

激光雷达测距系统光源驱动设计

熊显名^{1,2}, 李三龙^{1,2}, 张文涛^{1,2}, 张 良^{1,2}, 李鹏飞^{1,2}

- (1. 桂林电子科技大学 电子工程与自动化学院, 广西 桂林 541004;
2. 广西高校光电信息处理重点实验室, 广西 桂林 541004)

摘 要: 脉冲式激光雷达探测性能与激光光源发出的光脉冲密切相关, 而激光二极管(LD)驱动电路性能直接决定了光脉冲的优劣。基于激光雷达系统要求, 选用超快速金属氧化物半导体场效应管(MOSFET)作为开关器件, 建立驱动电路模型, 对驱动电路设计与分析, 经过多次试验, 成功设计出最小脉宽 10 ns, 上升沿 3.5 ns, 重复频率可达 50 kHz 的 LD 驱动电路。驱动 LD 峰值功率将近 60 W, 成功用于激光雷达光源部分, 测距精度达到 3 cm/10.77 m, 满足激光雷达系统要求。

关键词: 脉冲式激光雷达; 光脉冲; 金属氧化物半导体场效应管; 峰值功率

中图分类号: TN249; TN710 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA201645.0206004

Design of driving laser diode for ladar ranging system

Xiong Xianming^{1,2}, Li Sanlong^{1,2}, Zhang Wentao^{1,2}, Zhang Liang^{1,2}, Li Pengfei^{1,2}

- (1. School of Electronic Engineering and Automation, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China;
2. Guangxi Colleges and Universities Key Laboratory of Optoelectronic Information Processing, Guilin 541004, China)

Abstract: Pulsed laser radar detection performance is associated with laser optical pulse emitted by laser light source, and the performance of power supply directly determines the quality of optical pulse. According to the requirements of laser radar system, the high power MOSFET was used as switching device and the driving circuit model was established, designed and analyzed. The driving circuit with 10 ns minimum pulse width, 3.5 ns rising time and 50 kHz pulse repetition frequency was obtained successfully after much experiments. The optical peak power of LD nearly reached 60 W, and it was successfully applied in laser radar as laser emission part. The 3 cm/10.77 m accuracy can satisfy the requirement of a laser radar.

Key words: pulsed laser radar; optical pulse; MOSFET; peak power

收稿日期: 2015-06-05; 修订日期: 2015-07-10

基金项目: 广西省自然科学基金(2013GXNSFDA019002, 2014GXNSFGA118003); 桂林市科学研究与技术开发课题(20130122-2)

作者简介: 熊显名(1964-), 男, 研究员, 硕士生导师, 主要从事光电检测、计算机视觉等方面的研究。Email: xmxiong@guet.edu.cn

0 引言

半导体激光器因具有体积小,可靠性强,转换效率高等优点,其应用领域非常广泛。随着半导体激光器制造工艺的成熟,半导体激光器的输出功率不断提高,采用对人眼安全 905 nm 波长的半导体激光器在激光检测以及目标识别领域中迅速发展^[1]。

在脉冲式半导体激光雷达中,测量距离、精度、抗干扰能力等,在很大程度上取决于半导体激光器发射的激光脉冲的质量。脉冲的上升时间或者下降时间决定测量的精度,光斑峰值功率决定最大可以测量的范围,脉冲宽度决定了抗干扰能力。光源的这些参数都是直接由驱动电路的性能决定,即驱动电源脉冲的质量直接决定半导体激光器发射激光脉冲的质量。因此,半导体激光器驱动电源的设计指标是一项极其关键的技术。

国内外对驱动电路设计核心器件主要有雪崩三极管和快速 MOSFET^[1-2],雪崩三极管开关速度可到 10 ns 速度,但是参数不能随意调节,而 MOSFET 开关速度可以达到纳秒。国内外设计驱动板输出脉冲宽度几乎都大于 15 ns,脉冲上升时间高于 4 ns^[3-4]。文中分析了脉冲式半导体激光器驱动电路基本模型,解决了纳秒脉冲获取困难问题,将驱动脉冲上升沿提到 2 ns,采用高功率高电压超快速 MOSFET 作为驱动电路的核心开关器件^[2],利用电容作为储能器件,设计出纳秒级大电流脉冲激光二极管驱动电路,成功用于激光测距仪光源部分。

1 半导体 LD 驱动电路模型建立

在脉冲式 LD 驱动电路中,脉冲持续时间短,一般为 10 ns 左右。短时间内获得几十安的瞬时电流,常规电源很难满足,采用能量压缩技术^[5],即利用电感或者电容存储能量,高速开关控制对负载放电可以很好地解决这个问题。该设计采用对电容充电,用 MOSFET 作为开关^[2]来控制电容放电时间来获得瞬时大电流。图 1 为基本电路模型。

图 1 中 C 为储能电容, R_1 为充电回路限流电阻, R_2 为放电回路总电阻, L 为整个放电回路总的分布电感量, S 为放电回路控制开关。在放电过程中 LD 可以等效成一个小电阻,进而整个放电回路变成

串联 RLC 电路^[4]。运用 KVL 列方程如下:

$$\frac{1}{C} \int i dt + Ri + L \frac{di}{dt} = 0 \quad (1)$$

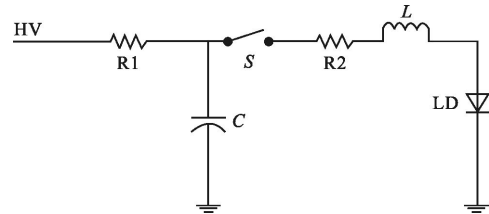


图 1 基本电路模型

Fig.1 Basic circuit model

对上式微分可得:

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = 0 \quad (2)$$

在开关闭合瞬间零时刻有回路电流 $i=0$, 电感电压为 V 则有 $\frac{di}{dt} = \frac{V}{L}$ 。在 $t>0$ 时,电路工作在欠阻尼状态,则解二阶线性微分方程得复数根为^[6-7]:

$$i(t) = -\frac{V}{\omega L} e^{-\frac{R}{2L}t} \sin \omega t \quad (3)$$

式中: $\omega = \sqrt{1/LC - (R/2L)^2}$ 。

电路中 $V=40$ V, $C=10$ nF, L 分别取 1 000 nH, 100 nH, 10 nH, 回路中总电阻为 $R=3$ Ω 。图 2 为电流仿真波形。

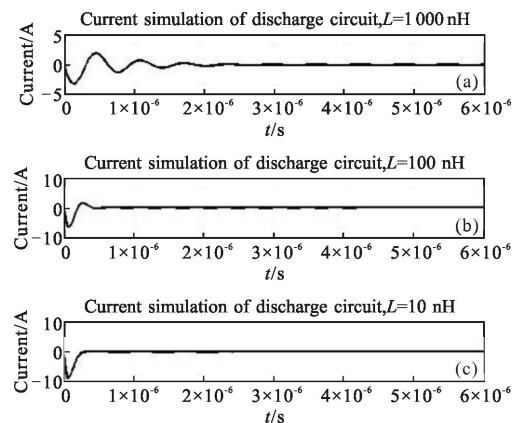


图 2 放电电流仿真波形

Fig.2 Current simulation of discharge circuit

图 2 可得电路放电电流衰减按正弦规律变化,放电回路中需要用的只是基波得到的脉冲电流,后面的高频谐波衰减越快越好,故 $\frac{R}{2L}$ 要很大,回路中 R 一定,分布电感 L 要越小越好。 L 的大小会还会直接影响放电电流大小以及脉冲的宽度,在电路中每增

加 1 in(2.54 cm) 布线长度将引起大约 20 nH 分布电感^[8], 所以放电回路越短越好, 尽量减少过孔, 这样可以有效减少回路分布电感。国外设计的驱动板总的分布电感量可以达到 3 nH 以下。由公式(3)可得在电路参数确定后放电电流大小与电压呈正比关系。

2 纳秒级脉冲激光二极管驱动电路设计和分析

设计纳秒级脉冲激光二极管驱动电源主要包括纳秒短脉冲获取和驱动主电路设计与分析。纳秒级短脉冲为 MOSFET 提供控制信号, 通过对采样电阻上电流波形监测来反应驱动主电路性能^[9]。

2.1 纳秒短脉冲获取

纳秒短脉冲获取采用一般电路很难实现, 常用的方法有采用 555 调节 RC 来改变充放电时间常数实现脉冲宽度调节, 电路繁琐而且脉宽不稳定, 而高速高精度晶振法, FPGA 倍频法等成本昂贵。在实验中发现高速电路硬件延时一般为纳秒级, 采用高速逻辑门就可以成功实现纳秒级延时。纳秒级短脉冲获取原理图如图 3(a)所示, 首先由单片机或者 CPLD 产生一个脉冲, 取一路经过高速逻辑非门延时后, 将两个脉冲一起经过高速比较器整形送到高速逻辑与门做与运算如图 3(b), 通过高速比较器提高上升沿速度。改变非门个数和调节比较器触发电平可以改变脉冲宽度, 实验中采用 Agilent MSO6052A (带宽 500 MHz 采样率 4 GSa/s) 示波器测得数据波形如图 4 所示, 脉宽分别为 10 ns, 15 ns, 35 ns, 60 ns 脉冲, 上升沿均为 2 ns。此方案成功解决了窄脉冲难获取问题, 输入脉冲满足 COMS/TTL 电平。

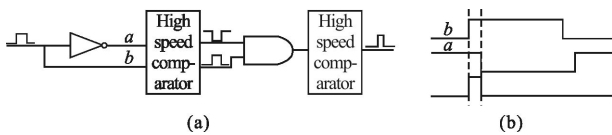


图 3 脉冲获取原理图

Fig.3 Schematic of pulse generation

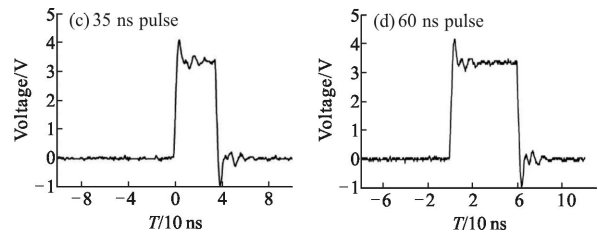
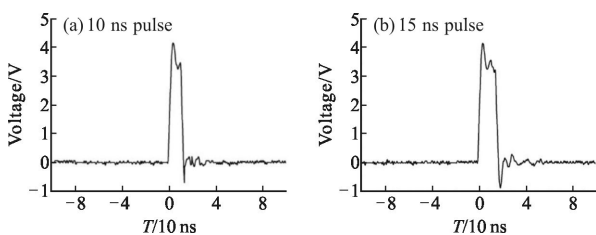


图 4 短脉冲波形图

Fig.4 Short pulse waveform

2.2 驱动主电路设计与分析

MOSFET 是整个电路关键器件, 电路要求开关速度在纳秒时间, 脉冲峰值电流在几十安培, 必须采用高速高功率 MOSFET。实验中采用 DEI 公司 MOSFET, 可供选择的型号有 DE150、DE275 等。实验采用的是 DE275, 开关频率可以达到 100 MHz, 脉冲峰值电流最大可以到 98 A, 满足试验要求。

MOSFET 作为非线性开关器件时, 应为其栅极输入电容提供快速充放电回路。DE275 的输入电容为 1 800 pF, 开启的阈值电压为 2.5~5.5 V, 通过公式(4)可以大概计算出在两个纳秒时间内达到阈值电压需要的充电电流为 2.25~4.95 A。上节的窄脉冲是无法提供这么大的电流驱动能力, 实验中采用的驱动芯片为 DEIC420, 驱动电流(源/漏电流)最大可以到 20 A, 输入信号兼容 TTL 或者 CMOS 电平。对 1 nF 电容负载时上升时间和下降时间均为 3 ns, 最小脉冲宽度可以达到 8 ns。内部大致电路如图 5 所示。

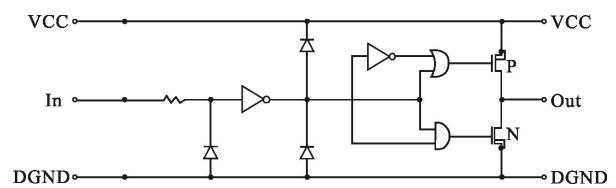


图 5 DEIC420 内部功能结构图

Fig.5 DEIC420 functional diagram

DEIC420 输入信号 25 ns 5 V 窄脉冲信号上升时间为 2 ns, 输出为 25 ns 12 V 脉冲信号驱动 DE275, 空载时候脉冲信号上升时间为 1.8 ns, 如图 6 所示。

图 7 为激光二极管驱动电路主回路。高速窄脉冲输入给 MOSFET 驱动器, 直接输入 MOSFET 的栅极 G。实验中采用 N 型增强型 MOSFET, 当输入脉冲电平为低时, Q2 为截止状态, 高压电源通过 R1 对电容 C3 充电。当脉冲电平为高时, MOSFET 漏源极

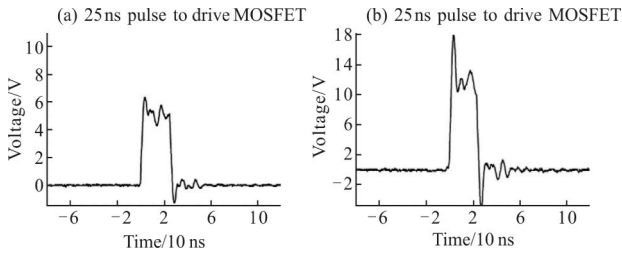


图 6 DEIC420 输入输出脉冲波形图

Fig.6 DEIC420 input and output waveform

打开，电容 C3、D1、R2 与 Q 的漏源极组成放电回路。电容 C3 里面存储的电荷通过放电回路迅速放电，在脉冲激光二极管上面形成大的电流脉冲，激光二极管受激辐射脉冲激光。电路中电阻 R1 为充电回路充电电阻，在高压电源 HV 输出功率一定时，R1 的大小决定了电容 C3 充电时间长短，直接决定了激光二极管脉冲激光的重复频率。电阻 R2 为放

电电流监测电阻，用来测量回路中脉冲电流大小、宽度、脉冲质量，这个电阻为高频高精度大功率电阻，实验中采用的是 0.5 Ω 精度为 1% 电阻。二极管 D2 为保护二极管，实验中采用高速肖特基二极管 MURS120，正向压降为 0.71 V，最大正向峰值电流为 40 A，保护 LD 不被反向电压损坏。电容 C3 为整个电路的储能器件，为整个放电回路提供能量，实验中选用高压高频电容，并且通过多个电容并联以减小电容内阻和电感。电容值大小与回路中充电电压 U 、脉冲峰值电流 I_p 、脉冲宽度 t_p 之间的关系可以通过下面公式估算：

$$C \times U = I_p \times t_p \quad (4)$$

改变 C 值大小可以改变脉冲宽度和回路电流峰值大小^[8]，改变 U 可以改变电流峰值大小(宽度会稍有改变)。

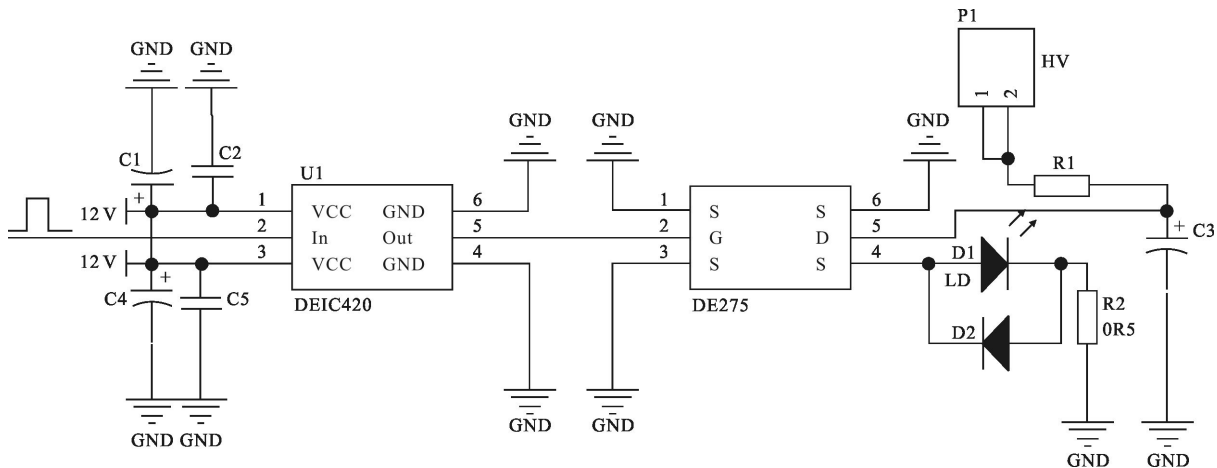


图 7 脉冲激光二极管驱动电源原理图

Fig.7 Schematic of pulse laser diode drive power

3 实验结果及分析

实验使用 OSRAM 公司生产的 75 W 脉冲式激光二极管，脉冲宽度可以从 1~100 ns，峰值功率极限值可以达到 90 W，波长典型值为 905 nm。不同脉冲宽度下激光二极管两端波形如图 8 所示。

图 9 中 10 ns 回波信号是从 10.77 m 处(白墙面反射)采集得到的，APD 选用德国 First Sensor 公司的 AD500-9，探测器自带 905 nm 滤光片，光透过率可达 90% 以上，实验时偏置电压为 195V，是由 DC/DC 升压变换得到的。很明显，图 9 中探测的 10 ns 脉冲信号与图 8 中发射到的脉冲信号基本一致，发射信号

前沿 3.5 ns，探测到信号前沿 4.2 ns。45 ns 回波信号是从 20 m 处(白墙面反射)探测得到的，由于空气中干扰散射、透镜对光脉冲展宽以及 APD 饱和等原因，导致探测到的脉宽明显宽于发射信号。由于给 APD 偏

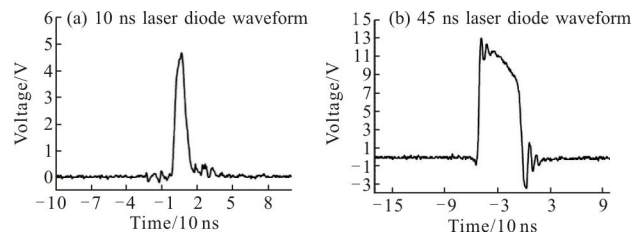


图 8 激光二极管两端波形

Fig.8 Discharge voltage waveform of both ends of laser diode

压为 85 V,探测板输出信号幅度偏低。这里可以看出短脉冲抗干扰能力强。从电流监测电阻 R2 上面可以测出放电回路中峰值电流为 25.5 A,从激光二极管光功率与电流曲线中大致可以估算出峰值光功率接近 60 W,试验用的驱动板和光电探测板如图 10 所示。

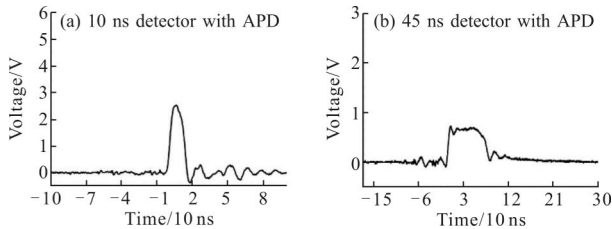


图 9 回波信号检测

Fig.9 Target echo signal with APD

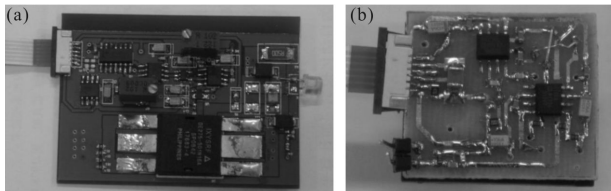


图 10 试验驱动板和光电接收板

Fig.10 Laser driving module and APD receiver module

驱动电源成功运用于脉冲式激光测距仪光源发射部分^[10],表现出良好的性能。图 11 为距离 10.77 m 处测量结果及对应绝对误差分布图,测量精度达到 3 cm。

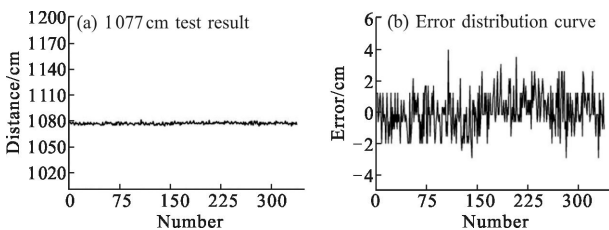


图 11 距离测量值与误差分布图

Fig.11 Result of measured 10.77m and error distribution

4 结论

文中通过对半导体激光二极管驱动电路模型建立和分析,仿真分析,修改电路布局最终设计出脉宽最小为 10 ns,脉冲前沿 3.5 ns,单个脉冲峰值光功率可达 60 W,重复频率为 50 kHz 的激光二极管驱动板并成功运用于激光测距仪光源发射部分。驱动板脉

宽最大可调到 85 ns,驱动信号采用一般脉冲输入即可,无须外部高速电路调制,改变跳线即可改变脉冲宽度。该驱动板还可以用于激光检测、定位、二维扫描等,具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] Li Nan, Han Shaokun, Zhao Wen, et al. Design of high current nanosecond driving circuit for LD [J]. *Optical Technique*, 2012, 38(1): 121-124. (in Chinese)
- [2] Baker R J P. Nanosecond switching using power MOSFETs [J]. *Review of Scientific Instruments*, 1990, 79(8): 2211-2213.
- [3] Gan Lin, Zhang He, Zhang Xiangjin, et al. Design of narrow pulse-width high speed and complementary drive module for laser fuze[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2014(10): 85-90. (in Chinese)
- [4] Chen Binglin, Zhang He, Sun Quanyi. Design on minitype high peak and narrow width pulsed power supply circuit[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2004, 25 (4): 491-493. (in Chinese)
- [5] Lu Kai, Liu Baiyu, Bai Yonglin, et al. High power laser diode drive power supply [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(10): 2680-2684. (in Chinese)
- [6] Li Xiaoliang, Dong Xuefeng, Zhang Juqin, et al. Quality test of pulse capacitor and the assurance of the component parameter in the electric circuit [J]. *Electronic Design Engineering*, 2011, 19(6): 172-174. (in Chinese)
- [7] Chen Wei, Miao Qimei, Sun Feng, et al. Design of high current narrow width pulsed power supply of laser diode[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2010, 22(6): 1223-1228. (in Chinese)
- [8] Yan Deke, Sun Chuandong, Feng Li, et al. Design of driving system for high power and narrow pulse-width semiconductor laser[J]. *Journal of Applied Optics*, 2011, 32(1): 165-169. (in Chinese)
- [9] Yang Yan, Yu Dunhe, Wu Yaofang, et al. Design of a novel drive power for narrow pulse laser diode [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2011, 38(2): 0202003-1-0202003-6. (in Chinese)
- [10] Zhang Zaixuan, Guo Ning, Yu Xiangdong, et al. Research of low cost mini LD laser rangfinder [J]. *Journal of Applied Optics*, 2000, 21(S): 9-13. (in Chinese)