

· 激光物理与器件 ·

一种高电压大功率半导体激光器驱动电路的设计

王双争^{1,2}, 于松群¹, 高志坚¹, 朱洪波¹, 曹军胜¹

¹中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033;

²中国科学技术大学, 合肥 230026

摘要:介绍了一种高电压大功率半导体激光器驱动电流源的设计, 该电流源基于“电压源+MOSFET”方案, 电压源采用两个相同DC-DC电源模块的串联结构, 大幅度提高了负载电压自适应的范围, 且输出电流稳定度高, 适用于高电压大功率半导体激光器的驱动。

关键词:高电压半导体激光器; 直流电源模块; 串联结构

中图分类号: TN248 文献标识码: A doi:10.14016/j.cnki.jgzz.2023.06.013

Design of a driving circuit for high-voltage and high-power semiconductor laser

WANG Shuangzheng^{1,2}, YU Songqun¹, GAO Zhijian¹, ZHU Hongbo¹, CAO Junsheng¹

¹Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

²University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

Abstract: A design of a current source for driving high-voltage and high-power semiconductor laser is introduced. The current source is based on the scheme of "voltage source + MOSFET". The voltage source adopts the serial structure of two identical DC-DC power modules, which greatly improves the adaptive range of load voltage, and has high stability of output current, which is suitable for driving high voltage and high power semiconductor lasers.

Key words: High voltage semiconductor laser; DC power module; Series structure

1 引言

半导体激光器以半导体材料为工作物质, 其产生的激光有单色性好和强光束两个特性, 使得它广泛应用于工业、医疗、通信及军事领域^[1-5]。半导体激光器是结型器件, 不稳定的输入电流冲击很可能导致器件受损^[6-7]。为了确保半导体激光器稳定可靠的工作, 设计出具有足够小的输出电流纹波和较高稳定度以及安全保护性强的驱动电路尤为重要。

随着半导体激光器的不断发展及激光器阵列的广泛应用, 越来越多的激光器需要高电压来驱动^[8]。半导体激光器常用压控恒流源作为驱动电路, 驱动电流由控制电压调节使得大功率 MOSFET 产生较大的

输出电流, 器件电压由驱动电源模块提供并自适应。针对基于 MOSFET 的压控恒流源结构的驱动电源模块, 已有的 DC-DC 电源模块输出电压不能够满足大功率激光器的高电压驱动的需求, 须采用几个电源模块进行串联达到需要的输出电压。在高电压半导体激光器驱动电路的设计中, 如何提供稳定的驱动电压输出是至关重要的。本文将介绍一种串联结构的电源模块, 使用两个低电压输出的 DC-DC 电源模块输入端并联输出端对称串联为半导体激光器提供高驱动电压。

2 系统设计

2.1 整体电路设计

半导体激光器工作环境对温度和电流的要求比较高, 因此驱动电路主要包括两部分, 一方面是给半导体激光器提供输出稳定度高、电流纹波小的压控电流源, 使得激光器稳定工作; 另一方面是使用热敏电

收稿日期: 2022-12-11

基金项目: 吉林省与中国科学院科技合作高技术产业化专项资金项目 (No. 2021SYHZ0012)

作者简介: 王双争 (1996-), 男, 硕士研究生, 主要从事电路与系统方面的研究。E-mail: 1098295892@qq.com

<http://www.laserjournal.cn>

阻来监测激光器的温度并及时对半导体激光器进行散热降温或关断激光器,保证激光器温度稳定。

半导体激光器驱动的整体电路如图 1 所示,STM32 单片机控制压控恒流电路为激光器提供驱动电流,同时通过温度控制电路监测激光器的温度并反馈调节。



图 1 半导体激光器驱动电路

2.2 恒流源电路

为保证半导体激光器输出功率和激光波长的稳定,一般使用压控恒流源来控制激光器的电流,器件电压自适应。压控恒流源的设计采用基于 MOSFET、

运放的压控恒流电路,它具有电压控制、低漂移、多量程以及精度高等特点^[9]。半导体激光器的驱动电流为安培级别,而一般的运放的输出电流为毫安级别,所以需要对运放的输出电流进行放大。根据功率 MOSFET 管的输入阻抗性能好、可选择工作区域宽以及线性性能突出等特性,在运放的输出端加上功率 MOSFET 管,就可以实现电流的放大,使其达到安培级别,原理框图和基本电路图如图 2、图 3 所示。

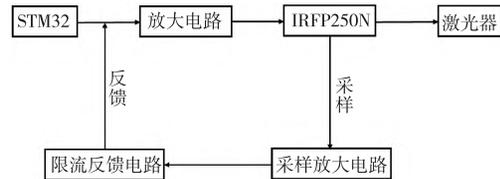


图 2 激光器恒流源驱动电路原理框图

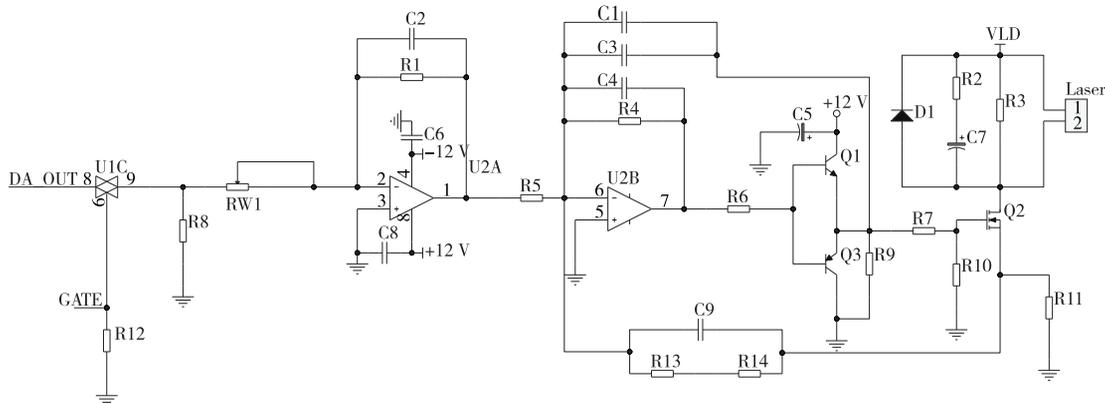


图 3 激光器恒流源驱动电路图

STM32 控制 DAC 芯片 MAX5715 向 LM358 的第一个运放的反向输入端输入所设定的电压值,经放大后在输入到 LM358 的第二个运放的反向输入端,LM358 的第二个运放的输出端通过图腾柱电路连接到功率 MOSFET 管的栅极,同时在功率 MOSFET 管的源极连接一个采样电阻,将其两端的电压反馈到 LM358 第二个运放的反向输入端,将 LM358 的第一个运放放大的电压与采样电阻反馈回来的电压值进行差分运算,进而控制 MOSFET 管的导通情况并调节输出电流的大小,实现闭环自动控制,形成稳定可靠的电压串联负反馈电路。

LD、MOSFET 管和采样电阻处于同一支路,设该支路的电流为 I_D 。当 I_D 增大时,采样电阻两端电压增大,反馈到运放的反向输入端,使得运放的输出端给 MOSFET 管的栅极电压降低, I_D 也随之减少,最终使 I_D 保持不变;同时,当 I_D 减少时,采样电阻两端电压减少并反馈到运放的反向输入端,使得 MOSFET 管的栅极电压增大, I_D 也随之增大,最终使 I_D 保持

不变。

输出电流 I_D 与 MAX5715 输出的电压值具有较好的线性关系,通过改变 DAC 的输出电压可以控制功率 MOSFET 的栅极电压,进而控制输出电流 I_D 的大小。

2.3 驱动直流电源模块

本设计所驱动的半导体激光器的正向压降为 80 V,驱动电流 1.4 A,而且要求电流纹波噪声较小,因此直流电源模块须满足高电压输出和低噪声两方面要求。目前市面上没有能达到 80 V 以上输出的 DC-DC 电源模块,故本设计拟采用两个 DC-DC 电源模块输入端并联输出端对称串联的方式输出所期望的电压。本设计所采用的 VICOR DC-DC 集成电源模块是一种采用零电流开关技术,输入输出噪声低,输入输出电压范围宽的高功率密度的集成电源模块。

本设计选用 V24C48T100BL 电源模块,该模块输入电压范围为 18~36 V,输出电压 3.3~48 V 连续可调。图 4 所示为单个 VICOR DC-DC 电源模块的典型

应用接线示意图。V24C48T100BL 电源模块的默认输出电压是 48 V,可以通过模块的+Out、-Out、SC 引脚构成电阻网络调压,设置 R_U 和 R_D 的阻值实现输出电压为 3.3~48V 连续可调。

图 5 所示为电源模块串联结构电路图,将 V24C48T100BL 两个电源模块输入端并联输出端对称串联,调节电阻网络的 RW 电位器的阻值使得输出高

电压,输出电压可高达 96 V,总输出的电流即负载的功耗不能超过电源模块输出额定电流的标称值。

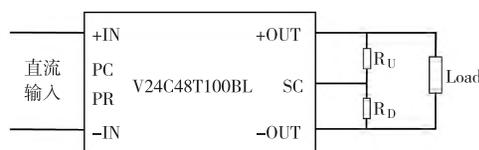


图 4 VICOR 电源模块接线电路图

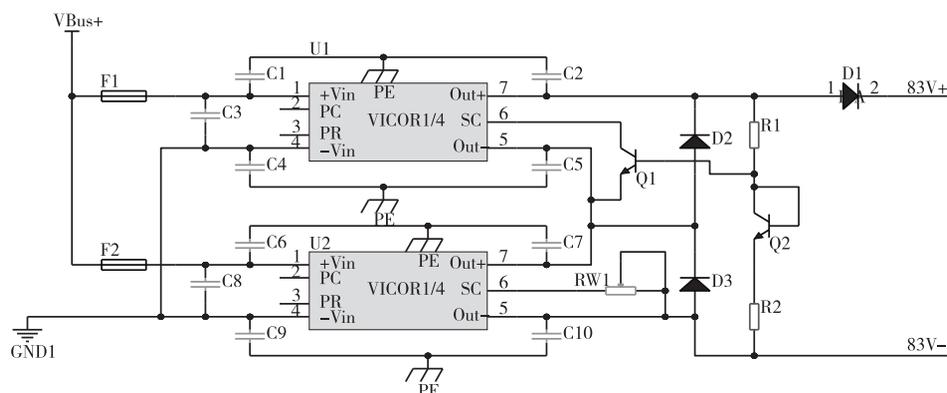


图 5 VICOR 电源模块串联结构电路图

当电源模块 1 的输出电压向下微调时, Q_1 偏置导通,并降低电源模块 2 的输出电压,使得两个电源模块输出电压相等。因此,两个电源模块同样对总输出电压产生影响,使得两个模块实际上按相同的温度工作,使平均故障间隔时间达到最佳程度。在电压调整过程中,两个串联的模块不能同步输出,所以采用压降小的开关二极管反极性输出保护。

通过调节电位器 RW 使得电源模块 1 的输出电压达到所期望输出电压的二分之一,电源模块 2 随之调整至与电源模块 1 的电压相等,使得两个电源模块对称输出所期望的高电压。

需要注意的是两个 DC-DC 电源模块要具有完全一致性,输出高电压的时候两个模块是对称输出,每个电源模块输出为期望输出电压的二分之一,避免因模块不同输出电压不均而影响输出电压的稳定性。

2.4 温度控制电路

半导体激光器工作时会发热从而带来温度的升高,温度会直接影响激光器的输出功率和激光波长的稳定,随着温度的升高,光功率会下降,相应的噪声会变大。因此除了恒流驱动电路之外,还需要为半导体激光器设计温度控制系统来确保输出功率和激光波长的稳定性。

所设计的温度控制系统框图如图 6 所示。当监测激光器的温度达到所设定的阈值时,根据程序设置,STM32 会控制风扇启动对激光器进行散热降温,当散热能力满足不了激光器降温时,STM32 会关闭激

光器恒流源电路的电压输入从而关断激光器避免对激光器造成永久性损坏。

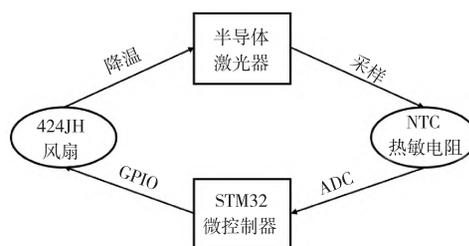


图 6 半导体激光器温度控制系统框图

3 测试实验

3.1 假负载

大功率的半导体激光器的造价高,对驱动系统的稳定性要求很高,因此在对驱动电路进行检测时一般不使用激光器直接上机测试,而是选用导通特性与激光器相似,更为经济耐用的二极管作为假负载进行测试。本设计使用 52 个 KBPC5010 串联作为测试假负载,假负载两端电压为 80.4 V。

3.2 实验结果

(1) 启动测试

压控恒流源输出电流预设为 1.4 A,从开机时刻记录驱动电路输出电流的变化情况,如图 7 所示。由图可知,当电路启动后,输出电流没有产生阶跃性变化,而是从 0 A 开始上升到设定值,无过冲,启动时间约为 600 μ s,保证了驱动电路所驱动半导体激光器工

作的安全性。

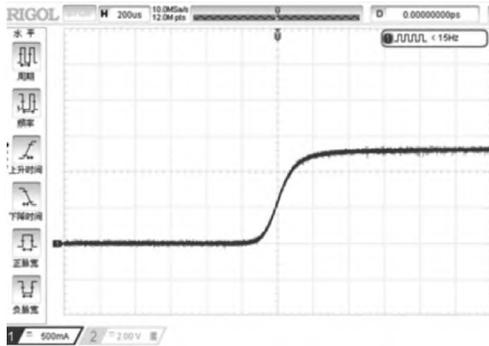


图7 激光器驱动电路启动图

(2) 驱动电压电流稳定性测试

在测试温度稳定的情况下,假负载两端的电压为 80.4 V,通过设定压控恒流源的输入电压使得驱动电流达到激光器所需的 1.4 A,间隔 1 min 测量一次假负载的电压 V 和电流 A,连续测量 30 min,将记录的电压、电流值绘制成曲线,如图 8、图 9 所示。

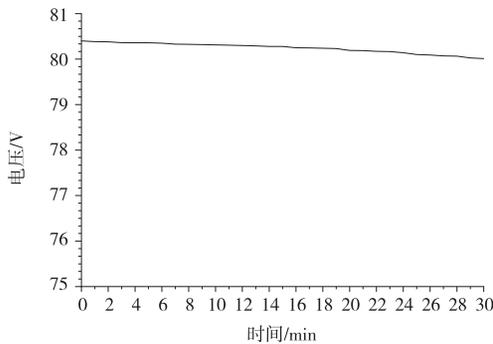


图8 激光器驱动电路电压稳定性测试曲线

在测试时间内,假负载的电压较为稳定,波动范围为 80.01~80.4 V,满足驱动 80 V 半导体激光器的要求。由于假负载散热不良的原因,电压有缓慢下降的趋势。

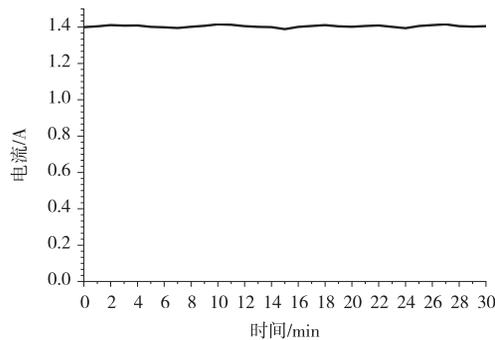


图9 激光器驱动电路电压稳定性测试曲线

根据实验数据,由稳定度计算公式 $\gamma = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_0}$ 可

得,本文所设计的高电压半导体激光器驱动电路的驱动电流稳定度为 1.9%。其中 I_{\max} 为实际电流最大值, I_{\min} 为实际电流最小值, I_0 为驱动电流的理论值。

综合激光器驱动电路电压电流测量数据的曲线图,连续工作 30 min 电压电流均没有剧烈波动,满足激光器的工作要求。本文设计的驱动电路能够为高电压半导体激光器提供稳定的驱动电压和驱动电流。

4 结束语

本文针对高电压半导体激光器设计的驱动电路,使用 DC-DC 电源模块对称串联作为基于 MOSFET 压控恒流源的驱动电压源。DC-DC 电源模块输入端并联输出端对称串联的方式可以输出原 DC-DC 电源模块额定输出值的 2 倍,提供半导体激光器所需要的高电压。本文所设计的驱动电路启动过程速度快,无过冲,在为激光器提供高电压电源驱动的同时具备较好的输出电流稳定性,保证了激光器输出光功率的稳定性,为高电压大功率半导体激光器的驱动电路设计提供了实用的设计思路和可靠的技术支撑。

参考文献

- [1] 王立军,宁永强,秦莉,佟存柱,陈泳屹. 大功率半导体激光器研究进展[J]. 发光学报,2015,36(01):1-19.
- [2] 曹军胜. 半导体激光器爆试验研究[J]. 激光杂志,2014,35(11):26-31.
- [3] 张俊翔,赵玲峰,范杰成. 半导体激光器的音频信号处理系统设计[J]. 激光杂志,2021,42(6):5.
- [4] 王超臣,刘瑞科,王廷予,等. 红外半导体激光器应用[J]. 激光杂志,2020,41(8):10.
- [5] 代媛媛,宋丽民,钟海文,刘磊,曹军胜,高志坚. 便携式双波长激光治疗仪控制系统的设计[J]. 激光杂志,2020,41(11):5.
- [6] 袁林成,蒋书波,宋相龙,等. 半导体激光器驱动电路的研究与设计[J]. 电子器件,2015,38(6):5.
- [7] 马晓明,张志利,刘春平,等. 半导体激光器驱动电路的设计[J]. 光通信技术,2021,45(7):4.
- [8] 曹军胜,王彪. 基于多 MOSFET 并联结构的大功率激光电流源[C]// 测控技术与仪器仪表学术大会,2012.
- [9] 李红岩,刘韩飞,王伟峰,等. 基于 STM32 的 DFB 气体激光器驱动电路设计与实验[J]. 西安科技大学学报,2021,42(8):9-15.