

基于 Zynq 的 TDLAS 型 CO₂ 气体检测数据采集系统设计

张 瑞^{1,2}, 王 彪¹, 薛金波^{1,2}, 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:在深地资源勘探领域,为确保人员和设备的安全需要精准检测 CO₂ 气体浓度。基于中红外 TDLAS 技术设计了一种检测 CO₂ 气体浓度的数据采集系统,该系统选用 Xilinx Zynq-7000 系列的 XC7Z020 作为主控芯片,由芯片内部集成的 XADC 模块采集气体的温度和压强数据,传输至主控芯片的 PS (Processing System) 端;利用高速 ADC 芯片 AD9248 采集基波信号和二次谐波信号,主控芯片 PL (Programmable Logic) 端对数据进行均值处理,均值计算参数受 PS 端控制,最后主控芯片对多组数据进行整合处理并通过 USB 接口按照规定的数据协议发送至上位机。经实际测试,该系统可以高速、稳定地采集处理数据,并且可以适用于其他气体的 TDLAS 检测系统。

关键词: Zynq; TDLAS; CO₂; 数据采集

中图分类号: TN271.5 **文献标识码:** A **doi:** 10.14016/j.cnki.jgzz.2022.10.030

Design of data acquisition system for TDLAS-type CO₂ gas detection based on Zynq

ZHANG Rui^{1,2}, WANG Biao¹, XUE Jinbo^{1,2}, 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: In the field of deep resource exploration, precise detection of CO₂ gas concentration is required to ensure the safety of personnel and equipment. This paper designs a data acquisition system for detecting CO₂ gas concentration based on mid-infrared TDLAS technology. The XC7Z020 of the Xilinx Zynq-7000 series is selected as the main control chip for this system, the temperature and pressure data of the gas are collected by the XADC module integrated in the chip, and transmitted to the PS (Processing System) side of the main control chip; the AD9248 high speed ADC chip is used to acquire fundamental and second harmonic signals, the mean value is calculated and processed by the PL (Programmable Logic) side of the main control chip, the calculation parameters are controlled by the PS. Finally, the main control chip integrates multiple sets of data and sends them to the host computer through the USB interface according to the specified data protocol. After actual test, the system can collect and process data in a high-speed and stable manner, and can be applied to TDLAS detection systems for other gases.

Key words: Zynq; TDLAS; CO₂; data acquisition

1 引言

二氧化碳 (CO₂) 是一种无色、无味、不可燃烧且溶于水呈弱酸性的气体,常作为石油和天然气的伴生气体存在于油气能源中^[1]。在深地资源勘探领域,流动的二氧化碳气体会腐蚀传输管道^[2],溶于水后会对部分仪器设备具有腐蚀性。此外,长时间吸入高浓度的 CO₂ 中会导致人体缺氧,甚至会造成人员昏迷。因

收稿日期: 2022-06-04

基金项目: 国家重大科研仪器设备研制项目 (No.61727822)、白求恩医学工程与仪器中心项目 (No.BQEGCX2021023)、吉林省与中国科学院科技合作高技术产业化专项资金项目 (No.2021SYHZ0012)

作者简介: 张瑞 (1998-), 男, 硕士研究生, 主要从事嵌入式系统软硬件方面研究。E-mail: zr2021416@163.com

通信作者: 王彪 (1981-), 男, 博士, 副研究员, 博士生导师, 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>

此,需要研制一种能够精确检测 CO₂ 气体浓度的数据采集系统。

近年来,TDLAS 技术以其独特的优势被广泛应用于气体检测领域,相较于传统的气体检测方法其具有高分辨率、高响应速度、高稳定性等优点^[3-9]。基于 TDLAS 检测技术,CO₂ 气体在 2.7 μm 的区域具有强吸收带,通过分析 2 682 nm 波长的激光束被待测 CO₂ 气体选择性吸收情况,从而确定 CO₂ 气体的浓度信息。

针对中红外 TDLAS 型 CO₂ 气体检测技术,设计并研制了一种基于 Zynq 的 CO₂ 气体检测数据采集系统^[10-12],以 Zynq-7000 系列的 XC7Z020 为主控芯片,实现对 CO₂ 气体温度、压强、基波信号和二次谐波信号的采集、处理和上传。

2 系统整体设计

系统整体框图如图 1 所示。主要由三个部分组成:基于 Zynq-7000 系列 XC7Z020 芯片的主控单元、A/D 采集单元以及上位机。

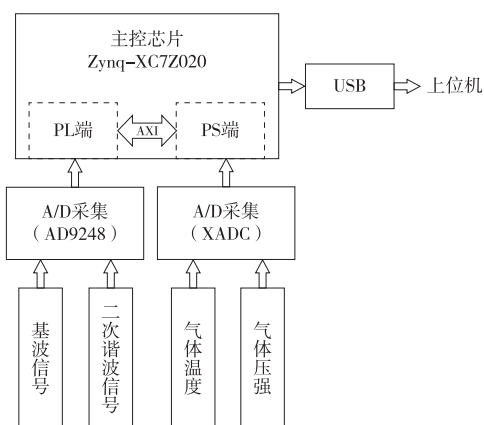


图 1 系统整体框图

针对不同信号的采集需求,系统使用了两种相互独立的 A/D 采集模式。外部 AD9248 芯片高速获取基波信号和二次谐波信号,数据通过 XC7Z020 芯片 PL 端均值计算处理后存储在芯片内存中,PS 端通过 AXI 接口控制 PL 端的均值计算参数;主控芯片内部的 XADC 模块对变化速率较慢的气体温度和压强信号进行模数转换,转换完成的数据由 PS 端读取,最终数据经过主控芯片整合处理后发送到上位机。

3 电路设计

3.1 主控电路

CO₂ 气体数据采集系统需要对快速变化的气体吸收信号进行高速数据采集及处理,对慢速变化的气体温度和压强数据进行低速采集及处理,为适应以上两种数据采集需求并提升系统集成度,主控芯片选用了 Xilinx 公司 Zynq-7000 系列的 XC7Z020 芯片。该

芯片内部主要由两部分组成:PL 端类似于一块 Artix-7 FPGA 芯片,其具有 74000 个可编程逻辑单元,2 个 12 位模数转换器(XADC);PS 端包含两个完整的 ARM Cortex-A9 处理器,具有 UART、CAN、SPI 等常用接口功能。芯片内部集成了 USB 控制器,可与外部设备直接通过 USB 接口进行数据传输;同时 Xilinx 公司在 Zynq 芯片内部设计了一种 AXI 总线协议,用于实现 PS 端与 PL 端之间的数据传输。如图 2 所示,主控制器自身集成了丰富的硬件资源,可以满足系统设计要求。

通过配置主控芯片内部的 PS-XADC 接口使 ARM Cortex-A9 处理器直接控制芯片内部的 XADC 模块,采集并处理气体的温度和压强数据;使用 PL 端的 FPGA 搭建对高速数据进行均值计算处理的硬件电路,ARM 内核使用 AXI 接口设置均值计算参数,最后由主控芯片通过 USB 接口进行数据传输。

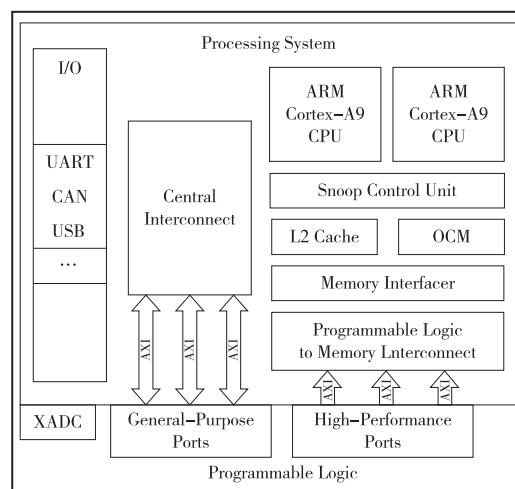


图 2 XC7Z020 基本框图

3.2 A/D 采集电路

为满足系统对高速和低速两种类型信号的采集需求,设计与不同类型信号相匹配的模数转换电路。使用 ADI 公司生产的 AD9248 芯片搭建高速信号采集电路来获取基波信号和二次谐波信号,电路如图 3 所示。低速变化的温度压强信号由主控制器内部集成的 XADC 模块直接获取^[13],模块结构如图 4 所示;

AD9248 是一款具有双采样通道的 14 位并行 ADC 芯片,通道 A 采集基波信号,通道 B 采集二次谐波信号,采样率高达 65 MSPS,单个通道的功耗为 300 mW,使用 3.3 V 电源供电,电阻 R1 配置为 7.5 kΩ,R2 配置为 1.5 kΩ,参考电压:VREF=0.5*(1+R1/R2)=3 V。可以通过调节 R1、R2 的阻值对采样芯片的参考电压值进行更改。主控芯片通过控制 OEB_A 和 OEB_B 引脚,使能 AD9248 芯片通道 A 和通道 B 的数据输出。



图6 数据采集软件 V1.00

通过窗口下方的“开始采集”和“停止采集”按钮控制系统是否开启数据采集功能,“存储数据”按钮可以将数据分类保存为.CSV 文件,文件存储路径默认为软件所在位置,也可使用“清除数据”按钮将存储的数据删除并且清空显示区域。

5 实验结果

在实际环境中,使用标准测量仪器对空气的温度和压强进行测量,结果显示环境温度为 24.3℃,气压为 994 hPa。在此条件下,本系统分别对电压值在 0~1V 之间的温度气压信号以及基波信号和二次谐波信号进行采集处理。

对于气体的温度,系统实际测量的数字电压信号在 0.240 V~0.246 V 之间,对应温度范围在 24.2℃~24.4℃之间,和标准仪器测得的温度相差 ± 0.3 ℃。

对于气压数据,系统获取的数字电压信号在 0.903 V~0.905 V 之间,对应的气压范围在 993 hPa~996 hPa 之间,与实际测得的标准气压相差 ± 2 hPa。

对于基波和二次谐波数据,系统获取的基波信号最低值为 0.115 V,最大值为 2.975 V;二次谐波信号最低值为 0.095 V,最大值为 1.496 V。

由上述实验数据可知,系统的各个模块实现了预期功能,完成了对 CO₂ 气体温度、压强、基波信息和二次谐波信号的采集和上传,可以满足 CO₂ 气体检测系统的数据采集要求。

6 结论

基于中红外 TDLAS 激光检测技术,设计了一种针对 CO₂ 气体浓度的数据采集系统。采用 Zynq-7000 系列的 XC7Z020 芯片作为主控器,通过主控内

部集成的 XADC 模块将温度和压强信号转化为数字电压信号,以 AD9248 芯片为核心设计高速信号采样电路,对基波和二次谐波信号进行模数转化,转换后的数字电压信号由主控器 PL 端读取并且对其进行均值处理,获取的全部数据由主控器分类整合,通过芯片内部集成的 USB 接口将整合完成的数据发送至上位机。经实验验证,该系统可以较好地完成对 CO₂ 气体数据的采集和处理,可适用于深地资源勘探领域,也可以推广到其他气体检测的应用场景当中。

参考文献

- [1] 李建忠,王海成,李宁. 油气田开发中二氧化碳腐蚀的危害与研究现状[J]. 广州化工,2011,39(21):21-23+56.
- [2] Li Jiahang, Wang Dan, Xie Fei. Failure analysis of CO₂ corrosion of natural gas pipeline under flowing conditions[J]. Engineering Failure Analysis, 2022, 137.
- [3] 王彪,戴童欣,程林祥,等. 基于 VCSEL 激光器的甲烷和二氧化碳检测系统设计[J]. 激光杂志,2022,43(7):15-19.
- [4] 马凤翔,田宇,陈珂,等. 基于光纤放大增强型光声光谱的 H₂S 与 CO₂ 检测技术[J]. 光学学报,2021,41(7):190-198.
- [5] 戴童欣,王彪,连厚泉,等. 用于 TDLAS 二氧化碳检测系统的光电探测电路设计[J]. 激光杂志,2021,42(04):41-45.
- [6] Jiang Shoulin, Jin Wei, Chen Feifan, et al. Carbon Dioxide Detection with High Sensitivity Based on Photo-Thermal Spectroscopy in Hollow-Core Optical Fiber[J]. ACTA OPTICA SINICA,2021,41(13):19-23.
- [7] 任强. 基于中红外 TDLAS 技术的深海 CO₂ 浓度及碳同位素检测技术研究[D]. 吉林:吉林大学,2021.
- [8] 王彪,戴童欣,俞泳波,等. 二氧化碳和甲烷复合气体数据采集检测系统设计[J]. 激光杂志,2021,42(7):28-31.
- [9] 黄硕,王彪,戴童欣,等. 用于 CO 激光 TDLAS 型气体检测系统的光电检测电路研制[J]. 激光杂志,2021,42(2):62-65.
- [10] 钱宏文,李凯,刘继祥. 基于 ZYNQ+FPGA 的 ADC 通用测试平台的设计与实现[J]. 通信技术,2019,52(11):2829-2833.
- [11] 麦超云,黄传好,刘子明. 基于 ZYNQ 的双 ADC 数据采集系统的设计与实现[J]. 现代电子技术,2022,45(16):35-39.
- [12] 杨玉飞,侯伟盟,钱宏文,等. 基于 FPGA 的 ADC 测试系统的设计[J]. 机电一体化,2021,27(Z1):60-65.
- [13] 黄妹. 基于 Zynq-7000 内置 XADC 的数据采集系统设计[D]. 南京:南京邮电大学,2017.
- [14] 杨博,楚要钦,景德胜,等. 基于 AXI4 总线的 SoC 中离散量信号控制 IP 核的设计与验证[J]. 信息通信,2020(3):90-92.