

# 用超高频诊断 GIS 中固定金属微粒导致的局部放电

印 华<sup>1</sup>, 胡攀峰<sup>1</sup>, 张小勇<sup>2</sup>, 邱毓昌<sup>1</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)

## The Application of UHF Detection to Partial Discharge in GIS Caused by Fixed Metal Particle

YIN Hua<sup>1</sup>, HU Pan-feng<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-yong<sup>2</sup>, QIU Yu-chang<sup>1</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:** 模拟了 GIS 中 3 种固定金属微粒导致的局部放电。用笔者设计的超高频局部放电检测系统分别对其进行了测量, 并提取了局部放电信号高频窄带的谱图特征, 建立了 3 种故障的指纹库。

**关键词:** 气体绝缘开关设备; 局部放电; 超高频; 放电谱图中图分类号: TM83 文献标识码: A

**Abstract:** Three types of partial discharge caused by fixed metal particle in GIS are simulated and detected using a UHF PD detection system designed by the author respectively. Phase resolved PD pattern characteristic of each type are extracted, and the fingerprint database of these three types PD is constructed.

**Key words:** gas insulation switchgear(GIS); partial discharge(PD); ultra-high frequency(UHF); discharge spectrum

## 1 前言

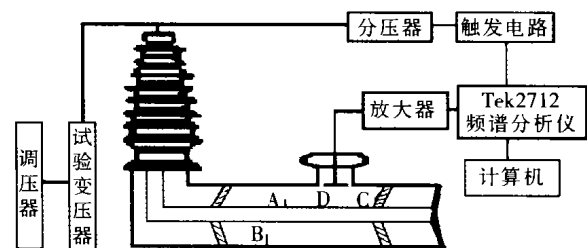
对 GIS 进行局部放电的检测(特别是在线检测)一直是人们关注的焦点<sup>[1]</sup>。超高频是近 20 年发展起来的一种新的局部放电检测技术, 其检测频率高, 抗干扰能力强, 特别适用于在线检测<sup>[2-5]</sup>。笔者研制了一套 GIS 局部放电的超高频检测系统, 在 GIS 上模拟了 3 种固定金属微粒(母线上有固定突起、内壁上有固定突起、盆式绝缘子表面有金属粉末)导致的局部放电, 提取了 3 种放电的特征参数。

## 2 GIS 局部放电检测系统

### 2.1 硬件构成

GIS 局部放电超高频检测系统的硬件构成见图 1。其中的 GIS 是按照 110 kV 电压等级设计的, 充 0.4 MPa SF<sub>6</sub> 气体。天线和频谱分析仪之间通过

50 Ω 电缆连接, 并加了一个 20 dB 的前置放大, 频谱分析仪和计算机通过 GPIB 卡连接。频谱分析仪使用的是 Tek2712。从试验变压器的高压端取一分压信号, 通过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, 选取频谱分析仪的 ZeroSpan 模式, 并且设置采样时间为 20 ms, 就可以得到和工频电压相位相关的时域波形。



A——母线的固定突起 B——内壁上的固定突起  
C——绝缘子表面的金属粉末 D——超高频天线

图 1 超高频局部放电检测系统

### 2.2 软件实现

系统软件流程见图 2, 由采集程序获取放电的超高频信号, 并作出高频窄带的时域信号的谱图, 提取谱图的特征参数, 多次试验建立局部放电的特征指纹库。对于某个未知类型的局部放电, 经采集、作谱图、指纹计算、与指纹库中每种放电的指纹相比

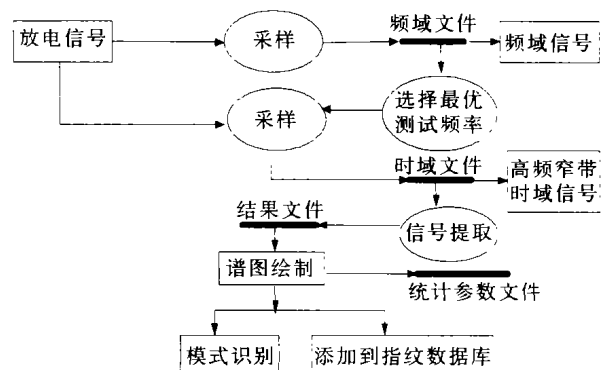


图 2 软件流程图

较,应用神经网络对放电类型进行模式识别。

### 3 实验及分析

GIS 中的局部放电主要包括固定金属微粒、盆式绝缘子内部有气泡、自由微粒导致的局部放电等。在 GIS 上模拟了 3 种固定金属微粒的局部放电,并用该测量系统进行了测量。实验室的背景频谱见图 3。

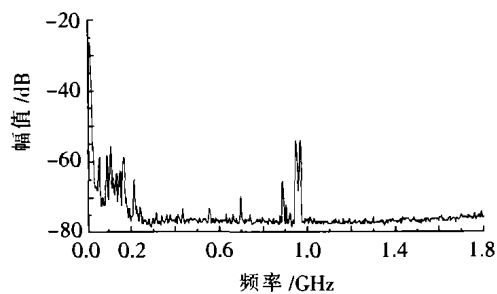
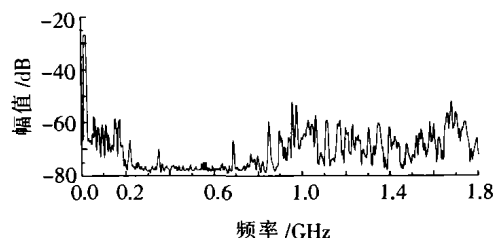


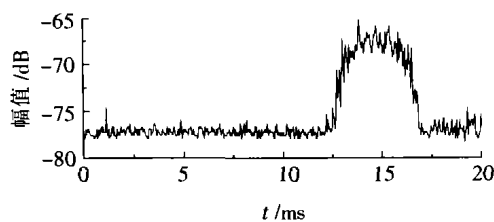
图3 实验室的背景频谱

#### 3.1 母线上的固定突起

母线上有固定突起的故障如图 1 中 A 所示,在母线上安放了一个长度为 1.5 cm,直径为 0.7 mm 的铜线。母线上有固定突起的频谱图和时域波形见图 4。



(a)局放频谱



(b)时域波形

图4 母线上有固定突起的局放频谱和时域波形

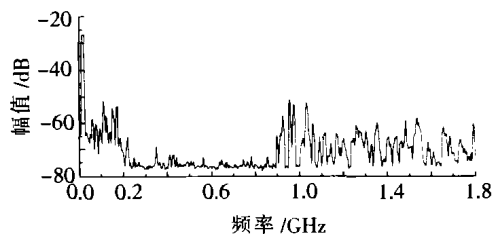
对比放电频谱和背景频谱。发现局部放电的频率主要集中在 1 GHz 以上。在 1.05 GHz 左右,放电信号的幅值较大,所以选取频率为 1.05 GHz,采集这个频率下的时域信号。观察时域波形,放电主要集中在工频电压的负半周,因为针尖更容易在负半周发生电晕放电。根据时域波形画出的谱图见图 5。



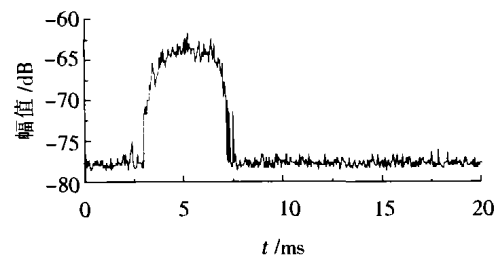
图5 母线上有固定突起的局放谱图

#### 3.2 内壁上有固定突起

内壁上有固定突起的故障如图 1 中 B 所示,在内壁安放了一个长度为 3 cm,直径为 0.7 mm 的铜线。内壁上有固定突起的局放频谱图和时域波形见图 6。



(a)局放频谱



(b)时域波形

图6 内壁上有固定突起的局放频谱和时域波形

观察频谱图可以发现,局部放电的频率也主要集中在 1 GHz 以上。在 1.05 GHz 左右,放电信号的幅值较大,所以选取频率为 1.05 GHz,采集该频率下的时域信号。观察时域波形,放电主要集中在工频电压的正半周,因为针尖接地,所以更容易在工频电压的正半周发生电晕放电。根据时域波形画出的谱图见图 7。

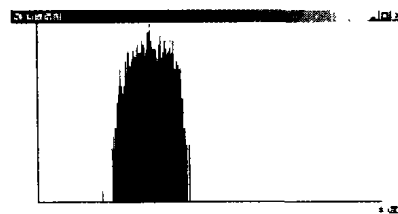
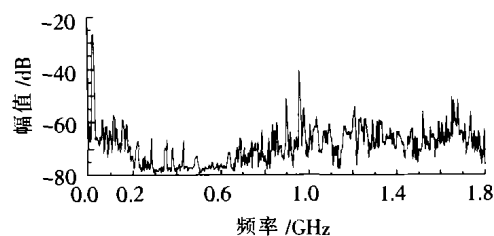


图7 内壁上有固定突起的局放谱图

#### 3.3 盆式绝缘子表面有金属粉末

盆式绝缘子表面有金属粉末的故障见图 1 中 C 所示,在盆式绝缘子的表面粘了一个长度为 4.5 cm,直径为 0.25 mm 的铜丝,盆式绝缘子表面有金属粉末的局放频谱图和时域波形见图 8。

观察频谱图可以发现,局部放电的频率主要集中在 700 MHz 以上。在 1.25 GHz 左右,放电信号的幅值较大,所以选取频率为 1.25 GHz,采集这个频率下的时域信号。观察时域波形,局放在工频的正负半



(a)局放频谱

周都发生,负半周放电的幅值要高于正半周。根据时域波形画出的谱图见图9。

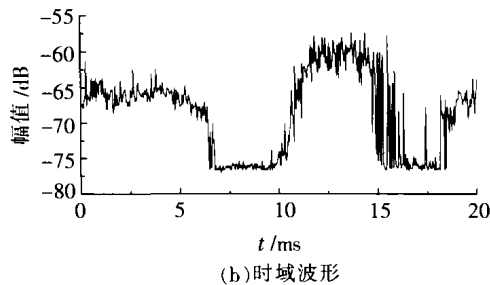


图8 盆式绝缘子表面有金属粉末的局放频谱图和时域波形

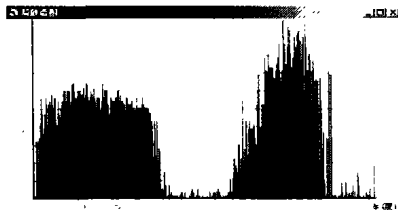


图9 盆式绝缘子表面有金属粉末的局放谱图

## 4 结语

研制的GIS局部放电超高频检测系统可以实现对宽频带的频域信号和高频窄带的时域信号的采

集,并且可以根据时域信号绘制谱图。对GIS中固定金属微粒导致的局部放电进行了测量,提取每种放电的特征参数,建立这几种放电的指纹库,为模式识别和故障诊断提供了有价值的数。

## 参考文献:

- [1] J S Pearson. Partial Discharge Diagnostics for Gas Insulated Substations [J]. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, 1995, 2 (5): 893-905.
- [2] M D Judd, O Farish, B F Hampton. Excitation of UHF Signals by Partial Discharge in GIS [J]. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, 1996, 3 (2): 213-228.
- [3] R Kurrer, K Feser. The Application of Ultra-high-frequency Partial Discharge Measurements to Gas Insulated Substation[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1998, 3(12): 777-782.
- [4] R Feger. Partial Discharge Classification in GIS Using the Narrow-band UHF Method [A]. IEE High Voltage Engineering Symposium[C], London, 1999.
- [5] 张鸣超, 王建生, 邱毓昌. GIS中局部放电产生的超高频电磁波及其测量[J]. 高电压技术, 1998, 24(2): 22-25.

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

(上接第408页)

可简化为:  $E=E_0\sqrt{1+|R|^2+2|R|\cos(\frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda d}+\varphi)}$ 。式中:  $E_0$  为直射波场强,  $R$  为地面反射系数;  $r_1$  和  $r_2$  分别为源点到场点直射波和反射波的距离;  $\varphi$  为反射系数的相角。由上式可以看出,在源点高度  $h_1$  和场点高度  $h_2$  保持不变时,  $E$  随着距离的变化,在  $E_0(1+R)$  和  $E_0(1-R)$  之间周期性变化。辐射场反射系数与来波的频率、极化方向、波长、入射角、大地的电导率和相对介电常数有关。由极化方式的测量结果可知,金具电晕放电辐射电磁波的极化为垂直极化,因此垂直极化波地面反射系数为:

$$R = \frac{(\varepsilon' - j60\lambda\sigma)\sin\varphi - \sqrt{(\varepsilon' - j60\lambda\sigma) - \cos^2\varphi}}{(\varepsilon' - j60\lambda\sigma)\sin\varphi + \sqrt{(\varepsilon' - j60\lambda\sigma) - \cos^2\varphi}}$$

式中:  $\varepsilon'$  为地面相对介电常数;  $\sigma$  为大地电导率;  $\varphi$  为来波入射角。取地面参数湿土 ( $\varepsilon'=20, \sigma=10^{-2}$ ), 入射角度为  $60^\circ$ , 计算频率 30, 70, 88 MHz 的反射系数分别为  $0.40 \angle -0.06^\circ, 0.39 \angle -0.03^\circ, 0.39 \angle -0.02^\circ$ 。但接收天线离地高度会对地面反射产生影响,当天线架设离地有一定的高度,使天线和地面不存在耦合作用,即地面对天线的辐射无影响,这也就解释了在高于 70 MHz 的频段,辐射场强没有形成干涉场的原因。

## 4 结语

(1)金具电晕放电横向特性:在较低频段,由于大地是具有一定导电率和介电常数的媒质,辐射场会在地面反射,反射波与直射波合成干涉场,使得地面合成场强随距离变化而周期性起伏变化;在较高频段,金具离地高度超出辐射波几个波长时,地面对电磁波的影响减弱,辐射电磁波横向特性符合振子天线模型。

(2)金具电晕放电极化特性:在较高频段,极化方式的测量值变化趋势和振子天线相一致;在较低频段,金具离地高度与电磁波波长可相比拟,对场点的测量处于辐射近场区,而天线具有一定的长度和体积,接收天线上的静电感应分量使得场强值不符合振子天线模型。

## 参考文献:

- [1] 陈士修, 沈远茂, 吴远利. 针-板电极电晕放电辐射电磁波的等效模型[J]. 高电压技术, 2002, 28(12): 9-11.
- [2] Robert G Olsen, Bradley O Stimson. Predicting VHF/UHF Electromagnetic Noise from Corona on Power-line Conductors [J]. IEEE Trans. on EMC, 1988, 30(1): 13-22.

作者简介:林晓宇(1980-),男,硕士研究生,主要研究方向为高电压绝缘与测试技术。