

电力变压器噪声研究与控制

谭 闻¹, 张小武²

(1. 华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 国网电力科学研究院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 为了降低变压器噪声给人们工作和生活带来的影响, 笔者较全面地阐述了变压器噪声控制的重要意义和这些年来国内外的研究成果, 说明了振动是产生变压器本体噪声和冷却装置噪声的原因。归纳了变压器噪声的研究方法: 变压器远场辐射噪声可以通过实测数据统计和建立计算模型两类方法进行分析, 变压器辐射噪声的测量用声强法比传统的声压法更加接近真实情况。详细介绍了变压器的噪声控制方法, 在噪声源控制上选用优质高取向硅钢片, 在设计、工艺和安装等诸多方面采取有效措施降低噪声; 在噪声传播过程中采用缓冲装置、消声法、设置隔音层、隔音室等方法增大噪声在传播过程中的衰减以降低噪声。最后, 对变压器噪声控制的发展趋势提出了一些看法。

关键词: 电力变压器; 振动; 噪声控制; 环境保护

中图分类号: TM401

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)02-0070-03

Investigation and Control of Power Transformer Noise

TAN Wen¹, ZHANG Xiao-wu²

(1. College of Electrical and Electronics Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. State Grid Electric Power Research Institute, Wuhan 430074, China)

Abstract: The importance and recent achievements in the field of noise control of power transformer are discussed. Vibration causes the noises of transformer and cooling system. The far-field radiation noise can be analyzed with statistic method of measured data or with calculating model. The sound intensity method is more accurate than the traditional sound pressure method in measuring radiation noise of a transformer. The methods for controlling transformer noise are introduced: for noise source control, using high-quality silicon-steel sheet, and adopting effective measures in transformer design, techniques and installation; for noise propagation control, adopting muffler device, sound insulation board and isolation booth, etc. to enhance noise attenuation. In addition, the trend of the power transformer noise control is prospected.

Key words: power transformer; vibration; noise control; environment protection

0 引言

随着国民经济的不断发展, 城市用电量逐年增加, 输变电设备的电压等级不断提高, 高压输电线路被逐渐引进城市, 许多高电压、大容量的大型电力变压器的安装地点正逐渐进到市内。变压器连续运行所发出的噪声对人们的正常生活和工作将造成影响, 夜间的影响尤为严重。变压器的噪声不但污染环境, 危害人类健康, 影响设备的正常运行和使用寿命, 而且还影响到变电站的占地面积。变压器的噪声与其电气性能和机械性能一样, 都是变压器极为重要的技术参数。各变压器制造厂商也一直对变压器的噪声问题进行深入的研究, 并提出各种降噪措施以有效地降低变压器的噪声给人们工作和生活带来

的影响^[1]。

国外一些大型电力变压器制造公司如西屋公司和通用电气公司以及相关研究机构早在 20 世纪 20 年代就开始对变压器噪声问题进行了研究, 涉及变压器噪声和振动机理、声学特性、降噪措施等诸多方面的研究, 也包括各国相继制定的一些技术和环保标准。自 20 世纪 70 年代以来, 国外各主要变压器制造国均投入了大量人力物力对变压器噪声开展了更加广泛和深入的研究。研究规模不断扩大, 研究对象往往涉及几十台不同规格的变压器。相关学科领域的新技术也被引入到研究方法中, 如利用声强法、声压法进行变压器声级测定和远场辐射噪声分析(如丹麦 Brüel & Kjær 公司的环境噪声分析仪可方便地对变压器噪声进行时、频域实时测量和预估), 并逐步从试验研究转向构筑理论分析的数学模型(如建

收稿日期: 2008-11-10; 修回日期: 2009-01-06

基金项目: 国家电网公司重点科技项目: 输变电工程可听噪声测试与分析(13028)。

作者简介: 谭 闻(1988-), 女, 湖北武汉人, 研究方向为电气工程及其自动化。

立变压器声源数学模型),对新建变电站进行变压器辐射噪声预估。同时还出现了一批模拟计算软件,如 Flystryd、SoundPLAN、Sysnoise 等进行变压器噪声场的分析计算^[2-6]。

国内对变压器噪声的研究开始于20世纪80年代,主要研究单位包括大型变压器制造公司如西安变压器厂、上海变压器厂、新疆特变等,各地方供电部门及武汉高压研究院等科研机构。国内研究涉及变压器噪声产生的机理、测量方法、抑制措施、优化设计方法等,并制定了变压器噪声标准(JB/T 10088-1999)。目前国内研究主要集中在变压器噪声特性的理论、试验研究及抑制措施方面,取得了一定的效果^[7]。

1 变压器噪声产生机理

变压器的噪声声源分为本体噪声和冷却系统噪声。本体噪声主要来源于硅钢片的磁致伸缩引起的铁心振动以及硅钢片接缝处和叠片之间存在因漏磁而产生的电磁吸引力^[7,8]。冷却装置的噪声主要来源于冷却风扇和变压器油泵在运行时产生的振动以及本体的振动会通过变压器油、管接头等零件传递给冷却装置,使冷却装置的振动加剧,辐射噪声加大。

2 变压器噪声的研究方法

2.1 变压器远场辐射噪声研究

变压器远场辐射噪声水平是进行新变电站设计和老变电站改造的重要参数,该值受到了各国的普遍重视。变压器远场辐射噪声研究的途径可以分为实测数据统计分析和建立计算模型两种。

2.1.1 实测数据统计分析

美国 BBN 公司于1976~1980年对下属变电站中的40台正在运行的20~50 MV·A 变压器的噪声水平进行了测量,取得了如下较有价值的研究主要成果^[3,4]:各种规格变压器的铁心噪声水平可以单纯地与变压器全冷却容量成函数关系,而高压侧电压或变压器油箱容积不是决定变压器噪声水平的独立参数;标称额定值相同的三相变压器和三相组合式变压器的铁心噪声水平差别不明显;提出了变压器远场辐射噪声水平的预测方法。

2.1.2 计算模型

对大量实测数据进行统计分析的方法很耗费人力和物力,一些研究人员希望通过建立变压器噪声声源计算模型来计算其远场辐射噪声。准确地用一种数学模型来描述变压器复杂的噪声特性并非易事,但仍是在理论层次上对变压器噪声机理进行研究的有效方法。

文[3]首次建立了变压器的声学计算模型,在计算变电站周围噪声水平时,将变压器简化为一个理

想的点声源,从这个点声源发出的声波(只考虑纯音120 Hz)以球面波的形式在空间传播,这样可以简化整个计算过程,而且球面波在两种媒质分界面上的反射、折射系数的算法都有成熟的理论和计算软件,所以很容易把这种计算方法程序化。当变压器外形尺寸与测量点到变压器的距离相比很小时,可以将变压器简化为一个点声源。考虑地面变电站内其它变压器、变电站围墙及其它建筑对变压器声辐射的影响时,仍使用点声源模型来计算变电站周围的噪声水平就不够科学了。以后提出的各种模型都是在此基础上的进一步完善。

文[5]将变压器油箱理想化为一个6个面的长方体,并忽略变压器箱顶和箱底振动辐射噪声,认为噪声全部来自于4个箱壁的振动。基于 Helmholtz 积分公式,设想通过变压器4个箱壁的表面法向振动加速度来计算变压器声场声压,这是一种将理论计算和现场实测相结合的方法。在运用上述公式进行计算前,须先从变压器箱壁上获取表面法向加速度数据。这种方法所采用的计算模型比文[3]中的点声源模型更接近于变压器的实际状况,但还不能准确地计算变压器的声场。

到目前为止,尚未有一种变压器辐射噪声计算数学模型得到各国广泛的认可,但这种研究方法代表了变压器噪声研究的方向,投入到其中研究的声学工作者也越来越多,期待在这方面取得新的进展。

2.2 利用声强法对变压器辐射噪声的研究

在声学测量中,传统的方法是测量声压,但这种方法易受环境的影响,必须进行修正,甚至需要在特定声学环境(如消声室)中进行。声强法则不同,运用高斯定理,从声源发出遇到障碍物后又返回到高斯面内的声音是不计入面积分结果的,可以有效地避免周围环境对噪声测量的影响。但是声强难以直接测定,所以从20世纪30年代奥尔森奠定声强测量的理论基础到70年代初的40多年间,声强测量技术并未得到广泛应用。70年代中后期,随着随机信号分析理论逐步深化,在FFT谱分析技术的基础上,声强及其频谱分析在理论和实践方面都得到了极大的发展,使声强测量方法日趋成熟。

影响声强测量精度的因素来源于用有限值 Δr 代替 $\Delta \theta$ 产生的误差以及传声器与测量通道的相移产生的误差, Δr 的选取对减小被测声强和真实声强之间的误差及控制测量设备的低限频率非常重要。

文[9]利用声强法对 Comerford HVDC Conversion Station 中的各种大型电力设备的辐射噪声进行了测量,认为在测量时只有声强测量技术才能有效避免电站中各种设备之间的噪声干扰。文[10]利用声压法和声强法对电力变压器的噪声进行了测量,发现用声强法的测量结果比声压法更加接近真实情况,

但是环境噪声越高,声波反射越强时,不管声强法还是声压法,测得的结果都不准确。文[11,12]介绍了利用声强测量技术在变电站、制造厂和消声室3种不同条件下对变压器噪声进行测量的情况,其中文[11]指出,对于测量1000 Hz以下噪声,两个传声器的中心距 Δr 不能超过75 mm;测量通道相位差不能大于 0.3° 。

3 变压器噪声的控制方法

变压器的噪声控制方法可以分为从噪声源上降低噪声及增大噪声在传播过程中的衰减两大类。

3.1 降低变压器噪声的措施

降低变压器噪声的措施有:降低铁心磁密,在1.5~1.7 T范围内,磁密每降低0.1 T,噪声可降低1~3 dB(A)^[13];采用磁致伸缩小的高导磁材料,选用高取向导磁硅钢片是减少磁致伸缩最有效的方法,在相同磁密下,磁致伸缩的大小还跟心柱与铁轭的接缝结构有关,铁心采用多级接缝比两级接缝空载噪声小^[13,14];防止和减少硅钢片在加工、生产过程中受到的机械撞击^[13,14];变压器噪声与硅钢片叠装质量密切相关,在铁心夹紧方面,应避免铁心接缝处存在尖角挠曲现象,并使得铁轭夹紧力均匀,在铁心叠片完成后,分别在铁心下部和上部接缝处涂环氧胶或聚酯胶^[14,15];为了防止铁心共振,在设计低噪声变压器时,还要考虑铁心的自振频率,合理调整窗口尺寸,避开铁心的自振频带^[1];设计时合理分布绕组的安匝,将漏磁面积减小到最小程度,使绕组轴向力达到最小,从而减少铁心夹件受到的冲击力,铁心拉板采用低磁钢板,减少拉板和铁心夹件之间的电磁吸力,减轻相互之间碰撞的作用力,这样可以降低金属撞击噪声的强度^[7];由于油箱磁屏蔽的磁致伸缩可引起噪声,所以油箱内尽量不使用磁屏蔽,可根据漏磁量的大小,适当增大油箱的大小,避免磁屏蔽的磁致伸缩而引起噪声异常^[7];变压器噪声的冷却系统噪声一般高于本体噪声,合理控制冷却系统的噪声,能有效地降低变压器的噪声,在设计低噪声变压器时,尽量采用自冷式,为了满足大容量变压器散热而采用冷却器时,尽量选用低噪声的潜油泵和低转数风扇的冷却器,也可根据负荷采用双速风扇,当负荷较小时开动低速风扇,噪声可相应的降低,当负荷较大时开动高速风扇,能使自冷变压器容量提高^[7]。

采用上述降低变压器噪声措施后,大型变压器噪声可降低10~20 dB(A),对于一般噪声要求的大型变压器是可以的,对于安装在居民区附近的大型变压器,变压器噪声需要降低20~40 dB(A),以上措施就无法满足要求了,所以还要采取消声措施^[15]。

3.2 变压器的消声措施

噪声的产生不可避免,通过控制变压器噪声源降低噪声是有限的。所以,还要从噪声的传播途径考虑,使噪声在传播过程中得到衰减,以达到消声的目的。

3.2.1 变压器制造方面的消声措施

(1)加缓冲装置。在铁心垫脚处和磁屏蔽与箱壁之间放置防振胶垫,使铁心和磁屏蔽振动传到油箱时,由刚性连接变为弹性连接,减少振动,防止共振。在铁心和油箱定位处的螺杆与受力部件之间加入绝缘层压木,防止刚性接触而发出金属撞击产生的噪声^[16]。

(2)加隔音层降低噪声。根据油箱结构可将隔音板做成若干层,钢板内放吸音材料。采取完全消声油箱的办法,能够大幅度降低变压器噪声^[17]。

(3)采用消声法降低噪声。在变压器1 m以内放置若干个噪声发声器,使它们发出的噪声与变压器发出的噪声振幅相等,相位相反,使变压器噪声受到破坏性干扰^[1]。

3.2.2 变电站方面的消声措施

由于市区内变电站与周围建筑间距离较近,且变压器发出的低频噪声随距离的增加衰减得较慢,使周围建筑的环境噪声水平很难达到45~50 dB(A)的限值,所以对变压器的外部采取消声措施也是必不可少的。从变电站方面出发,可以采取以下消声方法^[15,16]:设置隔音室,把变压器放在完全密封的房子里,可以有效降低噪声30~40 dB(A),在室内布置变压器时,应考虑噪声在墙面反射时可能导致噪声的增加,可以采用矿渣棉或类似的材料对墙面进行涂覆处理,增加吸声系数,使噪声明显降低;在变压器周围建隔音墙,也能大大地降低噪声水平。

4 电力变压器噪声控制研究的发展趋势

对于大型电力变压器降低噪声而言,应不断研究和完善变压器噪声的产生和传播理论、计算模型和测试方法。在噪声控制的工程实践中,一方面从噪声源出发,选用优质高取向硅钢片,在设计、工艺和安装等诸多方面采取有效措施,尽量减少振动的产生,使噪声得到控制;另一方面从噪声的传播途径着手,采取切实可行的措施,使噪声在传播过程中得到衰减,从而达到降低噪声的目的,满足人们对变压器噪声的要求。

参考文献:

- [1] 王常平,林云志,王国伟,等.如何降低变压器噪声[J].变压器,2004,41(6):29-30.
- [2] 顾晓安,沈荣瀛,徐基泰.国外变压器噪声研究的动向[J].变压器,2002,39(6):33-38.
- [3] GORDON C G. A Method for Predicting the Audible Noise Emissions from Large Outdoors Power (下转第76页)

经验所得。这里取 $\chi=0.4$,网络结构为 $6 \times 5 \times 5$ 。

比较表2的结果可看出,应用RBF完成故障诊断较改良电协研法有较大优势。另外,应用改进Fisher比方法优化网络使网络结构得到极大简化,而且准确率得到进一步的提高。

3.3 现场诊断实例

东北电网某主变的某次色谱数据为 $H_2:127$; $CH_4:107$; $C_2H_2:244$; $C_2H_4:154$; $C_2H_6:11$; $CO:174$; $CO_2:973$ 。

应用改进的Fisher Ratio算法得到的网络输出为: $[0.012, 0.05, 0.017, 0.3, 0.89]$,诊断结果为:高能放电故障。

根据最大隶属度原则,诊断结论为高能量局部放电。实际检测结果为二次线圈对铁心放电,线圈有一个贯通性的损伤。

4 结语

Fisher比以其不需要明确的类编码、可处理不均衡类等优点而得到广泛应用。改进Fisher比算法将Fisher比算法与属性相关性检验相结合,从而改善了Fisher算法的不足。识别结果表明:应用Fisher比和改进Fisher比算法方法使结构得到极大简化,提高了分类能力。从以上特点可以看出,应用RBF网络完成变压器故障诊断是可行的。

参考文献:

[1] 孙才新,陈伟根,李俭,等. 电器设备油中气体在线监测与

故障诊断技术[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

[2] PENG J X, LI K, IRWIN G W. A Novel Continuous Forward Algorithm for RBF Neural Modelling [J]. IEEE Trans. on Automatic Control, 2007(52): 117-122.

[3] WANG Zhen-yuan, LIU Yi-lu, GRIFFIN P J. A Combined ANN and Expert System Tool for Transformer Fault Diagnosis[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1998, 13(4): 1 224-1 229.

[4] TU Y M, HUANG J M, GAO N, et al. Transformer Insulation Diagnosis Based on Improved ANN Analysis [C]// Proceedings of the 5th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, Korea, 1997: 263-266.

[5] 林登福, 林 谋, 李彦明, 等. 用L-M算法的神经网络诊断充油设备绝缘故障[J]. 高电压技术, 2004, 30(7): 4-6.

[6] CHEN S, COWAN C F N, GRANT P M. Orthogonal Least Squares Learning Algorithm for Radial Basis Function Networks [J]. IEEE Trans. on Neural Networks, 1991, 2(2): 302-309

[7] 刘东辉, 孙晓云, 孙会琴, 等. RBF网络在实时在线检测系统中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2003, 24(5): 445-448.

[8] SHERSTINSKY A, PICARD R W. On the Efficiency of the Orthogonal Least Squares Training Method for Radial Basis Function Networks [J]. IEEE Trans. on Neural Networks, 1996, 7(1): 195-200.

[9] MAO K Z. RBF Neural Network Center Selection Based on Fisher Ratio Class Separability Measure [J]. IEEE Trans. on Neural Networks, 2002, 13(5): 1 211-1 217.

[10] FU X J, WANG L P. Data Dimensionality Reduction with Application to Simplifying RBF Network Structure and Improving Classification Performance [J]. IEEE Trans. on System, Man, Cybern, Part B: Cybernetics, 2003(30): 399-409.

(上接第72页)

Transformers [J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1979, 98(3): 1 109-1 112.

[4] ANDERSEN D W, MYLES M. Field of Sound Radiation by Power Transformers [J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1981, 100(7): 3 513-3 524.

[5] NGUYEN C T, BEAUCHEMIN R. A Program for Calculating Audible Noise Levels Around Power Substations [J]. IEEE Computer Applications in Power, 1990, 25(4): 25-28.

[6] MCNUTT W J, SLOCIK R J P, VORA J P. Technology Development for Advanced Concepts in Gas-insulated Power Transformers [J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1982, 101(7): 2 171-2 177.

[7] 余尤好, 陈宝志. 大型电力变压器的噪声分析与控制 [J]. 变压器, 2007, 44(6): 23-26.

[8] FOSTER S L, REIPLINGER E. Characteristics and Control of Transformer Sound [J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1981, 100(3): 1 072-1 077.

[9] KENDIG R P. Sound Intensity Survey of the Comerford HVDC Converter Station [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1989, 4(3): 1 876-1 881.

[10] GIRGIS R S, GARNER K, BERNESJÓ M, et al. Measuring

No-load and Load Noise of Power Transformers Using the Sound Pressure and Sound Intensity Methods-part-I: Outdoors Measurements[C]// 2008 IEEE, New York, USA, 2008: 1-8.

[11] KENDIG R P, RIGHT S E. Validation of Acoustic Intensity Measurements for Power Transformer [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1991, 6(4): 1 551-1 530.

[12] CHAMPOUX Y, GOSSELIN B. Application of Intensity Technique to the Characterization of Transformer Noise [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1988, 3(4): 1 802-1 808.

[13] 商亚非. 五级叠片铁心变压器的空载性能[J]. 变压器, 2000, 37(12): 23-25.

[14] 顾晓安, 沈密群, 朱振江, 等. 变压器铁心振动和噪声特性的试验研究[J]. 变压器, 2003, 40(4): 1-4.

[15] 欧 炎, 高聚元. 大型变电站噪声综合治理设计 [J]. 噪声与振动控制, 2007, S1(11): 280-283.

[16] 韩 辉, 吴桂芳, 瞿雪弟, 等. 我国 ± 500 kV换流站设备可听噪声的测量分析及降噪措施 [J]. 电网技术, 2008, 32(2): 38-41.

[17] 张晓龙. 干式变压器隔声罩消声器研制 [D]. 昆明: 昆明理工大学机械工程学院, 2008.