

基于差频原理的声光移频器

朱吉,傅礼鹏,吴中超,王智林

(中国电子科技集团公司第26研究所,重庆400060)

摘要:描述了声光移频器的特点及应用,依据一般声光移频器移频频率大于20 MHz的局限性,提出了一种基于差频原理的声光移频器,介绍了其工作原理、光路设计及电路设计,在1550 nm波长下,得到了衍射效率 $>60\%$,移频频率 ± 1 MHz,频率稳定度优于 $10^{-6}/2$ h的测试结果。

关键词:差频;声光移频器;衍射效率;移频频率

中图分类号:TN253 **文献标识码:**A

The Acousto-Optic Frequency Shifter Based on the Principle of Beatnote

ZHU Ji, FU Lipeng, WU Zhongchao, WANG Zhilin

(26th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

Abstract: The characteristics and applications of the acousto-optic frequency shifter is introduced in this paper. Aiming at the limitations of conventional acousto-optic frequency shifter with shifting frequency of larger than 20 MHz, a novel acousto-optic frequency shifter based on the difference frequency principle is proposed. Its operating principle, optical path design and circuit design are introduced. The test results show that the diffraction efficiency of larger than 60%, shifting frequency of ± 1 MHz, and frequency stability of better than $10^{-6}/2$ h have been obtained at the wavelength of 1550 nm.

Key words: beatnote; acousto-optic frequency shifter; diffraction efficiency; shifting frequency

0 引言

声光移频器的主要作用是将激光工作频率在原有基础频率上进行移动,它具有频移精度高,稳定性可靠,使用方便等特点,应用于外差检测、测速、光学陀螺等领域,也可通过倍频或差频技术获得不同频率的应用。声光移频器应用于多普勒测速^[1],不但能判断风速,还能确定风向,根据风速及风向对飞行目标进行修正,能提高定位精度。一般的声光移频器基于声光器件理论,其移频频率大于20 MHz,本文利用差频原理,设计了一种衍射效率 $>60\%$ 、移频频率1 MHz、频率稳定度优于 $10^{-6}/2$ h的声光移频器。

1 原理

1.1 声光移频器原理^[2]

图1为声光移频器的工作原理。图中, ω_1 为移频频率。声光移频器利用激光通过声光晶体发生衍射时,衍射光会产生频移,且 ω_1 通过驱动器输入射频信号频率的原理来实现频移。声光移频是以激光

为载体,通过声光移频器把移频信号加到载波上的过程。图中 ω_0 为入射光频率。

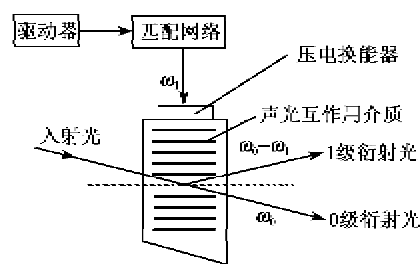


图1 声光移频器的工作原理

1.2 移频信号的检测

图2为移频信号的外差检测原理,从激光器出射的光波函数 I_0 为

$$I_0 = E_0 \cos(\omega_0 t + \theta_0) \quad (1)$$

式中: E_0 为光波函数幅度值; θ_0 为光波函数初始相位。 I_0 经过分光片后得到的光波函数为

$$I_1 = E_1 \cos[(\omega_0 \pm \omega_1)t + \theta_1] \quad (2)$$

式中: E_1 为光波函数幅度值; θ_1 为光波函数相位。

收稿日期:2013-12-06

作者简介:朱吉(1981-),男,四川乐山人,工程师,主要从事声光技术的研究工作。E-mail:77963595@qq.com。

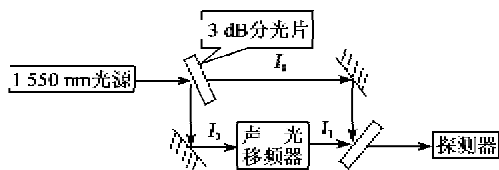


图2 外差检测原理

由于光检测器是以两者之和的二次方作为输出,即

$$I = |I_0 + I_1|^2 = |\tilde{E}_0 \cos(\omega_0 t + \theta_0) + \tilde{E}_1 \cdot \cos[(\omega_0 \pm \omega_1)t + \theta_1]|^2 = \tilde{E}_0^2 + \tilde{E}_1^2 + 2|\tilde{E}_0 \tilde{E}_1 \cos(\omega_0 t + \theta_0) \cdot \cos[(\omega_0 \pm \omega_1)t + \theta_1]| = \tilde{E}_0^2 + \tilde{E}_1^2 + \tilde{E} \cos[(2\omega_0 \pm \omega_1)t + \Delta\theta_1] + \tilde{E} \cos(\pm \omega_1 t + \Delta\theta_0) \quad (3)$$

式中: $\tilde{E}_0^2, \tilde{E}_1^2$ 为直流项; $\tilde{E} \cos[(2\omega_0 \pm \omega_1)t + \Delta\theta_1]$ 为一高频项(2倍光频),光电探测器可自动滤去,这样通过外差相干光路,由光检测器就可测出 $\cos(\pm \omega_1 t + \Delta\theta_0)$ 信号,从而测出 ω_1 值。

1.3 基于差频原理的声光移频器的工作原理

图3为基于差频原理的声光移频器的工作原理框图。其工作过程是从激光器发出的激光束(光频 ω_0),通过第1只声光晶体得到一级衍射光(频率为 $\omega_0 + \omega_1$),再用该衍射光通过第2只声光晶体得到第2只器件的一级衍射光(频率为 $\omega_0 + \omega_1 - \omega_2$)(其中 ω_2 为第2只器件的频率),最后经外差相干检测,就可读出移频频率。

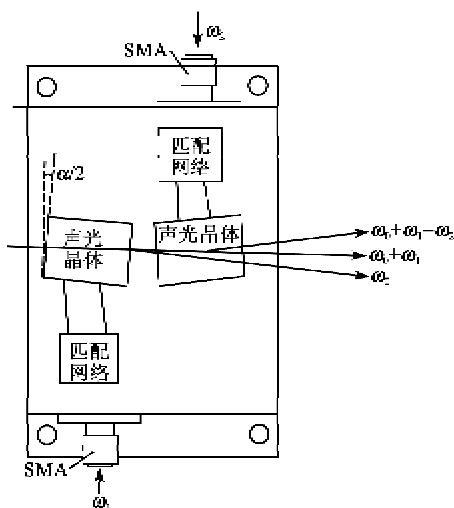


图3 基于差频原理的声光移频器的工作原理框图

2 设计

基于差频原理的声光移频器的设计包括器件设计和驱动器设计两部分。

2.1 器件设计

激光波长为 1 550 nm,采用声光优质较高的声光晶体。第 1、2 只声光晶体频率设计分别为 50 MHz、49 MHz,所需驱动器电功率约在 0.5 W。该器件设计的关键是光路调试,根据 $\alpha = \lambda \cdot f/v$ 计算激光偏转角(α),其中 λ 为激光在声光晶体中的波长, f 为工作频率, v 为声波在声光晶体中的声速,第 1 只晶体偏离垂直方向的角度为 $\alpha/2$ (见图 3),角度调整好后固定晶体,调节激光 λ_0 的入射角使其一级衍射光 λ_1 (频率为 $\omega_0 + \omega_1$) 最强,固定激光入射角,放入第 2 只晶体,调节其角度使 λ_1 的一级衍射光 λ_2 最强(见图 3),固定第 2 只晶体,即产品调试完成。

2.2 驱动器设计

声光移频驱动器由信号产生和功率放大两部分组成,信号产生部分使用了 DDS 芯片 AD9959 来实现,采用同一时钟,产生 2 个完全同步的射频信号,保证差频信号的频率稳定度在 0.5×10^{-6} 以上。功率放大部分采用两级高频 MOS 管实现,两级放大器的增益分别为 20 dB 和 18 dB,能将 DDS 输出的两路正弦信号,功率放大到 0.5 W,驱动器的原理框图如图 4 所示,产品及差频信号衍射光如图 5 所示。

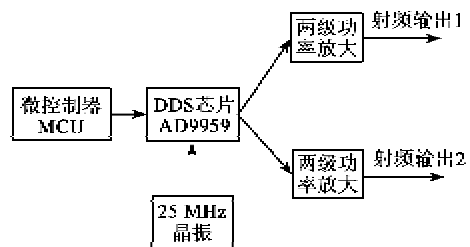


图4 驱动器的原理框图

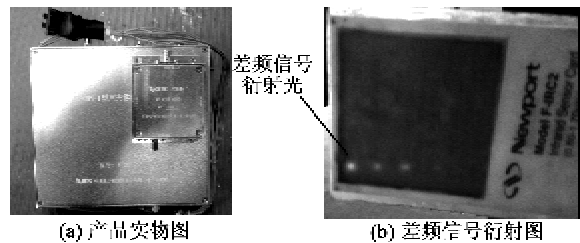


图5 产品及差频信号衍射光

3 测试及结果

图6为产品衍射效率、频率及频率稳定度测试框图,调节光路,将光功率计放置在光频为 ω_0 的激光处,关闭驱动器,读出此时的光功率 P_0 ;再将光功率计放置在光频为 $\omega_0 + \omega_1 - \omega_2$ 的激光处,开启驱动器,读出此时的 P_1 ,衍射效率 $\eta = (P_1/P_0) \times 100\%$ 。

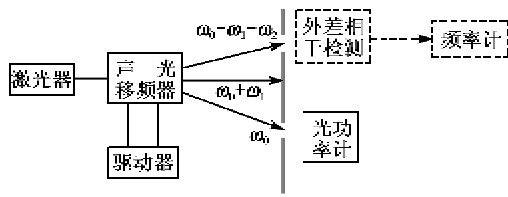


图 6 产品衍射效率、频率及频率稳定度测试框图
产品的有关测试数据如表 1 所示。

表 1 测试数据

测试指标	衍射效率/%	移频频率/MHz	频率稳定度/h
结果	62	1	$1.2 \times 10^{-7} / 2$

4 结束语

本文依据差频原理,设计制作了衍射效率 > 60%、移频频率 ±1MHz、频率稳定度优于 $10^{-6} / 2h$

声光移频器。基于差频原理的声光移频器绕过了声光器件特性的限制,通过差频原理实现了低于 20 MHz 的移频频率,使声光移频器在新的领域有新的应用。

参考文献:

[1] 徐介平. 声光器件的原理设计和应用[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
 [2] 周健, 魏国, 龙兴武. 激光多普勒测速仪方向辨别及低速测量的研究[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(3): 632-638.
 ZHOU jian, WEI Guo, LONG Xingwu. Research on direction discrimination and low-speed measurement for laser Doppler velocimeter[J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(3): 632-638.

(上接第 534 页)

[2] 王卫红, 程时伟, 张素琼, 等. EMD 与小波分析结合的特征保持图像去噪方法[J]. 计算机科学, 2013, 40(10): 265-268.
 WANG Weihong, CHENG Shiwei, ZHANG Suqiong, et al. Feature-preserving image denoising method combining EMD and Wavelet analysis[J]. Computer Science, 2013, 40(10): 265-268.
 [3] 康玉梅, 朱万成, 陈耕野, 等. 基于小波变换的岩石声发射信号互相关分析及时延估计[J]. 岩土力学, 2011, 32(7): 2079-2084.
 KANG Yumei, ZHU Wancheng, CHEN Gengye, et al. Cross correlation analysis and time delay estimation of acoustic emission signals of rock based on wavelet transform[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(7): 2079-2084.
 [4] CHUI C K. An introduction to wavelets[M]. San Diego: Academic Press, 1992.
 [5] NI Q Q, LWAMOTO M. Wavelet transform of acoustic emission signals in failure of modal composites[J]. Eng Fract Mech, 2002, 69(6): 717-728.
 [6] JION J, WU B, HE C. Acoustic emission source location methods using mode and frequency analysis[J]. Struct Control Health Monitor, 2008, 15(4): 642-651.

[7] JEONG H, JANG Y S. Fracture source location in thin plates using the wavelet transform of dispersive waves[J]. Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 2000, 47(3): 612-619.
 [8] ALJETS D, CHONG A, WILCOX S, et al. Acoustic emission source location on large plate-like structures using a local triangular sensor array[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2012, 30(4): 91-102.
 [9] 焦敬品, 何存富, 吴斌, 等. 基于模态分析和小波变换的声发射源定位新算法研究[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(5): 482-485.
 JIAO Jinpin, HE Cunfu, WU Bin, et al. A new acoustic emission source location technique based on wavelet transform and mode analysis[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2005, 26(5): 482-485.
 [10] 操礼林, 李爱群, 邓扬, 等. 声发射和小波包分析在损伤状态监测中的应用[J]. 振动·测试与诊断, 2012, 32(4): 591-595.
 CAO Lilin, LI Aiqun, DENG Yang, et al. Combined application of acoustic emission and wavelet packet analysis on damage condition monitoring of structures[J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2012, 32(4): 591-595.