

文章编号:1006 - 1355(2001)05 -0035 -04

变压器的噪声及其降低

虞兴邦¹,姜在秀²,韩 涛²

(1. 上海置信变压器有限公司,上海 200092;2. 同济大学声学研究所,上海 200092)

摘要:本文简述了变压器噪声的特点及产生机理,并介绍了降低变压器噪声的主要措施。

关键词:电力变压器;噪声

中图分类号:TB535 **文献标识码:**A

Noise of transformer and its reduction

YU Xing2bang¹, JIANG Zai2xiu², HAN Tao²

(1. Shanghai Zhixin Transformer Lt. Co, Shanghai 200092, China;

2. Institute of Acoustics of Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Characteristics and generation mechanism of noise from transformer are explained in this paper. The main measures to attenuate transformer noise is described.

Key words: power transformer; noise

引 言

随着城市人民生活水平的不断提高,城市用电量逐年增加,许多大容量的变电站所陆续建设在城市市区内,大量中小容量变压器安装在居住小区内或建筑物中,因此变压器噪声问题日益突显,寻求有效降低变压器噪声的措施越来越重要。

本文分析了变压器噪声的产生机理、影响因素,并阐述了几种主要的降噪措施。

1 变压器噪声的产生机理

变压器的噪声由两部分组成:变压器本体噪声及辅助冷却装置噪声。本体噪声包括铁心、绕组、油箱(包括磁屏蔽等)等产生的噪声。冷却装置噪声包括风扇和油泵噪声。

1.1 变压器本体噪声

变压器本体噪声产生的主要原因有硅钢片磁致伸缩引起的铁心振动、硅钢片接缝处和叠

片间的漏磁引起铁心的振动、绕组负载电流漏磁所引起的绕组和油箱壁的振动等。

(1) 硅钢片磁致伸缩引起的铁心振动

磁致伸缩是铁心励磁时,沿磁力线方向硅钢片的尺寸增加,而垂直于磁力线方向的尺寸缩小的现象。磁致伸缩使得铁心随着励磁频率的变化而周期性振动,并通过铁心垫脚和绝缘油传递给油箱壁,引起油箱壁的振动,向外界辐射噪声。

由于磁致伸缩的变化周期为电源电流周期的一半,故磁致伸缩引起的铁心噪声是以两倍的电源频率为基频的。因铁心磁致伸缩的非线性、以及沿铁心内框和外框的磁通路径长短不同等原因,铁心噪声频谱中除了基频外,还包含有高次谐波噪声。

(2) 漏磁引起的铁心振动

硅钢片接缝处和叠片间存在因漏磁而产生电磁吸引,由此引起铁心振动。由于铁心叠积方式得到不断改进以及心柱和铁轭之间采用捆

收稿日期:2001 - 04 - 16

作者简介:虞兴邦,男,工程师。

绑措施,接缝处和叠片之间的电磁吸引力引起的铁心振动,比磁致伸缩引起的铁心振动小得多,因此这部分噪声通常可忽略不计。

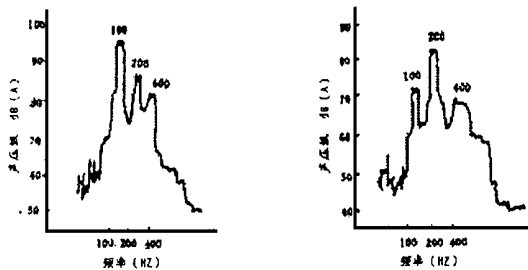
(3) 漏磁引起的绕组、油箱壁等的振动

绕组负载电流产生的漏磁将引起绕组和油箱壁的振动。当变压器的额定工作磁通密度在 1.5 ~ 1.8T 范围内时,这种振动与磁致伸缩引起的铁心振动相比很小。但负载电流漏磁产生的噪声与负载电流的平方成正比,因此变压器的额定工作磁通密度降低到 1.4T 以下时,绕组、油箱壁的振动将与硅钢片磁致伸缩引起的铁心振动相接近。

所以变压器的本体噪声在通常情况下主要取决于铁心的振动,而铁心的振动又主要取决于硅钢片的磁致伸缩。当铁心的固有频率和磁致伸缩振动的频率接近时,或油箱及其附件的固有频率与铁心振动频率接近时,将产生共振,本体噪声将进一步增加。

(4) 本体噪声特性

变压器噪声以铁心噪声为主,铁心噪声的频谱范围通常在 100 ~ 500Hz,以电源频率的两倍为基频,包含二次以上高次谐频。对于不同容量的电力变压器,铁心噪声频谱有所不同。额定容量越大,基频所占的比例越大,谐频分量越小;而变压器的额定容量越小,铁心噪声中的基频成分越小,谐频分量越大,如图 1 所示^[1]。



a. 大容量变压器铁心噪声 b. 小容量变压器铁心噪声
图 1 变压器铁心噪声频谱

1.2 冷却装置噪声

冷却装置包括冷却风扇、油泵等,其噪声产生的原因为:(1)冷却风扇和变压器油泵在运行

时产生振动,辐射噪声。(2)变压器本体的振动通过绝缘油、管接头及装配零件等传递给冷却装置,使冷却装置的振动加剧,增大噪声的辐射。

2 变压器噪声的影响因素

2.1 硅钢片磁致伸缩的影响

铁心所采用的硅钢片的磁致伸缩大小直接影响变压器本体噪声的强弱,因此减小硅钢片的磁致伸缩是降低变压器噪声最根本有效的方法。硅钢片的磁致伸缩主要与以下因素有关^[2,3]:

(1)与硅钢片的材质有关。磁致伸缩的大小主要取决于励磁时硅钢片中晶粒转动的情况。晶粒取向为结晶方向,且取向完整度越好,磁致伸缩则越低。因此在磁通密度相同的条件下,优质硅钢片的磁致伸缩较小。常用的优质硅钢片有晶粒取向冷轧硅钢片(国产 DQ1472 30, DQ133230 等)和高磁感应取向冷轧(Hi2B)硅钢片(DQ133 G230, DQ2122 G230)。晶粒取向冷轧硅钢片能使 97% 的晶粒有最佳取向,因此磁致伸缩值较小。而 Hi2B 硅钢片和激光照射控制磁畴的硅钢片进一步提高了结晶方位的完整度,具有超取向的导磁性能,故磁致伸缩比普通晶粒取向冷轧硅钢片小。

另外铁心组件的缺陷、毛刺将对噪声级有显著的影响,因此硅钢片应平整度完好,波浪性小,以利于降低铁心噪声。

(2)与硅钢片表面的绝缘涂层有关。涂层在硅钢片表面形成张力,从而可减小磁致伸缩。硅钢片越薄,绝缘涂层越厚,涂层与硅钢片之间的反应层越深,涂层张力则越大,硅钢片的磁致伸缩越小。涂层厚度通常以 50 ~ 100 μ m 为宜,太薄降噪效果不明显,太厚则影响铁心的散热,反过来影响铁心噪声。

(3)与硅钢片的含硅量有关。通常硅钢片的含硅量为 2% ~ 3%,试验研究表明当含硅量为 6.5% 时,硅钢片的磁致伸缩近似为零。不过含硅量超过 3.5% 时硅钢片将变得很脆,加

工困难。

(4) 与磁力线和硅钢片压延方向的夹角有关。磁力线和硅钢片压延方向的夹角对磁致伸缩影响很大。当夹角为 $50 \sim 60$ 度时磁致伸缩最小,因此硅钢片铁心采用斜接缝或阶梯接缝,可减小磁致伸缩。

(5) 与励磁时的磁密有关。磁密越大磁致伸缩越大,磁密降低 0.1T 时,噪声水平可下降 2dB 。尤其当硅钢片表面有涂层时磁致伸缩随磁密增大而增大的趋势更为明显。

(6) 与硅钢片的温度有关。由于谐振频率和机械应力的变化,噪声会随硅钢片温度的升高而增大。

2.2 铁心的几何尺寸等对噪声的影响

铁心励磁时产生的噪声还与铁心的结构形式、几何尺寸、重量、接缝方式、搭接面积等因素有关。

(1) 几何尺寸的影响

由于铁心中磁密分布的不均匀性和硅钢片磁性能的各项异性使得铁心不同区段的磁致伸缩不一致。铁心磁致伸缩的不均匀性和铁心的几何尺寸紧密相关。假设变压器铁心的尺寸如图 2 所示,令 $k = (H_0 + h) / (b + d)$,则 k 减小时可降低铁心噪声。因此铁心框高与心柱直径的比值越小越好,尽可能为矮粗形。同时减小框高与心柱尺寸的比值可避免共振现象^[2]。

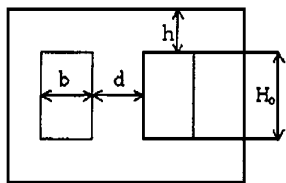


图 2 压器铁心尺寸

(2) 结构形式的影响

铁心的噪声还与铁心的结构形式有关,比如卷铁心和叠片式铁心的噪声有所不同。卷铁心是采用专门的铁心卷绕机不间断地卷制而成,不含接缝,因此不会产生普通叠片式铁心因磁路不连贯而产生的噪声。

(3) 搭接面积的影响

在采用斜塔接以降低噪声时,接缝区的搭接面积对噪声亦有一定的影响。增大搭接面积可提高铁心的机械强度,但磁通经过硅钢片非轧制方向的区域增大,从而使噪声增加。因此在满足铁心机械强度的条件下,应选择最小的搭接面积以降低铁心噪声。

(4) 铁心加紧力的影响

变压器噪声与铁心加紧力密切相关。铁心加紧力存在最佳值,为 $0.08 \sim 0.12\text{MPa}$ 。加紧力低于最佳值时硅钢片的自重将使铁心产生弯曲变形,致使磁致伸缩增大,提高变压器噪声;另一方面变形后同层的心片和轭片不在同一平面,引起横向磁通,导致磁致伸缩引起的噪声高频成分增加,提高变压器噪声。而加紧力过大时,磁致伸缩增大,铁心噪声提高,并可能引起零件在高频下的共振。

干式变压器铁心多采用树脂固化代替绑扎,这种方式可降低噪声 2dB(A) 左右,但如果树脂涂敷不好或由于树脂质量低劣及调配比例不当引起树脂脱落则会增加噪声。

2.3 与运行情况有关

运行电压偏高时变压器的工作磁密提高,从而提高铁心噪声,但影响相对较小,噪声的增加不超过 3dB(A) ^[4]。变压器的安装场所内如果反射面过多,变压器噪声与反射声叠加,将造成总噪声级提高。

3 变压器降噪措施

3.1 变压器本体噪声的降低

本体噪声的降低主要通过减弱铁心噪声实现。由变压器铁心产生的噪声可通过改进材料和设计得到降低,具体的措施为:

- (1) 选用具有极高结晶方位完整度、磁致伸缩小的优质硅钢片来叠积铁心。
- (2) 硅钢片材料晶平整度好、无缺陷毛刺。
- (3) 充分利用硅钢片的表面涂层的张力。
- (4) 沿硅钢片的压延方向施加拉伸力。
- (5) 硅钢片的剪切和退火采用高精度数控剪床及垂直悬吊退火工艺。

(6) 设计合理的铁心结构形式、尺寸和铁心固有频率。

(7) 进行绕组线圈与铁心间的间隙处理,在间隙中插入纸板或环氧腻子撑紧,减小铁心与线圈间可能的相互位移,以降低噪声。

通过对铁心的适当控制,可降低变压器本体噪声 5 ~ 10dB(A)。

3.2 冷却设备噪声的降低

冷却设备噪声的降低通过降低设备本身的噪声、有效地隔绝传播路径来实现。

(1) 尽可能采用自冷式散热器替代风冷散热器或强迫油循环风冷却器。冷却器的选择在满足设计要求时应充分考虑噪声指标。若配有风机时尽量选用低噪声冷却风机,且风机与支架之间需安装隔振装置,风机的进、出口处安装消声器。

(2) 油箱与散热片间的结构加强。将散热器的各散热片与油箱焊接连成一体,减小散热片的振动以降低噪声。

3.3 传播途径的控制

变压器本体噪声可通过铁心垫脚等途径传递给油箱壁,引起油箱壁的振动向外辐射噪声,因此在油箱上采取有效的措施是比较经济的方法。相应的消声措施为:抑制油箱振动,采用减振、隔声和吸声等措施降低自油箱向外辐射噪声。

(1) 合理布置加强筋,增强油箱强度,减小油箱振幅。

(2) 在油箱内壁设置阻尼层,增加油箱阻尼,抑制油箱的振动。

(3) 油箱和散热器的连接采用波纹管。

(4) 在油箱中安装隔音围屏。

(5) 油箱底部与基础间安装减振装置。

(6) 安装隔音油箱,在油箱外面安装一层外壳,形成双层油箱,外壳与箱壁间填充吸声材料,提高隔声量。

(7) 采用隔声板将油箱半封闭或全封闭。

(8) 在居民住宅区中可将变压器置于住宅

楼半地下室夹层内,夹层与底层住宅间采用隔振措施。

控制油箱的振动,并采取隔声、吸声等措施可降低噪声 10 ~ 20dB(A)。

3.4 变压器噪声的主动控制

变压器的噪声以低频噪声为主,同时具有明显的纯音成分,因此可有效地采用有源消声进行控制。目前文献已提出多种变压器噪声的主动控制电子系统。变压器噪声主动控制系统对基频的降噪量可达 15 ~ 20dB^[5,6]。

4 结束语

变压器噪声的产生是多途径的,因此变压器噪声的降低也应在本体噪声、冷却器噪声及传播路径上综合采取措施,以达到满意的降噪效果。

参考文献:

- [1] 蒋长庆. 关于变压器噪音的分析及其降低方法[J]. 南京师大学报(自然科学版), 1995, (2): 192-21.
- [2] 王路阳. 树脂绝缘干式变压器的噪声分析和降低方法[J]. 变压器, 1999, (8): 19223.
- [3] 董志刚. 变压器的噪声[J]. 变压器, 1995, (12): 37241.
- [4] 牛亚民, 崔贵峰, 田桂红. 浅谈 SC9 系列树脂浇注干式变压器在运行电压升高时其空载损耗及噪声的变化特性[J]. 变压器, 2000, (4): 8210.
- [5] Keerhipala W. W. L., Rujing Zhou, Leong Tan Eu, Jinn Chionh Chang; Electronic circuits for active control of acoustics noise generated by high voltage transformers, Proceedings of the 1998 2nd International Conference on Power Electronics Drives and Energy System for Industrial Growth, PEDED '98, P2432248.
- [6] Teoh C, Soh K, Zhou R, Tien D, Chan V; Active Noise Control of Transformer Noise, Proceedings of the 1998 2nd International Conference on Energy Management and Power Delivery, EMPD Vol. 2 1998, P7472753.