

电容电桥法测量金属氧化物避雷器的阻性电流分量

宫建立, 秦松林

(上海交通大学, 上海 200030)

Capacitance-bridge Method Used in Measuring the Resistive Leakage Currents of Metal-oxide Surge Arresters

GONG Jian-li, QIN Song-lin

(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

摘要: 介绍了一种新的金属氧化物避雷器(MOA)阻性电流分量的测量方法——电容电桥法,以电容电桥的电容器臂的电容电流作为补偿参考信号,来平衡、补偿 MOA 全泄漏电流中的容性电流成分,以得到流过 MOA 的阻性电流分量。实验结果表明,电容电桥的减法功能可以在很大程度上使 MOA 和泄漏电流上的谐波与电容器臂的电容电流上的谐波相抵消,且实现简单、易行,可以在实验室将波形显示在示波器上,并进行清晰地观察和对比。

关键词: MOA; 电容电桥; 阻性电流分量; 容性电流分量
中文分类号: TM862 **文献标志码:** A

Abstract: This paper presented a new method, capacitance-bridge method, to measure the resistive leakage current of MOA. Using capacitance current as the compensation reference signal was the highlight of capacitance-bridge method. Experimental results show that the advantages of the method lie in, reduce the measuring influence caused by the harmonics greatly, simplify the measure of resistive leakage current, and make it possible to display the waveform on the oscillograph for observing and comparing.

Key words: metal-oxide surge arrester; capacitance-bridge; resistive leakage current; capacitive leakage current

0 引言

随着电网技术的发展,金属氧化物避雷器(MOA)已逐渐替代了碳化硅间隙型避雷器^[1]。在长期的运行中,系统电压的波动(过压、冲击等)以及各种外界环境因素(污浊、潮湿等)都会导致避雷器的老化。MOA 的老化主要表现在其泄漏电流中的阻性分量明显增大;功耗增加、使避雷器内部温度升高,再促进避雷器的老化——形成恶性循环;严重的甚至会导致避雷器的爆炸^[2]。所以,避雷器阻性电流分量的变化是诊断避雷器运行状况的一个重要因素。

在避雷器阻性电流分量的测量方面,已有多种检测方法和设备被研制出并已投入使用^[3-8]。笔者提出的电容电桥法是一种离线测量方法。下面将介绍该方法的原理、具体实施及测量结果和分析。

1 基本原理

电容电桥法的基本思路是:首先建立电容电桥;之后以电容电桥的电容臂上的电容电流作为参考信号,来补偿流过 MOA 的全泄漏电流中的容性电流分量,最终得到流过 MOA 的阻性电流分量。

在正常运行下,MOA 中流过泄漏电流时,MOA 的等效电路模型见图 1^[9,10]。可变电阻 R 与电容 C 并联,其中 i 为避雷器的全泄漏电流; i_R 为阻性电流分量; i_c 为容性电流分量; u 为贯穿避雷器的电压。 R 为非线性电阻, C 为线性电容。笔者基于图 1 的模型来对电容电桥法进行详细说明。

图 2 为高压电容电桥的电路原理图,图中:MOA 与高压标准电容器 C_r 并联,构成电容电桥的高压臂;电容电桥的低压臂由专门设计的电子电路构成,其原理可以等效为如图 2 中的 R_a 、 R_b (R_a 、 R_b 的值相对高压臂的阻抗而言均很小,可以忽略)。

对于图 2 所示电路,忽略低压臂 R_a 、 R_b 的阻抗,流过两个高压臂的电流分别为

$$i = i_R + i_c = i_R + C \frac{du}{dt} \quad (1)$$

$$i_{cr} = C_r \frac{du}{dt} \quad (2)$$

从式(1)、(2)可知,避雷器支路的容性电流分量 i_c 与电容器支路的电容电流 i_{cr} 同相但幅值上大小不同。由此可以设想:是否可以通过调整低压臂的电阻,来使 A、B 两点电压的容性分量的幅值相等,这样电压 $U_{AB} = U_A - U_B$ 就完全代表了流过避雷器的阻性

收稿日期:2007-05-10; 修回日期:2007-07-13

作者简介:宫建立(1977-),男,硕士研究生,主要从事高压设备的应用研究。

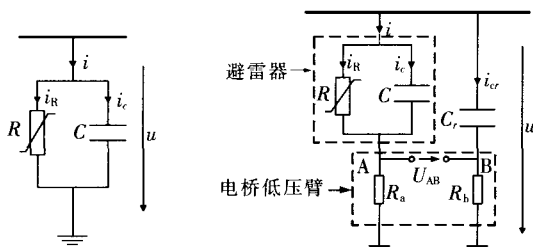


图 1 避雷器等效电路模型图

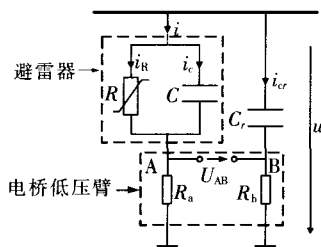


图 2 高压电容电桥的电路原理图

电流分量,即

$$U_{AB} = i_R \times R \quad (3)$$

这里 R 为一个常系数。

用数学方法表达就是:在式(1)、(2)两边各乘上一个常系数,使两式右侧微分项的系数相同,再使乘系数后的两式相减就可得到式(3)。由式(3)可见,电压高次谐波分量产生的容性电流谐波不会影响到阻性电流分量的计算。

在实际实现中,用一个专门设计的电子电路来做电容电桥的低压臂,此电路的基本原理见图 3。其中,运放 A_1 和 A_2 及其外围电路共同构成两个电流电压变换模块,该电路的特点是输入阻抗约等于零(即图 2 中的 R_a, R_b 约等于零);所以低压臂对 i, i_c, i_R 及 i_{cr} 的影响可以忽略不计。流过 MOA 的电流 i 流入 A_1 模块,电容器电流 i_{cr} 流入 A_2 模块。 out_1 和 out_2 分别为 A_1, A_2 模块的输出端。 U_{out_1} 为 MOA 全泄漏电流的电压表示, U_{out_2} 为电容器电容电流的电压表示。通过调节 R_w (R_w 为可调电阻),可以调节 U_{out_2} 的大小,并使其与 U_{out_1} 的峰值相同。 A_3 及其外围电路一起构成一个减法器,其实现 $U_{out_1} - U_{out_2} = U_{out}$,其中 U_{out} 即是流过 MOA 的全泄漏电流中阻性电流分量的电压表示。

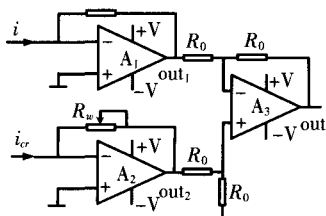


图 3 电容电桥低压臂电子电路原理图

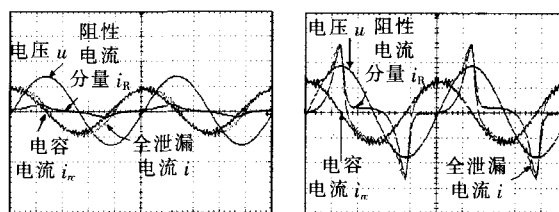
A_3 的输出 U_{out} 即是式(3)所表达的阻性电流的电压表示。如果差动放大单元的增益为 1,则式(3)中的 R 就等于图 3 中 R_w/R_1 。也可以将 U_{out_1} 和 U_{out_2} 接入到一个数据采集器中,对输出端 out_1 和 out_2 进行数据采集,之后将数据送往计算机中计算、处理,同样可以实现 R_w 的调节功能和 A_3 模块的减法功能。

2 实验及结果

根据图 3 电路原理,制作合适的电路板,再加上必要的构成高压臂的高压试验设备,可进行相关实验。输出信号用数字示波器直接观察和测量。实验的关键是如何调节 R_w 使电容器支路电容电流的电

压表示 U_{out_2} 与 MOA 支路的容性电流分量的电压表示在幅值上相等。

知道流过 MOA 的全泄漏电流中的阻性分量与容性分量间有 90° 相位差,所以在容性分量达其峰值时,阻性分量的值为零;当 MOA 运行于正常运行电压下时,其阻性电流分量远远小于容性电流分量,全电流的峰值也就是容性分量的峰值。此时,通过示波器观察,并调节 R_w ,使 U_{out_1} 和 U_{out_2} 的峰值相等; R_w 调定以后,就不用随着 MOA 上所加电压的变化而再调节。对比图 4(a)、(b),可以清晰地证实这一点; R_w 已调好不动,不同电压下,容性电流分量与电容器电容电流的吻合性非常好。调节 R_w 时,可利用数字示波器的自动测量或游标测量来辅助调节。



(a) 正常电压下

(b) 过电压下

图 4 正常电压下与过电压下 MOA 上的电压、全泄漏电流及阻性电流分量波形与流过电容器的电容电流波形

图 4(a)、(b)分别为在不同电压下(图 4(a)为正常运行电压下,图 4(b)为过电压下),示波器上测得的 MOA 上的电压 u 、流过 MOA 的全泄漏电流 i 及其阻性电流分量 i_R 波形与流过电容器臂的电容电流 i_{cr} 波形。

通过图 4 可以看到:电容电桥的减法功能可以在很大程度上使 MOA 全泄漏电流上的谐波与电容器臂的电容电流上的谐波相抵消,并最终减弱全泄漏电流上的谐波对阻性电流分量测量的影响。

3 结语

电容电桥法测 MOA 阻性电流分量,是以电桥中电容器臂的电容电流为测量参考信号的;此方法提出了一种新的参考信号选取理念;打破了电压作为参考信号的传统,不用再考虑电压相位移引起的测量、计算偏差。以电容器臂上的电容电流做参考,可以大大减弱谐波对阻性电流分量测量的影响。电容电桥法的实现简单、易行;尤其在实验室,可以将波形在示波器上显示,并进行清晰地观察和对比。

参考文献:

- [1] KARI KANNUS, KARI LAHTI. Evaluation of the Operational Condition and Reliability of Surge Arresters Used on Medium Voltage Networks [J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 2005, 20(2): 745-750.
- [2] ZHAO Tong, LI Qing-min, QIAN Jia-li. Investigation on Digital Algorithm for On-line Monitoring (下转第 397 页)

金电镀时,通常采取封闭方法或填充方式阻止微孔溶液向外渗透。

方案2选择中性清洗剂,属于有机类物质,应用在铸铝合金电镀之前,代替强碱性除油,既可以减缓对基体的纵深腐蚀,起到除油作用,还能够一定程度上起到填充作用,对铸造铝合金缺陷进行补偿。

2.2 化学碱腐蚀→酸腐蚀

该工艺过程,方案2选用低浓度碱溶液氢氧化钠30~50 g/L进行活化,然后进行硝酸和氢氟酸混酸除黑膜(因为铸铝合金含硅量高,经过活化后表面发黑),露出金属底色。

2.3 化学浸锌

采用二元合金,锌铁合金,属于高浓度碱性电镀溶液。经过两次处理,达到一定的膜层厚度要求。

2.4 预镀铜

酸性镀铜工艺:硫酸铜(CuSO_4)180~220 g/L;硫酸(H_2SO_4)60~70 g/L;盐酸(HCl 10%体积比)1 mL;添加剂4 mL;电流密度4 A/dm²;温度15~40℃。

氰化镀铜工艺:氰化亚铜(Cu_2SO_4)180~220 g/L;氰化钠(NaCN)60~70 g/L;添加剂20 g/L;电流密度2 A/dm²;温度15~40℃。

方案1则采用碱性氰化预镀铜工艺,电流密度3 A/dm²,时间3 min,镀铜厚度约为5 μm,能起到封闭作用。方案2采用酸性镀铜工艺,先进行氰化预镀铜,然后酸性镀铜加厚到5 μm左右。从理论上分析,酸性镀铜工艺其中间过渡层具有其一定的优势,酸性介质对Zn和Al的腐蚀比碱性物质轻,Al、Zn作为两性金属,Zn与OH⁻作用速度大于与H⁺反应速度,而Zn层是铝合金电镀表面处理的第1道中间过渡层,Zn²⁺与Al基体发生置换反应形成一层薄的Zn膜,但氰化预镀属于碱性镀液,其成分具有强碱性,容易在反应过程溶解Zn层,破坏中间Zn层,从而氧化基体Al,进而导致镀层脱落。酸性镀铜过程,在铜金属沉积过程中,与H⁺溶解Zn发生反应的速度比与OH⁻反应的速度慢,反应析出氢受到酸性介质抑制,更加减慢了Zn溶解反应速度。有机物会在Zn层

迅速覆盖一层铜层,形成封闭体系,效果良好。

3 工艺实验

3.1 试样

选用同样材质铸铝样板(经过机械加工的圆盘工件18件和有深腔的工件18件),材料成分分析见表1。

表1 材料成分分析

合金牌号	合金代号	主要元素(质量分数)						
		Si	Cu	Mg	Mn	Ti	其他	Al
ZAlSi7Mg	ZL101	6.5~7.5	-	0.25~0.45	-	-	-	余量

3.2 技术要求

整体镀银20 μm。

3.3 试验结果

测试方法镀层结合力检测按照ASTM.B 571-1979,铝合金电镀层结合力检验方法。工件加热到(220±10)℃,然后放入室温的水中,冷却,检查是否有起泡。合格率统计(各18件)见表2。

表2 合格率统计

	外观检查		合格率/%
	圆盘各9件	内腔各9件	
方案1	银白色,有3件起泡	银白色,有4件起泡(无规律)	61
方案2	光亮银白色	银白色,有1件起泡(腔体内)	94

从统计结果看,方案2效果明显,合格率高。内腔导体样件有一个起泡,分散部位在腔体内部较深。查看起泡缺陷发现为铜层与锌层脱离,分析原因为镀层在预镀铜时酸性镀铜深镀能力不良,但对于外表面的铸铝合金电镀效果良好,可以应用。

4 结语

(1)方案2针对高压电气铸铝导体镀银,尤其外表面镀银,效果良好。

(2)方案2采用的中性清洗剂,减少了对基体腐蚀,而且不污染环境,适合铸铝导体电镀前处理工艺。

(3)方案2鉴于酸性镀铜工艺深镀能力较弱,导致铸铝导体深腔镀银缺陷,需要进一步研究,改善酸性镀铜工艺深镀能力,完善方案2。

(上接第395页)

- and Diagnostics of Metal Oxide Surge Arrester Based on an Accurate Mode[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 2005, 20(2): 751-756.
- [3] MASAHIRO K. Apparatus for Detecting Degradation of an Arrester [P]. European Patent Specification NO. 0 228 153 B1, 1991.
- [4] QIN Song-lin. Then Application of the Mathematical Method for Measurement of the Resistive Current of ZnO [C]// 9th International Symposium on High Voltage Engineering, Graz, Austria, 1995: 4475-1~4475-4.
- [5] Monitoring Equipment for the Gas-insulated Power Apparatus [J]. Fuji Electric Review, 1994, 40(2): 106-109.
- [6] SHIRAKAWA, ENDO F, KITAJIMA H, et al. Maintenance of Surge Arrester by a Portal Leakage Currents of Metal-oxide Surge Arresters in Service[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1988(3): 998-1003.
- [7] Maintenance Devices for Surge Arresters [J]. Meiden Review, 1989(3): 73-78.
- [8] COFFEEN L T, MCBRIDE J E. High Voltage AC Resistive Current Measurements Using a Computer Based Digital Watts Technique [J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1991, 6(2): 550-556.
- [9] 王秉钧. 金属氧化物避雷器 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.
- [10] 熊泰昌. 电力避雷器的原理试验与维修 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.