Yu, HE De-quan. Security Accessment of Information System Safety[J]. Transaction of Beijing Jiaotong University, 2005, 29(2): 62-64.

收稿日期: 2008-05-05; 修回日期: 2008-07-02

作者简介:

梁丁相(1969-), 男, 大学本科, 工程师, 从事变电运行工作; E-mail:protectiverelay@163.com

陈曦(1981-), 女, 工学硕士, 研究方向为电力系统分析、运行与控制, 目前主要从事电力系统自动化工作。

Power Quality[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2009.

[10] 李健平, 杨万年.小波十讲[M]. 北京:国防工业出版社, 2004.
LI Jian-ping,YANG Wan-nian.Ten Lectures on Wavelets[M]. Beijing: Defense Industry Press, 2004.5.

[11] 吕新华, 何川平, 李早华, 等.一种长序列小波变换快速算法的DSP实现[J]. 现代电子技术, 2008,(9): 132-134.
Lü Xin-hua,HE Chuan-ping, LI Zao-hua, et al. Implementation of Long Sequence Wavelet Transform Based on DSP[J]. Modern Electronics Technique, 2008,(9):132-134.

收稿日期: 2008-04-21; 修回日期: 2008-07-29

作者简介:

储珺(1983-), 男, 硕士, 电力电子与电力传动专业, 研究方向为电能质量分析; E-mail: chujun007@126.Com

马建伟(1965-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为多变量控制理论、电能质量分析方面的研究。