

# 用于高功率激光装置中的电脉冲整形系统

李 东<sup>1,2</sup> 刘百玉<sup>1,\*</sup> 刘进元<sup>1</sup> 欧阳炯<sup>1</sup> 白永林<sup>1</sup> 白晓红<sup>1</sup>  
王 琛<sup>1</sup> 田进寿<sup>1</sup> 黄 蕾<sup>1</sup> 李 辉<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所, 瞬态光学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)

**摘 要** 采用射频 GaAs 场效应管和微带传输线技术, 研制出用于高功率激光装置中的电脉冲整形系统. 该系统电脉冲整形宽度为 3.5 ns, 幅度在 0~5 V 范围内调节, 时域调整精度 200 ps. 整形后的方波, 前沿 383 ps, 后沿 642 ps, 顶部不平坦度 4~5%, 波形幅度稳定性 4~5% (p-p). 利用该系统产生的整形电脉冲驱动电光波导调制器进行激光脉冲整形, 得到了理想的整形激光脉冲.

**关键词** 电脉冲整形系统; 微带传输线; GaAs 场效应管

**中图分类号** TN784<sup>+</sup>.1

**文献标识码** A

## 0 引言

高功率激光装置是进行惯性约束核聚变(ICF)研究的重要装置之一, 而 ICF 实验对于激光脉冲形状的调节提出了严格要求. 用集成光学新概念进行激光脉冲整形, 是美国在上个世纪九十年代初期首先提出并付诸实施的, 其主要优点是高的可靠性和灵活性, 特别是灵活性是其他技术难以取代的. 用于激光脉冲整形和频谱加宽的关键集成光学元件是电光波导调制器<sup>[1]</sup>. 随着高性能射频 GaAs 场效应管(FET)的出现, 以及超短电脉冲技术的不断提高, 使得电脉冲整形技术得以进一步发展<sup>[2~6]</sup>.

“神光 III”装置是我国目前正在建设的性能最先进的高功率激光装置. 其前端系统要求能够灵活提供具有一定能量、带宽、稳定可靠的整形激光脉冲. “神光 III”前端装置采用集成光学技术, 利用电光波导调制器进行激光脉冲整形. 其原理就是利用电脉冲整形系统产生理想的整形电脉冲, 再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. 电脉冲整形在集成光学调制单元中具有举足轻重的作用, 整形光脉冲的形状和宽度主要取决于用以驱动电光波导调制器的整形电脉冲的形状和宽度. 为了能够灵活有效的调节激光脉冲必须使整形电脉冲的形状和宽度能够方便的调节. 本文设计的电脉冲整形系统就是用以产生可方便调节的整形电脉冲.

## 1 电脉冲整形原理

电脉冲整形系统(AWG)采用射频 GaAs 场效应管作为开关器件, 充分利用其电压控制电流和开关的两个特性. 整个电脉冲整形系统由多个 GaAs 场效应管构成, 每一个 GaAs 场效应管构成一个基元电路, 每一个基元电路都可以在输出脉冲传输线上产生一个基元脉冲. 整形电脉冲的产生主要利用基元脉冲在传输线上叠加, 相互独立的各基元脉冲在脉冲传输线上按时间顺序依次叠加, 最终构成理想的整形脉冲. 基元电路的工作原理如图 1.

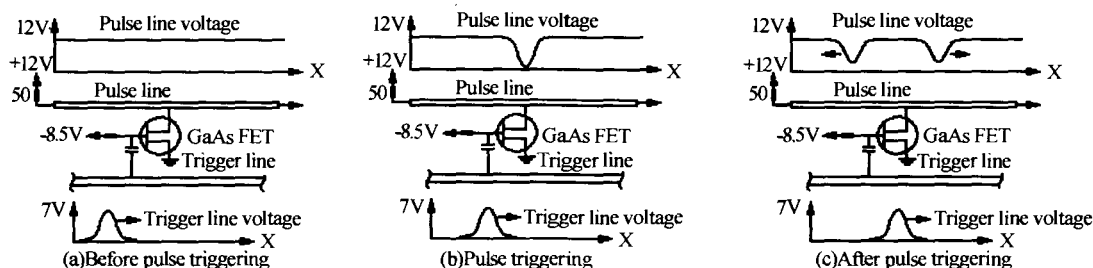


图 1 基元电路工作原理  
Fig. 1 The schematic unit circuit of AWG

在基元电路中, GaAs 场效应管的源极接地, 漏极与加有 +12 V 电压的输出脉冲传输线相连, 栅极

与直流偏压和触发脉冲传输线共同相连, 触发脉冲与直流偏压共同作用决定 GaAs 场效应管的导通与关断, 如图 1(a). 由于 GaAs 场效应管的夹断电压  $U_{GS(off)}$  为 -2.2 V, 当触发脉冲传输线上没有脉冲传

\* Tel: 029-88489791 Email: lidong@eyou.com  
收稿日期: 2004-07-05

输到场效应管的栅极时,栅极电压等于与其相连的直流偏压-8.5 V,低于夹断电压,这时场效应管截止;当 7 V 的触发脉冲传输到场效应管的栅极时,栅极电压等于触发脉冲电压与直流偏压之和-1.5V,这时加在栅、源极的电压高于夹断电压,场效应管导通,如图 1(b),在输出脉冲传输线上产生一路脉冲,脉冲宽度、形状与触发脉冲相似,极性与触发脉冲相反.该脉冲在脉冲传输线上分别向前后两个方向同时传输,变成两路相向而行的脉冲.为了使得左行的脉冲不发生反射影响右行的脉冲进行叠加,在脉冲传输线左端设置 50Ω 终端负载,如图 1(c).左行的脉冲最终被脉冲传输线终端负载所吸收,右行的脉冲形成整形脉冲的一个基元脉冲.如图 2,诸多基元脉冲依次叠加最终构成理想的整形脉冲.基元脉冲的幅度可以通过改变 GaAs 场效应管栅极上的偏置电压来调节.通过调节直流偏压使得栅、源极电压在-2.2 V 至 0 V 之间变化,基元脉冲的幅度

同时随之改变,遵循如下规律

$$I_{ds} \propto (V_{gs} - V_{To})^2$$

$I_{ds}$  是漏、源极电流,  $V_{gs}$  是直流偏压与触发脉冲共同作用之后加在栅极和源极的电压,  $V_{To}$  是 GaAs 场效应管栅极的夹断电压,通常为-2.2 V.

图 2 是整形电脉冲产生过程的原理(在这里列举了两个 GaAs 场效应管进行叠加的实例).每一个 GaAs 场效应管构成一个基元电路,当触发脉冲到达第一个场效应管时,第一个场效应管立即导通,输出脉冲传输线上产生一路基元脉冲,幅度可通过调节  $V_{b1}$  电压进行调节;触发脉冲继续向前传输,经过一定的传输时间到达第二个场效应管的栅极,第二个场效应管导通,脉冲传输线上产生第二路基元脉冲.两路基元脉冲之间的时间间隔由两路脉冲传输线的长度之差决定.以此类推,诸多相互独立的基元脉冲共同叠加,最终构成理想的整形电脉冲.

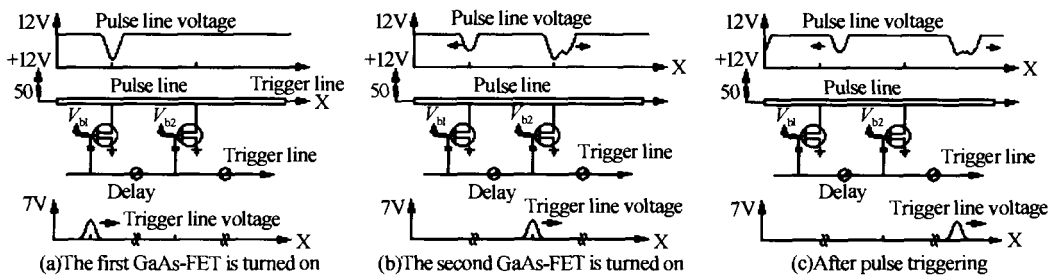


图 2 整形脉冲叠加原理

Fig. 2 The sketch map of shaped pulse summing

## 2 实验结果

电路板采用双层环氧树脂电路板设计,脉冲传输线采用微带传输线结构设计,一共使用了 15 个 GaAs 场效应管组成电路,时域调整精度 200 ps. 整形电脉冲幅度在 0~5 V 范围内可调,设计脉冲宽度可达 3ns.

如图 3,触发脉冲幅度 6.67 V,脉冲宽度 325 ps,

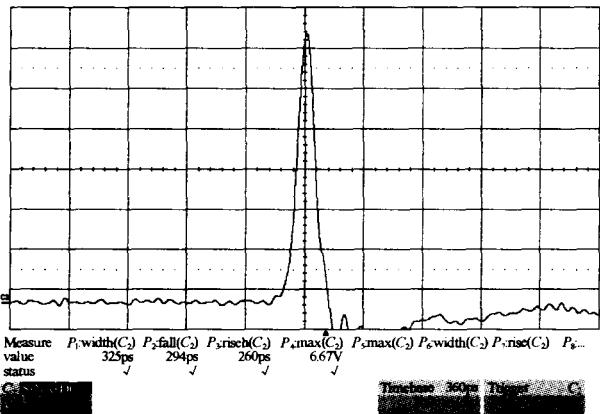


图 3 触发脉冲

Fig. 3 Trigger pulse

上升沿 260 ps,下降沿 294 ps. 触发脉冲具有很快的前后沿,通过 GaAs 场效应管产生的基元脉冲具有同样快速的前后沿,如图 4,基元整形脉冲上升沿 228 ps,下降沿 305 ps,脉冲宽度 380 ps,脉冲幅度 5 V.

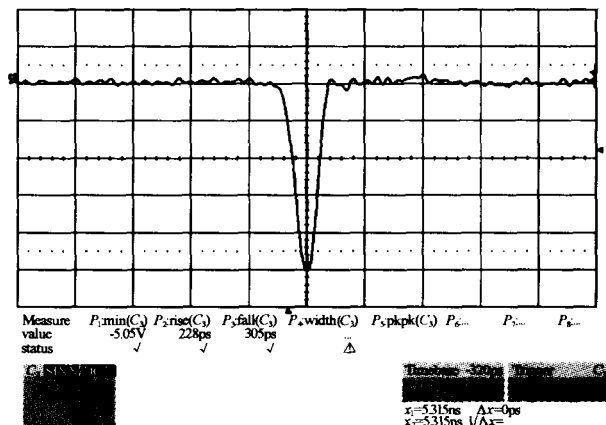


图 4 整形电路的基元脉冲

Fig. 4 The pulse of unit circuit of AWG

脉冲信号在微带线上传输时会伴随着能量损耗,导致末端基元脉冲衰减比较大,脉冲变宽,上升沿时间变长.为了解决这个问题,采用特殊的方法进行了补偿,使得末端基元脉冲得到了很好的补偿:

图5为整形方波脉冲,脉冲幅度4 V,脉冲宽度3.5 ns,上升沿642 ps,下降沿383 ps.研制的电脉冲整形系统,整形方波顶部不平坦度为4~5%,波形幅度稳定性为4~5%(p-p).在整形脉冲抖动测试中整形电脉冲的抖动为~1%(sdev).

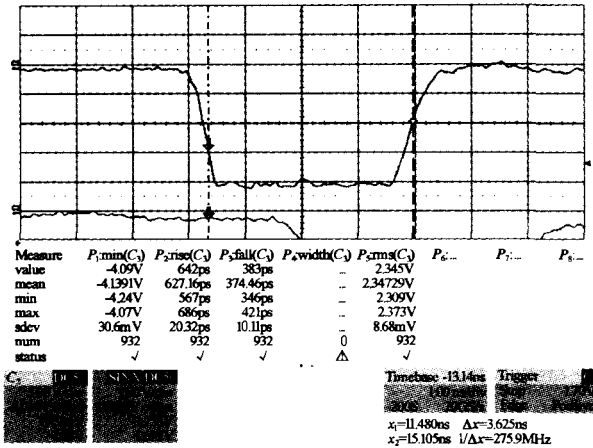


图5 整形方波脉冲

Fig. 5 The shaped square pulse of AWG

### 3 应用情况

整形电脉冲系统已成功应用于“神光Ⅲ”装置前端系统进行激光脉冲整形的研究之中.将按系统要求调整好的整形电脉冲注入到光波导调制器之中进行光脉冲整形,得到了理想的整形激光脉冲.

## Electrical Pulse-Shaping System on the High Power Laser System

Li Dong<sup>1,2</sup>, Liu Baiyu<sup>1</sup>, Liu Jinyuan<sup>1</sup>, Ouyang Xian<sup>1</sup>, Bai Yonglin<sup>1</sup>, Bai Xiaohong<sup>1</sup>, Wang Chen<sup>1</sup>,  
Tian Jinshou<sup>1</sup>, Huang Lei<sup>1</sup>, Li Hui<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> State Key Laboratory of Transient Optics and Technology, Xi'an Institute of Optics & Precision Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068

<sup>2</sup> Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039

Received date: 2004-07-05

**Abstract** The arbitrary waveform generator (AWG) has been developed by using GaAs field-effect transistors (FETs) and microstrip technology. The shaped electrical waveform can be adjusted. The Full-Width-Half-Maximum (FWHM) is from 0 to 3.5 ns and amplitude from 0 to 5 V. Timing precision is 200 ps. The rise time of the shaped square electrical waveform is 383 ps and the fall time is 642 ps. The top flatness of the pulse is 4~5%. The amplitude stability of the pulse is 4~5% (p-p). The AWG has been applied in the high power laser system successfully.

**Keywords** Arbitrary waveform generator (AWG); Microstrip; GaAs field-effect transistors (FETs)



**Li Dong** was born in 1980 and received the B. S. degree from Hebei University of technology in 2002. He 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 Technology.

### 参考文献

- 1 Wilcox R B, Behrendt W, Browning D F, *et al.* Fusion laser oscillator and pulse-forming system using integrated optics. *SPIE*, 1993, **1870**:53~63
- 2 Burkhart S C. Voltage-Controlled MESFET Pulse Shape Generator. ICF Quarterly Report 4 (10), Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, UCRL-ID-116054 (1994)
- 3 Burkhart S C, Wilcox R B. Arbitrary pulse shape synthesis via nonuniform transmission lines. *IEEE Trans on Microwave Theory Tech*, 1990, **38**(10):1514~1518
- 4 李辉, 刘百玉, 欧阳娴, 等. 激光打靶装置中的集散式数字同步系统的研究. *光子学报*, 2004, **33**(7):786~788  
Li H, Liu B Y, Ouyang X, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(7):786~788
- 5 欧阳娴, 刘百玉, 刘进元, 等. 激光打靶同步系统电磁兼容性能的研究. *光子学报*, 2003, **32**(12):1521~1523  
Ouyang X, Liu B Y, Liu J Y, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(12):1521~1523
- 6 许秀珍, 李自田, 李长乐, 等. 基于 CPLD 的可选输出 CCD 驱动时序设计. *光子学报*, 2004, **33**(12):1504~1507  
Xu X Z, Li Z T, Li C L, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(7):(12):1504~1507