

混合型光学双稳态的光脉冲放大

张远程

宋 筹

(武汉大学物理系)

(武汉大学无线电信息工程系)

提要: 利用一个氦氖-铌酸锂混合型光学双稳态装置实现了固定光偏置和脉冲光偏置两种方式下的光信号放大, 光信号增益分别为15和20~95。理论计算和实验结果基本相符。

Light pulse signal amplification by optical bistable device

Zhang Yuancheng

Song Qian

(Department of Physics, Wuhan University, Wuhan)

(Department of Radio & Information Engineering, Wuhan University, Wuhan)

Abstract: Light pulse signal amplification has been realized both in constant-light-bias (CLB) and pulse-light-bias (PLB) modes by means of a hybrid optical bistable device consisted of a He-Ne laser and a LiNbO₃ electro-optical modulator. The light gain is 15 and 20~95 respectively. The theory agrees with the experimental results essentially.

一、引 言

光学双稳态器件用做光信号放大可由其双稳回线来说明, 见图1。当回线宽度为零时, 可用于固定光偏置光信号放大, 这时光输出-输入特性曲线变成一个单值函数, 即成为一条所谓微分增益曲线[图1(a)]。若选择A点为偏置点, 即采用 P_{ib} 作为固定偏置光强, 则当幅度小的信号光叠加于偏置光时, 可得放大的光脉冲。但是, 固定偏置光信号放大方式增益和输出信号较小, 这是因为对于同一双稳器件而言, 微分增益曲线的阶跃不及双稳回线的阶跃大, 且离偏置点越远, 曲线的斜率越低。若改用阶跃大的双稳回线, 则不能采用固定偏置方式工作。因为当一个

光信号脉冲到来从而使系统从低透射态跃迁到高透射态以后, 虽然脉冲不久就过去了, 但由于偏置光的存在, 系统自己不能返回到低透射态以放大下一个脉冲。

图1(b)是脉冲偏置光信号放大方式的工作原理。由图可见, 脉冲偏置放大方式实质是一个光与门。适当选择器件工作条件, 使得只有偏置脉冲和信号脉冲同时到来时, 双稳器件才由低态跃迁到高态, 从而输出一个光脉冲, 两个脉冲都过去了, 才返回低态做好迎接下一个脉冲的准备。

脉冲偏置放大还有一个突出的优点, 即在实现脉冲放大的同时实现脉宽的压缩(整形)^[1], 输出脉冲比输入脉冲和信号脉冲都窄。在放大的同时压缩脉宽, 这无疑地是光纤

收稿日期: 1986年12月22日。

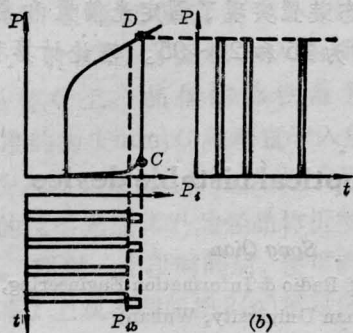
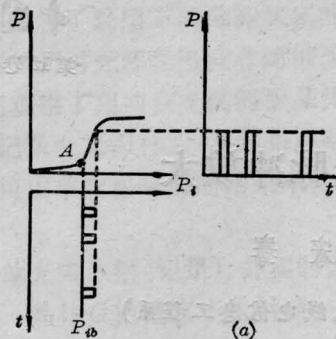


图1 双稳态光脉冲放大
(a) 固定光偏置 (b) 脉冲光偏置

通讯所最感兴趣的：放大以补偿光纤吸收造成的衰减；脉宽压缩以消除光纤色散所造成的脉冲展宽。

二、实 验

实验装置如图2。图中He-Ne激光器发出的光束先用一个由可旋转的偏振片和固定的偏振片组成的光强衰减器 T 取出光强可控的光束，经透反镜 M_1 后被分成两束。一束作为固定偏置光束，另一束经 M_2 、 M_4 、 M_3 ，途中被一斩波器 C 切成1500 Hz的光脉冲，作为信号束。转动偏振片 P_1 ，可改变信号束的光强。两束在 M_3 处会合，进入由起偏器 P 、LiNbO₃电光调制晶体和检偏器 A 构成的双光束干涉系统，从 A 出来的光束一部分被检成电信号经放大后与一固定偏置电压 V_b 叠加后馈入LiNbO₃电光晶体形成混合光学双稳态系统。

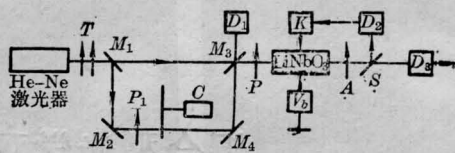


图2 实验装置

若挡住信号束，将 D_1 、 D_3 的输出电压分别接到示波器的 X 和 Y 轴输入端，用马达带动衰减器 T 的可动偏振片，示波器荧光屏上将呈现双稳回线。改变偏置电压 V_b ，回线宽度相应改变，当偏置电压为某一值 V_{bm} 时，宽度为零，得到一条微分增益曲线，此即固定偏置光信号放大所需之工作状态。固定光偏置，对幅度不同的光信号脉冲可实现放大，图3中的小黑点为增益-振幅特性的实验结果。

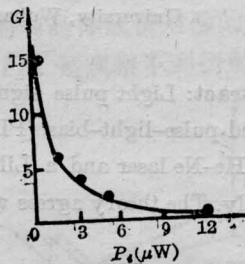


图3 固定偏置放大特性增益-振幅特性

上述固定偏置光信号放大装置中的斩波器 C 位移至衰减器 T 的前面，就构成了脉冲偏置工作方式，这时偏置光束和信号光束都是1500 Hz的光脉冲。在我们的实验中，信号光束和偏置光束是同频率和同相位的，但从示波图4上仍可见到明显的脉冲整形效果，图中(a)、(b)和(c)分别是我们在 $V_b = 160$ V条件下摄取的信号脉冲、偏置脉冲和输出脉冲的示波照片。实验上获得的光信号增益在不同偏压 V_b 下约为20~95之间，远较固定光偏置方式为大(图5中之黑点，图中还用虚线表示实验上得到的开关比，在14.7~21.7之间)。

本工作中所采用的电子放大器，系由集

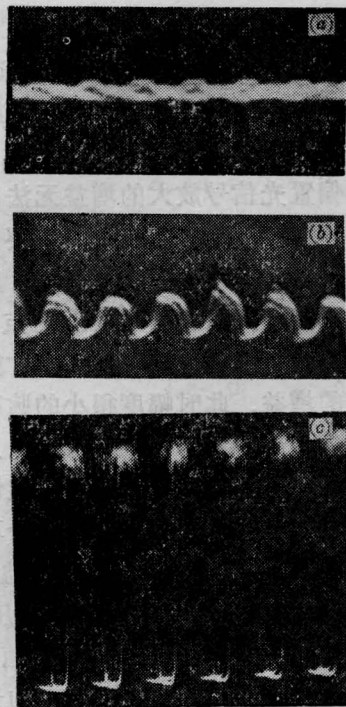


图4 脉冲偏置示波图

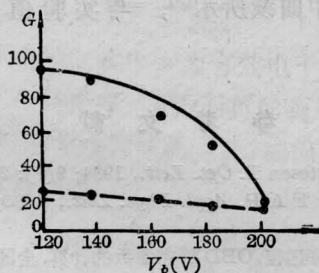


图5 脉冲偏置放大增益

成运算放大器 LF357 和电子管放大器级联而成(其通频带从直流起始, 高频端足够符合本工作的要求), 以便既有较高的电压放大倍数(约 6000 倍), 又有大于两倍半波电压(约 550 伏)的输出幅度。

三、理论分析

图 2 中的双光束干涉系统的调制特性和反馈特性分别为

$$\tau_M = \frac{P}{P_i} = \frac{\tau_0}{2} [1 - F \cos(\varphi + \varphi_s)] \quad (1)$$

$$\tau_F = \frac{P}{P_i} = K(\varphi - \varphi_b) \quad (2)$$

而 $\varphi = \frac{\pi}{V_x} V$, $\varphi_s = \frac{\pi}{V_x} V_s$, $\varphi_b = \frac{\pi}{V_x} V_b$ 。这里 P_i 和 P 分别是系统的输入和透射光强, V_x 、 V_s 和 V_b 分别是电光晶体的半波电压、剩余应变电压和偏置电压, τ_0 为最大透射率, $F (< 1)$ 为与晶体吸收有关的常数。而

$$K = \frac{V_x}{ARab\pi P_i} \quad (3)$$

式中 A 是电子放大器的电压放大倍数, a 为光电探测器 D_2 的灵敏度 ($\mu A/\mu W$), R 为其负载电阻, b 为分束器 S 的分束比。

系统任何可能存在的状态都与曲线族 (1)、(2) 的交点对应。显然, 曲线 $\tau_M(\varphi)$ 有最大斜率 $K_m = \frac{\tau_0 F}{2}$, 由 (3) 式得到相应的输入光强为

$$P_{im} = \frac{2V_x}{ARab\pi\tau_0 F} \quad (4)$$

若以此输入光强为偏置光强, 并以

$$V_{bm} = \left[\left(2n + \frac{1}{2} \right) \pi - \varphi_s - \frac{1}{F} \right] \frac{V_x}{\pi} \quad (5)$$

为偏置电压, 系统将呈现微分增益特性, 这就是固定光偏置光信号放大的工作状态; 当偏置电压 $V_b < V_{bm}$ 时, 系统将呈现双稳回线, 而且 $V_{bm} - V_b$ 越大, 回线宽度也越大, 这就是脉冲光偏置光信号放大的工作状态。我们由实测系统的调制曲线算得 $V_{bm} = 260$ V, 正与我们实验上得到微分增益特性时的偏压一致; (4) 式的理论值也与实验结果基本相符。

理论上可求出固定偏置光放大方式下的增益-振幅特性。为此, 我们要解 $\tau_F = \tau_M$ 这个超越方程 (图 6):

$$\frac{\tau_0}{2} [1 - F \cos(\varphi + \varphi_s)] = K(\varphi - \varphi_b) \quad (6)$$

在 φ_m 点邻域将上式左边展开成泰勒级数并保留到三阶项, 将上式右边反馈特性的斜率以稍不同于 K_m 之值 $K_m + \Delta K$ (即输入光强以稍不同于 P_{im} 之值的 $P_{im} + \Delta P_i$ 值) 取代, 得

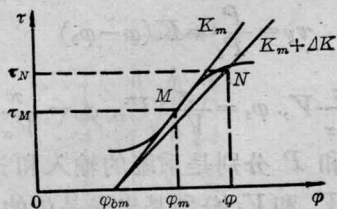


图6 增益公式的推导

$$\frac{\tau_0}{2} \left(1 + F \Delta\varphi - \frac{F}{6} \Delta\varphi^3 \right) = \frac{\varphi - \varphi_{bm}}{\alpha(P_{im} + \Delta P_i)} \quad (7)$$

整理之,有

$$\Delta P_i = \frac{1}{3\tau_0\alpha} \Delta\varphi^3 \quad (8)$$

反馈特性稍有不同,正如图6所示,调制特性和反馈特性的交点移到 $3N$ 点。注意到, N 点对应的透过率 τ_N 和输出光强 P_N 分别为

$$\tau_N = \frac{\tau_0}{2} \left(1 + F \Delta\varphi - \frac{1}{6} \Delta\varphi^3 \right) \quad (9)$$

$$P_N = \tau_N (P_{im} + \Delta P_i) \quad (10)$$

故

$$\Delta P = P_N - P_M = \frac{1}{\alpha} \Delta\varphi \quad (11)$$

于是固定偏置光信号放大的增益-振幅特性为

$$G = A P_{im}^{2/3} (\Delta P_i)^{-2/3} \left(A = \tau_0 \sqrt{\frac{3F^2}{4}} \right) \quad (12)$$

$G \sim \Delta P_i$ 关系绘于图3,此理论结果与我们的实验结果(图中小黑点)一致。类似的理论分

析用于本征型双稳态器件,亦可得到(12)式的增益振幅特性(A 值表达式不同),这与F. A. P. Tooley关于InSb光三极管增益-振幅特性的实验结果也定性一致^[2]。

脉冲偏置光信号放大的增益无法以解析形式表述,只能借助于数值计算。要使光信号增益大,在回线形状一定的条件下,应使光偏置点尽可能接近双稳回线的上跳点(即图1中 $C \rightarrow D$ 点)所对应的输入光强,才能得到尽可能大的增益,此时幅度很小的脉冲信号便能开启光与门,得到大的输出脉冲。但是,从实验上说,这种接近受到工作稳定性的影响,因而实际上只能使二者保持一个不太小的差值。在计算脉冲偏置方式光增益时,我们利用理论上计算出来的不同偏压下图1(b)中 D 点对应的光强为输出光强值,利用能保持稳定工作而又最接近上跳点的光偏置点到上跳点的距离为输入信号,得到的光增益如图5中曲线所示^[3],与实验值基本相符。

参 考 文 献

- 1 Venkateson T. *Opt. Lett.*, 1984; **9**(7): 297
- 2 Tooley F A P. *Appl. Phys. Lett.*, 1983; **43** (9): 807
- 3 宋鸾,张远程. OBD 静态参数的计算,全国第二届量子光学和光学双稳性学术会议,1986

激光晶体 Er:YAG 研制成功

Er:YAG 晶体具有优良的激光性能。Er³⁺ 离子能级丰富,能在十一个通道产生激光跃迁,激光振荡波长范围从 0.55 μm 至 4.75 μm; 其中二个通道:⁴S_{3/2} → ⁴I_{9/2} (1.6 μm), ⁴I_{11/2} → ⁴I_{13/2} (3 μm) 能在室温下实现激光振荡。专家们对 1.6 μm 激光特别感兴趣,因为该波段的激光对人眼比较安全。而 3 μm 的激光与羟基的作用很强烈,在激光外科手术、激光生物工程领域可望有很高的应用价值。

我们研究了高频加热铌坩埚生长 Er:YAG 晶

体的工艺,设计了合适的晶体生长热场。在国内首次成功地获得了直径 φ 25 mm、长 120 mm 的优质 Er:YAG 激光晶体。晶体中 Er³⁺ 离子浓度分别为 15、30、50、70 和 100%。测试了不同浓度晶体的吸收光谱、荧光光谱和折射率。选择 Er³⁺ 离子浓度为 50% 的 Er:YAG 晶体做实验,在国内首次成功地获得 2.938 μm 的激光振荡。

该项成果在 1988 年 2 月 10 日通过专家鉴定。

(李粉玉)