超声自触发式在线检测的局放被动定位原理与应用研究(Ⅱ)*

——介绍实验室和现场运行结果

王向阳　祝宗泰　袁　炜　袁易全

(东南大学无线电工程系　南京·210096)

我们已详细描述了一种新颖的超声自触发式局放被动定位系统的硬、软件实现[1]。对声触发、在线检测的原理、实用化的时延估计方法和被动定位算法进行了初步理论探讨。本文通过实验和工业现场测试运行,证明了本系统对电力变压器(包括 500kV 电抗器)设备检测有许多独特的优点,具有重要的实用价值。

关键词:　电力变压器,局放,超声传感器,时延估计,被动定位

Theory and application study of on-line test and self-trigger ultrasonic passive localization for partial discharges(Ⅱ)

WANG Xiangyang　ZHU Zongtai　YUAN Wei　YUAN Yiquan

(Southeast Univ. Radio Eng Dept. NanJing · 210096)

In our previous paper as part Ⅰ, a new self-trigger ultrasonic passive localization system for partial discharges and its hardware and software realization had been described. Either the principle of ultrasonic trigger and on-line test, or the useful algorithm of time delay estimation and passive localization is discussed theoretically. At last, by means of experimental and industrial operation, the system has been proved to have many special advantages, especially the important practical value in examination of electrical equipment. The system characteristics and practicable experiment results are introduced in this paper as partⅡ.

Key words: Electrical transformer, partial discharge, ultrasonic transducer, time delay estimation, passive localization

1　前　言

电力变压器的超声自触发式在线检测的局放被动定位系统的原理已在文献[1]中作了详细介绍。本文介绍该系统在实验室的试验结果及江苏省江都变电所、安徽省繁昌变电所现场在线检测运行的结果。

实验室工作主要由模拟局放装置产生局放源,在理想变压器油箱外壁布放超声传感器阵,进行系统软硬件的检测和定位试验。定位精度在 X、Y 方向偏离值约±1cm, Z 值暂时不能确定。在江都变电所检测 3 台德国 Simens 公司产的 500kV 电抗器,目的是考察该系统的抗干扰性能和检测灵敏度。繁昌变电所存在一定局放故障,由于用化学色谱

* 收稿日期: 1996-4-15, 修回日期 1996-5-20

分析手段对意大利产的 500kV 电抗器作两年跟踪, 发现超过国家安全标准值较多, 我们在现场测试以确定其局放源的位置协助判断其局放故障的性质及其严重程度。通过实践一方面积累了该系统使用的经验; 另一方面给用户提供了更多的有用参数, 给用户增加了分析复杂问题的一些依据, 为在线维护电力变压器安全运行增添了一种有效手段。

2 实验室试验及系统性能分析

2.1 实验室模拟局放定位结果

实际的大型变压器、电抗器运行现场属于要害生产部门, 不允许反复多次的实验测试。为了对系统的软硬件性能进行初步调试和完善, 我们在实验室设计了模拟局放装置来代替局放变压器进行超声定位测试。模拟局放装置采用一只宽带标准水听器, 浸入装满变压器油的钢板油箱中, 在 50Hz 的交变脉冲电压驱动下发出周期性的超声波, 其频谱带宽覆盖了变压器局部放电的频谱范围。接收基阵采用 4 只超声传感器布设成矩形, 用耦合油吸附在油箱外壁(壁厚 1cm) 上接收模拟局放超声信号。图 1 为实际接收到的典型模拟局放超声信号的 4 通道时域波形。

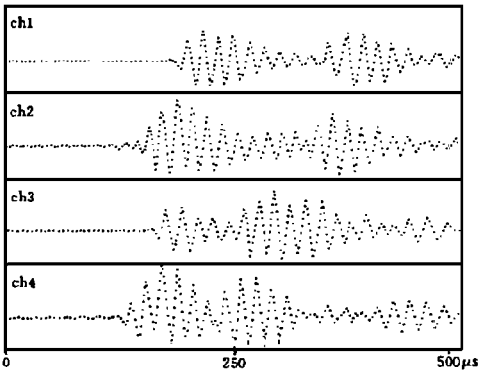

图 1 实际接收的典型模拟局放超声信号 4 通道时域波形

由图 1 可见, 实验室模拟的局放超声信号的本底干扰噪声很小, 超声信号波形与理论分析吻合得很好, 4 路通道的时延清晰可见, 为进一步精确定位打下了良好的基础。图 2 是图 1 时域信号对应的频谱特性曲线。由图还可见, 由于模拟局放超声信号中宽带的本底白噪声能量很小, 所以接收频谱中最主要的频率成分就是超声换能器的通带频率加后处理电路滤波器的带通频率, 例如本系统的主要频率成分即集中在 120kHz 左右, 其它的高、低频成分均较少。

表 1 实验室模拟局放装置定位数据

序号	T_{12}	T_{22}	T_{32}	T_{42}	X	Y	Z
1	28	0	133	- 21	18. 81	9. 45	0. 00
2	49	0	135	- 2	18. 57	9. 05	0. 00
3	47	0	134	- 1	18. 59	9. 03	0. 00
4	50	0	129	- 22	18. 72	9. 48	0. 00
5	52	0	130	- 26	18. 73	9. 57	0. 00
6	49	0	129	- 24	18. 73	9. 52	0. 00
7	48	0	132	- 21	18. 71	9. 47	0. 00
8	47	0	133	- 20	18. 70	9. 45	0. 00
9	49	0	130	- 24	18. 73	9. 53	0. 00
10	49	0	131	- 4	18. 60	9. 10	0. 00

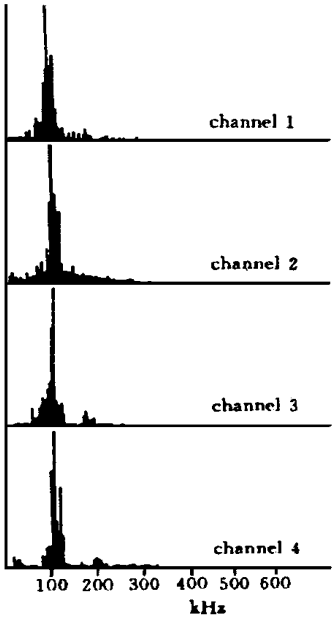

图 2 实际接收的典型模拟局放超声信号 4 通道频谱特性

经过数字化采集后记录下来的局放信号, 由软件处理获得时延估计及空间坐标位置。表 1 列出了 10 组数据。其中, T_{12}, T_{22}, T_{32}, T_{42}分别表示以第 2 通道局放超声信号为基准, 4 路通道数据的时延估计值。时延估

计算法采用前沿法，每个单位表示 0.5μs。X，Y，Z 分别是最终局放定位的坐标值，单位为 cm。对于 X、Y 方向的定位坐标值，可以看出数据的方差较小，定位的精度较高，偏离程度较小。注意到所有的 Z 坐标值均为 0，这表示采样得到的局放数据在满足约束条件的情况下，无法得出 Z 方向的坐标值。由于模拟局放装置中标准水听器的空间位置可度量，实验证明：实测值与定位值的误差较小，X、Y 轴方向偏离值约±1cm。

2.2 电局放量与声压量之间的标定实验

为了使超声局放定位检测系统能提供一个局放量大小的度量标准，以此为工业使用部门提供故障与否的判断依据，我们在江苏省电力试验研究所进行了本文所述的超声局放定位系统的局放量与声压量之间的定标实验。实验时被测装置用局放试验变压器，并由局放仪提供局放量数据。超声局放定位检测系统的主放大滤波模块工作于 0dB 衰减档，对于每个放电量记录了 5 组采样数据，将各组的最大接收电压累加平均后得出对应此放电量时的接收波形振幅数据。对 10 个放电量，4 个通道进行了标定。其数据记录如表 2

表 2　超声局放定位系统 4 通道局放量定标数据

序号	放电量	局放量	通道 1	通道 2	通道 3	通道 4
1	0	0	2.200	2.344	2.168	2.468
2	20000	30	2.312	2.520	2.244	2.560
3	30000	40	2.516	2.636	2.324	2.640
4	40000	50	2.624	2.680	2.384	2.752
5	50000	60	2.724	2.824	2.388	2.780
6	60000	100	2.884	2.928	2.492	2.776
7	70000	120	2.924	3.104	2.508	2.932
8	80000	400	3.136	3.188	2.608	2.888
9	90000	1000	3.296	3.240	2.640	2.960
10	100000	6500	3.308	3.508	2.628	2.980

所示。表中，局放试验变压器放电量的单位为伏特，局放量的单位为微微库(pC)，通道 1～4，4 通道定标数据单位为伏特。由表中定标数据可见，接收数据振幅总体呈现随着放电量增加而线性增大，其中局部出现负增大是由于实际信号接收时受外界干扰的误差影响。图 3 所示为 4 路通道接收超声信号振幅数据与局放试验变压器放电量的函数关系曲线。显然，4 路通道的一致性还必须进一步改善。

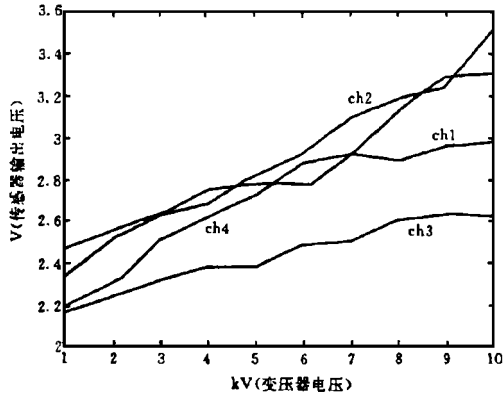

图 3　超声局放定位系统接收信号振幅与放电量关系曲线

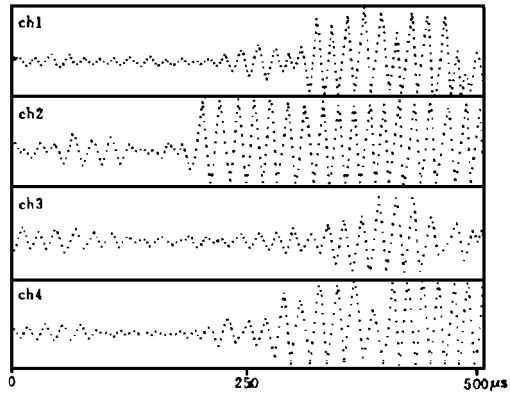

图 4　江都变电站 A 相电抗器超声信号 4 通道时域波形

3　现场运行在线检测结果

3.1 江都变电站 **500**kV 电抗器抗干扰试验

我们与江苏省电力试验研究所联合对江都变电站所属的 3 台德国 Simens 公司产 500kV 电抗器进行了本系统抗干扰性能试验。试验现场为江都变电所野外现场，3 台高压电抗器分别为 A、B、C 三相运行。试验方式为电抗器并网运行中的在线实时测试，接收

传感器用耦合油吸附于电抗器外壳。试验在 A 相电抗器检测到较强的超声信号,图 4 及图 5 分别为其时域波形和频谱特性。

由图可见,实际工业现场相对于实验室条件下的本底干扰噪声较大,且频率成分较实验室的超声信号丰富,尤其是高频成分较多。实验表明:本系统在现场强电场条件下,抗干扰能力较强,有能力测定具有重复性的局部放电信号,并区分出随机的干扰信号。

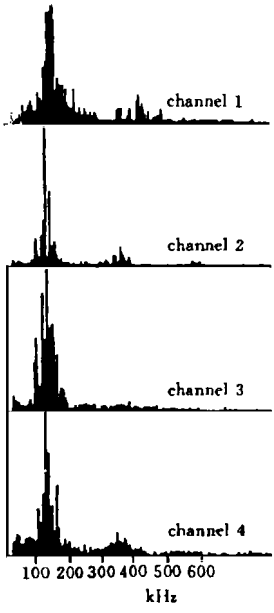

图 5　江都变电站 A 相电抗器超声信号 4 通道频谱特性

表 3　江都变电站 A 相电抗器超声信号定位数据

序号	T 12	T22	T 32	T 42	X	Y	Z
1	152	0	206	165	22.71	20.98	0.00
2	261	0	202	-45	-5.57	26.10	53.98
3	-199	0	10	-218	21.94	20.20	0.00
4	55	0	-51	114	21.98	20.38	0.00
5	-182	0	-19	-121	22.16	19.65	0.00
6	294	0	328	242	23.93	20.95	0.00
7	132	0	203	110	25.28	22.85	0.00

与表 1 过程相同,所采得的局放信号数据进行了定位处理得表3。实验研究还表明:由于采样数据处理得出的时延估计值偏离较大,可见放电源点并不稳定,判断为气泡放电或者随机放电现象,不是故障性局放。

3.2　安徽繁昌变电站 500kV 电抗器试验

1995 年 12 月,华东电管局、安徽省中试所及东南大学三单位共同对繁昌变电站所属一台意大利生产的电抗器进行局放试验。超声局放定位系统主要对 A 相电抗器进行了测试,该相两年来的色谱分析超过国家安全标定值 1 倍以上。

系统测试前先采用单只传感器,主放大器置于-12dB 档对 A 相电抗器典型部位的振动分布进行了测试,目的是考察振动信号与局放之间的差别。试验表明:局放时域信号比振动时域信号更陡峭。相应采集信号的最大值如表 4 所示。

表 4　A 相电抗器加强筋部位的振动分布特性

位置 高度(cm)	正面偏左 (V)	正面中间 (V)	正面偏右 (V)	后面偏左 (V)	后面中间 (V)	左侧中间 (V)	右侧中间 (V)
50	5.10	5.10	3.88	5.10	5.10	5.10	5.10
100	3.58	4.48	3.58	2.62	4.50	-	-
150	2.94	3.44	3.16	3.22	-	-	-
200	2.88	3.76	3.12	3.72	-	-	-
250	-	3.26	3.22	4.76	-	-	-

由表中采集到的振动信号的最大值分析,电抗器外壳的振动分布为下部最大,向上逐渐递减而最上部又略变大。

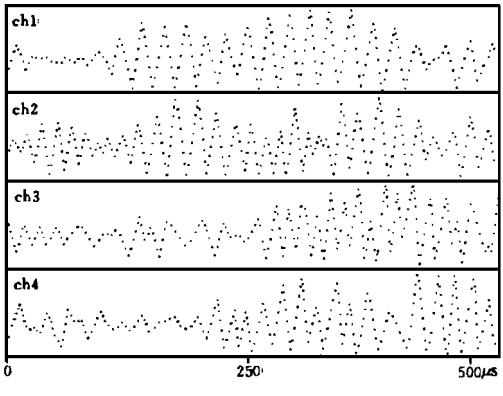

图 6　繁昌变电站 A 相电抗器超声信号 4 通道时域波形

经过多次选择布放,在电抗器左侧上部位将传感器布放为 30cm×25cm 方阵。其典型的采集信号时域波形和相应频谱特性曲线

如图 6 和图 7 所示。

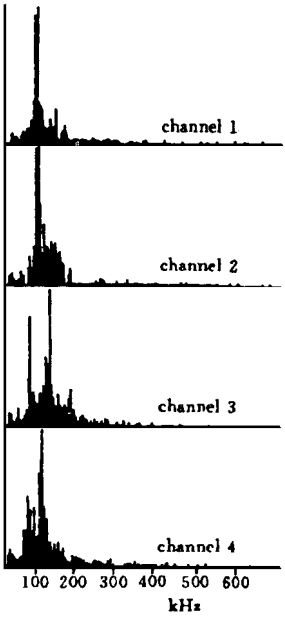

图 7　繁昌变电站 A 相电抗器超声信号 4 通道频谱特性

由图可见, 由于现场局放信号和振动信号叠加, 采集到的信号频谱分布比实验室模拟局放信号的频谱分布宽。显然, 由于白噪声干扰的影响及电抗器本身的振动影响均较严重, 所以系统最终定位结果的方差比较大。经过初步分析定位算法的处理结果, 局放源集中在两个点上, 如表 5 和表 6 所示。

表 5　繁昌变电站 A 相电抗器局放装置定位数据(Ⅰ)

序号	T 12	T22	T 32	T 42	X	Y	Z
1	-56	0	738	587	19.28	-6.99	0.00
2	-106	0	694	145	21.38	5.35	8.70
3	-64	0	584	265	18.70	2.08	0.00
4	-99	0	966	264	23.76	-6.79	15.63
5	-64	0	584	265	18.70	2.08	0.00
6	-211	0	906	128	30.69	5.03	16.53
7	-281	0	722	111	31.28	8.75	0.00
8	-49	0	988	244	19.47	-7.71	18.25
9	-157	0	804	404	26.69	-2.93	0.00
10	-153	0	845	370	27.02	-4.75	0.00

表 6　繁昌变电站 A 相电抗器局放装置定位数据(Ⅱ)

序号	T 12	T22	T 32	T 42	X	Y	Z
1	-225	0	527	-80	23.38	15.02	0.00
2	-280	0	431	-242	22.04	18.97	0.00
3	-133	0	293	-224	16.62	17.64	0.00
4	-385	0	115	-106	19.20	11.19	0.00
5	-18	0	146	-503	14.55	19.61	0.00
6	-507	0	210	141	18.96	19.51	5.83
7	-693	0	93	104	14.24	20.19	17.28
8	-383	0	415	118	26.64	13.59	0.00
9	-340	0	542	210	28.93	12.70	0.00
10	-195	0	629	450	24.03	13.95	6.17

本次实际检测数据给用户提供了更深入地分析故障大小和性质的有效判据。

4　结束语

由于实验条件欠缺, 现场试验困难, 加上局部放电特性本身的复杂性和专业性, 超声局放定位系统尚存有某些不足之处, 为了能够应用于工业生产现场, 还必须进行大量的系统试验和改进。例如: (1) 改善 4 路通道硬件特性的一致性; (2) 增加通道带宽和数据采集模块的采样时间; (3) 建立更加适合于变压器的时延估计算法及被动定位算法。

参考文献

1 王向阳, 袁易全。超声自触发式在线检测的局放被动定位原理与应用研究(Ⅰ), 声学技术, 1995; 14(4); 151～157

2 袁易全　雷家煜　姚治国　近代声学基阵原理及其应用 . 南京大学出版社, 1994

3 刘宗杰, 袁易全 . 电力变压器局部放电超声定位中的等效声速及优化算法 . 声学技术, 1995; 14 (1) ; 35～40.

4 袁易全 . 电力变压器局部放电超声定位中若干物理问题研究 . 东南大学学报, 1991; (3) : 115.

5 袁易全 . 局部放电超声特性实验研究 . 电工技术学报, 1992: (1) : P18

6 袁易全 . 电力变压器局放超声传感器及其应用 . 传感技术学报, 1994; (1) : 15

7 李发远 . 超声定位在变压器故障诊断中的应用 . 变压器技术, 1994; (3) : 2