

长短脉冲振荡器同步输出的研究

陈绍和 陈韬略 陈有明 斯向东 盛国平 杨 义 邓锡铭
(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提 要

本文首次报道一种新的负反馈技术和快速电路。在这基础上, 两台脉冲振荡器同步输出, 其间的相对抖动约 $\pm 1\text{ns}$ 。

关键词: 抖动; 同步。

一、引 言

长、短脉冲的同步输出(ns脉冲与ps脉冲)技术是一项非常有用的技术。首先, 它不仅用来探知激光与等离子体相互作用的各种效应和机理^[1~3], 也被广泛用于非线性光学, 光化学和光生物学等学科领域中超快现象的探测。其次, 长、短脉冲激光同步系统本身就是高功率激光系统的很好的振荡源, 因为用它与光电导开关结合, 可切出各种脉冲宽度和形状的“种子”脉冲作振荡源。早在1979年 Agostinelli 等人^[4]已切出脉宽70 ps的削波脉冲。特别是近几年来, 啁啾脉冲放大技术已成为高功率激光系统发展的主要技术。但是, 它的振荡源对脉冲形状, 脉宽和功率要求非常苛刻, 甚至性能非常优良的CW YAG主动锁模激光器, 也需进行大量技术改造继续提高性能。如美国劳伦斯、里弗莫尔实验室进行啁啾脉冲放大的振荡源^[5]。如果利用长、短脉冲同步输出系统进行削波, 很有可能获得脉冲形状, 脉宽和功率非常稳定的种子脉冲, 其技术难度似乎比对连续波主动锁模激光器进行技术改造来得容易。

二、工作 原 理

在脉冲方式工作的激光器中, 激光形成时间不可避免地存在抖动, 这是实现两台脉冲激光器输出精确同步的困难所在。本文从锁模激光器输出的锁模脉冲序列中选取单个脉冲, (如图1所示), 用分束器分出部分光照射GaAs光电导开关, 使其输出一个抖动为“零”, 上升时间 $\tau \sim 20\text{ps}$, 电压1000V的电脉冲, 用它触发雪崩管堆, 退掉普克尔合上电压*, 腔内开始振荡调Q巨脉冲形成, 两台激光器输出初步同步。若再采取某种措施, 使得Q开关在 $\pm 10\mu\text{s}$ 时间范围内任意打开, 而Q脉冲建立时间基本稳定, 这就实现了锁模脉冲(短脉冲)与调Q脉冲(长脉冲)输出精确同步。下面讨论影响Q脉冲建立时间 τ_0 的因素。

收稿日期: 1990年12月12日; 收到修改稿日期: 1991年6月27日

* 退电压脉冲前沿小于1ns(测量极限)延迟, 抖动可略之。

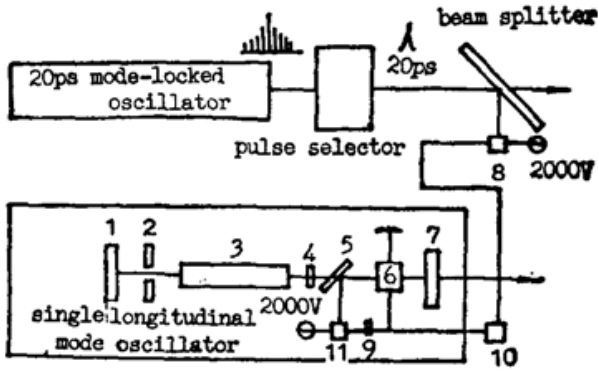


Fig. 1 Schematic diagram of the synchronizing system

1—total reflector, 2—aperture (ϕ 1mm); Nd:YAG rod 4—F-P, 5—polarizer, 6—KD*P Pockets cell, 7—output mirror ($T=50\%$), 8—GaAs switch(B), 9—D. C. blocking capacitor, 10—avalanche transistor stack, 11—GaAs switch(A)

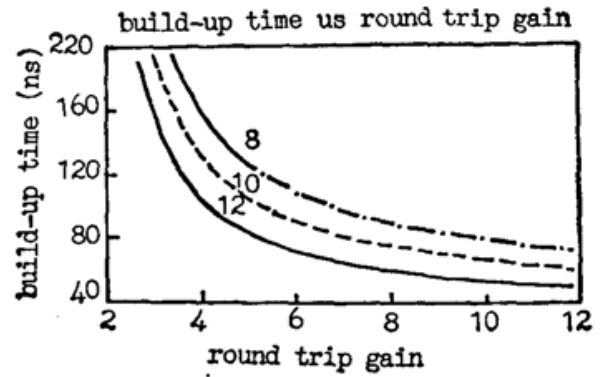


Fig. 2 The calculated variation of Q-switched build-up time as a function of a cavity round-trip gain

假设从 Q 开关打开到调 Q 巨脉冲形成, 腔内功率按指数形式增长即

$$\left. \begin{aligned} P &= P_0(R_1R_2)^s e^{sG} \\ s &= t/\tau_c \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中 R_1 、 R_2 分别为谐振腔镜反射率; τ_c 为腔的往返渡越时间, s 为往返渡越次数; e^G 为腔内往返一次的增益; P_0 为腔内脉冲初始功率; P 为腔内脉冲初始功率 P_0 经 s 次振荡放大后的最大放大功率(调 Q 巨脉冲功率), 从(1)式可得, Q 脉冲建立时间 τ_b (腔内功率从 P_0 增长到 P 所需时间)可表为

$$\tau_b = \frac{\tau_c}{\ln(R_1R_2G)} \ln \frac{P}{P_0} = \frac{\tau_c}{\ln(RG)} \ln \frac{P}{P_0} \quad (2)$$

根据(2)式可估算在不同增益 G 及不同的初始状态 P_0 时的调 Q 巨脉冲的建立时间 τ_b 。图 2 表示在不同的初始功率 P_0 (相对值)下, 建立时间 τ_b 随增益 G 的变化曲线。图 3 为不同的增益 G 时, 建立时间 τ_b 随 P_0 的变化曲线。从图 2 和图 3 看出: (1)当腔内增益 G 较大

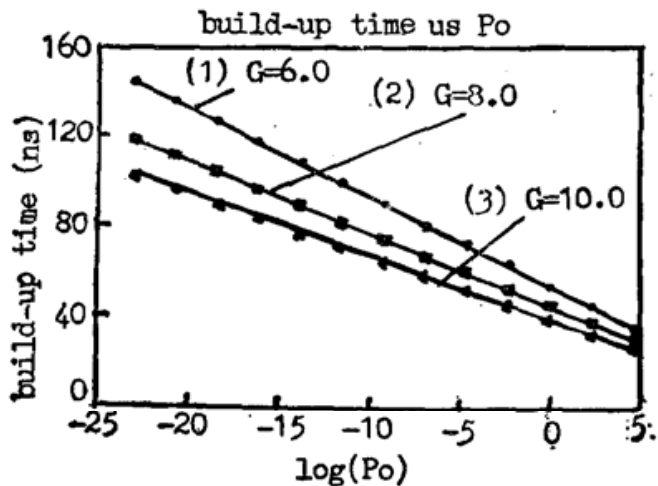


Fig. 3 The calculated variation of Q-switched build-up time as a function of initial pulse power.

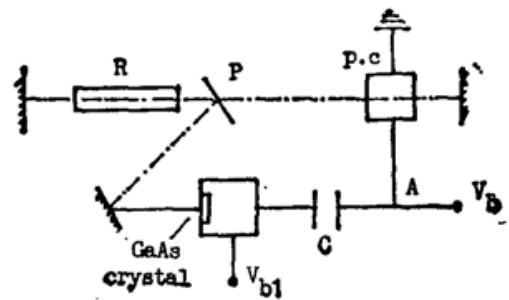


Fig. 4 Schematic diagram of feedback controlling loop R: Nd:YAG rod; P: polarizer; C: DC blocking capacitor

时, 建立时间 τ_b 随 G 变化的灵敏度降低。(2) τ_b 随 P_0 的增加而减少。(3) 建立时间 τ_b 越长、越容易受 P_0 和 G 起伏的影响。例如: $P_0 \approx 1 \text{ W/cm}^2$, $G=2$ 时, P_0 变化 $\pm 10\%$, 由(1)和(2)式算出建立时间 τ_b 抖动为 $\pm 3 \text{ ns}$; 如果增益 G 由 2 增加到 8, 则 τ_b 抖动下降到仅有 $\pm 0.3 \text{ ns}$, 显然, 增益对 Q 脉冲形成时间影响很大。要保持建立时间 τ_b 的稳定, 要求 Q 开关打开时腔内有足够高的增益 G , 和相同的初始状态(稳定的 P_0 值)。为此, 在谐振腔内引入负反馈技术(如图 4 所示)*, 将脉冲固体激光器中的弛豫振荡“拉平”成准连续振荡, 这样既可得到稳定的 P_0 , 同时由于是脉冲光泵, 又可允许激光腔内达到高增益 G 。

三、实 验

本文提出的同步方案中采用两台独立工作的脉冲激光器。一台为通常的主、被动对撞锁模 YAG 激光器, 另一台为单纵模调 Q YAG 激光器。对撞锁模激光器输出脉宽 $\sim 20 \text{ ps}$, Q 开关电路通常是利用光二极管输出信号经放大来触发闸流管或雪崩管来实现的。由于闸流管导通时间慢, 抖动也大。而雪崩管 Q 开关又要求每个雪崩管有相近的雪崩点, 并且要求各雪崩管工作在雪崩点上, 使用不很方便, 本文对雪崩管的电路作了一点改进, 即利用锁模脉冲照射在 GaAs 光电导开关上使其产生一个快速, 高压($\sim 1000 \text{ V}$)电脉冲, 并用其同时触发雪崩串的每个雪崩管作为同步 Q 开关, 每个雪崩管均可工作在远离雪崩点上。一方面可保证 Q 开关的速率, 另一方面可减小 Q 是开关时间的抖动, 提高 Q 开关的可靠性。这点对本文获得的锁模脉冲与 Q 脉冲之间同步的关键。

四、实 验 结 果

适当调整两路触发器的延时, 使得锁模脉冲处在准连续预激光当中(用示波器观察, 如图 5 所示)。从选出的单个锁模脉冲中分出 $\sim 50 \mu\text{J}$ ($< 10\%$) 照射 GaAs 光电导开关 B (见图 1), 迅速退掉 KD*P 开关上的电压。这样, 实现了在“准连续”预激光条件下调 Q , 获得了单纵模调 Q 脉冲输出。实验用一台快响应示波器和强流光电管组合(两者组合总的响应时

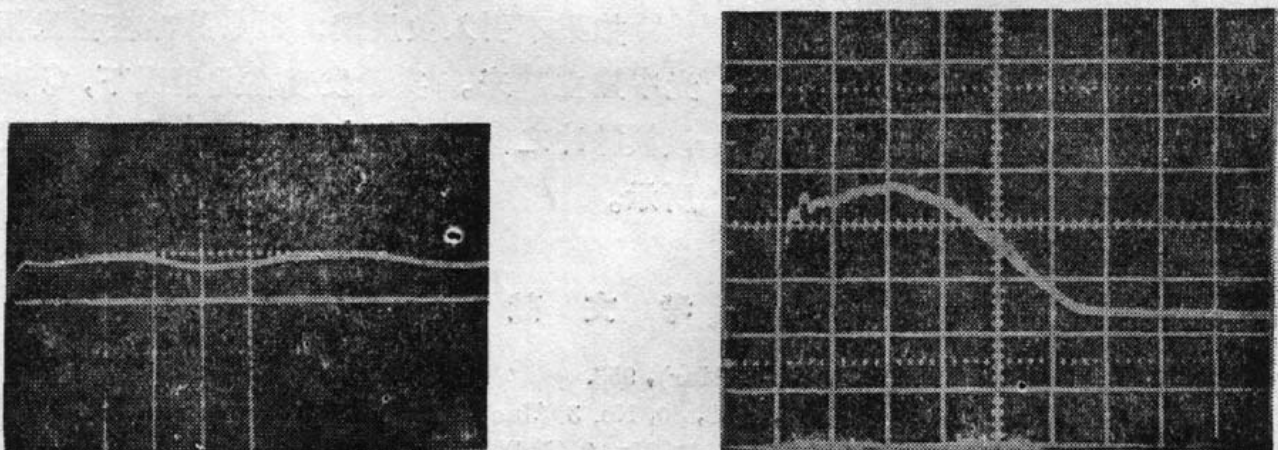


Fig. 5 The output of quasi-CW laser

a) Time Scale $2 \mu\text{s}/\text{div}$; b) Time Scale $10 \mu\text{s}/\text{div}$

* 关于负反馈技术, 另文介绍。

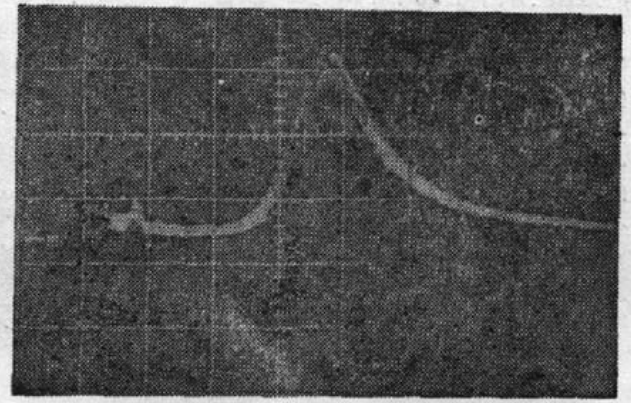
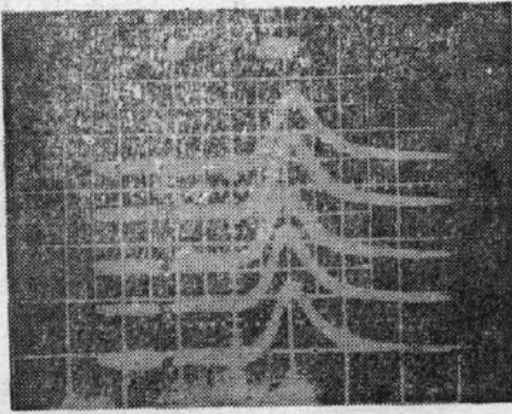
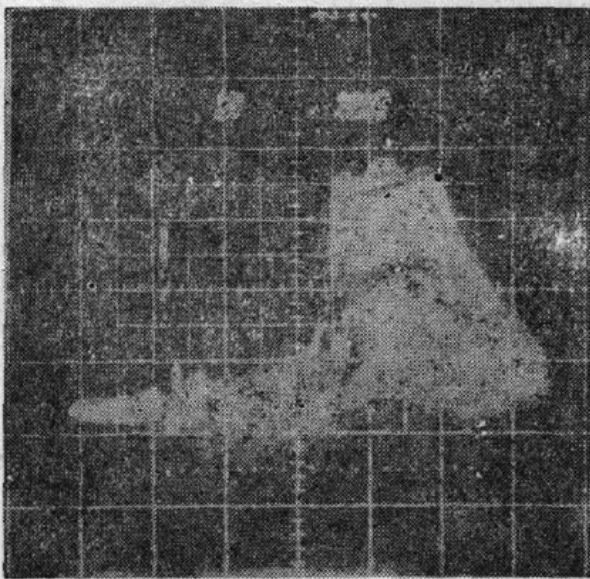


Fig. 6 Five successive stacked synchronized pulses. [left is a single mode-locked pulse, right is a Q-switched pulse. The relative jitter is no more than $\pm 1\text{ns}$]

Fig. 7 Photo (recorded many times continuously) showing the stability of two synchronized pulses and the stability of Q-switch pulse amplitude

间 $\sim 1\text{ns}$) 测量单纵模 Q 脉冲与锁模脉冲之间的同步。用反射镜将单个锁模脉冲和调 Q 脉冲耦合到强流管, 观察它们相对位置变化。

图 6 是连续 5 次锁模脉冲与 Q 脉冲的同步照片, 照片左面是单个锁模脉冲 (脉宽 $\sim 20\text{ps}$), 其峰值在荧光屏的一条纵轴上 (作为比较抖动的起点, 这是人为的), 照片的右面是调 Q



脉冲波形。从图上看, 前 3 次 (从下向上) 调 Q 脉冲基本上未抖动 (它们的峰值也在荧光屏的一条轴线上), 第五次抖动最大, 向右抖动 $\sim 2\text{ns}$, 因此, 两者之间的抖动小于 $\pm 1\text{ns}$ 。这主要是泵浦电源精度不够高引起的。因为光泵能量的起伏引起腔内增益的变化, 而导致 Q 脉冲建立时间的抖动。如利用高精度电源, 可望获得更高的同步精度。图 7 是连续多次记录的同步照片。表明长脉冲 (Q 脉冲) 与短脉冲 (锁模脉冲) 之间较高的同步精度及 Q 脉冲的稳定性*。

如果不引入负反馈, 则 Q 脉冲在弛豫振荡激光中建立起来。实验发现在此情况下, Q 脉冲与锁模脉冲之间抖动很大, 约为 $\pm 15\text{ns}$, 如见图 8 所示。

Fig. 8 The precision of two synchronized pulses without feedback

参 考 文 献

- [1] E. L. Pierce; *Appl. Opt.*, 1980, **19**, No. 6 (Mar), 953.
- [2] D. T. Attwood *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1978, **40**, No. 3 (Jan), 184.
- [3] A. Raven, O. Willi; *Phys. Rev. Lett.*, 1978, **43**, No. 4 (Jul), 278.
- [4] J. Agostinelli, G. Mourou *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **35**, No. 10 (Nov), 731.
- [5] F. G. Patterson *et al.*; *Proc. SPIE*, Vol. 1040, 1989.

* 因多次曝光, 照相底片有些弥散。

Investigation on synchronizing outputs of long/short pulsed oscillators

CHEN SHAOHE, CHEN TAOLUE, CHEN YOUMING, SI XIANGDONG SHENG GUOPING,
YANG YI AND DENG XIMING

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica P. O. Box 800-211, Shanghai 201800)

(Received 12 December 1990; revised 27 June 1991)

Abstract

We report a novel negative feedback loop and a new fast circuit technique in this paper. Based on this technique, the outputs from two pulsed oscillators are synchronized. The relative jitter between the two pulses is about $\pm 1\text{ns}$.

Key words: jitter, synchronization.