

铜蒸气激光振荡放大链的自动同步控制装置

梁培辉 杨天立 任虹 施懿范 孙晨 雷建求

(中国科学院上海光机所, 201800)

提要: 高重复率脉冲工作的铜激光振荡放大链的同步要求是使各级放大器保持最佳延时, 本文介绍已试验成功的自动同步控制装置, 即由光电耦合光缆与计算机组成的具有抗高频电磁干扰的光电反馈系统。延时控制精度约 1ns。

关键词: 铜蒸气激光器, 振荡放大链, 同步控制

An automatic timing control for copper vapor laser oscillator-amplifier chains

Liang Peihui, Yang Tianli, Ren Hong, Shi Yifan, Sun Chen, Lei Jianqiu
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: Timing of a copper vapor laser oscillator-amplifier chain operating at high repetition rate requires keeping every amplifier in the optimum delay condition. This paper reports a practical automatic timing control, of which the delay control precision is about 1ns. The set-up is a photoelectric feedback system consisting mainly of photoelectric coupling fibers and a computer, providing with antijamming ability from high frequency electromagnetic waves.

Key words: copper vapor laser, oscillator-amplifier chain, timing control.

一、引言

在激光分离同位素的激光工程中, 需要有高平均功率的泵浦光激励数台染料激光器以产生几种波长不同较高功率的光束。目前由 4~8 台铜蒸气激光组成的振荡放大链已被广泛用于此目的^[1]。

放大器与振荡器之间或者注入锁定的两台激光器之间的延时是否合适, 将严重地影响器件的输出性能。维持最佳的延时与同步, 不但可以获得最大的平均输出功率, 而且使放大器的脉冲形状畸变小, 并保持良好的光束方向性^[2,3]。如果同步失调, 所泵浦的染料激光不但功率下降, 而且振荡出光的时间落后, 这种结果对许多应用来说是十分不利的。

器件间的同步可以通过调整触发激光电源的闸流管的相对延时来实现^[2], 但是, 延时量的大小与铜蒸气激光器内部的工作状态有密切的关系, 即使输入电功率、缓冲气体的压力保持恒定, 但在长达数小时的运转过程中由于温度的起伏和气氛的变化导致增益的时间特性变迁, 故最佳的延时也随之变更。本文的同步是指器件保持最佳延时, 因此多台器件的同步运转实质

上是要求不断地调整相对延时,使各台器件均处在最恰当的延时状态。显然,同步的自动控制成为振荡放大链运用中必须解决的一个关键技术。

实现同步即延时的自动控制的困难之一是过强的高频电磁干扰,其来源于闸流管的开关过程。在我们的装置中,使用光纤光电耦合传输信号,将计算机置于屏蔽室内等一系列方法,克服了干扰,从而实现了多台铜蒸气振荡放大链的同步自动控制。

二、原 理

在[2]中已经介绍过振放系统的同步方法,即放大器电源的信号发生器采用外触发方式,由振荡器电源的信号脉冲经延时线路馈入。调整延时线路中的可变电位器,读放大器的输出功率值,在读数最大处便停止调整,此时系统便达到最佳延时。

同步的自动控制过程与上述手调相仿,只是放大器输出的判读比较由计算机完成,延时量的调节由计算机给出指令后改变延时线路的比较电压来达到。工作原理见图1。

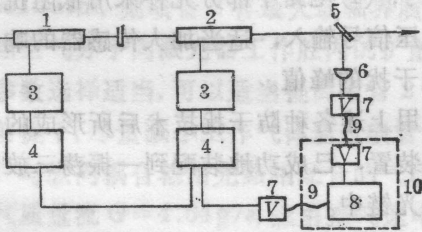


图1 铜蒸气激光振荡放大链同步自动控制系统的原理图

- 1—铜激光振荡器; 2—铜激光放大器; 3—激光电源;
- 4—脉冲信号发生器; 5—分光板; 6—光电池; 7—电子放大;
- 8—计算机; 9—光电耦合光缆; 10—屏蔽室

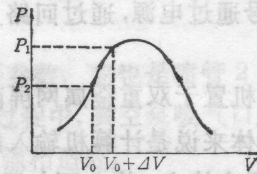


图2 自动控制同步的计算机工作流程框图

铜蒸气激光器为自热式,重复频率6 kHz,最高输出平均功率约10 W,脉冲宽度20~30 ns。测量放大器输出激光相对功率的传感器为半导体光电池。

判读与控制延时均使用一台OMC80C型单板机,其流程示于图2。光强的判读精度为1%左右。信号发生器(XC13A型)的压控特性为60 ns/V,计算机CPU8位,即分辨率为1/256。若压控的动态范围在0~5 V,则延时调整的精度是60 ns/V × 1/256 × 5 V = 1.2 ns。显然缩小压控的工作范围可以提高调整精度。但考虑到相应的功率变化会小于功率读数的噪音,从实际出发,动态范围选在0~3 V至0~5 V间是比较合适的。

本系统对状态的识别与控制方式跟手调有相同的逻辑:光给压控延时一个电压增量ΔV,产生延时Δt,判断激光功率的ΔP,ΔP>0表明调整的方向对头,再增加电压,反之,若ΔP<0,则改变ΔV的极性,继续操作。若ΔP小于某一给定值,则停止。

我们将计算机工作流程分左右两部分列出, 相应于图 2 上方所示的激光放大器特性的上升与下降区域。由于最佳延时位于曲线的顶部, $\Delta P/\Delta V \rightarrow 0$, 功率读数起伏容易产生误判, 因此在处理过程中, 设一计数器, 预置常数 O , ($O=3$ 或 2), 若连走 O 步重复, 再往下执行。

铜蒸气激光器内工作状态的变化是缓慢地发生的, 因而可以用一台计算机轮流对多台放大器的同步作串行处理。

三、实验与结果

在我们目前器件的条件下, 即使是单台铜蒸气激光器运转, 在其 $4\sim 5\text{m}$ 远处, 闸流管产生的高频电场大于 1V/M , 在多台激光器同步运转的环境下, 这个干扰电磁波更要成倍地增长。干扰信号通过电源, 通过回路上的导线使计算机无法工作。为了对抗干扰, 采用了下列各种措施:

(1) 计算机置于双重金属网屏蔽室; (2) 激光器的电源与其它电学仪器电源分开; (3) 回路上的导线, 具体来说就是计算机输入的光功率模拟量回路和计算机输出的控制电压回路, 分别采用光纤光电耦合技术, 使之不与屏蔽室内计算机直接连接。所使用的光缆为邮电部上海通讯设备厂生产的 LED 耦合光缆和 PIN 耦合光缆, 前者使电信号变为半导体发光管的光信号在光纤内传输, 后者将光纤内的光信号转为电模拟信号; (4) 电路中部分元件采用低阻抗以减小

干扰电压信号输入, 适当加大传感器的响应时间以压低干扰的峰值。

应用上述各种防干扰技术后所形成的同步自动控制装置, 已成功地装配到一振荡三放大的铜蒸气激光链中。

本装置设有手调和自控两种工作方式。拨到手调方式我们可以使装置一直工作在所选定的延时时间。拨到自控方式则装置使各台放大器依次随时调到最佳的延时状态。为了检查工作效果, 在脉冲信号发生器压控的输入端并联一台函数记录仪, 记录在自控方式压控电压的变化, 从而得出最佳延时的变化量 $\Delta\tau$ 。工作过程中可以监视放大器的输出光强, 在某时刻其读数为 P_0 , 若此时转到手控状态, 因为起始时已经将延时调到最佳状态, 故此时刻的光强读数 P'_0 表示固定延时下的功率。自然有 $P_0 > P'_0$ 的关系, 令 $\eta = P_0/P'_0 - 1$, 此量给出自动控制延时避免同步失调而获得的功率相对增加。图 3 是一组实验结果, 铜蒸气激光放大器输入电功率 3.2kW , 缓冲气体氩气压 40Torr , 记录时间 100min 。实验装置的压控电压范围为 $0\sim 5\text{V}$ 。由图 3(a) 可见在 100min 内,

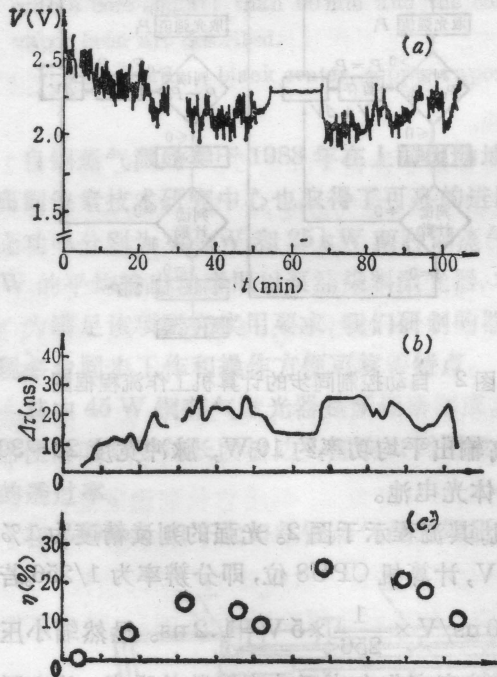


图 3 同步自动控制下铜激光放大器的压控电压(a)最佳延时漂移;(b)和功率相对增加量(c)与时间关系的一个结果

由图 3(a) 可见在 100min 内,

(下转第 65 页)

图 2 给出 1.6 μm $\text{Er}:\text{YAlO}_3$ 激光的输出曲线, 激光阈值是 28 J, 输入能量 128 J 时, 得到 103.7 mJ 的激光输出。当输入 128 J 时 1.663 μm 的输出能量比 1.655 μm 大一倍多, 后者的阈值大约是前者的 1.8 倍。

图 3 给出了输入 72 J 时氙灯光和 1.655、1.663、2.711 和 2.730 μm 激光振荡的波形, 照片上上一条曲线是氙灯波形, 后一条是激光波形。从照片中看到 1.663 μm 谱线最先起振, 经 20 μs 后 1.655 μm 谱线与 1.663 μm 谱线同时振荡。2.711 μm 和 2.730 μm 激光较上述谱线滞后 20~30 μs 起振。这可能是由于 2.7 μm 激光上能级 ${}^4I_{11/2}$ 上粒子数的积累要通过 ${}^4S_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ 这一级联的能量转移来实现, 因而由 ${}^4I_{11/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$ 跃迁产生的 2.7 μm 激光比由 ${}^4S_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ 跃迁产生的 1.6 μm 激光滞后了几十 μs 。此外, 还看到 2.7 μm 激光脉冲宽度较 1.6 μm 激光和灯光脉冲宽度宽得多, 这可能是由于 2.7 μm 激光的下能级 ${}^4I_{13/2}$ 通过交叉弛豫 (${}^4I_{13/2} - {}^4I_{15/2} = {}^4I_{13/2} - {}^4I_{9/2}$) 不仅使此能级上的粒子数退集居, 而且增加了激光上能级的粒子数, 这种交叉弛豫过程使下能级起了“蓄水库”的作用, 从而延长了激光振荡的持续时间。这种作用在掺 10 at% Er^{3+} 离子的 YAP 中更显著, 因为提高 Er^{3+} 离子浓度后, 缩短了相邻 Er^{3+} 离子间的距离, 提高了上述交叉弛豫的几率, 从而延长了激光振荡的持续时间, 这可能就是文献[2]中 2.795 μm 谱线脉冲持续时间超过 500 μs 的原因。

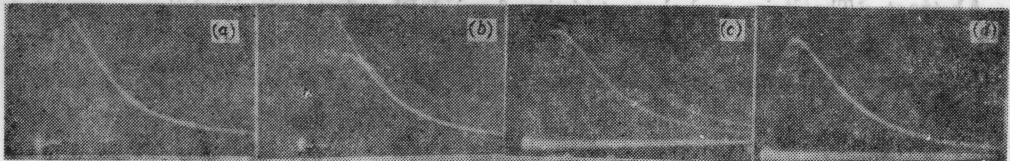


图 3 泵浦灯和四条激光谱线振荡的时间特性(时标: 100 $\mu\text{s}/\text{div}$)

(a) 1.6623 μm , (b) 1.6549 μm , (c) 2.7299 μm , (d) 2.7110 μm

参 考 文 献

- 1 M. Dählwylor, W. Lüthy *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-23**(2), 158(1987)
- 2 曾瑞荣, 沈鸿元 *et al.*, 中国激光—激光器件专集, **17**(增刊), 60(1990)
- 3 H. Y. Shen, Y. P. Zhou *et al.*, *Optics and Laser Technology*, **18**(4), 193(1986)
- 4 于桂芳, 沈鸿元 *et al.*, 激光技术, (待发表)

(上接第 52 页)

压控电压变化约 0.4 V, 由此而算出相应的最佳延时的漂移(图 3(b))在 24 ns 左右, 补偿延时失调而使功率的相对增加约为 20%(图 3(c))。这和以前的实验结果^[2], 即延时失调 10~15 ns, 放大器输出下降 10% 的数据是一致的

本文所介绍的技术不但可以推广到其它重复率脉冲激光系统, 而且, 如果将压控调放大器的触发延时改为压控调振荡器的输入电源电压, 则可以容易地形成自动控制的稳功率输出激光振荡器, 后者在实际工作中也是很有用的。

参 考 文 献

- 1 J. A. Paisner, *Appl. Phys. B*, **46**, 253(1988)
- 2 梁培辉 *et al.*, 中国激光, **14**(1), 45(1987)
- 3 梁培辉 *et al.*, 光学学报, **7**(9), 783(1987)