

基于 MSP430F449 的甲醛检测仪设计

葛化敏, 叶小岭

(南京信息工程大学 信息与控制学院, 南京 210044)

摘要:为了准确实时地在线测量甲醛浓度,采用英国 DART 公司最新的电化学甲醛浓度传感器,结合低功耗高性能单片机 MSP430F449 与 24 位高精度的 $\Delta-\Sigma$ A/D 转换器 ADS1232,设计了带温度补偿功能的高精度在线实时甲醛检测仪。该测试仪具有测量精度高、速度快、使用方便等特点。

关键词:甲醛含量;传感器;A/D 转换器;单片机

中图分类号:TH832 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-0682(2009)03-0097-03

Design of formaldehyde detector based on MSP430F449

GE Huamin, YE Xiaoling

(School of Information & Control under Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract:To measure formaldehyde content rapidly, A formaldehyde detector with temperature compensation function is designed based on MSP430F449, ADS1232 and a latest sensor of formaldehyde made in England and is low-power real-time high-precision and convenient.

Key words:formaldehyde content; sensor; A/D converter; MSP430F449

0 引言

甲醛(HCHO)是一种具有高挥发性、无色、具有强烈的刺激性气味、具有较高毒性的物质,世界卫生组织(WHO)和美国环境保护局(EPA)均将其列为潜在危险致癌物和重要的环境污染物。目前的甲醛测量仪因测量方法与原理的不同不易实现在线的快速

准确测量,因此,研制实时的甲醛浓度测量仪实现对日常生活与工作环境中甲醛浓度的快速准确测量,对提醒人们及时改善环境条件、保护人们身体健康具有重要的意义。

1 系统硬件设计

1.1 甲醛传感器

目前,关于甲醛的测量方法很多,但能够实现快速实时测量的传感器较少,相比较而言,英国 DART 公司生产的电化式甲醛气体传感器是真正能够不需要任何气体采样或者气体泵抽取而能够实现现场实时连续测量的电化学传感器。它由包含两个电极的燃料电池传感器组成,当被测介质被内部的采样系统吸收后,工作电极通过外电路将电子释放到计数电极,产生一个与甲醛浓度对应的线性电流,在计数电极

随着氧的减少而消耗,内电路由电解液中的离子流来实现。由于传感器输出电流为微安(2 000 nA/ppm)电流信号,因此,需要设计电流到电压的转换

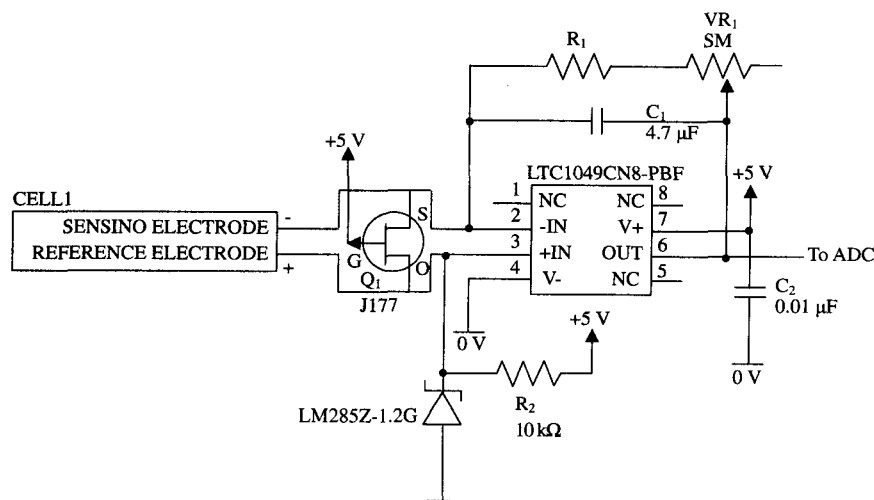


图1 放大电路

收稿日期:2008-08-20

作者简介:葛化敏(1964),男,河南人,副教授,研究方向为工业在线检测与计算机控制技术,嵌入式系统设计。

放大器对其进行转换放大,其放大电路的具体参数及转换放大原理图如图 1 所示。在系统中的高精度测量放大电路设计中,反馈电阻选为 470 kΩ,同时并联一个 4.7 μF 的钽电容在没有反向响应时间的情况下降噪。

电解液的消长随环境温度的变化而变化,为了提高测量精度,引入温度补偿,在环境温度为 5 ~ 40 ℃ 范围内,其补偿关系如图 2 所示,系统设计中,考虑到环境温度变化范围不是很大,选择查表法对其进行补偿。

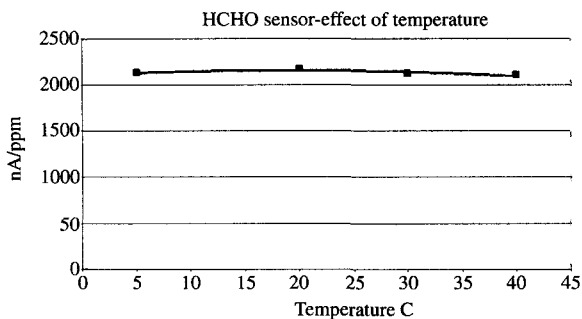


图 2 传感器环境温度变化与输出电流变化关系图

1.2 24 位高精度 A/D 转换器

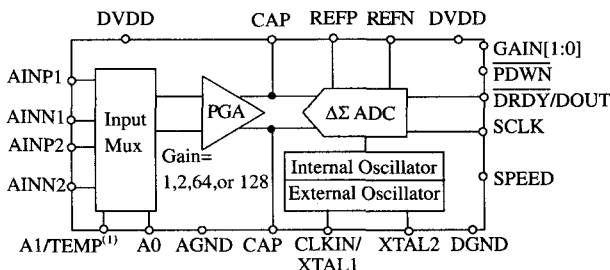


图 3 ADS1232 基本组成结构框图

ADS1232 是 TI 公司生产的高精度串行输出的 24 位 A/D 转换器,其组成结构如图 3 所示。内含低漂移、低噪声的可变增益放大器和环境温度检测传感器,板上低噪声 PGA 提供 1、2、64 或 128 可选增益,从而能够支持 ±2.5 V、±1.25 V、±39 mV 或 ±19.5 mV 的满量程差动输入电压。它由一个 3 阶的 Δ-Σ 调节器和一个 4 阶的数字滤波器构成,具备 23.5 位有效分辨率。可采用振荡器或晶振提供外部时钟,此外,ADS1232 还提供内部振荡器,无需使用外部组件。可支持 10 SPS 和 80 SPS 两种数据速率,在采用内部振荡器或者采用 4.915 2 MHz 晶振时,当 SPEED 管脚为低电平时,速率为 10 SPS,系统对 50 Hz 与 60 Hz 信号具有较强的抑制作用;当 SPEED 管脚为高电平时,速率为 80 SPS。输入多路复用器可接收双通道 (ADS1232) 差动输入,通过

A0 与 TEMP 端来选择是对模拟输入信号进行 A/D 转换还是对内部的温度传感器输出的电压进行转换,通过测量温度传感器(温度系数为 379 μV/℃,在 25 ℃ 时输出电压为 111.7 mV)输出电压的大小来确定环境温度,实现环境温度的补偿。ADS1232 既可进入低功耗的待机模式,也可完全关闭进入断电模式。可通过简单的引脚驱动控制来执行 ADS1232 的所有功能。数据通过易于隔离的串行接口输出,A/D 转换的结果可以以串行输出的方式直接送给 MSP430F449 进行处理。

ADS1232 可以连续不断的转换模拟输入信号,当 DRDY/DOUT 引脚为由高变为低电平时,新的转换数据已准备就绪,随着 SCLK 引脚的每个上升沿对应输出一位数据,最高位 (MSB) 首先输出,依次输出 24 位转换数据,然后,DRDY/DOUT 输出保持最后一位的状态,为了读取下一次转换的新数据,可通过主机检测 DRDY/DOUT 引脚,当 24 位数据输出后,强制使 DRDY/DOUT 输出为高电平(第 25 个脉冲置 DRDY/DOUT 高电平后),当新的数据转换结束后,其 DRDY/DOUT 由高变低,重新输出新的转换数据,其转换数据输出时序图如图 4 所示。

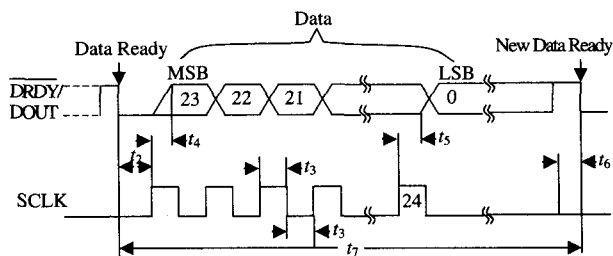


图 4 A/D 转换器转换数据输出时序图

1.3 单片机 MSP430F449

MSP430F449 是美国德州仪器公司 (TI) 开发的一款超低功耗 16 位 RISC 混合信号处理器,具有高性能模拟技术及丰富的片上外围模块,集多种领先技术于一体,其主要特点有:低工作电压 1.8 ~ 3.6 V;超低功耗,活动模式 280 μA@1 MHz,2.2 V;待机模式 1.1 μA;掉电模式 (RAM 数据保持) 0.1 μA。从待机到唤醒的响应时间不超过 6 μs。具有 3 个捕获/比较寄存器的 16 位定时器:定时器 A、定时器 B,两个串行通信模块 USART0/1,可软件选择 UART/SPI 模式,内部含有 12 位 A/D 转换器,可在线串行编程,不需要外部编程电压,驱动液晶能力可达 160 段,FLASH 存储器容量达到 60 kB, RAM 为 2 kB。考虑到芯片内部 12 位 A/D 不足以满足测量精度的要求,选择了 24 位的 A/D 转换器 ADS1232 作

为被测信号测量的 A/D 转换器,其转换结果以串行输出的方式直接送给 MSP430F449 进行处理,其 MSP430F449 与 A/D 接口的连接原理如图 5 所示。

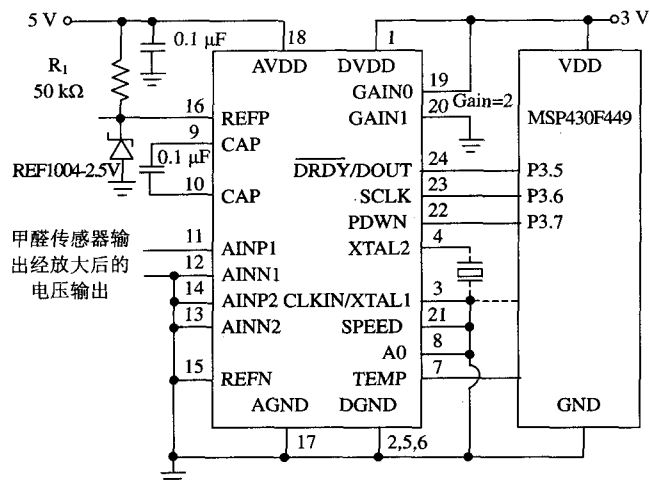


图 5 MSP430F449 与 ADS1232 的接口原理图

1.4 其他部分

测量结果通过外接的 LCD 显示,这里选用价格低廉、使用简单的段式液晶显示,由于 MSP430F449 片内具有段式液晶驱动模块,采用 3MUX 驱动方式,液晶所需的模拟电压由外部提供,通过外接的等值电阻产生,LCD 控制逻辑可以通过软件以内存位的操作形式来实现。报警器件采用红色发光二极管,当测量值超过报警值时,红色二极管发亮。为了提高测试仪性能,电源部分采用模拟电源与数字电源分开的设计方式。

2 系统软件设计

采用 IAR 公司的集成开发环境 Embedded Workbench 进行系统开发。该系统软件设计采用模块化的程序结构,主程序包括初始化模块、启动 A/D 转换器模块、数据采集模块、数据处理模块(含温度补偿)、显示模块。软件设计方面还采用了看门狗技术,设置软件陷阱技术、数字滤波等技术,以提高仪表抗干扰能力。系统程序流程如图 6 所示。

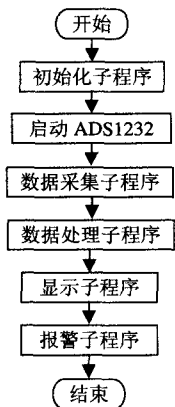


图 6 系统程序流程框图

为实现系统的低功耗,对外部接口、定时器等部件初始化后,MCU 进入休眠状态。MSP430 的低功耗工作状态有 5 种,这里选择 LPM0 模式,此时 CPU

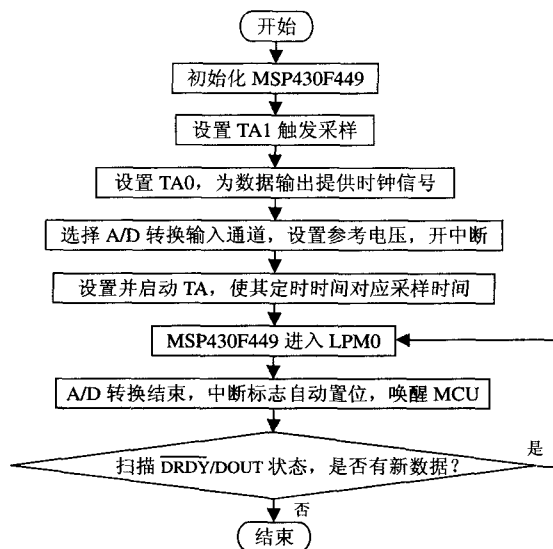


图 7 A/D 转换程序流程图

处于休眠状态,定时器、输入/输出端口等可以独立运行,任何一个模块可以通过中断唤醒 CPU。MSP430F449 应用了增强型锁频环技术 FLL + 模式,其优点是硬件能自动调整 DCO 频率,支持时钟配置的超低功耗应用。通过软件调节 DCO 的频率,保证 ADS1232 转换时间与速率。A/D 转换模块的工作状态流程如图 7 所示。

数据采集和处理模块完成对甲醛浓度的测量和数据处理,通过查表法进行温度补偿处理,显示模块将测量结果通过液晶屏显示测得的甲醛含量;报警子程序将测得的甲醛浓度与设定的参考值比较,如果所测值高于报警值,则通过发光二极管发出报警信号。

3 结束语

随着人们生活水平的日益提高,设计一种简便、灵敏、快速、准确、经济的甲醛在线实时检测系统是社会所需,人心所向。目前还没有一种较为理想的甲醛现场快速检测方法,分光光度法受水浴或浓硫酸等操作条件的限制,电化学检测法对样品预处理要求较高,色谱法受仪器设备限制,以前的甲醛传感器检测成本高、寿命短。笔者设计的甲醛检测仪避免了上述甲醛检测方法的不足,具有测量速度快、测量精度高,不需要其他的附属设备或试剂、使用方便等特点,具有很好的推广价值与市场前景。

参考文献:

- [1] Product data sheet: sensor for formaldehyde [DB/OL]. www.dart-sensors.com.
- [2] data sheet: MSP430x44x mixed signal microcontroller [DB/OL]. www.TI.com. (下转第 56 页)

式中 $i=4$ 为输入层节点个数, $j=10$ 为隐含层节点个数, θ_j 为第 j 个节点的阈值, net_j^p, O_j^p 为第 p 个样本输入下隐含层的第 j 个节点的输入和输出。

对输出层单元, 则:

$$net_k^p = \sum_{j=1}^{10} w_{jk} O_j^p - \theta_k$$

$$O_k^p = g(net_k^p) = \frac{1}{1 + \exp(-\sum_{j=1}^{10} w_{jk} O_j^p - \theta_k)}$$

式中 $k=2$ 为输出层节点数, θ_k 为输出层第 k 个节点的阈值, net_k^p, O_k^p 为第 p 个样本输入下网络输出层的第 k 个节点的输入和输出。

② 计算每个样本 p 的输出误差 E_p

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^2 (d_k^p - O_k^p)^2$$

式中 $k=2$ 为输出层节点数, d_k^p 网络目标输出值, 即导师信号, O_k^p 为节点实际输出值。

若误差达到指定要求, 学习结束。否则, 进入下面第③步, 即从输出层反向传播, 逐层修改权值直到误差满足要求为止。

③ 反向传播调整各层权值和阈值

输出层权系数调整:

$$\delta_k^p = O_k^p(1 - O_k^p)(d_k^p - O_k^p)$$

$$w_{jk}^p(t+1) = w_{jk}^p(t) + \eta \delta_k^p O_j^p + \alpha [w_{jk}^p(t) - w_{jk}^p(t-1)]$$

$$\theta_{jk}^p(t+1) = \theta_{jk}^p(t) + \eta \delta_k^p O_j^p + \alpha [\theta_{jk}^p(t) - \theta_{jk}^p(t-1)]$$

隐含层权值的调整:

$$\delta_j^p = O_j^p(1 - O_j^p) \sum_k \delta_k^p w_{jk}^p$$

$$w_{ij}^p(t+1) = w_{ij}^p(t) + \eta \delta_j^p O_i^p + \alpha [w_{ij}^p(t) - w_{ij}^p(t-1)]$$

$$\theta_{ij}^p(t+1) = \theta_{ij}^p(t) + \eta \delta_j^p O_i^p + \alpha [\theta_{ij}^p(t) - \theta_{ij}^p(t-1)]$$

3 模型的仿真

从河南某造纸厂随机采集 100 组数据, 按照 2.2 节方法对这些数据进行预处理后作为样本数据, 其中前 70 组样本用于网络的训练, 后 30 组用于检验网络的泛化能力。为了防止网络训练开始就陷入局部最小, 选择 0 附近的一组随机数作为网络的初始权值, 并使这些权值和的绝对值小于 1。建立网络以及网络的算法编程采用 MATLAB 库函数, 根据

2.3 节原理网络训练, 待网络学习结束后冻结权值, 然后对网络进行泛化, 最后得白度、残氯泛化仿真结果如图 3 所示。由泛化曲线可以看出, 网络测量值与实际化验值误差小, 故该模型较为准确真实, 能够用于实际生产过程对象的在线测量。

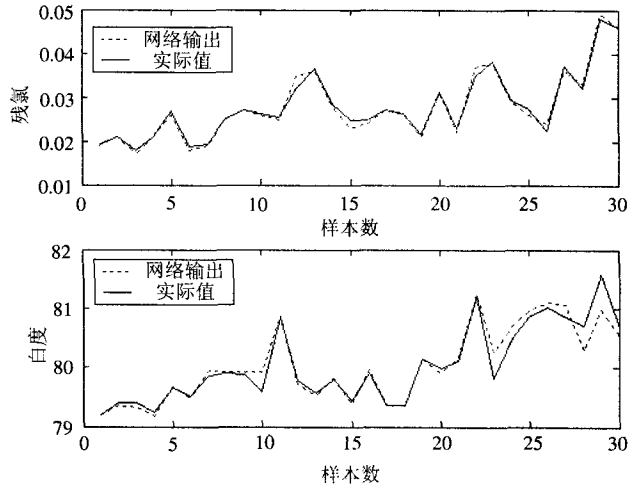


图 3 白度、残氯泛化仿真曲线

4 结束语

该文提出的基于改进 BP 算法的神经网络漂白过程软测量方法具有结构和算法简单、易实现的特点, 同时, 克服了常规 BP 神经网络算法收敛速度慢的缺点, 实现了纸浆白度和残氯的在线测量, 其测量结果较为准确, 实时性较好, 有助于生产过程的优化控制。

参考文献:

- [1] 易继继, 侯媛彬. 智能控制技术[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 1999.
- [2] 张乃尧, 阎平凡. 神经网络与模糊控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [3] 袁曾任. 人工神经网络及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [4] 曾燕飞, 李小伟. 基于 BP 神经网络的高炉铁水硅含量预测模型研究[J]. 微计算机信息, 2006, (7-1): 291-293.
- [5] 李英春, 王孟效. 基于神经网络 PID 的漂白温度控制算法研究[J]. 微计算机信息, 2006, (12-1): 41-42.
- [6] 张伟, 胡昌华, 郑恩让. 基于改进竞争聚类的 RBFN 纸浆漂白 MIMO 软测量[J]. 仪器仪表学报, 2002, (3): 27-29.

(上接第 99 页)

- [3] data sheet: ADS1232/4 24 - Bit Analog - to - Digital Converter[DB/OL]. www. TI. com.
- [4] 李跃红. 甲醛检测方法的研究进展[J]. 职业与健康, 2006, 22(15):

- [5] 马天. 甲醛分析仪现场检测技术[J]. 中国测试技术, 2005, 31(5): 130.
- [6] 魏小龙. MSP43 系列单片机接口技术系统设计实例[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.