

文章编号:1671-251X(2013)04-0027-04 DOI:

郝世东,梁永直,夏路易. 红外气体传感器信号调理及数据处理[J]. 工矿自动化,2013,39(4):27-30.

红 外 气 体 传 感 器 信 号 调 理 及 数 据 处 理

郝世东¹, 梁永直², 夏路易¹

(1. 太原理工大学 信息工程学院, 山西 太原 030024;

2. 太原理工大学 机械工程学院, 山西 太原 030024)

摘要:针对红外气体传感器易受外界光源、电磁等干扰影响,其输出信号中存在大量噪声而影响检测精度的问题,设计了一种红外气体传感器信号调理及数据处理电路。该电路采用硬件和软件相结合的方法,在硬件上设计了信号调理电路,在保证信号真实性的同时具有非常好的放大滤波功能;在软件上采用中位值平均滤波算法对信号进行处理,可有效克服信号中混入的噪声,且对周期性和热噪声产生的干扰也有很好的抑制作用。试验结果表明,该电路可有效滤除传感器中的大量噪声,准确提取有用信号,提高检测精度及稳定性,满量程精度可达0.54%。

关键词:红外气体传感器;信号调理电路;放大滤波;中位值平均滤波

中图分类号:TD711 文献标志码:A 网络出版时间:

网络出版地址:

Signal conditioning and data processing of infrared gas sensor

HAO Shi-dong¹, LIANG Yong-zhi², XIA Lu-yi¹

(1.College of Information Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2.College of Mechanical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract:In view of problems that infrared gas sensor is easy to be interfered by external optical source and electromagnetism, and its output signal is mixed with a lot of noise to affect detection precision, signal conditioning and data processing circuit of infrared gas sensor was designed. The circuit combines hardware with software. Signal conditioning circuit was designed in hardware, which has the extremely good enlargement filter function during meanwhile guarantees the signal authenticity. Way of median average filtering algorithm was used to process signal in software, which can effectively overcomes noise mixed in the signal and has good inhibitory action to the interference produced periodicity or thermal noise. The experimental results show that the circuit can filter out a lot of noise of sensor effectively and extract useful signal accurately of signal, improve detection accuracy and stability of sensor and its full scale measurement precision may reach 0.54%.

Key words:infrared gas sensor; signal conditioning circuit; amplification and filtering; way of median average filter

0 引言

传统的用于检测气体的传感器大多数通过其探头的电阻或电容变化来测定气体体积分数,灵敏度

低,抗干扰能力差。在工业生产自动控制中则主要采用气相色谱仪和计算机联用来检测气体,由于现场环境恶劣,其检测效果普遍不好,在实际应用中比较繁琐。而基于红外光谱技术的气体传感器可以较

收稿日期:2012-11-15。

基金项目:山西省回国留学人员科研资助项目(2011-030);山西省社会发展科技攻关计划项目(20120313029-1)。

作者简介:郝世东(1985—),男,山西文水人,硕士研究生,主要研究方向为智能传感器技术等,E-mail:haoshidong.190@163.com。

好地解决上述问题。就目前而言,红外吸收光谱法是最精确的气体检测方法,具有灵敏度高、测量范围宽、精度高、响应速度快、误报率低、不消耗气体等优点^[1]。但红外气体传感器信号易受外界光源、电磁等干扰影响,输出信号中存在大量噪声而影响检测精度。本文通过介绍红外气体检测原理和信号的特点,设计了一种可有效提高检测精度的信号调理电路和滤波程序,并给出实际测试图。试验证明该电路可有效滤除干扰信号,准确提取纯净有用信号,加以软件的辅助滤波,提高了传感器精度和稳定性。

1 红外气体检测原理

红外气体传感器的主要原理是基于甲烷对红外光谱的吸收原理,甲烷的吸收谱线峰值分别为 3.392、3.433、6.522 和 7.658 μm ^[2],其理论基础是朗伯-比尔(Lambert-Beer)定律:

$$I = I_0 \exp(-\alpha CL) \quad (1)$$

式中: I 为透射光强度; I_0 为入射光强度; C 为被测气体体积分数; α 为气体摩尔分子吸收系数; L 为光和气体的有效作用长度(气室长度)。

根据式(1)可知,如果 α 和 L 已知,通过测量 I 和 I_0 就可以得到 C 。对式(1)进行变换,得

$$C = \frac{1}{\alpha L} \ln \frac{I_0}{I} \quad (2)$$

根据式(2)设计红外气体传感器,其主要组成包括气室、红外光源、热释电传感头等器件。热释电传感头的 2 个窗口分别装有窄带滤光片,从而构成参比通道和气体通道,红外光源发出的光被气室内气体吸收后,由热释电传感头转换成可采集的电压值,两通道的电压比值便对应着当前气室内气体体积分数。由于热释电传感头必须有变化的光照才有信号输出,故对红外光源进行频率为 2 Hz 的频率调制,另外由于光照强度的限制,热释电传感头输出的信号很微弱,通过测试发现传感器的参比通道和气体通道的输出电压范围分别为大于 65 mV 和小于 120 mV,并且信号中经常掺杂几千赫兹的干扰信号,偶尔也会有 1 Hz 和 50 Hz 的噪声,主要是由于身体触碰、电磁干扰、市电干扰等环境原因造成的,对气体体积分数计算结果和精度影响比较大,这就要求必须设计一套符合该传感器的信号调理电路和滤波程序。

2 信号调理电路

检测信号的困难并不在于信号的微弱,而是由

于信号中存在大量的噪声,所以,将有用信号从强背景噪声中检测出来的关键是抑制噪声。提高信号检测灵敏度或者降低噪声的主要方法是分析噪声产生的原因和规律以及被测信号的特征,采用适当的技术手段和方法把有用信号从噪声中提取出来^[3]。

根据红外气体传感器输出信号的特征,为了保证调理后信号与原信号的一致性并最大限度地降低成本,本设计采用 2 路形式完全相同的单电源供电的两级放大滤波电路。每路调理电路的第一级为负反馈放大,主要作用是将所有信号放大到一定程度,调节两通道数据比值,并为后级滤波做基础;第二级主要作用是滤波,2 路采用结构和参数完全相同的无限增益多反馈有源二阶带通滤波器,该滤波器反相端输入,失真较小,对元件灵敏度要求比较低,能够达到很好的效果。

对于单电源运放,其输出电压范围在低电平以上,很少能够完全实现轨到轨摆幅,在实际应用中,只能接近到电源、地线轨的 50~200 mV,因此,对输入信号的范围有限制,为满足输入信号的需要,通常需要加参考电压,目的是使输出电压范围满足单电源运放的输出电压范围。本设计采用高精度、低噪声、低成本的集成运放 LM358,外加 1.2 V 参考电压。通过实际应用发现该电路能够有效滤除噪声,提高电路稳定性,并能准确提取有用信号。气测通道信号调理电路如图 1 所示。

根据电路的放大特性,第一级放大倍数计算公式为

$$A_1 = 1 + \frac{R_1}{R_{32}} = 1 + \frac{9.1}{4.7} \approx 2.94 \quad (3)$$

对于第二级电路,其传递函数为

$$G(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = -\frac{R_e R_g C s / R_{33}}{R_e R_8 C^2 s^2 + 2 R_e C s + 1} \quad (4)$$

式中: $V_o(s)$, $V_i(s)$ 为 V_o , V_i 的拉普拉斯变换; $R_e = R_{33} // R_{11}$; $C = C_{12} = C_{13}$; s 为复自变量。

这是一个具有零点的二阶系统,其系统的自然振荡角频率 $\omega_n = \frac{1}{C \sqrt{R_e R_8}}$,阻尼比为 $\zeta = \sqrt{R_e / R_8}$ 。

谐振频率为

$$f_p |_{\text{Hz}} = \frac{1}{2\pi C R_8 \zeta} = 2.014 \quad (5)$$

谐振放大倍数为

$$A_p = \frac{\sqrt{R_e R_8}}{2 R_{33} \zeta} = 7.7 \quad (6)$$

上限频率为

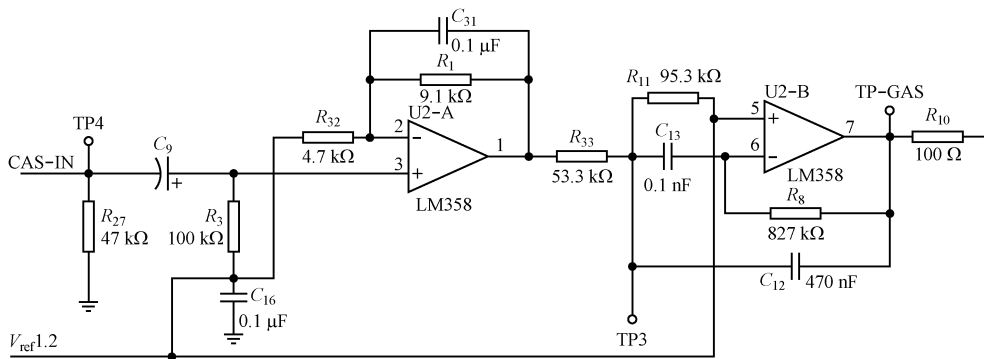


图1 气测通道信号调理电路

$$f_h|_{\text{Hz}} = \frac{\sqrt{1+2\zeta^2(1+\sqrt{1+1/\zeta^2})}}{2\pi\zeta R_8 C} = 2.5 \quad (7)$$

下限频率为

$$f_l|_{\text{Hz}} = \frac{\sqrt{1+2\zeta^2(1-\sqrt{1+1/\zeta^2})}}{2\pi\zeta R_8 C} = 1.68 \quad (8)$$

带宽为

$$f_b|_{\text{Hz}} = f_h - f_l = 0.82 \quad (9)$$

品质因数为

$$Q = f_p / f_b = 2.46 \quad (10)$$

由此,整个信号调理电路的放大倍数为

$$A = A_1 A_p = 2.94 \times 7.7 = 22.6 \quad (11)$$

通过测试,可得如图2所示的电路幅频特性实测曲线。

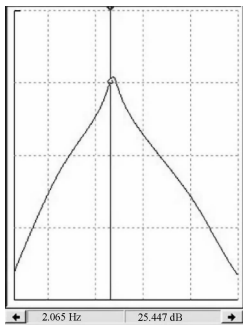


图3 电路频率特性曲线

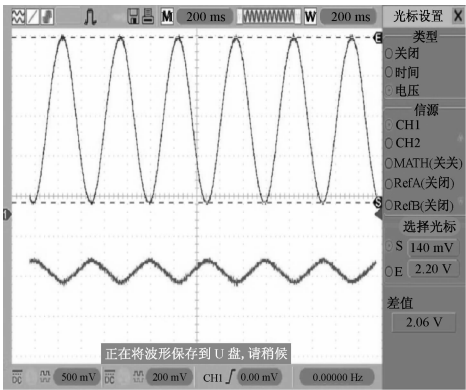


图2 电路幅频特性实测曲线

图2下半部输出的波形显示传感器输出的波形中夹杂着一些高频的噪声;上半部为通过信号调理电路处理后的信号,有效滤除了噪声,达到了预期的滤波效果。实际电路放大倍数为20.5倍,与计算值有偏差,其主要原因是电容的误差比较大,造成电路的中心频率偏移,传感器信号通过时有所衰减。其频率特性曲线如图3所示,横坐标表示频率,Hz;纵坐标表示衰减系数,dB/m。从图3可看出,电路中心频率为2.3 Hz,在2 Hz时大约衰减22.447 dB/m,虽有一定衰减,但仍在误差范围之

内,满足设计要求。因为最终使用的是2路数据的比值求甲烷体积分数,电路中只要焊接同批次的电容即可保证2路电路基本相同。另外,此电路稳定性较好,通过各种干扰测试,电路都可以很好地提取出有用信号。

3 数字滤波

本文设计所选用的红外探测器为双通道热释电红外探测器,其输出2路电压信号,分别为气测通道电压信号 U_{gas} 和参比通道电压信号 U_{ref} ,2路信号反映了 $\lambda=3.31 \mu\text{m}$ 波段的红外光通过待测气体后的强度变化,根据红外气体检测原理,2路信号与入射光强 I 有如下关系:

$$U_{\text{gas}} = I \exp(-\alpha CL) R_{\text{gas}} + I R_{\text{gas}} C_{\text{gas}} \quad (12)$$

$$U_{\text{ref}} = I R_{\text{ref}} C_{\text{ref}} \quad (13)$$

式中: C_{gas} 和 C_{ref} 分别为气测通道和参比通道的滤光片的特性常数。

将式(12)、式(13)相比得

$$\frac{U_{\text{gas}}}{U_{\text{ref}}} = \frac{\exp(-\alpha CL) R_{\text{gas}} + R_{\text{gas}} C_{\text{gas}}}{R_{\text{ref}} C_{\text{ref}}} \quad (14)$$

当甲烷气体体积分数为0时,式(14)为

$$\frac{U_{\text{gas0}}}{U_{\text{ref0}}} = \frac{R_{\text{gas}} + R_{\text{gas}} C_{\text{gas}}}{R_{\text{ref}} C_{\text{ref}}} \quad (15)$$

定义 $K_o = \frac{U_{\text{gas0}}}{U_{\text{ref0}}}$,将式(14)和式(15)相除得甲烷

体积分数检测理论公式:

$$F = \frac{U_{gas}}{U_{ref}} = K_0 \cdot \frac{\exp(-\alpha CL) + C_{gas}}{1 + C_{gas}} \quad (16)$$

可见 F 和体积分数 C 理论上呈指数关系,只要测出 F ,便可根据式(16)求出 C 。但是在实际中,由于各种因素的影响,很难找到一种合适的指数模型拟合这条曲线,只能将式(16)按泰勒公式展开,用多项式去拟合它们之间的关系,根据气测通道和参比通道的数据在 Matlab 中利用 polyfit 函数拟合 F 和 C 的多项式关系,由 $s = \text{polyfit}(F, C, 5)$ 得到其系数:

$$\begin{aligned} s(1) &\approx 691.723, s(2) \approx -4\,026.568, \\ s(3) &\approx 9\,345.564, s(4) \approx -10\,810.158, \\ s(5) &\approx 6\,231.542, s(5) \approx -1\,432.077 \end{aligned}$$

由以上分析最终得出公式为 $C = s(1) \times F^5 + s(2) \times F^4 + s(3) \times F^3 + s(4) \times F^2 + s(5) \times F + s(6)$,然后采取中位值平均滤波算法,将最后计算结果写入单片机,最后可计算出甲烷气体体积分数 C 。

中位值平均滤波法是中位值滤波算法和平均滤波算法组合的复合滤波算法,即在一定时间内,对输入信号进行连续采样,然后除去最大值和最小值,求取剩余采样结果的平均值^[4]。

在工程应用中,中位值平均滤波算法能够有效克服因偶然因素引起的波动干扰,消除由于脉冲干扰所引起的采样值偏差,并且对周期性和热噪声产生的干扰也有很好的抑制作用。采样次数的取值取决于系统参数,如果系统对灵敏度要求较高或者对反应时间要求较快,则采样次数的取值越小越好。考虑到灵敏度,以连续采样 8 次进行均值计算为宜。滤波后数据能够很好地保持信号的真实性,为单片机进行准确的甲烷气体体积分数转换提供了保证。具体方法:每次均值滤波处理后结果并不直接进行甲烷气体体积分数计算,而是与前次测量结果按不同权值求出一新的结果,该结果用于计算甲烷气体体积分数,公式为

$$\overline{C_n} = C_n P + \overline{C_{n-1}}(1 - P) \quad (17)$$

式中: $\overline{C_n}, \overline{C_{n-1}}$ 分别为 $n, (n-1)$ 次测量甲烷体积分数的加权平均值; C_n 为第 n 次测量甲烷体积分数; P 为权值,范围为 $0 \sim 1$,本文取 0.5 进行试验。

将传感器置于一个标准大气压($T = 24 \pm 0.2\text{ }^\circ\text{C}$)下,对传感器进行检测,得到如表 1 所示的数据。

表 1 实验测试甲烷气体数据 %

标定气体	0.5	1.0	2.0	3.0	3.5	6.5	10.0	30.0	50.0	70.0
实测气体	0.52	1.03	2.09	2.91	3.56	6.58	9.97	29.62	50.30	69.64
绝对误差	0.02	0.03	0.09	0.09	0.06	0.08	0.03	0.38	0.3	0.36
相对误差	4	3	4.5	3	1.7	1.2	0.3	1.3	0.6	0.5

由表 1 可知,随着甲烷气体体积分数值的不增大,相对误差大致呈减小趋势,当测量体积分数为 2% 的甲烷气体体积分数时,相对误差最大为 4.5%,分析误差造成的原因有拟合误差,由于标定的数据点有限,所测的关系式与真实关系式有一定误差,虽然采取了恒温措施,但是恒温箱内温度还有一定波动,由此造成了结果的不准确。根据满量程精度定义,到 70% 量程的精度 = 测量最大绝对误差/满量程 $\times 100\%$,得到甲烷气体体积分数检测的满量程精度为 0.54%。

4 结语

红外气体传感器信号调理电路可有效克服信号中混入的噪声,采用中位值平均滤波算法不仅对周期性和热噪声产生的干扰有很好的抑制作用,还提

高了电路的稳定性和精度,甲烷气体体积分数检测的满量程精度可达到 0.54%。

参考文献:

[1] 潘小青,刘庆成. 红外技术的发展[J]. 华东地质学院学报,2002,25(1):66-69.
[2] 张帆,张立萍. 红外吸收光谱法在气体检测中的应用[J]. 唐山师范学院学报,2005,27(5):62-64.
[3] 杨新峰,杨迎春,苑秉成. 强噪音背景下微弱信号检测方法研究[J]. 舰船电子工程,2005(6):123-125.
[4] 夏路易. 单片机原理及应用——基于 51 及高速 SoC51 [M]. 北京:电子工业出版社,2010:291-295.
[5] 牛余朋,成曙. 单片机数字滤波算法研究[J]. 中国测试技术,2005,31(6):98-99.
[6] 王艳菊,李东明,王玉田. 传感系统微弱光电信号处理电路的研究[J]. 自动化仪表,2006,27(10)33-38.