

「变压器」

基于振动信号的变压器放电故障诊断

文/国网上海市电力公司 傅晓飞 陈 新
威胜百楚电力科技有限公司 张瑞琪 陈爱文

变压器内部放电是运行过程中经常出现的故障。采集了变压器正常工作时的振动信号，通过傅里叶变换得到了其频谱特性。再通过模拟试验，采集了变压器内发生放电时的振动信号，使用小波变换对其进行时频分析。对比两种信号的频谱，结果表明正常工作与发生放电故障时振动信号的频谱有显著不同，据此设计了一套声学诊断系统，并取得了良好的效果。

变压器正常工作时由于硅钢片的磁致伸缩以及电流在绕组间、匝间产生的电动力而引起机械振动，从而产生声信号。变压器的振动大体上包括本体振动、冷却装置振动以及切换有载调压分接开关产生的振动等。这些振动信号中，本体振动信号包含了变压器运行状态的重要信息，且具有十分明显的声学特征。

当设备的某些部件或其运行条件和参数发生变化时，设备产生的振动信号会有一定程度的改变。目前基于振动信号的变压器故障诊断方法大多数采用超声信号对变压器进行故障诊断，这种方法的优点是：①抗干扰能力强，变压器的运行噪声不会对其造成干扰。②可对局放源进行定位。③可进行在役、实时、连续监测。但声波在变压器油内传播时，衰减程度与频率的平方成正比，由于超声信号频率较高，在传播过程中衰减较大，到达油箱壁的传感器处的信号幅值较低，因此检测精度不是很高。变压器内发生火花放电与电弧放电时，其振动信号的声音特征在可听声范围内。可听声检测法与超声法相比有一些优势，比如可听声在传播过程中衰减小，可听声检测法可以避免对绝缘的损坏，进行处理时数据量也小得多，因此利用可听声检测变压器油内放电

故障具有很大的实际意义。

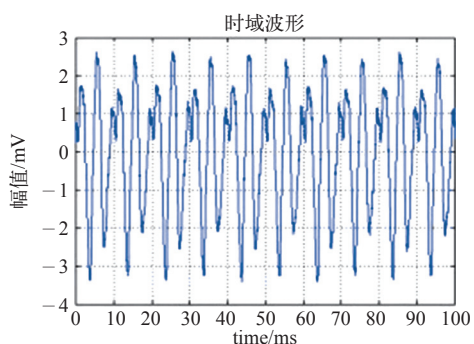
变压器放电时的振动信号为非平稳信号，传统的傅里叶分析不适用，因此本文选择了小波变换的方法分析变压器放电信号。本文对放电信号和正常工作时的可听声信号进行频谱分析后，通过比较得出了两者的不同，肯定了可听声检测对变压器放电故障诊断的可行性。

变压器正常工作时振动信号的分析

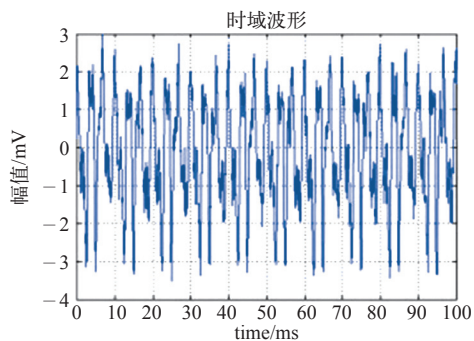
电力变压器正常工作时，硅钢片的磁致伸缩引起了铁心振动，负载电流的电场力引起绕组振动。对于绕组振动，由于作用在导体上的电动力与电流和磁场强度的乘积成正比，故变压器绕组所受的振动力正比于负载电流的平方，因此绕组振动的基频是负载电流频率的两倍，即100 Hz。对于铁心振动，由于外加电压与磁通密度呈线性关系，可知由于磁致伸缩引起的振动力正比于外加电压的平方，因此铁心振动的基频是外加电压频率的两倍，也为100 Hz。由上可得，变压器正常工作时，振动信号的基频为100 Hz。由于电流与磁通之间存在非线性关系，磁致伸缩现象也有着非线性的特点，因此变压器正常工作时的声信

号中还含有高次谐波成分。

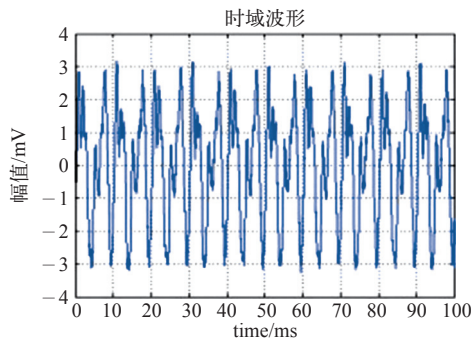
对上海市多个110 kV变电站的配电变压器进行试验,采集正常工作的声信号,包括不同型号、不同容量及不同使用年限的配电变压器。图1为其中的几个典型波形。



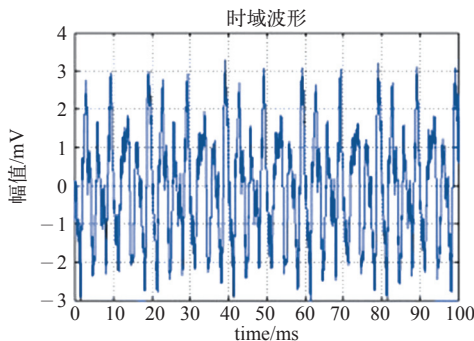
(a) 变压器1#



(b) 变压器2#



(c) 变压器3#



(d) 变压器4#

图1 变压器正常工作时的声信号

从图1可以看出,变压器正常工作时,声信号波形比较平稳,没有明显的脉冲波形,幅值也较低。将图1的时域波形进行傅里叶变换后得到的频谱图如图2所示。

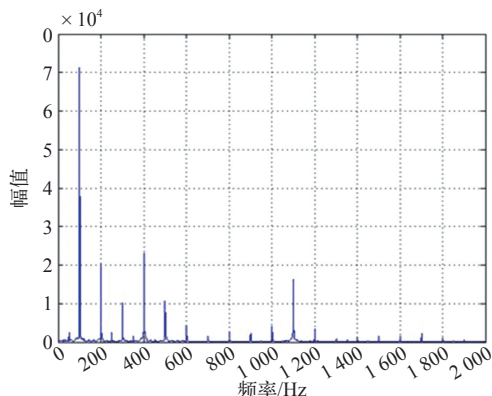


图2 变压器正常工作时的声信号频谱图

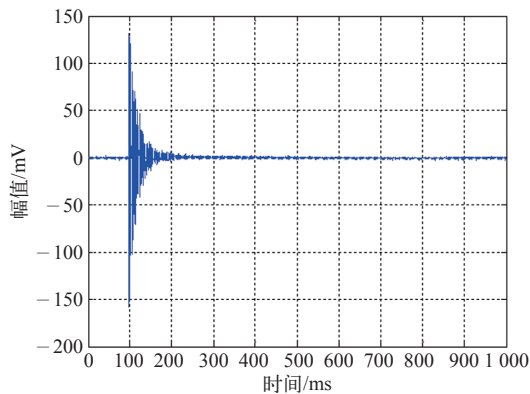
不同型号、容量及使用年限的配电变压器正常工作时声信号的时域波形虽然有一些不同,但经过傅里叶变换后得到的频谱图均与图2相似。

从图2可以看出,变压器正常工作时声信号的频率分量多为100 Hz的倍数,即变压器正常工作时的声信号由100 Hz及以100 Hz为基频的高阶谐波分量组成,而且大部分集中在小于1 000 Hz的范围内,大于1 200 Hz的频率分量含量很低。

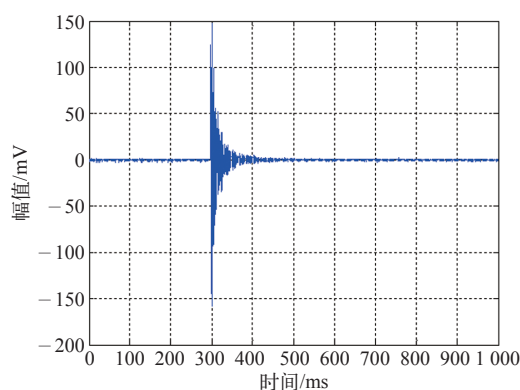
变压器放电振动信号的分析

在模拟变压器内进行试验,对变压器内部针-针放电、针-板放电、沿面放电和悬浮放电四种故障类型进行研究。图3所示为四种放电故障下的声信号的典型波形。

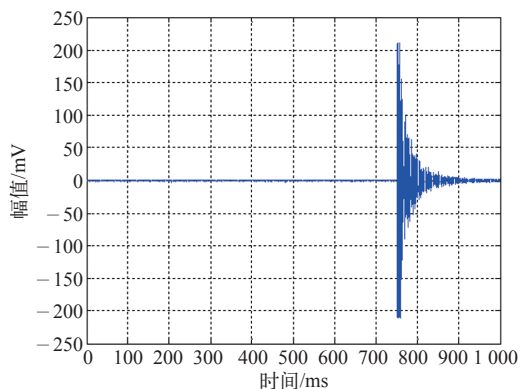
从图3可以看出,变压器内部发生放电故障时,声信号波形具有一定的瞬时脉冲性,并且持续时间很短。与正常工作情况相比,时域波形有



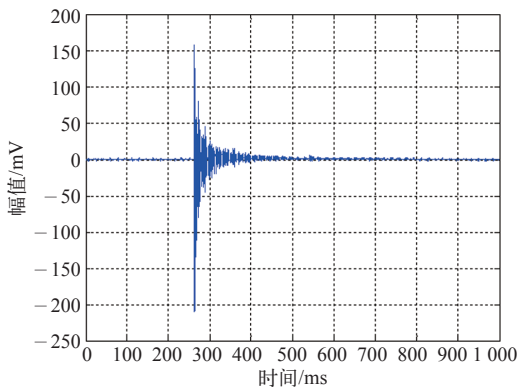
(a) 针-针放电



(b) 针-板放电



(c) 沿面放电



(d) 悬浮放电

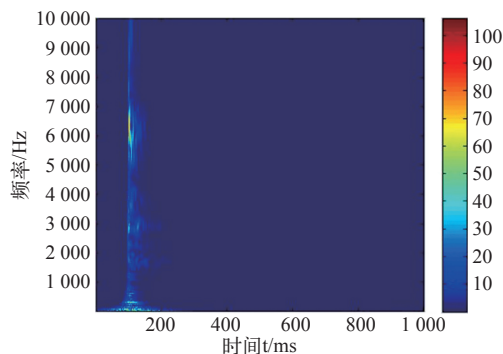
图3 变压器内放电声信号的典型波形

明显的区别。

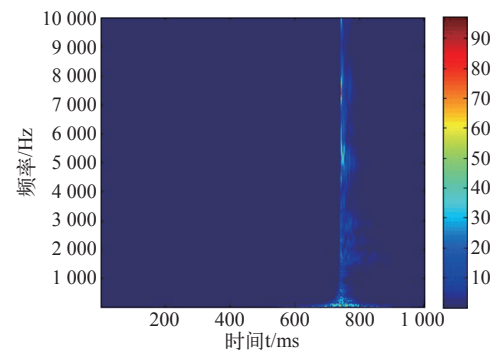
传统的傅里叶分析适用于周期性的、统计特性不随时间变化的信号,而变压器放电时的声信号为非平稳信号,因此傅里叶分析不适用。而小波变换在短时傅里叶变换的基础上,巧妙地利用了一个尺度参数,使窗口的宽度随频率的增加而减少,分辨率也随之变化,在低频段采用高频率分辨率和低时间分辨率,高频段则与之相反,适用于对随时间变化的非平稳信号进行时频分析。因此,本文采用小波变换的方法对变压器放电声

信号进行分析。

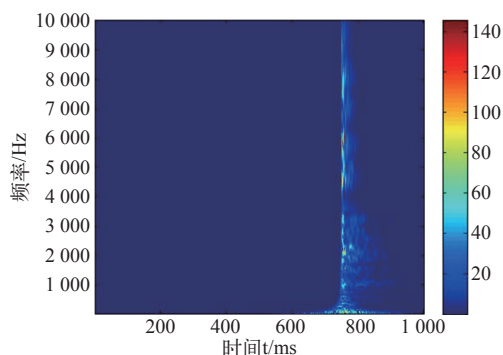
对图3的放电声信号通过小波变换进行频谱分析,得到图4所示的频谱图。



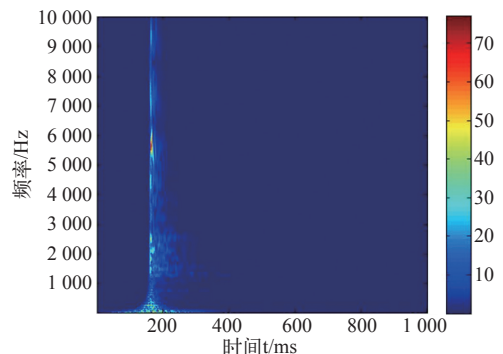
(a) 针-针放电



(b) 针-板放电



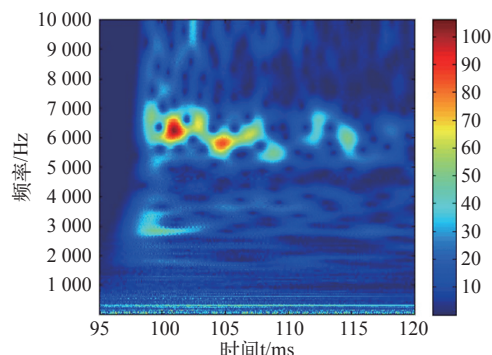
(c) 沿面放电



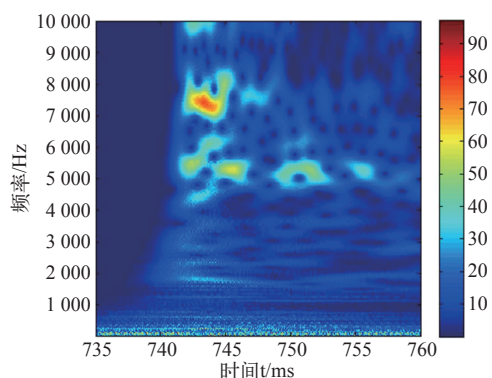
(d) 悬浮放电

图4 变压器放电声信号频谱图

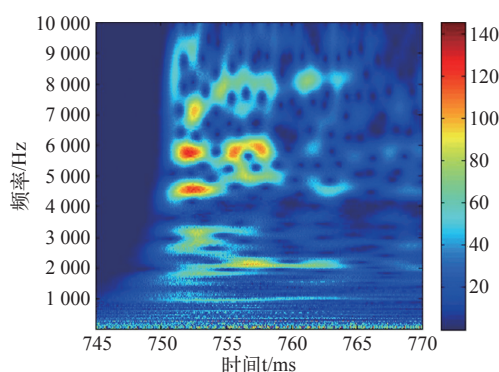
将图4局部放大后得到图5。



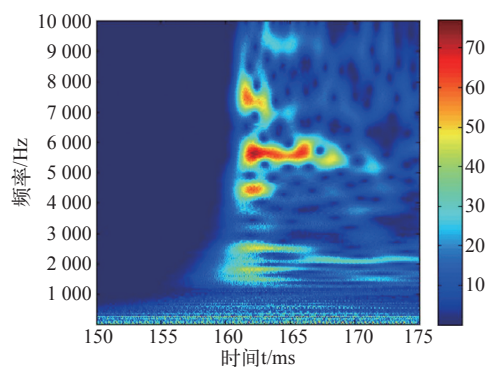
(a) 针-针放电



(b) 针-板放电



(c) 沿面放电



(d) 悬浮放电

图5 变压器放电声信号频谱局部放大图

发生放电故障时，将声信号中能量最高的频率所处的频率区间记作该种放电故障下的特征区间，由图5可得，放电时声信号的特征区间均高于2 kHz，低于1 kHz的频率分量很低，与正常工作情况下变压器声信号的频率特征有明显的区别。若将现场采集的声信号通过高通或带通滤波器，滤掉1 kHz以下的部分，便可将放电声信号与正常运行时的声信号分离开来。

变压器放电故障声学检测系统

当变压器内存在放电故障时，现场采集到的声信号为正常声信号与放电时的声信号的叠加。为了分离这两种信号，根据前面两部分的结论以及奈奎斯特-香农采样定理，设计了幅频特性如图6所示的带通滤波器。

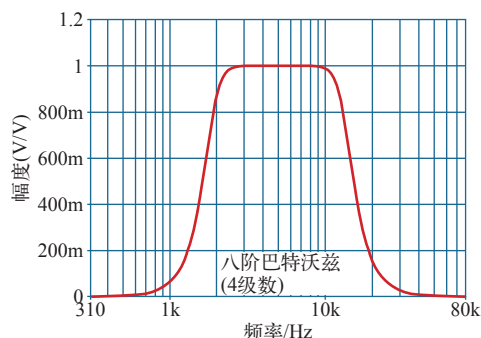


图6 带通滤波器幅频特性

由带通滤波器的幅频特性可以看出，信号通过滤波器后，1 kHz以下的成分几乎全部被滤掉，2~10 kHz的部分幅值基本没有改变。

为了检测变压器内的放电故障，搭建了模拟实验平台，研制了一套声学检测系统。声学检测系统的框图如图7所示。其中声学传感器的带宽为10 kHz。

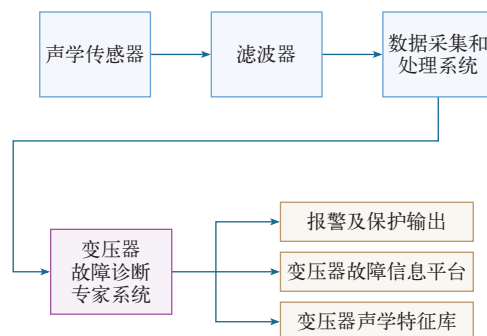


图7 声学检测系统组成图

(下转第66页)

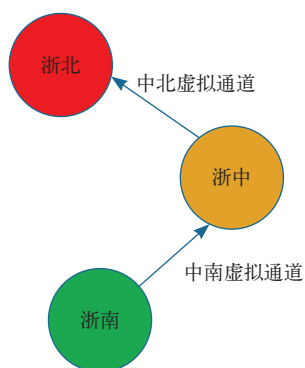


图3 分区平衡状态及传输示意图

为从电力富裕区域到电力紧张区域的自动流转，最终形成了整个大区域的平衡。通过分区平衡的研究分析亦可提高浙北与浙南电网的送电能力、避免事故扩大、提高供电可靠性。

结束语

本文通过对大型的电网进行虚拟分区，电网虚拟分包打破了原有的行政区域限制，建立一个省、地、县三级协同的电网分区平衡体系。本文通过计算日平衡的方法来对整个电网的电能平衡进行评估，进而为指导和安排发电计划和电力传输计算做参考，同时还可对区域电能进行周平衡、季平衡以及年度平衡进行分析，理论方法与日平衡相近。下一步可对分区优化方法在深入研究，对区域内的发电特性、母线负荷特性等进行深入分析，为电能就地消纳、降低远距离传输压力，制订更加精确的调度计划提供理论参考。EA

(收稿日期：2017.10.30)

(编辑：白文亭)

(上接第62页)

在模拟试验平台上进行放电试验，利用声学检测系统检验能否将放电声信号从原始信号中分离出来。通过滤波器前后的信号波形如图8所示。

从图8可以看出，未滤波前无法从信号的时域波形上看出变压器内是否存在放电故障，通过滤波器后变压器的放电声信号与正常时的声信号被分离，可以明显分辨出放电声信号。分离出放电声信号后，利用第二部分所说的小波变换法对故障信号进行处理，取得了良好的效果。

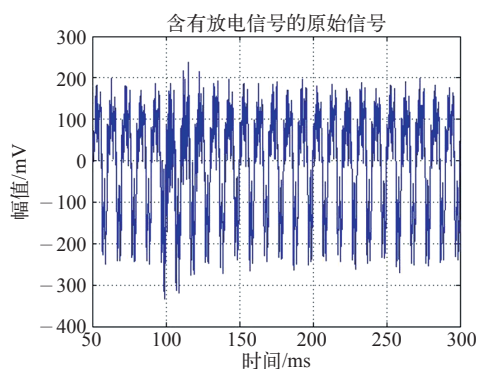
结束语

1) 正常工作时，变压器声信号波形比较平稳，没有明显的脉冲，且频率分量绝大多数集中在1kHz以下且多为100 Hz及其谐波。

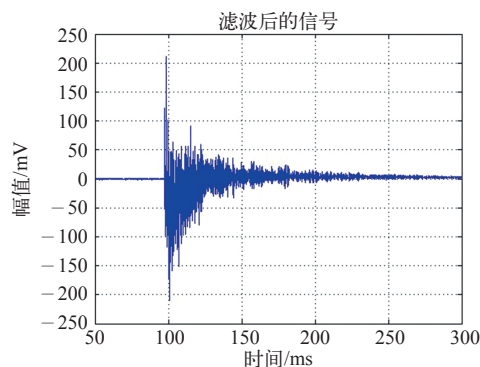
2) 当变压器内部发生放电故障时，声信号具有瞬时脉冲性，傅里叶分析不适用。采用小波变换后，发现放电声信号的特征频率均高于2 kHz，与正常工作时的声信号频谱有明显不同，因此采用小波变换是有效的。

3) 研制了一套变压器放电故障声学检测系统，并取得了良好的效果。EA

(收稿日期：2017.10.27)



(a) 原始信号



(b) 滤波后的信号

图8 通过滤波器前后的信号对比

(编辑：朱金凤)