

• 激光测量与检测 •

用于 CO 激光 TDLAS 型气体检测系统的光电检测电路研制

黄 硕^{1,2}, 王 彪¹, 戴童欣^{1,3}, 连厚泉^{1,3}, 程林祥^{1,2}, 俞泳波^{1,3}¹中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033;²中国科学院大学, 北京 100049;³中国科学技术大学, 合肥 230026

摘 要: 准确检测 CO 浓度对环境保护和安全生产具有重要的意义, TDLAS 技术是一种高效、高精度的 CO 气体浓度检测方案。设计了一种用于 CO 激光 TDLAS 型气体检测系统的光电检测电路。CO 气体选择性吸收由激光器发出的特定波长信号, 而后光信号经过光电探测电路转换为有效的电压信号, 运用 TLC4545 模数转换芯片进行数据采集, 并将其发送到主控芯片 STM32F105R8 进行处理, 使用 W25Q128 闪存完成对实验数据的存储, 最后数据通过串口调试助手进行显示。经过实验表明, 该电路可以实时、稳定、精确地将光信号转换为电信号, 且灵活性强, 可应用于其它气体检测系统。

关键词: CO; TDLAS; 光电探测器; TLC4545

中图分类号: TN271.5 **文献标识码:** A **doi:** 10.14016/j.cnki.jgzz.2021.02.062

Development of photoelectric detection circuit for CO laser TDLAS gas detection system

HUANG Shuo^{1,2}, WANG Biao¹, DAI Tongxin^{1,3}, LIAN Houquan^{1,3},
CHENG Linxiang^{1,2}, YU Yongbo^{1,3}¹Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;³University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

Abstract: Accurate detection of CO concentration is of great significance for environmental protection and safety production. TDLAS technology is an efficient and high-precision CO gas concentration detection scheme. In this paper, a photoelectric detection circuit for CO laser TDLAS gas detection system is designed. CO gas selectively absorbs the specific wavelength signal from the laser, and the optical signal is converted into effective voltage signal by photoelectric detection circuit. The data is collected by TLC4545 analog-to-digital conversion chip, and sent to the main control chip STM32F105R8 for processing. At the same time, the W25Q128 flash memory completes the storage of experimental data, and finally the data is displayed through the serial port debugging assistant. Experiments show that the circuit can convert optical signal into electrical signal in real time, stably and accurately, and has strong flexibility, which can be applied to other gas detection systems.

Key words: CO; TDLAS; photodetector; TLC4545

1 引言

CO 是一种无色、有毒、可爆燃的气体, 人体吸入后会和血液中的物质发生反应, 从而导致机体组织无法吸收氧气, 出现缺氧现象甚至窒息死亡。同时, CO 是含碳元素的物质燃烧过程产生的中间产物, 在众多可作为检测燃烧生成物的指标气体中, 一氧化碳因浓

收稿日期: 2020-10-15

基金项目: 国家重大科研仪器设备研制项目(No. 61727822)

作者简介: 黄硕(1996-), 女, 硕士研究生, 主要从事嵌入式系统软硬件方面研究。E-mail: 1194451282@qq.com

通讯作者: 王彪(1981-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事嵌入式系统软硬件方面研究。E-mail: wb5996@163.com

<http://www.laserjournal.cn>

度变化明显、易于检测等特点,在煤矿爆炸事故中被广泛应用于火灾预警的指标气体^[1-2]。随着环境污染日益严重,CO 也可作为评价空气质量的主要污染物之一。

随着技术的发展和人们安全意识的普遍提升,对气体检测的精度和全面性要求越来越高,CO 检测技术也随之迅速发展。近年来,使用 TDLAS 技术的气体检测方法已经逐渐成为精确检测气体的重要办法^[3]。该方法参照被测气体红外波段的谱线强度变化选取特定的气体吸收峰,采用电流调谐的方式控制激光器发出与吸收峰相对应的特定波长激光,激光信号经过被测气体特征吸收后会发生光强的衰减,再对光电探测器检测到的数据进行相应的处理,以此来实现对特定气体浓度的高精度检测。TDLAS 气体检测技术具有选择性好、灵敏度高、检测速度快、使用寿命长等优点^[4-8]。

设计了一种用于 CO 激光 TDLAS 型气体检测系统的光电检测电路,将经过 CO 气体特征吸收后的光信号转变为电信号。光电探测器采用 Thorlabs 公司的 FGA01,其为 InGaAs 近红外光电二极管,通过 AD8033 芯片完成电流信号到电压信号的转换,采用 TLC4545 模数转换芯片进行信号采集,将其发送给主控芯片 STM32F105R8 进行相应处理,处理结果存储到 W25Q128 闪存里,最后经串口调试助手进行显示。此电路设计可以快速精确地将光信号转化为电信号,不仅适用于 CO 激光气体检测系统,而且同样适用于其它 TDLAS 激光气体检测系统。

2 模块整体设计

本系统主要由 4 个部分构成:光电探测电路、采样电路、主控电路、存储电路。系统的基本框图如图 1 所示。

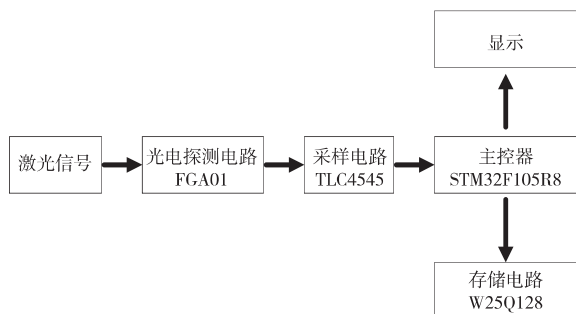


图 1 基本框图

光电探测器 FGA01 将接收到的光信号转化为电信号,由于激光光强经过 CO 气体特征吸收后发生衰减,选用 AD8033 高速放大器对输出电信号进行放大,采用 TLC4545 芯片进行信号采集,将得到的数据

发送回主控芯片 STM32F105R8 进行相应的处理,处理结果存储到 W25Q128 闪存中,最后通过串口调试助手显示,此设计可达到高精度光电转换的需求。

3 电路设计

3.1 光电检测电路

3.1.1 光电探测器选择

光电探测器以光电效应为工作原理进行光信号-电信号的转换。由于本系统选用 1 568 nm 作为 CO 气体的特定吸收波长,因此,采用 Thorlabs 公司 InGaAs 近红外光电二极管 FGA01,该光电二极管的接收波长范围为 800 nm ~ 1 700 nm,峰值波长为 1 550 nm,最大偏置电压为 20 V,暗电流最大值为 2 nA,其参数指标满足 CO 激光 TDLAS 型气体检测系统的波长要求,可以将经过 CO 气体吸收后的光信号转变为电信号。

FGA01 型 InGaAs 光电二极管的频谱响应如图 2 所示。

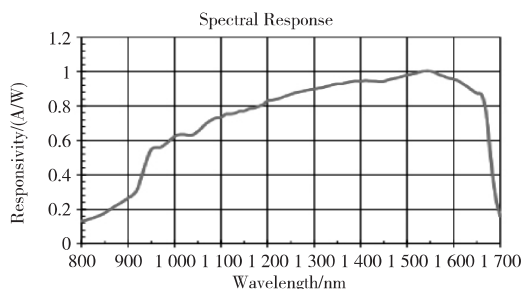


图 2 FGA01 型 InGaAs 光电二极管频谱响应

3.1.2 放大电路

光电检测放大电路对检测系统的性能影响较大。激光器自身的输出功率较低,信号经 CO 气体吸收后光强变弱^[9-10],并且在实际的探测环境中背景噪音等也会影响光电探测器的探测精度。

设计的放大电路首先进行电流信号-电压信号的转换,然后进行电压放大,在此过程中需要考虑高增益、宽频带、低噪声的设计需求^[11-12]。设计了一款针对以上需求的放大电路,可抑制系统噪声影响从而获得有效的电压信号,便于后续主控器进行数据处理。

放大器选用 AD8033,其是一种 80 MHz 带宽的场效应管输入放大器,轨对轨输出,具有宽电压范围(5 ~ 24 V)、高共模抑制比(-100 dB)、低噪音等优点,与同等价格的 FET 输入放大器相比,适用范围更广。此放大器可以满足本系统的需求。

光电探测器信号放大电路如图 3 所示。经过实验验证,该放大电路输出电压信号稳定,具有较高的信噪比。

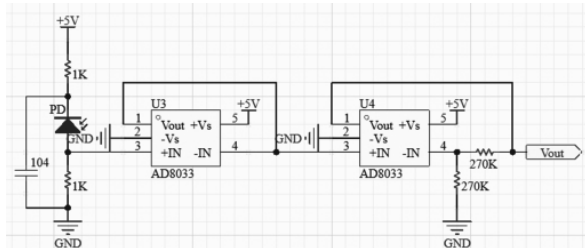


图3 光电探测器输出信号放大电路

3.2 采样电路

光电探测电路得到的是与激光强度成比例的模拟信号,为了便于后面数据的处理,需要将此信号转换为数字信号。本系统设计的数据采集电路模块运用 TLC4545 芯片进行模数转换,其是一款 16 位微型 CMOS 模数转换器(ADC),运行在 5 V 电压下,设备可用单、双或单端伪差分输入,具有性能高、功耗低的特点,芯片的自动断电模式增强了节电功能。该芯片具有速度高达 15 MHz 的 SPI 接口,可高速串行连接到 CPU,完成对输入模拟信号的高精度采样。

TLC4545 数据采集电路如图 4 所示,使用 5 V 电压进行供电,参考电压为 5 V,模拟信号通过引脚 6 AIN(+) 输入,片选和时钟信号由主控器 STM32F105 提供,转换后的数字信号由引脚 2 (SD0) 传给主控器进行处理。

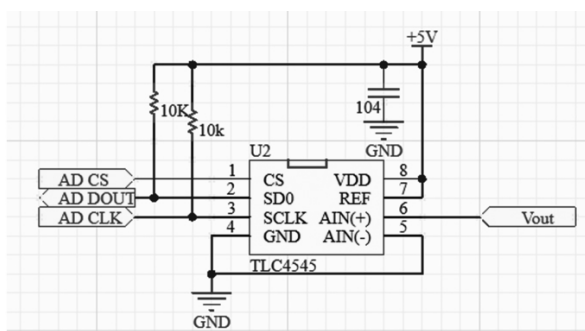


图 4 TLC4545 数据采集电路

3.3 主控器电路

本系统采用 STM32F105R8 作为主控芯片。其内核采用 Cortex-M3, 工作频率最高为 72 MHz, 供电范围为 2.0 V ~ 3.6 V。芯片包含 256 K 字节的闪存程序存储器、64 K 字节的 SRAM、两个 12 位的模数转换器、四个 16 位的定时器和 14 个不同的通信接口。

STM32F105R8 具有速度快、低功耗、高性价比等优点,被广泛地应用在嵌入式软硬件系统控制与电路设计中。该芯片可以满足系统设计需求,保证本系统准确高速地对电路进行控制和处理数据。STM32F105R8 电路如图 5 所示。



图 5 STM32F105R8 电路外部接口

STM32F105R8 驱动 TLC4545 进行模数转换,并控制其信号采集的开始、停止、采样速率,对转换后的信号进行数据处理,存储于 W25Q128 闪存中,然后通过串口调试助手发送至电脑进行显示。

3.4 存储电路

为方便的存储实验数据,可以采用外扩 SD 卡和存储芯片来实现。使用 micro-SD 卡来记录数据,其可以提供几乎“无限”的存储空间,运用 FatFS 文件系统与主机交换数据,但是 SD 卡需要占用 PCB 的空间,插座为需要接触的机械部件,在振动和腐蚀的环境中不可靠,并且成本高。为避免出现以上问题,本系统选择 FLASH 芯片进行数据存储,电路采用的是高容量的 W25Q128 闪存^[13-17]。

W25Q128 是一款 SPI 接口的闪存芯片,可用 2.7~3.6 V 的电压供电,激活时的电流功耗可低到 4 mA,睡眠时则可低到 1 μ A。其具有 128 Mbit 的存储空间,即 16 M 字节。操作时需要给 W25Q128 提供一个不低于 4 K 的缓存区,因此,要求芯片必须有 4 K 以上的 SRAM。主控芯片 STM32F105R8 具有 64 K 的 SRAM,可以控制此芯片进行实验数据的存储。其硬件接口如图 6 所示:

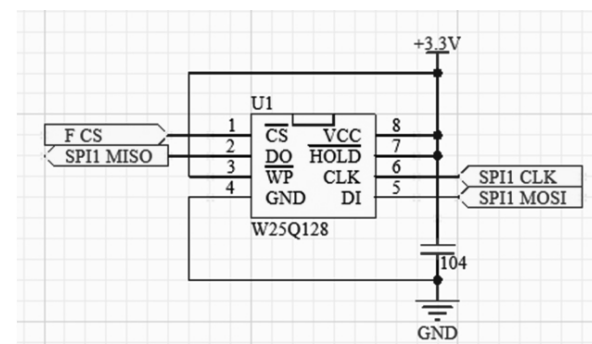


图6 W250128 硬件接口图

运用 W25Q128 芯片来存储经主控器 STM32F105R8 处理后的数据,可以方便地进行数据的读取和删除。保证了整个系统稳定且高效。

4 实验结果

光电探测电路的探测板如图 7 所示,主控板如图 8 所示。

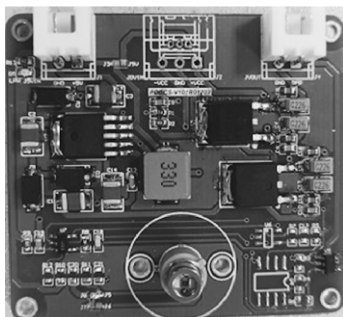


图 7 光电探测电路探测板

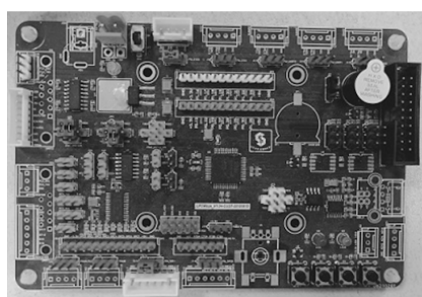


图 8 光电探测主控板

对本系统光电检测电路稳定性和精度进行测试,光电探测电路前端放置 VCSEL 激光器,在实验中采用不同的激光强度对光电器进行照射,通过串口调试助手记录其输出的电压值,记录测试数据如表 1 所示。

表 1 测试数据

输入激光强度	串口调试助手显示电压值			
	第一次	第二次	第三次	平均值
0.5 mW	0.961 V	0.963 V	0.965 V	0.963 V
1.0 mW	1.925 V	1.924 V	1.923 V	1.924 V
1.5 mW	2.884 V	2.881 V	2.885 V	2.883 V
2.0 mW	3.842 V	3.844 V	3.840 V	3.840 V

由上述测量结果可知,电路输出的电压值稳定、有效且精确度较高,符合本系统的预期期望,达到 CO 激光 TDLAS 型气体检测系统对光电检测电路的需求。

5 结论

针对 CO 激光 TDLAS 型气体检测系统,研制了一种光电转换电路。将 FGA01 型 InGaAs 光电二极管探测的信号,通过 AD8033 芯片完成电流到电压的转换,采用 TLC4545 模数转换芯片进行信号采集,将其发送给主控芯片 STM32F105R8 进行相应处理,处理

结果存储到 W25Q128 闪存里,最后经串口调试助手进行显示。经过实验验证该电路可以稳定、高精度地完成光信号到电信号的转换,并且具有较强的灵活性,本系统也同样适用于其他需要光电检测电路的 TDLAS 气体检测系统。

参考文献

- [1] 张保龙. 基于 TDLAS 的 CO 浓度检测系统的研究 [D]. 西安: 西安科技大学,2019.
- [2] 阮慧,郭少艾,房思超,王彪. 用于激光酒精气体检测的程控信号调制电路设计 [J]. 激光杂志,2014,35(11): 48-50.
- [3] 张继业,李雪,张建伟,等. 垂直腔面发射激光器研究进展 [J]. 发光学报,2020,41(12): 1443-1459.
- [4] 聂伟,阚瑞峰,杨晨光,等. 可调谐二极管激光吸收光谱技术的应用研究进展 [J]. 中国激光,2018,45(09): 9-29.
- [5] 田大鹏,邵晓鹏. 航空光学成像与测量技术新进展 [J]. 光学精密工程,2020,28(06): 1221-1225.
- [6] 程广壮,朱翠凤,张美婷,等. 狭缝中蒸发水分子的红外吸收光谱(英文) [J]. 发光学报,2020,41(01): 110-116.
- [7] 高瑞平,杨特育. 基于 TDLAS 的一氧化碳浓度检测的研究 [J]. 合肥学院学报(自然科学版),2011,21(03): 73-77.
- [8] 刘京,邓永停,李洪文. 基于级联滑模控制的高精度光电跟踪与捕获 [J]. 光学精密工程,2020,28(02): 350-362.
- [9] 周华,姚传飞,贾志旭,等. 中红外可调谐大能量飞秒脉冲激光产生 [J]. 发光学报,2020,41(04): 435-441.
- [10] 陈越,王彪,鹿洪飞,等. TDLAS 型 C₂H₂ 气体检测系统的光电检测电路研制 [J]. 激光杂志,2018,39(04): 15-18.
- [11] 王浩楠,岳小峰,徐海洋,等. 电极肖特基接触对有机光敏晶体管性能的影响 [J]. 发光学报,2020,41(03): 316-322.
- [12] 刘立富,邱梦春,温作乐,等. 基于 TDLAS 技术在线监测烟气排放一氧化碳的应用 [J]. 中国环保产业,2019(04): 29-32.
- [13] 李明星,陈兵,阮俊,等. 近海大尺度区域二氧化碳的激光在线探测技术 [J]. 光学精密工程,2020,28(07): 1424-1432.
- [14] 王彪,张国军,黄硕,等. TDLAS 型采用 VCSEL 光源的 H₂S 气体检测系统的研制 [J]. 激光杂志,2020,41(07): 47-51.
- [15] 王惠琴,杨顺信,李亚婷,等. 适合于大气激光通信的双空间调制 [J]. 光学精密工程,2020,28(03): 565-572.
- [16] 张可可. 光谱吸收式光纤气体检测理论及技术研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学,2012.