

文章编号: 1001-3806(2006)06-0650-03

半导体激光器高精度稳频输出控制系统

袁军国¹, 詹春², 李小国¹, 刘德明^{2*}, 于敦录¹

(1. 华中科技大学 光电子工程系, 武汉 430074; 2. 江西科技师范学院 应用物理系, 南昌 330046)

摘要: 为了在光纤干涉仪中得到光源高精度稳频输出, 采用高稳定度的恒温控制以及功率稳恒控制方法, 通过高信噪比的运算放大器、半导体制冷器, 设计了一种激光电源驱动系统, 并进行了理论分析和实验验证。其能为半导体激光器提供温度控制精度在 ± 0.01 , 制冷驱动电流可达 800mA, 同时使得半导体激光器输出波长控制精度在 $\pm 0.1\text{nm}$, 驱动电流最大输出可达 180mA, 输出电流的稳定度为 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 。结果表明, 该系统不仅结构简单, 而且温度控制稳定、准确度高, 可使半导体激光器的输出波长保持稳定, 保证了干涉型光纤传感器的测量准确度以及在通信领域中的应用。

关键词: 激光器; 温度控制; 恒流源; PD 控制器; 半导体制冷器

中图分类号: TN248.4 **文献标识码:** A

Accurate controlling system for the output and frequency of laser diodes

YUAN Jun-guo¹, ZHAN Chun², LI Xiao-guo¹, LIU De-ming², YU Dun-lu¹

(1. Department of Opto-electronics Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. Department of Communication and Electron, Jiangxi Science & Technology Normal University, Nanchang 330046, China)

Abstract: The change of the output power and the frequency of the light source of an optical fiber interferometer seriously affects the output of the interferometer. In order to get high output accuracy and stability from the optical fiber interferometer, the operation amplifier with high S/N, and a semiconductor cooler were used. A laser power driving system was designed. Through theoretical and experimental analysis, it was proved to provide laser diode (LD) with high stability and high temperature controlling precision of ± 0.01 . The cooling driving current could reach 800mA. At the same time, it provides current control with high stability and constant control over output power, which assures the precision of the controlled wavelength to be $\pm 0.1\text{nm}$. The maximum LD driving current reaches 180mA, and the output current stability could be kept among $10^{-4} \sim 10^{-5}$. The experimental data indicate the method is not only simple, but also highly accurate and stable in terms of temperature control. The application maintains the output wavelength of the laser diode at a constant level and assures the measure accuracy in optical fiber interferometer sensors (OFIS) and optical communication.

Key words: lasers; temperature control; constant current source; proportional-integral-differential (PD) processor; thermal electronic cooler (TEC)

引 言

随着光纤通信向着小型化、集成化发展, 掺铒光纤放大器的应用越来越广泛, 要求半导体激光器 LD 在特定的波长 (980nm, 1480nm) 下稳定工作^[1]。另外, 光纤干涉仪中光源的输出功率和频率的变化, 也将严重影响干涉仪的测量结果^[2]。但是, LD 的输出波长随注入电流的增加而增加, 对于多数 LD 来说, 如分布式反馈激光器 (DFB) 和 980 泵管, 波长随电流变化的典型值为 $0.025\text{nm}/\text{mA}$ ^[3,4]。另外, 工作物质中产生的热能对激光器输出影响也很大, LD 的输出波长与温度有着很大的关系。当 LD 内部温度增加时, 输出波长也

随之增加, 波长随温度变化的典型值为 $0.3\text{nm}/^\circ\text{C} \sim 0.4\text{nm}/^\circ\text{C}$ ^[5,6]。很显然, 要想得到 LD 高效稳频、低噪声的输出, 则必须对 LD 的驱动电流和温度进行高精度的控制。

半导体制冷器 (thermal electronic cooler, TEC) 是利用半导体材料的珀耳帖效应制成的微型致冷器, 若给它通以负电流, 其工作表面即为负温, 致冷; 反之, 加热^[7]。与传统的温度元件 (如电阻丝) 相比, 它具有使用方便、响应速度快、控制效果佳、可方便进行加热/致冷转换等优点^[8]。

作者研制的由比例积分放大 (proportional-integral-differential, PD) 电路实现的高精度电致冷温度控制仪, 它不仅适用于控制半导体激光器自身发热器件的温度控制, 而且用于控制无热源器件的温度, 其温度范围可扩大到 $-20 \sim 40$, 控温精度高于 ± 0.01 , 最大电致冷功率大于 10W。

作者简介: 袁军国 (1972-), 男, 博士研究生, 主要从事光纤传感器以及光纤干涉仪方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: dmliu@mail.hust.edu.cn

收稿日期: 2005-10-24; 收到修改稿日期: 2006-01-13

1 对恒流源电路的设计

目前,凡是高精密的恒流源,大多使用集成运算放大器^[9]。作者采用低漂移低噪声型集成运算放大器

的漂移仅仅为 $2\mu\text{V}/$,其噪声电压为 8nV 。采用这种运放的恒流源,其漂移和噪声指标可以大大改善。

恒流源的驱动电路如图 1 所示。为了更好地保护 LD,减小外界静电对 LD 的损伤,LD 的正相端与外壳

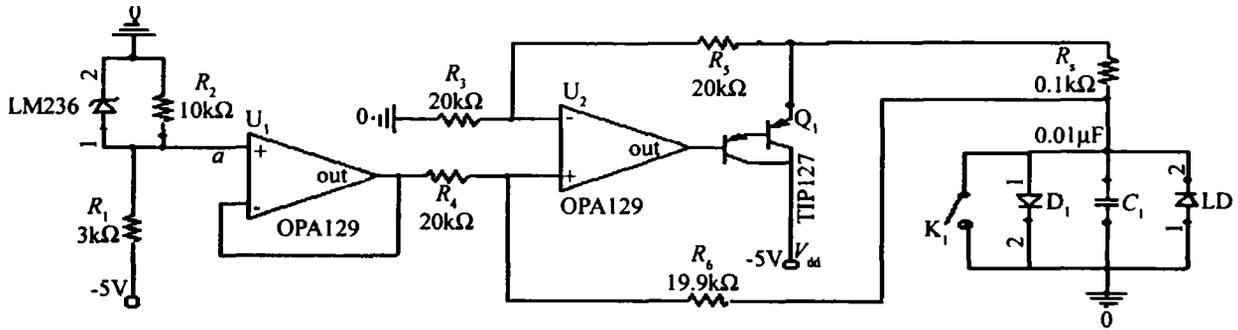


Fig 1 The circuit of constant current source

相连接地,所以在设计该电路中,使用负电源供电,采样电阻浮置而负载接地。因为 R_s 浮置,故需要两个反馈电阻 R_5 和 R_6 。 R_5 用于电流采样,而 R_6 接至 R_5 的另外一段用以提供基准电压,若不用 R_6 ,则 R_5 和负载内阻均成为采样电阻, I_0 就要与负载电阻有关,不能成为恒流源。前级运放 U_1 接成跟随器是为了将驱动源的源电阻减小到忽略不计。设 $R_3 = R_4$, $R_5 = R_6 + R_s$, 则负载上面的电流为: $I_0 = R_5 U_a / R_3 R_s$, 其中 U_a 为图 1 所示中 a 点电压。

负载 R_1 的最大值为:

$$R_{1,max} = V_{dd} / I_0 - R_s \quad (1)$$

采样电阻阻值为:

$$R_s = (I_0 U_{dd} - P_{l,max}) / I_0^2 \quad (2)$$

式中, $P_{l,max}$ 为 TIP127 的最大允许功耗。其余电阻值为: $R_5 = 100R_s$; $R_6 = R_5 - R_s$; $R_3 = R_4 = \frac{R_5 U_a}{V_{dd} - U_a}$ 。

取 V_{dd} 为 -5V 电压, 取样电阻 $R_s = 100\Omega$, 输出电流为 25mA , LD 的输出功率为 1.7mW , 用 8 位数字万用表测得, 输出电流的稳定度为 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 。减小取样电阻 R_s 就可以获得大电流的输出, 由于受到集成运放的最大输出电流的限制, 所以加入达林顿管 TIP127 对激光器的驱动电流加以放大。本电路在 a 点提供 -3.6V 输入, 取样电阻 $R_s = 20\Omega$ 时, 输出电流最大值为 180mA , 系统还能够稳定工作, 输出电流的稳定度也在 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 之间。

另外, 电路中二极管 D_1 是为了更好地保护 LD, 防止 LD 被反相电压击穿, 同时为电容 C_1 放电。

2 温度控制电路的设计

恒温控制系统的基本原理: 整个反馈控制通过热敏电阻将 LD 的温度反馈到输入端, 经过差动放大和缓冲隔离后送入 PD 控制器, 通过控温执行元件实现

温度控制^[10-12]。测温部分采用热敏电阻作为温度传感器, 将实际温度与设置温度值相减, 差值送 PD 控制器驱动温控执行部分。用 TEC 作为制冷器件, TEC 用乙类双电源互补对称功率放大电路驱动。数码显示部分用于显示设置温度和实时监视 LD 温度。下面将分几部分来逐一说明其工作原理以及设计结果。

2.1 温度/电压转换电路

由于设计的温控装置用于激光器的稳频, 设计温控精度要求达到 ± 0.01 , 因此, 相应的测温分辨率至少应高出一个数量级。实验中采用半导体工艺制成具有高灵敏度、负温度系数的热敏电阻器, 其不仅体积小(可以做到 $2.0\text{mm} \times 2.5\text{mm} \times 1.1\text{mm}$), 而且具有很好的灵敏度和稳定性。在不太宽的温度范围内 (200 以下), 其电阻与温度的关系可以表示为:

$$R = R_0 [1 - (\alpha - \alpha_0)] \quad (3)$$

式中, R 为实测温度 t 时的电阻值; α_0 为选定温度, 一般为 0°C ; R_0 为 α_0 时的电阻值; α 为温度系数。测温电路如图 2 所示, 电阻 R_1, R_2, R_3, R_4 构成桥式电路放大采样。

电桥采样电压经过差分放大后 c 点电压 V_c 与温度可以达到线性化。

2.2 比例积分电路

如图 2 所示, U_5, U_6 及其附属电路组成的一个 PD 调节器。PD 调节器实际上就是一个比例、积分、微分电路。 R_{16}, R_{17}, R_{18} 与 U_5 组成一比例放大系统, R_{19}, R_{20}, C_1 及 U_6 组成积分系统, PD 调节器实际上就是一个对高频进行抑制的电路系统, 它极大地改善了信号的信噪比, 是实现高精度控制的重要保证之一。

对差值进行比例放大, 可以增强控制作用, 减小系统的稳定误差, 提高系统的响应速度。电路的放大倍数为: $A = R_{18} / R_{16}$ 。

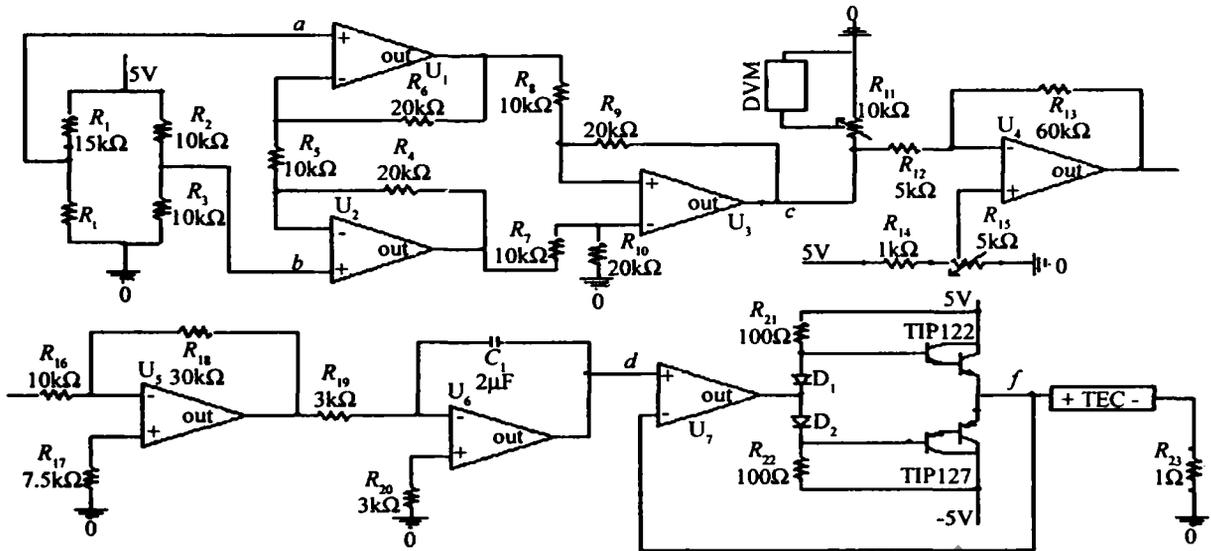


Fig 2 The circuit of temperature control

在比例放大调节的基础上加积分控制可以消除系统的稳态误差。微分的控制作用与偏差的变化速度有关,微分控制能够预测偏差,产生超前的校正作用。微分作用的不足之处是放大了噪声信号。由于温度的变化不可能很快,它总是要经过一段时间才能改变,所以控制电路中不需要微分控制。

2.3 功率放大电路

由于半导体制冷器的电流较大,不能直接由运算放大器驱动,如图 2 所示。U₇, TIP122, TIP127, R₂₁, R₂₂ 构成双电源互补对称功率放大电路。功放电路主要考虑电路的交越失真,失真越小,对温度控制的精度和稳定度越好。为了减小交越失真,设计了偏置电路,需要注意的是,对于不同的三极管,其基极与发射极之间的门坎电压不同。静态时,在 D₁, D₂ 上产生的压降为 TIP122, TIP127 提供了一个适当的偏压,使之处于微导通状态。此时, I_{C122} = I_{C127}, I_{TEC} = 0, V_f = 0。有信号时候,即使 d 点输入电压 v_d 很小,也可以进行线性放大。

3 试验结果

利用上述系统,实现了 LD 的高精度控制。通过对 LD 温度的实时监控,其温度变化如图 3 所示(设定激光器的工作温度在 20),在开机 6min 后,系统进

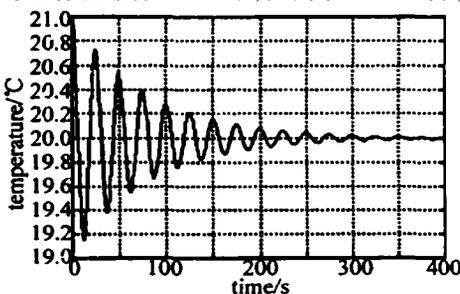


Fig 3 The curve of temperature vs time

入稳定状态,温度波动小于 0.05,系统工作 20min 以后,可以达到 0.01 的控制精度。用光谱仪监测 LD 的输出光波长的变化小于 0.1nm,如图 4 所示。该

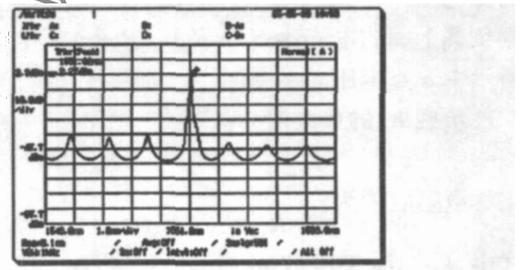


Fig 4 The output spectrum of LD

系统给 LD 提供的驱动电流最大可以到 180mA,输出光功率可以达到几百毫瓦,驱动电流的波动小于 10⁻⁵,输出光功率波动小于 10⁻³,制冷电流最大可以达到 800mA,在 -20 到 70 的环境中,可以正常连续工作。实验结果表明系统的设计是正确的。该系统不仅可以满足测量领域内 LD 的应用要求,而且成本不高,完全可以达到 MAX1978 与 ADN2830 的工作状态。

4 结论

该系统可使半导体激光器在波长 1550nm 下稳定工作,作为干涉仪测量系统的光源,半导体激光器的输出频率保持稳定,状态良好。保证了干涉型光纤传感器的测量准确度。并且可以满足小型化、集成化光纤通信领域的应用。

参考文献

[1] SHI Zh W, ZHU Y, CHENG Y T. Temperature testing in temperature control system for laser diode [J]. Optical Technique, 2005, 31 (9): 168 ~ 170 (in Chinese).

(下转第 663 页)

2.2 串联源部分部分短路试验

假设 T_1 , T_2 任一损坏,则相当于给另一管子附加了一个阶跃电压,模拟该工况的方法是将其中一只管子的集电极和发射集进行瞬时短路(相当于假设其中一只管子突然损坏),分别在恒流值为 200mA (见图 5a), 300mA (见图 5b), 400mA (见图 5c)时进行了测试。图 5 中,左图和右图分别对应短路 T_1 和 T_2 。由短路引起的电流增大值最大约为 15mA,且随着恒流值的降低而减小,图中下降沿时间约为 2ms,电流变化幅度和变化时间均足以满足 LD 的安全要求。电流增大主要是由 T_1 和 T_2 两管的放大倍数和工作点略有差异引起的。

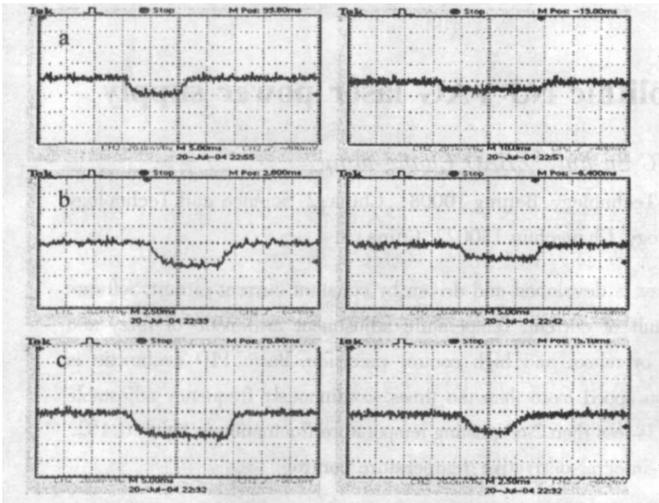


Fig 5 The voltage's change caused by triode instant short circuit under the different conditions of constant current
a—200mA b—300mA c—400mA

2.3 实验结果

实验表明:任意短路 T_1 或 T_2 流过负载上的电流皆不变。用这种原理做成的激光器驱动源既省去了高难度的高速保护电路,又保证了安全运行。

3 结论

用同步可调恒流管串联式电路制作的激光器恒流

源比现行技术的半导体激光器恒流源省去了相应的高速保护电路,且在 LD 整个工作区间上均具有很好的保护性能和极佳的恒流特性。

参考文献

- [1] ZUO H L, WANG L D. The power of semiconductor laser with stabilization current and protective function [J]. Instrumentation Technology, 2001 (6): 44 ~ 45 (in Chinese).
- [2] XIAO H R, ZOU W D, FU Y J. Design of diode laser output power auto-control system [J]. Applied Laser, 2004, 24 (3): 165 ~ 168 (in Chinese).
- [3] LIU R. High-accuracy current and temperature control for laser diode using MCS-51 microcontroller [J]. Laser Technology, 2004, 28 (3): 225 ~ 227 (in Chinese).
- [4] GAO W P, WANG R P. The developing of semiconductor laser power supply and power controlling system for PDT apparatus [J]. Journal of Tianjin Medical University, 1999, 5 (2): 9 ~ 10 (in Chinese).
- [5] WEI S Q, ZHOU W D. The application of 500mW LD in laser therapeutic instrument [J]. Jiangxi Sciences, 2001, 19 (1): 39 ~ 42 (in Chinese).
- [6] SUN M Sh, LU W, XU X P. The damnification and eliminating methods of surge for semiconductor lasers [J]. Laser Journal, 2002, 23 (6): 18 ~ 19 (in Chinese).
- [7] LI CHEN J X, ZHANG Y. Power supply of high-power diode laser [J]. Chinese Journal of Quantum Electronics, 2003, 20 (1): 31 ~ 34 (in Chinese).
- [8] XU W H, YANG M W. Development of multifunctional laser diode driver [J]. Infrared and Laser Engineering, 2004, 33 (5): 465 ~ 468 (in Chinese).
- [9] HE Y F. Constant current source analysis [J]. Journal of Yiyuan Teachers College, 2002, 19 (6): 23 ~ 24 (in Chinese).
- [10] ZOU W D, GAN Y Q. Semi-conductor laser power supply controlled by single-chip microcomputer [J]. Laser Journal, 2002, 23 (4): 70 ~ 71 (in Chinese).
- [11] YU F Sh, PANG D Q, AI X. The design for high power diode laser driver [J]. Applied Laser, 2000, 20 (6): 257 ~ 260 (in Chinese).
- [12] WANG Y Q, GUO Zh H, LU Y M. Protection circuit for a portable RF excited CO₂ laser [J]. Laser Technology, 1995, 19 (5): 306 ~ 308 (in Chinese).
- [13] JIA H Zh, LI Y L, ZHANG P K. Design of diode laser power supply [J]. Applied Laser, 1999, 19 (8): 181 ~ 182 (in Chinese).
- [7] ZHANG Y, ASHE J. Designing a high performance TEC controller [J]. Proc SPIE, 2002, 4913: 177 ~ 183.
- [8] HAN X J, LI Zh J, ZHU Ch H. Temperature control of medical laser-diode appliance [J]. Laser Technology, 1998, 22 (4): 250 ~ 253 (in Chinese).
- [9] CHEN K L, ZHU Sh Sh. Constant current source and application of electronic circle [M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1992. 253 ~ 265 (in Chinese).
- [10] CHEN L, LIU Ch X. Precise constant temperature controller for high power laser diode [J]. Lasers & Infrared, 1999, 29 (4): 249 ~ 252 (in Chinese).
- [11] SENFT D C, PIERROT TET D F. Development of a high speed wavelength agile CO₂ local oscillator for heterodyne DIAL measurements [J]. Proc SPIE, 2002, 4722: 72 ~ 77.
- [12] HIGDON N S, SENFT D C. Development and testing of a long-range airborne CO₂ DIAL chemical detection system [J]. Proc SPIE, 1998, 3433: 181 ~ 183.

(上接第 652 页)

- [2] WANG H W, JIANG X J. The technology and application of optical fiber sensing [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2001. 151 ~ 160 (in Chinese).
- [3] ZHU Zh, CHEN L Y, LI H. Wavelength stabilization scheme for tunable laser diode based on temperature feedback [J]. Laser Technology, 2005, 29 (1): 18 ~ 20 (in Chinese).
- [4] YU F Sh, SHEN X Q. Finite element analysis of laser-diode heat emission and design of PI fuzzy cooling system [J]. Proc SPIE, 2005, 5628: 189 ~ 195.
- [5] LIU R. High-accuracy current and temperature control for laser diode using MCS-51 microcontroller [J]. Laser Technology, 2004, 28 (3): 225 ~ 227 (in Chinese).
- [6] ZHANG N, YU Y L, TIAN X J. Theory and application in constant temperature control of semiconductor laser [J]. Journal of Jilin University (Science Edition), 2002, 40 (7): 284 ~ 287 (in Chinese).