

高压开关柜局部放电 UHF 在线监测系统的研究

刘云鹏^{1,2}, 王会斌¹, 王娟¹, 律方成¹

(1. 华北电力大学电气工程学院, 河北 保定 071003; 2. 国网电力科学研究院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 为了提高高压开关柜运行的安全性, 笔者在介绍超高频局部放电在线监测系统的基础上, 设计制作了 4 种典型放电模型, 并应用此在线监测系统对高压开关柜进行了局部放电试验研究, 获取了大量放电谱图和放电脉冲波形, 并对放电的相位特征进行了分析。结果表明: 该系统具有抗干扰能力强、工作稳定性好等优点, 满足高压开关柜局部放电在线监测的要求。

关键词: 高压开关柜; 局部放电; 超高频; 在线监测; 虚拟仪器

中图分类号: TM591

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)01-0015-03

Research on On-line Partial Discharge UHF Monitoring System for High Voltage Switchboard

LIU Yun-peng^{1,2}, WANG Hui-bin¹, WANG Juan¹, LU Fang-cheng¹

(1. School of Electrical Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;

2. Wuhan High Voltage Research Institute of SGCC, Wuhan 430074, China)

Abstract: An on-line partial discharge monitoring system based on UHF technique for high voltage switchboard is introduced, and four typical discharge models are designed. Then the on-line partial discharge UHF monitoring system is used to conduct PD test on a high voltage switchboard to obtain plenty of discharge patterns and pulse waves, and the phase characteristics of PD are analyzed. The experimental results indicate that the system has the advantages of better anti-interference capability and operating stability to meet the needs of on-line PD monitoring for high voltage switchboard.

Key words: high voltage switchboard; partial discharge(PD); ultra high frequency(UHF); on-line monitoring; virtual instrument

0 引言

高压开关柜是电力系统非常重要的电气设备, 其内部绝缘部分的缺陷或劣化、导电连接部分的接触不良都使安全运行受到威胁。根据 1989~1992 年间全国电力系统 6~10 kV 开关柜事故统计, 绝缘和载流引起的故障占总数的 40.2%, 其中由于绝缘部分的闪络造成的事故占绝缘事故总数的 79.0%^[1]。由于在事故潜伏期可能产生放电现象, 故可以通过对放电的监测得到相关的信息。

超高频局部放电检测系统通过接收柜体内局部放电产生的超高频电磁波, 实现局放的检测和模式识别。它可在设备不停电的情况下进行安装, 并对设备状况进行实时动态监测, 具有极强的抗干扰能力和较高的灵敏度。笔者在 LabVIEW 软件平台基础上, 开发了一套高压柜局部放电超高频检测系统, 并在实验室对典型放电类型进行了试验和分析。

1 UHF 局放监测系统

1.1 系统硬件构成

开关柜局部放电超高频检测系统硬件部分主要由超高频天线传感器、信号调理单元、高频同轴电缆、数据采集卡以及装有虚拟仪器系统的计算机组成, 其中数据采集卡装在计算机的 PCI 总线接口上^[2]。硬件系统的结构见图 1。

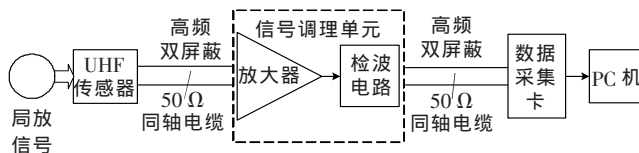


图 1 硬件系统结构示意图

超高频传感器采用阿基米德双臂螺旋天线, 能实现带宽 500~1 500 MHz 的局部放电信号检测。它是一种非频变天线^[3], 其电性能与频率无关, 具有宽频带、圆极化、尺寸小、效率高及可封装等优点。放大器增益设计为 40 dB, 滤波器采用贝塞尔型有源带通滤波器。局部放电超高频检测通常仅关心信号的峰值及其出现的相位^[4], 采用包络检波技术^[5]可得

收稿日期: 2008-06-16; 修回日期: 2008-09-27

作者简介: 刘云鹏(1976-), 男, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为电气设备在线监测与故障诊断。

到局部放电产生的超高频信号的包络曲线,通过普通数据采集卡即可获得信号峰值和相位等特征,从而大大降低了数据采集系统的要求和数据量。笔者选取 ADLINK 公司的 PCI9812 数据采集卡,该卡为 32 位 PCI 总线结构,可插到带有标准 PCI 槽的普通 PC 机或工控机里面,计算机系统配置采用奔 4 CPU2.6 GHz,内存为 512 M,计算机上的虚拟仪器软件平台为 NI 公司的 LabVIEW7.1。

1.2 系统软件构成

主程序界面见图 2,整个系统从功能上看,可以分为:数据采集模块、数据存储模块、数据打开显示模块和局部放电谱图分析模块。

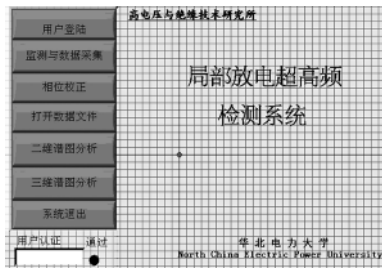


图 2 检测软件界面

数据采集前面板包括图形显示控件和控制命令控件,如板卡选择、采样频率、样本数、触发源、触发极性、触发电平、采集通道等,通过对控件的选择来完成对数据采集卡参数的具体设置。局部放电超高频检测其数据量非常大,在保存数据之前,要先进行数据预处理,保存脉冲数据。笔者主要通过放电信号门檻设置、软件干扰识别以及软件峰值保持与相位计算来实现。

基于统计特征的局部放电模式识别方法,主要是利用局部放电信号的相位分布模式^[6]对信号进行计算和分析。笔者设计了 4 种二维谱图:放电幅值-相位($U-\varphi$)、最大放电幅值-相位($U_{max}-\varphi$)、放电次数-相位($N-\varphi$)、放电次数-放电幅值($N-U$)。

2 试验及结果分析

2.1 典型放电模型设计

高压开关柜中引起放电故障的缺陷主要包括如下几个方面:绝缘表面污秽、受潮和凝露;高压母线连接处及断路器触头接触不良;导体、柜体内表面上有金属突起,导致毛刺且较尖;柜体内有可以移动的金属微粒,它有积累电荷的能力,当靠近高压导体且并未接触时,放电最可能发生;开关元件内部放电缺陷等。对此,笔者设计制作了针板放电、内部放电、悬浮放电和绝缘子沿面放电 4 种典型放电模型,前 3 种放电模型见图 3。

图 3(a)所示为模拟电晕放电的针板电极系统结构,针电极直径 6 mm,针尖曲率半径为 0.5 mm,针尖到板电极距离 d 为 1.9 cm。图 3(b)为模拟固体

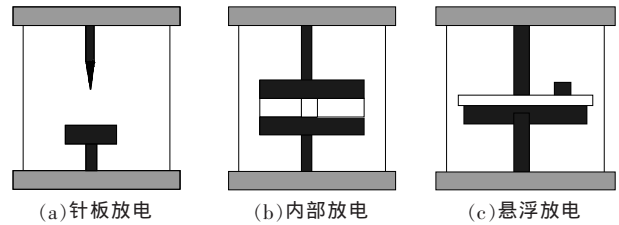


图 3 高压开关柜局部放电典型放电模型

绝缘内部气隙放电的电极系统结构,试品为两块厚度为 5 mm、直径为 50 mm 的环氧树脂板,将厚度 1 mm、中间通孔直径 10 mm 的环氧树脂板夹在两块中间形成扁平空气隙,绝缘板间用一层非常薄的环氧树脂胶粘合。图 3(c)为模拟悬浮放电的电极系统结构,悬浮电极采用直径为 10 mm、高度为 3 mm 的黄铜材质的圆柱体,高压电极和地板电极之间用厚度为 5 mm、直径为 70 mm 的环氧树脂板。实验中悬浮电极和柱电极间距为 15 mm。

模拟绝缘子表面绝缘不良情况使用 10 kV 环氧树脂支持绝缘子,将表面涂上氯化钠和硅藻土,晾干,在湿度为 60%的环境下进行试验。文中设计的放电模型电极用黄铜加工制造,为消除电极表面尖角或毛刺的影响,电极表面和边缘经过特殊处理。

2.2 试验回路

局部放电检测系统见图 4,试验中将试品置于开关柜内部,试验变压器输出的高压引线经 10 kV 套管引至柜体内的高压电极端,传感器用永久磁铁吸附在柜体内壁上。

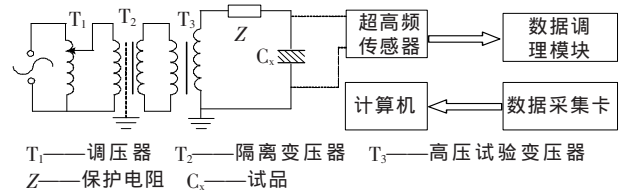


图 4 超高频局部放电测量系统

试验中主要采取了以下抗干扰措施来避免线路自身产生局放和减少背景噪声:采用贝塞尔型有源带通滤波器,并将信号调理单元装在屏蔽盒中;使用同轴电缆;采用粗线缆,接线处采用球形接头,以使电场均匀,避免自身产生局放;采用软件抗干扰,也就是数字滤波器对采集到的放电信号进行处理。

试验结果表明,数据采集系统能够有效地采集到局放信号,表明该系统具有较强抗干扰能力。

2.3 试验结果分析

空气中局部放电的发生具有很大的随机性,但每种放电类型都有其不同统计特征,因此试验中每次提取 200 个工频周期的局部放电超高频时域信号,针板放电因放电稀疏难于提取每次采集 500 个工频周期信号。试验过程中,升压至出现微弱局部放电,采集信号并保存数据。以后每升压一次,采集一次信号,直至出现击穿或闪络。反复做 2 到 3 次试

验,检验试验的可重复性。利用该软件对采集到的放电信号进行谱图分析,即得到二维放电谱图。通过对局部放电超高频信号的相位特征分析发现,不同的放电类型,放电发生的相位有着其一定的范围,随电压升高,放电频率增大、放电幅值增加,但统计谱图特征变化不大。

(1) 针板放电

与油中针板放电相比,空气中针板放电较稳定,加压后即有明显放电,随电压升高,放电幅值增大,当加压至 14 kV 时,放电明显减弱,很难再听到“噼啪”的响声,继续加压至 16 kV 以上剧烈放电,试品击穿。针板正负半周的放电都出现在电压峰值周围,且相位分布较油中更为集中,在 $80^{\circ}\sim 95^{\circ}$ 和 $260^{\circ}\sim 275^{\circ}$ 的区间内谱图形状呈锥形不对称分布,并且负半周的放电次数比正半周多,负半周的放电幅值比正半周大。图 5 为 13.6 kV 下针板放电的二维谱图。

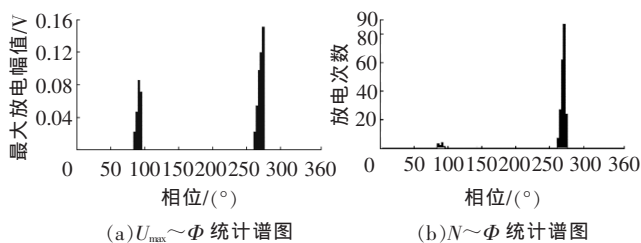


图 5 针板放电的二维谱图分析

(2) 内部放电

内部放电很容易发生,放电比较稳定,正负半周的放电几乎同时产生,谱图形状也比较相似。随着所加电压的升高,放电幅值和放电次数逐渐增大,16 kV 以上试品击穿。放电相位在 $0^{\circ}\sim 110^{\circ}$ 、 $160^{\circ}\sim 300^{\circ}$ 和 $340^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 的范围内广泛分布,图 6 为 9 kV 下内部放电的二维谱图。

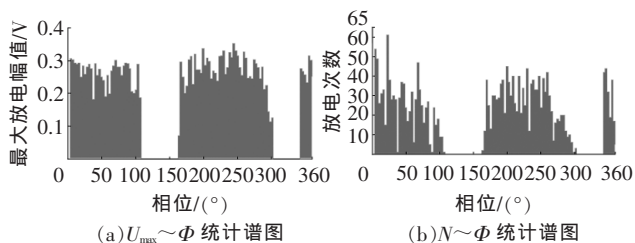


图 6 内部放电的二维谱图分析

(3) 悬浮放电

悬浮放电的幅值较大,伴有很强的“滋滋声”,放电谱图特征变化不明显。悬浮放电谱图的相位分布较宽,但主要集中在 $0^{\circ}\sim 105^{\circ}$ 、 $145^{\circ}\sim 290^{\circ}$ 、 $330^{\circ}\sim 360^{\circ}$,放电脉冲幅值、间隔大体相等,且其二维谱图形状呈典型的“矩形”分布,并且放电正负半周比较对称。图 7 为 16.2 kV 下悬浮放电的二维谱图。

(4) 绝缘子沿面放电

绝缘子沿面放电在较高电压下才发生,且放电很不稳定,电压升高后可见其表面上有间断的火花

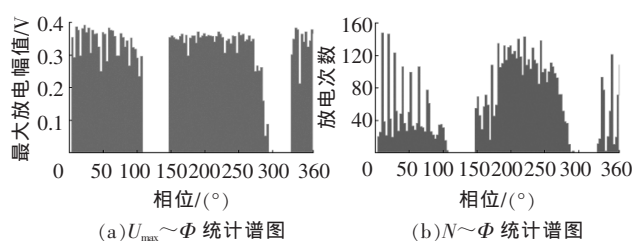


图 7 悬浮放电的二维谱图分析

产生,此时可观察到明显的放电谱图特征,在 $40^{\circ}\sim 140^{\circ}$ 和 $220^{\circ}\sim 315^{\circ}$ 的区间内谱图形状呈锥形分布,放电主要出现在峰值附近且正负半周基本对称。图 8 为 22 kV 下绝缘子沿面放电的二维谱图。

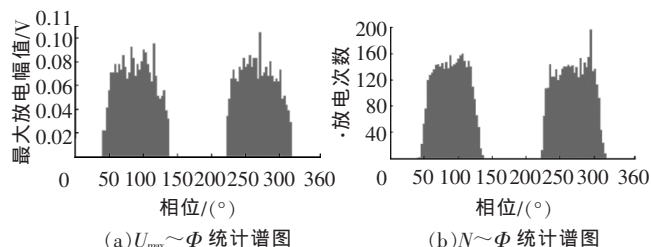


图 8 绝缘子沿面放电的二维谱图分析

典型放电模型局部放电的实验研究表明,开关柜局部放电产生的超高频信号具有明显的放电特征,特别是放电相位特征,笔者设计的 4 种典型放电模型其放电特征大不相同,具有明显的可分性,根据放电特性特别是相位分布特性即可对不同类型局部放电进行模式识别。

3 结论

(1) 笔者采用的高压开关柜局部放电超高频在线监测系统具有测量频带宽、抗干扰能力强、工作稳定性好等优点,很好地满足开关柜局部放电在线监测的要求。

(2) 实验室中典型放电模型的试验结果表明,该系统可以有效地提取超高频局部放电信号,较准确地计算放电相关参数,直观地显示放电信息,具有数据处理、显示、分析、识别等功能,可实现高压开关柜内部局部放电在线监测和模式识别。

参考文献:

- [1] 田勇, 田景林. 6~10 kV 开关柜事故统计分析与改进意见[J]. 东北电力技术, 1996(8): 5-10.
- [2] 蒋庆云. 电力变压器局部放电超高频检测技术的研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2006.
- [3] 王元坤, 李玉权. antennas 的宽频带技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1995.
- [4] 王伟, 李成榕, 丁燕生, 等. 局部放电 UHF 信号检波及其仿真[J]. 高压电技术, 2004, 30(2): 32-33, 47.
- [5] 王卫东, 傅佑麟. 高频电子电路[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [6] 单平. 变压器局部放电超高频模式识别系统的研究[D]. 西安: 西安交通大学, 2003.