

# 激光强度稳定器的频率响应特性研究\*

叶红安 李淳飞

(哈尔滨工业大学应用物理系 哈尔滨 150001)

刘德功 张振辉

(黑龙江大学物理系 哈尔滨 150080)

**提要** 建立了描述激光强度稳定器频率响应特性的数学模型。进行了相应的实验研究。理论分析与实验结果基本相符。

**关键词** 激光强度稳定器, 频率响应, 信噪比

在许多激光应用场合,如光学法定标、高精度光学测量、相干光通讯等等,对于激光输出光强的稳定性都有很高的要求。利用被动式激光强度稳定器来压缩激光噪声,是一种非常有效的措施,人们在这方面开展了大量的研究工作<sup>[1-3]</sup>。激光噪声谱是相当宽的,从极其缓慢的漂移一直到上百兆的噪声起伏,因此开展激光强度稳定器频率响应特性方面的研究是非常必要的。本文建立了描述激光强度稳定器频率响应特性的数学模型,提出了将反馈信号中的高频和低频分量分别由高频和低频两个放大器进行放大的方案,从而改善了激光强度稳定器的频率响应特性。并进行了实验验证,实验结果与理论分析相符。

## 1 理论分析

迄今报道的激光强度稳定器的基本结构与工作原理都是相似的,其原理如图 1 所示。

激光强度稳定器由两部分组成:1) 光强调制系统;2) 由分束器、光电转换器、电子放大器构成的反馈系统。激光强度稳定器是通过由调制系统和反馈系统构成的负反馈闭环回路来稳定激光输出光强的。上述系统中,除了分束器为零阶(即时)环节外,光强调制器、光电转换器和电子放大器均为一阶(惯性)系统。因此,描述激光强度稳定器的数学模型为

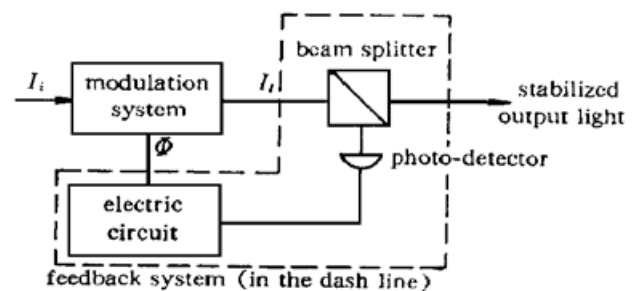


图 1 激光强度稳定器基本结构

Fig. 1 Schematic diagram of the laser intensity stabilizer

$$\tau_1 \frac{dI_t}{dt} + I_t = T(\Phi) I_i \quad (1)$$

$$I_{ts} = \alpha I_t \quad (2)$$

\* 黑龙江自然科学基金资助项目。

$$\tau_{21} \frac{dS}{dt} + S = K_{11}' I_s \quad (3)$$

$$\tau_{22} \frac{d\Phi}{dt} + \Phi = K_{12} S \quad (4)$$

式中,  $I_i$  和  $I_t$  分别为光强稳定器的入射光强和透射光强;  $T(\Phi) = I_t/I_i$  为调制系统的透过率函数,  $\tau_1$ ,  $\tau_{21}$  和  $\tau_{22}$  分别为调制系统、光电转换元件及电子放大器的响应时间;  $\alpha$  为分束器的分束比;  $K_{11}'$  为光电转换器的转换系数;  $S$  为其输出的电信号;  $K_{12}$  为放大器的增益系数;  $\Phi$  为调制系统的控制参量。

令  $K_{11} = K_{11}' \cdot \alpha$ , 方程(2), (3) 可合并为

$$\tau_{21} \frac{dS}{dt} + S = K_{11} I_t \quad (5)$$

在工程上, 一般情况下都是利用正弦信号来研究系统的频率响应特性的。将各种频率不同而幅度相等的正弦信号输入到惯性系统, 其输出信号的相位与频率之间的关系就称为频率响应特性。假定输入信号是频率为  $\omega$  的正弦信号, 那么可由(1), (4), (5) 式得到描述激光强度稳定器频率响应特性的方程式

$$I_t = H_M(\omega) A \sin(\omega t + \theta) \quad (6)$$

$$S = H_{F1}(\omega) I_t \quad (7)$$

$$\Phi = H_{F2}(\omega) S \quad (8)$$

式中

$$H_M(\omega) = \frac{T(\Phi)}{\sqrt{(\omega\tau_1)^2 + 1}} \quad (9)$$

$$H_{F1}(\omega) = \frac{K_{11}}{\sqrt{(\omega\tau_{21})^2 + 1}} \quad (10)$$

$$H_{F2}(\omega) = \frac{K_{12}}{\sqrt{(\omega\tau_{22})^2 + 1}} \quad (11)$$

它们依次为调制系统、电光转换器和电子放大器的传递函数。式中  $A$  为归一化情况下的噪声幅值。这里我们关心的显然是幅频特性。

## 2 实 验

实验装置如图 2 所示。光源为半导体激光器, 波长为 637.0 nm。调制信号由信号发生器产生, 经过功率放大后加在半导体激光器上。人为产生的激光噪声的相对幅度由加在激光器上的直流偏置电压和调制电压的幅度来确定。

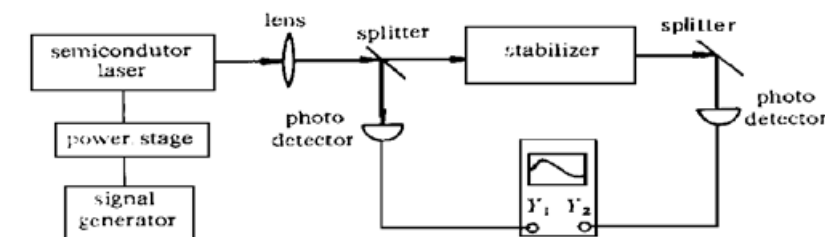


图 2 研究频率响应的实验装置

Fig. 2 Experimental set-up for frequency-response study

光强稳定器调制系统采用的是  $\text{LiNbO}_3$  晶体, 其上限截止频率为 100 MHz, 相应的响应时间  $\tau_1 = 10^{-8}$  s。实验中光电转换器的响应时间为  $\tau_{21} = 10^{-8}$  s。在电子放大器中, 将反馈信号中的高频和低频分量分别由

高频和低频两个放大器进行放大。它们输出的电压叠加后馈至电光晶体上。采用这种方法使放大器的响应时间提高到  $\tau_{22} = 10^{-6}$  s 量级。

光电转换器和电子放大器为串联系统, 利用两串联系统传递函数的性质, 整个反馈系统的传递函数可写为

$$H_F(\omega) = H_{F1}(\omega) \cdot H_{F2}(\omega) \quad (12)$$

实验中, 当入射光噪声频率达到电子放大器上限频率时, 有  $(\omega\tau_1)^2 \ll 1$  和  $(\omega\tau_{21})^2 \ll 1$ 。因此, 描述图 2 所示光强稳定器的频率响应特性的方程可写为

$$I_t \approx T(\Phi) I_i \quad (13)$$

$$\Phi \approx \frac{K_{12}}{\sqrt{(\omega\tau_{22})^2 + 1}} \cdot K_{11} I_t = \frac{1}{\sqrt{(\omega\tau_{22})^2 + 1}} \cdot K_1 I_t \quad (14)$$

式中令  $K_1 = K_{11} \cdot K_{12}$ 。对本实验中的调制系统而言,

控制参量  $\Phi$  即为电压  $V$ , (13) 式中  $T(\Phi)$  可具体表述为  $T(\Phi) = T(V) = F \sin^2 \left[ \frac{\pi V}{V_\pi} \right]$ 。  $F = 0.91$ , 为消光因子。  $V_\pi = 270$  V 为晶体半波电压。实验中  $K_{12} \approx 1000$ , 可很好近似为一常数。将上述条件代入到(13), (14) 式中, 并将入射光强  $I_i$  做归一化处理, 这样就得到了图 3 中的理论曲线。

### 3 结 论

理论分析和实验均表明, 激光强度稳定器抑制噪声的能力会随激光噪声频率的升高而下降。其频率响应特性主要是由电子放大器的频率特性所决定的。本文中采用的对反馈信号的高、低频分量分别由高、低两个放大器进行放大的方法, 是改善激光强度稳定器频率响应特性的有效措施。

### 参 考 文 献

- 1 Li Chunfei, Chen Lixue. The static stability of optical bistability and optical stabilizer. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1984, 4(10): 907~ 913 (in Chinese)
- 2 B. L. Shoop, B. Pezeshki, J. W. Goodman *et al.*. Laser-power stabilization using a quantum-well modulator. *IEEE. Photon. Technol. Lett.*, 1992, 4(2): 136~ 139
- 3 Ye Hongan, Chen Jiujiang, Lu Houjun *et al.*. An optical stabilizer with high stability. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1995, A22(2): 129~ 132 (in Chinese)

## Study of the Frequency Response of the Laser Intensity Stabilizer

Ye Hong'an<sup>1</sup> Li Chunfei<sup>1</sup> Liu Degong<sup>2</sup> Zhang Zhenhui<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001  
<sup>2</sup>Department of Physics, Heilongjiang University, Harbin 150080

**Abstract** A mathematical model describing frequency response characteristics of a stabilizer for laser intensity stabilization has been deduced. The relative experiments have also been carried out. The theoretic analysis is in agreement with the experimental results.

**Key words** laser intensity stabilizer, frequency response, signal-noise ratio

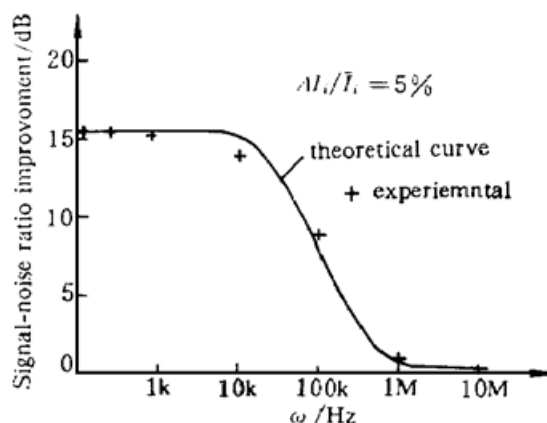


图 3 激光强度稳定器信噪比的改善随频率的变化

Fig. 3 The signal-noise improvement vs frequency of the stabilizer