

文章编号: 1001-1609(2006)06-0453-03

基于加汉宁窗插值的金属氧化物 避雷器改进容性电流补偿法

徐志钮, 律方成, 赵丽娟, 李和明

(华北电力大学电气与电子工程学院, 河北 保定 071003)

Modified Capacitive Current Compensation Method of MOA Based on
Hanning-windowed Interpolation

XU Zhi-niu, LU Fang-cheng, ZHAO Li-juan, LI He-ming

(School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

摘要: 改进的容性电流补偿法能减轻电网谐波给金属氧化物避雷器阻性电流测量造成的误差, 有效地获得 MOA 的阻性电流。但 DFT 在非同步采样时存在频谱泄漏和栅栏效应, 影响了计算所得阻性电流的准确性。为了解决这个问题, 提出了基于加 Hanning 窗插值的改进容性电流补偿法, 有效减轻了非同步采样给阻性电流测量带来的误差, 提高了根据阻性电流基波和三次谐波判断 MOA 故障方法的有效性。仿真分析验证了提出算法的有效性。

关键词: 金属氧化物避雷器; 阻性电流; 容性电流补偿法; 汉宁窗

中图分类号: TM862

文献标识码: A

Abstract: The error, caused by power system harmonics, in measuring resistive current of metal oxide surge arrester can be lessened by improved capacitive current compensation method. And resistive current of MOA can be acquired effectively in synchronous sampling. DFT has spectrum leakage and fence effect during asynchronous sampling, which influence the accuracy of measured resistive current of MOA. For resolving this problem, modified capacitive current compensation method based on Hanning-windowed interpolation is proposed in this paper. The error of resistive current, caused by asynchronous sampling, is decreased effectively, and the reliability of MOA fault diagnosis based on fundamental harmonic and third harmonic of resistive current is improved. Effectiveness of the proposal algorithm is verified by the simulation analysis result.

Key words: metal oxide surge arrester(MOA);
resistive current; capacitive current
compensation method; Hanning window

0 引言

金属氧化物避雷器(MOA)是电力系统中重要的过电压保护设备,其阻性电流的基波和三次谐波分量能有效反映避雷器的受潮和老化状况,因此对运行中的 MOA 阻性电流的基波和三次谐波分量进行测量非常有必要。

通常情况下,MOA 阻性电流仅占总泄漏电流的 5%~20%^[1],即使受潮和老化严重时总泄漏电流变化也不大,所以有必要从总泄漏电流中提取阻性电流的基波和三次谐波分量。针对容性电流补偿法在电压存在谐波时难以完全补偿容性电流的问题,文[2]提出了改进容性电流补偿法,该方法根据晶介电容近似不变的特点有效补偿了容性电流,减轻了电压谐波的影响,在同步采样时该方法能有效分离出阻性电流的基波和三次谐波分量,但电力系统的频率具有时变性,完全的同步采样很难做到,此时改进容性电流补偿法会产生频谱泄漏和栅栏效应,不仅影响测量所得阻性电流基波的准确性,而且三次谐波分量更小、相对误差更大,这一点在后面的仿真分析中可以验证。

为了解决这个问题,提出了使用加 Hanning(汉宁)窗插值^[3]的改进容性电流补偿法,该方法通过加汉宁窗减轻了频谱泄漏、通过插值减轻了栅栏效应,可以有效减少非同步采样给阻性电流的基波和三次谐波测量带来的误差,仿真结果也验证了这一点。

1 改进容性电流补偿法

在工程中,MOA 在小电流区域的等效电路见

收稿日期: 2006-02-11; 修回日期: 2006-03-14

作者简介: 徐志钮(1980-),男,浙江温州人,博士研究生,研究方向为电气设备状态监测与故障诊断。

图 1。图 1 中 R 为 MOA 中的非线性电阻; C 为晶介电容; i_R 为阻性电流; i_C 为容性电流; i_x 为全电流; u_x 为加在避雷器上的电压。

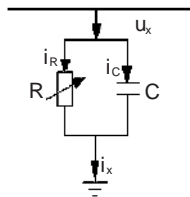


图 1 MOA 等效电路图

设电网电压: $u_x(t) = U_0 + \sum_{k=1}^N U_k \sin(k t + \varphi_k)$

容性电流: $i_C(t) = \sum_{k=1}^N I_{\alpha k} \sin(k t + \varphi_k + \pi/2)$

针对所加电压含有谐波时, 容性电流不能完全被补偿的问题, 文[4]提出了改进的容性电流补偿法, 容性电流基波分量的补偿原理如下:

$$\int_0^{2\pi} u_{\varphi 1}(i_{x1} - G_1 u_{\varphi 1}) d(\varphi) = 0$$

式中: $u_{\varphi 1}$ 为电压基波分量逆时针移相 90° ; i_{x1} 为全电流的基波分量; G_1 为基波补偿系数; $u_{\varphi 1}$ 和 i_{x1} 可以通过对 u_x 和 i_x 进行 DFT 求得。

由于 MOA 阀片的晶介电容可以认为近似不变, 所以谐波补偿系数 G_n 和阻性电流可以由式(1), 式(2)求得。

$$G_n = n G_1 \tag{1}$$

$$i_R = i_x - \sum_{n=1}^N G_n u_{\varphi n} \tag{2}$$

式中: $u_{\varphi n}$ 为电压第 n 次谐波逆时针移相 90° 阻性电流的基波和三次谐波分量可以通过对 i_R 进行 DFT 求得。

2 加汉宁窗插值的谐波分析法

从第 2 节可以看出该方法中需要对 u_x, i_x 和 i_R 多次使用 DFT, 其结果影响着阻性电流测量的准确性, 在同步采样时 DFT 所得结果具有非常高的精确度, 但在电力系统中完全的同步采样很难做到, 非同步采样时存在频谱泄漏和栅栏效应, 影响了改进容性电流补偿法计算所得阻性电流基波和三次谐波分量的准确性, 可以使用加汉宁窗插值[3]的谐波分析方法替代 DFT 以减轻非同步采样给阻性电流测量造成的误差。汉宁窗函数在时域的表达式为:

$$w(n) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos\left(\frac{2}{N}n\right), n=0, 1, \dots, N-1$$

设采样所得信号分辨率为 f , 信号基波或谐波频率为 f , 有: $f = (k + \delta) f$ 。式中: k 为整数; δ 为小数。当使用加汉宁窗插值时, 有: $k =$

$$\begin{cases} \frac{2|X_w(k+1)| - |X_w(k)|}{|X_w(k+1)| + |X_w(k)|}, & \text{当 } |X_w(k+1)| > |X_w(k-1)| \\ \frac{|X_w(k)| - 2|X_w(k-1)|}{|X_w(k)| + |X_w(k-1)|}, & \text{当 } |X_w(k+1)| < |X_w(k-1)| \end{cases}$$

式中: $X_w(k)$ 为加窗后信号 DFT 结果。

幅值校正公式:

$$A_k = A_k 2^{-k(1-k^2)/\sin(k)}$$

式中: A_k 和 A_k 分别为校正前后谐波的复振幅。

相角校正公式:

$$\varphi_k = \varphi_k - k(1-1/N)$$

式中: φ_k 和 φ_k 分别为校正前后的相角。

3 电压和电流信号取样方式

MOA 电压和泄漏电流获得的准确性决定了阻性电流计算的准确性, 它们的准确获得是分析阻性电流的基础。

电压信号可以通过 PT 的二次侧获得, 由于 PT 存在相角差影响阻性电流的计算, 可以根据 PT 的相角差对所得电压信号进行校正。因为 MOA 阻性电流的计算与电压幅值无关, PT 的比值差就不必校正。

对于 MOA 泄漏电流, 目前常用的有两种获得方式: ①从漏电计数器两端取得电压信号后除以计数器的电阻值即得泄漏电流信号; ②利用小电流传感器获得泄漏电流信号。由于漏电计数器的阻值与温度、湿度、负荷等因素有关, 方法①将其作为常数将导致误差。方法②中小电流传感器较精密, 但易受环境因素的干扰。对于其较敏感的问题, 可以使用改进的零磁通传感器, 即 WLD-2 型穿心式微电流传感器[5]。其线性度高、稳定度好, 比差不大于 0.05%, 角差不大于 $3'$, 完全能满足 MOA 泄漏电流测量的要求, 且利用穿心式电流传感器具有不改变系统一次侧接线的优点。

4 仿真结果及分析

为了验证改进算法的效果, 当频率在电力系统允许的 49.5 ~ 50.5Hz 范围内波动时, 用原算法和改进算法对同一 MOA 阀片模型所得信号计算阻性电流的基波和三次谐波分量, 本文采用文[4]的 MOA 阀片模型, 即:

$$i_R = \tan(u) / k$$

式中: k 取 40; 电压和电流的单位分别为 kV 和 mA。

晶介电容取 600 pF, 采样频率为 1 kHz, 采样点数为 1000, 量化位数为 12 位, 仅考虑 3 次谐波电压。为了更全面反映算法性能, 初始相角在 $0 \sim 2$ 内均匀取 100 个点, 用所得误差绝对值的均值衡量计算效果。在三次谐波分量为基波分量的 0%、3% 和

5%时仿真出 MOA 阀片的电压和电流信号,改进前后算法计算所得阻性电流的基波和三次谐波的误差分别见表 1~表 3。

表 1 两种方法在不存在谐波但频率变化时计算所得阻性电流的误差

频率/ Hz	改进容性电流补偿法		基于加汉宁窗插值的方法	
	阻性电流基波误差 /%	阻性电流三次谐波误差 /%	阻性电流基波误差 /%	阻性电流三次谐波误差 /%
49.5	36.3	54.7	0.02	1.07
49.6	24.3	58.5	0.02	1.07
49.7	14.2	64.8	0.02	1.07
49.8	6.45	45.8	0.02	1.07
49.9	1.64	13.9	0.02	1.07
50.0	0.04	1.07	0.04	1.07
50.1	1.64	14.5	0.02	1.08
50.2	6.45	45.8	0.02	1.07
50.3	14.2	64.8	0.02	1.07
50.4	24.3	56.9	0.02	1.07

表 2 两种方法在三次谐波与基波比值为 3%且频率变化时计算所得阻性电流的误差

频率/ Hz	改进容性电流补偿法		基于加汉宁窗插值的方法	
	阻性电流基波误差 /%	阻性电流三次谐波误差 /%	阻性电流基波误差 /%	阻性电流三次谐波误差 /%
49.5	36.3	36.0	0.00	0.24
49.6	24.3	37.0	0.01	0.26
49.7	14.2	45.4	0.01	0.18
49.8	6.45	39.8	0.01	0.18
49.9	1.64	16.9	0.01	0.16
50.0	0.02	0.35	0.02	0.35
50.1	1.64	17.6	0.01	0.18
50.2	6.45	41.1	0.01	0.17
50.3	14.2	45.0	0.00	0.19
50.4	24.3	35.0	0.01	0.38
50.5	36.3	33.8	0.01	0.61

从表 1~表 3 可以看出,当同步采样时原改进容性电流补偿法精确度较高。非同步采样时,无论是谐波存在还是谐波不存在的情况下,原改进容性电流补偿法的误差随着频率偏移的增加而增大,三次谐波分量的误差比基波分量的更大。到 49.5 Hz 和 50.5 Hz 时基波分量相对误差绝对值的均值接近 40%,三次谐波分量相对误差绝对值的均值为 50%左右,如果根据基于 DFT 的改进容性电流补偿法计算所得阻性电流的基波和三次谐波分量判断 MOA 是否受潮和老化,则很容易产生误判。基于加汉宁窗插值的改进容性电流补偿法计算所得阻性电流的基

表 3 两种方法在三次谐波与基波比值为 5%且频率变化时计算所得阻性电流的误差

频率/ Hz	改进容性电流补偿法		基于加汉宁窗插值的方法	
	阻性电流基波误差 /%	阻性电流三次谐波误差 /%	阻性电流基波误差 /%	阻性电流三次谐波误差 /%
49.5	36.3	45.6	0.01	2.56
49.6	24.3	43.2	0.02	2.22
49.7	14.2	36.4	0.02	1.66
49.8	6.45	36.0	0.02	1.62
49.9	1.64	22.8	0.03	1.57
50.0	0.07	6.41	0.07	6.41
50.1	1.64	25.0	0.03	1.70
50.2	6.45	39.6	0.04	1.54
50.3	14.2	39.3	0.02	1.65
50.4	24.3	44.9	0.01	3.94
50.5	36.3	47.3	0.02	2.88

波和三次谐波都比原改进容性电流补偿法精确度高,非同步采样导致的误差明显减少,即使在电压三次谐波达到基波分量的 5%时,阻性电流三次谐波相对误差绝对值的均值仍然小于 6.5%,基波误差更小。非同步采样给阻性电流测量造成的误差已经大大减少,显示了提出的基于加汉宁窗插值的改进容性电流补偿法优异的性能。

5 结语

由于电力系统频率的时变性,非同步采样很难避免,在非同步采样时将改进容性电流补偿法用于 MOA 阻性电流的基波和三次谐波的测量时存在误差。本文提出了基于加汉宁窗插值的改进容性电流补偿法,该算法通过加汉宁窗和插值有效减轻了非同步采样的频谱泄漏和栅栏效应所导致的误差,计算所得阻性电流的基波和三次谐波分量具有较高的精确度,提高了利用阻性电流基波和三次谐波判断 MOA 故障状况的准确性。

参考文献:

- [1] 严璋. 电气绝缘在线检测技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
- [2] 王文利, 李燕青, 律方成. 金属氧化物避雷器在线检测的改进容性电流补偿法[J]. 高压电器, 2005, 41(3): 192-194.
- [3] 谢明, 丁康. 频谱分析的校正方法[J]. 振动工程学报, 1994, 7(2): 172-179.
- [4] 王雪, 莫娟, 张冠军, 等. MOA 新在线检测系统及其仿真[J]. 高电压技术, 2003, 29(7): 37-39.
- [5] 张柯. 氧化锌避雷器阻性电流在线监测技术的研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2003.