

750 kV GIS 设备变频串联谐振交流耐压试验研究

张 凯, 巩云峰, 杨志华, 胡春江

(甘肃省电力公司电力科学研究院, 兰州 730050)

摘要:现场交流耐压试验是鉴定电气设备绝缘强度最严格、有效和直接的方法,对判断电气设备是否能安全稳定投入运行具有重要意义。该文主要介绍了 GIS 系统结构特点及变频串联谐振交流耐压的试验原理,并在实践中对 GIS 系统进行耐压试验。

关键词:GIS; 串联谐振; 交流耐压试验

中图分类号:TM51 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-0682(2014)04-0099-03

The research of series resonant frequency AC withstand voltage test for 750 kV GIS equipment

ZHANG Kai, GONG Yunfeng, YANG Zhihua, HU Chunjiang

(Gansu Electric Power Research Institute, Lanzhou 730050, China)

Abstract:The AC withstand voltage test on site is the most strict and effective and direct method of identifying electrical equipment insulation strength. This paper describes the structural characteristics and GIS system resonant frequency AC withstand voltage test principle and in practice for the GIS system pressure test.

Key words: GIS; series resonance; AC withstand voltage test

0 引言

GIS 是气体绝缘全封闭组合电器(gas insulated substation)的英文简称,它主要由断路器、隔离开关、接地开关、互感器、避雷器、母线、连接件和出线终端等组成。这些设备或部件全部封闭在金属接地的外壳中,在其内部充有一定压力的 SF₆ 绝缘气体,故也称 SF₆ 全封闭组合电器。GIS 具有占地面积小,元件全部密封不受环境干扰,运行可靠性高,检修周期长,维护工作量小,安装迅速,运行费用低等优点。GIS 设备故障率低,但 GIS 一旦发生故障时停电范围比普通同类设备大,且故障点在气室内难以查找定位,恢复供电慢,因此 GIS 设备的健康水平对整个电网系统能否安全可靠运行就显得尤为重要。GIS 现场总体安装后的交流耐压试验是出厂绝缘试验的补充,验证是否存在各种隐患(如安装错误,包装运输、储存和安装调试中的损坏,存在异物等)而导致内部故障。在现场交流耐压试验时,由于 GIS 系统的电容量大,现

有工频交流耐压设备不能满足现场试验需求,而变频串联谐振装置依靠大功率变频电源调节电源频率,利用电抗器的电感与被试品电容实现串联谐振,通过这种方法实现在电压较低的试验变压器得到较高的试验电压,是目前高电压试验的一种新方法,在国内外已经得到广泛应用。

1 变频串联谐振试验方法的特点

在交流耐压试验中,通常有工频耐压试验和变频串联谐振耐压试验,工频耐压试验的电压通常采用高压试验变压器产生,而变频串联谐振耐压试验与工频耐压试验比较具有以下优点:变频串联谐振是谐振式电流滤波电路,能改善电源波形畸变,获得较好的正弦电压波形,有效防止谐波峰值对被试品的误击穿;变频串联谐振工作在谐振状态,当被试品的绝缘点被击穿时,电流立即脱谐,回路电流迅速下降为正常试验电流的 10%;发生闪络击穿时因失去谐振条件,短路电流瞬间下降,高电压瞬间消失,电弧即可熄灭;恢复电压的再建立过程很长,容易再次达到闪络电压而断开电源,适用于高电压、大容量电力设备绝缘耐压试验(如 GIS 变电站、高压交联电力电缆、发电机、大型变压器、隔离开关、互感器等)。

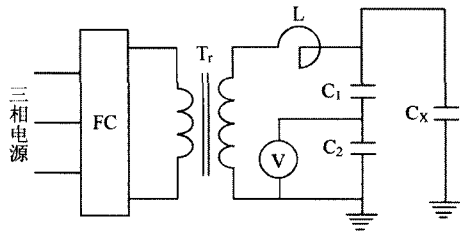
收稿日期:2014-04-28

作者简介:张凯(1982),男,硕士研究生,国网甘肃省电力公司电力科学研究院电气试验专工,研究方向为高压电气试验。

因此,变频串联谐振交流耐压试验既能有效地找出设备的绝缘弱点,又有不存在大短路电流烧伤故障点的优点。

2 变频谐振试验原理

串联谐振耐压试验是利用电抗器的电感和被试品的电容来实现串联谐振,通过调节频率使串联回路中的感抗等于容抗,使试验回路达到谐振状态,因此在被试品上可获得高电压。串联谐振工作原理如图1所示。



L - 串联电抗器; C_1 、 C_2 - 分压电容; FC - 变频电源;
V - 电压表; T_r - 试验变压器; C_x - 试品电容

图1 串联谐振回路原理图

根据电工学原理,串联回路中的容抗等于感抗时才产生谐振,公式如下:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C_x}$$

$$\text{谐振频率 } f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_x}}$$

$$\text{试验回路中的电流 } I_0 = \frac{U_{ex}}{R} = U\omega C_x$$

$$\text{被试品上的电压 } U_{cx} = \frac{1}{\omega C_x}$$

$$\text{试验回路的品质因数 } Q = \frac{U_{cx}}{U_{ex}} = \frac{\omega L}{R}$$

式中: U_{cx} 为励磁电压, U_{ex} 为 GIS 耐压值, R 为高压回路中的有效电阻, ω 为电源的角频率。

由于试验回路中的 R 很小,故试验回路的品质因数很大。在大多数正常情况下, Q 可达 50 左右,即输出电压是励磁电压的 50 倍,因此用这种方法能用电压较低的试验变压器得到较高的试验电压。由于试验时回路处于谐振状态,回路本身具有良好的滤波作用,电源波形中的谐波成分在试品两端大为减少,通常输出良好的正弦波形电压。

当被试品击穿时,电路失去谐振条件,电源输出电流自动减小,试品两端的电压骤然下降,从而限制了对被试品的损坏程度。因此利用串联谐振试验方法能够以较小容量试验设备对较大容量的 GIS 设

备进行交流耐压试验。

3 750 kV GIS 交流耐压试验实例

选择 750 kV XX 变电站三期扩建工程 XX 一线、XX 二线、II 母主绝缘及 I 母主绝缘(I 母东端 T 接处理后)、隔离开关、断路器断口进行交流耐压试验。以 C 相为例说明整个试验过程。

3.1 主要试验设备

1) 变频电源

输出电压 350 V, 额定电流 571 A, 频率范围 20 ~ 300 Hz, 额定输出持续工作时间 3 h;

2) 高压电容分压器(共 4 级)

额定电容 4 000 pF(单级), 额定电压 250 kV;

3) 高压电抗器(共 4 台)

额定容量 1 500 kVar, 额定电压 250 kV; 额定电流 6 A, 电感量 150 H;

4) 试验变压器

额定容量 240 kVA, 额定电压 40 kV/400 V、340 V。

3.2 试验频率计的高压电流计算

该 GIS 设备额定电压为 800 kV。根据厂家提供的该部分电容量约为 7 000 pF, 串联电抗器电感 $L = 600$ H, 分压电容器 4 节串联测量后的电容量为 1 000 pF, 则:

$$C_x = 7\,000 + 1\,000 = 8\,000 \text{ pF}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC_x}} = 455, f = \frac{\omega}{2\pi} = 72 \text{ Hz}$$

输出电流为 $I_0 = U\omega C_x = 2.7$ A, 励磁变比为 40/0.34 = 117.6, 输入电流为 300 A。

3.3 试验方法

1) 老练试验

老练试验是指在对被试设备进行交流耐压试验前,阶梯式施加较低于耐压试验电压值的交流耐压,并保持一定时间。从而将设备中可能存在的活动微粒杂质迁移到低电场区域里去,使这些微粒对设备的危害性降低,甚至没有危害,同时通过放电烧掉细小的微粒或电极上的毛刺、附着的尘埃等。

2) 交流耐压试验

750 kV GIS 设备交流耐压试验,按照 Q/GWD 157—2007《750 kV 电力设备交接试验标准》的要求,试验电压(U_d)应按出厂交流耐压试验电压 80% 计算,厂家提供的出厂交流耐压值 U_f 为 960 kV,即对 GIS 主回路施加 $U_f \times 0.8 = 768$ kV 的电压,时间为 1 min。耐压试验前先进行老练试验,其老练和耐压加压程序为:

$$0 \rightarrow U_f / \sqrt{3} \text{ (即 } 462 \text{ kV) 持续 } 10 \text{ min} \rightarrow U_d \times 0.75$$

(即 570 kV) 持续 5 min → U_{ds} (即 768 kV) 持续 1 min。 $U_r = 800$ kV。

加压程序如图 2 所示。

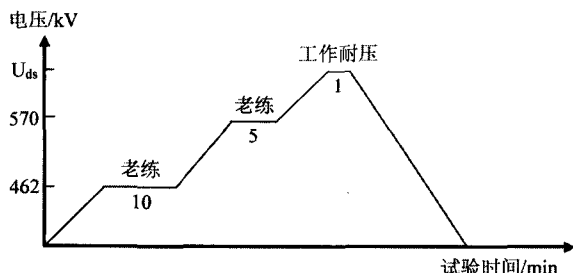


图 2 主回路绝缘试验加压程序示意图

按照 GB 16927.1—1997《高电压试验技术第一部分：一般试验要求》规定，在整个试验过程中试验电压的测量值应保持在规定电压值的 $\pm 1\%$ 以内。

3.4 试验结果

如果 GIS 每个部件均按选定的完整试验程序承受规定的试验电压而无击穿放电，则整个 GIS 通过试验。

试验过程如果发生击穿放电，应根据放电能量和放电引起的各种声、光、电、化学等放电效应及耐压试验过程中其他故障诊断技术提供的试验结果进行综合判断。遇有放电情况，可采取以下步骤。

1) 施加规定电压重复试验，如果设备或气隔未击穿或未闪络，则该放电为自恢复放电。如果重复试验电压达到定值和规定时间，则认为试品合格，否则按下项进行。

2) 设备解体，打开放电气隔，仔细检查绝缘情况。在采取必要的恢复措施后，方可进行下一次规定耐压试验。

该 GIS 交流耐压试验顺利通过，试验数据记录如表 1 所示。

表 1 试验数据

项目 试验部位	试验名称	U_1/V	I_1/A	f/Hz	相位角	U/kV
7530, 7532 及 II 母部分	老练试验	103	45	82.0	0	463.6
	耐压试验	136	54	82.1	17	567.1
7542 及 75402 断口	局放检测	224	73	82.1	5	756.5
	耐压试验	131	54	82.1	8	559.2
75421 断口	耐压试验	233	74	82.0	-1	762.4
75426 断口	耐压试验	246	63	98.4	4	761.2
		266	57	110.9	2	755.0

4 结论

GIS 耐压试验是一项大型试验，可有效发现 GIS 设备在生产、运输、安装、运行中的缺陷，但是存在试验电压高、危险点多、过程复杂等问题。而串联谐振试验装置通过改变电源频率，能够以小容量的试验设备对大容量的 GIS 设备进行交流耐压试验，大大减轻了现场试验的工作量。串联谐振试验装置将在 GIS 设备交流耐压试验中获得越来越广泛的应用。

参考文献：

- [1] DL/T 555—2004 气体绝缘金属封闭开关设备现场耐压及绝缘试验导则[S]. 北京：中华人民共和国改革和发展委员会，2004.
- [2] DL/T 474.4—2006 现场绝缘试验实施导则，交流耐压试验[S]. 北京：中华人民共和国改革和发展委员会，2006.
- [3] 陈金祥. 用调频式串联谐振装置对 GIS 进行现场耐压试验[J]. 高压电器，2003(8):76-78.
- [4] GB/T 16927.1—2001 高电压试验技术第一部分：一般试验要求[S]. 北京：中国标准出版社，2011.

(上接第 104 页)

线信号传输稳定，能够有效地对煤矿井下的甲烷、一氧化碳进行实时跟踪检测，并能在检测浓度超过所设定的阈值时发出声光报警提示，为矿工在井下作业时的人身安全提供了有力保障。

参考文献：

- [1] 霍中刚. 我国煤矿安全技术现状及发展方向[J]. 煤矿安全，2008(12):122-125.
- [2] Sicignano D. Real-time tireless multi-hop protocol in

underground voice communication[J]. Ad. Hoc. Networks, 2011, 17(1):1-13.

- [3] 赵正杰. 基于 CC1110 的井下 SimpliTI 无线监测传感网络设计[J]. 中北大学学报，2013(2):195-198.
- [4] 杨丰. 基于 AT89C52 单片机便携式环境参数检测仪的设计[J]. 中国仪器仪表，2005:61.
- [5] 徐爱钧, 彭秀华. NRF401 无线收发模块应用[M]. 北京：电子工业出版社，2001:26-57.