

Noise Calculation of 750 kV Reactor Considering Magnetostriction

Yuan Ni¹, Bing Zhou¹, Yanzhao Wang¹, Fan Yang², Zhe Cheng²

¹China Electric Power Research Institute, Wuhan Hubei

²State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology (Chongqing University), Chongqing

Email: chengzhe1234@qq.com

Received: Dec. 3rd, 2016; accepted: Dec. 25th, 2016; published: Dec. 28th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Reactor noise, as one of the main sources of substation noise, has a significant impact on the external acoustic environment of the substation. It is very important to study reactor noise for the noise reduction analysis of the reactor. In this paper, the interference and attenuation characteristics of the acoustic field around the reactor are obtained by field measurement of the noise field distribution of the shunt reactors in the 750 kV Gansu Yongdeng substation. The simulation calculation model of electromagnetism, structure and acoustic field of the reactor is established based on the finite element method. The magnetic field distribution of the core and the coil of the reactor is obtained by the time-domain electromagnetic field analysis. The electromagnetic force between the core cakes and coil and the magnetostrictive effect in the iron core caused by the magnetic field are applied as excitation to the core and the coil. The vibration acceleration of each node on the core and coil surface is obtained by vibration analysis, which is used as the boundary condition of the sound field analysis, and finally the noise field distribution of the reactor is obtained. The simulation results are compared with the measured values, and the maximum error is less than 15%. The feasibility of the finite element model is verified, which provides the theoretical basis and control method for the reactor noise prediction and noise reduction.

Keywords

Shunt Reactor, Acoustic Environment, Finite Element Method, Noise Prediction, Noise Reduction

考虑磁致收缩的750 kV电抗器的噪声计算

倪园¹, 周兵¹, 王延召¹, 杨帆², 程哲²

¹中国电力科学研究院, 湖北 武汉

²重庆大学输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆

Email: chengzhe1234@qq.com

收稿日期: 2016年12月3日; 录用日期: 2016年12月25日; 发布日期: 2016年12月28日

摘要

电抗器噪声作为变电站噪声的主要来源之一, 对于变电站外部声环境有重大影响。研究电抗器噪声对于电抗器的降噪分析具有重要意义。本文通过对750 kV甘肃永登变电站并联电抗器噪声声场分布的现场测量, 得到了电抗器周围声场的干涉与衰减特性。并基于有限元法建立了并联电抗器的电磁、结构、声场仿真计算模型, 通过时域电磁场分析得到了电抗器铁心与线圈中的磁场分布, 将磁场所引起的铁心饼和线圈中的电磁力以及铁心中产生的磁致伸缩效应作为激励施加给铁心和线圈, 通过振动分析得到铁心和线圈表面各节点的振动加速度, 并将其作为声场分析的边界条件, 最终得到电抗器噪声声场分布情况。将仿真结果与实测值进行对比分析, 最大误差不超过15%, 验证了有限元模型的可行性, 为电抗器噪声预测及降噪措施提供了理论依据及控制方法。

关键词

并联电抗器, 声环境, 有限元法, 噪声预测, 降噪

1. 引言

新世纪以来, 我国逐步扩大了基础设施建设规模, 电力建设也得到了相应的发展。电网线路和相应的供用电设备取得了长足的发展。与此同时, 相应的供电设施之一的大容量电抗器也得到了相应的开发, 由于电抗器容量的增加, 出现了更为严重的振动噪声问题。电抗器结构较为复杂, 制作工艺繁琐, 振动噪声不确定性很多, 且振动噪声问题相比变压器更为严重。

电抗器作为变电站噪声的主要声源之一[1], 在电压等级较低时并没有引起足够的关注和重视。关于变电站噪声特性[2] [3]、评价[4]、仿真计算[5] [6] [7] [8] [9]的研究在不断深入, 变电站内变压器噪声[10] [11] [12]以取得阶段性成果, 但国内外电抗器噪声研究文献相对较少, 电抗器噪声的声源强度较主变压器小, 且尚无电抗器噪声控制标准。随着我国输电电压等级的提高, 高压并联电抗器的应用越来越多, 电抗器噪声问题逐渐突出, 已引起了国网公司和环保部门的高度重视。

国内学者对于电抗器噪声做了很多相关研究。哈尔滨工程大学为电抗器设计了局部隔声罩及消声器, 局部隔声罩的隔声效果约为 7~9 dB。上下都装消声器后整体降噪效果约为 13~15 dB [13]; 上海电力设计院应用一种噪声预测评估软件进行变电站的噪声计算, 该软件对新建变电站的方案选择以及已建变电站的工程改造有指导作用[14]; 上海交通大学应用有限元分析软件利用 I-Deas 软件对电抗器静结构强度和振动模态进行了有限元仿真分析, 证明了有限元方法可在产品设计阶段提供非常有价值的数, 使技术人员能及时调整设计方案, 避免产品制造完成却未通过昂贵的振动冲击与试验而造成的巨大损失[15]; 中国电科院对电抗器噪声做了大量研究, 通过, 测量站内变压器与电抗器的噪声水平及其频谱特性、衰减特性以及功率负荷之间的关系, 得到电抗器噪声能量集中在中心频率为 100 Hz 的 1/3 倍频带上, 与功率负荷关系较小[16]; 国外学者也对电抗器噪声进行了积极的研究。2009 年, 日本研究人员实验发现单相电抗器的振动和磁致伸缩有关, 并且水平方向的位移较大, 他们在横向增加了一组气隙, 采用较大硬度的气隙, 使得噪音大大降低[17]。

本文基于有限元法建立了并联电抗器的电磁、结构、声场仿真计算模型，通过时域电磁场分析得到了电抗器铁心与线圈中的磁场分布，在充分考虑了磁场所引起的铁心饼间电磁力以及铁心中产生的磁致伸缩效应和线圈中的电磁力的基础上，通过振动分析得到铁心和线圈表面各节点的振动加速度，并将其作为声场分析的边界条件，最终得到电抗器噪声声场分布情况。本文通过多物理场耦合计算的方法考虑了物理场之间的相互影响，并且通过对变电站内电抗器附近噪声测量值与仿真模型附近计算值的对比分析，验证了有限元模型的可行性，为电抗器噪声预测及降噪措施提供了理论依据及控制方法。

2. 并联电抗器噪声产生机理

2.1. 磁致伸缩

磁致伸缩指铁磁材料在磁场的作用下发生形变，主要分为自发磁致伸缩和场致磁致伸缩两种。前者是由于材料内部的磁场作用，后者是由于外部施加的磁场作用。

理论上认为铁磁材料由很多磁畴组成，当铁磁材料降温经过其居里点时，本来无序的磁矩变得有序，每个磁畴内部的磁矩都平行排列，可以在显微镜下观察到。在整个材料的范围内，一个磁畴和另一个磁畴的自发磁化强度 M_s 的方向是不一样的，以确保块体磁化强度为零 ($M = 0$)，如图 1(a) 所示。当施加一个外部磁场时，磁畴开始朝着外部磁场方向移动旋转，如图 1(b) 和图 1(c) 所示。当外部磁场足够大时，最后所有的磁畴都延外部磁场方向分布，此时铁磁材料的磁化达到饱和，如图 1(d) 所示。

为了形象的说明磁致伸缩引起材料尺寸变化的机理，因此我们考虑一个在居里温度以上的内部无应变，可以形象的认为材料由若干个处于无序状态的固体组成，因此处于无序状态的球形固体，如图 2 中第一行所示。当材料经过居里点变成铁磁体时，在磁畴内出现自发磁化强度，随之产生特定方向的自发磁致伸缩，如图中第二行所示。那么这就是随着铁磁性的产生，由磁矩的有序性引起的自发磁致伸缩。如果材料是各向同性的，磁畴排列在任意方向的几率都是相同的，因此所有方向的应变也是相等的。于是，在这种情况下尽管样品的尺寸发生了变化，其形状却保持不变。

此时延外施磁场方向样片的尺寸增加，这就是所说的场致磁致伸缩，当外部磁场继续增大，该磁场的强度足以使沿磁场方向饱和磁化，最后所有的磁畴方向都沿一个方向，并和磁场方向保持一致，这就是所谓的饱和磁致伸缩，如图第三行所示。外场使场致磁致伸缩择优取向，因此样品形状会有所改变。

对于电抗器铁心叠片来说，磁致伸缩的宏观表现就是：当铁心硅钢片励磁时，硅钢片在沿着磁力线方向的尺寸会增加，而垂直于磁力线方向硅钢片的尺寸会缩小，就是由于这种尺寸的变化使得电抗器铁心随着外加励磁频率的变化而周期性的振动。为了表示这种硅钢片磁致伸缩的大小，人们通常习惯用符号 λ 来表示，其大小为硅钢片在励磁时硅钢片片长的增量与硅钢片片长的比值，其表达式为(以 x 方向为例)：

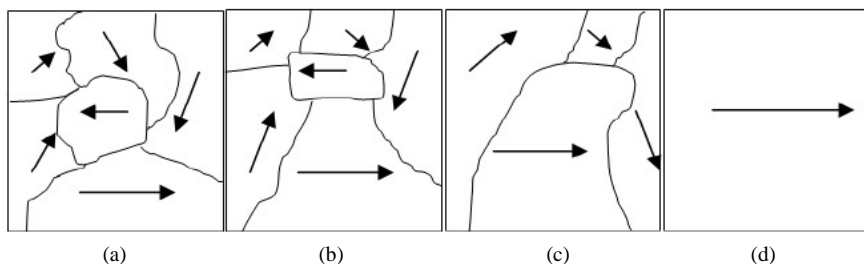


Figure 1. Movement of magnetic domains. (a) Demagnetization; (b) Movement of magnetic domains; (c) Selection of magnetic domains; (d) Saturation

图 1. 磁畴的运动。(a)退磁；(b)磁畴移动；(c)磁畴选择；(d)饱和

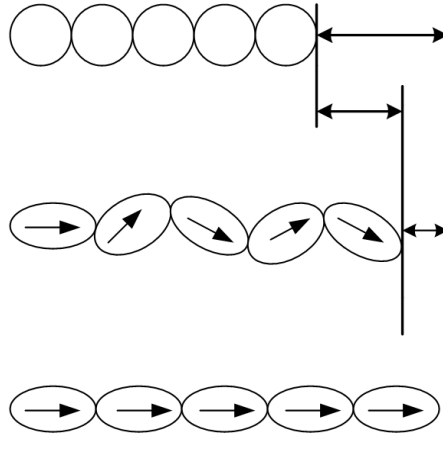


Figure 2. Dimensional changes caused by magnetostriction
图 2. 磁致伸缩引起的尺寸变化

$$\lambda_x = \frac{\Delta l_x}{l_x} \quad (2-1)$$

式中, λ_x 是沿 x 方向的磁致伸缩率, 无单位纲量; l_x 为磁性材料沿 x 方向的长度, 单位 m ; Δl_x 为磁性材料 x 方向增量, 单位 m 。

2.2. 噪声产生机理

高压并联电抗器噪声主要由四方面原因产生: 铁心饼间麦克斯韦力引起振动以及铁心磁致伸缩振动、绕组电磁力引起振动及冷却风扇运转。其中, 铁心和绕组噪声是电抗器噪声的主要部分, 而冷却风扇噪声相对较小。电抗器铁心的磁致伸缩引起振动从而产生噪声的过程与变压器相同, 但电抗器磁通密度较低, 一般约 1.4 特斯拉(T), 较变压器磁通密度小, 由此铁心振动引起的噪声相对较小。

磁致伸缩是变压器铁心磁化时的固有特性, 硅钢片铁心的磁致伸缩是非线性的。变压器铁心磁致伸缩特性可用张量形式的压磁方程表示

$$\varepsilon_p = \sum_{q=1}^6 s_{pq}^H \sigma_q + \sum_{m=1}^3 d_{mp} H_m, \quad p = 1, 2, \dots, 6 \quad (2-2)$$

$$B_n = \sum_{q=1}^6 d_{nq} \sigma_q + \sum_{m=1}^3 \mu_{nm}^\sigma H_m, \quad n = 1, 2, 3 \quad (2-3)$$

式中, s^H 、 d 、 μ^σ 分别为常磁场下弹性常数, 磁致伸缩系数和常应力条件下的磁导率; ε_p 、 σ_p 分别表示应变和应力的张量分量; B_n 、 H_n 分别为磁感应强度和磁场矢量分量。

高压并联电抗器铁心分析系统的总能量包含应变能、磁能、磁致伸缩能、外力的位能和电流的位能。根据本构关系式(2), 可得到分析系统的能量泛函

$$I = \int_{\Omega_2} \left(\frac{1}{2} \sigma^T s^H \sigma \right) dV + \int_{\Omega_2} (\sigma^T dH) dV + \int_{\Omega_1} \left(\frac{1}{2} H^T u^\sigma H \right) dV - \int_{V_1} JAdV \quad (2-4)$$

根据压磁方程式, 磁场作用引起的铁心应变为

$$\varepsilon' = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} & d_{15} & d_{16} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} & d_{25} & d_{26} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} & d_{35} & d_{36} \end{pmatrix}^T \begin{Bmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \end{Bmatrix} \quad (2-5)$$

忽略硅钢铁心的剪应变，耦合系数 $d_{ij} = 0 (i = 1, 2, 3; j = 4, 5, 6)$ 。 d_{11} ， d_{22} 分别由取向硅钢片磁致伸缩特性曲线插值得到。叠片铁心除了搭迭处，铁心中 z 方向的磁通很小，绝大部分可忽略 z 方向的磁致伸缩作用。为计算铁心搭迭处磁-机械振动问题建立精确的三维数值模型，取 $d_{33} = (d_{11} + d_{22})/2$ 来表示硅钢片铁心厚度方向的磁致伸缩特性。 $d_{33} = (d_{22} + d_{11})/2$ 为泊松比。

由此得到高压并联电抗器的磁致伸缩能即

$$\int_{\Omega_2} (\sigma^T dH) dV = E^\alpha \int_{\Omega_2} \begin{bmatrix} (1-\alpha)\varepsilon_x + \alpha\varepsilon_y + \alpha\varepsilon_z \\ \varepsilon_x + (1-\alpha)\varepsilon_y + \alpha\varepsilon_z \\ \alpha\varepsilon_x + \alpha\varepsilon_y + (1-\alpha)\varepsilon_z \\ (1-2\alpha)\gamma_{xy}/2 \\ (1-2\alpha)\gamma_{yz}/2 \\ (1-2\alpha)\gamma_{zx}/2 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & -\alpha & -\alpha \\ -\alpha & 1 & -\alpha \\ -\alpha & -\alpha & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} d_{11}H_x \\ d_{22}H_y \\ d_{33}H_z \end{pmatrix} dV \quad (2-6)$$

$$= E \int_{\Omega_2} (d_{11}v_x B_x \varepsilon_x + d_{22}v_y B_y \varepsilon_y + d_{33}v_x B_z \varepsilon_z) dx dy dz$$

式中， $E^\alpha = \frac{E(1-\alpha)}{(1+\alpha)(1-2\alpha)}$ ， E 为杨氏模型。

基于变分原理对能量泛函做单元离散化处理，将泛函的变分问题转化为多元函数求极值问题，由此形成整体磁—机械强耦合有限元方程组

$$\begin{pmatrix} M & D \\ C & K \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ u \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} J \\ f_v + f_r \end{pmatrix} \quad (2-7)$$

式中， M 和 K 分别为磁弹性系数矩阵和机械弹性系数矩阵； C, D 为磁-机械的耦合作用矩阵，足 $C = D^T$ ，其中 D 表示机械振动对磁场分布的影响矩阵， C 表示磁场对铁心振动的贡献矩阵。

对并联电抗器铁心进行磁-机械耦合分析的主要目的是研究铁心磁致伸缩对铁心振动噪声的影响以及如何正确计算电力变压器产品的噪声大小和分布情况。由磁致伸缩和电磁力作用引起的铁心振动和电磁力作用引起的绕组振动作为噪声的总能量来源。依据计算声学基本原理，铁心和绕组每个与空气介质接触的面都独立地辐射噪声，它们表面或叠片方向侧面上每个单元位移以时间空间分布的 u_x ， u_y ， u_z 表示，辐射声源总能量等于单元对应振动速度 v_x ， v_y ， v_z 的机械振动能量总和。铁心和绕组振动辐射的声能源为

$$W = \rho c k_i \oint_s v_n^2 dS_c = \rho_0 c_0 k_i \sum_i \left(\frac{\partial u_{n,j}}{\partial t} \right)^2 S_{c,j} \quad (2-8)$$

式中， W ——总辐射噪声功率； ρc ——声传播介质的特性阻抗，并联电抗器周围介质为空气，即是 $\rho_0 c_0$ ； k_i ——铁心或绕组 i 面的声辐射系数，与铁心或绕组面的高度、宽度等因素有关； v_n ——铁心或绕组与空气介质接触面振动的时间空间均方速度； S_c ——铁心或绕组与周围介质交界面的面积。

根据声源方程得到振动声辐射总能量后，可根据标准声压方程计算铁心周围声压级的大小和分布。

3. 并联电抗器振动噪声理论计算与仿真建模

3.1. 并联电抗器振动噪声计算

利用有限元软件 COMSOL5.2 进行建模分析的流程如图 3 所示。COMSOL5.2 中有大量可以相互耦合的物理场模块，包括电磁场模块、结构力学模块、声场模块、化学工程模块、传热模块等，能够满足仿真计算的需要。

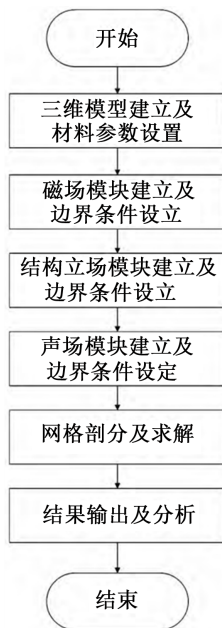


Figure 3. Analysis process of finite element

图 3. 有限元分析流程

本文基于 COMSOL5.2 对单相电抗器进行建模分析，并对电抗器铁心和绕组进行简化建模。由于电力导致的硅钢片片间振动产生的噪声相对于磁致伸缩产生的噪声可以忽略，因此预计铁心结构的简化对仿真结果的影响很小。同时考虑实际情况中铁心的结构对涡流的抑制作用，以及求解的收敛性，适当减小了铁心材料的导电率。考虑仿真软件对绕组方向的判定，为避免出现绕组轴向长度小于辐向直径的情况，适当减小了绕组轴向的尺寸，由于模型几何结构的高度对称性，预计改动对结果造成的影响很小。考虑到网格划分过密将导致计算时间过长以及迭代求解的收敛性降低，将铁心简化为如图 4 所示。

本文在求解器的设置中选择多物理场全耦合求解的计算方式，线性求解器采用直接法求解，设置仿真计算的时间为 0~0.02 s，设置步长为 0.0002 s。由于本仿真研究涉及三个物理场耦合，收敛条件苛刻，因此增大迭代次数的限制。直接求解方法中采用 MUMPS 求解器，模型剖分结果如图 5 所示。

仿真得到某一时刻铁心与绕组的磁通密度的分布如图 6 所示以及铁心中心切面的磁通密度的分布和方向如图 7 所示。根据每一时刻铁心和绕组的磁通密度的分布可知，心柱上的磁通密度要高于旁柱上的磁通密度，且绕组上的磁通密度较低，这是因为相对于铁心饼，旁轭中没有气隙，相对于上下轭，旁轭尺寸更大，在旁轭的磁路中大部分区域不必改变磁场走向。磁感应强度分布规律也是很合理的。铁心两个内框边角处的磁通密度较高，铁心外框边角处的磁通密度较低，这是由于铁心内框和外框的磁路长度不同所造成的，也是铁心噪声中存在高次谐波的原因。

旁轭中的磁路沿磁场方向分量的均值在 1.48 T 左右，铁心饼中的磁场沿磁路方向分量的均值在 1.25 T 左右，这样的结果与实际电抗器的运行状态是一致的。

计算得到电抗器铁心表面的应力分布如图 8 所示，以及形变分布如图 9 所示。由图可以看出铁心旁轭的形变量较大，且越靠近旁轭中间位置，形变量越大，铁心上表面和下表面以及铁心饼间的形变很小，这是因为在实际变电站内，电抗器铁心底部和顶部会被固定住，所以在仿真过程边界条件的设定中将铁心顶部和底部作为固定约束来约束了。

通过结构力场与声场的耦合计算，得到了电抗器噪声的 X-Z 切面声场分布云图以及 Y-Z 切面声场分布云图分别如图 10 所示。

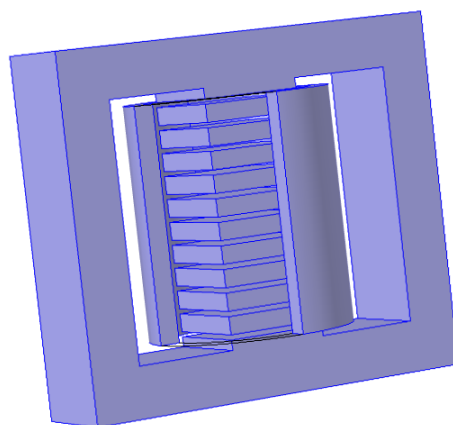


Figure 4. Geometric model of single-phase iron core reactor
图 4. 单相铁心电抗器仿真几何模型

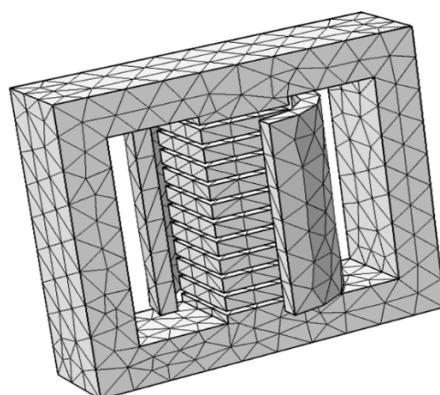


Figure 5. The model diagram after the split
图 5. 剖分之后的模型图

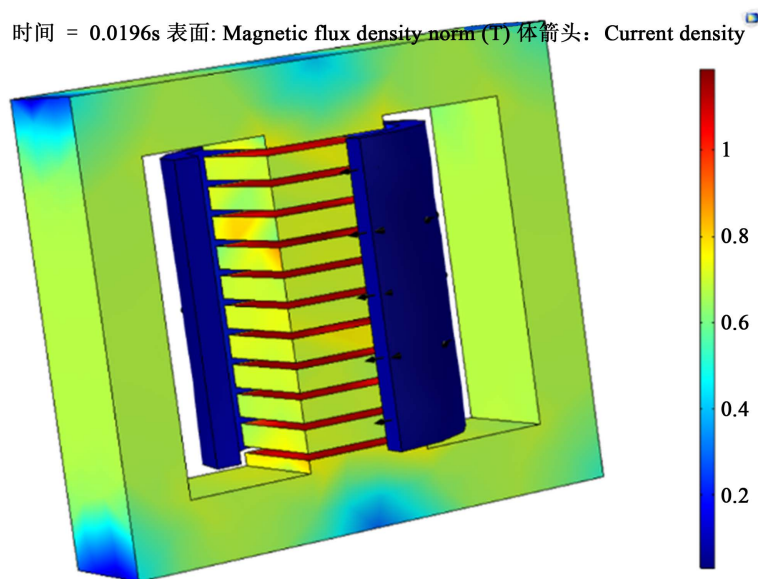


Figure 6. Magnetic flux density distribution of iron cores and windings
图 6. 铁心及绕组磁通密度分布

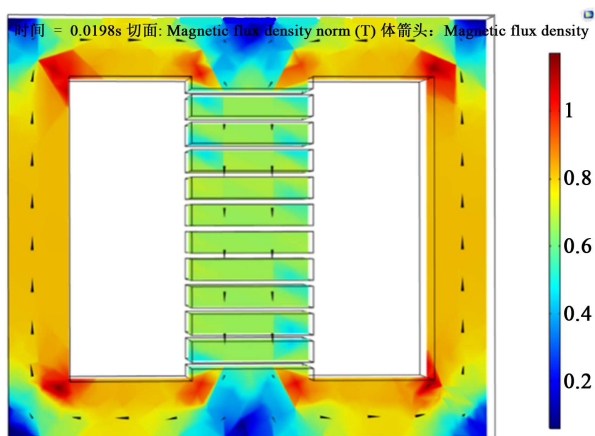


Figure 7. The magnetic flux density distribution and direction of the central section of the core
图 7. 铁心中心切面的磁通密度分布和方向

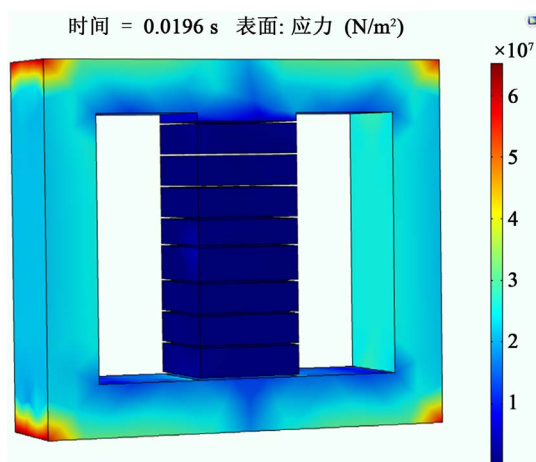


Figure 8. Stress distribution in the core ($t = 0.0196$ s)
图 8. 铁心应力分布 ($t = 0.0196$ s)

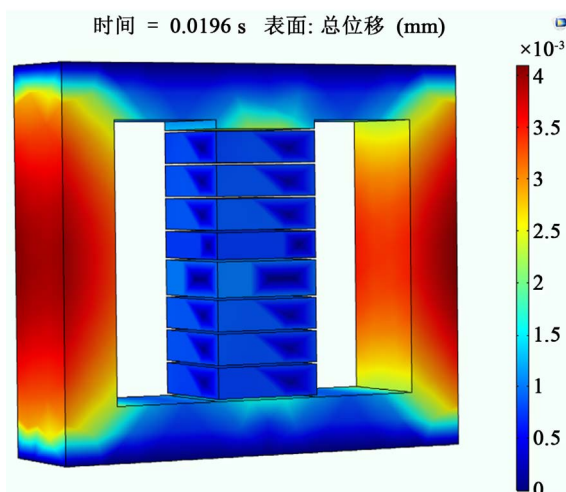


Figure 9. Total displacement of iron core ($t = 0.0196$ s)
图 9. 铁心总位移云图 ($t = 0.0196$ s)

由图可知，由于铁心底部形变很小，故可以看出底部声压较其余位置较低。并且单相电抗器心柱轴线上的声压要略大于旁轭附近声压。

3.2. 实测对比分析

将所取点的声压换算为声压级并与现场实际测量对应位置的测量噪声声压级进行对比，并绘制出了单相铁心电抗器仿真结果的声压级衰减特性与实测电抗器声压级衰减特性比对图。图 11 为仿真与实测声压级衰减特性比对图。

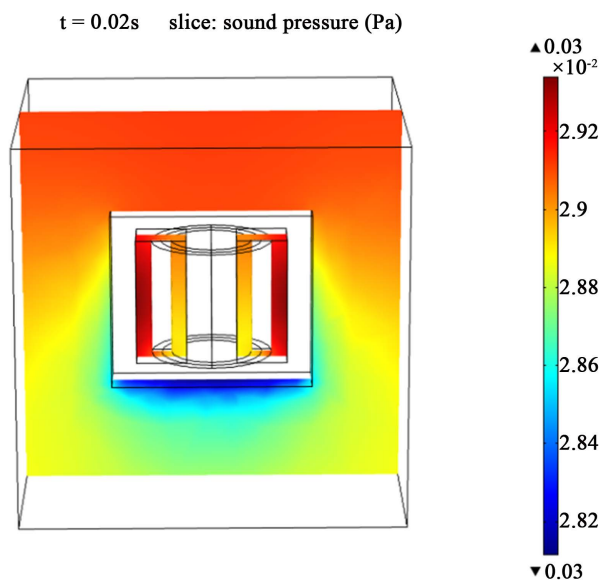


Figure 10. The sound pressure distribution diagram of X-Z section ($t = 0.02 \text{ s}$)

图 10. X-Z 切面声压分布云图 ($t = 0.02 \text{ s}$)

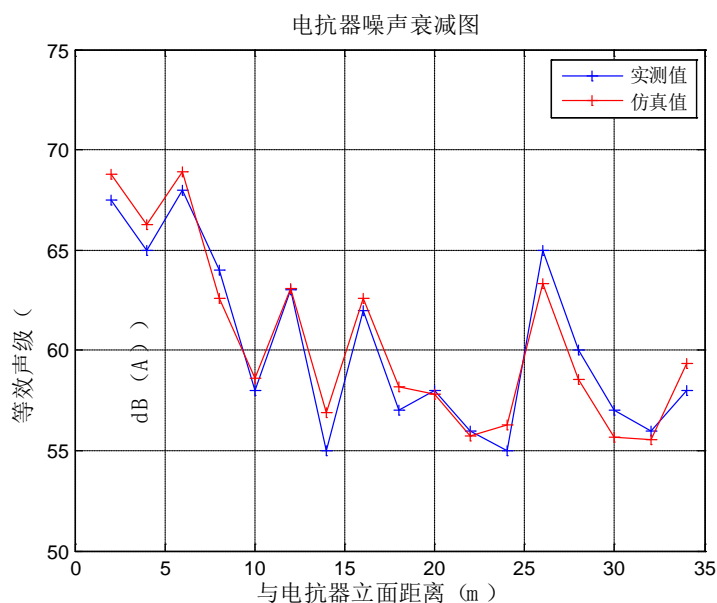


Figure 11. The comparison chart of attenuation characteristics about reactor simulation and measured sound pressure level

图 11. 电抗器仿真与实测声压级衰减特性比对图

上述结果表明高压并联电抗器附近噪声声场仿真结果与实测结果有一些偏差,但基本上吻合的,最大误差不超过 15%,证实了多物理耦合分析方法可用于并联电抗器噪声的预估。

4. 结论

基于有限元法建立了并联电抗器的电磁、结构、声场仿真计算模型,通过时域电磁场分析得到了电抗器铁心与线圈中的磁场分布,将磁场所引起的铁心饼和线圈中的电磁力以及铁心中产生的磁致伸缩效应作为激励施加给铁心和线圈,通过振动分析得到铁心和线圈表面各节点的振动加速度,并将其作为声场分析的边界条件,最终得到电抗器噪声声场分布情况。将仿真结果与实测值进行对比分析,最大误差不超过 15%,验证了有限元模型的可行性。

参考文献 (References)

- [1] 钟星鸣. 干式变压器的振动和噪声研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [2] 周兵, 裴春明, 倪园, 等. 特高压交流变电站噪声测量与分析[J]. 高电压技术, 2013, 39(6): 1447-1453.
- [3] 邵宇鹰, 张思平. 变电站噪声特性及降噪控制措施[J]. 电力与能源, 2014, 35(4): 542-544.
- [4] 陈泽平, 李强. 变电站环境噪声评价与防治[J]. 电力环境保护, 2008, 24(1): 61-62.
- [5] 傅亮. 平式平波电抗器噪声测量问题的研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2013.
- [6] 王伟, 韩金华, 李德志, 杨晓辉, 王吉, 李海峰, 刘博. 河南电网 500 kV 并联电抗器运行状况分析[J]. 高压电器, 2009(4): 82-85.
- [7] 刘宏亮. 变压器铁心振动噪声的多物理场耦合问题研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2014.
- [8] 姜志鹏. 干式空心电抗器多物理场分析及应用研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2014.
- [9] 许永丰, 丁敏. 并联电抗器的振动分析及控制[J]. 科技创新与应用, 2014(1): 91-92.
- [10] 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): 220-223.
- [11] 白保东, 刘闯, 王佳音. 直流偏磁下变压器振动的仿真与实验研究[J]. 电工技术学报, 2013, 28(2): 427-433.
- [12] 陈玉红, 王立忠, 洛君婷, 等. 变压器噪声的有限元辅助算法[J]. 变压器, 2013, 50(6): 149-152.
- [13] 张林, 孙刚, 沈加曙, 等. 电抗器隔声罩设计和试验研究[J]. 核动力工程, 2008, 29(1): 150-153.
- [14] 汪箴. 噪声计算软件在变电站设计中的尝试[J]. 上海电力, 2005(2): 161-162.
- [15] 陈斗. 线路电抗器静结构强度及振动模态有限元分析[J]. 变压器, 2010, 47(4): 41-44.
- [16] 周兵, 宋倩, 倪园, 等. 高压并联电抗器噪声特性及控制[J]. 高电压技术, 2016, 42(6): 1819-1826.
- [17] 王起悟. 油浸式电抗器振动噪音研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2013.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：sg@hanspub.org