

调频连续波激光调制方法研究

陈慧敏,高志林,朱雄伟

(北京理工大学 机电动态控制重点实验室,北京 100081)

摘要: 调频连续波(FMCW)激光调制电路是 FMCW 激光探测系统的重要组成部分。对 FMCW 激光调制方法进行研究,设计并实现由线性调频信号产生电路和半导体激光器驱动电路组成的激光调制电路,并给出相应的实验结果。其中线性调频信号产生电路采用基于直接数字频率合成技术的集成芯片 AD9958 进行设计,产生 10~110 MHz 的锯齿波线性调频信号;半导体激光器驱动电路采用直接电流调制方式,利用线性调频信号对激光载波的强度进行调制,激励激光器出光。测试结果表明:调频连续波激光调制电路能够满足调制频偏 100 MHz、调频周期 100 μ s 的设计要求。

关键词: 调频连续波; 光强调制; 直接数字频率合成

中图分类号: TN249 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2015)06-1762-04

Method of frequency modulated continuous wave laser modulation

Chen Huimin, Gao Zhilin, Zhu Xiongwei

(Science and Technology on Electromechanical Dynamic Control Laboratory, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: Frequency modulated continuous wave (FMCW)laser modulation circuit is an important part of the FMCW laser detection system. In this paper, the method of FMCW laser modulation was studied and a laser modulation circuit composed of a linear frequency modulation signal producing circuit and a semiconductor laser driver circuit was designed and implemented. Experimental result is given. The linear frequency modulation signal producing circuit was designed using the direct digital synthesis chip AD9958 and produced a 10–110 MHz sawtooth linear frequency modulation signal. The semiconductor laser driver circuit modulates the laser intensity with the linear frequency modulation signal through direct current modulation. Test results show that the laser modulation circuit can meet the design requirements: frequency deviation of 100 MHz, frequency modulation period of 100 μ s.

Key words: frequency modulated continuous wave; laser intensity modulation; direct digital synthesis

收稿日期:2014-10-11; 修订日期:2014-11-18

基金项目:机电动态控制重点实验室资助项目(9140C360202130C36129)

作者简介:陈慧敏(1973-),男,副教授,博士,主要从事激光探测与目标识别方面的研究工作。Email: laserchm@126.com

0 引言

调频连续波(FMCW)激光探测技术将调频测距原理与激光的优点相结合,具有探测精度高、抗干扰能力强等诸多优点,在军事上有着重要的实用价值。2012年召开的第56届美国年会,特别强调了FMCW+数字信号处理频谱分析技术在近炸引信信号处理中的诸多优势,将是今后近炸引信的一个主要方向。目前,国外已经相继完成了FMCW体制的无扫描激光成像雷达、反舰导弹跟踪雷达^[1],激光近炸引信等样机的研制^[2],正在开展用于测距、测速和3D成像的FMCW脉冲激光雷达^[3]和用于地面机器人的激光雷达传感器的研究^[4]。而国内在该领域与国外存在较大差距。中小功率、宽带宽的连续激光调制电路是激光探测系统的重要组成部分。FMCW激光借鉴了光通信中强度调制的思想,不直接对激光载波进行调频,而是利用自身线性调频的射频信号去调制激光器发射激光的强度^[5]。线性调频信号的产生可分为模拟法和数字法。模拟法采用线性锯齿电压控制压控振荡器(VCO)产生线性调频信号。模拟法的不足主要表现为:缺乏应有的灵活性;模拟电路在抗干扰能力方面存在着固有的缺陷,频率稳定性差,相位噪声特性不佳;对于复杂波形的实现,需要每种波形设计特定的实现电路,成本高、周期长、硬件体积庞大,不能满足小型化的要求;模拟法产生线性调频信号线性度不高。直接数字频率合成(DDS)是一种采用数字方式合成信号的技术,具有很高的可靠性和灵活性,用它来产生线性调频信号,频率和相位调整灵活、频率转换时间短、频率分辨率高、相位噪声低、可靠性高^[6]。因此,文中选用DDS芯片作为线性调频信号产生电路的核心,产生10~110 MHz锯齿波线性调频信号。对半导体激光器信号的调制方式主要有直接调制和外调制两种。直接调制方式具有结构简单、易于实现的特点^[7],其带宽和功率特性足以满足FMCW激光探测系统的需求,因此,文中半导体激光器驱动电路采用直接调制方式实现。

1 激光光强调制原理

激光光强调制是指激光载波的强度随调制信号

的规律而变化的一种激光振荡。由于光探测器一般都直接响应光强变化,可以直接使用光探测器检测光强调制包络,更容易解调信息。对FMCW激光探测系统,使用线性调频信号对激光光强进行调制,该过程示意图如图1所示。图中所示的是理想情况,认为线性调频信号和光强波形是一个等幅波。实际中,光波的变化是无法依靠光电探测器进行响应的,因而图中1(b)所示的载波光强在探测器是一个直流响应,为一条直线。使用光电探测器即可对图1(c)所示的强度调制包络进行解调^[8]。

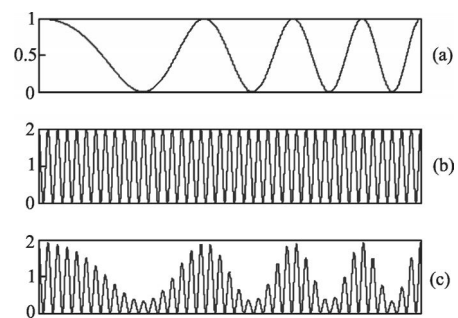


图1 激光光强调制示意图

Fig.1 Laser intensity modulation schematic diagram

2 电路设计与实现

2.1 线性调频信号产生电路

线性调频信号采用基于DDS技术的方法产生。DDS技术采用全数字化方式,从相位量化的角度出发来进行频率合成,可以提供对信号幅度、相位和频率的数字控制,且具有固有的良好带宽特性、良好的扫频线性度、极高的频率分辨率、较高的输出频率相对带宽、极短的频率转换时间、频率捷变时相位连续、任意波形输出等诸多优势。DDS也有两点不足之处,一是输出带宽主要受DDS工作时钟频率的限制,二是杂散问题^[9]。

选用ADI公司的AD9958双通道DDS芯片,内部集成了两个低功耗的DDS核,最高工作频率可达500 Msps。线性调频信号产生电路的结构框图如图2所示。AD9958通过微控制器(MCU)对AD9958进行初始化及控制,输出扫频范围10~110 MHz,调频周期100 μ s的锯齿波线性调频信号,输出端通过变压器耦合。共输出两路完全相同的信号,一路送入半导体激光器驱动电路作为激光的调制信号,另一路送

入 FMCW 探测系统的接收模块,作为混频器的本振信号。

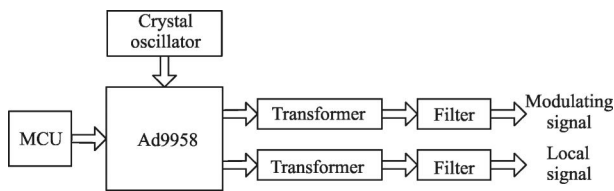


图 2 线性调频信号产生电路的结构框图

Fig.2 Structure diagram of linear frequency modulating signal producing circuit

直接数字合成技术的末级输出端是 D/A 变换器,输出信号是阶梯状的,带有很丰富的高次频谱分量,必须将其滤除^[10]。根据 FMCW 激光探测系统的需求,希望调频带宽内保持最佳的通带平坦度,因此选择巴特沃斯型低通滤波器。使用 Agilent 公司的 EDA 软件 ADS 进行无源滤波器设计,设置滤波器截止频率为 150 MHz, -20 dB 频率为 200 MHz,生成的 8 阶巴特沃斯低通滤波器如图 3 所示,其频带响应如图 4 所示。

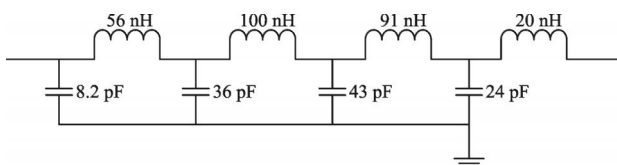


图 3 8 阶巴特沃斯低通滤波器

Fig.3 8 order butterworth low-pass filter

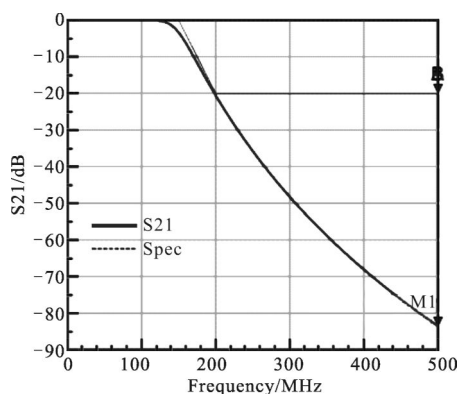


图 4 滤波器频带响应曲线

Fig.4 Frequency response curve of low-pass filter

2.2 半导体激光器驱动电路

半导体激光器需要一个压控电流源或流控电流源实现高效工作,该驱动器应能够提供足够大的电流和足够的带宽来激励激光器出光^[11]。采用美国某

半导体公司的集成驱动芯片,工作电压为 5 V,工作带宽高达 500 MHz。该驱动芯片可看做流控电流源,具有三个模拟电流输入端口和对应的数字控制端口,且三个通道输出电流相加后再由 IOUT 端口输出,最大输出电流 300 mA。设计的电路中采用其中一个通道作为直流电流偏置,一个通道作为调频信号输入端,另一个通道闲置不用。该驱动芯片的参考输入控制端要求为电流信号,而线性调频信号源产生的信号为电压信号,可以通过外接电阻来实现电压到电流的转换。驱动电路原理图如图 5 所示。

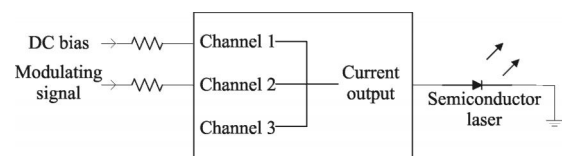


图 5 半导体激光器驱动电路原理图

Fig.5 Diagram of the semiconductor laser driver circuit

3 测试结果与分析

利用 LeCroy 公司的 6100A 型 1 GHz 示波器对线性调频信号产生电路的输出信号进行测试,测试结果如图 6 所示。待测信号由通道 3(C3)输入,设置运算通道 F1,对 C3 输入信号进行 FFT 运算,并添加运算通道 F2,对 F1 得到的 FFT 峰值进行记录,得到待测信号的幅频曲线,横轴跨度为 20 MHz/div。从图 6 显示的测试结果可以看出:该电路输出的 10~110 MHz 锯齿波线性调频信号有着很好的带内平坦度。

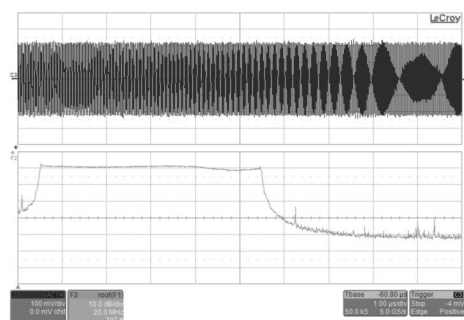


图 6 线性调频信号产生电路输出波形

Fig.6 Output waveform of linear frequency modulating signal producing circuit

利用集成光电探测器和示波器来观察该调频连续波激光调制电路输出的信号波形,实验测试如图

7所示。图中右下方为集成光电探测器 APD210,其输出端连接至示波器输入通道,左下方为激光调制电路驱动激光器输出线性调频连续波激光信号,设置示波器观察结果,如图8所示。

从实验测试结果可以看出:激光器驱动电路输出的激光信号与线性调频信号发生器电路产生的线性调频信号有着很好的调制相关度,且调制深度可以通过调整激光器驱动电路的电阻参数方便地实现。从图8中观察到集成光电探测器输出信号带内幅频曲线略有起伏,这主要由于激光器驱动电路的电流放大器以及光电探测器的集成放大器频率响应的起伏。该现象可以通过进一步优化驱动电路设计和改进测试方案进行改善。

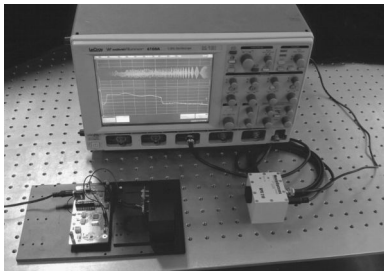


图7 测试系统

Fig.7 Test system

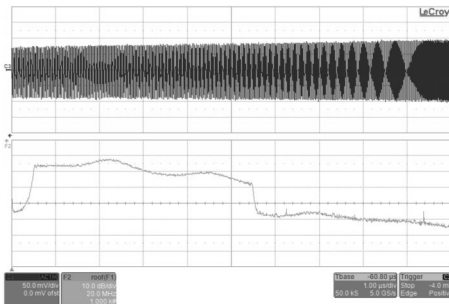


图8 集成光电探测器输出信号

Fig.8 Output signal of integrated photoelectric detector

4 结论

文中设计并实现了基于 DDS 技术和激光器驱动电路的 FMCW 激光调制电路,可驱动半导体激光器产生调制频偏 100MHz、调频周期 100 μ s 的光强

调制信号,从而满足 FMCW 激光探测系统的要求。

参考文献:

- [1] Redman B C, Stann B L, Ruff W C, et al. Anti-ship missile tracking with a chirped amplitude modulation lidar [C]//SPIE, 2004, 5413: 113-124.
- [2] Von Der Lippe C M, Jiang Liu J. Optical fuzing technology [C]//SPIE, 2006, 62140D: 1-7.
- [3] Stann B L, Redman B C, Lawler W B, et al. Chirped amplitude modulation lidar for range and Doppler measurements and 3-D imaging [C]//SPIE, 2007, 655005: 1-12.
- [4] Stann B L, Dammann J F, Giza M M, et al. Low-cost, compact lidar sensor for ground robots [C]//SPIE, 2009, 73230X: 1-12.
- [5] Meng Zhaohua, Hong Guanglie, Hu Yihua, et al. Research on chirped amplitude modulation coherent lidar [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(8): 2446-2450. (in Chinese)
- [6] Yang Wenjin, Zhao Jiguang, Du Xiaoping, et al. Generating technique of chirp signal applying to chirped AM laser radar [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 36 (S): 210-213. (in Chinese)
- [7] Luo Yi, Xu Jianming, Huang Jin, et al. High speed semiconductor light sources based on direct modulation and external modulation [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(2): 200-204. (in Chinese)
- [8] Jiang Peng. Research on high-power laser modulation system and technology for FM/CW imaging lidar [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2009. (in Chinese)
- [9] Liu Chaojun, Xu Rencan, Chen Zengping. The systematic analysis of the spectrum structure of DDS signal [J]. *Journal of National University of Defense Technology*, 2005, 27(6): 53-56. (in Chinese)
- [10] Sui Xiaolin, Zhang Xiaolong, Xuan Fei. Study on laser modulation using direct digital synthesis technology [J]. *Laser and Infrared*, 2006, 36(6): 436-440. (in Chinese)
- [11] Feng Liefeng. Photoelectric characteristic research of semiconductor lasers [D]. Tianjin: Tianjin University, 2007. (in Chinese)