

Calculation Method of MOA Resistive Fundamental Current Growth Rate Based on Synthetic Vector

Chen Wang¹, Guangyu Zhou¹, He Gao¹, Xulin Zheng¹, Hairong Wei², Sikun Heng¹, Liwei Zhu¹

¹Jiangsu Lianyungang Power Supply Company, Lianyungang Jiangsu

²Nanjing Daonaneng Technology Co. Ltd., Nanjing Jiangsu

Email: lyghsk2002@163.com

Received: Sep. 5th, 2018; accepted: Sep. 18th, 2018; published: Sep. 25th, 2018

Abstract

According to the truth that the resistive leaking current is too small and difficult to measure in the traditional attester detection method, this paper proposes a method to calculate the MOA resistive leaking current growth rate based on the synthetic vector. The method is based on a three-phase arrester model arranged in a font. The utilization of synthetic vector approach can eliminate the effect of interphase coupling capacitance on the total leakage current. Meanwhile, we can obtain the change of single-phase resistive leakage current amplitude indirectly by the change of the synthetic vector which greatly improves the measurement accuracy of resistive leakage current. Simulation and experimental results show that this algorithm can effectively calculate the growth of resistive leakage current of MOA and can truly reflect the operating status of arrester.

Keywords

MOA, Synthetic Vector, Phase Coupling Capacitors, Resistive Leakage Current, Phase Angle Changes

基于合成矢量的MOA故障判断方法

王琛¹, 周光宇¹, 高赫¹, 郑许林¹, 韦海荣², 衡思坤¹, 朱立位¹

¹国网江苏省电力公司连云港供电公司, 江苏 连云港

²南京导纳能科技有限公司, 江苏 南京

Email: lyghsk2002@163.com

收稿日期: 2018年9月5日; 录用日期: 2018年9月18日; 发布日期: 2018年9月25日

文章引用: 王琛, 周光宇, 高赫, 郑许林, 韦海荣, 衡思坤, 朱立位. 基于合成矢量的MOA故障判断方法[J]. 电气工程, 2018, 6(3): 264-269. DOI: 10.12677/jee.2018.63031

摘要

针对传统避雷器检测方法中阻性电流幅值太小不易测量的问题,本文提出了一种基于合成矢量的MOA阻性基波电流增长率的计算方法。该方法基于“一”字排列的三相避雷器模型,利用合成矢量的方法消除相间耦合电容对泄漏总电流的影响,同时,通过合成矢量相角的变化来间接获得单相阻性泄漏电流幅值的变化,极大的提高了阻性基波电流增长的测量精度。仿真分析和实验结果表明,该算法不仅能有效计算MOA阻性基波电流的增长情况,而且可真实反映避雷器的运行状态。

关键词

MOA, 合成矢量, 相间耦合电容, 阻性泄漏电流, 相角变化

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

金属氧化物避雷器(Metal Oxide Surge Arrester, 简记为 MOA)以其优异的非线性特性和大通流容量等优点,成为电力系统过电压保护的主要设备[1],能有效抑制电力系统中的操作过电压和大气过电压。在运行电压下,MOA 泄漏电流的阻性基波分量表征避雷器的功耗大小,其数值大小不受规程规定范围内的谐波电压影响[2],是判别 MOA 运行状态的重要特征参量[3]。目前测量避雷器阻性电流的方法有:基波法、谐波分析法及电容电流补偿法等[4],这些方法都不可避免会受到相间耦合电容的影响。此外,现有文献在消除相间干扰时,都需要测量电网电压[5][6],电压信号相位不稳定会对相间干扰的消除产生不利影响[7]。

考虑到阻性基波分量在泄漏电流中的含量较低,其数值变化对泄漏电流的数值影响很小,但对泄漏电流角度的影响很大,基于高压输电网电压幅值及相位基本不变的情况,本文利用矢量合成的原理,将三相泄漏总电流进行矢量合成,能有效去除相间耦合电容的影响;并通过合成矢量的相角变化,间接反映出单相阻性电流的增长率。

2. 数学模型

电力系统中三相避雷器一般按“一”字排列,由于 A、C 两相相隔较远,可忽略它们之间的相间耦合电容的影响[8],只考虑 A、B 和 B、C 之间的相间耦合电容,三相避雷器工作时的等效电路如图 1 所示。

其中 C_a 、 C_b 、 C_c 分别是 A、B、C 三相避雷器阀片等效电容, R_a 、 R_b 、 R_c 分别是 A、B、C 三相避雷器阀片等效非线性电阻, C_0 是相间等效电容。

根据交流电的旋转矢量定义,由图 1 中电流间关系能得到式(1)如下:

$$\begin{cases} \dot{I}'_a = \dot{I}_a + \dot{I}_{bac} \\ \dot{I}'_b = \dot{I}_b + \dot{I}_{ab} + \dot{I}_{cb} = \dot{I}_b - \dot{I}_{bac} \\ \dot{I}'_c = \dot{I}_c + \dot{I}_{bac} \end{cases} \quad (1)$$

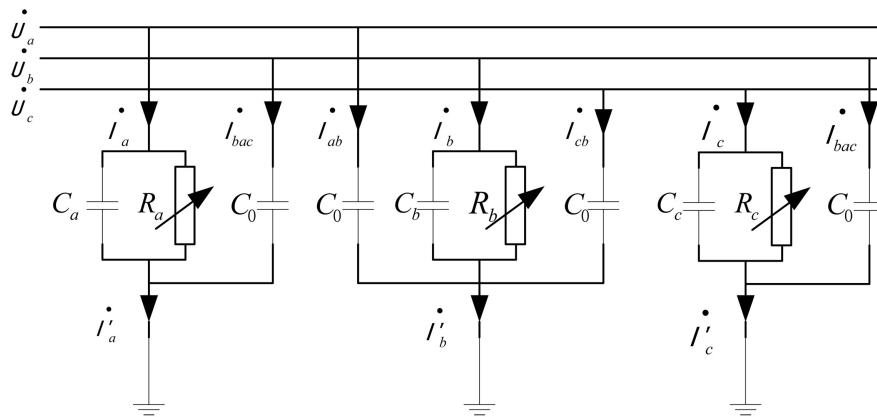


Figure 1. Equivalent circuit of three-phase MOA
图 1. 三相 MOA 等效电路

式中 \dot{U}_a 、 \dot{U}_b 、 \dot{U}_c 分别是电网三相电压基波矢量， \dot{i}_a 、 \dot{i}_b 、 \dot{i}_c 是 A、B、C 三相避雷器阀片基波电流矢量， \dot{i}'_a 、 \dot{i}'_b 、 \dot{i}'_c 是 A、B、C 三相避雷器底部电流矢量， \dot{i}_{ab} 、 \dot{i}'_{ab} 分别是 \dot{U}_a 、 \dot{U}_c 通过耦合电容作用到 B 相的电流矢量， \dot{i}_{bac} 是 \dot{U}_b 通过耦合电容作用到 A、C 相上的电流矢量。

根据式(1)，能得到如图 2 所示的三相 MOA 泄漏电流基波矢量图。

从图 2 中可以看出，在幅值方面，三相的泄漏电流幅值所受的影响都不大；而在相角方面，B 相电流相位基本不变，A、C 相电流受耦合电容电流影响，相位变化较大。

3. 阻性基波电流对总泄漏电流基波幅值和相位的影响

设流过该相阀片的电流矢量与其参考电压矢量之间夹角为 θ ，电流矢量的幅值为 I_m ，那么其阻性电流 \dot{i}_r 的幅值则为 $I_m \cos(\theta)$ ，容性电流 \dot{i}_c 的幅值为 $I_m \sin(\theta)$ 。当阻性电流增幅为 $k\%$ 时，流过该阀片的泄漏电流为 $\sqrt{((1+k\%)I_r)^2 + I_c^2}$ ，流过该相阀片的电流矢量与该相的参考电压矢量之间的夹角变为 $\arctan\left(\frac{I_c}{(1+k\%)I_r}\right)$ 。由于阻性基波电流在总泄露电流中的占比一般为 10%~20%，其增长变化对总泄露电流角度的影响远远大于对总泄露电路幅值的影响。

以典型 MOA 参数为例，假设泄漏电流基波有效值为 0.4 mA，电流基波与电压基波夹角为 85°，表 1 所示为阻性基波电流从增大 10% 到增大 100% 后，总泄露电流相角与幅值的变化率。

从表 1 可得，当阻性电流增大 100%，总泄露电流的幅值增加 0.0045 mA，变化率为 1.13%，而泄漏电流的相角减小 5°，其变化率为 5.88%。不论从绝对精度还是相对变化率上，都可以发现，能更容易从相角变化来判断阻性基波电流的变化。

4. 耦合电容对总泄漏电流幅值和相角的影响

耦合电容对泄露电流的幅值和角度都有影响，尤其是对角度的影响，严重干扰阻性基波电流的测量。以上述典型 MOA 参数为例，泄漏电流基波有效值为 0.4 mA，阻性电流基波与电压基波夹角为 85°，表 2 所示为 \dot{i}_{bac} 的有效值从 0.01 mA 到 0.08 mA 后，耦合电容对总泄漏电流幅值和相角的变化率。

表中 ΔA 、 ΔB 和 ΔC 分别为 A、B、C 三相 MOA 在不同耦合电流影响下，三相泄漏总电流的相角影响。

从表 2 中我们可以看出，耦合电容对泄漏总电流相角影响远大于对其幅值的影响，那么去除耦合电容就显得尤为重要。

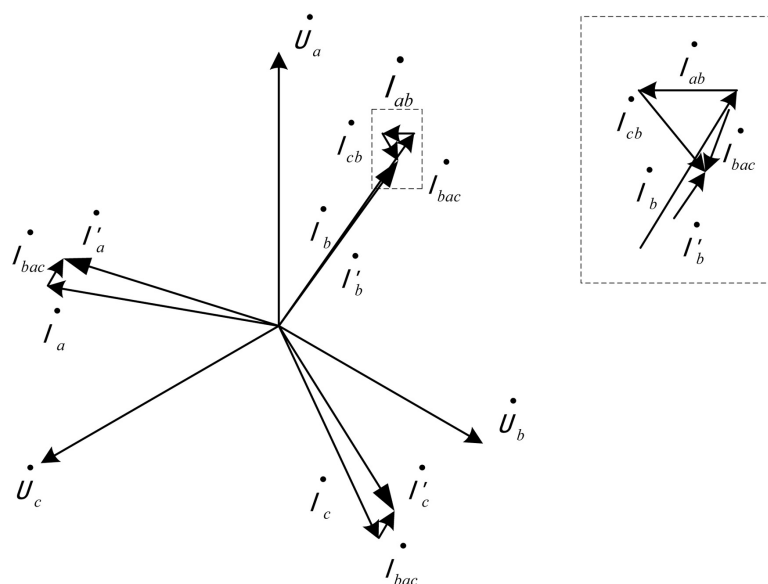


Figure 2. Three-phase MOA leakage current fundamental vector illustration
图 2. 三相 MOA 泄露电流基波矢量图

Table 1. Resistive current increases by 100%, the magnitude of the leakage current and the rate of change of phase angle
表 1. 阻性电流增大 100%，泄露电流的幅值和相角的变化率

| 容性电流/mA | 阻性电流/mA | 全电流/mA | 全电流增长率/% | 角度/° | 角度变化率/% |
|---------|---------|--------|----------|--------|---------|
| 0.398 | 0.035 | 0.400 | 0.000 | 85.000 | 0% |
| 0.398 | 0.038 | 0.400 | 0.080 | 84.503 | 0.585 |
| 0.398 | 0.042 | 0.401 | 0.167 | 84.007 | 1.169 |
| 0.398 | 0.045 | 0.401 | 0.262 | 83.511 | 1.751 |
| 0.398 | 0.049 | 0.401 | 0.364 | 83.017 | 2.333 |
| 0.398 | 0.052 | 0.402 | 0.474 | 82.524 | 2.913 |
| 0.398 | 0.056 | 0.402 | 0.591 | 82.031 | 3.492 |
| 0.398 | 0.059 | 0.403 | 0.715 | 81.540 | 4.070 |
| 0.398 | 0.063 | 0.403 | 0.847 | 81.051 | 4.646 |
| 0.398 | 0.066 | 0.404 | 0.986 | 80.562 | 5.221 |
| 0.398 | 0.070 | 0.405 | 1.133 | 80.075 | 5.794 |

5. 合成矢量

根据式(1)，构造如下合成矢量：

$$\begin{cases} \dot{I}_{a-c} = \dot{I}'_a - \dot{I}'_c = \dot{I}_a + \dot{I}_{bac} - (\dot{I}_c + \dot{I}_{bac}) = \dot{I}_a - \dot{I}_c \\ \dot{I}_{a+b} = \dot{I}'_a + \dot{I}'_b = \dot{I}_a + \dot{I}_{bac} + \dot{I}_b - \dot{I}_{bac} = \dot{I}_a + \dot{I}_b \\ \dot{I}_{c+b} = \dot{I}'_c + \dot{I}'_b = \dot{I}_c + \dot{I}_{bac} + \dot{I}_b - \dot{I}_{bac} = \dot{I}_c + \dot{I}_b \end{cases} \quad (2)$$

式中 \dot{I}_a 、 \dot{I}_b 、 \dot{I}_c 是三相阀片基波电流，但又无法直接测量到； \dot{I}'_a 、 \dot{I}'_b 、 \dot{I}'_c 是三相避雷器底部电流，可直接测量到，但受耦合电容影响； \dot{I}_{a-c} 、 \dot{I}_{a+b} 、 \dot{I}_{c+b} 是直接测量，且只包含阀片基波电流，不受耦合电容电流的影响。

根据式(2),得到如图3所示的三相泄漏电流基波合成矢量图。定义其中 i_{a-c} 超前 i_{a+b} 的角度为 α , i_{a+b} 超前 i_{c+b} 的角度为 β , i_{a-c} 超前 i_{c+b} 的角度为 γ 。下面就分析一相 MOA 阻性基波电流变化导致 α 、 β 、 γ 的变化情况。

以上述典型 MOA 参数为例,泄漏电流基波有效值为 0.4 mA,阻性电流基波与电压基波夹角为 85° 。表3所示为各相阻性电流分别增加 100%后,合成矢量角度变化量。

Table 2. Coupling capacitance of the total leakage current amplitude and phase angle of the rate of change
表 2. 耦合电容对总泄漏电流幅值和相角的变化率

| i_{bac} 有效/mA | i'_a 幅度变化/mA | $\Delta A/^\circ$ | i'_b 的幅度变化/mA | $\Delta B/^\circ$ | i'_c 的幅值变化/mA | $\Delta C/^\circ$ |
|-----------------|----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| 0.010 | -0.004 | -1.312 | -0.010 | -0.128 | -0.006 | 1.190 |
| 0.020 | -0.008 | -2.651 | -0.020 | -0.263 | -0.011 | 2.415 |
| 0.030 | -0.012 | -4.015 | -0.030 | -0.405 | -0.016 | 3.673 |
| 0.040 | -0.015 | -5.406 | -0.040 | -0.555 | -0.022 | 4.967 |
| 0.050 | -0.018 | -6.821 | -0.050 | -0.713 | -0.026 | 6.294 |
| 0.060 | -0.021 | -8.259 | -0.060 | -0.881 | -0.031 | 7.657 |
| 0.070 | -0.024 | -9.719 | -0.070 | -1.058 | -0.036 | 9.054 |
| 0.080 | -0.027 | -11.200 | -0.080 | -1.247 | -0.040 | 10.485 |

Table 3. The increase in resistive current leads to a table of composite vector angle changes

表 3. 阻性电流增加导致合成矢量角度变化表

| | $\Delta\alpha /^\circ$ | $\Delta\beta /^\circ$ | $\Delta\gamma /^\circ$ |
|----------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| A 相阻性电流增加 100% | -0.339 | -1.955 | -2.294 |
| B 相阻性电流增加 100% | 3.008 | -1.016 | 1.992 |
| C 相阻性电流增加 100% | -2.669 | 3.087 | 0.419 |

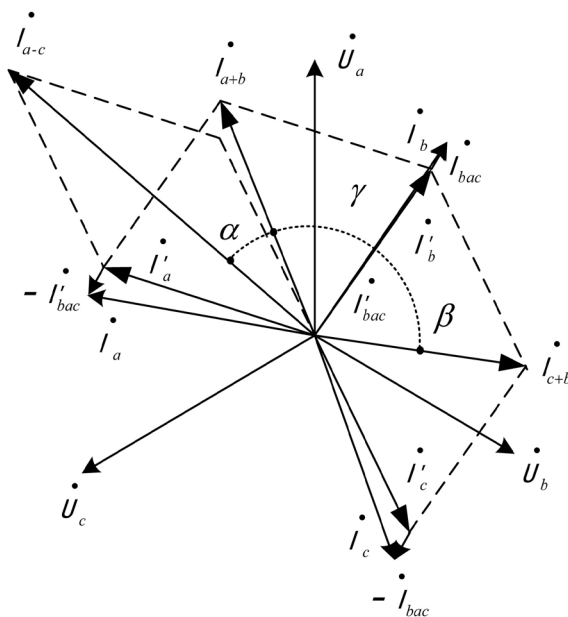


Figure 3. Three-phase leakage current fundamental synthesis vector illustration

图 3. 三相泄漏电流基波合成矢量图

其中 $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\beta$ 和 $\Delta\gamma$ 分别为利用合成矢量定义的夹角变化量。

在实际应用当中, 我们根据 α 、 β 和 γ 变化趋势来确定发生故障的避雷器, 即当 α 、 β 和 γ 都变小时, A 相避雷器发生故障, 当 α 和 γ 变大, β 变小时, B 相避雷器发生故障, 当 α 变小, β 和 γ 变大时, C 相避雷器发生故障。

6. 结论

本文采用矢量合成的方法去除了相间耦合电容对总泄漏电流的影响, 并通过利用合成矢量定义的角度变化间接反映了阻性基波电流变化。在高压输电系统中, 一般电压的幅值和相位变化很小, 采用上述方法省去了电压信号的采集。该算法不仅简单, 而且降低了硬件的绝对精度, 易于结合嵌入式系统用于电力设备的在线监测, 具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 贾逸梅, 粟福珩. 在线监测氧化锌避雷器泄漏电流的方法[J]. 高电压技术, 1991(3): 30-35.
- [2] 丁国成. 金属氧化物避雷器在线监测的基础研究[D]: [硕士学位论文]. 保定: 华北电力大学(保定), 2005.
- [3] 王永强, 律方成, 张柯, 等. 考虑电网谐波影响的 MOA 在线检测方法[J]. 高电压技术, 2003, 29(9): 24-25.
- [4] 陈文涛, 王建, 周利兵, 等. 基于三次谐波电流的金属氧化物避雷器诊断分析[J]. 新疆电力技术, 2017(1): 1-6.
- [5] 衡思坤. 基于光纤网络分布式避雷器在线监测系统研制[R]. 连云港: 连云港供电公司, 2011.
- [6] 李凌燕, 杜志叶, 阮江军, 等. 基于数值仿真计算的 220kV 线路避雷器相间干扰研究[J]. 高压电器, 2017, 53(2): 26-31.
- [7] 汤宗亮, 衡思坤. 分布式避雷器在线监测系统中阻性泄漏电流的数字采样和计算方法[J]. 水电能源科学, 2013, 31(1): 197-199.
- [8] 朱宝森, 宋璠, 魏新劳. 基于电压过零点电流幅值分析的 MOA 阻性电流提取方法[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(16): 165-172.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2333-5394, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jee@hanspub.org