

基于小波变换的脉冲信号的提取

魏 斌, 唐跃进, 李敬东, 周羽生, 石 晶

(华中科技大学超导电力科学技术研究中心, 湖北 武汉 430074)

Detecting Pulse Signals Based on Wavelet Transform

WEI Bin, TANG Yue-jin, LI Jing-dong, ZHOU Yu-sheng, SHI Jing

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

摘要: 探讨了以小波变换为基础的滤波技术在冲击试验后信号波形提取中的应用。针对高电压冲击和大电流冲击信号的处理问题, 采用不同层次的小波分析方法, 将噪声信号从冲击电压和电流信号中提取出来, 小波变换的引入使得波形处理更加简单。结果表明, 对不同类型的样品进行冲击试验, 小波变换都有较好的滤波效果, 并很好地保存了信号的边缘特征。波形的处理结果也表明了该方法的可行性和适用性。

关键词: 小波变换; 脉冲信号; 波形提取

中图分类号: TM93

文献标识码: A

Abstract: The application of filter technique in impulse wave evaluation, based on wavelet transformation, is discussed. In order to deal with signals of high voltage and current impulses, wavelet transformation in different gradations is adopted. By using the method, noise signals are drawn out from impulse signals, and it is more convenient for handling the waveform. Results show that wavelet transformation has a better filter effect for the impulse signal, and the edge characteristic of the signal has been well kept. Results of the waveform also show the feasibility and suitability of presented method.

Key words: wavelet transformation; pulse signal; waveform evaluation

0 引言

冲击试验是高电压试验的重要组成部分。随着数字技术和计算机技术的进步, 冲击测量系统逐步向数字化方向发展^[1]。冲击试验中, 不可避免地存在大量的外界干扰及试验中引起的异常放电, 这些现象最终都以干扰的形式叠加到测量信号波形上, 给试验数据的处理造成困难。针对这个问题, 可以通过设计硬件电路进行滤波处理, 这种方式针对性强, 成本

相对较高; 同时也可以采取在试验后用数字滤波方式去噪, 这样灵活方便, 成本也低。特别是当冲击试验平台建在电力系统动态模拟试验室内, 而且试验平台基本没有屏蔽装置时, 干扰情况会更加严重, 光靠设计电路滤波和对试品加屏蔽罩都难以达到预期的效果, 因此有必要采取数字方法来消除干扰信号。

小波变换是一种时域-频域分析方法, 在时域-频域同时具有良好的局部化性质。它可以根据信号不同的频率成分, 在时域和空间域自动调节取样的疏密。基于小波变换的这些优良特性, 小波分析在信号和噪声分离上良好的效果, 目前在信号处理领域取得了广泛的应用。

通过对低温(77 K)下氧化锌阀片 MOV, YBCO 超导棒材和 Bi-2223/Ag 超导带材的冲击试验数据分析, 探讨了以小波变换为基础的滤波技术用于冲击集中脉冲信号波形的滤波处理方法, 结果显示具有很好的效果。

1 试验原理和噪声来源分析

1.1 试验电路

试验原理示意图见图 1。

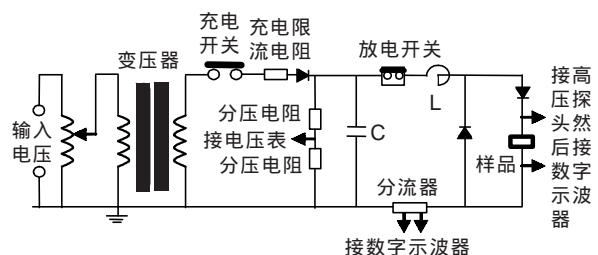


图 1 试验原理示意图

1.2 噪声信号来源分析

在冲击试验中, 干扰源分为两类, 一类是由冲击

收稿日期: 2006-02-07; 修回日期: 2006-03-18

基金项目: 国家 863 计划资助项目(2002AA306331), 教育部重点研究课题资助。

作者简介: 魏 斌(1978-), 男, 博士研究生, 研究方向为超导相关材料的低温物性。

试验系统本身造成的干扰;另一类是系统外来干扰。这些干扰进入监测系统的途径有空间耦合、地线、电源以及通过系统各测量点^[2]。前 3 种采用硬件电路或屏蔽罩可将干扰抑制到比较小的水平。而与脉冲电信号一起通过测量系统的干扰以及测量系统本身的噪声,只能通过后期处理的方法进行抑制。这类干扰按时域信号特征可分连续的周期型干扰,脉冲型干扰和白噪 3 类。根据测量的干扰本质可知,噪声信号主要是来自测量系统的高频信号,来自晶闸管或高频开关的脉冲型干扰,还有一些随机噪声和实验室的背景噪声。

2 小波变换

小波变换是一种窗口大小不变但是形状可变,即时间窗和频率窗都可以改变的时频局部化分析方法。即在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率,在低频部分具有较低的时间分辨率和较高的频率分辨率,由于这种特点,可以将信号中不同的频率分量区分开,而且在时频两域都具有表征信号局部化特征的能力。利用小波变换的这一特点,通过不同层次的小波分解,将噪声信号从冲击电流和电压信号中分离出来^[3-5]。

2.1 小波变换去噪基本原理

用小波变换进行信号消噪处理是小波分析的一个重要应用。由于所要测量的信号有固定的频率,而噪声信号多为高频信号,因此,通过对信号进行多层次分解,对分解得到的小波系数进行阈值处理后,再进行信号的重构,可达到去除信号中的噪声,保留信号中的低频分量,即真实信号的目的,其基本步骤如下^[5]:

(1) 选择合适的小波和分解层次,对混有噪声的信号进行小波分解。根据多分辨分析理论,信号 $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$ 可按以下空间组合展开:

$$L^2(\mathbb{R}) = \sum_{j=1}^J W_j \oplus V_j$$

式中: J 为设定的分解层次。则:

$$f(t) = \sum_k d_{j,k} \phi_{j,k}(t) + \sum_k c_{j,k} \phi_{j,k}(t)$$

式中: $\phi_j(t)$ 分别为尺度函数和小波函数; $c_{j,k}$, $d_{j,k}$ 分别为 j 尺度上的尺度系数和小波系数,且递推计算式为:

$$\begin{cases} c_{j+1,k} = \sum_m h_0(m-2k) c_{j,m} \\ d_{j+1,k} = \sum_m h_1(m-2k) c_{j,m} \end{cases}$$

式中: $h_0(n)$, $h_1(n)$ 为展开系数,不随尺度 j 的变化而变化,且有:

$$\begin{cases} h_0(n) = \langle \phi(t), \phi_{-1,n}(t) \rangle \\ h_1(n) = \langle \psi(t), \psi_{-1,n}(t) \rangle \end{cases}$$

分解过程见图 2:

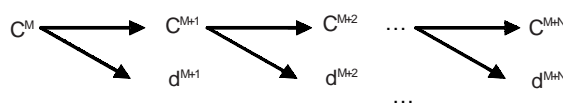


图 2 分解示意图

(2) 小波系数的阈值量化。在上述分解过程中,取采集信号为 C^M , 其中 d^{M+N}, \dots, d^{M+1} 和 C^{M+N}, \dots, C^{M+1} 分别对应信号小波分解的小波系数和尺度系数。信号中的噪声部分通常包含在高频部分,而有用信号则一般处在低频部分。因此,将 d^{M+1}, \dots, d^{M+N} 全置 0 (强制消噪) 或选择合适的阈值进行阈值量化处理。

(3) 经过步骤(2)的小波系数阈值量化处理后,再进行信号重构,即可得去噪后的信号。重构算式为: $c_{j-1,m} = \sum_k c_{j,k} h_0(m-2k) + \sum_k d_{j,k} \psi(m-2k)$, 重构示意图见图 3。

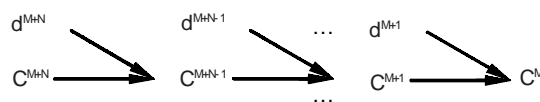


图 3 重构示意图

2.2 小波变换阈值法

由于小波基都是紧支集,因此小波变换具有‘集中’的能力,可以使脉冲信号能量在小波变换域集中在少数小波系数上,而噪声信号的能量在小波系数域内分散于大量的小波系数上,因此信号小波系数值应该大于低幅度噪声小波系数值,这就意味着对小波系数进行阈值处理,可在小波域中去除低幅度噪声。非线性小波变换阈值法又称小波收缩^[6]。

2.2.1 硬阈值的处理方法

先对信号作小波变换,得到小波系数。再算出阈值 t (根据实际需要选定,通常为小波系数的线性平均值),把小波系数的绝对值与阈值比较,小于等于阈值的点变为零,大于阈值的点不变,即:

$$\hat{x} = T_h(x, t) = \begin{cases} x & |x| \geq t \\ 0 & |x| < t \end{cases}$$

最后进行小波反变换,重构信号。

2.2.2 软阈值的处理方法

先对信号作小波变换,得到小波系数。再将非线性软阈值 t 作用于小波系数得到修正后的系数值,最后,进行小波反变换,重构信号。

其中,修正后的系数值为:

$$\hat{x} = T_h(x, t) = \begin{cases} \text{sgn}(x)(|x| - t) & |x| \geq t \\ 0 & |x| < t \end{cases}$$

文[7]从理论上严格证明了非线性软阈值:

$$T = \sqrt{2 \log(n)/n}$$

实际中噪声强度是未知的,尺度估计为:

$$=MAD/0.6754$$

其中: MAD 为适当归一化后的小尺度小波系数中值的绝对值。

2.3 测量信号的提取

测量时, 必须首先同步采集样品的电流和电压信号。采集得到的信号中带有大量的噪声, 选用

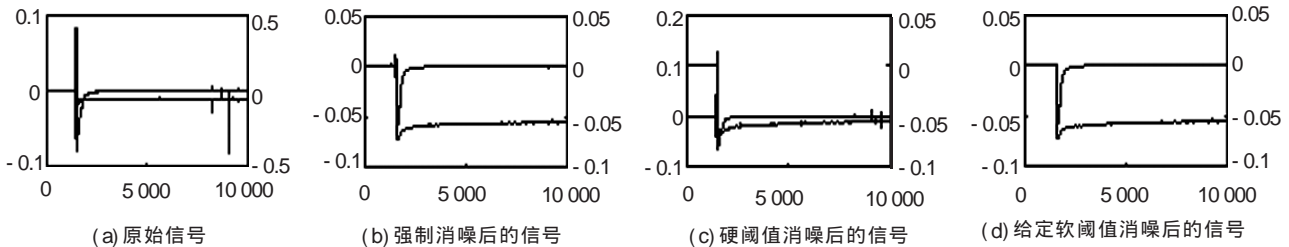


图 4 3 种消噪方式比较

3 实例应用

由于高电压和大电流冲击试验得到的冲击波形必然叠加着不同程度的噪声, 用小波滤波信号有助于提高脉冲信号波形提取的准确性及精度。小波变换可以在小尺度上作微观分析, 这是将其用于冲击波形分析中的理论依据。为了实际验证, 下面对 MOV, YBCO 超导棒材和 Bi-2223/Ag 超导带材在高压试验或大电流试验的实际测波形进行去噪处理。图 5~图 7 中虚线为电流信号, 实线为电压信号。

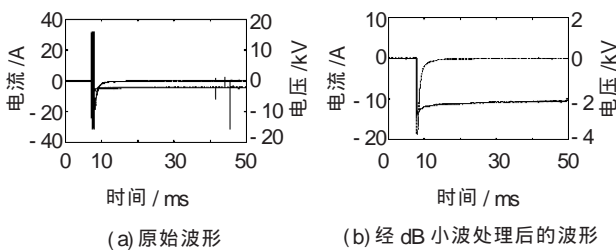


图 5 MOV 在单脉冲下的冲击波形

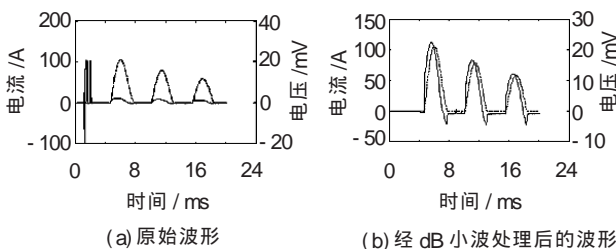


图 6 YBCO 在脉冲条件下的波形

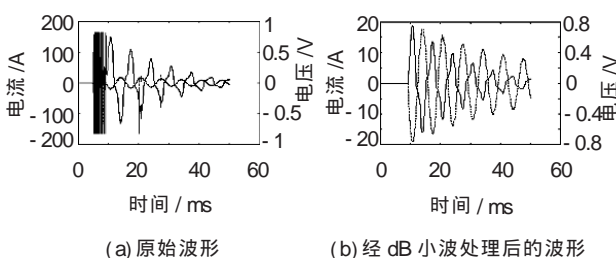


图 7 Bi-2223/Ag 超导线材在振荡电流冲击下的波形

Daubechies 小波, 分解层次为 5 层。根据以上的阈值理论, 图 4 给出了一组电压电流信号用强制消噪、硬阈值消噪和给定软阈值消噪的效果比较, 图中横坐标为采样点, 纵坐标为电流、电压信号在示波图上的幅值高度, 图中只做定性比较。从图中可以看出: 给定软阈值消噪的效果最好, 主要采用这种方式消噪。

从图 5~图 7 中的波形可以看出小波去噪效果很好, 保留了真实波形的主要特征, 特别是保护好了信号边缘特征, 从而也证实了该方法对本试验平台产生的脉冲信号的提取的可行性和适用性。

4 结论

通过大量的数据试验, 验证了用于高压或大电流冲击试验领域的小波变换可以实现脉冲和振荡波形的提取, 并且在波形处理中显示出较强的优越性。

(1) 适用性强。对在同一试验平台下的各种冲击波形, 小波变换滤波效果都比较好。

(2) 去噪效果明显。由于小波变换可对信号做显微分析, 所以小波变换后的噪声水平明显下降, 并很好地保存了信号的边缘特征。

参考文献:

- [1] 王国利, 郝艳棒, 何义, 等. 小波变换去噪在高压冲击波形参数提取中的应用[J]. 高压电器, 2000, 37(5): 9-12.
- [2] Ma X, Zhou C, Kemp I J. Investigation into the Use of Wavelet Theory for Partial Discharge Pulse Extraction in Electrically noisy Environments [C]// Dielectric Materials, Measurements and Applications Conference Publication No. 473, IEE 2000: 123-126.
- [3] 彭玉华. 小波变换与工程应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [4] 傅振宇, 钱家骊. 小波变换在局部放电信号提取中的应用[J]. 电工电能新技术, 1999(3): 33-35.
- [5] 丁晖, 刘君华, 申忠如, 等. 小波技术在氧化锌避雷器泄漏电流在线检测中的应用 [J]. 西安交通大学学报, 2001(6): 563-567.
- [6] 何蕾, 李卫国, 谈顺涛. 局部脉冲信号的三种小波去噪方法的研究[J]. 继电器, 2004, 3(6): 31-34.
- [7] Donoho D L. Denoising by Soft-thresholding [J]. IEEE Trans. on Information Theory, 1995(3): 613-627.