文章编号:1001-5078(2016)03-0279-05 ·激光应用技术·

新型相位式激光测距系统电路的设计

谭晓瑞,张丕状,范圆圆
(中北大学 信息探测与处理技术研究所,山西 太原 030051)

摘 要:为了提高相位式激光测距系统的精度和可靠性,设计了一种新型的相位式激光测距系统的发射和两路几乎一致的接收电路。通过采用具有微小频差的低抖动时钟发生技术,差频测相技术等原理,系统可以实现特定环境下的高精度测量。系统由级联式PLL可编程时钟信号源、激光发射与接收模块、自动增益控制、混频滤波及数据采集组成。利用时钟源产生调制信号,并对反馈信号和接收信号进行放大、混频滤波等信号调理,进而采集数据并对数据进行处理分析。在电路的设计中,优化了激光的调制发射电路,采用低回波损耗的尾纤式激光器,增加简单实用的自动增益模块等。实验观察的波形和数据结果分析表明,此相位式激光测距系统电路简单实用,并且具有较高的稳定性和较高的测量精度。

关键词:差频测相;自动增益控制;混频处理;数据采集
中图分类号:TN249 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2016.03.007

Design of new type phase laser ranging system circuit

TAN Xiao-rui,ZHANG Pi-zhuang,FAN Yuan-yuan
(North University of China,Institute of Signal Capturing & Processing Technology,Taiyuan 030051,China)

Abstract: In order to improve the accuracy and reliability of the phase laser ranging system,a new type of phase laser ranging system which contains two almost identical receiving circuits and the transmission was designed. The system achieves high accurate measurement in some particular environments through the use of low jitter,small frequency difference clock generation technology and phase-shift measurement technology. The system is mainly composed of cascaded PLL programmable modulation signal generating,laser emission and receiving module,the automatic gain control,mixing filtering and data acquisition. Modulated signal is generated by the clock source,and the feedback signal and received signal are amplified,and then the collected data are processed and analyzed. Modulator and transmitter circuits of the system are optimized in the design of circuit. Pigtailed laser with low return loss and simple practical automatic gain module are used. The experimental results show that the phase laser ranging system circuit is simple and practical,and has high stability and high precision.

Key words:phase-shift measurement;automatic gain control;mixing process;data collection

1 引 言

激光的高方向性、单色性、抗干扰能力强使得激光测距具有高的测距精度,系统实现简单等优点。激光测距的方法主要有相位法、脉冲法、干涉法、三角法等[1],其中相位式激光测距具有更高的精度,但却存在着测距分辨率和最大可测距离之间的矛

作者简介:谭晓瑞(1989-),男,硕士研究生,主要从事电路设计,信号处理等方面的研究。E-mail:396635791@qq.com
收稿日期:2015-06-10;**修订日期:**2015-06-22

盾。相位式激光测距广泛应用于航空航天、工业测控、军事、地形测量等领域[2]。本设计主要针对传统的相位式激光测距电路复杂,可控操作繁琐等缺点,提出了新的设计方案,优化了激光发射的调制电路,采用手动可控制激光发射模块的驱动电流的大小[3],可以更加方便快捷地调试激光发射模块;设计中使用了 DFB 尾纤式激光器及探测器,有效地降低了回波损耗;并且设计中加入了简单、有效实用的自动增益控制电路,使得激光测距系统实现可控性以及更好的可靠性及稳定性,而且电路更加简单。最后采用宽频宽、四象限、高性能、低误差的模拟乘法器组成混频电路[4],更好地提高了相位式激光测距的精度。

2 相位式激光测距原理和系统总体设计

尾纤激光器发射并直接反馈的信号为:

$$S_0 = A_0\cos(\omega t + \phi_0) \tag{1}$$

经过一段被测距离接收后的回波信号为:

$$S_1 = A_1\cos(\omega t + \phi_0 + \phi) \tag{2}$$

式中,ϕ 是反馈信号和接收的回波信号之间的相位差,$\phi = 2\pi f_0 t$。

被测距离 L:

$$L = \frac{1}{2}ct = \frac{1}{2}c\cdot\frac{\phi}{2\pi f_0} = \frac{c}{2f_0}\cdot(N + \frac{\Delta\phi}{2\pi})$$

$$= \frac{\lambda}{2}(N + \frac{\Delta\phi}{2\pi}) \tag{3}$$

式中,c 为光在空气中的传播速度;N 为光波相移中的整波数;$\Delta\phi$ 为相移中不足整数的余数。其中 N 是无法直接测量的,所以系统采用双频调制的方式进行距离的测量[5]。本系统中精测频率使用的是 10 MHz 的正弦波信号,由于反馈和回波信号的频率很高,不便于对相位差进行直接测量,因此系统采用了差频测相的方式。

系统由级联式 PLL 可编程调制信号发生模块[6]、混频模块及激光发射与光电探测接收系统和信号调理、数据采集及数字信号处理构成。总体设计如图 1 所示。

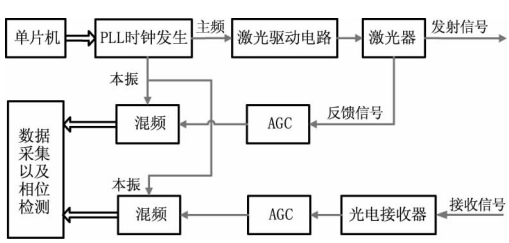


图 1 系统总体设计

Fig. 1 System design

3 系统硬件设计

3.1 激光驱动与直流偏置电路

系统使用高速运算跨导放大器 OPA860 将调制电压信号转换为电流信号,使用高速精密运算放大器 OPA602 和可调电压的晶体管 MMBT3906 提供直流偏置,并利用滑动变阻器调节电压大小从而改变三极管直流电流的大小,达到控制发射信号光强,快速方便地调试 LD 达到稳定状态,激光驱动发射电路如图 2 所示。OPA860 是 TI 公司生产的集成跨导运算放大器(OTA)和缓冲器为一体的芯片,其中用于激光驱动的 OTA 带宽高达 80 MHz,转换速率高达 900 V/μs,还设有外部电流 I_Q 调整,因此对调制信号进行电压 - 电流的转换,OPA860 是一种很好的选择。

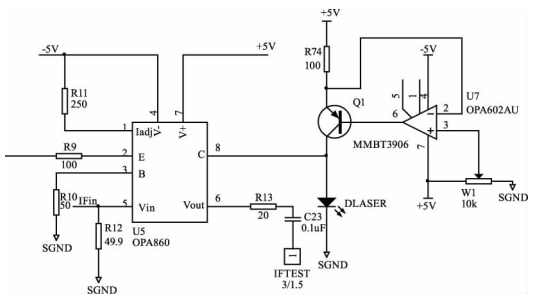


图 2 激光调制发射电路

Fig. 2 Laser modulation transmitter circuit

3.2 自动增益控制电路

自动增益控制(automatic gain control,AGC),是根据输入信号的大小而自动地调整放大电路的增益以达到稳定的输出。AGC 是具有负反馈系统性质的闭环电子电路,由控制电压电路和增益受控放大电路两部分组成,增益受控放大电路受其控制电压影响而改变增益。考虑到电路简洁以及成本,系统选择利用控制可变电阻来实现控制电压的变化,从而控制信号的放大倍数。

系统自动增益电路包括压控可变增益前置放大器、可变电阻和后级放大电路。输入信号 S_{in} 经可变增益放大器进行放大或者压缩,调整控制电阻阻值大小,从而改变可变增益放大器的放大倍数,实现电压增益的控制,直到输出信号的幅值符合系统要求。后级放大是信号放大的主体,进一步扩展可变增益放大器的控制范围,使得输出信号符合系统设计要求[7]。

AGC 调理电路输入信号幅度为 10 ~ 100 mV,输出信号幅度要求在 1 V 以内或者趋于该值,系统设计的具体电路如图 3 所示。可变增益放大器选择

TI 公司的宽频带,低噪声,线性度好,可变增益放大器 LMH6505[8],后级放大选择 AD 公司的800 MHz 宽频带,50 mW 电流反馈放大器 AD8001,可控变阻通过改变滑动变阻器的参数实现改变运算放大器的增益。

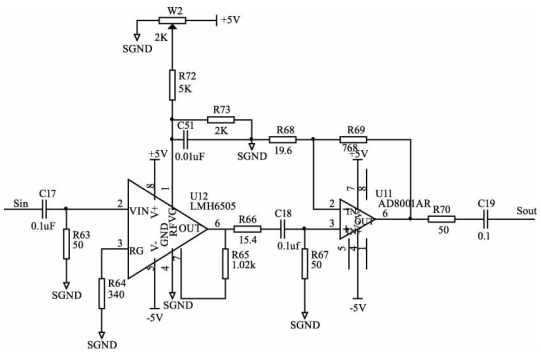


图3 AGC 硬件电路设计

Fig. 3 AGC hardware circuit design

3.3 混频电路及选频网络

混频是在雷达、通讯、电子等行业常用的一项技术,一般是将信号处理前端的高频信号频谱搬移至中频或者低频。混频电路由混频非线性元件及带通滤波器构成,常用的非线性器件有二极管、三极管等,其中以乘法器为优。系统中混频电路采用 ADI 公司生产的高速四象限模拟乘法器 AD834,其具有器件小、宽带宽、良好的稳定性以及外围电路简单等优点,适用于高频信号的混频,可以提高测向的精度。信号经过混频以后,需要提取出低频有用信号,因此需要选频单元以让有效信号通过,系统中选频网络采用了传输增益大于 1 的 RC 带通选频电路。混频和选频的电路如图 4 所示。

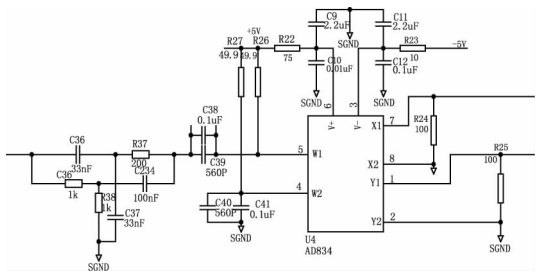


图4 混频和选频电路

Fig. 4 Mixers and frequency – selective circuit

4 系统电路实验结果

系统主频为 10 MHz 的正弦波信号,本振为 9.994 MHz 的正弦波信号。主频信号经过激光调制后一路信号直接反馈作为参考信号,另一路传输一段距离作为测量信号,系统电路中两路信号经过几乎一致的信号调理电路,自动增益和放大电路,之后与本振信号进行混频,并通过选频网络使混频后的差频信号通过而滤除和频信号,从而得到 6 kHz 的差频信号,然后进行数据采集与相位检测,最后计算出被测目标距离。

图 5 和图 6 分别为实际电路中参考信号和测量信号经过 AGC 后的波形;图 7 和图 8 分别为经过混频及选频网络后的参考信号和测量信号的波形;在实际的实验中,即使参考信号和测量信号的电路基本一致,但是在零距离时,用 matlab 对采集回来的数据进行相位差计算,仍然具有一定的相位差,所以后期的距离计算要以此作为基准计算相位差。图 9 为零距离时的参考信号和测量信号的相位差波形图(1 为测量信号,2 为参考信号),图 10 为传播 3.5503 m 距离的参考信号和测量信号的相位差波形图;图 11 位传播 7.1640 m 距离的参考信号和测量信号的相位差波形图。

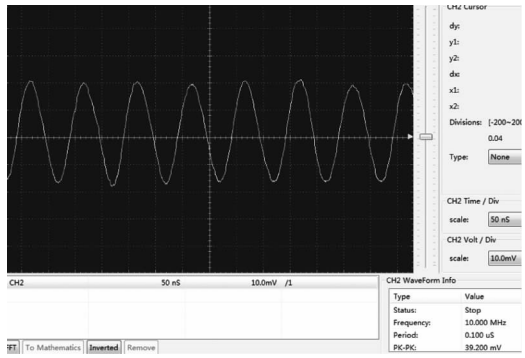


图5 经 AGC 后的参考信号

Fig. 5 The reference signal by AGC

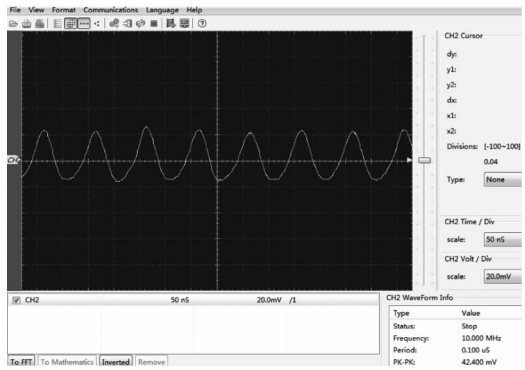


图6 经 AGC 后的测量信号

Fig. 6 The measuring signal by AGC

根据图 5、图 6 可以看出,反馈信号和测量信号经过 AGC 后,两路输出信号的峰峰值基本保持一致,信号稳定。实验中通过调节滑动变阻器,从而改变 VGA 的增益控制电压,可以很方便地调节放大倍数,满足测量不同距离时所需的不同放大倍数以使信号达到最佳效果。

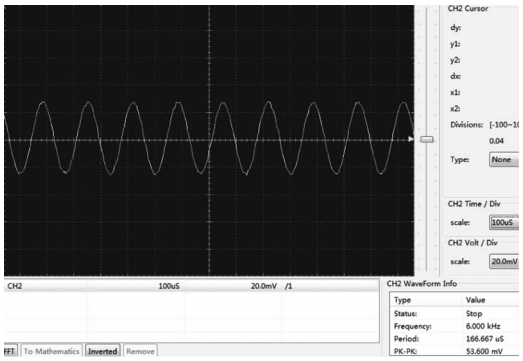


图 7 选频后的参考信号

Fig. 7 Reference signal after the selected frequency

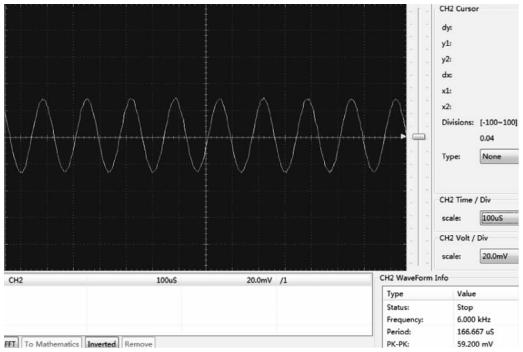


图 8 选频后的测量信号

Fig. 8 Measuring signal after the selected frequency

根据图 7、图 8 的波形,主频信号和本振信号经过混频和选频网络后,得到频率为 6 kHz 的正弦波,从图中可以看出,选频信号稳定性很好,波形曲线也较为理想,可以提高相位差测量的精度,满足系统的要求。

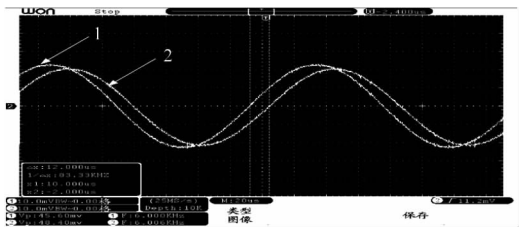


图 9 无传播距离的相位差波形图

Fig. 9 Phase waveform of no propagation distance

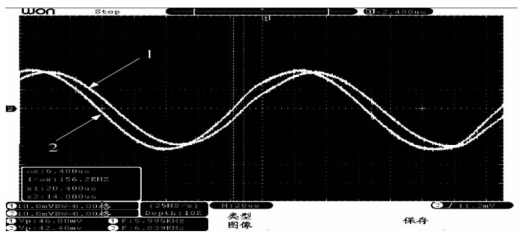


图 10 传播 3. 5503 m 后的波形图

Fig. 10 The waveform after propagation 3. 5503 m

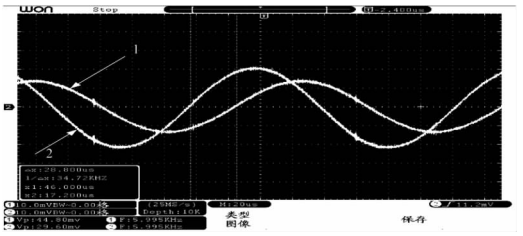


图 11 传播 7. 1640 m 后的波形图

Fig. 11 the waveform after propagation 7. 1640 m

系统测试实验中,使用多通道数据记录仪对参考信号和测量信号进行数据采集并存储下来,其中采样频率为 100 kHz,用 matlab 软件读取采集的数据。系统中使用数字鉴相算法中的内积鉴相法进行相位差计算,使用 matlab 软件编写内积鉴相程序,对采集的数据进行相位差计算,得到参考信号和测量信号的相位差,进而计算出传播距离。

实验中,图 9 表明零距离时反馈信号和接收信号仍然具有一定的相位差,经过多次测试,此相位差为一固定值,为 24. 5097°。因此后期对距离进行计算时必须以此相位差为基准方才满足测距要求。图 10 是实际距离 3. 5503 m 时,用 matlab 对采集的波形进行相位差计算,计算出其相位差为 42. 70404°,即系统所测的距离为 3. 5587 m,测距误差为 8. 4 mm;图 11 是当传播 7. 1640 m 时,计算出相位差为 86. 0744°,即系统所测距离为 7. 1729 m,测距误 差为 8. 9 mm。根据实际的距离测量,此系统电路测距精度较高,系统性能稳定,满足设计要求。

5 结 论

实验测量结果表明,该电路结构简单实用,可有效地减少外界的干扰,从波形来看,接收处理后的信号稳定、准确,可以在特定的复杂环境下进行距离测量。测量精度可达到厘米级别,具有较高的测距精度,并且系统电路简单,性能稳定,因此此电路具有实际的应用价值。

参考文献:

[1] JIA Fangxiu. research on key technologies of Phase-shift laser range finder with multi – frequency modulation[D] Harbin: Harbin Institute of Technology, 2010. (in Chinese)

贾方秀. 多频调制的相位法激光测距中若干关键技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.

[2] LIAO Ping, CAI Yuxin. Improved design of phase laser range finder circuit[J]. Laser & Infrared, 2013, 43(4): 356 – 359. (in Chinese)
廖平,蔡玉鑫. 改进型相位式激光测距电路的设计[J]. 激光与红外,2013,43(4):356 – 359.

[3] JI Rongwei, ZHAO Changming, REN Xuecheng. High precision and high frequency pulse laser ranging system[J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(8): 1461 – 1464. (in Chinese)
纪荣讳,赵长明,任学成. 高精度高重频脉冲激光测距系统[J]. 红外与激光工程,2011,40(8):1461 – 1464.

[4] ZOU Tao, QUAN Bei, et al. High-speed four-quadrant analog multiplier AD834 and its application[J]. Electronic Engineering & Product World, 2001, 18: 30 – 31. (in Chinese)
邹涛,全备,等. 高速四象限模拟乘法器 AD834 及其应用[J]. 电子产品世界,2001,18:30 – 31.

[5] FENG Guoxu, CHANG Baocheng. Study of high precision laser ranging technology[J]. Laser & Infrared, 2007, 37(11): 1137 – 1140. (in Chinese)
冯国旭,常保成. 高精度激光测距技术研究[J]. 激光与红外,2007,37(11):1137 – 1140.

[6] CHEN Yemin, LIU Changming. Analysis on spurious performance in PLL frequency synthesizer[J]. Radio Communications Technology, 2010, 1: 61 – 64. (in Chinese)
陈叶民,刘长明. PLL 频率合成器的杂散性能分析[J]. 无线电通信技术,2010,1:61 – 64.

[7] ZHI Qiang, HUO Yujing, GONG Ke. Handheld laser rangefinder and its transmitter circuit[J]. Laser & Infrared, 2013, 43(5): 532 – 535. (in Chinese)
智强,霍玉晶,巩轲. 手持激光测距仪及其发射电路[J]. 激光与红外,2013,43(5):532 – 535.

[8] CHEN Lei, HUANG Feng. Design of intermediate frequency signal conditioning circuit based on LMH6505[J]. Electronic Design Engineering, 2009, 9: 80 – 81. (in Chinese)
陈磊,黄峰. 基于 LMH6505 的中频信号调理电路设计[J]. 电子设计工程,2009,9:80 – 81.