

变压器油中溶解气体在线监测研究

Study of Transformer Oil Dissolved Gas On-line Monitoring Technology

池州师范专科学校 (安徽池州 247000) 许卫兵

东南大学 (南京 210096) 许卫兵 夏安邦

摘要: 本文分析了多传感器数据融合的数据处理算法,并用于变压器油中溶解气体浓度的在线数据采集和监测中。设计出变压器油中溶解气体在线监测装置的硬件电路及软件设计。结合具体实验测试和验证,结果表明该装置与传统变压器油中溶解气体浓度的色谱分析法(DGA法)相比,提高了数据监测和处理的实时性、可靠性及精确性。

Abstract: A method of the data fusion suitable for the multi-sensor system is presented. An on-line monitoring system based on the gas sensor is presented in this paper. The reason and method which is to detect the gas dissolved in transformer oil on line described. The design of gas transducer and the hardware well as the communication software is also introduced, furthermore, makes analysis according to experimental study. Which can improve on-line fault diagnosis of power transformers on timely, reliability, precision.

关键词: 电力变压器 气敏传感器 分批估计 数据融合 在线监测

Key words: Power transformer Gas sensor Batch estimate Data fusion On-line monitoring

1 引言

变压器在线监测普遍采用油中溶解气体浓度的色谱分析法(DGA),但其存在成本高、操作复杂等缺点。近几年在此基础上,随着对传感器的研究和传感器测试技术的发展,已研制出复合分布式气敏传感器。将多个具有不同工作温度和不同工艺的常规金属氧化物传感器组合,构成一个传感器阵列,当给出混合气体后,不同传感器单元分别响应各自的特征气体,并通过一定的软件处理方法排除其余气体的干扰误差,这样就取消了色谱柱,为新一代变压器油中多种溶解气体监测装置开发奠定了基础。

该方法为离线色谱分析,要经过现场取油样、运输、脱气等多道程序,油中气样必然会有所损失,不能保证数据检测和处理的实时性、可靠性及准确性。

单传感器数据融合处理存在疏误差,尤其当传感器出现损坏将导致测量的灾难性。

本文提出了基于多传感器数据融合技术的变压器在线监测方法,可实现对6种特征气体的在线监测。该方法具有在线监测数据的稳定性、可靠性及实时性,对于故障在线监测系统效用的发挥具有重要意义。

2 变压器油中溶解气体在线监测装置硬件设计

采用复合分布式传感器分辨并检测气体,其基本结构为油气分离单元、温度控制单元、气体检测单元、多传感器数据融合单元、测量-控制单元。油气分离单元采用只能透过气体而油不能透过的高分子薄膜来完成油气分离,并将气体保存在特定的气室中,高分子薄膜两边的气体在经过一段时间后达到动态平衡。在控制单元的控制下打开相应的阀门,气室中的气体

在载气的作用下到达阵列式气体检测传感器单元。当给出混合气体 H_2 、 CO 、 CH_4 、 C_2H_2 、 C_2H_4 、 C_2H_6 等时，不同传感器单元分别响应各自的特征气体。变压器油中溶解气体在线监测装置基本原理框图，如图 1 所示。

气敏传感器分别将 H_2 、 CO 、 CH_4 、 C_2H_4 、 C_2H_2 、 C_2H_6 等 6 种气体的浓度转换为相应的电信号。温度控制单元能够有效控制气体检测单元的工作温度，保证气体检测单元的正常工作。测量控制单元能够控制油气分离单元、气体检测单元、模/数转换、数据分析

以及通过 CAN 总线将监测结果发送到上位机 PC。上位机 PC 最后完成油中溶解气体浓度的预测、故障的智能诊断、监测数据及预测结果的显示、打印和报警等功能。这类装置监测原理简单，但对气体传感器的要求极高（采用分布式传感器），目前的复合分布式气敏传感器存在对混合气体发生交叉敏感的问题，很难准确识别混合气体中的各组分的浓度。为了弥补测量存在的误差，本装置采用数据融合方法进行测量后的数据处理。

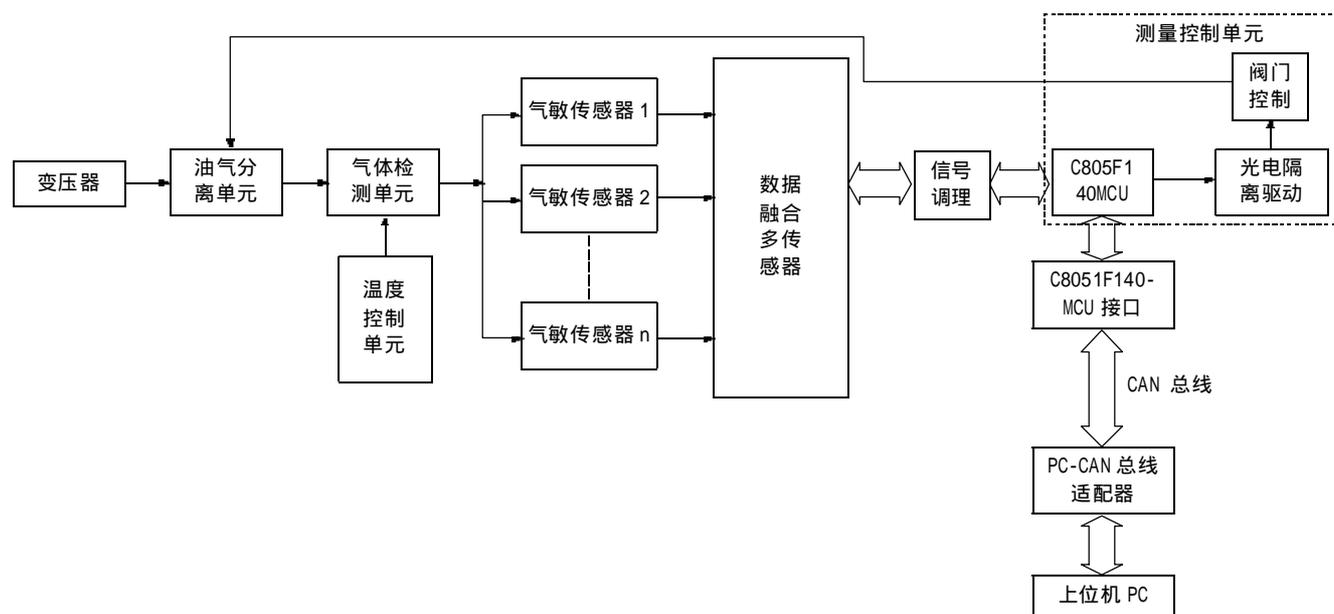


图 1 溶解气体在线监测装置原理框图

3 基于多传感器分批估计的数据处理算法

在变压器油中由于气体的扩散，使绝缘油在故障变压器内不同部位所含气体的特征气体浓度不同。若在故障变压器的某个关键部位抽取油样，分析这个取样点的气体浓度，判断变压器内部故障部位，这种方法准确性是不高的。在多传感器系统中，用以估计被测参数的传统方法是取样本观测值的算术平均，但这要求样本观测值足够多，且具有同分布，当观测次数不够多时，其估计效果并不理想。因此本文提出了多传感器系统中引入数据融合方法，依据有限的资源，消除测量中的不确定性，获得更准确、更可靠的测量结果，借以提高数据处理的精度。传感器参量相对于系统的采样频率来讲，一般是缓变的、且具有正态分布特性，可以认为用于数字滤波的数据是多传感器等

精度测量结果。

测量数据为： $C_1, C_2, C_3, \dots, C_k$ （设 k 为偶数，它不影响分析结果），取其算术平均值为：

$$\bar{C} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k C_i$$

这就是传统的数字滤波。将等精度测量数据按空间位置相邻两传感器不在一组的原则分为两组，分别记为 $C_{11}, C_{12}, C_{13}, \dots, C_{1m}$ 和 $C_{21}, C_{22}, C_{23}, \dots, C_{2n}$ 两组， m 可以不等于 n ，然后分别计算两组的算术平均值为： $\bar{C}_{(1)}, \bar{C}_{(2)}$ ，且：

$$\bar{C}_{(1)} = \frac{1}{m} \sum_{p=1}^m C_{1p}$$

$$\bar{C}_{(2)} = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n C_{2q}$$

标准误差分别为：

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{p=1}^m (C_{1p} - \bar{C}_{(1)})^2}, \quad \sigma_2 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{q=1}^n (C_{2q} - \bar{C}_{(2)})^2}$$

同时考虑两组的测量结果， $\overline{C_{(1)}}$ 、 $\overline{C_{(2)}}$ 为同一批的2个测量数据，假定在此之前没有任何有关测量的统计资料，即此前观测结果的方差 $(\sigma^*) = 0$ ，则 $(\sigma^*)^{-1} = 0$ 。

依据分批估计理论，可以证明，分批估计后得到浓度对应的电信号融合的方差为：

$$\sigma^* = [(\sigma^*)^{-1} + H^T R^{-1} H]^{-1} = \frac{\sigma_1^2 \sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

式中：

H为测量方程的系数矩阵，且 $H = [11]^T$ ；

R为测量噪声的协方差。

$$R = [vv^T] = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 \end{bmatrix}$$

同样可以证明，由分批估计导出的数据融合值 C^* 为：

$$C^* = [\sigma^*(\sigma^*)^{-1}] C^- + [\sigma^* H^T R^{-1}] C = [\sigma^* H^T R^{-1}] C$$

可得：

$$C^* = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \overline{C_1} + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \overline{C_2}$$

此即为基于多传感器的分批估计数据融合算法。

C^* 即为经过数据融合后的准确测量值，将该电信号作为信号调理电路的输入。

4 软件设计

变压器在线监测数据采集单元通常采用8位或不带CAN总线的16位MCU系统，这些均存在硬件结构和指令系统上的限制，使其运算速度及信息处理能力有限，这样就增加了系统上位机的运算量；同时，这些单片机通信方式大多是主从式，很难实时有效监测故障的发生。为了减轻上位机的负担，并实现实时有效的监测，要求下位机不仅具有能够进行高速、大量信息的处理能力，而且能实现“对等式”的通信，即任意一个节点均可以在任意时刻主动地向其它节点直接发送信息而不分主从。本文采用的是一种带CAN总线的C8051F140型高端的基于SOC的单片机，提高了实时控制能力。它具有丰富的片内资源，机器周期由标准的12个时钟周期降为1个系统时钟周期，处理能力大大提高，峰值速度可达到25MIPS，且C8051F140系列单片机都有8通道12位的ADC，可控制液晶显示

和键盘输入等输入输出设备。而CAN采用多主方式工作，网络上的任意一个节点可以在任意时刻主动向网络上的其它节点发送信息而不分主从，通信方式灵活，采用短帧结构，传输时间短，抗干扰能力强，其传输介质可用双绞线同轴电缆或光纤，通讯速率最高达1Mb/s，传输距离可达10km，满足了变压器在线监测系统中数据采集处理和快速数据上传的要求。上、下位机的通信系统如图2所示。

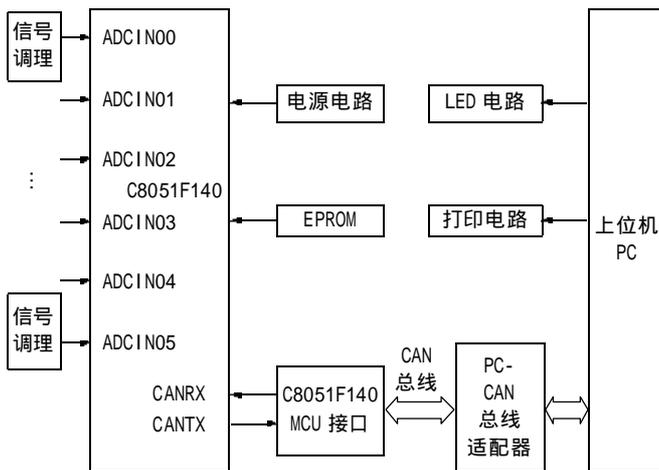


图2 微处理器和通信系统线路原理图

系统通信软件设计分为两部分，即下位机MCU程序和上位PC机程序。

(1) 下位机用C语言编写，模块化编程，在MCU运行中完成各种数据采集、分析处理，并通过CAN总线接收上位机的指令，传送数据。

(2) 上位机程序包括初始化程序、CAN总线适配卡通信控制程序、PC机应用程序接口程序。

PC机的命令和数据是通过双端口RAM为中介，适配卡和CAN总线数据接收和发送是通过SJA1000CAN控制器进行，初始化程序包括双端口RAM和SJA1000CAN控制器的初始化两部分；CAN总线适配卡通信控制程序包括CAN总线适配卡与PC机数据交换和CAN总线适配卡对总线数据的发送和接收；PC机应用程序接口程序提供对适配卡及CAN总线进行操作的功能模块，包括初始化、发送命令、读应答数据等。

5 实验测试

将该装置用于某变电站220kV主变变压器在线监

测,同时取油样进行离线人工色谱试验分析。分别得出在线监测装置历史数据与离线人工色谱试验分析历史数据。将两组测量数据进行对照,发现在测试时,基于多传感器数据融合算法的在线监测装置读数与人工色谱分析的结果相近且趋势一致,说明本在线装置监测得到结果基本反应了变压器内部气体的变化情况。变压器在线监测装置的测量数据大于人工色谱分析数据,原因在于取油样时有少量气体逸出,说明此变压器在线监测装置的测量数据更能反映变压器的实际运行情况。

6 结束语

通过实验检测,本文采用的设计装置可以在线进行变压器油中溶解气体监测。在线监测比离线监测更加具有实时性,便于和综合自动化结合成一体,成为电力系统安全运行不可缺少的重要部分。本装置不仅可以广泛用于变压器在线监测,而且也可广泛运用于各种充油电气设备的在线监测中,便于充

油电气设备的运行状态实时监测和故障点的早期预测和报警。

参考文献

- 1 Lou R C, Lin M H, Scherp R S. Dynamic multi-sensor data fusion system for intelligent robots. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1988, 4(4): 386-396.
- 2 王有元, 廖瑞金, 陈伟根, 杜林. 基于油色谱分析的变压器故障在线预测方法. 重庆大学学报(自然科学版), 2005, 7: 34-37.
- 3 蔡菲娜, 刘勤贤, 朱根兴, 杜丰. 数据融合方法在单传感器系统中的应用. 数据采集与处理, 2005, 3: 88-90.
- 4 韩璞等编. 火电厂计算机监控与监测. 中国水利水电出版社, 2005.
- 5 操敦奎编. 变压器油中气体分析诊断与故障检测. 中国电力出版社, 2005.
- 6 张挺, 王章启, 魏天魁. 变压器油中溶解气体在线监测系统研究. 高压电器, 2005, 2.

计量仪表及流量解决方案

北京珠峰成业科贸有限公司是一家专业从事计量仪表及流量解决方案的厂家。主要产品有超声波流量计、电磁流量计、涡街、涡轮流量计、腰轮流量计、孔板、V锥流量计及压力、差压变送器等。用户覆盖冶金、石化、电力、食品、饮料、供排水、热力、燃气等。多年来,我们以优质的产品和良好的售后服务,取得了广大客户的信赖,并在成长的道路上不断进步!

我们的宗旨: 您的需要就是我们的目标!

北京珠峰成业科贸有限公司

地址: 北京市石景山区石景山路 23 号中础大厦 630 室

邮编: 100049

电话: 010-68870569

传真: 010-68822542

E-mail: zfcy8848@163.com

Http: //www.zfcy.cn

