

# 大功率半导体激光器用电流源设计

李江澜<sup>1</sup>, 兰旭阳<sup>2</sup>, 陈海洋<sup>1</sup>, 石云波<sup>1</sup>

(1. 中北大学仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 山西 太原 030051; 2. 山西傲维光视光电科技有限公司, 山西 太原 030006)

**摘要:** 半导体激光器是一种电流注入式发光器件, 驱动电流源的性能优劣对其工作特性和使用寿命有着很大的影响。本文利用芯片 LT3755 设计了一种大功率 LD 电流源, 电流在 3.3 ~ 5.6 A 连续可调。当输出电流为 4.5 A 时, 连续工作 3 h 内电流变化量小于 2 mA, 电流稳定度达到  $4 \times 10^{-4}$ 。此外, 该电源还具有欠压保护、过压保护、过流保护和缓启动等多种功能。

**关键词:** 半导体激光器; 恒流源; 电流稳定度; 保护电路

**中图分类号:** TN248.4    **文献标识码:** A    **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2014.03.020

## Design of current supply for high power laser diode

LI Jiang-lan<sup>1</sup>, LAN Xu-yang<sup>2</sup>, CHEN Hai-yang<sup>2</sup>, SHI Yun-bo<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement, Ministry of Education, North University of China, Taiyuan 030051, China; 2. Shanxi Ovision Optonics Co. Ltd, Taiyuan 030006, China)

**Abstract:** Laser diode is a current injected device and the performance of current supply has great impact on the characteristic and life of LD. A current supply for high power LD is designed by the chip LT3755, and the output current can be changed continuously from 3.3A to 5.6A. When the output current is 4.5A, the current variation obtained in an experiment within 3 hours are smaller than 2mA, and the current stability is  $4 \times 10^{-4}$ . In addition, the power supply has also some good features such as undervoltage protection, overvoltage, overcurrent, soft startup and other functions.

**Key words:** laser diode; constant current source; current stability; protection circuit

### 1 引言

半导体激光器因体积小、寿命长、电光转化效率高、可直接调制等优点, 在通信、信息、能源、军事、医疗、显示等领域起着举足轻重的作用<sup>[1-2]</sup>。由于激光器属于超高功率密度器件, 因此需要很高的电流和电压稳定度。瞬态的电流或电压尖峰等因素都可能损坏激光器, 电流、电压的起伏也会引起激光器光功率的变化, 影响其输出的准确、稳定<sup>[3]</sup>。

统计表明, 激光器失效有约 50% 的原因是由其驱动电源造成的<sup>[4]</sup>, 所以, 设计一款符合激光器技术要求、性能稳定、工作可靠的驱动电源是十分必要的。传统的激光器驱动电源以线性稳压电源为基础, 存在体积大、转换效率低、集成化程度低等缺点。针对上述缺点, 本文介绍了一种利用芯片 LT3755 控制功率开关管的占空比调整输出电流的开关型驱动电源, 具有体积小、转换效率高、集成化程度高等

特点。结合双向控温技术以及保护电路的设计, 使激光器能够更加安全可靠的工作。

### 2 系统工作原理

#### 2.1 Boost 电路原理

本设计采用 Boost 电路的设计思想, 其原理图如图 1 所示<sup>[5]</sup>。

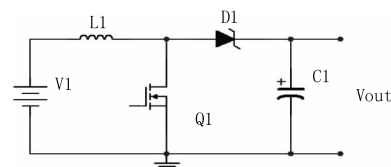


图1 Boost 电路原理图

Fig. 1 The boost converter

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (No. 61078036) 资助。

**作者简介:** 李江澜 (1987 -), 男, 硕士研究生, 主要从事半导体激光器驱动电源, 半导体激光器温控系统等方面的研究。E-mail: lj214214@126.com

**收稿日期:** 2013-10-30

在充电过程中,开关(Q1)闭合,输入电压流过电感。由于输入是直流电,所以电感上的电流以一定的比率线性增加。随着电感电流增加,电感里储存了一些能量。当开关断开时,由于电感的电流保持特性,流经电感的电流不会马上变为0,而是缓慢的由充电完毕时的值变为0。而原来的电路已断开,于是电感只能通过新电路放电,即电感开始给电容充电,电容两端电压(输出电压)升高。电容量足够大,输出端就可以在放电过程中保持一个持续的电流。通断的过程不断重复,电容两端得到高于输入电压的电压。

## 2.2 驱动原理

凌力尔特公司生产的大电流 DC/DC 转换器 LT3755 能够用在升压、降压、降压-升压或 SEP-IC 和反激式拓扑中。通过频率调节引脚用户可以在 100 kHz 至 1 MHz 范围内对频率进行编程,从而优化了效率,同时减小了外部组件的尺寸并降低成本<sup>[6]</sup>。由其组成的驱动电路原理图如图 2 所示。

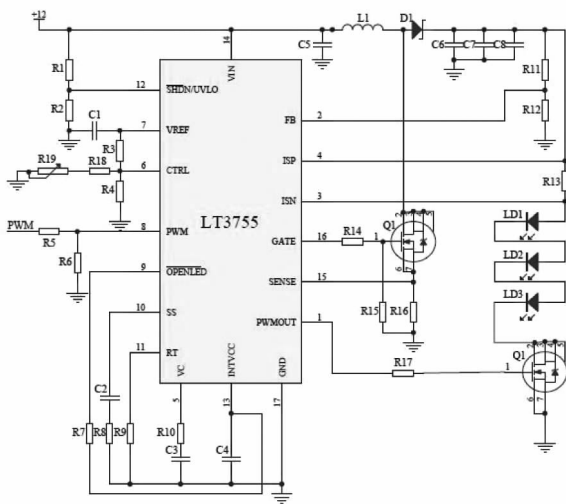


图 2 驱动电路原理图

Fig. 2 Driving circuit schematics

芯片内部调节的 7 V 电源用来驱动外部 MOSFET(GATE 引脚),而 PWM 引脚的高低电平控制着外部功率 MOSFET 的开关。正常工作条件下, PWM 引脚为低电平时, GATE 和 PWMOUT 引脚输出电压为 0 V, MOSFET 开关 Q1、Q2 关闭,并通过外部补偿电容 C3 来存储先前的开关状态;当 PWM 引脚变为高电平时, PWMOUT 经过短暂的延迟后输出高电平,内部振荡器开始工作, Q1、Q2 开启。Q1 开关周期性的开断,控制了外部电路电感电流的上升与下降,达到了调节负载的电流与电压的目的。

电流的设置通过由连接在 ISP 和 ISN 引脚之间的电流采样电阻以及 CTRL 引脚电压决定。稳定工作时 ISP 和 ISN 引脚之间的电压差为 100 mV,当 CTRL 引脚电压大于 1.1 V 时,通过负载的正向电流为:

$$I_{LD} = \frac{100 \text{ mV}}{R_{13}} \quad (1)$$

当 CTRL 引脚电压小于 1.1 V 时,通过负载的正向电流为:

$$I_{LD} = \frac{V_{CTRL} - 100 \text{ mV}}{R_{13} \times 10} \quad (2)$$

采用电流电压双环控制的方法可以使电路更加稳定、安全与可靠。在电流控制环中负载电流采样信号由 ISP 和 ISN 之间采样电阻  $R_{13}$  得到,基准电压通过 CTRL 引脚设置。电流采样信号与基准电压信号通过误差比较器产生误差信号,误差信号偏大,负载需要更大的电流,如果偏小,需要的电流将减少。

电压控制环路中,通过 FB 引脚的电压值与内部 1.25 V 的基准电压进行比较来控制电流。如果 FB 引脚电压比内部基准电压低,电流将增加;反之,电流将减少。电流控制环与电压控制环共同作用,使 FB 引脚电压不超过内部电压阈值,并且 ISP 和 ISN 引脚之间的电压不超过 CTRL 引脚设置的电压阈值。

## 2.3 保护电路

### 2.3.1 欠压保护

驱动电路使用外接直流电源 +12V 供电,其允许电压的变化范围为 10.5 ~ 13.5 V,若直流电源电压下降到其允许的下限值后,且超过一定时间  $t$  时,发生欠压保护,封锁驱动电路。SHDN/UVLO 引脚用来设置欠压保护电路,当该引脚电压下降到 1.25V 以下时,即输入电压:

$$V_{in} < 1.25 \times \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad (3)$$

时驱动电路关闭。当输入电压上升到:

$$V_{in} = 2 \mu\text{A} \times R_1 + 20 \text{ mV} \times \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad (4)$$

时,驱动电路重新启动,达到欠压保护功能。2  $\mu\text{A}$  和 20 mV 为该引脚的静态电流和电压。

### 2.3.2 过流过压保护

如果半导体激光器的驱动源没有防护或防护不当,一个大的电学瞬变过程或具有纳秒脉冲宽度(或更大)的电流浪涌,都可能使激光器功率下降甚

至损坏,所以可靠的保护电路对于半导体激光器电源来说必不可少<sup>[7]</sup>。本设计中通过 ISP 和 ISN 引脚来实现过流保护功能。如果 ISN 共模电压低于 3 V 时,或者 ISP 和 ISN 之间的电压差大于 150 mV 时,SR 锁存器被复位,驱动电路关闭,实现了过流保护功能,保护电路中的功率元件。

利用 FB 引脚实现过压保护功能:一旦 FB 引脚电压超过内部 1.25 V 的基准电压,那么 Q1 开关关闭,直到 FB 引脚电压低于基准电压,Q1 才能够重新开启。这样,如果输出电压高于设定上限,电路就会增加 Q1 开关的关断时间,完成降压的目的,实现了过压保护的功能。输出电压上限设定公式如下:

$$V_{OUTMAX} = 1.25 \times \frac{R_{11} + R_{12}}{R_{12}} \quad (5)$$

### 2.3.3 软启动

瞬时的电流突变,容易使半导体激光器两端面腔镜产生损伤,从而造成激光器永久性损坏<sup>[8]</sup>。所以在电路中必须增加慢启动电路,使得电流输出由零缓慢上升到额定值,保证激光器顺利过渡到正常工作区。SS 引脚通过一个外部电容与地相连,使得启动时 SS 端电压缓慢上升,这样激光器的电流也缓慢上升,从而实现软启动。软启动的时间和外接电容的关系为:

$$T_{SS} = C_2 \times \frac{2 V}{10 \mu A} \quad (6)$$

软启动电容的典型值为 0.01  $\mu$ F。

### 2.4 温控电路

半导体激光器的发光效率与温度密切相关,升温会导致激光器的输出功率下降、阈值电流增大、波长发生漂移<sup>[9]</sup>。为了保证半导体激光器工作的稳定性,温控是十分必要的。本设计采用单片机控制,PID(Proportional-integral-derivative)技术的双向 TEC 制冷方式,很好的完成控温要求<sup>[10]</sup>。控温结构框图如图 3 所示。

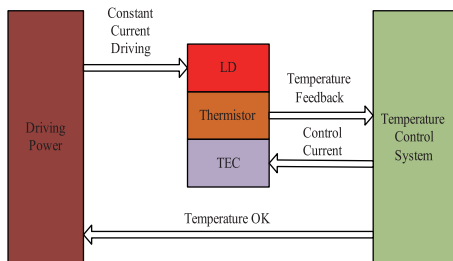


图 3 控温结构框图

Fig.3 Thermoelectric control system

LD 温度信号由热敏电阻测得,如果温度高于设定温度值(本设计设定值为 25℃),控制系统驱动以 TEC 为核心的制冷装置,为 LD 降温。

### 3 实验

本设计中使用的激光器为南京长青 532 nm 绿色固态激光器,由于其结构特点:532 nm 绿光通过 808 nm 绿光半导体激光器转换而成,故它的驱动过程也即 808 nm 绿光半导体激光器的驱动过程。这里 12 颗激光器串联,应用中最合适电流为 4.5 A,驱动电压 24 V,电流纹波应小于 3%。通过 Saber 软件搭建 Boost 电路图,更换元器件参数完成对于输出电流和输出电压的仿真,仿真图如图 4 所示。从图中可以看出,仿真输出电流与电压达到了使用要求。

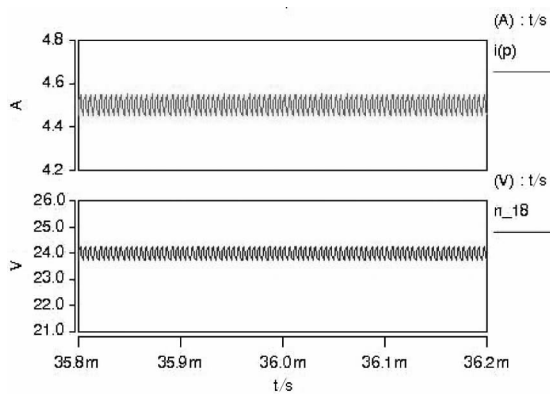


图 4 Boost 电路仿真图

Fig.4 The simulation of Boost circuit

通过滑动变阻器实现 CTRL 引脚电压的变化,继而实现电流连续可调,这里设定输出电流范围为 3.3 ~ 5.6 A。为了保证激光器的安全,这里设定最大输出电压为 24.8 V。完成以后的驱动电路通过调试达到了设计目的,最大输出功率可以达到 130 W。驱动激光器的实际测试中,输出电压与电流纹波如图 5 所示。从图中可以看出,电流纹波小于 100 mA,小于设计要求的 3%。驱动实物图如图 6 所示。

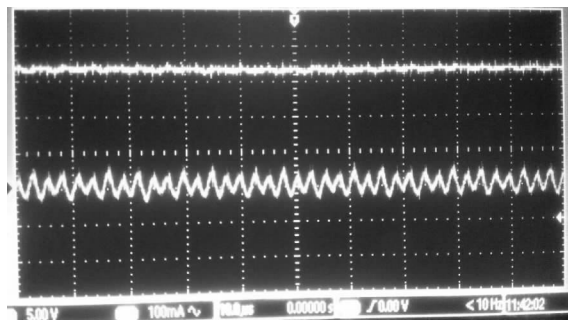


图 5 输出电压与电流纹波

Fig.5 Output voltage and current ripple

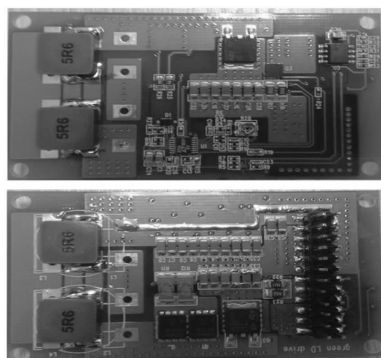


图6 驱动电路实物图

Fig. 6 Fabricated driving circuit

#### 4 结论

本文介绍了一种大功率半导体激光器驱动电路,输出电流连续可调。该驱动电路采用 Boost 升压电路原理,使用 LT3755 作为功率 MOSFET 开关占空比控制芯片,结合双环控流的设计思想完成了稳定输出电流的目的。该电路实际应用于 110 W 的绿色光源中,电流纹波小于 3%,表明此驱动电路工作稳定可靠。同时此驱动电路的转换效率高达 85% 以上,如果选择性能的功率器件 MOSFET 开关管、电感等,那么转换效率将更高。需要注意的是,由于大功率的影响,驱动板需要进行散热处理,以免发生功率器件的损坏。

#### 参考文献:

- [1] Corwin K L, Lu Z T, Hand C F, et al. Frequency-stabilized diode laser with the Zeeman shift in an atomic vapor[J]. *Applied Optics*, 1998, 37(15): 3295 - 3298.
- [2] Yan Zhanqiang, Liang Yong. Small scale medicinal power semiconductor lasers driven power design[J]. *Laser & Infrared*, 2007, 37(11): 1178 - 1180. (in Chinese)  
闫战强, 梁勇. 一种小功率高稳定半导体激光器可调驱动电源[J]. *激光与红外*, 2007, 37(11): 1178 - 1180.
- [3] Zhou Guanjun, Zhang Xuesong, Cai Jun, et al. Design of high-power diode laser driver under high-temperature environment [J]. *Electro-Optic Technology Application*, 2012, 27(5): 1 - 4. (in Chinese)
- [4] Chen Ruixia, Meng Zhan, Bai Jinke, et al. Design of LD switching power supply with power adaption[J]. *Laser & Infrared*, 2010, 40(9): 961 - 964. (in Chinese)  
陈瑞霞, 孟展, 白金柯, 等. 功率自适应 LD 开关电源的设计[J]. *激光与红外*, 2010, 40(9): 961 - 964.
- [5] Gao Jian, Xu Feiyun, Jia Minping. Design of continuous current mode boost converter based on UC3843[J]. *Power Electronics*, 2010, 44(1): 34 - 35. (in Chinese)  
高健, 许飞云, 贾民平, 等. 基于 UC3843 的 CCM 模式 Boost 变换器设计[J]. *电力电子技术*, 2010, 44(1): 34 - 35.
- [6] Linear Technology Corporation. LT3755 datasheet [EB/OL]. <http://www.linear.com.cn/product/LT3755>, 2008.
- [7] Yu Minli, Meng Hongxiu, Zhao Meizhi. Design of micro-processor based on digital laser diodes' power system[J]. *Laser & Infrared*, 2008, 38(6): 552 - 554. (in Chinese)  
于敏丽, 孟红秀, 赵美枝. 基于单片机的半导体激光器数控电源控制系统[J]. *激光与红外*, 2008, 38(6): 552 - 554.
- [8] Wang Jinding, Liu Honglin, Wang Yuncai. Novel protective circuits of diode laser[J]. *Applied Laser*, 2006, 26(2): 119 - 121. (in Chinese)  
王金定, 刘宏林, 王云才. 新型的半导体激光器保护电路[J]. *应用激光*, 2006, 26(2): 119 - 121.
- [9] Huang Yuewei, Cui Ruizhen, Gong Mali, et al. TEC based thermostat system for high-power semiconductor laser[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 35(2): 143 - 147. (in Chinese)  
黄岳巍, 崔瑞祯, 巩马理, 等. 基于 TEC 的大功率 LD 恒温控制系统的研究[J]. *红外与激光工程*, 2006, 35(2): 143 - 147.
- [10] Jiao Mingxing, Xing Junhong, Liu Yun. Design of temperature control system for semiconductor laser diode[J]. *Laser & Infrared*, 2006, 36(4): 261 - 264. (in Chinese)  
焦明星, 邢俊红, 刘芸, 等. 半导体激光器温度控制系统的设计[J]. *激光与红外*, 2006, 36(4): 261 - 264.