

一种消除非周期分量的交流采样数据修正法

黄纯¹, 潘华², 江亚群¹, 王联群²

(1. 湖南大学电气与信息工程学院, 湖南长沙 410082; 2. 湖南省变电修试安装公司, 湖南长沙 410002)

摘要: 提出一种可以消除衰减非周期分量的交流采样数据修正法, 详述了该方法的原理、实现过程及仿真结果。该方法适应于各种保护算法, 仿真结果和实际应用验证了该方法的可行性和有效性。

关键词: 非周期分量; 交流采样; 继电保护; 算法

中图分类号: TM714

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2001)08-0010-03

1 前言

电力系统在发生故障、投切设备或受到冲击时, 电流、电压信号中除含有丰富的谐波分量外, 常常还包含有幅值较大的衰减直流分量^[1]。目前, 微机保护中的绝大多数算法均是针对周期信号设计的, 它们会因衰减非周期分量的存在而产生相当大的误差。例如, 应用 DFT(富氏算法) 计算信号的幅值和相位时, 由于 DFT 隐含着要对采样数据窗进行周期延拓, 如果信号为周期信号, 且采样数据窗宽度正好为信号的一个周期(即采用同步采样), 则理论上计算不存在误差; 而当信号含有衰减非周期分量时, 周期延拓后的信号显然与原信号不符, 则计算结果产生误差。

为了克服非周期分量的影响, 目前人们主要采用两种方法。其一, 研究不受非周期分量影响或影响较小的算法; 其二, 对算法进行校正。前者如最小二乘法, 算法往往计算量较大; 后者的校正方法只对特定的算法有效, 如针对富氏算法提出的各种校正算法^{[2][3]}。本文提出一种消除非周期分量的新思想, 它不是从算法而是从采样值的角度来考虑问题, 通过对交流采样序列值进行修正, 剔除其中所含的非周期分量。由于它不针对任何算法, 所以修正后的采样值对任何算法都有效。

2 滤除衰减直流分量的采样值修正法

设含有衰减非周期分量的信号为:

$$i(t) = I_0 e^{-t} + \sum_{n=1}^M I_n \cos(n_1 t + \varphi_n) = i_d(t) + i_a(t)$$

其中 $i_d = I_0 e^{-t}$ 为非周期分量; $i_a(t) = \sum_{n=1}^M I_n \cos(n_1 t + \varphi_n)$ 为基波及各次谐波分量的总和, 是周期为 $T = 2\pi / \omega_1$ 的周期交流量。

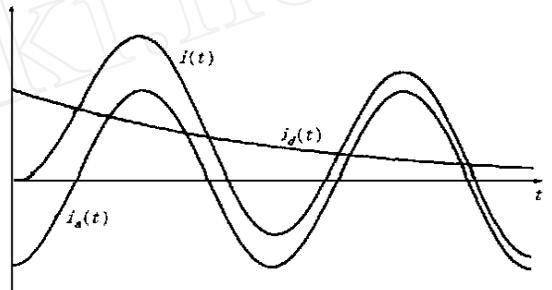


图1 含衰减非周期分量信号的波形

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

考虑到 $i_a(t)$ 的周期性, 显然有:

$$i(0) - i(N) = [i_d(0) + i_a(0)] - [i_d(N) + i_a(N)] = i_d(0) - i_d(N) \quad (1)$$

$$\sum_{k=0}^{N-1} i(k) = \sum_{k=0}^{N-1} i_d(k) + \sum_{k=0}^{N-1} i_a(k) = \sum_{k=0}^{N-1} i_d(k) \quad (2)$$

在一较短的时间内, 非周期分量的波形近似为一直线(见图1)。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, 这时对第 k 个采样点, 其中所含的非周期分量为:

$$i_d(k) = i_d(0) - \frac{i_d(0) - i_d(N)}{N} \cdot k \quad (3)$$

于是:

$$\sum_{k=0}^{N-1} i_d(k) = \sum_{k=0}^{N-1} \left[i_d(0) - \frac{i_d(0) - i_d(N)}{N} \cdot k \right] =$$

$$N \cdot i_d(0) - \frac{i_d(0) - i_d(N)}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} k =$$

$$\frac{N+1}{2} \cdot i_d(0) + \frac{N-1}{2} i_d(N)$$

$$i_d(0) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} i_d(k) + \frac{N-1}{2N} [i(0) - i(N)] \quad (4)$$

将式(1)、(2)和式(4)代入式(3)得:

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

$$\frac{i(0) - i(N)}{N} \cdot k$$

$$i_d(k) = A - B \cdot k$$

式中:

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

$$B = \frac{i(0) - i(N)}{N}$$

采取一些计算技巧后,计算 A 、 B 的值只需做 1 次乘法、2 次除法和若干次加减法。当每周波采样点数 N 为 2 的幂次方时,还可用移位代替除法运算。求 $i_d(k)$ 时为避免做乘法运算,可采用以下迭代公式:

$$i_d(k) = \begin{cases} A & (k=0) \\ i_d(k-1) - D & (k \neq 0) \end{cases}$$

经过这些处理后,求取 $i_d(k)$ 的计算量是较小的,可满足微机保护的速度要求。

这样,消除了衰减直流分量的新的采样值为:

$$i(k) = i_a(k) = i(k) - i_d(k)$$

具体实现时,可先比较 $i(0)$ 和 $i(N)$ 的值,当两者差值较大时,进一步考察 $\sum_{k=0}^{N-1} i_d(k)$ 。当确定存在一定的非周期分量时,在一个工频周期计算一次 A 和 B ,然后对该工频周期内的 N 个采样值进行修正。

3 数字仿真

为验证上述方法的有效性,进行如下仿真计算。设电流信号为:

$$i(t) = 100e^{-50t} + 100\sin(2\pi ft + \varphi_1) + 40\sin(6\pi ft + \varphi_2) + 10\sin(14\pi ft + \varphi_3)$$

即电流信号中含有随时间衰减的非周期分量和基波及 3、7 次谐波。

每工频周期采样点数 $N=16$,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和经过前述方法修正后的采样序列用 DFT 算法计算基波的有效值,计算误差如图 2 所示。两种情况下,误差随时间窗的增大而减小。但未采用修正方法时,非周期分量造成的计算误差最大可达 15% (虚线所示),这是不容忽视的。对采样值进行修正后,尽管计算还存在误差(这一误差是由于将非周期分量在一段时间内近似作为线性函数处理而引起的),但计算误差如图中实线所

示,已显著减小。

为验证本方法对其它算法的有效性,用公式

$$I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} i(k)^2}$$

计算电流包括谐波在内的总有效值。采用和不采用采样值修正法时的计算误差分别如图 3 中实线和虚线所示。可见,本方法此时的有效性也是不容置疑的。

有效值误差 (%)

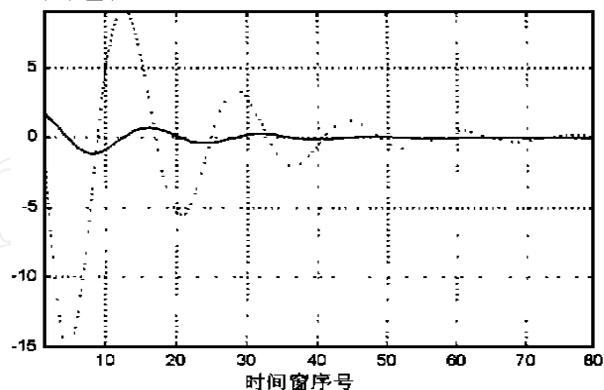


图 2 基波有效值误差

有效值误差 (%)

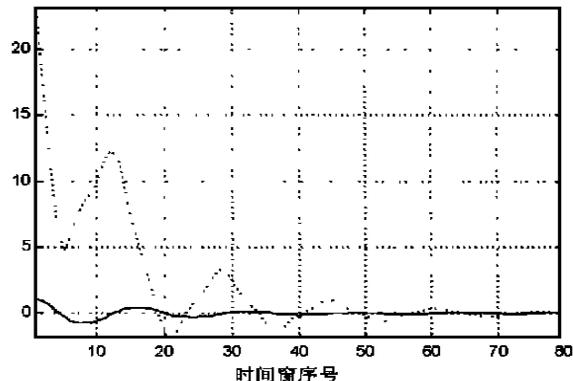


图 3 电流总有效值误差

4 应用实例

本方法已应用于我们研制“谐波滤波器微机监控装置”的滤波器的微机电流保护中。由于滤波器过流或过负荷的原因,除可能为系统电压过高或滤波器故障引起基波电流增大外,更多情况是由于高次谐波电流过大而引起,因此对于滤波器电流保护,必须考虑谐波电流的作用。根据谐波分析理论,非正弦周期电流 $i(t)$ 的总有效值 I 为:

$$I = \sqrt{\sum_{n=1}^m I_n^2} \quad (5)$$

$$\text{或: } I^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} i^2(k) \quad (6)$$

按式(5)计算总有效值必须先用 FFT 算法求出

基波及各次谐波的有效值,计算量大,当电流中所含谐波次数较高,每工频周期内采样点数较大时,微机无法满足保护响应速度的要求。式(6)算法计算量要小得多,但如前仿真计算所示,它受非周期分量的影响大,且没有相应的修正算法。采用本文提出的方法可有效地解决这一问题:当电流采样值与它一个周波前的采样值之间的差值较大时,认为存在非周期分量,对采样值进行修正。

5 结论

本文提出的采样值修正方法,与以往滤除非周期分量的其它方法相比,其突出特点是,它不是针对任何特定算法而设计的,从而对所有算法均适用。在微机保护中,采用本方法对采样值进行修正,可明显减小非周期分量对计算的影响,其实现简单,附加计算量较小。仿真计算和实际应用均证实了本文方法的可行性和有效性。

A new approach to eliminate non-period components from sampling data

HUANG Chun¹, PAN Hua², JIANG Ya-qun¹, WANG Liar-qun²

(1. Hunan University, Changsha 410082, China; 2. Hunan Electric

Power Transformation & Experimentation Co., Changsha 410002, China)

Abstract: In order to eliminate the non-period components, a new approach that modifies the sampling data is presented. This paper details the principle and the procedure as well as the simulation result of the approach.

Key words: non-period component; sampling; algorithm; microprocessor-based protection

(上接第9页)

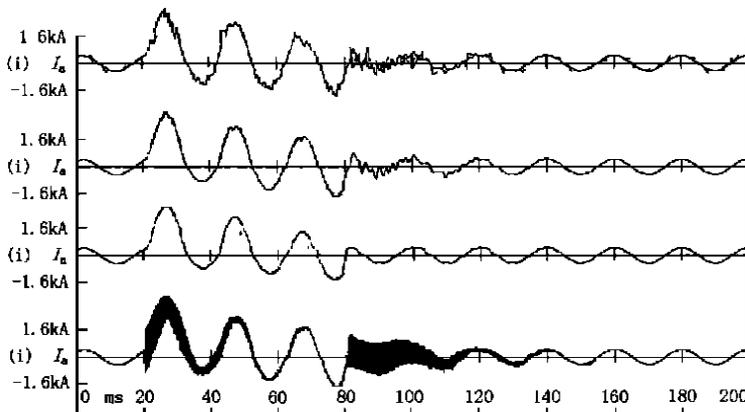


图3 玉双线电流波形

"Compensation method" of generator jump quantity based on spectral analysis

WANG Qing-ping, CHEN Chao-ying, WANG Hai-ji, LIU Yi-qing, LIANG Lei

(Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Based on spectral analysis, this paper modifies error of synchronous generator's model. Accuracy of modification Euler method is improved greatly and it also avoids mathematical oscillation. This method can be used mostly in generator jump quantity's simulation of transient caused by fault or switch operation. At same time, this "compensation method" based on spectral analysis can also be used in other transient simulation of power system.

Key words: calculation of jump quantity; spectral analysis; synchronous generator; digital simulation

参考文献:

- [1] Sachdev M S, Baribeau M A. A new algorithm for digital impedance relay. IEEE Transactions on Power Apparatus and System, 1978, (6).
- [2] 杨念慈. 校正非周期分量对傅立叶算法影响的分段并联滤波器及其计算程序. 电力自动化设备, 1993, 3.
- [3] 周大敏. 递推富氏算法中衰减非周期分量的消除方法. 继电器, 1998, 26(5).

收稿日期: 2001-02-21

作者简介: 黄纯(1966-),男,副教授,在职在读博士,主要从事电力系统自动化、继电保护、谐波治理等方面的教学和科研工作; 潘华(1966-),男,高级工程师,主要从事电力系统自动化、继电保护等方面的科研和生产工作; 江亚群(1971-),女,硕士,讲师,主要从事电工技术、微机保护、电气测量等方面的教学和科研工作。

[2] 白学风. 一种快速的暂态仿真算法[J]. 继电器, 2000, 28(1): 3-7.

[3] 王庆平. 同步发电机数字仿真的研究[D]. 天津大学硕士论文. 天津: 天津大学, 2000.

收稿日期: 2001-01-11

改回日期: 2001-04-12

作者简介: 王庆平(1975-),男,博士生,主要从事电力系统仿真及其故障分析的研究工作; 陈超英(1957-),男,博士,博导,研究方向为电力系统故障分析、继电保护等。