

[谐波]

差分算法对谐波、间谐波影响分析

文/南京国电南自自动化有限公司 田 凯 李培宜 周 锋

利用公式推导了电力系统基波、谐波和间谐波差分后波形表达式，分析了差分对基波、谐波和间谐波计算的影响，并进行了验证。

继电保护装置采集电压、电流进行幅值的计算，在此基础上判断出电力系统是否处于故障状态。由于差分算法对故障电流中衰减的直流分量有抑制作用，故在继电保护装置中得到了一定应用。目前，差分算法对谐波、简谐波计算结果的影响相关研究较少。

本文以差分算法对基波计算的影响为基础，分析出差分算法对谐波、简谐波计算的影响。

差分算法对基波计算的影响

差分即用采样值之差代替原始采样值，再进行电压、电流的计算，即

$$X(n) = X(n) - X(n-k) \quad (1)$$

式中，将采样点的实际值减去k点之前的采样点实际值的差，作为当前采样点进行计算。

电力系统三相电压、电流波形都为余弦（正弦）波形。

以A相电为例，A相电压表达式为

$$U_A = \sqrt{2} \cos(\omega t + \theta) \quad (2)$$

式中，U为有效值； ω 为基波角速度； θ 为初相角。

差分计算后的采样点为

$$U'_A = \sqrt{2}U \cos(\omega t + \theta + \varphi) - \sqrt{2}U \cos(\omega t + \theta) \quad (3)$$

当 $\varphi=30^\circ$ 时，定义上述差分为 30° 差分。 $\varphi=30^\circ$ 时，式（3）为

$$U'_A = \sqrt{4-2\sqrt{3}}U \sin(\omega t + \theta + \psi) \quad (4)$$

式（4）中 $\tan \psi = 2 - \sqrt{3}$ 。

$\varphi=45^\circ$ 时，即 45° 差分，式（3）为

$$U'_A = \sqrt{4-2\sqrt{2}}U \sin(\omega t + \theta + \psi) \quad (5)$$

式（5）中 $\tan \psi = \sqrt{2} - 1$ 。

$\varphi=60^\circ$ 时，即 60° 差分，式（3）为

$$U'_A = \sqrt{2}U \cos(\omega t + \theta - 60^\circ) \quad (6)$$

比较式（4）~式（6），发现不同角度的差分算法得出的采样点的波形不同。即采用差分后的采样点进行电压、电流计算时，需对幅值和角度进行补偿。

差分算法对谐波、间谐波计算的影响

当基波中叠加谐波或间谐波时，A相电压表达式为

$$U_A = \sqrt{2}U \cos(\omega t + \theta) + \sqrt{2}U_d \cos(j\omega t + \theta_j) \quad (7)$$

基波差分计算同前文所述，谐波或间谐波差分计算式为

$$U'_A = \sqrt{2}U_d \cos(j\omega t + \theta_j + \alpha) - \sqrt{2}U_d \cos(j\omega t + \theta_j) \quad (8)$$

对比式（8）和式（3）， $\alpha=j\varphi$ 。当对基波进行角度为 φ 比的差分时，由于谐波、间谐波的角速度为 $j\omega$ ，则谐波、间谐波的差分角度为 $j\varphi$ 。

当 $\alpha=90^\circ$ 时，式（8）为

$$U'_A = -2U_d \sin(j\omega t + \theta_j + 45^\circ) \quad (9)$$

当 $\alpha=180^\circ$ 时，式（8）为

$$U'_A = -2\sqrt{2}U_d \cos(j\omega t + \theta_j) \quad (10)$$

当 $\alpha=360^\circ$ 时，式（8）的值为0，完全滤除谐波、简谐波含量。

当谐波、简谐波的角速 ω_d 满足 $\frac{\omega_d}{\omega}\varphi = N \times 360^\circ$,
N为正整数时, ω 为基波角速度, φ 为针对基波的差分角度,差分角度为 φ 的差分算法能完全滤除该次谐波、间谐波。

验证

采样率为 40×50 ,基波频率为50 Hz。谐波、间谐波幅值为基波幅值的10%,电压基波有效值为57.735。

1. 基波差分

输入波形仅为基波,未叠加谐波或间谐波。

(1) 基波 30° 差分

差分后采样点波形如图1所示,幅值缩小,

$$\frac{81.65}{42.62} \approx \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{4-2\sqrt{3}}} \approx 1.932, \text{和理论推导一致。}$$

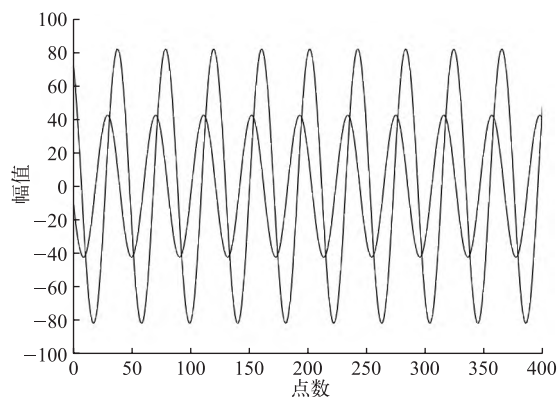


图1 基波 30° 差分采样点波形图

(2) 基波 45° 差分

差分后采样点波形如图2所示,幅值缩小,

$$\frac{81.65}{62.49} \approx \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{4-2\sqrt{2}}} \approx 1.307, \text{和理论推导一致。}$$

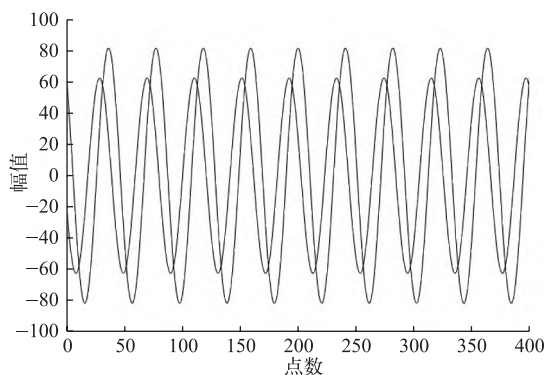


图2 基波 45° 差分采样点波形图

(3) 基波 60° 差分

差分后采样点波形如图3所示,幅值不变,和理论推导一致。

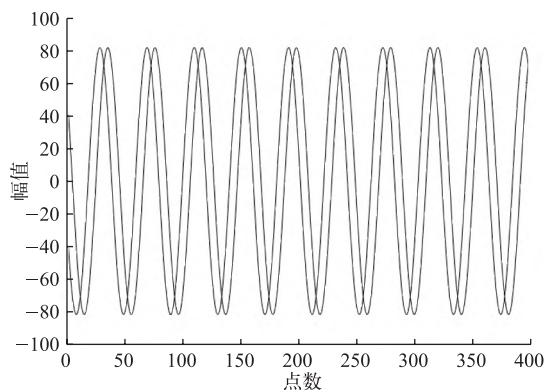


图3 基波 60° 差分采样点波形图

2. 谐波差分验证

基波中叠加12次谐波,波形如图4所示。

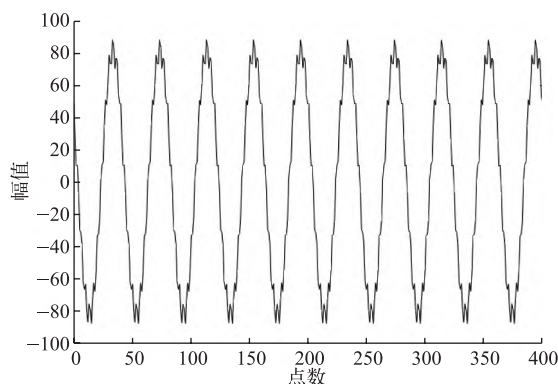


图4 基波叠加12次谐波波形图

15° 差分(基波)计算,采样点波形如图5所示,此时采用差分后的采样点进行谐波计算时,需对幅值和角度进行补偿。

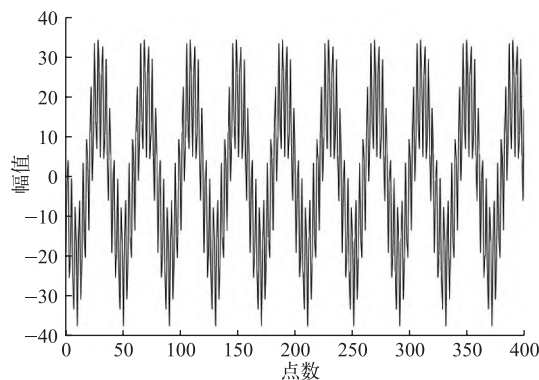


图5 基波叠加12次谐波 15° 差分(基波)波形图

30°差分（基波）计算，采样点波形如图6所示，完全滤除谐波。

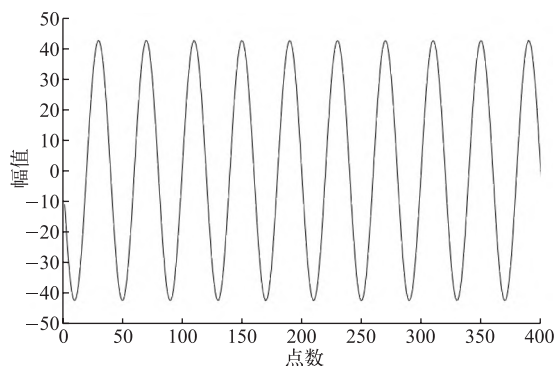


图6 基波叠加12次谐波30°差分（基波）波形图

3. 间谐波差分验证

基波中叠加频率为480 Hz的简谐波，波形如图7所示。

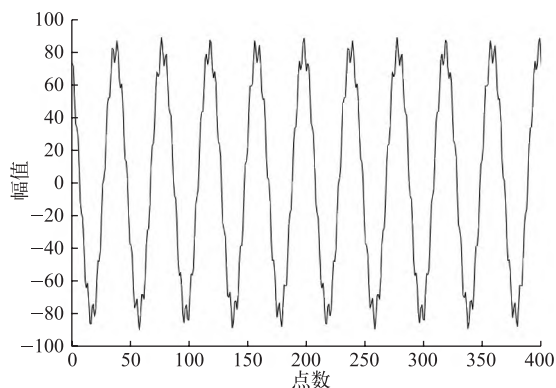


图7 基波叠加480 Hz间谐波波形图

30°差分（基波）计算，采样点波形如图8所示，此时采用差分后的采样点进行谐波计算时，需对幅值和角度进行补偿。

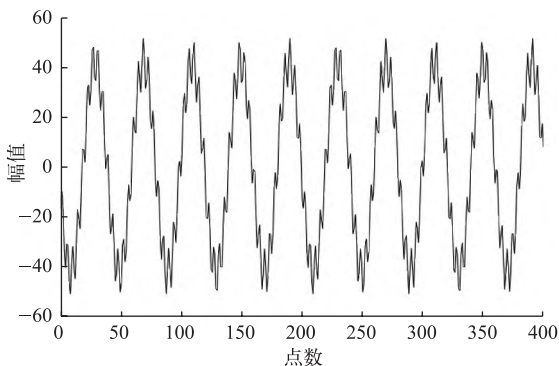


图8 基波叠加480 Hz间谐波30°差分（基波）波形图

37.5°差分（基波）计算，采样点波形如图9所示，完全滤除谐波。

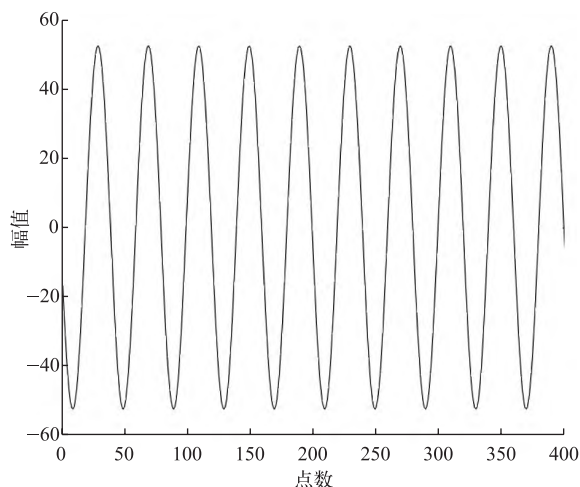


图9 基波叠加480 Hz间谐波37.5°差分（基波）波形图

结束语

电力系统中，继电保护装置采样点采用差分算法时，依据该采样点计算的基波的幅值和相角，要依据采用的差分算法的两个采样点之间的角度差 φ 进行补偿。

同时，上述的差分算法可滤除频率满足条件

$$\frac{f_d}{f_N} \varphi = k \times 360 \text{ 的谐波或间谐波。EA}$$

（收稿日期：2021-08-25）

