

利用反馈环路稳定 CO₂ 激光器的功率

屠世谷 孙顺娣 傅恩生 廖世强 王忠志 石培昇

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文报导 CO₂ 激光器功率稳定环路的构成与性能。以荧光饱和吸收稳频的 CO₂ 激光作基准, 测定了功率稳定后的频率稳定性, 结果表明, 功率稳定可改善频率的长期稳定性。

CO₂ laser power stabilization by feedback loop

Tu Shigu, Sun Shundi, Fu Enshen, Liao Shiqiang, Wang Zhongzhi, Shi Peisheng

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: The design and the performances of a CO₂ laser power stabilization loop are described. Using a CO₂ laser stabilized by saturated absorption of fluorescence as frequency standard while the power stabilization loop was open or close we measured laser frequency stability.

The results show that it is possible to get a tunable CO₂ laser of stable frequency and power using a power stabilization loop.

一、引言

功率输出稳定的激光器在某些实际应用中是有重要意义的。在光抽运远红外激光器中最大输出功率并不出现在 CO₂ 激光器输出的峰值位置, 而是在偏离峰值的某一位置上^[1]。因此在远红外激光器中, 激励源 CO₂ 激光频率的可调与稳定是十分重要的。另外只有在频率与功率稳定的 CO₂ 激光抽运下, 远红外输出才可能稳定。如果用环路稳定 CO₂ 激光功率后频率稳定性也得到改善, 且随着调整功率稳定点激光器的频率亦得以调谐, 就能给实验工作带来很多方便。然而,

影响激光输出功率的因素极多, 这一设想是否现实呢?

本文报导在这一思想指导下所设计的功率稳定系统的构成、系统的性能以及相应的频率稳定性的实验测量结果。

二、稳定环路

稳定环路原理图如图 1 所示。选择腔长作为环路的控制对象, 因此输出功率 P 与加在压电陶瓷上的电压 V 有关, 即:

$$dP = K_1 dV \quad (1)$$

K_1 随工作点而变, 可大于、小于、等于零。在

收稿日期: 1982年8月28日。

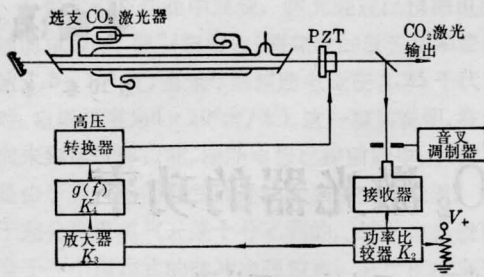


图1 功率稳定环方框图

在工作点附近 K_1 可视为常量。系统的闭环方程为：

$$P_0 + K_2(P_{\text{标}} - P)K_1K_3K_4g(f) = P \quad (2)$$

式中 P_0 是闭环前激光器的输出功率， $P_{\text{标}}$ 是稳定功率的设定值，可由电位器 R_1 选定。 K_2 是功率比较器的功率-电压转换率， P 是系统闭环后的输出功率。设激光器功率本身有 ΔP_0 的变化，则经环路控制后的功率变化 ΔP 应满足：

$$P_0 + \Delta P_0 + K_2(P_{\text{标}} - P - \Delta P)K_1K_3K_4g(f) = P + \Delta P \quad (3)$$

考虑到(2)，有

$$\Delta P_0 - K_1K_2K_3K_4g(f)\Delta P = \Delta P \quad (4)$$

即

$$\Delta P = \frac{\Delta P_0}{1 + K_1K_2K_3K_4g(f)} \quad (5)$$

$g(f)$ 是校正网络的传递系数，在通带内 $g(f) = 1$ ，(5)式变为：

$$\Delta P = \frac{\Delta P_0}{1 + K_1K_2K_3K_4} \quad (6)$$

令 $K = K_2K_3K_4$ ，则

$$\Delta P = \frac{\Delta P_0}{1 + K_1K} \quad (7)$$

可见 K_1 和 K 愈大，闭环后的功率变化愈小，这是一个典型的有差系统的表达式。与其它伺服环路一样，系统中附加的相移可使系统转成正反馈而振荡，这时可减少系统增益及相移使之稳定。另外， $K_1=0$ 时， CO_2 激光器工作在中心频率 f_0 处，系统无控制能力；又因 K_1 在 f_0 两旁变换正负号，故环路中需有一个反相开关。

三、环路及性能考核

功率稳定环的电路如图2所示。音叉调制器斩波频率为135赫，钽酸锂晶体(热释电元件)后跟有一个中心频率为135赫、通带为10赫的放大器。其后电路的电压增益在 $4 \times 10^4 \sim 4 \times 10^5$ 之间，稳定对象是腔长0.8米的 CO_2 选支激光器。由于该激光器结构较为粗糙，实验室也未采取良好的防震、防气流等

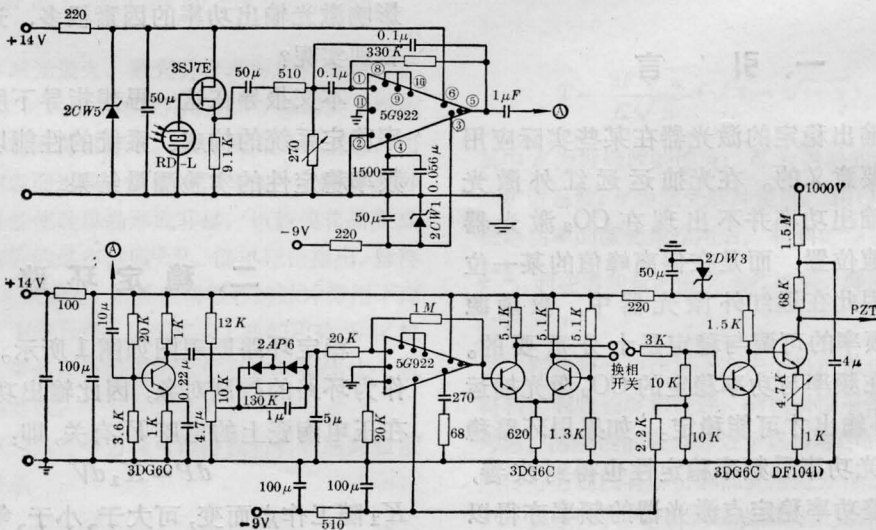


图2 功率稳定环电路

措施，故实验主要着眼于系统闭环性能的考核。

CO₂ 激光器工作在较小电流 (5 毫安)，具有较理想的增益曲线，环路易于稳定工作。但因此时工作电流接近阈值，开环工作时输出光功率很不稳定。图 3 是调节 CO₂ 工作电流 (从 5 毫安降至 4.5 毫安，或者相反) 时，闭环状态下输出功率的变化情况。由此可粗略估计系统的稳定性能。开环时，同样的电流变化范围可导致 10 倍相对功率变化，而闭环时相对变化量仅为 0.022，即闭环变化量仅是开环时的四百分之一。

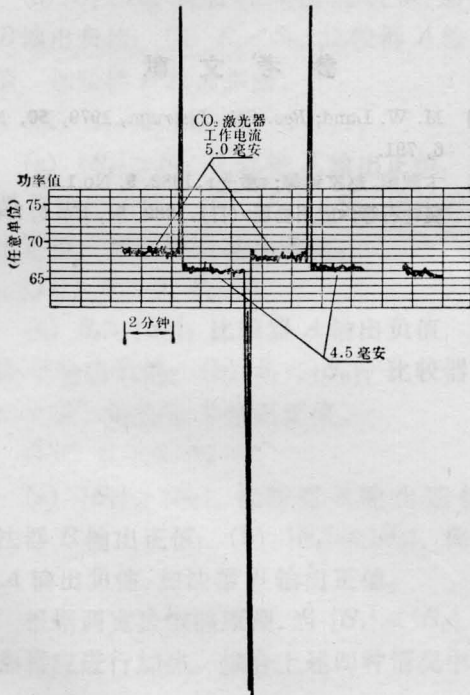


图 3 CO₂ 激光器工作电流改变时，闭环功率的变化

我们曾分别在地下室与一般实验室中观察系统较长期 (2 小时) 的工作情况。在地下室 (无人时) 记得的功率曲线相当平滑，功率变化小于百分之一，而在一般实验室中工作时，常因门窗的启闭、行人及马路上车辆行驶的影响导致输出功率出现尖锐的突跳。其原因在于稳定环路的通带较窄，无力对干扰源中的高的福氏频率成分作出反应。在一般实验室工作时还有较显著的单向漂移。

四、频率稳定度的测定

为搞清功率稳定与频率稳定间的现实关系，我们作了频率稳定度的测定，测量系统如图 4 所示。基准光频取自荧光稳频的 CO₂ 激光器^[2]，尽管这一激光器的频率是调制的了的，但量值很小，它的频率稳定度在 1×10^{-11} 以上。在实验中我们交替地闭合与断开功率稳定环路，在记录功率稳定性的同时，进行频率测量。测频的取样时间为 10 秒，每测满 25 ~ 30 个数 (约 6 ~ 7 分钟) 后变换环路工作状态，频率稳定性与功率稳定的现实情况如图 5 所示。

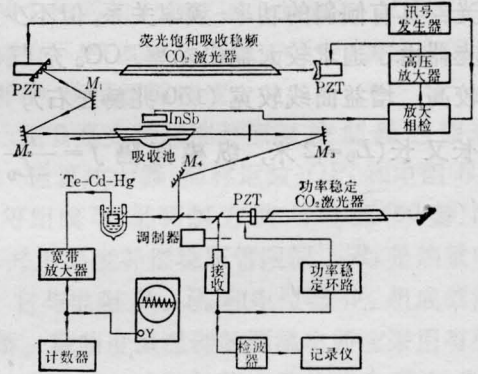


图 4 频率稳定性测试系统

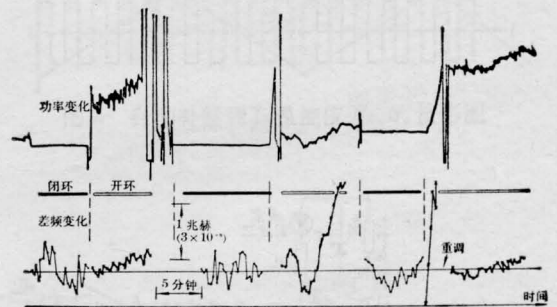


图 5 闭环、开环状态下功率与差频的变化曲线 (取样时间为 10 秒)

由图可见，功率稳定环保证了功率的稳定性，但它破坏了激光器短期频率稳定性，相邻读数间的跳动明显增大。显示在示波器上的拍频讯号的波形也证明这一点：自由运行

时的拍频讯号波形相当清晰, 功率稳定环闭合后拍频讯号即出现抖动。环路中存在的噪声可能是其原因之一, 系统内余留的极微量的环路振荡也会导致上述现象, 被稳激光器的功率起伏也会使短期频率稳定度变劣。但从频率长期稳定度来看, 图 5 表明: 功率稳定改善了频率稳定性。闭环时频率在某一水平上波动; 自由运行时, 频率随功率而漂移, 在同一实验中, 频率漂移与功率漂移的方向间有着固定的关系。

五、结 论

为保证功率稳定环路的正常工作, 要求激光器具具有倾斜的功率-频率关系, 但不少的激光器由于追求较大输出功率, CO_2 充气压力较高, 增益曲线较宽 (150 兆赫左右), 而腔长又长 ($L_0=2$ 米, 纵模间隔 $f = \frac{c}{2L_0} =$

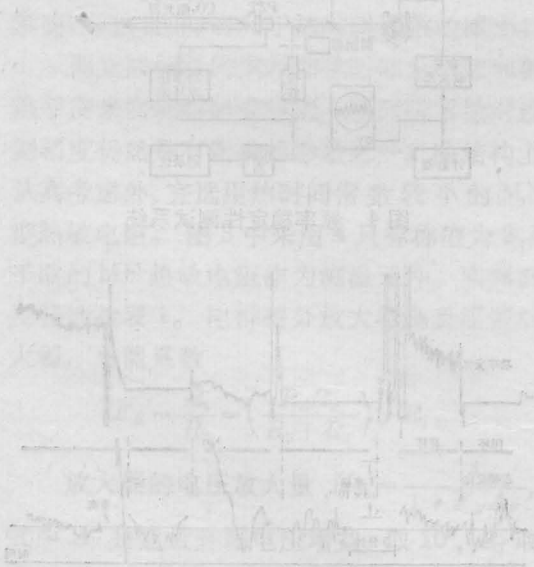
75 兆赫), 存在多纵模振荡, 此时观察不到倾斜的功率-频率曲线, 当然也就无法使功率稳定环路正常工作。

文献 [1] 通过稳定功率而改善了频率稳定性, 文献 [3] 用稳定放电管内阻抗的方法稳定 CO_2 激光输出功率, 并估计了频率稳定性的提高, 但他们对这些数据的获得和估计的依据缺乏应有的说明。

卞淑姮、赵家铭、李素梅同志提供 CO_2 荧光稳频系统、测频系统, 并一起参加了测频工作; 王玉珠同志对本工作提出了宝贵意见, 特此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] M. W. Lund; *Rev. Sci. Instrum.*, 1979, **50**, No. 6, 791.
- [2] 卞淑姮, 赵家铭等; 《激光》, 1982, **9**, No.1, 32.
- [3] 裴钟石等; 《应用物理》(日), 1982, **51**, No. 6, 734.



(图 5 频率稳定性)

... (faint text describing the figure and its implications for frequency stability)

... (faint text, likely bleed-through from the reverse side of the page)