

文章编号: 1001-3806(2004)02- 0193- 03

SL ED 光源的恒温恒流控制系统研究

宋世德,于清旭

(大连理工大学 物理系,大连 116024)

摘要: 采用以单片机为核心的控制电路和 PID 控制算法,对 SL ED 的温度和驱动电流进行高精度的控制,使工作温度可在 0℃~30℃设定范围内稳定到 ± 0.01 ℃以内,驱动电流在 20mA~200mA 设定范围内可稳定在 ± 0.02 mA 以内,满足了光纤传感系统对光源光谱分布和输出功率稳定性的需要。

关键词: 超亮度发光二极管;恒温;恒流;PID;单片机

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A

The study of constant temperature and current control system for SL ED

SONG Shi-de, YU Qing-xu

(Department of Physics, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: The stability of optical sources is required in many fiber optic sensor systems. This paper describes a high precision constant temperature and constant current control system for SL ED, which is based on a singlechip computer. The system is able to control the temperature variation within ± 0.01 ℃ and current drift under ± 0.02 mA by utilizing PID control algorithm, which meets the demands of the reliability and stability of the optical sources for sensor systems.

Key words: SL ED; constant temperature; constant current; PID; singlechip computer

引 言

采用低相干宽谱光源的白光干涉型光纤传感器和光纤光栅传感器具有灵敏度高、绝对测量和长期稳定性好等特点,近年来,得到了广泛的研究和应用^[1,2]。半导体发光二极管(LED)和超亮度发光二极管(SLED)是这些传感器中最常用的低相干宽谱光源,其中LED的输出光谱较宽,输出功率较小,与光纤耦合效率较低。SLED不仅输出光谱宽,而且输出功率可超过LED一个数量级以上,适用于单模光纤耦合输出。由于SLED的输出特性(如光功率,光谱分布)对温度和驱动电流非常敏感,会随着温度或者电流的波动而改变,从而会使某些光纤传感器系统产生漂移,降低测量精度和长期工作稳定性。同时,SLED是昂贵的半导体器件,如果工作温度过高或者驱动电流过大,超过器件的极限值,易损坏SLED,因此需要一个有恒温、恒流控制的,具有完

善、可靠的保护功能的SLED驱动系统。目前市售的工业温控器的控制精度一般比较低(大于 ± 0.1 ℃),并且只能使用标准的热电阻(铂电阻)和热电偶,不能满足SLED温度控制的实际需要。为满足光纤传感器系统对光源功率和波长稳定性的要求,作者采用以单片机为核心的数字控制技术和比例积分微分(proportional integral differential, PID)控制原理,实现SLED光源的高精度恒温、恒流控制,同时具有高性价比、易操作等优点。

1 SLED 1550D5A 的工作特性

SLED 1550D5A(opto speed)是由SLED、负温度系数(negative temperature coefficient, NTC)热敏电阻和半导体制冷器(TEC)构成的组件,热敏电阻可以准确的反映SLED的结温,通过半导体制冷器可以对SLED的结温进行准确控制。

图1是SLED的正向驱动电流与输出光功率的关系曲线。由图可见,在80mA~180mA范围内,驱动电流变化1mA,会导致SLED的输出光功率变化25μW左右。

基金项目:国家自然科学基金海外青年合作基金资助项目(60028505)

作者简介:宋世德(1974-),男,博士研究生,主要从事光电子技术方面的研究。

E-mail: peterssd@student.dlut.edu.cn

收稿日期:2003-04-01;收到修改稿日期:2003-05-19

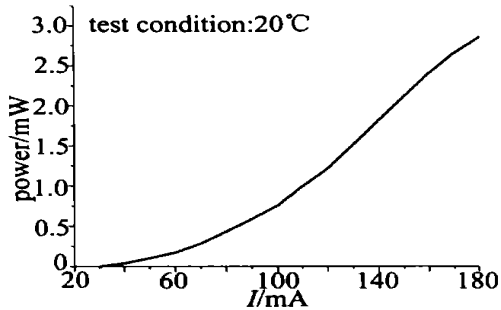


Fig. 1 The relation curve between output power and current

SLED 的输出光功率受温度变化的影响也很大,会随着温度的升高而明显降低,如图 2 中的实线所示。在 20 °C 附近, SLED 1550D5A 输出光功率的温度系数为 $-38.8 \mu\text{W}/^\circ\text{C}$ 。由图 2 中虚线所表示的中心波长与温度的关系曲线可以看出,温度的波动也导致 SLED 的光谱特性发生变化,使光谱的中心波长发生漂移。中心波长随着温度的升高向长波方向漂移,在 20 °C 附近约为 $0.56 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ 。

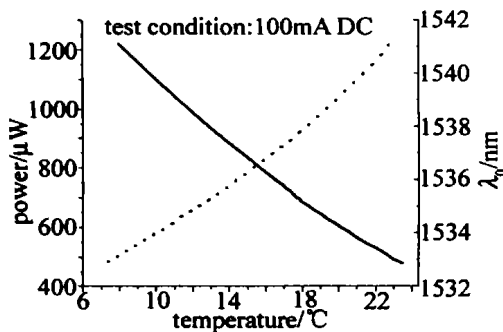


Fig. 2 The dependence of the emitted power and of the central wavelength on the thermistor temperature

因此,如果不施加恒温恒流控制, SLED 的输出光功率和中心波长都会随着温度和注入的电流的波动发生明显的漂移,这种漂移会直接影响光纤传感系统的稳定性和测量精度。

2 SLED 恒温恒流控制系统设计

2.1 系统设计

根据 SLED 的极限参数,系统控温范围为 $0^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$,驱动电流 $0 \text{ mA} \sim 200 \text{ mA}$ 。系统以 51 系列单片机为核心,主要由温度测控、电流测控这两大部分组成。温度测控部分由感温元件、电桥、仪表放大器、A/D 转换器、D/A 转换器、压控恒流源等部分组成,为 SLED 提供恒定的工作温度。电流测控系统是由运放、A/D 转换器、D/A 转换器、压控恒流源等部分组成,为 SLED 提供高精度的驱动电流。系统框图如图 3 所示。虚线框为 SLED 组件。

NTC 热敏电阻的阻值和绝对温度成指数关系,但在较小的温度范围内,可以近似看成直线。为了

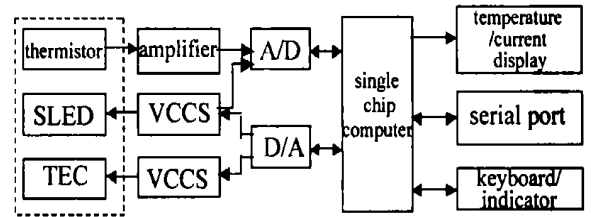


Fig. 3 Function block diagram of system hardware

减小线性拟合带来的误差,采用分段拟合的方法,即将 $0^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 的温度范围每隔 5°C 分一段,对每一段分别进行线性拟合。

将 SLED 工作温度所对应的电压信号转换成数字量送入单片机,后者采用变速积分 PID 控制算法,将运算结果通过数模转换器输出相应的电压信号控制可调电流源,调节 TEC 的制冷电流。通过 PID 调节,最终使 SLED 的工作温度稳定在设定值。另一方面,单片机通过数模转换器输出相应的电压信号到可控恒流源,调节 SLED 的驱动电流。为了方便各种参数设置和数据存储、分析和处理,控制系统还可以通过 RS-232 接口与 PC 机通信,通过上位机程序实时控制本系统。

单片机软件的核心部分是 PID 控制算法、热敏电阻的线性拟合、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和 RAM 资源的分配,同时从软件角度采用了如下的措施来保证系统的可靠工作:(1) 为了保护 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 的电流;(2) 为了保护 SLED,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;(4) 采取指令冗余、软件陷阱等软件容错设计来提高软件的抗干扰能力,防止单片机死锁或者程序跑飞。

2.2 PID 控制算法^[3]

PID 控制器是过程控制中广泛应用的一种自动控制器,它具有原理简单,易于实现,鲁棒性强,适用面广等优点。数字 PID 的基本的算法如下:

$$u(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{i=0}^k e(i) + K_d [e(k) - e(k-1)] \quad (1)$$

式中: $e(k)$ 为偏差,即测量值与设定值的差; K_p , K_i , K_d 分别为比例系数,积分系数和微分系数。

对于温度控制系统,采用位置式 PID 算法,对 (1) 式整理如下:

$$u(k) = K_p e(k) + [u_i(k-1) + K_i e(k)] +$$

$$K_d[e(k) - e(k-1)] \quad (2)$$

式中,

$$u_i(k-1) = K_i \sum_{i=0}^{k-1} e(i) \quad (3)$$

常规 PID 算法存在调节速度慢,积分项容易饱和,超调量大的缺点。为了提高控制的质量,对常规 PID 算法的积分项进行改进,采用了变速积分 PID,使积分系数随着偏差大小而动态修改。变速积分 PID 可以完全消除积分饱和现象,减小超调量,提高适应能力。PID 参数的确定对提高 PID 控制精度是至关重要的,可以通过实验优化确定。

3 实验结果

为便于分析和处理数据,测试通过计算机采集相应的实验数据,同时对系统进行实时的控制。图 4 是 SLED 工作温度的长期稳定性测试。测试开始时,环境温度为 18.4℃,SLED 的工作温度设定为 15℃,驱动电流为 100mA,昼夜温差 3℃左右。由图可见,由于 PID 控制算法的参数选择适当,SLED 的工作温度快速的达到设定的温度值,并且其长期稳定性(24h)小于 $\pm 0.01^\circ\text{C}$ 。由图 4 中的局部放大图

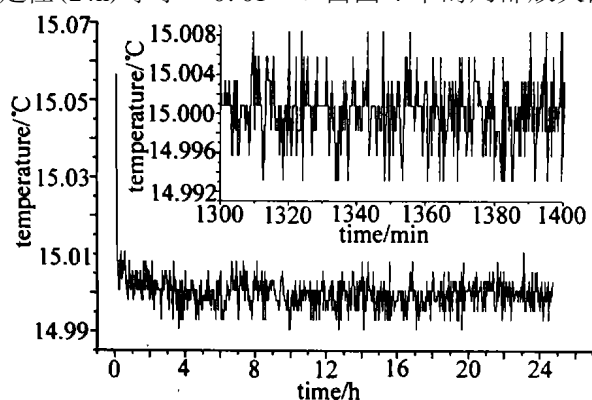


Fig. 4 Actual PID control effect for temperature

可以看出,该控温系统的短期温度稳定性(1h)小于 $\pm 0.008^\circ\text{C}$ 。由图 2 中 SLED 的温度特性可知,如果将 SLED 的工作温度设定在 20℃,单纯从温度波动的角度来分析,使用该系统可以将 SLED1550D5A 的中心波长稳定在 $\pm 0.0056\text{nm}$ 以内,输出光功率的波动小于 $\pm 0.388\mu\text{W}$ 。当 SLED 驱动电流为 100mA 时,输出光功率的波动仅为 0.1%。如果进一步对系统进行完善,如细致优化 PID 参数和滤波算法,选用分辨率高的模数转换器,使用高精度、低温漂的元器

件,减小热敏电阻的工作电流等措施,将会进一步提高恒温恒流控制器的控温精度。

在对温度稳定性测试的同时,对驱动电流的长期稳定性也进行了测试。测试结果表明,SLED 驱动电流的长期稳定性(24h)小于 $\pm 0.02\text{mA}$,短期稳定性(1h)则小于 $\pm 0.01\text{mA}$ 。如果 SLED 工作温度恒定在 20℃,则此电流波动可以使 SLED 的输出光功率波动小于 $\pm 0.5\mu\text{W}$ 。该系统通过深度的电压负反馈来实现恒流的目的,为达到很高的恒流精度,必须采用高精度、低温系数、低漂移的元器件。

在上述测试条件下,对 SLED 输出光功率短期的稳定性也进行了测试,在 15min 内小于 $\pm 0.01\text{dB}$ 。

由以上的测试可以看出,系统实现了恒温和恒流控制的设计指标,达到了实际应用中对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。

4 结 论

设计了一种高精度的 SLED 恒温恒流控制器。采用单片机控制系统和变速积分 PID 控制算法,通过对 PID 控制参数的实验优化,使该系统能够高精度的控制 SLED 的驱动电流和工作温度,保证 SLED 输出光功率和光谱分布的稳定,满足光纤传感测量对光源长期稳定性的要求。实验结果表明,该控制器长期运行稳定、可靠,控制精度高,操作方便,如果结合计算机使用,则可以灵活的处理数据、实现复杂的控制。如果对电路参数和设置做进一步调整,还可以同时测量和控制多路信号,作为一种通用的恒温恒流控制器,适用于其它对恒温或者恒流有较高要求的场合。

参 考 文 献

- [1] WANG D N, NING Y N, PALMER A W *et al.* IEEE Photon Technol Lett, 1994, 6(7): 855~857.
- [2] 李 川, 张以谟, 刘铁根 *et al.* 传感技术学报, 2001(2): 91~95.
- [3] 黄惟一, 胡生清. 控制技术与系统. 北京: 机械工业出版社, 2002. 66~80.