

文章编号:1001-1609(2003)01-0025-02

用于局部放电检测的一种小波去噪方法

朱周侠, 段乃欣, 赵中原, 邱毓昌

(西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

A WAVELET-BASED NOISE-REDUCTION METHOD FOR PARTIAL DISCHARGE DETECTION

ZHU Zhou-xia, DUAN Nai-xin, ZHAO Zhong-yuan, QIU Yu-chang

(Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

摘要: 局放监测系统常会受到很强的外界干扰,有时局放信号甚至被噪声完全淹没,因此对采集到的信号必须进行去噪处理才能获得可靠的局放信息。笔者介绍了利用小波变换进行自动去噪处理的方法。利用相关系数选择最佳小波,通过自动阈值计算选定阈值并对高频分量进行软阈值处理,然后对信号进行重构。结果表明,这种自动去噪算法可以有效地提取局放信号的特征,可望用于局放信号在线监测。

关键词: 局部放电; 小波变换; 相关系数; 阈值

中图分类号: TM835

文献标识码: A

Abstract: Partial discharge(PD) detection system is often affected by external interference, and sometimes the partial discharge signals are submerged in noises. So the signals acquired must be preprocessed to obtain reliable partial discharge information. The paper presents a method to fulfil automatic noise reduction. By selecting an optimal wavelet and processing high-frequency components using the soft threshold method with an automatic thresholding rule, partial discharge signals are then reconstructed with modified detailed coefficients. Results illustrate that this method can extract characteristics of partial discharge signals effectively and may be used in partial discharge on-line monitoring systems.

Key words: partial discharge(PD); wavelet transform(WT); correlation coefficient; threshold

1 引言

数字式局放检测系统包括数据采集、存贮以及数据处理3部分。在理想情况下,通过描述局放脉冲幅值、相位分布以及放电次数等参数就能推断出局部放电的性质以及设备的损坏程度,并对局放进行分类。然而,现场的局放测量往往受到很强的噪声干

扰,这给局放检测带来很大困难。因此,有必要对信号进行去噪处理。

目前常用的去噪算法可分为闭环去噪算法和开环去噪算法^[1]。闭环去噪算法是通过改变测量方法来抑制噪声的,如利用各种天线检测局放信号。而开环去噪算法则是利用信号的特性来改善去噪效果的。开环去噪算法包括脉冲平均法、可调滤波法、频谱分析法以及小波分析法等。检测局放信号时,要求检测带宽在高于噪声频率的范围内,这样才能获得较高的信噪比。由于开环算法是以已知真实局放信号为前提的,所以这种算法的有效性取决于所使用的分析工具。

2 利用小波变换对信号进行去噪

小波变换是一种信号的时间-尺度(时间-频率)分析方法,它具有多分辨率分析(MSD)的特点,而且在时频两域都具有表征信号的能力。函数 $f(t)$ 的连续小波变换为:

$$W_f(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{\mathbb{R}} f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

式中: a 为尺度因子, b 为平移因子。通过改变 a, b 的值就可调整窗口的形状,以达到同时改变频率分辨率和时间分辨率的目的。小波的这种性质很适合于探测正常信号中夹带的瞬态反常现象并对其成分进行分析,故被誉为分析信号的显微镜。这也是小波变换常用于动态系统故障检测与诊断的主要原因。

由于局放信号的小波分解系数仅在一些尺度上较大的值,而噪声的分解系数则广泛分布于各尺度上,所以噪声与局放信号在小波分解后呈现出完全不同的特性。基于这一点,利用小波分解与重构就可将局放信号与噪声分离,从而实现局放信号的去噪。去噪的主要目的是减少信号中的噪声分量,并恢

收稿日期:2002-09-14; 修回日期:2002-11-12

复原始信号。

小波去噪法可采用硬阈值或软阈值法。一般认为,软阈值法比硬阈值法能产生更好的去噪效果。选择阈值的算法有很多种,如固定阈值法、史坦无偏估计法、极大极小原理、启发式阈值法等。噪声的消除可按以下3个步骤进行^[2]:①选择小波和小波分解的层次,计算信号到第 N 层的小波分解;②高频系数的阈值选择。对于从第 $1 \sim N$ 层的每1层,选择1个阈值,并且对高频系数用软阈值进行处理;③根据第 N 层的低频系数和第 $1 \sim N$ 层的经过修改的高频系数,计算出信号的小波重构。

适于对局放信号进行特征提取的小波系是1组形状不对称且同系小波之间互相正交的小波。实践证明,Daubechies小波、Symlet小波、Lemarie小波等均符合这一要求,而且db2,db8小波是进行局放信号提取与分析的首选类型^[3]。db2小波是分析指数型局放脉冲的最佳小波,而db8小波最适于分析阻尼振荡型局放信号。

3 最佳小波选择

选择合适的小波对局放信号去噪是非常重要的。给定某个局放信号,其最佳小波就是能使信号在时间-尺度平面内的系数取最大值,或使所分析的信号取最大的局部极大值的小波函数。而且该小波也能最恰当地描述局放信号各层的频率成分。

目前,选择最佳小波一般采用相关系数法。首先计算出所分析信号与各小波之间的相关系数 γ ,然后进行比较,使 γ 取最大值的小波即为最佳小波。相关系数的表达式为:

$$\gamma = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

式中: x 为局放信号数据, y 表示小波数据, $\bar{x}, \bar{y}$ 分别为 x, y 的平均值。

当局放信号已知时,小波选择可以自动进行。图1为实验室测得的局部放电波形。利用式(2)计算出Daubechies小波系各阶小波与图1中局放信号之间的相关系数,所得结果如图2所示。可见,db4小波较适合于分析图1的信号。

若局放信号未知,则可利用校准波形(IEC60-2)来选择最佳小波。需要指出的是,在某些情况下,需要考虑局放脉冲的高频衰减效应,如宽带检测系统中,当局放信号沿着电缆或线圈传播时,就会产生衰减。此时,应选择检测点处的局放脉冲来确定最

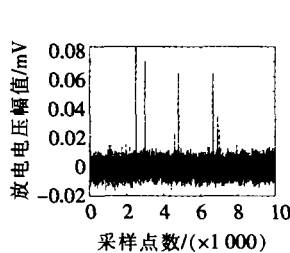


图1 局放信号图

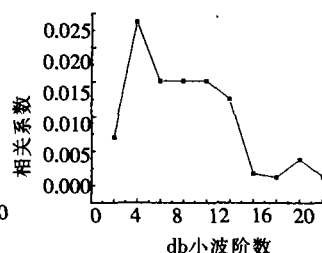


图2 db小波与局放信号相关系数图

佳小波。

4 自动阈值规则

前已述及,局放信号只集中在某些小波分解层上,而噪声信号的分布则较广泛。在重构局放波形前,必须先去掉含有较少局放信号能量的尺度。这样就可只在只有少量信号丢失的情况下,大大减少重构波形里的噪声。

史坦无偏估计法、固定阈值法、极大极小原理等都适合于消除白噪声。为了抑制随机噪声,可采用下面的算法^[3]:

$$\lambda_j = m_j / (0.6745 \sqrt{2 \ln n_j}) \quad (3)$$

式中: n_j 是 j 尺度时的系数总数量, m_j 为 j 尺度上系数绝对值的中值数。用db4小波对图1中的局放信号进行4层小波分解与重构的波形如图3所示。其

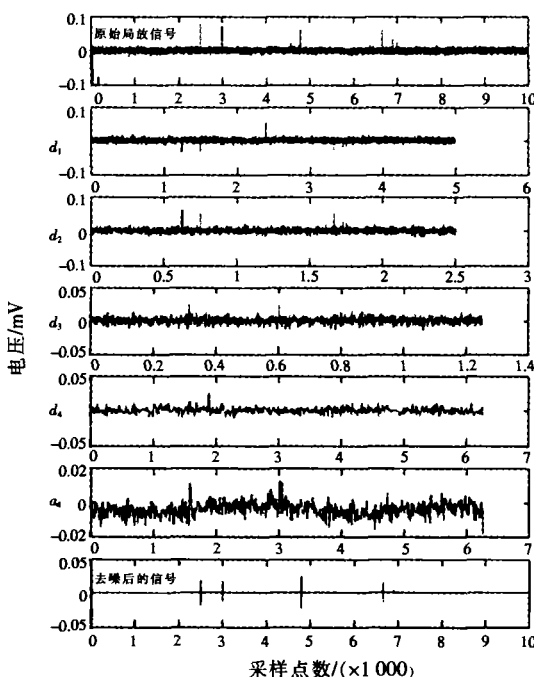


图3 局放信号的分解与重构图

(下转第33页)

数据输入故障性质诊断模块,输出故障性质为高温过热故障。③ C_2H_2 含量占氢烃总量: $7/15\ 354=0.05\%<2\%$, $c_1=0$; $C_2H_4/C_2H_6=5\ 506/1\ 779=3.09<6$, $c_2=0$; CO产气速率大于注意值, $c_3=1$; CO_2 产气速率大于注意值, $c_4=1$;绝缘试验合格, $c_5=0$;三相不平衡系数合格, $c_6=0$;单相空载试验无显著变化, $c_7=0$;故障性质为过热性故障, $c_{10}=0$, $c_{11}=1$ 。

把这些数据输入故障部位诊断模块,输出结论为铁心故障。实际吊罩检查发现,铁心上轭铁两点接地,过热烧伤面积 28×11 ,证实了诊断的准确性。

5 结论

由于综合考虑了油中气体分析结果与电气试验结果以及其它有效信息,因此故障诊断更加准确。并充分利用粗糙集理论约简原始决策表,去除其中的冗余信息,对ANN训练样本进行了有效的简化,大大降低了神经网络构成系统的复杂性,也减少了网络的

训练时间。既完成了对故障性质的诊断,又完成了对故障部位的诊断。试验证明了该方法的有效性。

参考文献:

- [1] 曾黄麟. 粗糙集理论及其应用[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1998.
- [2] 操敦奎. 变压器油中气体分析与诊断[R]. 中国水利电力企业管理协会, 1987.
- [3] 钱政, 严璋. 结合多元统计分析的神经网络在变压器故障诊断中的应用[J]. 变压器, 2000(4): 338-342.
- [4] 束洪春, 孙向飞, 司大军. 电力变压器故障诊断专家系统知识库建立和维护的粗糙集方法[J]. 中国电机工程学报, 2002(2): 31-35.
- [5] 谢克明, 杨静. 粗糙集理论及其在智能控制领域的应用前景[J]. 太原理工大学学报, 1999(7): 338-342.
- [6] J Jelonek, et al. Rough Set Reduction of Attributes and Their Domains for Neural Networks[J]. Computational Intelligence, 1995, 11(2): 339-347.

作者简介: 俞晓冬(1974-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统的运行与控制。

(上接第26页)中, d_1, d_2, d_3, d_4 分别为第1, 2, 3, 4层分解的高频分量, 而 a_4 为第4层分解的低频分量。所使用的阈值是利用式(3)选择的。由图3可见, 利用所选阈值提取的局放波形能真实地反映放电性质。

5 结论

利用开环去噪算法中的小波去噪法可有效地实现局放脉冲与噪声分离。它是以预先知道局放信号和噪声信号的特点为前提的。小波去噪的有效性取决于小波的类型、阈值以及分解层数。实践证明, 利用最佳小波选择法、自动阈值选择法选定的小波和阈值来处理局放信号时, 能取得很好的去噪效果。

参考文献:

- [1] I Shim., et al. Detection of PD Utilizing Digital Signal Processing Methods, Part 3: Open-loop Noise Reduction [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2001, 17(1): 6-12.
- [2] 胡昌华. 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, 1999.
- [3] Ma X., et al. Automated Wavelet Selection and Thresholding for PD Detection [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2002, 18(2): 37-45.

作者简介: 朱周侠(1977-), 女, 硕士研究生, 主要从事局部放电检测方面的研究。

(上接第29页)

通过计算机仿真和试验, 验证了智能控制的正确性, 并成功地在断路器上进行了操作试验。通过对合分闸线圈中电流波形的分析, 给出了电子开关控制切断合分闸线圈电流的较合理的时间范围为操动机构停止运动后的10 ms内。

参考文献:

- [1] A J W Lammers, P P Leufkens, G C Shoonenbery. MV Vacuum Switchgear Based on Magnetic Actuators [A]. IEE Conference

Publication[C], No. 459, 1998.

- [2] 游一民, 郑军, 罗文科. 永磁机构及其发展动态[J]. 高压电器, 2001, 37(1): 44-47.
- [3] B A R McKean, Dr. C Reuber. Magnets & Vacuum: The Perfect Match[A]. IEE Conference Publication[C], No. 459, 1998.
- [4] 宋万杰, 罗丰, 吴顺君. CPLD技术及其应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999.

作者简介: 张俊民(1962-), 男, 博士, 高工, 从事高压电器等电力设备的数值分析、控制、故障检测与诊断等研究工作。

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎评刊! 欢迎刊登广告!