

# 基于 ARM 的红外气体传感系统的设计与实现

文冠祺,王 忠,陈柏松  
(火箭军工程大学,陕西 西安 710025)

**摘 要:**为了实现对室内、坑道等较为封闭区域空气中有毒有害气体的监测预警,提高相关人员工作生产环境的安全性,设计并实现了一款基于 ARM 的红外气体传感系统。该系统对某种指定气体浓度进行监控,探测端通过 USB 数据线连接上位机 PC 终端,在配套开发的软件系统上实现可视化监控并及时发出警报。利用扩散式监测方式,非分光红外技术测量特定气体浓度,可对应不同气体种类而灵活更换红外探测头的滤波片,以此实现对多种气体进行监测的功能。目前该传感器可用于对氟化氢、一氧化氮、二氧化硫、二氧化碳、一氧化碳以及甲烷等气体进行实时监测。实验选取一氧化碳气体分别进行精准性测试和重复性测试,以此检验系统在长时间工作中受到电压波动和温度波动等影响因素干扰下的工作状态。结果表明,传感系统能够检测出相应的气体浓度,存在干扰现象但符合设计标准,达到了监测系统的功能要求。

**关键词:**ARM 处理器;红外气体传感系统;非分光;实时监测

**中图分类号:**TP391

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2017)04-0180-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2017.04.040

## Design and Implementation of Infrared Gas Sensor System with ARM

WEN Guan-qi, WANG Zhong, CHEN Bai-song  
(Rocket Force University of Engineering, Xi'an 710025, China)

**Abstract:** In order to monitor poisonous and harmful gas in the rooms, tunnels and other closed region and improve the safety of the relevant personnel work and production environment, an infrared gas sensor system with ARM has been designed. This system is realized and connected with PC terminal via USB data line, by which certain specified gas concentration can be monitored on the bundled software system and alarm can be given timely if necessary. By applying the non-dispersive infrared technology, infrared detection head can be flexibly changed with different gas types. At present, this sensor can be used to monitor such gas as hydrogen fluoride, nitric oxide, sulfur dioxide, carbon dioxide, carbon monoxide and methane in real time. Detection of carbon monoxide gas has been tested in experiments and its results show that the gas concentrations detected by the system accord with the design standard and meet the functional requirements of the monitoring system.

**Key words:** ARM; infrared gas sensor system; non-dispersive; real-time monitoring

## 0 引 言

随着综合国力的不断攀升,经济发展稳步向前,发展在带给人民巨大利益的同时,面临的问题也逐步显现出来,个别方面的矛盾甚至日益激化,比如环境问题。在当今社会,环境保护已经成为发展道路上的一项重要任务,从民生角度考虑,人们越来越关注自己的生存环境变化,尤其在空气质量方面,空气中的有毒有害气体和可吸入颗粒物等物质也成为老百姓们每天都关心谈论的热门话题。

人们赖以生存的空气中有许多值得挖掘的信息,常见的如温室效应主要成分  $\text{CO}_2$ <sup>[1]</sup> 气体、采矿坑道中

的  $\text{CO}$ <sup>[2]</sup> 气体、家用燃气中的  $\text{CH}_4$ <sup>[3]</sup> 气体等。人们利用这些气体使其在生产生活中发挥重大作用,在科学研究中提供有力支撑,但又不得不面对它们带来的种种负面影响。为了保护人们生产劳动的安全高效,尽早检测出空气中的有毒有害气体,易操作低成本的气体探测传感器应运而生<sup>[4]</sup>。气体传感技术大致分为红外传感<sup>[5]</sup>、热导式传感<sup>[6]</sup>、电化学传感<sup>[7]</sup>和催化燃烧传感<sup>[8]</sup>等。红外气体传感器因其使用寿命长、性价比高在大气监测<sup>[9]</sup>、灾害防治<sup>[10]</sup>、医疗农业<sup>[11]</sup>等诸多方面应用广泛。

基于上述原因,运用非分光红外技术设计及实现

收稿日期:2016-05-16

修回日期:2016-09-08

网络出版时间:2017-03-07

基金项目:国家自然科学基金资助项目(614023397)

作者简介:文冠祺(1991-),男,硕士,研究方向为嵌入式系统与嵌入式网络;王 忠,教授,CCF 高级会员,研究方向为嵌入式和移动 Ad-hoc。

网络出版地址: <http://jns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170307.0921.036.html>

一种基于 ARM 处理器的气体传感系统,并进行了精准性测试和重复性实验。结果表明,系统在遇到自产热干扰和电压波动情况下,所得数据均在正常范围之内,达到了设计标准。

## 1 设计原理和思路

气体传感系统采用分段式结构,两端分别是发光源和探测器,中段由气室连接。系统采用非分光红外(NDIR)技术,在此基础上运用 ARM 处理器保证运算结果更快更精准。在气体监测过程中向气室内通含某一特定成分气体的空气,发光源发出宽谱红外光穿过气室,探测器接收并检测吸收峰处吸收情况来计算某种气体浓度值<sup>[12]</sup>。在探测器表面安装不同的滤波片,可以监测不同类型的气体浓度。目前该成品可监测气体成分主要有 CO、CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、HF、NO 等气体。

当有红外光照射气体时,气体分子会吸收能量,因为气体不同分子也不同结构,所以对于红外光能量的吸收频段也不相同,特定气体分子吸收能量之后红外光会形成对应的吸收峰。探测器运用热电堆技术,当有红外光照射探测器时,热电堆会感应温度变化,因热电效应<sup>[13]</sup>使得电动势发生改变,通过测量电压变化可推出通过某种气体之后的红外照射光被吸收了多少能量,由能量的变化间接计算出气室内某气体的浓度。电压信号经输出给 AD 转换器转换为数字信号,由 ARM 处理器处理后控制显示器显示出来或者同时报警。

因为持续照射会产生热堆积影响检测结果,所以红外光以调制方式照射。通道末端设有温度感应器单独输出温度信号,将其转换成数字信号之后,采用数字补偿法消除环境温度对热电堆的影响。

## 2 电路设计

## 2.1 单片机电路

stm32f103v48 是 ARM32 位的 Cortex-M3 CPU, 64 K 字节的闪存程序存储器, 20 K 的 SRAM, 有 2 个 12 位 ADC, 7 个定时器和 9 个通信接口。如图 1 所示, 为给单片机供电并提供稳定的正弦波信号, 起振电容  $C_{11}$  和  $C_{12}$  与  $Y_1$  组成正弦波振荡电路。电容值 22 pF, 晶体振荡器振荡频率 8 MHz。电容器  $C_{18}$  接处理器的异步复位脚, NRST 端输入低电平时单片机处于复位状态, 电平由低升高时 PC 指针从 0 开始。当输入电压低于 1.9 V 左右时, 芯片复位。

## 2.2 稳压电源电路

如图2所示,输入电压为5 V,经过降压、整流、滤波后,通过LM1117MPX-3.3电压调节器向系统输出3.3 V工作电压,同时提供电流限制和热保护,其最大

线性调整率为 0.2%, 最大负载调整率为 0.4%。电路中电容作用是过滤干扰。

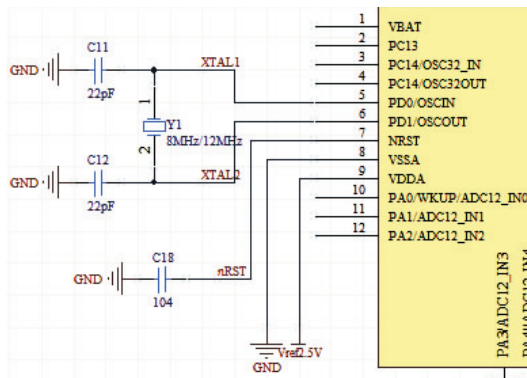


图1 单片机电路局部

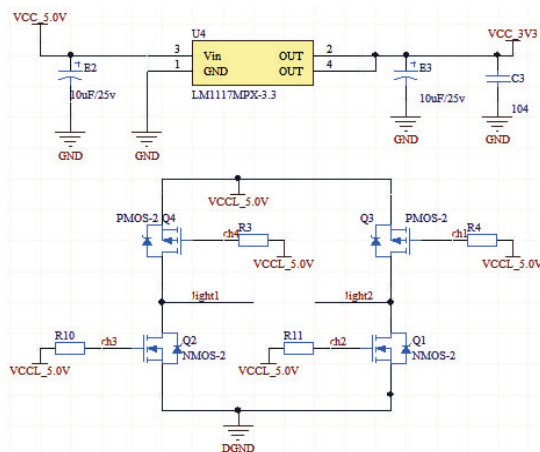


图2 稳压电源电路和红外光源电路开关

### 2.3 红外光源电路开关

如图 2 所示, NMOS 是低端驱动, 适用于源极接地的情况,  $V_{gs}$  大于 4 V 就会导通; PMOS 是高端驱动, 适用于源极接 VCC 的情况,  $V_{gs}$  小于阈值电压就会导通。MOS 管是电压控制元件, 损耗小, 热阻特性好, 适合作为红外光源的电子开关。

## 2.4 信号滤波放大模块

探测器后接两条信号路线,一是图3中所示红外信号,二是探测器信号。因为其输出时已经变成电压信号,故无需转换直接放大即可。电路中信号皆为低频信号,高频判断为噪声。要使有效的低频信号得以

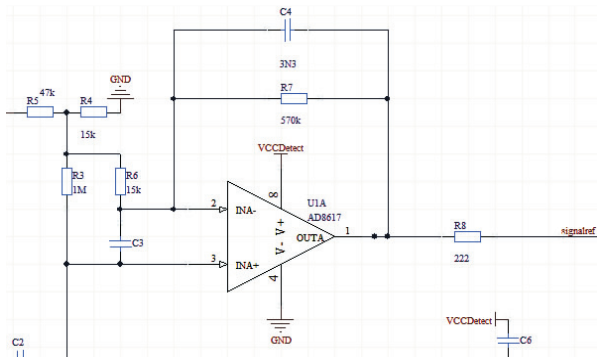


图3 滤波放大电路

放大而不放大高频噪声,参考同向滤波电路设计,添加电容  $C_4$  可过滤高频噪声,起到滤波作用。

电路对低频信号放大倍数为:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_7 + R_6 + R_4}{R_4 + R_6} = 20$$

(1)

3 系统设计

气体浓度监测仪的软件设计采用程序模块化的方法进行,除主程序外,主要的子模块有数据采集子模块、数据处理子模块、显示子模块和串口通信子模块。

从红外探测器输出的信号经过放大滤波电路处理后得到 stm32f103v48 电压处理范围内的信号。这些信号将由数据采集处理模块计算,得出最终浓度值输出到显示器,同时通过串口 RS232 连接到个人 PC 上进行数据的存储和分析。

该系统主要用 stm32f103v48 单片机实现脉冲触发、A/D 转换、数据采样及数据处理。进入处理器的信号由片内 12 位模数转换模块进行模数转换,将模拟信号转换成数字信号,将所得数据处理后最终计算出被测气体浓度。

4 结构设计

传感系统主体采用的是分段式结构,即红外信号发射端、气室和红外信号接收端分离成三段,两头器件可以用螺丝与气室固定组装在一起,拆卸非常方便。设计用意:一是方便组装探测器;二是在出现硬件故障之时能够快速排解问题。整个器件采用表面光滑的铝材质进行加工,不仅能防止器件被某些有害气体腐蚀,而且光滑的气室通道内能减少红外光束的散射,提高测量精度。

气室有出气和进气两个气孔,在探测器端中心圆孔处放置探测头,圆孔一侧有小孔用来放置温度传感器,消除因堆积热对测量结果产生的负面影响。

5 实验及结果

为使实验结果准确,满足实验条件令其符合气体传感系统设计要求。气体监测系统部分参数如表 1 所示。

5.1 精准性测试

考虑到实验气体一氧化碳在空气中爆炸极限是 12.5% ~ 74%<sup>[14]</sup>,为安全起见,在测试中分别用浓度为 1% 和 5% 的两种一氧化碳气体向传感器气室中通气,总共通 20 min,每分钟记录一个测得的浓度数值。

影响测量结果的因素有气室内温度变化的情况,气瓶中气体浓度异常或者通气速度不均的情况,电压不稳的情况,等等。

表 1 气体监测系统部分参数表

参数	数值
测量原理	红外吸收
测量量程	0 ~ 1 000 ppm
尺寸规格	60 mm×22 mm×16 mm
校准	软件零点
工作压力	950 ~ 1 050 hpa
工作电压/V	5.0
工作电流/mA	70
进气方式	扩散式
响应时间/s	<15
精度	±0.05% FS
工作温度/℃	-10 ~ 40
工作湿度/RH	0% ~ 95%
预热时间/min	<2
稳定功率/W	<1

由图 4 所示,在 8 ~ 11 min 和 17 ~ 20 min 时段测量浓度分别有较大起伏。查看记录数据分析原因知,气室内部温度升高引起电压波动,反映在测量值上出现了较大差距的波峰和波谷,差值最大为 0.016%,低于设计标准 0.05% 误差,精度满足要求,判定结果有效。

在上一次实验结束后,将探测器于通风口处静置 10 min,使内部残留气体释放干净。此次实验开始之前先将传感器置于激活状态预热 5 min,之后再向气室内逐步通入 5% 浓度的 CO 气体,探测数据相对平稳,与气体浓度标准值的最大误差不超过 0.008%,如图 4 所示。由于系统充分预热,干扰项少,该次实验测量值较前一次数据反映情况看有很大改观,符合实际情况,结果有效。

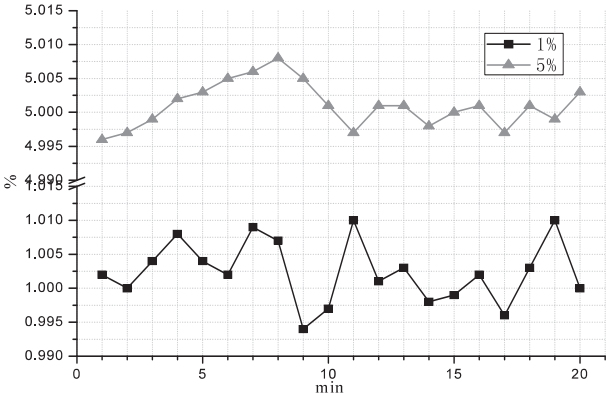


图 4 精准性测试

5.2 重复性实验

在测试中,用浓度为 1% 的二氧化碳气体向气体传感器中通气,每次通 2 min,2 min 后停机 5 min 再次开机通气 2 min,每次记录一个测得的浓度数值。实验

结果如图 5 所示。

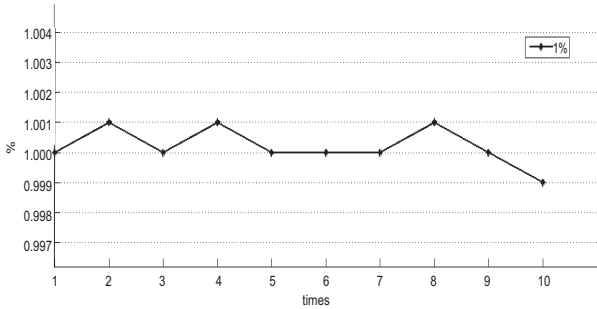


图 5 浓度 1% 一氧化碳气体重复性实验

如图 5 所示,重复性实验测量值误差小,性能表现较为稳定,能够满足设计要求。

6 结束语

为了实现对室内、坑道等较为封闭区域空气中有毒有害气体的监测预警,提高相关人员工作生产环境的安全性,设计并实现了一款基于 ARM 的红外气体传感系统。采用单片机进行控制,具有运算速度快、方便操作等特点,非分光红外技术的气体监测实现简单,精准度高,使用寿命长。实验结果表明,该系统具备一定的适应性和实用价值,且具有良好的市场前景。下一步要做的工作是减小体积,将光路从直射变成反射,进一步研究温度对感应系统监测结果的影响,增加探测头设置对照组消除误差,同时设计更加可靠的结构提高用户体验。

参考文献:

[1] Dooly G, Clifford J, Leen G, et al. Mid-infrared point sensor for in situ monitoring of CO2 emissions from large-scale engines[J]. Applied Optics, 2012, 51(31): 7636-7642.

[4] Bliss D W, Hancock T M, Schniter P. Hardware phenomenological effects on cochannel full-duplex MIMO relay performance [C]//Proceedings of Asilomar conference on signals, system and computing. [s. l.]: [s. n.], 2012: 4-7.

[5] Ruckus. 802.11n sector access point [EB/OL]. 2012-02-01. <http://www.ruckuswireless.com/products/zone-flex-outdoor/7762-s>.

[6] 任永刚,张亮.第五代移动通信系统展望[J].信息通信, 2014(8): 255-256.

[7] Dahlman E, Mildh G, Parkvall S, et al. 5G wireless access: requirements and realization [J]. IEEE Communication Magazine, 2014, 52(12): 42-47.

[8] Ahmed E, Eltawil A M, Sabharwal A. Self-interference cancellation with nonlinear distortion suppression for full-duplex

[2] Chen H, Karion A, Rella C W, et al. Accurate measurements of carbon monoxide in humid air using the cavity ring-down spectroscopy (CRDS) technique [J]. Atmospheric Measurement Techniques, 2013, 6(4): 1031-1040.

[3] Park J S, Yi S H. Nondispersive infrared ray CH4 gas sensor using focused infrared beam structures [J]. Sensors & Materials, 2011, 23(3): 147-158.

[4] Yavari F, Chen Z, Thomas A V, et al. High sensitivity gas detection using a macroscopic three-dimensional graphene foam network [J]. Scientific Reports, 2011, 1: 166.

[5] Puton A J, Palko T, Knap A, et al. Module for measurement of CO2 concentration in exhaled air [C]//Proceedings of SPIE. [s. l.]: [s. n.], 2003.

[6] 钱江蓉,陈丛,许磊,等.一种新型热导式氧气浓度测量方法[J].电子与封装, 2016, 16(3): 45-47.

[7] 宋文璟,王学伟,丁家旺,等.海水重金属电化学传感器检测系统[J].分析化学, 2012, 40(5): 670-674.

[8] 王晓玲.催化燃烧式甲烷测定器载体催化元件的原理及技术性能分析[J].计量与测试技术, 2012, 39(2): 12-13.

[9] 曲艺.大气光学遥感监测技术现状与发展趋势[J].中国光学, 2013, 6(6): 834-840.

[10] 李家琨,金伟其,王霞,等.气体泄漏红外成像检测技术发展综述[J].红外技术, 2014, 36(7): 513-520.

[11] 张石锐.畜禽生产环境中主要有害气体监测方法研究[D].上海:上海交通大学, 2014.

[12] Thapa S, Tangutooru S M, Guilbeau E J, et al. The thermopile: an anisotropic temperature sensor [J]. Sensors & Actuators A Physical, 2012, 187(8): 132-140.

[13] 张悦,李晓,王志斌.基于热电效应的痕量气体检测技术研究[J].中北大学学报:自然科学版, 2011, 32(5): 625-629.

[14] 张娥.矿井可燃性气体爆炸特性的实验研究[D].西安:西安科技大学, 2010.

(上接第 179 页)

systems [C]//Proceedings of Asilomar conference on signals, system and computing. [s. l.]: [s. n.], 2013: 1199-1203.

[9] Janevski T. 5G mobile phone concept [C]//Consumer communications and networking conference. [s. l.]: IEEE, 2009: 1-2.

[10] Radunovic B, Gunawardena D, Key P, et al. Rethinking indoor wireless: low power, low frequency full duplex [R]. [s. l.]: [s. n.], 2009.

[11] Duarte M, Sabharwal A. Full-duplex wireless communications using off-the-shelf radios: feasibility and first results [C]//Proceedings of Asilomar conference on signals, system and computing. [s. l.]: [s. n.], 2010: 1558-1562.

[12] Bharadia D, Katti S. Full duplex MIMO radios [C]//Proc of USENIX NSDI. [s. l.]: [s. n.], 2014: 359-372.