

# 波长锁定器

作者：董旭光、杨睿、陈定康、刘军，光讯科技股份有限公司

目前，DWDM 系统光信道间隔由 100GHz 向 50GHz 甚至 25GHz 迈进，然而随着信道间隔的减小，系统对所使用的 DFB 激光器提出了越来越严格的要求。例如：信道间隔为 50GHz 时，工作在 10Gb/s 传输速率下的激光器的频率要求稳定在  $\pm 2.5\text{GHz}$ ，但是 DFB 激光器即使在工作条件如偏置电流、工作温度不变的情况下，也会漂移几十个 GHz。因此，有必要采用有效的波长稳定技术，提高激光器的波长稳定性。波长锁定器正适应此需求，是密集波分复用系统的关键器件。

## 波长锁定器原理

DWDM 系统常用的是分布反馈激光器 (DFB-LD)，激光器的激射波长和光栅节距应满足以下关系： $\lambda_L = 2n_{R,ef} \Lambda$ ，式中  $n_{R,ef}$  为等效折射率。通过改变温度从而改变有效折射率和光栅节距来改变激光器的发射波长。这样的激光器具有约  $0.1\text{nm}/^\circ\text{C}$  (或者  $12.5\text{GHz}/^\circ\text{C}$ ) 的波长温度漂移特性，为了使波长控制在  $\pm 2.5\text{GHz}$  范围内，需要  $0.1^\circ\text{C}$  的动态温度稳定性，这需要合理的激光器封装技术和温度控制技术。

一个典型的波长锁定器光路结构如图 1 所示，光输入到器件，被分成两部分，第一部分直接进入探测器 (PD1)，作为参考信号，第二路通过波长选择滤波器，进入第二个探测器 (PD2)，使用这两个信号比来产生一个误差信号用来驱动激光器的温度控制器，如果激光器的波长向短波漂移，则控制电路通过控制热电制冷器 (TEC) 来加热激光器芯片来补偿；反之，如果波长向长波漂移，则通过 TEC 致冷来补偿。

目前有三种波长锁定技术：

1、滤波片波长锁定器。通过镀有一定斜率的膜（类

似于带通滤波片的过渡带）的滤波片来测量波长的漂移，滤波片被放在一个探测器的前面，比较每个探测器的信号水平可以判定漂移的大小和方向，因此通过对激光器温度的适当控制结合从每个探测器产生的误差信号（正号或负号指明漂移的方向，幅度与漂移的量成比例关系）来驱动激光器的制冷器是加热还是制冷，从而达到对激光器波长的锁定。由于滤波片设计固定，因此该方案只能对一个事先设计好的波长进行锁定，每个波长都需要专门设计，使用很不灵活，不具有通用性。

2、衍射光栅型波长锁定器。该方法类似于滤波片

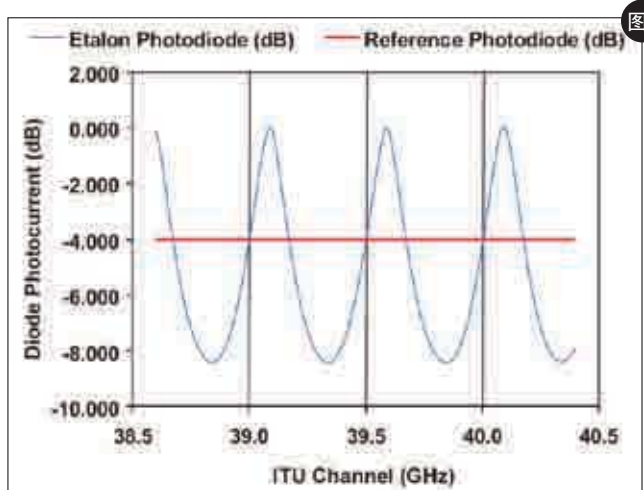
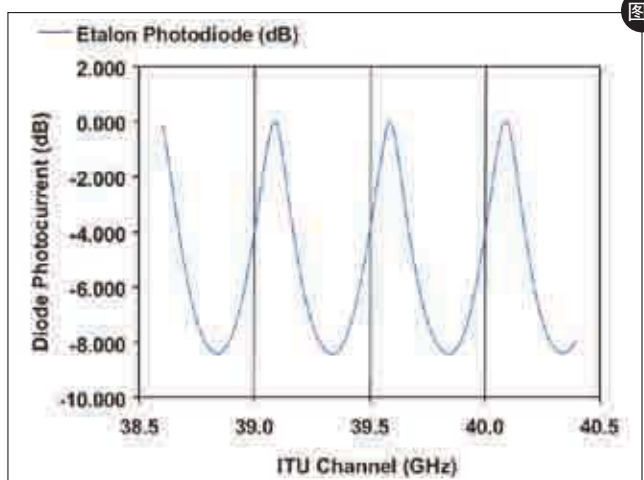
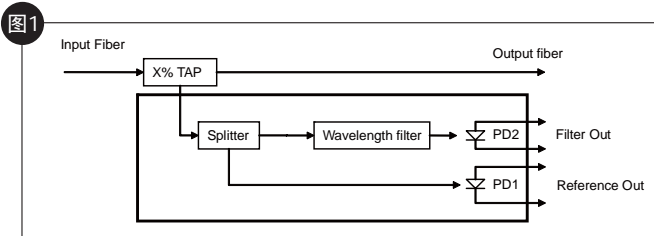
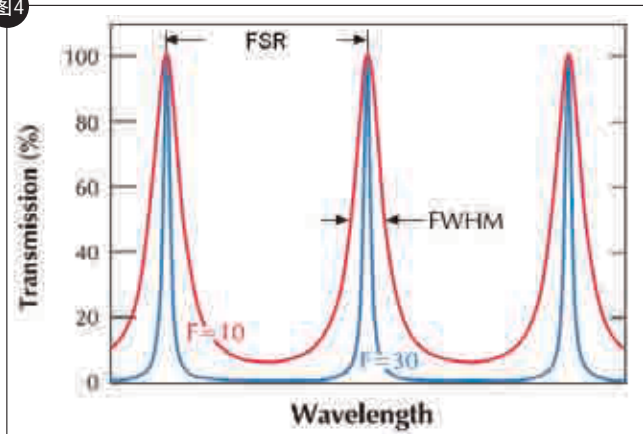


图4



型波长锁定器，使用光栅产生两路光，用定位放置的探测器截取折射的光，如同干涉滤波片型，当激光器的波长发生飘移，根据飘移的方向不同，其中一个探测器探测的信号增加，而同时另一个探测器减小。同样，光栅型只能对单一的波长进行锁定且必须采用温度控制，避免由于温度的变化导致光栅波长的飘移。

3、空气隙 F-P (Fabry-Perot) 标准具型波长锁定器。该种技术方案的工作方式与其它方案有一些不同。它是由一对镀有部分反射膜的平板玻璃和平行的间隔部件组成(形成空气隙，固体隙标准具具有温度特性不良和色散的问题)。光输入到标准具，在两个平板玻璃都产生反射，产生相长(相消)干涉图形(图2)。这个由标准具产生的波长相关的干涉信号与参考光信号进行比较(图3)，这类类似于滤波片型波长锁定器的方法，通过两者的误差信号用来控制激光器的温度，进而调整和稳定到需要的波长。

空气隙标准具透射响应曲线的形状(图2)取决于两个反射表面的间隔和反射率，改变间隔将改变标准具

图5



的自由光谱范围 (FSR, 自由光谱范围是由透射的峰值点的间隔来定义的, 可以是波长或者频率)。FSR (nm) =  $\lambda^2/2nd$ , n 是空气隙的折射率, d 是空气隙的厚度, 透射谱带宽 FWHM=FSR/F (FWHM: 半高全宽), FSR 确定了之后, 透射峰的陡峭程度由标准具的反射 F (Finesse) =  $\pi R^{1/2}/(1-R)$  决定, R 为空气隙两个面的反射率, F 越大, 透射峰越陡峭(图4), 带宽越窄。标准具的透射率由下式给出:  $T=1/(1+4R*\sin^2(\delta/2)/(1-R)^2)$ ,  $\delta=2\pi nd\cos\theta/\lambda$ ,  $\theta$  是输入光的入射角。因此, F 值小的标准具随着波长的变化给出小的信号变化, 反之, 大 F 值的标准具在波长变化相同的时候给出较大的信号变化, 其大小的选择由使用锁定器的控制电路决定。对于大多数的应用, 锁定点设置在透射曲线的线性或对数线性中间的部位, 这样不论波长往那边漂移, 探测器会给出线性的响应变化信号, 当然, 也可以将锁定点设置在响应曲线的峰值, 但这时候必须选用合适的算法确定漂移的方向。

该种波长锁定器的优点是能够产生连续的滤波曲线覆盖整个 ITU-T 建议的工作波长, 也就是一种器件可以在整个工作波长范围内, 而这是滤波片型和光栅型所不能的。通过优化的封装设计技术和选用温度稳定的间隔部件材料, 可以较容易实现在整个工作温度范围内精确的标准具间隔, 而锁定器本身不需要任何的温度控制电路, 就可以达到  $\pm 2.5\text{GHz}$  的锁定精度, 完全可以满足 50GHz 甚至 25GHz 的锁定精度要求(增加温度补偿), 是目前主流的技术方案。

### 标准具型波长锁定器的技术指标

一个典型的空气隙 F-P 标准具型波长锁定器能够实时监控波长的变化。其技术指标包括 全温度锁定精度、锁定范围、锁定点斜率、探测器的响应度、工作电压、工作电流、工作温度、储存温度、工作湿度、储存湿度、外观尺寸等。

目前生产该类型波长锁定器的厂商包括 JDSU、

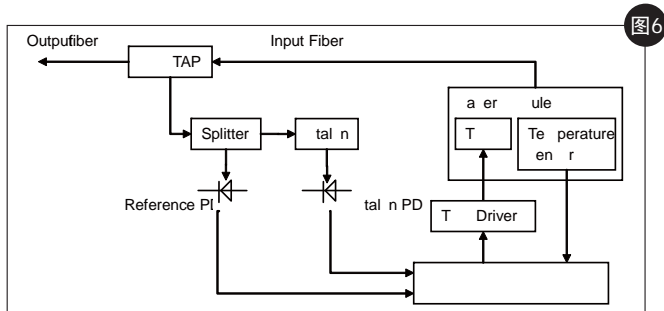


图6

延迟是需要考虑的重要参数。在对时间敏感的业务如金融交易中，节约一微秒都是很关键的。

## 性能

当今的系统厂商使用多种收发器。除了固定结构外，还有几种可插拔的结构，如 SFP、XFP、XENPAK 等。10Gbps（也包括 10.7 和 11.1 Gbps）收发器使用雪崩光电二极管接收器，典型的接收灵敏度是 -24dBm（使用标准的前向纠错、无误码）。典型的最小输出功率为 0dBm (EOL)。

计算链路损耗预算必须考虑在最大允许色散时的色散损耗。在 1600ps/nm 时的典型损耗值是 2dB，对应大约 90km 的标准单模光纤。还有，现今的光纤已经非常好了，因此可以假设光纤损耗为 0.22dB/km。采用这些假设，我们将得到由最大允许色散所限制的最大传输距离是 90km。

在线路中加入 DCM-PC 提供色散补偿后，就可以忽略色散损耗，然而必须考虑 DCM-PC 的插入损耗，两个效果相加后，可将受损耗限制的传输距离延长至 109km。这多出来的 19km 在许多应用中是至关重要的。注意，使用传统的 DCF 是达不到同样效果的，因为其插入损耗很大。

有些系统厂商有更好的收发器，例如：接收灵敏度为 -27dBm、最小输出功率为 3dBm、在 1600ps/nm 时的功率损耗为 3dB。如果用这样的收发器，就有下面的比较结果：没有 DCM-PC 时传输距离是 90km，有 DCM-PC 时是 136km。换句话说就是，DCM-PC

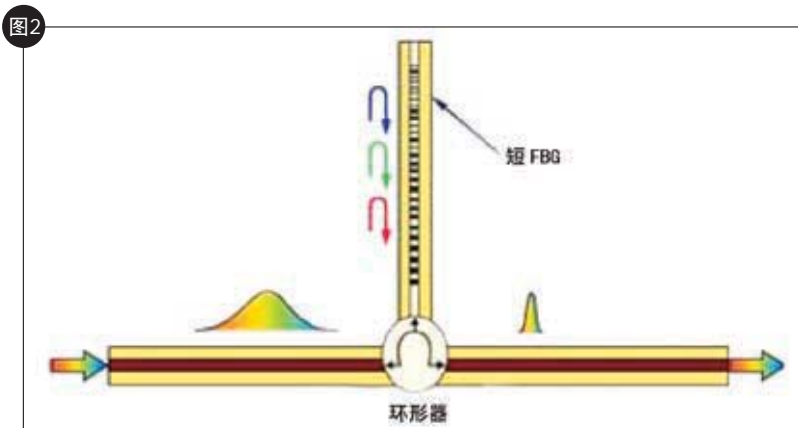


图2 FBG色散补偿原理。

延长了 46km 的传输距离。

总之，DCM-PC 在单信道应用中延长了相当可观的传输距离，同时使系统设备布局更灵活，还降低了成本。DCM-PC 在 10G 和 40G 收发器混合存在的系统中也很有用，它能纠正 10G 色散图。LWC

上接第24页

PHOTOP、光讯等，图 5 为光讯开发的锁定器。

根据 DWDM 系统中光通道的波长间隔，规格型号上被分 25GHz、50GHz、100GHz，其中 50GHz 是目前比较常规的一种型号，25GHz 的锁定器要求较高，但它是系统发展的必然方向。从可锁定波长范围来看，主要可分为 C 波段或者 C+L 波段。

评估一个波长锁定器的最重要指标是锁定精度 (Center Channel Accuracy)，50GHz DWDM 系统要求达到  $\pm 2.5\text{GHz}$  的精度，而 25GHz 系统则要求达到  $\pm 1.25\text{GHz}$  的精度，需要采用温度补偿才能满足，现在的器件都提供温度传感器输出，以便实现温度补偿。

## 标准具型波长锁定器的应用

标准具型波长锁定器可以用于 DWDM 发射机的精密

波长锁定，也可以用于信道功率监控、可调谐激光器的波长控制等。

在 DWDM 系统里，要对每个通道的激光器波长进行监控和精确锁定 (图 6)；同时，DWDM 系统的保护通道 (如 1: N) 通常用的是可调谐激光器，需要用波长锁定器将波长调谐并锁定在故障激光器所在信道的波长上 (控制方式与普通 DFB 激光器不同)，从而快速准确的实现对信道的保护。

## 小结

DWDM 系统由 100GHz 向 50GHz、25GHz 迈进，波长的稳定和准确性对系统的稳定性和可靠性越来越重要，空气隙 F-P 标准具波长锁定器具有通用性好、温度稳定性好、锁定精度高等优点，应用越来越广泛。LWC