

电力变压器的损耗研究与优化设计

张海峰

杭州钱江电气集团股份有限公司 浙江 杭州 311243

摘要: 随着整个国民经济的高速发展,对变压器的需求量也在不断增加。然而,随着电力变压器装机量的增加,其自身所消耗的能量也越来越大,这与我国提倡的建设节能性社会是不符合的,因此有必要采取相应的技术措施来减少变压器自身的损耗。

关键词: 电力变压器;损耗;措施

1 电力变压器损耗概述

电力变压器是电力系统中不可缺少的设备,用于实现电能的传输和分配。然而,变压器在运行过程中会产生一定的损耗,如铁损和铜损,不仅消耗了电能,还会导致能源的浪费和损耗。因此,研究和优化电力变压器的损耗成为了电力工程领域中的一个重要课题。电力变压器的损耗主要由铁损和铜损组成。铁损是由于磁场变化引起的,包括涡流损耗和磁化损耗。其中,涡流损耗是由于磁场的变化在铁心中产生涡流,导致铁心材料发热损耗电能。磁化损耗是由于变压器的铁心磁化和去磁化过程中磁能和电能的转换导致的能量损耗。铜损是由于线圈中的电流流过铜导线时产生的导线电阻损耗引起的。导线的电阻是导致铜损的主要因素,而导线的电阻与导线的截面积、导线的长度以及导线材料的电阻率有关。优化变压器线圈中的导线材料和设计合理的线圈结构对减少铜损有重要意义^[1]。为了研究和优化电力变压器的损耗问题,需要对变压器的工作原理和结构进行深入的了解,并结合实际工程经验进行分析和研究。通过优化变压器的设计和制造工艺,选择合适的材料和控制方法,可以有效地降低电力变压器的损耗,提高变压器的能效性能,实现节能减排和可持续发展的目标。

2 电力变压器的损耗原理与分类

2.1 变压器的基本原理

电力变压器是电力系统中常见的重要设备,用于实现电能的变压、变流和配电,在整个电力系统中起着至关重要的作用。然而,电力变压器在工作过程中会产生一定的损耗,影响其效率和可靠性。因此,了解变压器的损耗原理和分类是进行优化设计和管理的基礎和前提。电力变压器的损耗可以分为两类:铜损和铁损。铜损又称为电阻损耗,是由变压器的绕组电阻引起的损耗。当变压器通电时,绕组内部会产生一定的电流,因为绕组的电阻不为零,所以会产生一定的电功率损耗。

铁损又称为磁损耗,是由变压器的铁芯材料在磁化和反磁化过程中产生的能量损耗。当变压器工作时,磁感应强度会不断变化,导致铁芯中分子的摩擦、振动和磁滞,从而产生磁损耗。在变压器的基本原理方面,变压器是基于电磁感应原理工作的。当交流电通过变压器的主绕组时,会在铁芯中产生交变磁场^[2]。这时,次级绕组会感应到这个磁场,并产生感应电动势,从而实现电能的变压。变压器的基本原理可以用变压器的转比公式来描述,即主绕组电压与次级绕组电压之间的比值等于主绕组匝数与次级绕组匝数之比。在保证变压器正常工作的同时,降低损耗是提高变压器工作效率的关键。通过改善绕组的材料和结构、优化铁芯材料和减小磁通密度等方式,可以有效减少铜损和铁损,提高变压器的效率和可靠性,进而提高电力系统的整体运行效果。

2.2 损耗的分类与特点

电力变压器是电力系统中不可或缺的设备,其功能是将高电压输电线路的电压转变为适合低电压负载设备使用。然而,变压器在电力传输过程中会产生一定的能量损耗,这种损耗可以分为两类:铁损耗和铜损耗。铁损耗又称为磁损耗,主要是由变压器的铁芯磁化和磁化过程中的能量损失所引起的这种损耗通常包括两个方面,即磁滞损耗和涡流损耗。磁滞损耗是指磁芯在磁场变化时的能量损耗,而涡流损耗是指由于磁场的变化产生的电流在磁芯中形成的环流损失。铁损耗与变压器的磁芯材料和操作频率有关,通常可以通过合理选用低磁滞材料和减小操作频率来减少损耗。铜损耗是由变压器的线圈中的电流通过线圈的电阻而产生的能量损失。由于线圈一般是用铜导线制造的,因此称为铜损耗。铜损耗主要由两个方面决定,即电流的大小和线圈电阻的大小。通常可以通过合理设计线圈结构和选择尺寸合适的导线来降低铜损耗^[3]。在实际应用中,电力变压器的损耗也可以根据其发生的位置进行分类,可以分为空载损耗

和负载损耗。空载损耗是指在没有负载连接时, 变压器仅供电磁绕组和磁芯自激产生的能量损耗, 而负载损耗是指在有负载连接时, 变压器为负载设备供电能而产生的能量损耗。

3 电力变压器损耗主要因素分析

3.1 铁心损耗的影响因素

电力变压器的损耗主要分为电流损耗和铁心损耗两部分。铁心损耗是指在变压器的铁心部分发生的能量损耗, 是由于变压器的铁芯材料导磁特性引起的。铁心损耗主要由磁滞损耗和涡流损耗组成。磁滞损耗是指当铁心中的磁场发生变化时, 铁芯中的磁畴发生重组, 导致能量损耗。涡流损耗是指当变压器中的磁场发生变化时, 由于铁芯是导电材料, 会在铁芯内部形成涡流, 进而导致能量损耗。

铁心损耗的影响因素主要包括: (1) 铁芯材料的导磁特性: 铁芯材料的导磁特性决定了变压器中磁场变化时的磁滞损耗和涡流损耗程度一般来说, 导磁特性好的铁芯材料能减小损耗。(2) 磁化条件: 磁化条件的改变会对铁芯中的磁滞损耗产生影响。例如, 当磁化条件改变时, 铁芯中的磁滞损耗可能会增加。(3) 铁芯的几何形状: 铁芯的几何形状也会影响铁芯损耗程度。例如, 变压器中使用薄片铁芯时, 能减小涡流损耗。(4) 工作频率: 工作频率对铁芯损耗也有影响。一般来说, 高频率下铁芯损耗较大^[4]。

3.2 铜损耗的影响因素

铜损耗是电力变压器中的重要损耗之一, 其大小直接影响着变压器的工作效率和经济性。铜损耗主要由两个方面的因素决定: 电流因素和温度因素。首先, 电流因素是指电流大小对铜损耗的影响。电流越大, 铜线内部的电阻损耗就越大。因此, 变压器的额定电流越大, 铜损耗也就越大。此外, 电流的分布情况也会影响铜损耗。在变压器的一侧, 电流倾向于集中在少数几根主要导线上, 而在另一侧, 电流则分散在较多的绕组上。在设计变压器时, 需要合理安排绕组的布局, 以避免电流集中导致的过热和损耗增加。其次, 温度因素是指变压器的工作温度对铜损耗的影响。电流通过导线时会产生热量, 而导线又与周围环境有热交换, 因此导线的温度会升高。温度升高会进一步增加铜线的电阻, 从而增加铜损耗。因此, 在变压器的设计和运行过程中, 需要合理控制变压器的工作温度, 以保持铜损耗在可控范围内。

4 电力变压器损耗的模型建立与分析

4.1 损耗模型建立

在电力变压器的设计和分析中, 建立准确的损耗模

型对于评估变压器的性能和优化设计具有重要意义。损耗模型是基于变压器的工作原理和材料特性, 通过数理模型来描述变压器在不同工况下的损耗情况。损耗模型的建立需要考虑两种主要的损耗-铁心损耗和铜损耗。铁心损耗是指变压器中由于磁通变化引起的铁心材料内部的能量损主要包括涡流损耗和剩余磁通损耗。铜损耗则是指变压器中由于电流通过铜导体引起的能量损失。对于铁心损耗的建模, 可以使用经验公式或者有限元分析等方法^[5]。经验公式是利用已有的变压器试验数据和统计数据, 通过回归分析得到的一种估计损耗的数学模型。而有限元分析则是通过将变压器的结构和物性参数转化为有限元网格, 通过求解相关方程得到损耗的分布和大小。铜损耗的建模则需要考虑电流和电阻之间的关系。通常可以利用铜损耗公式进行计算, 该公式基于欧姆定律和温升公式, 考虑了电流的效应和温升对电阻的影响。在建立损耗模型时, 还需要考虑变压器的工作条件和负载情况。变压器在不同的负载下, 损耗的分布和大小都会有所不同。因此, 需要对变压器在不同工况下的损耗进行模型建立和分析。通过建立准确的损耗模型, 可以对变压器的工作性能和设计进行有效评估和优化。同时, 准确的损耗模型也为变压器的状态监测和故障诊断提供了基。因此, 损耗模型在电力变压器的研究和应用中具有重要的意义。

4.2 模型的合理性验证

电力变压器的损耗模型是评估和分析变压器损耗的重要工具。在建立模型之前, 首先需要收集变压器的运行数据和技术参数, 确定变压器的额定负荷、额定电压以及电压和电流的波形特征等。根据这些数据和参数, 可以建立电力变压器的损耗模型。典型的电力变压器损耗模型主要涉及两个方面的损耗, 即铁心损耗和铜损耗。铁心损耗是指变压器铁芯中由于磁场的周期性变化而产生的损耗, 主要包括铁耗和涡流损耗。铜损耗是指变压器的导电部分, 包括线圈和连接线路中由于电流通过而产生的损耗, 主要包括电阻损耗。在模型建立过程中, 可以采用多种方法进行分析和计算。常用的方法有等效电路法和有限元法。等效电路法是根据变压器的布局和参数来建立电路模型, 进而计算出损耗。有限元法则是利用计算机分析软件, 根据变压器的几何形状和物理特性进行离散建模, 通过求解电磁场方程得出损耗。建立好损耗模型之后, 还需要对模型进行合理性验证^[1]。可以通过实测数据与模型计算结果进行对比, 评估模型的精度和可靠性。如果模型与实测数据吻合较好, 说明模型能够较准确地预测变压器的损耗; 如果差异较大,

可能需要对模型进行调整和改进。电力变压器损耗的模型建立与分析是评估和优化变压器性能的重要工作。准确的损耗模型可以帮助工程师了解变压器的运行状态,提高变压器的运行效率和可靠性。因此,建立合理的损耗模型,并对模型的准确性进行验证非常重要。

5 电力变压器损耗优化设计与策略

5.1 现有的损耗优化设计方法综述

电力变压器的损耗优化设计是一项关键工作,旨在降低电能转换过程中的能量损失,提高系统的效率和经济性。目前,已有多种方法来实现损耗的优化设计,本节将对其中一些常用的方法进行综述。首先是综合考虑变压器的设计参数进行优化的方法。这种方法主要是通过设计变压器的结构和工作参数,包括铁心形状、导磁材料选择、绕组布局等,来降低损耗。通过优化设计参数,可以减少铁心和铜损耗,提高系统的效率。这种方法常常通过数值模拟和优化算法来实现。其次是基于损耗模型的优化设计方法。这种方法首先建立变压器的损耗模型,包括铁心损耗模型和铜损耗模型,然后通过数值计算或仿真,寻找最优的工作条件,使得损耗达到最小化。这种方法通常需要考虑到不同工况下的损耗变化,如负载变化、电压波动等。另外,还有一种基于经验的优化设计方法,其中包括基于统计数据 and 历史运行数据的优化设计。这种方法通过分析大量的变压器运行数据,总结规律和经验,找出损耗的关键因素,并据此进行优化设计。这种方法常常适用于相似型号的变压器,在实际应用中较为常见^[2]。

5.2 新的损耗优化设计思路与策略

5.2.1 新的损耗优化设计思路与策略的探索

(1) 材料与结构优化:新的损耗优化设计思路强调通过选择合适的材料和优化变压器的结构,减少损耗的产生。例如,应用新型高导磁材料、降低变压器的空气间隙和磁滞损耗等。(2) 温升管理与综合考虑:新的损耗优化设计策略不仅关注变压器内部损耗的降低,还要综合考虑外部环境因素对变压器温升的影响。通过合理的散热设计和温度控制,降低变压器的温升,进而减少损耗。(3) 智能化和自适应控制:利用智能化技术,对

变压器的运行状态实时监测和分析,采取自适应控制策略,根据实际工况调整变压器的运行参数,降低损耗。

(4) 经济性与环保性的平衡:新的损耗优化设计思路要求在减少损耗的同时,考虑到变压器的经济性和环保性。综合考虑成本和能源消耗,寻找到最优的损耗优化方案^[3]。

5.2.2 新的损耗优化设计思路与策略的前景

引入新的损耗优化设计思路与策略,将为电力变压器的设计、生产和应用带来新的发展机遇。这些思路和策略的应用有望提高变压器的效率和可靠性,降低能源消耗,为电力系统的可持续发展做出积极贡献。然而,这些新的思路与策略还需要进一步的理论研究和实践验证确保其在实际应用中的准确性和可靠性。通过不断的研究和探索,相信未来的电力变压器损耗优化设计与策略将更加清晰和可行。

结束语

通过对损耗的原理与分类进行概述,我们了解到铁心损耗和铜损耗是影响变压器效率的主要因素。然后,我们建立了相应的损耗模型,并验证了其合理性。在优化设计方法与策略部分,我们总结了已有的方法,并提出了一些新的思路和策略,以进一步降低损耗和提高变压器效率。通过实验证明,这些优化设计方法与策略在实际应用中是可行的。本论文的研究成果对于电力变压器的损耗研究与优化设计具有重要的意义,可以为领域的研究和实践提供宝贵的参考和指导。

参考文献

- [1]杨洋.电力变压器的损耗研究与优化方法[J].山东工业技术,2019(12):189-189.
- [2]杜楠楠.电力变压器的损耗研究与优化的探索[J].中国科技投资,2018(26):92-92.
- [3]艾丽君,方红.电力变压器的损耗研究与优化的探索[J].工程技术:全文版,2019(9):00257-00257.
- [4]陈名英.降低电力变压器空载损耗的方法[J].设备管理与维修.2022(6).
- [5]韩伟,马金山,孟祥德.浅析如何降低电力变压器空载损耗[J].品牌与标准化.2018(4).