

结合中值滤波的介损数字化算法

徐志钮, 律方成, 李和明

(华北电力大学电力系统保护与动态安全监控教育部重点实验室, 河北 保定 071003)

Dielectric Loss Digital Algorithm Combined with Median Filter

XU Zhi-niu, LU Fang-cheng, LI He-ming

(Key Laboratory of Power System Protection and Dynamic Security Monitoring and Control Under Ministry of Education,
North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

摘要: 针对介损测量用的电压和泄漏电流信号存在脉冲干扰影响介损测量准确性的问题,提出了使用中值滤波算法对信号进行滤波,然后对滤波后信号使用数字化算法计算介损的算法。针对普通中值滤波算法使信号长度减少的情况,提出了一种不改变滤波后信号长度的中值滤波算法。对含脉冲噪声信号的滤波和滤波后信号的计算结果表明,提出的算法能有效抑制信号中的脉冲噪声,滤波后信号计算所得介损的精确度均要高于滤波前。同时,使用改进中值滤波算法避免了因为信号长度变短给介损测量造成误差的可能性。

关键词: 电气设备; 介损; 脉冲噪声; 中值滤波

中图分类号: TM835.4

文献标志码: A

Abstract: Aimed at the problem of impulse interference of voltage and leakage current influence the dielectric loss measuring accuracy, an algorithm for dielectric loss measuring was proposed. The algorithm firstly used median filter algorithm to filter impulse interference signal, then the digital algorithm without changing the signal length was proposed to calculate dielectric loss according to the filtered signal. Filter and calculation result of noisy signal indicates that the proposed algorithm not only can suppress impulse interference effectively, but also can improve accuracy of dielectric loss measurement. In the meantime, possibility of dielectric loss measurement error caused by signal length change is avoided by modified median filter algorithm

Key words: electrical equipments; dielectric loss; impulse interference; median filter

0 引言

对于高压绝缘设备,其损坏大部分归因于绝缘部分的损坏。介损是绝缘部分有功损耗与无功的比值,其能消除设备大小的影响而准确反映设备内部绝缘的状况,是衡量绝缘性能的一个重要指标。由于通常情况下绝缘设备中流过的电流以无功的容性电

流为主,因此介损值非常小,这也导致了它对外界的干扰非常敏感,对这些干扰的抑制也成为一个研究的热点。这些干扰主要有频率变化、谐波、噪声等。其中针对频率变化和谐波提出了多种算法^[1-5],已经在很大程度上解决了这个问题,但对于噪声干扰给介损测量带来误差的抑制仍有待于进一步研究。

笔者将中值滤波算法^[6]引入到电气设备介损测量中,用于含有脉冲噪声的电压和电流信号的去噪,该算法原理简单,对信号中的脉冲噪声有一定的抑制效果。针对中值滤波算法滤波后信号长度变短的问题,提出了一种改进的中值滤波算法,使滤波前后信号的长度保持不变。对含脉冲噪声信号的滤波以及对滤波前后信号介损的计算结果均表明了中值滤波算法对含脉冲噪声的电压和电流信号有较好的抑制效果,提高了介损测量的准确性。

1 中值滤波算法

由于电气设备通常所处的电磁环境比较恶劣,在信号取样过程中难免受到突发性的电磁环境变化的干扰,诸如电力电子器件动作、高压输电线路上的电晕放电、电力设备的局部放电等,这些干扰将会给信号带来脉冲噪声。中值滤波是一种非线性的滤波方法,通过对窗内信号取中值抑制噪声对信号的干扰,对于有随机脉冲或噪声叠加的信号尤为有效。其具体实现过程如下:对在线监测所得数据 $f(n)$ 用一个长度为 M 的滑动窗口处理,得到长度为 M 的序列 $g(n)$,再对 $g(n)$ 按升序(或降序)排序,随着滤波窗不断向前移动,由窗内数据的中值所组成序列 $h(n)$ 即为经过中值滤波处理后的数据序列。中值滤波算法具有原理简单、实现容易的优点。

设采样所得信号为 $x(n)$, $n=0, \dots, N-1$; 以 $x(n)$

收稿日期:2007-03-13; 修回日期:2004-04-26

作者简介:徐志钮(1980-),男,博士研究生,研究方向为电气设备状态监测与故障诊断及电力系统谐波分析。

构造一个新序列 $x_1(n)$ 的方法为

$x_1(i-k) = \text{Med}[x(i-k) \sim x(i+k)]$ $i=k, \dots, N-k-1$ (1)
式中函数 $\text{Med}(X)$ 获得序列 X 的中位数; $2k+1$ 为滤波窗的长度; 所得新序列 $x_1(n)$ 比原序列 $x(n)$ 少 $2k$ 项。

该算法能较好地滤除脉冲噪声, 但存在的一个问题是滤波后信号的长度要小于滤波前的信号, 而且滤波前后信号长度的差距随着窗长度的变化而变化, 给算法在实际中的应用带来不便。因此, 笔者提出了一种改进的中值滤波算法, 该算法在对序列开头和结尾的几个数据滤波时减少了以该点为中心滤波窗的长度, 从而在滤除噪声的同时又实现了滤波前后数据长度相等的目的。算法也是从 $x(n)$ 构造一个新序列 $x_2(n)$, 表示如下

$$x_2(i) = \begin{cases} \text{Med}[x(0) \sim x(2i)] & 0 \leq i \leq k-1 \\ \text{Med}[x(i-k) \sim x(i+k)] & k \leq i \leq N-k-1 \\ \text{Med}[x(2i-N+1) \sim x(N-1)] & N-k \leq i \leq N-1 \end{cases} \quad (2)$$

显然, 改进算法对原序列开头和结尾的几个数也进行了滤波, 所得序列 $x_2(n)$ 与原序列 $x(n)$ 具有相同的长度, 避免了原算法滤波后改变信号长度的问题, 提高了算法的实用性。

2 中值滤波预处理的介损算法

因为脉冲噪声的频谱分布非常广泛, 它在基波上的分量将会使电压和电流信号基波相角受到影响, 从而给介损测量带来误差。针对这个问题, 笔者提出一种结合中值滤波的介损算法, 它主要由两个

部分组成: ①用中值滤波算法对测量所得电压和泄漏电流信号滤波, 因为该算法能有效滤除信号中的脉冲噪声, 因此脉冲噪声对介损测量的影响将大为减少; ②对处理后的信号使用介损数字化算法来计算介损, 因为主要反映中值滤波算法对脉冲噪声给介损测量造成误差的抑制, 因此不考虑非整周期采样的情况, 数字化算法选择傅里叶变换算法, 实际应用时可以根据实际情况中存在的非整周期采样选择合适的数字化算法^[1-5]。

3 中值滤波对含脉冲噪声信号的滤波效果

电流信号 $i(t) = \sin(100\pi t + \pi/4)$, 电压信号 $u(t) = \sin(100\pi t - \pi/4 + 0.01)$, 采样频率为 25 kHz, 采样时间长度为 20 ms, 对电压和电流信号叠加脉冲噪声, 脉冲噪声考虑了双极性 $I_1(t)$ 和单极性 $I_2(t)$ 两种情况, 分别表示如下

$$I_1(t) = \begin{cases} x(t), & |x(t)| \geq 0.1a \\ 0, & |x(t)| < 0.1a \end{cases}$$

$$I_2(t) = \begin{cases} |x(t)|, & |x(t)| \geq 0.1a \\ 0, & |x(t)| < 0.1a \end{cases}$$

式中 $x(t)$ 是均值为 0, 均方差为 0.1 的白噪声; $a=2$ 。

对于以上模型不断尝试获知中值滤波窗长度为 5 时具有最好的效果, 故窗长度选择为 5。原信号、叠加脉冲噪声后信号和滤波后信号见图 1、2。

从图 1、2 的比较可以看出, 无论是双极性脉冲

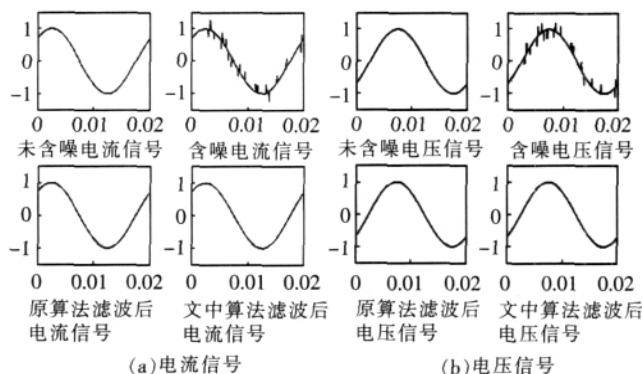


图1 未含噪、含双极性脉冲噪声及去噪后的电流和电压信号

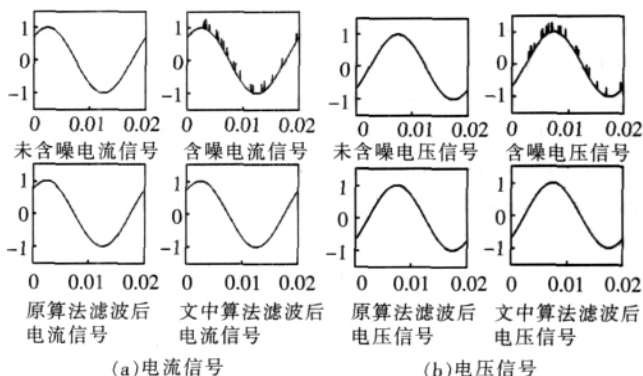


图2 未含噪、含单极性脉冲噪声及去噪后的电流和电压信号

噪声还是单极性脉冲噪声, 经过中值算法滤波后电流和电压信号中的噪声都得到了很好的抑制。从图中还可看出, 原中值滤波算法滤波所得信号长度比原信号长度短, 从式(1)可以清楚看出减少了 $2k$ 项。

同时通过仿真发现: 随着系数 a 的减少脉冲噪声密度将增加, 中值算法滤波效果有所下降, 且最优的滤波窗长度也将随着噪声密度的增加而变化。

4 介损计算结果及分析

为了避免频率偏离正常值对介损的影响, 不考

虑频率偏离正常值的情况, 信号模型和采样频率与第3节中提到的一致, 中值滤波窗长度仍然取 5。对于原中值滤波算法, 为了保证整周期采样, 采样点数为 504, 笔者提出的改进中值滤波算法取前 500 个点的数据滤波。仿真计算 1 000 次, 双极性和单极性脉冲干扰时算法误差的统计值分别见表 1、2。其中表中介损误差单位为 10^{-2} rad; 算法 1、2 分别指原中值滤波算法和笔者提出的改进中值滤波算法。

从表 1 中的数据可以看出, 对于含双极性脉冲噪声的信号, 使用原中值滤波算法和笔者提出的改

表 1 含双极性脉冲噪声时滤波前后计算所得介损的误差

算法	误差绝对值的 最大值	误差的 标准差	误差绝对值 的均值	误差的 均值
未滤波	1.461 1	0.454 0	0.371 0	0.011 3
算法 1	0.472 5	0.075 9	0.056 3	0.001 8
算法 2	0.472 5	0.076 0	0.056 3	0.001 8

表 2 含单极性脉冲噪声时滤波前后计算所得介损的误差

算法	误差绝对值的 最大值	误差的 标准差	误差绝对值 的均值	误差的 均值
未滤波	1.693 5	0.444 0	0.353 5	-0.004 9
算法 1	0.694 2	0.107 9	0.073 7	0.000 5
算法 2	0.695 6	0.107 9	0.073 7	0.000 6

进中值滤波算法滤波后信号的介损测量结果都较直接计算所得介损在精确度上有很程度的提高,介损误差绝对值的最大值、介损误差的标准差、介损误差绝对值的均值和介损误差的均值均只有未滤波信号的 $1/7 \sim 1/3$; 原中值滤波算法和提出的改进中值滤波算法滤波后信号计算所得介损的精确度也非常接近。表 2 数据与表 1 有类似的规律,虽然误差稍有增加,但增加程度较小,表明不考虑非整周期采样时原中值滤波算法和改进中值滤波算法对含单极性脉冲噪声的信号仍然具有较好效果。

对于原中值滤波算法,滤波后信号长度变短且减少的项数与滤波窗长度有关,为了保证更加接近整周期采样以确保算法精度,需要采样更多的点和考虑滤波窗的长度,否则容易增加介损测量的误差。而提出的改进中值滤波算法滤波后的信号长度与原

信号相等,能很好地避免因为滤波长度改变可能给介损测量带来影响这个问题,增加了算法的实用性。

5 结语

提出了一种针对电压和电流信号存在脉冲噪声时的介损算法,该算法先用中值滤波对采集的电压和电流信号进行预处理,然后使用数字化算法计算介损。仿真分析表明:中值滤波算法能有效滤除信号中的脉冲噪声;提出的结合中值滤波的介损数字化算法能有效提高介损测量的准确性;改进了中值滤波算法,使滤波前后信号长度不变,避免了信号长度变化可能给介损测量带来的干扰,在保证提高介损测量精确度的同时提高了算法的实用性。

参考文献:

- [1] 曹宇亚,申忠如,任稳柱.介质损耗带电检测数字化处理方法的研究[J].高压电器,2000,36(3):17-19.
- [2] 王微乐,李福祺,谈克雄.测量介质损耗角的高阶正弦拟合算法[J].清华大学学报:自然科学版,2001,41(9):5-8.
- [3] 柴旭峰,关根志,文习山,等.tan δ 高精度测量的加权插值FFT算法[J].高电压技术,2003,29(2):32,33,37.
- [4] 冯小华,吴正茂,张承学.介损在线监测的3种改进谐波分析法的分析[J].高压电器,2005,41(1):4,5,9.
- [5] 徐志钮,律方成,赵丽娟,等.结合频谱校正的修正理想采样频率方法用于介损角测量[J].高压电器,2006,42(5):365-367.
- [6] 刘松强.数字信号处理系统及其应用[M].北京:清华大学出版社,1996.

(上接第 370 页)

3 结语

可靠性设计,由于考虑了载荷、零件尺寸和材料强度性能等数据的分散性,将它们看作具有某种概率分布的统计量,符合工程实际中发生的现象及表征参数的不确定性(随机性),因而更能揭示事物的本来面貌,比常规的强度设计方法更接近实际。利用可靠性设计理论对 126 kV 断路器弹簧操动机构合闸弹簧强度进行分析计算,定量回答了弹簧在运行中的安全性与可靠性的问题,找出了弹簧因疲劳可靠性不足而发生断裂的原因,并提出了相应的解决措施。分析表明,提高合闸弹簧的疲劳强度可靠度,不仅要从选材、钢丝直径的允差、弹簧中径、允差以及弹簧表面强化处理等多方面来控制才有效果,同时也应该根据实际情况,从经济性、适用性、可行性上综合考虑改良。在诸多改进方案中,笔者选择了弹簧表面喷丸处理的最佳措施,方法简便易行,改进

的效果显著。

参考文献:

- [1] 谭蓉,姜琪.高压真空断路器弹簧操动机构的设计[J].甘肃工业大学学报,2000,26(1):36-40.
- [2] 曾祥璞.圆柱螺旋弹簧的可靠性优化设计[J].机械制造与自动化,2005,34(5):12-15.
- [3] 王连鹏,王尔智.真空断路器弹簧操动机构优化设计与可靠性分析[J].高压电器,2005,41(3):166-167.
- [4] 闫静,马志瀛,金黎.真空断路器弹簧操动机构中凸轮机构的优化设计[J].高压电器,2004,40(3):420-423.
- [5] PURKAIT P, CHAKRAVORTI S. Pattern Classification of Impulse Faults in Transformers by Wavelet Analysis[J]. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, 2002, 9(4): 555-561.
- [6] MA X, ZHOU C, KEMP I J. Interpretation of Wavelet Analysis and Its Application in Partial Discharge Detection[J]. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, 2002, 9(3): 446-457.