

一款室内变压器双层隔振装置的原理、设计与实验

吴 祺¹, 高芳清¹, 邹岸新²

(1. 西南交通大学力学与工程学院, 成都 610031; 2. 国家电网重庆市电力公司电力科学研究院, 重庆 401123)

摘 要:针对居民小区中室内变压器的隔振降噪问题,以双层隔振系统的基本原理为基础,设计了一款用于室内变压器的双层隔振装置。结合干式变压器特点,给出了质量比、刚度比以及阻尼比等影响隔振效果的参数的参考取值范围,引入了隔振效果折减系数用来描述基础非刚性等因素对隔振效果的影响,并给出了对此装置隔振效果的预测范围。在实验室内用不同的上层质量对装置的隔振效果进行测试,测试所得的传递率曲线基本处于预测效果范围内,初步验证了此种设计方法的可行性,为小区配变电站的减振降噪设计提供了有益参考。

关键词:双层隔振;隔振设计;变压器隔振

中图分类号:TB115

文献标志码:A

引 言

随着社会的发展和生活品质的提升,人们对生活质量和周边环境噪声也越来越关注,针对民用建筑配套的固定设施之一的变压器的投诉也成增长趋势^[1-2]。邻近居民的室内配电房主要以干式变压器为主,其本体产生振动主要是由硅钢片的磁致伸缩所致,振动主要通过其支座传向地板,再经墙体、柱、楼板等结构体系传播至相邻室内,进而向外辐射噪声^[3]。变压器向外传播的振动频率主要为 100 Hz 及其倍频,属于高频振动^[4]。

作为振动控制中使用的最为广泛的方法之一,隔振技术能够有效抑制结构噪声、减少其向外传播,但传统的单层隔振对高频域的隔振效果不是很理想^[5],而与此相比,双层隔振对高频域的振动有着良好的隔离效果。因此利用双层隔振系统的特点,提出一种以变压器等相关设施为隔振目标的双层隔振装置的设计方法。

1 双层隔振系统的基本原理

对于一般的干式变压器,其机体结构基本成对称分

布,振动主要由硅钢片的磁致伸缩所致,实际工作中安装于支座处的隔振装置也多为对称分布。于是双层隔振系统的力学模型可以简化为双自由度平面模型,如图 1 所示。

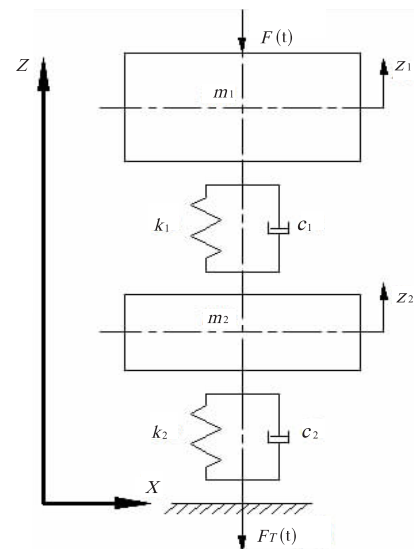


图 1 双层隔振系统模型

收稿日期:2016-03-30

基金项目:国家电网重庆电力公司科学技术研究项目(2014H01580)

作者简介:吴 祺(1990-),男,湖北武穴人,硕士生,主要从事结构振动与控制方面的研究,(E-mail)799696465@qq.com

常见的隔振评价指标主要有振级落差、插入损失、力传递率等。由于室内干式变压器所处基础(地板)的刚度较大,此时不宜采用振级落差作为评价指标,而且插入损失与力传递率相近^[6]。故选择力传递率作为评价指标,利用频响函数可以得到力传递函数的表达式为^[7]:

$$H_T(\lambda) = \frac{F}{F_T} = \left| \frac{(\mu\beta - 4\xi_1\xi_2 \sqrt{\mu\beta}\lambda^2) + i\lambda(2\xi_1\mu\beta + 2\xi_2 \sqrt{\mu\beta})}{\Delta_\lambda} \right| \quad (1)$$

其中, $\mu = \frac{m_1}{m_2}$ 为质量比, $\beta = \frac{k_2}{k_1}$ 为刚度比, $\lambda = \frac{\omega}{\sqrt{\frac{k_1}{m_1}}}$ 为频率比, F 和 F_T 分别表示作用在 m_1 上的扰动力和传递至基础的力,

$$\Delta_\lambda = [\lambda^4 - \lambda^2(\mu\beta + 4\xi_1\xi_2 \sqrt{\mu\beta} + \mu + 1) + \mu\beta] - i[\lambda^3(2\xi_2 \sqrt{\mu\beta} + 2\xi_1\mu + 2\xi_1) - \lambda(2\xi_1\mu\beta + 2\xi_2 \sqrt{\mu\beta})]$$

在此双层隔振模型中,控制力传递率的主要参数为:质量比 $\mu = \frac{m_1}{m_2}$, 刚度比 $\beta = \frac{k_2}{k_1}$ 和阻尼比 $\xi_i = \frac{c_i}{2\sqrt{k_i m_i}}$ ($i=1,2$)。当保持三项中的两项不变时,各参数对隔振效果的影响主要体现为^[8-9]:在同一频率比下,隔振效果随质量比 μ 增加的而降低;随刚度比 β 增加的而降低;随阻尼比 ζ 增加的而降低。

2 双层隔振装置的设计

2.1 双层隔振装置的设计步骤

双层隔振装置的设计主要包括以下几个步骤:

(1) 确定变压器质量。

(2) 根据变压器底座的安装尺寸以及安装空间的高度,给出中间质量块的尺寸范围,进而确定中间质量块的质量大小,确定质量比 μ 。

(3) 依据质量,选择合适的上层和下层的减振装置,确定刚度比 β 及减振装置的阻尼比 ζ 。对于干式变压器,常选择4点(或6点)支撑。对于上层的减振装置,每个所承受的质量应为变压器质量的1/4(或1/6),而下层的减振装置,每个所承受的质量应为变压器和中间质量块总质量的1/4(或1/6)。

(4) 依据上述步骤中得到的质量(m_1 、 m_2)及质量比 μ 、刚度(k_1 、 k_2)及刚度比 β 和各减振装置的阻尼比 ζ ,代入双层隔振系统的隔振效率表达式,对隔振效果进行

初步评估。若不满足预期效果,则可通过重复步骤(2)~(3),调整以上参数直至满足要求。

(5) 将所设计的双层隔振装置进行装配,将变压器安装在此装置上。此时可以通过调节中间质量块质量,使其达到理想隔振效果。

2.2 系统参数的选取

对于室内配电房常使用的干式变压器,其质量主要集中在2000 kg~4000 kg的范围内。一方面,增加中间质量块的质量有利于提高对高频的隔振效果,而且会使双层隔振系统的两个共振峰值相互靠拢,增加隔振频带。但另一方面,考虑到变压器使用空间的限制^[10]以及安装时的方便,其中间质量块高度不宜超过30 cm,而且长宽尺寸应满足变压器的安装尺寸。所以中间质量块应取为变压器质量的10%~20%,即 $\mu=5\sim 10$ 。

干式变压器的机体结构基本成对称分布,而且其支座为常为两条对称分布的槽钢,所以常选择4点支撑。一方面,刚度比的选取应使双层隔振系统的两个共振峰值尽可能靠近,在不考虑阻尼的影响下,此时最佳刚度比为 $\beta=1+1/\mu$ ^[11]。另一方面,采用4点支撑时,每个减振器的荷载范围为500 kg~1000 kg,下层每个减振器的荷载范围为550 kg~1200 kg。基于目前减振器产品荷载越大刚度越大,同一类型的减振器荷载与刚度基本成线性关系,考虑到实际应用中可能选取不同类型的产品,故取刚度比 $\beta=0.8\sim 1.5$ 。

理论上,阻尼比越小隔振效果越好,但是过小的阻尼比会使装置在受到偶然作用力或接近共振频率的作用力时产生较大的振幅。所以应选择具有一定阻尼比但阻尼比较小的阻尼弹簧减振器,其常见的阻尼比为 $\zeta=0.02\sim 0.07$ 。

2.3 隔振效果的评估

将上述参数代入式(1),可得到在此参数范围内的隔振效果。但除上述因素外,在实际工程应用中影响隔振效果的因素还有以下几点^[12]:基础的非刚性,即基础具有一定的弹性及质量;被隔振设备的非刚性;减振器在高频下产生的驻波效应等。这些因素综合来,会使得传递率曲线向上翘,并出现很多共振峰,降低了高频区的隔振效果。因此还应在式(1)的结果上乘以一个隔振效果折减系数 α ,取值范围在0.6~0.8。

就干式变压器而言, ω 取值以100 Hz、200 Hz、300 Hz、400 Hz和500 Hz为主^[13]。又因为干式变压器质量 m_1 主要集中在2000 kg~4000 kg范围,且通过查阅各种型号减振器的技术资料,对应此质量范围的单个减振器(4点支撑)刚度 k_1 取值主要集中在 1×10^5 N/m

$\sim 3 \times 10^5 \text{ N/m}$,所以 ω_1 的取值范围为2.6 Hz ~ 6.4 Hz。对于变压器而言,需要关注的频率比 λ 的取值范围应该10~200之间。因此可达到此设计方法下的隔振效果范围,如图2所示。

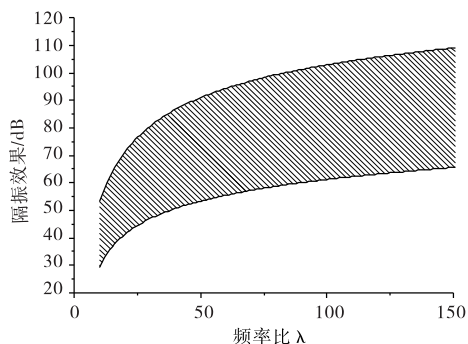


图2 设计隔振效果

3 双层隔振装置的实验

基于上述内容,参照提出的参数取值范围,在实验室内对双层隔振装置的效果进行测试。其中,以若干组装有细沙的质量块模拟变压器,以激振器对质量块进行激振来模拟变压器的自身振动。隔振装置采用型钢组装,上下层减振器分别采用ZT(Ⅱ)型和JS型减振器。实验装置及传感器的布置的示意图,如图3所示。

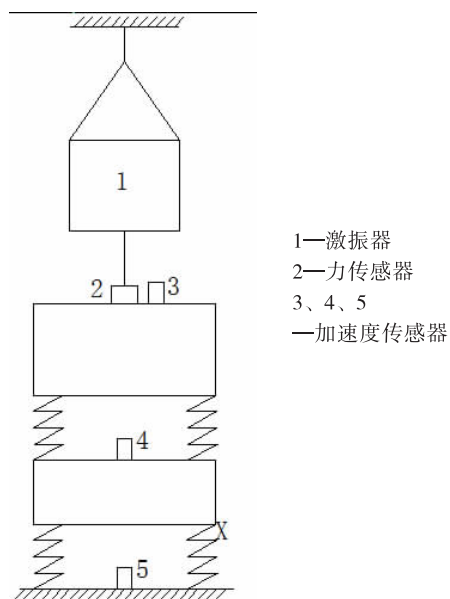


图3 实验示意图

在采用同样中间质量块和上下层减振器的条件下,通过调整上层质量,使质量比 μ 分别为5、7.5和10,实验测得的传递率曲线(100 Hz ~ 600 Hz),如图4所示。从图4中可以看出,实验测得的传递率曲线基本处于图2给出的隔振效果范围内。

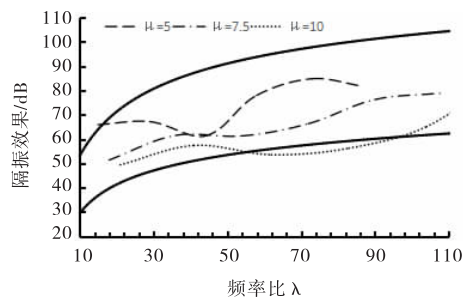


图4 实验测得的隔振效果

4 结束语

本文根据双层隔振系统的基本原理,并结合室内干式变压器的结构特点和振动特性,提出了一种有一定实际应用意义的针对变压器的双层隔振装置的设计方法,并给出了各个设计参数的建议取值范围。设计并组装了一套双层隔振装置,并且通过实验验证了其隔振效果。

在对隔振效果进行初步评估预测时,提出并引入了隔振效果折减系数 α 。虽然在本文中给出了折减系数 α 的一个取值范围,但取值在不同参数(质量比、刚度比和阻尼比等)条件下的变化规律还需要更深层次的探讨,建立其与基础刚度、变压器支座刚度和减振器等因素之间的定量关系。

参考文献:

- [1] 张琛,石磊,赵宇彤,等.城市配电室噪声与振动控制分析[J].环境工程学报,2016,10(2):971-977.
- [2] 稽正毓,张华,杨于生.用空气弹簧降低变压器结构噪声的工程实践[J].污染防治技术,2011,24(1):61-64.
- [3] 徐刚,马宏忠,陈凯,等.电力变压器噪声的主动控制[J].变压器,2013,50(5):15-18.
- [4] 王海涛.小区干式变压器振动特性及整体隔振研究[D].成都:西南交通大学,2009.
- [5] 孙春平.室内配电房及变压器结构传声治理研究[D].成都:西南交通大学,2009.
- [6] 段小帅,梁青,陈绍青,等.双层隔振系统隔振效果评价与试验[J].振动、测试与诊断,2010,30(6):694-697.
- [7] 向敢.浮筏隔振系统的振动特性研究[D].杭州:浙江工业大学,2012.

- [8] 裴中强.含随机参数隔振系统隔振性能分析及优化设计[D].阜新:辽宁工程技术大学,2005.
- [9] 苏荣华,彭晨宇,丁文文.设计参数对双层隔振系统动态性能影响的研究[J].应用基础与工程科学学报,2008,16(6):863-869.
- [10] GB/T10228-2008,干式电力变压器技术参数和要
- 求[S].
- [11] 孙春平.室内配电房及变压器结构传声治理研究[D].成都:西南交通大学,2009.
- [12] 朱石坚,楼京俊,何其伟,等.振动理论与隔振技术[M].北京:国防工业出版社,2006.
- [13] 翟国庆.低频噪声[M].杭州:浙江大学出版社,2013.

The Principle, Design and Experiment of a Double-layer Isolation Device Applied for Indoor Transformers

WU Qi , GAO Fangqing , ZOU Anxin

- (1. School of Mechanics and Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;
2. Chongqing Power Company Power Science Research Institute, Chongqing 401123, China)

Abstract: Based on the fundamental theory of double-layer isolation system, a kind of double-layer isolation device of indoor transformer was designed to solve the noise problem of transformer rooms in neighborhood. The value range of mass ratio, stiffness ratio and damping ratio were given based on the structure and vibration characteristics of dry-type transformers. And a reduction factor of isolation level was proposed to describe the effects of some factors, like non-rigid base, on the isolation level of double-layer isolation. The isolation effect of the device has been computed and also has been verified preliminarily by the experiments in the laboratory with different kinds of upper layer mass ratio. It is a useful reference to the vibration and noise reduction design for district transformers.

Key words: double-layer isolation; vibration design; transformer isolation