

高性能激光单脉冲选择器

莽燕萍 欧阳斌 张秉钧 康玉英 林礼煌

(中国科学院上海光机所, 201800)

摘要: 本文论述了采用三种类型雪崩晶体管驱动器的高性能激光单脉冲选择器的工作原理及设计思想, 并分析了它们各自的特点。这类激光单脉冲选择器的抖动 $<1\text{ ns}$, 寿命 $>10^7$ 次, 延迟时间约为 20 ns , 单脉冲选出率为 100% , 信噪比 $>10^3$ 。

关键词: 选择器, 单脉冲, 锁模激光器, 雪崩晶体管, 同步触发

High performance single pulse selector for mode-locked lasers

Mang Yanping, Ouyang Bin, Zhang Bingjun, Kang Yuying, Lin Lihuang
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: The principles, design and characteristics of high performance single pulse selectors for lasers with three kinds of avalanche transistor driver are described. They have low jitter ($<1\text{ ns}$), long life-time ($>10^7$ shots), short delay (about 20 ns), high probability of selecting single pulse (100%), and high signal/noise ratio of selected single pulse (10^3).

Key words: selector, single pulse, mode-locked laser, avalanche transistor, synchronous trigger

一、引言

从锁模振荡器的脉冲序列中选取单一脉冲是高功率激光系统中的关键技术之一。随着锁模激光器研究工作的快速进展, 对选取单一脉冲的技术也提出了更高的要求。

激光单脉冲选择器通常采用晶体普克尔斯盒电光开关做光快门, 用适时产生的高压纳秒脉冲去控制光快门。用于控制普克尔斯盒的驱动器有许多种, 如充气放电火花隙、介质薄膜绝缘的放电火花隙、冷阴极闸流管、闸流管、平面三极管、半导体光电开关及雪崩晶体管等。

本文所述的激光单脉冲选择器性能稳定、结构简练、功能齐全。它不仅用来稳定地选取单脉冲, 还可以用于多方面的激光技术研究工作。

二、技术方案及电路设计

本文所述激光单脉冲选择器包括快响应红外硅光电探测器、同步触发电路、雪崩晶体管高

压纳秒脉冲发生器、高精度直流高压稳压电源、双晶 KD*P 普克尔斯盒、起偏棱镜和检偏棱镜(见图 1)。

硅光电探测器接成输出负脉冲的形式,以便与同步触发电路中的超高速 ECL 集成电路的电平相适应。探测器将光脉冲信号转变成电脉冲信号,通过 50 Ω 电缆送到同步触发电路的输入端。

同步触发电路包括可调阈值电平触发器、脉冲形成电路、脉冲放大器三个组成部分(见图 2)。可调阈值电平触发器作为幅度鉴别器。当脉冲序列中的某个脉冲超过阈值电平时,该触发器才输出一个脉冲。调节阈值电平的大小可以按需要选取脉冲序列中预期的那个脉冲。触发器的输出脉冲经过脉冲形成电路就成为一个具有所需宽度的脉冲,再经过脉冲放大器放大到所需的幅度,用以触发雪崩晶体管高压纳秒脉冲发生器。

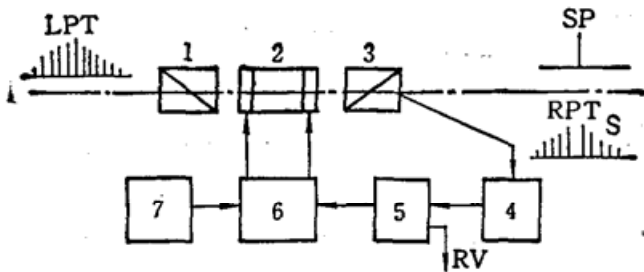


Fig. 1 Block scheme of single pulse selector for lasers

- 1, 3—polarizer; 2—Pockels cell; 4—photodiode detector; 5—synchronous trigger circuit; 6—high voltage nanosecond pulse generator; 7—stable voltage power

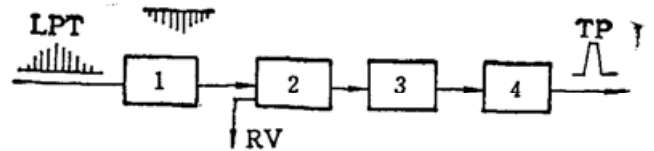


Fig. 2 Block scheme of synchronous trigger circuit

- 1—photodiode detector; 2—trigger; 3—pulse former; 4—pulse amplifier

研制了三种高压纳秒脉冲发生器电路:

1. 两串独立的雪崩晶体管开关电路(图 3)

由同步触发电路先后给出两个触发脉冲,分别触发两串雪崩晶体管。第一串雪崩晶体管雪崩导通时,产生的负跳变打开了普克尔斯盒;第二串雪崩晶体管雪崩导通时,产生的负跳变关闭了普克尔斯盒。两串雪崩晶体管导通的时间差即为普克尔斯盒打开的时间,这一时间差可以根据需要而改变。单串雪崩晶体管雪崩导通时间约为 2.5 ns。

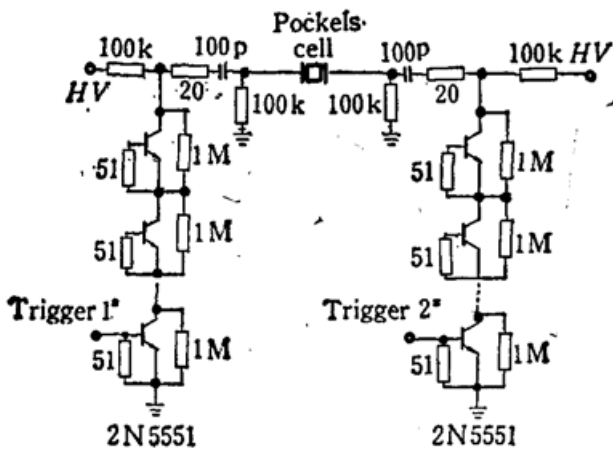


Fig. 3 Circuit of driver with two discrete strings of avalanche transistors

2. 串-并联雪崩晶体管堆开关电路(图 4)

将几串雪崩晶体管并联就构成了雪崩晶体管堆开关电路。该电路的优点是增大了雪崩电流,提高了雪崩导通速度,使高压纳秒脉冲的前后沿更加陡峭。四串雪崩晶体管并联而成的雪崩晶体

管堆的雪崩导通时间约为 1 ns。这种电路较第 1 种电路更稳定,驱动负载能力有所增加。

3. 主-被动雪崩晶体管串开关电路(图 5)

同步触发电路输出一个触发脉冲,使主动串雪崩晶体管雪崩导通,紧接着被动串的雪崩晶

晶体管雪崩导通，于是在输出端产生了一个高压纳秒脉冲。它的幅度及宽度比第一种电路产生的高压纳秒脉冲的幅度及宽度更稳定。

直流高压稳压电源采用以集成脉宽调制器 SG3524 为核心的稳压方法。电压从 0~5kV (或 6kV) 连续可调。该电源还备有方便的高压输出头，可供实验者测试晶体普克尔斯盒的半波电压。

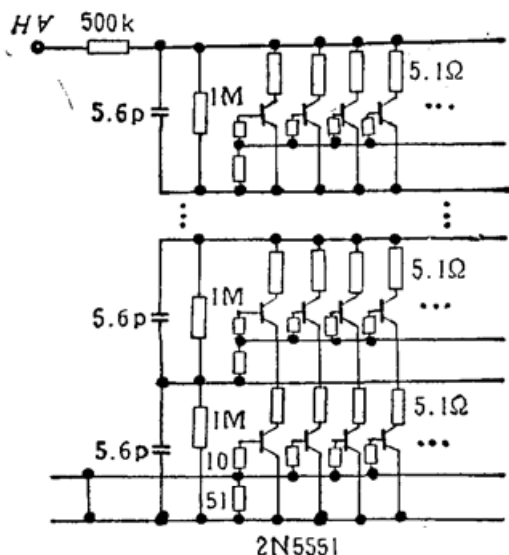


Fig. 4 Circuit of driver with avalanche transistor stack

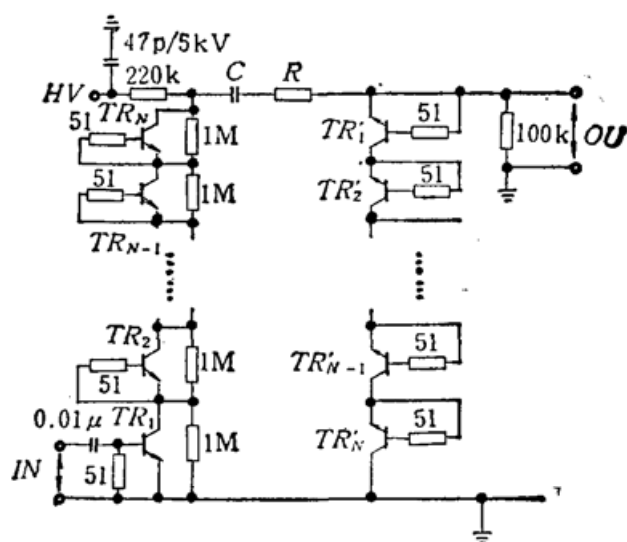


Fig. 5 Circuit of driver with lead following strings of avalanche transistors

三、性能测试

本仪器已应用到十余台锁模激光振荡器上,经过长时间的使用和测试,得到如下技术指标:

1. 抖动

将触发信号接到示波器外触发输入端及同步触发电路的输入端;用 P6015 高压探头将高压纳秒脉冲衰减 1000 倍, 加到示波器的输入端。反复曝光 60 次拍得照片示于图 6。从照片上看不出因抖动而产生的波形加宽, 故可认为本仪器的抖动 $<1\text{ns}$ 。

2. 固有延迟时间

用上述方法同样可以测得触发脉冲及高压纳秒脉冲之间的延迟时间约为 20 ns。

3. 选出单脉冲的信噪比

在普克尔斯盒两端加半波电压, 用硅光二极管接收选出的激光单脉冲。为使接收器工作在线性区域, 须在硅光二极管前加光学衰减片, 其总的透射率为 T 。用示波器观测得到单脉冲的幅度为 A_1 。然后让普克尔斯盒两端电压为 0, 用示波器观测漏光脉冲列, 其幅度为 A_2 , 则信噪比 R 为

$$R = A_1 / A_2 T$$

经计算后得 $R = 1087$ 。

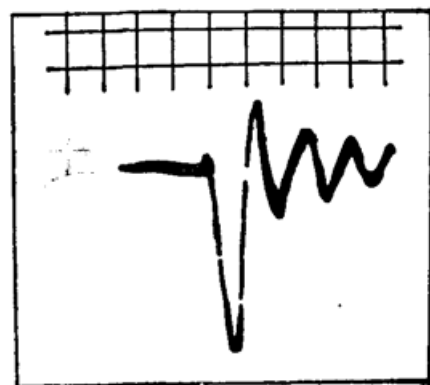


Fig. 6 Wave from of high voltage nanosecond pulses (10 ms/div)

4. 单脉冲选出率

经长时间的使用和测试,单脉冲选出率为100%。单脉冲及舍弃脉冲列的照片分别示于图7和图8。

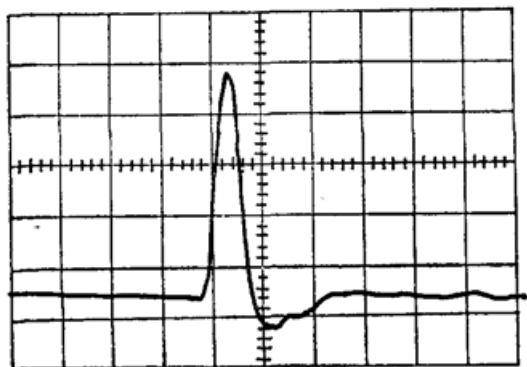


Fig. 7 Wave from of selected single pulse

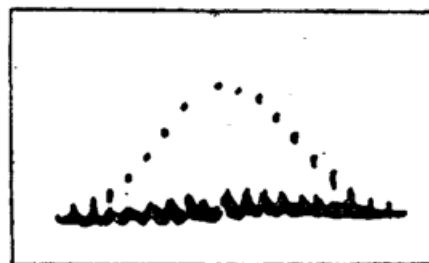


Fig. 8 Wave from of selected pulse train

5. 寿命

经长期使用表明:本仪器在重复率为1~10 Hz的锁模激光器上使用超过 10^7 次,仍然工作正常,无任何元件损坏。所以本仪器的寿命 $>10^7$ 次。

四、采用各种驱动器的激光单脉冲选择器性能比较

表1给出了采用八种驱动器的激光单脉冲选择器的各项性能。它们可分成四类:

1. 金属火花隙驱动器

它包括充气火花隙^[1]及介质薄膜绝缘火花隙^[2]。它们的优点是电压高、导通时间快,但

Table 1. Comparison of performances of various drivers

Item	Jitter	Delay	Lifetime	Probability of selecting pulse	Amplitude of HV pulse	Repetition rate		Rise time	Refer
						Time general	Maximum		
Spark gap with nitrogen gas	+5 ns	1 ns	10^3 shots	<8 %	10 kV	single shot	50 Hz	<1 ns	1
Spark gap with thin dielectric film	+2 ns	<4 ns	10^4 shots	>95%	5.5 kV	single shot	2 Hz	<350 ps	2
Krytron	5~40 ns	50 ns	10^3 ~ 5 shots	99%	5 kV	1~5 Hz	30 Hz	2 ns	3
Thyratron	5 ns	70 ns	10^8 shots	>85%	8 kV	10 Hz	1 kHz	2 ns	4
Planar triode			10^4 h		10 kV	1~10 Hz	1 kHz	2 ns	5
Semiconductor switch					2.8 kV	1 Hz	12.5 Hz	<1 ns	6
Avalanche transistor strings	<1 ns	20 ns	10^7 shots	100%	5~6 kV	1~100 Hz	1.5 kHz	2.5 ns	7, 9
Avalanche transistor stack	<1 ns	20 ns	10^7 shots	100%	5~6 kV	1~100 Hz	1.5 kHz	1 ns	8, 9

是它们的抖动很大, 寿命很短, 因此选出单脉冲的几率很低。它们的电磁干扰很大且维修困难;

2. 电子管驱动器

它包括冷阴极闸流管开关^[3]、闸流管开关^[4]和平面三极管开关^[5]。它们的某些性能优于金属火花隙驱动器, 但是它们的导通时间较火花隙慢些, 触发延迟时间也较长。因为它们需要的触发电压较高, 使触发电路复杂化, 因此增加了高压纳秒脉冲的抖动;

3. 半导体开关^[6]

它的上升时间很快, 适于做削波或脉冲整形, 而不适于做单脉冲选择器;

4. 雪崩晶体管驱动器^[7~9]

它的抖动最小, 单脉冲选出率最高, 延迟时间很短, 寿命很长, 串-并联雪崩堆的上升时间也很快, 选出的单脉冲的幅度稳定度优于锁模脉冲序列的幅度稳定度。总的来讲, 雪崩晶体管驱动器的各项主要指标都优于其它各类驱动器(见表 1)。

本仪器不仅应用于选取单一脉冲, 而且已应用于电光隔离、再生放大、调 Q 削波、脉冲剪切、触发半导体电光开关等技术中。

作者感谢陈时胜、范滇元、陆海鹤、周锦智等同志对本工作的支持。

参 考 文 献

- 1 A. J. Alcock, M. C. Richardson, K. I. Leopold, *Rev. Sci. Instrum.*, **41**, 1028(1970)
- 2 T. Kanabe. et al., Development of a reliable fast response laser-triggered dielectric switch, Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan
- 3 *Appl. Phys.*, **48**(9), 38~43(1979)
- 4 J. McCaulay et al., *Opt. and Laser Technol.*, **21**(6), 401 (1989)
- 5 D. J. Kuizenga, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-17** (9), 1694~1707 (1981)
- 6 S. V. Blagodarrov et al., *Kvantovay Electron* (Moscow), **16**, 158~159(1989)
- 7 莽燕萍, et al, *中国激光?* **10**(4), 242 (1983)
- 8 Mang Yanping, '87 ICL DIGEST (International Conference on Lasers), 1987, p. 319
- 9 B. Cunin, J. A. Miche, B. Sipp, *Rev. Sci. Instrum.*, **51**(1), 103(1980)