

# 基于外触发的脉宽可调激光脉冲信号产生系统的设计与开发

黎志刚, 邢宇鹏, 陈峰, 张新立, 覃良标

(中国电子科技集团公司 第34研究所, 广西 桂林 541004)

**摘要:** 针对不同应用领域对激光脉冲宽度可调的需求, 研究了一种基于外触发的脉宽可调纳秒级激光脉冲信号产生的设计方法并开发了实现的电路系统, 该系统实现纳秒级脉冲信号脉宽可调、与外触发信号保持同步上升沿; 分析并介绍了系统中可控延时电路、脉冲信号重组电路、激光器功率控制和温度自动控制电路等主要硬件部分; 对各电路的实现原理、主要器件选型及电路调测进行重点分析与阐述, 最后进行集成与测试; 系统产生纳秒级激光脉冲信号脉宽可调范围为0.25~63.75 ns, 脉宽调节精度为0.25 ns; 在设置不同脉宽时, 激光脉冲能量稳定性指标不超过0.92%。实验结果表明: 该电路系统实现了纳秒级脉冲激光信号的脉宽精密可调、脉冲调节范围满足应用需求、激光脉冲能量稳定性好, 从而验证了所开发系统的可用性, 取得较好的预期效果。

**关键词:** 纳秒脉冲激光信号; 脉宽可调; 外触发; 可控延时电路; 功率控制; 温度自动控制

## Design and Development of Laser Pulse Signal Generation System with Adjustable Pulse Width Based on External Trigger

LI Zhigang, XING Yupeng, CHEN Feng, ZHANG Xinli, QIN Liangbiao

(The 34th Research Institute of CETC, Guilin 541004, China)

**Abstract:** To meet the requirements of adjustable laser pulse width in different application fields, this paper designs a nanosecond pulse laser signal generation circuit system with adjustable pulse width based on external trigger and develops a circuit system, this system has the features of adjustable pulse width with nanosecond level and synchronous rising edge for external trigger signal. The paper introduces the main hardware components of the circuit system, including controllable delay circuit, pulse signal recombination circuit, laser power control and temperature automatic control circuit, analyzes the implementation principles, main component selection and circuit debugging of each circuit, and finally integrates and tests the system. The system generates nanosecond laser pulse signals with a pulse width adjustable range of 0.25 ns to 63.75 ns and a pulse width adjustment accuracy of 0.25 ns. The root mean square (RMS) of laser energy is less than 0.92% with different pulse widths. Experimental results show the circuit system achieves the signal laser pulse with precise and adjustable nanosecond pulse width and meets the application requirements for pulse adjustment range, it has the excellent stability of laser energy and verifies the practicality of the developed system, achieving highly expected results.

**Keywords:** nanosecond pulse laser signal; pulse width adjustment; external trigger; controllable delay circuit; power control; automatic temperature control

## 0 引言

激光因具有良好的相干性、方向性、单色性和高能量密度<sup>[1-2]</sup>而广泛应用于激光测距与探测<sup>[3-7]</sup>、激光打印与直写<sup>[8]</sup>、激光切割与焊接<sup>[9-14]</sup>、激光治疗与诊

断<sup>[15-16]</sup>、激光通信<sup>[17]</sup>、激光合成与高能激光武器<sup>[18-21]</sup>、激光聚变<sup>[22-24]</sup>等工业、国防军事、科学研究领域, 而脉宽可调的脉冲激光是上述应用领域中重要信号光源。特别地, 在激光测距、激光引信及激光通信等领域, 对脉冲激光信号的脉宽可调有明确要求, 甚至

收稿日期:2023-11-09; 修回日期:2024-01-04。

基金项目:中国电子科技集团公司第34研究所发展基金项目(K134002021S201)。

作者简介:黎志刚(1985-),男,硕士研究生,高级工程师。

引用格式:黎志刚,邢宇鹏,陈峰,等.基于外触发的脉宽可调激光脉冲信号产生系统的设计与开发[J].计算机测量与控制,2025,33(1):181-186,310.

对脉宽调节的精度及范围有较为严苛的要求<sup>[5,24-26]</sup>,当前脉宽调节精度更高、调节范围更大且更易于实现的激光脉冲信号产生系统已经成为这些领域的研究热点<sup>[2-7]</sup>;文献[5]为激光探测领域相关应用而设计并搭建了一套脉冲激光发生器,其系统输出激光脉冲宽度固定在 30 ns 不可调;文献[24]指出一种可用于惯性约束聚变的脉冲激光驱动光源,激光脉冲宽度为 0.1~50.0 ns 范围,但并未指出脉宽调节精度及实现方法;文献[26]指出当激光脉冲宽度为 4 ns 时对 SiC/AA2024 复合材料的刻蚀加工效果较好,并提出为进一步提高对这类材料刻蚀加工的精度需研制出脉冲宽度更窄的且能量稳定性有要求的脉冲激光光源,并指出脉冲能量稳定性指标应小于 3.6%,同时在文献[26]还提到应用于微加工应用的两款脉冲激光光源,其脉冲宽度分别为 6 ns 和 3.8 ns。此外在激光通信、激光合成及激光聚变等领域要求激光脉冲信号产生系统与后续放大系统实现精确同步,甚至在一些大型激光装置中,有特定同步系统以实现装置内各系统之间的精确同步<sup>[20-23]</sup>,目前国内外针对上述应用领域所研究的脉冲激光光源一般有两种实现方式。一种是直流光源系统,通过外部调制形成脉冲信号,文献[7,22-24]所述的激光装置都是采用幅度调制器对单纵模激光器输出的连续波激光进行调制,进而产生脉冲激光,而幅度调制器的驱动电脉冲信号就由同步信号触发任意波形发生器产生的,从而实现装置系统的同步,这种通过引入幅度调制器实现脉冲信号产生,无疑增加了脉冲信号产生系统设计实现的复杂度,不便于集成调试,使系统体积增大,同时也提高设计成本。另一种是直接产生脉冲信号光源,文献[26]是通过被动调 Q 和电光腔倒空等技术获得纳秒量级脉冲激光,脉冲宽度为 6.0 ns,通过复杂的电路和光路系统设计可实现将脉冲宽度压窄至 2.85 ns,设计门槛高,应用推广难度大;另外文献[4]、[6]等提出通过振荡器方式直接产生光脉冲信号,文献[13]、[27]等提出通过 FPGA 编程直接产生电脉冲信号,再经电路系统实现电光转换输出光脉冲信号,直接产生脉冲的实现方式硬件系统设计难度大、技术要求高,不便于与系统外其他工作在脉冲方式下的设备、模块进行同步,导致控制难度大。因此深入分析在工业、国防军事、

科学研究等领域应用需求,包括激光脉冲产生方式、激光脉冲宽度可调、激光脉冲能量稳定性要求、系统易于与其他系统同步、硬件系统实现简单易于集成等,国内外研究并未取得一致认可的脉冲光源,为满足上述需求、解决前述相关问题并降低设计难度,设计并开发了一套基于外触发的脉宽可调纳秒级激光脉冲信号产生电路系统,详细分析了系统脉冲输出的实现方式与原理,阐述了脉冲宽度可调的实现技术,该系统实现纳秒级脉冲信号脉宽可调、同时该脉冲信号与外触发信号保持同步上升沿,即易于实现与系统外其他设备、模块进行同步。本文较详细的介绍了电路系统内主要硬件电路设计,重点对各电路进行集成与测试、对电路系统进行性能测试与分析。这套电路系统易于实现集成与控制,为工业、国防军事、科学研究等领域提供了一种可广泛应用的脉冲光源。

## 1 系统总体设计

产生激光脉冲信号电路系统主要由可控延时电路、脉冲信号重组电路、激光器驱动电路等硬件部分构成,电路系统总体设计框图见图 1 所示。其实现过程是:外触发宽脉冲信号(仅要求该信号脉宽  $\tau$  大于所需调节的输出脉冲光脉宽)从可控延时电路输入端注入,通过控制器设置延时时长,即为输出脉冲光的脉宽;延时电路输出脉冲信号和外触发宽脉冲信号一起注入脉冲信号重组电路逻辑异或电路两输入端、逻辑异或电路输出脉冲信号再和外触发宽脉冲信号一起注入脉冲信号重组电路逻辑与电路两输入端,逻辑与电路输出的脉冲信号,即为重组电路输出的已设置脉宽的脉冲电信号;该脉冲电信号经功率控制电路提升驱动能力后注入脉冲激光器,直接产生激光脉冲信号,在系统控制器闭环控制下,温度控制电路保持激光器管壳温度恒定,维持激光器稳定输出脉冲光信号。

按照图 1 所示的总体电路框图,设定外触发宽脉冲信号幅度为  $U_0$ 、脉宽为  $\tau$ 、重复频率为  $f$ ,其时序如图 2(A) 所示,则脉冲信号函数表达式见式(1)。

$$U_A(t) = \begin{cases} U_0 \left( \frac{n}{f} \leq t < \frac{n}{f} + \tau, n = 0, 1, 2, \dots \right) \\ 0 \left( \frac{n}{f} + \tau \leq t < \frac{n+1}{f}, n = 0, 1, 2, \dots \right) \end{cases} \quad (1)$$

控制器设置延时电路延时时长为  $\omega$  ( $\omega < \tau$ ),则图

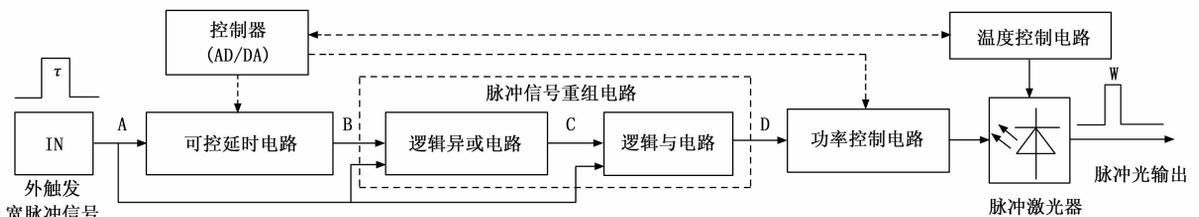


图 1 电路系统总体设计框图

1 中 B、C、D 各处的脉冲信号如图 2 所示, 其中, C 处脉冲为逻辑异或电路的输出、其输入信号分别为信号 A (外触发宽脉冲信号) 和信号 B (可控延时电路输出信号), D 处脉冲为逻辑与电路的输出、其输入信号分别为信号 A (外触发宽脉冲信号) 和信号 C (逻辑异或电路输出信号)。通过时序计算与分析可知, 脉冲信号重组电路输出信号 D 的函数表达式见式 (2), 其中  $\eta_1$ 、 $\eta_2$  分别为可控延时电路、脉冲信号重组电路的衰减系数, 为与时间无关的常数, 只影响脉冲信号幅度。

$$U_D(t) = \begin{cases} \eta_1 \eta_2 U_0 (\frac{n}{f} \leq t < \frac{n}{f} + w, n = 0, 1, 2 \dots) \\ 0 (\frac{n}{f} + w \leq t < \frac{n+1}{f}, n = 0, 1, 2 \dots) \end{cases} \quad (2)$$

通过对比式 (1) 和式 (2) 函数表达式可知, 脉冲信号重组电路输出信号 D 的脉宽正好是延时电路受控的延时时长  $w$ , 即通过设置延时电路延时时长即可程控电路系统输出脉冲信号脉宽  $w$ ; 同时脉冲信号重组电路输出信号 D 与外触发宽脉冲信号 A 具有同步的上升沿, 即电路系统产生的脉冲信号易于与系统外其他设备、模块进行同步。

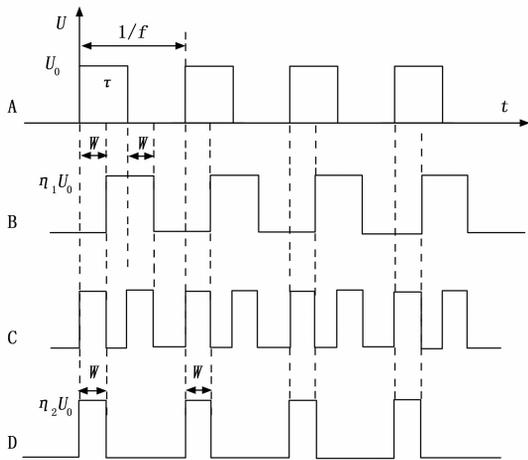


图 2 系统各电路输出脉冲信号时序对比

## 2 产生激光脉冲信号电路系统

### 2.1 可控延时电路

可控延时电路是实现激光脉冲信号脉冲宽度调节的重要硬件部分, 是整个电路系统的核心模块, 主要由 MAXIM 公司的 8 位可编程延时芯片 DS1023-25 构建延时电路, 其内部构成如图 3 所示, 主要包括译码器、延时单元阵列和 3 位数字模器等部分, 其中延时单元阵列中有 31 个延时单元, 每个延时单元延时时长为 2 ns。工作时通过编程设置写入 8 位寄存器数据, 译码器将高 5 位控制延时单元阵列、低 3 位控制数字模器, 分辨率为 0.25 ns, 即延时芯片 DS1023-25 最小延时步进为

0.25 ns, 即实现脉宽调节精度为 0.25 ns; 最大可调脉宽见式 (3), 可控延时电路脉宽调节范围为 0.25 ns ~ 63.75 ns。控制器编程设置寄存器对应 IO 口 IO\_7~IO\_0 为 0x01, 则延时时长为 0.25 ns, 设置为 0xFF 则延时 63.75 ns。

$$W_{max} = (2^5 - 1) \times 2 \text{ ns} + (2^3 - 1) \times 0.25 \text{ ns} = 63.75 \text{ ns} \quad (3)$$

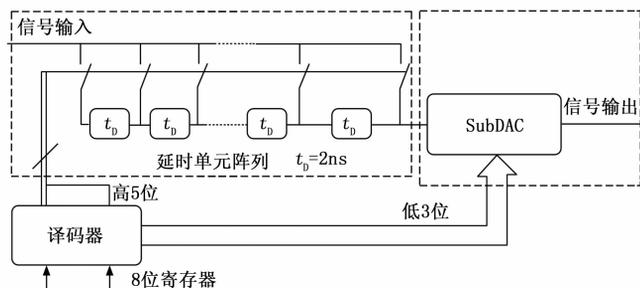


图 3 延时芯片 DS1023-25 内部组成

延时芯片作为一种可设置参数改变延时量的芯片, 每一个数字量的变化对应芯片相应延时时间, 脉冲延时调整窄脉冲最小周期为 0.25 ns, 如果芯片在连续延时状态中, 意味着延时脉冲沿 DS1023-25 芯片内部以一定时间节点在改变, 最终经过设定的延时参数后输出延时脉冲。电路系统中采用的可控延时电路设计如图 4 所示, 由 +5V 直流电压供电, 外触发宽脉冲信号 (A) 从芯片引脚 IN 端输入, 编程设置延时时长数据从高到低依据由芯片引脚 P7~P0 端输入以控制延时时长, 延时信号 (B) 由芯片引脚 OUT 端输出。

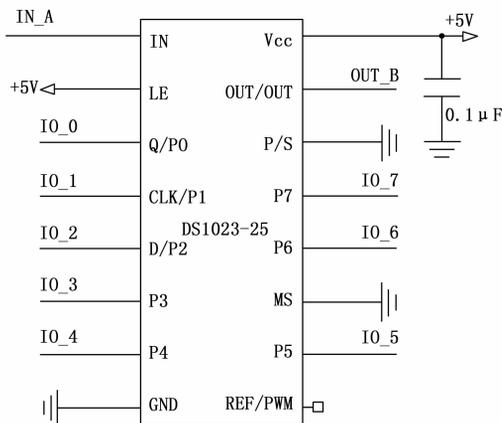


图 4 可控延时电路设计

### 2.2 脉冲信号重组电路

脉冲信号重组电路如图 5 所示, 由逻辑异或电路及逻辑与电路两部分组成, 起到脉冲信号生成和时序对齐作用, 即实现该电路重组产生的脉冲信号与外触发宽脉冲信号在时序上具有同步的上升沿。

在图 5 中所示的脉冲信号重组电路中, 逻辑异或选

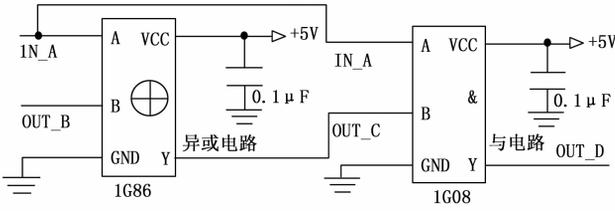


图 5 脉冲信号重组电路

用 TI 公司 SN74LVC1G86DBVR 芯片，逻辑与选用 TI 公司 SN74LVC1G08DBVR 芯片，这两款逻辑芯片均为单通道芯片，具有两个逻辑信号输入端（输入电压范围 DC3.3 V~DC5 V），且供电电压范围广（DC1.65 V~DC5.5 V），图 5 中供电电压采用 DC+5 V、输入端脉冲幅度为 3.3 V。逻辑异或、逻辑与输出 Y 与两输入 A、B 之间的关系分别见表 1 (a)、表 1 (b)，其中 0 代表逻辑低电平、1 代表逻辑高电平。

表 1 逻辑异或、逻辑与输入输出对应关系

(a)逻辑异或			(b)逻辑与		
A	B	Y	A	B	Y
0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	1	1	1

### 2.3 脉冲激光器驱动电路

脉冲激光器驱动电路是激光器正常稳定工作的驱动与保障，是输出稳定脉冲激光的核心模块，主要由

Haus 公司的 IC-HG30 芯片构成的功率控制电路和鞍山核心电子技术有限公司的 TEC-A1LD 控制器芯片构成温度控制电路组成，激光器采用 II-VI 公司的 CM97A1064NFBG 窄线宽脉冲光纤激光器。脉冲激光器驱动电路具体设计如图 6 所示，电路采用 +5 V 直流供电。

功率控制电路中 IC-HG30 芯片具有两个作用，一是通道快速闭合与切断、二是电压转换电流，其工作原理及过程是脉冲信号重组电路输出信号 D 经芯片使能引脚 EN<sub>x</sub> (x=1~6) 输入，在脉冲信号高电平时间内 IC-HG30 芯片对应通道打开，通道上的电流由芯片 CI<sub>x</sub> (x=1~6) 引脚上的电压控制（该电压值由控制器使能 DA 芯片实现），在脉冲信号低电平时 IC-HG30 芯片对应通道断开，从而实现了脉冲驱动电流输出，该驱动电流直接加载到脉冲激光器产生脉冲激光信号。具体地，IC-HG30 芯片具有 6 个独立的电压转换电流通路，可独立使用，也可并联叠加以增大输出电流；每通道允许的断合切换频率范围为 0~250 MHz (0 表示 IC-HG30 芯片对应通道输出直流信号、即激光器输出连续激光信号)；当芯片工作在直流模式下，IC-HG30 芯片每通道驱动电流最大可达 1 A，即芯片最大驱动能力达 6 A，当芯片工作在脉冲模式下，每通道驱动电流峰值高达 5 A，即芯片最大驱动能力达 30 A。以芯片 IC-HG30 为核心器件构建的功率控制电路有两种方式控制激光器的驱动电流，一种是控制 IC-HG30 芯片单通道输出电流的大小，通过 DA 设置芯片 CI<sub>x</sub> 各引脚上的电

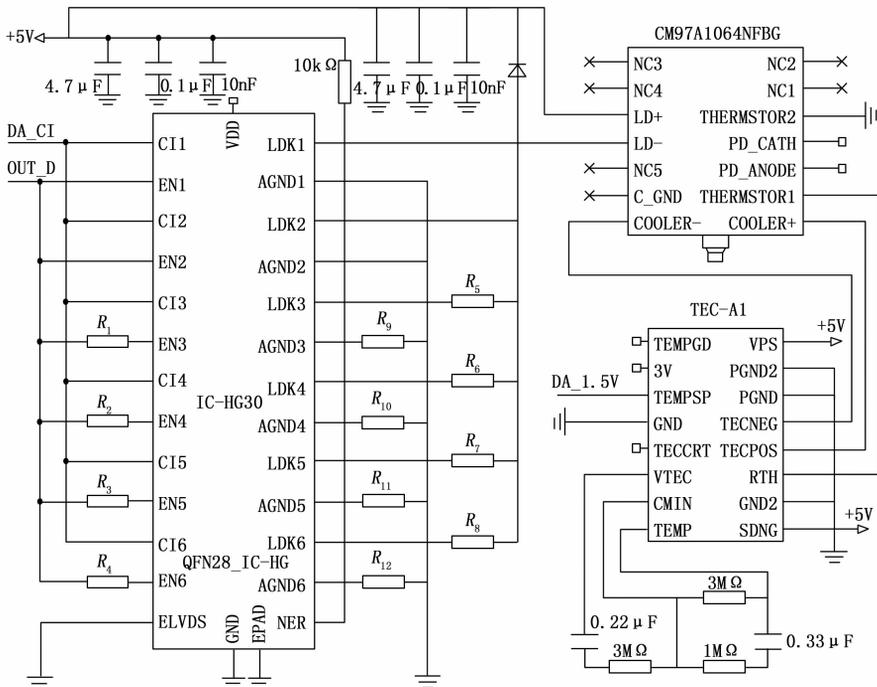


图 6 脉冲激光器驱动电路

压大小即可实现,  $CI_x$  电压设置值与对应通道输出电流之间关系如图 7 (a) 所示, IC-HG30 芯片对应的通道输出电流随着  $CI_x$  电压设置值增大而增大; 另一种是通过选择增加驱动通道数, IC-HG30 芯片提供 6 通道任意组合并联叠加使用, IC-HG30 芯片总输出电流大小为各通道输出电流之和, 图 6 脉冲激光器驱动电路中仅使用其中 2 个通道, 表现为电阻焊接位  $R_1 \sim R_{12}$  均留空, 若需要再增加驱动通道时, 只需将相应位置的电阻焊  $0 \Omega$ , 如再叠加第三通道时, 上述电阻位  $R_1$ 、 $R_5$ 、 $R_9$  焊  $0 \Omega$  电阻, 其他电阻位留空。

温度控制电路主要实现脉冲激光器工作温度恒定, 由高性能 TEC 控制器芯片设计温度自动控制电路, TEC-A1LD 模块具有高稳定性、高功率效率及小封装等特点, 适于快速温度响应和稳定。温度控制电路的原理是根据激光器内置的负温度系数热敏电阻的反馈电压和设定温度对应的参考电压值比较, 自动控制流过内置半导体热电制冷片电流的大小和方向, 实现 TEC 制冷和制热, 自动调节激光器的工作温度, 使激光器腔体处于设置的恒定温度值, 保证激光器输出稳定的激光脉冲信号, 电路系统中控制器通过 DA 设置 TEC 控制器 TEMPSP 引脚上的电压大小  $U$  改变上述设置恒定温度值, 其对应关系如图 7 (b) 所示, 在常见工作温度  $15 \sim 35 \text{ }^\circ\text{C}$  范围内, TEC 稳定控制的温度  $T$  (单位:  $^\circ\text{C}$ ) 与 TEC 模块 TEMPSP 引脚上的电压  $U$  (单位: V) 关系见式 (4), 即当控制器通过 DA 将 TEC 模块 TEMPSP 引脚上的电压  $U$  设置为  $1.5 \text{ V}$  时, TEC 模块稳定控制的温度值为  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , 即此时激光器腔体所处温度设置为  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

$$T = \frac{20}{3}U + 15 \quad (4)$$

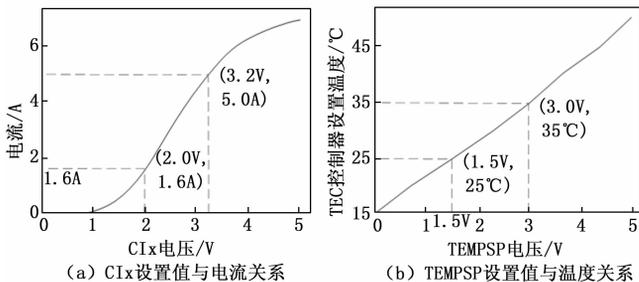


图 7 对应关系曲线

电路系统中选用的脉冲激光器型号为 CM97A10 64NFBG, 是 II-VI 公司新一代波长稳定的高功率半导体激光器, 该激光器允许高功率输出激光, 且输出功率随时间和温度变化均非常稳定, 同时该激光器既能输出连续光也可以直接输出脉冲光, 在脉冲光工作情况下输出脉冲宽度可到 ns 量级, 是纳秒脉冲光纤激光应用领域的常用激光器, 符合本文关于激光器的选型

要求。

### 3 电路系统性能测试结果与分析

#### 3.1 激光脉冲信号脉宽控制

本设计电路系统采用外触发方式, 激光器输出脉冲信号的重频与外触发宽脉冲信号重频保持一致、具有同步的上升沿, 图 8 所示的激光脉冲时间波形在 LVTTTL 外触发宽脉冲信号脉宽为  $100 \text{ ns}$ 、重频  $1 \text{ kHz}$  下完成测试。

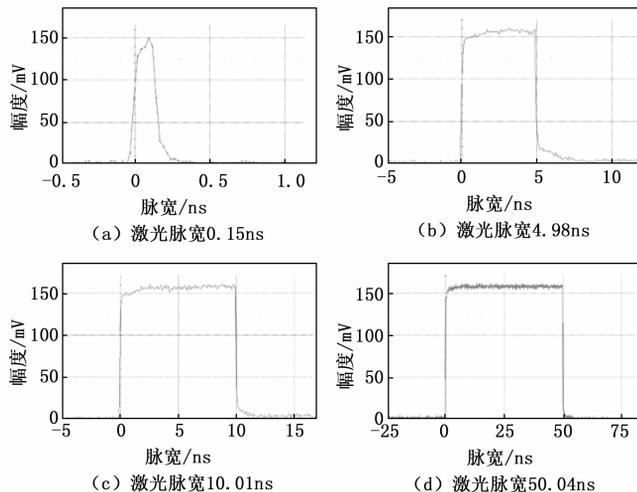


图 8 不同脉宽的激光脉冲信号时间波形

编程设置延时器连接的 IO 口  $IO_7 \sim IO_0$  为  $0x01$ , 即设置脉宽为  $0.25 \text{ ns}$ , 该脉宽是指图 1 电路系统中 D 处输出的电脉冲信号宽度, 该电脉冲信号经功率控制电路提升驱动能力后注入激光器产生激光脉冲信号, 其时间波形如图 8 (a) 所示, 光脉冲信号脉宽为  $0.15 \text{ ns}$ 。由于半导体激光器工艺设计、结构、材料及电光特性等因素使得激光器输出光脉冲信号脉宽  $W_o$ 。小于注入的电脉冲信号脉宽  $W_e$ , 其中半导体电光特性为主要因素, 半导体激光器在电脉冲泵浦下, 腔内载流子密度需要增大到特定阈值, 半导体激光器腔内载流子开始复合产生光子, 通过激光器尾纤输出激光, 同时载流子密度在泵浦的作用下继续增大, 产生光子数也不断增大, 直到电脉冲下降沿到来腔内载流子消耗至阈值以下, 光子数密度也随之下降, 正是因为半导体激光器腔内载流子需要达到阈值才产生激光的电光特性导致了激光器输出光脉冲信号脉宽  $W_o$ 。小于注入的电脉冲信号脉宽  $W_e$ , 且注入激光器的电脉冲信号脉宽  $W_e$  越小, 偏差值  $(W_e - W_o) / W_e$  越大, 为得到需要脉宽值的激光脉冲信号, 可将注入激光器的电脉冲信号脉宽  $W_e$  值编程控制适当偏大。图 8 (b)、(c)、(d) 是电路系统分别输出脉宽为  $4.98$ 、 $10.01$ 、 $50.04 \text{ ns}$  的激光脉冲信号时间波形图, 符合纳秒激光脉冲应用领域常见的脉宽值<sup>[22-24]</sup>, 其对应电脉冲信号脉宽分别为  $6.25$ 、 $10.50$ 、

50.20 ns, 控制器编程设置延时器连接的 IO 口 IO\_7~IO\_0 分别为 0x18、0x2B、0xC9, 由此可知, 电路系统产生的纳秒激光脉冲信号脉宽在 0.25~63.75 ns 范围内能以 0.25 ns 的精度连续可调。

### 3.2 激光脉冲能量稳定性测试

电路系统输出的激光脉冲信号必须具备较好的能量稳定性 (RMS) 才能应用于工业、国防军事、科学研究等领域, 国内外研究应用普遍要求 RMS 小于 3% 且越小越好, 严苛时需要将脉冲能量稳定性指标 RMS 控制到 1% 以内<sup>[22-26]</sup>, 而这种要求对产生脉冲光源的电路系统要求极高, 文献 [22-26] 中所实现的脉冲光源稳定性指标均高于 3%, 甚至在文献中没有该指标数据, 表述为稳定性指标较差<sup>[24-25]</sup>。因此激光脉冲能量稳定性指标 (RMS) 成为考核产生激光脉冲电路系统的重要指标, 激光脉冲能量稳定性 RMS 值计算见式 (5)。

$$E_{RMS} = \frac{E_{sdev}}{E_{avg}} \times 100\% \quad (5)$$

其中:  $E_{sdev}$ 、 $E_{avg}$  分别为激光脉冲能量测量数据的均方根值、平均值。根据表 2 测试条件, 将激光器输出光脉冲信号连接至能量计, 激光器正常输出脉冲光并稳定工作 10 min 后, 由能量计统计测量 60 min, 记录相应脉冲能量值及 RMS 指标值。

表 2 激光脉冲能量稳定性测试条件

激光器	型号	CM97A1064NFBG(II-VI)
	中心波长	1064.21 nm
TEC 温度控制		+25 °C
脉冲重频		1 kHz、100 kHz
光脉冲宽度		4.98 ns、10.01 ns、50.04 ns
能量计		OPHIR NOVA-II, PD10-PJ-V2-ROHS

电路系统中功率控制电路 IC-HG30 芯片选用两通道并联叠加驱动, 单通道驱动电压 DA\_CI 设置为 2.0 V, 激光脉冲宽度为 4.98 ns, 分别在重频 1 kHz、100 kHz 时, 能量计统计测量如图 9 所示, 仪表显示 RMS 分别为 0.91%、0.92%。

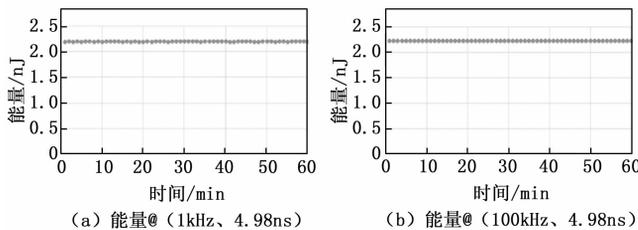


图 9 激光脉冲能量 RMS 测试 (@4.98 ns)

IC-HG30 芯片选用两通道驱动, 单通道驱动电压 DA\_CI 设置为 2.0 V, 激光脉冲宽度为 10.01 ns, 分别在重频 1 kHz、100 kHz 时, 能量计统计测量如图 10

所示, 仪表显示 RMS 分别为 0.88%、0.87%。

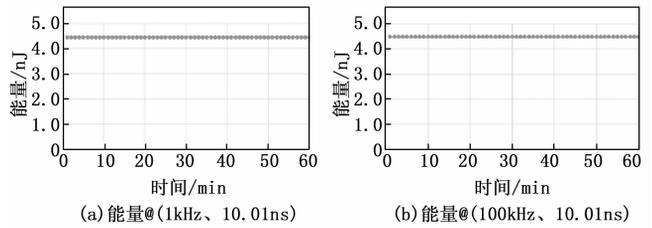


图 10 激光脉冲能量 RMS 测试 (@10.01 ns)

IC-HG30 芯片选用单通道驱动, 驱动电压 DA\_CI 设置为 1.4 V, 激光脉冲宽度为 50.04 ns, 分别在重频 1 kHz、100 kHz 时, 能量计统计测量如图 11 所示, 仪表显示 RMS 分别为 0.82%、0.81%。

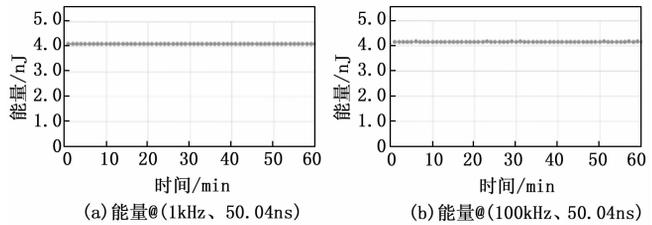


图 11 激光脉冲能量 RMS 测试 (@50.04 ns)

上述结果表明, 激光脉冲信号产生电路系统在外触发情况下实现了激光脉冲宽度的可控调节; 激光脉冲能量稳定性 RMS 指标不超过 0.92%, 且在脉冲宽度可控范围内随着激光脉冲宽度增大、光脉冲能量稳定性数值更优, 达到国内外相关研究的先进水平, 可广泛应用于工业、国防军事、科学研究等领域<sup>[22-26]</sup>。

### 4 结束语

本文对基于外触发的脉宽可调激光脉冲信号产生原理及电路系统进行了设计, 并开发了一套激光脉冲宽度 0.25~63.75 ns 范围内可调节的电路系统、脉宽调节精度为 0.25 ns; 对电路系统主要硬件部分做了较详细设计与分析, 并重点对电路系统进行集成测试, 系统输出脉冲激光信号能量具有良好稳定性指标、优于 0.92%, 电路系统实现的激光脉冲能量稳定性 RMS 指标优于国内外相关研究报道的指标; 电路系统输出的脉冲光信号具有与外触发宽脉冲信号同步的上升沿, 即易于实现与系统外其他设备、模块的时序同步。该电路系统设计简单、便于集成、性能优良, 其产生的脉冲光信号为工业、国防军事、科学研究等领域提供了一种可广泛应用的脉冲光源。此外若要求脉宽调节范围更大, 则在可控延时电路中应选择延时时长更长的芯片或将若干延时芯片级联使用, 其硬件设计与电路布局有待进一步研究。

(下转第 310 页)