

# 共腔稳频光源系统的研制

张洪喜, 朱兴邦, 刘超, 朱云波

(中国电子科技集团公司 第四十一研究所, 山东 青岛 266555)

**摘要:**介绍了共腔稳频光源系统的设计原理,该系统可以产生经过稳频的本振光和可以大范围调谐的信号光作为标准信号,用于校准光调制分析仪的带宽、通道时延等参数。该光源系统中的本振激光器采用PDH稳频方法锁定到F-P超稳腔上,信号激光器采用偏频锁定的方法锁定到本振激光器上,最终实现将本振激光器和信号激光器的频率都锁定到超稳腔上。

**关键词:**激光器; 稳频; 共腔; 光调制分析仪; 带宽

**中图分类号:** TN248.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2018)04-0044-03

**DOI:** 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2018.04.012

## Development of the common cavity frequency stabilization source system

ZHANG Hongxi, ZHU Xingbang, LIU Chao, ZHU Yunbo

(The 41th Research Institute of CETC, Qingdao Shandong 266555, China)

**Abstract:** This paper introduces the design principle of the resonant frequency source system, which can generate the stabled frequency signal and the wide range of tuned signal light as the standard signal, the standard signal can be used to calibrate the bandwidth and channel delay of the optical modulation analyzer. The local oscillator laser in the light source system is locked to the F-P cavity by the PDH frequency stabilization method. The signal laser is locked to the local laser by the method of partial frequency locking, and the frequency of the local laser and the signal laser are finally locked to ultra-stable cavity.

**Key words:** lasers; frequency stabilization; common cavity; optical modulation analyzer; bandwidth

### 0 引言

光调制分析仪用于测量复杂相位调制光信号的质量,是高速光网络领域的主要测试设备,其主要性能参数有误差矢量幅度(EVM)、带宽和通道时延等。目前光调制分析仪的计量校准研究存在较大缺口,国内有学者从产生带初始调制误差的标准信号角度入手,提出了基于连续波、调幅调相波来对矢量调制信号进行模拟的方法校准EVM;也有学者提出用可以准确设置输出信号调制误差的标准装置校准EVM。但這些方法用到的校准源都没有实现对激光噪声的有效抑制,不能消除校准源对测量结果的影响,测量结果不确定度大,只能测出近似的本证EVM,而该值大于仪器相应指标,不能真正实现对光调制分析仪本证EVM的校准。

收稿日期:2017-12-12。

作者简介:张洪喜(1973-),男,高级工程师,主要从事光电子技术科研项目研究方面的工作。

激光器主动稳频技术可以产生超窄线宽、低噪声和高频率稳定度的激光输出,广泛应用于光频标、精密相干检测和激光雷达等诸多领域。针对光调制分析仪的计量需求和以往校准源对测量结果有较大影响这一现状,我们可以利用激光PDH稳频技术和偏频锁定技术产生经过稳频的本振光和可以大范围调谐的信号光作为标准信号,有效抑制激光噪声对测量结果的影响,实现对光调制分析仪本证EVM的校准,解决复杂相位调制光信号的计量难题。基于此,本文对共腔稳频光源系统进行研制。

### 1 系统方案原理

共腔稳频光源系统主要由本振激光器、信号激光器、PDH参考稳频装置和偏频锁定装置等组成,系统原理示意图如图1所示。其中本振激光器采用外腔半导体激光器(ECDL);信号激光器采用可调谐激光器,其波长范围为1528~1630nm。

共腔稳频光源系统的工作原理如下:本振激光器利用电光调制器(EOM)作为频率调制手段<sup>[1]</sup>,采用F-P超稳腔作为参考腔,通过PDH方法获

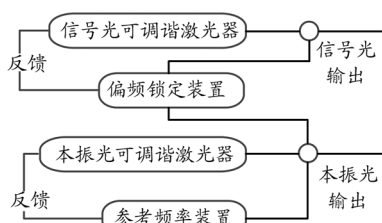


图1 共腔稳频光源系统原理示意图

得频率误差信号,反馈控制本振激光器的驱动电流和压电陶瓷,使本振激光器锁定到参考超稳腔上,保证本振激光频率的稳定性。本振激光器锁定后,通过偏频锁定的方法<sup>[2]</sup>把信号激光器锁定到本振激光器上;本振激光分出一部分信号和信号激光的一部分进行合束,合束后的激光经过偏振调节后,进入高速探测器;探测器能够响应宽带信号并放大输出,与偏频锁定本振微波信号进行混频,得到相位误差信号,反馈控制信号激光器的驱动电流和压电陶瓷,完成宽带锁定。最终实现将本振激光器和信号激光器的频率都锁定到参考超稳腔上。

## 2 系统方案设计

### 2.1 本振激光器 PDH 稳频设计

本文通过把本振激光锁定到参考频率上,产生高频率稳定度的激光输出。采用PDH稳频技术实现本振激光的锁频,将本振激光锁定到参考频率标准上。参考频率装置为超稳腔,具有较高的精细度和稳定性,参考频率标准为光学谐振腔的共振频率<sup>[3,4]</sup>。

本文采用的激光PDH稳频技术原理图如图2所示。激光出射光经射频电光相位调制,产生边带光谱,入射到F-P超稳腔后,超稳腔具有良好鉴频特性的色散型谱线,使调制光谱边带与载波进行拍频。通过外差探测技术,鉴频得到激光频率与F-P腔共振频率的误差信号,将此误差信号适当放大后和射频参考信号一起输入到平衡混频器。最后通过伺服控制器反馈控制激光器上的压电陶瓷,调节激光器腔长,从而将激光频率锁定在参考腔谐振频率上,实现对激光的稳频。

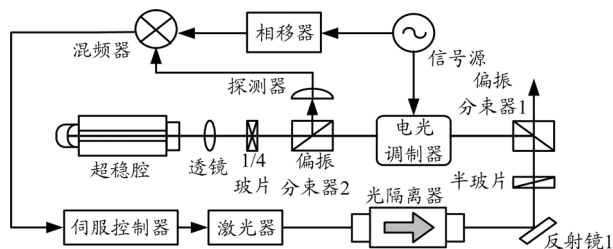


图2 PDH 稳频技术原理示意图

本设计中本振激光器的线宽压缩采用PDH技术获得频率误差信号。本振激光器的PDH稳频示意图如图3所示。采用外腔半导体激光器作为激光源,利用电光调制器作为频率调制手段,得到调制边带,注入到超稳腔中(超稳腔是精细度为250000的F-P腔)。超稳腔的反射信号被高速光电探测器接收,并与EOM调制信号的本振进行混频,得到本振激光器频率的误差信号(相对于超稳腔模式)<sup>[5]</sup>,输入到比例、积分、微分(PID)伺服控制器。频率伺服控制器包括两个环路,快环反馈控制本振激光器的驱动电流,慢环反馈控制本振激光器的压电陶瓷。最终实现本振激光器的频率锁定到参考F-P超稳腔上。

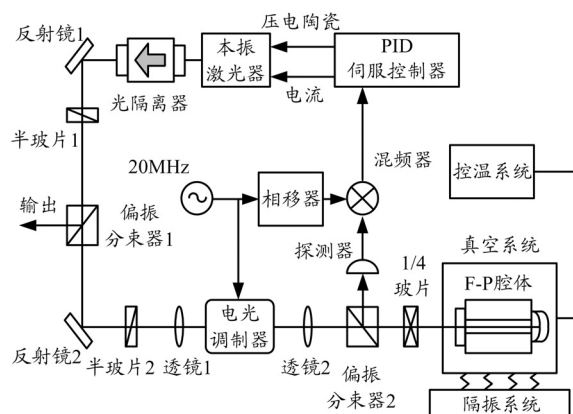


图3 本振激光器 PDH 稳频示意图

为了保证超稳腔频率的稳定性,需要通过有限元分析的方法,对超稳腔的支撑方式进行模拟计算,得到最佳的支撑点,使得超稳腔的腔长对振动噪声不敏感。为了隔离声音、振动和温度噪声对超稳腔频率的影响,需要设计高真空系统,真空度达到E-7 Torr量级,并且设计多层温度控制系统,保证参考腔的温度漂移最小。

本文建立参考腔的真空控温系统来隔离周围环境对腔长的影响。整个本振激光系统除了激光驱动源等电子学系统外,其它都集成到一个90cm×60cm×2cm的光学面包板上,实现模块化设计,方便以后的调整和替换等操作。该光学面包板放置在被动隔振平台上,进一步削弱振动对腔长的影响。

### 2.2 本振激光器、信号激光器偏频锁定设计

偏频锁定技术是实现两支激光器输出频率相对稳定的有效方法。该技术是将两支激光器输出的激光在高速探测器中进行混频,探测器输出一个差频信号,其频率为两激光束频率之差,该差频信号经宽带射频放大器放大后送到鉴频器。鉴频器的作用是将输

入差频信号和预设的偏置频率值进行比较,产生一个正比于这两个数值差的误差信号,频率调节系统利用该误差信号控制其中某一支激光器的腔长,把它们的差频信号锁定到预设的偏置频率上。

本设计的偏频锁定是采用本振主动稳频激光器和一支被动稳频激光器,利用频率测量和反馈技术,通过调节被动稳频激光器的频率,使两束激光的频率差保持相对稳定。项目中本振激光器锁定之后,通过偏频锁定的方法,把信号激光器锁定到本振激光器上。本振激光器、信号激光器偏频锁定的基本原理如图4所示。本振激光分出一部分信号和信号激光的一部分进行合束拍频,合束后的激光经过偏振调整器进行偏振调节后,进入高速探测器。探测器能够响应0.1~40GHz的信号并放大输出,放大后的信号与偏频锁定本振微波信号进行混频,得到信号激光器的相位误差信号(相对于本振激光器)。然后通过宽带PID控制器反馈控制信号激光器的驱动电流和压电陶瓷,压缩信号激光器的相位噪声,实现把信号激光器的频率锁定到本振激光器上的目的。偏频锁定本振微波信号的相位可以调节,从而实现本振激光器和信号激光器间相位可调。

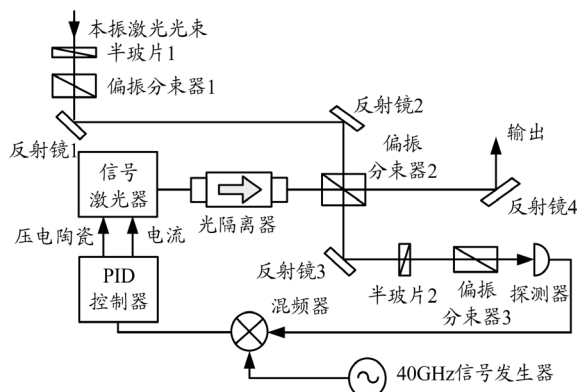


图4 本振激光器、信号激光器偏频锁定示意图

本文设计的偏频锁定系统具有以下特点:频带较宽、鉴频带宽较宽,能够实现宽范围的扫频;鉴频精度高,保证了锁频精度满足外差测量精度的要求,从而实现快速的反馈控制;可以实现自动扫描搜索功能,确保了系统工作的稳定性,不易失锁。

在剩余相位噪声很小时,信号激光器的线宽完全跟随本振激光器。偏频相位锁定的优点就是灵活,信号激光器与本振激光器之间的频率偏差可以通过一个本地频率参考来设置,频率偏移的范围非常大,而且设置方便。该特性对于需要快速大范围改变频率的系统来说是非常重要的。

### 3 频率稳定性测量验证

本文通过拍频方法测量验证本振激光器和信号激光器的频率稳定度。本振激光器锁定后,将它和另一台高稳定 $1.5\mu\text{m}$ 激光器进行拍频测量<sup>[6]</sup>。由于该高稳定激光器的频率稳定度为 $1\times 10^{-15}$ 量级,因此它们之间相互拍频测量结果的阿伦方差反映的是本振激光器的频率稳定度。实验测得本振激光器的频率稳定度为 $2.3\times 10^{-14}$ 。

测量、验证信号激光器的频率稳定度的方法如下:信号激光器锁定后,通过分析本振激光器和信号激光器之间拍频信号的频率稳定度和相位噪声<sup>[7]</sup>,评估偏频锁定效果和信号激光器相对于本振激光器的频率稳定度。实验测得信号激光器相对于本振激光器的频率稳定性为 $6\times 10^{-15}$ 。

### 4 结束语

本文研制的共腔稳频光源系统性能优异,输出的本振光和信号光实现了小的频率波动,并且信号光可以实现40GHz的连续扫频,抑制了激光噪声对测量结果的影响,研制出了真正意义上的校准源,完全满足校准高性能光调制分析仪的误差矢量幅度、带宽和通道时延等参数的需求,为下一步校准光调制分析仪奠定了基础。可以预见,随着项目进展,我们的研究能够实现光调制分析仪本证EVM、带宽等参数的校准。

### 参考文献:

- [1] WHITTKER E A, GEHRTZ M, BJORKLUND G C. Residual amplitude modulation in laser electro-optic phase modulation [J]. J. Opt. Soc. Am. B, 1985, 12(8): 1321-1324.
- [2] SUN Xutao, CHEN Weibiao. Theoretical study on laser frequency stabilization in reference to Fabry-Perot cavity [J]. Acta Photonica Sinica, 2007, 36(12): 2219-2222.
- [3] DREVER R W P, HALL J L, KOWALSKIET F V, et al. Laser phase and frequency stabilization using an optical resonator [J]. Appl. Phys. B, 1983, 31(2): 97105-97107.
- [4] ERIC D. Black. An introduction to pound-drever-hall laser frequency stabilization[J]. Am. J. Phys., 2011, 69(1): 7987-7989.
- [5] 毕志毅, 罗明, 丁晶新, 等. 微型Nd:YVO<sub>4</sub>激光器在碘分子调制转移光谱中的应用[J]. 光学学报, 2000, 20(12): 1699-1703.
- [6] EICKHOFF M L, HALL J L. Optical frequency standard at 532nm [J]. IEEE Trans. Instrum. Meas., 1995, 44(2): 155-156.
- [7] HALL J L, MA J L, TAUBMAN M, et al. Stabilization and frequency measurement of the I2-stabilized Nd:YAG laser [J]. IEEE Trans. Instrum. Meas., 1999, 48(2): 584-586.