

一种改进的消除非周期分量交流采样数据修正法

乐全明, 杜俊红, 吕飞鹏

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要: 运用泰勒级数和递归算法, 提出一种改进的消除非周期分量交流采样数据修正法, 阐述了该新方法的原理、递推过程、仿真结果以及同其他方法的比较, 最后验证了其可行性和高效性。

关键词: 交流采样; 非周期分量; 递推算法

中图分类号: TM744

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2003)02-0009-03

1 引言

电力系统发生不对称故障、受到雷电冲击以及投切开关时, 电流、电压信号在基波的基础上叠加有衰减的非周期分量和各种高频分量, 因此要求计算机保护装置对输入的电流、电压信号进行预处理, 即尽可能地滤掉非周期分量和各种高频分量, 否则, 计算结果将出现较大的误差。目前, 微机保护中大多数算法的基础均假定输入信号是周期函数, 可以分解为整倍数频率的分量之和, 其中包括恒定的直流分量。但是, 在电力系统中, 实际输入信号中的非周期分量包含的是衰减的直流分量。当对衰减的直流分量截取一个数据窗的宽度作为输入信号, 然后对它进行频谱分析, 可以得到一个连续的、包含基频分量的频谱。如作周期延拓, 也可以分解为傅氏级数, 即包含有基频、倍频和直流分量。因此, 当输入信号中含有衰减直流分量时, 采用傅氏算法计算所得基频分量的结果必将带来误差。

为了克服非周期分量的影响, 目前主要采用两类算法^[1,3]。一是对傅氏算法进行校正, 如已知衰减时间常数的补偿方法、任意衰减时间常数的补偿方法以及其他克服衰减非周期分量影响的方法; 二是随机模型的算法, 即不受非周期分量影响或影响较小的算法, 如最小二乘法、狭带通滤波加纯正弦模型算法和卡尔曼滤波算法。为了进一步减小误差, 提高计算精度, 本文在参考文献[2]的基础上提出一种改进的消除非周期分量交流采样数据修正法, 它不从算法而是从采样值的角度来考虑问题, 并且不是将一个工频周期内的非周期分量的波形近似为一线性函数, 而是将相邻两个采样点的非周期分量的波形近似为一线性函数, 利用递推和泰勒级数对交流采样序列值进行修正, 剔除其中所含的非周期分量。该方法并不针对具体的算法, 所以修正后的采

样值对任何算法均有效^[2]。

2 改进算法的原理及递推过程

设含有衰减直流分量的电流信号为:

$$i(t) = I_0 e^{-t/\tau} + \sum_n^M I_n \cos(n\omega_1 t + \varphi_n) = i_d(t) + i_a(t) \quad (1)$$

其中: $i_d(t) = I_0 e^{-t/\tau}$ 为衰减直流分量; $i_a(t) = \sum_n^M I_n \cos(n\omega_1 t + \varphi_n)$ 是周期为 $T = 2\pi/\omega_1$ 的各次谐波分量的总和。

对 $i(t)$ 同步采样, 每周期采样点数为 N , 采样周期 $T_s = T/N$, 则得采样点序列 $i(0), i(1), i(2), \dots, i(N)$ 。

由于 $i_a(t)$ 是周期函数, 所以:

$$i(0) - i(N) = i_d(0) - i_d(N) \quad (2)$$

$$\sum_{k=0}^{N-1} i(k) = \sum_{k=0}^{N-1} i_d(k) \quad (3)$$

由于非周期分量 $i_d(t)$ 的波形与其时间常数 τ 有关, 当 $\tau = T$ 时计算误差最大^[1], 若采用文献[2]中的修正法, 即将一工频周期内的 $i_d(t)$ 近似为一线性函数表示, 若时间常数 τ 比较大, 则其计算误差也不容忽视。本改进算法假定在一工频周期内, 每相邻两采样点的非周期分量 $i_d(t)$ 用一线性函数表示, 并采用递推法, 这时对第 k 点采样, 其中所含的非周期分量为:

$$i_d(k) = i_d(k-1) + \frac{d(i_d(t))}{d(t)} \cdot T_s$$

其中: $t = t(k) = T_s \cdot k$

$$\text{即 } i_d(k) = i_d(k-1) - \frac{I_0}{\tau} T_s e^{-T_s k/\tau} = i_d(k-1) -$$

$$\frac{I_0}{\tau} T_s e^{-T_s(k-1)/\tau} e^{-T_s/\tau}$$

令:

$$X(k) = e^{-T_s k/\tau} = e^{-T_s(k-1)/\tau} \cdot e^{-T_s/\tau} = X(k-1) \cdot e^{-T_s/\tau} \quad (4)$$

因为一般情况下 T_s/τ 远小于 1, 所以可利用泰勒级数将 $e^{-T_s/\tau}$ 项展开, 取其第一级, 得出如下递推公式:

$$\begin{cases} i_d(1) = i_d(0) - \frac{I_0}{\tau} T_s \cdot X(0) (1 - T_s/\tau) \\ X(0) = 1 \\ i_d(2) = i_d(1) - \frac{I_0}{\tau} T_s \cdot X(1) (1 - T_s/\tau) \\ X(1) = X(0) (1 - T_s/\tau) \\ \dots \\ i_d(k-1) = i_d(k-2) - \frac{I_0}{\tau} T_s \cdot X(k-2) (1 - T_s/\tau) \\ X(k-2) = X(k-3) (1 - T_s/\tau) \\ i_d(k) = i_d(k-1) - \frac{I_0}{\tau} T_s \cdot X(k-1) (1 - T_s/\tau) \\ X(k-1) = X(k-2) (1 - T_s/\tau) \end{cases} \quad (5)$$

其中: $i_d(0)$ 取文献[2]在近似条件(在一个工频周期内, 将 $i_d(t)$ 近似为一线性函数)下求得值, 即在一较短的时间内, 非周期分量的波形近似为一直线。因此, 在一个工频周期内, 可将 $i_d(t)$ 用一线性函数近似表示, 则对第 k 点采样, 其中所含的非周期分量为:

$$i_d(k) = i_d(0) - (i_d(0) - i_d(N))/N \cdot k \quad (6)$$

于是:

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^{N-1} i_d(k) &= \sum_{k=0}^{N-1} \left[i_d(0) - \frac{i_d(0) - i_d(N)}{N} \cdot k \right] = \\ &= N \cdot i_d(0) - (i_d(0) - i_d(N))/N \cdot \sum_{k=0}^{N-1} k = (N+1)/2 \cdot i_d(0) + \\ &+ (N-1)/2 \cdot i_d(N) \end{aligned}$$

推出:

$$i_d(0) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} i_d(k) + (N-1)/2N \cdot [i(0) - i(N)] \quad (7)$$

令:

$$A = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} i(k) + \frac{N-1}{2N} \cdot [i(0) - i(N)] \quad (8)$$

$$B = \frac{I_0}{\tau} T_s (1 - T_s/\tau) \text{ 以及 } C = 1 - T_s/\tau \quad (9)$$

将式(8)和式(9)代入式(5)得简化递推式(10):

$$\begin{cases} i_d(1) = A - B \cdot X(0) \\ X(0) = 1 \\ i_d(2) = i_d(1) - B \cdot X(1) \\ X(1) = C \cdot X(0) \\ \dots \\ i_d(k-1) = i_d(k-2) - B \cdot X(k-2) \\ X(k-2) = C \cdot X(k-3) \\ i_d(k) = i_d(k-1) - B \cdot X(k-1) \\ X(k-1) = C \cdot X(k-2) \end{cases} \quad (10)$$

当采用一些运算技巧后, 计算 A 、 B 和 C 值只需做 1 次乘法、3 次除法和若干次加减法, 并且当采样点数 N 为 2 的幂次方时, 可用移位运算代替除法运算, 以减小运算量。

经以上递推简化处理后, 求取 $i_d(k)$ 的计算量是比较小的, 可满足微机保护的速度要求。

同样, 可先比较 $i(0)$ 和 $i(N)$ 的值, 当两者差值较大时, 则利用式(10)递推修正 $i_d(k)$, 并进一步考

察 $\sum_{k=0}^{N-1} i_d(k)$, 若存在一定量的非周期分量, 则在一个工频周期内计算一次 A 、 B 和 C , 然后对该周期内的 N 个采样值进行迭代修正。这样, 经以上迭代修正消除了衰减非周期分量后新的采样值为:

$$i'(k) = i_a(k) = i(k) - i_d(k) \quad (11)$$

3 MATLAB6.1 数字仿真

为验证本改进算法的有效性, 进行如下软件仿真计算。设电力系统在不正常运行情况下采集的电流信号为:

$$i(t) = I_0 e^{-t/\tau} + I_0 \sin(2\pi f t + \varphi_1) + \dots + I_n \sin(2n\pi f t + \varphi_n)$$

即电流信号中含有随时间衰减的直流分量、基波及其它整次谐波分量, 其波形示意图如图 1 所示,

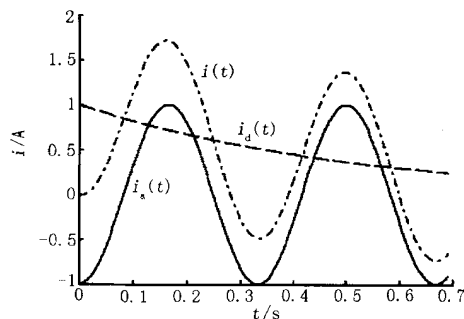


图 1 输入信号 $i(t) = I_m(-\cos\omega t + e^{-at})$ 的波形

Fig. 1 Wave form of input signal

其中,横坐标为时间量,纵坐标为电流信号。为有效地进行误差分析, τ (衰减时间常数)的大小取为0.02 s,即为一个采样周波, f 取为50 Hz, I_0 的大小对误差分析没有影响。每工频采样点数 N 取16,取时间窗长度为一个周波,每隔一个采样点取一个时间窗,在各时间窗分别将原始采样值序列、文献[2]修正算法和本改进算法修正后的采样值序列用DFT算法计算基波的有效值,计算误差,即采样电流有效值与精确值之差的绝对值再与100的比值,分别如图2和图3所示。

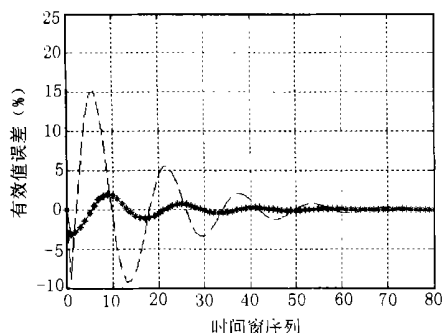


图2 未修正和文献[2]修正法的误差分析波形

Fig.2 Error analysis wave form of uncorrected and second paper

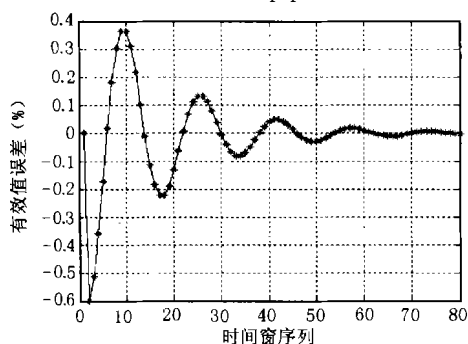


图3 改进修正算法的误差分析波形

Fig.3 Error analysis wave form of mended algorithm

从图2中误差波形可见,未采用修正法时,非周期分量造成的计算误差最大可达15%(虚线所示);采用文献[2]修正算法后,非周期分量造成的计算误差大幅度减小(*线所示),但由于该文将非周期分量在一个周波内近似成一线性函数,所以还存在不小的误差。

由图3可见,当采用本文的改进递推修正算法后,其非周期分量造成的计算误差减小了一个数量级,其误差量几乎可以忽略不计。

为验证本文改进方法对其它算法的高效性,可

计算电流包括谐波在内的总的有效值 $I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} i(k)^2}$ 。采用文献[2]、未经修正和本文改进算法的计算误差分别如图4和图5所示。很明显,本文改进法的有效性也得到了证实。

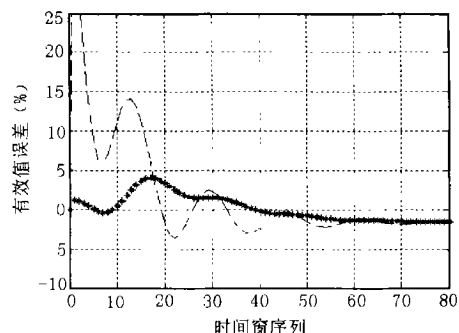


图4 未修正和文献[2]算法电流总有效值误差

Fig.4 Current virtual value error of uncorrected and second paper

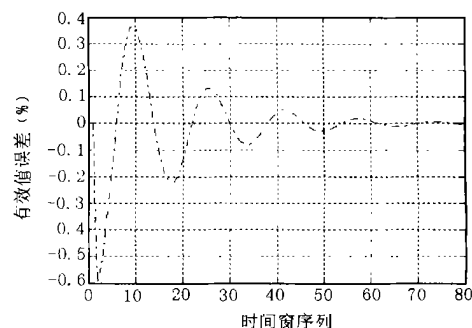


图5 改进递推修正算法电流总有效值误差

Fig.5 Total virtual value error of improved algorithm

4 结论

本文提出的改进递推修正算法,将相邻两采样点非周期衰减直流分量近似为一线性函数,与其它算法相比,其修正精度提高了一个数量级,而且该方法并不针对任何特定算法,它对所有算法均适用。在电力系统微机保护中,采用本改进算法对采样值进行修正,可大大减小衰减直流分量对计算的影响,其实现简单,计算量小。仿真分析和比较证实了本文改进方法的可行性和精确性。

参考文献:

- [1] 杨奇逊. 微型计算机继电保护基础[M]. 北京:水利电力出版社,1988,11.
- [2] 黄纯. 一种消除非周期分量的交流数据修正法[J]. 继电器,2001,29(8):10-12.

(下转第30页)

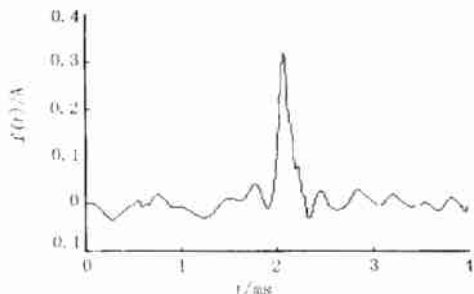


图4 消噪后的行波信号

Fig. 4 The de-noised traveling waves

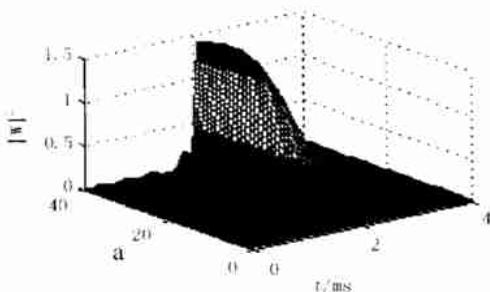


图5 消噪后信号的处理结果

Fig.5 Result of the de-noised traveling waves

5 结论

大量实验表明,以 Morlet 小波为母小波的连续小波变换方法用于电能质量暂态信号分析,可以在信噪比较低的情况下实现对特征信号的检测,同时利用离散小波变换和基于标准偏差估计的小波去噪方法,较好地排除了噪声干扰,实现了更为准确的故障信号检测和定位。以后要做的工作是找到更多更好的小波基,用于各种不同的电能质量干扰分析。

Application of wavelet transform to detect power quality transient signal

SHANG Jie, CHEN Hong-wei, LI Yan

(Dept. of Electronics and Information, East China Shipbuilding Institute, Zhenjiang 212003, China)

Abstract: With the wide application of sensitive power electronic devices in industry, the power quality disturbance problems such as transient become more concerned. The detection and location of the start point of the transient is a key problem for the power quality monitoring. The principle of singularity detection using continuous wavelet transform is presented in this paper and a dyadic wavelet transform approach for detection and location of the transient traveling waves is proposed. With the approach based on standard error estimate, noise was greatly decreased and the result was obviously improved.

Key words: wavelet transform; transient; singularity detect

(上接第 11 页)

[3] 李菊. 计算机继电保护系统[M]. 北京: 水利电力出版社, 1983, 2.

收稿日期: 2002-07-03; 修回日期: 2002-09-18

作者简介:

障信号检测和定位。以后要做的工作是找到更多更好的小波基,用于各种不同的电能质量干扰分析。

参考文献:

- [1] Heydt G T, Galli A W. Transient power quality problems analyzed using wavelets[J]. IEEE Transaction on Power Delivery, 1997, 12(2): 908 - 915.
- [2] Perunicic B, Mallini M, Wang Z, et al. Power Quality Disturbance Detection and Classification Using Wavelets and Artificial Neural Networks[C]. In: Proceeding of IEEE ICHQP. Athens (Greece): 1998. 77 - 82.
- [3] Poission Q, Rioual P, Meunier M. New signal processing tools applied to power quality analysis[J]. IEEE Trans on power Delivery, 1999, 14(2): 561 - 566.
- [4] Huang S J, Hsieh C T, Huang C L. Application of Morlet wavelets to supervise power system disturbances[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1999, 14(1): 235 - 241.
- [5] 任震, 黄雯莹. 小波分析及其在电力系统中的应用[J]. 电力系统自动化, 1997, (3): 9 - 12.
- [6] Mollets, Hwang W L. Singularity detection and processing with wavelets[J]. IEEE Trans on Information Theory, 1992, 38(2): 617 - 643.
- [7] Xu L J. Wavelet transform domain filters: a spatially selective noise filtration technique[J]. IEEE IP. 1994, 13(6): 747 - 758.

收稿日期: 2002-06-20; 修回日期: 2002-08-28

作者简介:

尚 婕(1979 -), 女, 硕士研究生, 研究方向为小波变换在电能质量分析中的应用;

陈红卫(1966 -), 女, 博士研究生, 研究方向为计算机控制;

李 彦(1959 -), 男, 硕士研究生, 研究方向为计算机控制。

乐全明(1974 -), 男, 硕士研究生, 从事电力系统继电保护和电力系统软件工程研究;

杜俊红(1975 -), 女, 硕士研究生, 从事电力系统调度自动化和计算机信息管理研究;

吕飞鹏(1968 -), 男, 博士, 副教授, 从事电力系统继电保护和综合信息处理智能系统研究。

An improved approach to eliminate non - periodic AC sampling component

YUE Quarr-ming, DU Jurr-hong, LV Fei-peng

(Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: On the basis of the second paper and application of the Taylor Progression and recursive algorithm, an improved approach to eliminate non-periodic component from sampling data is presented. This paper details the principles of the new method and the evolvement procedure as well as the simulation result of the approach.

Key words: AC-sampling; non-periodic component; recursive algorithm