

电子束泵浦 KrF 激光 MOPA 系统的同步控制

王孝君, 马维义, 汤秀章, 单玉生, 王乃彦

(中国原子能科学研究院, 北京 275-7 信箱, 102412)

摘要: 介绍研究出的 MOPA 系统完整的同步控制时间关联逻辑、各单元启动方式及同步系统的硬件。由 Fe-Nb-Cu 超微晶薄膜材料做成的同轴单匝磁开关及脉冲变压器产生大约 150kV、上升时间小于 200ns 的高压, 触发 MOPA 系统中的 Marx 发生器。当火花隙欠压比为 90% 时, Marx 发生器中电压建立的时间抖动分别小于 13ns 和 23ns。采用激光触发主开关时, 泵浦功率系统总体抖动时间小于 10ns, 保证了整个电子束泵浦 KrF 激光 MOPA 系统的正常运行。

关键词: 同步控制; KrF 激光; MOPA 系统; 抖动时间; 磁开关

中图分类号: TN24 **文献标识码:** A

为获得高质量、高功率 KrF 准分子激光束, 以满足 ICF 靶物理工作需求, 必须将由放电泵浦产生的高质量低能量 KrF 激光束进行逐级放大, 而各放大器需用强流脉冲电子束多向泵浦。MOPA 系统(即主振荡器+功率放大器系统)是获得高质量强激光的重要途径^[1]。同步控制是电子束泵浦 KrF 激光 MOPA 系统装置的重要组成部分, 是联结 MOPA 系统各关键单元的主动脉, 该部分工作好坏对 MOPA 系统能否正常运转至关重要。整个电子束泵浦 KrF 激光 MOPA 系统包括两台电子脉冲加速器、数台激光触发气体开关、两台放电泵浦准分子激光器、两台大口径电子束泵浦激光放大器。我们研究出完好的同步关联逻辑和良好的高压脉冲信号以启动两台加速器和两台激光器, 使 MOPA 系统各关键单元良好同步运转, 系统总抖动时间不大于 25ns。

1 总体物理方案

1.1 系统总体结构

电子束泵浦 KrF 激光 MOPA 系统总体结构如图 1 所示, 各单元主要性能为:

(1) DG535 为可编程数字化延迟器, 延迟时间可调范围 0~1000 秒; 步进 5ps; 时间精度: 外触发时为 $1500\text{ps} + 25 \times 10^{-6} \times \text{延迟时间}$; T_0 、A、B、C、D 五路独立输出幅度 0~32 伏连续可调, 上升时间 2~3ns, 脉冲宽度 1 μs 。采用本机具有的单次触发时, 各路按照预定的延迟时间给出不同的延迟输出。

(2) 放电泵浦 KrF 准分子激光器 LPX150/50T, 它能给出稳定的 300mJ 能量、23ns 脉宽、发散角小于 0.3mrad、带宽 3pm 激光束。外触发延迟 (2570 \pm 10)ns。输出的光束经空间滤波器等器件, 改善了光束品质, 分束传输后作为 MOPA 系统种子光注入预放大器 A₂ 中进行放大。

(3) 磁开关及脉冲变压器系统: 为使预放、主放两台加速器按正确的时间顺序启动, 每台加速器要求一性能良好的触发信号, 此触发信号必须有很高的可靠性、大脉冲电压幅度、快上升

* 国家 863 惯性约束聚变领域资助课题
1999 年 4 月 28 日收到原稿, 1999 年 7 月 12 日收到修改稿。
王孝君, 男, 1939 年 1 月出生, 研究员

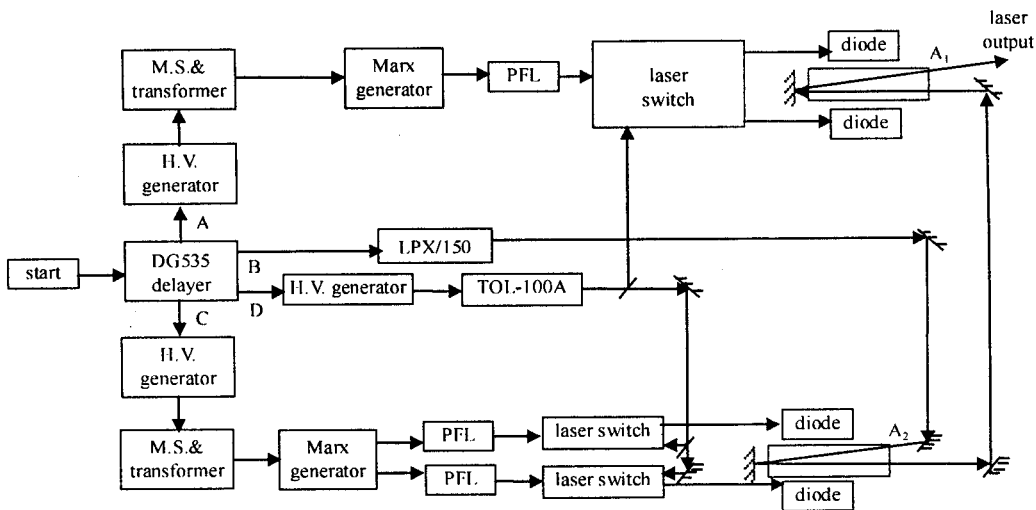


Fig. 1 Overall schematic of MOPA system of electron beam pumping KrF laser

图 1 电子束泵浦 KrF 激光 MOPA 系统总体结构略图

前沿、能由低电压脉冲良好启动等特点。且该器件应有极低的自点火率和小的维护费用。磁开关脉冲变压器是获得此类信号源的可选器件^[2]。

(4) 放电泵浦非稳腔 KrF 激光器 TOL-100A, 给出 200mJ 能量、50ns 脉宽、发散角 0.3mrad 激光束。经传输后, 被分成三束, 分别用来触发预放大器 and 主放大器中的三台高压气体开关。

(5) 低抖动时间的激光触发高功率气体开关三台。

(6) 低抖动时间稳定的电子束引出系统。

(7) 光路调整、分束、传输、注入、引出等光学系统室。

1.2 时间关联逻辑图

图 2 给出 MOPA 系统时间关联逻辑图, 整个系统由 DG535 时间延迟器单次触发启动, 其 A、B、C、D 四路给出各自独立的不同延迟时间的脉冲, 分别用来启动三台高压产生器和 LPX150/50T 激光器的触发系统; 三台高压发生器输出的 800 伏负高压分别用来驱动两台磁开关和一台放电泵浦非稳腔 KrF 准分子激光器, 该激光器输出的激光束分束后, 分别用来触发三台高压气体开关。两台磁开关脉冲变压器系统给出的脉冲高压用来启动两台加速器的 Marx 发生器。

1.3 产生时间抖动的因素:

上述 A、B、C、D 四路各自都可能产生时间抖动, 因此, 整个系统的精确同步控制极为困难, 实验及分析表明: 放电泵浦非稳腔激光器由启动到激光输出所引入的时间抖动小于 10ns, 即 B、D 两路产生的抖动在 10ns 之内, 对整个系统抖动影响小。主要抖动来自 A、C 路, 即加速器的 Marx 发生器启动和电压建立产生的抖动。包括: (1) 磁开关引起的抖动; (2) 预放大器和主放大器的两台 Marx 发生器中火花隙触发及串联导通电压建立不定性引起的抖动; (3) 激光触发高压气体开关导通的时间抖动; (4) 二极管中电子束流产生及引出的时间抖动。

由于 Marx 发生器火花隙开关依次导通电压建立过程是按余弦函数进行, 当 $t = \pi/\omega$ 时, 电压达极大值, 在我们的条件下, 此时间大约为几百纳秒到 1 微秒左右, 当 Marx 电压建立时间的抖动不太大时, 只要主开关选在电压峰值附近定时触发(采用激光触发高压气体开关技

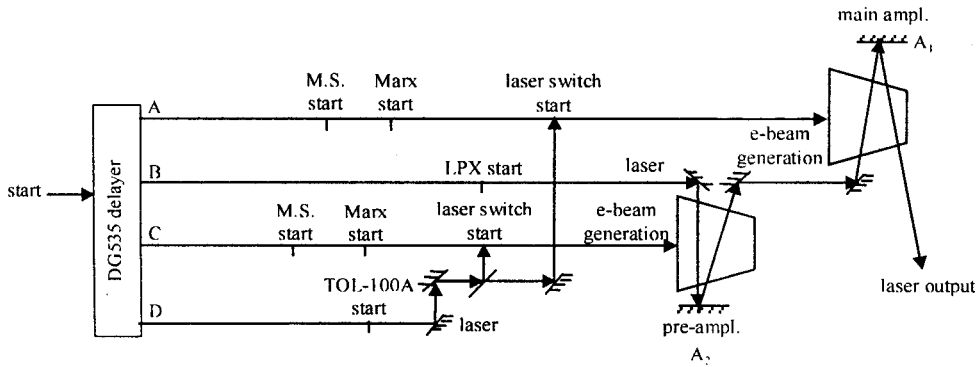


Fig. 2 Logical schematic of time relationship for MOPA system

图 2 MOPA 系统时间关联逻辑图

术,可获得此种运行模式),主开关前的时间抖动(包括由磁开关脉冲变压器等产生的触发信号及 Marx 发生器中电压建立的时间抖动)只影响能量传输效率及开关工作状态,对整体同步关联影响不大。因此,可将主开关前面的一切抖动不记,这一点给电子束的引出与激光束注入间的同步控制带来极大方便。

此外,光在空气中传输,环境温度的变化、气流扰动及涡流等效应也会引起光传输时的时间抖动。不过,如果减少控制系统时间抖动量,在通常实验室条件下,光传输引入的时间抖动可以忽略。

1.4 同步控制系统硬件

控制系统硬件主要有延迟器、能产生 -800V,上升时间小于 50ns 的高压陡脉冲发生器、高压磁开关及脉冲变压器系统。其中延迟器是外购件,高压陡脉冲发生器和磁开关脉冲变压器系统是为本项目开发研制的^[2]。

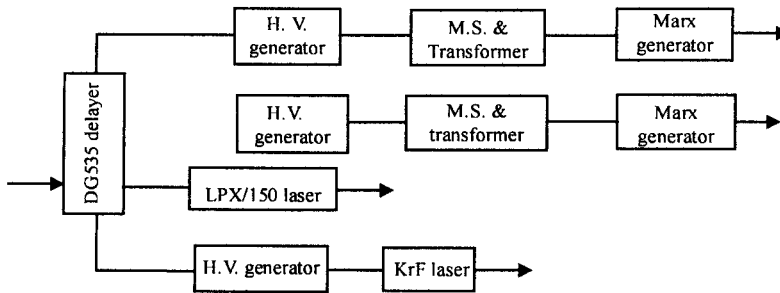


Fig. 3 The hardware of synchronization control system

图 3 同步控制系统硬件图

2 实验结果及讨论

2.1 实验结果

采用 16 块经强纵向磁场处理过的由 Fe-Nb-Cu 超微晶薄膜材料做成的铁芯,做成两台单匝同轴磁开关。

(A)空心脉冲变压器初次级匝数比为 6 : 50,产生 (134 ± 2) kV、小于 200ns 上升时间的高压脉冲。与延迟器及-800V 脉冲发生器一起用来启动预放大器的加速器,当 Marx 发生器电容充电 60kV、球隙开关欠压比为 90%时,获得电压建立时间为 350ns,抖动时间小于 20ns 的结果。(B)脉冲变压器初次级匝数比为 8 : 64,给出 (153 ± 2) kV、小于 200ns 上升时间的高压脉冲。与延迟器及-800V 脉冲发生器一起用来启动主放大器的加速器,当 Marx 发生器电容充电 65kV、球隙开关欠压比为 90%时,获得 Marx 发生器电压建立时间抖动小于 23ns)。

图 4 给出典型的磁开关脉冲变压器输出的电压波形及其启动预放大器时 Marx 发生器电压建立的时间关联。激光触发主开关实验,使泵浦功率系统总体抖动时间小于 10ns。保证了整个 MOPA 系统的正常运行,成功地将 KrF 激光种子光源进行了多路放大,并获得大于 40J 激光输出的较满意结果。

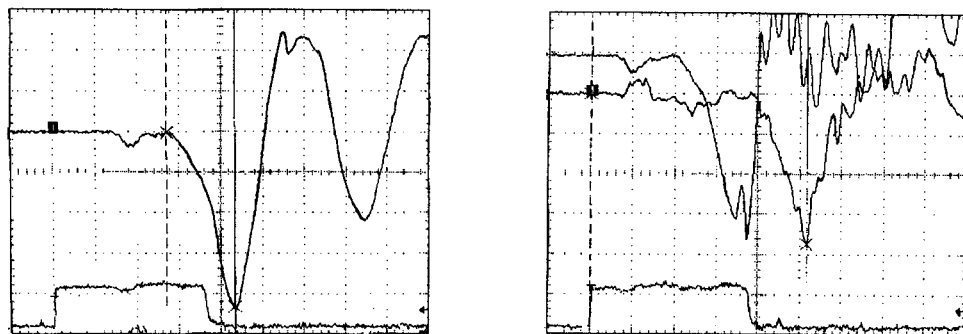


Fig. 4 Typical output voltage waveform of magnetic switch and pulsed transformer (a) and time relationship of voltage development in Marx generator of pre-amplifier triggered by this kind of voltage signal (b)

图 4 典型的磁开关脉冲变压器输出电压波形(a)及用其启动预放大器时 Marx 发生器电压建立的时间关联(b)

2.2 系统特点

同步控制系统有如下特点:(1) 控制信号、延迟信号全部是低压,便于调节、操作、维护及远距离传输,工作安全可靠。(2) 加速器、激光器的实际触发信号都由低电压启动,易于安全操作,升到高压过程,基本不带来时间抖动,在整个系统中设有多处保护,防止了误触发。(3) 采用磁开关这一新技术,使整个系统简单方便,易于维护检修,消耗少。

2.3 存在问题

磁开关脉冲变压器系统,输出电压幅度不够大,且由于采用了自耦空心变压器,导致电感较大,使输出电压前沿变慢(约 200ns),造成 Marx 发生器中电压建立的较大抖动。虽然激光触发高压气体开关技术可减少此大的时间抖动对整个系统同步控制的影响,为使系统稳定运行和提高效率,还需要进一步改进。另外,由于系统中两台加速器和两台激光器都是强辐射源及高压、大电流器件,有时造成相互干扰,使 DG535 延迟器不能正常工作,形成非理想控制。目前,采用光电隔离技术,此问题已彻底解决。

参考文献

- 1 Key M H, Shaw M J, et al. High Power Laser Facility Operation and Development. Rutherford Appleton Laboratory. RAL Report-1986
- 2 王孝君等. KrF 激光 MOPA 系统同步关联及高压磁开关. 第六届全国高功率粒子束会议论文集(下), 北戴河, 1996

SYNCHRONIZATION CONTROL OF ELECTRON BEAM PUMPED KrF LASER MOPA SYSTEM

WANG Xiao-jun, MA Wei-yi, TANG Xiu-zhang, SHAN Yu-sheng, WANG Nai-yan
China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-7, Beijing, 102413

ABSTRACT: The aim of this research subject is to develop a precise time relationship logic for MOPA system, starting manner for every devices and some hard wires of the control system. Coaxial single turn magnetic switch and pulse high voltage transformer can produce 150kV pulse high voltage with less than 200ns in rise time. The Marx generators in preamplifier and main amplifier of MOPA system are triggered with this type of high voltages, the jitters of voltage developing time are less than 13ns and 23ns respectively, when the gas spark gaps in Marx are charged to 90% of their self breakdown voltage. When the main gas switches in accelerators are triggered by KrF laser the jitter time less than 10ns is achieved for whole pumping power system.

KEY WORDS: synchronization control; KrF laser; MOPA system; jitter time; magnetic switch