

室内空气质量测量仪的设计与实现

郭全民 马旋坤 王健

(西安工业大学电子信息工程学院 西安 710021)

摘要: 人的一生中平均有 80%~90% 以上时间在室内度过,所以室内空气质量的好坏直接影响人们的身体健康。因此,对室内空气质量参数测量仪的研究具有重要的现实意义。系统采用 STC12C5A60S2 作为核心处理器,采用电化学 4OXV 氧气传感器,半导体 MQ-7 一氧化碳传感器和 MQ-138 甲醛传感器以及数字型 DHT11 温湿度传感器作为数据采集模块。设计了一种室内空气质量测量装置,完成了该装置的硬件电路和软件部分设计,经测试表明:系统的相对误差小于 2%,具有精度高、性能稳定、反应迅速、性价比高、便携方便等优点,而且结构简单、使用简洁方便,可广泛应用于室内环境的检测。

关键词: STC12C5A60S2; 气体传感器; 氧气; 一氧化碳; 甲醛

中图分类号: TP216 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8040

Design and implementation of indoor air quality detector

Guo Quanmin Ma Xuankun Wang Jian

(School of Electronics Information Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: Since 80—90 percent of one's lifetime is spent indoor in average, people's health is affected by air quality indoor directly. As a result, the study of indoor air quality parameters monitor has a vital practical significance. The system is based on STC12C5A60S2 control core and electrochemical effect 4OXV oxygen sensor, using semiconductor MQ-7 carbon monoxide sensor and MQ-138 formaldehyde sensor and digital DHT11 temperature and humidity sensor as data acquisition module. Design an indoor air quality monitor device, completed the hardware circuit and software design of the device. The test results show that: the relative error of the system is less than 2%, which has the advantages of high precision, stable performance, quick response high ratio of performance to price, portable and convenient, and has the advantages of simple structure. The use of simple and convenient, and can be widely applied to indoor environmental testing.

Keywords: STC12C5A60S2; gas transducer; Oxygen; Carbon monoxide; Formaldehyde

1 引言

人的一生中平均有 80%~90% 以上时间在室内度过,所以室内空气质量的好坏直接影响人们的身体健康。随着生活水平的日益提高,人们对于绿色健康生活的意识也在逐年提升,与此同时人们对室内空气质量监测的需求也越来越大,如今室内装修材料大多会散发出甲醛等有害物质,加上当前各大城市居高不下的 PM2.5,都对室内空气造成了严重的污染。可见,对室内空气质量参数测量仪的研究具有重要的现实意义。

传统的空气质量参数测量仪大多采用单参数测量方

式,即每测量一种参数需要一种测量仪器。用一种仪器能够进行多种参数的检测和识别是空气质量参数测量仪的发展趋势^[1]。现有的很多仪器价格昂贵,测定时间较长,每隔一段时间就需进行重新标定,很难进行连续测定,并且需要专业人员进行操作,更适用于专业的检测部门,不能在居室内普遍应用。

设计的是一种多传感器、低功耗、电池供电的室内空气质量测量仪,它可以连续、实时、准确地显示室内的氧气、一氧化碳、甲醛气体的浓度以及室内温度和湿度。当环境中检测到一氧化碳气体的浓度达到或超过预置报警值时,测量仪立即发出报警,以提醒人们及时采取安全措施。

2 总体方案设计

室内空气质量参数测量仪包括:气体传感器、温湿度传感器、信号处理电路、报警电路、显示电路、电源电路、按键操作电路^[2]。其中气体传感器由氧气传感器、一氧化碳传感器、甲醛传感器温湿度传感器组成。系统方案如图1所示。

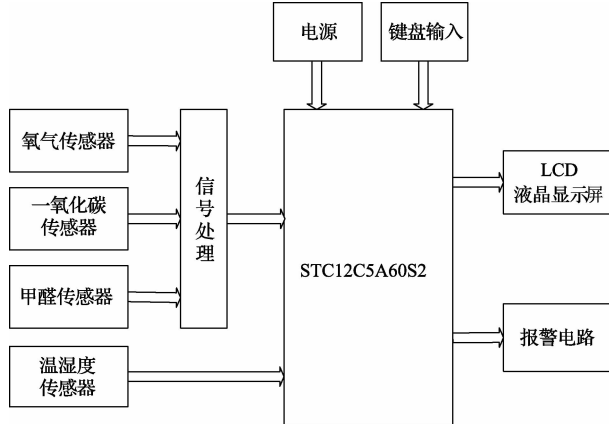


图1 系统总体

目标气体与气体传感器接触后便会产生特定的模拟信号,信号经过放大,接入3路10位高精度ADC进行同时转换,单片机将ADC实时采集回的这3路模拟电压信号按设定好的浓度与电压的对应关系函数程序进行运算和处理转换成数字信号。温湿度传感器直接与主控芯片相连,进行数据处理。单片机对数据处理后的结果由LCD液晶显示屏分别显示出被测室内空气的氧气、一氧化碳、甲醛的浓度值及温湿度。当气体浓度达到或者超过仪器设定的报警限制时,仪器产生报警。系统采用一键开关机^[3]。这样就实现了对室内空气质量参数的测量与控制。

3 硬件电路设计

本系统以宏晶科技的STC12C5A60S2作为主控芯片。该单片机具有以下特点:增强型的8051CPU,速度比普通8051快8~12倍^[4]。内部高精度R/C时钟,内部时钟可选5~35MHz可选;片内大容量2K字节的SRAM;共6个定时器/计数器;先进的指令集结构,兼容普通8051指令集,有硬件乘法/除法指令。自带的A/D转换器是10位8路高速A/D转换器。

3.1 氧气传感器信号处理电路

氧气传感器采用英国CITY公司的40XV,它是电化学传感器,具有高可靠性,优越的环境性能,检测范围在1%~25%VOL,适合作为室内氧气浓度的检测。氧气传感器有2个电极,感应电极和负电极。氧气在感应电极发生化学反应,在两电极间产生一个内部电流,电流值与氧气浓度成正比。在两电极间接入一个负载电阻,电流在负载电阻上产生一个电压,经运放放大后接到单片机A/D端口。氧气传感器处理电路如图2所示。

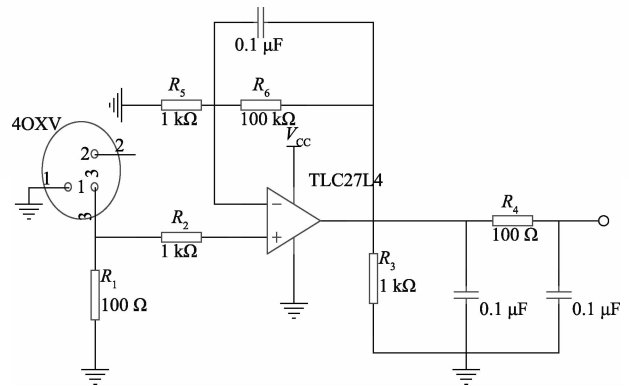


图2 氧气传感器处理电路

输出信号与浓度的对应关系:

该氧传感器产生的信号大多数时候可以当做线性处理^[5]。遵循下式: $S = K \log_e 1/(1 - C)$; S = 输出信号; C = 氧气浓度; K = 常量。

在空气中进行校准,取值20.9% ($S = 20.9, C = 0.209$),这样得到的 K 值是89.14。

3.2 一氧化碳、甲醛传感器信号处理电路

MQ-7、MQ-138都属于半导体电阻式传感器,所使用的气敏材料是电导较低的 SnO_2 ,当所处的环境中存在目标气体时,传感器的电导随空气中目标气体浓度的增大而增大,可将电导的变化量转换为与之对应的输出信号^[6]。MQ-7的探测范围为 $10 \times 10^{-6} \sim 100 \times 10^{-6}$;MQ-138的探测范围为 $1 \times 10^{-6} \sim 100 \times 10^{-6}$ 。半导体传感器的结构简单,成本较低,性能稳定,测量数据的范围和传感器的分辨率基本能达到室内环境检测的要求^[7-8]。

一氧化碳浓度与输出信号的对应关系:

传感器电阻(R_s),可用下式计算:

$$R_s = (V_c/V_{RL} - 1) \times R_L$$

如图3所示,传感器的核心是一个感应电阻,在加热状态下,它的阻值会随着空气中不同气体含量的变化而变化。通过它输出的点位信息可以反映出感应电阻的阻值和可调电阻的阻值比,知道了可调电阻的阻值,就可以计算出传感器的阻值 R_s 。

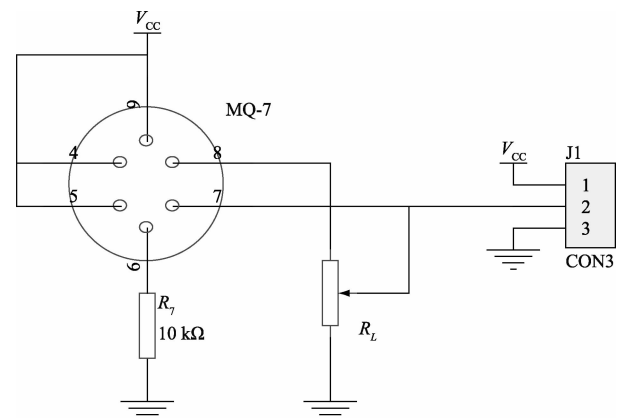


图3 一氧化碳、甲醛的电路原理

MQ-7 的灵敏度特性曲线如图 4 所示, R_s 表示传感器在不同浓度气体中的电阻值; R_0 表示传感器在 $1\ 000 \times 10^{-6}$ 氢气中的电阻值。

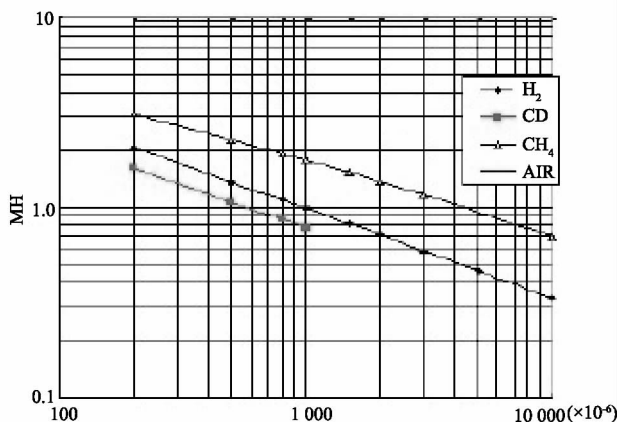


图 4 MQ-7 灵敏度曲线

元件的电阻与气体的浓度呈对数关系, 随气体浓度的增加而减小, 即 $y = -0.47x + 1.31$ 。

无法制造出一个 $1\ 000 \times 10^{-6}$ 的氢气环境。但查表得出, 空气中 R_s 与 R_0 的比值是 9.8, 因此, 在开机时, 可以在空气中先校准 R_0 , 每隔 500 ms 取一个数值, 共记录 50 个值, 然后取平均值, 就是最后的 R_0 的值了。

甲醛浓度与输出信号的对应关系:

MQ-138 的灵敏度特性图如图 5 所示, 反映了元件电阻和气体浓度之间的关系。

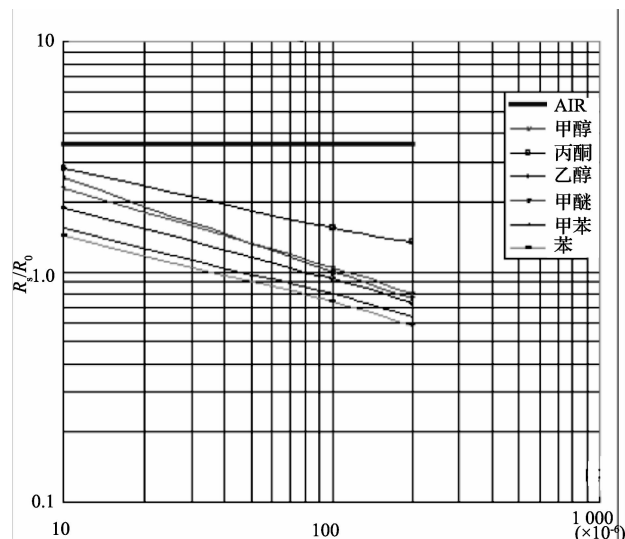


图 5 MQ-138 灵敏度曲线

R_s 表示传感器在不同浓度气体中的电阻值; R_0 表示传感器在洁净空气中的电阻值。

元件的电阻与气体的浓度呈对数关系, 随气体浓度的增加而减小, 即 $y = -0.2x + 0.4$ 。

3.3 温湿度传感器

如图 6 所示采用数字温湿度传感器 DHT11, 它是一款含

有已校准数字信号输出的温湿度复合传感器。它应用专用的数字模块采集技术和温湿度传感技术, 确保产品具有极高的可靠性与卓越的长期稳定性。DHT11 传感器包括一个电阻式感湿元件和一个 NTC 测温元件, 供电电压为 3.3~5.5V DC, 供电电流为 0.5~2.5 mA, 采样周期为 1 s。测量范围为湿度 20%~90%RH, 温度 0~50℃, 测量精度为湿度 $\pm 5\%$ RH, 温度 $\pm 2\%$ ℃, 分辨率为湿度 1%RH, 温度 1℃。数字式传感器内部自带 A/D 转换, 输出为数字信号可直接被单片机读取, 简化电路的同时也简化了系统的程序。

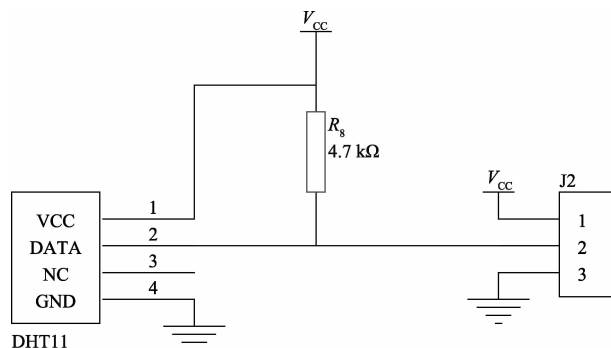


图 6 温湿度传感器的电路原理

3.4 电源

上面介绍的单片机与传感器以及 LCD 液晶显示屏均需要 5 V 供电, 用 12 V 电池做电源, 用 LM7805 进行电压调节, 就能满足整个系统。

4 系统软件设计

程序设计有信号采集、气体浓度计算、LCD 显示、键盘输入、报警输出几部分组成, 主要涉及 A/D 转换器、I/O 口的操作、定时器。主程序流程图如图 7 所示。

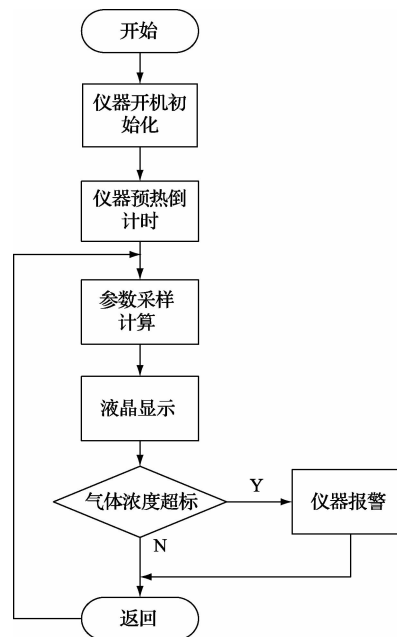


图 7 系统主程序流程

系统上电后,程序进行初始化,同时要给传感器预热,因为半导体电阻式传感器 MQ 系列在不通电的情况下存放一段时间后,再次通电时,传感器不能立即正常采集信息,所以需要预热 20 s。同时,液晶上会显示即时的室内温湿度、氧气、一氧化碳和甲醛的浓度值^[9]。而当一氧化碳的浓度值超过 100×10^{-6} 时,系统就会进行报警。

5 系统测试

整个系统只进行了部分试验:温湿度检测模块的测试。测试结果与传统的温度计测量值比较,温度计采用型号为 TH101B 室内温湿度计^[10],测量温度范围 $-30 \sim +50^{\circ}\text{C}$,误差小于 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。此数值与温度计所测数值比较,如表 1 所示,二者数值偏差在 1.3°C 左右。

表 1 温度测量结果比较

组别	传感器测量结果/ $^{\circ}\text{C}$	温度计测量数值/ $^{\circ}\text{C}$	偏差/ $^{\circ}\text{C}$
1	31.4	30	1.4
2	28.2	27	1.2
3	29.6	28	1.6
4	30.2	29	1.2
5	28.9	28	0.9

由表 1 可以看出,测得的实际值和本测量仪的标准值有一定的误差,由于 DHT11 传感器自身误差允许 $\pm 2\%$,所以测量结果在有效范围内。

6 结论

实现一个集多种气体、温度和湿度为一体的室内多功能测量仪,该测量仪包括硬件和软件 2 部分。系统以 STC12C5A60S2 单片机为控制核心,电化学氧气传感器 4OXV、半导体一氧化碳传感器 MQ-7、半导体甲醛传感器 MQ-138 以及温湿度传感器 DHT11 为数据采集器。如果监测到一氧化碳气体浓度超标,系统自动启动报警器进行报警,以提醒人们尽早做出相应的通风措施,以避免更大灾难的发生,保护人身健康。经过实验测试,本系统性能稳定,实现了设计的所有功能,具有成本低、操作简洁,实

用性强等特点,可用于室内空气质量的检测,具有现实的推广意义。

参考文献

- [1] 张华,杨莉. 多参数气体检测设备数据处理研究[J]. 自动化与仪表,2008,23(10):20-22.
- [2] 凌荣耀,欧林林,俞立,等. 便携式灭弧气体检漏仪的设计及实现[J]. 电子测量与仪器学报,2013,27(6):572-576.
- [3] 马嫚,程铅,陈慧,等. 基于信息融合技术的空气质量检测系统[J]. 电子器件,2013,36(4):554-558.
- [4] 陈伟根,李倩竹,徐苓娜,等. CuO-SnO₂ 纳米传感器的 H₂ 检测特性研究[J]. 仪器仪表学报,2013,34(10):2244-2250.
- [5] 城市技术气体传感器技术手册[EB/OL]. 2013.05. <http://www.citytech.com>.
- [6] 朱前伟,孙小进,赵小兵,等. 基于单片机的一氧化碳传感器的设计[J]. 计算机测量与控制,2009(7):1445-1446.
- [7] 兰羽,卢庆林. 基于 MQ138 传感器的甲醛检测仪设计[J]. 电子测量技术,2013,36(8):111-114.
- [8] 桂彩云,杨宏亮. 室内甲醛含量自动检测系统的设计与实现[J]. 国外电子测量技术,2014,33(7):40-44.
- [9] 兰羽,张顺星. 一种直射式光电浊度计的设计[J]. 国外电子测量技术,2013,32(1):53-55.
- [10] 李成祥. 智能型室内空气质量检测与控制系统[D]. 北京:北京交通大学,2011:20-34.

作者简介

郭全民,硕士,副教授,硕士生导师,主要研究方向为图像处理技术。

马旋坤,硕士研究生,主要研究方向为测量与控制技术、电子与通信工程。

E-mail:mxkjinrong@sina.com

王健,博士,教授,硕士生导师,主要研究方向为图像处理技术。