

电力变压器噪声产生机理及影响因素研究

刘斌 代蒙 李松峰 丛洋铭

特变电工沈阳变压器集团有限公司, 辽宁 沈阳 110000

[摘要]在电力系统中, 电力变压器作为关键设备, 承担着电能的传输、变换和分配等重要任务。随着电力系统的不断发展, 电力变压器的噪声不仅会影响周围居民的生活质量和工作环境, 还可能对周围环境造成不良影响, 因此, 降低电力变压器的噪声水平具有重要的现实意义和实践价值。本篇文章探讨电力变压器噪声产生机理、影响因素以及控制与减少技术, 为解决电力变压器噪声问题提供理论和技术支撑。

[关键词]电力变压器; 变压器噪声; 噪声产生机理

DOI: 10.33142/ucp.v1i2.13623

中图分类号: TM41

文献标识码: A

Research on the Mechanism and Influencing Factors of Noise Generation in Power Transformers

LIU Bin, DAI Meng, LI Songfeng, CONG Yangming

TBEA Shenyang Transformer Group Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract: In the power system, power transformers, as key equipment, undertake important tasks such as transmission, transformation, and distribution of electrical energy. With the continuous development of the power system, the noise of power transformers not only affects the quality of life and working environment of surrounding residents, but may also have adverse effects on the surrounding environment. Therefore, reducing the noise level of power transformers has important practical significance and value. This article explores the mechanism, influencing factors, and control and reduction techniques of power transformer noise, providing theoretical and technical support for solving the problem of power transformer noise.

Keywords: power transformer; transformer noise; mechanism of noise generation

引言

随着电力系统的不断发展和城市化进程的加速推进, 电力变压器的应用范围和数量不断增加, 其噪声问题逐渐凸显出来。电力变压器噪声的产生主要源于其内部的振动和机械运动, 在变压器工作时, 铁心、线圈等部件的振动会产生噪声, 而这些噪声可能对周围环境和人们的生活造成干扰和影响。特别是在城市化进程加快的背景下, 电力变压器往往被布置在人口密集的城市地区, 其噪声对居民生活和工作环境产生直接影响。高噪声水平不仅会引起人们的不适和抱怨, 还可能导致健康问题和心理压力, 影响居民的生活质量和工作效率。此外, 电力变压器的噪声也可能对周围环境造成污染, 影响生态平衡和城市景观。因此, 降低电力变压器的噪声水平, 成为当前亟待解决的重要问题。

1 电力变压器噪声产生机理

1.1 电磁力与机械振动的关系

电力变压器中的电流通过线圈时会产生电磁力, 这一力量会直接作用于变压器的结构部件, 如铁心和线圈。当电流通过线圈时, 产生的磁场会相互作用, 导致线圈和铁心受到电磁力的作用, 从而产生机械振动。这种振动是由电流通过线圈所产生的磁场引起的, 其频率通常与电流频率相同, 这就意味着在交流电力系统中, 振动频率通常是

固定的。这种振动会导致变压器结构部件发生微小的位移, 因而产生噪音。此外, 电磁力的大小和方向受到变压器内部磁场分布的影响, 因此磁场不均匀性会进一步加剧振动和噪音的产生。由于大功率变压器承载的电流较大, 所产生的电磁力也相应增大, 因此振动和噪音问题更加突出。

1.2 磁场不均匀性引起的振动

当电流通过变压器的线圈时, 会在铁心中产生磁场, 但由于铁心材料的非线性特性以及线圈布局等因素, 这个磁场往往并不是完全均匀的。磁场的均匀性导致了在变压器内部不同区域受到的磁力不同, 从而引起了结构部件的不均匀受力。受到不均匀磁力作用的结构部件会发生不规则的振动, 不仅会产生噪音, 还可能导致变压器结构的疲劳和损坏。尤其是在高功率变压器中, 由于受力更加复杂, 磁场不均匀性引起的振动问题更为突出。

1.3 铁心和线圈振动引起的噪声

当电流通过变压器的线圈时, 会在铁心和线圈周围产生电磁力, 从而导致铁心和线圈发生机械振动。这种振动不仅会引起变压器结构部件的微小位移, 还会产生声波, 形成可听到的噪音。铁心是电力变压器中的主要结构部件之一, 其振动主要由电磁力引起。当电流通过线圈时, 线圈周围的磁场会对铁心施加力, 导致铁心发生微小的振动。这种振动会产生机械能, 进而转化为声能, 形成噪音。与

铁心不同,线圈的振动通常是由于电流通过线圈时产生的磁场相互作用而引起的。线圈通常由绝缘电线绕制而成,其振动会导致线圈周围空气的压缩和稀释,形成声波,产生噪音^[1]。振动产生的噪音不仅会对周围环境造成干扰,还可能对变压器自身产生负面影响,如加剧结构疲劳,降低变压器的寿命。因此,减少铁心和线圈的振动,降低噪音水平是电力变压器设计与运行中需要解决的重要问题。

1.4 绝缘材料损耗导致的声音

绝缘材料在电力变压器中起着至关重要的作用,它们的损耗也可能导致声音的产生。在电力变压器中,绝缘材料常常用于包裹线圈、填充间隙和隔离部件,以确保电流的正常传输并提供绝缘保护。然而,这些绝缘材料在工作过程中会受到电场和磁场的作用,从而引起能量损耗,释放出声音。绝缘材料的损耗通常由两个主要机制引起:介质极化和电介质损耗。介质极化是指绝缘材料中的分子在电场的作用下发生极化,从而释放能量并产生声音。电介质损耗则是指绝缘材料中的分子在交变电场中发生定向运动时产生的摩擦和热量,进而转化为声音。由绝缘材料损耗引起的声音虽然通常较小,但在一些特定条件下可能会对电力变压器的运行和周围环境产生影响。特别是在高压、高温或频繁切换工作状态的情况下,绝缘材料的损耗会更加显著,导致声音水平增加。

2 电力变压器噪声影响因素分析

2.1 设计参数对噪声的影响

设计参数在很大程度上决定了电力变压器的性能,同时也直接影响着噪声水平。变压器的铁心形状和材料选择对噪声有着重要的影响,不仅影响了磁路的长度和磁阻,还会影响磁场的分布和电磁力的大小,进而影响振动和噪声的产生。选择合适的铁心材料,如硅钢片,可以有效降低铁心的磁滞和涡流损耗,减少振动和噪声。线圈的绕组方式、导线材料、匝数等都会直接影响电流通过线圈时产生的电磁力的大小和方向,从而影响振动和噪声的产生。合理设计线圈的结构和布局,减少电流密度不均匀、减小电流通过时的磁阻,有助于降低振动和噪声水平。通常情况下,容量越大的变压器所承受的电流和电磁力也越大,因此其振动和噪声问题可能更为显著^[2]。同样,工作频率的增加也会导致振动和噪声的增加,因为电流变化更加频繁,电磁力的作用也更加剧烈。总之,设计参数对电力变压器噪声的影响是多方面的,包括铁心形状和材料、线圈的结构和布局、变压器的容量和工作频率等。合理选择这些设计参数,优化变压器的设计,可以有效降低噪声水平,提高电力变压器的性能和可靠性。

2.2 工作条件对噪声的影响

工作条件对电力变压器噪声水平有着显著的影响,包括电流大小、频率、温度和湿度等因素。电流越大,电磁力对变压器结构部件的作用也越强,从而导致振动和噪声

水平增加。特别是在负载较大的情况下,电流通过线圈时产生的电磁力会更加剧烈,因此变压器的噪声水平可能更高。在交流电力系统中,工作频率通常为 50Hz 或 60Hz,而频率的变化会影响电流通过线圈的频率,进而影响振动和噪声的产生。通常情况下,频率越高,电流变化的频率也越高,电磁力对结构部件的作用也更加频繁,从而导致噪声水平增加。在高温环境下,绝缘材料的性能可能下降,导致电力变压器内部损耗增加,从而增加振动和噪声的产生。而湿度的增加可能会影响绝缘材料的绝缘性能,进而导致电力变压器的工作稳定性下降,噪声水平增加。总之,工作条件对电力变压器噪声的影响是多方面的,包括电流大小、频率、温度和湿度等因素。合理控制这些工作条件,采取相应的措施,如降低负载、优化散热设计、控制环境温度湿度等,可以有效降低电力变压器的噪声水平,提高其工作效率和可靠性。

2.3 环境因素对噪声的影响

环境因素在电力变压器噪声产生和传播中扮演着重要角色。周围环境的噪声水平会直接影响人们对电力变压器噪声的感知。如果周围环境噪声较大,那么电力变压器产生的噪声可能会被掩盖或减轻人们的感知,反之亦然。因此,环境噪声的水平是评价电力变压器噪声影响的重要因素之一。大气中的温度、湿度、空气密度等因素会影响声波在空气中的传播速度和衰减程度,从而影响噪声的传播范围和强度。此外,地形和建筑物的布局也会对噪声的传播产生影响,如山脉、建筑物等可能会反射、吸收或遮挡噪声,进而影响周围居民的噪声暴露水平。风速的增加会加速声波的传播,而风向的变化可能改变噪声的传播路径和范围。因此,在设计电力变压器时,需要考虑周围环境的气候条件,以预测噪声的传播路径和范围,从而采取相应的措施来减轻噪声对周围环境和居民的影响。总之,环境因素对电力变压器噪声的影响是多方面的,包括周围环境的噪声水平、声学特性以及气候条件等。

2.4 材料特性对噪声的影响

材料特性对电力变压器噪声的影响是至关重要的,因为电力变压器的结构部件和绝缘材料直接参与了振动和声音的产生过程。电力变压器的铁心采用硅钢片制成,因为硅钢片具有良好的导磁性和低磁滞特性,能够有效降低铁心的磁滞损耗和涡流损耗,减少振动和噪声的产生。线圈通常由导电材料(如铜线)绕制而成,其导电性能和机械强度直接影响电流通过时的磁场分布和电磁力的大小,进而影响振动和噪声的产生。另外,绝缘材料的选择也至关重要。优质的绝缘材料应具有良好的绝缘性能、机械强度和耐热性,以确保在电场和磁场的作用下不产生过多的损耗和振动,从而减少噪声的产生。除了铁心和线圈的材料特性外,其他结构部件的材料也会对噪声产生影响。例如,变压器的支撑结构和外壳材料的选择会影响振动的传

递和噪声的传播,进而影响周围环境的噪声水平。总之,材料特性对电力变压器噪声的影响是多方面的,包括铁心、线圈、绝缘材料以及其他结构部件的材料选择。

3 电力变压器噪声控制与减少技术

3.1 结构优化设计

对电力变压器的结构进行优化设计,可以有效减少振动和噪声的产生,提高其工作效率和稳定性。合理设计铁心的形状和材料选择可以降低磁场不均匀性,减少电磁力对结构的影响,从而减少振动和噪声的产生。同时,优化线圈的结构和布局,如增加导体截面积、增加匝数、减小线圈的尺寸等,可以降低线圈的电阻和电流密度,减少电流通过时的磁阻,降低振动和噪声水平。在电力变压器的设计中,加强支撑结构和增加减震措施可以有效减少振动的传播和噪声的产生。例如,通过增加支撑杆、加装减震垫等方式,可以提高变压器的结构刚度,减少振动的幅度和频率,从而降低噪声水平。结构优化设计还可以采用声学优化技术,如添加吸音材料、设计合理的外壳结构等。通过在变压器的外壳中添加吸音材料,可以有效吸收噪声,并减少其传播到周围环境中的影响。同时,设计合理的外壳结构可以降低空气流动引起的噪声,进一步减少噪声的产生和传播。

3.2 振动和噪声抑制技术

振动和噪声抑制技术是降低电力变压器噪声的重要手段之一,旨在减少振动的产生和传播,并有效降低噪声水平。增加支撑结构的刚度和稳定性,可以有效减少变压器结构在电磁力作用下的振动幅度。此外,通过在变压器底部安装减震垫或减震弹簧等减震装置,可以有效隔离变压器与地面的接触,减少振动的传播和噪声的产生。在电力变压器的外壳和内部结构中添加吸音材料,如泡沫塑料、玻璃纤维布等,可以有效吸收振动产生的声波,减少噪声的传播。主动噪声控制技术通过在电力变压器周围布置传感器和扬声器,并利用控制算法实时监测和调节振动和噪声的产生,以达到抑制噪声的效果。这种技术可以根据变压器工作状态和周围环境的变化,实时调整控制参数,有效减少噪声对周围环境和人员的影响。

3.3 绝缘材料改进

绝缘材料在电力变压器中起着至关重要的作用,其性能直接关系到噪声水平的控制。优质的绝缘材料应具有好的绝缘强度和耐电压性能,可以有效抵抗电场的作用,减少电流通过时的能量损耗和噪声的产生。采用具有更高介电常数和低损耗的绝缘材料,如聚酰亚胺、聚四氟乙烯等,可以提高电力变压器的绝缘性能,降低噪声水平。优质的绝缘材料应具有好的机械强度和耐热性,可以有效减少电磁力对结构的作用,降低振动和噪声的产生^[3]。采用具有更高弹性模量和热稳定性的绝缘材料,如硅胶、氟橡胶等,可以提高电力变压器的机械稳定性,减少噪声水平。电力变压器通常需要长期运行在恶劣的环境条件下,

如高温、高湿等,因此绝缘材料需要具有良好的耐腐蚀性和耐老化性能,以确保其长期稳定性和可靠性。采用具有更好耐腐蚀性和耐老化性能的绝缘材料,如氟塑料、聚醚醚酮等,可以有效延长电力变压器的使用寿命,降低噪声水平。

3.4 环境隔离与降噪技术

环境隔离与降噪技术在电力变压器中起着至关重要的作用,通过隔离变压器与周围环境之间的物理联系,减少噪声的传播和影响,提高工作环境的舒适性和安全性。在电力变压器周围布置吸声材料,如泡沫塑料、玻璃纤维布等,可以有效吸收振动产生的声波,减少噪声的传播。同时,采用隔音结构,如加厚外壳、增加隔音层等,可以有效阻止噪声的传播,减少其对周围环境和人员的影响。主动噪声控制技术通过在电力变压器周围布置传感器和扬声器,并利用控制算法实时监测和调节振动和噪声的产生,以达到抑制噪声的效果。这种技术可以根据变压器工作状态和周围环境的变化,实时调整控制参数,有效减少噪声的影响。而被动噪声控制技术则主要通过结构设计和材料选择来降低噪声的产生和传播,如增加结构支撑、采用吸音材料等。合理布置电力变压器,如远离人口密集区、远离噪声源等,采用合理的设计,如减少机械部件的共振频率、优化结构的刚度和稳定性等,也可以有效降低振动和噪声水平。

4 结语

电力变压器作为电力系统中不可或缺的重要设备,探讨电力变压器噪声的产生机理、影响因素以及控制与减少技术。从电磁力与机械振动的关系、磁场不均匀性引起的振动、铁心和线圈振动引起的噪声,到设计参数、工作条件、环境因素和材料特性对噪声的影响,我们全面分析了噪声产生的原因和影响因素。随后,我们介绍了结构优化设计、振动和噪声抑制技术、绝缘材料改进以及环境隔离与降噪技术等一系列控制与减少噪声的技术手段。未来,我们期待着更多创新技术的涌现,更加有效地解决电力变压器噪声问题,为建设清洁、美丽的生态环境做出更大的贡献。

[参考文献]

- [1]胡非,高红亮,唐勇.电力变压器噪声及其传播特性研究[J].湖北师范大学学报(自然科学版),2023,43(4):1-7.
 - [2]李冰,王泽忠,刘海波,等.直流偏磁下500kV单相变压器振动噪声的试验研究[J].电工技术学报,2021,36(13):2801-2811.
 - [3]钟思翀,祝丽花,王前超,等.电力变压器振动噪声分析及其有源降噪[J].电工技术学报,2022,37(1):11-21.
- 作者简介:刘斌(1987.3—),男,毕业院校:沈阳工业大学,所学专业:电气工程及其自动化,当前工作单位:特变电工沈阳变压器集团有限公司,职务:设计师,职称级别:工程师。