

双频双模 He-Ne 激光器稳频稳幅的一种新方法

印建平

(苏州大学)

A new method for frequency and power stabilization of two-frequency and two-mode He-Ne laser

Yin Jianping

(Suzhou University, Suzhou)

摘要: 本文提出了一种新的实现双频双模 He-Ne 激光器稳频稳幅的干涉方法。

关键词: 稳频, 双模, 干涉

一、引言

近年来, 有关利用内腔激光纵模偏振特性实现双频双模或单频单模输出 He-Ne 激光器的稳频稳幅工作已有介绍。诸如电热稳频法^[1]、水冷稳频法^[2]、风冷稳频法^[3]、与 TC 时谱稳频法^[4]等。由于电热响应较慢与循环水系统十分笨重, 电热与水冷稳频法不够理想。又因谐振腔的位相各向异性和振荡模式偏振方向的竞争效应及其温度漂移对各纵模偏振特性的影响, 使得内腔 He-Ne 激光器输出的双纵模呈现出相当复杂的随机偏振特性。因此, 基于内腔激光双纵模为正交偏振特性的风冷稳频法难以获得较高的长时频稳性与再现性。至于 TC 时谱稳频法, 也因其直流测量系统的各类噪声, 尤其是 1/f 噪声, DC 漂移噪声及 PMT 的暗电流噪声等对检测系统幅度鉴别能力及灵敏度的影响, 使得该方法的实际频稳度不易做得更高。

本文提出了一种新的实现双频双模 He-Ne 激光器稳频稳幅的干涉方法。理论研究表明, 该方法不仅可适用于正交线偏振、随时偏振特性输出的双纵模内腔 He-Ne 激光器以及平行线偏振输出的双纵模半外腔式 He-Ne 激光器, 而且可望获得更高的长时频稳性、再现性及功率稳定性。此外, 改变稳频伺服系统的基准电压 V_0 , 也可在一定频率范围内实现频率锁定点的连续调谐。

二、基本原理与装置

设 t 时刻双纵模的输出强度分别为 $I_{10}(t)$ 与

$I_{20}(t)$, 干涉仪中分束器的分束比为 R , 则根据双频双模 He-Ne 激光典型的频幅结构及强度迭加原理, 不难证明光程差 Δl 为一倍腔长 L 处干涉极大与极小之和 $\Sigma I(t, L)$ 的变化远小于干涉极大与极小之差 $\Delta I(t, L)$ 的变化且有

$$\begin{aligned} \Delta I(t, L) &= \frac{4\sqrt{R}}{1+R} [I_{10}(t) - I_{20}(t)] \\ &= \frac{4\sqrt{R}}{1+R} \left| \exp \left[-\frac{\ln 2}{\Delta\nu_D} (\Delta\nu_q - 2\Delta\nu(t))^2 \right] \right. \\ &\quad \left. - \exp \left[-\frac{\ln 2}{\Delta\nu_D} (\Delta\nu_q + 2\Delta\nu(t))^2 \right] \right| \end{aligned} \quad (1)$$

式中 $\Delta\nu_q$ 、 $\Delta\nu_D$ 分别为纵模间距与多普勒宽度, $\Delta\nu(t)$ 为纵模频率 $\nu_1(t)$ 或 $\nu_2(t)$ 相对于频率锁定点 $\nu_{LOCK} = \nu_0 \pm \Delta\nu_q/2$ 的漂移量。

当双纵模频率作单向线漂移或激光器谐振腔的腔镜作单向匀速移动时, 将由(1)式得到如图 1 所示的 $\Delta I(t, L)$ 调谐特性曲线。该曲线关于 $\Delta\nu(t) = 0$ 对称, 且当 $\Delta\nu(t) = 0$ 时, $\Delta I(t, L) = 0$ 。此时, 双模内腔 He-Ne 激光器两纵模的输出强度相等 ($I_{10}(t) = I_{20}(t)$), 且两模的偏振方向互相正交。

由(1)式知, 当激光器腔长或激活介质折射率变化导致纵模频率漂移时, 将引起双纵模输出强度之差的变化, 而双纵模强度之差的变化又正比于双频双模激光干涉场中 $\Delta l = L$ 处干涉极大与极小之差 $\Delta I(t, L)$ 。因此, 利用双模激光干涉场中 $\Delta l = L$ 处干涉极大与极小之差 $\Delta I(t, L)$, 也即双模输出强度之差(计作 ΔI) 作为反馈信号去控制激光器的腔长, 从而实现双频双模 He-Ne 激光器的稳频稳幅。

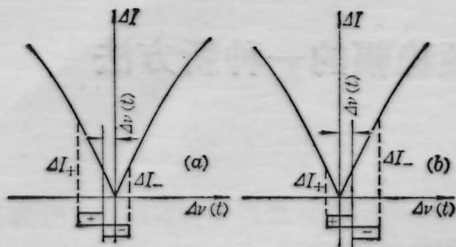


图1 干涉稳频法基本原理示意图
(a) 当 $\Delta\nu(t) < 0$ 时, $\delta(\Delta I) > 0$,
(b) 当 $\Delta\nu(t) > 0$ 时, $\delta(\Delta I) < 0$

实现双频双模 He-Ne 激光器稳频稳幅的原理框图如图 2 所示。图中 He-Ne 激光器弱输出端外侧粘接压电陶瓷 PZT_1 。激光器输出光束经分束器 BS_1 分出 10% 左右的光作稳频的取样光束。该取样光束经两个并联的 Twyman-Green 干涉仪后分别由针孔 S_1 、 S_2 进入光电管 (PE) 与光电倍增管 (PMT) 转换成电信号; 其中由 PE 输出的电信号用作锁相放大器的同步信号; 由 PMT 输出的电信号经锁相放大器及稳频伺服系统输出正、负模拟电压, 加至压电陶瓷 PZT_1 , 以调节激光器腔长, 从而实现稳频稳幅。图中 L_1, L_2, L_3 ; M_1, M_2, M_3 及 BS_1, BS_2, BS_3 分别为透镜、反射镜及分束器, 其中 BS_2, BS_3 的分束比均为 1。由反射镜 M_1 与 M_3 构成的光程差 $\Delta l_1 = 2L$, 由 M_2 与 M_3 构成的光程差 $\Delta l_2 = L$; 受频率为 f_2 的低频三角波调制的压电陶瓷 PZT_2 固定在反射镜 M_3 上, 用以干涉条纹的扫描记录。

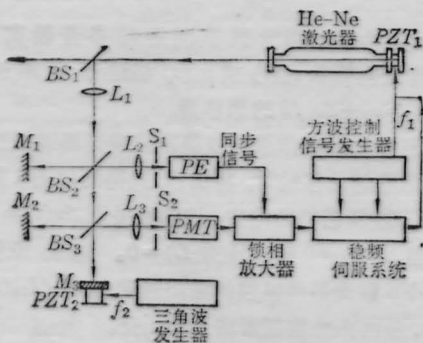


图2 双频双模 He-Ne 激光器稳频稳幅的实验装置

当激光双模频率漂移或调谐至 $(\nu_0 \pm \Delta\nu_q/2)$ 附近时, 将(1)式展开取其一级近似得

$$\Delta I \approx \frac{8 \ln 2 \cdot c \sqrt{R}}{(1+R)L\Delta\nu_0^2} |\Delta\nu(t)| \quad (2)$$

(2)式表明, 在频率对称点 $(\nu_0 \pm \Delta\nu_q/2)$ 附近, 干涉极大与极小之差(交流分量的幅值) ΔI 近似正比于频

率漂移量 $\Delta\nu(t)$ 的绝对值, 也即 ΔI 为 $\Delta\nu(t)$ 的偶函数。由于在频率对称点处, $\Delta\nu(t) = 0, \Delta I = 0$, 两纵模不仅输出强度相等, 而且偏振方向互相垂直。因此, 取其为频率锁定点, 即 $\nu_{Lock} = \nu_0 \pm \Delta\nu_q/2$ 。

如果用频率为 f_1 的对称方波调制腔长, 则激光频率将有一个低频调制, 从而使 ΔI 发生相应的改变, 如图 1(a)、(b) 所示。设 ΔI_+ 和 ΔI_- 分别为正、负半调制周期内的干涉极大与极小之差的平均值, 且 $\delta(\Delta I) = \Delta I_+ - \Delta I_-$, 则可发现, $\delta(\Delta I)$ 的数值反映着频率漂移量 $\Delta\nu(t)$ 的大小(见(2)式), $\delta(\Delta I)$ 的正、负表示纵模频率的漂移方向。因此, 用 $\delta(\Delta I)$ 作为误差信号, 经伺服系统加至激光器的压电陶瓷 PZT_1 上, 以控制激光器腔长, 从而使激光频率稳定在 $\nu_{Lock} = \nu_0 \pm \Delta\nu_q/2$ 上。

如果改变稳频伺服系统中比较放大器的基准电压 V_0 , 即可在一定频率范围内实现频率稳定点 ν_{Lock} 的连续调谐。

三、结 论

本文所介绍的一种新的干涉稳频法如同 TC 时谱稳频法一样, 不仅可适用于随机偏振特性(包括正交线偏振)输出的双模内腔 He-Ne 激光器, 而且也可用于平行线偏振输出的双模半外腔式 He-Ne 激光器, 这是其它稳频法所不能做到的。由于本方法的检测信号是干涉极大与极小之差 ΔI , 也即是交流信号的幅值, 宜采用窄带高灵敏的锁相放大系统, 以克服 PMT 的散粒噪声、倍增噪声、暗电流噪声及 DC 放大系统的各类噪声, 尤其是低频端的 $1/f$ 噪声与 DC 漂移噪声等对测量结果的影响。因此, 与 TC 时谱稳频法相比, 该方法因有效地克服了光电检测系统的直流漂移, 提高了系统的探测灵敏度与幅度鉴别能力, 从而可望获得更高的实际频稳度与功率稳定度。

参 考 文 献

- 1 Gordon S. K. et al., *Appl. Opt.*, '13(2), 331 (1974)
- 2 Ogasawara H. et al. *Appl. Opt.*, 22(5), 655 (1983)
- 3 Toshik Yoshino et al., *Jan. J. Appl. Phys.*, 19(11) 2181(1980)
- 4 Jianping Yin., International laser science conference ILS-III, 1987 (Iowa City, America)

(收稿日期: 1988 年 2 月 1 日)