

克服Garton效应的高压介损现场试验方法

徐 亮, 冯玉柱, 冯新岩, 顾 岩

(山东电力集团公司超高压公司, 济南 250021)

摘要: 针对例行介损试验中发现的Garton效应, 分析了10 kV下介损试验存在的问题, 对现场试验方法进行了探讨, 提出了轻便型串谐式高压介损装置测试原理, 实现了反接线和多通道方式测量电容器高压介损。结果表明: 解决了传统高压介损试验在现场难以开展的测试问题, 克服了Garton效应对介损测试结果的影响。

关键词: Garton效应; 高压介损; 串联谐振; 反接线; 多通道

中图分类号: TM89

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2012)02-0066-05

Field Test Procedure of HV Dielectric Loss for Overcoming Garton Effect

XU Liang, FENG Yu-zhu, FENG Xin-yan, GU Yan

(Extra High Power Subcompany of SEPCO, Jinan 250021, China)

Abstract: With regard to Garton effect in routine dielectric loss test, this paper analyzes the problems in 10 kV dielectric loss test, discusses the field test procedure, and describes testing principle of lightweight serial harmonic type HV dielectric loss device. An inverse connection and multi-channel method for HV capacitor dielectric loss measurement is proposed and implemented. The results show that the problems which make field test difficult to be carried out with the traditional method are solved, and the Garton effect on result of dielectric loss test is overcome.

Key words: Garton effect; HV dielectric loss; serial harmonic; inverse connection; multi-channel

0 引言

随着电网的快速发展, 设备质量的提高, 越来越多的进口、合资厂生产的500 kV断路器在变电站中投入运行。在例行性的现场断路器均压电容10 kV介损试验中, 经常发现测试结果超过标准规定值的情况, 造成无法确定设备状况甚至误判断等问题。经调查研究确定介损试验受Garton效应影响出现测量不准确情况。Garton效应是M. Garton教授发现在含有纸的绝缘介质(塑料以及油的混合介质)中, 在较低电压下介质损耗正切值的变化可以比较高电压下的值高1~10倍^[1-3]。

减少Garton效应影响的方法就是提高试验电压^[4-6]。传统高压介损测试采用普通试验变压器升压, 常规介损测试仪外接高压标准电容的方式。这种方式试验电源容量及试验变压器容量要足够大, 波形不能畸变, 无法采用反接线对地试品进行测试; 现

场干扰较大情况下测试结果偏差较大。这些特点制约了现场的开展, 更多的在实验室进行。

1 常规10 kV下介损试验存在的问题

在现场10 kV下介质损耗测试^[7]中, 某些进口设备, 特别是500 kV断路器均压电容, 由于所采用的绝缘材料与国内电容器厂家采用的绝缘材料不同, 其 $\tan\delta$ 极容易出现超标现象, 容易判断设备不合格。产生此类现象的原因主要是由于在油纸和膜纸的高压电容器中均存在Garton效应^[8-13], 常规10 kV介质损耗试验电压往往远低于额定电压, 测试结果较高压下偏大, 从而可能误判断设备不合格。由于Garton效应在国内研究的很少, 这一问题很少有人重视, 因此过去电容器介损测试值偏大、测试数据重复性差的问题一直被认为是现场干扰所致。

目前, 发现断路器、变压器套管、电容式电压互感器等电容式设备绝缘缺陷的主要手段是进行

收稿日期: 2011-10-15; 修回日期: 2011-10-28

10 kV 下的介损试验,通过测量介损($\tan\delta$)的大小,可以发现绝缘整体受潮、油或浸渍物脏物、劣化变质等缺陷。但是,10 kV 的试验电压远低于设备的运行电压,不能真实反映设备运行时的状况,原本判断合格的设备运行一段时间后却发生故障,甚至引起爆炸。

针对以上情况分析原因如下:当设备绝缘干燥彻底、内部绝缘良好时,10 kV 下的介损试验合格,且交流耐压试验、雷电冲击试验及局部放电试验也全部合格,这些试验手段很难发现一些内部潜在性杂质等缺陷,在下一个试验周期前,微小缺陷迅速发展扩大造成的。当发现设备内部受潮、存在局部放电或导电性杂质等缺陷时,其介质损耗与试验电压关系非常大。通过测量介损与试验电压的关系曲线,可以有效的检出设备绝缘缺陷,减少或避免设备的事故。

2 现场试验方法探讨

受 Garton 效应影响,电容器介损测试结果不能代表设备真实状况,造成无法判断设备绝缘状况,有时甚至造成误判断,引起不必要的人力、物力损失。因此,现场必须排除 Garton 效应的影响。

要达到消除 Garton 效应的效果,最佳方案就是提高试验电压,开展高压介损试验。而现有的高压介损装置,设备笨重、抗干扰差,无法在现场预试工作中广泛开展。因此解决之道是研制轻型高压介损装置。根据 500 kV 现场高压电容器电容量大、数量多的特点,采用串谐振调频方式升压,则可大大减轻整套装置的重量,为了使测试结果准确,频率应控制在 45~55 Hz 之间。

对于测试的试验电压,从积累的试验数据来看,只要超过 30% 的额定电压,测试结果便可代表设备额定电压下的实际值,因此,现场只需升到设备 50% 额定电压即可,当设备在 50% 额定电压下数据仍不稳时,再进行额定电压下介损试验,来排除 Garton 效应影响,不能仅从 10 kV 下测试数据就盲目判断设备是否合格,从而避免引起误判断,造成不必要损失。

3 高压介损试验原理及试验方法

近年来变频抗干扰技术在介损测试中得到普遍认可。在高压介损测试上,可利用轻便型的串谐振电源代替普通试验变压器,通过调频谐振技术实现变频抗干扰,并针对现场实际实现反接线高压介损测试,达到现场方便开展高压介损要求、解决 Garton

效应影响试验结果的问题。

采用串谐振电源多通道高压介损测试系统结构原理图见图 1。串谐振电源由桥体内置数字电源配套励磁变、电抗器组成,并通过专门设计的多通道高压介损电桥进行测试的方案对高压设备进行高压介损试验。

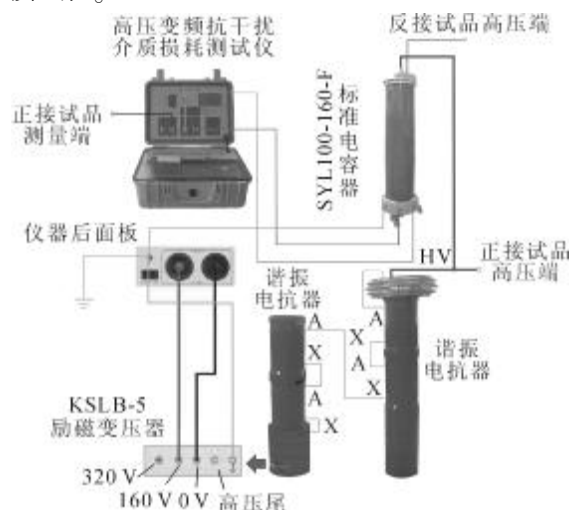


图 1 系统结构原理图

Fig. 1 System structure principle diagram

根据工作现场实际情况,测试时可灵活选用正接线、反接线、多通道测量等方式对存在问题的设备进行高压介损测试。

3.1 正接线测量方式

与常规介损接线方式一致。在两端不接地的被测设备一端加压,另一端接测量线,测量即可。

3.2 反接线测量方式

针对现有高压介损装置均无法实现反接线高压介损测试的现状,通过对高压标准电容进行改进后即可实现。

反接线时,高压标准电容侧高压端经过一采样电阻接至试品,采样电阻采得信号经过光纤传递,由高压标准电容底部引出接线端接至电桥。通过这种方式,便可实现反接线高压介损测试,使得试验设备一端接地无法进行高压介损试验的状况得以解决。

3.3 多通道测量方式

为了提高试验时的工作效率,该套装置设计了 4 通道测量方式,可支持两正接、两反接接线方式,可同时对 4 只电容器进行测试。

目前公司变电站所有 500 kV 断路器断口均为 2 个,对 1 只断路器进行高压介损试验时,可采用双测量通道的模式。双通道测量有两种情况,在断路器两断口中间法兰施加高压,2 个均压电容的另一侧分别接测量通道 1 和测量通道 2,双通道同时正

接线测量;另一种模式是当断路器一侧为老虎口不方便打开地刀正接线测量的情况下,一个接反接线通道,另一个接正接线通道,2 个试品同时测量。

4 断路器并联电容高压介损试验

笔者以断路器为例进行高压介损试验。

4.1 正接线方式

2009 年 9 月 23 日,在某变电站对 1 台 500 kV 断路器进行介损试验时,发现 10 kV 下 A 相南侧均压电容器介损为 0.9%,明显超标(国家电网公司企业标准《输变电设备状态检修试验规程》中规定^[4]:膜纸符合绝缘的介质损耗因数 $<0.25\%$)。于是进行了高压介损测试,采用单通道正接线方式,测试结果见表 1,拟合曲线见图 2。

虽然高压介损测试时 10 kV 测试结果与常规 10 kV 测试结果相比已经明显下降,但仍可以看出随着试验电压的升高,介质损耗因数 $\tan\delta$ 明显下降的趋势,证实了 Garton 效应影响的说法。同时也证明了串谐式高压介损测试仪可以排除 Garton 效应对并联电容 $\tan\delta$ 的影响,避免了常规 10 kV 介损试验结果过大而更换电容造成的经济损失。

4.2 反接线方式

2009 年 8 月,在对 1 台 500 kV 断路器进行 10 kV 常规介损试验时,发现 B 相西侧并联电容的 $\tan\delta$ 为 0.616%,超过了规程中对油纸绝缘电容器介损值不大于 0.5%的规定。

为了验证电容 $\tan\delta$ 增大是由于 Garton 效应还是由于电容本身绝缘损伤引起的,对断路器 B 相西侧并联电容进行了高压介损测试。由于断路器 B 相西侧隔离开关另一侧带电,接地刀闸拉开后感应电极大,同时没有了可能来电侧短路接地的保护,不能保证人身设备安全,因此采用了反接线方式对电容进行了测试,试验数据见表 2,拟合曲线见图 3。

通过对电容进行了高压介损,验证了此电容为 Garton 效应引起的 $\tan\delta$ 增大,本身绝缘没有损坏,可以继续正常运行,避免了更换电容造成的不必要的损失。另外,利用反接线方式可以在无法进行正接线测试的情况下,对断路器并联电容进行测试,减少了拆接线造成的工作量。

4.3 多通道测量

2009 年 10 月,对 1 组 500 kV 断路器 A、B 两相的 4 只并联电容分别进行了高压介损试验,然后又对两相断路器西侧并联电容进行两通道正接线高压介损试验、对两相断路器东侧并联电容进行两通道反接线高压介损试验,以及对两相 4 只并联电

表1 断路器并联电容高压介损测试数据
Tab. 1 The HV dielectric loss test datas of circuit breaker's parallel capacity

电压/kV	电容/pF	介损/%
10.10	1 731	0.128
19.94	1 731	0.128
30.09	1 730	0.127
40.06	1 730	0.117
50.09	1 732	0.102
60.09	1 732	0.097
70.06	1 731	0.093
80.00	1 732	0.092
90.07	1 731	0.089
99.72	1 733	0.089
109.90	1 733	0.087
119.80	1 730	0.083
129.50	1 730	0.081
139.50	1 731	0.078
139.60	1 731	0.080
129.80	1 732	0.080
119.90	1 733	0.083
110.10	1 729	0.085
99.92	1 732	0.086
89.94	1 732	0.090
80.15	1 731	0.093
69.91	1 731	0.095
60.10	1 732	0.101
49.92	1 733	0.105
40.06	1 728	0.118
30.03	1 729	0.126
20.08	1 731	0.129
10.13	1 729	0.130

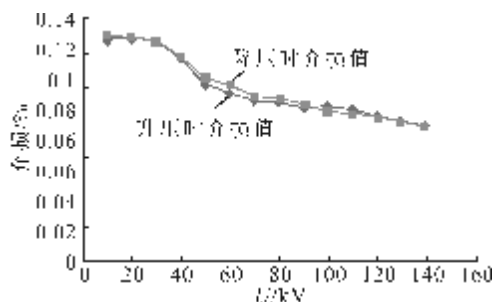


图 2 拟合曲线

Fig. 2 Fitting curve

容进行 4 通道正、反接线高压介损试验。

测试结果表明,单独进行高压介损试验与多通道几个电容同时进行高压介损试验的数据保持一致,从而验证了多通道几个电容同时进行高压介损试验的可行性与有效性。

表2 断路器并联电容高压介损测试数据
Tab. 2 The HV dielectric loss test datas of circuit breaker's parallel capacity

电压/kV	电容/pF	介损/%
10.10	1 018	0.603
20.05	1 018	0.591
30.11	1 018	0.305
40.03	1 018	0.197
49.99	1 017	0.112
60.01	1 018	0.098
70.25	1 017	0.096
80.20	1 019	0.093
90.00	1 018	0.089
100.20	1 017	0.087
110.10	1 017	0.083
119.90	1 018	0.079
130.10	1 018	0.075
140.00	1 017	0.074
150.20	1 019	0.073
160.00	1 017	0.072
150.10	1 018	0.072
139.90	1 018	0.073
130.30	1 017	0.073
120.00	1 018	0.073
110.20	1 018	0.075
99.98	1 018	0.078
90.06	1 018	0.080
80.25	1 019	0.081
69.86	1 018	0.083
60.11	1 019	0.086
49.98	1 017	0.088
40.03	1 018	0.092
30.02	1 018	0.097
20.01	1 017	0.098
10.03	1 019	0.102

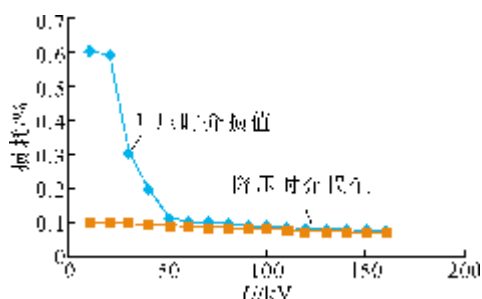


图3 拟合曲线

Fig. 3 Fitting curve

4.4 小结

从以上3种测量方式可以看出,对于受 Garton

效应影响较大的设备进行高压介损测试,可以解决因 Garton 效应引起的 10 kV 下测试结果偏大、无规律且无法判断设备绝缘状况的问题,从而减少了停电时间及更换电容带来的损失。

5 受 Garton 效应影响较小设备的高压介损试验方法

对于受 Garton 效应影响较小的设备也需要进行高压介损测试。10 kV 介损不能发现高压设备游离放电或某些带电粒子引起介损变化的缺陷,同时电容内部局部击穿的缺陷也很难发现。

过去曾遇到过运行中 CVT 二次电压降低,停电进行 10 kV 介损电容量及介损测试正常,而运回试验室进行高压介损测试发现了电容量已经变化,分析 10 kV 下由于电压较低,为引起局部击穿,而升到额定电压下缺陷部位击穿引起了电容量的变化。因此,有必要对受 Garton 效应影响较小的设备进行高压介损试验。

6 结语

利用串联谐振方式获得试验电源,可大大降低高压介损测试装置的重量;采用多通道可以同时测量几个试品,既能缩短试验时间,又能减少串联电感量,降低设备重量;使用反接线高压介损试验可测试现场的接地试品。上述措施可以很好地解决传统高压介损试验在现场难以开展的测试问题,使得在现场开展高压介损试验成为可能,并有效地克服了 Garton 效应对介损测试结果的影响。

将文中测试方法应用于新建设备,可以准确判断是否合格,避免购买使用介损超标设备;对运行中设备,则可及时反映运行状况,避免设备带病运行,为状态检修提供可靠依据,大大减少电网停电时间以及拆卸更换电容带来大量的人力物力损失,减少停电时间。

参考文献:

- [1] SRINIVAS M B, SUZUOKI Y, NAGAO M, et al. Dielectric loss behavior of liquid nitrogen uniform fields millimeter gap [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2000, 7(2): 296-302.
- [2] TOKORO T, NAGAO M, KOSAKI M. High-field dielectric property and AC dissipation current waveform of polyethylene film [C]//Proceedings of the 3rd International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials. Tokyo: IEEE, 1991: 1072-1075.
- [3] TAKAHASHI T, NAKAJIMA T, NAKADE M, et al. Dielectric

- characteristics of oil filled cable insulation impregnated by extremely bad $\tan\delta$ oil[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2006, 7(2): 258-261.
- [4] 赵建保, 肖红玉. 断路器电容器介损随电压变化关系的研究[J]. 上海电力学院学报, 2008, 24(4): 341-345.
ZHAO Jian-bao, XIAO Hong-yu. Research on dielectric loss variation of circuit breaker capacitors with voltage[J]. Journal of Shanghai University of Electric Power, 2008, 24(4): 341-345.
- [5] 阎春雨, 陈志勇, 高 骏. 电流互感器现场高压介损测量[J]. 高压电器, 2009, 45(2): 87-89.
YAN Chun-yu, CHEN Zhi-yong, GAO Jun. High-voltage dielectric loss measurement for current transformer on site[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(2): 87-89.
- [6] 孙恒峰, 张 扬, 孙正华, 等. 均压环的漆膜对断口均压电容器介损测量的影响[J]. 高压电器, 2010, 46(8): 70-71.
SUN Heng-feng, ZHANG Yang, SUN Zheng-hua, et al. Influence of grading ring's paint film on measurement of grading capacitor's dielectric loss[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(8): 70-71.
- [7] 陈化钢. 电气设备预防性试验方法[M]. 北京: 水利电力出版社, 1994.
CHEN Hua-gan. Electrical equipment preventive test method[M]. Beijing: China Water Power Press, 1994.
- [8] 左文启, 汪 倩, 谢励耘, 等. Garton 效应对膜纸复合绝缘电容器介损测量值的影响及对策[J]. 绝缘材料, 2010, 43(1): 71-74.
ZUO Wen-qi, WANG Qian, XIE Li-yun, et al. Influence of garton effect on the measurement values of dielectric loss of film-paper composite dielectric capacitor and some countermeasures[J]. Insulating Materials, 2010, 43(1): 71-74.
- [9] 孙鹏举, 吕洪明. 高压断路器断口均压电容器介损损失角增大原因分析及解决措施[J]. 高压电器, 2009, 45(2): 97-98.
SUN Peng-ju, LÜ Hong-ming. Analysis of grading capacitor $\tan\delta$ expansion for high voltage circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(2): 97-98.
- [10] 黄敏如, 李顺尧. 油纸电容式套管介损测试误差原因分析与处理[J]. 高压电器, 2008, 44(5): 483-485.
HUANG Min-ru, LI Shun-yao. Analysis and treatment on $\tan\delta$ measuring error of oil paper capacitive bushing[J]. High Voltage Apparatus, 2008, 44(5): 483-485.
- [11] BARTNIKAS R. Dielectric loss in insulating liquids[J]. IEEE Trans. Electrical Insulation, 1967, 2(1): 33-54.
- [12] 叶海福, 姚永和, 于成龙. 膜纸复合型高压脉冲电容器电容量漂移的研究[J]. 高压电器, 2007, 43(1): 29-31.
YE Hai-fu, YAO Yong-he, YU Cheng-long. Research on capacitance variability of high voltage pulse capacitors composed of polypropylene and paper[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(1): 29-31.
- [13] 杨晓东, 唐 超, 廖瑞金. 电容型设备改进型介损数字化测量方法的研究[J]. 高压电器, 2007, 43(6): 460-462.
YANG Xiao-dong, TANG Chao, LIAO Rui-jin. Improved harmonic analysis methods for measuring dielectric loss of capacitive equipment[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(6): 460-462.
- [14] Q/GDW 168—2008. 输变电设备状态检修试验规程[S].
Q/GDW 168—2008. Regulations of condition-based maintenance & test for electric equipment[S].
- 徐 亮(1982—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事高压电气试验、绝缘监督方面的工作。
- 冯玉柱(1965—), 男, 高级工程师, 主要从事高压电气试验、绝缘技术监督方面的工作。
- 冯新岩(1980—), 男, 技师, 主要从事高压电气设备故障诊断、绝缘监督方面的工作。
- 顾 岩(1984—), 女, 助理工程师, 主要从事高压电气试验、绝缘监督方面的工作。

(上接第 65 页)

- Insulators and Surge Arresters, 2009(4): 1-4.
- [15] 程登峰, 蒋兴良. 不同形式绝缘子串覆冰直流闪络特性的研究[J]. 电瓷避雷器, 2009(4): 5-8.
CHENG Deng-feng, JIANG Xing-liang. Study on DC flashover performances of different types string insulators of ice-coated[J]. Insulators and Surge Arresters, 2009(4): 5-8.
- [16] 胡 琴, 付 涛, 向俊杰, 等. 棒形悬式复合绝缘子覆冰操作冲击特性的研究[J]. 电瓷避雷器, 2008(3): 6-9.
HU Qing, FU Tao, XIANG Jun-jie, et al. Study on switching flashover performance of iced composite rod insulator[J]. Insulators and Surge Arresters, 2008(3): 6-9.
- [17] GB/T 2317.2—2000. 电力金具电晕和无线电干扰试验[S].
GB/T 2317.2—2000. Corona and RIV tests for electric power fittings[S].
- 陈锡阳(1972—), 男, 本科, 高级工程师, 从事输电线路管理工作。