

直流偏磁引起的 500 kV 电力变压器振动和噪声的现场测量与分析

陈青恒¹, 马宏彬², 何金良²

(1. 广东惠州供电公司, 广东 惠州 516000;

2. 清华大学电机系电力系统及发电设备控制和仿真国家重点试验室, 北京 100084)

摘要: 设计了 500 kV 单相电力变压器振动与噪声在线同步监测方案, 并通过振动与噪声传感器及相应的数据采集和分析系统实现了对广东惠州 500 kV 变电站单相电力变压器直流偏磁条件下的振动与噪声的实时监测。监测得到了 500 kV 电力变压器外壳上典型位置在直流偏磁前后的振动与噪声的时域波形数据, 分析得到了 500 kV 单相变压器振动与噪声信号在直流偏磁前后的频率范围。试验结果表明: 直流偏磁条件下电力变压器的振动与噪声幅值增加明显且频谱中出现了大量高次谐波, 对于变压器的运行有着不利的影响。

关键词: 变压器振动; 噪声; 直流偏磁; 在线监测; 频谱

中图分类号: TM407

文献标志码: B

文章编号: 1001-1609(2009)03-0093-04

Field Monitoring and Analysis on Vibration and Noise of 500 kV Electrical Transformer under DC Current Biasing

CHEN Qing-heng¹, MA Hong-bin², HE Jin-liang²

(1. Guangdong Huizhou Power Supply Bureau, Huizhou 516000, China;

2. State Key Lab of Power Systems, Dept. of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In order to observe the influence caused by the DC biasing current through the neutral point of the power transformer, a new on-line vibration and sound monitoring program was designed with use of both qualified vibration and sound sensors at the same time. The experiment was operated in Huizhou 500 kV substation and a 500 kV single phase electrical transformer was chosen as experimental object. Based on the experiment platform, steady and clear vibration and sound waveform before and after the DC biasing condition was recorded and spectrum analysis was also achieved based on the data monitored. In conclusion, DC biasing is harmful for power transformers and the result of this research provides valuable reference to the on-line vibration and sound monitoring system of transformers.

Key words: transformer vibration; noise; DC biasing; on line monitoring; spectrum

0 引言

随着我国交直流混合输电模式逐渐形成, 交直流系统相互干扰的问题也随之出现。当直流线路采用单极大地回路运行时, 通过直流系统的接地极流入大地的直流电流将对交流电力系统内的电力设备产生影响。天广直流输电系统直流单极大地回路运行方式下, 网内部分变压器振动加剧、噪声增大, 对噪声与调试负荷进行比对的结果表明二者具有明显的相关性, 类似的经验和大量试验数据表明, 直流偏磁是造成变压器振动和噪声加剧的主要原因^[1,2]。

电力变压器常规运行时, 磁致伸缩和漏磁引起

的铁心叠片以及绕组之间的振动是引起变压器箱体振动的主要原因^[1,3,4]。当出现直流偏磁时, 变压器内部漏磁通在幅值上有明显的增加, 高次谐波也大量出现, 从而导致绕组之间、硅钢片之间的振动有明显的增强, 振动通过绝缘油和铁心垫脚传递到箱体表面, 也将反映出幅值增大和谐波增加的特点^[5-7]。

该试验在广东惠州 500 kV 变电站单相电力变压器上进行, 在三广直流线路调试单极大地回路运行方式运行期间进行监测, 采用振动与噪声传感器以较高采样频率同步提取有无直流偏磁条件下变压器工作时的噪声和振动信号波形, 对其频谱进行了分析比较, 给出了变压器振动和噪声与直流偏磁的关系曲线, 并提出了一种判断电力变压器振动和噪

收稿日期: 2008-05-26; 修回日期: 2008-12-17

作者简介: 陈青恒(1971), 男, 博士, 高级工程师, 从事电力安全运行工作。

声状态受直流偏磁影响程度的方法。

1 现场测量与结果

1.1 试验装置与测量方案

变压器器身表面的振动与变压器绕组及铁心的压紧状况、位移及变形状态密切相关,因此可以通过测量电力变压器的器身振动来反映绕组和铁心的振动情况,并通过在变压器表面进行瞬时声压测量实现对变压器运行状态的监测。同时,该监测系统与整个电力系统没有电气连接,所以对整个电力系统的正常运行不会产生影响,安全而方便。

振动与噪声在线监测装置分为信号采集部分与后台处理部分,前置机由振动传感器与噪声传感器组成。在测点的选择上,首先需要确定3个方向的监测;其次测点在直流偏磁时所在位置处应该能如实反映出变压器整体的振动状态,不会因为所在处箱壁结构的限制而变化微弱;最后,该位置应易于定位和安装传感器,确保试验具有较高的可重复性和精确程度。最终确定如图1所示3个振动测点,与振动测点1水平距离1.5m处布置了噪声传感器;采得的实时信号经数据采集和滤波,形成数字信号由后台计算机进行显示、储存和分析。

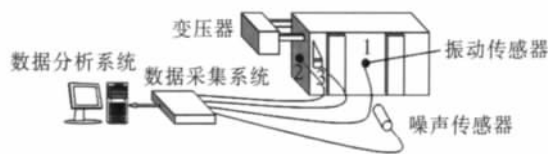


图1 变压器振动与噪声监测装置图

1.2 振动与噪声信号的测量结果

在调试过程中,设定较高的采样频率,以尽可能精确地反映变压器振动与噪声频谱,振动的测量单位为 m/s^2 ,从安装平面指向传感器的方向为振动的正方向,噪声瞬时声压的单位为 Pa 。3个振动测点和一个噪声测点直流偏磁前后监测波形见图2~5。

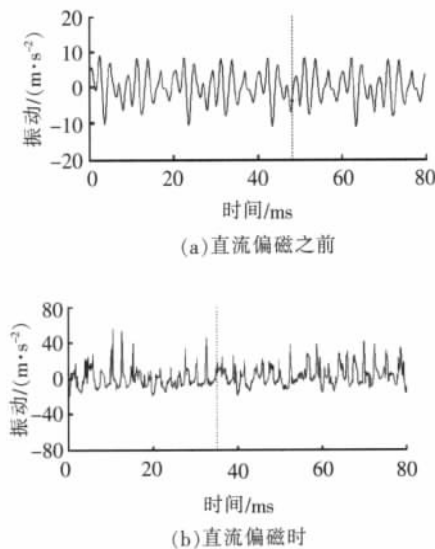


图2 有无直流偏磁时测点1处振动时域波形

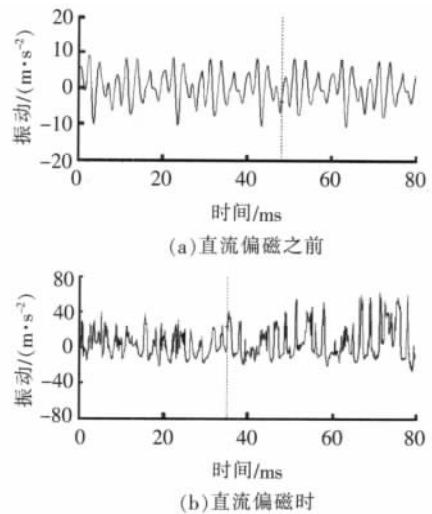


图3 有无直流偏磁时测点2处振动时域波形

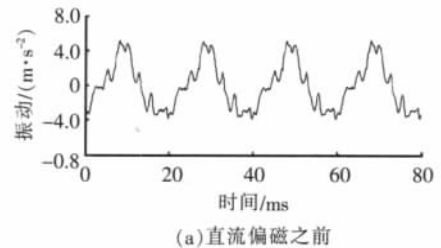


图4 有无直流偏磁时测点3处振动时域波形

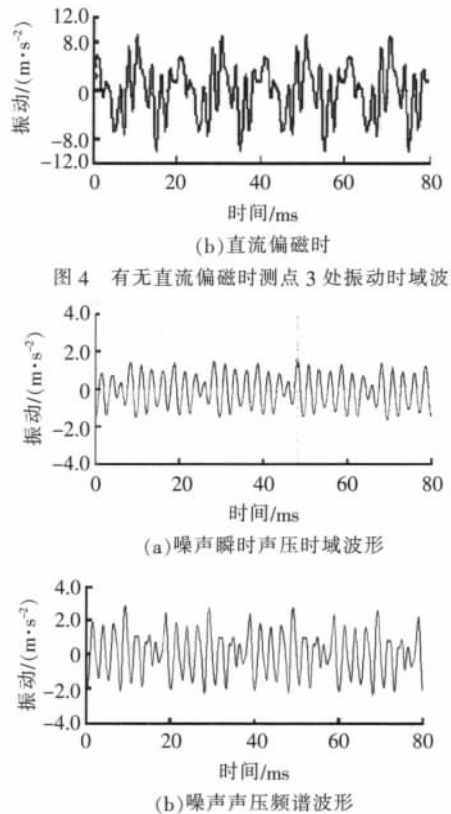


图5 有无直流偏磁时噪声瞬时声压时域波形

2 试验结果分析

2.1 不同测点的波形分析

虽然波形和频谱并不相同,但在直流偏磁前后,3个测点的时域波形和频谱具有相似的变化趋势。没有直流偏磁时,油箱壁振动的时域波形清晰

稳定且表现出了非常明显的周期性,波形相对规律,上下对称性较好,而直流偏磁出现时,波形变得杂乱,上下波形出现了明显的不对称,测点1的振动峰值从1g增加到了4g左右,受变压器结构的影响,反向的振动幅值只是从1g增加到了大约2g;测点2的振动峰值从1g增加到了6g左右,谷值从1g增加为2g左右,与测点1变化程度接近;测点3变化程度相对较小,峰谷值均从 4 m/s^2 增加到 10 m/s^2 ;噪声波形相对变化最小,峰值从 1.5 Pa 增加到了 3 Pa 。

3个测点的频谱分析结果表明:高次谐波明显出现,无直流偏磁时的主频仍有明显优势。

2.2 振动和噪声幅值随偏磁电流的变化规律

图6是惠州供电局3号主变监测到的中性点直流电流,从下午14:40开始出现明显的偏磁直流,这一过程中,系统监测到了整个直流偏磁从无到有的过程中振动与噪声的变化情况。

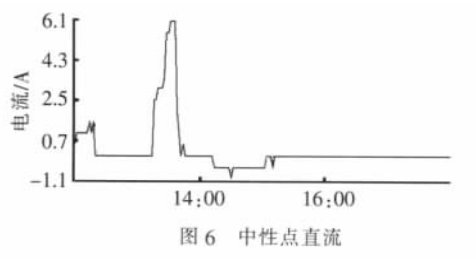


图6 中性点直流

图7给出了整个直流偏磁从无到有再到小的过程中噪声波形与测点1的振动波形的变化情况,从监测的结果看,直流偏磁与变压器箱体振动和噪声有着非常明显的相关性。

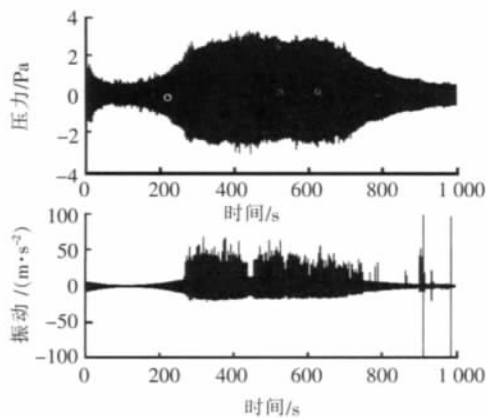


图7 振动与噪声同步变化波形

将相同时刻监测系统记录到的测点1的振动和噪声时域波形的幅值与变电站主控室记录到的中性点直流的大小进行对比,将振动幅值与直流偏磁电流的对应关系在图8中反映出来,得到直流偏磁电流对变压器振动幅值的影响曲线。可以看出,随着流入交流变压器中性点直流偏磁电流的增加,交流变压器的振动呈线性增加趋势;直流电流每增加1A,振动幅值增加1.1g左右,在直流偏磁为0时,振动幅值在2g左右;类似的监测表明,直流电流每增加1A,噪声声压增加约 0.9 Pa 。

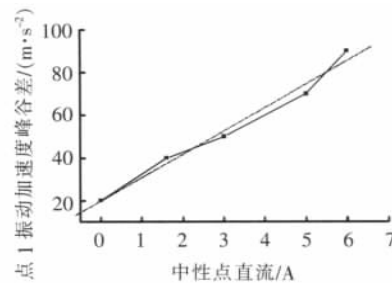
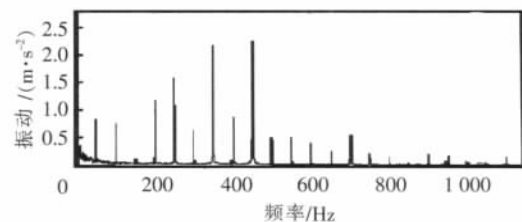


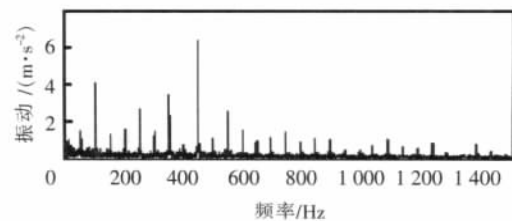
图8 直流偏磁电流对变压器的振动的的影响曲线

2.3 振动波的频谱变化规律

图9为直流偏磁时振动加速度频谱分析,从图9可以看出,没有直流偏磁时,该处变压器油箱壁振动频谱基本集中在1kHz以内,在 $100\sim 500\text{ Hz}$ 内最为明显,而1kHz以上的高频分量则基本可以忽略。而当出现直流偏磁现象时,箱体表面的振动频谱中高频分量大幅增加, $500\sim 1000\text{ Hz}$ 谐波均匀而稳定地增大,甚至在原本可以忽略的 $1\sim 1.4\text{ kHz}$ 的频段也出现了相应的高次谐波,反映出变压器内部绕组和铁心振动有明显变化。



(a) 直流偏磁之前振动加速度频谱分析



(b) 直流偏磁时振动加速度频谱分析

图9 直流偏磁前后测点1处频谱分析

2.4 振动对变压器运行带来的可能影响分析

过大的直流偏磁使变压器铁心饱和趋于严重,励磁电流发生畸变,硅钢片磁致伸缩力增加。而且,饱和的铁心成为更高磁阻途径,漏磁通增加,导致绕组振动加剧,辐射噪声增大。

直流偏磁过程中剧烈的振动对于变压器结构的机械强度产生冲击,可能造成紧固件变松甚至脱落。因此,需要比对直流偏磁发生之前和消失之后变压器的振动波形和频谱情况。图10为测点1在直流偏磁消失后的时域波形和频谱分析结果,与偏磁之前基本一致,一方面说明直流偏磁过程对于变压器未造成明显的影响,另一方面进一步验证了直流偏磁对于电力变压器振动的影响。

2.5 一种新的判断变压器运行状态的方法

从振动与噪声变化程度来看,直流偏磁对于变

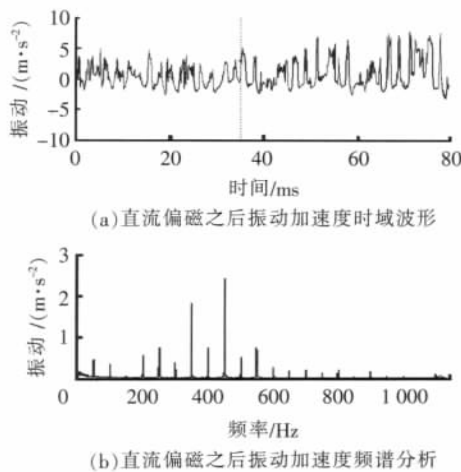


图 10 直流偏磁之后测点 1 处振动时域及频谱分析

压器的安全运行有着很大的威胁, 需要密切注意这一过程中变压器的振动和噪声变化情况, 以监测变压器本体是否出现问题。笔者提出一种判断电力变压器振动和噪声状态受直流偏磁影响程度的方法:

选定测点, 考虑负荷对于振动状态的影响, 记录无直流偏磁时的振动幅值在不同负荷水平时振动程度; 在已记录的直流偏磁对于振动和噪声影响程度的基础上, 当再次出现直流偏磁时, 考察直线斜率是否在合理的范围内; 考察直流偏磁前后在相同的负荷水平条件下, 振动时域波形和频谱分析的结果是否一致, 如幅值的变化范围是否在 20% 的范围内, 500~1400 Hz 范围内的高次谐波是否大量出现^[3]。

如出现以上的问题, 则怀疑变压器内部结构可能出现问题。

3 结论

(1) 变压器正常运行时, 振动与噪声波形清晰稳定且有着较为明显的周期性, 为电力变压器的故障诊断和状态维修提供了有力的数据基础和长期判断依据。

(上接第 92 页)

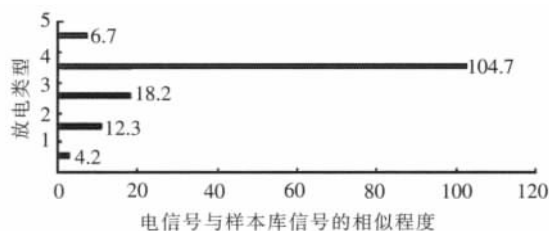


图 15 AGA-BP 神经网络的模式识别结果

子污秽缺陷放电, 3 代表高压导体尖刺放电, 4 代表接地体上尖刺放电, 5 代表自由金属微粒放电。

同时使用脉冲电流法对测量系统进行标定, 结果表明, 该测量系统可测量到视在放电量为 2 pC 的局部放电。

6 结语

该检测系统中心频率、带宽可调, 可选择局部放

(2) 直流偏磁前后, 3 个测点的时域波形和频谱具有相似的变化趋势。没有直流偏磁时, 油箱壁振动的时域波形清晰稳定且表现出了非常明显的周期性, 波形相对规律, 上下对称性较好, 而直流偏磁出现时, 波形变得杂乱, 上下波形出现了明显的不对称, 3 个测点的振动峰值有明显增长。

(3) 从幅值看, 随着流入交流变压器中性点的直流偏磁电流的增加, 交流变压器的振动呈线性增加趋势。此外, 噪声与振动基本同步变化, 噪声水平也是反映变压器运行状况的指标之一。

(4) 变压器正常运行时, 箱体表面水平方向振动频率以 100 Hz 为基频, 在 200~500 Hz 范围内所占权重最大, 1000 Hz 以上基本上可忽略不计。直流偏磁时, 出现 500 Hz~1.4 kHz 频率范围内的高次谐波。

(5) 由于变压器结构复杂, 目前的监测侧重于对变化量的监测, 实现故障程度分析或者故障定位上需要进一步的研究和探讨。

参考文献:

- [1] 钟连宏, 陆培均. 直接地极电流对中性点直接接地变压器影响[J]. 高电压技术, 2003(8): 12-14.
- [2] 蒯狄正. 直流偏磁对变压器影响的研究 [J]. 江苏电机工程, 2004(5): 1-4.
- [3] WEISER B, PFUTZNER H. Relevance of Magnetostriction and Forces for the Generation of Audible Noise of Transformer Cores[J]. IEEE Trans. on Mag., 2000, 36(5): 3 759-3 777.
- [4] 董志刚. 变压器的噪声 2 [J]. 变压器, 1995(11): 27-31.
- [5] 王世山, 汲胜昌, 李彦明. 利用振动法进行变压器在线监测的应用研究[J]. 变压器, 2002(9): 73-76.
- [6] 汲胜昌, 刘味果, 李彦明, 等. 振动法用于在线监测电力变压器绕组及铁心状况的可行性研究 [J]. 高压电器, 2001, 37(5): 4-7.
- [7] 曹林. 直流偏磁电流对电力变压器励磁特性影响的研究[D]. 北京: 清华大学, 2007.

电信号强、干扰小的某一高频窄带信号, 因而系统的抗干扰能力强, 灵敏度高; 采用统计方法, 可分析 100 个工频周期信号后给出结果, 局部放电信号信息更丰富, 并可减少随机干扰的影响, 可用于变压器、GIS 等电力设备局部放电在线监测。

参考文献:

- [1] 陈小娟, 袁乃昌. 平面螺旋天线的设计与实现 [J]. 雷达与对抗, 2004(4): 31-33.
- [2] 郭景丽, 贺秀莲, 刘其中. 有限圆盘地面上套筒单极子天线 [J]. 西安电子科技大学学报 (自然科学版), 2004, 31(3): 417-421.
- [3] 谈文心, 邓建国. 高频电子线路 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1996.
- [4] 王国利, 郑毅, 沈嵩, 等. AGA-BP 神经网络用于变压器超高频局部放电模式识别 [J]. 电工电能新技术, 2003, 22(2): 6-9.