

文章编号: 1001-3806(2009)01-0074-03

## 连续可调恒流的 SLED 恒温控制

王立东, 孙长森\*

(大连理工大学 物理与光电工程学院, 大连 116023)

**摘要:** 为了解决大功率半导体超辐射发光二极管(SLED)的恒流、恒温驱动问题,使这类光源可以在恒定温度条件下,实现驱动电流连续调节的工作模式,设计了一种控制器,使用单片机 MSP430 作为其主芯片,采用脉宽调制和比例-积分-微分算法及半导体制冷器实现对光源温度的精密控制。实验中,控制器可以使光源在环境温度为 10℃ ~ 40℃ 范围内稳定工作,温度稳定性可达到 0.1℃,而其驱动电流则在 0mA ~ 200mA 范围内连续可调,且恒定驱动电流可在全程范围内稳定在 0.1mA。结果表明,所设计的控制器完全可以满足 SLED 的工作要求,满足了白光干涉系统对于光源的稳定性的需要。

**关键词:** 激光器;超辐射发光二极管;脉宽调制;比例-积分-微分算法;驱动电流连续可调

**中图分类号:** TP273 **文献标识码:** A

## Constant temperature control of the SLED underlying an adjustable driving-current

WANG Li-dong, SUN Chang-sen

(School of Physics and Optoelectronic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

**Abstract:** A variable constant-current driver was proposed for a super luminescent diode(SLED) to meet the constant-temperature working requirement. This method was carried out by a microcomputer, MSP430, combining with proportional-integral-differential(PID) algorithm and a semiconductor cooler. Driven by this controller, the SLED generated a stable output power and central wavelength. Experimental results demonstrated that the temperature accuracy of 0.1℃ was achieved when the environmental temperature changed from 10℃ to 40℃. The constant-driving current was stabilized at 0.1mA in the range from 0mA to 200mA. Thus, the driver can meet the demand of SLED application.

**Key words:** lasers; super luminescent diode; pulse-width modulation; proportional-integral-differential (PID) algorithm; adjustable constant-current driving

### 引言

随着光纤传感技术的发展,光纤传感理论日趋成熟。而一些光纤传感器也逐渐开始应用于实践,这又进一步促进了光纤传感技术的不断完善和发展。近年来,油井开采、各种大型桥梁及水坝对于安全性、高可靠性要求愈来愈高,使得光纤传感器应用到了更为广泛的领域<sup>[1-2]</sup>。F-P 光纤传感器、光纤光栅传感器等都在快速的发展。而各种光纤传感器的解调技术都是基于光波的特征参量:振幅、相位、波长等。这样就对光源的各种性质(波长、强度、振幅等)提出了很高的要

求。大功率半导体超辐射发光二极管(super luminescent diode, SLED)是最常用的光源。由于 SLED 的输出特性,如光功率、光谱分布等,受温度和驱动电流影响比较大, SLED 输出会随着温度和驱动电流的波动而发生变化,从而使得光纤传感器在测量使用中产生漂移,而使得测量结果受到影响。

温度是 SLED 稳定驱动无法回避的一个影响因素。SLED 的输出功率和光谱都会随着温度的波动而变化。输出功率会随着温度的升高而显著降低,光谱也会有所偏移。实验测试中温度为 25℃、驱动电流为 100mA 时,光源中心波长随温度的变化约为 385μm/℃。而且 SLED 本身,由于温度过高,也会损坏器件。因此,需要一个有恒流、恒温控制的,具有完善可靠的保护功能的驱动系统。SONG<sup>[3]</sup>等设计了一套基于 MSC51 系统的单片机驱动系统,但其电流的调节需要通过电脑软件设置,不能实现恒温的、连续的驱动电流调节。SUN<sup>[4]</sup>等针对此问题,也作了相关设计,

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30470416);大连市科技基金资助项目(2007A11GX023)

作者简介:王立东(1982-),男,硕士研究生,现主要从事光电子技术方面的研究工作。

\* 通讯联系人。E-mail: sunes@dlut.edu.cn。

收稿日期:2007-12-19;收到修改稿日期:2008-03-18

激光器的工作也达到了相关的要求。国外产品如美国 Thorlabs 公司的 ITC510 系列等皆可完成此功能,但价格昂贵。作者使用以 MSP430 为核心的数字控制技术和比例-积分-微分 (proportional-integral-differential, PID) 自动控制原理,实现了对 SLED 的温度的稳定控制,从而使得光源的性能有了明显的改善。

## 1 SLED 恒温恒流系统设计

### 1.1 系统设计

系统以 MSP430 单片机为核心,主要由温度测控电路和电流控制电路两部分组成,见图 1。温度测控

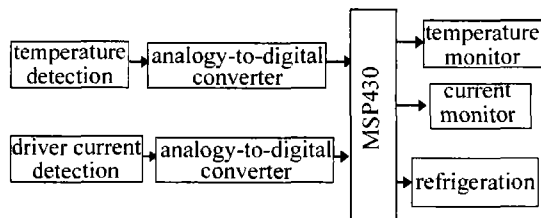


Fig. 1 Schematic of the system

电路由感温元件、电桥、仪表放大器、A/D 转换器、压控恒流源等部分组成,为 SLED 提供恒定的工作温度。电流控制电路主要由压控恒流源组成,为 SLED 提供稳定的驱动电流。

单片机软件的核心部分是 PID 控制算法、脉冲宽度调制、数值运算和通讯程序。程序设计重点是程序整体结构的设计。从软件角度采用了如下的措施来保证系统的可靠工作:(1)保护 SLED 在初始化程序中,如果 SLED 的工作温度高于设定温度,则不启动 SLED;(2)防止驱动电流瞬间突变对 SLED 产生的冲击,在开机或改变 SLED 驱动电流时,程序中采用了电流的慢启动设计;(3)采用数字滤波来抑制数据采集中的噪声。

### 1.2 SLED 驱动

驱动器的设计借鉴了集成运放负反馈型恒流源的基本结构,其基本的电路原理图如图 2 所示。图中  $R_1$

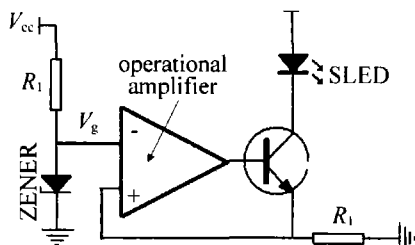


Fig. 2 The driving circuit of constant-current source

为采样电阻,ZENER 是稳压管,为运算放大器提供参考电压  $V_g$ ,流经 SLED 的电流为  $I = V_g / R_1$ ,说明稳流电源的输出由参考电压和采样电阻决定,当  $V_g$  和  $R_1$  确定,稳流电源的输出电流不受负载影响而保持稳定。在此采用复合管结构,由一只达林顿管 TIP122 和功率

管 UC508A 复合而成。对于采样电阻通常而言,影响其发生变化的主要是温度,所以应选择低温度系数的高精度采样电阻。电压放大器,电流稳定性和放大器有着直接的关系,在此选用 LM324 作为误差放大器。

### 1.3 PID 控制算法

这一部分是整个系统设计的重心,温度控制的核心部分。这里采用控制算式的数字 PID<sup>[5-6]</sup> 算法,写成积分分离形式为:

$$u(k) = K_p e(k) + \beta K_i \sum_{i=1}^k e(i) + K_d [e(k) - e(k-1)] \quad (1)$$

式中,  $e(k)$  是偏差,  $K_p, K_i, K_d$  分别为比例系数、积分系数、微分系数。

可以根据实际情况,设定一阈值  $\varepsilon > 0$ 。当  $|e(k)| \geq \varepsilon$  时,也即偏差值较大,采用 PID 控制,可避免大的超调,此时  $\beta = 0$ ;当  $|e(k)| < \varepsilon$  时,偏差值较小,采用 PID 控制<sup>[2]</sup>,可使系统的超调量大幅降低,此时  $\beta = 1$ 。

为对温度精确控制,对  $K_p, K_i, K_d$  做了细致的参量调试,优化,现给出对温度控制较好的一组参量  $K_p = 0.08, K_i = 0.001, K_d = 0.05$  时,可以使温度控制在  $0.1^\circ\text{C}$ 。

### 1.4 脉宽调制信号的产生

脉宽调制器 (pulse-width modulation, PWM<sup>[8-9]</sup>) 信号的产生是通过控制电压与调制电压比较实现的。调制电压的频率决定 PWM 信号的频率,而 PWM 信号对负载两端的电压进行控制,进而控制电压对脉宽实现控制。在控制电压与调制电压曲线的相交处,使 PWM 信号状态翻转,见图 3。

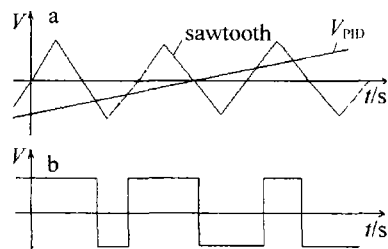


Fig. 3 The generation of the PWM signal  
a—triangle wave generated from an electronic generator b—output signal of PID

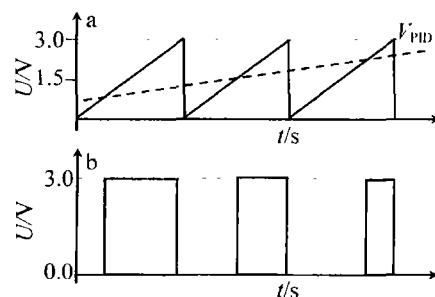


Fig. 4 The output of the PWM signal using the MSP430

所使用的 MSP430F147 单片机,其片内外设丰富。其 16 位定时器 A 和定时器 B 都是用途广泛的通用定时器/计数器。它们都可支持多种输出波形,见图 4。在此使用软件调试输出 PWM 信号来控制半导体致冷器以控制 SLED 的温度。

### 1.5 温度采集及滤波

温度数据采集部分是整个系统的重要的一部分,它是整个系统工作可靠性的重要依据,也是控制部分的依据。为对 SLED 的温度进行更加精确地控制在此采用的电路如图 5 所示,其中  $R_1 = R_2 = R_3 = R$ ,  $R_4$  是负

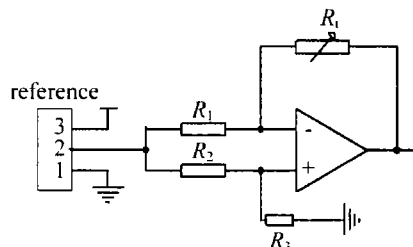


Fig. 5 Data acquisition of the temperature

温度系数的热敏电阻。通过计算可知:  $V_o = V_c (1 - R_4 / (R_3 + R_4))$ , 其中  $V_c$  为输入电压,  $V_o$  为输出电压。

然后通过 MSP430 单片机的 A/D 转换模块将数据采集到单片机中,然后利用数字滤波将数据进行处理。数字滤波方法可以滤除一些干扰信号,尤其对于滤除尖脉冲干扰。在数字滤波时,为避免在滤除干扰信号时将有用的信号滤掉,采用平均值滤波和中间值滤波相结合的方法,即中断中间隔一定的时间采集多个数据,然后比较得到中间的 4 个值,再对这 4 个值进行平均值滤波。这样既将干扰信号滤除,又保证了温度数据变化的及时获得。这种方法操作简单方便,效果明显。

### 1.6 制冷电路

所有的控制最后都离不开硬件电路来执行,在经过温度采集、数据线性化、PID 算法的运算之后由 D/A 转换器转换为模拟量,然后由执行电路执行。仔细分析电路的工作原理,如图 6 所示,其中  $R_1$  是半导体致

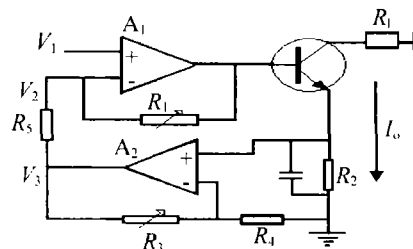


Fig. 6 The refrigeration circuit

冷器,利用虚短、虚断的定义及相关公式,可以推导<sup>[6-8]</sup>出  $V_1$  与  $I_0$  的关系:

$$I_0 = V_1 \left[ \frac{1}{R_2} - \frac{R_3 R_2}{(R_3 + R_4)} \right] \times \frac{(R_3 + R_4)}{(R_3 + R_4 + R_5)} \quad (2)$$

即输出电流和输入电压之间的线性关系。

## 2 实验结果

为对温度数据进行处理及分析,通过计算机数据采集系统采集相应的温度数据。图 7 是温度的长期稳定性的测试。测试时 SLED 的工作温度设为  $25^\circ\text{C}$ ,驱动电流  $100\text{mA}$ 。由图 7 可见,SLED 的温度快速达到设定的温度,并且长期稳定性小于  $0.1^\circ\text{C}$ 。

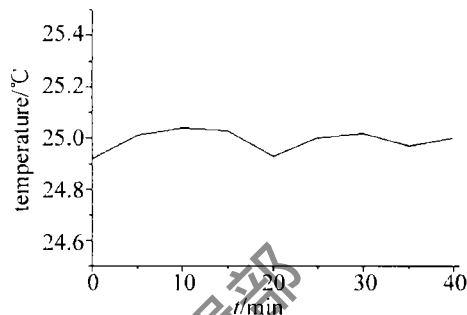


Fig. 7 The real-time data acquisition of the SLED's temperature

在对温度稳定性测试的同时,对电流稳定性也进行了测试。SLED 的电流长期稳定性在  $1\%$  范围内,同时 SLED 的输出功率稳定性为  $3\%$  左右。驱动电流为  $100\text{mA}$  时,SLED 光源的输出功率稳定性在  $1\mu\text{W}$ 。图 8 是 SLED 在环境温度为  $10^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$ ,  $30^\circ\text{C}$  驱动电流  $100\text{mA}$  时的光谱。显然,SLED 的输出光谱在环境温度为  $10^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$ ,  $30^\circ\text{C}$  时基本一致。此驱动与控温电路能够满足 SLED 的要求。

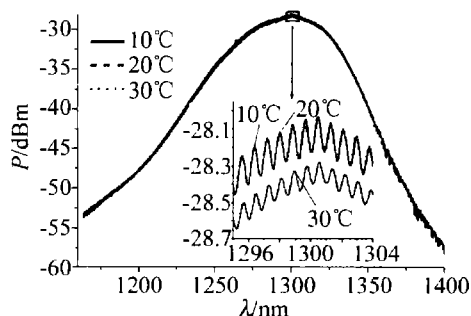


Fig. 8 The output spectrum of the SLED while the driving current is  $100\text{mA}$

由以上的测试可以看出,系统实现了恒温 and 恒流控制的设计指标,达到了实际应用中对于温度和电流高精度控制的需要,具有很好的长期稳定性,完全能够满足传感器系统对光源长期稳定性的要求。

## 3 结论

设计完成了 SLED 的电流连续可调的恒温恒流控制系统。采用单片机控制系统和 PID 控制算法,以及脉冲宽度调制方案,使得该系统能够高质量的控制 SLED 的温度与驱动电流,保证了 SLED 输出功率和输出光谱的稳定。实验结果验证,系统能够保证 SLED 长期稳定地运行,可以满足多数实验要求。

(下转第 86 页)

不存在波的叠加过程,此时在  $t = 15\mu\text{s} \sim 16\mu\text{s}$  时接收到激发的瑞利波的波峰极性为先正后负。在图 6b 中也可以看到  $R_i$  的波峰极性为先正后负,这是由线激光光源激发后直接沿圆柱表面传播的瑞利波;而沿相反方向传播的瑞利波被距离激发点很近的缺陷边缘反射后,根据声波的反射原理,当声波由金属传播至金属-空气界面时有  $p$  的位相损失,因此波峰极性变为先负后正,这是与  $R_i$  右侧相连的振幅较小的波形  $R_r$ ,它在图 6a 中并体现是因为缺陷距激发点距离较远,两个波仍有较大的空间距离,经理论计算,它应出现在  $t = 21\mu\text{s} \sim 22\mu\text{s}$  时。随着缺陷与激发点逐渐接近,如图 6c、图 6d、图 6e、图 6f 所示,  $R_i$  和  $R_r$  随之靠近并进行叠加,叠加过程遵循波的叠加原理,在图 6f 中可以看到,反射波的波谷与入射波的波峰叠加导致后者的波峰垂直位移减小。在图 6g 中,因此时激发的瑞利波全部经过的缺陷边缘的反射作用,有了整体的  $p$  的位相损失,所以波峰极性变为先负后正。

根据以上理论解释可知,当缺陷接近激光激发点时,入射波与反射波的距离就是缺陷和激光激发点之间距离的 2 倍,那么通过观察波形的转变可以精确的计算出缺陷的位置。

### 3 结论

设计了通过改变激光光源与缺陷的相互位置来检测缺陷位置的实验装置。在光源和缺陷的相互位置改变的情况下得到了不同的波形,通过观察入射瑞利波的情况以及计算反射瑞利波出现的时间可确定缺陷的具体位置。提出了峰-峰值的比较也可应用到无损检测中,通过极大值点判断缺陷的位置使检测具有更高

的灵敏度。除此之外,瑞利波极性的变化也是检测缺陷的一个重要依据。

### 参考文献

- [1] YUAN Y Q, CHEN S Z. Principles and applications of ultrasonic in modern times [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1996: 323 (in Chinese).
- [2] CLORENNEC D, ROYER D. Analysis of surface acoustic wave propagation on a cylinder using laser ultrasonics [J]. A P L, 2003, 82 (25): 4608-4610.
- [3] JIAN X, DIXON S, GUO N, et al. Rayleigh wave interaction with surface-breaking cracks [J]. J A P, 2007, 101 (6): 064906/1-064906/7.
- [4] GAO W, GLORIEUX C, THOEN J. Study of circumferential waves and their interaction with defects on cylindrical shells using line-source laser ultrasonics [J]. J A P, 2002, 91 (9): 6114-6119.
- [5] KROMINE A K, FOMITCHOV P A, KRISHNASWAMY S, et al. Laser ultrasonic detection of surface-breaking discontinuities: scanning laser source technique [J]. Materials Evaluation, 2000, 58 (2): 173-177.
- [6] KROMINE A K, FOMITCHOV P A, KRISHNASWAMY S, et al. Detection of subsurface defects using laser based technique [J]. Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, 2001, 20: 1612-1617.
- [7] GUAN J F, SHEN Zh H, XU B Q. Spectral analysis of the scattering waveform of the laser-generated ultrasonic waves for detecting the crack in the material [J]. Laser Technology, 2005, 29 (3): 287-290 (in Chinese).
- [8] GUAN J F, SHEN Zh H, LU J, et al. Finite element analysis of the scanning laser line source technique [J]. Japan J A P, 2006, 45 (6A): 5046-5050.
- [9] SHI Y F, SHEN Zh H, NI X W, et al. Finite element modeling of acoustic field induced by laser line source near surface defect [J]. Optics Express, 2007, 15 (9): 5512-5520.
- [10] XU B Q, SHEN Zh H, NI X W, et al. Finite element modeling of laser-generated ultrasound in coating-substrate system [J]. J A P, 2004, 95 (4): 2109-2115.

(上接第 76 页)

### 参考文献

- [1] HUANG Y W. TEC based thermostat system for high-power semiconductor laser [J]. Infrared and Laser Engineering, 2006, 35 (2): 144-147 (in Chinese).
- [2] JIANG H L. Design of thermostate system for high power semiconductor laser [J]. Semiconductor Optoelectronics, 2004, 25 (4): 320-322 (in Chinese).
- [3] SONG Sh D, YU Q X. The study of constant temperature and current control system for SLED [J]. Laser Technology, 2004, 28 (2): 193-195 (in Chinese).
- [4] SUN L F, TIAN X J. High precision PWM power amplifier based on thermoelectric cooler [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2004, 15 (9): 1026-1030 (in Chinese).
- [5] CHEN L. Precise constant temperature controller for high power laser diode [J]. Laser & Infrared, 1999, 29 (4): 249-252 (in Chinese).
- [6] DENG J. Research and design of high-power semiconductor laser diode driver [J]. Semiconductor Optoelectronics, 2003, 24 (5): 319-320 (in Chinese).
- [7] YUAN J G. Accurate controlling system for the output and frequency of laser diodes [J]. Laser Technology, 2006, 30 (6): 650-652 (in Chinese).
- [8] SUN D G. Study on the PWM driver circuit of LD for laser fuze [J]. Laser Technology, 2007, 31 (2): 217-219 (in Chinese).
- [9] 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).