文章编号:1001-5078(2006)08-0632-03

车用防撞 LD 测距仪的设计

孙春生,秦石乔,王省书,贾宏进
(国防科技大学光电科学与工程学院,湖南 长沙 410073)

摘　要:从设计一种成本低,工作稳定的高性价比车用 LD 测距仪出发,分别对测距仪的工作原理及参数确定、光学系统、发射驱动电路、接收探测电路和软件信号处理方面进行了分析和优化设计。所设计的 LD 测距仪达到了 6 ~ 150m 的测量量程和 ±1m 的测距精度,工作稳定可靠,对提高驾乘的安全性有良好的实用价值。

关键词:激光测距仪;激光二极管;汽车防撞
中图分类号:P225.2　　**文献标识码**:A

Design of Automobile Crashworthy LD Rangefinder

SUN Chun-sheng, QIN Shi-qiao, WANG Xing-shu, JIA Hong-jin
(College of Optoelectronic Science and Technology, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: A LD rangefinder is designed which has the characters of low cost, reliable and high performance to price ration. Optimal design of the laser rangefinder is discussed according to the system's applied demand, optical system, laser transmit driver circuit, laser detection circuit and signal process software. The laser rangefinder used in automobile crashworthy system can get 150m measurement range and ±1m measurement accuracy easily, and improve security of drive and ride effectually, which confirms that the laser rangefinder is practicable.

Key words: laser rangefinder; laser diode; automobile crashworthy

1　引　言

半导体 LD 测距仪以其体积小、成本低、结构简单等优势已广泛地应用于测量、跟踪和安全等领域。随着人们对驾乘安全要求的提高,LD 测距仪也逐渐应用于汽车防撞系统。本文根据高速公路上汽车防撞系统的应用需求为背景,以系统成本低、性价比高为目标设计了一种 LD 测距仪。这种测距仪发射激光波长为 905nm,量程为 6 ~ 150m,测距精度为 ±1m,可在较强的背景光下工作,能够满足高速公路上汽车防撞测距的使用要求。

2　系统工作原理及参数确定

激光测距目前常用的方法有脉冲测距和相位测距两种[1]。本着低成本的原则,系统选用的是脉冲测距的方法。系统主要由半导体激光驱动电路、回波信号接收电路、单片机控制与计时电路、光学系统和电源组成。其工作原理示意图如图 1 所示。

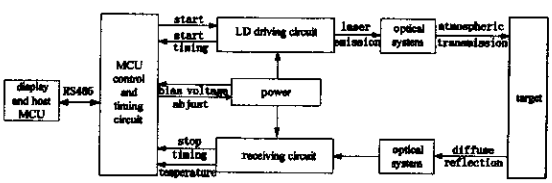


图 1　系统原理框图

系统的具体工作过程如下:单片机下达测距开始指令,半导体激光驱动电路收到指令后利用高速场效应管作为纳秒开关,通过电容充放电产生窄脉宽的大电流脉冲,驱动半导体激光器发出脉冲激光,同时将计时开始信号送至计时电路,启动计时电路中的恒流源对计时电容充电,半导体激光器发射出的脉冲激光经光学系统准直后,经大气传输后到达目标,目标散射后的一部分光经接收光学系统进入

作者简介:孙春生(1977 -),男,博士研究生,研究方向为光电检测及光电精确制导技术。E-mail:scs96581@163.com
收稿日期:2006-02-11;修订日期:2006-03-29

APD 的光敏面，接收电路将接收到的光信号进行转换、放大、整形后输出至计时部分，使计时电容停止充电，这时电容的电压值与充电时间对应，同时 APD 附近的温度传感器感应出 APD 工作环境温度的变化，并将温度信号送至 MCU 控制电路，由 MCU 控制直流可调电源输出合适的 APD 偏压。单片机控制采样电路读取计时电容的电压值，并根据预先的标定将电压值转换成距离值送至上位机或显示系统。

测距仪系统参数的选定：考虑到高速公路的路况和实际使用情况，确定测距仪的量程为 6 ~ 150m，测距精度为 ± 1m；激光器功率的选择要求满足对 150m 距离处的小目标测距时，回波信号的强度达到接收电路的所需的信噪比，波长选择则要求在可见光范围之外，故选定激光器的输出功率为 20W，波长为 905nm；考虑到高速公路上测距仪的误报警会可能会产生严重后果，要求虚警率低于 10^{-4}，探测概率高于 99%；测距仪的结构体积以简单小巧、便于汽车安装为佳；另外还要求测距仪成本低、工作稳定、性价比高等。

3 光学系统设计

测距仪光学系统包括发射光学系统和接收光学系统。半导体激光器发光面和发散角较大，且发散角不对称（如 PGEW2S09 的发光面为 225 × 120μm、发散角 $\theta_{\parallel} = 10°$，$\theta_{\perp} = 30°$），因此要同时达到小的发散角和细的光束半径，两者相互矛盾[2]，设计难度比较大。目前常用的半导体激光整形准直的方法有：单透镜法、组合透镜法、渐变折射率透镜法、液体透镜、反射法、衍射法等[2]。其中长焦距大孔径单透镜法具有结构简单、成本低、容易实现等特点，但采用这种方法的准直系统的尺寸比较大，准直后光斑也较大，因车用激光测距仪对出射光斑大小没有严格限制，故采用此方法设计发射光学系统。接收光学系统主要应满足以下的要求：足够大的光放大倍数，合适的视场角，消除杂散光的影响，此外还要求结构简单和成本低。这里采用双胶合透镜作为接收透镜，用窄带滤光片和光阑抑制背景光与杂散光干扰。

光学系统的结构框图如图 2 所示。发射光学透镜通光口径和焦距的选取主要是根据所用 LD 发散角的大小、测距仪的体积结构和需达到的发散角的大小决定。接收光学系统的通光孔径、视场角是选择胶合透镜的主要依据。若发射光学系统和接收光学系统的等效焦距为 60mm，发射光学系统的出射通光口径为 24mm，接收光学系统的入射通光口径为 40mm，LD 的发光面为 225 × 125μm，APD 的光敏面为 0. 5mm，则经准直后光束的理想发散角为：(225/60) × (125/60) = 3. 75 × 2mrad，理想接收视场角为：500/60 ≈ 8. 3mrad，可以满足车用测距仪的实际使用要求。

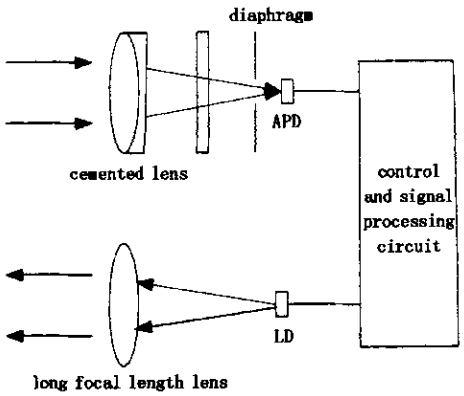


图 2 光学系统结构图

4 发射驱动电路的设计

发射驱动电路用来驱动半导体激光器发光。要求发射光脉冲的脉宽窄，上升沿快，脉冲频率可调。压缩发射激光脉冲的脉宽和上升沿时间可提高测距仪的测量精度。

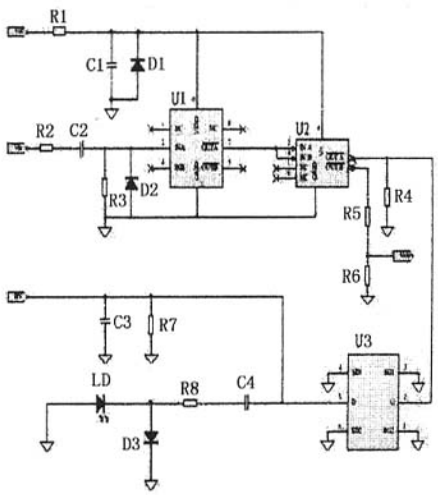


图 3 激光发射驱动电路

图 3 为激光发射驱动电路。其中，U1 和 U2 为高速 MOSFET 驱动器，用来提升输入激光发射启动脉冲 V_{tr} 的驱动能力；U3 为高速高功率 MOSFET 管，用作纳秒开关。当激光发射启动脉冲没有到来时，U3 处于关断状态，输入高压源 HV 通过 C4、R8 和 D3 回路对电容 C4 快速充电；当激光发射启动脉冲到来时，经 U1 和 U2 提升驱动能力后，驱动纳秒开关管 U3 快速打开，电容 C4 上的电荷通过地、LD、R8、C4 和 U3 回路高速放电，形成高峰值窄脉宽的

电流脉冲,驱动 LD 发出窄脉冲光,电流峰值的大小由 HV、C4 和放电回路的参数决定;U2 另一输出端输出的脉冲信号经电阻分压后送时间-距离转换电路。合理地设置 C4 的值和充放回路的参数,可以获得理想的激光脉冲。改变启动脉冲 Vtr 的重频可相应地改变测距机的发光频率。本测距仪选用的输入高压为 195V,C4 为 1nF,获得了上升沿 8ns、脉宽 20ns 的光脉冲,对应的电流脉冲的峰值为 30A。

5 接收放大电路的设计

接收放大电路包括光电转换电路和放大电路,光电探测器采用雪崩光电二极管(APD),如图 4 所示。V_0 为输入的经温度补偿后的可调直流电压,电容 C1、C2 和电阻 Rc 组成 π 滤波器[3-4],电容 C3、电阻 Rf 和运放 Av 组成脉冲信号放大读出电路,R1 为 APD 偏压电路的直流负载电阻。

光电转换电路即 APD 偏压电路,目前 APD 偏压电路控制方式有恒流偏置、温度补偿和恒虚警控制等几种方式。其中恒流偏置方式只适用于恒背景光或无背景光条件下的 APD 偏压控制;温度补偿方式[5]耐背景光能力差;恒虚警控制方式[6]能较好的保持最佳倍增因子,但此方法的实现电路较复杂,相应的电路成本也较高。这里采用了一种便捷的、低成本的 APD 偏压电路设计方案:在 APD 温度补偿的基础上,优化选取 APD 偏压电路的串行电阻 R_c,在一定的背景光变化范围内实现对 APD 探测电路的背景光补偿。

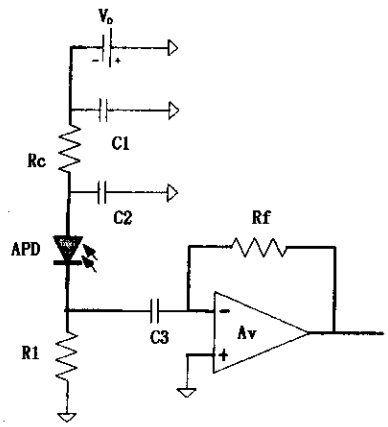


图4 接收放大电路示意图

放大电路设计的主要指标是放大倍数、通频带和噪声系数等,其中前置放大器的性能直接决定着整个放大电路的性能,因此是放大电路设计的核心部分。从成本低、结构简单和性能满足要求的角度出发,放大电路采用固定增益的两级放大电路,且核心器件为高频三极管。一定的条件下,在量程为 6~150m 的测距范围内,近距离时信号是饱和的,远距离时信号则没有失真;而背景噪声的大小基本是不变的,因此必须取合适的放大倍数和时刻鉴别电路的阈值以保证测距仪满足低虚警率与高探测概率的要求。这里的放大电路设计为,对输入电流信号等效电阻为一个 500kΩ 左右的电阻。放大电路的通频带宽取决于探测的光信号的脉冲特性,即光信号的频谱,3dB 带宽设计为 35M。合理地设置放大电路中三极管静态工作点和外围电阻参数,可获得需要的电路带宽,也能改善跨阻的噪声性能[7-8]。

6 软件信号识别与处理

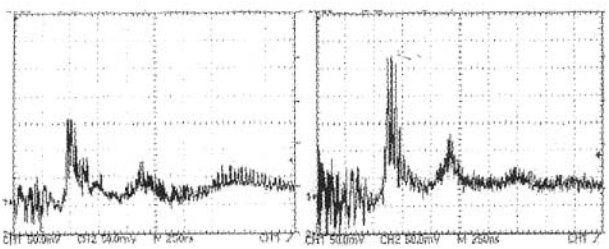
测距仪在实际使用过程中,难免因外部杂散光和电路内部噪声而造成虚警。通过 MCU 的程序可以对信号进行识别,进而滤除噪声,降低实际使用中的虚警,提高测距仪的量程。

信号、噪声的识别是根据噪声脉冲在时间上的随机性,而信号脉冲在时间上是有规律并前后关联的原理剔除噪声的。在实际使用过程中,对同一目标连续 N 次测量的有效数据是相关联的,不会过于离散。此信号识别与处理的具体方法是:连续测 N 次(如 10 次)给出一次距离信息,单片机获取 N 个距离值之后,去掉最大值和最小值后对剩下的 N-2 个距离数据取均值 μ 和方差 D;然后将 D 与给定阈值 D_0 做比较,若 D 大于 D_0,则表明数据过于离散,认为无效而丢掉,进行下一组测距和数据处理;若 D 小于 D_0,则继续对这一组数据进行处理,取这 N-2 个数据的均方差并乘上系数 k 得到加权均方差 σ,然后取($\mu-\sigma$, $\mu+\sigma$)作为置信度为 1 的置信区间,对 N 次试验数据进行筛选,落在置信区间内的数据认为是有效数据,否则认为是无效数据而剔除掉;对经过筛选后所剩的 N′次数据取均值即得到所需的距离值。参数 N 的选择,根据激光脉冲频率、MCU 的处理速度及所需距离值的允许延时量决定,N 过大,则 MCU 处理时间和给出距离值的延时时间会加长,一般取 10 次即可;参数 D_0 的选择主要由实际使用情况下测距仪与目标的最大相对速度、激光脉冲频率决定,D_0 越小,对测试数据的筛选能力越强;参数 k 的选取主要由所需的数据筛选能力决定,其取值范围为 0~1,k 越小,剔除干扰信号的能力越强,但过小会剔除掉有效信号,一般取 0.8 左右。增加数据处理时的数据筛选次数,可进一步降低虚警,提高量程,但会加大给出距离值的延时量,一般数据的筛选次数取 1~2 次。

(下转第 643 页)

量输出也相对减弱，光栅 G_1、G_2 有效工作面积没变，所选两支线的能量也基本保持不变，峰值间的时间间隔减少变为 500ns 和 600ns（图 3b、c）；当光栅 G_3 高度下降一部分时，光栅 G_3 有效工作面积减小，G_2 有效工作面积增大，而 G_1 保持不变，结果 G_3 支线能量减小，G_2 支线能量增大，G_1 能量基本不变，三最高峰间的时间间隔又变为 750ns 和 500ns（图 3b、d）。各支线能量与其有效工作面积成正比关系，其他条件一定时，可以根据需要适当调整三光栅位置改变各支线能量比。

3.4 放电电压对输出特性的影响



（a）工作电压为 25kV 时激光器的输出波形　（b）工作电压为 27kV 时激光器的输出波形

图 4 工作电压对输出能量的影响

通过试验，我们发现工作电压对输出的总能量和各支线能量均有影响，由图 4 可知，随工作电压的增加总能量和各支线能量都变大。工作电压存在一个有效范围，电压太低或太高容易产生弧光，不利激光输出，经试验，工作电压在 25～36kV 间时能有较好激光输出。因此，在其他条件一定时，我们同样可以通过调整工作电压来调节总能量和各支线能量。

4 结 论

本文采用的这种新型三波长 TEA CO_2 激光器波长可调谐，且调谐范围较大，各支线能量比也具有良好的可调性，且不同的三个波长光场在空间上有较好的重叠性，整个光路易调，输出能量时间参数再现性好，解决了非同空间运行输出和同空间多波长运行的谱线竞争空间不重叠问题。该激光器在分离同位素的试验中具有很大的实用价值。

参考文献：

[1] 王德武. 激光分离同位素理论及其应用[M]. 北京：原子能出版社，1999.

[2] 刘宗才，等. 用多频红外激光离解 CF_3I 浓缩 ^{13}C 同位素[J]. 科学通报，1985，4：261－262.

[3] 潘大任，谭吉春. 双频 CO_2 激光多光子离解 CF_3CHCl_2 分离氘[J]. 激光，1981，9（3）：152－156.

[4] 李适民，黄维玲，等. 激光器件原理与设计[M]. 北京：国防工业出版社，2005. 83－109.

（上接第 634 页）

6 结 论

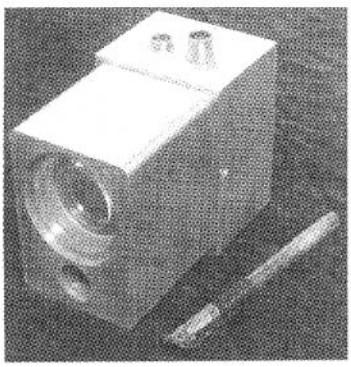


图 5 测距仪实物图

本测距仪的设计立足于低成本和工作稳定，因此具有成本低、性价比高、体积小和结构简单等特点，测距仪实物图如图 5 所示。由于采用了温度补偿加串行电阻背景光补偿的 APD 偏压控制方式，测距仪的耐温度变化能力和耐背景光能力增强，能在－20～70℃的温度范围内的阴霾或晴空条件下完成对大小目标的正常测距；软件的信号识别与处理提高了测距仪的量程，同时降低了测距仪的虚警率，在同等虚警率的条件下，能将测距仪的量程提高 10% 左右。本文设计的测距仪能较容易地达到 150m 量程和 ±1m 的测距精度，能够满足高速公路上汽车防撞测距的使用要求。

参考文献：

[1] 高稚允，高岳，张开华. 军用光电系统[M]. 北京：北京理工大学出版社，1996：205－215.

[2] 胡春生. 脉冲半导体激光器高速三维成像激光雷达研究[D]. 长沙：国防科技大学，2005：46－51.

[3] Yi-Ren Lai，Pie-You Chien. Method and apparatus for reducing the noise in the receiver of a laser range finder [P]. U. S. Patent：5，946，081. Aug. 31，1999.

[4] I-Jen Lai，Pi-Yao Chien，Chih-Wei Hung. Light receiving circuit of laser range finder [P]. U. S. Patent：US2002/0033937 A1，2002－3－21.

[5] 容太平，苗林. 采用 MAX6605 实现 APD 最佳偏压温度补偿[J]. 华中科技大学学报（自然科学版），2004，32（5）：16－18.

[6] 吕华，王日. 雪崩光电二极管恒虚警率控制在激光成像系统中的应用[J]. 红外与激光工程，2002，31（1）：44－47.

[7] Donald A. Neamen 著. 赵桂钦，卜艳萍译. 电子电路分析与设计[M]. 北京：电子工业出版社，2003.

[8] 方志豪. 晶体管低噪声电路[M]. 北京：科学出版社，1984.