

可调谐激光器波长控制

田 军,高繁荣,颜 伟,陈 龙,许远忠

(光纤通信技术和网络国家重点实验室 武汉电信器件有限公司,湖北 武汉 430074)

摘要:文章介绍了可调谐激光器的波长调节及稳定控制的设计方法,并通过试验验证了其可行性。该设计由温度控制、偏置电流控制及锁波电路 3 部分组成,温度控制粗调波长,偏置电流控制微调波长,而锁波电路主要是针对外界温度发生变化时提供反馈。它适用于温度控制型分布反馈式 (DFB) 可调谐激光器的外围电路设计。

关键词:波长调节;稳定控制;热电致冷器;锁波

中图分类号:TN24 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-8788(2008)02-0044-03

Wavelength control of tunable lasers

Tian Jun, Gao Fanrong, Yan Wei, Chen Long, Xu Yuanzhong

(SKL of OCTN, Wuhan Telecommunication Devices Co., Ltd., Wuhan 430074, China)

Abstract: The design of wavelength tuning and stability control of tunable lasers is introduced and its feasibility verified by tests. The design scheme consists of temperature control, bias current control and wavelength locker circuits. The temperature control circuit is used for cursory tuning, the bias current circuit for fine tuning and the wavelength locker circuit for feedback of external temperature variations. It is applicable to the design of the driver circuit of the temperature control-based tunable DFB laser.

Key words: wavelength tuning; stability control; Thermo-Electric Cooler (TEC); wavelength locker

随着光通信网络传输容量的扩展,对波长数的需求越来越多,而目前光通信网络用的传统光源是固定波长激光器(LD),因此需要为每个波长信道匹配多个固定波长的 LD,这不仅导致 LD 类型和备份数量随波长数的增加而增加,还导致成本上升、管理复杂化和库存量增大。可调谐 LD 的出现,不仅解决了系统设计所面临的诸多问题,极大提升了光网络效率,还降低了生产及管理成本,并且使各种创新和灵活的设计成为可能^[1~3]。

可调谐 LD 从技术上可分为电流控制技术、温度控制技术和机械控制技术等类型。电控技术是通过改变注入电流实现波长的调谐;温控技术是通过改变 LD 所接触的外界环境温度来改变 LD 长度,从而达到改变输出波长的目的;机械控制主要是基于微机电系统(MEMS)技术完成波长的选择^[4]。

可调谐分布反馈式 (DFB) LD 是一种利用温度来调谐波长的激光器,也是已广泛部署的固定波长 DFB LD 的变体^[5]。与固定波长 LD 相比,其对波长控制精度的要求很高,波长误差必须 $<0.02 \text{ nm}$ ^[6],因此对可调谐 LD 波长调节和稳定控制的设计要求很高。

本文对温度控制型 DFB LD 的波长调节和温度控制电路进行了详细介绍和分析,并通过试验验证

了其性能。

1 基于温度控制的 LD 的基本特点

基于温度控制技术的 LD 的波长调节是通过控制 InGaAsP DFB LD 在 $-5\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内的变化实现的。模块内置有 Fabry-Perot 标准具(简称 FP 标准具)和光功率检测器,连续光输出的激光可被锁定在 ITU 规定的 50 GHz 间隔的栅格上。模块内有两个独立的热电致冷器(TEC),一个用来控制 LD 的波长,另一个用来保证模块内的波长锁定器和功率探测器恒温工作。模块还内置有半导体光放大器(SOA)来放大输出光功率^[4]。

这种控制技术的缺点是单个模块的调谐宽度不宽,一般只有几个 nm,而且调谐稳定时间也比较长,一般需要几秒^[4]。

2 总体电路设计

该可调谐 LD 的波长调节范围为 $1\,547.715\sim 1\,550.517 \text{ nm}$ (共 8 个通道),波长间隔为 0.4 nm (即信道间隔为 50 GHz),允许的波长误差为 $\pm 0.02 \text{ nm}$ (即锁定频率精度为 $\pm 2.5 \text{ GHz}$)^[6]。由于是温度控制型可调谐 LD,因此对外界温度的变化比较敏感,但为了能很好地控制其波长的变化,必

须对 LD 的外部和内部温度进行控制,使其温度保持恒定,同时也要对其偏置点的电流进行严格控制。本设计主要包括 3 个部分:温度控制电路、LD 偏置电流控制电路和锁波电路。总体设计框图如图 1 所示。

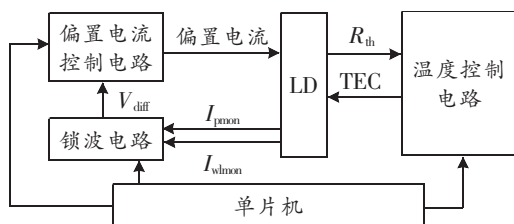


图 1 总体设计框图

波长调节主要由两个环节来完成,当需要调节波长时,首先通过单片机来调节温度控制电路中 LD 内部热敏电阻 R_{th} 对应的数字电位器的阻值,使其与对应波长的相应热敏电阻的阻值保持一致。由于电阻的阻值发生变化会使温控电路的电压产生差值,通过 TEC 驱动器将变化反映给 LD 内的 TEC,导致 LD 内部温度变化,达到对应波长所需的温度值。在改变 LD 内部温度的同时,还要改变 LD 的偏置电流,用单片机控制偏置电流控制电路,改变偏置点电压,使其电流值与对应波长所给的理论值(查表)保持一致,这时即能得到所需的波长。简单来说,调节热敏电阻的阻值对于改变波长来说是粗调,而更改其偏置电流是微调的过程。锁波电路主要是为了防止外界温度发生变化时波长发生变化而设计的。

3 详细电路设计

3.1 温度控制电路的设计

温控电路设计框图如图 2 所示。

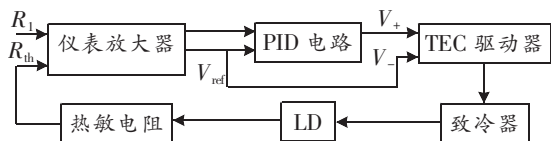


图 2 温控电路设计框图

当改变与热敏电阻对应的电阻阻值时, R_l (数字电位器) 和 R_{th} 组成的桥路发生变化,通过仪表放大器形成差分电压,差分电压经过比例—积分—微分(PID)控制电路后将电压送到驱动器,通过驱动器输出一定电压给 TEC,TEC 根据流过电流的方向,对 LD 进行致冷或加热,使 LD 温度稳定在所要求的值。LD 的温控系统必须满足控制精度高、温度稳定性好等要求,而且它必须是双向控制的,以适

应外界温度变化和 LD 工作条件的不确定性^[7]。

3.2 偏置电流控制电路的设计

偏置电流的控制在该电路中起着微调波长的作用,其主要设计框图如图 3 所示。

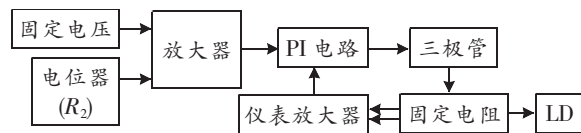


图 3 偏置电流控制框图

通过单片机调节电位器 R_2 两端的电压,经放大器的放大使得电位器两端电压和放大器输出端的电压相等。由比例—积分(PI)电路、三极管、固定电阻以及仪表放大器组成闭环控制。由于电位器的电压发生变化,则 PI 电路两输入端的电压不等,这时 PI 电路的输出电压也相应发生改变,通过三极管的电流放大,电流流向固定电阻,使得固定电阻两端电压也产生相应变化,经过仪表放大器将反馈结果传递给 PI 电路的输入端,通过这种闭环控制使得 PI 电路两输入端电压最终相等,此时固定电阻两端的电压和仪表放大器的输出以及电位器两端的电压均相等,所以改变 LD 的偏置电流可以通过改变电位器两端的电压来实现。

3.3 锁波电路的设计

锁波电路主要用在外界温度发生变化时,给偏置电流控制电路提供反馈,通过改变偏置电流大小来保持波长稳定。其设计框图如图 4 所示。

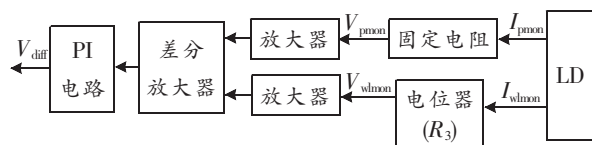


图 4 锁波电路设计框图

由于该 LD 是温度控制型 LD,因此波长对温度的变化比较敏感,这样对于温度控制的精度要求就比较高。但当外界温度急剧变化时,精度无法得到保障,这时就需要一个补偿电路来保证波长稳定。温度的改变会导致 LD 内部功率监控电流 I_{pmon} 和波长监控电流 I_{wlmon} 发生变化,同时它们的比值也相应发生改变,通过差分放大器将它们的差分电压传递给 PI 电路,输出一变化电压 V_{diff} 。我们曾将 V_{diff} 加入温度控制电路来补偿温度变化引起的 LD 内部温度的微小变化,但效果不佳,对波长的稳定控制作用不大。通过试验,我们将 V_{diff} 加入偏置电流控制电路,通过适当调节偏置电流,实现了将波长稳定控制在误差允许的范围。

4 试验方案及试验结果

4.1 试验方案

该可调谐 LD 的波长调谐间隔为 0.4 nm,误差允许范围为±0.02 nm,这对控制电路的精度要求很高^[6]。因此在试验数据测量的过程中,必须按一定的步骤进行,才能得到一组较为准确的数值,确保波长的调节精度。

试验测量的基本依据是可调谐 LD 的温度—热敏电阻—偏置电流—波长查询表。但该组数据只能作为参考,在以后的控制中需测量一组更为精确的数值来保证波长的稳定性。具体方法如下:在打开电源之前需断开锁波电路与偏置电流控制电路的连接,以避免调节过程中 I_{wlmon}/I_{pmon} 比值变化对偏置电流的影响,引起测量误差。打开电源,通过单片机调节与热敏电阻 R_{th} 对应的数字电位器 R_1 的值,使该阻值等于所调波长对应的热敏电阻的阻值;然后调节电位器 R_2 来改变偏置电流,根据查询表将偏置电流调到对应的值;再调节电位器 R_3 使得 V_{diff} 的电压值为 0。断开电源,将锁波电路与偏置电流控制电路相接,打开电源,观察波长计的波长,适当调节电位器 R_2 ,使得实际波长和理论波长最接近,记录此时 R_1 、 R_2 和 R_3 的阻值,即为该组波长对应的参量的测量值。通过同样的方式测量其他通道波长对应的参量,得到一组完整的测量值。

4.2 试验结果

根据测量的每个波长对应的参量值,通过单片机调节数字电位器 R_1 、 R_2 和 R_3 ,通过波长计观察均能得到所要的波长,从而证明了此波长调节电路的可行性。

验证了其波长调节后,还需对其锁波情况进行验证。根据之前测量的数据参数,通过调节温控电路中 R_1 和偏置电流控制电路中 R_2 的阻值,得到所需的某个波长点(以 1 550.115 nm 波长点为例)的温度和偏置电流,从而得到 1 550.115 nm 的波长。当外界温度发生变化时,LD 控制电路各参量的变化过程如下(假设此时经过温控电路的调节后 LD 内部温度稍微升高了一点):当 LD 内部温度 T 升高时,波长 λ 增大,但 T 升高也会导致 I_{wlmon}/I_{pmon} 比值减小,这样锁波电路的输出电压 V_{diff} 也相应减小, V_{diff} 的减小使得与偏置点相连的固定电阻的电压减小,也即偏置电流 I_{bias} 减小, I_{bias} 减小使得波长 λ 减小,这样就补偿了由于 LD 内部温度变化导致的波长变化,从而将波长控制在误差允许范围内。

具体验证的试验框图如图 5 所示。

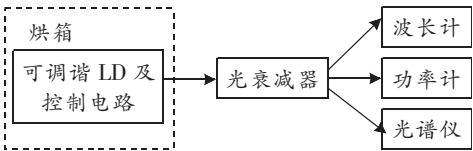


图 5 试验验证框图

通过烘箱改变 LD 的外界温度,观察波长计的波长变化情况,记录温度变化时所对应的波长值(见表 1),其波长随温度变化的曲线如图 6 所示。

表 1 不同温度对应的波长值

$T/^{\circ}\text{C}$	λ/nm	$T/^{\circ}\text{C}$	λ/nm
-5	1 550.527 9	0	1 550.525 8
10	1 550.523 2	20	1 550.517 6
25	1 550.516 7	30	1 550.519 9
40	1 550.520 4	50	1 550.518 1
60	1 550.513 7	70	1 550.513 6

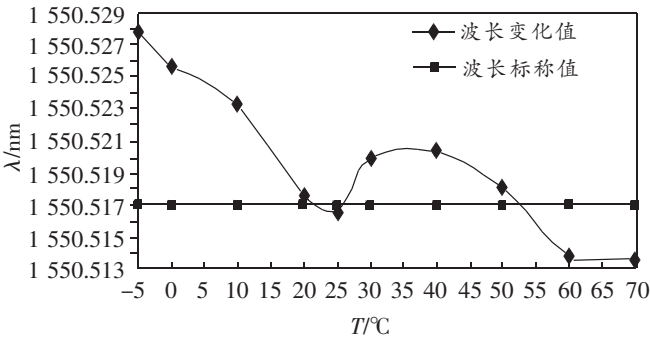


图 6 波长 λ 随温度 T 变化的曲线图

通过表 1 和图 6 我们可以很好地观察到波长与温度的对应关系。当外界温度发生改变时,波长会出现小的偏差,实际的标准波长为 1 550.517 0 nm,观察以上图表可知,波长最大值为 1 550.527 9 nm,最小值为 1 550.513 6 nm,误差均小于所要求的 0.02 nm。同时测量不同温度时的光功率,并保存相应的光谱图。图 7 为温度为 25 °C 时的光谱图。

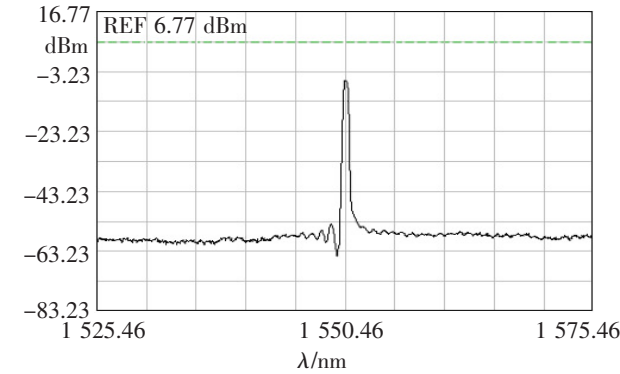


图 7 $T=25^{\circ}\text{C}$ 时的光谱图