

文章编号: 1001-3806(2015)02-0166-04

基于差动电路的准连续半导体激光器驱动设计

刘斌, 黄战华*, 蔡怀宇

(天津大学精密仪器与光电子工程学院 光电信息技术教育部重点实验室, 天津 300072)

摘要: 为了提高大功率半导体激光器驱动系统输出的稳定性和可调性、改善输出光束的质量、延长使用寿命, 利用差动放大电路原理, 采用开路时间常数法对驱动电路的静态工作点和频响特性进行了理论分析和实验验证。结果表明, 驱动电路在保证电流输出无过冲的前提下, 可以实现峰值电流 0A ~ 60A、脉宽可调范围 20 μ s 至连续、重复频率 500Hz ~ 10kHz、最大功率 130W 的连续可调电流输出。该设计较传统方法提高了输出稳定性, 拓宽了大功率电流输出时的脉宽和重频可调性, 具有更优异的性能。

关键词: 激光技术; 准连续; 差动放大电路; 宽调制

中图分类号: TN710

文献标志码: A

doi:10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2015.02.004

Design of driving system of quasi continuous wave laser diode based on differential amplifier circuit

LIU Bin, HUANG Zhanhua, CAI Huaiyu

(Key Laboratory of Opto-electronics Information Technology, Ministry of Education, College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: In order to improve the stability and adjustability of the output of the driving system of high power laser diodes, improve the beam quality and increase the service life, based on the principle of differential amplifier circuit and open-circuit time constant, the static working point and the frequency response characteristics of the driving circuit were analyzed in theory and verified in experiments. The results show that the drive circuit can guarantee the output current to achieve the peak current of 0A ~ 60A under the premise of no overshoot, the pulse width adjustable range from 20 μ s to continuous, the repetition frequency from 500Hz to 10kHz, the maximum power of 130W. This method improves the output stability, widens the adjustability of pulse width and repetition frequency and has more outstanding performance than the traditional methods.

Key words: laser technique; quasi-continuous; differential amplifier circuit; wide range of modulation

引言

近年来,随着人们对激光技术的研究和应用日趋成熟,半导体激光器技术不断发展,大功率半导体激光器的应用已经涵盖了光子学和电子学的诸多领域。随着对半导体激光器输出质量和使用寿命要求的提高,针对其驱动器性能的研究也日趋重要。按照半导体激光器驱动类型不同,可以将其分为脉冲型、连续型和准连续型3种。其中准连续型半导体激光器驱动有着输出电流的脉宽可调范围大、可以

满足不同晶体的激励特性,提供多种驱动模式,间接提高了半导体激光器的电光转换效率,有效降低了半导体激光器的热功耗^[1-3]。

目前,准连续型半导体激光器驱动多采用基于运放的线性拓扑结构,使用大功率采样电阻采集输出电流信号,经过运算放大器进行比较放大后驱动功率场效应管,以控制输出电流波形^[4-5]。多级运算放大器反馈系统的相位裕度低,输出电流的阶跃响应通常会出现明显的过冲,影响其输出质量和使用寿命,严重的还会对半导体激光器造成损害。普遍的解决方法是增加滞后补偿电路,提供更大的相位裕度以使系统稳定来减小过冲,不过系统的10% ~ 90%上升时间会明显增加,限制了电流的输出速度和脉宽可调范围^[6-9]。同时满足输出电流波形大范

作者简介:刘斌(1987-),男,硕士研究生,现主要从事半导体激光器驱动系统的研究。

* 通讯联系人。E-mail: zhanhua@tju.edu.cn

收稿日期:2014-04-16;收到修改稿日期:2014-04-24

围可调和电流脉冲高速、稳定、无过冲是准连续型驱动设计的难点。

为了满足上述需求,本文中提出了一种新型的基于差动放大电路的准连续型半导体激光器驱动系统,有效避免了输出电流阶跃响应的过冲现象,得到拥有快速上升和下降沿,峰值、脉宽和重频大范围可调的准连续型驱动电流,并通过实验对电流输出的可调性、稳定性和可靠性进行了验证,取得了很好的实验效果。

1 差动放大电路驱动系统设计

1.1 系统结构

驱动系统的整体结构框图如图 1 所示。控制信号 V_{ref} 用来控制电流输出状态,为方波信号或恒电平信号,其幅值 $0V \sim 10V$ 对应输出电流峰值 $0A \sim 60A$,而频率和占空比与输出信号波形一一对应。同时用低温漂大功率电阻对输出电流采样,得到反馈信号 $V_f = IR_f$,通过差动放大电路将控制信号 V_{ref} 与输出电流的反馈信号 V_f 进行差分放大,驱动大功率场效应管控制电流输出状态。常规的开关电源不能在短时间内提供大电流脉冲,添加储能单元为高速电流脉冲提供能量,保证高速的电流上升沿。同时在输出端并联大功率小阻值泄放电阻,以得到高速电流脉冲下降沿。

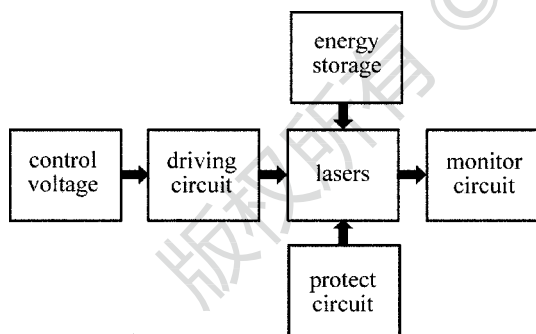


Fig. 1 Diagram of laser diode driving system

激光二极管属于电流敏感型器件,电流过冲和反向电流都会影响其使用寿命甚至造成不可逆转的损坏。吸收反向电流的二极管和过流保护电路必不可少。当电流超过某一设定值时,就会向驱动电路提供过流保护信号,关断电流。用户检测窗口用来向用户提供实时的电流、电压的输出波形等反馈信息,方便用户了解输出状态。

1.2 差动放大电路

差动放大电路是整个驱动电路的核心,由两个共射级放大电路组成,是一种将两个基极输入端电

压做差,再将差值进行放大输出的电子放大器,如图 2 所示。三极管本身是非线性器件,设计电路中参量时主要需要从两个方面考虑:选择合适的静态工作点,选择合适的参量以便有更好的高频响应^[10]。

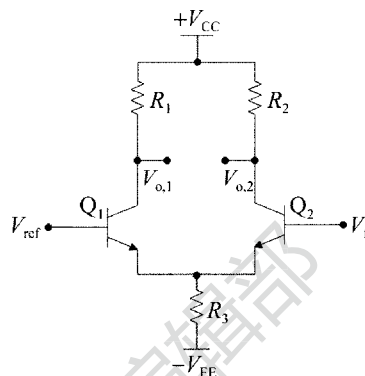


Fig. 2 Differential amplifier circuit

双端输出模式输出电压为 $V_o = V_{o,1} - V_{o,2} = A_{v,d}V_{i,d}$,较单端输出模式的输出电压 $V_{o,2} = A_{v,c}V_{i,c} - A_{v,d}V_{i,d}/2$,有着更高的差模增益,共模增益几乎为 0,其中 $A_{v,d}$ 为差模电压增益, $A_{v,c}$ 为共模电压增益, $V_{i,d}$ 为差模信号, $V_{i,c}$ 为共模信号。本设计中需要较高的输出电压来驱动场效应管,故采用了输出电压幅值相对较大的单端输出模式。两输入信号 $V_{o,1}$ 和 $V_{o,2}$ 近似相等,分别连接控制信号 V_{ref} 和反馈信号 V_f ,则 $V_{ref} = V_f = IR_f$,输出电流 $I = V_{ref}/R_f$ 。在控制信号与差动放大电路之间增加同相衰减电路对控制信号进行比例变换,增大 V_{ref} 幅值范围,可以提高电路的通用性。

工作过程中,差动电路左右两个共射级放大电路的中间对称平面上各点电压保持不变,为了分析差模与共模有效的增长电路,利用半电路技术,即将对称平面接地,独立地分析左侧的半电路和右侧的半电路,选择合适的静态工作点。计算得到的共模增益为 $6.1V \sim 6.4V$,差模增益为 $2.8V \sim 10.8V$,可以提供 $1.0V \sim 4.7V$ 的单端输出电压作为场效应管的栅极驱动电压。

1.3 频响特性分析

影响驱动电路高频特性的主要因素是三极管和场效应管的极间电容,依然利用了半电路技术,同时采用开路时间常数(open-circuit time constant, OCTC)法来分析。OCTC 法是计算频响特性的简单有效的方法之一,其理论依据为极点时间常数之和与开路时间常数之和完全相等。

图 3a 和图 3b 分别是三极管和场效应管的小信

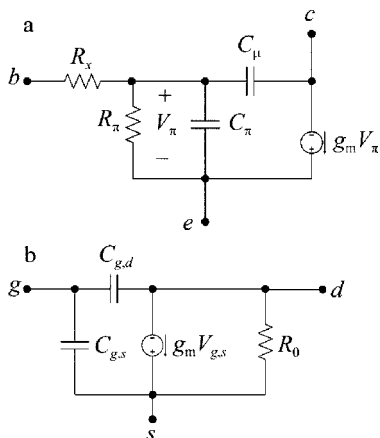


Fig. 3 a—small signal model of a triode b—small signal model of a MOSFET

号模型图,这里引入了跨导 g_m :

$$g_m = \frac{\partial I_d}{\partial V_{g,s}} = \mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{g,s} - V_{th}) = \sqrt{2\mu C_{ox} \frac{W}{L} I_d} \quad (1)$$

式中, μ 是载流子迁移率, C_{ox} 是单位栅电容值, W 和 L 分别是场效应管的纵向宽度和横向宽度, V_{th} 为场效应管门限电压, $C_{g,s}$ 和 $C_{g,d}$ 为极间电容。则电流 I_d 为:

$$I_d = \frac{\mu C_{ox}}{2} \frac{W}{L} (V_{g,s} - V_{th})^2 \quad (2)$$

将整体电路的小信号模型级联,对电路中起高频带宽限制作用的所有电容进行开路处理,再求出某个电容两端的电阻 R_i ,与该电容 C_i 相乘后得到其时间常数 $\tau_i = R_i C_i$ 。用相同的方法求出所有开路时间常数并求和取倒数 $f = 1/(2\pi \sum \tau_i)$,可以计算找出对高频截止频率影响最大的因素为集电极电阻。因为集电极电阻对电容的开路电阻影响会被三极管内受控源放大,其开路时间常数在百微秒数量级,为了同时保证静态工作点,作者选择了 $1.0k\Omega$ 的集电

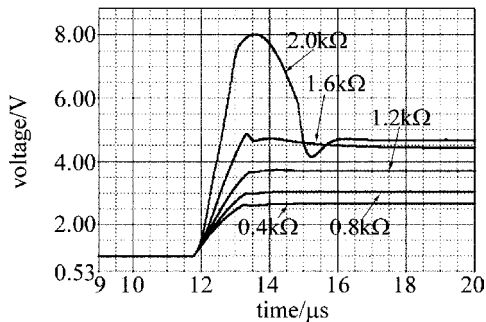


Fig. 4 Simulation result of resistor value sweeping

极电阻。

同时,还要分析在电流开启时段的阶跃响应输出特性,通过直流扫描仿真对阶跃响应进行优化。图 4 中的曲线从下到上分别是对关键电阻从 $0.4k\Omega \sim 2.0k\Omega$ 的等间隔扫描仿真图,可以看到 $1.2k\Omega$ 时过冲已经很小,并且上升时间没有明显增加。

2 实验结果与分析

本设计中可提供峰值电流 ($0 \sim 60$) A、脉宽可调范围 $20\mu s$ 至连续、重复频率 $500Hz \sim 10kHz$ 、最大功率 $130W$ 的连续可调电流输出。在实验室中进行了实验,并对输出结果进行了测量和分析,得到了比较好的实验结果。

2.1 驱动性能

首先对输出电流方波的频响特性进行了实验。图 5 是阶跃响应的波形图,电流上升到最高点有微小的负向抖动,抖动幅度在 $-200mV$ 以内,没有电流过冲产生,输出稳定性很高。从图 6 中可以看出,重频 $10kHz$ 占空比为 50% 的条件下稳定输出无过冲,波形一致性很好,符合设计要求。经实验验证,在满足最大输出功率 $130W$ 的范围内,脉冲宽度从 $0\mu s$ 至恒流输出连续可调,重复频率定义在 $500Hz \sim 10kHz$ 连续可调。

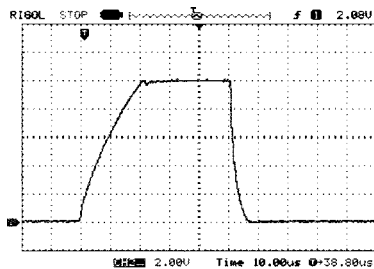


Fig. 5 Waveform of 60A, 10kHz

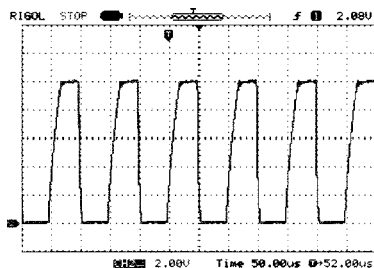


Fig. 6 Waveform of 60A, 10kHz, 50% duty cycle

然后,对脉冲上升下降时间进行了测量,它与峰值电流大小成正比。在重复频率 $10kHz$ 、占空比 50% 的条件下,分别测量了峰值电流为 $36A, 48A$ 和 $60A$ 3 组大电流输出的脉冲上升下降时间作对比,

测得数据如表 1 所示。可见以差动放大电路为基础的驱动电路可以提供更快速的高峰值电流脉冲方波。

Table 1 Rising time and falling time

peak current/A	36	48	60
rising time/ μ s	6.5	9.5	15.5
falling time/ μ s	2.7	2.9	3.3

2.2 电流稳定性

恒流稳定性也是驱动器的重要指标,本设计中的最大输出功率为 130W,为了测试输出电流的稳定性,在 2.5V@50A 的恒流模式下持续工作 6h,表现出很好的稳定性,测试数据如表 2 所示。

Table 2 value of output current

time/min	current/A	time/min	current/A
10	50.01	100	50.00
20	50.00	110	49.99
30	50.01	120	49.99
40	49.99	130	49.98
50	50.01	140	49.99
60	50.01	150	50.00
70	50.01	160	49.98
80	50.02	170	49.99
90	49.98	180	49.99

3 结 论

以线性电源拓扑为基础,设计了 1 种以差动放大电路为核心的准连续半导体激光器驱动。实验结果表明,设计的驱动性能稳定可靠,输出电流无过冲,较传统驱动方法的有着更好的频响特性,从而保

证了更大的脉宽和重频可调范围、更快速的脉冲上升沿和下降沿,并且有着很好的恒流稳定性,为半导体激光器在各个领域的应用提供了很好的驱动系统。

参 考 文 献

- [1] XIN G F, QU R H, FANG Z J, *et al.* New development of high power semiconductor laser[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2006(2):3-8 (in Chinese) .
- [2] MA X Y, WANG J, LIU S P. Present situation of investigations and applications in high power semiconductor lasers[J]. Infrared and Laser Engineering,2008,37(2):189-194 (in Chinese) .
- [3] YANG Y, YU D H, WU Y F, *et al.* Design of a novel power for narrow pulse laser diode[J]. Chinese Journal of Lasers,2011, 38(2):30-35 (in Chinese) .
- [4] TOGATOV V V, GNATYUK P A, REZINKIN D G. A high-frequency discharge unit for pumping systems of semiconductor lasers [J]. Instruments and Experimental Techniques, 2003, 46(5): 667-671.
- [5] YANKOV P, TODOROV D. A high power high frequency laser diodes driver[J]. IEEE Xplore,2004,3(5):451-452.
- [6] THOMPSON M. Intuitive analog circuit design[M]. Waltham, Massachusetts, USA: Butterworth-Heinemann, 2006:331-334.
- [7] LU K, LIU B Y, BAI Y L, *et al.* High power laser diode drive power supply[J]. Infrared and Laser Engineering,2012,41(10): 2680-2684 (in Chinese) .
- [8] ZHAO H Y, SUN L, SU B H. Design and realization of laser semiconductor driver [J]. Electronic Design Engineering, 2010, 18(4):149-151 (in Chinese) .
- [9] WANG H, XU J L, LI X H. The development of a high-efficiency semiconductor laser diode driver[J]. Electronic Design Engineering, 2013,21(14):111-113 (in Chinese) .
- [10] NIU B, CHEN S J, SUN J H, *et al.* The research of common-mode rejection capability of the differential amplifier [J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2009, 14(1):92-95 (in Chinese) .