

## 变压器绝缘油中气体检测技术研究

马博

宁波旭能电力工程有限责任公司, 浙江 宁波 315800

[摘要] 在现代社会中, 电能已经成为人类生产、生活、学习和工作中不可或缺的能源, 同时电力事业的发展也与国民经济水平密不可分。随着电能的利用率逐渐提高, 社会各界对于电网的安全性要求也逐步提升, 变压器作为电网中最为重要的组成部分之一, 其对于电网的安全性具有较高意义。对于变压器故障诊断工作来说, 对其内部绝缘油中的气体检测能够准确判断其是否存在故障以及预测其使用寿命, 但由于传统的变压器绝缘油气体检测技术在环境干扰、维护成本及检测精度方面受到一定限制, 使得这种方法已经无法满足现代电力系统的各项需求。因此, 笔者根据自身多年研究经验, 在变压器绝缘油中的气体检测中引入光声光谱技术, 并设计出一种嵌入式油中气体智能检测系统, 希望更好地提高检测精度。

[关键词] 光声光谱技术; 变压器; 电力系统

DOI: 10.33142/hst.v7i5.12311

中图分类号: TM41

文献标识码: A

## Research on Gas Detection Technology in Transformer Insulation Oil

MA Bo

Ningbo Xuneng Electric Power Engineering Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315800, China

**Abstract:** In modern society, electricity has become an indispensable energy source in human production, life, learning, and work. At the same time, the development of the power industry is also closely related to the level of the national economy. With the gradual improvement of the utilization rate of electricity, the safety requirements of the power grid from all sectors of society have also gradually increased. As one of the most important components of the power grid, transformers have high significance for the safety of the power grid. For transformer fault diagnosis work, gas detection in its internal insulation oil can accurately determine whether there is a fault and predict its service life. However, due to the limitations of traditional transformer insulation oil gas detection technology in environmental interference, maintenance costs, and detection accuracy, this method can no longer meet the various needs of modern power systems. Based on years of research experience, the author has introduced photoacoustic spectroscopy technology into gas detection in transformer insulation oil and designed an embedded oil gas intelligent detection system, hoping to improve detection accuracy.

**Keywords:** photoacoustic spectroscopy technology; transformer; power system

### 1 变压器绝缘油中气体检测概述

#### 1.1 检测目的及意义

作为连接不同电压等级电网的重要装置, 变压器是整个电网系统中非常重要的电气设备之一, 其能否稳定运行也意味着整个电网的安全性能否得到有效保证, 因此如何提高变压器的使用寿命和运行时的稳定性就成为电力研究部门需要重点思考的问题之一。从目前来看, 大多数电力变压器都会以充油变压器的形式存在, 但此类变压器在出现故障时, 变压器内部的绝缘油中都会出现气体, 因此通过对气体成分以及浓度的检测能够为变压器故障诊断与检测提供重要依据。由于变压器绝缘体中的主要绝缘材料是纸板和绝缘油, 尽管此类材料为 A 级绝缘材料, 但由于其在长期的放热和放电过程中会受热分解成可溶于绝缘油中的多种气体, 从而导致变压器出现故障, 因此通过对这些气体进行检测可以知晓变压器的可靠性及状态<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 检测技术的类型

物理化学分析法是将变压器绝缘油中的气体与检测化学试剂进行反应, 并对反应所生成的物质进行分析, 但

这种方法由于操作过于复杂且精度不高, 只在早期检测工作中被应用, 目前这种检测方法已被弃用。质谱法是利用磁场和电场将变压器绝缘油中气体中所含有的离子按照质荷比进行分离后对其进行检测, 但这种检测方法成本过高, 导致无法进行推广使用。传感器法是对变压器绝缘油中的气体利用气敏传感器的方式进行检测, 尽管这种检测方式具有较高精度, 但由于需要定期对传感器进行维修、保养与校准问题, 因此无法保证每次检测的精度和准确度。气相色谱法主要是利用变压器绝缘油中气体分子由空气或氮气带动进入色谱柱, 然后通过一系列反应作用来对不同气体的分子进行分离, 这种技术作为目前较为成熟的故障气体检测技术, 已经在电力系统中被广泛应用, 但由于检测周期过长且操作较为复杂, 让人无法满足电力系统的实际应用需求。FTIR 法也叫傅里叶变换红外光谱法, 主要是通过检测器对干涉波进行检测, 然后经傅里叶变换后得到红外光谱图, 以达到对气体进行检测的目的。但由于 FTIR 法所采用的光学气体检测方法在检测微量故障气体时无法保证精度, 且检测价格较高, 因此不能进行广泛应用<sup>[2]</sup>。

光声光谱法是一种非常有效的检测技术,光声光谱法与气相色谱方法比较,它不需要任何气体分离设备,不需要携带气体,不需要复杂的气流通道。该方法具有操作简便、受环境温度影响小、测试时间短等优点,易于在工业中推广。在实践中,光声光谱法的设备维修工作量相对较小,色谱柱无需经常更换,而且操作技能也更易于为电力部门的一线工作人员所掌握,不容易发生人为错误等问题。本文对于光声光谱法的研究有助于深入了解被检测的气体与变压器故障的关系,推动变压器故障诊断技术的发展。传统的传感器方法存在着长期稳定性差、使用寿命短、受自然因素影响大等问题。而且,传感器的质量也不能保证完全一致,所以会有一些误差。如果更换传感器,将使所记录的数据不准确,同时也无法有效保证数据分析的精确性和可比性。与传统检测装置相比,采用以光声光谱法作为核心技术的检测装置不仅能够提供稳定的性能,还能提高数据检测的精确性。傅立叶红外光谱技术尽管在检测灵敏度方面较高,但受到检测地点和检测时间等方面的局限性,使其无法在电力故障现场进行实时性检测,只能作为实验室中的主要检测手段<sup>[3]</sup>。

## 2 光声光谱技术在变压器绝缘油中气体检测中的应用

随着我国科学技术水平在不同领域内都实现了不同程度的突破,使得研究人员在光声光谱技术的研究方面已经取得较大进展,并且已经在绝缘油气体成分的检测中检测出更加详细的气体成分。但由于我国在此技术的研究方面仍处于初级阶段,且受到国外企业掌握核心技术等影响,使得基于该技术的相关检测装置的研发工作仍未有所突破。为了进一步提升电力系统的传输容量和电网的安全,相关部门需要加快对此类检测装置的研发速度<sup>[4]</sup>。

2005年,英国Kelman公司所研制的基于光声光谱技术的检测装置问世,这种检测装置不仅具备一定的携带性,同时还具备检测速度快、抗干扰能力强以及实时检测效果好等特点。英国Kelman公司研制的“变压器绝缘油”气体和微量水含量测定设备,其对多种溶解气体的灵敏程度已经可以与气相色谱法相媲美,有些指标甚至超过了实验室所用的傅里叶红外光谱仪。目前,该技术已应用于我国部分电网,取得了良好的效果,但也暴露出了许多问题。

对于我国电力行业对于变压器绝缘油中气体成分检测装置的各项需求,许多国内企业敏锐地捕捉到了这一商机,并纷纷与国外高新技术企业联合对这种检测装置进行研究与开发,但由于国外企业对于该装置的核心技术把控较为严格,使得国内企业在合作中无法占据主导地位,使得许多合作逐渐停滞和搁浅。此外,尽管该装置在检测精度方面具有其他技术所不具备的优势,但由于其容易受到外界因素的影响,在电磁场或强光照射下会导致检测数据失真,而且生产成本较为昂贵,因此目前无法在行业内普及和应用,也就在一定程度上也阻碍了光声光谱检测技术的应用与推广<sup>[5]</sup>。

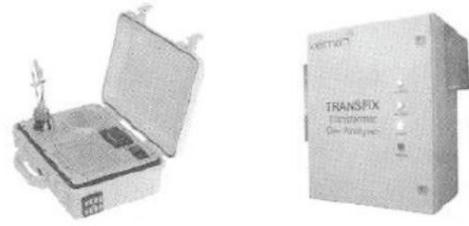


图1 便携式在线油中溶解气体分析仪

## 3 光声光谱检测系统的硬件设计

### 3.1 设计方案

采用系统所调制的激光对被检测气体进行照射会产生对应的光声信号,通过分析光声信号来分析气体中的成分和浓度。在激光器输出激光后,激光经过斩波器与滤光片进行调谐后,由光声单元输出的光声信号被探测到。该斩波器将激光滤波后,只允许具有特定波长的激光通过,进而通过选择波长来达到分析和检测气体类型的效果;同时,激光所发出的照射频率在通过斩波器调制后会发出同等频率的声信号。图2为光声光谱检测系统原理图。



图2 光声光谱检测系统原理图

### 3.2 光源模块设计

由滤光片和光源所组成的光源模块在整个技术中占据核心位置,在光声光谱检测系统中,光源不仅为光声信号提供激励效果,还能为其提供相应的能量,而光源性对于检测结果的精确度具有重要影响,光源辐射特性能够分辨出气体的种类。根据其辐射性质,可以将其分成两种类型,一种是非相干光源,另一种是相干光源。非相干光源是指在较大范围波段内进行连续谱测量的一种新型光源,它通常与滤光片、单色计等设备相结合,能够有效地调节光源的波长。尽管相干光源发展的时间不长,但由于其优良的性能,已受到广泛关注。相干源有很多种,其中大部分都是宽波段的,涵盖了大部分气体的基频和泛频吸收带。

气体激光器是最早应用于相干光源的激光,其发光效率高、功率范围宽以及激光单色性好等特点,除可实现连续输出外,还可实现脉冲输出。气体激光的输出功率可达瓦级以上,可用于光声光谱检测领域,但由于气体激光器的发热较高,很难达到实际应用的需要。

半导体激光器是基于布拉格反射周期结构的基本原理,与并行的界面反馈谐振器相结合而研制的,其核心是PN结。在PN结中光生载流子与大部分载流子发生复合后,材料将产生可见—紫外—近红外波段。半导体激光反射杯吸收芯片表面及界面处的光线,顶部环氧树脂与凸透镜及扩散透镜相

似,将光束汇聚成一条直线传输而成。相对于其他相干光源,半导体激光器寿命长,操作简单,重量轻,价格低廉。

由于所选用的半导体激光器所发出的激光波段比较宽,因此在系统中必须加入滤波器,以消除气体的相互干扰。该滤波器具有成本低、构造简单等优点,能够在一定的波段内实现激光的传输。滤波器的滤波性能以其中心波长和有效频带为特征。中间的波长表示透过激光的最大波长,而有效宽度则表示透过激光的波段。

### 3.3 斩波器模块设计

光声光谱检测系统需要对被测气体的光源进行调制,使其在特定的频率下工作。其中斩波电路分为电控斩波电路和机械斩波电路两部分。该电子型斩波器是通过激光器控制器来控制激光器的频率,并根据其开、关两个方向来控制激光器的开启和关闭。电子型斩波器件具有可调谐、易于控制等优势,但因其电信号的延时和金属丝的电容特性,导致其截止时间较短,斩波频率较低,限制了其在光声光谱领域的应用。机械斩波器是利用电机驱动光栅编码板对激光器进行调制的,其斩波封闭好且斩频可调,是一种非常有潜力的光声光谱分析方法。图3为斩波器模块原理图。

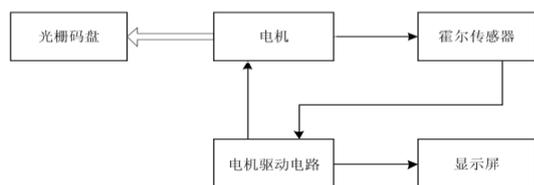


图3 斩波器模块原理图

### 3.4 光声池模块设计

光声池模块承担光声信号的生成效果,因此光声池模块是整个系统的核心部件。光声池的结构和组成材料对检测结果有很大的影响。通常采用具有高导热系数的金属,如不锈钢和黄铜,以获得良好的光声信号质量。通常情况下,光声池的设计应遵循以下几个基本原理:①增加激光器的输入光强,降低激光器的损耗;②强化光声信号,比如通过对光声池的结构进行设计,使得其产生驻波;③采用减小噪声的方式来降低外部环境对其干扰。

根据其工作模式的不同,可将其划分为非共振型和共振型两类,其中,非共振型光声池的具有体积小,成本低,结构简单等特点;共振型光声池以其高准确度、高灵敏度和能检测流动气体等优势而备受关注。

### 3.5 信号处理模块设计

由微音器所收集到的光声信号是较为薄弱的,并且这种信号还带有具有一定干扰效果的噪音。信号处理模块能够将光声信号放大并进行滤波处理,进而转化为可以被系统吸收的电信号。微音器中采集到的光声信号被前置放大电路进行第一次放大,主要是帮助光声信号能够被后续电路所处理。同时,由于光声信号较为薄弱,因此前置放大电路尽可能不进行增益处理,以防信号出现失真情况。本

系统在设计时对前置放大电路赋予两项要求,不仅希望其能够将光声信号进行放大处理,还希望其能够对放大信号进行带通滤波。其中,前置放大器采用 LM245 芯片完成二次放大,而 LM245 芯片中则整合了四个相互独立的运放。为了防止由于单级放大系数太高而导致的系统自激,本文提出了两级放大的方法。然而,作为一种较弱的探测方式,其获取的光声信号往往含有很多噪音。这种噪音主要来源于各种因素,例如:机械斩波器噪声和本底噪声等,采用锁定放大器可以实现对某一特定频率的噪声的放大,而对其他频段的噪声滤波。图4为两级放大电路设计图。

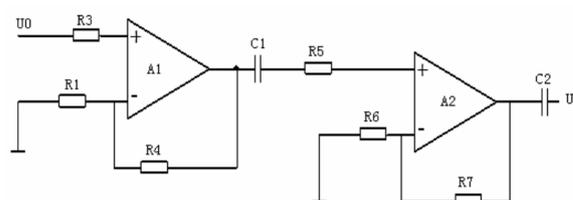


图4 两级放大电路原理图

### 3.6 嵌入式 ARM 控制器模块设计

嵌入式 ARM 控制器模块能够帮助该气体检测设备提高实时监测的整体效果,并且还能通过人机信息交换、数据处理和控制设备等方式来提升检测系统的功能性。同时,嵌入式 ARM 控制器所具备的自动化、智能化和快速处理特点,对于整个系统的控制性能和数据分析性能都具有重要意义,技术人员可以通过触屏设备来实现对该检测装置的各项操作。

## 4 结语

总而言之,变压器是保证电网安全的重要装置,对其内部绝缘油中的气体成分和浓度进行检测可以了解变压器的故障状况及使用寿命。本文主要对光声光谱检测技术及其智能检测系统的硬件设计进行分析,希望能够帮助相关人员进行研究参考。

### 【参考文献】

- [1]胡啸. 变压器绝缘油中气体检测技术研究[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2012.
  - [2]徐志钮. 基于油中溶解气体分析的变压器绝缘故障诊断研究[D]. 保定: 华北电力大学(河北), 2005.
  - [3]杨忠. 内江电业局变压器绝缘故障模糊聚类诊断技术及应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2004.
  - [4]张广春. 基于油色谱分析的变压器绝缘状态检测技术研究[D]. 湖南: 西南交通大学, 2003.
  - [5]毕强. 以油中气体为特征量的变压器绝缘故障的模糊诊断方法及应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2002.
- 作者简介: 马博(1985.9—), 男, 籍贯: 内蒙古自治区乌兰察布, 职务: 电气试验班长, 毕业时间: 2007年6月, 毕业院校: 哈尔滨电力职业技术学院, 学历: 大专, 学位专业: 发电厂及其电力系统, 研究方向: 电力设备试验、调试及电器绝缘油检测。