

简单的光泵远红外激光功率稳定系统

屠世谷 王忠志 廖世强 傅恩生 孙顺娣 石培昇

(中国科学院上海光机所)

提要: 描述一种简单的光泵远红外功率稳定系统, 半小时内的漂移为 2~3%。对环路进行了分析, 对环路中出现的一种跳变现象进行了讨论。

A simple servo-loop for power stabilization of FIR lasers

Tu Shigu, Wang Zhongzhi, Liao Shiqiang

Fu Ensheng, Sun Shundi, Shi Peisheng

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

Abstract: A power stabilization servo-loop for optically pumped FIR lasers is described. Its power drift is less than 2~3% of the full value in half an hour. The analyses of the loop and a jumping phenomenon of the loop are discussed.

一、引言

近年来光泵远红外激光器有了很大的发展, 振荡谱线数日见增多, 输出功率有所提高, 并已开始付诸实用。光泵远红外激光器的输出功率, 既受 CO₂ 激励源波长、功率的影响, 又受远红外腔长及工作物质气压等多种因素的影响, 起伏较大。在不少实际应用中, 象各种电缆缺陷的检测, 半导体材料的研究以及远红外光学元器件性能的测量等, 功率稳定性是相当重要的一个参量。一般采用自控环路稳定腔长, 但这种系统较为复杂, 功率稳定效果也不太理想; 另一种办法是建立单纯的功率稳定环路。我们用简单的自控系

统有效地稳定了光泵远红外激光器的输出功率。

二、控制系统

光泵远红外激光器原理如图 1 所示。选支 CO₂ 激光束泵浦远红外激光工作物质(如

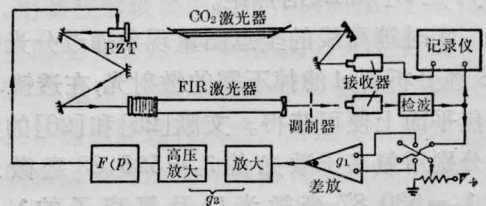


图 1 光泵远红外激光功率稳定系统方框图

收稿日期: 1983 年 7 月 29 日。

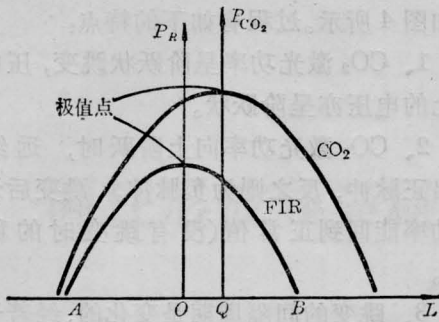


图2 CO₂腔长与远红外输出功率间的关系

甲醇 CH₃OH 等)而在远红外腔中建立激光振荡。这里有多种因素影响它的输出功率。CO₂激光功率与远红外激光输出间的关系如图2所示。横坐标是CO₂激光腔长。在考虑这一系统时,首要的问题是选择一个合适的参量作为自控环路的控制对象。远红外激光振荡波长可达1毫米,其腔长需用一套电驱动的精密机械调节装置进行控制,短期内难以制备。若通过CO₂激励电流来控制远红外输出,则需将误差讯号反馈至数万伏的高压电源内,技术难度较大。图2表明,CO₂激光腔长与远红外输出间的关系较为简单,呈单调上升与下降两个部分(AO与BO)。CO₂激光腔长可用压电陶瓷方便地加以调节,故以后者作为控制对象的功率稳定系统较为简单与安全,当然此时输出频率就不可能稳定了。整个功率稳定系统如图1所示。光栅选支CO₂激光器腔长2米,输出功率约10瓦,远红外激光器腔长(开式腔)1.25米,内充150~200毫托之甲醇。远红外输出功率达毫瓦量级,经热释电接收后转成直流电压,与基准电压在差分放大器中进行比较而获得误差讯号,此电压经高压放大后以正确的极性加至CO₂激光腔的压电陶瓷上,环路闭合后远红外输出功率即被稳定。

远红外输出功率 P_R 的变化 ΔP_R 与 CO₂ 激光腔长 L 及加于压电陶瓷上的电压 V , 在折线近似下可表示为:

$$\Delta P_R \approx \alpha_0(L - L_0) \approx \alpha(V - V_0) \quad (1)$$

式中 $L_0(V_0)$ 是输出功率最大点 O 处的腔长

(电压), α_0 及 α 在它的两侧具有相反的符号, 且是 L 和 V 的函数。在环路工作点附近 α_0 及 α 可视为常数, 系统的闭环方程可表示为:

$$P_{R0} + (DP_R - V_{\text{标}}) \cdot g_1 \cdot F(p) \cdot g_2 \cdot \alpha = P_R \quad (2)$$

P_{R0} 是闭环前远红外激光输出功率, P_R 为闭环后的功率。 D 是接收系统的光电转换系数, $V_{\text{标}}$ 是作基准用的标准电压值, g_1 及 g_2 为差分放大器及高压放大器的增益。假定它们不引入附加相移。 $F(p)$ 是校正网络的传输系数, p 是拉普拉斯算子。设远红外激光功率有 ΔP_{R0} 的变化, 则闭环变化量 ΔP_R 将满足:

$$\Delta P_{R0} + D \cdot \Delta P_R \cdot g_1 \cdot F(p) \cdot g_2 \cdot \alpha = \Delta P_R \quad (3)$$

即:

$$\Delta P_R = \frac{\Delta P_{R0}}{1 - D \cdot g_1 \cdot g_2 \cdot F(p) \cdot \alpha} \quad (4)$$

由于系统内设有换向开关, 只要以 O 点为界, 对 AO 及 OB 取不同的方向, 总可使分母中的第二项为负值, 即保证这是一负反馈系统, 使 ΔP_R 远小于 ΔP_{R0} , 甚至趋近于零。

在图2OQ区域中, CO₂与远红外输出功率曲线间的关系和其它两个区域(AO和QB)不同。这里

$$J(L) = \frac{\Delta P_R(L)}{\Delta P_{CO_2}(L)} < 0,$$

而其它两个区域中,

$$J(L) > 0,$$

自控系统是否会在这里变得不稳定呢? 采用相似的方法, 对CO₂激光功率 P_{CO_2} 也获得环路方程之解:

$$\Delta P_{CO_2} = \frac{(\Delta P_{CO_2})_0}{1 - D \cdot J(L) \cdot g_1 \cdot g_2 \cdot F(p) \cdot \beta} \quad (5)$$

β 是CO₂功率与压电陶瓷上电压间的比例系数, $\Delta P_{CO_2} = \beta \cdot \Delta V$ 。设系统在BQ区域中入锁而正常工作, 由于参数缓变而移入QO区域后, 因 $J(p)$ 与 β 同时易号, 故整个系统仍能稳定地工作, 从这里可以看到, 系统稳定与否取决于远红外输出功率曲线之斜率, 与它

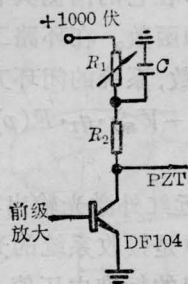


图3 $F(p)$ 包含在高压放大电路中

和 CO_2 输出曲线间的关系无关。整个系统的电路参见[1], $F(p)$ 采用比例积分式滤波器(图3)。

$$F(p) = \frac{1 + p\tau_2}{1 + p\tau_1},$$

$$\tau_1 = R_1 C;$$

$$\tau_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C,$$

它们也是高压放大管 DF104 的集电极负载。

三、实验结果与讨论

自控环路闭合后,同时记录 CO_2 激光功率和远红外激光功率,并用电表监视压电陶瓷上的电压值。闭环后远红外输出功率的稳定情况如下:半小时内的漂移小于 2~3%,秒级跳变幅度小于 5%,最长工作时间可达 2 小时。入锁后压电陶瓷上的控制电压单方向漂移,到达极端值后系统便失锁,估计这是系统参数缓慢变化的结果。

为保证系统有较长的锁定时间,入锁点应选择远离跳锁点处。

实验中还观察到一种奇特的环路跳变现象,跳变时 CO_2 激光和远红外激光的变化波

形如图 4 所示。过程有如下的特点:

1、 CO_2 激光功率呈阶跃状跳变,压电陶瓷上的电压亦呈阶跃状。

2、 CO_2 激光功率向上阶跃时,远红外输出正脉冲,反之则为负脉冲。跳变后远红外功率能回到正常值(没有跳变时的稳定值)。

3、跳变的间隔周期是变化的,经若干次跳变后系统可稳定地工作在一个新的状态,此时,远红外输出功率等于跳变前的数值而 CO_2 则工作在一个新的状态。

根据这些波形与特点,很难确切找出引起这种跳变的根源。第 3 点表明这种跳变不是典型的自控系统的振荡现象,后者应具有恒定的振荡频率,不会自动停止,更不应跳至另一态而重新稳定工作。第 2 点说明跳变前后的 CO_2 激光器的工作状态均能满足自控环路的要求;再之,如此迅速的跳变过程,一般仅可在具有正反馈的系统(如双稳态振荡器)中见到,腔长变化导致的功率起伏不可能具有如此迅速的跳变沿。我们曾怀疑跳变发生在情况较为复杂的区域 OQ 中,但波形图告诉我们跳变过程发生在 $J(L) > 0$ 的 AO 或 QB 区域中。看来这一跳变现象与 CO_2 激光器的工作状态的关系较为密切,但在开环工作时并未观察到,是因为自控环路消除了功率起伏使这种跳变得以显现还是自控环路参与了这种跳变,目前尚难以定论。这一现象的阐明对深入理解光泵激光器中的过程或许是有帮助的。

在环路正常工作期间,可使远红外激光功率的稳定性有 1~2 个量级的改善,这同样也就减轻了对 CO_2 激励源及远红外光学元件的要求。

参 考 文 献

[1] 屠世谷等;《中国激光》,1983, 10, No. 7, 395.

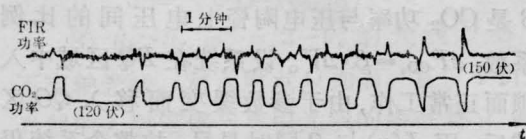


图4 闭环后观察到的跳变波形
(括号中的数字为压电陶瓷上的电压)