

# 用于高功率激光装置的光电触发模块

张 鹏 李学春 李国扬 张生佳

(中国科学院上海光学精密机械研究所高功率激光物理国家实验室, 上海 201800)

**摘要** 为了减小高功率激光装置中高压干扰电信号对触发脉冲信号的影响,提出了一种可抗干扰、低时间抖动、快上升沿、高精度的光电触发模块。它由发射模块和接收模块构成,发射模块和接收模块之间通过光纤连接。由于触发信号以光信号的方式传送到终端,因此传输过程中触发信号不会受到电干扰信号的影响。该触发模块输出脉冲的上升沿为 4.8 ns,对触发信号引入的时间抖动峰峰值约为 317 ps,可以为输入阻抗为高阻或 50  $\Omega$  匹配的被触发器提供 4 V 左右的逻辑门电路(TTL)输出电压,满足高功率激光装置的要求。

**关键词** 光电子学;光电触发;高功率激光;减小电干扰;光电转换

**中图分类号** TN29      **文献标识码** A      **doi:** 10.3788/CJL201138.0517002

## Photoelectronic Trigger Module in High-Power Laser System

Zhang Peng Li Xuechun Li Guoyang Zhang Shengjia

(National Laboratory of High Power Laser Physics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

**Abstract** A photoelectronic trigger module with low time jitter and fast rise time is presented which is used to reduce the influence of electrical interference on trigger signal in the high-power laser system. It is made up of a transmitter and a receiver which are connected with each other by an optical fiber. Since the trigger signal is transmitted from the transmitter to the receiver in the form of light, it will not be affected by electrical interference during its transmission. This photoelectronic trigger module is able to provide an electrical pulse with amplitude of 4 V whose rise time is 4.8 ns. The peak-to-peak value of additional time jitter of trigger signal resulting from this trigger module is 317 ps which meets the requirements of high-power laser systems.

**Key words** optoelectronics; photoelectric trigger; high-power laser; electrical interference reduction; photoelectric conversion

**OCIS codes** 250.3140; 230.0250; 130.0250; 230.2090

## 1 引 言

在高功率激光装置中,对于电光开关、条纹相机<sup>[1~4]</sup>等控制或捕捉激光脉冲的仪器而言,与激光脉冲同步的触发信号是必不可少的。通常,触发信号是通过电缆来传输的。但是,由于高功率激光装置在能量发射的过程中,伴随着氙灯高压放电,自由空间中会出现电干扰信号,因而电缆中传输的触发信号会受到干扰。此外,电缆对传输信号的衰减很强,传输的距离越远,信号衰减幅度也就越大。而经

光纤传输的光脉冲信号,可以降低高压电干扰信号对传输信号的影响,同时光纤对传输信号的衰减非常小。因此,研制光电触发模块有着重要的应用和工程价值。

由于光电触发模块存在着光电相互转换的问题,因此会引入额外的时间抖动。目前,现有光电触发模块的时间抖动可以做到 1 ns 左右<sup>[5]</sup>。但这还远远不能满足高功率激光装置对触发脉冲时间精度的要求。基于激光二极管(LD)模拟调制的机理,本

**收稿日期:** 2011-01-06; **收到修改稿日期:** 2011-02-21

**作者简介:** 张 鹏(1984—),男,博士研究生,主要从事前端预放激光光谱控制和主动偏振控制等方面的研究。

E-mail: zp242@mail.ustc.edu.cn

**导师简介:** 李学春(1972—),男,研究员,博士生导师,主要从事激光技术与光纤应用等方面的研究。

E-mail: lixuechun@siom.ac.cn

文成功研制了一种光电触发模块,并对其性能参数进行了研究。

## 2 现有的光电触发模块的局限性

目前,一些电子公司有光电触发模块的成品出售,例如 Avago 公司的 HRBR-1119TZ 和 HRBR-2119TZ<sup>[5]</sup>,这些模块集成化程度高,便于操作。但为了保证输出的触发信号有较快的上升沿,在触发

信号进行电光转换和光电转换时,其采用了数字调制的方式,在发射模块和接收模块中对电脉冲进行整形,而整形会将触发脉冲自身的幅度抖动转换为时间抖动。触发模块的结构如图 1 所示,由发射模块和接收模块构成,发射模块包含了整形电路和发光二极管(LED),接收模块则包含了光电探测器和整形电路,发射模块与接收模块之间通过光纤连接。

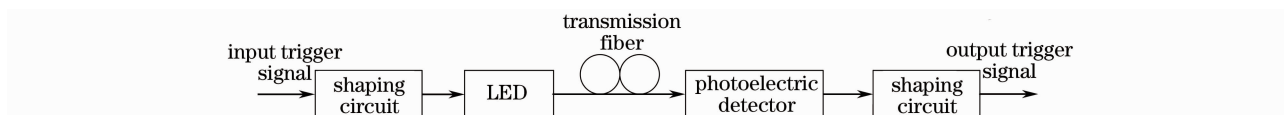


图 1 带整形功能的光电触发模块

Fig. 1 Trigger module containing pulse shaping circuits

图 2 说明了整形导致触发脉冲的幅度抖动转换为时间抖动的现象。脉冲 1 和脉冲 2 代表了相邻的两触发脉冲,纵轴表示触发脉冲的幅度,横轴表示触发脉冲与对应激光脉冲之间的时间延迟。图 2(a)是整形前触发脉冲的波形,假设脉冲 1 的幅度较脉冲 2 大,并且整形前脉冲 1、脉冲 2 与对应光脉冲的时间延迟均为  $T_0$ 。整形是按照参考电平进行的,触发脉冲中小于参考电平的

部分经整形后输出为高电平。假设电脉冲整形的参考电平为  $V_{ref}$ 。图 2(b)是脉冲 1 整形后的波形,图 2(c)是脉冲 2 整形后的波形。整形后的脉冲 1 和脉冲 2 相对于各自对应的光脉冲的时间延迟分别为  $T_1$  和  $T_2$ ,其中  $T_1 < T_2$ 。由图可以看出,整形引起了触发脉冲延迟时间的额外抖动。这是目前限制光电触发模块在高功率激光装置中应用的主要因素。

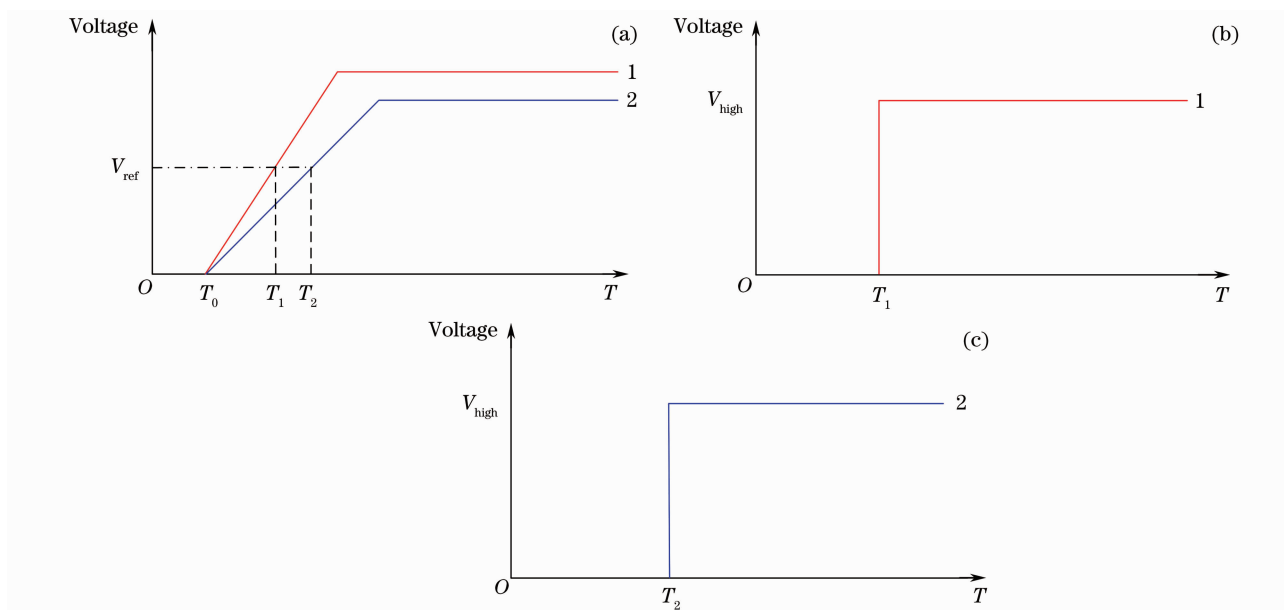


图 2 对电触发脉冲的整形导致触发脉冲自身的幅度抖动转换为时间抖动。(a)整形前的相邻两触发脉冲,

(b)经过整形的触发脉冲 1,(c)经过整形的触发脉冲 2

Fig. 2 Electrical pulse shaping leading to the conversion from amplitude jitter to time jitter. (a) waveform of two adjacent shot pulses before pulse shaping, (b) waveform of pulse 1 after shaping, (c) waveform of pulse 2 after shaping

## 3 一种新光电触发模块的设计方案

上述光电触发模块中的电脉冲整形是一个数字调制的过程,虽然整形电路能够将触发脉冲的前沿

变快,但付出的代价是导致触发脉冲延迟时间抖动增大。为了兼顾触发脉冲与激光脉冲之间的低时间抖动和触发脉冲的快上升沿,应该采用一种模拟调

制的电光转换方式。

设计的光电触发模块由发射模块和接收模块构成,发射模块和接收模块之间通过 1300 nm 的多模光纤连接。

### 3.1 发射模块

发射模块的主要作用是将输入的电脉冲信号转换为光脉冲信号,如图 3 所示,它由两级电放大器和一个 LD 构成。使用的放大器是德州仪器公司 THS3091 芯片。THS3091 是一款高输出电压、低信号失真的高速电流反馈放大器,带宽可达到

210 MHz,输出驱动电流最大可达到 250 mA。

第一级放大器是一个电压跟随器,起到了阻抗变换和缓冲的作用。第二级放大器是一个反向放大器,在电触发信号到来时,它输出一个负脉冲。由于 LD 的正极接地,因此在电触发脉冲到来时,电脉冲信号正向加载到 LD 两端,LD 发出一个光脉冲信号。由于电光转换过程中不存在脉冲整形,并且 LD 产生光脉冲是一个模拟调制的过程,因此,由发射模块引入的触发脉冲与光路中激光脉冲之间的时间抖动较小。

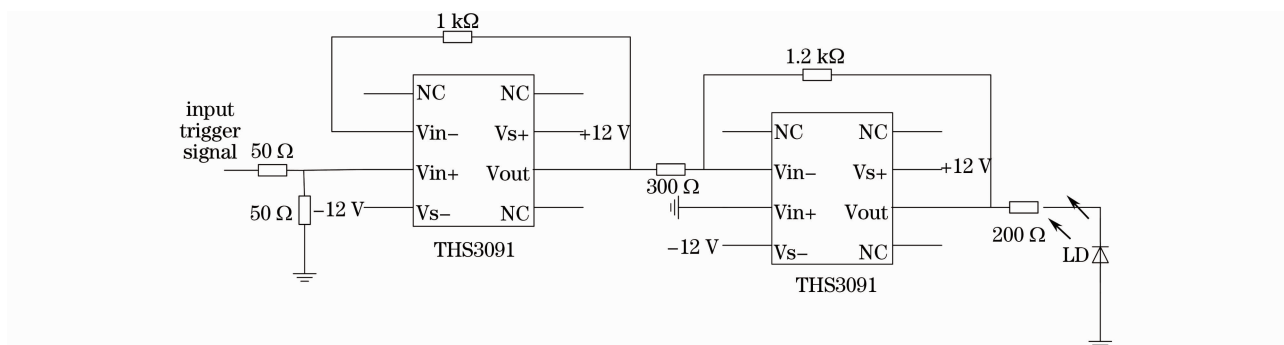


图 3 发射模块

Fig. 3 Transmitter

### 3.2 接收模块

发射模块输出的光脉冲经多模光纤传输后被接收模块接收。如图 4 所示,接收模块由光电探测器

和两级电放大器构成,其作用是将光触发信号转换并放大为仪器所需要的电触发信号,然后输出至需要被触发的仪器中。

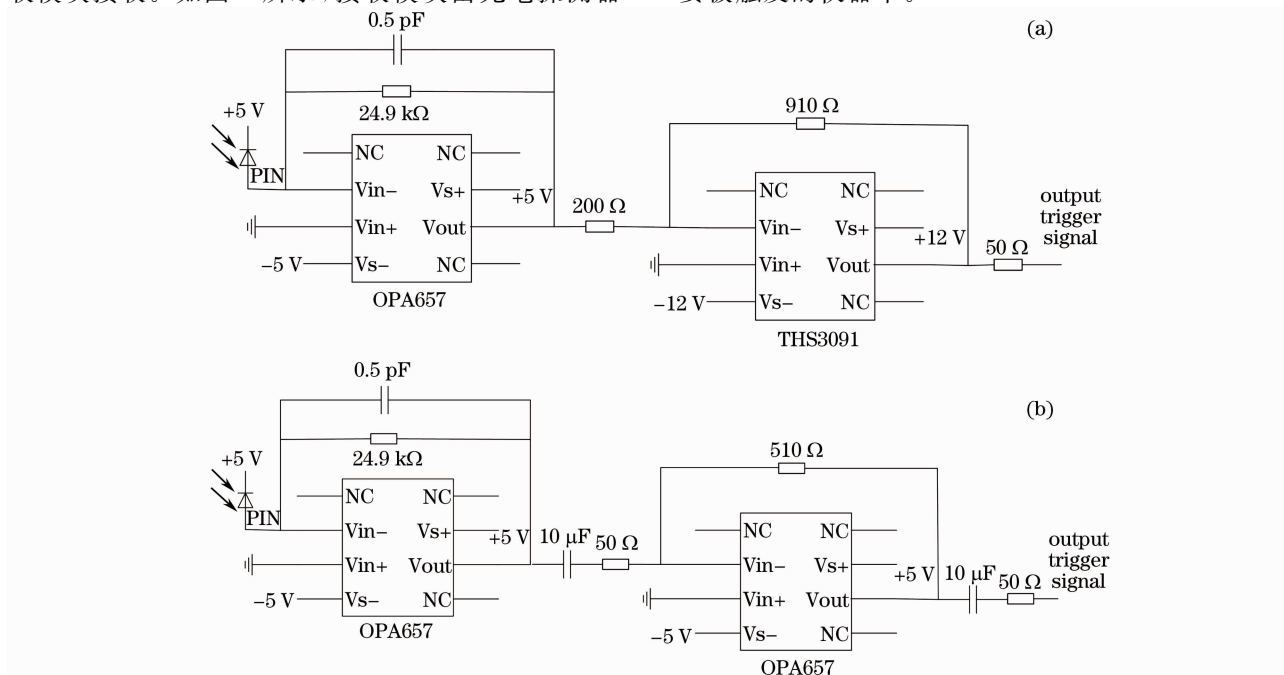


图 4 接收模块。(a)可为输入阻抗为 50 Ω 的被触发仪器提供 4 V 电脉冲输出的接收模块,

(b)可为输入阻抗为高阻的被触发仪器提供 4 V 电脉冲输出的接收模块

Fig. 4 Receiver. (a) receiver that can provide 4 V electrical pulse for the device whose input impedance is 50 Ω,

(b) receiver that can provide 4 V electrical pulse for the device whose input impedance is high impedance

光电探测器和第一级电放大器构成了一个跨阻放大器,作用是将光触发信号转换为电触发信号。使用的光电探测器是加载了反向偏置电压的 PIN 管,第一级放大器选用的是德州仪器公司生产的 OPA657。OPA657 是一款高速、低噪声运算放大器,其增益带宽积为 16 GHz,输出驱动电流最大为 70 mA,输入电压噪声仅为  $4.8 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。

第二级放大器的作用是用来放大由第一级放大器输出的电触发信号。如图 4 所示,根据被触发仪器输入阻抗的不同,设计了两种触发模块,二者的区别在于所选取的第二级放大器不同。图 4(a),(b) 是当被触发仪器的输入阻抗分别为  $50 \Omega$  和高阻时,可为被触发仪器提供 4 V 触发电脉冲的接收模块。

第一级放大器取样电阻以及第二级放大器输入电阻和反馈电阻选取的原则是使第二级放大器工作在饱和状态,这样可以提高输出电触发信号的信噪

比,并且使输出电脉冲的波形为方波。

### 4 实验与讨论

实验装置如图 5 所示,信号发生器输出两路电脉冲信号,通道 2 输出的电脉冲信号输入至发射模块,发射模块将其转换为光信号,然后光信号被耦合到多模光纤中,经 100 m 光纤传输至接收模块,接收模块再将光信号转换成电信号并放大,最后输出至示波器的输入端口 3。同时,信号发生器通道 1 输出的电脉冲信号输入到示波器的输入端口 2 作为示波器的触发源。选用的信号发生器是 Stanford Research Systems 的 DG535。DG535 是一款高精度数字信号发生器,其延迟时间的最小分辨率为 5 ps,对于小于  $100 \mu\text{s}$  的脉冲,其各通道之间的时间抖动小于 50 ps(均方根),即时间抖动的峰峰值小于 200 ps。

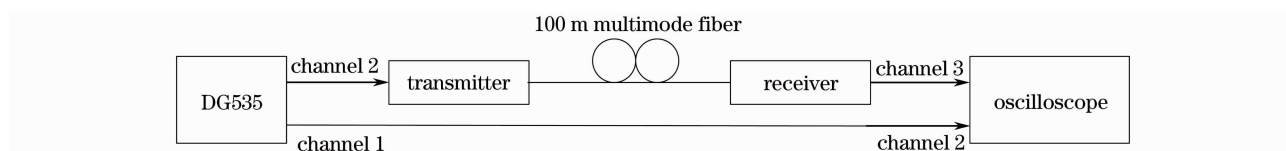


图 5 实验装置

Fig. 5 Experimental setup

接收模块采用图 4(b)的结构,当被触发仪器为高阻输入时,输出 4 V 左右的逻辑门电路(TTL)电脉冲,示波器是 Tektronix 公司的 DPO70604B 示波器,带宽为 6 GHz,采样率为 25 GS/s,输入阻抗为  $50 \Omega$  匹配。如图 4(b)所示,接收模块第二级放大器的输出经一个  $50 \Omega$  电阻接到示波器上,由于示波器的输入阻抗为  $50 \Omega$ ,因此,电阻分压导致示波器的输入端接收到的电脉冲幅度大约只有接收模块实际输出电脉冲幅度的一半,即接收模块输出的 4 V 电压在示波器上显示出来只有 1.7 V 左右。

实验中,DG535 输出信号的重复频率为 1 Hz。图 6 是在示波器上监测 1 h 所得到的脉冲时间包

络。示波器采用信号触发的方式,将 DG535 第 1 通道输出的信号作为触发信号,即图中的绿色曲线 2。紫色曲线 3 是 DG535 第 2 通道的输出信号经过光电触发模块后输出的信号(彩图见电子版)。可以看出,光电触发模块可以响应快上升沿的触发信号,DG535 输入到光电触发模块中的脉冲信号上升沿(即曲线 2 的上升沿)为 3.6 ns,而由光电触发模块最终输出的脉冲信号的上升沿为 4.8 ns。由于示波器的触发信号是 DG535 第 1 通道的输出信号,因此,图 6 中曲线 3 的时间包络反映了由示波器测得的 DG535 第 2 通道输出信号经光电触发模块后与 DG535 第 1 通道的输出信号之间的时间抖动,其峰

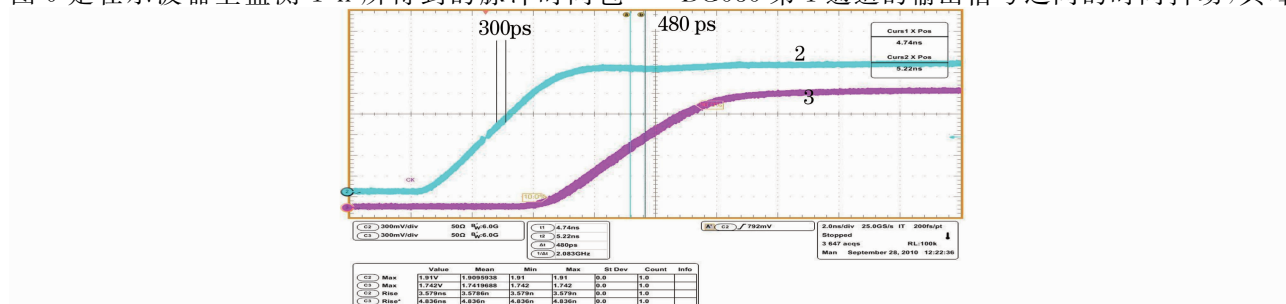


图 6 监测 1 h 测得的时间抖动的结果

Fig. 6 Experimental results of time jitter of the photoelectronic trigger module by 1 h monitoring

峰值  $\sigma_{\text{total}} = 480$  ps, 其包含了 DG535 两通道之间固有的时间抖动  $\sigma_{\text{DG535}}$ 、光电触发模块对触发信号引入的时间抖动  $\sigma_{\text{trigger}}$  和示波器测量引入的时间抖动  $\sigma_{\text{osc}}$ , 它们之间满足关系  $\sigma_{\text{total}}^2 = \sigma_{\text{DG535}}^2 + \sigma_{\text{trigger}}^2 + \sigma_{\text{osc}}^2$ 。曲线 2 的包络反映了由示波器测量所引入的时间抖动, 其峰峰值  $\sigma_{\text{osc}} = 300$  ps。由于 DG535 两通道之间固有的时间抖动峰峰值  $\sigma_{\text{DG535}} = 200$  ps, 因此通过计算可得, 光电触发模块对触发信号引入的时间抖动峰峰值  $\sigma_{\text{trigger}} = 317$  ps, 满足高功率激光装置的要求。

## 5 结 论

提出了一种新型的光电触发模块, 可以为输入阻抗为高阻和  $50 \Omega$  匹配的被触发仪器提供 4 V 的触发信号。该模块使触发信号以光脉冲的形式通过光纤从信号发生器传输到被触发的仪器, 避免了在传输过程中受到高压电干扰信号的影响。光电触发模块输出信号的上升沿为 4.8 ns, 对触发信号引入的时间抖动的峰峰值约为 317 ps, 满足高功率激光

装置的要求。

## 参 考 文 献

- 1 J. Gardelle, E. Pasini. A simple operation of a plasma-electrode Pockel's cell for the laser megajoules[J]. *J. Appl. Phys.*, 2002, **91**(5): 2631~2636
- 2 Wu Dengsheng, Zhang Xiongjun, Zheng Jiangang *et al.*. Study on temporal behaviour of one-pulse-process plasma electrodes Pockels cell with 400 mm  $\times$  400 mm aperture[J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(5): 1227~1230  
吴登生, 张雄军, 郑建刚等. 400 mm  $\times$  400 mm 口径单脉冲普克尔盒时间特性研究[J]. *中国激光*, 2010, **37**(5): 1227~1230
- 3 Hu Xin, Liu Shenye, Ding Yongkun *et al.*. Design of SG-III X-ray streak camera [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(10): 2871~2875  
胡 昕, 刘慎业, 丁永坤等. 神光 III 主机 X 射线条纹相机设计 [J]. *光学学报*, 2009, **29**(10): 2871~2875
- 4 Huang Yixiang, Jiang Shao'en, Li Wenhong *et al.*. Temporal characteristics calibration for an X-ray streak camera[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2006, **18**(5): 829~833  
黄翼翔, 江少恩, 李文洪等. X 光条纹相机时间性能标定[J]. *强激光与粒子束*, 2006, **18**(5): 829~833
- 5 Avago Technologies. HFBR-1119TZ transmitter HFBR-2119TZ receiver fiber optic transmitter and receiver data links for 266 MBd[OL]. [www.avagotech.com/docs/AV01-0153EN](http://www.avagotech.com/docs/AV01-0153EN), 2006.