

基于 McCall 不稳定性的光学脉冲装置

王瑞波 刘树田 李淳飞 查子忠 张雷

(哈尔滨工业大学应用物理系, 150006)

提要: 本文报道 BILED 回路中的光学不稳定性及基于这一原理构成的光学脉冲装置, 并对系统的不稳定性条件进行了理论分析。

关键词: 不稳定性, 光学脉冲

Optical pulse devices based on McCall instability

Wang Ruibo, Liu Shutian, Li Chunfei, Cha Zizhong, Zhang Lei

(Department of Applied Physics, Harbin University of Technology, Harbin)

Abstract: In this paper the demonstration of optical instability in BILED circuit and the realization of optical pulse generator based on this circuit are presented. The condition of instability is analysed theoretically. The device may be used as clock-pulse generator in optical digital computing experiment.

Key words: instability, optical pulses

激光二极管或发光二极管混合光学双稳态回路具有结构简单、可靠性高等特点, 是进行光学逻辑运算的理想元件^[1~3]。本文报道基于 McCall 不稳定性原理^[4]的双反馈发光二极管双稳态回路构成的光学脉冲装置, 并对该装置的不稳定性条件进行了理论分析。

一、实验研究

发光二极管混合光学双稳态回路 (BILED) 由发光二极管、光电二极管和放大三极管组成, 它利用了发光二极管的阈值特性和光电三极管的饱和特性。如图 1 所示, 输入光由 PD_1 接收后转化为电流信号, 经三极管放大后驱动 LED 发光, LED 发出的光一部分作为反馈信号, 另一部分作为输出光。电阻 R_1 和 R_2 用来控制回路的阈值、反馈和输出光强, 图 2 为 $R_1 = 300 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 20 \Omega$ 时的双稳态特性曲线, 其开关时间为 $400 \mu\text{s}$ 。回路的开关时间取决于 LED、 PD_1 和 PD_2 的响应时间和线路的 RC 常数, 通过减小线路的 RC 常数, 开关时间可以达到 $50 \mu\text{s}$ 。

图 3 所示为具有双反馈的 BILED 回路, 负反馈由通过一个液晶 (LC) 电光开关的 Ar^+ 激光提供, 经过 LC 开关的光强度增加时, R_3 上的电流也随之增大, 由于 R_3 在电路中的分流作用, 流过 LED_2 的电流就会减小, 回路的开关阈值功率则将升高。正反馈信号由 LED_2 发出,

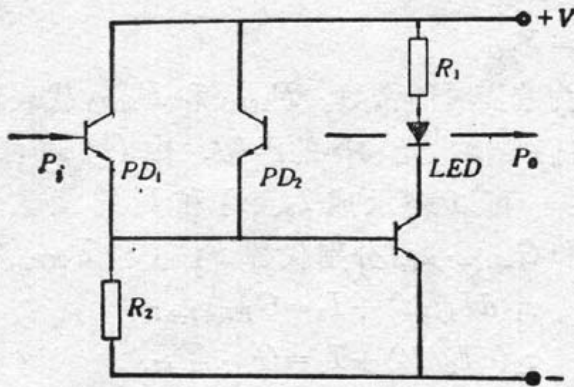


Fig. 1 Schematic diagram of a BLLED circuit

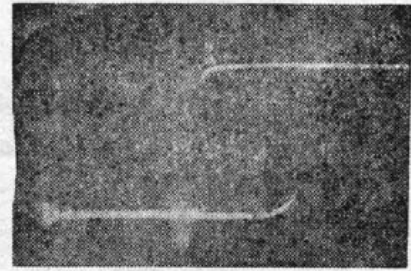


Fig. 2 Bistable characteristic loop of the BLLED circuit.

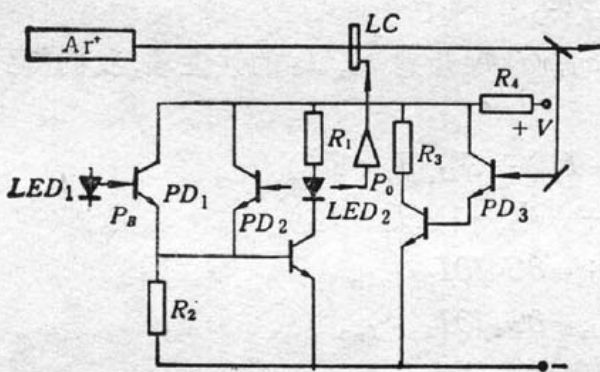


Fig. 3 BILED circuit with two feedback signals

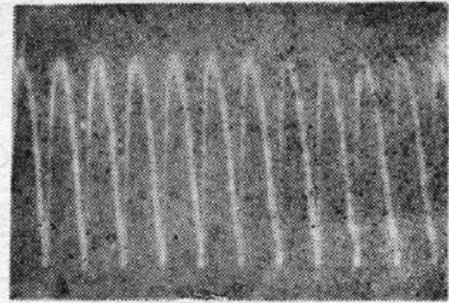


Fig. 4 Pulse shape measured in the experiment, with a period of 35 ms

直接照射到光电三极管 PD_2 上。 LED_1 发出的光作为回路的输入偏置光,用以控制回路的工作点,输出光 P_o 由探测器转变成电信号放大后作为 LC 开关的驱动信号。

假设在 $t=0$ 时刻,开启输入光 P_B ,且输入光强大于此刻的阈值光强 P_{\uparrow} ,则回路跳变到上态,在输出光 P_o 作用下 LC 开关被开启, Ar^+ 激光通过开关后由 PD_3 接收,使回路阈值光强增大,当回路下跳阈值 P_{\downarrow} 增加到与偏置光强 P_B 相等时,回路跳到下态,此时透过 LC 开关的光强开始减小,回路阈值下降,当 P_{\uparrow} 下降到等于 P_B 时,回路再次跳回到上态,如此循环,在回路中形成稳定的振荡,激光光束被 LC 开关调制成一系列脉冲。脉冲的波形与频率取决于回路与 LC 开关的响应特性,图 4 为实验中测得的波形,它是近似于正弦波的振荡脉冲。用双稳器件(如 ZnS 干涉滤光片)对信号进行限幅,就能得到近于矩形波的时钟脉冲,从而用于数字光计算实验研究。

二、理论分析

图 5 所示为该装置的理论模型,当功率为 P_B 的光入射到回路中时,输出光功率依赖于入射光和两路反馈信号激发产生并流过 LED 的电流强度 I_b 、 I_1 和 I_2 ,所以输出光功率可表示为

$$P_o = P_o(I_b + I_1 + I_2) \quad (1)$$

与文献 [5] 中反馈电压一样,这里反馈电流强度 I_1 和 I_2 的变化满足德拜 (Debye) 弛豫方程:

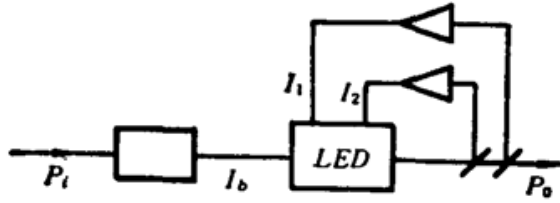


Fig. 5 Schematic theoretical model
for the experimental setup

$$\tau_1(dI_1/dt) + I_1 = F_{1(P_o)} \quad (2)$$

$$\tau_2(dI_2/dt) + I_2 = F_{2(P_o)} \quad (3)$$

这里 τ_1, τ_2 为响应时间常数。 $F_{1(P_o)}$ 和 $F_{2(P_o)}$ 代表反馈的强度，它们是输出光功率的函数，由 (1) 式可知， $F_{1(P_o)}$ 和 $F_{2(P_o)}$ 可以表示成 I_b, I_1 和 I_2 的函数，用 $G_{1(I_b+I_1+I_2)}$ 和 $G_{2(I_b+I_1+I_2)}$ 分别代替 $F_{1(P_o)}$ 和 $F_{2(P_o)}$ 得

$$\tau_1(dI_1/dt) + I_1 = G_{1(I_b+I_1+I_2)} \quad (4)$$

$$\tau_2(dI_2/dt) + I_2 = G_{2(I_b+I_1+I_2)} \quad (5)$$

在平衡状态下， $dI_1/dt=0, dI_2/dt=0$ ，由此可得平衡状态下反馈电流为

$$I_{10} = G_{1(I_b+I_1+I_2)} \quad (6)$$

$$I_{20} = G_{2(I_b+I_1+I_2)} \quad (7)$$

为了使分析简化，在平衡点 (I_{10}, I_{20}) 附近将 G_1, G_2 展开到 I_1, I_2 的线性项，我们得到下面的微分方程组：

$$\tau_1(dI_1/dt) = (G'_{1I_1} - 1)(I_1 - I_{10}) + G'_{1I_2}(I_2 - I_{20}) \quad (8)$$

$$\tau_2(dI_2/dt) = G'_{2I_1}(I_1 - I_{10}) + (G'_{2I_2} - 1)(I_2 - I_{20}) \quad (9)$$

这里

$$G'_{1I_1} = \partial G_1 / \partial I_1 |_{I_{10}, I_{20}}, \quad G'_{2I_2} = \partial G_2 / \partial I_2 |_{I_{10}, I_{20}},$$

$$G'_{1I_2} = \partial G_1 / \partial I_2 |_{I_{10}, I_{20}}, \quad G'_{2I_1} = \partial G_2 / \partial I_1 |_{I_{10}, I_{20}}$$

根据线性微分方程组的不稳特性，得到系统的不稳定性条件为

$$1 + \tau_1/\tau_2 < G'_{1I_1} + G'_{2I_1}\tau_1/\tau_2 \quad (10)$$

如果系统除 (I_{10}, I_{20}) 之外不存在其它平衡点，且满足关系 (6)、(7)、(10)，那么系统是不稳定的，能够产生自再生脉冲振荡。振荡的频率由 $\tau_1, \tau_2, G'_{1I_1}$ 和 G'_{2I_1} 决定，因此为了获得高频的脉冲信号，需要选用响应速度快的 LC 开关和减小回路的 RC 常数。同时，改变 G'_{1I_1} 和 G'_{2I_1} 的大小也可以达到改变频率的目的。

液晶电光开关的响应速度限制了该装置的应用范围，但该课题的研究对进一步了解光学双稳系统的动态特性具有一定意义。

参 考 文 献

- 1 Y. Ogawa, H. Ito et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **20**, L464, (1981); *Oyo Buturi(Japan)*, **52**, 877(1983)
- 2 K. Okumura, Y. Ogawa et al., *Trans. Inst. Electr. Commun. Eng. Jpn.*, **J66-C**, 393(1983)
- 3 Chunfei Li, Shutian Liu et al., *Proc. Conf. Lasers Electro-Opt.*, Baltimore, MD, Apr. 1987, paper THK 35
- 4 S. L. Mc Call, *Appl. Phys. Lett.*, **32**, 284(1978)
- 5 M. Okada et al., *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-17**, 517(1981)