

## 利用位置式数字PID算法提高DFB激光器驱动电源稳定性

战俊彤<sup>1,2</sup>, 付强<sup>1</sup>, 段锦<sup>1</sup>, 张肃<sup>1</sup>, 高铎瑞<sup>1,2</sup>, 姜会林<sup>1,2</sup>

(1. 长春理工大学空间光电技术研究所, 吉林 长春 130022;

2. 长春理工大学光电工程学院, 吉林 长春 130022)

**摘要:** 由于分布反馈式(DFB)激光器输出光功率受其激励电流的影响, 为了保证其稳定的光功率输出, 研制了基于位置式数字PID算法的高稳定性DFB激光器驱动电源。在硬件设计方面, 该驱动电源主要由控制器模块、恒流源模块和保护电路模块组成。采用模拟PI深度负反馈环节有效地提高了驱动电流的稳定性。在软件方面, 采用位置式数字PID算法, 消除了实际驱动电流值与理论值之间的微小差异。利用该驱动电源, 对中心波长为1563.01 nm的DFB激光器做了驱动测试。实验表明, 长期稳定性(>220 h)优于 $4 \times 10^{-5}$ , 中心波长未出现漂移, 为其在红外气体检测中提供了优越性能保障。

**关键词:** 分布反馈式激光器; 驱动电源; 模拟PI深度负反馈; 位置式数字PID算法;

1563.01 nm

中图分类号: TM921.52 文献标志码: A 文章编号: 1007-2276(2015)06-1757-05

## Stability improvement of DFB laser driving power using digital position PID algorithm

Zhan Juntong<sup>1,2</sup>, Fu Qiang<sup>1</sup>, Duan Jin<sup>1</sup>, Zhang Su<sup>1</sup>, Gao Duorui<sup>1,2</sup>, Jiang Huilin<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Space Opto-electronics Technology, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China;

2. School of Optoelectronic Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

**Abstract:** To ensure the stability of output power of Distributed Feedback(DFB) lasers, which was effected by the emitting current, a high stable DFB lasers driver using positional digital PID algorithm was proposed. In terms of hardware design, the aforementioned driver was composed of controller model, constant current model and protection circuit model. The analog Proportion-Integral (PI) deep negative feedback loop was utilized to enhance the stability and precision of driving current effectively. In consider of software design, a positional digital PID algorithm was introduced to eliminate the micro deviation between the real driving current and the theory current value. Using the aforementioned driver, a driving test was performed on a DFB laser with a center wavelength at 1563.01 nm. Experimental results show that long term (more than 100 h) stability is better than  $4 \times 10^{-5}$  and the center wavelength without any shift, which could provide DFBs with excellent performance security for the application of infrared gas detection.

**Key words:** distributed feedback lasers; driver power; analog proportion-integral deep negative feedback; positional digital PID algorithm; 1563.01 nm

收稿日期: 2014-10-08; 修订日期: 2014-11-13

作者简介: 战俊彤(1987-), 女, 博士生, 主要从事光电测控方面的研究。Email: zhanjuntong@126.com

导师简介: 姜会林(1945-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事光电检测、空间激光通信方面的研究。Email: hljiang@cust.edu.cn

## 0 引言

DFB 激光器的谱带范围覆盖大部分红外气体吸收指纹区,使得它在多个领域得到广泛应用<sup>[1]</sup>。通常,DFB 激光器的驱动模式分为以下两种:(1) 恒流驱动模式。在该模式下工作时,DFB 激光器的驱动电流维持不变。(2) 恒光功率驱动模式。在该模式下工作时,DFB 激光器的驱动电路对激光二极管(LD)的平均光功率进行深度闭环负反馈控制。由于 DFB 激光器的激射电流不仅影响了其输出光功率的稳定性,造成其发光波长的波动,而且降低其使用寿命。因此,在近红外气体检测领域中,研制高稳定性 DFB 激光器驱动电源是十分必要的。

目前,在商品化应用方面,许多国外的公司、高等院校及研究所都开展对 DFB 激光器驱动电源的研究工作。例如,美国 Sarnoff、Thorlabs、Power Technology 公司,日本 Oclaro、NTT 等公司,德国 Toptica、Eagleyard、Nanoplus 公司。尽管生产激光器的厂商有很多,但以上驱动电源长期稳定性(>220 h)优于  $1 \times 10^{-4}$ 。国内的 DFB 激光器驱动电源仅仅由中国科学院半导体所能够生产,其长期稳定性(>220 h)仅优于  $7.5 \times 10^{-4}$ ,尚不能够形成商品化,主要用于高校的科学研究及相关军事用途。

考虑到上述产品的稳定性均不高的现状,结合实际项目指标的需求,自主设计并研制了基于位置式数字 PID 算法的高稳定性 DFB 激光器驱动电源。该驱动电源在硬件上采用模拟 PI 深度负反馈环节,同时结合软件位置式数字 PID 算法构成双闭环反馈控制方法,有效地提高了驱动电流的稳定性。实验表明,该驱动电源长期稳定性(>220 h)优于  $4 \times 10^{-5}$ ,具有良好的实用价值。

## 1 驱动电源硬件设计

高稳定 DFB 激光器驱动电源系统主要由控制器模块、恒流源模块和保护电路模块组成。结构框图如图 1 所示。

采用美国 TI 公司的 32 位定点型处理器 TMS320LF28335 作为嵌入式控制器;芯片内部的数模转换器(DAC)产生高速高精度的模拟信号。恒流源模块的驱动原理是根据 MOSFET 的栅极控制电

压  $V_{GS}$  与 MOSFET 的导通电流  $I_D$  之间的关系来调节驱动 DFB 激光器的电流<sup>[2]</sup>。保护电路模块分别对驱动电流进行过载保护,电源电压波动进行瞬态抑制、消除电路的静电干扰。因此,保护电路能够使 DFB 激光器工作于更复杂的电磁环境中,大大延长其使用寿命<sup>[3]</sup>。

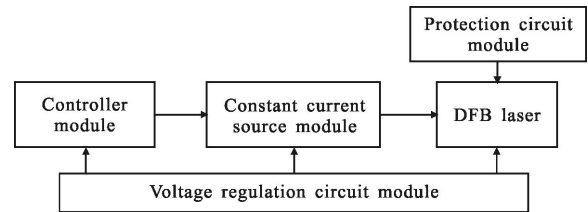


图 1 驱动电源系统组成框图

Fig.1 System block of driver

### 1.1 恒流源模块

恒流源模块是在恒定输入电平下,输出恒定电流,恒定电流大小完全由输入脉冲电压幅值调节,如图 2 所示。

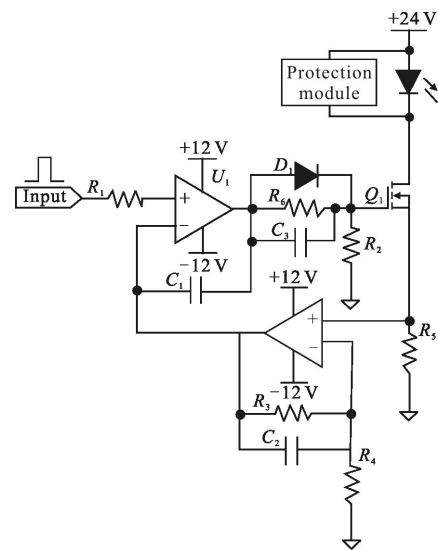


图 2 恒流源模块原理图

Fig.2 Diagram of constant current module

恒流源模块采用模拟 PI 深度线性负反馈原理,通过取样电阻  $R_5$  对流过 DFB 激光器的驱动电流进行采样,将电流信号转变成电压信号。取样电压经过  $U_2$  以及  $C_2$ 、 $R_4$  和  $R_3$  组成的同相放大电路放大处理后接入  $U_1$  的反相输入端, $U_1$  通过电容  $C_1$  完成信号差值的积分,通过改变  $Q_1$  的电压来改变驱动电流幅值<sup>[4-6]</sup>。运放  $U_2$ 、 $C_2$ 、 $R_4$  以及  $R_3$  构成模拟 PI 环节,PI 环节

积分时间  $\tau=C_2R_2$ ,通过增加PI环节积分时间,系统响应时间延长,输出电流精确度大大提高。实际中,根据激光器驱动电流参数需要,对系统的响应速度和信号稳定精确度进行折中处理,最终选择需要的  $C_2、R_4、R_3$  参数来达到激光器驱动的性能指标。

1.2 保护电路模块设计

在延时软启动电路方面,对经典  $\pi$  型网络进行了改进,借助NPN型达林顿晶体管的大电流来间接提高电容的等效容值,使它产生大电容的效果,如图3所示。如果达林顿管的电流放大倍数为  $k$ ,则在基极与地电位之间接入的电容  $C_2$  就等效于在源极与地之间接入了容值为  $(1+k)C_2$  的大电容。此外,该电路还可以实现DFB激光器驱动的慢启动与慢关闭,具体的工作方式为:电源接通瞬间,  $Q_1$  截止,它的初始射极输出电流为零,外部电流通过接在达林顿管基极与集电极之间的电阻给电容  $C_2$  充电,它的基极电位开始缓缓上升,当超过截止电压后,  $Q_1$  的工作状态由截止变为放大,它的发射极电流由初始状态一直变大直至饱和,同时三极管  $Q_2$  基极电位也开始增大,最终  $Q_2$  导通,滤波电路的输出电压等于它的输入电压。当电源断开时,变化过程同理。这样,激光器的开启与关闭都能躲过上电与断电瞬间的电网浪涌冲击,具体的延迟时间与电阻  $R$  的取值有关。

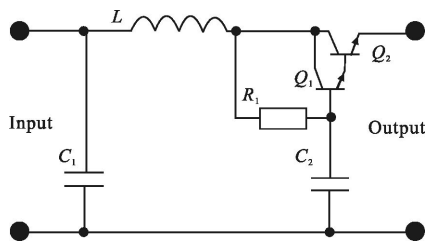


图3 延时软启动电路  
Fig.3 Soft-start circuit

在实际使用过程中,存在大量静电,如果处理不当,静电就会损伤DFB激光器。文中系统在DFB激光器两端并联瞬态抑制器(TVS),构成静电通路,避免静电损坏DFB激光器。

2 驱动电源软件设计

2.1 数字形式的PID算法

数字形式的PID算法是将连续模拟的PID算法在时间上等间隔  $T$  采样,进行数字离散化。相邻两点

采样之和作为积分项,之差作为差分项,数字形式的PID表达式如下:

$$u(k)=Kp \left\{ e(k)+\frac{T}{T_i} \sum_{i=1}^k e(i)+\frac{T_D}{T} [e(k)-e(k-1)] \right\} \quad (1)$$

式中:  $T$  为采样间隔;  $T_i$  为积分项参数;  $T_D$  为微分项参数;  $e(i)$  为系统第  $i$  次采样的偏差值。

2.2 PID Ziegler-Nichols 参数工程整定方法

实际中,对于复杂的系统建立的数学模型跟真实系统存在很大的差异,所以工程中通常采用临界比例带法,即不需要建立目标系统数学模型的前提下,利用经验公式,实现对  $P、I$  和  $D$  三个参数进行整定。整定经验公式如表1所示。

表1 Ziegler-Nichols 法参数整定经验公式

Tab.1 Empirical formula of parameters setting of Ziegler-Nichols method

Parameter regulator	$\delta/\%$	$T_i/\text{min}$	$T_D/\text{min}$
P	$2\delta_{pr}$	-	-
PI	$2.2\delta_{pr}$	$0.85T_{pr}$	-
PID	$1.67\delta_{pr}$	$0.5T_{pr}$	$0.125T_{pr}$

临界比例带法具体实现过程如下:

- (1) 初始化系统,使积分项和差分项为零,只存在比例环节。
- (2) 调节比例系数  $P$ ,待系统输出响应等幅震荡。此时,比例系数  $P$  记为即临界比例带  $\delta_{pr}$ ,震荡周期记为  $T_{pr}$ ,如图4所示。

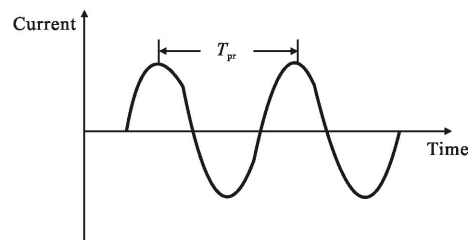


图4 Ziegler-Nichols 法示意图

Fig.4 Diagram of Ziegler-Nichols method

- (3) 利用表1中所示的经验公式,计算各个参数。

2.3 驱动电源软件设计

在DFB激光器的驱动实验中,系统采用位置式数字PID算法,消除了实际驱动电流值与理论值之间的微小差异,其软件流程图如图5所示。

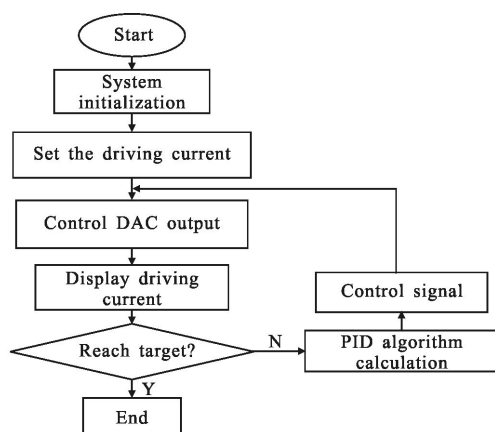


图 5 系统软件流程图

Fig.5 Software flow chart of system

在 DFB 激光器驱动电源上电之后,核心控制器 TMS320LF28335 首先完成系统各组成模块的初始化工作,设置驱动电流,并完成对 DAC 输出电压的控制,驱动恒流源模块。同时,系统实时显示并监测驱动电流,一旦没有达到预设电流值,系统将采用位移式数字 PID 算法,对误差电流信号进行计算,输出控制信号,改变 DAC 输出电压,进而调节驱动电流的大小,最终使驱动 DFB 激光器的电流稳定在预设值。

### 3 DFB 激光器驱动实验

利用该 DFB 激光器驱动电源,对中心波长为 1 563.01 nm 的 DFB 激光器做了驱动测试。

#### 3.1 驱动电流实验

在进行系统性能测试过程中,为了消除电磁干扰,采用铝制屏蔽盒将外部环境与系统隔离。DFB 激光器上电后,首先对其驱动电流的线性度进行测量。将 DFB 激光器的工作温度控制在 25 °C,采用所研制的驱动电源,通过设置不同的控制电压,观测反馈通道的电压变换情况,最终换算成电流变化。其测试结果如图 6 所示。

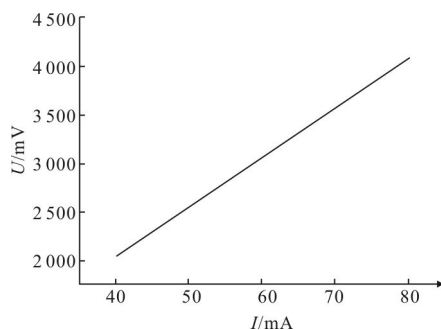


图 6 DFB 激光器驱动电流-电压关系曲线

Fig.6 Relation curve between driving current and voltage of DFB laser

结果显示,系统输出电流差值峰值为 0.086 3 mA,线性度达到 99.87%。

#### 3.2 驱动电流稳定性实验

实验中,进一步对所研制的驱动电源输出电流的稳定度进行了实验,结果如图 7 所示。

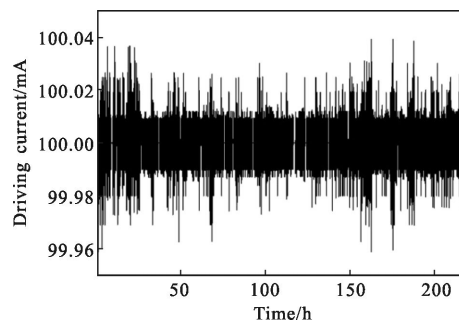


图 7 系统驱动电流稳定度测试结果

Fig.7 Test result of stability of driving current

实验中,预设驱动电流为 100 mA,长期测试 (>220 h)结果平均值为 100.000 435 mA,与均值相差最大电流为 0.000 439 mA,输出电流的稳定度好于  $4 \times 10^{-5}$  A。

#### 3.3 驱动性能实验

实验中采用中心波长为 1 563.01 nm 的 DFB 激光器为驱动对象,根据器件的技术手册,DFB 激光器激光发生的中心谱线的波长为 1 563.01 nm。在 DFB 驱动性能实验中,采用 THERMO4700 型傅里叶红外光谱仪测量的 DFB 激光器中心谱线如图 8 所示。

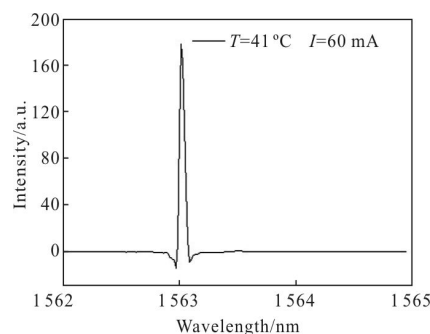


图 8 1 563.01 nm DFB 激光器的中心光谱

Fig.8 Centre spectrum of DFB laser with 1 563.01 nm

图 8 为使用中红外傅里叶光谱仪测得的 DFB 激光器的发射谱线,其发光光谱为波数为 1 563.01 nm,实验中通过调节器工作温度与驱动电流来实验对其发射波长的控制,可以与气体吸收峰匹配得更好。

## 4 结束语

在近红外气体检测领域中,针对DFB激光器驱动电源高稳定性需求,文中介绍了采用模拟PI深度负反馈环节和位置式数字PID算法相结合,够成双闭环反馈控制方法,设计并研制了一种高稳定性DFB激光器驱动电源。此外,该驱动电源具备防上电/断电冲击保护电路、延时软启动电路和过流保护电路等保护电路,保证了DFB激光器长期稳定的工作。同时,利用该驱动电源,对中心波长为1563.01 nm的DFB激光器做了驱动测试。结果显示,其驱动电流线性度为99.97%,稳定度为 $4 \times 10^{-5}$  A,满足实际项目指标的需求,具有很强的实用价值。

### 参考文献:

- [1] Chen Chen, Huang Jianqiang, Lv Mo, et al. High-precision narrow pulse drive power for infrared quantum cascade laser [J]. *Journal of Jilin University Engineering and Technology Edition*, 2011, 41(6): 1739–1740.(in Chinese)  
陈晨, 黄渐强, 吕默, 等. 高精度纳秒级红外量子级联激光器驱动电源的研制 [J]. 吉林大学学报: 工学版, 2011, 41(6): 1739–1740.
- [2] Ping Ge, Musa Jouaneh. Tracking control of a piezoceramic actuator [J]. *Transactions on Control System Technology*, 2006, 4(3): 213–214.
- [3] Lu Kai, Liu Baiyu, Bai Yonglin, et al. High power laser diode drive power supply[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(10): 2680–2684. (in Chinese)  
卢凯, 刘百玉, 白永林, 等. 大功率半导体激光器驱动电源的设计[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(10): 2680–2684.
- [4] Sirtori C, Kruck P, Barbieri S, et al. Low-loss Al-free waveguides for unipolar semiconductor lasers [J]. *Appl Phys Lett*, 2009, 75: 3911–3924.
- [5] Zhang Wenwen, He Fengtao, Dong Jun. Development of multifunctional power supply for OLED [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(6): 1883–1888. (in Chinese)  
张稳稳, 贺锋涛, 董军. 多功能OLED驱动电源的设计与实现[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(6): 1883–1888.
- [6] Gmachl C, Faist J, Bailargeon J N, et al. Complex-coupled quantum cascade distributed-feedback laser [J]. *Photon Technol Lett*, 2007, 9: 1090–1092.
- [7] Zhou Zhen, Qi Zhongliang, Qin Yong. Design of driving method for low power semiconductor laser [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(10): 2689–2693. (in Chinese)  
周真, 齐忠亮, 秦勇. 小功率半导体激光器的驱动方法设计[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(10): 2689–2693.