

# TW 级钛宝石飞秒激光放大装置中的同步控制\*

赵 环<sup>1,2</sup>, 王 鹏<sup>1</sup>, 滕 浩<sup>1</sup>, 魏志义<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 物理研究所, 北京凝聚态物理国家实验室, 北京 100190;  
2. 计量与校准技术国防科技重点实验室, 北京无线电计量测试研究所, 北京 100854)

**摘 要:** 讨论了 TW 级飞秒激光放大装置中的同步时序系统原理, 介绍了自行设计并建造的 3 套频率成分各异的 TW 级钛宝石飞秒激光放大装置, 其中“极光 II”和“Titan”为两级放大系统, 前者预放大与主放大重复频率均为 10 Hz, 后者采用 1 kHz 的预放大和 10 Hz 的主放大, “极光 III”为多级放大系统, 预放大重复频率为 10 Hz, 主放大分别为 1 Hz 和 15 min 输出一发。针对各个放大装置的不同特点和对同步精度的具体要求, 自行设计并建造了不同的同步时序控制系统, 实现了各个激光放大系统的有效运转, 同步精度达到 200 ps。

**关键词:** 飞秒激光; 预放大; 主放大; 同步; 时序

中图分类号: TN248.1 文献标志码: A doi: 10.3788/HPLPB20102205.0953

飞秒超强激光是近十年来激光技术和物理学最前沿的研究内容之一, 由于这一研究领域的持续快速发展, 目前在实验室已能得到聚焦功率密度大于  $10^{21}$  W/cm<sup>2</sup> 量级的光场强度。在这种超高强度光场的作用下, 物质将表现出前所未有的极端非线性效应, 并导致出许多全新的物理现象和物理问题, 从而为科研人员取得创新的学术思想提供了重要的前沿研究平台<sup>[1]</sup>。TW 级钛宝石飞秒激光放大装置是获得飞秒超强激光的重要手段, 该装置除了具有复杂光学系统外, 也有复杂的时间同步控制系统, 因为实现激光放大, 种子光与泵浦光必须同步, 各级放大单元之间也必须同步, 同时种子光、泵浦光以及各级放大单元之间也需有特定的时序, 如何使它们同步起来, 它们的时序应如何高精度的设定, 这都需要精心研究。同步时序设计方案的性能将决定着整个激光脉冲放大装置的成功与否, 同步时序的精度也直接关系到最终输出的脉冲能量的大小和稳定度, 因此本文将着重介绍 TW 级钛宝石飞秒激光放大装置中多个脉冲激光器的同步时序问题。

## 1 同步精度要求

如图 1 所示, 一个基本的 TW 级钛宝石飞秒激光放大装置一般由 5 部分组成: 振荡器、展宽器、预放大器、主放大器和压缩器<sup>[2]</sup>。

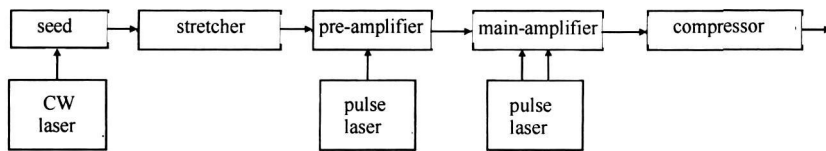


Fig. 1 Configuration of TW Ti: sapphire amplifier

图 1 TW 级钛宝石飞秒激光放大装置的基本组成框图

振荡器由功率稳定的连续激光泵浦, 产生上百 MHz 的锁模脉冲序列<sup>[3]</sup>, 它为整个放大装置提供最初始的种子激光脉冲, 脉冲的重复频率一般不受外控, 它的部分激光由快速光电探测器接收并转化为电脉冲序列, 从而形成了一个稳定的时钟频率信号源, 可为整个放大装置提供时序基准。

展宽器用来将飞秒脉冲展宽成啁啾脉冲<sup>[4]</sup>, 这里没有泵浦源参与, 不涉及时间同步问题。

预放大可以是多通放大器, 也可以是再生放大器<sup>[5]</sup>。无论何种放大器, 都需对展宽后的种子激光进行脉冲选单, 使它的重复频率与预放大中所使用的泵浦源的脉冲重复频率相同, 对于再生放大器, 还需要对放大后的激光脉冲进行倒空。预放大器中选单或倒空所使用的装置一般是普克尔盒(PC), 通过控制加载在电光晶体上的高压脉冲以达到对激光脉冲选单或倒空的目的, 这里必须保证高压脉冲信号与锁模激光脉冲的高精度同步,

\* 收稿日期: 2009-03-16; 修订日期: 2009-11-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(60608003, 60621063); 中国科学院知识创新项目

作者简介: 赵 环(1980—), 女, 博士, 主要从事飞秒激光及原子频标相关技术的研究; huanzhao@sina.com。

两者之间的时间抖动(timing jitter)要低于 1 ns。选单后的种子脉冲和泵浦脉冲之间也要保持同步,由于钛宝石晶体的荧光寿命较长(3.2 μs),因此两者之间的时间抖动小于 50 ns 就足够了,当然时间抖动越小,对输出放大脉冲的能量稳定性越有利。

预放大器输出的放大激光再作为种子脉冲注入到后面的主放大器,主放大一般是多通放大器<sup>[6]</sup>,它可能是一级也可能是多级。无论是哪一级,注入的种子脉冲都需要和泵浦激光脉冲保持同步,一般情况下,时间抖动小于 50 ns 就可以,但如果需要通过延时来精确控制主放大器的输出脉冲能量时,时间抖动越小越好(一般要低于 10 ns)。当注入的种子激光脉冲的重复频率与泵浦脉冲的频率不同时,根据需要有时也要对种子脉冲进行选单,使其重复频率与泵浦光相同,这里选单所用的元件一般是 PC 或快门开关(只有较低频率时才能使用)。快门开关的响应时间一般是 ms 量级,因此其触发信号与种子脉冲之间的时间抖动小于 10 μs 也就足够了。对于 PC,要看其对种子脉冲的选通时间,若选通时间在 μs 量级,则高压脉冲的触发信号与种子脉冲之间的时间抖动低于 100 ns 就可以。但有时人们为了提高激光脉冲的强度对比度,将 PC 的选通时间设置的极短,这时时间抖动要尽可能的小,一般需小于 1 ns。

从主放大器输出的激光放大脉冲最后进入压缩器进行压缩<sup>[7]</sup>,压缩器中无泵浦源参与,脉冲重复频率也不会发生改变,因此这里不必考虑时间同步问题。从压缩器输出的脉冲即为放大后的 TW 级飞秒激光。

## 2 低频率同步触发信号的产生

种子脉冲从飞秒振荡器输出后,先后经历了展宽、选单(有时还有倒空)、放大和压缩过程,最后成为具有 TW 级峰值功率的飞秒脉冲。在预放大和主放大过程中,一旦种子脉冲放大的程数(经过一次钛宝石增益晶体为一程)确定,那么脉冲的时间位置将不受外界控制,而选单、倒空以及脉冲泵浦源的外触发信号都需要与种子脉冲保持较高精度的同步。克尔透镜被动锁模的飞秒振荡器,除非其腔长被电子锁相环锁定,否则输出脉冲的重复频率和时间位置是不易改变的,不过由于其重复频率较为稳定,因此由高速光电探测器接收飞秒激光输出的电脉冲序列,可作为稳定的时钟频率(射频)标准,其它低频触发信号均可由此信号触发产生,这样产生的低频信号与种子激光脉冲必然是同步的。

大部分的 PC 驱动控制器都具有由锁模脉冲射频信号产生同步低频触发信号的功能,如 FastPulse Technology 生产的 5046E,采用外触发方式,存在两路输入信号,一路是飞秒激光的锁模脉冲信号(mode locked signal),另一路是外部触发信号(ext-trigger signal),如图 2 所示,外部触发信号相当于一个使能开关,在其电平由低变高后,它遇到锁模脉冲信号的第 n 个脉冲后便立即触发产生一个新的脉冲信号(synchronized signal),该脉冲信号与锁模脉冲信号是完全同步的,而与外部触发信号具有相同的脉冲重复频率,采用这种方法的 PC 驱动器是飞秒激光放大装置中最常用的控制器。

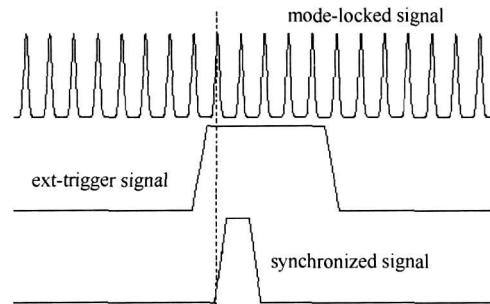


Fig. 2 Generating synchronized signal by externally triggering mode locked signal with a low repetition rate TTL signal

图 2 锁模脉冲序列经外部低频信号触发生成的同步脉冲信号

## 3 放大装置同步控制系统

### 3.1 预放大器和主放大器具有相同脉冲重复频率

一般的 TW 级飞秒激光放大装置,预放和主放中泵浦源的脉冲重复频率是相同的,加上振荡器输出的锁模激光的脉冲重复频率,整个放大装置仅涉及两种频率信号的同步及延时控制问题。“极光 II”系统就属于此类型,它是 20 TW 的钛宝石飞秒激光放大装置,本文以此为例,说明该类型的放大装置中各个环节的同步控制技术。

在“极光 II”装置中,振荡器输出的部分飞秒激光由高速光电探测器接收后输出 80 MHz 左右的射频信号。预放为再生放大器,腔内存在两块电光晶体,由同一个 PC 驱动器控制,分别起选单种子脉冲和倒空放大脉冲的作用。PC 驱动控制器采用外触发方式,由射频信号产生低频的同步触发信号。预放大器和主放大器中的泵浦源均为氙灯泵浦的 Nd:YAG 调 Q 激光器,脉冲重复频率均为 10Hz。此类型的脉冲激光器有两个触发输入端: lamp TRIG 和 Q-SW TRIG,触发脉冲先进入 lamp TRIG 端,后进入 Q-SW TRIG 端,两者间的延时约为

192  $\mu\text{s}$ , 时间抖动要求小于 1  $\mu\text{s}$ 。Q-SW TRIG 端的触发脉冲信号输入后约 100 ns, 泵浦激光脉冲输出, 触发信号和激光脉冲之间的时间抖动小于 1 ns。

图 3 为“极光 II”飞秒激光放大装置中的同步控制系统框图, 其中 YAG laser1 为预放再生放大器所使用的脉冲泵浦源, YAG laser2 和 YAG laser3 为主放大多通放大器所使用的两台脉冲泵浦源。整个装置的运行频率由 10 Hz 的方波信号提供, 它一方面同步触发 3 台 Nd: YAG 激光器的氙灯开关; 另一方面延时 192  $\mu\text{s}$ (延时分辨力为 1  $\mu\text{s}$  即可) 后作为外部触发信号输入到 PC 驱动控制器, 和 80 MHz RF 信号相作用, 产生与锁模激光脉冲同步的新 10 Hz 触发信号。该同步信号一路直接触发 YAG laser1 的 Q 开关, 另一路经过 PC 驱动器内部的可调延时器延时后分别控制两块电光晶体进行激光脉冲的选单和倒空, 此外还有一路经过另一可调延时器延时后分别触发 YAG laser2 和 YAG laser3 的 Q 开关。上述这些可调延时器的延时可调范围约为 2  $\mu\text{s}$ , 延时分辨力约为 250 ps。

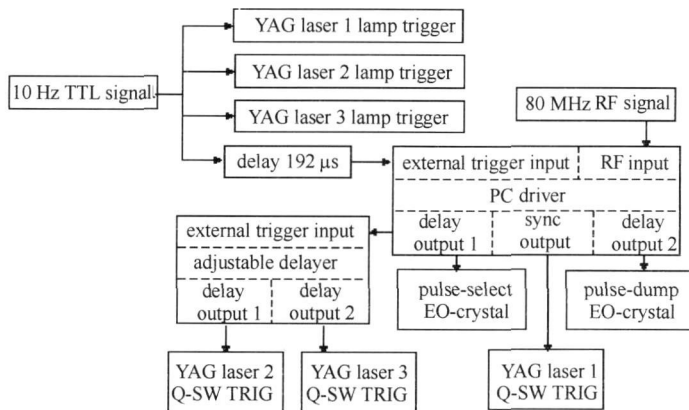


Fig. 3 Synchronization of Jiguang II system

图 3 “极光 II”同步控制系统框图

可以看出, 在该同步控制系统中, 3 台泵浦激光器的 Q 开关触发信号以及 PC 选单和倒空的触发信号之间都具有非常高的同步精度, 相互之间的时间抖动均小于 200 ps。而且该系统具有宽带探测的功能, 也就是说, 一旦飞秒振荡器的锁模状态被破坏, PC 控制器将无同步信号输出, 因而 3 台泵浦激光器将立即停止激光脉冲输出, 这对于保护放大装置中的光学元件是非常有益的。

### 3.2 预放大器和主放大器具有不同脉冲重复频率

在预放大器中, 人们为追求更高的光束质量与脉冲之间的能量稳定度, 往往采用较高的脉冲重复频率(如 1 kHz); 而在主放大器中, 由于需要更高的泵浦脉冲能量, 使用与预放大器相同的脉冲重复频率已非常困难, 所以只能降低到更低的频率(如 10 Hz)。“Titan”系统就属于此类型, 它也是 20 TW 钛宝石飞秒激光放大装置, 下面将以该装置为例, 说明此类装置中的同步控制系统设计方案, 如图 4 所示。

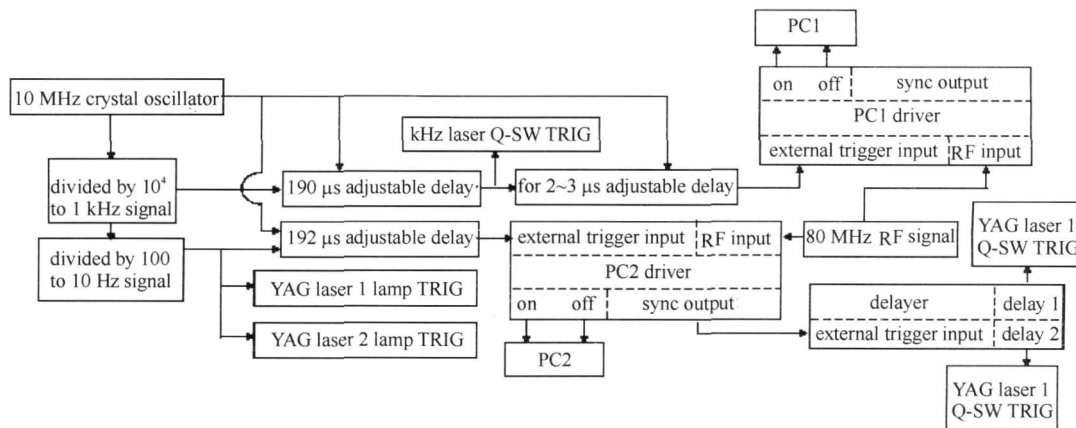


Fig. 4 Synchronization and delay of “Titan” system

图 4 “Titan”激光放大装置的同步控制系统设计方案

在该装置中, 振荡器输出的飞秒激光由高速光电探测器接收后仍输出 80 MHz 左右的射频信号。预放采

用的是再生放大器, 所用泵浦源是 LD 连续泵浦的 Nd: YLF 调 Q 激光器, 其脉冲重复频率为 1 kHz, 它只含有一个外触发输入端 Q-SW TRIG, 输出激光脉冲与该触发信号之间的延时为 2~ 3 μs。再生放大器中, 脉冲选单和倒空使用的是同一个 PC1, PC 的驱动控制器采用外触发的方式: 由 80 MHz 射频信号生成与锁模激光脉冲同步的 1 kHz 低频触发信号。主放采用的是多通放大器, 所使用的两台泵浦源与“极光 II”装置中的脉冲泵浦源相同。由于预放大和主放大的脉冲重复频率不同, 因此激光脉冲由再生放大器输出后, 在进入多通放大之前, 要做进一步的脉冲选单, 将脉冲重复频率由 1 kHz 选单为 10 Hz, 选单元件为 PC2。

在该系统中, 存在两种频率信号源, 一是由高速光电探测器输出的锁模脉冲序列的 80 MHz 射频信号, 另一种是由有源晶振输出的 10 MHz 方波信号, 前者用于通过 PC 驱动控制器产生锁模激光脉冲的同步触发信号, 后者是用于产生低频触发信号并通过对计数的方式实现触发信号的精确延时。有源晶振输出的 10 MHz 方波信号先经 10<sup>4</sup> 次分频后成为 1 kHz 低频触发信号, 该信号再经 100 次分频后生成 10 Hz 低频触发信号, 然后再分别对这两种低频信号进行延时, 10 Hz 信号在延时之前, 先同步触发了多通放大器中两台泵浦激光器 YAG laser1 和 YAG laser2 的氙灯。在该系统中, 由于 1 kHz 和 10 Hz 低频触发信号均由同一个 10 MHz 频率信号分频产生, 因此对它们计数延时, 延时之前和延时之后的信号之间以及这两种频率信号之间都具有极高的同步精度, 时间抖动最大不会超过 100 ps。PC1 的触发信号与进入再生放大器的种子激光脉冲之间是保持严格同步的, 而 kHz 泵浦源的 Q 开关触发信号和种子脉冲之间却有 12.5 ns(80 MHz 频率信号的周期)的时间抖动, 不过这个晃动对于再生放大是可以接受的, 它几乎不会影响再生放大器输出激光脉冲的能量稳定度。PC2 的触发信号、YAG laser1 和 YAG laser2 的 Q 开关触发信号, 这 3 路触发信号相互之间也具有较高的同步精度(相互之间时间抖动小于 100 ps), 虽然它们也和振荡器输出的锁模激光脉冲序列保持着严格的同步, 但与 PC1 的触发信号之间却有 12.5 ns 的时间抖动, 也就是说它们和再生放大器输出的放大脉冲之间存在 12.5 ns 的时间晃动, 这对于多通放大是可以接受的, 它几乎不会影响多通放大器最终输出的放大激光脉冲的能量稳定性。

需要指出的是, 图 4 中的 10 MHz 频率信号也可由 80 MHz 射频信号分频后获得。将高速光电探测器输出的射频信号先经过 80 MHz 带通放大器进行放大, 然后再进行 8 次分频, 我们即可获得 10 MHz 左右的频率输出。若用该方法设计的电路替代图 4 中的 10 MHz 有源晶振, 那么同步控制系统中的所有频率信号之间就均会保持有高精度的同步了(时间抖动最大不会超过 200 ps), 这也就进一步的提高了系统的性能。

图 4 的同步控制系统也部分具有宽带探测的功能, 一旦振荡器停止飞秒激光输出, 多通放大器的两台 Nd: YAG 泵浦源也将立即停止激光输出, 而再生放大器的 kHz 泵浦源仍旧继续输出激光。之所以如此, 是因为 kHz 泵浦源的特殊要求: 它运行过程中不能改变其触发频率, 否则它的控制器将处于“出错”状态, 必须重新启动方可恢复; 而且, 在振荡器失锁后, kHz 泵浦源继续激光输出并不会对再生放大器中的光学元件造成损坏。

### 3.3 多级放大的激光装置

对于一般的百 TW 级钛宝石飞秒激光放大装置, 只有一级主放大是不够的, 而是要多级, 随着级数的升高, 所要求的泵浦能量会越来越大, 其脉冲重复频率必然会不断降低, 甚至到几十 min 才输出一个激光脉冲。“极光 III”就是属于此类型的钛宝石飞秒激光放大装置, 它最终输出飞秒脉冲的峰值功率达到 300 TW 以上, 下面以此为例介绍此类装置中的同步控制技术。

图 5 是“极光 III”放大装置的组成框图。在该装置中, 高速光电探测器接收飞秒振荡器的部分激光后仍旧输出 80 MHz 左右的射频信号。预放大器依旧采用再生放大技术, 所用泵浦源为 Spectra-Physics 生产的 Nd: YAG 激光器。再生放大器中脉冲选单和倒空仍旧采用的是同一个 PC。主放大包含有两级多通放大器。第 1 级由镭宝光电公司生产的 Nd: YAG 激光器泵浦, 脉冲重复频率为 1 Hz, 它也有两个外触发输入端: lamp TRIG 和 Q-SW TRIG, 两个触发输入端之间的延时为 400 μs 左右(其中 lamp TRIG 在前), 时间抖动要求小于 1 μs。

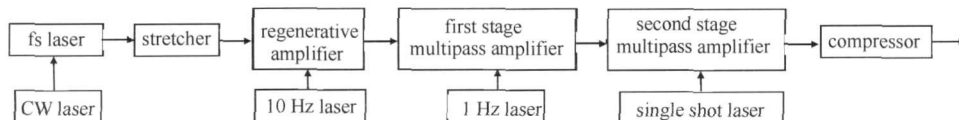


Fig. 5 Configuration of Jiguang III system

图 5 “极光 III”钛宝石飞秒激光放大装置的组成框图

由于再生放大器的脉冲重复频率为 10 Hz, 因而要对再生放大输出的激光脉冲进行选单, 这里所用的 PC 及其驱动控制器与再生放大器所用的型号完全相同。第 1 级多通放大与第 2 级多通放大之间采用光学快门将钛宝石激光隔离开, 从而实现激光从 1 Hz 到单发的脉冲选单。

第 2 级多通放大器所用的泵浦源是由镭宝光电公司生产的 Powerlite100 系列纳秒激光放大装置, 其种子激光脉冲由 Nd:YLF 振荡器产生, 后经三级钕玻璃(Nd: glass)放大后倍频, 输出波长为 527 nm、能量为 100 J 的单脉冲激光, 每 15 min 一发。它的触发信号时间关系如图 6 所示, 1 Hz 标准频率作为系统的总时钟, 该信号经不同的延时后分别触发 Nd:YLF 振荡器的氙灯开关、三级钕玻璃放大器的氙灯放电开关及 Nd:YLF 振荡器的 Q 开关。Nd:YLF 振荡器输出激光脉冲的频率为 1 Hz, 而三级钕玻璃放大器中氙灯放电的频率为 15 min 一次。Powerlite100 最终输出的激光脉冲与 Nd:YLF 振荡器 Q 开关触发信号之间的延时为 1 μs 左右, 时间抖动小于 10 ns。

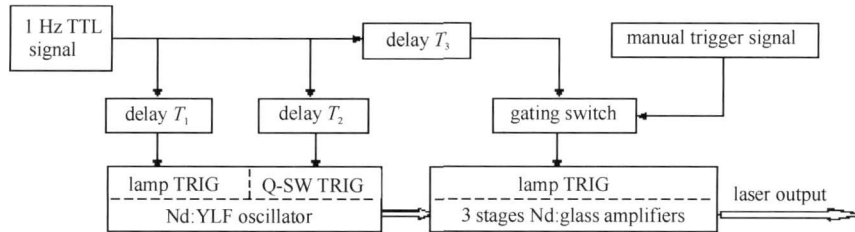


Fig. 6 Timing and delay of Powerlite100

图 6 Powerlite100 激光放大装置中的触发信号时间关系

在钛宝石飞秒激光放大装置中, 脉冲泵浦源一般采用外部触发方式, 但由于 Powerlite100 脉冲泵浦源设计的特殊性, 它的控制器必须采用内部自带的 1 Hz 时钟频率信号, 而且为了尽可能地减小三级钕玻璃放大器的泵浦氙灯放电时高压脉冲对外部系统的干扰, 其中所有氙灯(包括 Nd:YLF 振荡器中的氙灯)放电的触发信号均由其控制器内部产生。因此, 在该钛宝石飞秒激光放大装置中, 我们必须使用 Powerlite100 提供的 1 Hz 频率信号来触发整个同步控制系统。由于 Powerlite100 中钕玻璃振荡器的 Q 开关可由外部信号触发, 因此可利用外部控制系统提供的信号触发它的 Q 开关来实现钛宝石激光与 Powerlite100 输出泵浦脉冲的同步。

图 7 是“极光 III”飞秒激光放大装置中的同步控制系统设计方案, 其中“100 mJ laser”为再生放大所用的 10 Hz Nd:YAG 泵浦源, “3 J laser”为第 1 级多通放大器所用的 1 Hz Nd:YAG 泵浦源, “100 J laser”为第 2 级多通放大器所用的单脉冲泵浦源 Powerlite100。PC1 用于再生放大器中激光脉冲的选单和倒空, PC2 用于将激光脉冲由 10 Hz 至 1 Hz 选单, 将激光脉冲由 1 Hz 到单发选单的光学快门的触发信号是由 Powerlite100 的控制器提供的, 由于快门的响应速度慢、门开关的时间长, 因而在同步设计时无需过多考虑它的触发信号与钛宝石激光脉冲的时间同步问题。如图中所示, 由 Powerlite100 输出的是其频率源延时 500 μs 以后的 1 Hz 触发信号, 该信号首先触发 37 μs 延时器, 此延时过程是通过对有源晶振输出的 10 MHz 时钟信号计数完成的, 这样延时输出的触发信号与 10 MHz 频率信号是严格同步的, 而与输入触发信号之间却有约 100 ns 的时间抖动。37 μs 延时器输出的信号再同时触发“3 J laser”的氙灯开关、1 Hz 到 10 Hz 的频率变换器和多个 425 μs

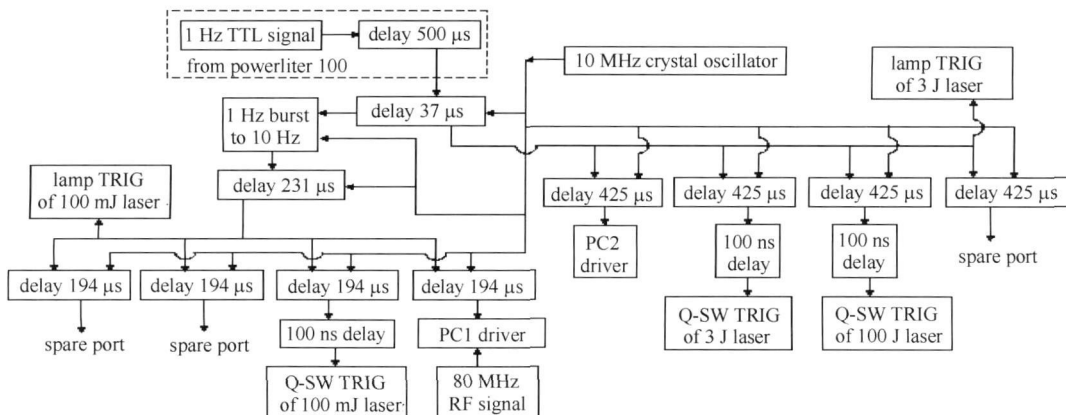


Fig. 7 Synchronization and delay of Jiguang III system

图 7 “极光 III”飞秒激光放大装置中的同步控制系统设计方案

时器。生成的 10 Hz 信号经过 231  $\mu\text{s}$  的延时后同时触发“100 mJ laser”的氙灯开关和多个 194  $\mu\text{s}$  延时器。

425  $\mu\text{s}$  延时器和 194  $\mu\text{s}$  延时器的延时范围都是可调的, 步进为 100 ns, 其中 3 个输出信号又分别经过了最大为 100 ns 的细调延时器, 其分辨力均小于 1 ns。在该图的同步装置中, “100 mJ laser”和“3 J laser”的氙灯开关触发信号、所有脉冲泵浦源的 Q 开关触发信号、PC1 和 PC2 的外部输出触发信号以及所有“备用端口”输出的触发信号, 这些信号之间都保持有较高的同步精度, 相互之间的时间抖动均小于 1 ns, 不过这些信号与钛宝石激光脉冲之间约有 12.5 ns 的时间抖动。这个抖动对于氙灯开关和 Q 开关的触发影响不大, 而对于再生放大中的脉冲选单和倒空是极不利的, 因而我们将 80 MHz 射频信号输入到了 PC1 的驱动控制器中, 用于产生与钛宝石种子激光脉冲同步的触发信号, 然后由该同步信号去触发 PC1 进行脉冲倒空和选单。PC2 的驱动控制器我们仅用 1 Hz 信号进行了触发, 按照该同步控制系统设计方案, PC2 的触发信号无法做到与再生放大器输出的 10 Hz 钛宝石激光脉冲完全同步(时间抖动小于 1 ns), 因而无需在 PC2 的驱动控制器上加载飞秒振荡器的 80 MHz 锁模信号。

#### 4 结束语

本文对 TW 级钛宝石飞秒激光放大装置中的同步控制系统原理和设计方案进行了详细的讨论与分析, 介绍了我们自行建造的多套 TW 级钛宝石飞秒激光放大系统, 并结合实例对各类不同组成的放大装置的同步控制系统方案作了详细介绍。实验证明, 放大激光输出稳定, 同步控制系统运行安全可靠, 同步精度可达 200 ps。

#### 参考文献:

- [1] Yamakawa K, Aoyama M, Matsuoka S, et al. Generation of 16 fs, 10 TW pulses at a 10 Hz repetition rate with efficient Ti: sapphire amplifiers[J]. *Opt Lett*, 1998, **23**(7): 525-528.
- [2] Cheriaux G, Chambaret J P. Ultrashort high intensity laser pulse generation and amplification[J]. *Meas Sci Technol*, 2001, **12**(11): 1769-1776.
- [3] Beddard T, Sibbett W, Reid D T, et al. High average power, 1 MW peak power self mode locked Ti: sapphire oscillator[J]. *Opt Lett*, 1999, **24**(3): 163-167.
- [4] 徐光, 钱列加, 范滇元. 啁啾脉冲放大系统中单光栅展宽器的优化[J]. 中国激光, 2002, **29**(12): 1067-1070. (Xu Guang, Qian Liejia, Fan Dianyuan. Optimization of the single grating stretcher in chirped pulse amplification. *Chinese Journal of Lasers*, 2002, **29**(12): 1067-1070)
- [5] Kawanaka J, Yamakawa K, Nishioka H, et al. 30 mJ, diode pumped, chirped pulse Yb: YLF regenerative amplifier[J]. *Opt Lett*, 2003, **28**(21): 2121-2123.
- [6] Sartania S, Cheng Z, Lenzner M, et al. Generation of 0.1 TW 5 fs optical pulses at a 1 kHz repetition rate[J]. *Opt Lett*, 1997, **22**(20): 1562-1564.
- [7] Strichland D, Mourou G. Compression of amplified chirped optical pulse[J]. *Opt Commun*, 1985, **56**: 219-223.

## Synchronization of time-frequency signals in TW Ti: sapphire laser system

Zhao Huan<sup>1,2</sup>, Wang Peng<sup>1</sup>, Teng Hao<sup>1</sup>, Wei Zhiyi<sup>1</sup>

(1. Beijing National Laboratory for Condensed Matter Physics, Institute of Physics,  
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. National Key Laboratory of Metrology and Calibration Technology, Beijing Institute  
of Radio Metrology and Measurement, Beijing 100854, China)

**Abstract:** This paper presents fundamental theory on how to synchronize and control signals with different frequency in TW Ti: sapphire amplifier, and introduces three homemade TW laser systems with different repetition rate. Both Jiguang II and Titan are two stage amplifier, in former system, both pre amplifier and main amplifier operate at same repetition rate of 10 Hz; in latter one, pre amplifier operates at 1 kHz and main amplifier at 10 Hz repetition rate. Jiguang III is multi stage amplifier, in which pre amplifier operates at 10 Hz, 1st stage main amplifier 1 Hz and 2nd stage one single shot every 15 min. The synchronization systems are specially designed for controlling above three TW laser systems, which enable these amplifiers working stably with synchronization precision up to 200 ps.

**Key words:** femtosecond laser; pre amplifier; main amplifier; synchronization; time sequence