

GIS 在线检测中局部放电和外部干扰信号的识别

卢 毅, 杨 静

(东南大学 电气工程系, 江苏 南京 210096)

摘要: 采用小波时频分析的方法对发生在气体绝缘金属开关设备(GIS)内部局部放电而激发的电磁波和外界的电晕干扰进行了分析, 讨论了区分和识别外部和内部放电及外界干扰的可能性。在单一信号存在的情况下, 发生在 GIS 变电所的电晕干扰一般在 130 MHz 以下, 频宽小于 70 MHz, 而内部放电激发的电磁波信号无论何种缺陷以及类型如何, 其频宽至少是电晕干扰的 2 倍以上, 所以, 从信号的带宽上可以判别是内部放电还是外部干扰。当电晕和放电信号共存时, 可以通过信号的带宽和信号到达的前沿综合判断。结果表明, 该方法简单有效, 可以满足在线检测中信号识别的要求。

关键词: GIS; 局部放电; 电磁波; 时频分析; 干扰识别

中图分类号: TM 855

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2007)06-0071-03

0 引言

气体绝缘金属开关设备(GIS)具有占地面积小、运行可靠性高等优点。但是, 全封闭的结果使发生在其内部的局部放电难以把握, 因此, 局部放电的在线检测显得尤为重要^[1]。和常规的方法(如气体分析、光电检测方法)相比, 使用内部或外部传感器检测由 GIS 内部局部放电而激发的电磁波信号是一种比较实用的方法^[2-4]。

外部的空间干扰往往会影响到局部放电检测的准确性, 为了避开具有固定中心频率的干扰信号, 通常选取无干扰频段检测局部放电, 但是, 以高频小信号放大器发现局部放电的选频检测理论上虽然可行, 实践尚有许多工作^[5]。现以发生在 GIS 内部由放电脉冲而激发的电磁波信号为实验样本, 使用小波变换对局部放电信号进行了时频分析, 讨论了利用数字处理的方法区分和识别内部放电和外界干扰的可能性, 并给出了相应的结论。

1 试验方法及检测结果

1.1 试验方法

所研制的 GIS 在线检测系统在某电力试验研究所一段长 5 m、110 kV 的模拟故障 GIS 上进行了相关试验。该装置由 3 个盆式绝缘子、2 段同轴体和高压套管组成, 内部的 SF₆ 气体压力为 0.2 MPa, 这样的实验装置可以真实反映运行中的局部放电特性^[6-8]。模拟故障 GIS 的放电回路如图 1 所示(图中单位为 mm), 矩形开口天线 1 与天线 2 外置于 GIS 金属法兰与盆式绝缘子的表面, 用于接收缝隙处泄

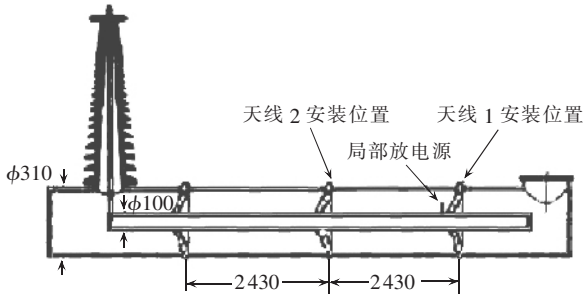


图 1 GIS 模拟装置示意图

Fig.1 Sketch map of GIS simulation device

漏出来的电磁波, 高压进线悬空。在图中箭头指示位置, 设置了一颗金属螺母作为放电源, 螺母和管壁形成针-板电极。信号由数字示波器采集, 波形文件通过 GPIB 上传至计算机存盘处理, 采样频率为 2.5 GHz, 采集长度为 10 KByte。

1.2 检测结果

图 2、图 3 是两天线的原始波形及其频谱。从原始波形可以看出, 时间轴 160~180 ns、170~190 ns 左右的区域是频率较高的直达波, 后续部分是频率较低、幅值较大的后续波形, 后续波形可以考虑是信号的反射和外界干扰引起的波形叠加的结果。比较两天线的原始波形, 可以看到比较明显的时间差, 其结果符合故障点到两天线的安装位置。从频谱看, 放电信号主要集中在 50~250 MHz 之间, 但当 $f > 100$ MHz 时信号的峰值随频率的增大而减小^[9], 说明在本次试验条件下 GIS 管道中主要传播的是中低频段的横电磁波(TEM 波)而非横电波(TE 波)或横磁波(TM 波)。此外, 实验的结果也说明了缺陷的曲率半径越大, 放电的幅值和放电频率越低, 反之就越高^[10]。

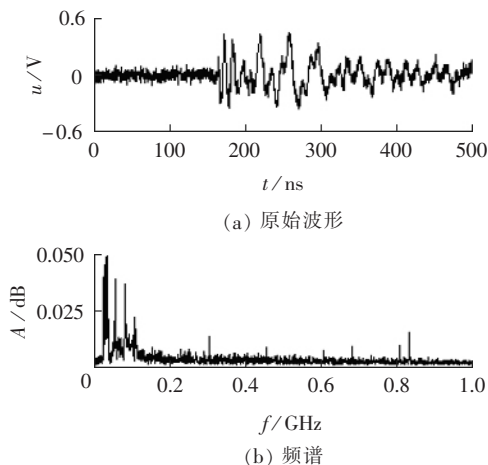


图 2 天线 1 接收到的原始波形及其频谱
Fig.2 Original waveform and its frequency spectrum of signal received by antenna 1

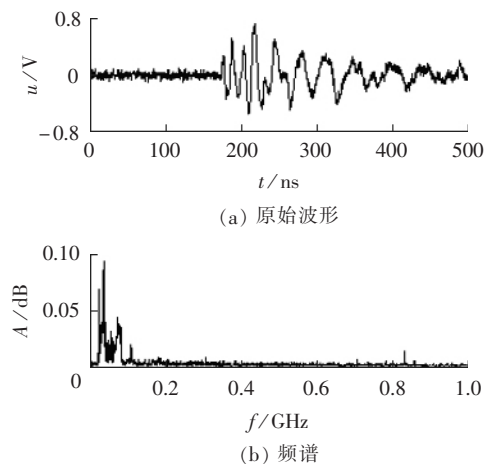


图 3 天线 2 接收到的原始波形及其频谱
Fig.3 Original waveform and its frequency spectrum of signal received by antenna 2

2 局部放电信号的时频分析及讨论

2.1 小波变换

小波分析是一种对信号的精细分析方法,它利用具有一定频率的基本小波和信号进行卷积(滤波),并通过变换基本小波的频率可以将信号划分为不同频率的块信号进行分析^[11-12]。这里使用的基小波是 Gabor 基小波中的一种,其定义如下^[13]:

$$\varphi(x) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}\sigma} e^{x^2/\sigma^2} e^{-jx} \quad (1)$$

当 $\sigma=6$ 时,两天线的变换结果如图 4 所示。图中选取基本小波的中心频率从 30 MHz 到 210 MHz,共计 19 步,步长为 10 MHz,这样组成的时频分析图可以直观地了解整个信号的时域和频域的变化情况。图中小波变换的强度由浓淡表示,振幅最大的部分最淡,其余的以此类推。

2.2 信号的时频分析^[14-17]

从时频分析图中可以看出,信号的频谱主要分为 2 个区域,即图中标注的 A 和 B。B 块的频宽比较窄,为 20 ~ 50 MHz(信号源稍后分析),而处于 A

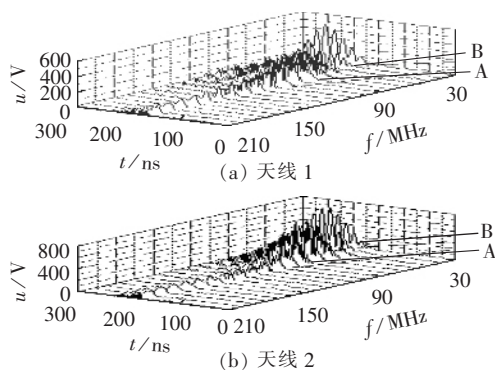


图 4 天线 1、天线 2 的时间、频率分析图

Fig.4 Time-frequency analysis of signals received by antenna 1 and 2

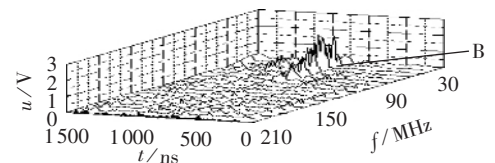


图 5 110 kV GIS 变电所电晕放电的时间、频率分析图

Fig.5 Time-frequency analysis of corona discharge of 110 kV GIS substation

区域的 GIS 管道内由局部放电激发的电磁波信号具有较宽的频带,即使在 250 MHz 以后也能明显地看出放电波形,而前面所分析的直达波群基本上都发生在 120 MHz 以后。文献[18]对 550 kV 的普通、户外 GIS 以及地下 GIS 变电所进行了连续几天的电晕干扰检测,结果为普通变电所电晕放电最强,户外 GIS 变电所电晕放电次之,地下 GIS 变电所电晕放电最弱,普通变电所的电晕放电主要集中在 150 MHz 以下,而户外 GIS 变电所的电晕放电主要分布在 30 ~ 80 MHz,这个结果比在某市 110 kV GIS 变电所进线端所检测到的电晕干扰频宽的结果稍小(见图 5)。以上分析可以看出,发生在 GIS 变电所的电晕干扰一般在 100 MHz 以下,频宽小于 70 MHz,而内部放电激发的电磁波信号无论来自何种缺陷以及类型如何(中低频、超高频),其频宽至少是电晕干扰的 2 倍以上。所以,从信号的带宽可以判别是内部还是外部的放电信号,而用于定位的波形的频段最好选择在 150 MHz 以上。

为了解 B 区域的信号来源,这里分别抽取中心频率为 40 MHz 和 160 MHz 小波处理的波形进行分析。从图 6(a)中可以看出,天线 1 波形的幅值明显要小于天线 2 波形的幅值,且天线 2 信号到达的前沿要超前信号 1 的前沿,这个和放电信号相违背的现象恰恰说明了 50 MHz 以前的信号并不是放电点发出的,而是其方向相反的外界干扰,通过对模拟装置进行空载试验,证实干扰来自套管处的导线放电,正是由于这种较大幅值干扰信号的存在,才使得离放电点较近的天线 1 所接收信号的幅值要小于较远的天线 2 信号(外界干扰和内部的放电信号进行叠加),此外,通过比较图 6(b)中两波形的信号前沿,

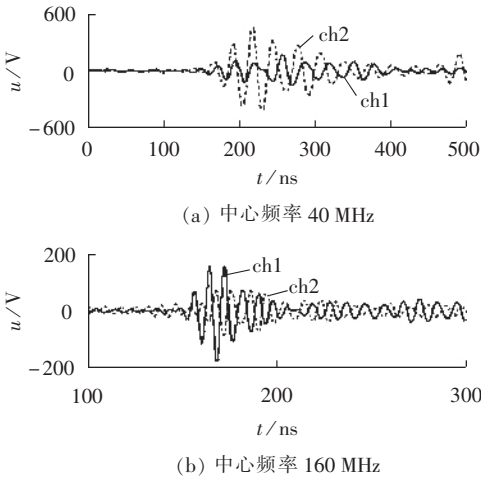


图 6 信号的小波变换
Fig.6 Wavelet transform of signal

可以发现干扰信号要迟于内部放电到达的时间,这与实际情况相吻合。故此,在实际的检测过程中如果出现外界的干扰这种情况,通过时-频分析很容易发现干扰的位置以及所处的频段,在计算时延时的波形选取中应该去除这部分频段的信号。

3 结论

a. 外部电晕放电和内部局部放电激发的电磁波信号在时域上非常相似,但在频域有较大的区别。发生在 GIS 变电所的电晕干扰一般在 100 MHz 以下、频宽不超过 70 MHz,而内部放电激发的电磁波信号的频宽通常至少为电晕放电的 2 倍以上,因此,可以通过信号的频宽来区别是外部干扰还是内部放电。

b. 利用小波的时间-频率分析方法,可以方便地发现干扰和放电在信号到达时间和频带上的区别,这样在时间(时延)的计算时有可能剔除外部干扰信号这部分的频段,为准确定位打下基础。

参考文献:

[1] 成永红. 电力设备绝缘检测与诊断[M]. 北京:中国电力出版社, 2001.

[2] 肖燕,郁惟镛. GIS 局部放电在线监测研究的现状和展望[J]. 高电压技术,2005,31(1):47-49.

XIAO Yan,YU Wei-yong. Present status and prospect of research of on-line partial discharge monitoring system in GIS [J]. High Voltage Engineering,2005,31(1):47-49.

[3] 钱勇,黄成军,江秀臣,等. GIS 局部放电在线监测现状及发展[J]. 高压电器,2004,40(6):453-456.

QIAN Yong,HUANG Cheng-jun,JIANG Xiu-chen,et al. Current status and development of PD monitoring technology in GIS[J]. High Voltage Apparatus,2004,40(6):453-456.

[4] 唐炬,魏刚,孙才新,等. GIS 局部放电检测用超高频带振子天线传感器研究[J]. 高电压技术,2004,30(3):29-32.

TANG Ju,WEI Gang,SUN Cai-xin,et al. Research on the dipole antenna sensor with broadband for partial discharge detection in GIS [J]. High Voltage Engineering,2004,30(3): 29-32.

[5] 唐炬,朱伟,孙才新,等. GIS 局部放电超高频检测[J]. 高电压技

术,2003,29(12):32-34.

TANG Ju,ZHU Wei,SUN Cai-xin,et al. Analysis of UHF method used in partial discharge in GIS [J]. High Voltage Engineering,2003,29(12):32-34.

[6] 姜玉磊,卢毅,田新启. GIS 局部放电在线检测系统开发[J]. 江苏电机工程,2005,24(2):16-17.

JIANG Yu-lei,LU Yi,TIAN Xin-qi. Research on on-line monitoring system of partial discharge for GIS[J]. Jiangsu Electrical Engineering,2005,24(2):16-17.

[7] 陈锦清,郑晓光. GIS 故障检测新技术[J]. 广东电力,2001, 14(5):43-45.

CHEN Jin-qing,ZHENG Xiao-guang. New fault detecting technique for GIS[J]. Guangdong Electric Power,2001,14(5): 43-45.

[8] 卢毅. GIS 局部放电的非接触在线监测[J]. 高电压技术,1997, 23(3):6-8.

LU Yi. Non-contacting on-line monitor of partial discharge for GIS[J]. High Voltage Engineering,1997,23(3):6-8.

[9] 王建生,邱毓昌,赵有斌,等. 气体绝缘开关中电磁波的传播特性[J]. 电网技术,1999,23(9):1-3.

WANG Jian-sheng,QIU Yu-chang,ZHAO You-bin,et al. Propagation characteristics of electromagnetic waves in GIS [J]. Power System Technology,1999,23(9):1-3.

[10] 成永红,谢小军,陈玉,等. 气体绝缘系统中典型缺陷的超宽频带放电信号分形分析[J]. 中国电机工程学报,2004,24(8): 99-102.

CHENG Yong-hong,XIE Xiao-jun,CHEN Yu,et al. Study on the fractal characteristics of ultra-wideband partial discharge in GIS with typical defects [J]. Proceedings of the CSEE, 2004,24(8):99-102.

[11] 冉启文. 小波分析方法及其应用[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1995.

[12] 秦前清,杨宗凯. 实用小波分析[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2002.

[13] LU Y,TAN X,HU X. PD detection and localization by acoustic measurements in an oil-filled transformer[J]. IEE Proc Sci Meas Technol,2000,147(2):81-85.

[14] 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.

ZHANG Ming-chao,WANG Jian-sheng,QIU Yu-chang. UHF electromagnetic waves excited by partial discharge in GIS and their measurements[J]. High Voltage Engineering,1998,24(2): 22-25.

[15] CHRISTOPHOROU L G,OLTHOFF J K,van BRUNT R J. Sul-fur hexafluoride and the electric power industry [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine,1997,13(5):20-24.

[16] KAWADA M,TUNGKANAWANICH A,KAWASAKI Z. Detec-tion of wide-band E-M signals emitted from partial discharge occurring in GIS using wavelet transform[J]. IEEE Transac-tions on Power Delivery,2000,15(2):467-471.

[17] HOSHINO T,KATO K,HAYAKAWA N. Frequency characteris-tics of electromagnetic wave radiated from GIS apertures [J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2001,16(4):552-557.

[18] YAMASHITA H,KATO T,HAYAKAWA N. Electromagnetic spec-trum caused by partial discharge in air in high voltage substation[J]. T IEE Japan,1995,115B(10):1208-1213.

(责任编辑:李 玲)

作者简介:

卢 毅(1957-),男,江苏南京人,副教授,研究方向为电力需求侧管理及电气设备的故障诊断(E-mail:yilu@seu.edu.cn)。

Distinguish between partial discharge and external interference signal for GIS on-line monitoring

LU Yi, YANG Jing

(Department of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The electromagnetic wave excited by partial discharge inside GIS and external corona - generated interference are analyzed using the wavelet transform in time - frequency - domain. The feasibility of distinguishing between internal discharge and external interference is discussed. When only single signal exists, the frequency of corona - generated interference in substation is commonly under 130 MHz with less than 70 MHz bandwidth. However, the bandwidth of whatever electro-magnetic wave excited by partial discharge inside GIS is at least double times of that of corona - generated interference. When both signals exist, they can be synthetically distinguished by band-width and advancing front. The result shows that the method is easy and effective, meeting the requirements of signal distinguish for on-line monitoring.

Key words: GIS; partial discharge; electromagnetic wave; time - frequency analysis; interference distinguish