

# GIS 中局部放电特高频信号采集系统

印 华<sup>1</sup>, 邱毓昌<sup>1</sup>, 张小勇<sup>2</sup>, 王建生<sup>2</sup>

(1. 西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049; 2. 西安高压电器研究所, 陕西 西安 710077)

## UHF Signal Extraction for GIS Partial Discharge Detection

YIN Hua<sup>1</sup>, QIU Yu-chang<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-yong<sup>2</sup>, WANG Jian-sheng<sup>2</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. Xi'an High Voltage Apparatus Research Institute, Xi'an 710077, China)

**摘要:** 研制了一套 GIS 中局部放电的特高频检测系统。用特高频天线和频谱分析仪采集局放信号, 通过 GPIB 卡传送给计算机进行分析处理, 并在 GIS 中构造了一种常见的故障类型, 对该系统进行了验证。实验结果表明, 该系统能够采集到 GIS 中局部放电产生的特高频信号。

**关键词:** 局部放电; 特高频; 信号采集

**中图分类号:** TM83

**文献标识码:** A

**Abstract:** UHF partial discharge detection system for GIS is developed. The signal generated by partial discharge is picked up by UHF antenna and spectral analyzer, and the data are transferred to the computer for analysis by GPIB. A commonly defect in GIS was constructed in order to examine this system. Experimental results show that the system can acquire and extract the UHF partial discharge signal in GIS.

**Key words:** partial discharge; ultra high frequency(UHF); signal extraction

## 1 引言

GIS 由于其突出的优点, 在电力系统的能量传输中得到越来越广泛的应用。进行 GIS 局部放电的检测, 特别是进行在线监测对于保证 GIS 的安全运行具有重要的意义。研究表明, GIS 中发生局部放电的脉冲持续时间很短, 波头时间一般不超过几个 ns, 会产生大量的特高频(频率范围在 300 MHz~3 GHz 之间)电磁信号<sup>[1]</sup>。特高频(UHF)法就是利用天线采集 GIS 发生局部放电时产生的特高频电磁信号, 再用测量仪器和计算机对信号进行分析。许多国家已经应用特高频法对 GIS 绝缘进行在线监测<sup>[2]</sup>。国内外一些大学和著名的实验室都对该方法进行了深入的研

究。如英国格拉斯哥 Strathclyde 大学研究出了一套用特高频法对 GIS 局部放电进行在线检测以及模式识别的系统, 已经形成商业化的产品, 应用到变电站及制造厂<sup>[3]</sup>。清华大学也已做了近 10 年的研究工作, 在实验室、制造厂、电网中已做了大量的检测及诊断工作。笔者拟通过对 GIS 中局部放电特高频信号的研究, 来建立一套 GIS 中局部放电的自动识别系统, 从而对 GIS 进行检测和在线监测及故障诊断。

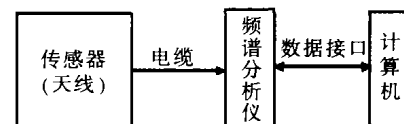


图1 特高频局部放电测量系统

## 2 系统构造

特高频局部放电测量系统由 3 部分组成, 见图 1。

测量 GIS 中局部放电的特高频天线可分为内置和外置的两种。外置天线安置在 GIS 金属外壳和盆式绝缘子连接处, 接收从该处传播出来的电磁波。天线的中心频率应避开空气的电晕干扰, 且要保证天线的频率有一定的带宽。天线的阻抗要经过计算和测量, 并与电缆中的阻抗匹配。如果将天线安装在 GIS 内部, 由于 GIS 的金属外壳可以屏蔽外部的电磁干扰, 并且易于接收 GIS 局部放电产生的电磁信号。在设计的时候同样要考虑到和电缆的阻抗匹配。内置天线在 GIS 制造的时候进行安装。天线性能的好坏直接关系到整个测量系统的优劣和后续工作的准确性。

笔者研制的测量系统用内置天线, 采用阿基米德平面螺旋天线。由天线理论可知, 如果天线以任意比例变换后仍等于它原来的结构, 那么它的电性能将与频率无关, 即为非频变天线, 如果天线的结构满足角度条件, 即完全由角度决定, 当角度变化时可得

到连续的缩比天线<sup>[4]</sup>。若将天线的终端部分截尾,对天线的电性能没有显著的影响,则有限尺寸的天线就可以在相当宽的频带范围内具有非频变天线的电性能。螺旋天线是根据无限长天线设计出的仅由角度表征其特征的天线,并且天线电流在离开馈电点时逐渐减小,因此在电流足够小处把天线截断将不会影响其频带特性。平面螺旋天线见图2。

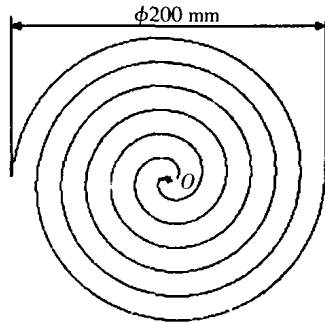


图2 阿基米德平面螺旋天线

天线的驻波比(SWR)响应特性<sup>[5]</sup>用来表征特高频天线的频率响应和输入阻抗,它是反映天线性能的关键参数。驻波比的大小将直接影响天线接收性能的好坏。由电磁波传输理论可知,当驻波比小于2.0时可以不考虑驻波的影响,工程中通常要求驻波比不大于2.0。用54147A标准网络分析仪测得该天线的驻波特性见图3。

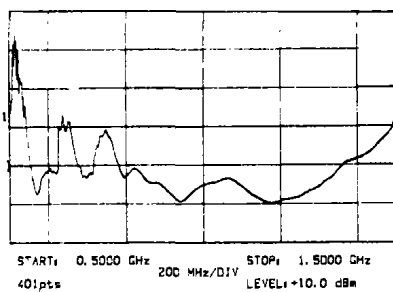


图3 天线的驻波比测量结果

采用频谱分析仪采集特高频信号,频谱分析仪使用Tektronix2712,工作频带为9 kHz~1.8 GHz,中心频率可调。可采用POW(Point on Wave)模式记录5 MHz带宽内的时域放电信号,能够满足测量的要求。传感器和频谱分析仪之间加了一个20 dB的前置放大。

频谱分析仪和计算机的通用数据接口采用GPIB系统。测量系统采用的GPIB接口卡有一套自己的库函数,与频谱分析仪的指令相配合,在计算机上远程控制频谱分析仪的采样和传输数据。如函数ILWRT(dev,“WFMpre”)表示向频谱分析仪写入命令,行参dev表示频谱分析仪的地址,通过对频谱分析仪初始化得到的一个整数;“WFMpre”是2712自身的指令,表示从频谱分析仪中读出波形的参数。采用可视化的语言Visual Basic6.0编制了数据采集程序。

### 3 试验测量结果

在一台已经安装好内部天线的110 kV的GIS中,在母线上安放了一根细铜丝,铜丝的直径为0.7 mm,长度为1.5 cm。用于模拟一种具有固定金属微粒的缺陷,见图4。GIS中充SF<sub>6</sub>气体,气压为0.4 MPa,模拟GIS实际的工作条件。

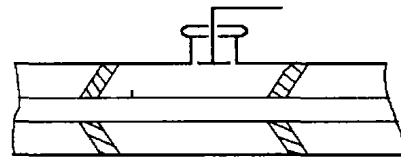


图4 安装有内置天线的有缺陷的GIS

首先采集背景噪声的频谱图,也就是在不加电压的情况下得到的频谱图,见图5。然后给GIS施加电压,使其发生局部放电。给GIS施加电压为40 kV和60 kV时得到的频谱图分别见图6和图7。观察频谱图,这种故障在不同电压下发生局部放电,其分布的频带相同,只是幅值上有所不同。

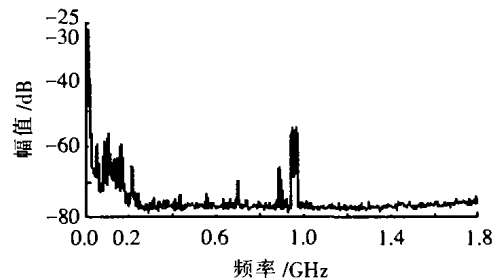


图5 背景噪声频谱图

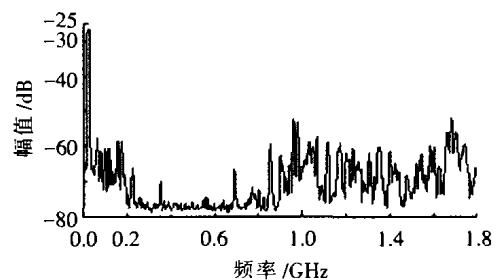


图6 电压为40 kV时的局部放电频谱图

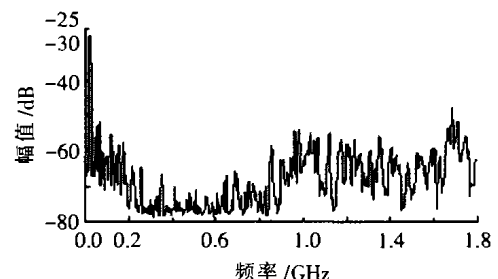


图7 电压为60 kV时的局部放电频谱图

从变压器的高压端取一分压信号,通过一个电压比较器得到一个触发信号,作为频谱分析仪的外部触发信号。也就是在工频“0”相位的时候,触发频谱分析仪开始采样,可以得到试验波形和工频电压的相位关系。在得到的局部放电频谱图上选择一个最优的频率作为中心频率,设置带宽为5 MHz,扫描

时间设为 20 ms, 采用频谱分析仪 POW 模式来采集数据, 可以得到在这个中心频率和带宽下的时域波形。当外加电压为 40 kV 时, 设置的中心频率分别为 1.02 GHz 和 1.3 GHz, 得到的波形见图 8 和图 9。观察波形图可以发现, 中心频率的不同只是影响放电的幅值, 并不影响放电对于相位的分布。不同类型的缺陷故障在 POW 模式下的波形具有不同的特点, 为进行特高频局部放电的模式识别提供了可能<sup>[6]</sup>。对于上述放电进行了多次试验, 其频谱图和 POW 波形图均具有相似特征, 说明试验具有可重复性。

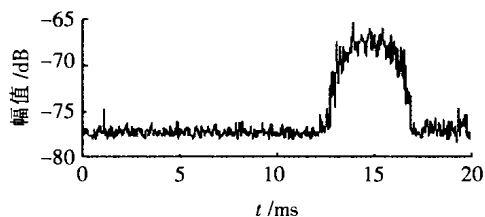


图 8 中心频率为 1.02 GHz 的 POW 波形图

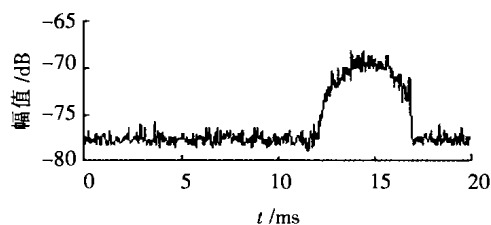


图 9 中心频率为 1.3 GHz 的 POW 波形图

通过对比背景噪声和局部放电频谱图可以发现; 在 1.0~1.8 GHz 频率段, 局部放电的信号比较大; 同时也可以发现, 在 0.9~1.0 GHz 频段有固定的干扰, 在背景噪声和局部放电的频谱图上都可以观

察到。由于笔者采集数据时使用的是频谱分析仪的 POW 模式, 通过设置中心频率和带宽就可以把这些固定的干扰消除。观察 POW 波形可以发现, 放电主要发生在工频的后半周期, 这主要是因为母线上的铜丝更容易在电压的负半周发生电晕放电。

## 4 结论

在实验室中, 通过对 110 kV GIS 中局部放电的检测, 对特高频局部放电测量系统进行了验证试验, 结果表明, 天线的性能良好, 数据采集程序能够提取满足工程要求的局部放电特高频信号。

## 参考文献:

- [1] M D Judd. Broadband Couplers for UHF Detection of Partial Discharge in Gas Insulated Substations [J]. IEE Proc. Sci. Meas. Technol., 1995, 142(3): 237-243.
- [2] 邱毓昌. 用超高频法对 GIS 绝缘进行在线监测 [J]. 高压电器, 1997(4): 36-40.
- [3] J S Pearson. Experience with Advanced In-service Condition Monitoring Techniques for GIS and Transformers [A]. IEE Colloquium, HV Measurements, Condition Monitoring and Associated Database Handling Strategies[C], London, 1998.
- [4] 王元坤, 李玉权. 线天线的宽频带技术 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1995.
- [5] 杨恩耀, 杜家聪. 天线[M]. 北京: 电子工业出版社, 1984.
- [6] J S Pearson. A Continuous UHF Monitor for Gas Insulated Substations[J]. IEEE Trans. Ele. Ins., 1991, 26(3): 469-478.

作者简介: 印 华(1979-), 男, 硕士研究生, 从事 GIS 局部放电在线检测研究。

(上接第 329 页)

的能力, 其中基波逼近法比阻容解耦法的应用特性更好。

(3) 为能对高压电气设备的运行状态有一个综合性的评判, 尤其在系统谐波电压严重时, 笔者建议同时监测全电流、介质损耗因数、阻性电流和容性电流。

## 参考文献

- [1] 赵秀山, 谈克雄, 朱德恒, 等. 介质损耗角的数字化测量[J]. 清华大学学报(自然科学版), 1996, 36(9): 51-56.
- [2] D Allan, M Blundell, K Boyd, et al. New Techniques for Monitoring the Insulation Quality of In-service HV Apparatus [J]. IEEE Trans. on Electrical Insulation, 1992, 27(3): 578-581.

- [3] M F Lachman, W Walter, P A Guggenberg. On-line Diagnostics of High-voltage Bushings and Current Transformers Using the Sum Current Method [J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 2000, 15(1): 155-162.
- [4] B Djokic, E So. Phase Measurement of Distorted Periodic Signals Based on Nonsynchronous Digital Filtering [J]. IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, 2001, 50(4): 864-867.
- [5] Wang P, M R Raghuvver, W McDermid, et al. A Digital Technique for the On-line Measurement of Dissipation Factor and Capacitance [J]. IEEE Trans. on Dielectric and Electrical Insulation, 2001, 8(2): 228-232.

作者简介: 张忠蕾(1978-), 女, 在读硕士, 研究方向为高压电气设备的在线监测与故障诊断技术。