

基于时频检测的 GIS 设备异常振动分析

马啟潇¹, 刘书弟², 何宇航¹, 周电波¹, 何良¹, 姚晓¹

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610041;

2. 华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206)

摘要: 对振动信号进行时频分析可以准确地定位振动源, 进而分析 GIS 设备异常振动的成因并评价设备运行状况。采用振动宽频测试系统检测了某 220 kV 变电站 GIS 设备的异常状况, 通过对测得振动信号进行频谱分析和连续小波分析, 研究了振动信号的时频特性, 揭示了振动信号在 GIS 设备中的传播衰减过程; 同时利用振动信号小波熵分析了振动信号的时间延迟, 从而对振动源进行了精确定位。

关键词: GIS 设备; 振动; 频谱分布; 时频分析; 定位

Abstract: The vibration source can be accurately located by the time-frequency analysis that can analyze the causes of abnormal vibration of GIS and evaluate the equipment operating conditions. The wideband vibration testing system is used to detect the abnormal vibration of 220 kV GIS equipment. By means of spectrum analysis and continuous wavelet analysis of the measured vibration signals, the time domain and frequency domain characteristics of the vibration signal are studied. The analysis results show the propagation attenuation characteristics of the vibration signal on GIS. The time delay of vibration signal is obtained by the wavelet entropy, therefore the vibration source is accurately located.

Key words: GIS; vibration; spectrum distribution; time-frequency analysis; location

中图分类号: TM595 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2017)06-0064-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.06.015

0 引言

近年来, 随着 GIS 设备的大量应用, GIS 设备异常振动的情况出现得越来越频繁, 异常振动的定位和准确评价异常振动对 GIS 设备运行状态的影响成为设备运维面临的新难题。异常振动大部分是由于 GIS 设备内部的机械故障或放电引起, 但是 GIS 设备外部构架应力分布以及环境因素的变化也会引起 GIS 振动。因此对 GIS 设备进行振动检测有利于及时发现设备的潜在缺陷^[1-2]。

由于 GIS 振动信号在金属部件中传播的衰减很小, 因此测点的选择可以具有一定的灵活性。利用 GIS 设备的振动信号对其机械故障进行诊断, 可以很好地解决高压隔离问题, 有助于实现对 GIS 设备的非侵入式状态监测, 已成为高压断路器机械状态监测的最合适的方法之一。数十年来, 各国学者和工程技术人员在 GIS 设备机械故障的振动诊断方面开展了大量的研究工作, 取得了一些成果, 但一直未有重大突破, 还需要不断地深入研究。目前中国的

坚强智能电网建设对电网安全稳定运行有着迫切的需求, 如何利用振动诊断对 GIS 设备机械状态进行检测成为了新的挑战^[3-5]。

下面对 220 kV GIS 设备的异常振动进行了多点检测。通过对振动信号进行频谱和连续小波分析, 研究了振动信号的时域和频域分布特征; 利用小波熵求得振动信号时延, 对振动源进行精确定位, 并最终进行了现场确认。

1 GIS 振动现场测试

在某变电站主变压器进线 GIS 管道处, 时而出现在较明显的应力释放声音。该段封闭管线长近 100 m, 由于存在大范围异响, 无法准确判断产生异响的位置。因此采用振动宽频测量系统在 GIS 管道的一端布置了 3 个振动测点, 对产生的 GIS 管体异响进行检测。

现场 GIS 管道测点布置如图 1 所示, 图中可见 3 个测点统一布置在 GIS 管道的水平侧面。在 GIS 管道左侧的垂直拐弯处有个伸缩节, 测点 1 距离伸

缩节左侧 0.35 m,测点 2 距离测点 1 约 1.6 m,测点 3 距离测点 2 约 4 m。测点 1 到测点 2 之间,以及测点 2 到测点 3 之间均有 1 处 GIS 支撑结构。

振动宽频测试系统的检测单元采用了 PCA 的超声波探头,超声信号经放大滤波单元进行了相应处理。整个检测系统的频响曲线如图 2 所示,图中可见测试系统在 5 ~ 100 kHz 之间具有较好的频响特性。系统的采样率设为 1 MS/s,可完整地记录 GIS 异响振动信号。

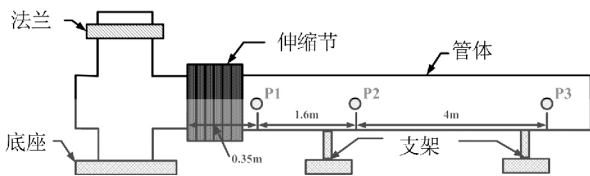
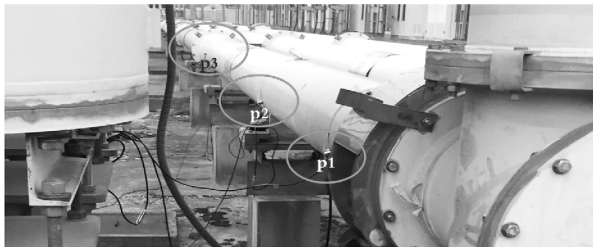


图 1 GIS 外壳上振动传感器的布置

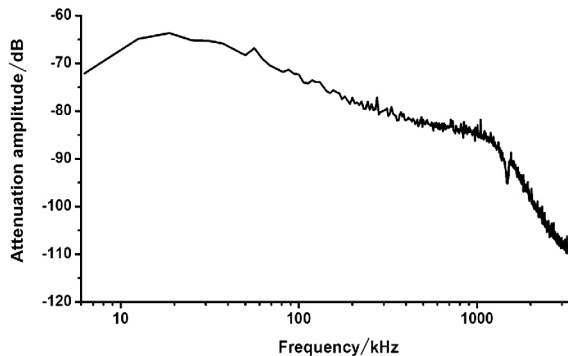


图 2 振动测试系统的频响曲线

2 测试结果分析

将测点 1 作为触发通道,同时捕捉 GIS 出现异响时 3 个振动测点出现的振动信号。出现异响时 3 个测点所测得振动信号见图 3,图中可见该次 GIS 管道异响产生 2 次振动信号。第 1 次出现的振动信号幅值较小,测点 1 处的峰值约为 2.5 V,持续时间也较短,约为 10 ms;第 2 次出现的振动信号幅值较大,峰值接近 5 V,持续时间约为 20 ms;由此可见该次 GIS 管体异响,出现了两次应力释放,由于时间间隔较短,通过人耳无法分辨。此外从振动信号的时

域波形可见,测点 1 和测点 2 处所测振动信号幅值相当,约为 5 V;测点 3 的信号幅值有所减小,约为 4 V。从波形起始时间可见 3 个测点所测信号有一定时延。

对 3 个测点所测得的振动信号进行频谱分析,如图 4 所示。图中可见 GIS 异响产生振动信号的频谱主要分布在 20 ~ 50 kHz,低于 20 kHz 和高于 50 kHz 的分量较少。从测点 1 到测点 3,40 ~ 50 kHz 的分量逐渐减小。测点 1 处频谱峰值约为 0.25 V,测点 2 的频谱峰值稍有减小,约为 0.2 V;测点 3 衰减较大,频谱峰值只有 0.1 V 左右。

综合振动信号的时域波形频谱分布特征,可初步推断 GIS 异响的振动源应靠近测点 1 处。

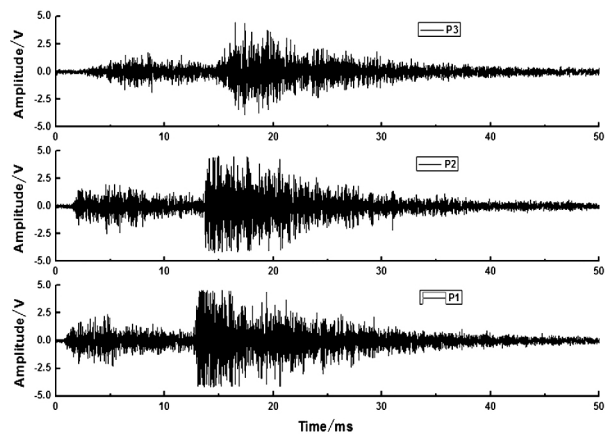


图 3 3 个测点的振动时域信号

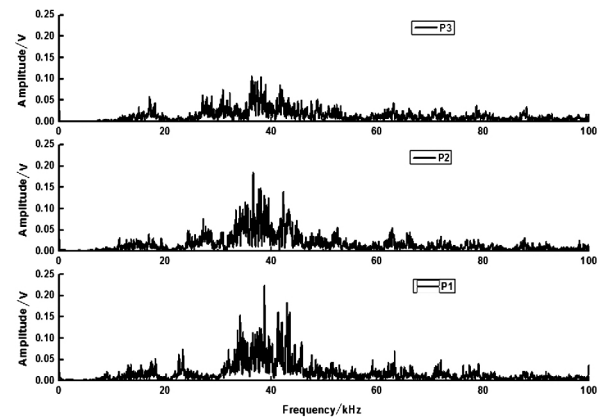


图 4 GIS 外壳上振动信号的频谱分布

对振动信号的频谱分析有助于现场分析振动源的位置。图 5 为 GIS 设备内部放电激发的超声波振动信号的频谱分析结果。图中可见放电激发的超声波振动信号频谱分量主要分布在 20 ~ 80 kHz,50 kHz 以上还有很大的频谱分量^[3]。由此可见由于应力释放产生的异响振动信号与放电激发的振动信号在超声波段的频谱分布差异明显。

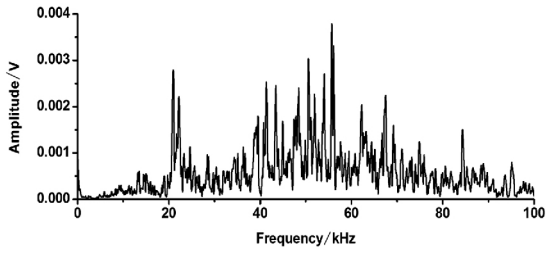


图5 GIS中放电激发超声波的频谱分布

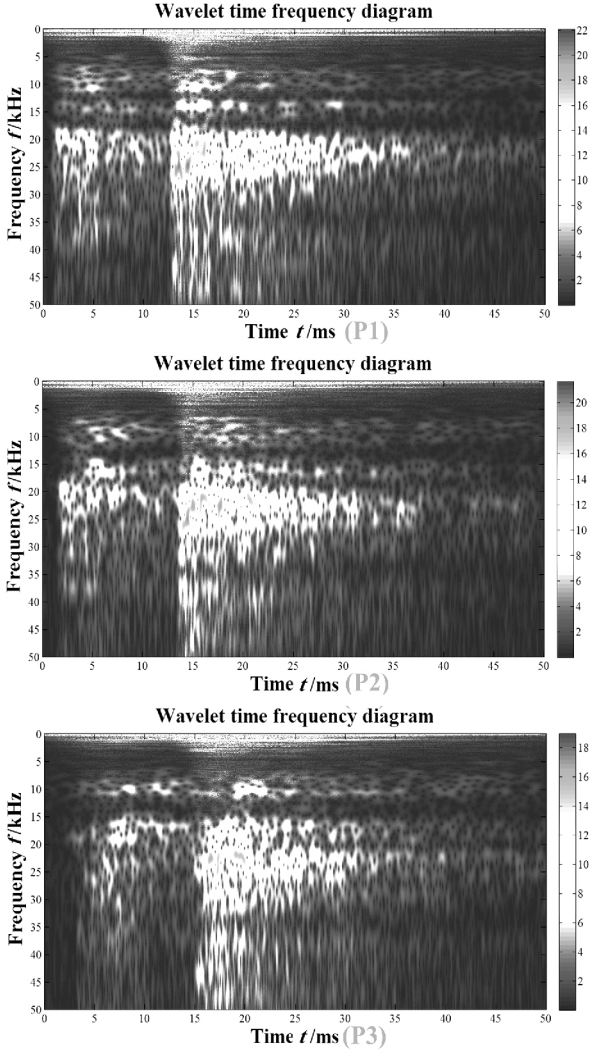


图6 3个测点振动信号的小波时频分析

利用连续小波变换分析3个测点所测GIS异响振动信号,分析结果如图6所示。图中可见3个测点振动信号各频谱分量随时间的变化。第1次出现的振动信号的频谱分量主要分布在20~25 kHz,比第2次出现的振动信号频谱分布范围窄。从测点1和测点2的时频分布图可见随着持续时间延长,振动信号的高频分量逐步衰减。对比3个测点的振动信号时频分布也可见随着传播距离的增大,振动信号在25 kHz以上的分量出现显著地衰减,而20~25 kHz的分量衰减较小。进一步说明异常振动源靠近测点1处。

3 GIS异常振动源的定位

为了进一步分析GIS异响的原因,需对振动源进行定位。通过3个测点时域信号特征和频谱分布特征,大致推断振动源应靠近测点1处。再根据振动信号的时延进行精确定位,通过3个传感器求得彼此之间的时延,并结合超声波信号在金属铝中的传播速度,可最终确定振动源的位置。

3个测点GIS异响振动信号的波头展开图如图7所示。以振动信号第1个最大峰值点的时刻为信号到达时刻,图中可见测点1信号到达时间为12.98 ms,测点2到达时间为13.76 ms,测点3处到达时间为15.27 ms。由此可见测点1到测点2之间时延为0.78 ms,测点2到测点3之间时延为1.51 ms。由于以第1个最大峰值点的时刻为信号到达时刻求取的时延误差太大,根据前述两个时延无法确定振动源的位置,需用新的算法重新确定信号时延。

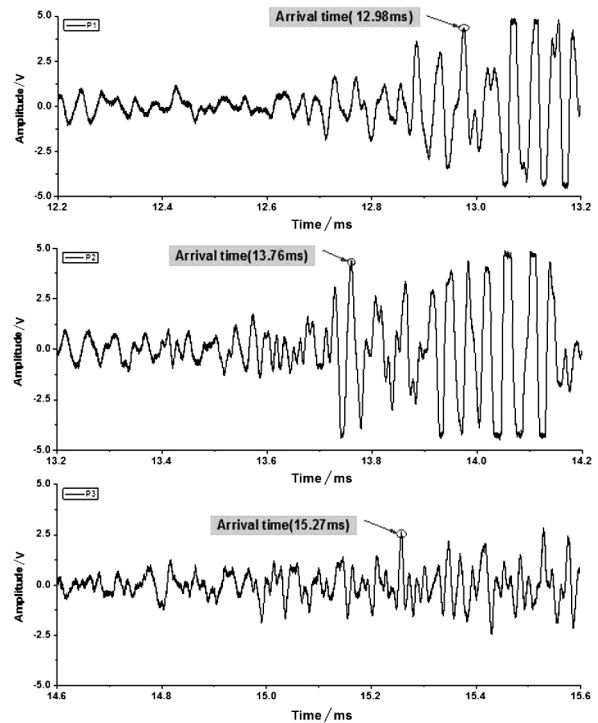


图7 3个测点振动信号的到达时间

为了提高振动信号时延求取的精度,通过对振动信号的连续小波变换系数在频域1~50 kHz上进行积分,得到振动信号在时域上的小波熵。3个测点振动信号的时域小波熵如图8所示。图中可见3个测点振动信号小波熵的上升沿均很陡峭,尤其是测点3处的振动信号小波熵相较于时域波形上升沿有较大的改善,便于确定信号的到达时间。展开振动信号小波熵的波头起始部分,如图9所示。以首先到达

小波熵峰值的三分之一处的时刻为振动信号的到达时间。图9中所示测点1的到达时间是12.85 ms;测点2的到达时间为13.75 ms;测点3的到达时间为15.99 ms。由此求得测点1和测点2之间的时延为0.9 ms,测点2与测点3之间的时延为2.24 ms。根据这两个时延可确定GIS异响振动源位于测点1的左侧;再根据GIS的结构布置推断,振动源应位于GIS管体左端的伸缩节处。

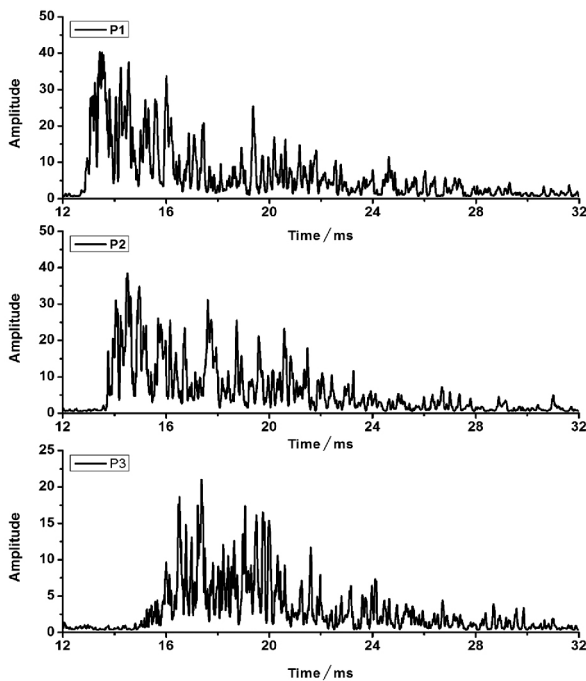


图8 3个测点振动信号的时域小波熵分布

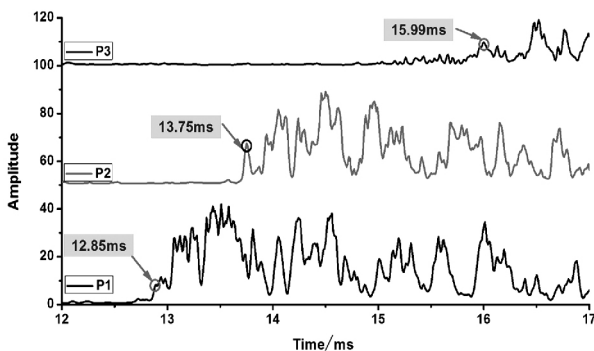


图9 基于小波熵的振动信号时延估计

为了进一步确定定位结论,进行了仔细的现场查勘。从伸缩节下端GIS底座上的滑动连接部位,可清晰地发现存在2 cm左右的划痕,如图10所示,这是GIS管体与底座之间发生了相对位移的印证。通过对现场GIS管体的分析发现,由于该段GIS管体过长,夏季昼夜温差较大,热胀冷缩使管体上的伸缩节或波纹管发生形变,而该类形变逐渐累积体现在GIS管体的左右两端。由于GIS管体在左右两端没有可调节形变的结构,因此在波纹管应力释放时,

将使GIS管体发生一定程度的位移,产生异响。



图10 GIS底座上的划痕

4 结 语

利用振动宽频测试系统对现场GIS异响振动进行了多点同步检测。检测发现GIS异响振动信号持续时间在20 ms左右,主要频谱分布在20~50 kHz;而放电激发的振动超声波信号频谱分布在20~80 kHz。通过连续小波变化,分析了异响振动信号在GIS管体上的传播衰减特性,随着距离的增大,振动信号25 kHz以上的分量出现显著地衰减,而20~25 kHz之间的分量衰减较小。最后根据振动信号小波熵准确地求取了各测点振动信号的时延,以此对振动源进行了准确定位,找到了异响产生的原因;并进行了现场确认。研究表明振动时频检测能准确分析振动信号时域和频域特征,精确定位振动源,有助于评估GIS异响对设备运行状态的影响。

参考文献

- [1] 程林. 特高压GIS/HGIS设备振动诊断方法研究[J]. 电力建设, 2009, 30(7): 17-19.
- [2] William T. Thomson, Marie Dillon Dahleh. Theory of Vibration with Application (5th Edition) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [3] 郭碧红, 张汉华. 利用GIS外壳典型振动的频率特性检测内部潜伏性故障[J]. 电网技术, 1989, 13(2): 44-50.
- [4] 文俊, 刘连光, 项颂, 等. 地磁感应电流对电网安全稳定运行的影响[J]. 电网技术, 2010, 34(11): 24-30.
- [5] M. J. Sablik, G. L. Burkhardt, H. Kwun, et al. A Model for the Effect of Stress on the Low-frequency Harmonic Content of the Magnetic Induction in Ferromagnetic Materials[J]. Journal of Applied Physics, 1988, 63(8): 3930-3932.

作者简介:

马啟潇(1986), 硕士、工程师, 现从事变电站电气设备带电检测工作。

(收稿日期: 2017-07-11)