

磁光双稳系统的非稳特性*

郑植仁 高锦岳 李继纯
(吉林大学物理系, 长春 130023) (吉林大学计算中心, 长春130023)

提 要

从具有延时反馈回路的磁光双稳系统的动力学方程出发, 讨论了该系统的一些非稳特性, 研究了磁光双稳系统的消光比对该系统非稳特性的影响。

关键词 磁光, 非稳特性, 消光比。

近年来, 人们从理论和实验上对电光, 布喇格(Bragg)型声光, 喇曼-奈斯(Raman-Nath)型声光和磁光等混合型光学双稳系统作了很多研究^[1~9]。这些研究工作深化了人们对非线性光学系统基本规律的认识, 为以后可能的应用准备了条件。本文在董考义等人对磁光双稳系统稳态特性研究的基础上, 从理论上研究了磁光双稳系统的一些非稳特性, 讨论了消光比对磁光双稳系统的非稳区域与输出共振特性的影响。

1 非稳区域及消光比的影响

磁光双稳系统的结构原理如图1所示。激光束经过偏振片 P_1 进入磁光调制器 M , 射出后经过偏振片 P_2 , 射入光电转换器 D , 转换成电信号, 然后经过延时器 T 延时, 放大器 A 放大后, 控制磁光调制器的驱动电流源, 构成混合型延时反馈磁光双稳系统。整个系统的动力学特性可用如下一组方程来描述^[1, 9]

$$\tau_1 \dot{I}_{out}(t) + I_{out}(t) = T(\varphi) I_{in}, \quad (1)$$

$$\tau_2 \dot{\varphi}(t) + \varphi(t) - \varphi_0 = K I_{out}(t - \tau_D), \quad (2)$$

$$T(\varphi) = [(N-1)/N] \sin^2 \varphi + (1/N), \quad (3)$$

式中 I_{out} , I_{in} 分别为系统的输出和输入光强, $T(\varphi)$ 为透过率, τ_1 , τ_2 分别为传输和反馈部分的响应时间, τ_D 为延迟时间, K 为反馈系数, φ 为与调制器磁场的激励电流成比例的变量^[9], φ_0 为该变量的初始值, N 为消光比。若设 $u = K I_{out}$, $I = K I_{in}$, $V = \varphi - \varphi_0$, $t = t/\tau_2$, $\tau = \tau_D/\tau_2$, 并考虑到 $\tau_1 \ll \tau_2$, 则上述方程可合写成一个方程

$$\dot{V}(t) + V(t) = I \{ [(N-1)/N] \sin^2 [V(t-\tau) + \varphi_0] + (1/N) \}, \quad (4)$$

方程(4)是与(1)~(3)式等价的磁光双稳系统的动态方程。令 $\dot{V}(t) = 0$, 可以得到方程(4)的稳态解

$$V_0 = I_0 \{ [(N-1)/N] \sin^2 (V_0 + \varphi_0) + (1/N) \}, \quad (5)$$

(5)式描写了该系统的稳态特性. 由(5)式可以得到如图 2 所示的输出与输入之间的多稳曲线.

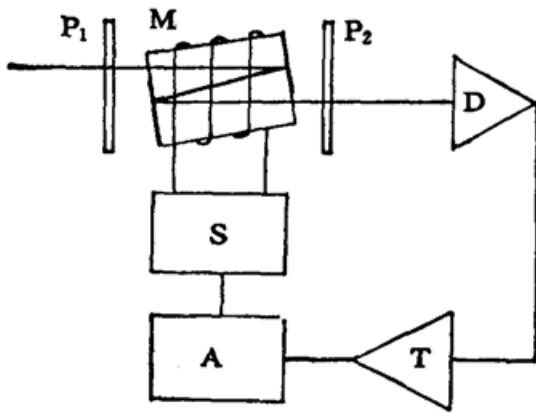


Fig. 1 Schematic diagram of a magneto-optical bistable device

P_1, P_2 —polarizer, M —magneto-optical modulator, D —optic-electric detector, T —delay system, A —amplifier, S —the driving source of electric current

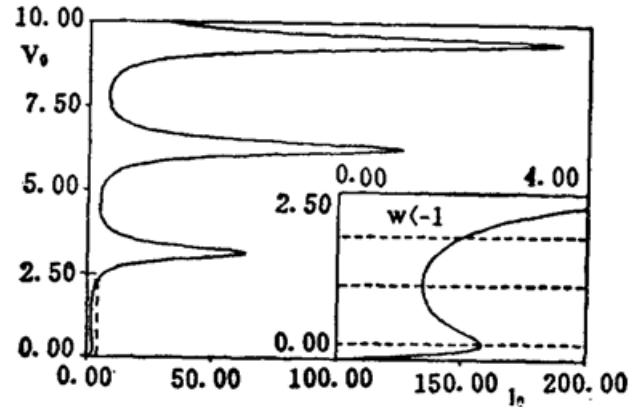


Fig. 2 Multistable curve of the output signal V_0 vs. the input signal I_0

The parameters are $\phi_0=0.0, N=20$. The attached figure is the amplified figure of the first bistable curve of the multistable curve. Dashed lines show the regions of the parameter values W , which indicate $0 < W < 1, W > 1, |W| < 1$ and $W < -1$, respectively, from bottom to top

将(4)式在某一稳态附近展开, 并仅取线性项, 可得

$$\dot{\varepsilon}(t) + \varepsilon(t) = W\varepsilon(t - \tau), \tag{6}$$

$$\varepsilon(t) = V(t) - V_0 = B \exp[(\alpha + i\beta)t], \tag{7}$$

$$W = V_0 \{ \sin 2(V_0 + \phi_0) / [\sin^2(V_0 + \phi_0) + (1/N)] \}, \tag{8}$$

式中 $\varepsilon(t)$ 表示动态输出与稳态输出之差, 它标志着动态偏离稳态的程度. W 为稳态参量的函数. α, β 分别为线性稳定性分析中本征模的实部和虚部, 显然对应每一个状态都有多组本征模与之对应. 线性稳定性分析的结果表明, 多稳曲线上负斜率部分上的点是系统的非稳定点; 正斜率部分上对应 $|W| < 1$ 的那些点是系统的稳定点; 对应 $W < -1$ 的那些点是否稳定还与延迟时间 τ 和状态参量 W 有关. 令 $\alpha=0$, 可以得到如下关系式

$$\tau = (\pi - \arctan \beta') / \beta', \tag{9}$$

$$\beta' = \sqrt{W^2 - 1}. \tag{10}$$

由(8)~(10)式可以得到 V_0 与 τ 之间的关系式, 并给出图 3 的非稳区域曲线. 图 3 曲线上的点对应 $\alpha=0$. 曲线外侧的区域对应 $\alpha < 0$, 是稳区. 曲线内侧的区域里至少有一个 $\alpha > 0$, 是非稳区. 图 3 中下面的一组曲线是

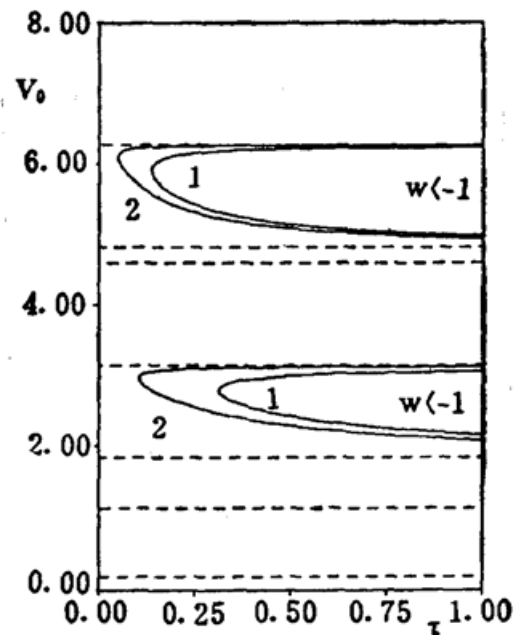


Fig. 3 The instability domains of the output signal V_0 vs. delay time τ

The parameters are $\phi_0=0.0$, (1) $N=6$, (2) $N=30$. The Dashed lines show the regions of parameter values W , which indicate $0 < W < 1, W > 1, |W| < 1, W < -1, W > 1, |W| < 1, W < -1$ respectively, from bottom to top

第一支双稳曲线上 $W < -1$ 部分的非稳区域曲线。上面的一组曲线是第二支双稳曲线上 $W < -1$ 部分的非稳区域曲线。由于系统的状态参量 W 与消光比有关, 因此不同的消光比对应不同的非稳区域曲线。图 3 中第一套曲线对应的消光比是 6, 第二套曲线对应的消光比是 30。从图中可以清楚地看出, 随着消光比的增大, 非稳区域扩大, 稳区缩小。实际运行该系统时应注意这个问题。表 1 列出了图 3 中一个固定状态点的本征模实部 α 随消光比 N 变化的一组数据来说明这个问题。由表 1 可知, 随着消光比的增大, 本征模实部单调增加, 并由负值变为正值。由 (7) 式还可知, 本征模实部 α 对应系统输出振荡的增益。当增益是负值时, 系统处于稳定状态; 当增益是正值时, 系统处于非稳状态。本征模实部随消光比的增大由负值变为正值, 意味着系统的输出增益由负值变为正值, 系统由稳态变为非稳态, 系统所处的状态点由稳态点变为非稳态点, 从而, 稳区缩小, 非稳区域扩大了。

Table 1 The real part α of the linearized eigenvalue for extinction ratio N
The parameters are $\phi_0=0.0$, $V_0=2.90$, $\tau=0.14$

N	6	10	19	60	120
α	-4.12	-2.00	0.03	2.20	2.84

2 输出共振及消光比的影响

为了研究系统的非稳特性, 我们让输入作如下形式的简谐调制

$$I(t) = I_0 + A \cos(\omega_0 t), \quad (11)$$

式中 A 是调制幅度, ω_0 是调制圆频率。把 (11) 式代入方程 (4), 首先利用计算机解出方程

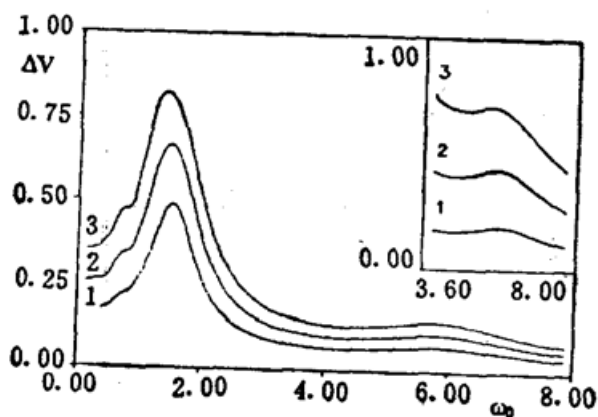


Fig. 4 The resonance curves of the amplitude of output signal ΔV vs. the modulation frequency of input signal ω_0 in the stable region, the curves 1, 2, 3 are corresponding to $A=0.2$, 0.3, 0.4, respectively

The parameters are $\phi_0=0.0$, $N=20$, $V_0=1.9$, $\tau=1.3$, $\beta_1=1.55$, $\beta_2=6.01$

The attached figure is the resonance curves of the second eigenvalue, the curves 1, 2, 3 are corresponding to $A=0.5$, 1.2, 2.0. The other parameters are the same as in the main figure

(4) 的动态数值解, 然后再利用计算机作傅里叶变换, 求出相应输出的功率谱。计算结果表明, 在 $\alpha < -1$ 且 $\alpha < 0$ 的稳区部分, 当调制幅度很小时, 相应的输出也作同频简谐振荡; 当调制幅度变得稍大时, 输出波型开始畸变, 但仍与简谐波型相似。

设 $\Delta V = V_{\max} - V_{\min}$ 为输出波的振幅改变量即输出振荡幅度, 利用计算机绘制 ΔV 随调制圆频率 ω_0 变化的曲线, 得到图 4 中对应不同调制幅度 A 的三条曲线。这组曲线给出了输出振荡幅度 ΔV 随输入圆调制频率 ω_0 发展的共振关系。图中的两组共振峰对应的输入调制圆频率与系统的两个本征模虚部对应。进一步的计算还发现在其他本征模虚部对应的输入调制圆频率附近也有共振现象。共振峰随调制幅度增大, 向低频一侧偏移的现象不但出现在第一个本征频附近, 也出现

第二个本征频附近。

为了研究消光比 N 对共振峰的影响, 作者绘制了图 5 的对应不同消光比的四条共振曲线。由该图可知, 随着消光比的增大, 共振峰不断增长, 消光比较小时共振峰增长的速度较快。随着消光比的增大, 共振峰不是像图 4 那样向低频一侧偏移, 而是向高频一侧偏移。上述现象可以由线性化分析中本征模实部 α 与虚部 β 的值随消光比的增大逐渐变大, 而且消光比较小时本征模实部 α 增大的速度较快得到解释。

在 $W < -1$ 且 $\alpha > 0$ 的非稳区, 输出振荡的基频 ω 随输入调制频率 ω_0 的变化关系比较复杂。图 6 是针对一个具体状态所作的计算结果。这条曲线表明, 在输入调制频率 ω_0 是输出本征基频 $\omega(A=0)$ 的 1, 2, 3, 4, 5 倍等处均存在锁定区, 而且锁定区随 ω_0 的增大趋于缩小。由图 6 还可以看出, 输入调制频率较小时, 输出基频的波动幅度较大, 较复杂, 随着输入调制频率的增大, 输出基频的波动幅度逐渐变小, 最终将稳定在本征基频 $\omega(A=0)$ 附近。这说明随着输入调制频率的增大, 输入简谐振荡对输出基频对应的简谐振荡的调制作用变得越来越弱了。频率锁定现象实质上是在系统的本征基频附近的基频输出对输入调制的共振响应。当输入频率在系统的本征基频附近时, 输入与基频输出的相互作用较强, 既使在非锁定区, 输出基频也不稳定在本征基频附近, 而是呈现较复杂的起伏。随着输入频率越来越远离系统的本征基频, 输入与基频输出之间的相互作用越来越弱, 因而锁定区越来越小, 输出基频的波动越来越小, 最后稳定在本征基频 $\omega(A=0)$ 附近了。

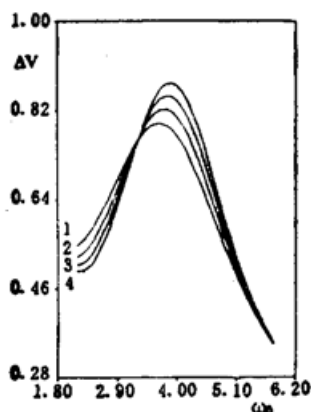


Fig. 5 The resonance curves of the amplitude of output signal ΔV vs. the modulation frequency of input signal ω_0 in the stable region, the curves 1, 2, 3, 4 are corresponding to 10, 16, 30, 120, respectively

The parameters are $\phi_0=0.0, A=1.0, V_0=2.2, \tau=0.4$

- (1) $\alpha=-0.93, \beta=3.97$ for $N=10$
- (2) $\alpha=-0.82, \beta=4.04$ for $N=16$
- (3) $\alpha=-0.74, \beta=4.09$ for $N=30$
- (4) $\alpha=-0.67, \beta=4.13$ for $N=120$

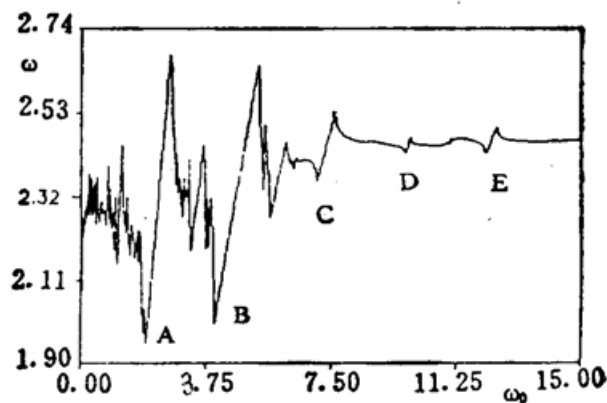


Fig. 6 The curve of the fundamental frequency of output signal ω vs. the modulation frequency of input signal ω_0 in the unstable region

The parameters are $\phi_0=0.0, N=120, A=1.2, V_0=2.4, \tau=0.8, \omega(A=0)=2.46, \beta=2.65$
 (A) $\omega_0=\omega$, (B) $\omega_0=2\omega$, (C) $\omega_0=3\omega$,
 (D) $\omega_0=4\omega$, (E) $\omega_0=5\omega$

参 考 文 献

- [1] 李永贵, 张洪钧. 混合型光学双稳特性分析. 物理学报, 1983, 32 (3): 301~308
- [2] J. Y. Gao, L. M. Narducci, The Effect of Modulation in a Bistable System with Delay. *Optics Communications*, 1986, 58 (5): 360~364
- [3] J. Y. Gao, G. X. Jin, J. W. Sun *et al.*, The Effect of Input Modulation in a Bistable System with

Delay. *Optics Communications*, 1989, **71** (3,4): 224~228

- [4] 郑植仁,高锦岳. Bragg 型声光双稳系统的调制效应, *光学学报*, 1990, **10** (1): 7~13
- [5] 高锦岳,苏雪梅,王桂枝等. 一种 Bragg 型声光双稳器件的双稳特性研究. *量子电子学*, 1989, **6** (1): 1~5
- [6] 董孝义,张小洁,盛秋琴. 不同声场状态下的声光光学双稳态. *光学学报*, 1985, **5** (12): 1074~1081
- [7] 梁桂云,卢万欣,路德仁等. 基于喇曼-奈斯声光衍射的光学双稳装置. *光学学报*, 1985, **5** (7): 658~661
- [8] 郑棉仁,高春晓,高锦岳. Raman-Nath 型声光双稳系统的稳态特性与小讯号调制响应. *量子电子学*, 1991, **8** (4): 396~401
- [9] 董孝义,宋文涛,盛秋琴. 磁光光学双稳态, *光学学报*, 1987, **7** (12): 1076~1080

Instability characteristics of a magneto-optical bistable system

ZHENG ZHIREN GAO JINYUE

(*Physics Department, Jilin University, Changchun 130023*)

LI JICHUN

(*Computer Center, Jilin University, Changchun 130023*)

(Received 24 January 1992; revised 9 March 1992)

Abstract

In this paper, according to the dynamic and steady state equations describing the magneto-optical bistable system with a delay in the feedback loop, some instability characteristics have been calculated and analysed.

In particular, the effect of extinction ratio in the magneto-optical bistable system on the unstable region and the resonance have been investigated.

Key words magneto-optics, instability, extinction ratio.