光电测量与检测

(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: 采用 STM32F407 为主控芯片,设计了一款应用于 NH₃ 气体 TDLAS 检测系统的 VCSEL 激光器驱动 电路。该驱动电路通过驱动 DAC8560 和 AD9852 产生的低频锯齿波扫描信号及高频正弦波信号,两路信号的 频率最大误差分别为 0. 29%、0. 18%。该电路通过 OP77 进行信号叠加,经 LT1001 电压-电流转换电路进行电 压信号到电流信号的高精度转换,实际转换误差小于 0. 3%,该电流信号可实现对 VCSEL 激光器的驱动,电路 整体误差小于 0. 3%。此外,主控芯片可通过程序进行参数更改及波形控制,该驱动电路还可以推广到其他气 体检测应用。

关键词: TDLAS; VCSEL 激光器驱动电路; NH₃ 气体检测; STM32F407 中图分类号: TN249 文献标识码: A **DOI** 编码: 10. 14016/j.enki.jgzz. 2019. 01. 022

Design of driving circuit for VCSEL laser of NH3 gas detector based on TDLAS technology

LU Hongfei^{1,2} ,WANG Biao¹ ,FAN Xinglong^{1,3} ZHANG Guojun^{1,3} ,LI Aoqi^{1,3} ,XU Yue^{1,3}

(1. Changchun Institute of Optics , Fine Mechanics and Physics , Chinese Academy of Sciences , Changchun 130033 , China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. University of Science and Technology of China , Hefei 230026 , China

Abstract: STM32F407 is used as the main control chip to design a driving circuit for VCSEL laser. The driving circuit produces the low-frequency sawtooth scanning signal and high-frequency sine signal by driving DAC8560 and AD9852, and the maximum frequency error of the two signals is 0. 29% and 0. 18%. The circuit carries out signal superposition by OP77, and then the high precision conversion of voltage signal to current signal is carried out by LT1001 voltage-current conversion circuit, and the actual conversion error is less than 0. 3%. The current signal can drive the VCSEL laser, and the overall error of the circuit is less than 0. 3%. In addition, the main control chip can be programmed to change the parameters and control the waveform, and the driver circuit designed can be extended to other gas detection applications.

Key words: TDLAS; VCSEL laser driving circuit; NH3 gas detection; STM32F407

1 引言

NH₃ 是一种有毒且具有腐蚀性的工业气体,严重 威胁着大气环境质量和人体健康安全,因此高精度的 实时监测 NH₃ 浓度对于维护生存环境质量有着巨大 的推进作用^[1]。可调谐半导体激光吸收光谱技术

收稿日期:2018-09-18

(TDLAS),是一种针对痕量气体浓度检测的新型技 术^[2],其选择性强、实际检测精度高,具有非接触性检 测的优点,现已成为目前主流的气体检测技术^[3-7]。 TDLAS 技术所依据的原理为比尔-郎伯定律: 当激光 穿过待测气体时,调谐激光波长扫过气体的单根吸收 谱线,气体的选择性吸收会造成激光能量的衰减,衰 减的能量与待测气体的分子数成正比,由此可以通过 检测激光束的衰减情况来分析被测气体的浓度^[8-9]。 通过锁相放大器提取二次谐波检测信号,可有效抑制 噪声干扰,使得 TDLAS 检测在快速响应的同时具有 很高的灵敏度。

VCSEL 相比于侧向出光的 DFB 激光器,其出射

http : //www.laserjournal.cn

基金项目: 国家重大科研仪器研制项目(No.61727822); 吉林省科技厅 重大科技招标专项(No.20160203015GX)

作者简介: 鹿洪飞(1994-) ,男 ,硕士研究生 ,主要从事嵌入式系统软硬 件方面研究。E-mail: weihaiedu@ outlook.com

通信作者:王彪(1981-),男,副研究员,硕士生导师,主要从事嵌入式 系统软硬件方面研究。E-mail:wb5996@163.com

光垂直于芯片表面^[10-15]。VCSEL 的工作电流一般小于 10 mA^[16],相比于工作电流为 100 mA 的可调谐 DFB 激光器,VCSEL 的功耗更低,同时效率更高,具有 更加优越的应用潜力。

为了满足 TDLAS 检测 NH₃ 的实际应用需求,本 文采用功耗更小的 VCSEL 激光器作为核心光源,设 计了一款用于 NH₃ 气体检测的 VCSEL 激光器驱动电 路。驱动电路主控芯片采用 STM32F407 芯片,激光 器的驱动信号由锯齿波扫描信号和正弦波调制信号 叠加组成,两路信号分别由 DAC8560 和 AD9852 产 生,通过 OP77 进行信号叠加并经 LT1001 电压-电流 转换电路将电压信号转换为电流信号,实现对 VCSEL 激光器的驱动。

2 驱动电路整体架构

驱动电路整体分为 5 个功能模块,包括 STM32F407 主控、锯齿波及正弦波的发生、信号叠加 及电压-电流转换。如图 1 所示,主控电路协调控制 信号发生电路,产生所需锯齿波扫描信号和正弦波调 制信号,两路信号叠加后经电压-电流转换电路,其输 出的电流信号作为驱动信号传输给 VCSEL 激光器。



图1 电路整体示意图

3 驱动电路的设计实现

3.1 主控电路

主控芯片选用意法半导体公司的 STM32F407 高 性能微控制器 ,其采用先进的 Cortex[™]-M4 内核 ,1 M 闪存、196KSRAM 操作频率可达 168 MHz。提供 3 个 12 位模数转换器、两个数模转换器、一个真正的随机 数生成器(RNG) 以及多个外部通讯接口等 ,具有高性 能、低电压、低功耗的优点。



图 2 STM32F407 最小系统原理图

主控电路中,通过 STM32F407 微控制器实现对 DAC8560 和 AD9852 的控制,产生锯齿波扫描信号和 正弦波调制信号,经信号叠加电路实现两路信号叠 加 通过电压-电流转换电路得到激光器所需驱动信 号。STM32F407 主控电路如图 2 所示。

3.2 锯齿波信号发生电路

激光器驱动信号中的低频锯齿波信号由主控芯 片控制 DAC8560 数模转换器产生。该器件是美国德 州仪器公司生产的一款 16 位单通道、低功率、超低毛 刺脉冲的数模转换芯片,其初始精度 0.02%,线性度 极佳且码字间瞬态电压极低(即超低毛刺脉冲)。内 部包含上电复位电路,确保 DAC 上电复位至零。在 实际应用时,可保证检测系统上电瞬间锯齿波信号稳 定,保证了激光器的正常工作。锯齿波信号发生原理 图如图 3 所示。



图 3 锯齿波信号发生电路原理图

3.3 正弦波信号发生电路

激光器驱动信号所需的高频调制信号由主控芯 片控制正弦波发生电路通过 DDS 实现。DDS 相对于 模拟合成技术,在实现波形捷变的同时其合成成本 低、建立时间短、调制范围广以及幅相补偿方便,被广 泛应用于各个领域^[17-18]。



图 4 正弦波信号发生电路原理图

采用 DDS 技术设计正弦波信号发生电路,正弦 波信号发生芯片选用 Analog Devices 公司的 AD9852 芯片, AD9852 是 Analog Devices 公司生产的一款具有 极高频率和相位分辨率的高速 DDS 器件,其时钟频

http://www.laserjournal.cn

率为 300 MHz,用户在输入波形频率的控制命令后, 该器件通过相位累加并查表(ROM)得到正弦波相应 幅值,经数模转换和低通滤波后得到正弦波模拟 量^[19]。其电路如图4所示。

3.4 信号叠加电路

信号叠加电路采用 Analog 公司的超低失调电压 运算放大器 型号为 OP77 ,其输出电压范围为±10 V , 放大增益可达 10⁷ ,在提供超高增益的同时具备良好 的增益线性度 ,其高电源抑制比和共模抑制比可大幅 提高系统精度 在实际应用中提供优异的性能。如图 5 所示 ,选用 OP77 设计的信号叠加电路在具备低噪 声的同时 ,有足够的带宽以通过高频正弦波信号 ,满 足应用需求。



图 5 信号叠加电路原理图

3.5 电压-电流转换电路

VCSEL 垂直腔面发射半导体激光器的调谐信号 为电流信号,设计电压-电流转换电路,将信号叠加电路的输出进行 V-I 转换,以满足 VCSEL 激光器的驱动需求。采用凌力尔特(Linear Technology)公司的LT1001 搭建电压-电流转换电路,LT1001 芯片是一款高精度的运算放大器,在不影响噪声性能前提下,其功耗相对于常规运放几乎减半,输出驱动能力很强,在 10 mA 的负载电流的条件下电压增益可得到很好的保证。如图 6 所示,采用 LT1001 进行搭建的电压-电流转换电路,可以在满足精度的条件下将电压信号转化为电流信号,同时拥有较强的电源噪声抑制能力,满足调谐 VCSEL 垂直腔面发射半导体激光器的应用需求。



图 6 电压-电流转换电路原理图

4 实验结果与讨论

为模拟实际驱动 VCSEL 激光器的情况,输出端 需采用 VI 特性曲线同激光器相近的半导体整流桥作 为负载 输出 5 Hz 至 100 Hz 的低频锯齿波扫描信号, 调节步进为 5 Hz; 输出 5 kHz 至 10 kHz 的高频正弦波 调制信号,调节步进为 1 kHz; 输出电流幅度可控范围 为 0 mA 至 10 mA 程序调节步进为 1 mA。驱动信号 波形如图 7 所示,叠加在驱动信号中的高频正弦波信 号波形如图 8 所示。

实际测试的实验数据如表 1 所示,实测锯齿波输 出频率最大误差为 0. 29%,正弦波输出频率最大误差 为 0. 18%,扫描电流下限具有 0. 25% 的最大误差,扫 描电流上限具有 0. 3% 的最大误差,综上所述,驱动电 路具有 0. 3% 的最大误差。实验数据表明,在基于 TDLAS 技术的 NH₃ 气体检测系统中,本文设计的驱 动电路可以很好的驱动 VCSEL 激光器输出所需激光 束,满足 TDLAS 检测系统的驱动要求。

表1 驱动电路实测数据表

	程序控制的 理想输出值	实测值	误差
锯齿波	5 Hz	5.0 Hz	0%
	35 Hz	35.1 Hz	+0.29%
	75 Hz	75.0 Hz	0%
	100 Hz	100.1 Hz	+0.10%
正弦波	5 kHz	5.009 kHz	+0.18%
	6 kHz	5. 990 kHz	-0.17%
	7 kHz	7.002 kHz	+0.03%
	10 kHz	9. 991 kHz	-0.09%
扫描电流上限值	2 mA	2.00 mA	0%
	4 mA	3.99 mA	-0.25%
	6 mA	5.98 mA	-0.3%
	10 mA	9.99 mA	-0.1%
扫描电流下 限值	1 mA	1.00 mA	0%
	3 mA	3.00 mA	0%
	5 mA	5.01 mA	+0.2%
	8 mA	7.98 mA	-0.25%







图 8 叠加在锯齿波上的高频正弦波信号

5 结论

采用 STM32F407 为主控芯片,设计了一款用于 NH₃ 气体检测的 VCSEL 激光器驱动电路。该驱动电 路通过驱动 DAC8560 产生低频锯齿波扫描信号,频 率最大误差为 0. 29%; 高频正弦波信号由 AD9852 产 生,频率最大误差为 0. 18%; 通过 OP77 叠加锯齿波 和正弦波信号 经 LT1001 电压-电流转换电路得到电 流驱动信号,最大误差为 0. 3%。综合实验数据可知, 驱动电路整体最大误差为 0. 3%,满足 VCSEL 激光器 的驱动需求。设计的驱动电路参数设置方便,输出信 号控制灵活,能够推广到其他气体的检测应用中去, 应用于各种 TDLAS 气体检测系统。

参考文献

- [1] 艾宸. 基于可调谐激光吸收光谱技术的逃逸氨检测系统 研究[D].北京:华北电力大学(北京) 2017.
- [2] 赵迎. 基于 TDLAS 技术的氨气检测的研究 [D].天津: 天 津大学 2014.
- [3] 李春光,董磊,王一丁,等.基于 TDLAS 和 ICL 的紧凑 中红外痕量气体探测系统[J].光学精密工程,2018,26 (8):1855-1861.
- [4] 季文海,吕晓翠,胡文泽,等.TDLAS技术在烯烃生产 过程中的多组分检测应用[J].光学精密工程,2018,26 (8):1837-1845.
- [5] 何祥林,潘勇刚. TDLAS 技术的发展现状及其应用研究 [J]. 鄂州大学学报, 2017, 24(1): 102-109.

- [6] LACKNER M. Tunable diode laser absorption spectroscopy (TDLAS) in the process industries – A REVIEW [J]. Reviews in Chemical Engineering, 2007, 23(2):65–147.
- [7] 张志荣,孙鹏帅,庞涛,等.激光吸收光谱技术在工业生 产过程及安全预警标识性气体监测中的应用[J].光学 精密工程,2018 26(8): 1925-1937.
- [8] 王子龙. 基于 TDLAS 的痕量气体浓度探测技术研究[D].哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [9] 聂伟,许振宇,阚瑞峰,等.可调谐二极管激光吸收光谱 技术测量低温流场水汽露点温度[J].光学精密工程, 2018 26(8): 1862-1869.
- [10] 许坤,付林杰,钟发成,等.高光束质量垂直腔面发射激 光器同相耦合阵列[J].发光学报,2018,39(6):844-849
- [11] 史国柱.可调谐垂直腔面发射激光器的研究 [D].北京. 北京工业大学 2013.
- [12] 江孝伟,关宝璐.基于亚波长光栅的 VCSEL 偏振控制研 究[J].发光学报,2017,38(6):729-734.
- [13] 王文知,井红旗,祁琼,王翠鸾,倪羽茜,刘素平,马骁宇. 大功率半导体激光器可靠性研究和失效分析[J].发光 学报 2017 38(02):165-169.
- [14] 张建伟.高温工作垂直腔面发射半导体激光器研究[D]. 北京. 中国科学院大学, 2013.
- [15] 毛欣,黄俊斌,顾宏灿.采用 3×3 耦合器的分布反馈式光
 纤激光传感器解调技术 [J].发光学报,2017,38(03):
 395-401.
- [16] RAO Yi , YANG W , CHASE C , et al. Long-Wavelength VCSEL Using High-Contrast Grating [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics , 2013 , 19 (4): 1701311-1701311.
- [17] 郭月俊, 王彪. TDLAS 检测系统的 ARM 主控型激光驱动 电路的设计 [J]. 激光杂志 2014 ,35(07): 84-86.
- [18] 曾芳,李勇.基于 DDS 芯片 AD9852 的正弦信号发生器及 其在通信中的应用[J].电子测量技术,2007(09):150-152.
- [19] 程智宾.基于 AD9852 的正弦信号发生器设计 [J].科技 创新导报 2008(21):15-16.