

文章编号: 1001-3806(2010)06-0819-04

## 光纤放大器抽运模块 LD 驱动电流源设计

陶宁, 姜海明\*, 肖峻, 谢康, 王亚非, 李雷  
(电子科技大学 光电信息学院, 成都 610054)

**摘要:** 为了实现光纤放大器的抽运模块驱动电源精度高、纹波系数小、转换效率高并具有一定保护功能, 设计了半导体激光器的驱动电流源。该电流源由驱动、串口控制等模块组成。采用基于 LM2676 的开关转换方式, 构建了转换效率较高的恒流源系统, 并应用于 LD 驱动。经测试, 通过 LD 的电流最大为 2.5A, 输出电流精度达到 0.1%, 转换效率可达 85% 以上, LC 滤波电路使输出电流纹波减少至 0.5mA; 具有串口通信电流源控制系统, 能够实现对驱动电流值的远程读取与设置。结果表明, 该电流源达到理论设计要求, 可应用于光纤放大器抽运模块。

**关键词:** 激光技术; 光纤放大器; 半导体激光器; 驱动电流源; 负反馈; 串口通信

**中图分类号:** TN245 **文献标识码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1001-3806.2010.06.027

### Design of LD current drivers of pump-modules in fiber amplifiers

TAO Ning, JIANG Hai-ming, XIAO Jun, XIE Kang, WANG Ya-fei, LI Lei

(School of Optoelectronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

**Abstract:** In order to obtain high precision, high efficiency and low ripple current drivers in pump-modules of fiber amplifiers, a new laser diode (LD) driving circuit, composed of modules of driver and serial interface and so on, was designed. A switching power-converter current source based LM2676 was designed to drive LD at higher conversion efficiency. The circuit is capable of delivering up to 2.5A current to a laser load with precision of 0.1%, efficiency larger than 85% and current ripple of 0.5mA because of a LC filter. Meanwhile long-distance reading and setting of the pump-module LD driver can be achieved by the design of serial device circuit control system. Results indicate that the circuit meets the theory design demands and can be applied in pump-modules of fiber amplifiers.

**Key words:** laser technique; fiber amplifier; semiconductor laser; current driver; negative feedback; serial communication

### 引言

光纤放大器是光通信中的关键器件之一, 它不仅解决了衰减对光网络传输速率与距离的限制, 而且开创了 1550nm 波段的波分复用 (wavelength-division multiplexing, WDM), 使各种传输新技术成为现实, 是光通信史上的重大变革。作为光纤放大器核心组成部分——基于半导体激光器 LD 的抽运模块, 其稳定性在很大程度上决定了光放大器的整体性能。因此, 研究 LD 的驱动电源设计方案以保证抽运模块的稳定就显得尤为重要。

参考文献中介绍了一种半导体激光器驱动精密线

性电源<sup>[1]</sup>, 虽然解决了工作范围内输出光功率稳定问题, 但是其效率和输出光功率需要进一步改善和提高。光纤放大器要求其抽运模块驱动电源精度、纹波系数均在毫安量级, 并具有较高的转换效率, 因此作者设计了能够满足这些要求的半导体激光器驱动电流源。采用高效率集成 BUCK 开关方式调整的 DC-DC 芯片, 通过电流取样与 D/A 构成负反馈网络, 形成数字可控电流源, 实现真正高精度、高效率的 LD 驱动电流源。输出端加入 LC 滤波器有效抑制开关转换的纹波电流, 增加了输出光功率的稳定性。并且系统具有体积小、重量轻等特点, 适用于一些需要多个抽运光源模块的场合<sup>[2-4]</sup>。

另外, 同其它的通信器件一样, 光纤放大器抽运模块需要监督和管理, 因此驱动电流源与管理端 PC 实现通信显得十分重要。本文中设计了 PC 到电流源控制系统的 RS232 串口双工通信, 对电流源进行远程控制。采用 RS232 主要是考虑到此协议以及基于其上的电路简单可靠, 并且具有很好的可扩展性, 可以作为其它通信方式的基础。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60588502; 60607005; 60877033); 四川省科技攻关计划资助项目 (2006z02-010-3); 电子科技大学青年科技基金资助项目 (JX0628)

作者简介: 陶宁 (1986-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为光纤通信系统中光纤放大器的控制与监测技术。

\* 通讯联系人。E-mail: jianghm@uestc.edu.cn

收稿日期: 2009-12-02; 收到修改稿日期: 2010-02-07

## 1 驱动电流源系统组成

驱动电流源设计的系统组成框图如图1所示。整

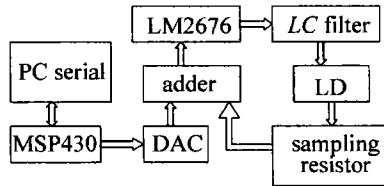


Fig. 1 System constitute

体设计方案核心是采用开关电源芯片 LM2676, 输出电流经过电感电容滤波器后作用于半导体激光器, 通过加法器把取样电阻电压和数模转换 (digital to analog converter, DAC) 的量作为反馈量, 并通过 PC 串口控制和 MSP430 单片机控制输出电流大小从而形成数控电流源。

## 2 电流源主控电路

LM2676 是 National Semiconductor Buck 开关电源芯片, 其最大输出电流为 3A, 转换效率可达 90%, 满足设计需求。整体思路是利用 LM2676 芯片特点设计成电流取样电压求和负反馈系统。电流源主控电路由如图 2a 和图 2b 所示的 LM2676 模块控制电路和负反

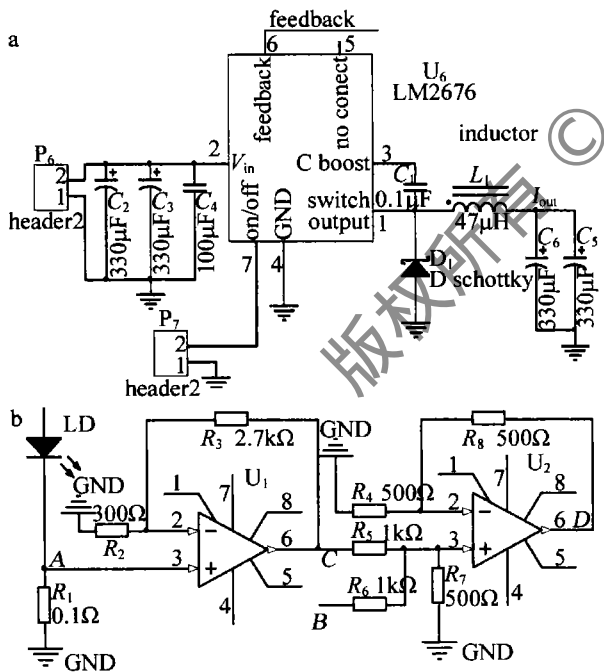


Fig. 2 The circuit of current control

a—LM2676 model b—the circuit of negative feedback and adder

馈加法器电路组成。激光二极管工作电流由电路中的 B 点电压  $V_B$  来控制。激光二极管工作电流  $I$  调节范围在 0A ~ 2.5A, 电路 A 点电压  $V_A = I \times R_1$ ,  $R_1$  为激光二极管电流采样电阻。由于  $R_1$  阻值很小, 为了精确设置 LD 的电流, 输入电压经过  $U_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  组成放大倍数为 10 的同相放大器, 故电路中 C 点电压为:

$$V_C = V_A \times (1 + R_3/R_2) \quad (1)$$

式中,  $R_1 = 0.1\Omega$ ,  $R_2 = 300\Omega$ ,  $R_3 = 2.7k\Omega$ , 所以加法器 C 端电压  $V_C = 10I R_1$ 。D 端连接到 LM2676 引脚 feedback, LM2676 会调整输出使得引脚 feedback 电压值等于 LM2676 芯片内部一恒压源值 1.21V。对加法器, 当  $R_5 = R_6 = 2R_4 = 2R_8 = 2R_7$  时,  $V_C + V_B = 2V_D$ , 即激光二极管工作电流为:

$$I = (2.42 - V_B)/(10R_1) \quad (2)$$

而  $V_B$  是由 MSP430 给出的 DAC 电压, 从而实现控制。单片机通过对图 2b 中 A 点进行 AD 采样, 将实际的电流值返回给单片机处理, 实现对驱动电流源的测试监管。

## 3 串口控制电路与软件设计

除了实现单片机本身外接键盘对电流源进行控制以外, 为了实现远程控制方式, 设计还采用了 PC 与单片机串口通信的方式进行控制。

采用 MAX232 和 DB9 接口基本实现了电流源串口通信的硬件要求。MAX232 电平转换芯片采用独立的 5V 电源, 内部含有电压倍增电路, 不需要额外提供正负 12V 电源, 而且一块芯片内含有两对收/发线。本文中, 采用一对收发线连接已满足使用。DB9 是目前使用较多的一种接口类型, 并且目前的计算机只配备该型号串行接口, 所以, 本文中采用 DB9 接口作为应用。图 3 所示的串口模块电路是最简单的一种连接

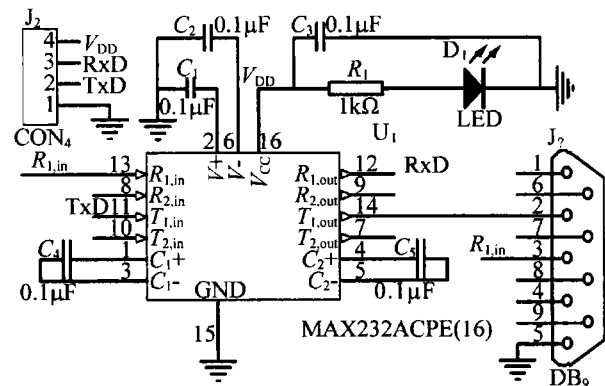


Fig. 3 The circuit of serial model

方式, 这种方式不提供任何硬件握手信号的连接, 故必须使用软件来控制通信的数据流<sup>[5]</sup>。

在 PC 软件方面, 采用 VC++ 6.0 开发环境并调用第 3 方 CSerialPort 类编写出控制系统应用程序。CSerialPort 类中包含串口通信所需的初始化函数 InitPort()、接收函数 ReceiveChar() 和发送函数 WriteChar() 等功能函数, 为实现最终程序提供了通信接口。在基于微软基本库类 (microsoft foundation classes, MFC) 的 C++ 程序的对话框类 CMyserialDlg 中调用上述函数, 实现了最终的串口程序软件界面, 见图 4。

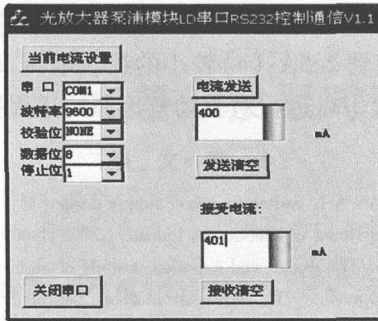


Fig. 4 The software interface of serial model

### 4 纹波电流分析

图 5 为电流源系统采用的 BUCK 开关电源拓扑模

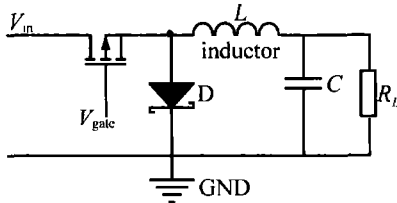


Fig. 5 Buck topology model

型。开关电源有两种工作模式:连续工作模式(continuous conduction mode, CCM),此时电感电流永远不为 0;断续工作模式(discontinuous current mode, DCM)。图 6a 为电感  $L$  工作在 CCM 下的电流和时间关系,图 6b 是电感工作在 DCM 下的电流和时间关系,显然

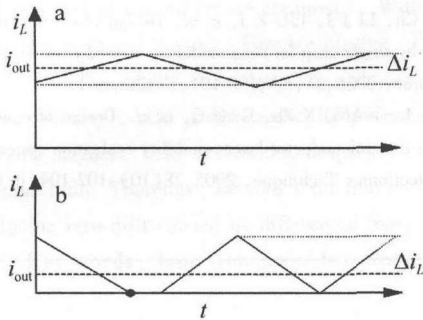


Fig. 6 The wave of inductor current  
a—CCM mode b—DCM mode

CCM 比 DCM 高次谐波纹波电流小得多,所以要得小的纹波电流系数,需使 LD 驱动电源工作在 CCM 下。

图 6 中粗虚线为电感输出电流  $i_{out}$ ,细虚线包含区域为电感在一个周期内开关开启或闭合时的电流增量  $\Delta i_L$ 。

当图 5 中场效应管开关导通,在此期间内,有  $\frac{di_L}{dt} =$

$\frac{V_L}{L}$ 。如果在一个开关周期内  $V_{in}$  和  $V_{out}$  没有明显的变化,电感两端电压  $V_L = V_{in} - V_{out} - V_{on}$ ,其中  $V_{on}$  是导通时的压降。这时可以用有限差分来代替微分而写成  $\nabla i_L = V_L \times \frac{\Delta t}{L}$ 。又有  $T_{on} = \frac{V_{out}}{V_{in} \times f}$ ,  $f$  为开关的频率。则在导通时电感电流增量为:

$$\nabla i_L = (V_{in} - V_{out} - V_{on}) \times \frac{V_{out}}{V_{in} \times f \times L} \quad (3)$$

由此知开关频率越高只需很小的电感值就可以到更小的  $\Delta i_L$ 。要使 LD 驱动器电源一直工作在 CCM 下,电源芯片采用 National Semiconductor LM2676,其开关频率  $f = 227\text{kHz}$ 。经 (3) 式分析,电感取  $47\mu\text{H}$  最为合适。

### 5 LD 驱动电流精度分析

流过 LD 电流  $I = (2.42 - V_B)/(10R_1)$ ,  $V_B$  的电压由单片机 DAC 提供,故电流  $I$  和  $V_B$  在数值上呈线性关系,其中  $I$  的单位为 A。电流  $I$  的精度仅由  $V_B$  精度来确定,若取  $V_B$  的位数为 12 位,  $I_{max} = 2.4\text{A}$  时输出电流的精度为:  $\Delta I_{min} = I_{max} \div 2^{12} \approx 0.6\text{mA}$ 。

然而,电阻阻值是温度的函数,而流经取样电阻  $R$  的电流很大,会在  $R$  消耗很大功率,导致取样电压和电流不再是线性关系,影响 LD 驱动电流准确度<sup>[6-7]</sup>。故首先要求激光器的采样电阻阻值要小,本系统中采用  $0.1\Omega$ 。

同时,为了进一步避免电路非线性因素的影响,在 MSP430 单片机程序上针对 (2) 式,根据测试数据和程序结构,采用了 if-else 选择语句对在电流较小且精度达不到  $0.6\text{mA}$  的  $0\text{A} \sim 1\text{A}$  范围的电流值进行了修正,误差可以修正在  $0.001\text{A}$ 。MSP430 单片机修正程序段如下:

```

If (I <= 1000 && I >= 750)
    I_Set = (int)((1210 - I - I/10 - I/100 + 20) * 4.096/2.5);
else if (I < 750 && I > 550)
    I_Set = (int)((1210 - I - I/10 - I/100 + 10) * 4.096/2.5);
else if (I <= 550 && I > 100)
    I_Set = (int)((1210 - I - I/10 - I/100 + 3) * 4.096/2.5);
else if (I <= 100)
    I_Set = (int)((1210 - I - I/10 - I/100 - 1) * 4.096/2.5);
    
```

其中 4096 是 DAC 转换精度,2.5 为  $V_B$  最大输出电压值,因为浮点型数据不好做除法,所以将修正公式里数据的权重,与 4096 数据的权重做兑换,所得到的最后值是不变的。另外对于不同的电流范围,公式略有不同。抽样比较了  $0\text{A} \sim 1\text{A}$  内电流源的设置值与实测值,见表 1。

Table 1 Current in  $0\text{A} \sim 1\text{A}$

settings $D_n/\text{mA}$	50	88	200	223	400	600	677	800	844	1000
measured $D_m/\text{mA}$	50	88	200	222	401	601	677	799	844	1001

表 1 测试结果显示:在  $0\text{A} \sim 1\text{A}$  范围内测试得到的电流值在  $\text{mA}$  量级设置值和实测值绝对误差不超过  $1\text{mA}$ ,和理论推算的  $0.6\text{mA}$  已经较接近了。这说明采用此种修正方法可以提高电流源电流值较小时的准确度。

## 6 电源转换效率和 LD 保护措施

经实际测量,电流源转换效率在 0A ~ 1A 内随设定的电流值呈近似的线性关系逐渐增加,在 1A ~ 2.5A 范围内转换效率一般可达 85% 以上,符合光纤放大器驱动电源的要求<sup>[8]</sup>。

保护措施主要是针对正向浪涌击穿和正方向直流过大破坏的情况<sup>[9-10]</sup>。在 LM2676 中当 ON/OFF 引脚为低电平时,其输出电流最大仅 100 $\mu$ A。采用软启动电路来防止正向浪涌电流击穿,软启动过程由单片机控制实现。这种方式可靠性高、稳定性好、工作电压从 0 开始逐渐上升到预定值,这样就从根本上保证了半导体激光器不会受到电源开启或关断时产生的电冲击的影响<sup>[5]</sup>。

正方向直流过大破坏是指 LD 在工作状态下因电流过大而损坏,为了防止这种损坏在输出支路加继电器,把  $V_B$  和电阻检测电流电压值  $V_R$  通过比较器,当  $V_R > V_B$ ,比较器输出高电平通过三极管来使继电器关断,从而保护激光器。其 LD 限制的最大电流可通过 DAC 来设置,因此能设置各种大功率激光器的最大限制电流。

## 7 结 论

电流源设计基于负反馈原理,使得设定的 DAC 转换电压与输出电流成线性关系从而实现 LD 驱动电流源的控制精度,符合光纤放大器抽运模块的设计需求。半导体激光器驱动电流源系统具有以下特点:(1)输

出电流精度到 0.1%;(2)系统体积小,重量轻;(3)输出最大电流到 2.5A;(4)较小的纹波电流;(5)转换效率较高;(6)可以进行对驱动电流源的远程控制。

### 参 考 文 献

- [1] PRESSMAN A I. Switching power supply design[M]. 2nd. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005:1-469(in Chinese).
- [2] WU G Sh. The design and experiment study of multi-wavelength Raman pump module[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2004:1-10(in Chinese).
- [3] LIN Y H, MAO H T, ZHANG J L, *et al.* The design of driving source for semiconductor laser[J]. Laser Journal, 2006, 27(1):14-17(in Chinese).
- [4] TAN Zh Q, LONG X W. Design of driving circuits of semiconductor lasers for measurement of continuous-wave cavity ring-down technology [J]. Laser Technology, 2008, 32(1):27-56(in Chinese).
- [5] WANG Y J, LIN Y Q, NIE Y B. Program for serial communication between PC and single chip microprocessor based on Visual C++ 6.0 [J]. Microcomputer Application Technology, 2006(67):36-40(in Chinese).
- [6] FAN X G, SUN H Y, TANG W Y, *et al.* The design of a laser diode pulsed current source based on FPGA[J]. Laser Journal, 2007, 28(2):19-20(in Chinese).
- [7] 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).
- [8] YUAN B J, XUE D J, LU X H. The design and implementation of a low-noise diode laser drive power[J]. Optical Instruments, 2007, 27(5):69-71(in Chinese).
- [9] JIA W Ch, LI J J, LIU Z J, *et al.* Design of electric power control system by single chip for semiconductor laser[J]. Modern Electronics Technique, 2005, 31(5):190-191(in Chinese).
- [10] HU X L, WANG X Zh, GAO G, *et al.* Design of constant current source in semiconductor laser reliability evaluation system[J]. Modern Electronics Technique, 2005, 28(10):102-104(in Chinese).

(上接第 818 页)

- [2] CHRISTODOULIDES D N, CARVALHO M I. Bright, dark and gray spatial soliton states in photorefractive media[J]. J O S A, 1995, B 12(9): 1628-1633.
- [3] SEGEV M, VALLEY G C, BASHAW M C, *et al.* Photovoltaic spatial solitons[J]. J O S A, 1997, B14(7): 1772-1781.
- [4] LIU J S, LU K Q. Spatial solitaire wave in biased photovoltaic-photorefractive crystals[J]. Acta Physica Sinica, 1998, 47(9):1509-1515(in Chinese).
- [5] JI X M, XIE Sh J, WANG J L, *et al.* Effect of temperature on the dynamical evolution of Gaussian beam in biased photovoltaic-photoerfractive crystal[J]. Laser Technology, 2009, 33(1):97-99(in Chinese).
- [6] CASTOR-CAMUS E, MAGANA L F. Prediction of the physical response for the two-photon photorefractive effect [J]. Opt Lett, 2003, 28(13): 1129-1131.
- [7] HOU Ch F, PEI Y B, ZHOU Z X, *et al.* Spatial solitons in two-photon photorefractive media[J]. Phys Rev, 2005, A71(5): 053817/1-053817/6.
- [8] HOU Ch F, ZHANG Y, JIANG Y Y, *et al.* Photovoltaic solitons in two-photon photorefractive materials under open-circuit conditions [J]. Opt Commun, 2007, 273(2): 44-548.
- [9] ZHANG Y, HOU Ch F, SUN X D. Grey spatial solitons due to two-photon photorefractive effect [J]. Chinese Physics, 2007, 16(1): 159-164.
- [10] ZHANG Y, HOU Ch F, SUN X D. Incoherently coupled spatial soliton pairs in two-photon photorefractive media [J]. Acta Physica Sinica, 2007, 56(6):3261-3265(in Chinese).
- [11] ZHANG G Y, LIU J S. Screening-photovoltaic spatial solitons in biased two-photon photovoltaic photorefractive crystals[J]. J O S A, 2009, B26(1): 113-120.
- [12] LU K Q, ZHANG Y P, LI B, *et al.* Self-deflection of steady-state spatial solitons in biased photovoltaic-photorefractive crystals[J]. Acta Optica Sinica, 2002, 22(2): 134-38(in Chinese).