

一种高稳定连续可调半导体激光器驱动源

张国雄, 黄春晖

(福州大学物理与信息工程学院, 福建 福州 350108)

摘要:在连续变量相干光系统中, 半导体激光器工作的稳定与否直接影响着检测结果。注入电流和工作温度是影响半导体激光器工作稳定的主要因素。因此激光器的驱动电源应是长时间、高稳定的恒流源, 且带有恒温控制。采用电流串联负反馈技术, 对控制量进行闭环控制, 可实现高稳定和 low 纹波系数的驱动电流源, 具有恒流特性好、纹波小、抗干扰能力强等优点。并采用自动温度控制电路对半导体激光器进行恒温控制, 从而保证输出功率稳定, 同时还采用了一系列的保护措施, 实现半导体激光器的可靠运行。该系统采用单片机为主机, 检测电路异常和控制保护电路, 选择电压参数送入数字电压表显示, 具有保护电路完善、操作直观的特点。

关键词: 半导体激光器; 驱动电源; 电流负反馈; 温度控制; 保护电路

中图分类号: TN248.4

文献标识码: A

Continuously adjustable semiconductor laser diode driver with high stability

ZHANG Guo-xiong, HUANG Chun-hui

(College of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: In continuous variables coherent optical systems, the stability of semiconductor laser directly influences the test results. Injection current and working temperature are the main factors that affect the stability of semiconductor laser. Therefore the laser driver should be highly stable constant current source. Using current feedback control technology, the constant current source has the following advantages: good constant current characteristics, small ripple, strong anti-interference capability, etc. And the temperature control circuit is adopted to control the temperature of the laser, which can ensure the stability of output power. In addition, a series of protection electric circuit is adopted to ensure the reliable operation of the laser. In the system, the monolithic computer is adopted as the main controller. Using digital voltmeter as monitor, the driver has perfect protection function and is easy to use.

Key words: semiconductor laser; drive power supply; current negative feedback; temperature control; protection circuit

1 引言

在连续变量相干光系统中, 相干光源是必不可少的。相干光可通过激光光源获得。与其他激光光源相比, 半导体激光器具有单色性好、体积小、质量小、耗电省、结构简单、价格低等优点^[1]。其中 PN 结注入式半导体激光器, 也称为激光二极管 (LD), 是目前技术最成熟的、应用最广泛的器件^[2], 是一种高功率密度并具有极高量子效率的器件, 微小的电流变化将导致光功率输出的极大变化和器件参数 (如激射波长、噪声性能、模式跳动) 的变化, 这些变化直接影响器件的安全工作和应用要求。目前国产

驱动电源的电流稳定度一般优于 10^{-3} 且较为昂贵, 而在对光的相干性有较高的要求的实验中, 总希望 LD 的驱动电源是能够长时间稳定工作的恒流源, 其工作电流应当具有非常高的稳定度 (至少小于 10^{-4}) 和很小的波纹系数^[3]。因此采用电流串联负反馈技术, 自行研制高稳定、低成本的驱动电流源。

半导体激光器是温度敏感器件, 环境温度的变

基金项目: 福建省教育厅重点科技项目 (No. JA08001) 资助。

作者简介: 张国雄 (1985 -), 男, 硕士生, 主要从事激光技术的研究。E-mail: zhangguox12@163.com

收稿日期: 2010-10-27; 修订日期: 2010-11-18

化及激光器件工作时发热导致其温度的变化不但会引起激光功率的变化,而且会影响到其输出波长的变化,同时也是 LD 性能恶化、寿命减少的主要因素之一^[5]。因此实用化的 LD 必须对温度加以控制。LD 作为一种结型器件,易受过压、过流及静电损伤,因此除了高稳定的恒流源和温度控制电路外,还需要特殊的保护电路。

2 系统原理

驱动电源的系统原理如图 1 所示,恒流源电路基于电流串联负反馈实现,采用电位器调节的方法实现输入电压的连续可调,最大的驱动电流可达到 1 A,且具有高速的过流保护功能。自动温度控制电路采用集成温度传感器 AD590M,温度控制采用 PI 调节,通过 TEC 线性驱动电路驱动 TEC12704 型半导体制冷器进行温度控制,实现 LD 的恒温控制。系统采用单片机管理和控制,通过检测异常电路来控制 LD 保护电路,保证激光器的稳定工作和使用寿命。电源采用三位半数字电压表(DVM)显示,通过由单片机控制的 4051 模拟开关能提供限制电流、驱动电流、设定温度和实时温度共 4 个工作参数的显示,且具备工作状态的指示和过流、过压和过温报警功能。

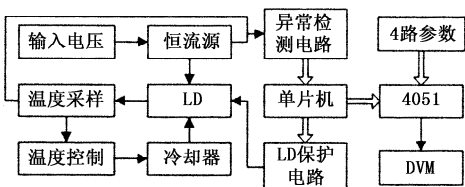


图 1 系统原理框图

3 恒流源驱动电路

数控恒流电路在运行中会产生很大噪声,不易于实现低纹波、高稳定的恒流源。而基于电流串联负反馈控制原理,对控制量进行闭环控制,可实现高稳定和低纹波系数的驱动电流源^[4]。因此采用如图 2 所示的自动电流控制(ACC)环节实现 LD 高稳定的恒流驱动。

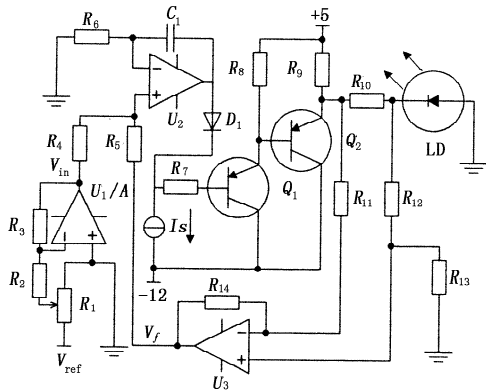


图 2 ACC 控制电路图

R_2, R_3 和运放 U_1 组成反比例放大电路,设 U_1/A 的输出电压为 V_{in} (负极性)。 R_6, C_1 和运放 U_2 组成积分控制电路,当 U_2 的同相端不为 0 时,其输出电压产生相应的变化。 R_7, R_8, R_9, Q_1 和 Q_2 组成电流放大电路,将流过 R_7 的电流进行功率放大,其中流过 R_7 的电流为具有过流保护功能的电流源 I_s 与流过 D_1 的电流之差。精密电阻 $R_{10}(1 \Omega, 5 W)$ 与 LD 串联,经反馈电路($R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14}$ 和 U_3)采样后,将 LD 的驱动电流转化反馈电压 V_f (正极性),从而实现 ACC 控制。其工作过程为:当输入电压值 V_{in} 大于 V_f 时,积分器输出电压变小,流过 D_1 的电流下降,则流过 R_{10} 的电流变大, V_f 随之上升;当 V_f 大于 V_{in} 时,积分器输出电压变大,流过 D_1 的电流上升,则流过 R_{10} 的电流变小, V_f 也随之下落,从而实现稳定的恒流源。其中采用 MC1403 作为基准电压源, U_1 为 TL084, U_2 和 U_3 采用低噪声的精密运算放大器 OP27, Q_1 为 2N3906, Q_2 采用高速的功率晶体管 2N6726。

4 自动温度控制电路

自动温度控制电路分为温度设置、温度测量、PI 调节器和 TEC 线性驱动四个模块。如图 3 所示,温度设置模块由 R_{15} 、电位器 R_{16} 和运放 U_4/A 组成,其中 U_4 为 TL084。 U_4/A 的输出电压范围为 0 ~ 0.3 V,相应的温度范围为 0 ~ 30 °C 而 DVM 的显示精度为 1 mV,因此可通过单片机控制 DVM 的第三个小数点,使温度的显示精度为 0.1 °C。调节 LD 的温度值可微调激光波长。

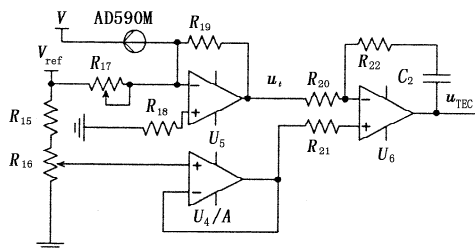


图 3 温度设置、测量及其 PI 调节

温度采集模块采用 AD590M (精度达到 $\pm 0.3 \text{ }^\circ\text{C}$) 作为温度传感器,该集成传感器在 $-55 \sim +150 \text{ }^\circ\text{C}$ 温度范围内有较好线性度,非线性误差小,在 $+4 \sim +30 \text{ V}$ 工作电压下,其输出电流值(μA)与绝对温度成比例关系,系数为 1。由于显示采用 DVM 显示方式,因此需要将输出电流读数减去 0 °C 相应的电流值(其电流可由基准电压和可调电阻 R_{17} 构成),得到摄氏温度。采用如图 4 所示的由 R_{19} 和 U_3 组成的 $I-V$ 转换电路,为了能与温度设置电

压直接比较, R_{15} 取 10 k Ω , U_5 为 OP27。温度的变化不可能很快, 它总是要经过一段时间才能改变, 因此 PID 调节器的微分环节在系统中不起作用且易于放大噪声信号^[6]。所以采用如图 3 所示的由 R_{14} , R_{14} , R_{14} , C 和 U_6 的 PI 调节器, 从而控制 TEC 的制冷强弱, 其中 U_6 为 OP27。

TEC(thermo electric cooler)的驱动方法可分为线性驱动和脉冲宽度调制 PWM^[7]。系统采用线性驱动方法, 其电路如图 4 所示。 R_{26} 并联一个 Q_3 限制流过 R_{26} 的电流, 使得 R_{26} 的压降不超过 Q_3 的 V_{BE} , 从而保护 TEC。TEC12704 的最大工作电流可达 4 A, 因此 R_{26} 采用 3 W, 0.39 Ω 的碳膜电阻。其中 Q_3 为 2N3906, Q_4 为达林顿管 TIP127。

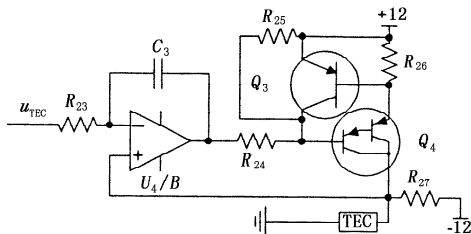


图4 TEC 线性驱动电路

5 保护电路

在实际工作环境下, 有多种因素如静电、电压、浪涌电流以及电网冲击等都会对半导体激光器造成永久性损坏或缩短其使用寿命^[8]。因此, 必须采取措施加以防护。

对于瞬态特性和温度要求较高的半导体激光驱动电源采用线性电源较为合理^[9], 并采用 TDK 噪声滤波器 ZJG2206M - P 缓解电网中的瞬时浪涌, 能滤除电网中的高次谐波。在直流电源中采用瞬态电压抑制器 TVS, 用于抑制瞬态浪涌, 能有效地保护电子线路的精密元器件, 免受各种浪涌脉冲的损坏。

如图 5 所示, 采用继电器 K_1 对 LD 进行保护, 同时采用内置负载(两个二极管 D_2 和 D_3 的串联)近似代替 LD, 检测恒流源驱动电路是否正常工作, 其中 K_1 与内置负载是常闭、与 LD 端是常开。只有驱动电路工作稳定、驱动电流满足要求时, 才能通过单片机 PB2 端口控制继电器 K_1 启动 LD。在 LD 端并联一个 R_{34} 和 C_4 的串联电路, 可使 LD 的注入电流有一定的上升时间, 也能有效地滤除高频噪声。在 LD 两端并联一个 R_{35} 可使 C_4 的电量在 LD 不工作时得到释放, 也可消除 LD 长时间不使用时的静电危害, 为了减小该电阻对驱动电流的精度, R_{35} 取 20 k Ω 。在 LD 工作时器件两端反向并联一只二极管 D_4 进行极性保护。

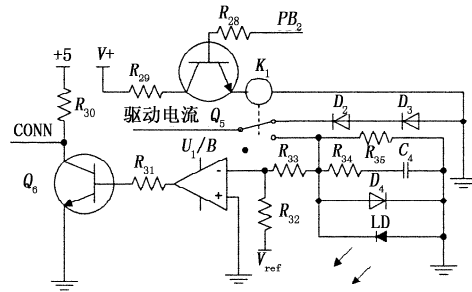


图5 LD 保护电路及过压检测电路

LD 是一种结型器件, 其正向工作电压较小, 当 LD 出现极性接错或者接触不良的情况时, 其两端电压降会超过其工作电压范围。因此采用如图 5 所示的过压检测电路, 正常的情况下, 检测端 CONN 为高电平; 当 LD 未连接上或极性接反时 CONN 被拉低, 经过单片机报警和保护, 可有效地保护 LD。

当温控电路故障失效时, LD 工作温度超过其工作温度时, 应进行必要的保护。由于温度变化不可能很快, 可采用过压检测电路检测如图 3 所示的节点电压 u_i 是否超过了工作温度范围。当单片机软件检测过温端口是否为低, 如为低则断开继电器, LD 不工作, 从而达到过温保护的目。

如果没有对驱动电流进行限流保护, 大电流极易损伤激光器, 所以高速可靠的限流保护系统对于半导体激光器电源来说是必不可少的。限流保护电路分为硬件限流和软件报警。电路如图 6 所示。当采样电压 V_f 大于 U_1/D 的输出电压时, Q_7 和 Q_8 导通, 使流入电流 I_s 变小。因此驱动电流变小, 起到保护 LD 的作用。限流电平送入单片机检测, 当检测到低电平时, 进行过流软件保护, 并报警。 U_1/C 的输出电压可调节电位器 R_{36} 获得, 可方便地任意改变限流电流值。

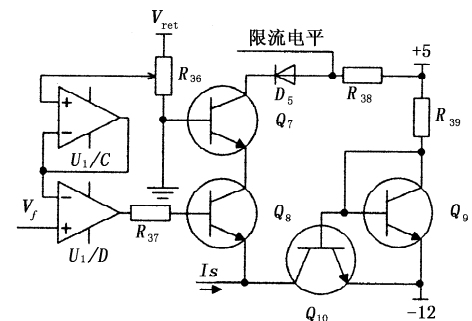


图6 高速的限流保护电路

6 实验结果

本系统在室温环境下, 对 0.5 W 的半导体激光器进行了实验, 采用 PCI - 6111E 采集卡和 LabVIEW 软件进行测试, 驱动电流的测试结果如图 7

所示,其稳定度优于0.012%。光功率采用本实验室已研制的光电转换电路进行测试,其结果如图8所示,其稳定度为0.06%,符合设计要求。

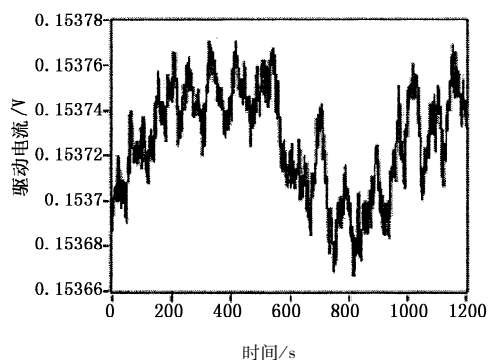


图7 电流稳定性实验结果

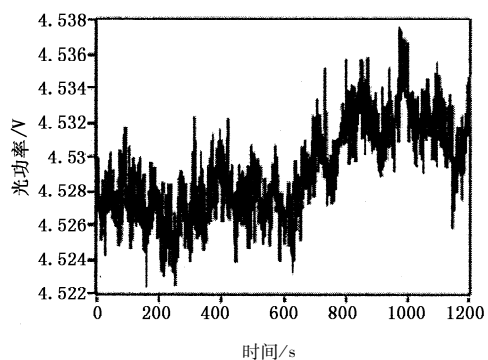


图8 光功率稳定性实验结果

7 结论

本文所采用的LD驱动电源设计方案切实可行,输出电流可在0~1 A范围内连续可调,驱动电流和光功率稳定性好。该电源操作简单,采用过压、过温、过流、反浪涌脉冲和继电器保护等保护电路,保证激光器的稳定工作和使用寿命。该电源已应用于连续变量相干光系统,对光的相干性有较高要求的实验,具有一定的实际意义和参考价值。

参考文献:

- [1] Liu Shushu, Shan Wentao. A practical high power laser diode driver [J]. *Laser & Infrared*, 1998, 28(3): 153-155. (in Chinese)
刘舒书,单文涛.一种实用的大功率激光二极管驱动电源[J].*激光与红外*,1998,28(3):153-155.
- [2] Jiang Wenjie, Ceng Xuewen, Shi Jianhua. Electro-optic technology [M]. Beijing: Science Press, 2009: 65. (in Chinese)
江文杰,曾学文,施建华.光电技术[M].北京:科学出版社,2009:65.
- [3] Huang Dexiu, Liu Xuefeng. Semiconductor laser and their applications [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1999: 255-256. (in Chinese)
黄德修,刘雪峰.半导体激光器及其应用[M].北京:国防工业出版社,1999:255-256.
- [4] Fan Xiangguang, Sun Heyi, Tang Wenyan, et al. The design of a laser diode pulsed current source based on FPGA [J]. *Laser Journal*, 2007, 28(2): 19-20. (in Chinese)
范贤光,孙和义,唐文彦,等.基于FPGA技术的半导体激光器脉冲驱动电源的设计[J].*激光杂志*,2007,28(2):19-20.
- [5] Zhang Shuyun, Kong Dechao, Li Shudie, et al. A design of driver with end-of-life detection for semiconductor laser [J]. *Laser Journal*, 2007, 28(5): 81-82. (in Chinese)
张书云,孔德超,李书蝶,等.带有半导体激光器寿命检测的驱动电源的设计[J].*激光杂志*,2007,28(5):81-82.
- [6] Zhang Zhaoyang. The design for a high precision temperature system [J]. *Science Mosaic*, 2007, 5: 219-220. (in Chinese)
章朝阳.高精度输出半导体激光器的温度控制系统设计[J].*科技广场*,2007,5:219-220.
- [7] Xu Hui, Yang Changmao, Che Zhen. Temperature characteristics analysis and design concept of semiconductor laser device [J]. *Mine Warfare & Ship Self-Defence*, 2008, 16(4): 51-53. (in Chinese)
徐辉,杨昌茂,车振.半导体激光器的温度特性分析与设计思路[J].*水雷战与舰船防护*,2008,16(4):51-53.
- [8] Zou Wendong, Gao Yiqing. Semiconductor laser power supply controlled by single-chip microcomputer [J]. *Laser Journal*, 2002, 23(4): 70-71. (in Chinese)
邹文栋,高益庆.单片机控制的半导体激光驱动电源[J].*激光杂志*,2002,23(4):70-71.
- [9] Tang Min, Han Hai. Driver of semiconductor laser based on NCP5662 [J]. *Electronic Measurement Technology*, 2008, 31(3): 47-50. (in Chinese)
唐敏,韩海.基于NCP5662的半导体激光器驱动电源[J].*电子测量技术*,2008,31(3):47-50.