

直流下局部放电试验与测量系统设计

司文荣, 李军浩, 袁 鹏, 黄海波, 郭 宏, 李彦明

(西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要: 笔者组建了一套直流下局部放电试验与测量系统, 由放电脉冲波形超宽带测量系统和超高频信号测量系统组成。设计了 6 种油纸绝缘局放模型以模拟换流变压器的典型缺陷。直流下试验结果表明: 缺陷模型放电稳定, 相同条件下放电重复性好; 测量系统可以准确检测到放电脉冲波形和超高频信号。为研究直流下局部放电脉冲单个波形、脉冲序列以及超高频信号在线监测等提供了试验研究平台。

关键词: 直流; 局部放电; 超宽带测量; 超高频测量

中图分类号: TM835.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2008)04-0326-03

Design of Test and Detection System for Partial Discharge under DC Voltage

Si Wen-rong, Li Jun-hao, Yuan Peng, Huang Hai-po, Guo Hong, Li Yan-ming

(School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: A test system with UWB and UHF detection technologies was developed to measure partial discharge under DC voltage. According to the analysis of defects in oil-paper insulation of converter transformer, six corresponding PD models were designed. The experimental results of PD detection under DC show that the system can exactly detect pulse current waves and UHF PD signals with good stability and repetitiveness under same condition. This research provides a good test platform for study on single pulse current wave, PD pulse sequence and on-line monitoring technology of UHF PD signals under DC voltage.

Key words: DC; partial discharge(PD); UWB detection technology; UHF detection technology

0 引言

直流输电经历了 ± 100 、 ± 250 、 ± 400 、 ± 450 、 ± 500 、 ± 750 kV 的发展, 目前正发展 ± 800 kV 特高压直流输电技术。使用油纸绝缘的关键电工设备如换流变压器^[1], 它们的绝缘状态好坏直接影响直流输电的可靠程度, 而随着直流输电电压等级的不断提高, 相关电工设备油纸绝缘的某些薄弱环节就会产生直流局部放电, 这对设备有一定的破坏作用, 会导致该设备运行出现故障。据此, 研究油纸绝缘的直流局部放电具有重要的意义。

直流下局部放电的研究是从 20 世纪 50 年代开始的。国外学者主要研究了施加电压的时间、电压及其脉动系数对放电重复率的影响^[2, 3], 以及长时间条件下的放电脉冲序列分析(放电时间间隔和放电量数据的统计分析)^[4, 5]。国内学者则研究了直流放电下油纸绝缘老化问题^[1], 脉冲电容器^[6]和地铁电缆^[7]

的直流局放脉冲序列检测与分析等, 而直流下的局放脉冲波形测量以及超高频局放信号检测暂时还没有见过有文献报导。

笔者组建了直流下局放试验和测试系统, 可对设计的典型油纸绝缘模型^[8](油纸针板、油纸平行板间隙、油纸沿面、油纸内部缺陷、油纸楔形和油纸悬浮放电)进行直流下放电脉冲波形测量、超高频信号测量以及两者相结合的试验研究(关于脉冲序列的研究需要专用直流局部放电检测与分析仪, 目前正在研制中)。

1 直流下局放试验与测量系统

1.1 试验回路

图 1 给出了试验回路的原理接线图(省略了 220 V 交流源和调压器)。电阻 R_1 和 R_0 构成 10 000 1 的电阻分压器, 从 R_0 两端读取试验直流电压值。 C_x 为 85 pF 的耦合电容, R_z 为阻值数百 k 的水电阻, C_x 为缺陷模型。高压电流发生器工作原理见文[9]。

收稿日期: 2007-06-12; 修回日期: 2008-01-06

作者简介: 司文荣(1981-), 男, 博士研究生, 从事局部放电检测技术的研究。

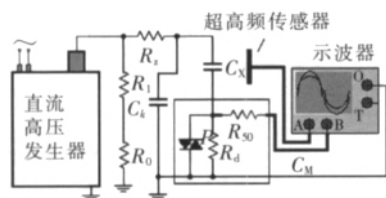


图1 直流下局放试验与测量回路

为了得到直流下局部放电更多的信息，必须用很高的采样频率对放电脉冲波形以及超高频信号进行采集。实验中采用 DPO4054，模拟带宽为 500 MHz，实时采样率为 2.5 GS/s。

1.2 超宽带测量电阻

脉冲检测阻抗由无感电阻 R_d (100 Ω) 和保护单元 P 并联而成，封装在一屏蔽铜管内。测量电缆 C_M 的波阻抗 z 及首、末端接入的电阻 R_{50} 为 50 Ω (图 1、2 中末端匹配均省略显示)。为了检验脉冲波形测量系统的频率响应特性，利用方波源信号的陡下降沿(为 2 ns)作为输入脉冲，并比较输入脉冲与经测量电阻后的信号。校验系统的原理图见图 2。

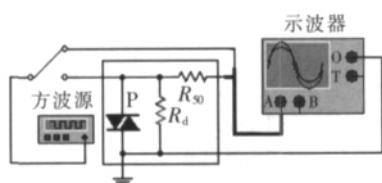


图2 测量电阻频率响应校验原理图

方波源信号与经过测量电阻后的下降沿信号见图 3。从图 3 可以看出，示波器测得方波源下降沿为 2 ns，而经过测量电阻后的下降沿为 3 ns，没有增加振荡(图中的振荡是研制的方波源信号自身的)，相比之下只增加 1 ns，说明无感测量电阻 R_d 的性能是满足试验要求的。

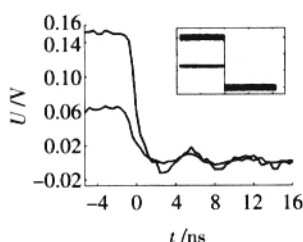


图3 校验脉冲和经测量系统传输后脉冲

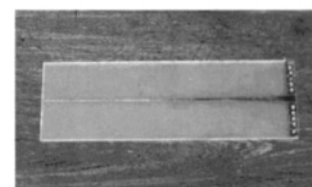
1.3 超高频传感器

一般油中放电上升沿很陡，脉冲宽度多为 ns 级，能激励起大于 1 GHz 的超高频电磁信号。超高频范围内(300 ~ 3 000 MHz)提取的局部放电信号基本上可以避免外界干扰，可极大提高局放检测的可靠性和灵敏度。文中使用的超高频传感器见图 4，该传感器的设计和工作原理见文[10]。

在高压试验大厅里通过无局放高压电源对一置于变压器箱体内部的充满 10 个大气压高压氢气的放电管加压使之放电，并使用鞭状天线发射放电管发



(a)等角螺旋天线



(b)阻抗变换器

图4 超高频传感器

出电磁波，该等角螺旋天线接收得到的 UHF 信号时域和频域波形见图 5。可看出此等角螺旋天线可以很好地检测到放电信号，并且覆盖 300 MHz ~ 1.5 GHz 的频带范围。对于上述放电进行了多次试验，其频谱图具有极其相似的特征，说明试验具有可重复性。

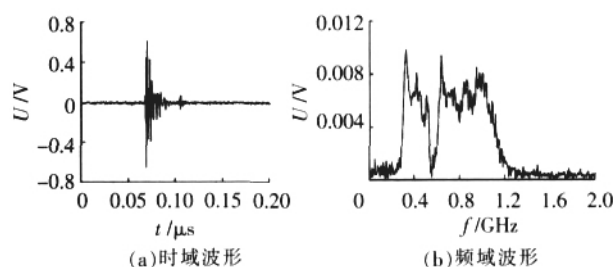


图5 放电管脉冲超高频时域和频域波形

2 放电脉冲的测量

在高压试验屏蔽大厅内对自行设计的缺陷模型在直流高压下进行了多次重复的局放测量。笔者仅给出针板模型的放电脉冲波形及其超高频信号，以及特殊处理的导线尖端在空气中的电晕放电波形及其超高频信号。

2.1 空气中电晕

为了验证试验和测量系统的稳定性，对直流下空气中电晕放电波形进行了测量。试验时，用脉冲电流信号来触发，示波器两个通道同时采集放电脉冲波形及其超高频信号。在整个升压过程中，电晕放电波形稳定，放电频率随电压幅值的升高而增大。图 6 中 I 可以得出电晕放电脉冲波形的波头时间约为 30 ns，脉冲持续时间约为 300 ns，没有振荡和过冲。而从图 6 中 II 已基本看不到超高频信号，这是由于空气中电晕放电上升沿、下降沿很缓所致(在高频带内能量幅值很小)。此试验结果再次表明整个系统是满足试验要求的。

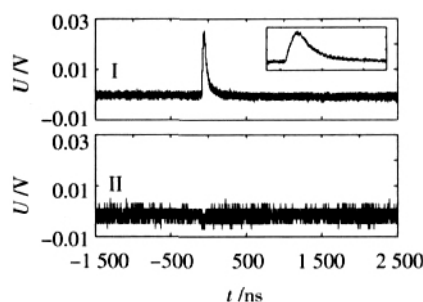


图6 直流下导线尖端空气中电晕放电波形及其超高频信号

2.2 油纸针板放电

设计的所有缺陷模型(油纸针板、油纸平行板间隙、油纸沿面、油纸内部缺陷、油纸楔形和油纸悬浮放电模型)均分别装于盛满变压器油的带有排气孔的有机玻璃筒内。其中,油纸针板放电模型见图7。根据不同试验的要求,模型的放电间隙可以调整,并可更换不同厚度的绝缘纸板(针板、楔形)和不同尺寸的绝缘缺陷模型(平行板、内部缺陷)。

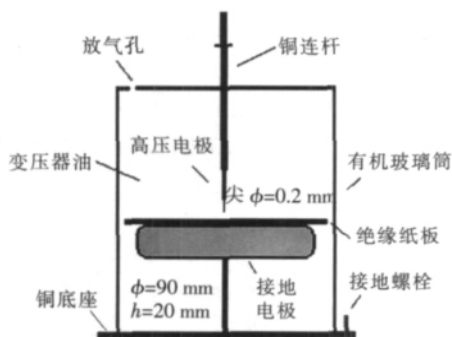


图7 油纸针板放电模型

直流下油纸针板放电非常稳定,没有过冲和振荡。试验过程中,当直流高压加到一定值时,针板模型开始放电,示波器偶尔(电压较低时,需等到一段时间)捕捉到图8(a)所示的单个脉冲。该脉冲波形为多峰脉冲,脉冲包络可视为单指数衰减波形,第1个峰的上升沿较陡为1 ns,包络下降沿约为30 ns,半峰宽约20 ns,整个脉冲持续时间约为150 ns。

继续升高电压,放电频率增加,放电幅值也相应增大,出现100 mV以上的高幅值脉冲。当电压升高到一定值时,开始听到明显的放电声,油间隙频繁被击穿,出现图8(b)所示幅值逐渐增大的强放电脉冲群,但是单个脉冲波形特征参数没有发生变化。

3 结论

(1) 组建了直流下局部放电试验和测试系统,并对检测传感器进行了校验,结果表明测量系统可以满足试验要求。

(2) 设计油纸绝缘放电模型以模拟换流变压器实际工况条件下的典型缺陷。模型的放电间隙、纸

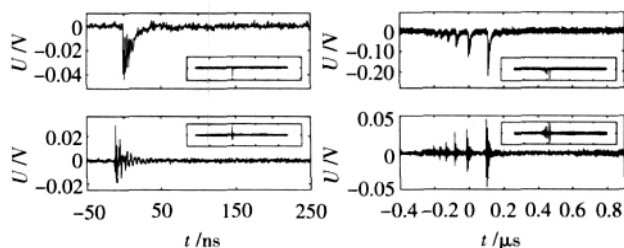


图8 油纸针板放电脉冲波形及其超高频信号

板厚度等皆可调整或更换。

(3) 直流下试验结果表明:缺陷模型放电稳定,相同条件下放电重复性好。测量系统可以准确检测到放电脉冲波形及其超高频信号。这为研究直流下局部放电脉冲单个波形、脉冲序列以及局放超高频在线监测等提供了试验研究平台。

参考文献:

- [1] 于钦学, 邱昌容. 油纸绝缘直流局部放电的研究[J]. 变压器, 1998, 35(5): 17-20.
- [2] RENATE S, JOHNL L. Partial Discharge Testing under Direct Voltage Conditions [J]. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic System, 1982, 18(1): 82-93.
- [3] RENATE S Ramp Technique for DC Partial Discharge Testing [J]. IEEE Trans. on Electrical Insulation, 1985, 20(1): 38-46.
- [4] FROMM U. Interpretation of Partial Discharge at DC Voltages [J]. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, 1995, 2(5): 761-770.
- [5] PETER H F, JOHAN J. Partial Discharges at DC Voltage: Their Mechanism, Detection and Analysis [J]. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, 2005, 12(2): 328-340.
- [6] 冉汉政, 吴广宁, 于成龙, 等. 膜纸复合储能电容器的直流局部放电信号分析方法[J]. 电工技术学报, 2006, 21(4): 47-49.
- [7] 白建社, 江秀臣. 基于移动时间窗的直流局部放电特征提取方法[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(14): 55-58.
- [8] 司文荣, 李军浩, 李彦明. 直流下油中局部放电脉冲波形测量与特性分析[J]. 西安交通大学学报, 2008, 42(4): 481-486.
- [9] 司文荣, 李军浩, 李彦明, 等. 高压直流发生器特殊结构对其内部局放测量的影响[J]. 高电压, 2008, 44(2): 129-131.
- [10] 王 晶. 变压器局部放电超高频信号传播特性的研究 [D]. 西安: 西安交通大学, 2006.

《高压电器产品手册》简介

简 讯

2008年由西安高压电器研究所有限责任公司编写、机械工业出版社出版发行的《高压电器产品手册》(原名《高压电器产品样本》),每5年编写一次,是输、变、配电部门在设计、技改、产品选型、订货时的大型参考书,该手册囊括了国内众多企业生产的各种高压断路器、负荷开关、接地开关、隔离开关、SF₆气体绝缘金属封闭开关设备、开关柜、接触器、熔断器、分段器、重合器、预装式变电站、电缆分接箱等25类高压电器产品,详细示出了各产品的照片、用途、主要技术参数、结构及特点、外形安装尺寸图以及订货须知等。定价:185元(含邮费)。

联系电话:029-84225623

传真:029-84299182

联系人:李晓晖