

高重复频率锁模单脉冲选择器

李永春 顾圣如 陆国贤 钱林兴 赵隆兴 何慧娟

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文报道了一个分别用电触发和激光触发的冷阴极管和 Blumlein 线路构成的锁模脉冲选择器,用纵向 Z 切割的 LiNbO_3 晶体做普克尔盒,获得了约 50% 的开关效率,消光比大于 1000:1,选取单脉冲几率 100%,半波电压 3.2 千伏,开关延迟时间 30~60 毫微秒,抖动小于 2 毫微秒。器件在 10 次/秒的重复率下经长时间运转,工作稳定可靠。

Single pulse selector for high repetition rate mode-locked lasers

Li Yongchun, Gu Shengru, Lu Guoxian, Qian Lingxing, Zhao Longxin, He Huijuan

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

Abstract: We report here a single pulse selector which is a high voltage pulsed switch using a Blumlein circuit and a krystron with either electric trigger or laser light trigger. A Pockels cell is made of longitudinal z-cut LiNbO_3 . The switching efficiency is about 50%. The light extinction ratio is more than 1000:1. The halfwave voltage is 3.2 kV, delay time of the switch is 30~60ns. The device has operated for a long time at a repetition rate of 10 Hz with reliable performances.

从锁模脉冲序列中稳定地选取单一脉冲是衡量一个锁模脉冲选择器的重要标志之一。一般锁模脉冲选择器是由两部分所组成,其一是放置在光路中的两个正交偏光镜和一个普克尔盒;其二是给普克尔盒瞬时加电场的高压脉冲开关电路。高压脉冲开关电路一般是采用球隙,用同轴电缆成形脉冲。这种电路的优点是可以工作在很高的电压下(通常大于 10 千伏),开关速度快,延迟时间短。但它的致命弱点是使用寿命太短,一般为几百次的工作时间,同时它需要充入高压惰性气体,体积庞大,调整不便,给使用带来

一定困难,对重复率工作的锁模激光器,无法进行工作。雪崩晶体管开关电路可以克服球隙电路的不足,但由于单只雪崩晶体管的雪崩电压太低,只好采用多个管子串联使用。

我们采用冷阴极触发管作高压开关,用 Blumlein 电路形成高压脉冲,施加于用 Z-切割的铌酸锂晶体制做的普克尔盒上。高压开关电路可采用两种不同的触发方式进行工作。

收稿日期: 1983 年 1 月 24 日。

一、结 构

开关光路如图 1 所示。普克尔盒为 Z 切割横向加电场的铌酸锂晶体。适当地选取纵横比可以降低驱动晶体的半波电压。这种横向加电场的开关晶体,由于电场均匀,它具有平坦的频率响应。但如果使用不当,消光比可能很低。经过光学冷加工后,二个通光面涂对波长 1.06 微米的增透膜,然后装入晶体调整架。在装电极时既要使晶体与外部开关电路保持良好的电接触,又不能施加过大的压力,以免引入应力使消光比降低。普克尔盒置于二个正交偏光格兰棱镜之间,仔细调整光路,使开关处于最佳的消光比状态。

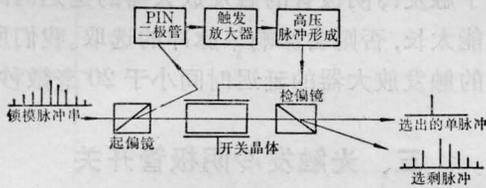


图 1 脉冲选择器装置图

高压开关线路是由四电极冷阴极触发管 (KN-22) 与 Blumlein 成形线所组成 (如图 2)。冷阴极触发管可工作在 5 千伏, 开关前沿和抖动可小于 2 毫微秒。Blumlein 成形线可以使用二根 50 欧同轴电缆串联, 也可以采用二根 50 欧并联形式。长度 l 的二根电缆之间连接阻抗 R 分别为 100 欧或是 50 欧的负载, 这里一定要满足 $Z = \frac{1}{2} R$ 的匹配条件。当冷阴极管触发极加上触发讯号后, 冷阴极管导通, 经过 $t = l/v$ 的时间后 (v 为同轴

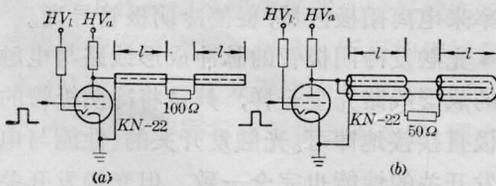


图 2 冷阴极管开关线路图

电缆的电波传播速度), 在负载电阻 R 的两端形成一个高压矩形脉冲, 其宽度为 $T = 2l/v$ 。将此矩形高压脉冲加于开关晶体上, 用以瞬时改变激光束的偏振态, 分离出所需要的单脉冲。Blumlein 脉冲成形线所产生的高压脉冲幅度, 接近于电源电压, 而普通的同轴传输线所产生的高压脉冲幅度仅是电源电压的一半。因此为满足晶体半波电压 $V_{\lambda/2}$ 的要求, 使用 Blumlein 线, 其电源电压只要略高于半波电压 $V_{\lambda/2}$ 即可, 一般为 $V_{\lambda/2} \approx 0.8 V_H$ (V_H 是电源电压)。同时由于电源电压的降低, 对高压开关元件的承压能力也降低了要求。但是在制做 Blumlein 线时, 要尽量减少寄生参量, 在满足高压绝缘的前提下, 接线要短。改进晶体电极结构, 使二电极间电容要小。我们采用细密的网状电极, 虽然晶体尺寸较大 ($13 \times 13 \times 33$), 其电容只有 13 微微法。

触发脉冲来自锁模脉冲串, 由快速 PIN 光电二极管探测, 经过放大, 然后去触发冷阴极管。从序列脉冲触发 PIN 光电二极管到冷阴极管导通形成高压脉冲, 这一延迟时间不能太长, 否则选不出单脉冲, 或是从序列脉冲的尾区上选出一个很小的脉冲。通过改变延迟时间, 可以自由地选择锁模脉冲串中任何一个单脉冲。

二、性 能

1. 开关晶体的半波电压

开关晶体的半波电压表达式为:

$$V_{\lambda/2} = \frac{\lambda}{2 \gamma_{22} n_0^3} \frac{d}{l} \quad (1)$$

其中 λ 为激光波长; γ_{22} 为电光系数; n_0 为常光折射率; d 为开关晶体加电场方向厚度; l 为开关晶体通光方向的长度。我们所用晶体尺寸是 $13 \times 13 \times 33$ 毫米。 $l/d = 2.5$, 算得半波电压为 3.2 千伏, 实验测量值与计算值基本一致。

2. 消光比

消光比是开关处于关闭态时,漏激光与开态时通过的激光强度(或是入射激光强度)之比。我们所用的开关晶体,在放入光路里经仔细调整后,对波长为 1.06 微米的激光其消光比可达到 1000:1。保证了选取单脉冲的正常进行。

3. 开关效率

影响晶体开关效率有两个因素,其一是激光通过一对偏光镜和普克尔盒的透射损耗,实验测定我们的开关系统透射损耗为 50%。其次是由于种种因素引起普克尔盒所加的高压脉冲偏离半波电压,从而导致开关在开态时单脉冲透过率的降低。透过与所加电压的关系为:

$$I_0 = I_{in} \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \frac{V}{V_{\lambda/2}}\right) \quad (2)$$

因此晶体上所加的高压波形甚为重要,脉冲前后沿要快,平顶部分不能有振荡。我们在进行脉冲开关电压波形测试时,由于受到测量条件的限制,测出波形的前后沿均小于 2 毫微秒,脉宽小于 10 毫微秒,波形示于图 3。

脉冲选择器所选出的单脉冲与选剩的脉冲串波形示于图 4。脉冲选择器的开关效率接近于 50%。

4. 选取单脉冲几率

用记录仪经过较长时间的测量,测出脉冲选择器的选取单脉冲几率为 100%,无漏选现象。器件在重复率为 10 赫下能够可靠地连续运转 3~4 小时。

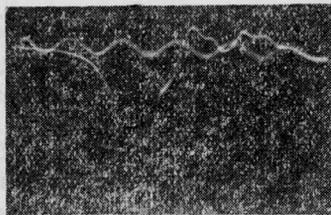


图 3 在高压示波器上拍摄的高压脉冲波形
定标用的正弦波周期是 10 毫微秒。波形尾部的
反冲振荡是由于匹配不好引



图 4 选出之单脉冲与选剩脉冲示波器照片
(示波器 A、B 两垂直通道相加)

5. 延迟及抖动

在我们的线路里,当阳极电压为 3~4 千伏,“保持激活”电流为 200 微安时,开关延迟时间为 60 毫微秒,抖动小于 2 毫微秒。调整“保持激活”电流,可以改变开关的延迟时间。例如当“保持激活”电流从 100 微安调到 250 微安时,延迟时间可以相差 140 毫微秒。用于触发冷阴极管的触发放大器的延迟时间不能太长,否则会影响单脉冲的选取。我们所用的触发放大器的延迟时间小于 20 毫微秒。

三、光触发冷阴极管开关

关于光触发的冷阴极管开关实验已有报道^[4]。光触发冷阴极管是用激光直接去触发管的栅极(图 5),用激光能量去电离冷阴极管,从而达到使冷阴极管导通的目的。冷阴极管 KN-22 有四个电极,栅极是由上端开一小圆孔的圆形筒构成,阳极在栅极圆筒的中心,围绕阴极的另一开口圆筒是“保持激活”极,当激活极上加电压后,在激活极圆筒周围形成一个激活等离子体区域,呈现辉光放电,因此当栅极被讯号触发后,可以缩短开关延迟时间,减少开关抖动。激光束是用短焦距透镜聚焦在栅极圆筒的上端开口处,用激光功率来电离阳极区域,促使冷阴极管导通。

光触发冷阴极管的脉冲成形线路与电触发的成形线路完全一样,只是将冷阴极管的栅极直接接地即可。光触发开关的(性能与电触发开关的性能也完全一致,但光触发开关

(下转第 175 页)

的振动,可测的最高振动频率为1千赫。

频率跟踪器输出的直流模拟电压直接正比于速度,其速度精度可达 $1\sim 2\%$ ^[3]。测量振动时,就是把这一正比于被测振动点速度的电压送入光线示波器记录,以得到振动的速度波形。将被测振动点的速度波形送入计数器,就能得到振动频率。在频率跟踪器允许的最高速度波动频率范围内,这一参数的测量精度极高。

此外,频率跟踪器还输出一列正弦波,其频率正比于测点速度,精度高达0.5%。测出每一振动周期内这一正弦波的周期数,就可从中得到振动幅度。

综上所述,该装置的测量范围及指标为:

测量距离: 300 毫米,

振动方向: 垂直于光轴,

振动频率: 直流至10千赫,

振动幅度: 大于0.1毫米,

速度精度: $1\sim 2\%$ 。

我们对一台闹钟摆轮的振动做了原理性实验,测量了它的摆动规律。实验中共记录了摆轮上 U 、 V 二点(见图3)的摆动速度波形,每一点都有 x 、 y 二个方向上的摆动速度波形如图4所示。将速度脉动波形计数,直接得到摆动频率为100次/分,正是这一闹钟摆轮的摆动频率。在摆轮摆动过程中, U 点上 y 方向的速度波动大于 x 方向上的速度波动,而 V 点上 y 方向的速度波动小于 x 方向上的速度波动。这规律在图3上是显而易见

(上接第172页)

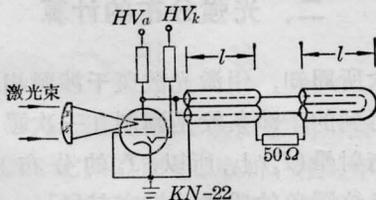


图5 激光触发冷阴极管开关线路图

的)延迟时间是与触发的激光能量密度有关。我们所用的聚焦透镜的焦距是60毫米,焦点

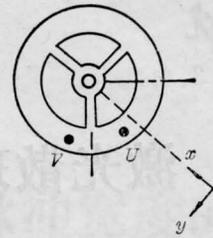


图3 摆轮上被测点位置

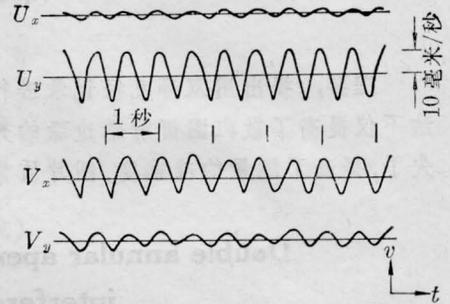


图4 测得的摆动速度波形

的,图4中所得到的速度波形证实了这一点。

以上的实验证实了这台二维激光多普勒测振装置的功能。由于这种测振方法属于非接触测量,特别适用于高温、带腐蚀性气体、流体中振动物体的测量,而且在精确测量振动频率等参数的同时,确定二个方向上的振动参量,所以具有广泛的应用价值。

参 考 文 献

- [1] 孙渝生,张自栋,许旭铭;《四川激光》,1982,3, No. 1, 14.
- [2] 唐开元等;《应用激光》,1982,2, No. 2, 26.
- [3] 孙渝生;《激光》,1979,6, No. 5, 34.

上的触发能量约为15微焦耳,在这样的触发能量下,得到的延迟时间为30~40毫微秒。若使光触发开关正常工作,需要小心地调整作为触发用的激光光路,激光触发能量一定要适当,过大的激光能量将损坏冷阴极管。这是必须注意的。

参 考 文 献

- [1] R. L. Hyde et al.; *J. Phys. (E)*, 1977, 10, No. 7, 1106.