

适应高原环境的变压器在线监测装置散热设计与电磁兼容优化

王磊

长园共创监测技术(南京)有限公司

摘要: 本文主要从高原环境的变压器在线监测装置的散热和电磁兼容方面进行了变压器在线监测装置的优化设计及分析, 首先给出了高压环境对于变压器在线监测装置的影响, 其中包括高压环境中的气候和变压器在线监测装置散热, 然后提出了高压环境中的变压器在线监测装置散热原则; 接着给出了变压器在线监测装置散热设计的原则; 最后给出了变压器在线监测装置散热设计的优化方法, 包括: 散热材料及散热设计结构创新、高压环境下电磁兼容。然后给出了高压环境的电磁兼容性, 分析了高压环境的变压器在线监测装置电磁兼容性的影响, 接下来给出了电磁兼容优化方法, 包括电磁干扰识别和电磁兼容设计。最后给出了在线监测性能测试: 散热性能和电磁兼容的测试方法和在线监测性能指标的构建。

关键词: 高原环境; 变压器在线监测装置; 散热设计; 电磁兼容优化

一、高原环境对变压器在线监测装置的影响

1.1 高原气候特征分析

高原地区有着低气压、低氧、高寒、强紫外线照射以及昼夜温差大等气候特点, 这些因素对变压器在线监测装置设计和运行都提出了较高的要求。低气压不利于空气的传导和散热量, 影响自然对流散热; 低氧不利于设备内电子元器件的稳定运行和寿命; 高寒不利于设备材料抗寒和抗磨, 防止材料脆裂、润滑油失效; 强紫外线照射加速了变压器在线监测装置外壳材料以及内部材料的衰老; 昼夜温差大的特点对变压器在线监测装置热胀冷缩要求较高。分析高原气候特点, 有利于变压器在线监测装置散热的分析和电磁兼容性设计的优化选择。

1.2 高原环境对监测装置散热性能的挑战

在高原地区, 变压器在线监测装置散热性能受到多方面因素的影响。第一, 低气压环境造成空气的密度、导热系数降低, 使自然流对流的散热量大大降低, 导致在同一条件下的工况下, 监测装置在高原地区产生的热量更难通过空气对流的方式散出, 监测装置设备内部的温度升高, 影响监测装置正常工作寿命。第二, 高原地区昼夜温差大, 白天设备温度高, 晚上温度较低, 温度的骤降会对监测装置的材料结构和设备性能带来挑战, 要求设备在温度骤降时, 不能出现热胀冷缩的现象而引起设备的应力集中和损坏。第三, 高原地区气温低, 设备应耐寒, 避免材料脆化、润滑剂失效等问题造成散热系统的失效。第四, 强紫外线会加速设备外壳及内部的材料老化, 降低设备的散热性能, 增加散热系统的维护成本。因此, 针对高原特殊条件下的变压器在线监测装置散

热问题, 需要进行变压器在线监测装置的改造。

二、变压器在线监测装置散热设计原则

2.1 散热设计的基本要求

散热设计是确保变压器在线监测装置在工作过程中可以及时有效的进行热量释放, 设备内部不出现高温现象, 避免设备因过度发热造成损坏。散热设计需要考虑到装置功率、发热元件位置、热量散热路径设计问题, 采用有效的散热方式和结构, 提高散热效率, 需要考虑到装置的体积、重量、费用等, 在确保装置散热的同时还需要满足小、轻、低要求。散热设计需要与装置工作环境、条件相适应, 确保装置能够长期可靠稳定的工作。

2.2 高原特殊环境下的散热设计考量

在特殊的高原环境下, 需要特别注意的是空气稀薄对热交换的影响。因为高原地区是空气稀薄, 空气对流散热能力下降, 所以在设计中应该增加对流散热方式, 加大散热面积、调整散热片型式、增加散热片布置等, 提高热交换效率, 并且针对高原地区白天温差大、紫外线强等因素, 应该选择一些适应高原地区、不易被紫外线破坏和受热损坏的散热片材料, 以保证装置在恶劣环境下长期运行。另外, 针对高原地区可能发生的沙尘天气, 还需要保证散热装置具有防沙尘效果, 避免因为沙尘堵塞散热管道, 影响散热。

在散热结构布局上, 要充分考虑高原地区风向和风速的不确定性, 合理规划散热通道走向, 使空气能够顺畅流通, 增强散热效果。对于散热风扇等主动散热部件, 要选用能适应高原低气压环境、风量稳定且寿命长的产品, 并根据实际情况调整风扇的转速控制策略, 以保证在不同工况下都能有

效散热。另外，由于高原地区供电可能存在不稳定的情况，散热设计还需考虑节能因素，在满足散热需求的前提下，尽量降低散热系统的能耗，提高装置的整体能源利用效率。

三、散热设计优化策略

3.1 散热材料的选择与应用

散热材料方面选用导热系数大的，从热源处将热量传导到散热片上，使散热效果良好。另外根据高原环境的气候特点，还要考虑耐候性和耐紫外老化，选用特殊处理的或耐紫外老化的材料，如选用阳极氧化的铝合金，在具有导电性能的前提下还耐腐蚀耐紫外性的材料。再比如散热部件表面有尘土环境时选不容易积尘或防尘性好的光滑表面，或通过加工处理材料表面使其有一定的防尘效果，防止由于沙尘导致散热效果不佳，材料的选择方面考虑结合散热结构对散热片材料厚度、形状、排列等合理的设计。

例如散热鳍片的设计，通过采用比较薄的鳍片厚度，增加散热片面积，对鳍片与鳍片的间距、排列等方面进行有效调整，增加空气流动的效果，针对一些热负荷比较高的部件可通过增加厚度或是使用复合材料等办法增强整体的散热能力，也可通过覆盖材料的表面硅脂材料、相变材料等方式降低热阻，提高传递效率。在材料的选用以及应用方面还应考虑到成本、工艺、维修等多方面的因素，保证散热效果、散热效率。

3.2 散热结构的创新设计

散热结构设计，针对高原需要设计多路散热结构，扩展散热途径，合理布局，扩大散热面积和通风率，提高散热率，设置热管，可以将热量从热源直传到散热片上，传导迅速高效，同时针对高原早晚气温变化大的特点，设置可变散热结构，根据周围环境温度而自动调节，在不同的工况环境下，都有良好的散热效果。

可以采用立体散热结构，将装置内部的面积利用起来，提高散热表面积，增加散热面积，将散热鳍片设置为多层立体状，空气流动过程中能够与散热鳍片充分接触，吸收更多的热量。此外，设置散热量流有导流板，在导流板的布置下，让风按照设定好的路线进行流动，避免出现空气流动的短路或死角，提高空气的对流换热效率，适应高原环境要求。

四、电磁兼容性在高原环境中的重要性

4.1 电磁兼容性的定义与重要性

电磁兼容性又称为 EMC，就是设备或系统在电磁环境中

工作时对任何一种物体或系统都不会产生不可接受的电磁干扰的能力。高原条件下，由于空气较为稀薄、气压较低等气象条件，变压器在线监测设备电磁兼容性就显得尤为重要，电磁兼容性好，则电磁环境中电磁兼容性可以正常正常工作，不会因为电磁环境的干扰而产生量测误差或系统损坏，保护着电力系统安全。

4.2 高原环境对电磁兼容性的影响分析

空气稀薄、空气气压低是高原地区较为特殊的自然环境条件，其对于变压器在线监测装置电磁兼容性的影响主要体现在两个方面，一方面是空气稀薄，空气绝缘强度低，变压器在线监测装置运行时极易受空气晕、局部放电等电磁效应影响而引发电磁骚扰，影响变压器在线监测装置的正常运行。另一方面是低压对于设备中的电气间隙、爬电距离造成影响，变压器在线监测装置的抗干扰能力会随之降低，发生电磁兼容性问题概率相应提高。此外，高原地区昼夜温差大、强紫外线辐射天气的影响，也可对变压器在线监测装置电磁兼容性产生间接影响，如导致设备材料老化、性能降低等，影响变压器在线监测装置在复杂电磁环境下的正常运行。

五、电磁兼容优化措施

5.1 电磁干扰的识别与抑制方法

对于电磁干扰的识别，需采用专业的电磁干扰检测设备，对变压器在线监测装置运行过程中产生的电磁信号进行全面监测与分析，精准定位干扰源及其频率特性。在抑制方法上，可从硬件与软件两方面着手。硬件方面，合理设计电路布局，增加滤波电路、屏蔽装置等，有效滤除或阻挡干扰信号；选用具有良好抗干扰性能的电子元件，提高装置自身的抗干扰能力。软件方面，采用数字信号处理技术，对采集到的信号进行滤波、去噪等处理，降低电磁干扰对监测数据的影响；同时，优化软件算法，增强其对异常信号的识别与处理能力，确保装置在复杂电磁环境下仍能准确、稳定地运行。

具体而言，在硬件设计上，要依据电磁干扰的频率特性和传播路径，科学规划电路板的走线，避免信号线之间的交叉干扰；对于关键信号线路，可采用差分信号传输方式，增强其抗干扰能力。滤波电路的设计要针对不同频段的干扰信号，选择合适的滤波元件和拓扑结构，以实现对干扰信号的有效衰减。屏蔽装置则可采用金属外壳或屏蔽罩，将装置内部的关键部件进行屏蔽，防止外部电磁场的干扰。在电子元件的选型上，要优先选择具有低噪声、高稳定性和强抗干扰

能力的元件,从源头上提高装置的抗干扰性能。

在软件方面,数字信号处理技术中的滤波算法可根据干扰信号的特点选择合适的滤波器类型,如低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器等,对采集到的信号进行实时滤波处理。去噪算法可采用小波变换、中值滤波等方法,有效去除信号中的噪声成分。优化软件算法,建立健全异常信号识别模型,通过对大量正常信号和异常信号学习分析,提高算法对异常信号的识别率;设计合理的异常信号处理方法,如报警、修改等,保证装置对异常信号能够作出及时的反应,保障监测数据的真实性和可靠性。

5.2 电磁兼容性设计的实施步骤

首先电磁兼容性要求分析,即变压器在线检测设备电磁兼容性的需求要求与规范,如抗干扰等要求,辐射限值要求等,根据需求分析进行设计规划,如硬件电路设计,软件算法设计,结构布置设计等,使每个设计满足电磁兼容性要求,硬件电路如电路板分层,布线规划,关键元件选型设计等,软件设计如信号处理算法优化设计,异常信号处理等,结构布置设计如何减少电磁干扰的耦合路径等。最后电磁兼容性试与验证,即利用电磁兼容性试的设施与场所,对设计好的设备进行全面的电磁兼容性试与验证满足要求与规范,对存在的问题,进行修改,尽快加以解决。

执行时,还要建立起严格的设计审核体制,由电磁兼容专家审核设计,从专业的角度提出修改意见,从源头处把控设计的科学合理性。与供应商之间增加沟通协调,使得电子元器件、材料的选择满足电磁兼容的要求,从源头上减少电磁干扰的产生。测试时,不仅要进行电磁兼容性试验,还要增加高原环境下的电磁兼容特性,比如:低压、强紫外线等,全方面地测试出装置在高原环境下的电磁兼容性。

六、在线监测装置的综性能评估

6.1 散热与电磁兼容性能的测试方法

对于散热试验,采用热像仪测试仪测试各个高原环境模拟工况下的表面温度,测试设备检测仪设备关键部位温曲线及散热的方案正确性,检测仪设备检测仪各海拔下的空气密度散热工况,检测设备检测仪的散热工况。电磁互扰试验:在室内电磁互扰试验环境下,利用电磁干扰接收机、频谱分析仪等检测仪检测设备正常时产生的辐射、传导干扰,检测辐射限值符合要求,检测抗扰性,利用各种电磁干扰模拟试验设备模拟各种电磁环境,检测仪的各类抗扰性可靠性。

6.2 综性能评估指标体系构建

综性能评价指标体系需从多方面考虑,散热的性能、电磁兼容、稳定、可靠等,在装备性能指标方面:表面温度均匀性指标、关键部位温度最大值性能指标、散热效率指标等,对不同高原下的散热性能指标进行评估。电磁兼容指标方面:辐射干扰限指标、传播干扰限指标,抗干扰性能指标,保证在不同电磁下正常工作。有装备运行中长期稳定性能指标:平均无故障工作时间、无故障率等指标,耐低温、耐低压等在不同高原下的长期稳定性能指标,形成更加客观、科学指标。

结语

在变压器的在线监测装置研制中,重点进行了面向高原环境散热设计与电磁兼容优化等方面研究,通过研究面向高原环境对监测装置的影响分析,明确了面向高原环境的散热设计和重点,提出了面向高原环境的可采取的散热设计优化措施。认清了面向高原环境的电磁兼容重要性,提出了一些电磁兼容优化措施。通过测试分析,形成了一套较为客观、全面的综性能指标体系。为确保长期运行提供了可靠的保证,下一步将继续开展相关方面的技术研究创新。

参考文献

- [1] 赵毅;李春霞;刘嘉;刘亚.一种用于变压器的散热装置及散热方法[J]. 中国标准化,2023(09):192-195.
- [2] 靳艳娇;乔光尧;邓占锋;李芳义;李卫国;赵国亮;刘海军. 全环氧密封高频变压器散热优化设计研究[J]. 电网技术,2022(07):2531-2537.
- [3] 杨帆;周歧林;方健;王泉华;黄柏.感性耦合变压器的设计及优化[J]. 变压器,2024,62(10):1-9.
- [4] 梁凯;崔文兵.变压器电磁兼容技术研究[J]. 电力设备管理. 2024(01):277-279.
- [5] 丁顺利;陈小平;蔡萌琦;刘宇;周林抒;邵俊虎.输电线路电磁环境研究进展[J]. 成都大学学报(自然科学版),2022(02):188-194.