

消除傅氏算法中衰减非周期分量的方法 在信号频率偏离额定值时的特性研究

张艳霞¹,刘天绪¹,杨钢²

(1. 天津大学电气工程与自动化学院,天津 300072; 2. 天津市电力公司,天津 300143)

摘要: 针对几种消除全波傅立叶算法中衰减非周期分量影响的方法,分析研究了它们在信号频率偏离额定值时的特性。研究结果表明:单纯一次差分法在信号频率偏离额定值时,消除衰减非周期分量的特性最好;经差分全波傅氏算法求出的基波幅值最接近于实际值。从而为电力系统振荡闭锁过程中判别再故障元件的算法提供了参考依据。

关键词: 全波傅立叶算法; 衰减非周期分量; 判别振荡过程中再故障的元件

中图分类号: TM77;O 174.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2003)04-0015-03

1 引言

全波傅立叶算法是微机继电保护中最常用的算法。用它不仅能求出信号的基波幅值和相位;而且能求出各次谐波分量的幅值和相位。但全波傅立叶算法不能消除衰减非周期分量的影响,因此要采取措施予以消除。消除或减小衰减非周期分量影响的办法很多^[1~6],每种方法使用的场合不同,那么哪种方法适用于在信号频率偏离额定值情况下更好地消除衰减非周期分量的影响呢?本文对此进行了分析研究,以便给作为电力系统振荡闭锁过程中判别再故障元件的算法提供参考依据。

2 信号频率偏离额定值时消除衰减非周期分量影响方法的特性研究

2.1 分段并联滤波法

该方法^[1]是在系统时间常数未知或变化情况下,将从 k 点开始的 4 个采样值 $x_k, x_{k+1}, x_{k+2}, x_{k+3}$ 作为一组,利用公式(1)和(2)求出对应 k 点的衰减非周期分量 x_0^k 。

$$= e^{-T} = \frac{x_{k+1} + x_{k+3} - 2 \cos \frac{T}{T} \cdot x_{k+2}}{x_k + x_{k+2} - 2 \cos \frac{T}{T} \cdot x_{k+1}} \quad (1)$$

$$x_0^k = \frac{x_k + x_{k+2} - 2 \cos \frac{T}{T} \cdot x_{k+1}}{1 + 2 \cos \frac{T}{T}} \quad (2)$$

式中: T 为采样间隔。

随后对 $k, k+1, k+2, k+3$ 点采样值用如下公式进行修正。

$$x_k = x_k - x_0^k \quad (3)$$

每四个采样点为一段,逐段修正,从而得到了消除了衰减非周期分量的新采样序列 $\{x_k\}$,最终,全波

傅立叶算法用新采样序列将变量 x 的幅值和相位求出。

为研究该算法在信号频率偏离 50 Hz 时的特性,设 $f = 55 \text{ Hz}, \omega = 2\pi f; f_N = 50 \text{ Hz}, N = 2 f_N, x = 50 \sin \omega t + 25e^{-t/10} + 5 \sin(2\pi N t) + 5 \sin(3\pi N t)$;取采样频率 1000 Hz 时,用分段并联滤波加全波傅立叶算法求出的基波幅值如图 1 所示。从图中可见,算出的基波幅值偏离了实际值(50),且呈振荡变化的趋势。

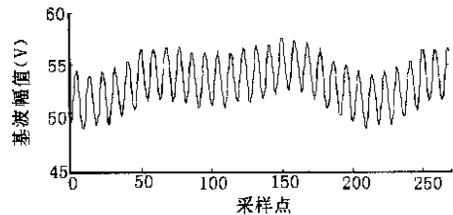


图1 基波频率有偏差时,分段并联滤波加全波傅立叶算法求出的基波幅值

Fig. 1 Fundamental amplitude calculation of signal using block parallel filter and Fourier algorithm when signal has fundamental frequency deviation

2.2 改进的傅立叶滤波算法^[4]

设 $x = \sum_{n=1}^{N-2} c_n \sin(n\omega t + \phi_n) + x_0 e^{-t/\tau}$, N 为每周采样点数。这种算法先根据信号 x 的采样值求出基波分量的全波傅立叶系数实部 $X_{re}(k)$,则衰减因子 $= e^{-t/\tau}$ 和衰减分量初始值 x_0 由下面公式给出:

$$= \frac{[X_{re}(k+2) - X_{re}(k+1)] \sin(2\pi/N)}{\sin(4\pi/N) [X_{re}(k+1) - X_{re}(k)]} \quad (4)$$

$$x_0 = \frac{N [X_{re}(k+1) - X_{re}(k)]^2 \sin(4\pi/N)}{2 \sin^2(2\pi/N) [X_{re}(k+2) - X_{re}(k+1)]} \quad (5)$$

修正后的基波分量傅立叶系数的实部和虚部分别为：

$$\hat{x}_{re}(k) = \hat{x}_{re}(k) - \frac{N}{2} \sum_{j=1}^N x_0^j \cos\left(\frac{2j}{N}\right) \quad (6)$$

$$\hat{x}_{im}(k) = \hat{x}_{im}(k) - \frac{N}{2} \sum_{j=1}^N x_0^j \sin\left(\frac{2j}{N}\right) \quad (7)$$

由修正后的实部和虚部即可求出基波的幅值和相位。

当信号 x 的基波频率保持 50 Hz, 且系统的时间常数不变时, 这种方法能精确地从含有衰减非周期分量和整次谐波的信号中提取出基波分量。图 2 是 $x = 50 \sin(t) + 5 \sin(2t) + 5 \sin(3t) + 25e^{-t/10}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $\omega = 2\pi f$, 采样频率 1000 Hz 时, 用该方法求出的基波幅值。从图可见, 信号频率不变时, 该方法完全消除了衰减非周期分量的影响。

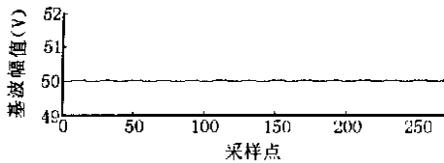


图 2 基波频率无偏差时,改进的傅立叶滤波算法求出的基波幅值

Fig. 2 Fundamental amplitude calculation of signal using a Novel Fourier Filter Algorithm when signal has no fundamental frequency deviation

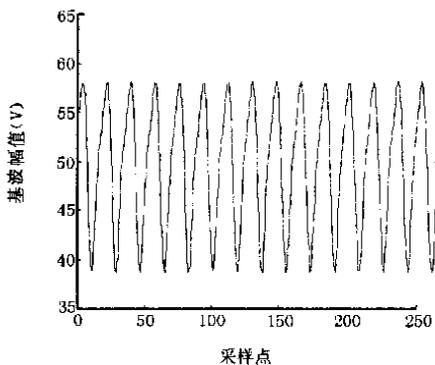


图 3 基波频率有偏差时,改进的傅立叶滤波算法求出的基波幅值

Fig. 3 Fundamental amplitude calculation of signal using a Novel Fourier Filter Algorithm when signal has fundamental frequency deviation

但是, 当 x 的基波频率偏离 50 Hz 时, 这种算法求出的基波分量误差非常大。图 3 给出了取 $f = 55 \text{ Hz}$, $\omega = 2\pi f$; $f_N = 50 \text{ Hz}$, $\omega_N = 2\pi f_N$; $x = 50 \sin t + 25e^{-t/10} + 5 \sin(2\omega_N t) + 5 \sin(3\omega_N t)$; 采样频率 1000 Hz 时, 由改进的傅立叶滤波算法算出的基波幅

值, 其振荡幅度比用分段并联滤波加全波傅立叶算法求出的基波幅值的振荡幅度 (图 1) 还要大。

2.3 单纯一次差分法

在利用全波傅立叶算法之前, 先对各采样点进行一次差分计算, 得到新采样序列 $x_k = x_k - x_{k-1}$, 用新序列求出傅立叶系数的实部 \hat{x}_{re} 和虚部 \hat{x}_{im} , 进

而得到信号的基波幅值 $X_1 = \frac{\sqrt{\hat{x}_{re}^2 + \hat{x}_{im}^2}}{0.3129}$ 。

从原理上看, 这种方法只能部分消除衰减非周期分量的影响; 当信号基波频率偏离 50 Hz 后, 它的特性又如何呢?

仍设 $f = 55 \text{ Hz}$, $\omega = 2\pi f$; $f_N = 50 \text{ Hz}$, $\omega_N = 2\pi f_N$; 采样频率取 1000 Hz, $x = 50 \sin t + 25e^{-t/10} + 5 \sin(2\omega_N t) + 5 \sin(3\omega_N t)$, 用差分全波傅氏算法求出的基波幅值如图 4, 其值很接近实际值, 且振荡幅度小。

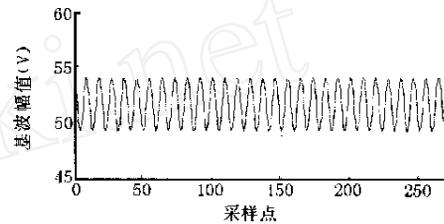


图 4 基波频率有偏差时,差分全波傅氏算法求出的基波幅值

Fig. 4 Fundamental amplitude calculation of signal using difference & Fourier algorithm when signal has fundamental frequency deviation

为了将以上三种消除衰减非周期分量影响的方法在信号频率偏离 50 Hz 时的特性更清晰地加以对比, 本文将用三种方法修正后的全波傅氏算法求出的基波幅值重绘于一图中, 如图 5 所示。从图中可知, 单纯一次差分法在信号频率偏离额定值时, 消除衰减非周期分量的特性最好; 经差分全波傅氏算法求出的基波幅值最接近于实际值。

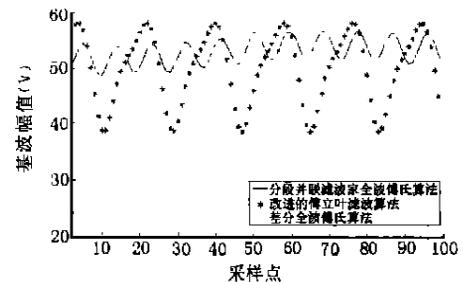


图 5 三种消除衰减非周期分量影响方法的对比 1

Fig. 5 The contrast 1 of three removing DC offset's algorithms

2.4 基波频率偏移程度不同以及非周期分量具有不同衰减常数和初值情况下,三种算法的比较

考虑到上述三种消除衰减非周期分量影响方法最终在求信号基波幅值时,都要用到全波傅氏算法,而全波傅氏算法具有很好的高频特性,不仅能滤掉整数倍高频分量,而且对非整次谐波有抑制作用,因此本文重点分析了信号基波频率偏移程度不同以及非周期分量具有不同衰减常数和初值情况下,三种算法消除衰减非周期分量的特性。图6是 $x = 50 \sin t + 40e^{-10t}$, $f = 52 \text{ Hz}$, $\omega = 2f$ 时,三种消除衰减非周期分量影响方法的对比。很显然,差分全波傅氏算法消除衰减非周期分量的特性最好。

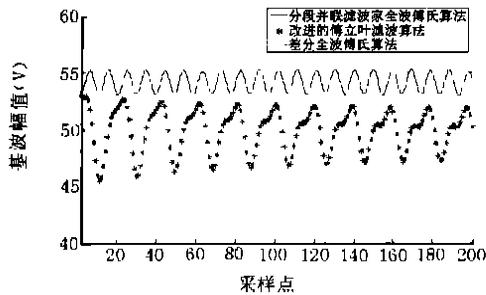


图6 三种消除衰减非周期分量影响方法的对比 2

Fig.6 The contrast 2 of three removing DC offset's algorithms

3 结论

为了消除衰减非周期分量对全波傅里叶算法的影响,人们已经提出了许多种方法。本文对分段并联滤波加全波傅立叶算法、改进的傅立叶滤波算法和差分全波傅氏算法在信号含有不同谐波成分和比重、基波频率偏移程度不同以及非周期分量具有不同衰减常数和衰减分量初值情况下,求出的基波幅

值进行了深入、细致的分析研究。结果表明:当信号基波频率偏离额定值时,单纯一次差分法消除衰减非周期分量的特性最好;求出的基波幅值最接近于实际值。因此作为电力系统振荡闭锁过程中判别再故障的元件应该采用差分全波傅氏算法作为求解测量量的算法。

参考文献:

- [1] 连秉中. 傅立叶算法的直流误差分析. 全国第四届继电保护和自动装置学术会议论文集, 1986.
- [2] E. O. Schweitzer and D. Hou. Filtering for Protective Relay. in 19th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, 1992.
- [3] G. Benmouyal. Removal of DC Offset in Current Waveforms Using Digital Mimic Filtering. IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 2, pp. 621-630, Apr. 1995.
- [4] Jylr-Cherng Gu and Sur-Li Yu. Removal of DC Offset in Current and Voltage Signals Using a Novel Fourier Filter Algorithm. IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 15, No. 1, 2000.
- [5] 宗孔德, 胡广书. 数字信号处理. 北京: 清华大学出版社, 1988.
- [6] A. R. Van C. Warrington, Protective Relay. Vol. 1, 1962, London, Chapman & Hall.

收稿日期: 2002-08-30; 修回日期: 2002-10-22

作者简介:

张艳霞(1962-),女,副教授,从事电力系统继电保护和数字仿真的研究工作;

刘天绪(1979-),男,研究生,研究领域为电力系统继电保护;

杨钢(1958-),男,高级工程师,从事电力系统继电保护和数字仿真的研究工作。

Study of the characteristics of removing dc offset methods in fourier algorithm when signal has fundamental frequency deviation

Zhang Yan-xia¹, Liu Tian-xu¹, YANG Gang²

(1. School of Electric Engineering and Automation, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Tianjin Electric Power Company, Tianjin 300143, China)

Abstract: The characteristics of three removing DC offset methods in Fourier algorithms are studied when signal has fundamental frequency deviation. Analytical results show: when signal has fundamental frequency deviation, difference algorithm has better performance of removing DC offset than other methods; and the signal fundamental amplitude calculated by the difference & Fourier algorithm is close to the real value. The work of this paper provides reference basis for the algorithm of measure element of power swing simultaneously with short-circuit fault.

Key words: full-cycle DFT; DC offset; measure element of power swing simultaneously with short-circuit fault