

DOI: 10.7652/xjtub201903001

高精度和高稳定性半导体激光器恒流驱动电源

田亚玲, 李创社, 张朝阳

(西安交通大学电子与信息工程学院, 710049, 西安)

摘要: 基于输入电流的微小变化可以引起半导体激光器输出波长和功率显著改变的特征, 研制了一种高精度、高稳定性半导体激光器恒流驱动电源。该电源利用运算放大器和场效应管组成恒流源电路, 消除了供电电源对输出电流特性的影响, 使输出电流仅受调谐电压的变化而改变, 提高了输出电流的稳定度; 采用高精度基准电压源使调谐电压具有极高的输出精度和稳定度, 增强了输出电流的精度; 电源慢启动电路避免了浪涌及高压静电等对激光器的损坏, 限流保护电路使流过激光器的正向电流不超过允许最大电流值, 启停控制电路可根据实验需求随时关闭激光器而不影响电路的其他功能, 实现了对激光器的可靠保护。测试结果表明, 该电源在输出电流 0~200 mA 范围内连续可调, 输出电流精度为 0.01 mA, 长期稳定度约为 0.004%, 具有恒流特性好、纹波小、保护电路可靠、抗干扰能力强、成本低、易实现等特点。

关键词: 激光技术; 半导体激光器; 恒流驱动; 限流保护

中图分类号: TN248.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2019)03-0001-05

High-Accuracy and High-Stability Constant Current Power for Semiconductor Lasers

TIAN Yaling, LI Chuangshe, ZHANG Zhaoyang

(School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The output power and wavelength of semiconductor lasers are affected by the input current whose tiny change may lead to significant changes in the lasers' wavelength and optical power. In this paper, a high-accuracy and high-stability constant current power is developed. Field effect tube and operational amplifier are used to improve the stability of current, and high stability reference power is used to enhance the accuracy of current. High reliability is achieved by slow-start of power, current limiting protection and start-stop control circuit. The results show that this power supply is able to continuously adjust the output current from 0 mA to 200 mA, with a current accuracy of 0.01 mA and long-term stability of about 0.004%, and the protection circuit is highly reliable.

Keywords: laser technique; semiconductor laser; constant current driving; current limiting protection

半导体激光器(激光二极管)具有单色性好、波长覆盖宽、激励方式安全、功耗小等优点, 广泛用于

远距离通信、光学精密测量、激光泵浦、医学诊断等领域。半导体激光器依靠载流子注入方式工作, 注

收稿日期: 2018-06-15。 作者简介: 田亚玲(1976—), 女, 工程师。 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11474228); 陕西省自然科学基金资助项目(2017JQ6039)。

网络出版时间: 2018-12-17

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1069.T.20181214.1152.028.html>

入电流的微小变化会导致输出模式的跳变、激光波长的显著红移以及输出光功率的改变等^[1-4]。半导体激光器多采用恒流驱动模式工作,电流长期稳定度通常作为衡量恒流电源的性能指标^[5-6],希望其越小越好。在原子物理、非线性光学等领域,单频、窄线宽、波长可调谐的外腔半导体激光器产品^[7-9]使用较为广泛,外腔半导体激光器是在激光二极管的尾纤部分做腔镜形成外腔。目前,优立光太、瓦科光电的外腔半导体激光器以稳定可靠、调谐范围大、性价比高等特点优于国内其他同类产品。Thorlabs 公司的 LDC202C 型激光二极管电流控制器输出 0~±200 mA 可调,其精度为 0.05 mA,24 h 稳定度小于 3 μA,但这种高端半导体激光器电源相当昂贵。半导体激光器是结型器件,电源电路中的瞬态电流尖峰、超出允许的驱动电流等会影响激光二极管的使用寿命^[10-11]。因此,对半导体激光器恒流驱动电源的研究持续不断^[12-13]。

本文在常温条件下,考虑了对半导体激光器的各种安全防护,利用常用电子元件制作了一种具有高精度、输出范围可调的高稳定性半导体激光器恒流驱动电源,该电源输出电流的长期稳定度高,可用于外腔半导体激光器驱动,具有较高的实用价值。

1 恒流驱动电源系统

本文研制的半导体激光器恒流驱动电源主要由场效应管和运算放大器组成的恒流控制电路、过流保护电路、电源慢启动电路、基准电压电路以及启停控制电路等构成,系统组成框图如图 1 所示。

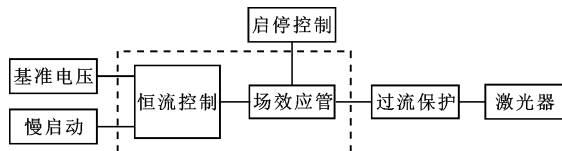


图 1 半导体激光器驱动电源系统框图

图 1 中,场效应管及运放组成的恒流控制电路为该电源系统的核心部分,提供稳定可调谐的恒定电流输出。基准电压电路为恒流控制电路提供非常精准的调谐电压,保证输出电流精度更高。过流保护电路使半导体激光器的工作电流不超过用户设定的电流值。为防止开机瞬间的浪涌信号对半导体激光器的损坏,系统中设置了电源慢启动电路。启停控制电路可根据用户需要在不影响系统其他部分工作的情况下,只对激光管进行必要的快速断电保护。

1.1 恒流控制电路

恒流控制电路是驱动电源系统的核心,由运放

和场效应管等组成,原理如图 2 所示,图中 U_1 为运算放大器, V_{DD} 为供电电源, V_r 为输入调谐电压, R_5 为限流电阻, R_0 为电流采样电阻,流过采样电阻 R_0 的电流即驱动半导体激光管 R_{LD} 工作的输出电流为 I_0 。场效应管 M1 采用源极输出,实现了半导体激光器安全接地,对半导体激光器进行有效保护。正常工作时,控制信号 K 为高电平,三极管 Q1 截止,当 K 为低电平时,Q1 导通拉低 M1 栅极电压导致电路无电流输出。

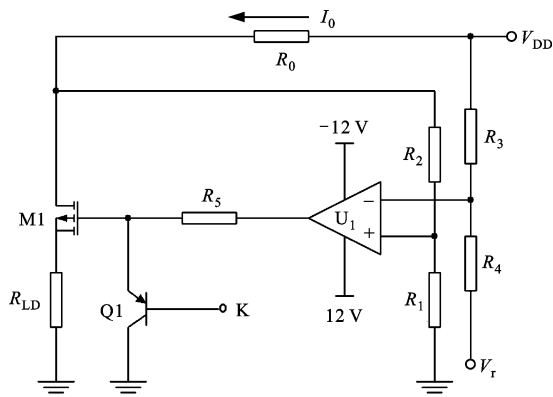


图 2 恒流控制电路原理

由图 2 可知:若 V_{DD} 、 V_r 稳定,而 I_0 突然增大时,则 R_0 压降增大,这会导致 M1 漏极电位下降,而使 U_1 同相输入端与反相输入端之间的电位差减小,运放输出电压即 M1 栅极电压减小致使 I_0 减小;当流过电阻 R_0 的电流突然减小时,运放同相输入端与反相输入端之间的电位差增加,场效应管漏极电流增加 I_0 增大。这表明恒流控制电路具有输出电流的自我调节功能,对该电路进行分析,得到流过 R_0 的电流

$$I_0 = \left(V_{DD} - \frac{R_4 R_2 + R_1}{R_1 R_3 + R_4} V_{DD} - \frac{R_3 R_2 + R_1}{R_1 R_3 + R_4} V_r \right) / R_0$$

当 $V_{DD} - \frac{R_4 R_2 + R_1}{R_1 R_3 + R_4} V_{DD} = 0$ 时,抑制了 V_{DD} 对 I_0 的影响。本文取 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$,则 $I_0 = -V_r / R_0$,即 I_0 的大小和稳定性仅与 V_r 和 R_0 的比值有关, R_0 一般为固定值,若 V_r 精度高、稳定可调,则输出的可调谐电流具有高精度和高稳定性。

本文电路中, U_1 选择了高稳定度、低噪声失调电压、小温漂的高速精密运放 OPA227,M1 为漏极电流可达 30 A 的增强绝缘栅型场效应管 IRF540N, R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 均为精度 0.1% 的 10 kΩ 低温漂电阻。 R_0 选择了功耗为 3 W、电阻为 10 Ω、精度为 0.1% 的低温漂无感采样电阻。 V_r 调节范围为 -2~0 V。

1.2 高精度电压基准源

由恒流控制电路分析可知,要获得高精度、低纹波的输出电流,输入电压 V_r 的精度和稳定性非常重要,故本文选用高精度、高稳定性的精密带隙基准电压源芯片 ADR01,以其输出的 10 V 电压作为基准电压参考,进而获得 V_r ,电路原理如图 3 所示。

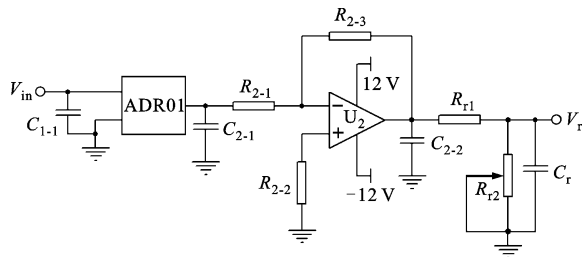


图3 高精度电压基准源电路

图3中,由 ADR01 输出的 10 V 基准电压经反向和分压处理得到稳定可调的 V_r ,基准电压经过反向器及分压调节电路后稳定性有所减小,故图中电阻均采用低噪声和低温漂电阻,并在反向器的输入端、输出端及电阻分压时分别增加了滤波电容。取 $R_{2-1}=R_{2-3}$, $R_{r1}=100\text{ k}\Omega$, $R_{r2}=50\text{ k}\Omega$,根据图中关系可知, $V_r = -10R_{r2}/(R_{r1} + R_{r2})$ 为 $-2\sim 0\text{ V}$ 的高精度电压。

1.3 保护电路

半导体激光管是一种易损坏的电子器件,核心为 PN 结,对其施加的反向电压超出允许值会发生击穿或损坏,流过的正向电流超过允许最大电流值时,重则烧坏,轻则影响其不能正常使用。为避免外界浪涌电流或高压静电等对激光器产生不可逆转的损坏,本文设置了过流保护电路、电源慢启动电路以及启停控制电路。

1.3.1 过流保护电路 本文设计的过流保护电路如图4所示,主要通过对电磁继电器的控制,实现当半导体激光器的电流超过设定值时进行分流,使激光器电流恒定。图中半导体激光器 R_{LD} 正常工作时,采样电阻 R_0 的电压被运放 U_3 及其周围元件放大处理,若放大后的电压值小于设定电压 V_{set} ,比较器 U_6 后的三极管 Q_2 截止继电器 J 处于常态,开关管 M_2 关闭, R_{LD} 正常工作。当其他因素导致流过 R_{LD} 的电流增加过多致 R_0 采样电压放大后高于设定电压时, Q_2 导通致继电器 J 吸合将 M_2 连接到设定端并快速开启,因 M_2 与 R_{LD} 并联,对输入激光器的电流进行分流。利用场效应管栅源电压控制漏极电流的特性控制分流的大小,即根据采样值与设定值之间的差异自动调节,使流过 R_{LD} 的电流保持恒

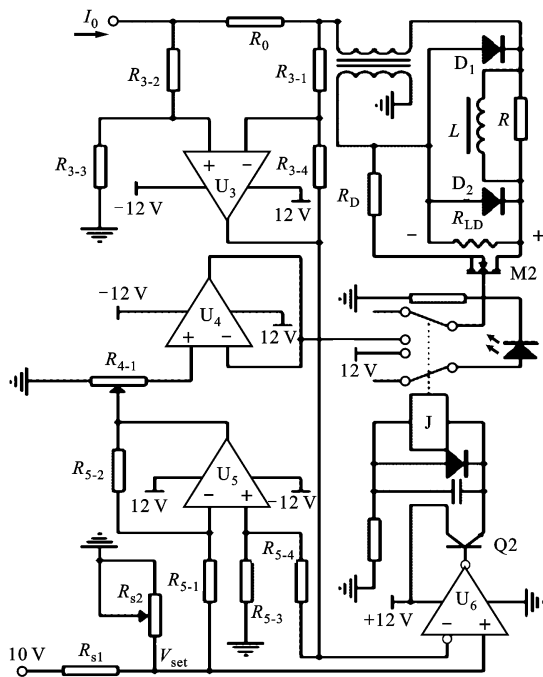


图4 过流保护电路原理图

定,达到对 R_{LD} 过流保护的目的,流过 R_{LD} 的电流最大范围由设定端的电阻比例决定。

本文用偏置电流和失调电流都很小的高灵敏比较器 LM211 实现比较器 U_6 及三极管 Q_2 的功能, M_2 选择开启电压很低的场效应管 BSS88,用双运放精密运算放大器 TLC082 代替 U_4 、 U_5 对电路进行简化, R_{LD} 周围的二极管和电感元件可预防电源扰动,提高激光管使用寿命。

1.3.2 电源慢启动 电源开启瞬间,因大量电容的存在会在电路中产生较大的浪涌电流,严重影响半导体激光器的安全,本文选用基于比较器 LM317 的电源慢启动电路,使供电电压平滑上升进而抑制浪涌信号的影响。慢启动电路原理如图5所示。

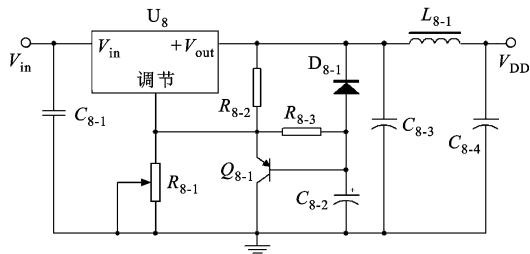


图5 电源慢启动电路原理图

图5中电容 C_{8-2} 电压不能突变,电路开启时三极管 Q_{8-1} 饱和导通,电阻 R_{8-1} 近似短路, U_8 输出电压最低。随着 C_{8-2} 电压缓慢上升, Q_{8-1} 逐渐退出饱和区, R_{8-1} 电压逐渐增大,输出电压 V_{DD} 缓慢升高,直至

的开关管开始工作并起到分流作用,使流过激光器的电流基本保持恒定,激光器不会出现电流过大的情况,达到保护半导体激光器的目的。

3 结 论

本文研制了一款高精度、高稳定度的半导体激光器恒流驱动电源,利用场效应管和运算放大器组成的恒流源电路消除了供电电源对输出的影响,提高了驱动电流的稳定性;采用高稳定基准电源,增强了动电流的精度;通过电源慢启动、激光器限流保护以及启停控制电路,实现了对激光器的可靠保护。多次长时间重复测试表明,该电路很好地实现了平稳启动,输出电流为0~200 mA可调,精度为0.01 mA,稳定度约为0.004%,电源系统具有结构简单、稳定度高、保护电路可靠、成本低、易实现的特点。

参考文献:

- [1] 刘景旺,杜振辉.DFB激光二极管电流-温度调谐特性的解析模型[J].物理学报,2011,60(7):074213.
LIU Jingwang, DU Zhenhui. Analytical model for the tuning characteristics of static, dynamic, and transient behaviors in temperature and injection current of DFB laser diodes [J]. Acta Physica Sinica, 2011, 60(7): 074213.
- [2] 谢建平,王沛.半导体激光器的波长调谐和波长稳定技术[J].量子电子学报,2002,19(2):97-103.
XIE Jianping, WANG Pei. Wavelength tuning and stabilizing techniques of semiconductor lasers [J]. Chinese Journal of Quantum Electronics, 2002, 19(2): 97-103.
- [3] 刘艳,汪磊石.波长可调谐取样光纤光栅激光器的输出特性研究[J].物理学报,2011,60(2):024207.
LIU Yan, WANG Leishi. Output characteristics of wavelength tunable fiber lasers based on sampled Bragg gratings [J]. Acta Physica Sinica, 2011, 60(2): 024207.
- [4] 李成仁,宋昌烈,李淑凤,等.半导体激光器输出波长随工作电流变化的实验研究[J].红外与激光工程,2003,32(2):144-147.
LI Chengren, SONG Changlie, LI Shufeng, et al. Experimental investigation of the change of semiconductor laser output wavelength corresponding to operation current [J]. Infrared and Laser Engineering, 2003, 32(2): 144-147.

- [5] 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,1999:255-263.
- [6] 倪本来.高稳定度电源[M].北京:人民邮电出版社,1982:7-8.
- [7] 王均均.相干光纤通信对半导体激光器光谱特性的要求[J].光通信研究,1985,4:25-35.
- [8] 邓忠文,刘志刚,陶龙,等.新型可调谐外腔半导体激光器光频扫描干涉测距方法[J].西安交通大学学报,2013,47(5):104-109.
DENG Zhongwen, LIU Zhigang, TAO Long, et al. Novel frequency scanned interferometry absolute distance measurement by tunable external-cavity diode laser [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2013, 47(5): 104-109.
- [9] 步明繁,刘志刚,张为波,等.采用F-P光纤腔的外腔半导体激光器锁相稳频方法[J].西安交通大学学报,2016,50(10):125-131.
BU Mingfan, LIU Zhigang, ZHANG Weibo, et al. Method of phase locking frequency stabilization for diode lasers by F-P cavity [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2016, 50(10): 125-131.
- [10] 杨春莉,贾宏志,夏桂珍.半导体激光器电源防浪涌电路的设计[J].应用激光,2008,28(4):310-313.
YANG Chunli, JIA Hongzhi, XIA Guizhen. Design for the circuit to eliminate surge of the laser diode power supply [J]. Applied Laser, 2008, 28(4): 310-313.
- [11] 王金定,刘宏林,王云才.新型的半导体激光器保护电路[J].应用激光,2006,26(2):119-122.
WANG Jinding, LIU Honglin, WANG Yuncai. Novel protective circuits of diode laser [J]. Applied Laser, 2006, 26(2): 119-122.
- [12] 罗亮,胡佳成.高精度半导体激光器驱动电源及温控电路设计[J].激光技术,2017,41(2):200-204.
LUO Liang, HU Jiacheng. Design of high-precision driving power and temperature control circuit for semiconductor laser [J]. Laser Technology, 2017, 41(2): 200-204.
- [13] 蒋荣秋,邓伟芬,汪倩倩,等.用于红外气体检测的高稳定性DFB激光器驱动电源[J].红外与激光工程,2018,47(5):0505004.
JIANG Rongqiu, DENG Weifen, WANG Qianqian, et al. High stability DFB laser driving power supply utilized in infrared gas detection [J]. Infrared and Laser Engineering, 2018, 47(5): 0505004.

(编辑 赵炜)