

基于 MOSFET 的半导体激光器驱动电路设计及其改进

马天翔 田小建

(吉林大学电子科学与工程学院, 吉林 长春 130012)

摘要 在金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)作为开关配合电容充放电实现脉冲功率放大时,输出的脉冲电流受到 MOSFET 元件性能制约,而且由于分布参数的影响脉冲电流非常容易出现过冲。为了解决这些问题,提出了一种 MOSFET 互补输出电路,它能提供更快脉冲关断时间,并且对过冲的产生起到一定抑制作用。经实验证明,改进后电路的输出得到了改善。

关键词 光电子学;半导体激光器驱动器;金属氧化物半导体场效应晶体管;脉冲功率放大;互补输出

中图分类号 O436 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/CJL201239.s116001

Laser Diode Driver Circuit Design and Improvement Based on the MOSFET

Ma Tianxiang Tian Xiaojian

(College of Electronic Science and Engineering, Jilin University, Changchun, Jilin 130012, China)

Abstract Laser diode (LD) driver circuit, which is based on the metal-oxide-semiconductor field-effect transistor (MOSFET) and discharging capacitor, its performance mainly depend on the MOSFET. If the distributed parameter is not perfectly controlled, pulse current output is so distorted that it can not drive the LD. overshoot, even the ringing may occur. We design complementary output circuit to solve this problem, it provides faster pulse-off time, and restrains the overshoot and ringing. Experimental results show that the new circuit improves the output effectively.

Key words optoelectronics; laser diode driver; metal-oxide-semiconductor field-effect transistor; pulse power amplifier; complementary output

OCIS codes 140.2020; 140.5965

1 引 言

在当今世界,半导体激光器(LD)已经在军事、医疗、通信等领域得到了广泛的应用^[1,2]。随着 LD 的发展和普及,其驱动技术也成为一个热门的研究领域,特别是 LD 的脉冲驱动方式,已经有越来越多的研究学者把精力投入到这项研究中。近年来出现了一种把金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)作为高速开关元件^[3,4]和电容充放电配合使用实现 LD 脉冲驱动的方案,并取得了比较好的实验效果,但是这种方案也有其不足之处,那就是整个电路的性能过于依赖 MOSFET 器件。另外,在 MOSFET

关断时,如果控制不好电路中的分布参数,脉冲电流容易出现过冲现象。在本文中介绍一种改进型的电路设计,它能减小 LD 关断的时间、降低脉冲电流的过冲幅度,最后论文将对分析两种电路输出,说明改进型电路的优势。

2 MOSFET 与电容充放电配合实现脉冲功率放大电路

MOSFET 具有输入阻抗高、驱动电流低、开关速度快等优点,是作为高速开关元件的理想选择^[4~8]。下面分析一下 MOSFET 与电容充放电配

收稿日期: 2012-03-08; **收到修改稿日期:** 2012-04-15

作者简介: 马天翔(1982—),男,硕士研究生,主要从事大功率脉冲功率放大器方面的研究。

E-mail: flykatecn@yahoo.com.cn

导师简介: 田小建(1957—),男,博士,教授,主要从事高速电子学与光电子学方面的研究。

E-mail: mailtoscience@mail.jlu.edu.cn

合实现 LD 脉冲驱动及影响电路性能的主要因素。

2.1 原理分析

图 1 为 MOSFET 与电容充放电配合实现 LD 脉冲驱动电路图。在低频的情况下一般认为 MOSFET 导通是不需要电流的,只要栅极和源极之间的电压高于 V_{gsth} 这个阈值。但是,在高速电路的设计中还需要考虑 MOSFET 的开关速度。在

MOSFET 的内部结构中,栅极-源极之间存在寄生电容,实际上 MOSFET 的驱动就是对这个电容的充电过程。在充电瞬间可以把电容看成短路,所以 MOSFET 瞬间驱动电流会很大。在测试电路中,使用了 IXDD404 作为 MOSFET 驱动芯片,而 MOSFET 元件则选择了 IR 公司的 IRF540。

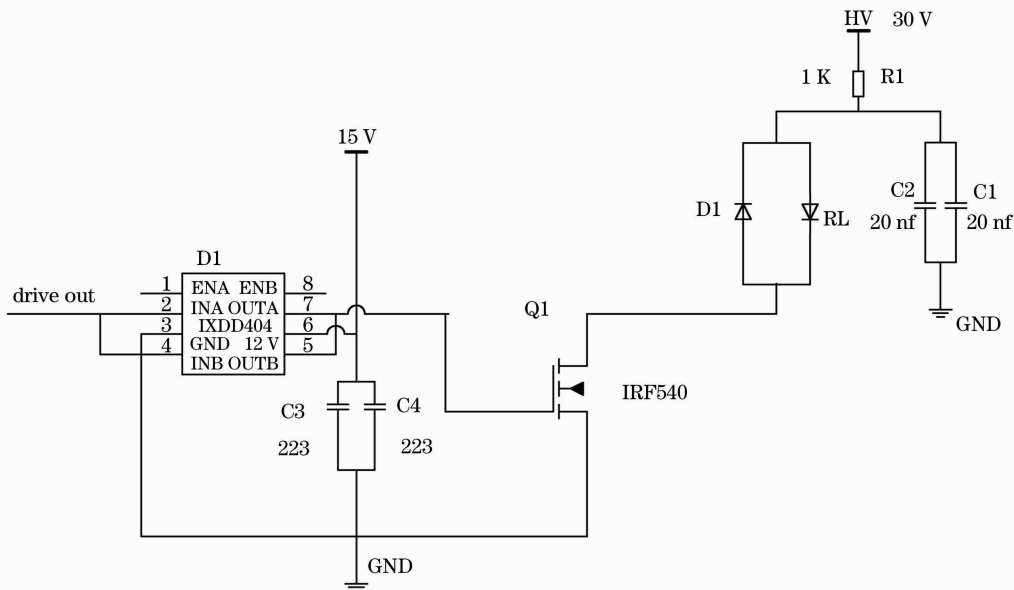


图 1 原电路原理图

Fig. 1 Original circuit

图 1 中 C1 和 C2 作为储能电容,在 MOSFET 开通时,对 LD 进行放电,MOSFET 关闭后,由 HV 经限流电阻 R1 对储能网络充电。在电路中,MOSFET 可抽象成一个高速开关,它的开通时间决定了脉冲电流的脉宽。

电容充放电电路中,电容容值的选择与输出脉冲电流周期、MOSFET 开通时间是有关系的,在充电回路中,充电时间和输出脉冲电流周期相关,脉冲触发的周期要大于电容充电时间,这样储能电容才能充满电。在放电回路中,放电时间与 MOSFET 开通的时间有关,在 MOSFET 开通时间内要保证电容把绝大多数的能量放出。充电时间与输出脉冲电流周期的关系、放电时间与 MOSFET 开通时间的关系是这个电路中两个基本的时间关系。此外,脉冲电流宽度的大小依赖于触发脉冲宽度,脉冲幅度的大小是由加在储能电容两端的电压 HV 控制的。

2.2 影响系统输出的主要因素

在高速电路中,分布电感对电路影响是非常大的。分布电感主要来自各个器件的所引起电感和布线电感。对电路中分布电感的预计和控制,几乎决

定了整个电路的成败。图 2 为电容充放电配合实现 LD 脉冲驱动电路的分布参数图。

电路中的总电阻: $R_L = R_G + R_{CONNECTION} + R_{DR}$,电路中的电容: $C_L = C_{FET} + C_{CONNECTION} + C_{DR}$,电路中的电感: $L_L = L_{GATE} + L_S + L_{CONNECTION} + L_{DR}$ 。

L_L 的近似计算公式为^[1]

$$L_L \approx \left[\frac{2T_r}{\pi \sqrt{C_L}} \right]^2 \quad (1)$$

脉冲电流的上升时间在校正后,可以用下式计算^[1]:

$$T_{r(\text{corrected})} \approx \sqrt{\left(\frac{\pi \sqrt{L_L C_L}}{2} \right)^2 + (2R_L L_L)^2} \quad (2)$$

通过以上分析,可以看出分布参数来源于何处,找出电流上升时间与分布参数之间的内在关系对设计电路是很有帮助的。在设计电路时用很多常用的手段能减小电路中的分布参数,例如:减小布线长度,选取无感或低感元件,电路板元件对称布局等。

按照以上设计思路制作了电路,并对其调试得到的脉冲电流输出如图 3 所示。

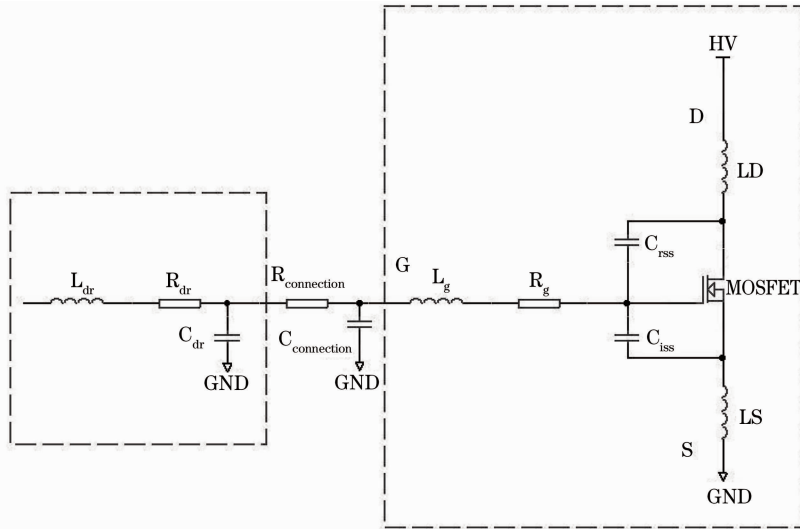


图 2 电路分布参数

Fig. 2 Distribution parameters in circuit

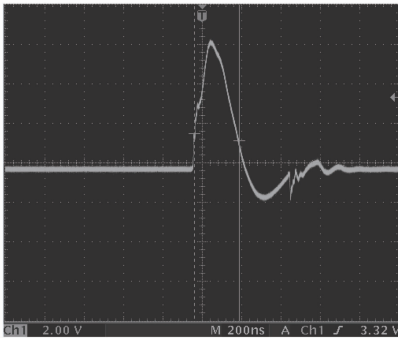


图 3 脉冲电流输出

Fig. 3 Output of current pulse

在充电电压为 30 V(HV)、取样电阻为 1 Ω 、放电电容为 40 nf、驱动的脉冲宽度为 100 ns 的情况下得到了以上的波形,从图 3 中可知,输出脉冲的有效幅度为 6 A,脉冲上升时间为 120 ns,在脉冲电流夹断的过程中,产生了幅度为 2 A 的过冲电流,它严重影响了输出脉冲电流的质量。振荡产生的原因是电路中的分布参数引起的,在设计中已经尽力减小了电路中分布参数,但是得出的结果还是不尽如人意。

3 改进电路设计

为了解决原电路中出现的过冲过大的问题,设计了 MOSFET 互补输出电路。改进后的电路如图 4 所示。

3.1 电路原理分析

图 4 中 C1 和 C2 为储能电容,其作用和之前的电路一样,是为电路提供瞬间的脉冲电流。电容 C1 与 C2 的容值相同,并联使用可以有效的减小分布

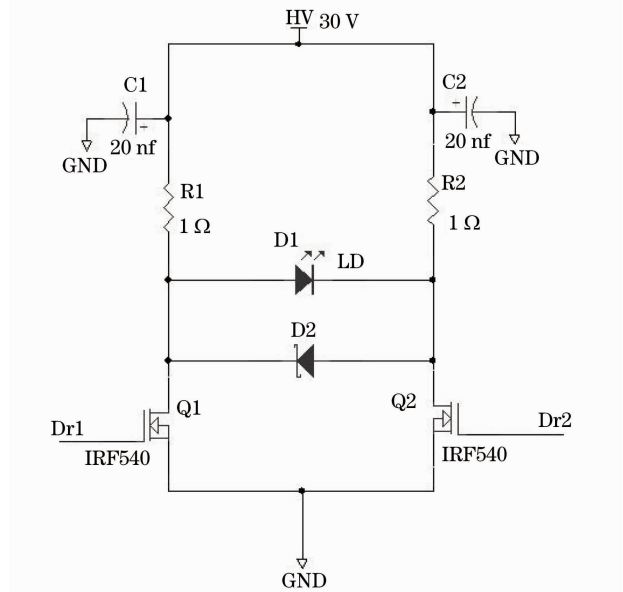


图 4 互补输出电路

Fig. 4 Complementary output circuit

电感。D1 为要驱动的 LD。D2 为肖特基二极管,它起到吸收 LD 两端过冲的作用,保护 LD 不被烧毁。Q1 和 Q2 为 MOSFET 元件,它们并联在一起形成互补输出电路。在触发脉冲的作用下,Q1 和 Q2 与 R1 和 R2 组成了分压电路,互补输出的分压电路能够工作在类似差分的模式下,它能控制 LD 两端的电压,能使之正向偏置导通工作,也能改变电压方向使之反偏截止。当 Q1 处于导通状态、Q2 处于截止状态,LD 正极电位小于负极的电位,LD D1 反向偏置,处于截止状态。当 Q1 处于关断状态、Q2 处于导通状态,LD 正极电位大于负极的电位,LD D1 正

向导通,储能电容通过 R1 对 LD 放电。当 Q1 再次转换为导通状态,Q2 转换为截止状态时,电容放电通路关闭,LD D1 又回到反向偏置状态,停止工作。驱动 Q1 和 Q2 的波形及 LD 导通时序图如图 5 所示。

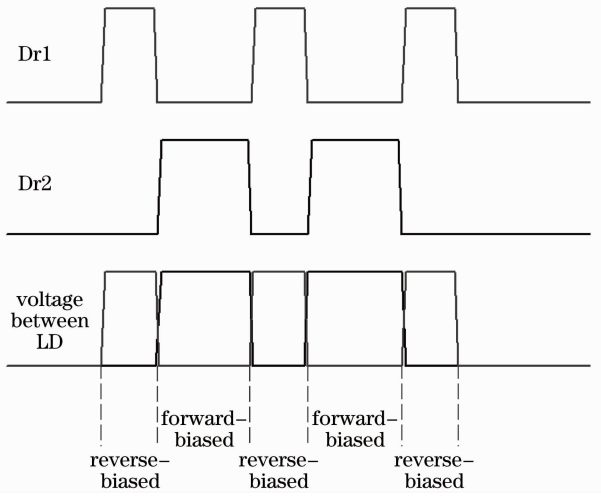


图 5 互补输出电路导通时序图

Fig. 5 Sequence diagram of complementary output circuit

那么,互补输出电路能比单管输出电路性能更好的原因是由于在 LD 关断的时候,Q1 正处在打开的过程中,它的开通能够为储存在 LD 的结电容中的电荷提供了一个泄放的通路,所以 LD 的反偏和截止所耗费的时间能被有效地减小。并且,两个在参数上完全一致的 MOSFET 并联工作,能够使得它们的分布电感减半,这也可以进一步地提高电路的输出性能。

3.2 输出波形比较

当充电电压为 30 V(HV)、C1 和 C2 的容值均为 20 nF、R1 和 R2 均为 1 Ω 时,互补对称电路输出的脉冲电流波形如图 6 所示。

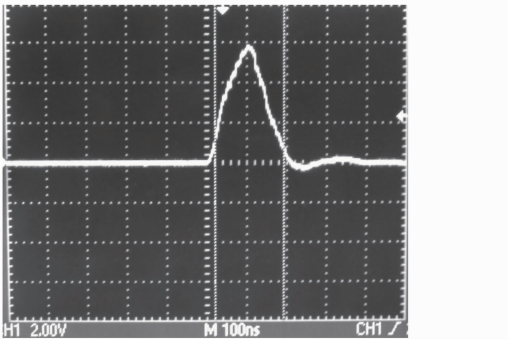


图 6 改进后电路输出

Fig. 6 Output of improved circuit

从图中可以看出,当脉冲电流幅度为 6 A 时,图中输出脉冲电流与未进行电路改进之前相比,过冲基本消失,输出的波形明显得到了改善。在使用相同元件,只是改变输出方式的情况下,脉冲的上升沿及下降沿时间比之前明显减小。

4 结 论

MOSFET 作为开关元件,在配合电容充放电使用时,输出脉冲电流的上升沿和下降沿时间都受到 MOSFET 本身性能的制约,并且容易出现过冲现象,在尽量减小了电路中分布参数后,以上情况仍然难以避免,所以进行输出电路改进工作,互补输出电路与原电路相比,能减小脉冲电流的上升沿和下降沿时间,并且能抑制过冲的产生。实验证明,在电路中其他元器件不变的条件下,输出电路的改进确实能提高输出脉冲的质量。

参 考 文 献

- 1 L. L. Molina, A. Mar, F. J. Zutavern *et al.*. Sub-nanosecond avalanche transistor drivers for low impedance pulsed power applications[C]. 28th IEEE International Conference on Plasma Science, 2001. 178~181
- 2 Shan Zhenguo, Gan Fu xi. Charm of Modern Laser[M]. Beijing: Science Press, 2000
单振国, 干福熹. 当代激光之魅力[M]. 北京: 科学出版社, 2000
- 3 R. J. Baker, S. T. Ward. Designing nanosecond high voltage pulse generators using power MOSFETS[J]. *Electronics Letters*, 1994, **30**(20): 1634~1635
- 4 A. Castellazzi, Y. C. Gerstenmaier, R. Kraus *et al.*. Reliability analysis and modeling of power MOSFETS in the 42-V-powernet [J]. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2006, **21**(3): 603~612
- 5 Hu Chunsheng, Qin Shiqiao, Wang Xingshu. Design and simulation of extremely fast high power laser diode driver module [J]. *Laser Journal*, 2004, **25**(2): 66267
胡春生, 秦乔石, 王省书. 一种高速大功率脉冲激光电源设计与仿真[J]. 激光杂志, 2004, **25**(2): 66267
- 6 Cheng 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): 1224~1227
陈 伟, 苗琪媚, 孙 峰等. 脉冲激光器大电流窄脉冲驱动设计 [J]. 强激光与粒子束, 2010, **22**(6): 1224~1227
- 7 Zhang Shouqi, Lou Qihong, Zhou Jun *et al.*. Design of drive circuit for continuously adjustable ns pulse LD [J]. *Laser Technology*, 2008, **32**(4): 396~398
张寿祺, 楼祺洪, 周 军等. 连续可调纳秒脉冲 LD 驱动电源的研制[J]. 激光技术, 2008, **32**(4): 396~398
- 8 Duan Yunfeng, Huang Bangcai, Zhang Peng *et al.*. All-fiber laser pulse amplifier [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(10): 1379~1382
段云锋, 黄榜才, 张 鹏等. 全光纤结构的脉冲光纤放大器[J]. 中国激光, 2007, **34**(10): 1379~1382