

文章编号:1001-5078(2018)09-1160-06

· 电子电路 ·

基于 REC 技术的 DFB 激光器阵列驱动电路的设计

郭 瑜^{1,2}, 杜韦慷¹, 李 威², 王颖颖², 倪 屹¹

(1. 江南大学物联网工程学院, 江苏 无锡 214132; 2. 南京大学现代工程与应用科学学院, 江苏 南京 210093)

摘 要: 为了实现 DFB 激光器阵列的智能化控制, 提出了一种智能化、高精度、数字控制的驱动电路设计方案。该系统以单片机和 FPGA 为主要控制芯片, 具有体积小、效率高、无冲击、开关保护等特点。DFB 激光器阵列的输出可以由外部可调信号控制。该系统将模拟控制模型转化为数字控制模型, 提高了驱动电路的性能。该系统能够实时监测 DFB 激光器阵列的温度和电流。电流的输出精度可以达到 ± 0.1 mA, 保证 DFB 激光器阵列稳定可靠地工作。该驱动电路有利于 DFB 激光器阵列的灵活使用。

关键词: 可调谐激光器阵列; 快速波长切换; GN25L96; 驱动电路

中图分类号: TN29 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2018.09.018

Design of DFB laser array driver circuit based on REC technique

GUO Yu^{1,2}, DU Wei-kang¹, LI Wei², WANG Ying-ying², NI Yi¹

(1. School of Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214132, China;

2. College of Engineering and Applied Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: In order to achieve the intelligent control of DFB laser array, an intelligence, high precision and numerical controlling driver circuit was designed. The system takes MCU and FPGA as the main control chip, and it has the characteristics of compact, high - efficiency, no impact, switching protection etc. . The output of the DFB laser array can be determined by an external adjustable signal. The system can transform the analog control model into a digital control model, which improves the performance of the driver. The system can monitor the temperature and current of DFB laser array in real time. The output precision of the current can reach ± 0.1 mA, which ensures the stable and reliable operation of the DFB laser array. This driver can benefit the flexible usage of the DFB laser array.

Key words: tunable laser array; fast wavelength switching; GN25L96; driving circuit

1 引 言

DFB 激光器阵列是集成光学器件的关键部件, 其动态控制的特性对实际应用有重要的意义^[1-4]。作为 DFB 激光器阵列的重要组成部分, 驱动电路对激光器阵列的性能有很大的影响。它为激光器提供

泵浦能量, 控制激光器的输出强度和开关频率^[5-7]。瞬态电流或电压尖峰可能会损坏激光器, 电流和温度的波动也会引起激光器输出光功率的变化, 影响信号输出的准确性和稳定性^[8]。为此, 本文设计了一种智能化驱动电流源, 实现了输出光功率和温度

基金项目: 江苏省自然科学基金项目 (No. BK20160190); 国家自然科学基金青年基金项目 (No. 61701195); 中央高校基础科研经费项目 (No. JUSRPI1740); 中国博士后科学基金面上项目 (No. 2017M621710); 江苏省博士后科研项目 (No. 1701119B) 资助。

作者简介: 杜韦慷 (1993 -), 男, 硕士研究生, 主要从事多通道激光器阵列驱动电路方面的研究。E-mail: dwk774375950@163.com

通讯作者: 郭 瑜 (1985 -), 男, 硕士生导师, 主要从事微波, 光电子学的研究和开发。E-mail: guoynju@163.com

收稿日期: 2018-01-02

的自动控制。

本文设计了一种具有高稳定性的 DFB 半导体激光器阵列驱动电路。我们采用的是基于重构等效啁啾(REC)技术的 DFB 半导体激光器阵列,它具有制作成本低、波长间隔精确^[9]和良好的单纵模(SLM)特性等优点^[10]。在该驱动电路的控制下,8 个驱动芯片可实现 8 通道激光阵列的每个通道激光器具有相同的输出光功率。该驱动电路还可以实现激光器阵列中任意两个波长的激光器之间快速切换。

在驱动电路中,通过修改寄存器的值,可以快速地设置 DFB 激光器阵列各通道的电流大小。每个通道的电流调节范围是 0 ~ 103.1 mA,电流调节精度可以达到 ± 0.1 mA,保证 DFB 激光器阵列稳定可靠地工作。此外,激光阵列中每个激光器的运行和关闭时间也可以通过可调信号控制。这就意味着可以实现 DFB 激光器阵列中任意一个激光器的打开和关闭功能。实验结果表明,激光器通道间切换时间可控制在 500 ns 内,这对 DFB 激光器阵列的波长快速切换具有重要意义。

2 电路设计

整个电路的设计主要包括四个部分:控制电路、驱动电路、热电制冷器(TEC)电路和电源电路。图 1 是 DFB 激光器阵列的整个系统框图。

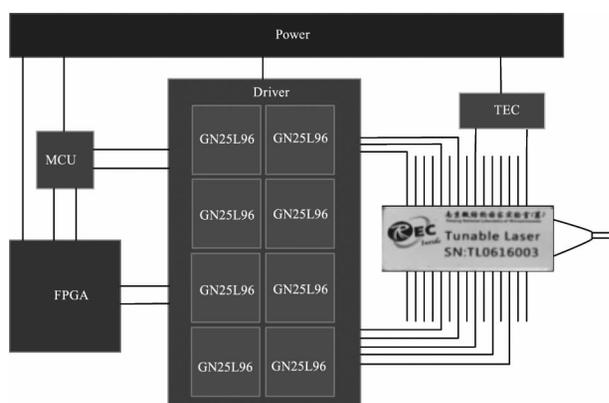


图 1 DFB 激光器阵列系统框图

Fig. 1 The system block diagram of the DFB laser array

微控制器(MCU)采用单片机 80C51F006,主要用于控制 DFB 半导体激光器阵列各通道激光器的开关时间和电流大小。现场可编程门阵列(FPGA)是用于控制驱动芯片 GN25L96 的快速启动和快速切换。接收到单片机发来的信号后,驱动芯片根据需求输出稳定的电流,使激光器波长稳定。温控电路为 DFB 半导体激光器阵列的工作提供了稳定的

温度环境。电源电路负责向其他三个部分提供稳定的工作电压。

2.1 控制电路

控制电路主要是由单片机和 FPGA 组成。为了在驱动芯片之间实现 500 ns 以内的快速切换,选择使用 FPGA。FPGA 具有电路逻辑清晰、延时小、速度快等优点,可以用 VHDL 或 Verilog 描述语言快速修改和升级芯片的逻辑电路。

FPGA 主要负责芯片的正常启动和突发模式下的快速切换。当电路板上电时,FPGA 控制每个驱动芯片的软启动,使八个驱动芯片处于预开启状态。然后 FPGA 通过 BEN 引脚控制不同通道之间的快速切换。突发模式控制图如图 2 所示。突发控制输入是内部偏置,不需要外部偏置元件。因此,开关速度有了很大的提高。

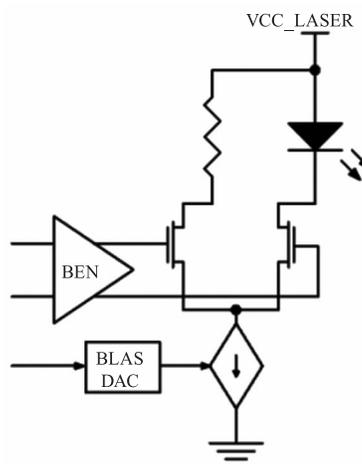


图 2 突发模式控制示意图

Fig. 2 Burst mode control diagram

FPGA 芯片采用 ALTERA 公司 CycloneIV 系列的 EP4CE6E22C8N,时钟信号由 65.536 MHz 的晶振提供。FPGA 接收单片机发送的地址选择信号 $addr[4:0]$ 后,通过译码器将不同路的开启时延和使能信息 $din[15:0]$ 输入到不同路的开关控制中,实现对各路驱动电路的开关选择。FPGA 的寄存器传输逻辑结构示意图如图 3 所示,由锁相环模块、译码器模块、D 触发器模块和开关控制模块组成。

锁相环模块实现对 65 MHz 时钟信号的倍频,倍频信号作为译码器模块和开关控制模块的 CLK 输入。译码器模块为 5 线-32 线译码器,实现了将输入端的 5 位二进制编码在某个对应的输出端以低电平译出,译码作为 D 触发器的时钟信号,从而控制 D 触

发器的输出。D 触发器模块共有 9 个,分别输出 8 路激光器的开启时延以及使能信息。每个模块由两个 D 触发器级联构成,D 触发器模块的输出信号 dout [31:0]包含了这一路激光器的开启时延信息,译码器输出端的 addr_out[0]和 addr_out[1]分别作为两个触发器的时钟信号。D 触发器在时钟信号的上升沿输出 Q,Q 等于 D。当 32 位译码中的某一位发生 0 到 1 跳变时,某个对应的 D 触发器的时钟信号会出现一个上升沿,该触发器会锁存当前的输入信号 din [15:0]并瞬时输出 Q,其余触发器的输出不变,这样就实现了通过地址选择信号控制 9 个 D 触发器模块分别输出不同路的开启时延以及使能信息。

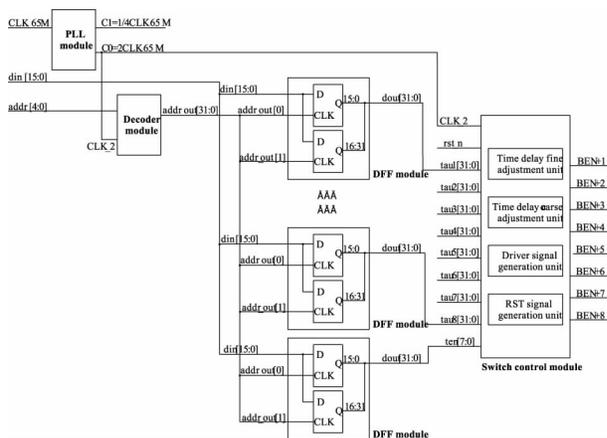


图 3 寄存器传输逻辑结构示意图

Fig. 3 The RTL schematic of the FPGA

开关控制模块的输入是每一路的开启时延以及使能信息,通过计数器计时激光器点亮的时间,根据使能信息使能或者禁能各路驱动电路。某路激光器需要被开启时,该路激光器对应的开关信号 BEN 置为高电平,其余激光器对应的开关信号为低电平。

表 1 BIAS_DAC 16 位寄存器映射表

Tab. 1 BIAS_DAC 16-bit register mapping table

BIAS_DAC MSB(A1h)								BIAS_DAC LSB(A0h)							
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
d9	d8	d7	d6	d5	d4	d3	d2	d1	d0	0	0	0	0	0	0

偏置电流的计算公式如下:

$$I_{\text{BIAS}}(\text{mA}) = (\text{BIAS_DAC} + 8) \times 0.1 \text{ mA} \quad (1)$$

假设四个驱动芯片需要的输出偏置电流分别为 60, 70, 80, 90 mA, 根据公式(1), 可以计算出 BIAS_DAC 的十进制数值, 转换成 10 位二进制数后取高八位得到 BIAS_DAC MSB, 余下的两位后加六位 0

2.2 驱动电路

驱动芯片 GN25L96 可以通过一个 I²C 数字接口进行设置、编程和控制。GN25L96 中的寄存器可以用于控制芯片内的各种模拟功能。芯片配置相关寄存器的内容可以存储在非易失性存储器或外部存储器中, 这样能够满足上电后没有外部微控制器的请求条件下芯片可以正常工作。GN25L96 具有芯片上电复位电路, 能够确保芯片可以正常启动。驱动芯片中的数字控制功能、I²C 接口和非易失性存储器是由一个个数字状态机控制。

2.3 温度控制电路

在 DFB 激光器阵列中, 我们设计了一种高精度热敏电阻, 用来监测每个激光器的工作温度。热敏电阻采集到每一个激光器的温度后, 将采集到的温度信息传递给 PID(比例积分微分)控制器。PID 控制器对采集的温度信息和预设的温度信息进行比较, 并输出控制信号到 TEC 驱动芯片 MAX8520。TEC 驱动芯片将温度控制信号输出到 TEC 制冷板, TEC 制冷板对激光器进行加热或冷却。从而完成了温度控制的全过程。

3 电路仿真

单片机通过 I²C 与激光驱动芯片 GN25L96 和 FPGA 通信, 实现每一路激光器驱动电流大小和开启时长的调节。驱动电流的大小调节取决于驱动芯片的寄存器 BIAS_DAC。BIAS_DAC 是一个 16 位的寄存器, 控制一个 10 位的数模转换器。因此, 只有寄存器的前 10 位用于实际编程数模转换, 剩下的 6 位被置为零。16 位寄存器 BIAS_DAC 的映射如表 1 所示。

得到 BIAS_DAC LSB, 具体的数值如表 2 所示。

通过 Proteus 软件对单片机 80C51 进行仿真, 验证电流控制程序的正确性, 从而确保控制程序能够通过 I²C 数字接口有效地控制驱动芯片。在仿真电路中, 用虚拟示波器测量单片机的输出信号。单片机仿真电路的示意图如图 4 所示。

表 2 在不同输入电流下输出的寄存器值

Tab.2 Register value of the output at different input currents

BiasCurrent /mA	BIAS_DAC (D)	Output MSB code(B)	Output LSB code(B)
60	592	10010100	00000000
70	692	10101101	00000000
80	792	11000110	00000000
90	892	11011111	00000000

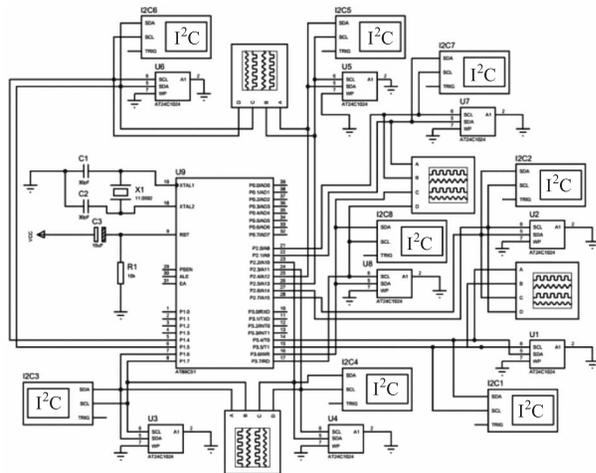


图 4 单片机仿真电路示意图

Fig.4 The schematic diagram of the MCU simulation circuit

仿真结果由几个虚拟示波器显示,在四个不同的输入电流下,时钟和信号的波形如图 5 所示。串口通讯按照每一帧数据顺序传输,每一帧数据的开始和结尾都有起始位和停止位,用于同步数据,中间 8 个数据位是真正传输的数据。从仿真结果中可以得到,在相对应的电流下,MSB 和 LSB 输出的二进制代码与表 2 中的计算结果一致,初步验证了电流控制程序的正确性。

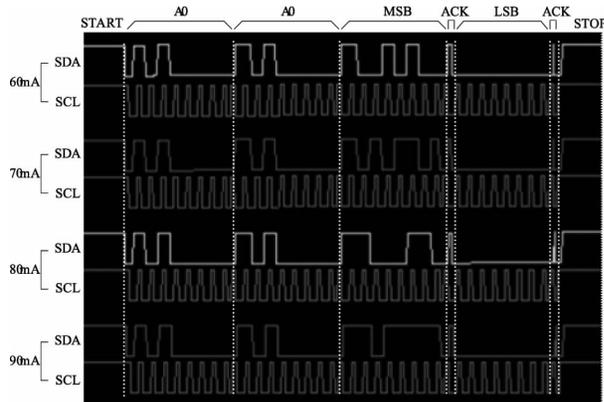


图 5 在不同输入电流下时钟和数据的波形图

Fig.5 The waveform of the clock and data under different input currents

4 实验过程

在实验过程中,使用电脑端 PC 向单片机发送指令,单片机控制 FPGA 和驱动电路。8 个驱动芯片分别为 8 通道激光阵列提供恒定的电流。在驱动电路通电后,通过电流控制程序对各个驱动芯片的输出电流大小进行修改。当需要切换 8 通道激光器阵列的波长时,首先通过 PC 发送开关信号,然后由 FPGA 执行指令,使驱动芯片通过突发模式迅速作出响应。单片机输出的电流控制信号和 FPGA 输出的开关控制信号都可以用示波器测量。8 通道激光器阵列的输出波长可以用光谱仪测量。整个控制系统的实验结构图如图 6 所示。

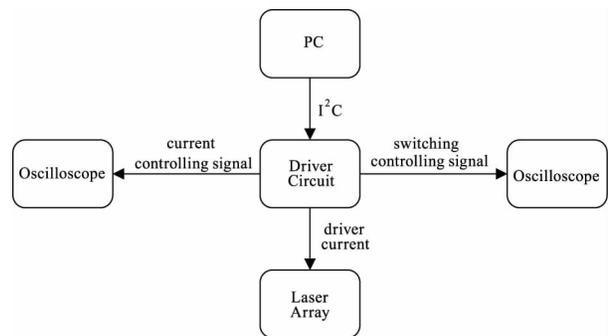


图 6 控制系统实验结构图

Fig.6 Experimental structure diagram of control system

波长切换时间的测量实验结构图如图 7 所示。通过掺铒光纤放大器(EDFA)、光电探测器(PD)和示波器完成。EDFA 可以放大激光阵列输出的光信号,从而使 PD 接收到强而清晰的光信号^[11]。实验过程中,预期的光信号通过 PD 转换成电信号,示波器最终捕获电信号,通过它我们可以测量出每个通道的波长开关时间。

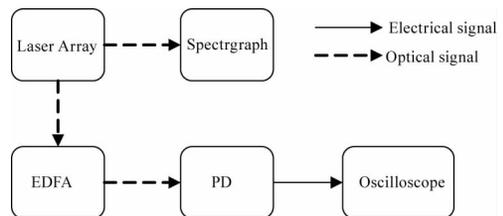


图 7 波长切换时间测量实验结构图

Fig.7 The measurement structure of wavelength switching time

5 实验结果

首先设置偏置电流大小分别为 60,70,80,90 mA,通过示波器测出在每个偏置电流下单片机输出的控制信号,其测试结果如图 8 所示。实验测试结果和仿真

所得结果一致,证明了电流控制程序的正确性。

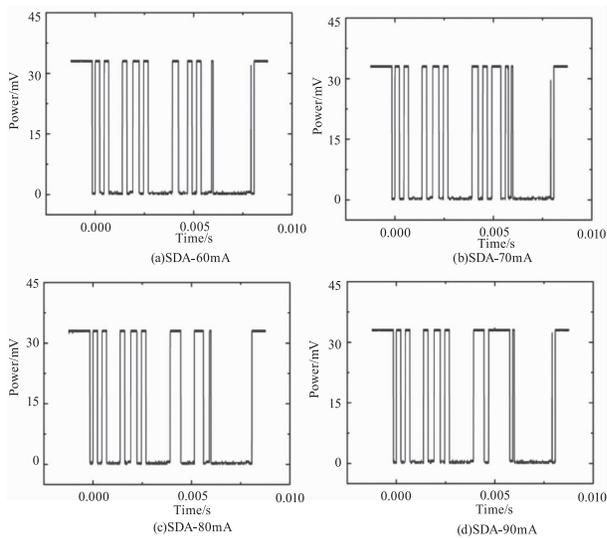


图 8 不同偏置电流下单片机输出的控制信号

Fig. 8 The output control signals of MCU under different bias current

然后,开启 DFB 激光器阵列的所有通道,通过调节各个通道激光器的驱动电流大小,使每一路输出的光功率基本一致。通过光谱仪测出 DFB 激光器阵列单模波长调谐的结果,如图 9 所示。从图中可以看出,8 通道 DFB 激光器阵列的波长调谐范围从 1529.82 nm 到 1552.06 nm,波长间隔约 3 nm。激光器阵列没有模式跳变,且具有较为精确的波长间隔,这些现象充分展示了 REC 技术的优势。

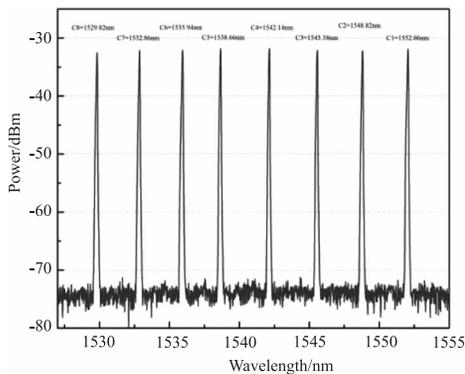


图 9 DFB 激光器阵列波长调谐的实验结果

Fig. 9 The experimental results of DFB wavelength tunable laser array

根据实验结构图对不同通道之间的波长切换时间进行测量。先开启 N 通道的激光器,然后关闭 N 通道并迅速开启 $(N + 1)$ 通道的激光器。为了正确区分不同的通道,我们通过单片机控制 FPGA 的通信,使 N 通道的开启时长远大于通道 $(N + 1)$ 。图 10 表示了从 N 通道切换到 $(N + 1)$ 通道的过程。通过这一方法,测量了八个通道间的切换时间,如图

11 和图 12 所示。

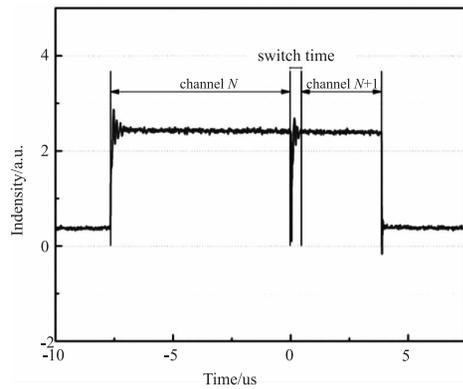


图 10 N 通道切换到 $(N + 1)$ 通道的过程

Fig. 10 The process of N channel switching to $(N + 1)$ channel

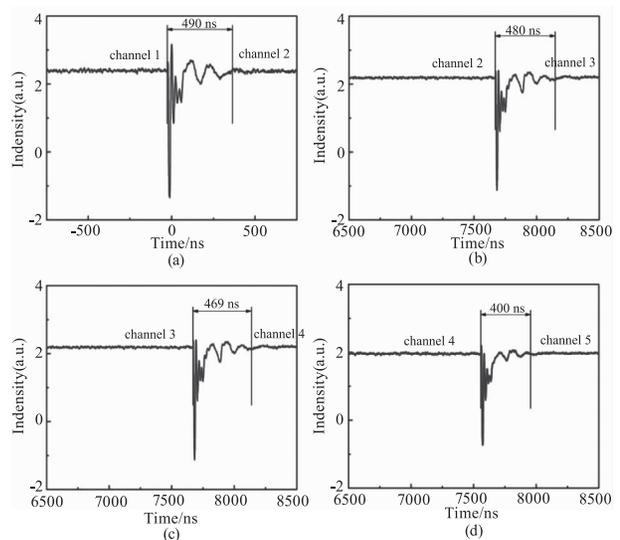


图 11 1~5 通道相邻通道之间的切换时间

Fig. 11 The switching time between adjacent channels of 1~5 channel

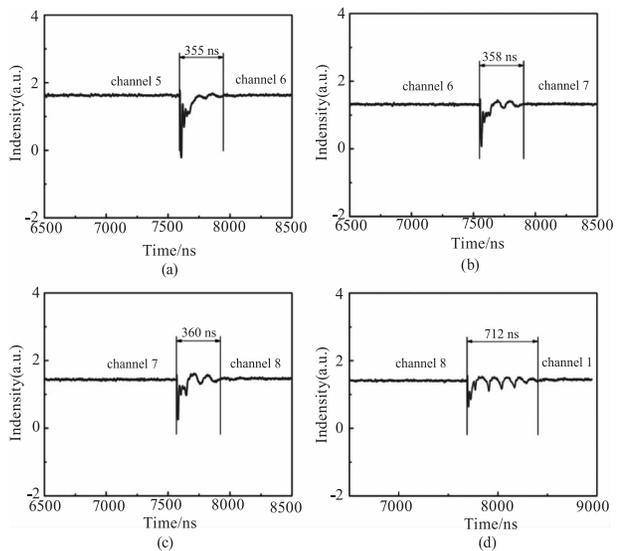


图 12 5~8 通道和 8~1 通道相邻通道之间的切换时间

Fig. 12 The switching time between adjacent channels

of 5~8 channel and 8~1 channel

从相邻通道之间的切换时间图中可以得到通过切换不同通道的激光器得到的波长切换时间是在 500 ns 范围内的。8 通道到 1 通道之间的切换时间比其他通道间切换时间长了约 250 ns,因为在关闭第 8 个通道之后,FPGA 需要额外的时间进行控制代码的读写。这一问题可以在修改后期的控制程序代码中得到解决。

6 总 结

本文提出了一种用于 DFB 激光器阵列的智能化高精度数字控制的驱动电路。电流大小可通过外部可调信号进行智能化控制,每个激光器的开启时间也能得到有效地控制。实验结果表明,该驱动电路可以为 8 通道 DFB 激光器阵列提供 8 个稳定的电流源,且每个通道的激光器输出功率可通过改变电流大小得到有效地控制,通过切换不同的通道实现波长的快速切换,波长切换时间约为 500 ns。从而证实该驱动电路可以满足 8 通道 DFB 激光器阵列电流源驱动的需求。

参考文献:

- [1] J Buus, E J Murphy. Tunable lasers in optical networks [J]. IEEE Journ. of Lightw. Techn, 2006, 24(1): 5 - 11.
- [2] NI Yi, ZHANG Jie, KONG Xuan. Designing and testing of tunable DFB laser array using REC technology [J]. Chinese Journal of Lasers, 2015, 42(5): 0502003. (in Chinese)
倪屹, 张杰, 孔轩. 基于 REC 技术的可调谐 DFB 激光器阵列设计与测试 [J]. 中国激光, 2015, 42(5): 0502003.
- [3] LIU Guoli, WANG Wei, ZHANG Jingyuan, et al. Wavelength tunable single ridge waveguide electro absorption modulated DFB Laser [J]. Chinese Journal of Lasers, 2001, 28(12): 1057 - 1060. (in Chinese)
刘国利, 王圩, 张静媛, 等. 单脊条形可调谐电吸收调制 DFB 激光器 [J]. 中国激光, 2001, 28(12): 1057 - 1060.
- [4] XIE Hongyun, HUO Wenjuan, JIANG Zhiyun, et al. Wavelength selectable DFB laser based on non-uniform multiple quantum wells [J]. Chinese Journal of Lasers, 2012, 39(10): 1002002. (in Chinese)
谢红云, 霍文娟, 江之韵, 等. 非统一多量子阱波长可选 DFB 激光器 [J]. 中国激光, 2012, 39(10): 1002002.
- [5] Y Fukushima, K Shrikhande, M Avenarius, et al. Fast and fine wavelength tuning of a GCSR laser using a digitally controlled driver [J]. Proc. OFC, 2000, 338 - 340.
- [6] LI Guiying, YUE Yubo, LI Rui. Research on electronic control technology of fiber coupled laser-diode [J]. Chinese Journal of Lasers, 2012, 39(4): 0402005. (in Chinese)
李桂英, 岳宇博, 李睿. 光纤耦合激光器驱动与控制技术研究 [J]. 中国激光, 2012, 39(4): 0402005.
- [7] CHENG Mu, WU Chongqing, WANG Dan, et al. High-speed interface between laser and laser driver [J]. Journal of Optics, 2009, 29(5): 1168 - 1172. (in Chinese)
程木, 吴重庆, 王丹, 等. 激光器驱动和激光器之间的高速连接 [J]. 光学学报, 2009, 29(5): 1168 - 1172.
- [8] J E Simsarian, A Bhardwaj, J Gripp, et al. Fast switching characteristics of a widely tunable laser transmitter [J]. IEEE Photon. Technol. Lett, 2003, 15(8): 1038 - 1040.
- [9] Lu, J, et al. Multi-wavelength distributed feedback laser array with very high wavelength-spacing precision [J]. Optics Letters, 2015, 40(22): 5136.
- [10] Jingsi Li, Song Tang, Jeffery Wang, et al. An Eight - Wavelength BH DFB Laser Array With Equivalent Phase Shifts for WDM Systems [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2014, 26: 1593 - 1596.
- [11] Fang Y, Li W, Wang P, et al. Experimental demonstration of a fast tunable laser based on DFB semiconductor laser array using reconstruction-equivalent-4achirp (REC) technique [J]. International Conference on Optical Communications and Networks, IEEE, 2017.