

# He-Ne 激光泵浦的电光双稳系统中的 动力学存储\*

郑植仁 高锦岳 黄吉华 张 英

(吉林大学物理系, 长春 130023)

**提要** 报道了一种 He-Ne 激光泵浦的电光混合型双稳系统在长延时下的动力学存储功能。在该系统中实现了直至 51 位二进制信息码的写入和存储。

**关键词** 电光双稳系统, 动力学存储

## 1 引 言

自从 Ikeda 预言了延时反馈双稳系统中的非稳振荡及分叉结构, 并提出可能将该系统用作记忆装置<sup>[1,2]</sup>以来, 人们利用各种延时反馈双稳装置从理论和实验上对振荡模和它们的稳定性及导致混沌的振荡特性进行了验证和系统的研究<sup>[3~9]</sup>, 但对于此类系统在实际应用方面的研究还不多。近年来日本的一些学者进行了这方面的探索, 他们采用激光二极管泵浦的混合双稳系统, 实现了将直到 21 位的二进制信息码从系统读出和写入<sup>[10]</sup>。我们则采用 He-Ne 激光泵浦的电光双稳系统, 实现了将直到 51 位的二进制信息码的写入和存储。这样的系统可能成为光计算或光信息处理的元件。

电光双稳系统的动力学行为可由下面的耦合方程来描述<sup>[5,6]</sup>

$$I_2(t) = 0.5I_1\{1 - K\cos[\theta + V(t)]\} \quad (1)$$

$$\frac{dV(t)}{dt} + V(t) = I_2(t - T) \quad (2)$$

其中  $I_1, I_2(t)$  是系统的输入和输出光强,  $K$  是调制器的消光系数,  $\theta, V(t)$  分别与调制器的固定偏压及反馈电压对应,  $T$  和  $t$  是以系统的响应时间为单位的延迟时间及时间变量。令  $dV(t)/dt = 0, I_2 = I_2(\infty) = V(\infty)$ , 则得到系统的稳态方程

$$I_2 = 0.5I_1[1 - K\cos(\theta + I_2)] \quad (3)$$

对方程(2)作线性稳定性分析, 可以得到如下本征方程

$$S + 1 - 0.5I_1K\sin(\theta + I_2)\exp(-ST) = 0 \quad (4)$$

其中  $S$  为线性化问题的本征值, 可以分为虚实两个部分,  $S = \alpha + i\beta$ , 实部  $\alpha$  与振荡模的幅度对应, 虚部决定振荡模的频率。将  $S = \alpha + i\beta$  代入本征方程, 得到

$$\alpha + 1 - W\exp(-\alpha T)\cos(T\beta) = 0 \quad (5)$$

\* 国家 85 攀登计划“非线性科学”和国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1994 年 8 月 2 日; 收到修改稿日期: 1994 年 12 月 5 日

$$\beta + W \exp(-\alpha T) \sin(T\beta) = 0 \quad (6)$$

$$W = 0.5 I_1 K \sin(\theta + I_2) = \frac{K I_2 \sin(\theta + I_2)}{1 - K \cos(\theta + I_2)} \quad (7)$$

式中  $W$  是与输出强度对应的参数。当  $W < -1$  和  $\alpha > 0$  时系统具有非稳性。随着输入光强的增强或延迟时间的增长,系统的输出波形呈现倍周期分叉结构,其傅里叶分析和线性稳定性分析表明,系统输出基频及其各次谐波与各本征值的虚部,称为系统的本征频率,随着延迟时间的增长逐渐依次趋向一致。这表明系统不但可能存在以系统的本征基频为输出基频的振荡,而且可能存在以本征基频的奇次谐频为输出基频的振荡,正是这些分叉结构和它们的奇次谐波使延时反馈双稳系统能够用作存储装置。

## 2 动力学存储原理

在长延时情况下,由于许多本征模在输入光强达到一定值时同时成为不稳定的振荡模,因而其振荡波形是方波或分叉方波,此时可以认为  $dV/dt \approx 0$ , 方程(1),(2)可以变为如下的叠代方程

$$V(t) = 0.5 I_1 \{1 - K \cos[\theta + V(t - T)]\} \quad (8)$$

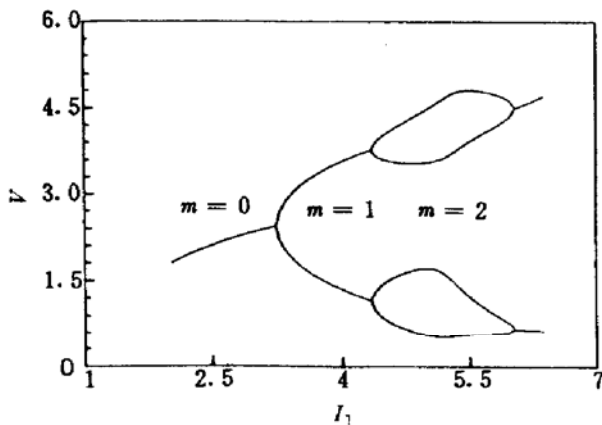


Fig. 1 Bifurcation diagram of oscillation level.

The parameters:  $K = 0.8, \theta = 0.5\pi, I_1 = 5.17$

如果我们以  $m$  表示倍周期分叉的次数,稳态对应  $m = 0$ ,方波对应  $m = 1$ ,分叉方波对应  $m = 2$ ,则分叉呈现如图1所示形式。由递推关系可知,在输入光强一定时,任一时刻  $t$  的输出波形完全由  $(t - T)$  时刻的波形来决定。当  $m = 2$  时,如果用 11,10,01,00 来依次表示分叉方波从高到低的四个峰谷平台,则输出波形的峰谷之间的转换关系与固定偏压  $\theta$  有关,呈现如图2所示的两种形式。其中图2(a)和(c)是根据方程(8)所得到的迭代图解;图2(b)和(d)是根据方程(1)和(2)所得到的本征振荡图解。输出波形峰谷系列的后  $2T$  间隔是前  $2T$  间隔的反转,所有振荡波形在下一个

一个  $4T$  将被完全重复。若以  $n$  来表示系统输出振荡的奇次谐波数,把一种输出波形称作一个振荡模,则存在于系统内的振荡模可以由谐波数  $n$  和分叉数  $m$  来分类。如果振荡的位相可由时钟加以鉴别,则在一个  $(n, m = 2)$  类里存在  $2^n$  个不同的振荡模,如果没有时钟,一个  $(n, m = 2)$  类里可以识别的振荡模数将减少,但至少要有  $2^{n-1}/n$  个,我们称这样的振荡模为独立模。比如在  $(n = 7, m = 2)$  类里存在 10 种独立的振荡模,各类中存在的独立模数随谐波数  $n$  的增加而迅速增多。对于  $n$  次谐波,每个延迟时间  $T$  内有  $n$  个峰或谷,如果用  $(I_i = 1)$  表示较高的峰,用  $(I_i = 0)$  表示较低的峰,就可以用一个  $2T$  内的  $n$  元二进制信息码  $(I_1, I_2, I_3, \dots, I_n)$  对应  $(n, m = 2)$  类里的一个振荡模。如果我们在  $T$  延迟时间间隔内按系统本征振荡的四个峰谷平台的高度对  $V(t - T)$  赋予一组与  $n$  元二进制信息码对应的初始振荡模值,并存入系统中,由于一旦第一个  $T$  时间间隔内的讯号确定了,则以后任一时刻的讯号都将完全确定,则系统此后将以  $n$  次谐频按事先给定的模式振荡,即将信息写入了系统,实现了动态存储(图3所示)。

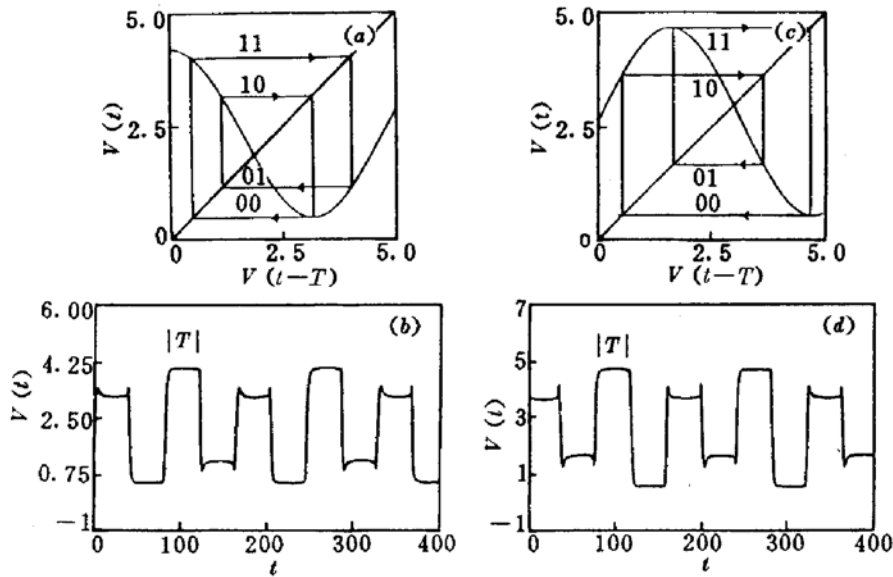


Fig. 2 Diagrams of the recurrence relation  $V(t)$  and  $V(t - T)$  expressed by Eq. 8 and eigenvalue output oscillation. The parameters: (a) and (b)  $K = 0.8, \theta = 1.0\pi, I_1 = 4.68$ ; (c) and (d)  $K = 0.8, \theta = 0.5\pi, I_1 = 5.17$

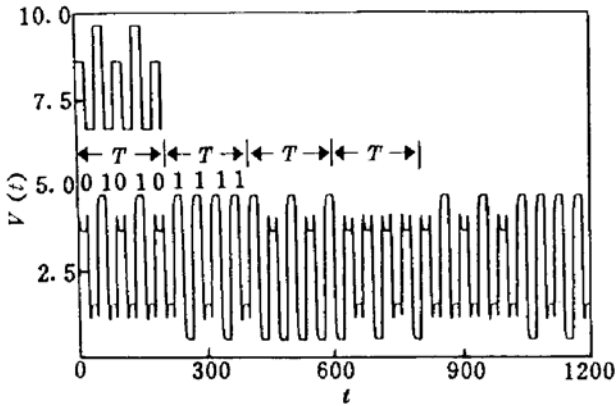


Fig. 3 A distinguishable coded oscillation waveform of ( $n = 9, m = 2$ ) class. The parameters:  $K = 0.8, \theta = 0.5\pi, I_1 = 5.17, T = 200$

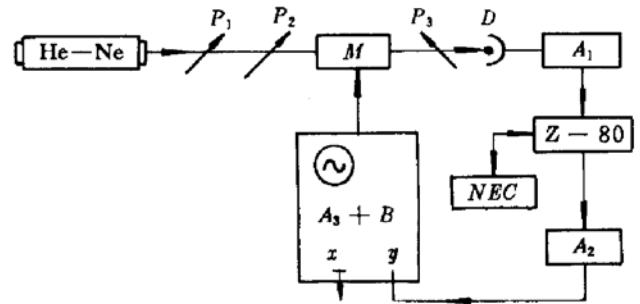


Fig. 4 Schematic representation of the experimental layout

He-Ne: He-Ne laser;  $M$ : electro-optic modulator;  $P_1, P_2, P_3$ : polaroids;  $D$ : detector;  $A_1, A_2, A_3$ : amplifiers;  $B$ : bias; Z-80: microprocessor; NEC: computer;  $O$ : oscilloscope

### 3 实验和讨论

本文采用图 4 所示的电光混合型延时反馈光学双稳装置。以波长为 632.8 nm, 功率为 3 mW 的 He-Ne 激光入射到偏振片  $P$  及  $\text{LiNbO}_3$  调制晶体  $M$  上, 出射后进入光电倍增管, 转换成电讯号, 经放大器  $A_1$  放大后输入到 Z-80 单板机中被延时, 单板机与 NEC 计算机联接, 以便进行数据的相互传送, 从单板机中出来的讯号再经  $A_2$  放大器放大后加到示波器的  $y$  轴上, 并与固定偏压做为反馈一齐加到调制器  $M$  上, 输出波形由一个示波器来观察。

我们首先测量了系统的弛豫时间。让双稳系统开路, 方波发生器产生方波, 经  $A_1$  放大进入单板机, 从单板机出来后送入  $A_2$  再放大, 然后加上直流偏压后反馈到调制晶体  $M$  上, 从调制器  $M$  出射的光波进入光电倍增管, 光电倍增管的输出直接送入示波器, 系统弛豫造成振荡波形不是标准方波, 而是上下沿倾斜的近似方波, 只要读出上升沿振幅 0.63 倍处与起始处之间所经历的时间, 即为整个反馈系统的弛豫时间, 测量时置延迟时间为零, 结果为  $(0.15 \pm 0.02)$  ms。

然后闭合反馈回路, 将输入光分出一束经光电倍增管送入示波器的  $x$  轴, 从放大器  $A_2$  出来

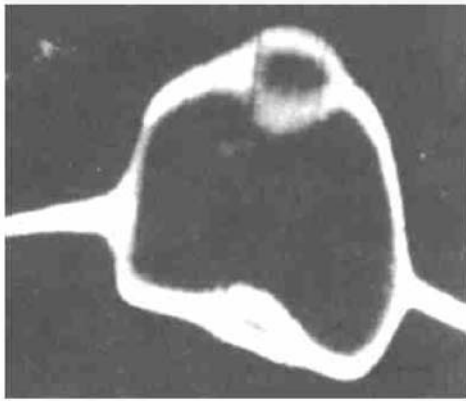


Fig. 5 Experimental bifurcation diagram of levels of  $n = 1$  oscillation. Vertical and horizontal axis represent the output and input intensity with arbitrary units, respectively

的输出光波送入示波器的  $y$  轴, 让输入光锯齿波波形变化, 改变偏压直到示波器上显示出清楚的分叉图形, 如图 5 所示。

接着断开送入示波器  $x$  轴的输入光, 固定输入光强, 将调制器  $M$  调节好, 调节直流偏压和输入光强, 让系统工作在稳定的二次分叉区, 呈现稳定的分叉方波振荡, 然后断开反馈回路, 把单板机内存缓冲区中保存的系统运行时经过模数转换的部分振荡波形数据传入 NEC 计算机, 记下系统中分叉方波四个峰谷平台的高度模数值(如 156, 115, 38, 17), 在 NEC 中用这四个平台值编制一组与事先设计的  $n$  元二进制信息码(如  $(n = 7, m = 2)$  的  $(1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1)$ ) 对应的一个  $T$  间隔

内的初始振荡模数据(例如 156, 156, 156, 156, 156, 17, 17, 17, 17, 17, 115, 115, 115, 115, 115, 38, 38, 38, 38, 38, 156, 156, 156, 156, 156, 17, 17, 17, 17, 17, 115, 115, 115, 115), 并传送到 Z-80 单板机内, 存入缓冲区中, 即将“二进制信息码”写入了系统中。然后关闭回路, 运行单板机内的汇编程序, 系统开始按带有事先给定信息  $(1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1)$  的波形振荡, 即实现了二进制信息码的存储。可以通过示波器观察系统的振荡, 还可以通过 NEC 计算机记录系统的振荡。

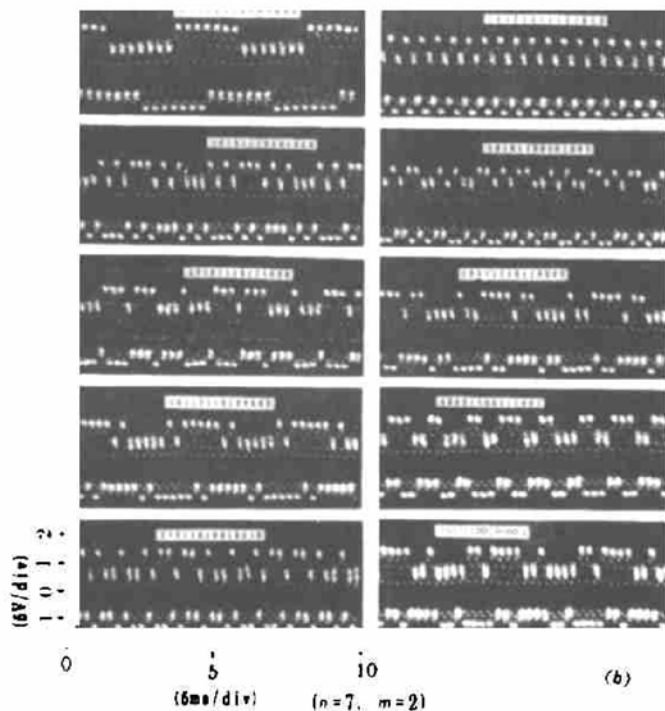
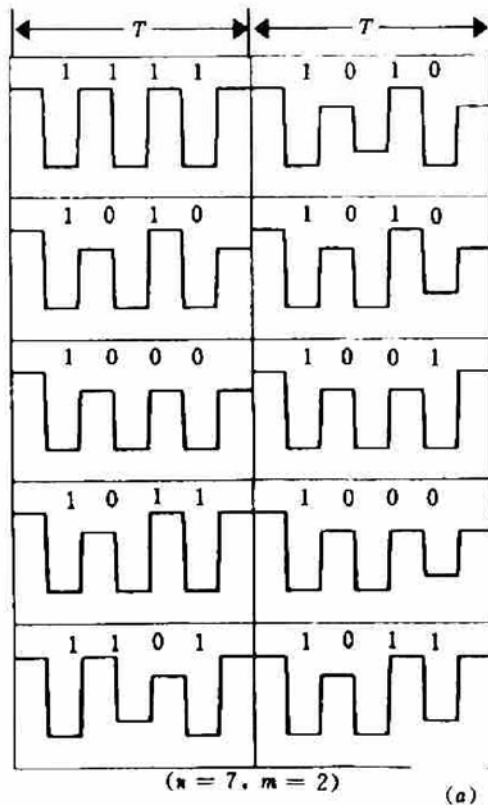


Fig. 6

(a) All 10 written in distinguishable coded waveform of  $(n = 7, m = 2)$  class; (b) All 10 distinguishable coded oscillation waveforms in the device of  $(n = 7, m = 2)$  class, which correspond to the waveforms in Fig. 6 (a). The coordinates and the units used in all 10 figures are the same



*Rev.*, 1984, **A30**:901

- 9 J. Y. Gao, L. M. Narducci. The effect of modulation in a bistable system with delay. *Opt. Commun.*, 1986, **58**:360
- 10 T. Aida, P. Davis. Oscillation modes of laser diode pumped hybrid bistable system with large delay and application to dynamical memory. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1992, **QE-28**:686

## **A Dynamical Memory Function of an Electro-optical Bistable System Pumped by a He-Ne Laser**

Zheng Zhiren Gao Jinyue Huang Jihua Zhang Ying

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

**Abstract** We report a dynamical memory function of an electro-optical bistable system with long delayed feedback. Up to 51-bit binary data writing and memorizing to the system have been demonstrated.

**Key words** electro-optical bistable system, dynamical memory function