

文章编号: 1000-5013(2009)06-0619-04

半导体激光器稳恒功率控制系统的设计

陈 军, 张认成, 丘华兰, 董英萍

(华侨大学 机电及自动化学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 设计一种半导体激光器的稳恒功率控制系统. 该系统以3个高精度放大器 OPA114, OPA602 和 OPA335 为核心, 采用滤波和慢启动电路, 具有集成度高、元件少、性能稳定等优点; 采用光功率负反馈控制, 能为半导体激光器提供高稳定的、连续可调的驱动电流. 实验结果表明, 在该系统的驱动下, 半导体激光器连续工作 5 h, 光功率稳定度可达 0.048%, 比开环时的稳定度提高了近 5.5 倍, 达到设计要求.

关键词: 半导体激光器; 稳恒功率; 驱动电源; 稳定度

中图分类号: TN 365

文献标识码: A

半导体激光器和其他激光器相比, 不仅具有高单色性、高亮度、高方向性的特性, 而且具有体积小、重量轻、低电流驱动、高效率输出、调制方便、寿命长和易于集成等优点, 因此, 被广泛的应用于光纤通讯、集成光学、激光印刷、激光束扫描、科研、医疗、军事和测量仪器等技术领域. 半导体激光器对供电电流有着特殊的要求, 在公用电网、外界电源、日光灯的启停等干扰的情况下, 给半导体激光器提供稳定的供电电流才能使其输出稳恒的光功率. 目前, 国内有很多学者对激光器光源的稳定性作了一些研究, 设计了一些稳定的电流源, 能达到一定的稳定精度. 本文针对半导体激光器的特性, 设计了一种具有保护功能的、电流连续可调的稳恒电流源.

1 半导体激光器的 P-I 特性

半导体激光器输出光功率 P 随驱动电流 I 的变化关系^[1], 如图 1 所示. 图 1 中, 曲线拐点对应的电流值是半导体激光器的阈值电流 I_{th} . 当注入电流小于阈值电流时, 激光器的增益小于谐振腔的损耗, 无法形成激光振荡, 激光器发出荧光; 当注入电流大于阈值电流时, 产生激光振荡, 激光器发出激光. 在外界条件一定的情况下, 半导体激光器的输出光功率随着激光器注入电流的增加, 在一定范围内呈线性增加. 当注入电流发生改变时, 激光器的输出功率也呈线性改变, 注入电流的微小变化都会导致光功率的变化. 因此, 为了使激光器得到稳定的光功率, 必须设计一个稳恒的电流源.

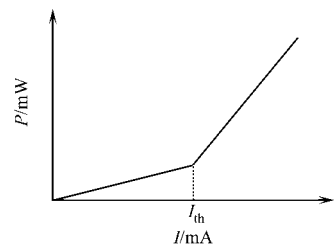


图 1 P-I 特性曲线

Fig. 1 P-I characteristic curve

2 半导体激光器稳恒驱动电源的设计

2.1 供电电源模块

公用电网中存在着干扰, 而且同一电网中的其他用电器, 如日光灯在开启和闭合的瞬间会产生很大的浪涌电流, 这些干扰和浪涌电流会使半导体激光器损坏. 因此, 在电路设计时须在半导体激光器的电源输入端加过电压保护、慢启动和基准电路^[2-4], 以保障半导体激光器能正常稳定地工作. 供电模块原理如图 2 所示.

AC-DC 电源模块把 220 V 交流市电转换成 ± 12 , ± 5 V 直流电压, 供驱动电路使用. 图 3 为 AC-DC

收稿日期: 2008-10-18

通信作者: 张认成(1961-), 男, 教授, 主要从事智能检测与控制的研究. E-mail: phzzrc@hqu.edu.cn.

基金项目: 福建省高新技术研究开发重点项目(2009H0031)

电源转换电路. 图 3 中, 压敏电阻 R_T 加在交流电源的输入端作为过电压保护, 可以有效的防止电网电压出现的浪涌; 电容 C_{01} 和 C_{02} 为滤波电容, 可抑制电路中出现的尖峰干扰, $C_{03} \sim C_{012}$ 电容可以有效的滤除干扰, 抑制稳压器可能出现的自激, 使稳压器输出稳定的电压.

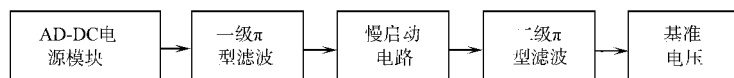


图 2 供电模块原理框图

Fig. 2 Block diagram of power supply

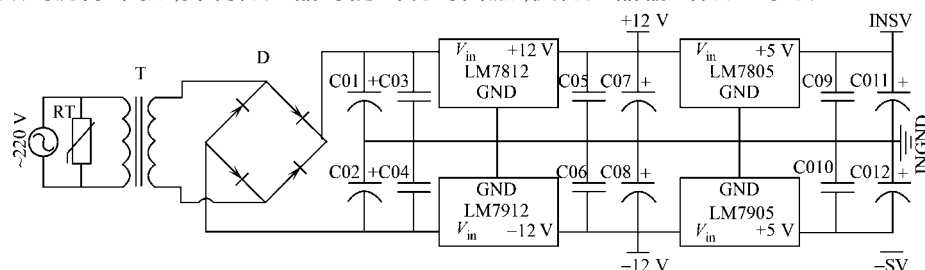


图 3 AC-DC 电源模块

Fig. 3 The power module of AC-DC

供电电源模块中的 π 型 LC 滤波网络, 不但可以减小电路中存在的纹波, 还能进一步消除浪涌对激光器的损害, 如图 4 所示. 由 C_3, C_4, L_1 和 C_8, C_9, L_2 组成两级 π 形滤波网络, 分别设置在慢启动电路的两端, 用于滤除电源纹波和抑制尖峰脉冲.

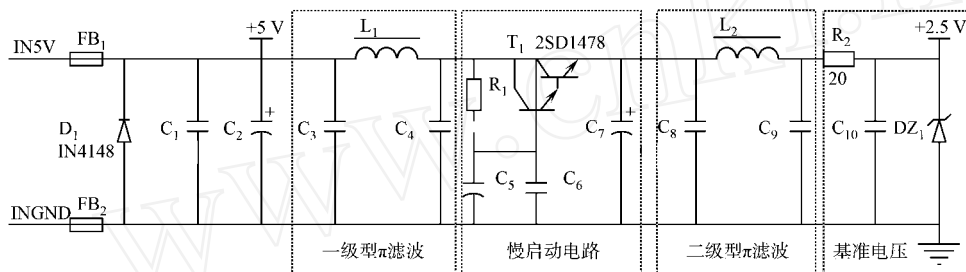


图 4 滤波与慢启动和基准电压电路

Fig. 4 Filter, slow startup and reference voltage circuit

慢启动电路是一个时间延迟网络, 采用双三极管逐级导通的原理来实现. 它不但可以消除电网浪涌对激光器造成的冲击, 还能使系统随意地开关, 而不用担心电流突变对激光器造成损害.

由 AC-DC 电源模块产生的 +5 V 的直流电压, 经一级 π 型滤波电路、慢启动电路和二级 π 型滤波电路后, 由稳压管产生 +2.5 V 的基准电压为半导体激光器提供工作电压. 基准电压的波动直接影响激光器驱动电流的稳定性, 因此, 可以选用的稳压管为低温系数稳压管 LM4040-2.5, 其温漂典型值为 $1.5 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 符合半导体激光器的工作电压需求.

2.2 自动功率控制模块

自动功率控制模块是半导体激光器的一个热功率器件. 在驱动电流一定的情况下, 其输出光功率会随着激光器温度的升高而降低, 降低了激光器输出功率的稳定性. 因此, 设计自动功率控制系统对半导体激光器的输出光功率进行控制^[5]. 自动功率控制是由恒流源、放大电路、LD、前置放大电路和光功率反馈电路构成, 其原理如图 5 所示.

采用的半导体激光器内置光电二极管 PD, 如图 6 所示. PD 用于监测激光二极管背向光功率, 通

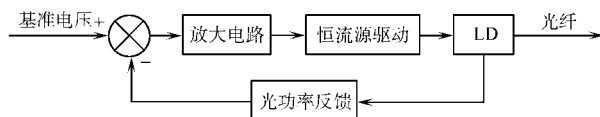


图 5 自动功率控制模块方框图

Fig. 5 Functional diagram of automatic power controller

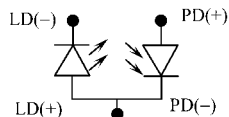


图 6 LD 内部结构图

Fig. 6 The inside structure of LD

过光电转换电路将光信号转化为电压信号 $U_{\text{反馈}}$, 接到 INA114 的差分负向输入端, 实现功率反馈回路.

恒流源是能够向负载提供恒定电流的电源^[6],其主要是由美国 TI 公司的 INA114,OPA602 等器件组成,如图 7 所示. 图 7 中,省略了一些对半导体激光器的保护电路和滤波电路.

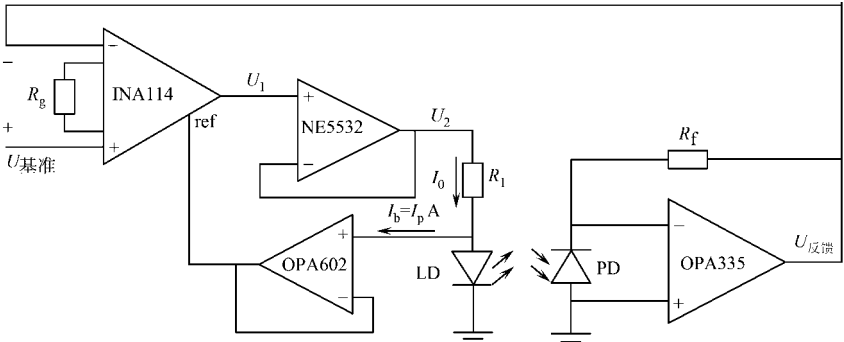


图 7 LD 稳恒电流源驱动电路

Fig. 7 Drive circuit of LD stable current source

INA114 是一款价格低、精度高、宽电源电压供电 ($\pm 2.25 \sim \pm 18 \text{ V}$)、体积小的通用仪表放大器. 差模放大倍数由外接电阻决定,最大可以达到 10 000,内部的输入电压保护可以承受 $\pm 40 \text{ V}$ 的电压. 由于采用激光调阻,INA114 具有低失调电压(最大 $50 \mu\text{V}$)、高共模抑制比(最小 115 dB),以及低温漂(最大 $0.25 \mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$),其静态电流最大为 3 mA,工作温度范围 $-40 \sim +85$.

OPA602 是一个具有高速度、高精度和 FET 输入的精密运算放大器. 它具有 6.5 Hz 的带宽,极低偏置电流 (1 pA) 和低偏置电压 ($250 \mu\text{V}$),转换速率高达 $35 \text{ MV} \cdot \text{s}^{-1}$,宽电源电压供电 $\pm 5 \sim \pm 18 \text{ V}$,工作温度范围 $-25 \sim +85$. OPA335 是一种单电源 ($2.7 \sim 5.5 \text{ V}$) 供电的低噪声和低漂移运算放大器,输入偏置电流、失调电流和失调电压很小,差模输入阻抗非常高. 其主要性能参数:输入偏置电流 I_b 为 70 pA,输入失调电流 I_0 为 120 pA,输入失调电压 U_0 为 $1 \mu\text{V}$. INA114,OPA602 等芯片的工作电压由 AC-DC 电源模块提供, $U_{\text{基准}}$ 和 $U_{\text{反馈}}$ 电压信号加在 INA114 的差分输入端. 其中, $U_{\text{基准}}$ 是由基准电压提供, $U_{\text{反馈}}$ 是光电转换电路转换的电压信号.

电阻 R_g 用于调节差模放大倍数 G ,有 $G = 1 + 50 \text{ k} / R_g$; INA114 的差分输入电压 $U = U_{\text{基准}} - U_{\text{反馈}}$,输出电压 $U_1 = U \times G$. NE5532 构成一个电压跟随器, $U_2 = U_1$. 由于 OPA602 的偏置电流很低, $I_b = 1 \text{ pA}$. 忽略 I_b ,则流过半导体激光器的电流就等于流过电阻 R_1 的电流 I_0 , $I_0 = U_1 / R = U \times G / R$. 其中, R 为半导体激光器正常工作时负载内阻总和.

当半导体激光器正常稳定工作时,激光器的驱动电流和输出光功率是保持稳定平衡的. 当有某种干扰使激光器的功率增大 P 时,流过光电二极管 PD 的光电流增大 I_0 ,即 $U_{\text{反馈}}$ 增大,有

$$U_{\text{反馈}} = I_0 \times R_f = M_p \times R_f \times P$$

其中, M_p 为 PD 的光电转换效率,从而使 INA114 的差分输入电压 U 减小,产生偏差电压 ($U = U_{\text{基准}} - U_{\text{反馈}}$). OPA602 输入端的电流可以忽略不计,则流过半导体激光器的驱动电流降低,有

$$I_0 = U \times G / R = M_p \times R_f \times P \times G / R$$

这降低了半导体激光器的功率,使 LD 的驱动电流和光功率再次达到平衡;相应的,如果激光器的光功率减小 P 时,流过光电二极管 PD 的光电流减小, $U_{\text{反馈}}$ 减小. 即使得 INA114 的差分输入电压 U 增大,流过半导体激光器的驱动电流升高,从而增大半导体激光器的功率,使 LD 的驱动电流和光功率达到平衡,实现自动功率控制.

3 实验和结论

在室内温度为 $20 \sim 21$ 范围内,对波长为 1 310 nm 的半导体激光器进行实验,测量其出纤光功率和驱动电流. 将光纤通过 FC/FC 光纤适配器直接与带有尾纤的 PIN 探测器连接,DAQ 卡采集光功率,测量采样电阻两端电压来计算驱动电流,而采样电压通过 DAQ 卡采集.

待半导体激光器预热稳定工作后,对采样电压和光功率进行测量,并计算驱动电流和光功率,如图 8,9 所示. 从图 8,9 中可以看出,闭环时驱动电流在 0.1 mA 内波动,而开环时驱动电流在 0.6 mA 内波

动;同样,闭环时的出纤光功率在 2.5 W 内波动,开环时出纤光功率在 15 W 内波动.由此可见,无论是驱动电流,还是出纤光功率,采用闭环控制时的波动都比开环时的波动小很多.

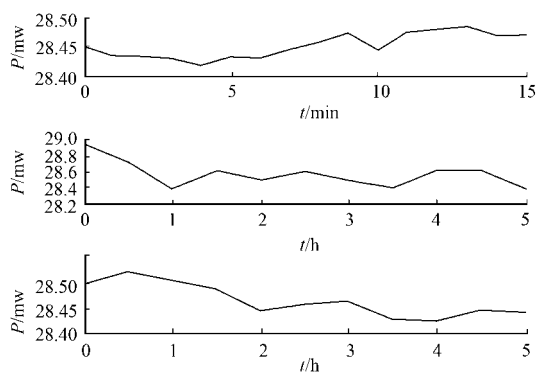


图 8 LD 电流曲线图

Fig. 8 The current curve of LD

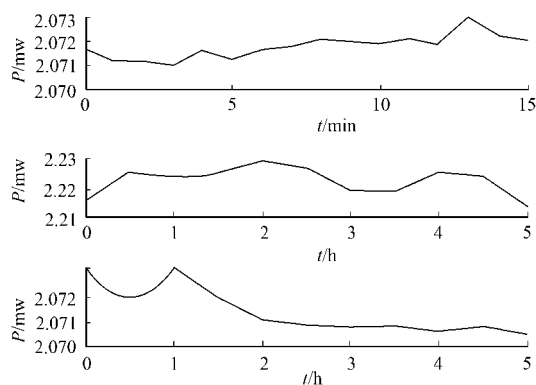


图 9 LD 稳定性曲线图

Fig. 9 The stability curve of LD

根据激光光源功率稳定度的定义公式,可以计算出闭环短期稳定度为 0.030%,开环长期稳定度为 0.264%,闭环长期稳定度为 0.048%.

所设计的稳恒电流源主要由 3 个高精度的放大器组成,具有集成度高、元件少、性能稳定等优点.采用光功率反馈控制,能为半导体激光器提高稳定、连续可调的驱动电流.闭环控制时输出光功率的长期稳定度能达到 0.048%,比开环时的稳定度提高了近 5.5 倍,有很好的稳定效果,达到设计要求.

参考文献:

- [1] 黄章勇. 光纤通信用光电子器件和组件[M]. 北京:北京邮电学院出版社,2001:46-50.
- [2] 郑耀林,杨洪. 采用多输入 DC/DC 变换器实现对谐波和纹波的抑制[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2004,25(2):169-171.
- [3] 徐志保. 反射式光纤声音传感器的关键技术研究[D]. 泉州:华侨大学,2007.
- [4] 林咏海,毛海涛,张锦龙,等. 一种半导体激光器驱动电源的设计[J]. 激光杂志,2006,27(1):14-17.
- [5] 徐秀芳,胡晓东. 激光二极管的功率稳恒控制技术[J]. 光子学报,2001,30(6):761-764.
- [6] 尉广军,朱宇虹. 几种恒流源电路的设计[J]. 电子与自动化,2000(1):45-46.

Design of Power Stability Control System of Semiconductor Laser Diode

CHEN Jun, ZHANG Ren-cheng,
QIU Hua-lan, DONG Ying-ping

(College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: A power stability control system of the semiconductor laser diode is designed. The system takes three precise amplifiers INA114, OPA602 and OPA335 as its core components using a filter and a slow startup circuits, so it has many advantages such as having a high integration level, using fewer elements and having stable performance. Besides, the system can provide highly steady and continuously adjustable driving current for the semiconductor laser diode using a negative feedback control system of light power. The experimental results have shown that under the driving of the system, the light power stability can reach 0.048% after the semiconductor laser diode has worked for 5 hours, which is nearly 5.5 times higher than that in an open-loop system, hence the design meets the requirement.

Keywords: semiconductor laser diode; power stability; power supply; stability

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 郑亚青)