

文章编号:1000-582X(2003)06-0053-03

基于门限值小波包变换抑制局部放电白噪干扰*

毕为民,孙才新,姚陈果,宋胜利,唐炬

(重庆大学 高电压与电工新技术教育部重点实验室,重庆 400044)

摘要:分析了局部放电在线监测系统中局部放电信号及白噪干扰小波变换特征,局部放电信号在大部分尺度上具有较大的幅度,而白噪声信号随尺度的增加而迅速趋于零,从而对信号在各个尺度上的小波系数设定一个门限,如果某尺度上的系数大于门限,则认为它对应于局部放电信号,否则对应于噪声信号。提出了用基于门限值的小波包变换方法从白噪中提取局部放电信号的方法。实测数据分析结果表明,经此法处理后信噪比明显提高,可用于在线监测局部放电信号中白噪干扰的抑制。

关键词:局部放电;白噪干扰;小波包变换;门限

中图分类号:TM831

文献标识码:A

白噪干扰主要由变压器绕组的热噪声、配电线路以及变压器继电保护线路的热噪声和监测电路中半导体器件的散粒噪声造成。导体和半导体中的电荷载流子被热激励,进行不规则运动,由于带电粒子的移动产生电流而出现电压,从而形成热噪声和散粒噪声。热噪声以及散粒噪声是很多粒子运动时的碰撞现象,振幅的概率密度函数呈正态分布,一般可用平均值和方差来描述。实际上,噪声功率与温度有关,温度越高噪声越大;同时噪声功率与测量系统的频带有关,测量系统的频带越宽,白噪声越大。因此,在提高监测灵敏度而增宽在线监测系统的频带宽的同时,系统的信噪比将降低。

虽然人们在硬件上采用了诸多的干扰抑制措施,但用于在线监测系统上的效果并不显著,其原因除了对干扰源和路径的定量分析不够外,还有后处理不力。目前对白噪干扰,尚未见有效抑制方法的报导^[1-2]。因此,笔者在已有研究成果^[3-6]的基础上,利用比小波变换频域划分更细的小波包变换,提出了一种从已消除周期型干扰和脉冲型干扰的白噪中提取局部放电信号的基于门限值的小波包变换方法。该方法不仅显著提高了信噪比,而且还可以重构出局部放电信号。

1 局部放电信号和白噪干扰的小波变换特性

局部放电信号和白噪声干扰的小波变换具有明显

的差异,局部放电信号呈现了明显的奇异性,其 Lipschitz 指数为 $0 < \alpha < 1$ 。因此,局放信号的小波变换模极大值随尺度的增加而增加,并且在各尺度上,模极大值的个数基本相等。白噪声信号是处处奇异的,其 Lipschitz 指数为 $\alpha = -\frac{1}{2} - \varepsilon, \varepsilon > 0$,白噪声的小波变换幅值随程度的增加而减小,其小波变换模值的密度随尺度的增大而减小。总体上来说,一个一维的离散信号,它的高频部分影响最大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。用于非平稳信号消噪的小波包变换门限值法就是根据局部放电信号在大部分尺度上具有较大的幅度,而白噪声信号随尺度的增加而迅速趋于零的特性对信号在各个尺度上的小波系数设定一个门限,如果某尺度上的系数大于门限,则认为它对应于局部放电信号,否则对应于噪声信号。门限值法对二进小波变换和小波包变换都适用,由于小波包变换比二进小波变换提供了更精确的局部分析能力,其效果优于二进小波变换,本文中采用小波包变换来去除白噪声干扰。

* 收稿日期:2003-02-18

作者简介:毕为民(1956-),女,湖北宜昌人,葛洲坝水力发电厂教授级高级工程师,重庆大学博士研究生,从事电气设备在线监测与故障诊断技术研究。

2 基于门限值的小波包变换的原理和算法

2.1 小波包变换的基本原理及其频域分割

小波变换就是用小波系数描述原始信号,小波函数系由基小波通过平移和伸缩构成,在正交小波基构造的框架下,利用正交滤波器,结合二抽取一的运算提出了离散二进小波变换的 Mallat 快速算法。二进小波变换虽然可对信号进行有效的频率划分,但由于其尺度是二进制变化的,所以在高频段其频率分辨率较差。小波包分析能够为信号提供一种更加精细的频率划分方法,它将频带进行多层次划分,在对低频空间进行分割的同时,对二进小波变换没有细分的高频部分 W 进一步分解,如图 1 所示,这种空间分解可以一直进行下去直到分解次数为 $N(2^N = n, n$ 为采样点数),频率空间被越分越细,这样反复利用二抽取一运算,以实现更高频率分辨率的分解。

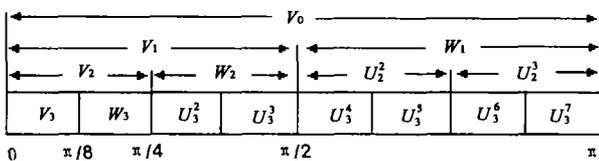


图 1 3 层小波包变换的频域划分示意图

小波包分解算法:

$$x_{2m}^j(n) = \sum_k h(k-2n)x_m^{j-1}(k) \quad (1)$$

$$x_{2m+1}^j(n) = \sum_k g(k-2n)x_m^{j-1}(k) \quad (2)$$

小波包重构算法:

$$x_m^{j-1}(n) = \sum_k \bar{h}(n-2k)x_{2m}^j(k) + \sum_k \bar{g}(n-2k)x_{2m+1}^j(k) \quad (3)$$

式中 $x_m^j(n)$ 为序列 $f(n)$ 经 j 层小波包分解所得到的第 m 个分解序列; \bar{h}, \bar{g} 分别为 h, g 的对偶算子。设小波包分解的层数为 N , 原始信号的最高频率为 f_s , 则每一个基层小波树节点对应原始信号中的频带宽为 $f_s/2^N$ 。小波包分解对频率空间的划分可以表示为:

$$V_0 = \bigoplus_{j \in Z} W_j \quad (4)$$

2.2 基于门限值的小波包变换

用小波变换抑制白噪声干扰的基本方法有两种:模极大值法和门限值法。前者寻找模极大值曲线略显烦琐,实际采用较少。门限值法是根据局部放电信号在大部分小尺度上具有较大的幅度而白噪声信号随尺度的增加而迅速趋于零的特性,对信号在各个尺度上的

小波系数设定一个门限,如果某尺度上的系数大于门限,则认为它对应于局部放电信号,否则对应于噪声信号。门限值法对二进小波变换和小波包变换都适用,由于小波包变换比二进小波变换提供了更精确的局部分析能力,其效果优于二进小波变换,因此文中只研究基于小波包分解的门限值法。基于门限值的小波包变换抑制白噪声干扰的算法步骤为:

1) 选定一个基小波 $\psi(t)$ 和分解层次 N , 对信号用 Mallat 快速算法实行二进离散小波包变换,得小波库系数;

2) 对于一个给定的熵标准,计算每个树节点的熵值;

3) 从最底层开始比较父子节点的熵值,当父节点的熵值小时,标记父节点为 0,子节点为 1,当子节点的熵值小时,则标记父节点为 1,子节点为 0,同时把子节点的熵值传递给父节点;

4) 向上增加一层,原来的父层作为子层,重复步骤 2),直到最顶层;

5) 标记为 0 的节点对应的基就是最佳基,提取信号在该基上的系数;

6) 对所有小波系数按照某种阈值规则确定的阈值 Th 进行量化,得到新的小波包系数。

7) 把门限处理后的小波系数用 Mallat 算法重构信号。

上述算法中门限值 Th 的选取按下式计算:

$$WP'(j, k) = \begin{cases} \text{sgn}(WP(j, k))(|WP(j, k)| - Th) & |WP(j, k)| \geq Th \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

式中 $WP(j, k)$ 是小波包分解系数。门限值 Th 有多种取值方法,可以在各个尺度上取相同的值,即

$$Th = \sigma \sqrt{2 \ln n} \quad (6)$$

其中, n 为信号的长度; σ 为噪声信号的均方根值。也可以在不同的尺度上取不同的值,即

$$Th_j = \sigma_j \sqrt{2 \ln n_j} \quad (7)$$

其中, n_j 为第 j 尺度上小波系数的长度; σ_j 为第 j 尺度噪声信号的均方根值。

3 实测数据处理

笔者用实验室实测的噪声信号来验证上述有关结论,噪声信号是在重庆大学高电压与电工新技术教育部重点实验室采集的背景噪声,数据采样率 $f_s = 3 \text{ MHz}$, n 为采样点个数。

用基于门限值的小波包变换算法处理在实验室用模型产生局部放电采集信号的消噪结果,如图2所示。应用本算法后局放脉冲已基本能够分辨,白噪声成分得到有效抑制。

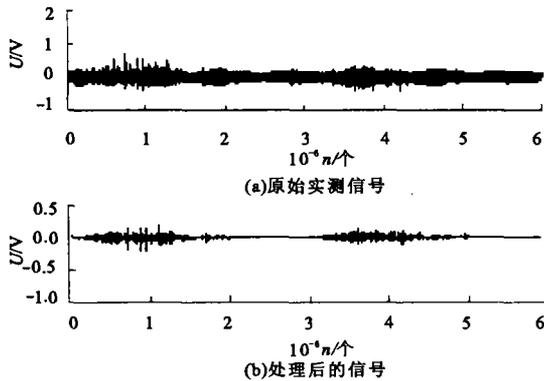


图2 实验室实测信号的去噪效果

4 结 论

从局部放电在线监测信号获取的目的出发,笔者提出了从现场干扰中提取局部放电信号的基于门限值的小波包变换抑制白噪声干扰的基本原理和算法。该方

法应用于局部放电信号的检测结果表明,处理后信噪比明显提高,可用于在线监测局放信号中干扰的抑制。

参考文献:

- [1] 孙才新,罗兵. 自适应数字滤波在局部放电在线监测信号处理中应用的研究[J]. 变压器,1997,34(7): 19-23.
- [2] 谢尔扎曼,朱德恒. 局部放电在线监测中的自适应数字滤波系统[J]. 高电压技术,1994,20(3): 29-22.
- [3] 谢明友,蒋雄伟,吴欣延. 基于小波变换抑制局部放电监测中平稳性干扰的滤波器的研究[J]. 中国电机工程学报,2000,20(1): 37-40.
- [4] 徐淑珍. 小波分析在变压器局部放电在线监测中的应用研究[D]. 上海:上海交通大学电气工程学院,2001.
- [5] MALLAT S, HWANG W L. Singularities Detection and Processing with Wavelet[J]. IEEE Trans on Information Theory, 1992, 38(2): 617-643.
- [6] 朱雪龙. 应用信息论基础[M]. 北京:清华大学出版社,2000.

Wavelet Packet Decomposition Based on Entropy Threshold for White - noise Rejection in PD Signal

BI Wei-min, SUN Cai-xin, YAO Chen-guo, SONG Sheng-li, TANG Ju

(The Key Laboratory of High Voltage Engineering and Electrical New Technology, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: This paper analyzes the different characteristics of white - noise interference in the signals of partial discharge (PD) after wavelet transform. There is high value in lots of scales for PD and white - noise interference is to zero with increasing scale. The threshold is set for wavelet coefficient in all scales. If the coefficient of signal is higher than the threshold, it is PD signal. Otherwise it is noise interference. A threshold - based wavelet packet transform (WPT) algorithm is put forward to suppress white noise interference in PD signals. The results testifies that it has a favorable adaptability to extract PD signals using WPT.

Key words: partial discharge; white noise interference; wavelet packet decomposition; threshold

(编辑 李胜春)