

高压断路器断口均压电容器介质损失角增大原因分析及解决措施

孙鹏举, 吕洪明

(安徽淮北供电公司, 安徽 淮北 235000)

摘要: 笔者通过对高压断路器均压电容器均压原理论述以及损耗的产生和 $\tan\delta$ 值易于偏大的原因分析, 着重介绍了电容介质材料在交流电压作用下的极化损耗和电导损耗, 解析了均压电容器在各种场强下 $\tan\delta$ 的变化情况, 并提出了降低离子杂质体积分数以改善 $\tan\delta$ 增大的解决措施。

关键词: 均压电容器; 损耗角正切 $\tan\delta$; 杂质

中图分类号: TM531.7

文献标志码: B

文章编号: 1001-1609(2009)02-0097-02

Analysis of Grading Capacitor $\tan\delta$ Expansion for High Voltage Circuit Breaker

SUN Peng-ju, LU Hong-ming

(Huabei Electric Power Supply Company, Huabei 235000, China)

Abstract: This paper analyzes the principle of a grading capacitor in a high voltage circuit breaker, its losses, and the cause of $\tan\delta$ expansion, giving emphasis on polarization loss and dielectric loss of the dielectric material under alternate voltage. The variation of a grading capacitor $\tan\delta$ under different field intensities is also analyzed. In addition, a method to suppress $\tan\delta$ expansion is suggested by reducing ionic contaminations.

Key words: grading capacitor; tangent of loss angle; ionic contamination

0 引言

断路器断口电容器(又称均压电容器), 主要并联于断路器的断口上, 从而使各断口间的电压均匀。高压断路器的灭弧室常由几个断口电容器串联而成。图 1 中, $C_1=C_2$ 。当 $C_0 \approx C_2$ 时, $U_1=(C_2+C_0)U_{ph}/(2C_2+C_0)=2C_2U_{ph}/(3C_2)=0.667 U_{ph}$; $U_2=C_2U_{ph}/(2C_2+C_0)=C_2U_{ph}/(3C_2)=0.333 U_{ph}$ 。实际上对地杂散电容 C_0 比断口电容 C_1 、 C_2 大的多, 所以 C_1 断口上承受绝大部分电压, 电压是极不均的。而如图 2 中在每个断口上并联了等容的均压电容 C_s 后, $U_{C_1}=[(C_2+C_s)+C_0]U_{ph}/[2(C_2+C_s)+C_0] \approx (C_2+C_s)U_{ph}/[2(C_2+C_s)]=0.5 U_{ph}$; $U_{C_2}=[(C_1+C_s)+C_0]U_{ph}/[2(C_1+C_s)+C_0] \approx (C_1+C_s)U_{ph}/[2(C_1+C_s)]=0.5 U_{ph}$ 。

由于 $C_s \gg C_0 \gg C_1, C_2$, 所以分压比 n 得到了很大的改善, n 近似等于 1 (约 1.02~1.05), 使得断口间的电压分布均匀以利开断, 并且避免在断口开断后因电压分布不均匀而造成损坏。

均压电容器的基本结构与耦合电容器相似, 通

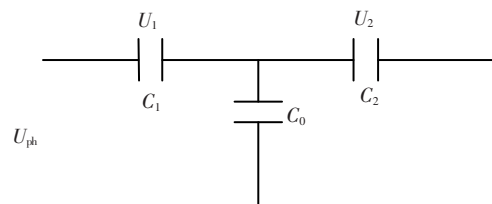


图 1 未并均压电容器前断口等效电路图

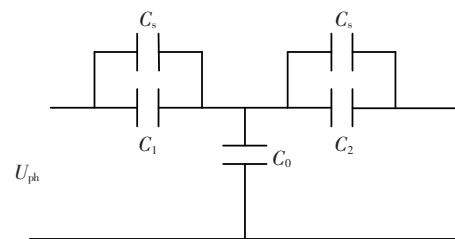


图 2 并均压电容器前断口等效电路图

常采用瓷套外壳, 元件全部串联, 内部带补偿浸渍剂随运行温度变化而体积变化的金属波纹管。它的材料、工艺及质量与其它电容器基本相同, 但均压电容器常出现损耗角正切 $\tan\delta$ 偏大的现象, 而这种情况在其它类型电容器中却并不突出, 因此, 笔者就均压电容器 $\tan\delta$ 值偏大的原因以及一些改善的方法进

收稿日期: 2008-10-28; 修回日期: 2008-12-13

作者简介: 孙鹏举(1967-), 男, 讲师, 从事绝缘监督工作。

行一些探讨。

1 均压电容器损耗的产生及 $\tan\delta$ 值易于偏大的原因

电容器介质绝缘(油纸绝缘或膜纸复合绝缘材料)浸渍剂中含有的杂质,尤其是离子杂质,影响着 $\tan\delta$ 的大小。介质在电压作用下的能量损耗是由极化损耗(如偶极子极化、夹层介质界面极化等)和电导损耗引起的。由于目前电容器用浸渍剂均为弱极性液体介质(相对介电常数为 2.2~2.6),极化损耗极小,因此,浸渍剂的损耗主要由电导损耗决定。

正常工作状态的液体介质中构成电导的因素主要有两种:一种由液体本身的分子和杂质的分子离解为离子,构成离子电导;另一种是液体中的胶体颗粒(如浸渍剂中悬浮的小水滴)吸附电荷后,形成带电质点,构成电泳电导。由于电容器采用真空浸渍工艺,边抽真空边注油,脱气、脱水效果可以得到保证,因此着重分析离子电导对均压电容器损耗的影响。电容器元件极板间被各层固体介质(膜纸或电容器纸)分隔出若干个区域,浸渍剂中的离子充斥在各个区域内,当没有外电场时,正负离子运动方向是无秩序的,并不消耗能量。当施加电压时,沿着电场方向,油中离子随电场方向的交替改变在狭窄的空间来回运动,产生损耗。

在工频电源下,当施加较低电压 U 时,在一个周波内,离子从极板 E 出发,还未到达固体介质 D ,就随着电场交变又回到极板 E ,当升高电压 U 时,离子在一个周波中,刚好从极板 E 到固体介质 D ,又从 D 回到 E ,此时损耗随电压的增加而增加,见图 3。当电压仍然上升,由于带电粒子无法穿越介质层,到达 E 或 D 时受阻,只能在 E 与 D 狭小空间内来回运动,这时损耗不再增加,而无功功率 Q 随着电压的增加而增加($Q=\omega cU^2$),损耗角正切等于有功功率除以无功功率,因此 $\tan\delta$ 随着电压的上升而下降。当电压超过额定电压继续上升,在高场强的作用下,液体中由于电离或碰撞电离等产生带电粒子增加使电导率变大,引起泄漏电流增大,发热增多,损耗的增加远大于无功功率的增长,从而 $\tan\delta$ 值增加。在进一步的强电场下,除了电导损耗外,还有介质(油纸绝缘或膜纸复合绝缘)孔隙中气体电离所引起的损耗。当油分解出气体形成气泡,气泡中的场强 E_g 为油中场强 E_0 的 ϵ_r 倍,而气体的击穿场强比油低得多,所以气泡先开始电离,这又使气泡温度升高,体积膨胀,扩大气体通道,最后发生击穿, $\tan\delta$ 也就急剧地上升。在断路器电容器的使用或试验中,电压是有一定限值的,运行时为系统电压(40~360 kV),试验时电压为 10 kV^[1]。

均压电容器的额定电压一般为 40~360 kV,随

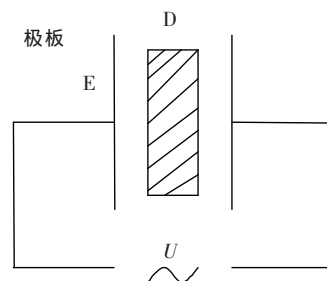


图 3 D 为油纸绝缘材料或膜纸复合绝缘材料

着断路器断口开断能力提高,均压电容器的额定电压不断增高,但用户很少有条件能在产品的额定工作电压下测量损耗,大多在 10 kV 电压下测量,这时的 $\tan\delta$ 值并不能真实地表明产品额定电压下运行时的 $\tan\delta$,它必小于额定电压时 $\tan\delta$,见表 1。

表 1 均压电容器 10 kV 下 $\tan\delta$ 的限值

	油纸绝缘	膜纸复合绝缘
$\tan\delta$	≤ 0.005	≤ 0.002

当 $\tan\delta$ 不符合要求时,可在额定电压下复测,复测值如符合 10 kV 下的要求,可继续投入运行,试验接线一般采用正接线法测量^[2]。

此外,均压电容器的电容值特别小,也决定了它的 $\tan\delta$ 值易于偏大。由于均压电容器电气联接为元件全串(如 110 kV 绝缘水平的产品元件个数约 100~140 个),电容值极小,因此均压电容器的无功功率 Q 较小,当有功功率 P 稍有增加时,均压电容器的损耗角正切将明显增大^[3]。

均压电容器还有一个常见的现象,就是随着时间的增加, $\tan\delta$ 值逐渐变大,这是由于极性杂质的存在造成的。均压电容器的金属波纹管、瓷套等零部件上附着的杂质以及装配过程中混入的杂质,慢慢溶于或悬浮于液体中,尤其是橡胶垫圈,它的杂质溶解过程更加漫长^[4]。随着时间的推移,杂质由元件外部浸渍入元件介质间,在狭窄空间的杂质带电粒子不断增多,介质的损耗不断增加,使 $\tan\delta$ 值越来越大。

2 解决措施

综合上述对均压电容器损耗问题的分析,可以得出,增加产品清洁程度、最大限度地降低离子杂质含量,可改善 $\tan\delta$ 较大以及随时间越变越大的问题。

具体可采取的措施有:

(1)加强金属波纹管等零部件的清洗,最好使用安全的有机溶剂。金属波纹管等含有的杂质如油污以及其它焊剂如松香等,极易溶于有机溶剂。国外曾采用三氯乙烯等有机溶剂,后因三氯乙烯有毒性,而改用三氯甲烷等有机剂来清洗零部件,使杂质无法残留在零部件表面上。(下转第 105 页)

误差,不应大于被检电流互感器误差限值的1/10。在整个事件中,厂家一直在质疑的信号波形畸变以及与测试工作有关的电磁场对其产品产生影响,但无法从规程或指导书中拿出很令人信服的条款来证明用于测试工作的升流器、调压器、大电流电缆等引起的测量误差没有大于被检电流互感器误差限值的1/10。实际上,由于被试品没有采取屏蔽措施,试验设备产生的电磁场对被试品的测量误差产生了较大的影响,甚至远远超过了被检电流互感器误差限值的1/10,但这是由于被试品没有采取屏蔽措施所致,而不是其他原因。

(上接第98页)

(2)均压电容器采用硅橡胶垫圈与盖子密封。而电容器油(二芳基乙烷、苄基甲苯等)本身就是有机溶剂,可将橡胶上的杂质(填充剂、颜料、润滑剂、硫化剂等)溶于油中,造成 $\tan\delta$ 上升。国外有使用氟胶材料做密封垫圈,如杜邦公司Viton胶,效果非常好,但价格昂贵,无法接受。可采用前处理溶解方法,以二芳基乙烷为例,将成形的硅橡胶密封垫圈,在100℃热二芳基乙烷中预先处理10~12h后使用,可以得到二芳基乙烷的 $\tan\delta$ 上升接近零^[5]。

(3)此外,在装配过程中应尽可能地减少杂质混入产品的可能。比如,在有油装配、无法戴手套时,操作者手中的汗水就有可能混入溶剂中,汗水中的离子杂质对介质损耗的影响比空调过滤的灰尘(SiO_2 、

(3)由于国内缺少大容量的适用于现场的升流设备,对近几年进口的国外GIS中的大变比电流互感器,显得越来越无能为力。因为国外的厂家均不允许从地刀送入一次电流,仅同意从高压一次套管加电流信号,这给从事互感器现场误差试验的人员带来了很大的挑战。

参考文献:

- [1] 徐家恒. 126 kV GIS中互感器的误差试验[J]. 高压电器, 2003, 39(2): 56-58.
- [2] JJG 313-94. 测量用电流互感器 检定规程[S].
- [3] 电能计量装置现场检验作业指导书[S].

Al_2O_3 等非离子)^[5]的影响要大得多。汗水这些不被人注意的杂质就有可能为产品 $\tan\delta$ 的变大留下隐患。

参考文献:

- [1] 李建明, 朱康. 高压电气设备试验方法[M]. 四川电力试验研究院, 2001.
- [2] 电力设备预防性试验规程(试用版)[M]. 安徽省电力公司, 2005.
- [3] 许沛丰, 高军委, 张予洛, 等. 对断路器电容器电容及介损测量预试方法的探讨[J]. 电力电容器, 2007(4): 17-19.
- [4] 宁风辉. 浅谈断路器电容器介质损耗问题[J]. 电力电容器, 2002(4): 13, 14.
- [5] 宁风辉. 550 kV双断口 SF_6 断路器用全膜断路器电容器的研究[M]. 西安交通大学, 2002.

(上接第101页)

控制功率小的电力电子器件IGCT反并联组成,通过智能微控制器dsPIC根据输入控制命令控制其通断,实现开关的无触点分合闸控制,并可实现保护、测量、显示及通信等功能,进一步完善应用后,可极大地提高供电系统的可靠性,提高开关设备的性能指标,具有很高的实用价值和应用前景。系统采取EMC对策,如设计PCB板布局走线、设计屏蔽体、设计安全的电源与接地系统、采取干扰滤波或隔离措施、软件抗干扰等,可达到较好的电磁兼容性。

参考文献:

- [1] 于庆广, 官荷林, 李建勋. 智能无触点开关及双回路电源自动投切装置[J]. 电工技术杂志, 2004(5): 72-73.
- [2] 卢宇. 智能开关技术在电力系统中的应用[D]. 武汉: 华中

科技大学, 2003.

- [3] DHALAAN S M S. Contactless Circuit Breaker Protection For AC Line Commutated Thyristor Converter [C]// Proceedings of the 2002 IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering, 2002: 236-239.
- [4] SCHRODER S, BLOH J V, DE DONCKER R W. A GCT-driver Optimized for Soft-dwitching High-power Inverters with Short Circuit Protection [C]// 2004 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2004: 105-111.
- [5] 程健, 冯士芬, 许成金. 新一代无触点开关——电子断路器[J]. 电气开关, 1999(4): 1-3.
- [6] 杨奇逊, 黄少锋. 微型机继电保护基础(第2版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [7] Microchip dsPIC30F Family Reference Manual [DB/CD]. Microchip Technology Inc., 2005.