

放电声发射波检测中数据预处理的小波分析实现

王成江¹, 聂德鑫²

(1. 三峡大学电气信息学院, 湖北 宜昌 443002; 2. 武汉高压研究所, 湖北 武汉 430074)

摘要: 研究了放电声发射波检测中用小波变换进行数据预处理的实现问题。内容包括小波分析预处理的步骤, 选择小波, 选择小波分解层数, 提取有用频段的小波系数, 小波消噪过程, 小波消噪中的阈值选取, 对提取的小波系数进行小波消噪等。两组实测信号的小波分析数据预处理结果证明了数据预处理的有效性。

关键词: 局部放电; 声发射检测; 小波变换; 数据预处理

中图分类号: TM835 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2003)11-0007-04

1 引言

对于放电声发射在线监测装置来说, 如何排除干扰的影响是实现准确测量放电声发射信号的主要问题。在装置的实际应用中, 所采集的信号往往包含许多尖峰或突变部分, 并且噪声也不是平稳的白噪声, 对这种信号进行分析, 首先需要作信号的预处理, 提取有用信号。

小波变换以其优秀的时频局部特性被广泛用来从干扰环境中提取有用信号。在局部放电信号提取中小波变换的效果显著^[1~3], 本文重点研究在局部放电声发射波检测中用小波变换进行数据预处理的实现问题。

2 小波变换与数据预处理

小波分析对非平稳信号消噪有着傅立叶分析不可比拟的优点, 运用小波分析进行一维信号消噪处理是小波分析的一个重要应用之一。由于小波分析能同时在时、频域内对信号进行分析, 它能有效地区分信号中的突变部分和噪声, 可以很好地保存有用信号中的尖峰和突变部分, 从而实现信号的消噪。

另外, 我们能够用小波分析将合成信号中的单纯正弦信号的频率提取出来。因为在小波分解下, 不同的尺度具有不同的时间和频率分辨率, 因而小波分解能将信号的不同频率成份分开。

在局部放电信号提取中, 用小波分析进行数据预处理的步骤如下:

- (1) 选定小波函数和小波分解层数;
- (2) 用小波分解函数对数据进行一维离散小波(/包)分解;
- (3) 提取有用频段的小波系数;
- (4) 对提取的小波系数进行小波消噪处理;

(5) 对消噪后的信号进行小波重构。

3 提取有用频段的小波系数

在小波分解下, 不同的尺度具有不同的时间和频率分辨率, 因而, 小波分解能把信号的不同频率成分分开, 因此, 可以利用小波分解提取出特定频率范围内的信号。

3.1 选择小波

小波分析在工程应用中, 一个十分重要的问题是最优小波基的选择。这是因为小波的种类较多, 不同的小波往往具有不同的时频特性, 用不同的小波基分析同一个问题会产生不同的结果。因此从众多的小波中选取合适的小波, 是能否有效地利用小波变换提取干扰环境中局部放电声发射信息的关键。

对于任意信号 $f(x) \in L^2(\mathbb{R})$, 其连续小波变换定义为^[4,5]:

$$W_f(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} f(x) \overline{\left(\frac{x-b}{a}\right)} dx \quad (1)$$

从式(1)中可见, 小波变换系数 $W_f(a, b)$ 实际上是函数 $f(x)$ 和小波 $\left(\frac{x-b}{a}\right)$ 的相关系数, 它反映的是相应时段的信号和选定的小波之间的相似程度, $W_f(a, b)$ 的值越大, 信号和选定的小波之间相似程度就越高。这也正是对于同一信号选择不同的小波进行分解, 其结果差异很大的原因。

由此, 我们可以得出选择小波的依据: 被分析信号的时域和频域特性与所用小波的时域和频域特性分别相接近, 二者的相似程度越高, 分析的效果越佳。

分析比较^[6]之后发现: 在众多的小波簇中,

bior3.7 小波和局部放电声发射波的特征最接近。其分解用小波函数和尺度函数分别如图 1(a)、(b) 所示,其具有很好的对称性、紧支性和正则性,中心频率在 0.9336 处。

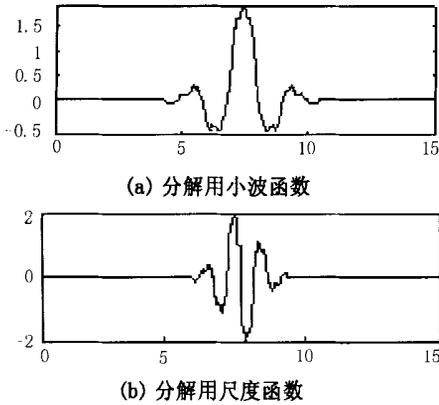


图 1 小波基的选择

Fig. 1 Selection of wavelet basis.

3.2 选择分解层数

总体上来说,一个一维离散的信号,它的高频部分影响的是小波分解的高频第一层,低频部分影响的是小波分解的最深层及其低频层。如果对一个只是由白噪声组成的信号进行小波分解,则可以看出:高频系数的幅值随着分解层次的增加而很快地衰减,并且,高频系数的方差也很快地衰减。

在小波变换中,对应每一尺度 a ,都有一伪频率和它对应:

$$F_a = \frac{F_c}{a} \quad (2)$$

式(2)中, a 是尺度; T_s 是采样周期; F_c 是小波的中心频率,单位为 Hz; F_a 是尺度 a 对应的伪频率,单位为 Hz。

在小波多分辨率分解中,若将信号中的最高频率成分看作是 1,则各层小波分解便是带通或低通滤波器,且各层所占的具体频带^[7]为:

$$\begin{aligned} a1: 0 \sim 0.5 & & d1: 0.5 \sim 1 \\ a2: 0 \sim 0.25 & & d2: 0.25 \sim 0.5 \\ a3: 0 \sim 0.125 & & d3: 0.125 \sim 0.25 \end{aligned}$$

对应于式(2),信号中的最高频率(伪频率)可由式(3)求得:

$$F = F_c / a = F_c F_s \quad (3)$$

从式(3)可见,当小波函数和采样周期选定之后,信号多分辨率分解的各层所占的频带是一定的。根据实测结果,变压器局部放电声发射波的频谱一般在 20 ~ 200 kHz 内,将各层频带与实际信号的有

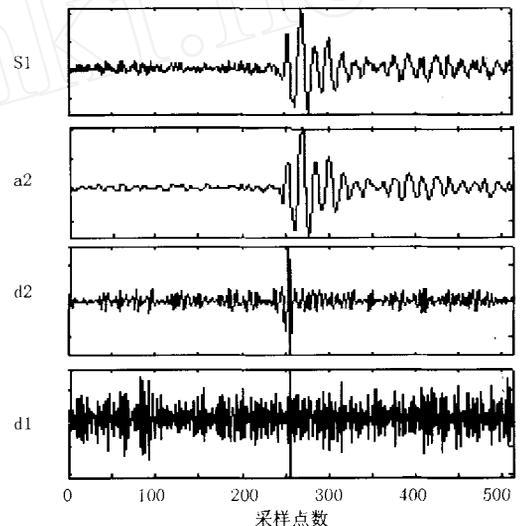
效频带相比较,就可以确定小波分解层数。

3.3 提取有用频段的小波系数

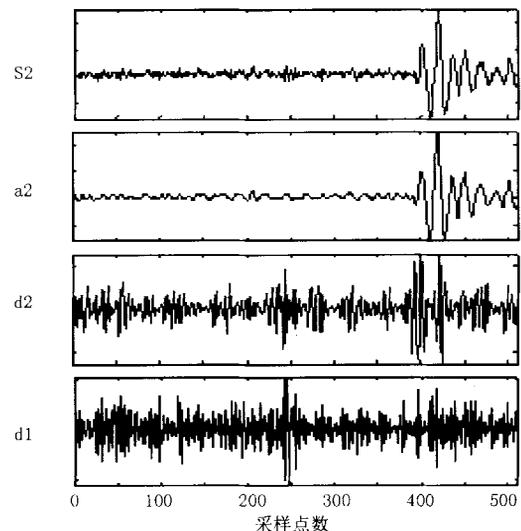
提取有用频段的小波系数也可以看作是小波滤波,也就是把有用频段之外的小波分解系数强制置 0。再进行小波重构就可得到信号的有用部分。

图 2 中 S1 和 S2 是在武汉高压研究所局部放电实验室实测的两组变压器局部放电声发射信号,数据长度为 512 点,采样率为 1 μ s。这里用前述方法对实测信号进行数据预处理。

取 bior3.7 小波,用多分辨率分析对数据进行 2 层小波分解,分解结果如图 2(a)、(b) 所示。从分解结果可见,a2 层几乎包括了信号的所有信息。实际上经计算可知,a2 层所占的频段为 0 ~ 233 kHz,



(a) 信号 S1 的小波分解



(b) 信号 S2 的小波分解

图 2 信号的小波分解

Fig. 2 Wavelet decomposition of signals

它完全覆盖了放电声发射波的全部频段。也就是说,放电声发射波的有效数据都包含在小波分解的 a_2 层内,或者说小波分解的低频 a_2 层包含了全部放电声发射信号的有用信息。所以, a_2 层就是要提取的有用频段,直接用 a_2 层的系数进行小波重构,就可还原出放电声发射信号。

4 小波消噪

4.1 小波消噪过程

通常按时域信号特征将干扰分为连续的周期型干扰、脉冲型干扰和白噪声三大类^[8]。这里研究用小波分析从已消除周期型和脉冲型干扰的含噪局部放电信号中提取真实信息的方法。一个含白噪声的一维信号的模型可以表示成如下的形式:

$$S(i) = f(i) + e(i), \quad i=0, \dots, n-1 \quad (4)$$

其中, $f(i)$ 为真实信号, $e(i)$ 为噪声, $s(i)$ 为含噪声的信号。

对式(4)表示的含噪信号的消噪过程可分为三个步骤进行:

(1) 一维信号的小波分解:选择一个小波并确定一个小波分解的层次 N , 然后对信号 $f(i)$ 进行 N 层小波分解。

(2) 小波分解高频系数的阈值量化:对第 1 层到第 N 层的每一层高频系数,选择一个阈值进行软阈值量化处理。

(3) 一维小波的重构:根据小波分解的第 N 层的低频系数和经过量化处理后的第 1 层到第 N 层的高频系数,进行一维信号的小波重构。

4.2 小波消噪中阈值的选取

(1) 默认阈值消噪处理。该方法利用信号分析的基本理论,构造一个函数,利用它可以产生信号的默认阈值,再利用此阈值进行小波消噪处理。

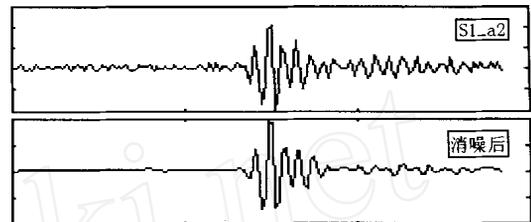
(2) 给定阈值消噪处理。在局部放电信号的实际消噪处理过程中,阈值可以通过经验公式获得,更直接地,可以在检测装置的安装调试过程中,测出现场的噪声大小,进而求出阈值。这种方法考虑了现场的实际噪声,具有较高的可信度。

4.3 放电声发射信号的小波消噪

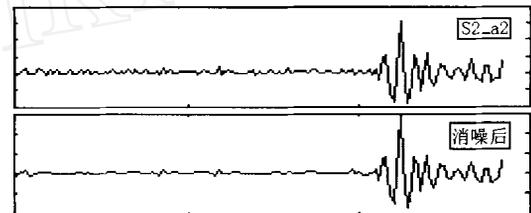
提取有用频段的小波系数实质上是将小波分解中高频部分的系数强制置 0,也就是说,对信号的高频区间进行了抑制。但是被抑制后的信号中,仍然存在噪声。这部分噪声可以通过小波消噪来抑制或衰减。

对提取到的有用频段小波系数再用 bior3.7 小

波进行两层分解,然后,选用固定阈值形式进行消噪处理:全部消除掉 d_1 层高频部分,保留高频 d_2 层的有用信号。图 3(a)、(b) 分别示出了两组实测数据的有用频段的小波系数及其消噪结果,图中, S_1-a_2 和 S_2-a_2 是在 3.3 节中提取的有用频段的小波系数。从图中二者的对比中可以发现,消噪效果显著,消噪后的波形中保留有全部放电声发射信息,但噪声几乎被全部消除。



(a) 信号 S1 的有用频段信号的消噪



(b) 信号 S2 的有用频段信号的消噪

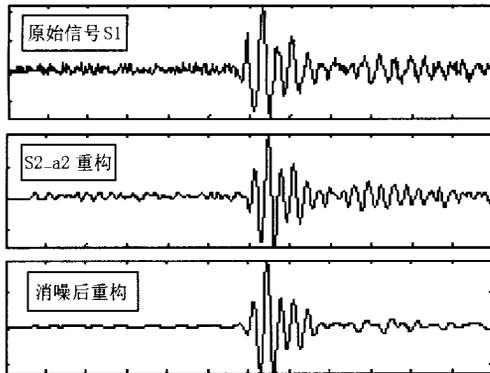
图 3 有用频段信号的消噪

Fig. 3 De-noising of signals of useful frequency band

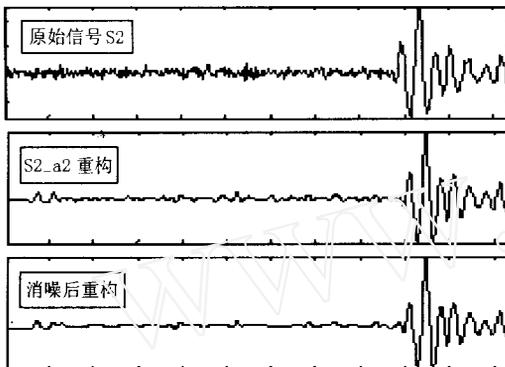
5 结论

图 4(a)、(b) 分别画出了两组实测信号以及经小波数据预处理后重构的信号波形,图中 S_1-a_2 和 S_2-a_2 重构表示的是用提取的有用频段的小波系数不经消噪而直接进行小波重构的波形,消噪后重构表示的是用提取的有用频段的小波系数经消噪后再进行小波重构的波形。

从其与原始信号的对比中可以发现,用本文所述方法对局部放电声发射信号进行小波数据预处理,处理后的信号中保留有原始信号的全部特征,但无关信息及噪声已大大减小甚至全部被消除。通过提取有用频段的小波系数可以消除信号中的无关分量,但有用频段的小波系数中仍含有部分噪声,需要作进一步处理。对有用频段的小波系数再进行小波消噪处理后,重构信号中波形中保留有全部放电声发射信息,但已经滤去了绝大部分无关分量及噪声,波形更加平滑,使得提取局部放电声发射信号中的有用信息更加方便。



(a) 信号 S1 预处理后的效果



(b) 信号 S2 预处理后的效果

图 4 信号预处理后的效果

Fig. 4 Comparison between original signals and pretreated signals using wavelet analysis

参考文献:

- [1] 淡文刚,吕阳,陈祥. Bd - 小波用于从强电磁干扰中提取局部放电脉冲信号的研究[J]. 电网技术,2001,25(1):8-12.
- [2] 王航,谈克雄,朱德恒. 用小波变换提取局部放电信号[J]. 清华大学学报(自然科学版),1998,38(6):119-122.
- [3] 王哲,蔡惟铮,陈学允. 基于小波分析的高压变压器局部放电在线监测[J]. 电力系统自动化,1998,22(4):19-23.
- [4] 彭玉华. 小波变换与工程应用[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [5] 杨福生. 小波变换工程分析与应用[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [6] 王成江,聂德鑫. 放电声发射波检测中小波基的选择[J]. 高电压技术,2003,29(10).
- [7] 胡昌华,张军波,夏军,等. 基于 MATLAB 的系统分析与设计——小波分析[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2000.
- [8] 孙才新,李新,杨永明. 从白噪声中提取局部放电信号的小波变换方法研究[J]. 电工技术学报,1999,14(3):47-50.

收稿日期: 2003-02-27; 修回日期: 2003-05-30

作者简介:

王成江(1971-),男,硕士,讲师,主要研究方向为电力市场和电力设备在线检测等;

聂德鑫(1966-),男,硕士,高级工程师,主要从事变压器局部放电检测装置的研制。

Wavelet analysis realization of data pretreatment in acoustic emission detection of discharges

WANG Cheng-jiang¹, NIE De-xin²

(1. College of Electrical Engineering and Information Technology, Three Gorges University, Yichang 443002, China;

2. Wuhan High - Voltage Research Institute, Wuhan 430074, China)

Abstract: It studies that how to use wavelet analysis to realize the data pretreatment in acoustic emission detection of partial discharges. The steps of wavelet pretreatment are discussed. And how to choose the wavelet, how to choose the level of wavelet decomposition, how to identify the wavelet coefficient of useful band, how to choose the threshold, how to de-noise the coefficient of useful band, and the steps of denoising signals are studied too. Two examples show the validity of data pretreatment using wavelet analysis in acoustic emission detection of partial discharges.

Key words: partial discharges; acoustic emission detection; wavelet analysis; data pretreatment

热烈祝贺我国首次载人航天飞行圆满成功!