

文章编号: 1001-3806(2018)02-0245-04

多路半导体激光器驱动电路设计

梅剑春¹, 叶青^{2,3}, 田建国^{2,3}

(1. 南开大学 现代应用技术研究院, 天津 300071; 2. 南开大学 物理科学学院, 天津 300071; 3. 南开大学 弱光非线性光子学教育部重点实验室, 天津 300071)

摘要: 为了可切换多个半导体激光器, 实现分时工作, 并降低驱动电路的体积, 采用多路选择开关和多路模拟开关, 实现激光二极管和光敏二极管的切换, 通过设置数模转换芯片不同工作点电压, 实现了一种可以驱动多路不同型号激光二极管的电路。进行了理论分析和实验验证, 取得了长时间稳定性测试数据。结果表明, 电路恒流输出精度可达 0.005%, 驱动 830nm 激光二极管的输出功率不稳定度为 0.048%, 驱动 1550nm 激光二极管的输出功率不稳定度为 0.046%, 实现了光源的稳定输出。这一结果对实现小体积的多路半导体激光器驱动电路设计是有帮助的。

关键词: 激光技术; 半导体激光器; 恒流驱动; 模拟开关

中图分类号: TP273 文献标志码: A doi:10.7510/jgjs. issn. 1001-3806. 2018. 02. 020

Design of driving circuit of multi-channel semiconductor laser

MEI Jianchun¹, YE Qing^{2,3}, TIAN Jianguo^{2,3}

(1. Advanced Technology Institute, Nankai University, Tianjin 300071, China; 2. School of Physics, Nankai University, Tianjin 300071, China; 3. Key Laboratory of Weak-Light Nonlinear Photonics of the Ministry of Education, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: In order to switch multiple semiconductor lasers, realize time-sharing work, and reduce the volume of driving circuit, multi-channel selection switch and multi-channel analog switch was used to switch laser diode and photodiode. Different working voltages were set by digital to analog conversion chip. A circuit that can drive multiple different types of laser diodes was achieved. After theoretical analysis and experimental verification, stability test data with long time were obtained. The results indicate that, the output precision of constant current circuit can reach 0.005%, the instability of output power of laser diode with 830nm is 0.048%, and the instability of output power of laser diode with 1550nm is 0.046%. A stable light source is achieved. This result is helpful for the design of small volume drive circuit of multi channel semiconductor lasers.

Key words: laser technique; semiconductor laser; constant current driver; analog switch

引言

半导体激光器(laser diode, LD)也称激光二极管, 是一种以半导体材料为工作物质的激光器^[1], 具有体积小、效率高、可靠性强、寿命长等优点, 被广泛应用在光存储、光通讯、激光打印、精密测距、水质分析、食品分析、农药残留分析、空气污染物分析等领域^[2-5]。在

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61475078; 61405097); 天津市应用基础与前沿技术研究计划资助项目(15JCQNJC02300; 15JCQNJC02600)

作者简介: 梅剑春(1986-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事光电检测方面的研究。

E-mail: mei@nankai.edu.cn

收稿日期: 2017-05-31; 收到修改稿日期: 2017-08-17

光传感分析或者其它科学实验领域, 不仅要求光源有很高的稳定性, 而且由于不同应用所需的波长各不相同^[6-7], 经常要求切换波长, 需要多个波长的半导体激光器分时切换工作^[8]。半导体激光器输出的波长分布在一个很宽的范围上, 其波长范围在 0.3 μm ~ 34 μm 之间^[9], 常见的波长有 375nm, 405nm, 450nm, 473nm, 520nm, 635nm, 660nm, 685nm, 785nm, 830nm, 850nm, 1310nm 和 1550nm 等。虽然成本比发光二极管(light emitting diode, LED)要高很多, 但半导体激光器发射光的单色性、方向性和亮度都要更好。

作者设计了一种可以分时切换的多路半导体激光器驱动电路, 可以支持多个半导体激光器。与之前每个驱动电路只能驱动一个激光器相比^[10-11], 极大地降低了驱动电路的体积。该电路通过多路选择开关和多

路模拟开关分别实现 LD 和光敏二极管 (photodiode, PD) 的切换, 由数模 (digital to analog, DA) 设置不同的工作点电压, 实现对不同型号激光二极管的驱动。

1 总体方案设计

为了保持半导体激光器输出功率的稳定性, 不能仅采用恒流控制。由于每个激光管的特性曲线不完全一致, 相同的工作电流驱动下的输出光功率并不相同。而且, 半导体激光器长期运用之后, 外微分量子效率将发生变化, 从而影响其输出特性^[12-13]。为了提高输出光的稳定性, 半导体激光器一般的封装内部都会有一个 PD^[14] 用来反馈输出光的功率。输出光功率越大, PD 输出电流越大, 输出光功率越小, PD 输出电流越小。只要保持 PD 输出电流的稳定, 即可保持 LD 输出光功率的稳定性。

驱动电路的原理框图如图 1 所示。从电源开始分成 3 条路径流至恒流源, 一条流经三极管 Q_1 , 一条流经金属-氧化物半导体 (metal-oxide-semiconductor, MOS) 场效应管 Q_2 , 最后一条通过多路选择开关流经指定的激光二极管。为了保证恒流源工作的稳定性, 恒流源一直保持在打开状态。恒流源输出的电流通过数模转换芯片 DA_2 设置为对应激光器的最大驱动电流, 防止电流过大损坏激光器。

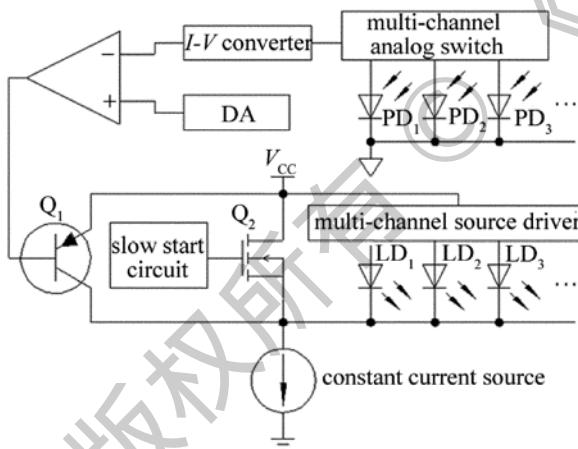


Fig. 1 Block diagram of driving circuit

缓启动电路用来调节 MOS 管 Q_2 的栅极电压, 当栅极电压为高电平时, Q_2 导通。由于 MOS 导通电阻极小, 恒流源全部电流从 Q_2 流过, LD 被旁路, 所以 LD 处于关闭状态。当需要打开 LD 时, Q_2 的栅极电压逐渐降低, 流经 Q_2 的电流逐渐减小, 所以流经 LD 的电流逐渐增大。这样可以保证 LD 被缓慢点亮, 防止冲击电流对其寿命产生影响。

被点亮的激光二极管中的 PD 反馈电流通过多路

模拟开关之后, 进入电流-电压 ($I-V$) 转换, 变成电压信号。该电压信号与用户控制的数模转换芯片 DA 输出的工作点电压进行比较, 之后通过比较器来调整 PNP 三极管 Q_1 的基极电压。当 LD 亮度降低时, PD 反馈电流降低, $I-V$ 转换之后的电压小于 DA 设置的工作点电压, Q_1 的基极电压升高, 流经 Q_1 的电流减小。正常工作时, Q_2 处于完全截止状态, 恒流源电流不变, 所以流经 LD 的电流增加, LD 亮度增加, 反之亦然。通过 PD 电流的反馈实现了 LD 输出光强的恒定。由于不同激光二极管的 PD 反馈电流不同, 切换不同的激光二极管时, 要通过 DA 设置不同的工作点电压。

2 电路设计

2.1 恒流源电路设计

恒流源电路如图 2 所示。其恒流源部分的主回路是电流从上方流入, 流经 R_1 和 Q_3 之后回到大地。其中 R_1 是采样电阻, 采用高精度低温漂的金属膜电阻, 数模转换芯片 DA_2 用来调节恒流源的工作电流。本电路中, DA_2 芯片的型号是 TI 公司的 TLC5615C, 是一款 10 位精度的数模转换芯片, DA_2 的 $REFIN$ 端引入的参考电压为 2.5V, 是通过 TI 公司的 REF5025 芯片得到的稳定参考电压。 R_1 两端的电压首先通过运算放大器进行放大。运算放大器 OP_1 为电压跟随器, 运算放大器 OP_2 为差分电压放大电路。放大之后的电压与 DA 设置的电压进行比较积分, 最终通过调节 Q_3 的基极电压来调整工作电流。当恒流源输出电流变小时, R_1 两端电压变小, 通过 OP_2 放大之后的电压小于 DA 设置的电压, OP_3 输出电压变大, Q_3 的基极电压变大, 所以流经 Q_3 的电流增加, 工作电流变大, 从而实现恒流源的反馈调节, 反之亦然。其中 R_1 取值 5Ω, 运算放大器 OP_2 的放大倍数是 5 倍。 DA_2 设置的参考电压最大可以取到 2.5V, 此时恒流源输出电流最大, 可达 100mA。

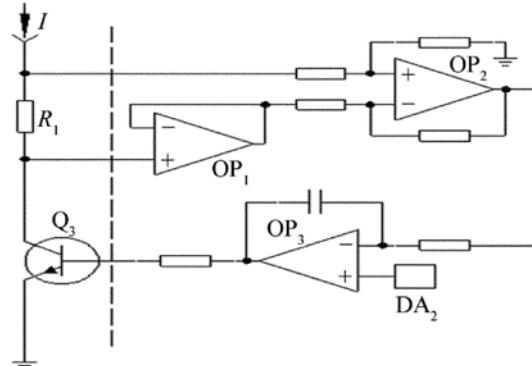


Fig. 2 Block diagram of source circuit of constant current

2.2 缓启动电路

缓启动电路如图 3 所示。缓启动电路的输入电压与 V_{ref} 进行比较。当输入电压大于 V_{ref} 时,三极管 Q_4 关闭,电容放电,输出电压缓慢降低,进而实现 LD 的缓慢点亮。利用电容的充放电过程实现 LD 的缓慢开关,避免冲击电流对器件的破坏。由于运算放大器的输入阻抗很高,可以通过单片机的输入/输出引脚直接驱动,实现激光器的开关。TTL-3.3 或者 TTL-5.0 电平都大于 V_{ref} 的 2.5V,所以本电路支持通用的单片机型号。

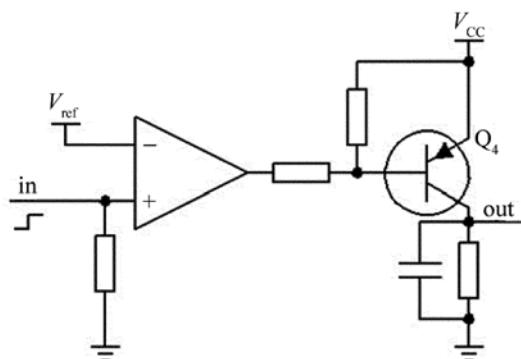


Fig. 3 Circuit with slow start

2.3 激光二极管切换

激光二极管包括内部的 LD 和 PD, 切换时 LD 和 PD 需要分别切换。其中切换 LD 用的多路选择开关芯片型号是东芝公司的 TD62783。这是一款八通道源极驱动器, 至少可以切换 8 路 LD, 当通道更多时, 多增加一个这款芯片即可。切换 PD 的模拟开关芯片是 ADG508, 漏电流较小, 采用 T 型负反馈网络作为 $I-V$ 转换放大电路, 不仅可减小切换稳定时间、加快衰减, 而且保证了放大倍数。详细电路参见参考文献 [15]。切换 LD 和 PD 之前, 首先将缓启动电路的输入电压调整为 0V, 将 Q_2 导通, 使通过 LD 的电流为零。然后调整恒流源的 DA_2 设置电压, 使恒流源的电流调整为下一个要切换的 LD 对应的最大工作电流。下一步调整 DA 设置的工作点电压, 设置下一个 LD 的工作电流。之后切换 LD 和 PD, 最后将缓启动电路的输入电压调高, 将新的 LD 缓慢点亮。

3 实验结果

3.1 恒流稳定性

调节数模转换芯片 DA_2 , 使其输出电压达到最大的 2.5V。采用电压测量法, 测量采样电阻 R_1 两侧的电压, 然后除以 R_1 的阻值计算恒流源的输出电流。电路预热 5min, 测量 15min 的电压强度, 采样间隔为 1s。测量结

果如图 4 所示。从结果可知, 恒流精度可达 0.005%。

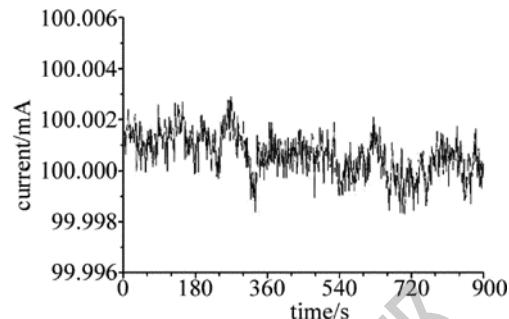


Fig. 4 Test results of constant current source stability for 15min

3.2 负载稳定性

利用本文中所研制的驱动电路, 对两种不同波长的激光二极管进行了测试。一种是 QPHOTONICS 公司的 830nm 激光器, 型号是 QSDM-830-2; 另外一种是 JDS Uniphase 公司的 1550nm 激光器, 型号是 CQF915/408-19350。测试时, 两种激光器分别开机预热 5min 后, 测量 15min 稳定性, 采样间隔为 1s。

测量时, 由于半导体激光器对温度非常敏感, 为了避免激光器发热及环境温度变化的影响^[5,12,16], 均外接了温控电路, 利用激光器内部的半导体加热制冷片对器件进行恒温控制, 使温度稳定在 25℃。

根据 GB/T 15313^[17], 输出功率不稳定度 Δ_P 是描述激光光源稳定性的重要参量, 其计算公式为:

$$\Delta_P = \frac{2\Delta P_\sigma}{P} \quad (1)$$

式中, ΔP_σ 是激光输出功率变化的标准差, P 是激光输出功率的平均值。

在工作范围之内, 光敏二极管 PD 的线性度极好^[18], 可以认为激光输出功率正比于激光二极管的 PD 反馈电流, 所以可以通过测量激光二极管的 PD 反馈电流通过运放放大之后的电压变化来测量激光输出功率的稳定性。测量电压所用的测量仪器是 Keithley2000, 是一款 6 1/2 位数字万用表。

测试结果如图 5 所示。830nm 激光二极管的输出

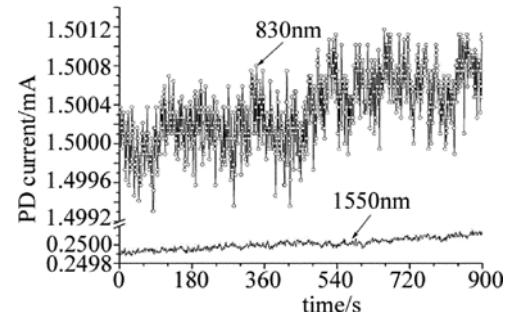


Fig. 5 Test results of power stability for 15min

功率不稳定度为0.048%;1550nm激光二极管的输出功率不稳定度为0.046%,实现了光源的稳定输出。

4 结 论

研制成功一种可以分时切换的多路激光二极管驱动电路,通过多路选择开关和多路模拟开关分别实现LD和PD的切换,由DA设置不同的工作点电压,实现对不同型号激光二极管的支持。测试结果表明,驱动激光二极管光源的稳定性符合使用要求。这样对于需要切换使用多波长激光的场合,可以减小驱动电路的体积,缩小器件尺寸。由于激光二极管一般都配套温度控制器使用,下一步可以继续研究多通道温度控制电路。

参 考 文 献

- [1] LIU L M. Research on the characteristics measurement of light emitting diodes and laser diodes [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007:1-78 (in Chinese).
- [2] LANG J H, GU B, XU Y, et al. The GaN-based semiconductor materials LDs[J]. Laser Technology, 2003, 27(4): 321-327 (in Chinese).
- [3] ZHANG R F, KONG L H, LU Ch G. Design of constant-current source for high power semiconductor laser diode [J]. Laser Technology, 2012, 36(1): 80-83 (in Chinese).
- [4] LIAO Zh Y, DENG H F, WU L H, et al. Design of high precision constant temperature control systems based on laser diodes [J]. Laser Technology, 2012, 36(6): 771-775 (in Chinese).
- [5] ZHANG Y Ch, SUN L J, FU Sh Y, et al. Research on adjustable high power high pulse-repetition-frequency compact LD power supply [J]. Laser Technology, 2012, 36(6): 731-734 (in Chinese).
- [6] LIAO P, MO Sh W. 1310nm/1550nm semiconductor laser power supply for the optical fiber measurement [J]. Laser Technology, 2013, 37(4): 541-546 (in Chinese).
- [7] YANG Y, GAO Zh H, CAO Zh, et al. Detection of the NO₂ based on laser spectrum [J]. Laser Technology, 2012, 36(2): 198-207 (in Chinese).
- [8] CAO Y B, WANG X H, ZHANG H Q, et al. A precision mirror constant current source for driving multi-channel LED [J]. Analytical Instrumentation, 2009, 32(1): 7-10 (in Chinese).
- [9] WANG L W. Development of semiconductor lasers and their applications[J]. Journal of Chengdu University (Natural Science Edition), 2003, 22(3):34-38 (in Chinese).
- [10] LUO L, HU J Ch, WANG Ch Y, et al. Design of high-precision driving power and temperature control circuit for semiconductor laser [J]. Laser Technology, 2017, 41(2): 200-204 (in Chinese).
- [11] JIA H Zh, LI Y L, ZHANG P K, et al. Design of diode laser power supply [J]. Applied Laser, 1999, 19(4):181-182 (in Chinese)
- [12] ZOU W D, GAO Y P. Semiconductor laser power supply controlled by sing-chip microcomputer [J]. Laser Journal, 2002, 23(4):70-71 (in Chinese)
- [13] XIAO H R, ZOU W D, ZHU Q Sh. Design of digital diode laser output power control system [J]. Laser & Infrared, 2004, 34(6): 422-424 (in Chinese).
- [14] LIU T, SUN L, TANG W Y. Research on multi-channel LD monitoring system of optical communication [J]. Modern Electronics Technique, 2012, 35(3): 154-157 (in Chinese).
- [15] SUN W Q, JIANG H Y, LIU W D. Pre-amplification of multichannel photocurrent acquisition [J]. Journal of University of Ji'nan (Science & Technology Edition), 2007, 21(2): 117-120 (in Chinese).
- [16] FANG L H, WEN J G, JIANG Y Ch, et al. Design of a temperature control system for semiconductor laser based on digital filtering [J]. Laser Technology, 2016, 40(5): 701-705 (in Chinese).
- [17] GENERAL ADMINISTRATION OF QUALITY SUPERVISION, INSPECTION AND QUARANTINE OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA. GB/T 15313—2008 Terminology for laser [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008:14 (in Chinese).
- [18] WANG R P, SHU Q, WEI L. On character of photoelectric diode [J]. Acta Photonica Sinica, 2000, 29(s1):247-251 (in Chinese).