

# 基于 Fuzzy-P 控制的半导体激光器功率稳定研究\*

杨九如<sup>1,2</sup> 李 成<sup>1</sup> 叶红安<sup>1</sup> 吕国辉<sup>1</sup> 张昕明<sup>1</sup> 贾世楼<sup>2</sup>

(1 黑龙江大学电子工程学院, 哈尔滨 150080)  
(2 哈尔滨工业大学通信工程研究所, 哈尔滨 150001)

**摘 要** 为了提高光源抑制噪音的能力, 提出一种基于模糊控制和比例控制的模数混合控制器, 对中心波长为 650 nm 的半导体激光二极管的输出功率进行高准确度稳恒控制. 实验结果表明, 施加功率控制后, 光源输出功率的静态稳定度达到 ±0.48%, 动态稳定度优于 ±1%.

**关键词** 半导体激光器; 功率稳定; 模糊控制; 比例控制

**中图分类号** TN248 **文献标识码** A

## 0 引言

在实际的工程应用中, 基于光强变化的强度型传感解调是一种有效、可靠的测量方案<sup>[1]</sup>. 然而, 光源输出功率的不稳定会直接影响测量系统的准确度<sup>[2~5]</sup>. 对半导体激光器的驱动源和温度进行高准确度控制是稳定光源输出功率的主要手段<sup>[6~7]</sup>. 传统的模拟 PID (Proportional-Integral-Differential) 控制具有良好的动、静态控制特性<sup>[6]</sup>, 但是易受外界干扰、稳定性差, 且不利于调制; 数字控制可以提高系统的灵活性和智能性<sup>[7]</sup>, 然而其响应速度较慢, 不能对光源输出功率的起伏进行高速实时控制. 本文在综合数字控制与模拟控制优点的基础上, 提出一种采用数字模糊控制与模拟比例控制混合的功率控制方案, 对中心波长为 650 nm 的半导体激光二极管的输出功率进行稳恒控制.

## 1 控制原理与控制器设计

### 1.1 控制原理

控制系统由模拟比例控制器和二维模糊控制器两部分组成. 模糊控制器的设计简单、控制周期短,

动态特性优良<sup>[8]</sup>. 为了进一步提高控制准确度, 实现实时控制的目的, 在模糊控制中嵌入模拟 PID 控制是一种有效的手段<sup>[9]</sup>. 在实际的设计中, 采用模拟比例控制方案. 模拟比例控制一方面具有快速、准确、易于实现等优点; 另一方面避免了微分控制常会引起的系统振荡, 以及积分控制容易产生的积分饱和现象, 提高了控制系统的稳定性.

设混合控制器的控制因子为  $K$ ,  $E$  和  $EC$  分别是量化后的误差和误差变化;

$$K = \begin{cases} k_1 & E > \Delta_{\min} \\ k_2 & 0 < E \leq \Delta_{\min}, k_1 = 0 \\ 0 & E = 0 \end{cases}$$

式中,  $k_1$ 、 $k_2$  分别为模糊控制器和比例控制器的控制因子,  $\Delta_{\min}$  为模糊控制器的最小控制准确度. 当误差信号  $E \geq \Delta_{\min}$  时, 选择模糊控制器对半导体激光器进行功率控制; 而当  $E < \Delta_{\min}$  时, 误差信号将直接进入比例控制器, 实现对光源输出功率的实时控制.

对于模糊控制器而言, 其控制输出量可表示为:  $u_1 = -[k_1 E + (1 - k_1) EC]$ . 其中,  $E$  的语言变量子集为: {NB, NM, NS, 0, PS, PM, PB};  $EC$  的语言变量子集为: {NB, NS, PS, PB}; 模糊控制表如表 1.

表 1 模糊控制表

$U_1$ \ $EC$	$E$	NB( $-\infty, -11$ )	NM( $-10, -4$ )	NS( $-3, 0$ )	0	PS( $0, 3$ )	PM( $4, 10$ )	PB( $11, \infty$ )
NB( $-\infty, -4$ )		18	14	8	3	1	-6	-8
NS( $-3, 0$ )		14	8	6	0	1	-3	-8
PS( $0, 3$ )		8	6	1	0	-1	-8	-14
PB( $4, \infty$ )		6	6	-3	-3	-8	-14	-18

### 1.2 光功率控制系统

光功率控制系统, 由恒流驱动源、单片机控制系统、模拟比例控制系统、激光光源构成如图 1.

由光电探测器 (Photodetector PD) 输出的电流信号经过电流/电压 ( $I/V$ ) 变换, 送入到 12 位的高速模/数转换器中, 采样后的精确量化数值与单片机内部设定的目标  $U_{aim}$  相比较得到误差  $E$  和误差变化  $EC$ . 假设此时的  $E$  值较大, 单片机会依据模糊规则对误差信号进行处理, 输出模糊控制量  $u_1$ ,  $u_1$  再经两路 8 位数/模转换器  $DAC_1$ 、 $DAC_2$  转换成模拟信

\*国家自然科学基金(F60077007)和黑龙江大学青年科学基金(QL200410)资助项目  
Tel: 0451-86419767 Email: totti9555@163.com  
收稿日期: 2005-04-18

号,通过恒流源送到半导体激光器上,实现对激光器功率的闭环控制.  $DAC_1$  电流输出范围:  $195 \mu A \sim 49800 \mu A$ , I/V 变换后的输出的电压每 10 ms 控制一次,对半导体激光器的工作点进行调整.  $DAC_2$  调整步长是  $DAC_1$  的 1/50,最小调整准确度为  $3.89 \mu A$ ,对恒流源驱动电流细微调整,实时调节控制准确度.当模糊控制使激光器处于相对稳态的工作情况,即  $E \leq \Delta_{min}$  时,模糊控制器的输出  $u_1 = 0$ . 这时,模式选择将误差信号直接送入比例控制器中,经过线性调整、差分运算、比例放大后作用于恒流源,对激光器进行更高准确度的控制.

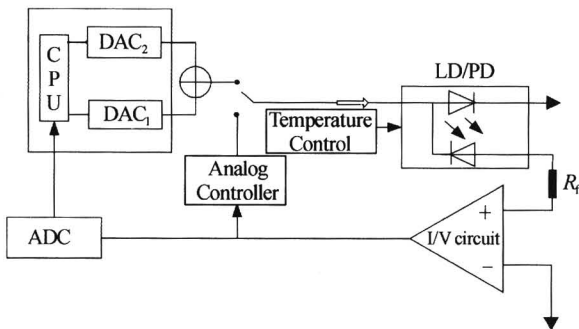


图1 光功率控制系统

Fig. 1 Scheme of light power control system

另外,半导体激光器是一个对温度敏感的器件,温升对激光器的输出功率会有很大的影响,还会加速激光器的老化<sup>[10,11]</sup>. 因此,高准确度的温度控制是实现半导体激光器高稳定功率输出的必要条件. 实验中,采用高效率、高电流功率放大器 DRV591 作为半导体制冷器 TEC (Thermoelectric Cooler) 的驱动芯片,对半导体激光二极管工作温度实施双相高精度控制,控制准确度达到  $\pm 0.05^\circ C$ ,完全符合实验要求.

## 2 实验及结果

实验选用的半导体激光二极管,峰值波长为 650 nm,最大输出功率 5 mW,阈值电流 28.2 mA,  $TO_3$  封装. 取  $A = 0.25$ ,工作电流  $I = 36.3$  mA,光电探测器 PD 的直流输出量为 3.158 V;实验室环境温度  $22^\circ C$ .

### 2.1 静态稳定性

在未施加控制,仅采用恒流源驱动时,PD 端的噪音幅值为  $\pm 10$  mV (图 2). 采用本文研制的混合功率控制器对激光器的输出功率施加控制后,PD 端的噪音在高、低频段都得到明显地压缩 (图 3),幅值  $\leq \pm 1.5$  mV. 半导体激光器输出功率的静态稳定度  $S = \frac{\max \Delta P}{\langle P \rangle} = \frac{\max \Delta U}{\langle U \rangle} \leq \pm 0.48\%$  ( $\langle * \rangle$  代表时间平均).

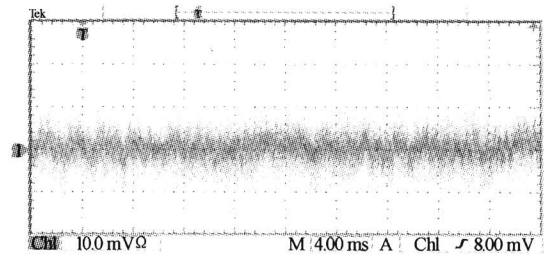


图2 未施加控制时PD的噪音

Fig. 2 Noise of LD on PD without any control

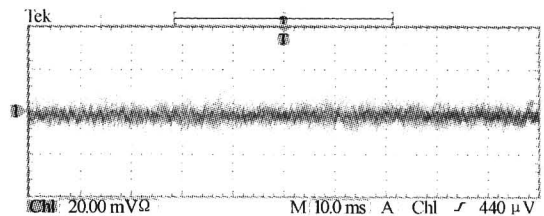


图3 控制后PD的噪音

Fig. 3 Noise of LD on PD with hybrid control

### 2.2 动态稳定性

通过在激光器的驱动端施加幅度从 1 mV ~ 100 mV、频率从 1 k ~ 1 MHz 的一组正弦波信号来考察光源系统抑制动态干扰的能力. 在频率 1 MHz、幅度 100 mV 的正弦波信号干扰下,未控制时,PD 端的噪音幅值达到  $\pm 20$  mV (图 4);施加控制后,PD 端的噪音被压缩在  $\pm 2.75$  mV 的范围内 (图 5),激

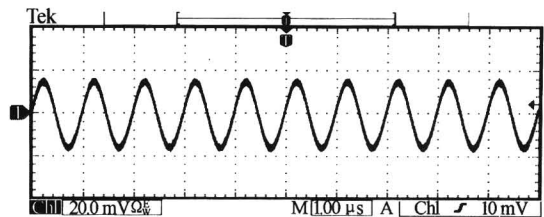


图4 正弦干扰下(1 MHz, 100 mV),未施加控制时PD的噪音

Fig. 4 Noise of LD on PD without any control and with sinusoidal disturb(1 MHz, 100 mV)

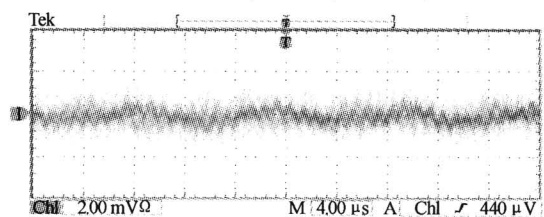


图5 正弦干扰下(1 MHz, 100 mV),施加控制后PD的噪音

Fig. 5 Noise of LD on PD with hybrid control and with sinusoidal disturb(1 MHz, 100 mV)

激光器输出功率的动态稳定度为  $\pm 0.87\%$ .

## 3 结论

采用基于模糊控制和比例控制的模数混合功率控制器对半导体激光器的输出功率施加高精度实时稳恒控制. 混合控制器具有控制准确度高、稳定性好、结构简单等优点,对光源的高、低频噪音都能

够有效地抑制。经实验测量,半导体激光器输出功率的静态稳定度达到 $\pm 0.48\%$ ,动态稳定度 $< \pm 1\%$ 。

### 参考文献

- 1 Ricci L, Weidemüller M, Esslinger T, *et al.* A compact grating-stabilized diode laser system for atomic physics. *Optics Communications*, 1995, **117**(6): 541~549
- 2 王体辉,贺正权,王忠厚,等.一种高精度光学位移传感器的设计分析.光子学报,2003,**32**(7):840~843  
Wang T H, He Z Q, Wang Z H, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(7): 840~843
- 3 吴栋,朱日宏,陈磊,等.干涉仪环境振动的外差检测与自适应控制.光子学报,2004,**33**(12):1493~1496  
Wu D, Zhu R H, Chen L, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(12): 1493~1496
- 4 佟成国,杨军,刘志海,等.双弹簧管光纤差压传感器.光子学报,2004,**33**(10):1172~1175  
Tong C G, Yang J, Liu Z H, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(10): 1172~1175
- 5 汪晓东.强度型激光光纤传感系统的神经网络补偿方法.光学学报,2002,**22**(2):215~219  
Wang X D. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(2): 215~219
- 6 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  
Xu X F, Hu X D. *Acta Photonica Sinica*, 2001, **30**(6): 761~764
- 7 金典顺,赵学增,李成,等.单片机控制的半导体激光器稳光强器的研究.半导体光电,2004,**25**(1):69~71  
Jin D S, Zhao X Z, Li C, *et al.* *Semiconductor Optoelectronics*, 2004, **25**(1): 69~71
- 8 李士勇.模糊控制·神经控制和智能控制论.哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1998,第二版,254~286  
Li S Y. *Fuzzy control · neuro control and intelligent cybernetics*. Harbin: The press in Harbin Institute of Technology, 1998, 2nd Edition, 254~286
- 9 刘金琨.先进PID控制及其MATLAB仿真.北京:电子工业出版社,2003.63~81  
Liu J K. *Advance PID Control and MATLAB Simulation*. Beijing: Publishing House of Electronics Industry. 2003. 63~81
- 10 曾华林,江鹏飞,谢福增.半导体激光器温度控制研究.激光与红外,2004,**34**(5):339~341  
Zeng H L, Jiang P F, Xie F Z. *Laser & Infrared*, 2004, **34**(5): 339~341
- 11 伊小素,肖文.大功率、宽光谱超辐射发光管的温度稳定性研究.光子学报,2004,**33**(11):1367~1369  
Yi X S, Xiao W. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(11): 1367~1369

## A Study on Power Stability of Laser Diode Based on Fuzzy-P Control

Yang Jiuru<sup>1,2</sup>, Li Cheng<sup>1</sup>, Ye Hongan<sup>1</sup>, Lü Guohui<sup>1</sup>, Zhang Xinming<sup>1</sup>, Jia Shilou<sup>2</sup>

<sup>1</sup> School of Electronic Engineering, Heilongjiang University, Harbin 150080

<sup>2</sup> Institute of Communication Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001

Received date: 2005-04-18

**Abstract** In order to improve the noise-reducing ability of light source, a hybrid controller using fuzzy control and proportional control simultaneously is proposed, which provides a high precise control on the output power of a laser diode with the center wavelength at 650 nm. Under the Fuzzy-P control, the experimental results show that the static stability of output power of a laser diode reaches  $\pm 0.48\%$ ; and the dynamic stability is superior to  $\pm 1\%$ .

**Keywords** Laser diode; Power stability; Fuzzy control; Proportional control



**Yang Jiuru** was born in Mudanjiang, China, on November 4, 1978. He received his B. S and M. S degree in physical electronics from the Heilongjiang University in 2001 and 2004. Now working as a teacher of Heilongjiang University, he is also a candidate of Ph. D degree in the field of communication engineering in Harbin Institute of Technology. Optical switching network, laser technology and optical sensing and applications are his main interests.