

基于 DSP 的变压器绝缘油糠醛在线监测系统设计

田纪云, 黄学卫

(镇江船艇学院, 江苏 镇江 212003)

摘要: 作为电网中重要设备之一, 电力变压器的正常工作与否直接影响电网的安全稳定运行。油浸式变压器固体绝缘老化的重要特征是绝缘纸老化裂解产生糠醛, 因此监测油中糠醛含量可以有效判断变压器绝缘老化的程度。笔者介绍了油中糠醛含量测定的红外光谱分析方法, 设计了一种基于 DSP 处理器与变压器油红外光谱分析法的绝缘寿命在线监测系统, 说明了该系统的整体结构、工作原理及软件组成。

关键词: 变压器; 糠醛; 固体绝缘; 红外光谱分析; DSP

中图分类号: TM406; TP277

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)04-0097-03

Design of On-line Monitoring System Based on DSP for Furfural in Oil-immersed Transformer

TIAN Ji-yun, HUANG Xue-wei

(Zhenjiang Watercraft College, Zhenjiang 212003, China)

Abstract: The important feature of solid insulation aging of an oil-immersed transformer is the furfural generated due to splitting of insulation paper. By monitoring the content of furfural in oil, the aging degree of the insulation paper in transformer can be effectively estimated. Therefore, in this paper, the infrared spectral analysis of furfural in oil is described, and an on-line monitoring system for aging of transformer insulation is designed based on DSP and the infrared spectral analysis of furfural in oil. The system's structure, working principle and software are discussed.

Key words: power transformer; furfural; solid insulation; infrared spectral analysis; DSP

0 引言

油浸式高压电气设备, 尤其电力变压器, 是电力系统中的主要设备, 担负着系统电能传递、测量等重要任务, 因此实现对其固体绝缘过热老化及绝缘寿命的在线监测具有重要的现实意义。长期以来, 采用气相色谱法检测绝缘油中的 CO 和 CO₂ 含量作为判断电气设备绝缘老化程度或进行故障分析的依据, 但试验证明, 绝缘纸老化、降解的特征产物 CO 和 CO₂ 同时也是绝缘油氧化分解的产物, 因此这种方法存在较大误差。另外目前监测方式也多为离线监测, 测试周期长, 不可能准确反映变压器的绝缘状况及其发展趋势。

变压器油中糠醛的产生仅仅来自于绝缘纸的老化分解, 因此可用它来评价固体绝缘老化状况^[1]。文中介绍的基于 DSP 的绝缘老化在线监测系统采用红外光谱法分析油中糠醛含量来推算绝缘纸老化程

度, 可以在不影响变压器正常运行条件下监测并诊断其绝缘状况, 实时性强, 测量精度高, 从而有效避免潜伏性绝缘故障带来的事故, 优化维修策略。

1 糠醛的测量

1.1 糠醛的产生

大型油浸式电力变压器用绝缘纸主要为 A 级硫酸盐木浆纸, 该类绝缘纸大致由 90% 的纤维素、5% 的半纤维素以及木质素等构成。纤维素的化学结构是由葡萄糖基 (C₆H₁₀O₅) 彼此以 β(1~4) 苷键连接而成的线性高分子聚合物, 分子结构式见图 1。

一个纤维素线性分子中所包含的葡萄糖酐的数

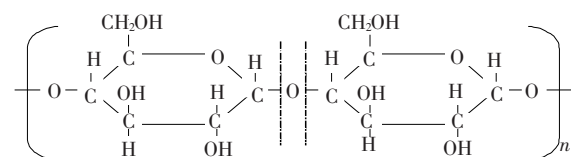


图 1 纤维素的分子结构

收稿日期: 2008-08-13; 修回日期: 2008-11-23

作者简介: 田纪云 (1983), 男, 助教, 主要从事可靠性理论教学。

目,称作该分子的聚合度。绝缘纸在老化时,纤维素会产生一系列降解,最终生成一些含氧杂环化合物,并溶解于油中,其中糠醛(C₅H₄O₂)是绝缘纸老化裂解产生的主要特征产物,大量试验研究表明,糠醛含量的常用对数 lg(Fur)与绝缘纸的平均聚合度 DP 之间是高度线性相关的,其线性拟合方程为:

$$\lg(\text{Fur})=1.51-0.0035DP$$

因此可以通过检测油中糠醛含量来推测绝缘纸的老化程度。图 2 为某次老化试验油纸试样在 90 °C 下油纸聚合度与生成糠醛的关系图。

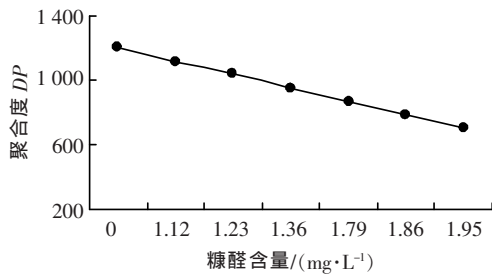


图 2 油中糠醛含量与油纸聚合度关系图

1.2 红外光谱法测定糠醛含量

如图 3 所示,红外光谱图上,糠醛在 1 700 cm⁻¹ 处有一极强的特征吸收峰,并且此吸收峰不受其他组分的干扰,克服了使用色谱法时,抽余相中存在大量烃类的严重干扰^[2]。另外采用红外光谱法能够对变压器油直接测量,具有测量时间短、测量设备简单等优点,因此基于这种测量方法的变压器老化在线监测将有很好的发展前景。

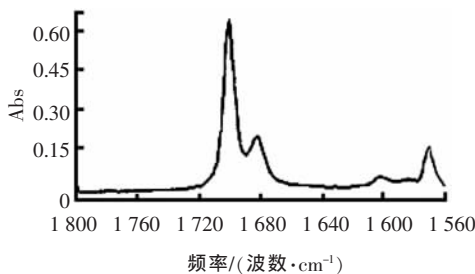


图 3 纯糠醛样品的红外测量谱图

2 监测系统设计

基于红外光谱法糠醛测量的变压器绝缘老化在线监测系统在结构上可分为 4 部分:油样采集装置、红外光谱分析设备、信号调理电路以及基于 DSP 处理器的数据处理和监测控制系统,该在线监测系统的整体结构见图 4。红外光谱仪采用美国 BRIMROSE 公司的 Luminar5030-731 型近红外光谱仪,具有重量轻、携带方便、灵活性好、扫描速度快、准确度高、既可在实验室应用也可在现场应用的特点;DSP 使用 TI 公司的 TMS320LF2407 处理器。

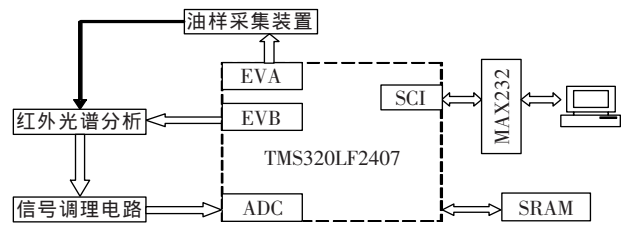


图 4 在线监测系统结构框图

2.1 系统的工作原理

系统的工作原理为:油样采集装置安装在变压器放油阀上,绝缘油通过电磁阀进入油样采集装置进行冷却、过滤等预处理;采集到的油样进入红外光谱分析仪,测得油中的糠醛含量并将其转化为电参量;信号调理电路将红外光谱仪输出的模拟量进行滤波、调理,使其适合 DSP 供电电压;DSP 芯片中自带的 ADC 模块对输入的监测信号进行模数转换,由芯片根据故障诊断程序对数据进行分析、存储,依据诊断结果调整油样采集的时间间隔;系统为巡回检测,采用间歇式工作方式,工作间隔可依据具体情况设定,工作中由诊断程序根据糠醛敏感值对工作间隔进行调整。

2.2 TMS320LF2407 数字信号处理器

TMS320LF2407 处理器是 TI 公司专为实时信号处理而设计的,该芯片采用高性能静态 CMOS 技术,供电电压为 3.3 V,降低了功耗,30MIPS 的执行速度使得指令周期缩短到 33 ns,提高了控制器的实时控制能力,有 32 K 字的高速 FLASH 以及 1.5 K 字的数据/程序 RAM,串行通信接口 SCI 及 16 位的串行外设接口 SPI,两个事件管理器模块 EVA 和 EVB 各包括一个 16 通道 A/D 转换器,适用于控制多种电机及逆变器^[3]。

2.3 系统的软件设计

系统的软件是运行在 DSP 芯片内部的程序,程序采用模块化设计,便于维护管理以及日后升级。软件主要功能模块包括芯片自检程序、通信程序、存储读写程序、故障诊断程序、运动控制程序等,结构见图 5。

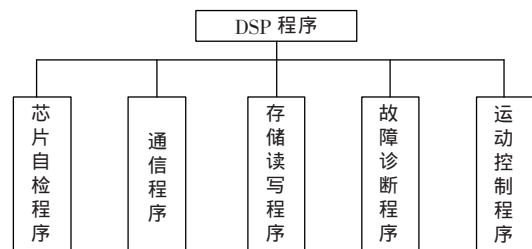


图 5 系统程序框图

(1)芯片自检程序负责在初始状态下配置 RAM 块,设置数据页指针、中断和 I/O 模式,设置中断等待状态位,设置定时器模式、初值、串行口等,然后启

动 A/D 等待中断,最后进入循环数据采样、处理。

(2)通信程序主要管理 DSP 芯片中标准 I/O 接口及 SCI 接口接受来自片外的测试信号,发送油样采集装置的控制信号以及与上位机进行通信。其中,与上位机的通信采用 RS232 串口,它的驱动电路选用 MAX232 芯片。在该系统中通过 RS232 串口用户可采用便携式计算机在现场进行糠醛含量的测量及绝缘寿命的评定,下载测量数据;另外,用户也可以通过此串口发送可执行程序到 DSP 内部 FLASH,对系统进行维护升级。

(3)故障诊断程序对测试数据进行分析判断,结合存储读写程序与变压器油中糠醛含量历史数据进行比对,最后将结果保存在片内 FLASH,通过串口与上位机通信;如果糠醛测量结果超过故障诊断程序设定的某一危险阈值,则产生一个中断信号送至两个事件管理器模块 EVA 与 EVB,产生相应动作。

(4)运动控制程序在故障诊断程序发送的中断信号驱动下,通过 RS485 串口对油样采集装置的电磁阀及油泵进行动作控制。当故障诊断发现油中糠醛含量出现异常变化时,则提高电磁阀与油泵开关频率,提高采样频率,故障诊断程序对油中糠醛含量上升速率关切。

3 糠醛测量中的注意事项

(1)变压器油中糠醛含量的生成速率在其有效运行寿命的各阶段内是不同的,因此不同运行年份的变压器糠醛含量的“注意值”应不同,见图 6。

(2)糠醛的密度比水大,因此其在流动性差的油中分布不是均匀的,变压器底部糠醛浓度一般比上部大,这就要求在安装油样采集装置时对同型号变压器要有统一的标准。

(3)对于更换过绝缘油的变压器的绝缘老化测定,可通过在诊断程序中设置一个换油系数将新换油中糠醛含量表征的老化情况修正到未换油时的真实老化情况。这个系数还需要大量的数据统计与实验验证。

(上接第 96 页)

辨出小于 50 pC 的局部放电量,这就说明对于特高压电力变压器进行局部放电测量的可能性。

5 结论

(1)完成了特高压电力变压器交流耐压和局部放电试验装置的参数设计。

(2)与现代电子技术相结合,通过大功率三极管并联放大方式实现变频调压功能,满足电力工程现场测试需要的超大功率电源。

(3)通过试制样机成功的对国内 750 kV 超高压电力变压器进了交流耐压和局部放电试验。

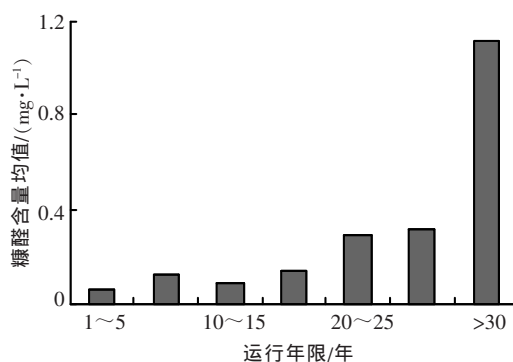


图 6 油中糠醛平均含量与运行年限的关系

4 结论

(1)高糠醛含量常预示绝缘纸聚合度下降,低糠醛含量却并不一定意味着绝缘纸具有较高的绝缘裕度,但是短期内(几个月)糠醛含量的显著变化则必然表明变压器内部存在隐患并引发故障的概率相当大;

(2)采用油中糠醛红外光谱测量法与 DSP 相结合的在线监测系统,避免了气相色谱法的理论误差,同时使变压器绝缘老化的预防性维修转变为视情维修,有效减少了停机时间及维修费用;

(3)利用 DSP 的 Bootloader 特性,结合 FLASH 烧写技术,通过和上位机的通信,实现了 DSP 系统的软件在线升级,使得系统的调试、安装和维护方便又经济;

(4)由于系统工作在强电磁环境下,因此受电磁干扰较大,监测结果复现性较差,如应用于现场,还须改进电磁屏蔽措施。

参考文献:

- [1] 尚勇,董明,赵文彬,等.油浸电力变压器固体绝缘老化的诊断[J].变压器,2002,39(12):35-39.
- [2] 江裕熬,陈志勇,高乃奎,等.高压充油电缆绝缘热老化的红外光谱分析研究[J].高压电器,2006,42(2):102-104.
- [3] 刘和平,王维俊,江渝,等.TMS320LF240x DSP C 语言开发应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2003.

参考文献:

- [1] 孙强.我国首批 750 kV 变压器与电抗器监造的探讨与小结[J].高压电器,2006,42(5):397-400.
- [2] 司文荣,李军浩,袁鹏,等.直线下局部放电试验与测量系统设计[J].高压电器,2008,44(4):326-328.
- [3] 陆宇航,杜伯学.时频匹配滤波法用于变压器局部放电模式识别的实验研究[J].中国电力,2008,41(10):16-18.
- [4] 郭俊,吴广宁,张血琴.局部放电检测技术的现状和发展[J].电工技术学报,2005,20(2):29-35.
- [5] LAI Jin-sheng. Multilevel Converters——a New Breed of Power Converters[J].IEEE Trans. on Indus, 1996,32(3):509-517.