

用腔内自注入技术和铁氧体线技术产生 脉宽连续可调的毫微秒激光脉冲

王赫 范滇元

(中国科学院上海光机所)

提要: 对腔内自注入再生放大运转时多种谐振腔结构下的输出脉冲宽度作了系统的分析。借助铁氧体传输线技术,用连续改变电脉冲宽度而不改变谐振腔结构的方法,在磷酸盐钕玻璃器件上实现了脉冲宽度在1.3~6 ns内方便地连续可调。用较简单的雪崩管电路在同一个普克尔盒上完成了调Q与腔倒空两个动作,得到了功率3 MW的单脉冲输出。

Generation of high power CW tunable laser pulse of nanosecond duration using intracavity self-injection and ferrite transmission lines

Wang He, Fan Dianyuan

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics; Academia Sinica)

Abstract: We have systematically analysed the duration of laser pulse generated by using intracavity self-injection for various cavity arrangements. With the ferrite transmission line technique a driver of high voltage pulse with continuously tunable duration was constructed. A particularly designed avalanche circuit drives the Pockels cell PC₁ to perform both Q-switching and cavity dumping. Only changing the voltage pulse duration but not the cavity arrangement, a 3 MW single laser pulse output continuously and conveniently tunable from 1.3 nsec to 6 nsec was obtained from a Q-switched phosphate Nd:glass laser.

一、引言

由美国 Y. S. Liu 首先提出的腔内自注入技术是一种产生毫微秒激光脉冲的简便而

有效的方法^[1~4], 得到的激光脉冲的时间宽度 Δt 仅与谐振腔结构以及加在产生种籽脉冲的电光普克尔盒上的半波电压维持时间 T_0 有关。但在已有的文献中只强调了谐振

收稿日期: 1984年3月21日。

腔结构对脉宽的影响而没有系统地分析激光脉宽 Δt 对 T_g 的低赖关系, 激光脉宽的调谐也都是通过改变谐振腔结构来实现的。事实上由于调整谐振腔是一件费时的工作, 故不可能做到方便连续地调谐激光脉冲宽度。

这里报道了一种不用对谐振腔做任何重调就能方便连续地调谐脉冲宽度的方法。在技术上应用铁氧体传输线建立了脉宽连续可调的高压脉冲发生器, 通过调节两只可变电阻就能调谐电压脉冲的宽度。

二、基本原理

如图 1 所示, 在一般退压式调 Q 振荡器中增加一个普克尔盒 PC_2 , 并以 PC_2 为界将谐振腔分为两段 L_1 、 L_2 。 $L=L_1+L_2$ 为谐振腔腔长。普克尔盒 PC_1 用于调 Q , PC_2 用于产生注入放大的种籽脉冲。 P 为偏振元件, 位于 L_2 段内。 M_1 、 M_2 为两腔镜。开始时 PC_1 上加四分之一波电压, 谐振腔关闭, 在 t_0 时刻四分之一波电压退去, Q 开关打开, 开始建立激光振荡。经适当延时 t_d 后(激光振荡达到峰值之前), 在 PC_2 上加半波电压。这时原处于 L_1 段内的线偏振光通过 PC_2 一次, 偏振方向改变 90° , 到达偏振元件 P 后偏折跑出腔外。而原处于 L_2 段的光在腔内往返一

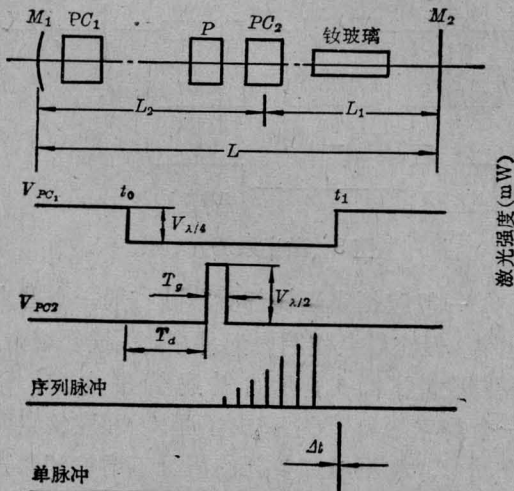


图 1 腔内自注入振荡器原理示意图

表 1

$L_1 < L_2 < L$		
T_g	一周期中脉冲数	Δt
$T_g \leq \tau_1$	双	$\Delta t_1 = \tau_1 - T_g$ $\Delta t_2 = \tau_2 - T_g$ 间隔 T_g
$\tau_1 < T_g \leq \tau_2$	双	$\Delta t_1 = T_g - \tau_1$ $\Delta t_2 = \tau_2 - T_g$ 间隔 τ_1
$\tau_2 < T_g \leq T_c$	单	$\Delta t = T_g - \tau_1$
$T_c < T_g \leq T_c + \tau_1$	单	$\Delta t = \tau_2 + T_c - T_g$
$T_c + \tau_1 < T_g < T_c + \tau_2$	双	$\Delta t_1 = (T_g - T_c) - \tau_1$ $\Delta t_2 = \tau_2 - (T_g - T_c)$
$T_c + \tau_2 \leq T_g \leq 2T_c$	单	$\Delta t = (T_g - T_c) - \tau_1$
7 ⋮	周期性重复 4~6	
$L_2 < L_1 < L$		
T_g	一周期中脉冲数	Δt
$T_g < \tau_2$	双	$\Delta t_1 = \tau_2 - T_g$ $\Delta t_2 = \tau_1 - T_g$ 间隔 T_g
$\tau_2 \leq T_g \leq \tau_1$	单	$\Delta t = \tau_1 - T_g$
$\tau_1 < T_g \leq T_c$	单	$\Delta t = T_g - \tau_1$
$T_c < T_g \leq T_c + \tau_2$	单	$\Delta t = \tau_2 - (T_g - T_c)$
$T_c + \tau_2 < T_g \leq T_c + \tau_1$	无	$\Delta t = 0$
$T_c + \tau_1 < T_g \leq 2T_c$	单	$\Delta t = (T_g - T_c) - \tau_1$
7 ⋮	周期性重复 4~6	
$L_1 = L_2 = L/2$		
T_g	一周期中脉冲数	Δt
$T_g \leq \frac{T_c}{2}$	双	$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \frac{T_c}{2} - T_g$
$\frac{T_c}{2} < T_g \leq T_c$	单	$\Delta t = T_g - \frac{T_c}{2}$
$T_c < T_g \leq \frac{3}{2} T_c$	单	$\Delta t = \frac{3}{2} T_c - T_g$
$\frac{3}{2} T_c < T_g \leq 2T_c$	单	$\Delta t = T_g - \frac{3}{2} T_c$
5 ⋮	周期性重复 3~4	

二、实 验

周两次通过加着半波电压的 PC_2 , 偏振方向不变, 留在腔内, 作为种籽脉冲多次通过激光介质得以放大, 同时在 M_2 端得到序列脉冲输出。若在 t_1 时刻使 PC_1 上电压回到四分之一波电压, 则可得到腔倒空单脉冲输出。

设加在 PC_2 上的半波电压脉冲是前后沿都无限陡的理想方波, 并且不考虑放大过程中脉宽的变化。对于图 1 所示的谐振腔排布方式, 通过不很复杂的分析, 得到了各种不同的 L_1 、 L_2 、 L 和 T_g 情况下的脉冲宽度 Δt 如表 1 所示。表中 $T_g = 2L/C$ 为谐振腔往返渡越时间, $\tau_1 = 2L_1/C$, $\tau_2 = 2L_2/C$ 。

现以上表中 $L_1 < L_2$ 时的第一种情况为例作一简单说明。如图 2 所示, 在 PC_2 上加半波电压的 T_g 时间内, 原处于 A 点和 C 点的光子分别行进到了 B 点和 D 点。由于一次通过 PC_2 , AB 和 CD 段内光的偏振态都改变了 90° 。因为 $T_g < \tau_1 < \tau_2$, 所以原处于 L_1 和 L_2 段内的光没有全部通过 PC_2 , 半波电压即退去。 BC 和 DA 段内的光未通过 PC_2 , 偏振状态不变。这样 AB 和 CD 段的光经偏振元件 P 后射出腔外, 而 BC 和 DA 段的光留在腔内, 成为两个有不同时间宽度的种籽脉冲, BC 和 DA 段的长度即为两脉冲的宽度, 分别为 $\Delta t_1 = \tau_1 - T_g$, $\Delta t_2 = \tau_2 - T_g$ 。可见, 凡是在 T_g 时间内奇数次通过 PC_2 的那部分光, 都将在 P 处折出腔外; 凡是在 T_g 时间内偶数次通过 PC_2 的那部分光都将留在腔内。根据这一原则可容易地分析表 1 中其他各种情况。在一定腔结构下, 改变 T_g 也能在一定范围内改变脉冲宽度。但当 $T_g \gg T_g$ 时, 脉冲宽度将与 T_g 无关, 而仅与谐振腔结构有关, 即 $\Delta t = 2L_2/C$ 。

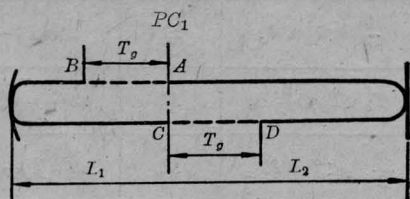


图 2 种籽脉冲的产生

图 3 为我们实验系统的方框图。工作物质是 $\phi 5 \times 75$ mm 的磷酸盐钎玻璃棒。受激发射截面 $\sigma = 3.5 \times 10^{-20}$ cm², 荧光寿命 $280 \mu s$ 。两支氙灯双椭圆聚光腔泵浦。电光普克尔盒晶体为 $\phi 12 \times 20$ mm 的 KD*P, 1.06 μm 半波电压 8000 V。偏振元件为洛匈棱镜。谐振腔为一般平凹腔, M_1 为曲率半径 3m 的全反镜, M_2 为平面反射镜。腔长 $L = 180$ cm, $L_1 = L_2 = 90$ cm。由前面的分析知道, 种籽脉冲要在 Q 开关打开之后而激光振荡未达到峰值时产生出来。这个延迟时间 T_d 一般为几十到几百个毫微秒。这样, 驱动 PC_2 的电脉冲发生器与 Q 开关的时间同步精度应达到 10 ns 以上。为满足这一要求, 我们用单雪崩管电路构成同步触发器 2, 两路并联输出前沿小于 5 ns 的触发脉冲。故由同步触发器 2 引入的时间抖动不超过 5 ns。这两路中的一路直接触发调 Q 雪崩管串, 另一路经一定延时后触发一个可变宽度高压脉冲发生器来驱动 PC_2 。腔倒空雪崩管串由一快速光电二极管探测 M_2 端光信号触发。

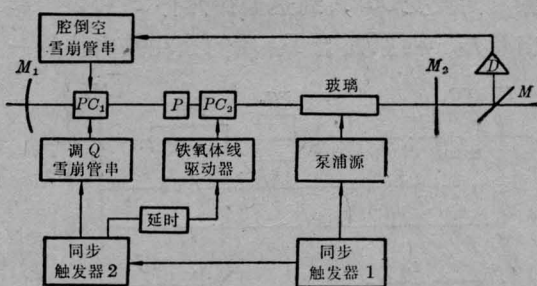


图 3 激光系统方框图

一般腔倒空运转都要单独占用一个普克尔盒, 但这样会使腔内元件增加, 损耗增大。我们设计了图 4 所示的雪崩管串电路, 用一个普克尔盒 PC_1 完成了调 Q 和腔倒空两个动作, 在不增加损耗的情况下增加了器件的功能。电路由两串 2N5551 雪崩晶体管组

成。每串雪崩管的个数可根据所需电压幅度确定。左边雪崩管串接退电压工作方式联接,完成调 Q 动作。右边雪崩管串接加电压工作方式联接,完成腔倒空动作。 PC_1 两电极上的电位和电位差波形也由图4给出。

我们对文献[5]给出的线路做了部分改进,用该高压脉冲发生器来驱动普克尔盒 PC_2 。具体电路由图5给出。普通热阴极闸流管驱动两条并联的25欧姆三同轴Blumlein

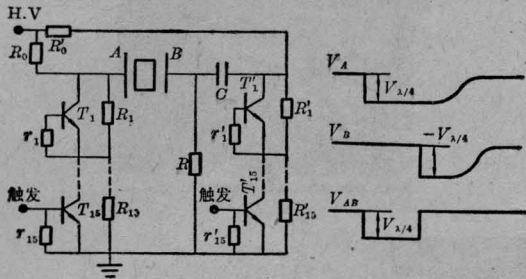


图4 雪崩管串电路图及 PC_1 电压波形示意图

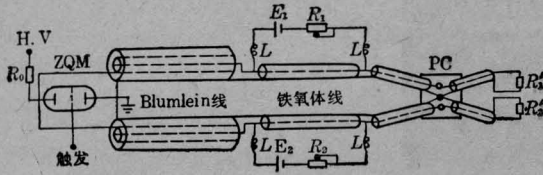


图5 铁氧体线高压脉冲驱动器电路图

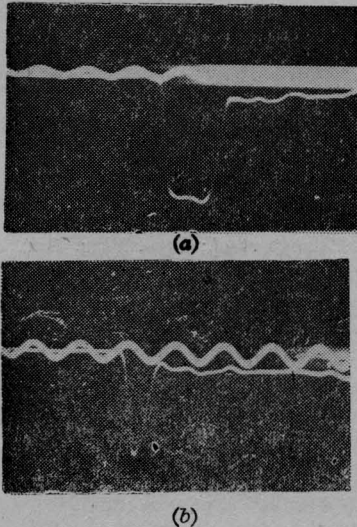


图6 铁氧体线驱动器输出脉冲电压波形
正弦波周期10 ns; (a) 半宽度12 ns;
(b) 半宽度4 ns

线,产生两个前沿为20 ns左右的脉冲方波。使这两个同步的慢前沿方波分别通过两条4 m左右的铁氧体传输线,前沿被压缩到1.5 ns。当铁氧体线内流过不同大小的偏置磁化电流时,电压波的传播速度也不同。把这两个快前沿脉冲相互延迟一定时间后分别加到普克尔 PC_2 的两个电极上。调节可变电阻 R_1 、 R_2 就能改变流过铁氧体线的磁化电流 I_{m1} 和 I_{m2} ,从而改变两路电脉冲到达 PC_2 两电极的相对延迟时间。这样在 PC_2 上就得到一个脉宽可调的高压脉冲方波。图6为所得到的电波形照片。电波形用OK-19高压示波器拍摄。电脉冲前后沿都为1.5 ns(扣除示波器上升前沿1.8 ns)。脉宽可从几十毫微秒连续调到3 ns。输出幅度大于4000 V,系统延时400 ns,抖动5 ns。

三、实验结果及讨论

实验的谐振腔 $L=180$ cm, $T_c=12$ ns,理论上脉宽可从0调至6 ns。实验观察到脉宽在1.57~6 ns内连续可调的单脉冲激光输出,图7(a)为一般序列输出波形,图7(b)~(d)为不同宽度的单脉冲输出波形,图7(e)为连续四次运转输出的激光波形。脉宽下限受加在 PC_2 上半波电压上升前沿的限制,所以不能调至0。若扣除示波器上升前沿0.9 ns,实际最小脉宽为1.3 ns。脉宽可调范围的上限可随谐振腔腔长的增加而扩大。在 M_2 反射率80%,泵浦超阈值1.4的情况下,得到单脉冲输出功率3 MW。

实验中我们使电脉冲宽度从大于 T_c 连续变到小于 $\frac{T_c}{2}$,则观察到输出脉宽从2 ns增大到6 ns,再减小到2 ns,最后看到一周期内双脉冲的现象。这证实了我们前面对脉宽分析的正确性。

应用腔内自注入技术和铁氧体线技术可以较方便地获得脉宽连续可调的大功率毫微

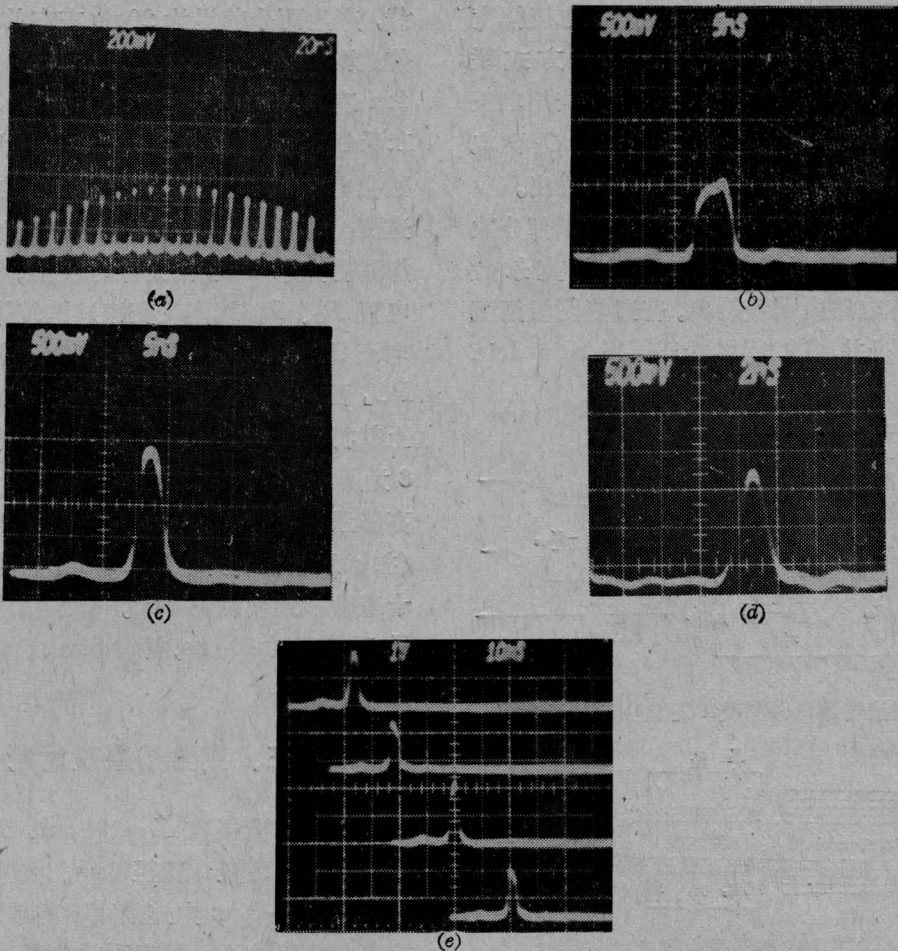


图7 激光输出波形

(a) 时标: 20 ns/div; (b) 时标: 5 ns/div, 脉宽(FWHM): 6 ns; (c) 时标: 5 ns/div, 脉宽: 3.4 ns; (d) 时标: 5 ns/div, 脉宽: 1.57 ns; (e) 时标: 10 ns/div

秒激光脉冲, 并具有许多独特的优点。若将前述系统用于染料激光器, 就可能实现脉宽和波长同时连续可调。若应用响应时间为微微秒量级的半导体光电子开关来产生种籽脉冲, 则可得到亚毫微秒的激光脉冲输出。

作者对 1423 所谭延真、王明宝同志提供铁氧体传输线 上海光机所朱鑫铭同志在高压电脉冲技术方面的帮助表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Y. S. Liu; *Opt. Lett.*, 1978, **3**, 167.
- [2] Y. S. Liu; *Opt. Lett.*, 1979, **4**, 372.
- [3] E. Palango *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1982, **41**, 213.
- [4] 立群等;《激光》, 1979, **6**, No. 12 34.