

# 特高压变压器交流耐压及局部放电试验装置

仇新艳<sup>1</sup>, 李付亮<sup>1</sup>, 彭春燕<sup>2</sup>, 周有庆<sup>2</sup>, 潘 华<sup>3</sup>

(1. 湖南水利水电职业技术学院, 湖南 长沙 410131; 2. 湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082;  
3. 湖南省超高压管理局, 湖南 长沙 410017)

**摘要:** 综述了国内外特高压电力变压器交流耐压和局部放电试验装置的现状;以武汉高压研究院特高压试验基地 1 000 kV 变压器的试验数据为参考,提出了特高压电力变压器的交流耐压和局部放电的试验方法和试验电路。论述了装置中变频电源和高压电抗器的设计方法;进行了 750 kV 电压等级超高压电力变压器的交流耐压和局部放电试验,对试验数据进行了分析。试验结果证明了该试验装置及试验方法的合理性,同时表明该试验装置具有可靠性高、安全性好、实用性强的特点。

**关键词:** 特高压变压器; 交流耐压; 局部放电; 电力变压器

中图分类号: TM451

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)04-0094-03

## Test Equipment of UHV Transformer's AC Withstand Voltage and Partial Discharge Tests

QIU Xin-yan<sup>1</sup>, LI Fu-liang<sup>1</sup>, PENG Chun-yan<sup>2</sup>, ZHOU You-qing<sup>2</sup>, PAN Hua<sup>3</sup>

(1. Hunan Technical College of Water Resources and Hydropower, Changsha 410131, China;  
2. College of Electrical and Information Engineering of Hunan University, Changsha 410082, China;  
3. Hunan Ultra High Voltage Bureau, Changsha 410017, China)

**Abstract:** This paper summarized global research status of test equipment of UHV transformer's AC withstand voltage and partial discharge tests. Referred to the 1 000 kV-transformer testing data from UHV test-base of Wuhan high voltage research institute, a testing method and a circuit schematic diagram are both proposed, which are applied in ACWV test and PD test on UHV equipments. Design methods of frequency conversion power supply and high voltage reactor in the equipment are discussed. This paper has proved the rationality of the testing appliance by analyzing the data from ACWV test and PD test on 750 kV EHV equipments, and the data demonstrates that the testing equipment has high stability, good security, strong practicability and good potential in application.

**Key words:** ultra high voltage transformer; AC withstand voltage; partial discharge; power transformer

## 0 引言

随着电力负荷的快速增长,远距离、大容量输电急需增加超高压、特高压电网<sup>[1]</sup>。在特高压系统中,电气设备是它的核心部分,电能的顺利传送有赖于其稳定可靠的运行。电气设备的生产部门在电气设备出厂时进行了严格的测试。由于设备体积大,必须分解成小的单元运输到工作场地,现场组装,在现场对电气设备进行测试就显得非常重要。一方面需要检查安装是否正确,另一方面检查运输中设备是否破损或受潮等。电气设备的交流耐压和局部放电试验是反映电气设备绝缘状况的一种很有效的手段,交流耐压试验反映电气设备耐受过电压的能力和在

正常运行情况下的电压耐受水平;局部放电试验用于测试电气设备在超过运行电压下的局部放电水平,能够准确反映电气设备的健康状况和老化程度<sup>[2]</sup>。特高压的电气设备尤其需要测试这两项参数<sup>[3]</sup>。

在超高压及特高压系统中,高压电器的交流耐压及局部放电试验主要采用串联谐振及中频发电机组的方式,尚未出现使用一套装置进行高压电器的交流耐压和局部放电试验的情况。无局放串联谐振试验系统的方式目前还无法进行变压器的试验<sup>[4]</sup>;中频发电机组的方式,输出频率单一,只能满足高压电力变压器的交流耐压和局部放电试验,但中频发发电机组的方式存在体积大、生产成本低、生产周期长、运输不方便等缺点,同时在进行交流耐压和局部放电试验时,当输出的补偿电抗器和被试品的电容

收稿日期:2009-03-23; 修回日期:2009-05-12

作者简介:仇新艳(1975),女,助理实验师,主要从事电气实验室管理与建设。

器达到完全补偿时,会出现自激现象,影响被试品的安全。针对以上情况,提出了一种新的特高压电器交流耐压和局部放电试验装置,其具有体积小,频率可调的特点,适用于多种试验对象,适合现场工作<sup>[5]</sup>。

### 1 试验原理

对特高压电力变压器进行交流耐压和局部放电试验,采用的是低压感应加压方式,即利用变压器自身的变比,在变压器的低压侧加压,在高压侧感应出高压,其试验原理见图1。

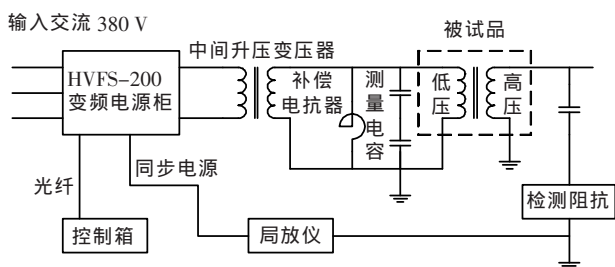


图1 交流耐压和局部放电试验原理图

现以武汉高压研究院进行的国内第1次特高压电力变压器交流耐压和局部放电试验为例,来验证该试验原理的正确性。试验中的设备参数见表1。表1中,试验条件为相对湿度78%,温度7℃;试验对象为武汉高压研究院特高压基地1000kV主变压器B相;试验内容为1000kV变压器交流耐压试验和局部放电试验。

表1 试验接线图1中所用到各部件参数表

部件名称	各个部件参数	
变频电源	额定功率/kW	400
	额定输出电流/A	1142
	波形畸变率/%	<3
	额定输出电压/V	0~350
	频率调节范围/Hz	20~300
	重量/t	1.8
中间升压变压器	额定容量 kV·A	400
	额定电压 kV	2×40
	短路阻抗/%	5
补偿电抗器	重量/t	4
	额定电压/kV	40
	额定电流/A	30
测量电容	额定容量/kV·A	1200
	额定电压/kV	100
	电容量/pF	1000
	分压比	1000:1
被试品型号为 DZ-40000/1000	测量误差/%	2
	引入损耗/%	0.1
	额定电压/kV	1050/35
	额定电流/A	60/1142
绝缘水平/kV	额定容量/MV·A	40
	短路阻抗%	9
	空载电流%	0.11
	绝缘水平/kV	AC2 250/1 800/1 100

进行试验时,按照标准 GB 1094.3-2003 进行长时间交流耐压试验的同时检测局部放电量,并且分段进行交流耐压试验和局部放电试验测量。对每段的测试数据见表2。

表2 国内首台特高压电力变压器交流耐压和局部放电试验数据

每段的测量量	试验电压在 1.10U <sub>m</sub> 时	试验电压在 1.31U <sub>m</sub> 时
电源电压/V	395.0	391.0
电源电流/A	421.0	531.0
被试品低压侧电流/A	15.0	25.0
测量的局部放电水平/pC	44.0	98.0
补偿电抗器电流/A	11.0	19.0
被试器高压侧电流/A	0.2	0.3

通过以上数据说明,利用文中设计的试验回路,用较小容量的电源就能够完成特高压电力变压器的交流耐压和局部放电试验。

### 2 变频电源技术性能分析

对特高压电力变压器进行交流耐压和局部放电试验,重点在于如何解决获取超过特高压电压的高电压电源。

获取高电压电源的目的是使特高压电力变压器在短时间内承受超过额定电压水平的电压,考核其承受过电压的能力。解决方案分3个方面:第1方面,由于总电压来自低压配电源,需要解决将配电源转换为可以控制的大容量试验低压电源,该电源具有调频调压功能,而且没有高频干扰;第2方面,需要一个升高电压的装置,将低压电源升高到试验需要的电压;最后是测量部分,测量试验电压、电流、局放水平、频率等参数,流程见图2。

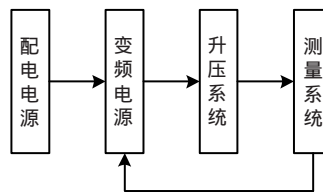


图2 获取高压电源流程图

图2中变频电源主要靠电力电子技术来实现,并能够进行微机测量与控制。其实现的回路流程见图3,从图中可以看出,变频电源实际上是一个功率放大器,它将一个微弱的可变频的标准正弦波信号,通过逐级放大,实现大功率输出,即成为一个功率达到数千瓦的电源装置。在这个功率放大器中,正弦波信号失真度很小,且频率可以调节,同时,还可以进行输出电压的调节,这样整个功率放大器能实现很多方面的功能。

在这个放大器中,每个部分的功率从前面一级

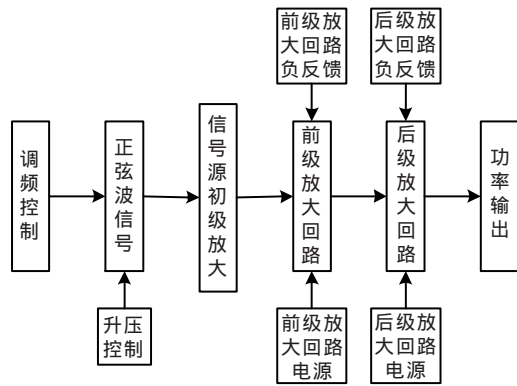


图3 变频电源的回路流程图

获取信号,然后通过直流电源实现放大。整个放大器分为3级:初级放大、前级放大和后级放大。初级放大仅仅是正弦波信号的初始放大,信号获得的功率很小,而且输出电压也很低,这个部分可以实现频率调节和电压调节;前级放大是将初级放大的信号进一步放大,前级放大回路完成从信号源到初始功率输出,其输出功率很小(<100 W),便于调频和升压控制;后级放大回路是主回路,其接收到信号后完成功率放大,主要靠在放大回路中使用大量的大功率三极管并联运行来实现。这个回路中使用的组件数量很多,电路也很复杂,因此合理的布局也是其中的关键所在。

### 3 高压电抗器技术性能分析

高压电抗器一般使用油浸式,采用空心线圈,确保电抗器自身的局部放电水平不会影响到试验回路的局部放电测量,变压器局部放电试验时主要采用并联补偿高压电抗器,其特点如下: 额定电压低。并联补偿电抗器工作在特高压电力变压器低压侧,由于被试品的低压侧电压相对较低(额定电压110 kV),并联电抗器的电压不需要很高; 容量大。由于被试品的对地电容量,补偿电抗器必须有2倍被试品的电容容量才能够满足完全补偿的目的<sup>[5]</sup>; 多台电抗器并联运行。一方面提高补偿电流,另一方面减小单台电抗器的体积,方便运输,也降低制造的工艺工求; 工作时长。由于每相测量局部放电的时间在一个小时以上,电抗器内部的发热很高,在进行另外一相试验时电抗器内部温度并未完全降低,其满负载连续工作时长在3个小时以上。

### 4 模拟现场试验

基于工程实际情况及理论分析制作出样机,其中样机在制作过程中,严格按照产品规范要求设计。选择750 kV电压等级电力变压器在特高压试验基地进行测试,以校验设计的合理性。在进行试验时,按照标准在进行长时间交流耐压试验的同时检测局

部放电量,并且分段进行了交流耐压试验和局部放电试验测量。试验回路参数见表3,对每段的试验测量数据见表4,表3中试验条件为相对湿度58%,温度27℃;试验对象为青海官亭750 kV变电站1号主变A相;试验内容为750 kV变压器交流耐压试验和局部放电,生产厂家为保定天威保变电气股份有限公司。

表3 试验接线图1中所用到各部件参数表

部件名称	各个部件参数	
变频电源	额定功率/kW	400
	额定输出电流/A	1 142
	波形畸变率/%	<3
	额定输出电压/V	0~350
	频率调节范围/Hz	20~300
	重量/t	1.8
中间升压变压器	额定容量 kV·A	400
	额定电压 kV	2×60
	短路阻抗/%	6
补偿电抗器	重量/t	5
	额定电压/kV	60
	额定电流/A	30
测量电容	额定容量/kV·A	1 800
	额定电压/kV	100
	电容/pF	1 000
	分压比	1 000:1
	测量误差/%	2
	引入损耗/%	0.1
被试品型号为 ODFS-500000/750	额定电压/kV	765/√3 /345/√3 /63
	额定电流/A	1 132.1/2 381
	额定容量/MV·A	500
	短路阻抗/%	9
	空载电流/%	0.053
	空载损耗/kW	92.8

表4 750 kV 变压器交流耐压和局部放电试验数据

每段的测量量	试验电压在	
	1.5U <sub>m</sub> /√3 时	1.7U <sub>m</sub> /√3 时
电源电压/V	383.0	376.0
电源电流/A	551.0	731.0
被试品低压侧电流/A	28.0	35.0
测量的局部放电水平/pC	40.0	92.0
补偿电抗器电流/A	21.0	29.0
被试器高压侧电流/A	0.2	0.3

从表3、4数据可以看出,笔者设计的特高压电力变压器交流耐压和局部放电试验能够在现场可靠运行,并且解决了大功率的电源问题,试验时被试品的最高电压达到765 kV,为运行电压的√3倍,同时能够长时间工作,完整地测量了局部放电量,并且进行了交流耐压试验,为将来运行特高压的电器测试提供了借鉴数据。

通过测量局部放电,说明整个装置对被试品的局部放电测量的影响,在1.5U<sub>m</sub>/√3电压时能够分  
(下转第99页)

动 A/D 等待中断,最后进入循环数据采样、处理。

(2)通信程序主要管理 DSP 芯片中标准 I/O 接口及 SCI 接口接受来自片外的测试信号,发送油样采集装置的控制信号以及与上位机进行通信。其中,与上位机的通信采用 RS232 串口,它的驱动电路选用 MAX232 芯片。在该系统中通过 RS232 串口用户可采用便携式计算机在现场进行糠醛含量的测量及绝缘寿命的评定,下载测量数据;另外,用户也可以通过此串口发送可执行程序到 DSP 内部 FLASH,对系统进行维护升级。

(3)故障诊断程序对测试数据进行分析判断,结合存储读写程序与变压器油中糠醛含量历史数据进行比对,最后将结果保存在片内 FLASH,通过串口与上位机通信;如果糠醛测量结果超过故障诊断程序设定的某一危险阈值,则产生一个中断信号送至两个事件管理器模块 EVA 与 EVB,产生相应动作。

(4)运动控制程序在故障诊断程序发送的中断信号驱动下,通过 RS485 串口对油样采集装置的电磁阀及油泵进行动作控制。当故障诊断发现油中糠醛含量出现异常变化时,则提高电磁阀与油泵开关频率,提高采样频率,故障诊断程序对油中糠醛含量上升速率关切。

### 3 糠醛测量中的注意事项

(1)变压器油中糠醛含量的生成速率在其有效运行寿命的各阶段内是不同的,因此不同运行年份的变压器糠醛含量的“注意值”应不同,见图 6。

(2)糠醛的密度比水大,因此其在流动性差的油中分布不是均匀的,变压器底部糠醛浓度一般比上部大,这就要求在安装油样采集装置时对同型号变压器要有统一的标准。

(3)对于更换过绝缘油的变压器的绝缘老化测定,可通过在诊断程序中设置一个换油系数将新换油中糠醛含量表征的老化情况修正到未换油时的真实老化情况。这个系数还需要大量的数据统计与实验验证。

(上接第 96 页)

辨出小于 50 pC 的局部放电量,这就说明对于特高压电力变压器进行局部放电测量的可能性。

### 5 结论

(1)完成了特高压电力变压器交流耐压和局部放电试验装置的参数设计。

(2)与现代电子技术相结合,通过大功率三极管并联放大方式实现变频调压功能,满足电力工程现场测试需要的超大功率电源。

(3)通过试制样机成功的对国内 750 kV 超高压电力变压器进了交流耐压和局部放电试验。

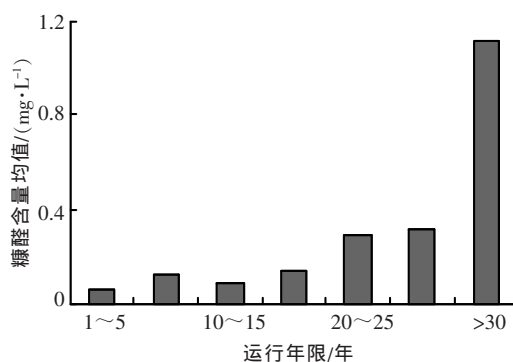


图 6 油中糠醛平均含量与运行年限的关系

### 4 结论

(1)高糠醛含量常预示绝缘纸聚合度下降,低糠醛含量却并不一定意味着绝缘纸具有较高的绝缘裕度,但是短期内(几个月)糠醛含量的显著变化则必然表明变压器内部存在隐患并引发故障的概率相当大;

(2)采用油中糠醛红外光谱测量法与 DSP 相结合的在线监测系统,避免了气相色谱法的理论误差,同时使变压器绝缘老化的预防性维修转变为视情维修,有效减少了停机时间及维修费用;

(3)利用 DSP 的 Bootloader 特性,结合 FLASH 烧写技术,通过和上位机的通信,实现了 DSP 系统的软件在线升级,使得系统的调试、安装和维护方便又经济;

(4)由于系统工作在强电磁环境下,因此受电磁干扰较大,监测结果复现性较差,如应用于现场,还须改进电磁屏蔽措施。

### 参考文献:

- [1] 尚勇,董明,赵文彬,等.油浸电力变压器固体绝缘老化的诊断[J].变压器,2002,39(12):35-39.
- [2] 江裕熬,陈志勇,高乃奎,等.高压充油电缆绝缘热老化的红外光谱分析研究[J].高压电器,2006,42(2):102-104.
- [3] 刘和平,王维俊,江渝,等.TMS320LF240x DSP C 语言开发应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2003.

### 参考文献:

- [1] 孙强.我国首批 750 kV 变压器与电抗器监造的探讨与小结[J].高压电器,2006,42(5):397-400.
- [2] 司文荣,李军浩,袁鹏,等.直线下局部放电试验与测量系统设计[J].高压电器,2008,44(4):326-328.
- [3] 陆宇航,杜伯学.时频匹配滤波法用于变压器局部放电模式识别的实验研究[J].中国电力,2008,41(10):16-18.
- [4] 郭俊,吴广宁,张血琴.局部放电检测技术的现状和发展[J].电工技术学报,2005,20(2):29-35.
- [5] LAI Jin-sheng. Multilevel Converters——a New Breed of Power Converters[J]. IEEE Trans. on Indus, 1996, 32(3): 509-517.