

· 光电测量与检测 ·

二氧化碳和甲烷复合气体数据采集检测系统设计

王彪¹, 戴童欣^{1,3}, 俞泳波^{1,3}, 程林祥^{1,2}, 连厚泉^{1,3}, 黄硕^{1,2}

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: 作为导致温室效应的主要气体, 二氧化碳和甲烷的排放主要来源于工业生产、冬季采暖及汽车尾气等方面, 其排量的增加会导致全球范围内的气候问题。结合新型 VCSEL 光源, 依据 TDLAS 技术构建一个“空分复用”复合型气体检测系统的数据采集部分, 用于存储气体检测时的温度、压力信号。本设计选用 ST 公司的 STM32H750 作为主控器, 主控芯片驱动双通道 DAC8563, 产生两路信号驱动 VCSEL 激光器; 采用 ADS8330 对激光器温度和气室压强进行采样后回传至主控器, 经主控器处理后在 LCD 屏幕实时显示, 并存储至 SD 卡中。通过实验测试, 本数据采集系统具有高速、直观和存储容量大等优点, 并可以灵活地推广到其他气体的 TDLAS 检测系统。

关键词: CO₂; TDLAS; 数据采集系统; STM32H750

中图分类号: TN271.5 **文献标识码:** A **doi:** 10.14016/j.cnki.jgzz.2021.07.028

Design of data acquisition and detection system of CO₂ and CH₄

WANG Biao¹, DAI Tongxin^{1,3}, YU Yongbo^{1,3}, CHENG Linxiang^{1,2},
LIAN Houquan^{1,3}, HUANG Shuo^{1,2}

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: As the main gas leading to the greenhouse effect, carbon dioxide and methane emissions mainly come from industrial production, winter heating and automobile exhaust, and the increase in their emissions will lead to climate problems worldwide. Based on the new VCSEL light source, the data collection part of a compound gas detection system based on TDLAS technology to store the temperature and pressure signal during gas detection. The STM32H750 of ST is used in this design as the main controller, the main control chip drives two-channel DAC8563, produces two signal drive VCSEL laser; ADS8330 samples the laser temperature and air chamber pressure and passes back to the main controller, displayed in the LCD screen after the main controller and stored in the SD card. Through experimental verification, the present design can accurately and intuitively collect the signal, and can be flexibly extended to the TDLAS detection systems of other gases.

Key words: CO₂; TDLAS; data acquisition system; STM32H750

1 引言

随着 1978 年我国改革开放以来, 中国工业化的脚步突飞猛进, 各种工业项目如雨后春笋、遍地开花, 实现了“世界迈一步, 中国迈三步”的跨越式进展。然而, 伴随着工业发展, 不可避免地产生了一系列环境

收稿日期: 2021-01-18

基金项目: 国家重大科研仪器设备研制项目(No. 61727822)

作者简介: 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>

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

问题。温室效应、酸雨、雾霾及臭氧层破坏等现象已经严重影响到人们的日常生产。近年来,由于天然气价格和污染程度较于汽油和柴油有明显的优势,以天然气作为能源的车辆迅速崛起。虽然天然气传统上被认为是一种较为清洁的化石能源^[1],其有较低的碳排放和大气污染物排放,但天然气机动车的甲烷排放却很少被定量分析。因此,天然气机动车的甲烷(天然气的主要成分)和二氧化碳(甲烷燃烧产生)排放可能会显著提高其温室气体排放带来负面的气候影响。因此,不仅应该想方设法消减二氧化碳的排放量,更应将减少甲烷的排放视为第一要务。加大温室气体的排放控制力度,需要以准确快速地测量温室气体的浓度为前提,才能方便环保部门监督并有效控制使污染气体的排放降到最低。

结合新型 VCSEL 光源^[2-5],设计一种用于基于“空分复用”技术的 CO₂ 和 CH₄ 复合气体的 TDLAS 型检测系统^[6]的数据采集部分,用于存储并显示气体检测时的温度压强等信号。所设计的数据存储电路采用 LCD 进行显示,并将数据存储至 SD 卡中,实现了高精度的数据采集,并增大了数据的存储量,具有良好的实时性和直观性。经过实验,该电路可以有效地提取并存储 TDLAS 系统的温度和压力信号,可以有效集成在 TDLAS 型气体检测系统中。

2 系统基本设计

系统主要由以下 6 个部分构成:两个 VCSEL 激光器、双通道 D/A 驱动电路、A/D 采样电路、基于 STM32H750 的主控器电路、SD 卡存储部分以及 LCD 屏显部分。图 1 为系统的整体框图。

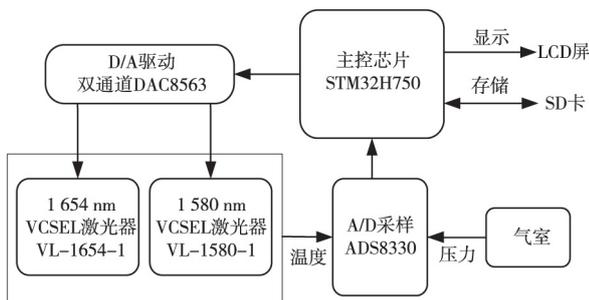


图 1 整体框图

采用主控器 STM32H750 控制双通道数模转换器 DAC8563 产生两路控制信号;依据 TDLAS 技术,选择 1 581 nm 作为 CO₂ 气体检测的吸收峰,选择 1 654 nm 作为 CH₄ 气体检测的吸收峰,光电探测器选用 VERTILAS 公司的 VCSEL 激光器 VL-1580-1 和 VL-1654-1;采用 ADS8330 芯片采集得温度和气压转化成数

字信号后,上传至主控器处理;经处理后数据上传至 LCD 进行显示,并存储至 SD 卡。

3 硬件电路设计

3.1 激光器控制电路

3.1.1 主控器电路

该系统选用意法半导体公司的一款基于 ARM Cortex-M7 架构的高性能嵌入式处理器 STM32H750 作为系统的主控器。此芯片内部具有 1 056 KB 的片内静态内存和 128 kB 的高速 Flash 存储器。STM32H750 作为最新一代微处理器,拥有丰富的外设,具有多达 35 个通信外设,并具有 2 个 12 位 2 通道 DAC 和 3 个 16 位 20 通道高速 ADC。该芯片丰富的内部资源以及足量的 IO 口,满足本系统的设计需求。

本系统通过主控器 STM32H750 控制双通道数模转换器 DAC8563 产生两路模拟信号控制两路激光器扫描固定频率的激光;主控器接收并处理 ADS8330 采集的温度和压力信号后,传送至 LCD 进行屏显,同时通过 SPI 的方式写入 SD 卡。

主控器 STM32 的连接图如图 2 所示。

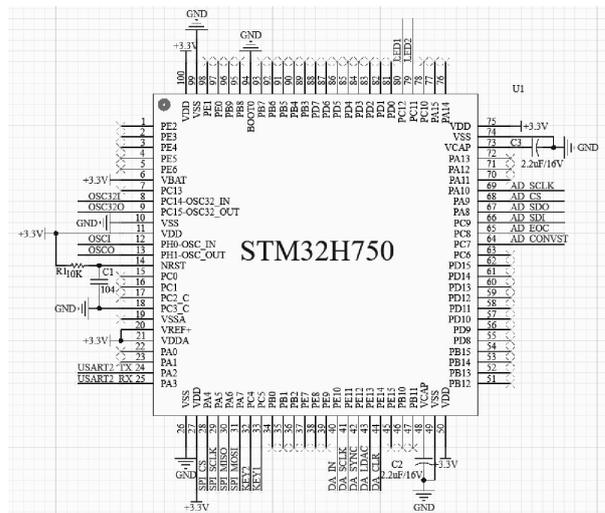


图 2 STM32H750 最小系统电路

3.1.2 驱动信号产生电路

基于 TDLAS 技术检测原理,需要控制激光器产生一定波长的激光,并由气体选频吸收后经光电探测器接收转换。为使两路激光器产生气体检测所需中心波长在 1 580 nm 和 1 654 nm 的激光,需要设计一个高精度、低功耗和小体积的信号产生电路。该驱动信号产生电路选用 DAC8563,由 STM32H750 主控器控制数模转换器 DAC8563 产生两路驱动信号,控制两路激光器产生固定波长的激光。由 DAC8563 构成的驱动信号产生电路如图 3 所示。

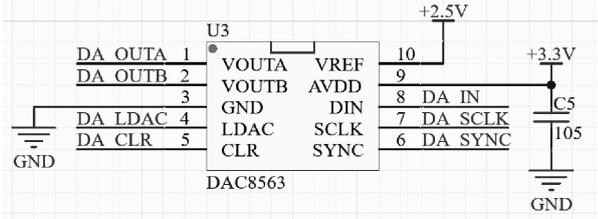


图3 DAC8563 信号产生电路

DAC8563 是一款 2 通道的 12 位数模转换器,该芯片兼容 SPI、QSPI 和 DSP 接口,具有 2.5 V 内部参考电压,可以提供较好的线性度和极小的电子脉冲。DAC8563 在不工作时具有断电功能,能有效地减小功耗,被广泛地应用于便携式设备和数据采集系统中。经测试,该信号产生电路可以满足该系统高精度驱动激光器的需求。

3.2 VCSEL 激光器

根据 TDLAS 技术的理论要求,进行气体浓度光谱检测的关键,在于选取合适的被测气体的吸收峰,因此,需要先确定气体目标吸收峰,以便于选择对应的 VCSEL 激光器完成整体硬件系统的设计。^[7-10] 考虑到选择的吸收峰尽量减少无关气体的干扰,选择在近红外波段的吸收峰 1 580 nm 和 1 654 nm 作为系统的目标吸收峰。因此选择 VERTILAS 公司型号为 VL-1580-1 和 VL-1654-1 的 VCSEL 激光器如图 4 所示。

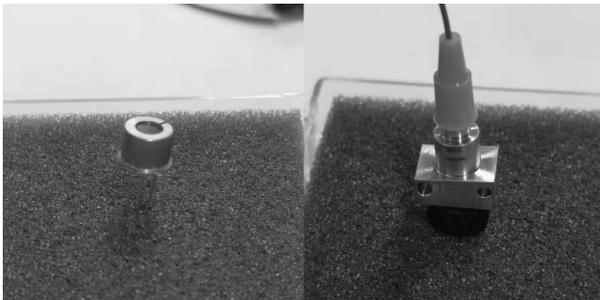


图4 VERTILAS 公司的 VCSEL 激光器

经实验,VL-1580-1 和 VL-1654-1 激光器较好地满足了 CO₂ 和 CH₄ 复合气体检测系统的性能指标,可以准确地产生固定波长的激光信号,符合该系统的性能需求。

3.3 采样电路

为保持 VCSEL 激光器的输出稳定性,需要设计实时监测温度、压强的采样电路^[11-13],实现对激光器和气室的环路控制,控制激光器的温度和气室的压强处于稳定。该设计选用 TI 公司的高速、低功耗的模数转换器 ADS8330 将传感器获得的模拟信号转换成

数字信号,以便主控器对数据进行处理。

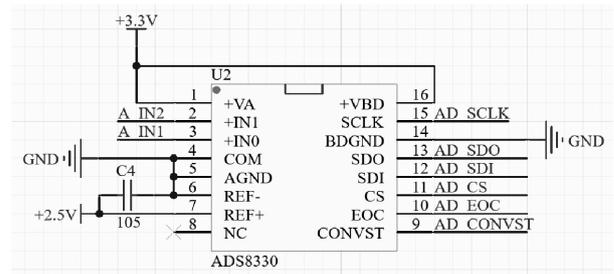


图5 ADS8330 采样电路

单级输入的 ADS8330 是一款低功耗的 16 位基于电容的 SAR ADC,具有优秀的交流性能和 93 dB 的较大的信噪比。设备提供高速、1.65 ~ 5.5 V 的宽电压串行接口,数字输出支持 SPI 和 DSP 串行接口,减少了对主控器资源的占用。在使用多个转换器时可以进行链式操作进行断电。ADS8330 高达 50 MHz 的采样率满足了采样高精度的要求。经实验可以精确稳定地对信号进行采样。

3.4 SD 卡和 LCD 显示

为保证系统数据的存储量 and 安全性,便于存储和查看,本设计选用存储量 1 G 的 SD 卡将数据存储^[14-15]。基于 SPI 通信的 SD 卡存储电路如图 6 所示。

本设计选用 SPI 方式与 SD 卡进行数据传输,采用 SPI 方式进行数据传输,该方式速度快、稳定性好、可以有效地减少主控器引脚资源。为了有效读取 SD 卡中的数据,需要转换 SD 卡中的数据格式,本设计通过移植 FATFS 系统来实现 PC 端对 SD 卡的读写。FATFS 是一种基于 C 语言的开源系统,由于代码占用空间小,适用于各种嵌入式应用。

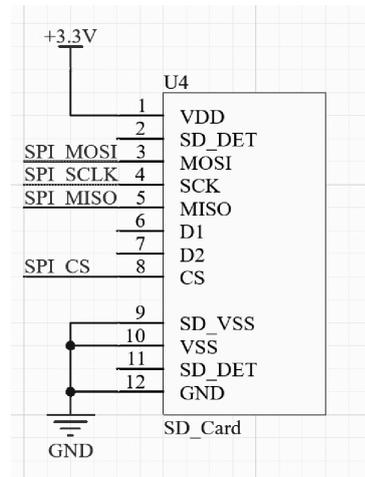


图6 SD 卡接线电路

为直观地显示温度压强数据,实时地观测系统工作时的温度压强数据,本设计选用 LCD 驱动器

ST7789V 驱动分辨率为 135* 240 的 1.14 寸 IPS 屏。在控制器的驱动下,通过 LCD 驱动模块对待测的气室压强和激光器温度数据进行显示。

经实验证明,该 SD 存储电路满足该设计的要求,进行有效安全的存储。

4 实验结果

经检测本系统可以对 TDLAS 检测系统所需的环境数据进行采样处理,压强精确度可以达到 0.1 kPa,温度精确度可以达到 0.1 °C,采样率达到 50 KSPS,采样过程精准稳定。SD 卡存储的部分温度压强统计数据如表 1 所示:

表 1 统计数据

时间/s	压强/kPa	温度/°C
1	101.2	26.2
2	100.9	26.8
3	100.8	26.8
4	100.3	26.4
5	100.4	26.3

图 7 是系统进行 1 000 s 内的温度波动数据,由图可以看出该数据采集存储电路采集数据精度高、数据存储量大、稳定度高,可以很好地满足 TDLAS 型复合气体检测系统的采集要求。

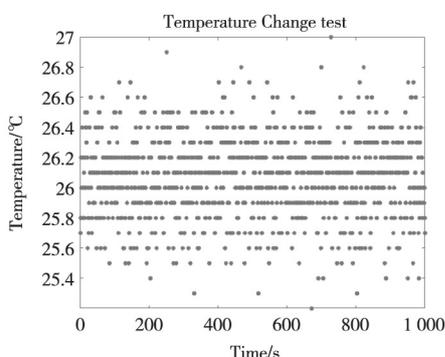


图 7 1 000 s 温度监测数据

5 结论

基于对 CH₄ 和 CO₂ 复合气体的检测需求,设计了一种用于 TDLAS 型激光气体检测的大容量检测数据存储系统,用于存储气体检测系统工作时的温度、压强等环境信息。采用 STM32H750 作为核心控制器,控制双通道 DAC8563 产生两路驱动信号,对激光器进行驱动;采用 ADS8330 结合温度、压强传感器实时对温度压强进行采集;将采集的数据上传至主控器进行转换后,在 1.14 寸 IPS 屏上进行显示,并存入移植 FATFS 系统的 SD 卡,方便地进行存储和显示。经

测试证明,该数据采集系统可以有效、稳定地存储并直观地显示检测数据,有效地增加了检测系统的存储量,检测精度好,可以推广至多种气体的 TDLAS 型气体检测系统。

参考文献

- [1] Hopkins Matthew G., Siahvashi Arman, Yang Xiaoxian, Richter Markus, Stanwix Paul L., May Eric F.. A microwave sensor for detecting impurity freeze out in liquefied natural gas production [J]. Fuel Processing Technology, 2021, 219.
- [2] 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.
- [3] 王小龙,邹永刚,郝永芹,等.宽范围、偏振稳定的 850nm 液晶可调谐垂直腔面发射激光器特性[J].发光学报,2020,41(10):1287-1293.
- [4] Hinkley E D. High-resolution infrared spectroscopy with a tunable diode laser [J]. Applied Physics Letters, 1970, 16(9):351-354.
- [5] 王傲,邹永刚,李明宇,等.高调谐效率 V 型腔可调谐半导体激光器设计与研究[J].发光学报,2020,41(08):977-983.
- [6] 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.
- [7] 班雪峰,王翠鸾,刘素平,等.808 nm 大功率分布反馈激光器列阵研制[J].发光学报,2021,42(04):504-509.
- [8] 朱凡,李颖先,谭久彬.高精度激光光束准直系统设计[J].光学精密工程,2020,28(04):817-826.
- [9] 杨滨赫,蔡引娣,文志祥,等.长距离激光测量中光束漂移的自动补偿[J].光学精密工程,2020,28(11):2393-2402.
- [10] 代志诚,谷燕,张秀梅,等.具有高增益的 AlGaIn 日盲紫外雪崩光电二极管[J].光学精密工程,2020,28(12):2614-2621.
- [11] 裴燕青,张刘刘,陈苗根,等.板上芯片集成封装发光二极管的光色检测系统[J].光学精密工程,2016,24(1):39-44.
- [12] 王彪,鹿洪飞,李奥奇,等.采用 VCSEL 激光光源的 TDLAS 甲烷检测系统的研制[J].红外与激光工程,2020,49(04):131-137.
- [13] 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.
- [14] 汤才刚,刘京京,沈瑞东.STM32 单片机的 SD 卡存储器读写模块设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2020,20(12):75-78+83.
- [15] 罗雄飞.基于 SD 卡的风电变流器存储设计与应用[J].工业控制计算机,2020,33(06):97-98+102.