干式变压器噪声与运行及工艺参数关系的试验

针对居民小区干式变压器的减振降噪，通过试验方法对新旧两台干式变压器噪声机理进行分析，主要研究干式变压器噪声、磁通密度和铁心夹紧力的关系。结果表明：旧的干式变压器声压级与磁通密度的平方呈近似线性关系，新的干式变压器声压级与磁通密度呈近似线性关系；旧的变压器噪声随铁心夹紧力变化明显，存在最佳夹紧力，新的变压器噪声随铁心夹紧力变化不明显。

彭伟 田昊洋 黄华 厉敏宪 瞿珽华/国网上海市电力公司电力科学研究院

彭伟/高级工程师

关键词/Keywords
干式变压器·
噪声·
磁通密度·
铁心夹紧力·

0 引言

随由于城市规划与用地限制，很多干式变压器直接安置于居民小区内，特别是在人口密集的城居楼区内使用，离居民住宅很近，成为所谓的“邻居式变压器”。干式变压器不同于其他变压器，为了利于散热，干式变压器的铁心、绕组长期暴露于空气之中。这样,部分噪声就直接通过空气传声传至人耳。另外一部分噪声通过变压器器身、支撑和地面等固体结构传播出去。所以针对相同容量的变压器来说，干式变压器的噪声比油浸式变压器要大得多，直接影响了小区居民的正常生活。本文将对干式变压器进行试验研究，尤其是运行参数和工艺参数对变压器噪声的影响，对干式变压器使用中的维护有一定的指导意义。

1 干式变压器噪声原理及影响因素

变电设备中的构成噪声声源的主体是变压器。对于干式变压器来说，噪声主要来源是[1]：

(1)变压器本体振动主要由铁心振动引起的。造成铁心振动有两个因素：一是由硅钢片磁致伸缩而引起的铁心振动，二是铁心接缝处磁力线发生畸变产生的纵牵力和铁心中磁通分布不均在硅钢片间产生的侧推力。

(2)负载电流产生的漏磁场，在绕组导体之间、绕组之间、绕组和铁心之间产生电磁力，引起绕组、铁心的振动。

(3)对于带有气隙的铁心电抗器，则有气隙中漏磁引起的铁心振动。

(4)变压器冷却风扇、油泵和散热器的振动。

电力变压器在联入电网后的实际运行中，其整机的振动和噪声特性会受到电网用电负荷波动的影响，负载电压和电流的连续变化会对其自身的振动和噪声特性带来干扰，因此本次试验借助生产厂家的试验的试验条件，对单台变压器的振动和噪声特性进行测试。本次试验主要研究干式变压器噪声与磁通密度、铁心夹紧力和绕组预紧力的关系。对新旧两种变压器进行试验，新变压器为SCB10-800/10干式变压器，额定电压为10/0.4 kV，额定电流为46.2/1 155 A；旧变压器为S6-800/10干式变压器，额定电压为10/0.4 kV，额定电流为46.2/1 155 A，已有10年的使用寿命。在额定电压

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

运行时，SCB10-800/10干式变压器磁通密度为1.58 T，S6-800/10干式变压器磁通密度为1.64 T，铁心额定夹紧力都为0.12 MPa。通过空载电压的改变来改变铁心的磁通密度，通过扭矩扳手对拉紧螺栓扭矩的调节来改变铁心的夹紧力，试验工况见表1和表2。

表1　SCB10—800／10试验工况列表

铁心夹紧力/MPa \ 磁密/T	1.26	1.42	1.58	1.74	1.82
0.048	√	√	√	√	√
0.072	√	√	√	√	√
0.096	√	√	√	√	√
0.12	√	√	√	√	√
0.144	√	√	√	√	√
0.168	√	√	√	√	√
0.192	√	√	√	√	√

表2　S6—800／10试验工况列表

铁心夹紧力/MPa \ 磁密/T	1.31	1.48	1.64	1.72	1.80	1.89
0.048	√	√	√	√	√	√
0.072	√	√	√	√	√	√
0.096	√	√	√	√	√	√
0.12	√	√	√	√	√	√
0.144	√	√	√	√	√	√
0.168	√	√	√	√	√	√
0.192	√	√	√	√	√	√
0.216	√	√	√	√	√	√
0.252	√	√	√	√	√	√

2　变压器噪声与磁通密度的关系

由图1和图2的两次试验可知，当磁通密度在饱和以下时，随着磁通密度增加，噪声变化不大。随着磁通密度达到饱和后，磁通密度的增加，中高频噪声会急剧增加。比较两次试验可得，在同样的磁通密度下，S6-800/10干式变压器噪声比SCB10-800/10干式变压器要大10 dB，这可能与采用的硅钢片材料有关。因此，除设计合理的磁通密度外，选用磁致伸缩小的优质硅钢片也对降低变压器噪声起关键作用。

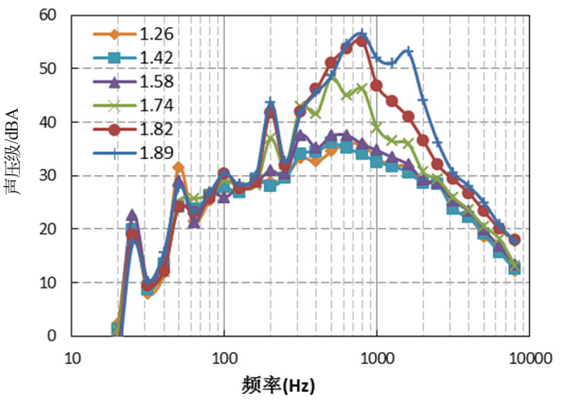

图1　SCB10-800／10变压器1／3倍频谱和磁通密度关系

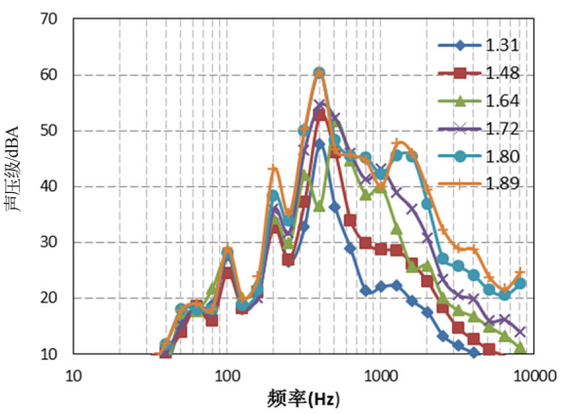

图2　S6-800／10变压器1／3倍频谱和磁通密度关系

以往文献都认为声压级与磁通密度呈近似线性关系。周贤土认为：当设计磁密B在1.5～1.8 T范围内，磁密每降低0.1 T，变压器噪声可降低2～3 dBA。顾晓安则认为：与振幅峰值与磁通密度关系图不同，声压级与磁通密度的关系接近线性[2]，如图3和图4所示。

本次试验发现SCB10-800/10干式变压器噪声随磁密呈近似线性关系，而S6-800/10干式变压器噪声则与磁密平方的线性度要更好一些。

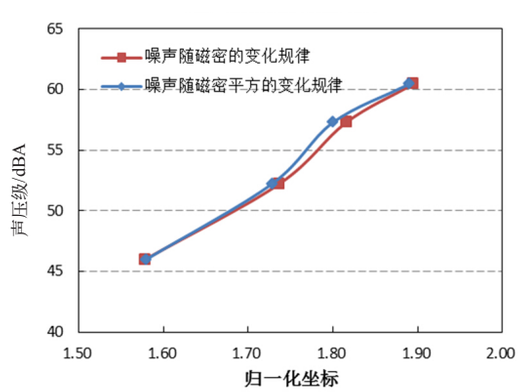

图3　SCB10-800／10变压器声压级随磁通密度变化规律

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

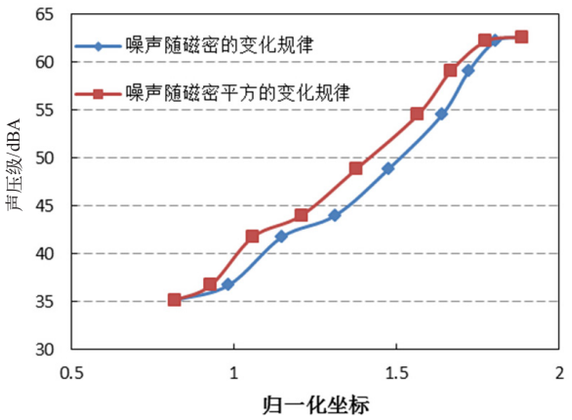

图4 S6-800／10变压器声压级随磁通密度变化规律

以往认为磁密变化引起噪声变化 ΔL_{PA} 的计算公式为[3]：

$$\Delta L_{PA}=10\lg\left[\left(\frac{B_2}{B_1}\right)^8\times\left(\frac{G_{Fe2}}{G_{Fe1}}\right)^{1.6}\right](\mathrm{dBA})$$

SCB10-800/10干式变压器磁密从1.58增加至1.74 T，按照公式噪声增加3.35 dB，实际增加6.22 dB；S6-800/10干式变压器磁密从0.984增加至1.722 T，按照公式噪声增加19.44 dB，实际增加22.35 dB。

3 变压器噪声与铁心夹紧力的关系

变压器的噪声与铁心的夹紧力和铁心的拉伸力密切相关。大量的试验数据表明，铁心的夹紧力有一个最佳值，铁心在最佳夹紧力时噪声最低，改变铁心的夹紧力能够使变压器的噪声变化0~5 dBA。

铁心的夹紧力的影响。铁心的夹紧力对铁心的磁滞伸缩会产生很大的影响，夹紧力较小的时候，铁心会因硅钢片的自重而产生弯曲现象，进而促进了磁滞伸缩的产生。变形还会导致同层的心柱上的硅钢片与横轭上的硅钢片并不处于同一个平面内，引起横向磁通量的变化，导致高频噪声的成分比例增加。干式变压器通常采用树脂固化的方式来代替对硅钢片的捆绑，可以有效地降低噪声。但如果出现涂抹不均匀、调配比例不适宜，仍会增加噪声[4]。而加紧力过大时，磁致伸缩增大，铁心噪声增加，并可能引起零件在高频下的共振。

改变SCB10-800/10干式变压器的铁心夹紧力分别为（0.06、0.09、0.12、0.15、0.18）MPa并进行试验，如图5和图6所示，S6-800/10干式变压器噪声随铁心夹紧力有明显的变化趋势。当铁心夹紧力为0.15MPa左右时，变压器噪声最小，而SCB10-800/10干式变压器随铁心夹紧力变化不明显。主要是因为S6-800/10干式变压器固化树脂老化，铁心主要依靠螺栓拉紧；而SCB10-800/10干式变压器是使用时间短，树脂固化牢固，螺栓拉紧作用不大。

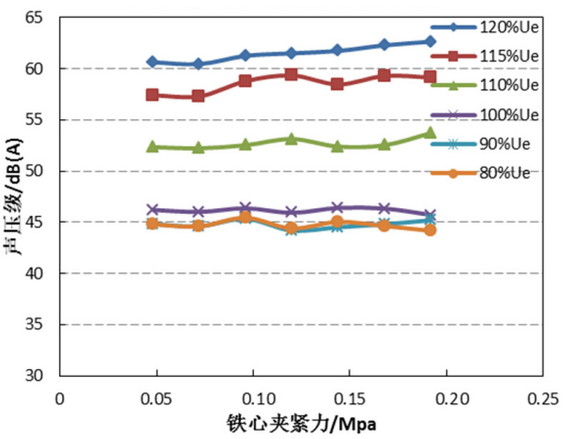

图5 SCB10-800／10变压器声压级随铁心夹紧力变化规律

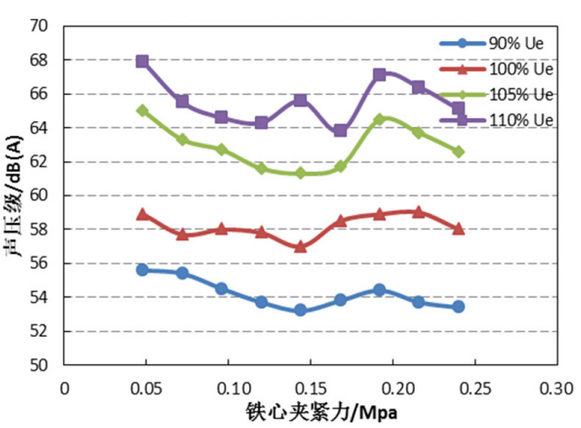

图6 S6-800／10变压器声压级随铁心夹紧力变化规律

测试不同夹紧力下铁心频响曲线，如图7所示，铁心的固有频率随夹紧力变化确实很小，进一步说明了干式变压器铁心树脂固化牢固时，螺栓拉紧作用不明显。

4 结束语

本次试验对新旧两款干式变压器噪声与运行

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

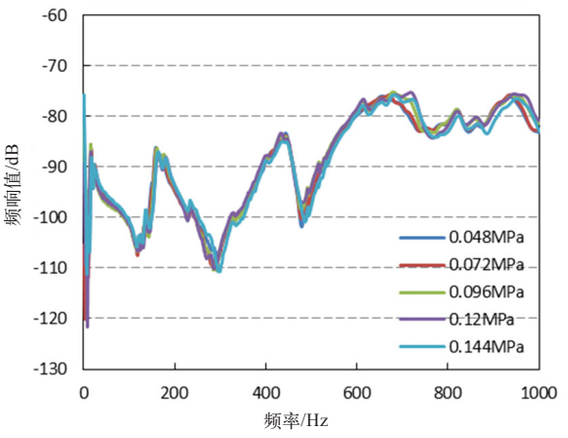

图5　SCB10—800/10变压器声压级随铁心夹紧力变化规律

及工艺参数关系进行了研究。研究发现：

1）对于旧的干式变压器声压级与磁通密度的平方呈近似线性关系；对于新的干式变压器声压级与磁通密度呈近似线性关系。

2）由于旧的变压器铁心树脂已经老化，固化效果不明显，噪声随铁心夹紧力变化明显，存在一个最佳夹紧力，大概在0.15 MPa；新的变压器铁心树脂固化作用明显，螺栓拉紧作用不大，噪声随铁心夹紧力变化不明显。因此，干式变压器使用年限过长时，存在树脂老化和螺栓松动导致噪声变大的可能。

参考文献

[1] 周贤土.干式变压器的发展动态[J].变压器，2004，41(3):36-41.

[2] 顾晓安等.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.

[3] 谢毓城等．振动理论与隔离技术电力变压器手册[M].北京:机械工业出版社，2014．

[4] 钟星鸣.干式变压器的振动和噪声研究[D].广州：华南理工大学，2010.

作者简介

彭伟（1968-），男，硕士研究生，高级工程师，从事电厂热能动力、变电站噪声等研究。

（收稿日期：2015-11-20）EA

（编辑：朱历）

（上接第811页）

产、管理等各项业务与信息化深度融合，电网数字化正促使信息系统（IT）和运行系统（OT）助力互赢，全面提高电网安全运营水平、生产效率和服务质量。

参考文献

[1] 刘振亚. 全球能源互联网[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.

[2] Meyers J P E. How the convergence of IT and OT enables smart grid development[DB/OL]. [2013]. http://www2.schneider-electric.com/documents/support/white-papers/electric-utilities/How-the-Convergence-of -IT-and-OT-Enables-Smart-Grid-Development.pdf.

[3] Hua Rong.The-connected-enterprise-maturity-model[J]Instrument standardization & metrolog,2014.

[4] 谭朝华. 分布式能源接入电力系统的影响[J]. 中国高新技术企业, 2014(17): 65-66.

[5] 颜志强. 智能配电网与配电自动化的分析[J]. 科技创新与应用, 2014 (35): 189.

[6] Mina S, Babak N. Smart power grid security services: Risk management approach considering both OT and it domains case study: Shiraz Power[C].Distribution company, Electricity Distribution (CIRED 2013), 22nd International Conference and Exhibition on, 2013: 1-4.

[7] LindaTucci. Gartner: It's time for IT and OT to merge[J/OL].http://searchcio.techtarget.com/news/1308982/Gartner-Its-time-for-IT-and-OT-to-merge [2008-04-09].https://www.gartner.com/doc/1061314/it-ot-convergence-started-journey.

作者简介

薛力萌(1988-),女,大学本科,助理工程师,电力行业信息化系统建设。

（收稿日期：2015-12-10）EA

（编辑：朱历）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net