

双反馈光学双稳态*

叶红安 吕厚均 姜宗胜 李慧奇 姜作宏

(黑龙江大学物理系, 哈尔滨 150080)

葛春风

(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨 150006)

摘 要 提出了采用双反馈来提高光学双稳系统静态稳定度的方法。理论分析和实验均表明, 采用这种方法可使稳定度获得大幅度提高, 非常明显地改善了系统输出的稳定性。

关键词 双反馈, 光学双稳态。

1 引 言

作为实用的光开关、光学逻辑器件、光强稳定器等都要求光学双稳装置输出曲线的斜率要尽量小。采用法布里-珀罗谐振腔结构, 系统输出的稳定性比较好, 但必须使用单模相干光源激励。利用非线性反馈方式, 可使双稳输出的高态获得明显改善, 但对低态基本无改善作用^[1]。采用双反馈的方法, 使静态稳定度得到了大幅度提高, 并使双稳回线的高态和低态输出都得到了十分明显的改善。

2 理 论

2.1 双反馈光学双稳态

混和型光学双稳装置一般包含两部分: 由光强调制器 M 构成的传输系统; 由分束器 S、电光元件 D、放大器 A_m 构成的反馈系统。按反馈信号的获取方法, 又可将其分为单反馈和双反馈两种形式, 如图 1 所示。

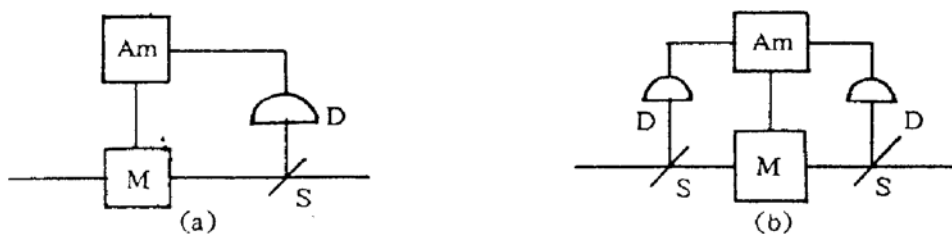


Fig. 1 (a) Optical bistable system with single feedback process,
(b) Optical bistable system with double feedback process

* 黑龙江省自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1994年4月9日; 收到修改稿日期: 1994年6月9日

单反馈双稳系统平衡态行为可由下面方程描述:

$$I_t = T(\phi)I_i, \quad \phi = \phi_0 + K_1 I_t. \quad (1)$$

对双反馈系统则有:

$$I_t = T(\phi)I_i, \quad \phi = \phi_0 + k_1 I_t + k_2 I_o. \quad (2)$$

式中 I_i 、 I_t 分别为系统的输入和输出光强, $T(\phi)$ 为由 M 决定的稳态透过率函数, K_1 、 K_2 都是反馈系统的传输系数, ϕ 为调制系统 M 的控制参量, ϕ_0 为初始偏置宗量。所谓双反馈系统, 是指同时由输入和输出光强中提取信号, 并把它们作用于控制参量 ϕ 上。

2.2 静态稳定度

静态稳定度定义为^[1]:

$$S = \lim_{\Delta I_i \rightarrow 0} \frac{\Delta I_i / I_i}{\Delta I_t / I_t} = T \frac{dI_i}{dI_t}. \quad (3)$$

利用(1)~(3)式, 可求出单反馈双稳系统和双反馈双稳系统静态稳定度表达式为:

$$S_s = 1 - T'(\phi)K_1 I_t, \quad (4)$$

$$S_d = \frac{1 - T'(\phi)K_1 I_t}{1 + T'(\phi)K_2 I_o / T(\phi)}. \quad (5)$$

为了改善系统输出的稳定性, 应设法尽量提高静态稳定度 S 。比较(4)、(5)两式, S_d 的分母中多了 $T'(\phi)K_2 I_o / T(\phi)$ 项。这一项的增加是由于从入射光中取了反馈信号所致。它对系统稳定度的提高起了决定性作用。下面将通过实验来说明这一点。

3 实 验

3.1 实验装置

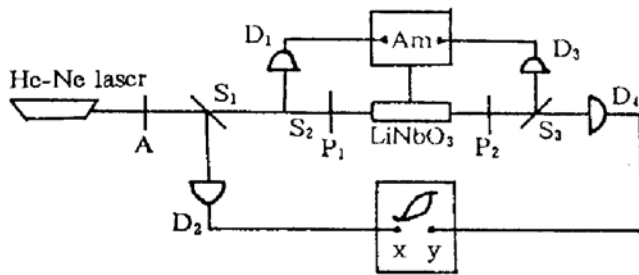


Fig. 2 Experimental setup

A: adjustable attenuatur, S_1 、 S_2 、 S_3 : beam splitter, D_1 、 D_2 、 D_3 : photoelectric detector, P_1 、 P_2 : polarizer, A_m : linear amplifier

图 2 为实验中采用的双反馈光学双稳装置。632.8 nm He-Ne 激光经可调衰减器 A 后, 由分束器 S_1 分成两束。一束由 D_2 转换成电信号, 输入到记录仪 X 轴。另一束由分束器 S_2 再分成两束, 其中一束作为输入端的取样信号, 经 D_1 转变成电信号后送入放大器 A_m 。另一束进入由 LiNbO₃ 晶体和 P_1 、 P_2 构成的电光偏振调制系统。输出光由 S_3 分束。一束作为输出取样信号, 由 D_3 光电转换后送入放大器 A_m 。另一束经 D_4 转换后馈至记录仪 Y 轴。

3.2 实验分析

图 2 所示装置中, 光强调制系统透过率函数为:

$$T = \frac{1}{2} \left[1 - F \cos \frac{\pi}{V_\pi} (V_B + V_i + V_o) \right] \quad (6)$$

式中 F 为消光因子, V_π 为晶体半波电压, V_B 为偏置电压。相应的静态稳定度可由(5)、(6)两式求出:

$$S_d = \frac{1 - \frac{1}{2} FK_1 I_i \sin(\phi_0 + K_1 I_i + K_2 I_i)}{1 + \frac{1}{2} FK_2 I_i \sin(\phi_0 + K_1 I_i + K_2 I_i)} \bigg/ \frac{1}{2} [1 - F \cos(\phi_0 + K_1 I_i + K_2 I_i)] \quad (7)$$

实验中, $F = 0.9$, $V_\pi = 300 \text{ V}$, $V_B = -100$ 。理论分析表明, 对本实验装置, (7) 式分母中的第二项是由入射光反馈信号引入的。选取适当的 K_1/K_2 值, 可使这一项为 -1 。可见, 由于从入射光中引入了反馈信号, 从而使得双反馈系统的静态稳定度的理论值趋于无穷大。由 K_1 、 K_2 的定义, K_1/K_2 值是可以调节从 I_i 和 I_r 中取样比例来调变的。因此实验中从输入和输出光中取样的比例应该使实际的 K_1/K_2 值尽量接近上述理论值。本实验中, $K_1/K_2 = 8.36$ 。单反馈时, 当 $\phi = 3\pi/2$, 即透过率 $T = 0.5$ 时回路增益最大。选这点为参考点, 分别对 S_s 和 S_d 进行了计算(见表 1)。由表 1 可见, 双反馈方案使系统的稳定度获得了大幅度的提高。图 3 为按上述条件获得的实验结果。两种情况的偏置电压 V_B 均为 -100 V 。

Table 1. The comparison of stability between the system with single feedback and the system with double feedback

transmissivity T	single feedback			double feedback		
	$\Delta I_i/I_i$	$\Delta I_r/I_r$	S_s	$\Delta I_i/I_i$	$\Delta I_r/I_r$	S_d
0.6	0.199	0.0389	5.12	0.173	0.0070	24.71
0.55	0.108	0.0193	5.61	0.093	0.0019	48.89
0.525	0.057	0.0097	5.89	0.048	0.0005	96
0.5			6.18			2.2×10^6
0.475	0.0629	0.0097	6.51	0.052	0.0005	104
0.45	0.133	0.0193	6.86	0.109	0.0021	52
0.4	0.300	0.0389	7.50	0.239	0.0089	26.85



Fig. 3 The experimental curves

(a) single feedback, (b) double feedback

采用双反馈方法来提高稳定度的物理机制可通过下面的讨论更直观地说明。静态稳定度还可写成另一种形式^[1]:

$$S = 1 - \frac{dT_M/d\phi}{dT_F/d\phi} \quad (8)$$

式中 $dT_M/d\phi$ 和 $dT_F/d\phi$ 分别为调制曲线和反馈曲线的斜率。对于稳定区, $(dT_M/d\phi)/(dT_F/d\phi) < 0$ 。因此可通过两种途径来提高稳定度: ① 减小反馈曲线斜率; ② 增大调制曲线斜率。从输入光中引入反馈信号作用就是使调制曲线变陡。双反馈系统的透过率函数为(6)式。式中 $V_i = K_2 I_i$ 是输入光反馈信号的贡献。 V_i 的作用相当于一个随着入射光强的变化而变的可变偏置电压。因此随着 I_i 的变化, V_i 将使调制系统的固有调制曲线发生相应的平移。图 4 为根据本实验条件作出的曲线。连接 A、B、C、D、E 等各点的虚线为与实际运转过程对应的调制曲线, 称

其为等效调制曲线。可见等效调制曲线比系统固有调制曲线大大变陡。

4 讨 论

在一些需要高稳定性输出的应用场合,往往采用法布里-珀罗等干涉仪作为光学双稳装置的传输系统^[2~4]。这主要是由于干涉仪结构具有陡的动态斜率。这种方案的不足之处是:输出光呈干涉图样,而且需用单模相干光源激励。这就使得一些实际应用受到了限制。本文提出的双反馈方法,不但系统的稳定性远优于前者,而且可在多模条件下运转,同时输出光仍然保持了原光源的光场分布。因此,双反馈方案对于改善双稳光学逻辑元件及双稳光强稳定器的输出特性具有实际意义。

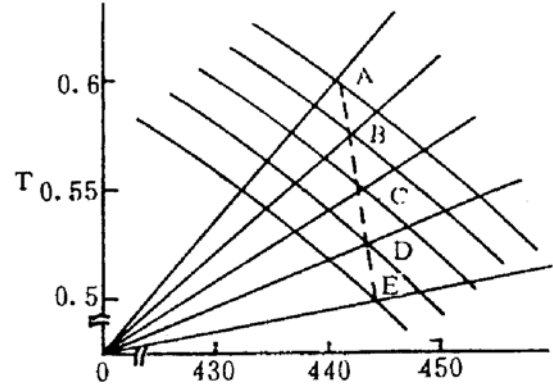


Fig. 4 The dash line connecting points A, B, C, D and E is the equivalent modulation curve according to transmissivity T from 0.6 to 0.5

$A(T = 0.6, V_i = 88, V_r = 441)$, $B(T = 0.575, V_i = 92, V_r = 442)$, $C(T = 0.55, V_i = 96, V_r = 443)$, $D(T = 0.525, V_i = 101, V_r = 444)$, $E(T = 0.5, V_i = 106, V_r = 444)$

参 考 文 献

- [1] 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
- [2] 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
- [3] Hitoshi Kawaguchi, Hiroyuki Tani., Optical bistability using a Fabry-Perot Semiconductor-laser amplifier with two holding beams. *Opt. Lett.*, 1987, 12(7): 513~515
- [4] 郑宇进, 允自强, 高新等, 光学双稳态激光光强稳定器的研究. 重庆大学学报, 1992, 15(5): 107~110

Optical Bistability with Double Feedback Process

Ye Hongan Lü Houjun Jiang Zongsheng

Li Huiqi Jiang Zuohong

(Heilongjiang University Department of Physics, Harbin 150080)

Ge Chunfeng

(Harbin Institute of Technology Department of Applied Physics, Harbin 150006)

(Received 9 April 1994; revised 9 June 1994)

Abstract A method of using double feedback process to improve static stability of a optical bistable system is presented. Both theoretic analysis and experient show that the stability can be greatly enhanced and the output stability of the system has been remarkably improved bu using this method.

Key words double feedback, optical bistability.