

声表面波煤矿瓦斯传感器声光报警系统的设计与制备

张 涛¹, 周晨蕾¹, 李海龙¹, 周亚洪¹, 兰鹏涛¹, 姚顺奇¹, 张旭辉², 郝迎吉²

(1 西安科技大学 理学院, 陕西 西安 710054; 2. 西安科技大学 机械工程学院, 陕西 西安 710054)

摘 要: 基于传统瓦斯传感器对应的打点声光报警设计, 具有反应周期长, 并不能完成自动控制的缺点, 应对新出现的声表面波瓦斯传感器的应用, 选用高性能处理器 STC89C52RC 芯片, 采用直接计数测频法, 完成对高频移信号的自动循环频率检测, 驱动语音芯片产生声光报警动作。该设计中 SAW 器件传感器频率测量具有与微处理器接口简单、工程上容易实现的高精度频率测量, 并使用 12 MHz 的有源晶振以提供时基频率, 以更好地提高频率测量过程中的精度, 从而满足应用需求。

关键词: 声表面波; 传感器; 瓦斯检测; 高频移; 声光报警

中图分类号: TD76

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2015)12-0122-04

The Sound and Light Alarm Circuit Design for Surface Acoustic Wave Methane Sensor

ZHANG Tao¹, ZHOU Chen-lei¹, LI Hai-long¹,
ZHOU Ya-hong¹, LAN Peng-tao¹, YAO Shun-qi¹,
ZHANG Xu-hui², HAO Ying-ji²

(1. Department of Applied Physics, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;

2. School of Mechanical Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: The sound and light alarm circuit of methane sensor based on traditional RBI needs a long response period, and it can't act with the automatic control. With the Surface Acoustic Wave (SAW) methane sensor being investigated, the better choice of high-performance processors STC89C52RC chip, using a direct frequency counting method, realizes the high-frequency signal automatic cycle detection among 50~450 kHz. With this design, the chip will drive voice chip to generate sound and light alarm action. The frequency measurement system for the SAW methane sensor has many features such as the simple microprocessor and easy implement of high precision frequency measurement. The application of active 12MHz time dependent frequency resonator can better improve the accuracy of the frequency measurement, which is mostly adapted for the application of SAW methane sensors.

Key words: SAW sensors; Methane detection; High frequency; Sound and light alarm

1 引言

声表面波煤矿瓦斯传感器声光报警电路与传统的燃烧式传感器的声光报警器不同, 燃烧式瓦斯传感器声光报警器电路原理多为打点信号灯, 其声光报警原理采用检测电压变化值, 经对电压信号 A/D

转化后, 控制产生声光报警。声表面波瓦斯传感器的传感原理关键信号是频率与相位, 这对其配套的声光报警装置提出了新的要求, 除了显示与声光报警部分电路外, 要在核心的信号处理与控制方面针对性地设计出适用于声表面波瓦斯传感器传感机理的信号识别与控制电路。

收稿日期: 2015-04-03; 修回日期: 2015-05-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(61201088); 陕西省科技统筹计划项目(2012KTCL01-12); 教育部博士点新教师基金(20106121120001); 陕西省教育厅产业化项目(2011JG10)

2 系统概述

声表面波瓦斯传感器是在 SAW 的传播路径上沉积有对瓦斯选择性吸附的薄膜,瓦斯存在时,敏感薄膜会吸附气体从而改变材料的质量、电导率、粘滞系数等,这样 SAW 在经过敏感吸附材料时,就会产生频率、相位等的改变.声表面波气体传感器的检测原理有三种:测频法^[4]、相位测量法^[5]和幅值检测法.后两种测量在过程中都要设计复杂的数学算法,对编程以及硬件要求高.鉴于目前成熟的测频技术,采用测频原理则可更直接、更高效地对传感信号进行提取与分析.因此,我们采用频率检测原理识别声表面波传感器输出的传感信号,并在该声光报警电路的设计中,舍弃了原有的 A/D 采集模块,使用微型处理芯片 MCU 对传感器滤波、放大、整形后的频率输出信号进行采集,通过标定报警频率的阈值,从而通过语音芯片控制完成声音和警灯报警.

当敏感膜为各向同性绝缘材料,膜对气体的吸附作用后,膜层密度 m (g/m^2),弹性参数 c (N/m^2),电导率 δ (S/m^2),介电常数 ϵ 都会发生改变,进而使 SAW 的 v_R 发生变化.设置环境温度为 t ($^\circ\text{C}$),压强为 p (Pa),则根据表面扰动原理可得频率变化公式为

$$\frac{\Delta f}{f_0} = -\frac{\Delta v_R}{v_R} - \frac{1}{v_R} \left(\frac{\partial v}{\partial m} \Delta m + \frac{\partial v}{\partial c} \Delta c + \frac{\partial v}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial v}{\partial \epsilon} \Delta \epsilon - \frac{\partial v}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial v}{\partial p} \Delta p \right),$$

因此精确测得了频率的偏移量,即可精确检测瓦斯气体浓度.

我们使用更加小巧的 MCU51 单片机 STC89C52RC 芯片作为主控芯片,通过 AP89042A 语音芯片来控制 16 Ω 的喇叭来完成声音报警,并通过控制小型 LED 警示灯来达到光报警功能. MCU 微控制器芯片功能稳定、性价比高,完全能够胜任单点监测与实施报警的要求,并利用 LCD12864 对结果进行显示.

3 硬件部分

传感器系统示意图如图 1 所示.

当检测到瓦斯浓度发生变化时,声表面波传感器的中心频率将会发生变化.系统采用 STC89C52RC 单片机对声表面波瓦斯传感器的中心频率偏移量进行检测与识别,并精确计算其偏移量数值.如果该频率变化值超过了标定时瓦斯浓度为 1% 时的设定值,即此时瓦斯浓度达到 1% 的超标

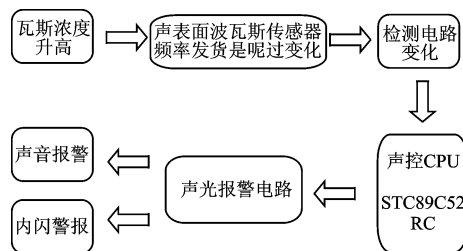


图 1 传感器系统示意图

界限,主控芯片 MCU 将执行产生一级报警的触发信号发送到声光报警电路,通过声光报警电路驱动声音报警器和光报警器发出警戒报警.同理,当瓦斯浓度超过 5% 或者 9.5% 所对应的设定值,系统将会通过相同过程产生二级或者三级声光报警.

该系统中,选用的 STC89C52RC 芯片,工作电压 5.5~3.4 V,工作频率范围 0~40 MHz,拥有 8 kB 的 Flash 程序存储器和 512 kB 的数据存储器,自带 3 个 16 位定时/计数器满足程序设计要求.语音芯片选择了 AP89042A,工作电压在 5~4.5 V,即图中的 U2,该芯片为一次性擦写功能的语音芯片,当采样率在 6 kHz 时,可存储 42 s,最多 12 段语音,具有按键模式和并口模式两种触发方式,按键与 CPU 两种控制方式.

电源模块采用稳定 5 V 直流电源,给单片机和语音芯片提供 5 V 电源.在语音芯片的控制上,采用 CPU 控制方式,通过 MCU 的 P1.0、P1.1 和 P1.2 三个管脚完成控制、调用在其芯片中提前灌入的三段语音数据.当瓦斯浓度标定值到达对应浓度 1% 时,单片机会对其作出反应,将 P1.0 拉高,控制语音芯片将会重复播报“请注意,浓度超标”,并伴随其 OUT1 口的 LED 灯的频闪警示.因为选择的声音覆盖设置,当检测到瓦斯浓度达到 5% 时,将会继续拉高 P1.1,控制语音芯片将会重复播报“浓度危险,迅速撤离”并伴随 LED 灯的频闪警示.如果浓度继续升高到 9.5% 时,将会继续拉高 P1.2,提示警笛声并伴随 LED 的频闪动作.

硬件电路设计图如图 2 所示.

4 软件部分

主程序部分的设计采用了循环对比的方式.系统上电后,微处理器可通过上电复位或按键复位,首先对单片机进行初始化,初始化之后系统开始工作.主程序循环采样 T1 计数器采集的检测频率,通过 MCU 的处理,完成对整个系统的控制.

声表面波瓦斯传感器传感信号最终输出频率段约为 300~450 kHz,所以在频率检测方面采用计数

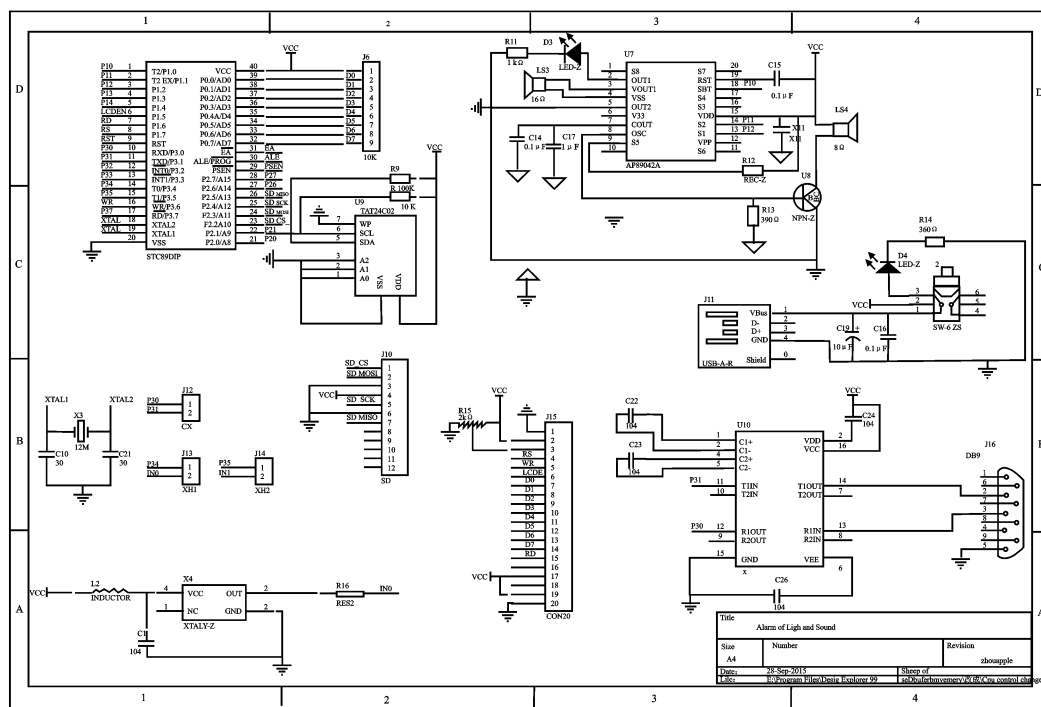


图2 硬件电路设计图

法的高频检测法,同等浓度下频率偏移量越大,那么测试结果的误差越小.测量过程中使用了两个定时/计数器 A 和 B, A 为输入信号的频率, B 为基准信号的频率. A、B 两个计数器在同一个闸门时间内分别对其输入信号和自己的信号进行计数,计数器 A 的计数值 N_a , 计数器 B 的计数值为 N_b . 因此,被测信号的频率公式为^[7-8]: $f_x = \frac{N_a * f_b}{N_b}$. 该方法的误差主要是在于计数器 A 多计或少计 1 个的误差,即相对误差为 $1/N_a$, 也就是频率越高,计的 N_a 值就越大,误差也就越小. 程序流程图如图 3 所示.

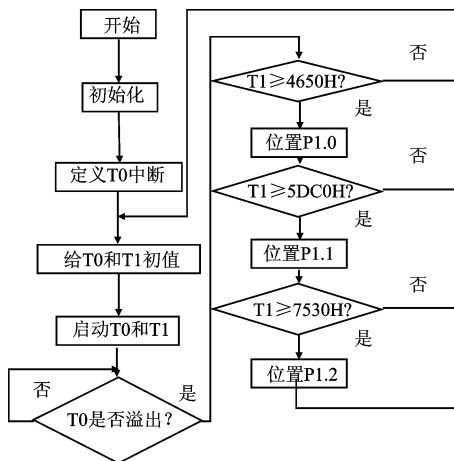


图3 程序流程图

本系统中使用了 MCU 中的 T0 和 T1 两个 16

位定时/计数器, T1 来作为计数器 A, T0 用来作为计数器 B, 并设置 A 的初值为零, B 的初值为 5 536, 在终端里及对其进行计算, 其中 B 信号采用 12 MHz 的有源晶振, A 为测试信号. 当 T0 计数到 FFFF 时溢出, 刚好进行了 0.06 s, 相当于每个测量周期为 0.06 s. 在每个检测周期中, 通过检测 T1 的计数值进行浓度是否超标的判断.

为了提高测试精度, 也在硬件的功能允许范围内, 本设计未采用器件进行信号分频处理, 而是直接将频率信号引进单片机的计数器, 进行计数和处理, 这样可以有效避免前面分析的误差扩大化. 假设被测信号的频率为 300 kHz, 如果将被测信号经过 10 分频以后, 再送给单片机计数测频, 这样频率分辨率则为 10 倍的 $1/N_a$, 导致测量误差变大. 而如果将 300 kHz 的被测信号直接送给单片机计数测频, 则其频率分辨率仍为 $1/N_a$, 大大减小了测量误差.

5 实验测试与分析

实验实物电路图如图 4 所示.

主要性能指标如下所示.

额定工作电压: 5 ~ 12 V, 最大工作电流: 200 mA.

报警 0.5 W 16 Ω 扬声器灵敏度: 90 dB/W.

发光二极管发出的光信号在黑暗中 20 m 远处清晰可见.

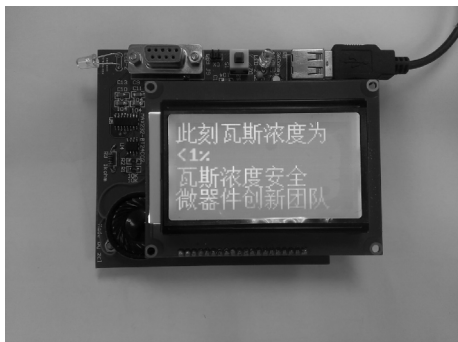


图4 实验电路板

自动巡检周期:0.06 s.

设置的三个报警点的测试结果如表1所示.

表1 设定三个报警点

报警分类	语音	最终报警 频率/kHz	预设报警 频率/kHz	相对 误差/%
一级报警	请注意,浓度超标	300.090	300	0.03
二级报警	浓度危险,迅速撤离	400.120	400	0.03
三级报警	警笛声	450.120	450	0.025

以上技术指标满足并远优于《煤矿安全监测系统通用技术要求(AQ6201—2006)》中对煤矿器件模拟量输入传输处理误差应不大于1.0%;累计量出入传输处理误差应不大于1.0%;最大巡检周期不大于30 s的主要技术指标要求.

6 结束语

本文设计的声表面波煤矿瓦斯传感器声光报警系统,可方便、准确地根据实际声表面波瓦斯传感器传感响应曲线调节报警频率点.经过多次测试,能够高精度、高稳定性地实时响应声表面波瓦斯传感器频率报警信号,满足声表面波瓦斯传感器声光报警

要求.

此外,声表面波瓦斯传感器的独特高频声信号传感原理,易于集成与无线化的优势,配合本声光报警系统的低数据容量及工作稳定性,将促进井下无线监测传感网络的成功实施,从而具备较大的二次开发空间,从而显著提高煤矿井下瓦斯监控技术和能力,减少人员伤亡与国有资产损失.

参考文献:

- [1] AQ6201—2006,煤矿安全监控系统通用技术要求[S].2006.
- [2] 王文,薛蕃峰,邵秀婷,等.基于反射型延迟线结构的无线无源声表面波测温系统[J].声学学报,2014,6(7):473-477.
- [3] 国家安全生产监督管理总局.煤矿安全规程[S].2012.
- [4] 陈荣忠,陈莉.声表面波气体传感器的理论分析[J].传感器技术,1997,10(3):27-30.
- [5] Jurgen Reibel, Stefan Stier, Achim Voigt, et al. Influence of Phase Position on the Performance of Chemical Sensors Based on SAW Device Oscillators[J]. Anal Chem,1998,70(24):5190-5197.
- [6] 张广标,祝龙记,王世俊.矿用本质安全型声光报警器设计[J].煤矿机械,2012,23(11):147-149.
- [7] 李欣唐,朱诚,杜涛,等.一种实时性较强的采样频率同步实现方法[J].电子技术应用,2000,26(8):20-21.
- [8] 黄俊,余水宝.基于STC12C5A60S2的高频高精度频率计的设计[J].微型机与应用,2012,31(17):22-24.

作者简介:

张涛男,(1977-),博士,教授.研究方向为功能材料与微型器件. E-mail: tzhang@xust.edu.cn

(上接第121页)

- [5] Jadcherla S, Bergeron J, Inoue Y, et al. Verification methodology manual for low power[M]. California: Synopsys,2009.
- [6] Srikanth, Vijayaraghavan, Meyyappan Ramanathan. A practical guide for system verilog assertions[M]. Berlin: Springer,2005.
- [7] Ashok B Mehta. System verilog assertions and functional coverage: guide to language, methodology and applications[M]. Berlin: Springer,2013.

作者简介:

孙健男,(1983-),研究生,工程师.研究方向为SoC验证. E-mail: sj_2003_ren@163.com

时鹏飞男,(1989-),本科,工程师.研究方向为SoC验证.

冯春阳男,(1980-),博士研究生.研究方向为微处理器设计、可重构计算、低功耗设计.

蒙玲女,(1988-),本科,工程师.研究方向为SoC验证.

张辉男,(1982-),研究生,工程师.研究方向为SoC验证.