

# 高稳定度光强稳定器\*

叶红安 陈九江 吕厚均 姜宗胜 姜作宏

葛春风

(黑龙江大学物理系, 哈尔滨 150080)

(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨 150001)

**摘要** 提出了一种采用双反馈方式工作的激光光强稳定系统。理论分析和实验都表明, 采用该方法可使光强稳定系统压缩噪音的能力有数量级的提高。

**关键词** 双反馈, 光强稳定器

## 1 引 言

光强稳定器最重要的指标是抑制噪音的能力。本文提出了一种以双反馈方式工作的光强稳定系统。其抑制噪音的能力与已报道的同类商品相比, 获得了数量级的提高。所提方案的可行性得到了理论与实验的验证。

## 2 实验装置

尽管在光强稳定器中已采用了声光、磁光、电光等不同的传输系统, 但通过负反馈来稳定光强的原理是一致的<sup>[1~4]</sup>。图 1 为以电光调制器作为传输系统的光强稳定装置。由于采用了负反馈回路, 显然这类装置抑制噪音的能力要受到回路增益的限制。那么提高传输系统的动态斜率, 则是改善这一类光强稳定器的关键。为此, 我们提出了双反馈方案(见图 2)。不但从透射光中采样, 同时还从入射光中采样, 并且将它们都作为控制信号, 馈至电光调制器上。这种方案虽然仅增加了输入光的取样控制, 但却使系统抑制噪音的能力获得了大幅度提高。

## 3 理论分析及对比

图 1 所示的单反馈系统, 当光电转换及放大过程为线性时, 系统的工作点为下面方程组的解

$$\begin{cases} T = F \sin^2 \frac{\pi}{V_{\pi}} (V_s + V_B + V) & (1) \\ V = \beta I_t & (2) \end{cases}$$

式中  $T = I_t/I_i$  为透过率函数,  $I_i, I_t$  分别为入射和透射光强,  $F$  为消光因子,  $V_{\pi}$  为晶体半波电压,

\* 该项目为黑龙江省青年基金资助项目。

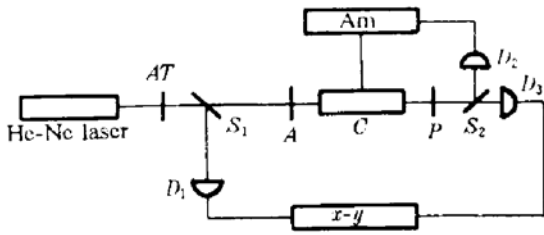


Fig. 1 Schematic diagram of the Stabilizer with signal feed signal, where  $AT$  is a variable optical attenuator,  $S_1, S_2$  the beam splitters,  $A$  the analyzer,  $P$  the polarizer,  $C$  the  $LiNbO_3$  crystal,  $D, D_2, D_3$  the detectors, and  $A_m$  the linear amplifier

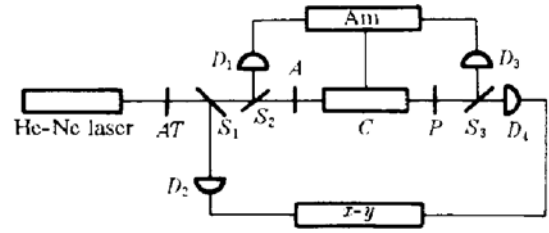


Fig. 2 Schematic diagram of the Stabilizer with two feed signals, where  $AT$  is a variable optical attenuator,  $S_1, S_2, S_3$  the beam splitters,  $A$  the analyzer,  $P$  the polarizer, and  $C$  the  $LiNbO_3$  Crystal,  $D_1, D_2, D_3, D_4$  the detectors, and  $A_m$  the linear amplifier

$V_B$  为偏置电压,  $V_s$  为晶体剩余电压,  $\beta$  为光电转换系数。由方程(1) 描述的传递函数是非线性的, 因此回路增益是工作点的函数。图 3 为归一化的回路增益随工作点的变化曲线。可见  $T = 50\%$  工作点将产生最好的动态噪声抑制, 因系统的动态斜率在  $T = 50\%$  处最大, 其值为 1.57。工作点高于和低于此点, 将产生对称下降的动态增益。

图 2 所示的双反馈系统, 其工作点由下面方程组确定

$$\begin{cases} T = F \sin^2 \frac{\pi}{V_\pi} (V_s + V_B + V) & (3) \\ V = \beta I_i + \alpha I_i & (4) \end{cases}$$

式中  $\alpha$  为对应于入射光强  $I_i$  的光电转换系数。与(1), (2) 两方程相比较, 增加了  $\alpha I_i$  项。这一项的作用十分关键。就其物理实质而言, 它相当于一个随入射光强 ( $I_i$ ) 变化而变化的可变偏压。因此入射光强变化时,  $\alpha I_i$  的作用将使传输曲线产生相应的平移。这一过程使双反馈工作情况下等效传输曲线大大变陡, 从而使动态斜率大幅度提高(见图 4)。

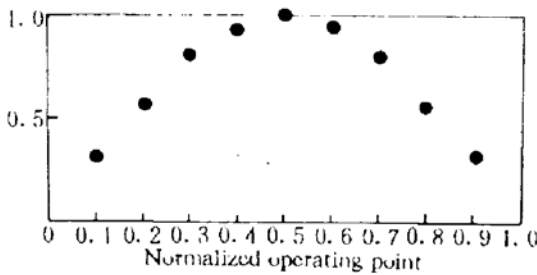


Fig. 3 Normalized attenuation vs operating point

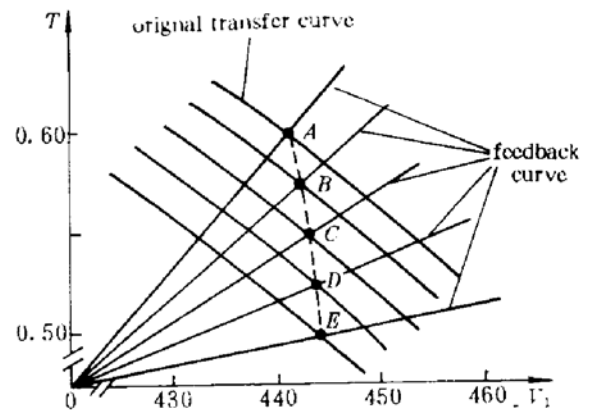


Fig. 4 The dash line connecting points  $A, B, C, D$  and  $E$  is the equivalent transfer curve according to transmissivity  $T$  from 0.6 to 0.5

光强稳定器抑制噪声的能力, 还可方便地用稳定度  $S$  来衡量<sup>[2]</sup>:

$$S = \lim_{\Delta I_i \rightarrow 0} \frac{\Delta I_i / I_i}{\Delta I_i / I_i} = T \frac{dI_i}{dI_i} \quad (5)$$

显然, 在入射光强相对变化  $\Delta I_i / I_i$  相同的情况下, 稳定度越高, 输出光强相对变化  $\Delta I_i / I_i$  则越小, 即系统抑制噪声的能力越强。理论分析表明  $S$  还可以写成另一种形式<sup>[2]</sup>:

$$S = 1 + \left| \frac{dT_M/dV}{dT_F/dV} \right| \quad (6)$$

式中  $dT_M/dV$  与  $dT_F/dV$  分别为传递曲线和反馈曲线的斜率。可见提高传递曲线的动态斜率有利于提高稳定度  $S$ ，这与前面的分析是一致的。利用(1)~(5)式，可分别求得两种反馈方式下稳定度的具体表达式：

$$S_{\#} = 1 - \frac{1}{2} F \beta I_i \sin \frac{\pi}{V_{\pi}} (V_s + V_B + \beta I_i) \quad (7)$$

$$S_{\text{双}} = \frac{1 - \frac{1}{2} F \beta I_i \sin \frac{\pi}{V_{\pi}} (V_s + V_B + \beta I_i + \alpha I_i)}{1 + \frac{\frac{1}{2} F \alpha I_i \sin(\pi/V_{\pi}) (V_s + V_B + \beta I_i + \alpha I_i)}{\frac{1}{2} [1 - F \cos(\pi/V_{\pi}) (V_s + V_B + \beta I_i + \alpha I_i)]}} \quad (8)$$

比较(7)，(8)两式， $S_{\text{双}}$ 的正弦项中增加了  $\alpha I_i$  项，特别是多了分母中的第二项。对于给定的  $F, V_s, V_B, V_{\pi}$  及选定的工作点，先取适当的  $\alpha, \beta$  值，可使这项为  $-1$ 。因此双反馈情况下，对于某一工作点，理论上稳定度  $S_{\text{双}}$  可趋于无穷大。表1为入射光强相对起伏为10%时，采用两种不同工作方式抑制噪音能力的理论计算结果。可见，采用双反馈方案使系统压缩噪音的能力得到了远大于一个数量级的提高。

Table 1 The theoretic calculation for two work manners

Work manner	Ref. point	$V_s + V_B$	$\alpha/\beta$	$\Delta I_i/I_i$	$\Delta I_i/I_i$	$S$
Single feedback	$T = 0.5$	-50 V	0	$\pm 5\%$	0.8%	6
Double Feedback	$T = 0.5$	-50 V	0.13	$\pm 5\%$	0.05%	102

由于晶体的半波电压直接与光源波长成正比，因此对于单反馈情况，由于半波电压的增加，回路增益将随波长的增大而下降，参见图5。

而对于双反馈情况，对于不同的波长，只要重新选取适当的  $\alpha/\beta$  比值，理论上均可使  $S_{\text{双}}$  趋于无穷。因此回路增益不致因波长增大而下降。

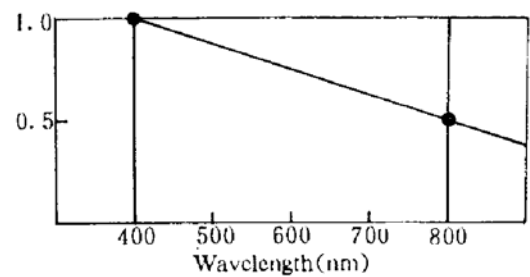


Fig. 5 Normalized attenuation vs optical wavelength

## 4 实验结果及讨论

实验装置如图1及图2所示。电光晶体为横向应用的铌酸锂晶体。 $F = 0.91$ ，当  $\lambda = 0.63 \mu\text{m}$  时， $V_{\pi} = 270 \text{ V}$ 。光源为  $2 \text{ mW}$  He-Ne 激光器，波长为  $0.63 \mu\text{m}$ 。放大器为线性差分放大器，光电转换系数为  $4022 \text{ V/mW}$ 。图6为由  $x-y$  记录仪记录的实验曲线。两支记录笔同时记录了输入光强和经系统稳定后的输出光强随时间变化曲线。图6(a)对应于双反馈系统，图6(b)对应于单反馈系统。

对双反馈系统，由图6(a)实验曲线可知  $\Delta I_i = 5 \text{ mV/cm} \times 3.9 \text{ cm} = 19.5 \text{ mV}$ ， $I_i = 124 \text{ mV}$ ， $\Delta I_i/I_i = 15.7\%$ 。 $\Delta I_o = 1 \text{ mV/cm} \times 0.21 \text{ cm} = 0.21 \text{ mV}$ ， $I_o = 75.2 \text{ mV}$ ， $\Delta I_o/I_o = 0.28\%$ 。因此  $S_{\text{双}}$  的实验值为  $15.7\%/0.28\% \approx 56.1$ ，与理论值(61)基本相符。图6(b)对应的单反馈系统有  $\Delta I_i = 5 \text{ mV/cm} \times 3.8 \text{ cm} = 19 \text{ mV}$ ， $I_i = 118 \text{ mV}$ ， $\Delta I_i/I_i = 16.1\%$ 。 $\Delta I_o = 2 \text{ mV/cm} \times 1.2 \text{ cm} = 2.4 \text{ mV}$ ， $I_o = 79 \text{ mV}$ ， $\Delta I_o/I_o \approx 3\%$ 。 $S_{\#}$  的实验值为  $16.1\%/3\% \approx 5.4$ ，与理论值  $5.7$  也较好地相符。

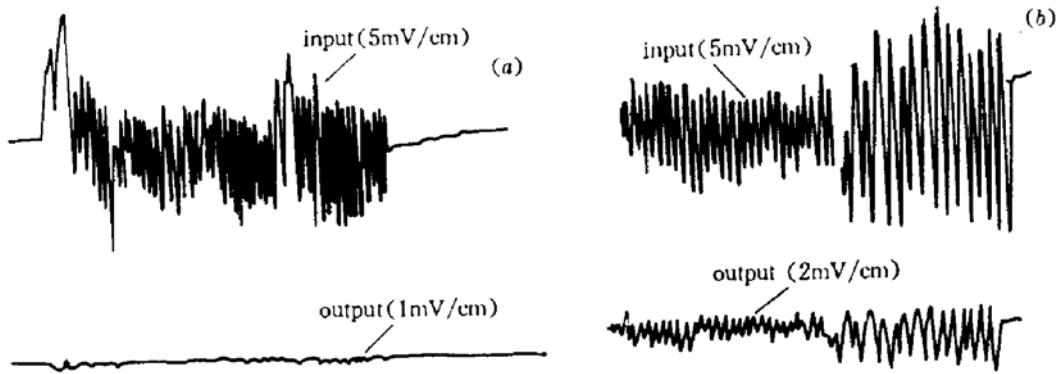


Fig. 6 The experimental curves

为了提高可比性,实验中入射光强的变化都是人为随机调制的,而且两种工作方式下入射光相对起伏也十分接近。记录中,为选择高灵敏度档,同时使记录笔又不超出记录纸,我们串接了一反向电压。计算时,将其一并考虑在内。

上面的理论分析和实验都表明,采用双反馈方案来提高光强稳定系统抑制噪音的能力是可行的。采用 F-P 谐振腔和高阶稳态效应可提高系统抑制噪音能力<sup>[1]</sup>,但前者受光源模式限制,而后者对高工作电压情况难于实现。由公式(6),采用本文提出的双反馈方案来提高动态斜率  $dT_M/dV$ ,而利用非线性反馈来减小  $dT_F/dV$  是提高光强稳定器稳定性的两个普遍适用的有效途径。目前我们正在研究具有非线性反馈的双反馈光强稳定系统。

### 参 考 文 献

- 1 Manabu Gomi, Yuichi Miyazawa, Kenji Uchino *et al.*. Optical stabilizer using a bistable optical device with a PMN electrostrictor. *Appl. Opt.*, 1982, 21(14): 2616~2619
- 2 李淳飞, 陈历学. 光学双稳性的静态稳定度和光强稳定器. *光学学报*, 1984, 4(10): 907~913
- 3 李同保, 于浩然, 曹远生等. 高稳定度激光稳功率仪. *激光杂志*, 1986, 7(5): 253~257
- 4 侯方源, 杨耀文. 采用声光调制技术的激光光强稳定系统. *光学机械*, 1988, (5): 56~62

## An Optical Stabilizer with High Stability

Ye Hongan Chen Jiujiang Lu Houjun Jiang Zongsheng Jiang Zuohong

(Department of Physics, Heilongjiang University, Harbin 150080)

Ge Chunfeng

(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

**Abstract** In this paper a laser stabilizer using double feedback signals is proposed. It is proved theoretically and experimentally that this method makes an order of magnitude improvement in reducing the laser noise for the optical stabilizer.

**Key words** double feedback, optical stabilizer