

## 半导体激光器驱动电路的光功率控制的研究\*

伏燕军, 邹文栋, 肖慧荣, 甘月红

(南昌航空工业学院 测试技术与控制工程系, 江西 南昌 330034)

**摘要:**介绍了数字控制式半导体激光器驱动电路的设计, 包括温度控制系统和光功率控制系统。该系统以单片机为核心, 结合外围电路, 以数字控制技术代替以往的模拟电路, 易于控制, 精度高。对光功率控制系统也以单片机为核心, 配合外围的功率采样电路和电流驱动电路, 同时使用 PD 控制算法, 控制电源电流, 从而控制激光器光功率输出。在 PD 参数整定时, 采用了工程实验法多次实验调试确定参数。建立数学模型, 从而实现软件控制。为了提高控制的精度, 把功率范围分为 9 段, 对每一段都整定了一组参数, 从而将光功率误差控制在 0.02 W 内。所设计的驱动电路精度高, 实时性好, 达到了设计要求。

**关键词:** 半导体激光器; 光功率; 参数整定; PID

**中图分类号:** TN248.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2005)05-0626-05

## Optic power control of LD drive circuit\*

FU Yan-Jun, ZOU Wen-dong, XIAO Hui-rong, GAN Yue-hong

(Department of Measuring and Controlling, Nanchang Institute of Aeronautical Technology, Nanchang 330034, China)

**Abstract:** The design of digital control system of LD driver circuit, including the optic power control system and the temperature control system is introduced. The singlechip is the core, combined with peripheral circuit, with the digital control instead of the analog circuit control. It is easy to control, and the precision is high. The singlechip is the core of optic power of control system, and peripheral circuit includes power sampling and current driver. The PD control algorithm is used to control the electric current. So it can control the optic power of LD. The PD parameters are tuned in engineering experiments. Mathematics model is built to realize software control. In order to improve the control precision, the optic power is divided into 9 parts, and PD parameter of each part is adjusted. The power error of LD can be controlled within 0.02 W. The precision of the designed driver circuit is high. The circuit is well-real time, and reaches the requirement of design.

**Key words:** LD; Optic power; Parameter tuning; PID

收稿日期: 2004-12-10; 修订日期: 2005-01-20

\* 基金项目: 航空高校基金资助项目 (EC200308035)

作者简介: 伏燕军 (1974-), 男, 湖北黄梅人, 讲师, 硕士, 主要从事光电信息处理、数字图像处理方面的研究。

### 0 引言

半导体激光器在通信、信息、医疗和精密加工与测量等领域有着广泛的应用。半导体激光器的运行与驱动电路有密切的联系。静电、高压、涌浪电流以及电网冲击等都会对半导体激光器造成永久性损坏,电流及激光器温度的变化也会造成光功率的不稳定,影响输出激光性能。因此,驱动电路是半导体激光器的重要组成部分,也是设计半导体激光器的关键所在。目前国内外对半导体激光器驱动电路的研究主要是基于纯硬件的模拟电路系统<sup>[1]</sup>。我们采用的是一种用单片机数字控制的半导体激光器驱动电路,该系统采用的电路设计和程序控制算法设计相结合的方法,从多方面对半导体激光器的工作状态进行实时检测和控制,使系统的性能得到很大的改善和提高,有效解决了半导体激光器工作的准确、稳定和可靠性问题,进一步提高了半导体激光器的输出指标<sup>[2]</sup>。

### 1 功率控制部分硬件电路

温度和功率是半导体激光器驱动电路要稳定控制的两个最重要的物理量,温度对半导体激光器的输出功率有一定的影响,但一般情况下温度变化很缓慢,所以对温度的稳定控制比较简单,也比较成熟。而功率的变化往往很快,准确采集数据比较困难<sup>[3]</sup>。这里重点介绍对功率的控制,通过调整半导体激光器的驱动电流,精确控制半导体激光器的发射光功率。图 1 是半导体激光器驱动电路的原理图。图 2 是光功率控制部分的原理图。

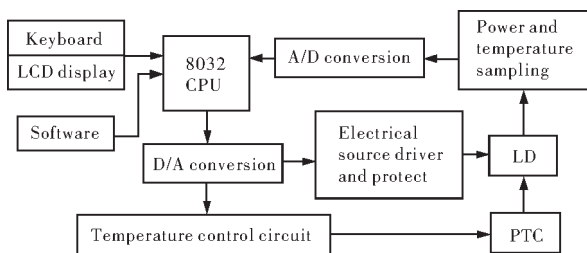


图 1 半导体激光器驱动电路的原理图  
Fig.1 Schematic diagram of LD drive circuit

度、伏安特性和频率特性,给出光功率采样电路,如图 3 所示。图中 U2A 运算放大器、R5 和 R6 组成电压放大电路,调整 R5 和 R6 的比例可调整电路放大倍数。R3 是滤波电阻。U1A 是电压跟随器,输入阻抗很大,输出阻抗很小,光电二极管 PD 电阻变化时,不影响输入电阻,能保证整个电路的稳定。通过调整 R12, R4 保证电路中光电二极管 PD 对激光器输出的光功率进行采样时的静态工作点。PD 得到的光电转换信号经过运算放大器 TL082 的一定放大后,输入到单片机系统中 A/D 转换器 ADC0809 的 IN0 进行模/数转换给 CPU 进行下一步处理。TL082 是高精度双运放。

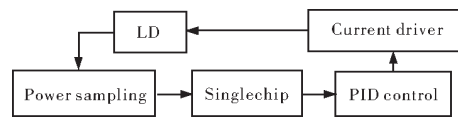


图 2 光功率控制部分的原理图  
Fig.2 Schematic diagram of optic power control system

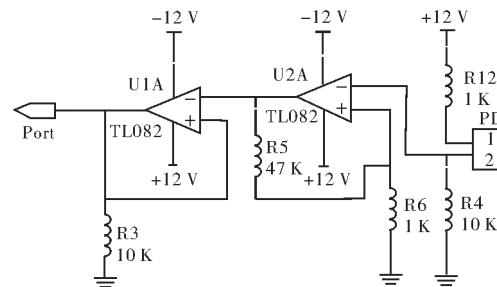


图 3 光功率采样电路  
Fig.3 Optic power sample circuit

图 4 为光功率电流驱动电路,它实际上是一种可控的恒流源,是一电流反馈电路。VLD 信号是电源部分输出的缓慢上升的电压信号,这样使 Q12 缓慢导通,开机时 VLD 信号保证激光器不受到快速电流冲击,从而保护激光器。R41 是偏置电阻,C23 是滤波电容。PCON 信号是单片机系统发出的控制电流大小的信号,可以控制光功率大小。R8 是具有滤波作用的电阻。U2A 是电压跟随器,防止小信号窜入,提高共模抑制比。T1 是交流滤波器,用来消除电路中的纹波,能够有效抑制大于 3 A 以上的尖脉冲;因为它直接与半导体激光器 LD 相连,所以不管是电网中或者驱动系统本身引起的大于 3 A 浪涌都能够有效抑制,对系统电流的稳定起到了非常重要的作用,保护了激光

考虑到光电二极管的光谱响应特性、光电灵敏

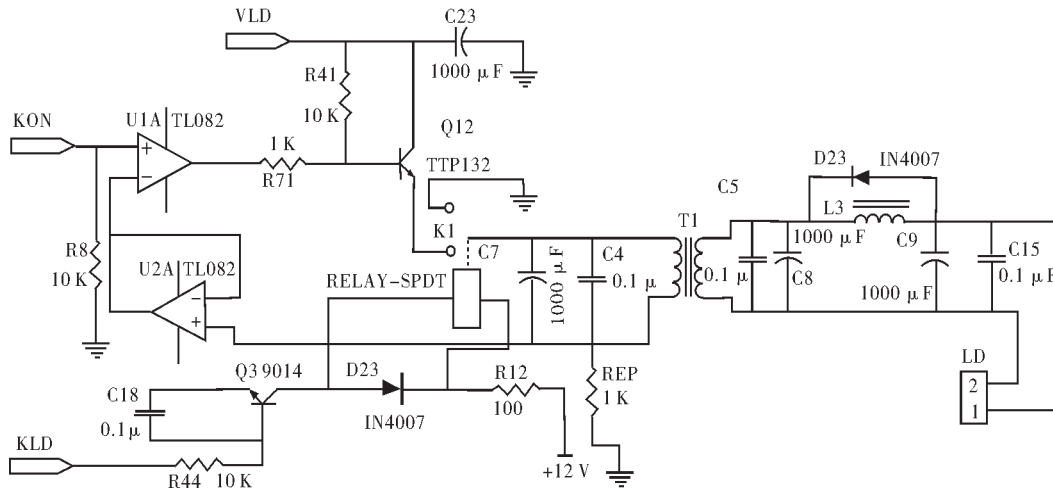


图 4 光功率电流驱动电路

Fig.4 Optic power supply drive circuit

器。L3、C8、C9 组成 LC 低通滤波器,它能滤除电源在导通或者工作过程中出现的高频电流成分,对电流的稳定起到重要的作用。其余的电容都是滤波电容。RFP 是大功率负反馈电阻。继电器 KP、Q3、D23、R12、R44 及 C18 组成功率执行电路故障保护电路。工作过程是单片机发出 KLD 高电平信号使 Q3 导通。回路流通继电器 KP 吸合电路导通,当电路出现故障时 KLD 低电平则 KP 放开电路断开<sup>[3]</sup>。

## 2 PID 控制及参数整定的原理

对于 PID 控制部分,我们采用单片机软件控制。实现数字化控制,精度高,速度快。在驱动电路中主要是选用合适的 PID 控制算法,对半导体激光电源电流进行控制。由于积分环节的系数选取至关重要,而且会产生超调,使激光器的电流过大,损坏激光器,并且使系统的稳定性下降。所以,我们放弃了积分作用,只考虑比例、微分控制,即采用 PD 控制<sup>[4]</sup>,微分环节采用不完全微分对微分项进行改进,其中 PD 算法中的参数整定问题是一大难点。在半导体激光器电流控制中,由于激光器电流存在非线性和不确定性,再加之外界的干扰及 PD 控制对象的不确定,给 PD 控制的参数整定带来了极大的困难。我们采用了工程实验法确定 PD 参数。

不完全微分具有数字滤波的能力,抗干扰能力强,还可以克服完全微分的大幅度冲击的缺点,控制效果

好,因此采用了不完全微分的 PID 控制算法。在 PID 算法中加一个一阶惯性环节(低通滤波器) $G_f(s)=1/[1+T_i(s)]$ ,即可构成不完全微分 PID 控制。对于普通的 PID 控制算法,微分项为:

$$u_d(k) = K_p \frac{T_D}{T} [e(k) - e(k-1)] = K_D [e(k) - e(k-1)] \quad (1)$$

对于不完全微分 PID 结构,其传递函数为:

$$U(s) = \left( K_p + \frac{K_p}{T_i s} + \frac{K_p T_D s}{1 + T_i s} \right) E(s) = U_p(s) + U_i(s) + U_d(s) \quad (2)$$

上式的离散化形式为:

$$u(k) = u_p(k) + u_i(k) + u_d(k) \quad (3)$$

显然,  $u_p(k)$  和  $u_i(k)$  与普通 PID 算式中的表达式完全一样,只是  $u_d(k)$  出现了不同。经过一系列的推导:

$$u_d(k) = \frac{T_i}{T_i + T} u_d(k-1) + \frac{K_p T_D}{T_i + T} [e(k) - e(k-1)] \quad (4)$$

上式中,令  $\alpha = T_i / (T_i + T)$ ,则  $T / (T_i + T) = 1 - \alpha$ ;显然有  $0 < \alpha < 1$ ,则公式(4)可简化为:

$$u_d(k) = k_D (1 - \alpha) [e(k) - e(k-1)] + \alpha u_d(k-1) \quad (5)$$

由上式可以看出只要确定了  $\alpha$  和  $k_D$ , 则  $u_d(k)$  就

可以确定。在研究中,采用了PD的控制算法,则公式(3)中的 $u_1(k)$ 不存在。公式(3)变为 $u(k)=u_p(k)+u_D(k)$ 。要确定 $u(k)$ ,只要确定 $u_p(k)$ 和 $u_D(k)$ ,故只要确定参数 $k_p$ 、 $k_D$ 和 $\alpha$ 就可以<sup>[5-7]</sup>。

### 3 参数整定的过程及结果

LD是一个热功率器件,在驱动电流一定的情况下其输出光功率随着温度的升高而下降,从而影响仪器设备中光电系统的正常工作和参数整定。所以,在下面的实验中,激光器的工作温度保持在30.0~31.0℃之间,功率的变化主要是电流的变化所引起的<sup>[8,9]</sup>。

#### 3.1 工程实验法确定PD参数的实验过程

(1)先取一个给定值,将0~1.99W的功率控制范围分为9部分,根据先后顺序依次为:0.10、0.25、0.50、0.75、1.00、1.25、1.50、1.75、1.99W。

(2)整定比例部分,先置PD控制器中 $T_D=0$ ,使之成为比例控制器;再将比例系数 $k_p$ 由小变大观察相应的响应,使系统的过渡过程达到4:1的衰减振荡和较小的静差;确定 $k_p$ 值。

(3)再设定一个默认的 $k_D$ 与 $\alpha$ (分别为1.00和0.50)。

(4)启动程序后,若显示值小于设定值,则先调大 $k_D$ ,每次增大0.10,找出接近设定值的一组,再以0.05为单位对 $k_D$ 进行出粗调,使显示值与设定值最接近,最后以0.01为单位进行细微调节,使显示值与设定值最接近。反之,若显示值大于设定值,则先调小 $k_D$ ,每次减小0.10,找出接近设定值的一组,再以0.05为单位对 $k_D$ 进行粗调,使显示值与设定值最接近,最后以0.01为单位进行细微调节,使显示值与设定值最接近。

(5)固定 $k_D$ ,开始调节 $\alpha$ 。在本程序中, $\alpha$ 恒小于1,仍按上面的方法进行调节,最终得出一对较满意的参数。

(6)取下一个给定值,重复步骤(2)~(4),直到将所有情况下的参数都确定下来。

#### 3.2 实验结果

由于本系统中无硬件反馈电路,并且功率变化快,所以在某一设定值整定的参数值仅能在该设定值附近的某一范围内起作用,范围过大参数值就失效,

控制精度下降。因此,将0~1.99W的功率控制范围分为9部分,整定出了9组有效参数。每一组最优值在其设定值的附近0.12W左右,而且精度都在 $\pm 0.02$ W内,如表1所示。实验结果表明这种思路是正确的,满足功率控制0~1.99W可调的要求。

表1 各设定值的参数整定结果

Tab.1 Parameter tuning results of each value

Power initial-ization/W	Optimization			Power displays/W	Stability
	$k_p$	$k_D$	$\alpha$		
0.10	0.12	0.90	0.71	0.09~0.10	Stabilization
0.25	0.12	1.30	0.72	0.25	Very stabilization
0.50	0.13	1.35	0.76	0.49~0.52	Stabilization
0.75	0.13	1.56	0.80	0.73~0.76	Indifferent stability
1.00	0.13	2.30	0.90	0.98~1.02	Stabilization
1.25	0.15	2.35	0.92	1.19~1.27	Stabilization in the 1.25 W
1.50	0.17	3.98	0.95	1.48~1.52	Stabilization
1.75	0.17	4.12	0.97	1.74~1.75	Stabilization
1.99	0.18	4.25	0.98	1.89~1.90	Stabilization

### 4 结束语

这种半导体激光器驱动电路的光功率控制系统是数字控制式的。以单片机为核心,配合外围的功率采样电路和电流驱动电路,电路结构简单。在软件控制时采用了分段的PD控制,效果较好,光功率控制精度都在 $\pm 0.02$ W内,功率在0~1.99W范围内可调,达到了设计要求。同时,程序运行速度较快,实时性较好。下一步,进一步改进PID控制算法,尽量减少分段数,同时提高控制精度,开发更好的光功率控制系统。

#### 参考文献:

- [1] Diana Zankowsky. Diode-laser drivers maintain control [J]. Laser Focus World, 1996, 32(7): 131-133.
- [2] HUANG De-xiu, LIU Xue-feng. Laser Diodes and the Applications of Laser Diodes [M]. Beijing: National Defence Industry Publishing Company (黄德修, 刘雪峰. 半导体激光器及应用. 北京: 国防工业出版社), 1999.
- [3] ZOU Wen-dong, GAO Yi-qing. Semiconductor laser power supply

- controlled by sing -chip microcomputer [J].Laser Journal ( 邹文栋, 高益庆. 单片机控制的半导体激光驱动电源. 激光杂志), 2002, 23(4):70-71.
- [4] XU Xiu -fang, HU Xiao -dong. The power steadiness and control technology of semiconductor laser [J]. Acta Photonica Sinica ( 徐秀芳, 胡晓东. 半导体激光器的功率稳恒控制技术. 光子学报), 2001, 30(6):761-764.
- [5] GAO Dong -jie, TAN Jie, LIN Hong -quan. Applications advanced control technology [M]. Beijing: National Defence Industry Publishing Company ( 高东杰, 谭杰, 林红权. 应用先进控制技术. 北京: 国防工业出版社), 2003.
- [6] TAO Yong -hua. New Type PID Control and the Application [M]. Beijing: Mechanism Industry Publishing Company ( 陶永华. 新型 PID 控制及其应用. 北京: 机械工业出版社), 1998.
- [7] LIN Ming, XUE Hong. Computer Control Technology and System [M]. Beijing: Light Industry Publishing Company ( 林敏, 薛红. 计算机控制技术与系统. 北京: 中国轻工业出版社), 1999.
- [8] XU Wen -hai, YANG Ming -wei, TANG Wen -yan. Development of multifunctional laser diode driver [J]. Infrared and Laser Engineering ( 许文海, 杨明伟, 唐文彦. 多功能半导体激光器驱动电源的研制. 红外与激光工程), 2004, 33(5):465-468.
- [9] LI Cheng -ren, SONG Chang -lie, LI Shu -feng, et al. Experimental investigation of the change of semiconductor laser output wavelength corresponding to operation current [J]. Infrared and Laser Engineering ( 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的实验研究. 红外与激光工程), 2003, 32(2):144-147.

(上接第 621 页)

The stimuli function of laser had been done stably by the improved circuit, the parameter fits for the design, and the laser is dependable normal working.

## 4 Conclusion

In this paper the XeCl excimer laser discussed is a kind of frequency adjustable discharge gas laser. The pulse width is 18 ns, and the repeat frequency is 0.5~5 Hz. The innovative SGS was explained firstly, and the problems in the circuit was analyzed and solved. Finally, the trigger waveform of gas triode, and waveform of SGS and main electrode of laser was measured to set the basis of the further improvement of output character of the laser.

## 5 Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge support of the Chinese Natural Science Fund (50331040, 60171034).

## References:

- [1] QIANG Xi -wen, ZHANG Jian -quan. Analytical investigation on

mechanical effects of detector materials induced by laser beams. [J]. Infrared and Laser Engineering ( 强希文, 张健全. 高功率脉冲激光产生的激波在靶材中的传播. 红外与激光工程), 1999, 29(6):47-51.

- [2] CHEN Yu -qing, WANG Jing -huan. The Principle of Laser [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press ( 陈钰清, 王静环. 激光原理. 杭州: 浙江大学出版社), 1992.
- [3] REN Ren, CHEN Chang -le, ZHU Shi -hua, et al. Dynamic model of a new XeCl laser with short duration time and UV grow discharge system design [J]. Laser Technology ( 任韧, 陈长乐, 朱世华, 等. 短脉冲 XeCl 激光动力学模型及辉光抽运设计. 激光技术), 2004, 28(4):434-437.
- [4] Roberts Thomaster L. Experiment studies of a CrF and ArF discharge laser [J]. IEEE J, 1978, QE-14(12):944-950.
- [5] REN Ren, CHEN Chang -le, JIN Ke -xin, et al. Design of a new XeCl Mer laser pumped by pulse discharge for epositing film [J]. ACTA Photonica Sinica ( 任韧, 陈长乐, 金克新, 等. 用于薄膜沉积的 XeCl 激基激光器研究. 光子学报), 2002, 31(9):1097-1100.
- [5] TENG Xue -shun, ZHANG Zhi -cheng. Study of RF CO<sub>2</sub> laser over-heat protection circuit [J]. Infrared and Laser Engineering ( 滕学顺, 张治成. RF CO<sub>2</sub> 激光器过热保护电路研究. 红外与激光工程), 1995, 24(3):45-50.
- [6] CHEN Zhen -sheng. The technology and apply of a new sensor [J]. Building Electrical and Intelligent System ( 陈振生. 新型传感器技术及应用. 建筑电配), 2003, 12:10-18.