

高功率激光装置中超快电脉冲发生器的研究^{*}

行海^{1,2}, 欧阳嫻¹, 刘百玉¹, 杨文正^{1,2}, 侯洵^{1,3}

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所, 瞬态光学与光子技术国家重点实验室, 西安 710068)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

(3 西安交通大学电信学院, 西安 710049)

摘 要:报导了一种基于雪崩晶体管和阶跃恢复二极管的超快前沿、低触发晃动方波电脉冲产生技术. 利用雪崩晶体管的电触发雪崩导通特性得到脉冲主体, 再用阶跃恢复二极管的超快阶跃恢复特性对脉冲前沿整形, 从而得到输出脉冲幅度 23 V、输出阻抗 50Ω、脉冲前沿小于 160 ps 的方波脉冲, 脉冲触发晃动小于 4.5 ps(rms), 脉冲宽度 5 ns, 幅度稳定性优于 3%, 顶部不平坦度优于 5%. 该脉冲发生器在“神光Ⅲ”高功率激光原型装置前端系统中获得成功应用.

关键词:电脉冲发生器; 阶跃恢复二极管; 触发晃动; 皮秒

中图分类号: TN784⁺.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4213(2007)05-0777-3

0 引言

高功率激光装置是进行惯性约束聚变(ICF)研究的重要装置. “神光Ⅲ”是我国目前正在建设的预期性能最为先进的高功率激光装置^[1]. “神光Ⅲ”前端系统采用集成光学技术, 利用电光波导调制器进行激光脉冲整形. 其原理是利用电脉冲整形系统产生理想的整形电脉冲, 再用此电脉冲驱动电光波导调制器进行激光脉冲整形, 从而产生理想的整形激光脉冲^[2,10]. 驱动电脉冲的形状和稳定性决定了电光开关输出的电脉冲的形状和稳定性.

ICF 实验要求脉冲上升沿小于 200 ps, 而国内报道的脉冲源多为 400 ps 以上^[3]. 国外超快脉冲发生器上升沿可达到 100 ps 但对我国禁运. 因此, 研究触发晃动小的快前沿电脉冲在高功率激光前端系统中具有重要意义.

超快电脉冲发生器还广泛应用于光通讯技术、测量技术和超宽带技术等领域. 在光通讯技术中, 要实现大容量通讯, 需要有高带宽的载波, 因此必须先有超快脉冲源, 然后对其调制; 在测试技术中, 超快电脉冲作为许多仪器设备的取样脉冲或门控脉冲, 是决定仪器性能的主要参量指标^[4]; 超宽带技术中, 欲获得宽带发射输出, 就必须首先获得具有快速上升沿的宽带脉冲.

本文介绍了一种上升时间 160 ps、触发晃动低于 5 ps(rms)、幅度 23 V 超快电脉冲发生器.

1 阶跃脉冲发生器的设计

1.1 脉冲发生器方案

通常产生超快电脉冲是利用雪崩晶体管的雪崩效应产生脉冲主体, 再用特殊器件如隧道二极管、阶跃恢复二极管、热载流子二极管等对脉冲前沿陡化处理. 其中阶跃恢复二极管有低触发晃动、快前沿等优点. 本文采用基于阶跃恢复二极管的超快电脉冲产生技术.

1.2 脉冲产生电路设计

电路原理示意如图 1^[5-6]. 加电压 V_{ce} 使雪崩晶体管 Q 的 C-E 极间电压满足 $V_{ce} > V_{ceo}$, 此时雪崩晶体管仍处于截止状态. 当触发脉冲经过脉冲变压器

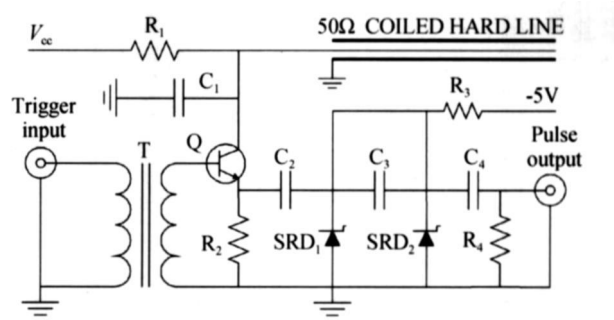


图 1 阶跃脉冲电路示意图
Fig. 1 Circuit of SRD pulse generator

T 加至 Q 的基极时, 发生雪崩导通, 集电极电容 C_1 与脉冲形成线放电, 于是在其发射极终端负载电阻上产生一个快速的上升脉冲. 电容 C_1 提供脉冲的初始响应, 而脉冲形成线的放电时间构成脉冲的主体, 脉冲形成线产生的方波电脉冲半宽度为^[6]

$$\Delta t = \frac{2L}{v} \tag{1}$$

式中 L 为 50Ω 脉冲形成线长度, v 为电磁场在其中

^{*} 国家 863-804 高技术研究发展计划和国家自然科学基金 (10376041) 资助
Tel: 029-88887616 Email: ehang@263.net
收稿日期: 2006-02-17
(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的传输速度(通常 $v=1.9\times10^8\text{ m/s}$)。无脉冲时,阶跃恢复二极管在 -5 V 电压的作用下,处于正向偏置状态,耗尽层两侧积累了大量非平衡少数载流子,当雪崩管产生的方波脉冲传输到阶跃管时,由于脉冲幅度大于 5 V ,P区电子被拉回N区,N区空穴拉回P区,形成很大的反向漂移电流,仍然维持 0 V 输出。直到非平衡少数载流子接近耗完时,反向电流迅速减小,恢复到正常的反向截止状态,形成超快前沿阶跃电脉冲^[7-8]。脉冲上升沿为^[7]

$$t_r=\sqrt{T_s+(2\cdot2R_{eq}C_j)^2}$$

(2)

式中 T_s 为阶跃恢复时间, C_j 为耗尽节电容, R_{eq} 为等效负载电阻。

本脉冲发生器的触发晃动主要是由雪崩晶体管和阶跃恢复二极管等有源器件造成的。由于长时间工作后雪崩管和阶跃管触发晃动的个体差异很大,所以需要对器件进行老化和筛选,选取脉冲上升时间短,同时具有比较小触发晃动的器件。

1.3 电路工艺结构设计

由于阶跃管电路有非常高的频率响应,所以电路的制作工艺是影响电路输出波形好坏的关键因素之一。雪崩管相对于阶跃管来说恢复较慢,若与阶跃管、输出短路线配合不好,也会使输出波形顶部出现震荡。克服这一影响的关键在于工艺和工作状态的调整综合考虑,采取以下措施保证设计指标的实现:

印刷电路板工艺:采用六层板制作,可以利用中间层来设置屏蔽,更好地实现就近接地,有效降低寄生电感,有效缩短信号的传输长度,大幅度降低信号间的交叉干扰^[9]。

印刷电路板材料选择:电路板高频部分选取介电常数好的聚四氟乙烯板材,并进行镀金处理。

元器件选择:电路板高频部分采取物理尺寸小、高频特性好的表贴元件。

整体调整:通过带载仔细调节各匹配网络和电路参量。

2 电路测量结果与讨论

实验中,用 Philips PM 5785B 脉冲发生器作为触发信号源。输出信号使用 Lecroy WaveMaster 8600A(带宽 6 GHz)数字存储示波器在 50Ω 负载下进行测量,可以得到本电路实际输出上升沿为 160 ps ($10\%\sim90\%$)、幅度 23 V 、半高全宽 4.7 ns 、顶部不平坦度优于 5% 的超快方波脉冲(如图2)。在脉冲触发晃动测试中测得该电路的触发晃动为 4.2 ps(rms) (如图3)。该脉冲发生器配合不同衰减器可以得到 $0\sim23\text{ V}$ 不同幅度脉冲输出,装配不同长度脉冲形成线可以得到 $3\sim20\text{ ns}$ 不同脉宽脉冲输出。

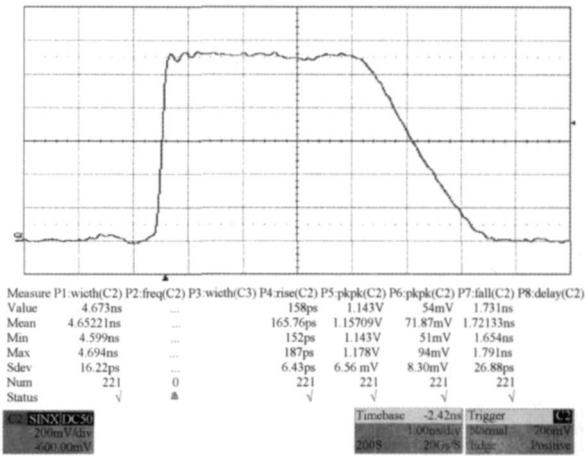


图2 阶跃脉冲输出
Fig.2 Waveform of SRD pulse generator

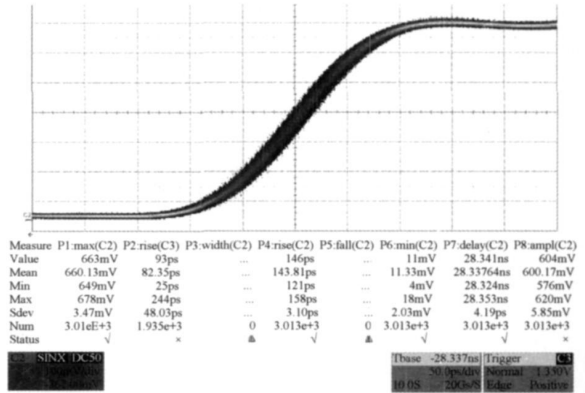


图3 阶跃脉冲触发晃动测试
Fig.3 Jitter of SRD pulse generator

实际使用阶跃恢复二极管参量为: $T_s=80\text{ ps}$, $R_{eq}=50\Omega$, $C_j=0.8\sim1.2\text{ pF}$ 。代入式(2)可以计算出脉冲上升沿计算值为 $t_r=119\sim154\text{ ps}$ 。实际输出上升沿略大于计算值是由于在焊接、封装过程难免产生分布电容,影响 C_j 等效电容变大所导致。

3 结论

利用阶跃恢复二极管将脉冲整形,成功产生了脉冲前沿小于 160 ps 、触发晃动低于 5 ps(RMS) 、幅度 23 V 的超快方波电脉冲。该电路在“神光Ⅲ”高功率激光原型装置前端系统中获得成功应用,并得到良好实验结果。今后的工作将致力于提高脉冲幅度,加快脉冲上升沿和进一步减小触发晃动。

参考文献

[1] PENG Han-sheng, ZHANG Xiao-min, FAN Dian-yuan, et al. Status of high-power solid-state lasers and engineering science [J]. *Engineering Science*, 2001, 3(3): 1-7.
彭翰生, 张小民, 范滇元, 等. 高功率固体激光装置的发展与工程科学问题[J]. *中国工程科学*, 2001, 3(3): 1-7.
[2] SHEN Lei, CHEN Shao-he, LIU Bai-yu, et al. New temporary pulse-shaping system using integrated optics technology [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, 23(5).
沈磊, 陈绍和, 刘百玉, 等. 利用集成光学技术的新型时间脉冲

整形系统[J].光学学报,2003,23(5).

[3] CHEN Lian-qi. Design of nanosecond high-amplitude pulse generator[J]. *Safety and EMC*, 2004, 66(5); 33-35.
陈连启. 纳秒大幅度快速脉冲发生器的设计[J]. 安全与电磁兼容, 2004, 66(5); 33-35.

[4] DAVID R, KIRKBY B, SC M SC. A picosecond optoelectronic cross Correlator using a Gain Modulated Avalanche Photodiode for Measuring the Impulse Response of Tissue[M]. Chapter 5 Pulse Generator, 1999, 119-133.

[5] YANG Ming-biao. Special semiconductor devices and their application[M]. Beijing: Electronic Industrial Press, 1991; 53-60.
杨萌彪. 特种半导体器件及其应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1991; 53-60.

[6] Department of Physics at Fudan University. Semiconductor Circuit (pulse technology) [M]. Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 1973; 443-450.
复旦大学物理系编. 《半导体线路(脉冲技术部分)》[M]. 上海: 上海人民出版社, 1973; 443-450.

[7] "Pulse and waveform generation with step recovery diodes", Hewlett Packard applicationnote [M]. AN 918, Hewlett-Packard, Palo Alto, CA, USA.

[8] LIU Jin-yuan, OUYANG Xian, LIU Bai-yu, et al. [J]. *Acta Photonica Sinica*, 1999, 28(Z2); 190-193.
刘进元, 欧阳娴, 刘白玉, 等. 一种用于激光削波的超快高压方波电脉冲的产生与研究[J]. 光子学报, 1999, 28(Z2); 190-193.

[9] OUYANG Xian, LIU Bai-yu, LIU Jin-yuan, et al. The research of electromagnetic compatible performance in laser shoot synchronization system [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(12); 1521-1523.
欧阳娴, 刘白玉, 刘进元, 等. 激光打靶同步系统电磁兼容性能的研究[J]. 光子学报, 2003, 32(12); 1521-1523.

[10] LI Dong, LIU Bai-yu. Electrical pulse-shaping system on the high power laser system [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, 34(9); 1304-1309.
李东, 刘白玉. 用于高功率激光装置中的电脉冲整形系统[J]. 光子学报, 2005, 34(9) 1304-1309.

Step Recovery Diodes Pulse Generator in the High Power Laser System

HANG Hai^{1,2}, OUYANG Xian¹, LIU Bai-yu¹, YANG Wen-zheng^{1,2}, HOU Xun^{1,3}

(¹ State Key Laboratory of Transient Optics and Photonics, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068, China)
(² Graduate School of the chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)
(³ School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Received date: 2006-02-17

Abstract: An ultra-fast square pulse generator has been developed by using step recovery diodes (SRDs). This circuit mainly includes two parts; the pulse producing part based on an avalanche transistor and the pulse sharpening part based on step recovery diodes. The circuit can generate an electrical square pulse with the rise time of 160 ps, the pulse full-width at half maximum (FWHM) of 5 ns, the voltage amplitude of 23 V, and in 50Ω load. The trig jitter is less than 5 ps(RMS) and the flatness of top is better than 5%. This pulse generator has been applied in the so-called "Shengguang" high power laser system successfully.

Key words: Pulse generator; Step Recovery Diode (SRD); Jitter; Picosecond

HANG Hai was born in Shaanxi Province in 1980. He received his bachelor degree in Xi'an Jiaotong University in 2002 and then continued his education towards M.S. degree in the Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences. Now he is working in the State Key Lab of Transient Optics and Photonics.

