

用相角差法判断金属氧化物避雷器性能优劣的研究

李开霞, 张金波, 胡 钢

(河海大学计算机及信息工程学院, 江苏 常州 213022)

摘要: 金属氧化物避雷器在长期承受系统电压作用时会产生老化, 导致阻性电流增加使其发热性能变差, 所以需要定期对其性能进行检测, 为此国内外学者提出了各种判断避雷器性能优劣的方法。笔者在分析避雷器工作原理的基础上, 根据实际经验提出了用相角差法判断金属氧化物避雷器性能优劣的新方法。实验表明该方法能够更清晰、准确和方便地对避雷器性能优劣进行判断。

关键词: 金属氧化物避雷器; 相角差法; 判断

中图分类号: TM835.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2008)01-0023-03

Performance Evaluation of Metal Oxide Surge Arrester with Phase Difference Method

LI Kai-xia, ZHANG Jin-bo, HU Gang

(College of Computer & Information Engineering, Hehai University, Changzhou 213022, China)

Abstract: Metal Oxide Surge Arrester is one of the most important equipments in electric power system. Because MOA bears the system voltage all the time and ages, the resistance leakage current will increase and generate heat. The performance of MOA may become inferior. Whether its running status is good or not directly affects other equipments in system. So it is necessary to detect performance of MOA periodically. For this purpose, the scholars at home and abroad have brought forward various methods to judge MOA function superior or inferior. In the basis of analyzing MOA operating principle and be based on practical experience, the paper suggests a new method with using phase difference for judgment. The experiment shows that the method is more clear, accurate and convenient to carry out a judgment for function of MOA.

Key words: metal oxide surge arrester(MOA); phase difference method; evaluation

0 引言

金属氧化物避雷器(MOA)因其过电压保护特性好、容量大、动作快、结构简单、体积小、重量轻等优点已逐步取代了老的阀式避雷器, 在电力系统中得到了广泛应用。但是由于避雷器要长期承受系统运行电压作用, 将会出现 MOA 阀片的老化现象, 而且老化、潮湿、污秽和过电压等因素的作用会导致阻性电流及避雷器有功功率的增加, 阀片会逐渐劣化, 致使 MOA 绝缘特性遭到破坏而引起热崩溃, 严重时甚至还会发生爆炸。因此, 对 MOA 性能优劣的可靠检测、判断已势在必行。

目前, 检测 MOA 的方式主要有周期性停电预防、在线带电测试和监测等。周期性预防试验一般在停电状态下进行, 是电力系统最早使用的较为普遍

的检测手段。目前对于周期性预防试验, 主要的试验项目是测量避雷器直流 1 mA 下参考电压 U_{1mA} 和 75%的 U_{1mA} 下的泄漏电流^[1]。这种测试方法的优点是测量的结果较为准确可靠, 缺点就是必须要使避雷器停电试验, 于是结合实际需求出现了在线带电检测方法。在线带电检测 MOA 可以在不停电的情况下随时了解 MOA 的运行性能, 及时发现异常现象和事故隐患, 以采取有效预防措施, 防止事故发生或扩大造成更大的经济损失, 保证其在良好的状态下运行。笔者在分析 MOA 工作原理的基础上, 根据实际经验提出了用相角差法判断 MOA 性能优劣的新方法, 试验和理论分析表明该方法能够更清晰、准确和方便地对 MOA 的性能优劣进行检测判断。

1 MOA 工作原理分析

在运行电压下流过 MOA 的泄漏电流主要有瓷

收稿日期: 2007-04-08; 修回日期: 2007-09-12

基金项目: 常州市科技攻关资助项目(CE2006087); 河海大学常州校区优秀硕士论文培育基金资助项目(06B011-02);

常州市青年科技人才培养项目(CQ2006004); 中华人民共和国专利项目(ZL200520112394.6)。

作者简介: 李开霞(1982-), 女, 河北省保定市人, 硕士研究生, 研究方向为检测技术与自动化装置。

套外表面电流及内部电流 (包括绝缘构架电流和阀体电流)。正常情况下,瓷套内壁及构件电流仅 1 μA 左右^[2]。如受潮或有缺陷,泄漏电流会明显增大,在工频电压下,ZnO 阀片(MOV)在小电流区的等效电路见图 1。

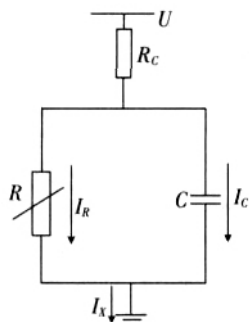


图 1 MOV 小电流区等效电路

图中 R_c 为 ZnO 晶粒本体的电阻; C 为晶界层的固有电容等效值; R 为晶界层的等效非线性电阻。 I_x 为全泄漏电流; I_C 为容性泄漏电流; I_R 为阻性泄漏电流。其中非线性电阻 R 随 MOV 外施电压 U 的变化而变化,当 U 小于 MOV 的拐点电压时,MOV 呈现很大的电阻,阻值变化很小;而当 U 超过拐点电压时,非线性电阻 R 阻值减小很快,阻性电流值迅速增加。MOV 晶界层的相对介电常数可达 500~2000,使阀片具有相当大的电容量,在运行中流过阀片的电流主要是电容电流。当 U 低于拐点电压时,晶界电容 C 变化很小,可视为定常值;当 U 超过拐点电压时,MOV 晶界电容增加较快。

MOV 具有极好的非线性保护特性,其伏安特性以 $i=ku=f(i_n)$ (k 、 f 为非线性系数, i_n 为高次谐波电流, u 为电网电压) 表示,全电流中的阻性分量不仅包含有基波,而且还有 3 次、5 次和更高次的谐波,其所占分量逐渐减少,3 次谐波对温度变化很灵敏^[3]。早期老化阻性电流的变化主要表现为阻性电流 3 次谐波分量的上升,非线性特性曲线见图 2。

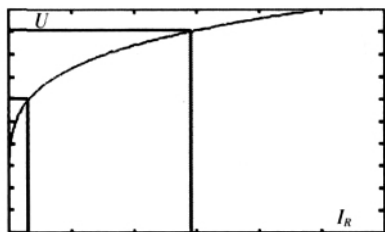


图 2 非线性特性曲线

MOA 就是根据其非线性伏安特性而起到防雷作用的。当 MOA 运行在正常的电压时,其阻抗很大,通过的电流很小(一般为 1 mA);当供电线路上的电压大于 MOA 击穿电压时,MOA 会呈现很低的阻性,将强大的冲击电流泄入大地,而 MOA 上的电压随冲击电流的增大变化很小,特性平稳;当电压低于击穿电压时,MOA 则又回到原来的绝缘状态,MOA 仍

运行在正常电压。

在工频电压作用下,流经阀体的总泄漏电流 I_x 主要由容性分量 I_C 和阻性分量 I_R 组成。当施加电压为正弦波时,容性电流也为正弦波,它超前电压 90° 。由于晶界层电阻具有非线性,阻性电流是与电压同相位的含有高次谐波(主要为 3、5、7 次谐波)和基波的畸变波。在正常运行电压下,ZnO 阀片工作在其线性段,一般只有数十 μA 的微小电流通过电阻 R (称为阻性电流分量),而通过阀片电容 C 的电流 I_C 在几百 μA 以上,可见在正常情况下阻性电流分量占全电流的 5%~20%^[4]。容性电流、阻性电流与电压信号间的关系见图 3。

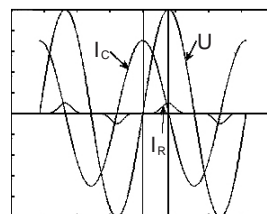


图 3 容性电流、阻性电流与电压信号间关系

如果 MOA 发生故障后存在缺陷时,其阻性分量会成倍增大,容性分量增加却不明显。容性电流是无功分量,它通过阀片不会构成功率损耗,阻性电流是有功分量,它是导致阀片发热的成分,因此,在进行 MOA 泄漏电流检测时,除测出总电流外,MOA 阻性电流分量的检测十分重要。在 MOA 刚投运时,一般应测取泄漏电流的初期电流值,以作为判断运行中泄漏电流是否变化的依据。随着 ZnO 阀片的劣化、受潮或其它故障,阻性电流将增大,从测量总泄漏电流和阻性电流分量都能够反映出这一变化,但阻性电流分量的反应更灵敏,所以一般以阻性电流为主要测试参数,并将其作为 ZnO 阀片老化程度的主要判据。将测量值与初始值比较,若阻性电流分量增加到初始值的两倍时,应停止运行,这就是目前进行避雷器检测性能的基本原理^[5]。

2 用阻性电流大小判断 MOA 性能优劣

MOA 阀片的劣化或老化反映为阻性电流增大,因此直接测量阻性电流能反映氧化锌避雷器的健康状况。目前 MOA 性能检测主要是以阻性电流峰值的变化来进行的,大多数 MOA 阻性电流测试是双输入型的,同时输入电压和电流信号,然后通过所取电压、电流信号的相互关系来求得阻性电流。

目前测量 MOA 阻性泄漏电流比较精确的方法就是电压投影法^[6],测量或计算总泄漏电流与同相电压或其他相电压之间的相角差,根据相角差计算总泄漏电流在同相电压上的投影即可得到阻性电流。在现场测量时,经常选择电压互感器的电压作为参考相位,测量流过 MOA 的泄漏电流 I_x 和泄漏

电流与施加在避雷器两端电压之间的角度差 α ,根据公式 $I_R=I_X\cos\alpha$ 计算泄漏电流在避雷器两端电压上的投影,即可求得泄漏电流的阻性分量 I_R 和泄漏电流 I_X 。但这种方法存在下列缺陷:①在实际当中,由于相间干扰、谐波干扰或者带电体电场等的影响,测得的 I_X 和 I_R 往往并不是实际值,容易产生误判;②由于阻性电流值非常小,变化值相对也很小,给准确测量造成很大的困难;③由图2可以看出阻性电流值受电网电压波动影响较大。

3 用相角法判断 MOA 性能优劣

由于用检测阻性电流大小来判断 MOA 性能的方法存在弊端,于是结合实际操作中的经验提出用相角差法来判断 MOA 性能的优劣。根据 I_R 和 I_X 的关系,把 I_R 的变化转换成角度 α 的变化,可以使 MOA 老化的判断变得十分清晰、直观。

MOA 的全电流 I_X 中, I_C 比 I_R 大的多,当 I_R 增大时(不超过初始值的2倍), I_X 的变化很小,因此从工程上可以把 I_X 看作常数,这样 I_R 的变化就可用 α 的变化来描述。

设某单相运行电压下的 MOA 的 I_X 为 2.5 mA,当角度在 $80^\circ\sim 85^\circ$ 变化时,各参数量变化的具体情况见表1(I_R 计算公式: $I_R=I_X\cos\alpha$)。

表1 各参数量变化的具体情况

I_X/mA	$\alpha/(\circ)$	$\cos\alpha$	I_R/mA
2.5	80	0.1736	0.434
2.5	81	0.1564	0.391
2.5	82	0.1392	0.348
2.5	83	0.1218	0.305
2.5	84	0.1045	0.261
2.5	85	0.0872	0.218

由表1可得: $\Delta\alpha=1^\circ$; $\Delta\cos\alpha=0.017$, $\Delta I_R=0.043$ 。

变化 1° ,而 I_R 的变化仅仅为 0.043 mA ,可见 I_R 的变化量很小,而角度的变化量相对较大和直观。测量仪器数据处理方法等对 I_R 的实际测量结果有较大影响,MOA的泄漏电流很小,均为 mA 级,根据实际要求,目前可采用有源零磁通技术来提高小电流检测的精度。然而,电流传感器的测量范围却仍然受到限制,如BCT-2型电磁式穿芯小电流传感器其测量范围最小值只能达到 $100\text{ }\mu\text{A}$ 即 0.1 mA ,而其角差只有 $\pm 0.01^\circ$ 。根据 I_R 计算公式 $I_R=I_X\cos\alpha$ 可以看出,由于 I_X 和 α 同时存在测量、计算等误差,则 I_R 的计算结果将存在累计误差,若仅采用相角差 $\Delta\alpha$ 的变化作为判断依据,将在一定程度上减小误差。检测和计算时可以运用角度 α 的变化清晰、准确地进行相应分析判断。

当 I_R 增大一倍时 $I_{R2}=2I_{R1}$,由公式 $I_R=I_X\cos\alpha$ 可

得出: $\cos\alpha_2/\cos\alpha_1=2$, $\alpha_2=\arccos(2\cos\alpha_1)$,得 $\Delta\alpha_{\text{max}}=1^\circ-\alpha_2=1^\circ-\arccos(2\cos\alpha_1)$,其中 α_1 为 MOA 刚开始投入使用原相角差, α_2 为 MOA 劣化后阻性电流变化为原来2倍后的相角差,即若相角差变化 $\Delta\alpha_{\text{max}}$ 时,即可认为阻性电流已经增加了1倍或者1倍以上。

由于不同类型、不同厂家生产制造的 MOA 初始参数(总电流、阻性电流、角度等)是不同的,所以在投运初期应先测算出 $\Delta\alpha_{\text{max}}$ 作为以后检测和判断的标准。在测得 MOA 相角差 α 值后,可与 $\Delta\alpha_{\text{max}}$ 进行比对以判断 MOA 的老化情况,且该相角法不受电网电压波动的影响。

4 获得相角差的方法

为了获得相角差 α 可以采取基波法和三次谐波法。基波法是根据得到的基波电压和全电流的基波测得角度 α ,三次谐波法主要采用谐波分析,通过测出三次谐波的相角差值 α_3 ,根据基波的角度差为三次谐波的相角差值的 $1/3$ 得出 α ^[7,8],另外也可以采用无线检测方法获得相角差^[9]。由于避雷相间存在干扰,其影响可根据对实际测得的相角 α 进行相应的角度补偿来修正。针对存在的各种干扰,根据运行中 MOA 的排列、安装等具体情况制定出有效的补偿方法。如:若运行中的三相 MOA 是一字形排列,三相高压引线与一字型垂直。分别对停运和运行中的三相 MOA 进行测量,根据实际测量数据比较发现,运行中 MOA 受周围带电体的影响情况主要为:B相带电体对A、C相 MOA 的作用大小相同,方向相反;A、C相带电体对B相 MOA 的作用也是大小相同、方向相反。说明这种电场是以B相带电体为对称轴的对称电场。那么,在此基础上进行的测量结果B相的相角差 α_B 是真实的,不需要补偿,对A、C相测量结果 α_A 和 α_C 进行数值大小相等、方向相反的补偿即可。

而采用阻性电流大小判断 MOA 性能优劣需要对 α 角补偿后,再通过计算得到阻性电流值 I_R ,那么 I_R 的计算结果也将存在累计误差,而采用相角法判断 MOA 性能优劣通过补偿消除相间干扰后,直接可以通过相角的变化量判断 MOA 性能的优劣。

5 结语

由于不同类型、不同厂家生产的 MOA 的初始参数不同,导致A、B、C三相 MOA 本身的特性及每一相的初始相位也不完全相同,而相角法是根据每一相 MOA 相角的变化量 $\Delta\alpha_{\text{max}}$ 值来判断 MOA 性能的优劣。根据以上分析并结合大量的实际试验数据总结发现,MOA 正常运行时的相角差变化范围为 $5^\circ\sim 10^\circ$;若原相角差 α_1 为 85° ;当相角差变化 5° 时由表1可以发现阻性电流已经增加(下转第31页)

参考文献:

- [1] KEIL A, WERL W A, VINARICKY E. 电接触和电接触材料[M]. 赵华人, 陈昌图, 陶国森, 译. 北京: 机械工业出版社, 1993.
- [2] 刘平, 田保红, 赵冬梅. 铜合金功能材料[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [3] BELK J A, EDWARDS M R. Deformation Behavior of Tungsten Copper Composites[J]. Power Metal, 1993, 36(4): 293.
- [4] 徐德生, 任露泉, 邱小明, 等. WC/Cu基仿生非光滑耐磨复合涂层的研究[J]. 农业机械学报, 2004, 35(6): 148-151.
- [5] KIYOSHI. Electric Conductivity and Mechanical Properties of Carbide Dispersion Strengthened Copper Prepared by Compocasting [J]. Materials Transaction JIM, 1993, 34(8): 718-724.
- [6] 王孟君, 张立勇, 刘心宇, 等. WC/Cu复合材料制备及其高温性能[J]. 材料科学与工程学报, 2003, 21(4): 528-530.
- [7] 王耐艳, 涂江平, 杨友志. 原位反应纳米TiB₂/Cu复合材料的制备与微结构[J]. 中国有色金属学报, 2002, 12(1): 151-154.
- [8] KOGYO H G. Moulded Ceramic Reinforced Copper Article for Spot Welding Electrode[Z]. Mzz GB2243-160-A, 1991.
- [9] 李晓杰, 王占磊, 谢兴华, 等. WC/Al₂O₃颗粒增强Cu基复合材料爆炸粉末烧结实验研究[J]. 爆炸与冲击, 2006, 26(4): 356-360.
- [10] 胡锐, 高强. 高导Cu基复合材料的新型制造技术[J]. 兵器材料科学与工程, 1998, 21(6): 39-43.

(上接第25页)

了1倍以上,一般MOA正常运行时的相角差为75°~85°不等。经验表明,若相角差大于80°,则该避雷器性能优良;小于80°则性能下降,但一旦相角差低于75°,即相角差已经变化了5°~10°,则MOA的阻性电流已经增加了1倍以上,MOA已经劣化,应停止运行^[9,10]。总之,用相角差法判断MOA性能的优劣更简便、准确和直观。

参考文献:

- [1] 谢鹏, 张国栋. 金属氧化物避雷器试验测试方法的发展及应用[J]. 电瓷避雷器, 2006(5): 36-38, 41.
- [2] 孟毅, 文远芳, 龚李伟. 不同介质中MOV小电流特性的比较[J]. 电瓷避雷器, 2006(5): 17-20.
- [3] 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.
- [4] 王宇, 张蓬鹤, 李贞. MOA泄漏电流相关概念分析[J]. 东北电力技术, 2005(8): 14-15.
- [5] 胡道明. MOA泄漏电流在线监测方法的探讨[J]. 南昌水专学报, 2004, 23(3): 57-58.
- [6] 郑健, 张国庆, 田悦新, 等. 氧化锌避雷器在线监测技术综述[J]. 继电器, 2000(9): 7-9.
- [7] 许恒迎, 夏荣, 李忠华. 基于非线性最小二乘拟合的容性、阻性电流信号分解算法[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2006, 11(1): 120-123.
- [8] 王来善, 刘云鹏, 杜瑞红. 基于软件分析方法的氧化锌避雷器泄漏电流在线监测[J]. 电力情报, 2002(2): 13-15.
- [9] 张金波, 范梅荣, 王俊, 等. 金属氧化物避雷器阻性泄漏电流无线检测方法的设计[J]. 高压电器, 2006, 42(1): 1-3, 7.
- [10] 盛亚军. MOA带电测试及其角度校正[J]. 浙江电力, 2003, 24(5): 32-33, 57.

(上接第28页)

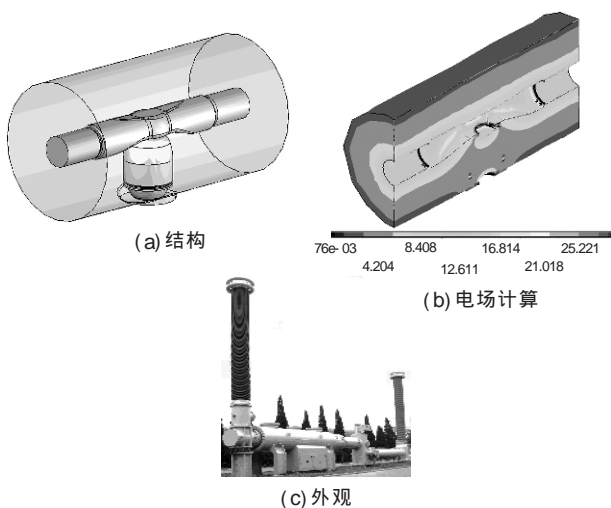


图12 母线的结构、电场计算和外观

屏蔽由绝缘子支撑形成对地的绝缘状态;外屏蔽主要涉及空气的绝缘强度、无线电干扰的水平和地面场强值的大小等。

4 结语

ZF27-800型GIS为平高自主设计的800kV级GIS设备,拥有完全自主知识产权,通过各元件的设计计算、制造、装配和试验验证,各项指标满足设计要求,是一种开断能力强、绝缘水平高、设计先进可靠的GIS产品,完全符合我国750kV线路的订货要求。

参考文献:

- [1] 朱德恒, 严璋. 高电压绝缘[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.

压,用于减缓电位梯度,获得更均匀的电场分布,中间