

用改变激光等离子体折射率的方法 稳定 He-Ne 激光器的频率

谢 毅 [吴彝尊]

(北京邮电学院光通信教研室, 100088)

张小平

李泽芬

(中国计量科学研究院, 100013)

提要: 本文介绍一种 Zeeman He-Ne 气体激光器新的稳频方法, 通过控制激光等离子体介质的折射率来稳定激光器的频率。系统使用普通单模 He-Ne 激光管, 不需要特殊加工的、带压电陶瓷 (PZT) 的稳频激光管。由于采用了锁相技术, 它的自差拍频率的变化率小于 1 Hz, 其光频的稳定度为 2.2×10^{-11} (取样时间 $\tau = 10\text{s}$)。两个月内, 频率再现性为 2×10^{-8} 。频率锁定点可在大于 200 MHz 的范围内连续调谐。

关键词: 激光等离子体折射率, 激光频率稳定

Frequency stabilization of a He-Ne gas laser by controlling refractive index of laser plasma

Xie Yi, [Wu Yizun]

(Optical Fiber Commun. Lab., Beijing University of Posts and Telecommun, Beijing)

Zhang Xiaoping, Li Zefen

(National Institute of Metrology, Beijing)

Abstract: This paper describes a new way to stabilize the frequency of a Zeeman He-Ne gas laser. The laser frequency is stabilized by controlling the refractive index of the laser plasma. It does not need a gas laser tube with a piezoelectric ceramic (PZT) made by special technology. As the phase-locking technology is used in the laser servo system, the self-beat frequency is a constant and the frequency stability is better than 2.2×10^{-11} (averaging time = 10 sec.). The long term frequency fluctuation never exceeded 2×10^{-8} during two months. The frequency of the locked point can be adjusted continuously in the range of over 200 MHz.

Key words: refractive index of laser plasma, frequency stabilization of laser

Zeeman He-Ne 稳频激光器由于具有较高的频率稳定性和较好的频率再现性^[1], 已被广泛用于各种计量和工业精密测量中。例如, 双频激光干涉仪就是用纵向 Zeeman 稳频激光器作为光源^[2]。在相干光通信中, 由于稳频的 He-Ne 激光器线宽窄和频率稳定, 故已被应用^[3]。

在以往所报道的 He-Ne 激光器稳频文献中,所用的激光管一般都需要在激光器腔镜上加一压电陶瓷装置(PZT),通过调节 PZT 上的电压控制激光频率。这种方法对激光管的制做工艺要求高,成本也高。本文介绍通过改变 He-Ne 激光器增益介质的折射率来稳定激光器的频率和相位。系统中使用的是普通单模 He-Ne 激光管,它不需要带 PZT 的稳频激光管。它的频率稳定性和频率再现性分别为 2.2×10^{-11} (取样时间 $\tau=10$ s) 和 2×10^{-8} (两个月)。

一、稳频原理概述

从建立粒子数反转能级关系来看, He-Ne 激光器属于四能级系统。受激辐射跃迁的几率由第三能级的粒子数 N_3 和第二能级的粒子数 N_2 的差所决定。在维持激光管放电电流较小时,电子碰撞产生的从激发态到基态的去激发效应较弱, N_4 和 N_3 随放电电流的递增而线性增加。但是,随着电流的增加,电子碰撞去激发效应逐渐加强,它导致 N_3 和 N_4 的增加变缓,直至饱和。而 N_2 是从基态直接电子碰撞激发的,它随放电电流线性增加,并且不出现饱和。因此,激光管放电电流的变化将直接影响反转的粒子数 N_3-N_2 。反转粒子数 N_3-N_2 的变化将直接改变激光等离子体的折射率,也必然导致激光频率的位移。

从宏观上讲,放电电流对激光频率的调谐作用也可以理解成:放电管内带电粒子空间分布的非均匀性造成光场和维持放电的直流电场的耦合。当达到热平衡时,对应一定的放电电流,粒子数有一确定的空间分布,呈现一定的阻抗。当电流变化时,粒子数的分布状况也将发生变化,它将直接导致阻抗的变化,因而也就导致振荡频率的变化。

在纵向磁场条件下, He-Ne 激光器的自差拍频率 Δf 和频率的失谐量 $\Omega-\omega_0$ 有一确定的函数关系,它近似呈抛物线状^[4](图 1)。抛物线上各点的斜率取决于磁场的大小和激光腔体的 Q 值。但是,该曲线的极值点在跃迁谱线中心频率附近。这就提供了一种稳定激光频率的方法,可以把光频稳定到极值点 B 上^[4],也可以稳定到差频调谐曲线的任何一点上^[5]。前者,可以获得一个稳定的中心频率;而后者,除了获得一个稳定的中心频率外,还可以做到光信号无调制及频率可调谐。这种稳频方法对于相干光通信是很适宜的(这种稳频激光器已被用于相干光通信系统)。本文所报道的稳频系统原理类似于文献[5]所报道的系统。所不同的是,本文所报道的系统是通过控制放电电流稳定光频,而不是通过调整 PZT 电压稳频。采用 633 nm 全内腔 He-Ne 激光管。所充气压为 3 Torr,充气比为 5:1。放电电流所引起的频率变化率为 $3 \text{ kHz}/\mu\text{A} \sim 17 \text{ kHz}/\mu\text{A}$ 。

二、电路伺服原理

纵向 Zeeman 稳频 He-Ne 激光器的差频调谐曲线如图 1 所示。当把该激光器的差频 Δf 锁定到 Δf_0 上时,对应的光频锁定点为 A 和 C。

基本电路伺服原理如图 2 所示。Zeeman He-Ne 激光器输出的左旋圆偏振光和右旋圆偏振光经过检偏镜 P 在光电接收器件上形成拍频信号 Δf 。该信号经过放大、整形、分频和一个标准 10 kHz 晶振信号比相。鉴相器输出相差信号经过积分滤波器提取出和相差成比例的直流误差信号,并由它去控制串联到激光管放电回路中晶体三极管基极电位,以此改变和控制放

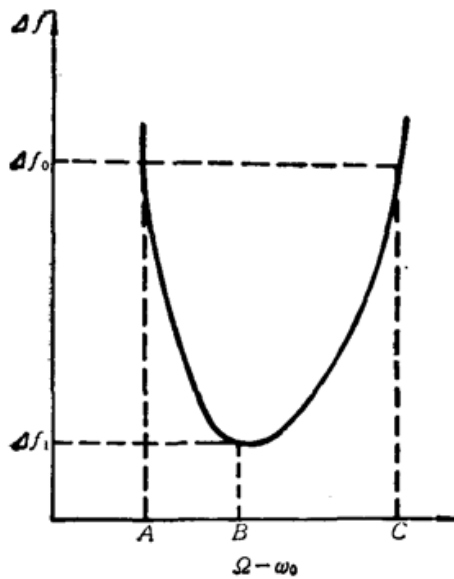


Fig. 1 Schematic curve of self-beat frequency of longitudinal Zeeman laser as a function of cavity detuning

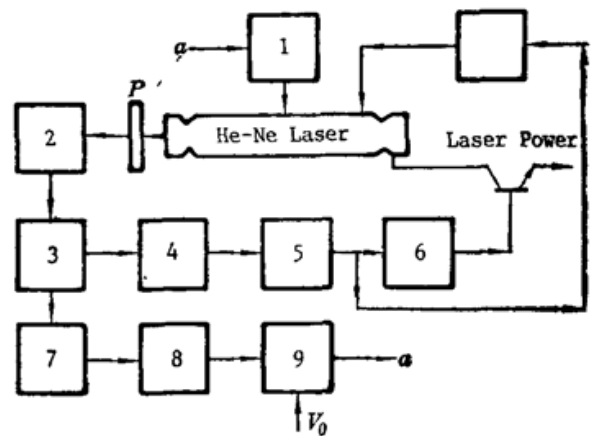


Fig. 2 Experimental block diagram for frequency stabilization of a longitudinal Zeeman He-Ne laser

1—magnetic field power supply; 2—photoelectric receiver and amplifier; 3—reshaping; 4—frequency dimming; 5, 7—phase discriminator; 6—filter; 8—peak voltage sustaining; 9—voltage comparator; 10—temperature servo-loop (including an integrator and a current-voltage converter)

电电流大小,控制激光频率的快抖动。

为了抑制激光频率的慢漂,在鉴相器输出端另外分出一路信号,经过一个积分时间为 1 分钟的积分延时电路和一个电压/电流转换电路控制环绕在激光管上的热丝电流。激光频率的锁定是靠激光管自身的热膨胀自动捕捉的,也可以靠调整预置热丝电流手动捕捉。一般在激光管点燃 20 min 后,系统即可进入锁定状态。这时差频 Δf 的变化率小于 5 kHz/sec。

从图 1 可以看出,当自差拍频率 $\Delta f = \Delta f_0$ 时,光频的锁定点有两个: A 和 C。为了区别 A 和 C,系统中有一个斜率鉴别电路。A 和 C 两点的斜率符号异号。

当磁场发生变化,或者是激光管内部参量发生变化时,Zeeman 激光的差频调谐曲线将会产生上下位移。位移的同时,曲线的斜率将随之变化。这种变化(在磁场相对恒定的条件下,主要是激光管内部参量的变化)是缓慢的,几天之内变化约为 10~20 MHz。这种缓慢的变化对频率稳定度影响不大,但将影响频率的再现性。为了保证频率的再现性,作者在系统中设计了一个频率校准电路。它由一个鉴频器、一个峰值电压保持电路和一个电压比较器构成。在图 1 中,如果曲线上下位移,B 点的差频 Δf_1 将随之变化。当光频扫过 B 点时,和 B 点差频 Δf_1 所对应的电压值将被记录下来,并和一个标准电位 V_0 比较,所产生的误差电压反映了激光频率锁定点的漂移。用误差电压反馈控制螺线管磁场电流的大小,使 Δf_1 保证在一个固定的频率点上。采用了这种校准电路之后,激光频率在 1 天之内的漂移小于 1 MHz。两个月内的频率再现性为 2×10^{-8} 。如果改变 V_0 ,则频率可在大于 200 MHz 的范围内连续调谐^[5]。

三、频率稳定度的测量

为了测量该系统的频率稳定度和频率再现性,作者将该系统和中国计量科学研究所的 I¹²⁷

饱和吸收稳频 633 nm He-Ne 激光器进行了拍频测量, 所测得的 Allan 方差结果如图 3 所示。0.01, 0.1, 1 和 10 s 的频率稳定度分别为 1.1×10^{-10} , 6×10^{-11} , 1×10^{-11} 和 2.2×10^{-11} 。100 秒的 Allan 方差为 4.6×10^{-11} 。以上测量结果是多次测量的 Allan 方差的算术平均值。

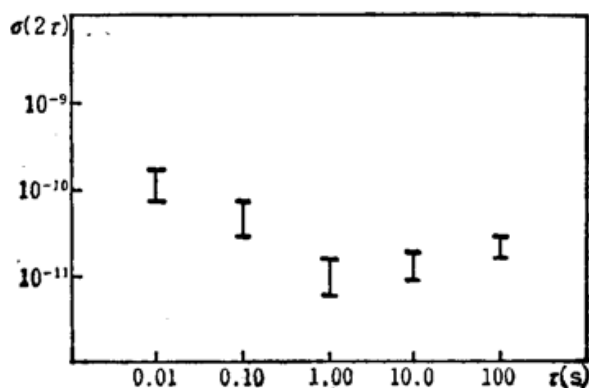


Fig. 3 Frequency stability results expressed by Allan variance

参 考 文 献

- 1 Zamberger M. A., *Appl. Opt.*, **24**, 1902 (1985)
- 2 George W. H., Editor "Proceeding of the society of photo-optical instrumentation engineers" Vol. 192, Interferometry, 1979, p. 17
- 3 R. Wyatt, T. G. Hodgkinson *et al.*, *Electr. Lett.*, **19** (14), 550 (1983)
- 4 T. Baer *et al.*, *Appl. Opt.*, **19**, 3173 (1980)
- 5 谢毅, 沈乃激, 计量学报, **7**(4), 257 (1986)

宽调谐(红外-紫外)高功率脉冲 激光系统研制成功

宽调谐(红外-紫外)高功率脉冲激光系统是国家七五科技攻关项目, 由浙江大学光仪系负责研制, 1990年研制成功, 并于1990年12月9日由12名专家组成的鉴定委员会通过了技术鉴定。

该激光系统的调谐范围很宽(199.6 nm 至 $4.8 \mu\text{m}$), 整个系统采用微机控制谐波发生器的匹配角自动校正, 染料激光器波长自动扫描、紫外扩展器的波长自动跟踪及输出光束自动找准。激光系统最大可调谐输出能量为 140 mJ(对于波长 560 nm)和 7.6 mJ(对于波长 221.7 nm)。激光谱线宽度为 0.001 nm(对于波长 560 nm), 激光脉冲宽度 10 ns, 脉冲重复频率为 1、2、5、10 pps。

鉴定委员会认为, 该激光系统的技术水平和功能处于国内领先水平, 达到国际上 80 年代中后期的先进水平。

(纪 钟)