

光纤光栅传感器检测变压器油的老化

于忠江¹,于成龙²

(1. 辽宁省人民医院 设备科,辽宁 沈阳 110015;2. 沈阳工业大学 电气工程学院,辽宁 沈阳 110870)

摘要:研究了使用光纤光栅传感器监测电力变压器中变压器油的降解。与新的变压器油相比,老化的变压器油有较高的折射率,这可被光纤光栅传感器光谱响应的波长偏移检测出来。结果表明符合击穿电压测试,该测试是变压器油老化检测的标准测试,同时该传感器与温度无关。

关键词:光纤光栅传感器;变压器油;击穿电压;折射率

中图分类号:TN253;TP212 **文献标识码:**A

Fiber Bragg Grating Sensor Detection of Ageing Transformer Oil

YU Zhongjiang¹, YU Chenglong²

(1. Equipment Department, People's Hospital of Liaoning Province, Shenyang 110015, China;

2. School of Electrical Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

Abstract: The degradation of transformer oil in power transformer using fiber Bragg grating sensor was discussed. The survey results showed that aging transformer oil had a higher refractive index compared to fresh transformer oil. This could be detected by the wavelength shift of the spectral response of fiber Bragg grating sensors. The results complied with the breakdown voltage test which was the standard test of transformer oil aging detection. The sensor was independent with temperature in the mean time.

Key words: FBG sensor; transformer oil; breakdown voltage; refractive index

0 引言

电力变压器中一个重要的成分是变压器油或称作绝缘油,它能隔离变压器的线圈。变压器油通过把热量从线圈中传导开,有助于调节变压器内温度和保护浸在油中的核心和绕组;同时还能防止绝缘纸纤维素与大气中氧气直接接触,绕组周围的纸纤维素易氧化。为保持这种油良好的性能,需定期监测以确保油的质量^[1]。故障在电力变压器中很少发生,而涉及这些设备的故障通常有严重的技术和经济后果,它甚至会导致环境和人类生命的毁灭。影响变压器绝缘加速老化的主要因素是湿度、高温、氧化和油的酸性。

1 检测方法

检测变压器油降解的传统方法是通过击穿电压测试。光学纤维也可替代用作检查变压器油的老化。“D”形状的光纤用作传感器来检测油折射率

(RI)的变化,显示出老化油与新油相比有较高的折射率。其他研究人员用不同核大小的光学纤维来实现更高的精度和灵敏度。RI 值为

$$RI = I_{sig} / I_{ref} \quad (1)$$

式中: I_{sig} 为受检下浸在液体的光纤的输出强度; I_{ref} 为基准射束的强度。

在电力变压器监控中温度是最重要的参数之一。温度上升通常由负载电流引起,这可能会导致变压器油降解速度加快。使用一组光纤光栅(FBG)传感器多点检测监控电力变压器中的电压高低,高电压铜条偏转器管的内部、线圈、磁路和装变压器油的油罐几部分。该多点监测加上一个在线计算机系统可提供变压器各种参数的实时监控并给出状况指示。这将使变压器的预防维护得到实现并减少设备损坏。

通过测量气体构成和石油的样品质量来监测变压器油的质量。气体是由许多不同的碳氢化合物分

收稿日期:2013-03-11

作者简介:于忠江(1962-),男,辽宁沈阳人,高级工程师,主要从事医疗器械维修等研究工作。于成龙(1988-),男(满族),辽宁沈阳人,硕士,主要从事现代电力电子应用技术,传感器网络等研究。E-mail:yuchenglong948@126.com。

子和这些烃类在热或电故障的分解过程和化学反应产生的混合物组成,化学反应涉及碳氢和碳碳键的断裂^[2]。在这些过程中,活性氢原子和碳氢化合物碎片形成。一个带钯(Pd)涂层并由聚酰亚胺层覆盖的 FBG 传感器,在变压器内可更快速而准确地用来检测这些气体的存在,与传统的溶解气体分析相比,FBG 传感器可高灵敏度地有效指出溶解在变压器油中的小浓度氢。然而,以前不能直接检查油,不合理的传感器测量导致高代价的运转故障。本文基于油的 RI 变化,使用 FBG 传感器调查研究变压器油降解的情况,来直接测量变压器油。为验证结果的有效性,与从标准击穿电压测试所获得的结果进行比较。

2 实验和结果

5 个不同样品的变压器油(A1,A2,A3,A4 和 A5)被收集。稳定性试验使用高阻表自动验油测试机组。变压器油的击穿电压也称为介电强度^[3]。它通过测量浸泡带有特殊间隙的双极到油中并观察开始闪烁时的电压值。低值的击穿电压表明,石油已被导电物质和水分含量所污染。

完成这个测试,油首先放在一个容器中。一对电极浸入油中并保持固定间隙 2.5 mm。电极注入电压的速度为 2 kV/s,直到观察电极间有火花发生。产生火花时的电压是特定油样的击穿电压。测试重复了 6 次,平均读数由机器自动计算。电击穿试验的结果如图 1 所示。

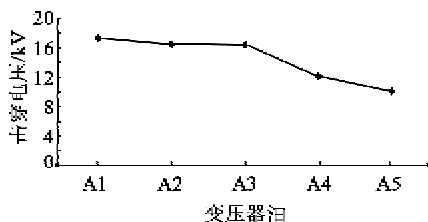


图 1 变压器油样品的击穿电压结果

从样品 A1~A5 采样,A1 是最新鲜的样品而 A5 是最老的样品。这些结果表明,击穿电压发生在老样本的较低点。随着样品质量的下降,击穿电压点减小。测量变压器油的折射率使用折射计^[4-5]。测量所需最小采样量为 0.3 mL。

所有变压器油样品在不同温度下测试,结果如表 1 所示。油从烤箱中加热后取出,测量其温度。当温度达到一个特定值,几滴油放在折射计,记录下油的折射率。温度变化在 25~50 °C 内。

表 1 不同温度下变压器油的折射率

样品	折射率温度/°C		
	25	30	35
A1	1.472 7	1.472 4	1.472 3
A2	1.471 8	1.471 7	1.471 5
A3	1.472 5	1.472 3	1.472 1
A4	1.475 7	1.475 9	1.475 3
A5	1.487 2	1.488 0	1.487 8

样品	折射率温度/°C		
	40	45	50
A1	1.472 2	1.472 1	1.472 0
A2	1.471 4	1.471 3	1.471 5
A3	1.471 9	1.471 7	1.471 6
A4	1.475 3	1.474 9	1.475 7
A5	1.487 9	1.487 1	1.487 2

由表 1 可知,当温度上升到 50 °C 时变压器油样品的折射率不变。这是因为油的折射率是常数,与温度变化无关,如图 2 所示。

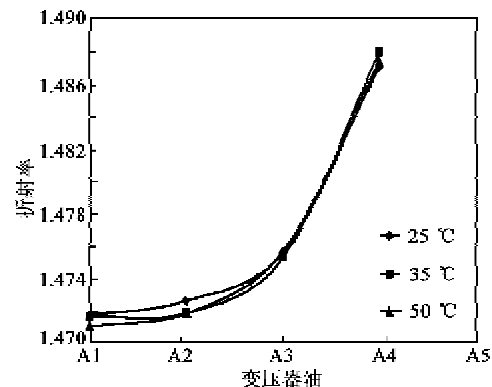


图 2 不同温度下变压器油的折射率

3 FBG 传感器

FBG 是一种分布式布喇格光栅,被存进纤维的核心。FBG 联接到一个激光源将充当过滤器,它反射一定的波长并传输出去。光栅被存入单模光纤,核心折射率的一个周期调制在单模光纤中形成,通过曝光给紫外线的空间格局^[6]。下式给出了布喇格条件,也称为高反射条件。

$$\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Delta \quad (2)$$

式中: Δ 为布喇格光栅的周期; n_{eff} 为有效折射率。 n_{eff} 是核心折射率和包层的组合。由式(2)可看出,当光栅周围的材料变化, n_{eff} 将经历一些变化,导致反映波长的转变。

变压器油降解测试设置,合并 FBG 作为传感器,如图 3 所示。FBG 传感器的中心波长为 1 549.79 nm 及反射率为 88.0%。一个宽带源为

1 520~1 620 nm 发光到传感器且传到传感器后透射光被收集并使用光谱分析仪来测量。隔离器用来确保没有反射光线,防止光源受伤及系统中不必要的干扰^[7]。

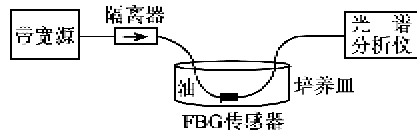


图3 用FBG传感器测量变压器油的光学设置

FBG传感器的结果如图4所示。由图可知,默认曲线(当周围介质是空气)类似于其制造商指定的中心波长1 549.79 nm。图中,当沉浸在油中,传播曲线转向较长的波长。5种不同的油进行测试,结果显示为不同质量的油波长有所转变。这表明基于传感器的FBG能探测到变压器油的降解,然而,波长偏移没有精确符合油的折射率。这可通过优化核心和包层厚度及光栅长度等其他参数来克服。

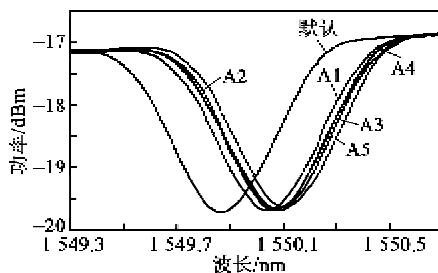


图4 FBG传感器检测的波长偏移

4 结束语

本文表明光纤光栅传感器基于其折射率可用于识别变压器油的老化。已经证明了光纤光栅对不同质量的油显示了一个波长偏移到较长的波长。对于优化传感器来识别不同老化油,进一步的工作应该改变核心和传感器的包层比例及其他因素如所用材料的纯度,可减少导致传感器输出误差的因素。

参考文献:

- [1] 张华莹,张红艳. 浅谈变压器油老化及其防劣措施[J]. 中国水能及电气化,2008(10):57-59.
ZHANG Huajian,ZHANG Hongyan, Talking about its anti-aging transformer oil inferior measures[J]. China Waterpower & Electrification,2008(10):57-59.
- [2] 王献敏,马勇飞,窦鹏,等. 变压器油老化对介损的影响及其绝缘寿命试验的研究[J]. 变压器,2011,48(4):41-44.
WANG Xianmin,MA Yongfei,DOU Peng, et al, Influence of aging transformer oil to dielectric loss factor and research on insulation life test[J]. Transformer, 2011,48(4):41-44.
- [3] 周国鹏. 光纤光栅传感器温度-应变分离技术的研究[J]. 压电与声光,2011,33(5):706-708.
ZHOU Guopeng, Study of FBG stain-temperature separation technology[J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2011,33(5):706-708.
- [4] 江毅,江天府. EFPI和光纤光栅传感器混合测量技术[J]. 压电与声光,2007,29(1):1-11.
JIANG Yi,JIANG Tianfu, Hybrid-measurement for extrinsic F-P interferometer and fiber grating[J]. Piezoelectrics & Acousto-optics,2007,29(1):10-11.
- [5] 胡章芳,应俊. 减小光栅传感器测量信号误差的研究[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版,2007,19(6):697-701.
HU Zhangfang,YING Jun, Research on reducing error of raster sensors measuring signal[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications; Natural Science Edition,2007,19(6):697-701.
- [6] MA G M,LI C R,LUO Y T, et al. High sensitive and reliable fiber Bragg grating hydrogen sensor for fault detection of power transformer[J]. Sensors and Actuators B, Chemical,2012,B169(1):195-198.
- [7] 彭石林,杨晓焱,唐立军,等. 变压器油老化过程的NMR弛豫和组分分析[A]. 第十七届全国波谱学学术会议论文摘要集[C]//厦门:中国物理学会波谱专业委员会,2012.