

文章编号: 1001-3806(2003)05-0470-03

引入激光回馈的双光束干涉效应的研究*

刘 刚 张书练 朱 钧 李 岩

(清华大学精密仪器测试技术与仪器国家重点实验室, 北京, 100084)

摘要: 提出了一种引入 He-Ne 激光回馈的双光束干涉系统, 并在理论和实验两方面进行了研究。实验中对系统中的干涉信号及激光器尾光功率变化同时进行探测。发现当干涉仪的主回馈镜移动时, 激光器尾光信号是正弦波形, 而干涉仪输出的是以双峰为一个周期的信号, 双峰中一峰总是高于另一峰, 并且当主回馈镜移动方向改变时, 同一周期中两峰出现的顺序也随之改变。对实验现象进行了理论分析, 并模拟出干涉信号及激光自身功率的变化曲线。理论分析及模拟结果与实验结果完全吻合。讨论了利用发现的现象进行测量的可行性, 所提出的测量方法易于实现。

关键词: 自混合干涉; 光回馈; 判向; He-Ne 激光器

中图分类号: TH744.3 文献标识码: A

Interference of two beams in a He-Ne laser with optical feedback

Liu Gang, Zhang Shulian, Zhu Jun, Li Yan

(Department of Precision Instruments, Tsinghua University, Beijing, 100084)

Abstract: This article makes a research in theory and experiment on the changes of the interference signal and the laser intensity of an interferometer with optical feedback in a He-Ne laser. When the main feedback mirror moves, the curve of the laser output intensity is a sine wave but the interference signal is a curve with two peaks in a period. One peak is higher than the other one. When the feedback mirror changes its moving direction, the order that the two peaks come out will change too. The article analyses the experimental results in theory and simulates the interference signal and the laser intensity signal. The simulation results are in good agreement with the experiment results. A measuring method is discussed which can judge the moving direction of the moving object easily and this method is easy to be realized.

Key words: self mixing interference; optical feedback; directional discrimination; He-Ne laser

引 言

在许多激光器应用系统, 例如激光多普勒测速仪^[1]、干涉仪中, 激光器输出的光被反射以后, 回馈到激光腔内以后将引起激光器功率的波动, 从而影响激光器应用的性能, 所以, 人们起初在激光应用系统中尽量避免光回馈的发生。1963 年, King^[2] 等在其实验中发现一个可移动的外部反射镜能引起激光强度波动, 类似于传统的双光束干涉现象。从此以后, 随着人们对各种光回馈现象的深入研究, 出现了大量的研究成果, 发现可以利用光回馈现象进行位移测量, 并把用回馈现象进行位移测量的激光系统

叫自混合干涉系统。激光自混合干涉是指在激光应用系统中, 激光器输出光被外部物体反射或散射后, 其中部分光又回馈到激光器谐振腔, 回馈光携带外部物体信息, 与腔内光相混合后, 调制激光器的输出功率, 因输出信号特点与传统的双光束干涉信号有相似之处, 故被称为自混合干涉。

作者的目的在于在干涉仪中引入回馈, 去发现引入回馈的 He-Ne 激光器干涉仪干涉信号及激光功率变化的特点, 并建立模型, 从理论上分析信号的成因。所得实验结果与理论分析完全吻合。另外, 还讨论了利用文中发现的现象进行测量的可行性。在测量领域中, 干涉仪应用广泛, 但其判向方法比较复杂。随着自混合干涉研究的进展, 人们找到了一种新的判向方法。即在一定的反馈水平下, 自混合干涉效应使得激光器的输出信号为类锯齿波形, 类锯齿波的偏斜方向就代表着物体移动的方向。锯齿波在感观上容易判向却在硬件上不易于实现判向。

* 国家自然科学基金及清华大学基金资助项目。

作者简介: 刘 刚, 男, 1980 年 1 月出生。博士研究生。现从事双频激光器以及激光自混合干涉的理论和应用研究。

收稿日期: 2002-09-28; 收到修改稿日期: 2003-03-27

而作者在文中所提出的测量系统利用干涉信号及激光功率变化信号的特点和二者的相关性提出了一套易于硬件实现判向的位移测量系统。

1 实验装置

引入回馈的双光束干涉系统示意图如图 1 所示。

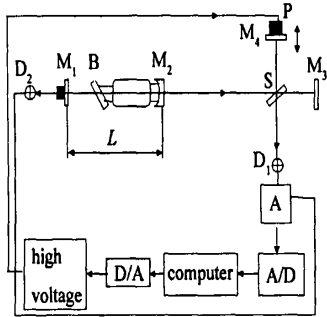


Fig. 1 Experimental setup

示。实验中所用的激光器为半外腔结构,腔长 L 为 180mm,为单纵模的激光器。图 1 中 M_1, M_2 为激光器两端的反射镜,其中, M_2 的反射率 R_2 为 98%,为激光输出端。 M_1 的反射率 R_1 为 99%,为激光器的尾光输出端。 B 是布儒斯特窗,以产生稳定偏振态的偏振光。 S 为分光镜,反射率为 80%,透射率为 20%。 M_4 为主回馈反射镜, R_4 为 95%。 M_3 为次回馈反射镜, R_3 为 95%。 P 为压电陶瓷。 M_4 固定于压电陶瓷上,由压电陶瓷驱动 M_4 来移动。 D_1, D_2 代表光电探测器,分别用来探测双光束干涉信号和激光尾光输出信号。 A 为信号放大电路, A/D 代表 A/D 采集卡,采集卡采集的数据直接存储到计算机 (computer) 中。 D/A 代表 D/A 输出卡,其输出的低电压的变化可以引起高压电源 (high voltage) 的大幅度变化。实验中计算机控制 D/A 输出卡的输出电压以控制高压电源的输出电压从而来驱动压电陶瓷的移动。 M_3 保持固定, M_4 随着压电陶瓷的移动而移动。探测器 D_1 探测到在激光器功率波动的情况下双光束干涉的波形,探测器 D_2 探测到在激光器功率波动的信号波形,两路信号经放大电路放大,再经 A/D 卡采集,直接存储于计算机中以便分析。

2 实验现象及分析

在上述实验装置的基础上,通过对 D/A 输出卡输出电压的控制来控制高压电源,对 M_4 上的压电陶瓷施加电压时,在不同 D/A 输出卡电压变化的情况下,测到了如图 2 所示曲线。

图 2a 中,横轴代表时间,单位为 s,纵轴代表激光功率变化,单位为 mV,激光功率每变化 0.1mW,

A/D 采集卡的输入电压变化 1000mV。图 2b 与图 2a 同时获得,故图 2b 横轴与图 2a 相同,其纵轴代表 D/A 输出卡电压变化,单位为 mV。 D/A 输出卡电压每变化 85mV,压电陶瓷变化半个波长的位移,约 300nm。图 2a 中,inter B 曲线是由探测器 D_1 探测到的,是激光器引入回馈的情况下双光束干涉的波形。tail B 曲线是探测器 D_2 探测到的,它是激光器尾部功率波动的信号曲线。图 2b 是压电陶瓷电压随时间变化曲线。

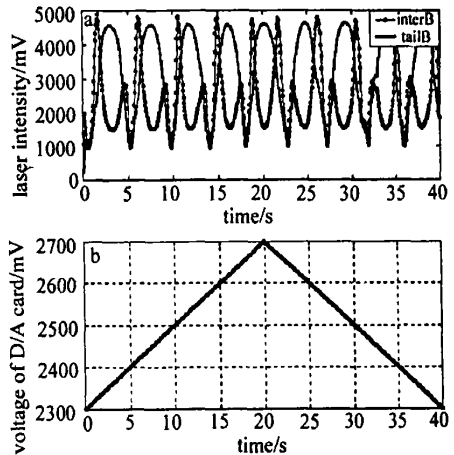


Fig. 2 a—an observation of the interference signal and laser power signal versus time b—an observation of voltage of D/A card versus time

从图 2 可知,两输出信号有以下特点。对于 tail B 曲线即尾光输出信号曲线是正弦型曲线。inter B 曲线即引入回馈的情况下双光束干涉的波形曲线的每一个周期波形有两个波峰组成,一高一低,高的称之为主峰,低的称作子峰。压电陶瓷伸长时,每个周期主峰在左,子峰在右。当压电陶瓷缩短时,每个周期主峰在右,子峰在左。每个峰的两条边线,都非常陡,要比 tail B 曲线每个周期的两边要陡。

3 曲线成因分析

3.1 理论分析

激光回馈存在条件下激光器输出光强度可用下式表示^[3]:

$$I = I_0 \left\{ 1 + \frac{k_3 k_4 \beta}{L} [\cos(\varphi) + \rho \cos(2\varphi + \delta)] \right\} \quad (1)$$

式中, φ 为激光器外腔引起的相位变化, ρ 为倾斜因子,与回馈反射镜的反射率有关, δ 为强度分叉因子,与外腔准直程度有关。 k_3, k_4, β, L 均为常数。实验中,由于分光镜的存在,使得回馈的光比较少,回馈水平比较低,回馈曲线中没有局部分叉^[3],可以取 $\rho = 0.2$ 。由于非准直^[3]的原因,取 $\delta = 7\pi/8$ 。

在回馈存在的条件下, 激光器功率变化可以用(1)式表示。引入回馈的情况下干涉的双光束功率可用(2)式表示^[4]:

$$I = \zeta(I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi) \quad (2)$$

$$\text{且 } I_1 = \xi I_2 \quad (3)$$

(2)式和(3)式中, I_1, I_2 为激光器输出光经分光镜后分成两束光的强度。经测量两光束强度在无回馈条件下分别为 $I_{10} = 0.23\text{mW}, I_{20} = 0.04\text{mW}$ 。 ζ, ξ 均为比例系数。

由(1)式~(3)式可得引入回馈的情况下干涉的双光束功率为:

$$I = I_0 \left\{ 1 + \frac{k_3 k_4 \beta}{L} \left[\cos(\varphi + \delta_1) + \rho \cos((2\varphi + \delta_1) + \delta) \right] \right\} \frac{\zeta}{1 + \zeta} (1 + \xi + \sqrt{\xi} \cos \varphi) \quad (4)$$

式中, δ_1 是回馈信号与干涉信号的初始相位差。(1)式和(4)式描述了激光自身功率信号及干涉信号的变化。

3.2 计算机模拟结果

对(1)式和(4)式进行模拟, 模拟结果见图3。

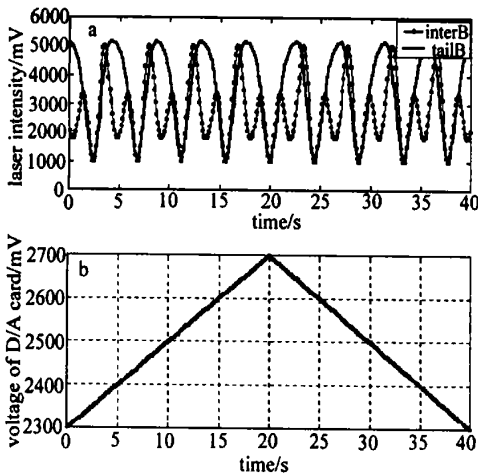


Fig. 3 a—a simulation of the interference signal and laser power signal versus time b—a simulation of voltage of D/A card versus time

图3a中inter B曲线是(4)式的模拟曲线, 模拟的是由探测器 D_1 探测到的激光器引入回馈的情况下双光束干涉的波形。tail B曲线是(1)式的模拟曲线, 模拟的是探测器 D_2 探测到的激光器尾部功率波动的信号曲线。图3b中曲线模拟的是输出卡输出电压变化曲线。图3与图2相比较, 模拟结果与实验结果完全吻合。

4 位移测量应用的讨论

对两路输出信号进行处理, 可通过硬件(例如迟

滞比较器)或软件编程的方法, 经处理的信号如图4所示。

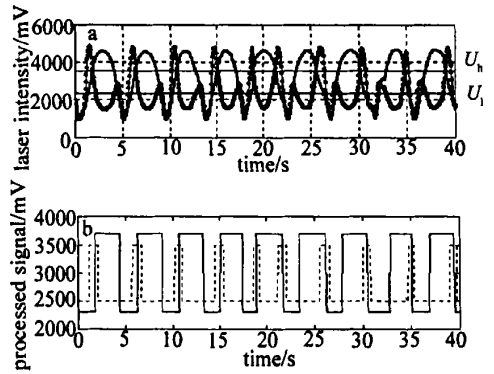


Fig. 4 a—a simulation of the interference signal and laser power signal versus time b—the processed interference signal and processed laser power signal c—a simulation of voltage of D/A card versus time

图4b是图4a中两路信号经迟滞比较器后所获得的方波信号。迟滞比较器的上截至电压 U_h 和下截至电压 U_l 已标在图4a中。图4b中, 实线曲线是尾光信号经迟滞比较器后的方波波形, 虚线曲线是引入回馈的激光器干涉的信号经迟滞比较器后的方波波形。在应用中, 实线曲线的每一个上升沿触发计数器一次计数。如果在上升沿位置虚线曲线是高电平, 则计数器加一, 如果在上升沿位置虚线曲线是低电平, 则计数器减一。这样计数器的加减即物体移动方向是否变化可以通过虚线曲线来判定, 物体移动的判向问题解决了。该测量系统的测量分辨率为 $\lambda/2$, λ 为激光器输出光波长, 这是由自混合干涉的特点决定的。

5 结论

通过讨论, 可以利用引入回馈的 HeNe 激光器干涉仪的干涉信号及激光功率变化信号的特点和相关性建立了一套位移测量系统。两路信号经硬件电路(例如迟滞比较器)或软件的方法处理成规则的方波, 利用两组方波彼此间对应关系的特点, 可以简易地解决物体移动中的判向问题。同时作者还对探测信号进行了分析和模拟。实验结果证明, 理论分析及模拟结果与实验结果完全吻合。

参考文献

[1] Edson T. Appl Opt, 1987, 26: 4541~ 4544.
 [2] King P G R, Steward G J. New Science, 1963, 17: 180.
 [3] Liu G, Zhang Sh L, Zhu J et al. Opt Commun, 2003, 221(4- 6): 389.
 [4] 郁道银, 谈恒英. 工程光学. 北京: 机械工业出版社, 1995: 389.