

· 光电测量与检测 ·

## TDLAS 技术的 CO 检测系统 VCSEL 激光光源驱动电路设计

王彪<sup>1</sup> 鹿洪飞<sup>1,2</sup> 李奥奇<sup>1,3</sup> 戴童欣<sup>1,3</sup> 黄硕<sup>1,2</sup> 连厚泉<sup>1,3</sup>

(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:** 针对单光路的 CO 检测系统, 采用 LPC51U68 为微控制器, 以开定时器的方式, 配合 ADS7817 采集的光电探测器的反馈信号, 实现对背景噪声的扣除。配合 AD5662 和 AD9854 设计了一款 VCSEL 激光器的驱动电路。信号叠加由 AD8622 完成, 经 LT1077 压控恒流源进行高精度 V-I 转换, 实际转换误差小于 0.3%。通过实验数据对驱动电路的性能指标进行了分析, 证明该驱动电路满足 VCSEL 激光器的驱动需求。该驱动电路同样适用于其它单光路 TDLAS 气体检测系统的精度提升, 具有较高的灵活性和实用性。

**关键词:** TDLAS; VCSEL 激光器驱动; CO 气体检测; LPC51U68

**中图分类号:** TN219 **文献标识码:** A **DOI 编码:** 10.14016/j.cnki.jgzz.2020.06.040

### Design of driving circuit for VCSEL laser of CO detection system based on TDLAS technology

WANG Biao<sup>1</sup>, LU Hongfei<sup>1,2</sup>, LI Aoqi<sup>1,3</sup>, DAI Tongxin<sup>1,3</sup>, HUANG Shuo<sup>1,2</sup>, LIAN Houquan<sup>1,3</sup>

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130033, China;  
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;  
3. University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

**Abstract:** Aiming at the CO detection system with single optical path, this paper used LPC51U68 as the microcontroller, and designed a VCSEL laser drive circuit with AD5662 and AD9854. The microcontroller of the drive circuit uses a timer to cooperate with the feedback signal of the photodetector collected by the ADS7817 to realize the deduction of background noise. The signal superposition is completed by the AD8622, and the high-precision V-I conversion is performed by the LT1077 voltage-controlled constant current source. The actual conversion error is less than 0.3%. Through the experimental data, the performance index of the drive circuit is analyzed, which proves that the drive circuit meets the drive requirements of the VCSEL laser. The drive circuit is also suitable for improving the accuracy of other single optical path TDLAS gas detection systems, and has high flexibility and practicality.

**Key words:** TDLAS; VCSEL laser driving circuit; CO gas detection; LPC51U68

## 1 引言

在化工生产方面, 随着石油、煤炭、冶金等工业的迅猛发展, 对人体有毒害作用的一氧化碳(CO)等气体的排放量逐年增加, 其对于大气质量、环境安全、人体健康等有着极大的危害, 对公民的生命健康和生存环境构成很大威胁<sup>[1-2]</sup>。因此, 对 CO 气体含量的准确监测具有重要的科学意义和社会意义。

可调谐的半导体激光吸收光谱(Tunable Diode Laser Absorption Spectrometry, TDLAS)是气体检测研究方向上的一种新型的痕量气体浓度检测手段, 具有非常高精度的、选择性单一的应用优势<sup>[3-5]</sup>。TDLAS 技术遵循比尔-郎伯定律, 当一束光透过 CO 分子时,

CO 分子对特定波长的光具有吸收作用。由于 CO 分子的选择性吸收会造成光能量的衰减, 光衰减的能量与 CO 的分子数成正比, 进而计算出 CO 的浓度。在实际情况中, 气体分子对激光的吸收作用通常非常弱, 并且环境背景噪声极易对整个气体检测过程产生干扰。因此, 常采用波长调制技术进行二次谐波检测<sup>[6-11]</sup>。目前, TDLAS 检测系统普遍采用 DFB 激光光源进行研究与开发。该技术方案相对功耗较高且体积较大, 这将 TDLAS 检测技术的应用限制在对功率不敏感的场所中。效率高、功率低、体积小是 VCSEL 型激光器的特点, 针对功率敏感的应用, VCSEL 激光器可以有效地改善 TDLAS 检测技术整个系统的功耗和体积问题<sup>[12-15]</sup>。

针对单光路检测系统中激光器光强波动产生的干扰, LPC51U68 以开定时器的方式, 结合 ADS7817 采集的光电探测器的反馈信号, 实现对背景噪声的扣除。根据 TDLAS 气体浓度检测理论和 VCSEL 型激光

收稿日期: 2020-01-25

基金项目: 国家重大科研仪器研制项目(No. 61727822)

作者简介: 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

<http://www.laserjournal.cn>

器的发光特性,针对性的研制了小电流驱动电路。驱动电路采用 LPC51U68 为微控制器,配合 AD5662 和 AD9854 产生激光器的驱动信号所需的锯齿波和正弦波,信号叠加由 AD8622 完成,经 LT1077 压控恒流源进行高精度 V-I 转换,实现对 VCSEL 激光器的驱动。应用所研制的驱动电路进行了 CO 气体浓度检测测试,根据锁相放大器提取的二次谐波数据,对该系统的各项性能指标进行了分析,得出结论。

## 2 VCSEL 驱动电路整体设计

基于 WMS,通过对驱动电流进行调制可以实现对激光器输出波长的调制<sup>[16-17]</sup>。

在单光路检测系统中,为了进一步剔除激光光源波动对检测系统的影响,本论文采用主控芯片 LPC51U68 通过开定时器的方式每隔 1 s 间隔输出 100 ms 的恒定电流。如图 1 所示,激光器在恒定电流驱动下的输出波长处于 CO 分子的非吸收区。扫描信号为锯齿波信号,该段用于 CO 的浓度检测,通过叠加高频正弦波信号对激光器的注入电流进行调制,使得激光器的输出波长扫过 CO 分子的吸收峰。由于激光器的光强波动主要来源于激光器自身的背景噪声,在短暂的单周期检测时间内可认为其均值分布。因此,将恒定电流驱动得到的光强作为正常驱动信号所得光强的反演依据并进行数据处理,可进一步消除单光路检测系统中激光器光强波动产生的干扰,实现对背景噪声的扣除。

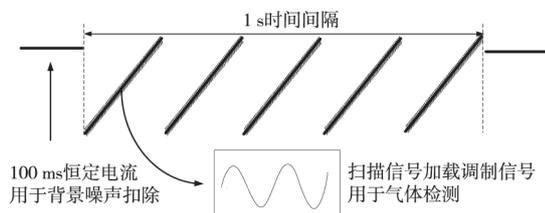


图 1 VCSEL 驱动信号示意图

如图 2 所示,根据模块化的设计思想,驱动电路分为 6 个部分,主要有作为电学部分核心的主控电路、锯齿波和正弦波两路信号的发生电路、完成各个驱动信号分量整合的叠加电路、实现高精度 V-I 转换的压控恒流源电路,以及光电探测器反馈信号采集电路。

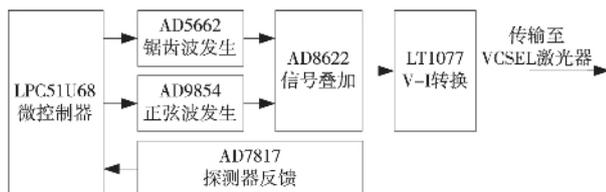


图 2 VCSEL 驱动电路整体设计

## 3 VCSEL 驱动电路的设计实现

### 3.1 主控电路

驱动电路要求主控芯片必须具有较强的带载能

力和高速处理能力,因此本文所设计驱动电路采用 LPC451U68 微控制器作为主控器。LPC51U68 是 NXP(恩智浦)公司开发的一种基于 ARM Cortex-M0+ 内核的高性能、低功耗、成本敏感型处理器,包括 96 KB 的片上 SRAM,256 KB 的片上闪存,其运行频率高达 100 MHz,可以对数据快速处理运算。LPC51U68 外设功能丰富,USART,SPI,I<sup>2</sup>C 接口可以与显示设备,主机以及 DDS,DAC 和其他芯片快速通信。LPC51U68 最大的优势是与相同封装/引脚版本的 LPC5410x 和 LPC5411x 器件兼容,为 Arm Cortex-M4 内核提供可扩展性选择,可在一定程度上控制成本。



图 3 LPC51U68 主控芯片外围电路原理图

LPC51U68 主控芯片外围电路如图 3 所示,LPC51U68 作为微控制器,控制 AD5662 和 AD9854 产生激光器的驱动信号所需的锯齿波和正弦波,信号叠加由 AD8622 完成,经 LT1077 压控恒流源进行高精度 V-I 转换,从而实现对 VCSEL 激光器的驱动。

### 3.2 锯齿波信号发生电路

VCSEL 激光器的所需的低频扫描信号为锯齿波信号,采用 AD5662 芯片产生。该器件是美国 ANALOG DEVICE 公司生产的一款 16 位、低功耗、电压输出数模转换器,采用 SPI 接口,通信便捷。其输出信号的线性度良好,且具有噪声低、毛刺少的优点,在实际应用时,可保证检测系统锯齿波信号的输出精度。图 4 所示为锯齿波发生电路。

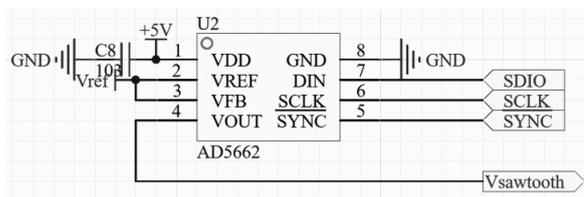


图 4 AD5662 外围电路原理图

### 3.3 正弦波信号发生电路

高频调制正弦信号由主控器控制 DDS (Direct Digital Synthesizer) 直接数字式频率合成器产生。正弦调制信号通过 DDS 合成实现,由 DAC 转换为模拟电流信号输出。本设计采用美国 ANALOG DEVICE 公司的 AD9854 DDS 芯片,其外围电路如图 5 所示。

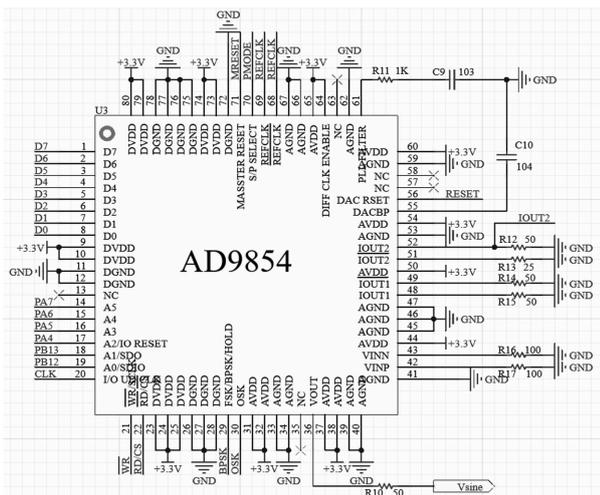


图 5 AD9854 外围电路原理图

### 3.4 信号叠加电路

信号叠加主要采用同相输入加法电路来实现,其原理如图 6 所示。芯片采用美国 ANALOG DEVICE 公司生产的 AD8622 低功耗、精密、轨到轨输出运算放大器,其具有极低的偏置电压和电压噪声,配置了输入偏置电流消除电路,整个工作温度范围内的输入偏置电流非常低。该器件单位放大增益稳定,符合本文驱动电路的设计要求。

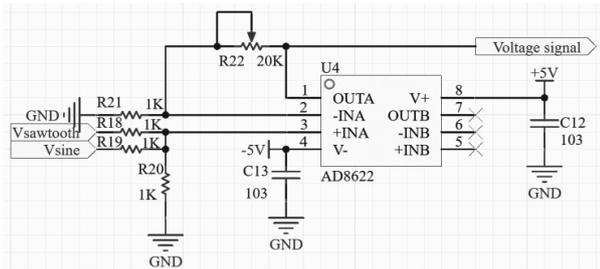


图 6 同相输入加法电路原理图

### 3.5 压控恒流源电路

由于激光器对电流的大小和精度要求非常精确,因此对恒流源电路的设计非常重要。

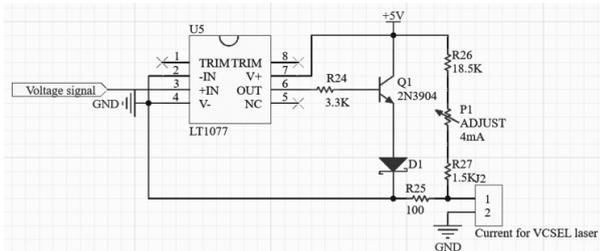


图 7 压控恒流源电路原理图如图 7 所示,本系统采用精密运放、三级管、采样电阻完成压控恒流源电路的设计。运放采用采用 Linear Technology 公司生产的 LT1077 芯片,它是一款低噪声、低偏置电压、宽带宽、高精度运算放大器,可以满足系统对恒流源电路的设计需求。

### 3.6 光电探测器反馈信号采集电路

针对单光路检测系统中激光器光强波动产生的

干扰,设计了光电探测器反馈信号采集电路,其外围电路如图 8 所示。采用 TI 公司的 ADS7817,该器件是一款 12 位、200 kHz 采样模数(A/D)转换器,具有高阻抗全差分模拟输入。由于 ADS7817 具有差分输入、低功耗、自动断电和小尺寸等特点,因此该器件非常适合直接连接到采样器件进行远程数据采集。

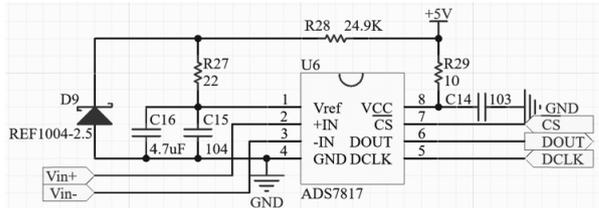


图 8 光电探测器反馈信号采集电路原理图

## 4 实验结果与讨论

### 4.1 VCSEL 驱动电路测试

驱动电路上电后,在主控制器驱动控制下,利用示波器分别对低频信号发生电路和高频信号发生电路输出信号进行测试,分别产生 5 Hz 至 100 Hz 的低频扫描信号,以及 5 kHz 至 10 kHz 的高频正弦调制信号,其中两种信号的调节步进分别为 5 Hz 和 1 kHz,测试结果如表 1 所示。锯齿波和正弦波两路信号发生电路的最大误差分别为 0.33% 和 0.18%,压控恒流源的转换误差小于 0.5%,示波器显示激光器的驱动信号和高频调制信号如图 9 和图 10 所示。

表 1 VCSEL 驱动电路实际测试

	设定输出	实测输出	误差
低频扫描信号	5 Hz	5.0 Hz	0%
	30 Hz	30.1 Hz	+0.33%
	100 Hz	100.1 Hz	+0.10%
正弦调制信号	5 kHz	5.009 kHz	+0.18%
	7 kHz	7.002 kHz	+0.03%
	10 kHz	9.991 kHz	-0.09%
电流输出	2.0 mA	2.01 mA	+0.5%
	4.0 mA	4.01 mA	+0.25%
	6.0 mA	5.98 mA	-0.3%
	8.0 mA	8.02 mA	+0.25%
	10.0 mA	9.99 mA	-0.1%

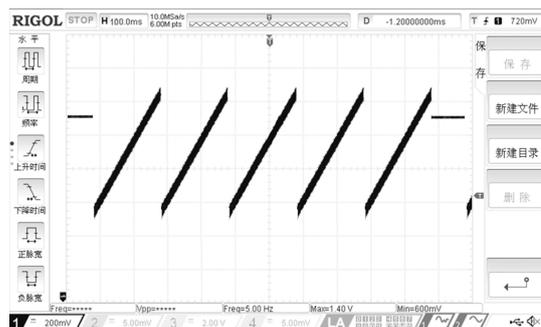


图 9 激光器驱动信号

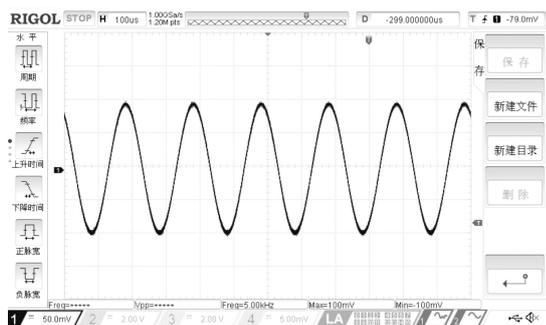


图 10 高频正弦波信号

经实际测试说明,在 TDLAS 单光路的 CO 气体检测系统中,本文设计的激光器驱动电路产生的信号输出稳定、干扰小,符合系统对驱动电路的要求。

#### 4.2 采用不同的驱动方法的气体检测实验

系统采用注射器静态配气法共配置 50、200、500、700、1 000 g/m<sup>3</sup> 范围内的 5 种不同浓度的 CO 气体。

表 2 两种不同驱动方法的气体检测实验对比

标准 CO 浓度 (g/m <sup>3</sup> )	采用常规的 驱动方法(g/m <sup>3</sup> )	采用本论文的 驱动方法(g/m <sup>3</sup> )
50	61.3	58.1
200	212.8	208.2
500	483.2	510.7
700	711.1	707.2
1 000	987.5	1 008.9

运用控制变量方法,分别采用本论文所研制的驱动电路和常规驱动电路,将两种不同的驱动方法应用于单光路的 CO 检测系统中,保证其余实验条件的一致性,对上述 5 种不同浓度的 CO 气体进行检测实验,结果如表 2 所示。

从表 2 的实验数据可以看出,采用本论文所研制的驱动电路进行 CO 气体检测,误差更小,相比于常规的驱动方法,本文针对单光路的 TDLAS 检测系统所研制的驱动电路能够在一定程度上提升气体检测的精度。

## 5 结论

针对单光路检测系统中激光器光强波动产生的干扰,LPC51U68 以开定时器的方式,结合 ADS7817 采集的光电探测器的反馈信号,实现对背景噪声的扣除。根据 TDLAS 气体浓度检测理论和 VCSEL 型激光器的发光特性,针对性的研制了小电流驱动电路。驱动电路采用 LPC51U68 为微控制器,配合 AD5662 和 AD9854 产生激光器的驱动信号所需的锯齿波和正弦波,信号叠加由 AD8622 完成,经 LT1077 压控恒流源进行高精度 V-I 转换,实现对 VCSEL 激光器的驱动。在实际的单光路 CO 气体浓度检测实验中,采用常规的驱动方法和本论文设计的驱动技术进行对比,通过实验数据对驱动电路的性能指标进行了分析,证明该

驱动电路满足 VCSEL 激光器的驱动需求,在单光路气体检测系统中能够提升一定的检测精度。

## 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] 周佩丽, 谭文, 彭志敏. 基于 TDLAS 的烟气中 CO 浓度混合取样式在线监测[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(11): 233-240.
- [3] 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(综合版), 2011, 21(3): 73-77.
- [4] 贾良权, 祁亨年, 胡文军, 等. 阚瑞峰. 种子呼吸 CO<sub>2</sub> 浓度检测系统[J]. 光学精密工程, 2019, 27(06): 1397-1404.
- [5] SHAO LIGANG, FANG BO, ZHENG Fei. Simultaneous detection of atmospheric CO and CH<sub>4</sub> based on TDLAS using a single 2.3 μm DFB laser. [J]. Pubmed 2019, 222.
- [6] 王岳, 王勇, 李占国, 尤明慧. 全息光刻制备 808 nm 腔面光栅半导体激光器[J]. 发光学报, 2019, 40(09): 1130-1135.
- [7] 郭松杰, 刘建鑫, 周月婷, 许非, 马维光. 基于电流扫描波长响应函数直接确定正弦波扫描波长调制光谱中 DFB 激光器的相对波长响应[J]. 光学精密工程, 2019, 27(11): 2281-2288.
- [8] 高升, 王巧华. 基于高光谱图像信息融合的红提糖度无损检测[J]. 发光学报, 2019, 40(12): 1574-1584.
- [9] SHAO Ligang, FANG Bo, Zheng Fei. Simultaneous detection of atmospheric CO and CH<sub>4</sub> based on TDLAS using a single 2.3 μm DFB laser[J]. Elsevier B. V. 2019, 222.
- [10] 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.
- [11] 吕鹏飞, 陆志谦, 何巧芝, 王倩, 赵辉. 基于光声谱法的无创血糖在体检测[J]. 光学精密工程, 2019, 27(06): 1301-1308.
- [12] 李伟, 贾军伟, 柴昊, 张书锋, 张明志, 崔鸿飞, 刘敬敏, 刘展. 基于 TDLAS 的气体检测技术研究[J]. 宇航计测技术, 2019, 39(04): 79-84.
- [13] 程丽娟, 刘贵珊, 万国玲, 何建国. 可见/近红外高光谱成像技术对长枣中葡萄糖含量的无损检测[J]. 发光学报, 2019, 40(08): 1055-1063.
- [14] ZHANG Rui, GUO MaoNing, WANG YiZhong. Research on CO<sub>2</sub> Detection System in Refrigerated Compartment of Agricultural Products Based on TDLAS Technology [J]. Elsevier B. V. 2019, 83.
- [15] 尹增谦, 袁春琪, 王永杰. Voigt 线型宽度的经验公式及其应用[J]. 发光学报, 2019, 40(08): 1064-1069.
- [16] ZHANG Guoyong, WANG Guoqing, HUANG Yan. Reconstruction and simulation of temperature and CO<sub>2</sub> concentration in an axisymmetric flame based on TDLAS[J]. Elsevier GmbH 2018, 170.
- [17] 郭健, 陈雨行, 王丽荣, 韦阳, 郭宇, 赵也明, 刘丽兰, 陈晓禾. 非接触式呼吸与心率信号采集系统[J]. 光学精密工程, 2019, 27(06): 1354-1361.