

氧化锌避雷器在线监测方法的研究

张振洪¹, 臧殿红²

(1. 山东科技大学, 山东 泰安 271019; 2. 中国石油大学(华东)信息与控制工程学院, 山东 东营 257061)

摘要: 基波电压产生的基波阻性电流 i_r 和三次阻性电流 i_{3r} 可以反应 MOA 的运行状况。改进的容性电流补偿法可有效去除全电流中的容性电流, 但全电流中仍存在谐波电压产生的阻性电流, 影响了 i_r 和 i_{3r} 的提取精度, 特别是 i_{3r} 的误差较大。为解决此问题, 在改进补偿法的基础上, 提出了改进容性电流补偿法的修正方法, 借助于一等效的线性电阻补偿了部分谐波电压产生的阻性电流, 从而减小了谐波电压引起的误差, 提高了 i_{3r} 的提取精度。仿真分析表明, 修正后 i_{3r} 的误差减小了一半, 验证了此修正方法的有效性, 也提高了根据 i_r 和 i_{3r} 判断 MOA 故障方法的准确性。

关键词: 氧化锌避雷器; 阻性电流; 改进的容性电流补偿法; 修正方法

中图分类号: TM835

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)05-0126-04

Study on the On-line Monitoring Method of Metal Oxide Surge Arrester

ZHANG Zhen-hong¹, ZANG Dian-hong²

(1. Shandong University of Science and Technology, Taian 271019, China; 2. College of Information and Control Engineering, China University of Petroleum (Hua-dong), Dongying 257061, China)

Abstract: The basic harmonic resistive current i_r and the third resistive current i_{3r} generated by the basic voltage can reflect the MOA's operation state. The capacitive current in the full current can be effectively removed through the improved capacitive current compensation method, but the resistive current generated by the harmonic voltage still exists in the full current. So the extraction accuracy of i_r and i_{3r} is influenced, especially for the larger error of i_{3r} . In order to resolve this problem, the modified method of the improved capacitive current compensation method is proposed in this paper. The resistive current generated by the harmonic voltage is partially compensated by the use of one equivalent linear resistor, which can reduce the error generated by the harmonic voltage and improve the extraction accuracy of i_{3r} . The simulation analysis result shows that the error of i_{3r} is reduced by half through the modified method and the effectiveness of the proposal algorithm is verified. Therefore, the accuracy of MOA fault diagnosis based on i_r and i_{3r} is improved.

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

0 引言

氧化锌避雷器(简称 MOA)因其具有非线性特性好、通流能力大、无串联间隙、体积小、重量轻等优良特性而逐步取代了传统的 SiC 避雷器^[1], 广泛应用于 3~500 kV 的电网中, 成为重要的过电压保护设备。MOA 在运行中由于长期承受运行电压、各类过电压以及外界环境因素的影响会逐渐老化或劣化。一旦 MOA 发生故障, 避雷器本身将造成损坏甚至是爆炸, 同时其他电气设备将失去过电压保护, 直接影响电力系统的安全运行。

MOA 在运行过程中, 阀片老化和受潮是引起避雷器事故的两个主要原因^[2], 这两个原因有着本质的区别, 受潮的阀片经过适当的处理还可以继续使用, 但一旦确认阀片已经严重老化则必须退出电力系统运行, 所以应正确区分这两种劣化原因。试验表明^[3]: 当 MOA 内部受潮时, 表现为在系统运行电压下, 阻性电流的基波分量 i_r 显著增大, 而三次谐波分量 i_{3r} 的增大相对较小; 当阻性泄漏电流的三次谐波分量比基次分量增加较多时, 说明避雷器已老化。因此, 选用 i_r 和 i_{3r} 作为避雷器在线监测的特征量。

目前对 MOA 阻性电流的提取算法研究较多的是改进的容性电流补偿法, 此方法可有效去除电网

收稿日期: 2009-03-05; 修回日期: 2009-07-03

作者简介: 张振洪(1964), 男, 硕士, 研究方向: 电气设备故障诊断与处理, 嵌入式系统, 计算机信息系统。

中的谐波电压引起的容性电流,但谐波电压引起的阻性电流没有去除,测量结果仍然存在较大的误差,特别是阻性电流的三次谐波分量误差较大。针对这一问题,提出了改进容性电流补偿法的修正方法,补偿谐波电压引起的阻性电流,减小三次谐波阻性电流的误差,仿真分析也验证了这一点。

1 MOA 的泄漏电流

工程中,在小电流区的 MOA 等效电路见图1^[4]。

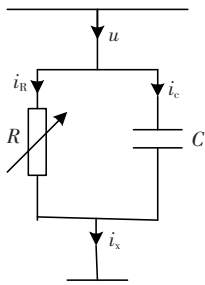


图1 MOA 等效电路图

图1中 R 为 MOA 的晶界电阻,为非线性电阻; C 为晶界电容,近似为一定值; i_R 为阻性电流; i_c 为容性电流; i_x 为全电流; u 为 MOA 的运行电压。

由图1可得 i_x 为

$$i_x = i_R + i_c \quad (1)$$

设电网电压为

$$u = U_1 \sin(\omega_1 t) + \sum U_n \sin(\omega_n t + \varphi_n) \quad n=3, 5, 7 \quad (2)$$

$$i_c = i_{c1} + \sum i_{cn} \quad (3)$$

i_{c1} 为容性基波电流, i_{cn} 为容性谐波电流,分别由基波电压和谐波电压作用在晶界电容 C 上产生。

由于阻性电流的五次及以上谐波分量幅值较小,在此忽略,因此 i_R 、 i_r 、 i_{3r} 分别为

$$i_R \approx i_r + i_{3r} \quad (4)$$

$$i_r = i_r' + i_r'' \quad (5)$$

$$i_{3r} = i_{3r}' + i_{3r}'' \quad (6)$$

i_r' 和 i_{3r}' 为基波电压作用在非线性电阻 R 上产生的; i_r'' 和 i_{3r}'' 为谐波电压作用在非线性电阻 R 上产生的; i_r' 和 i_{3r}' 是判断 MOA 运行状况的依据,从总泄漏电流中尽量准确地提取 i_r' 和 i_{3r}' ,是在线监测数据处理方法的关键。

2 改进的容性电流补偿法

容性电流补偿法就是将全电流中的容性电流补偿掉,以得到阻性电流的方法^[5]。原理可表示为

$$\int_0^{2\pi} u_{sf} (i_x - G_1 u_{sf}) d(\omega t) = 0 \quad (7)$$

u_{sf} 是 MOA 外加电压 $u(t)$ 逆时针移相 90° 所得,即与容性电流 i_c 同相位。利用(7)式可求得补偿系数 G_1 ,阻性电流分量 i_R 为

$$i_R = i_x - G_1 u_{sf} \quad (8)$$

当外加电压含有谐波成分时,利用容性电流补偿法将不能去除容性谐波电流,改进的容性电流补偿法^[6]可准确去除基波及各次谐波容性电流,这样就可以避免因容性谐波电流的混入而造成对阻性电流的测量误差。其原理为:对外加电压和全电流进行 FFT 变换,找出各次电压和全电流谐波的幅值和初相位,得到 $u_n(t)$, $i_{xn}(t)$,然后将(7)式改为(9)式,得

$$\int_0^{2\pi} u_{sf1} (i_{x1} - G_1 u_{sf1}) d(\omega t) = 0 \quad (9)$$

式(9)中, G_1 为基波补偿系数; i_{x1} 为全电流基波分量; u_{sf1} 为基波电压逆时针移相 90° 。利用(9)式可求出基波补偿系数 G_1 ,由于 MOA 阀片的晶界电容可认为近似不变,谐波补偿系数 $G_n = nG_1$,阻性电流 i_R 为

$$i_R = i_x - \sum_n G_n u_{sf_n} \quad n=1, 3, 5 \quad (10)$$

式(10)中, u_{sf_n} 为第 n 次谐波电压 $u_n(t)$ 逆时针移相 90° 。这样就可以把基波和谐波容性电流分量去除,消除因容性谐波电流混入阻性电流而造成的测量误差。得到阻性分量 i_R 后,对其进行 FFT 变换即可得到 i_r 、 i_{3r} 。

3 改进的容性电流补偿法的修正方法

在小电流区域,基波电压与其作用在非线性电阻上产生的基波电流同相位,且基波电流占总阻性电流的 90% 以上^[7,8],非线性电阻的这部分作用等效为一线性电阻 R_1 ,基波电压产生的三次阻性电流占基波电流的 10%~20%,其他五次及高次奇波分量所占比例更少,将非线性电阻的这部分作用等效为一非线性电阻 R_2 ,也就是将 MOA 的非线性电阻 R 等效为一线性电阻 R_1 和另一非线性电阻 R_2 相并联的模型,电网中谐波电压的含量相对基波电压来讲是很小的,由谐波电压产生的基波阻性电流也是很小的,在求线性电阻 R_1 时,近似认为基波阻性电流 i_r 由基波电压 u_1 产生,基波电流相量图见图 2。

基波阻性电流 i_r 为

$$i_r = i_{x1} \cos \varphi = u_1 / R_1 \quad (11)$$

R_1 为等效的线性电阻

$$R_1 = u_1 / (i_{x1} \cos \varphi) \quad (12)$$

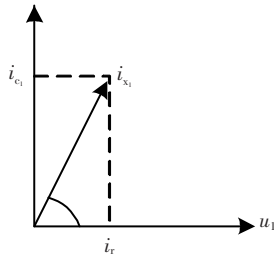


图2 基波电流相量图

基波容性电流为

$$i_{c1} = i_{x1} \sin \varphi = u_1 G_1 \quad (13)$$

G_1 为容性导纳, 即基波容性电流补偿系数, 与(9)式的计算结果是相同的, 即为

$$G_1 = \frac{i_{x1}}{u_1} \sin \varphi \quad (14)$$

改进的容性电流补偿法已去除了由基波谐波电压引起的容性电流, 此修正方法补偿了谐波电压在等效线性电阻上产生的阻性电流, 表示为

$$i_R = i_x - G_1 u_{sf1} - \sum_n G_n u_{sf_n} - \sum_n u_n / R_1 \quad n=3, 5, 7 \quad (15)$$

式(15)中, u_n 为 n 次谐波电压 $u_n(t)$, 其他参数和(10)式中的意义是相同的。得到阻性分量 i_R 后, 对其进行 FFT 变换可得 i_r, i_{3r} 。

4 仿真结果及分析

为了验证该方法的有效性, 用修正前后改进的

容性电流补偿法对 MOA 阀片模型进行仿真分析, 计算阻性电流的基波 i_r 和三次谐波分量 i_{3r} 。

采用文[9]的 MOA 阀片模型, 即

$$i_R = \tan(u) / k \quad (16)$$

式(16)中, k 取 40, 电压和电流的单位分别为 kV 和 mA。MOA 的 $u-i_R$ 特性见图 3, 实线代表未老化, 虚线代表老化以后的 $u-i_R$ 特性。

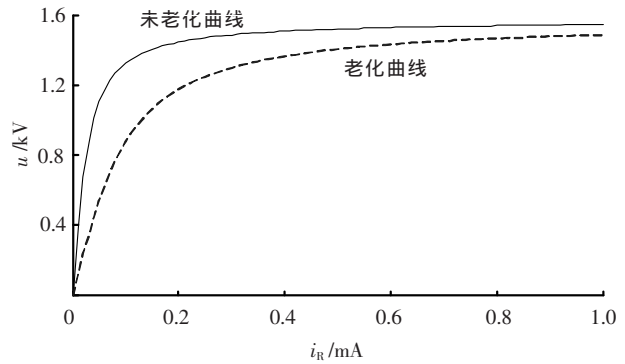


图3 MOA 的 $u-i_R$ 特性曲线

MOA 的晶界电容取 600 pF, 运行电压 $u=1.2\sin(100\pi t)$ kV, 采样频率为 6 400 Hz, 采样 1 024 个点, 由于电网中五次及以上谐波分量的幅值较小, 这里只分析三次谐波电压的情况。在三次谐波分量幅值分别为基波分量的 0.3% 和 5%, 相位在 $0 \sim 180^\circ$ 之间变化时, 用修正前后的改进容性电流补偿法计算的阻性基波电流和三次谐波阻性电流的值见表 1、2。

表 1 $U_3=3\%U_1$, 不同初相位时改进补偿法修正前后的阻性电流值

三次谐波幅值	初相位/ $^\circ$	改进补偿法/ μA		修正后的改进补偿法/ μA	
		基波阻性电流 i_r	三次阻性电流 i_{3r}	基波阻性电流 i_r	三次阻性电流 i_{3r}
$U_3=3\%U_1$	-	51.7	9.9	51.7	9.9
	0	50.0	7.0	50.0	8.5
	30	50.3	7.6	50.4	8.8
	60	50.9	8.9	51.2	9.4
	90	51.8	10.4	52.1	10.2
	120	52.7	11.8	53.0	10.9
	150	53.4	12.8	53.4	11.3
	180	53.7	13.1	53.7	11.5

表 2 $U_3=5\%U_1$, 不同初相位时改进补偿法修正前后的阻性电流值

三次谐波幅值	初相位/ $^\circ$	改进补偿法/ μA		修正后的改进补偿法/ μA	
		基波阻性电流 i_r	三次阻性电流 i_{3r}	基波阻性电流 i_r	三次阻性电流 i_{3r}
$U_3=5\%U_1$	-	51.7	9.9	51.7	9.9
	0	49.1	5.2	49.1	7.7
	30	49.5	6.3	49.8	8.1
	60	50.6	8.7	51.0	9.3
	90	52.1	11.3	52.6	10.6
	120	53.6	13.5	54.1	11.7
	150	54.8	14.9	55.1	12.4
	180	55.3	15.4	55.3	12.7

在电力系统中,各次谐波成分并不是固定不变的,各次谐波的幅值和初相位是不确定的,国标规定电网中的谐波电压幅值必须控制在5%以内,但对各次谐波电压的初相位没有具体的规定^[10],由表1和表2可以看出,当三次谐波电压初相位在0~180°之间变化时,修正后的改进补偿法与修正前相比, i_r 的误差变化不大,而 i_{3r} 的误差减小了一半。比如,当 $U_3=5\%U_1$,初相位为180°时,修正前 i_r 的误差为6.96%, i_{3r} 的误差为55.56%,修正后 i_r 的误差为6.96%, i_{3r} 的误差为28.28%。由此可见,修正后的改进补偿法有效降低了三次谐波阻性电流的误差,主要原因是修正法补偿的是部分谐波电压引起的谐波阻性电流。因此,改进容性电流补偿法的修正方法具有明显的有效性。

5 结语

由于电网中的谐波分量并不是固定不变的,当其幅值和初相位发生变化时,用改进的容性电流补偿法计算出来的三次谐波阻性电流 i_{3r} 存在较大的误差,有可能引起错误的判断。提出的改进补偿法的修正方法将MOA的非线性电阻等效为一线性电阻 R_1 和非线性电阻 R_2 并联的模型,借助于 R_1 ,补偿了部分谐波电压产生的阻性电流,虽然在求 R_1 时存在

近似,并且谐波电压作用在 R_2 上的阻性电流没有去除,但计算出的三次谐波阻性电流的误差就减小了一半。因此,随着对MOA非线性电阻模型的不断改进, i_r 和 i_{3r} 的误差将会不断减小。

参考文献:

- [1] 赵智大. 高压技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [2] 陈继东, 周龙. MOV老化与受潮特性的实验研究[J]. 电瓷避雷器, 1999(6): 30-32.
- [3] 杨培功. ZnO避雷器发生故障的判断方法[J]. 山西电力, 2006(1): 61-62.
- [4] 王秉钧. 金属氧化物避雷器[M]. 北京: 水利水电出版社, 1992.
- [5] 汲胜昌, 杨兰均, 李彦明, 等. 在线监测氧化锌避雷器的容性电流补偿法[J]. 高压技术, 2000, 26(4): 16-18.
- [6] 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]. 高压技术, 2003, 29(9): 24-25.
- [7] 谢武超, 贾涛. 电网谐波对金属氧化物避雷器阻性电流影响的分析[J]. 广东电力, 2007, 20(4): 43-45.
- [8] ZHU Hanxin, RAGHUVVEER MR. Influence of Harmonics in System Voltage on Metal Oxide Surge Arrester Diagnostics[C]// Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Tokyo, 1999: 542-545.
- [9] 王雪, 莫娟, 张冠军, 等. MOA新在线检测系统及其仿真[J]. 高压技术, 2003, 29(7): 37-39.
- [10] 王文利, 李燕青, 律方成. 金属氧化物避雷器在线检测的改进补偿法研究[J]. 高压电器, 2005, 41(3): 192-194.

(上接第125页)

表2 实验数据

母线电流	滤波电压/V	输出电压+12/V	输出电压-12/V	输出电压5/V	输出电压数字5/V	供电部分
3.5	4.45	11.89	-11.97	5.000	5.002	锂电
4.5	4.62	11.90	-11.98	5.020	5.000	锂电
5.5	5.30	11.93	-11.95	4.862	4.978	母线
6.0	6.00	11.94	-11.94	4.878	4.976	母线
10	7.80	11.96	-11.98	4.878	4.978	母线
100	26.10	12.03	-12.02	5.020	4.976	母线
276	27.80	12.06	-12.07	5.030	4.981	母线
610	37.30	12.14	-12.11	5.062	4.979	母线
1120	40.12	12.19	-2.17	5.060	4.990	母线

很小或断电时死区的问题。实验结果证明了该方案的可行性,采用该方案设计的电源能够在母线断电情况下,为高压侧提供不小于540mW的额定功率,可以满足传感器电子电路的功耗要求。在线路为1120A时,供能电源也能正常工作,基本满足了设计要求。该方案可进一步用于OECT中,随着供电方案的不断完善,有源OECT最终会成为实用化产品。

参考文献:

- [1] 廖京生, 郭晓华, 朱明均, 等. 用于小电流测量的 Rogowski 线圈

电流互感器[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(2): 56-59.

- [2] 钱政. 有源电子式电流互感器中高压侧电路的供能方法[J]. 高压电器, 2004, 40(2): 135-138.
- [3] 李鹏. 光电电流互感器供能电路的研究[D]. 北京: 清华大学, 2003.
- [4] 李芙蓉, 朱小梅, 纪昆, 等. 一种应用于高压侧测量系统中的电源[J]. 高压技术, 2002, 28(3): 51, 52.
- [5] 王海明, 郑绳植. 锂离子电池在有源型光纤电流传感器中的应用[J]. 电工技术, 2004(3): 66, 67.
- [6] 王海明, 郑绳植, 刘兴顺. 锂离子电池的特点及应用[J]. 电气时代, 2004, (3): 132-134.