

· 光电测量与检测 ·

## 用于 CO 气体 TDLAS 检测系统的复合信号发生电路研制

王 彪<sup>1</sup> 李奥奇<sup>1 2</sup> 俞泳波<sup>1 2</sup> 程林祥<sup>1 3</sup> 黄 硕<sup>1 3</sup> 戴童欣<sup>1 2</sup> 连厚泉<sup>1 2</sup>

<sup>1</sup>中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033;

<sup>2</sup>中国科学技术大学, 合肥 230026;

<sup>3</sup>中国科学院大学, 北京 100049

**摘要:** CO 是工业生产和尾气排放过程中的一种重要气体。针对 CO 气体 TDLAS 检测系统, 设计了一种复合信号发生电路。该电路采用 STM32 控制 AD9106 生成激光器调制所需的 1 路正弦波及锁相放大正交检测所需的 2 路相位差 90 度的正交方波, 用于 CO 气体 TDLAS 检测系统。经实际电路测试, 该电路工作稳定, 生成信号有较高的精度和稳定性, 可以满足 CO 气体检测系统需求, 同样适用于其它的 TDLAS 气体检测系统。

**关键词:** CO; TDLAS; AD9106; 信号发生电路

**中图分类号:** TN249 **文献标识码:** A **doi:** 10. 14016/j. cnki. jgzz. 2020. 09. 029

## Development of CO gas TDLAS detection system multi-signal generation circuit

WANG Biao<sup>1</sup> , LI Aoqi<sup>1 2</sup> , YU Yongbo<sup>1 2</sup> , CHENG Linxiang<sup>1 3</sup> ,  
HUANG Shuo<sup>1 3</sup> , DAI Tongxin<sup>1 2</sup> , LIAN Houquan<sup>1 2</sup>

<sup>1</sup>Changchun Institute of Optics , Fine Mechanics and Physics , Chinese Academy of Sciences , Changchun 130033 , China;

<sup>2</sup>University of Science and Technology of China , Hefei 230026 , China;

<sup>3</sup>University of Chinese Academy of Sciences , Beijing 100049 , China

**Abstract:** CO is an important gas in industrial sector and Exhaust emission. For CO gas detection TDLAS system , we design a multi-signal generation circuit. Using STM32 as control chip , control AD9106 to output one-way sine wave for laser modulation and two-way orthogonal square wave for phase-lock amplify , to drive CO gas TDLAS detection system. The actual test shows that the circuit is stable , the output signal is stable and precise , can meet the CO gas detection system's needs , this design can also be applied to other TDLAS gas detection system.

**Key words:** CO; TDLAS; AD9106; signal generation circuit

### 1 引言

CO 气体多产生于工业生产、汽车排放等过程中, 它是一种易爆、有毒气体, 对大气环境也有着很大的危害。因此对 CO 气体的检测一直是人们关注的重点, 对 CO 气体进行高精度、快速的检测具有很大的社会意义和市场价格<sup>[1-3]</sup>。

近年来, 激光检气法得到了长足的发展, TDLAS 技术就是其中一种, TDLAS 技术在精度、选择性、寿命等方面有着明显优势, 因此获得了广泛关注。在 TDLAS 气体检测系统中, 需要信号发生电路产生 1 路正弦调制信号叠加到另一路扫描信号上, 驱动激光器产生特定频率的光束, 同时需要 2 路同频正交的方波信

号实现锁相放大检测的功能。为了满足检测系统的需求, 设计研制了该复合信号发生电路<sup>[4-10]</sup>。

### 2 电路总体框图

信号发生电路生成信号的精度和稳定性将直接影响到系统的检测精度。为了满足检测系统需求, 本文设计的信号发生电路总体框图如图 1 所示, 电路主要由以下 4 个部分组成: STM32F105 主控器模块, AD9106 多路信号发生模块, 信号放大电路模块, 方波信号整形电路模块。

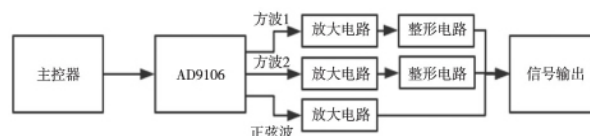


图 1 系统总体框图

STM32F105 作为主控芯片, 控制 AD9106 产生 1 路调制所需的正弦信号及 2 路锁相放大检测所需的

收稿日期: 2020-03-25

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>

同频正交方波信号。AD9106 产生的多路信号通过 LMH6609 放大电路进行放大,方波信号还需经过整形电路,输出后用于气体检测系统。电路采用串口和上位机进行通信,通过自定义的串口命令可以设置电路输出信号的参数。

### 3 硬件电路设计

#### 3.1 主控制器模块

采用 ST 公司生产的 STM32F105RCT6 处理器作为主控,该芯片支持 Thumb-2 指令集,嵌套矢量中断,具有丰富的外设和多种通信接口。STM32F105 具有低成本、低功耗等优点,在控制和嵌入式设备等领域应用十分广泛,能够满足本电路设计需求,主控器的原理图如图 2 所示。

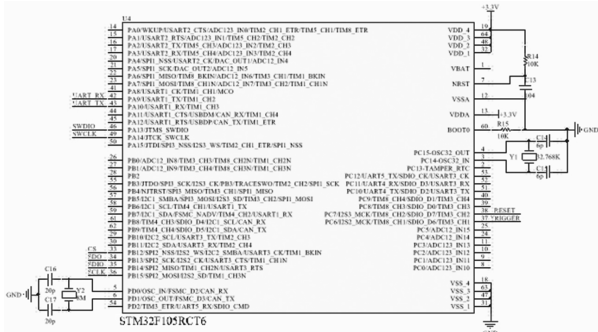


图 2 主控制器原理图

电路中使用 STM32F105 主控芯片的 SPI 接口,控制 AD9106 生成 1 路正弦波以及 2 路频率为正弦波 2 倍,相位差 90°的正交方波。主控芯片可以和上位机进行通信实现电路的控制,通过自定义的串口命令,可以控制输出信号的开始、停止,设置信号的幅度和频率等参数。上电后,主控芯片会对 AD9106 进行初始化,输出默认的信号,若收到上位机命令,会执行相应的操作,改变输出信号状态。

#### 3.2 AD9106 信号发生电路模块

TDLAS 气体检测系统工作时,需要信号发生电路产生 1 路正弦调制信号叠加到另一路扫描信号上,驱动激光器产生特定频率的光束,通过测量气体对激光的选择性吸收来获取气体浓度,同时还需要两路频率为方波 2 倍的正交方波实现锁相放大检测功能。信号的精度和稳定性对检测系统精度有着直接的影响,为了满足检测系统的需求,采用美国 ANALOG DEVICES 公司生产的 AD9106 芯片来实现多路信号的生成<sup>[11]</sup>。AD9106 具有 4 路输出通道,内置 SRAM,直接数字频率合成器,锯齿波发生器等模块。片内 DDS 支持 12 位精度、最高 180 MHz 的正弦波输出,带 24 位调谐字,可以任意设置相位。内置模式存储器可存储用户自定义波形。该芯片有 4 路输出通道,每个通道可以独立选择输出信号类型,设置输出信号频率、幅度、相位等参数。主控可以通过 SPI 接口芯片连接

该芯片,进行芯片参数的设置<sup>[12]</sup>。AD9106 电路图如图 3 所示。

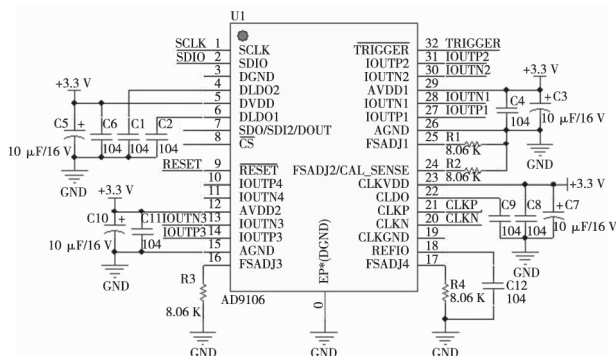


图 3 AD9106 外围电路图

系统上电后,主控制器对 AD9106 进行复位操作,然后进行初始化,设置时钟频率、初始频率、串口传输模式,选择不同通道输出的信号类型,初始的频率、相位、幅度等参数,然后启动信号的输出。当接收到新的命令后,可以实时更改输出信号的参数。

#### 3.3 信号放大模块

为了使 AD9106 输出信号的幅度满足检测系统的需求,需要对其进行放大。采用 TI 公司生产的 LMH6609 运算放大器,对输出信号进行转换和放大。LMH6609 是高带宽,单位增益稳定的低功耗电压反馈运算放大器,1 倍增益下提供 900 MHz 带宽,具有 11 400 V/ $\mu$ s 的高转换速率<sup>[13]</sup>。放大电路设计增益为 2,经电路放大后,信号幅度达到了要求。放大电路图如图 4 所示。

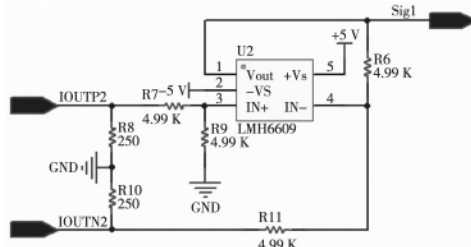


图 4 LMH6609 放大模块电路图

#### 3.4 方波信号整形模块

经过放大后输出的方波信号会有一些的变形,为了使输出的方波信号有更好的效果,方波信号放大后会经过一级整形电路。本设计采用 MAXIM 公司的 MAX998 比较器来搭建整形电路,MAX998 是一种单通道,高速比较器,采用单电源供电。经过整形电路后,信号的幅度固定为 3.3 V,信号质量有了一定的提升,达到了设计的目的。整形电路如图 5 所示。

## 4 测试结果

本系统可以通过自定义的串口命令来控制电路工作,包括开始输出,停止输出,设置信号参数等命令。通过串口命令可以设置电路输出频率为 1 kHz

至 10 kHz ,电压 0 V 至 1 V 的正弦波信号 ,以及对应的频率为正弦波 2 倍 ,频率为 2 kHz 至 20 kHz ,电压 3.3 V 的正交方波。串口命令包长度均为 8 字节 ,主要包含四部分: 帧头 ,命令字 ,校验和 ,帧尾。校验和采用命令字各字节的异或和。上位机将命令包发送到主控芯片后 ,主控器进行解析并执行相应命令 ,表 1 介绍了各串口命令包的组成<sup>[14]</sup>。

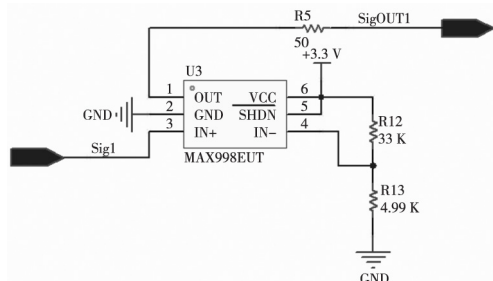


图 5 整形模块电路图

表 1 串口命令包

命令包	功能
0xAA 0xC1 (4 字节 0x00) (校验和) 0xBB	开始输出信号
0xAA 0xC2 (4 字节 0x00) (校验和) 0xBB	停止输出信号
0xAA 0xC3 (2 字节频率值) (2 字节幅度值) (校验和) 0xBB	信号频率和幅度的设置

通过串口命令对三路信号的参数进行设置用于后续测试。其中正弦波频率 5 kHz ,幅度 1 V ,两路方波频率 10 kHz ,幅度 3.3 V ,参数如表 2 所示。

表 2 波形参数设置

通道序号( 对应波形)	频率( kHz)	幅度( V)
CH0( 方波 1)	10	3.3
CH1( 方波 2)	10	3.3
CH2( 正弦波)	5	1

本设计采用 4 通道的 RIGOL MSO1104 型号示波器进行信号的检测 ,测试波形如图 6 所示。其中显示了电路生成的 1 路正弦波和 2 路正交方波 ,达到了预期效果。进一步的测试中 ,AD9106 所产生的信号经放大 ,整形后 ,精度和稳定性都比较高 ,能输出频率 1 kHz 至 10 kHz ,电压 0 V 至 1 V 的正弦波信号 ,以及对应的频率为正弦波 2 倍 ,范围 2 kHz 至 20 kHz ,幅度为 3.3 V 的正交方波信号。能够满足 CO 气体 TDLAS 检测系统对信号发生电路的要求。

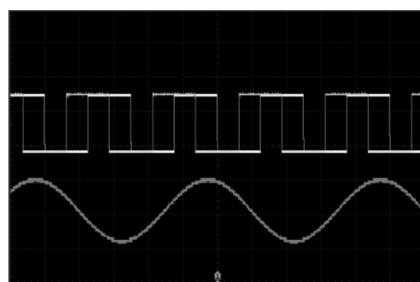


图 6 波形测量图

## 5 结论

本设计采用 STM32F105 作为主控 ,控制 AD9106 生成 1 路正弦波用于激光器调制 ,2 路频率为正弦波 2 倍的正交方波用于锁相放大检测。测试结果显示 ,电路工作稳定 ,人机交互能力较强 ,输出信号精度和稳定性较高 ,满足了 CO 气体 TDLAS 检测系统对信号发生电路的要求。该电路还可以推广到其它的 TD-LAS 气体检测系统中使用。

## 参考文献

- [1] 贾良权, 祁亨年, 胡文军, 赵光武, 阚瑞峰. 种子呼吸 CO<sub>2</sub> 浓度检测系统设计[J]. 光学精密工程, 2019, 27(6): 1397-1404.
- [2] 景蕾. 基于 MSP430 单片机的手持式 CO 检测仪设计[J]. 农业技术与装备, 2019, 08: 6-7.
- [3] 唐峰, 刘顺桂, 吕启深, 李新田, 赫树开, 曾晓哲, 岳运奇. TDLAS 技术对 SF<sub>6</sub> 背景下痕量 CO 气体的测量[J]. 河南化工, 2019, 36(10): 51-54.
- [4] 赵碧瑶, 井红旗, 仲莉, 刘翠翠, 刘素平, 马晓宇. 808nm 宽条形激光器绝热封装改善慢轴光束质量[J]. 发光学报, 2019, 40(11): 1417-1427.
- [5] 王韵致, 谢芳, 陈龙辉, 李明佳, 徐海波. 用于高精度测量位移等参量的光纤多波长激光器[J]. 光学精密工程, 2019, 27(9): 2036-2042.
- [6] 崔建丰, 岱钦, 鄢小娇, 李福玖, 李业秋, 乌日娜, 杨帆. LD 侧面泵浦 Nd: YVO<sub>4</sub> 高重复频率激光器[J]. 发光学报, 2019, 40(8): 1011-1014.
- [7] 季文海, 宋迪, 吕晓翠, 李国林. 通过标气校验和支持向量机提高光谱保真度的应用[J]. 光学精密工程, 2019, 27(10): 2144-2153.
- [8] 周广正, 兰天, 李颖, 王智勇. 高温稳定 25Gbit/s 850nm 垂直腔面发射激光器[J]. 发光学报, 2019, 40(5): 630-634.
- [9] 胡洋, 尹尚先, ARNTZEN J., 朱建芳, 李雪冰. 矿井瓦斯/空气预混气体爆燃研究中的激光纹影测试系统设计[J]. 光学精密工程, 2019, 27(5): 1045-1051.
- [10] 赵小丽, 张钰民, 庄炜, 宋言明, 骆飞, 孟凡勇. 级联光栅结合 Sagnac 环的可调谐光纤激光器[J]. 发光学报, 2019, 40(3): 357-365.
- [11] 季忠健. 基于 AD9914 的频率合成信号源设计与实现[J]. 舰船电子工程, 2019, 39(11): 242-245.
- [12] 孟帅旗, 徐志平, 尹新宇, 廖航, 王锦涛. 基于 DDS 的信号发生器基本原理研究[J]. 科技与创新, 2019, 09: 72-73.
- [13] 冯廷亮, 黄明, 徐德仁, 吉祥, 汪弈舟. 500 MHz 宽带放大电路的设计[J]. 电子科学技术, 2016, 03(05): 563-565.
- [14] 颜世威, 冯冲, 施展. 基于 FPGA 的多串口传输电路设计及验证[J]. 数字技术与应用, 2019, 37(09): 134-136+138.