

铁氧体线电光开关

朱鑫铭 范滇元 龚健

(中国科学院上海光机所) (浙江大学)

提要: 实验测量了铁氧体传输线对高压电脉冲的前沿锐化效应以及偏置磁化电流对电压波波前传输速度的影响。用二个被铁氧体线锐化后的脉冲相减, 获得宽度连续可调、8kV 的 ns 脉冲, 以此驱动普克尔盒对调 Q 激光脉冲削波。

Electro-optical switches with ferrite lines

Zhu Xinming, Fan Dianyuan

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

Gong Jian

(Zhejiang University)

Abstract: The electrical pulse sharpening effect in ferrite transmission lines and the dependence of transmission speed of voltage wavefront on the bias magnetization current have been observed in detail. Combining two sharpened pulses with different sign and a certain relative delay time ns, 8kV pulse with continuously variable width have been obtained. A Pockels cell was driven by the pulse to slice Q-switched laser pulses.

电磁波在非线性极化介质中传播时会形成冲击波^[1]。根据这个效应我们用铁氧体传输线锐化由热阴极闸流管产生的电脉冲, 得到数千伏的脉冲, 用它来驱动普克尔盒, 并通过改变铁氧体线中的偏置磁化电流, 达到脉冲宽度连续可调的独特效果。

一、原理

铁氧体传输线的结构见图1。在其内外导体之间, 除了绝缘层外还有一层铁氧体磁

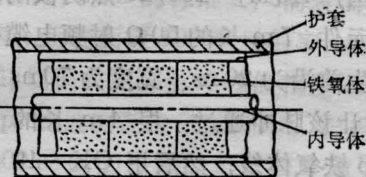


图1 铁氧体传输线的结构

环。为了避免残余空气引起电击穿, 内外导体之间要先抽真空, 再充满绝缘油。在传输线中电磁波的速度由下式决定:

$$V = 1/\sqrt{LC} = 1/\sqrt{\mu(H)\epsilon(E)}$$

收稿日期: 1984年12月26日。

这里 L 、 C 分别为传输线单位长度分布电感和分布电容， μ 、 ϵ 是介质的导磁率和介电常数， H 是磁场强度， E 是电场强度。铁氧体中的 ϵ 可视为常数，而 μ 随传输线中电流的大小而改变。当电流不大时， μ 很大，传输速度就小；电流很大时，磁化饱和， μ 趋近于 1，传输速度就很大。所以，一个慢上升前沿的电脉冲在铁氧体线中传输时，波顶速度大于波前速度。当波顶赶上波前时，前沿发生突变，形成冲击波，脉冲前沿大大变陡。图 2 画出了一个缓前沿矩形电脉冲在铁氧体线中传输时电压、时间和位置之间的关系。图中表明，电脉冲前沿在传输过程中逐渐变陡，但经过一定长度的铁氧体线后前沿锐化达到了极限，不再继续变陡，而脉冲却被一点点地“吃掉”，能量消耗在铁氧体的磁化过程中。因此，存在一个最佳长度，对前沿为 20~30 ns 的 5kV 电脉冲而言，最佳长度为 4~6 m。

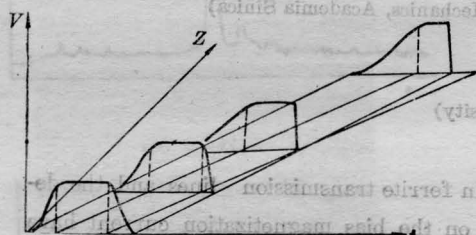


图 2 电脉冲在铁氧体线中的传播

用国产 ZQM₁-100/10 热阴极闸流管作为开关元件，7 m 长的 50 Ω 射频电缆作为成形线产生前沿为 20 ns、宽度为 70 ns 的高压脉冲。让该脉冲通过一根 4 m 长的 STF-25-1.6 铁氧体线，然后用 OK-19 示波器测量电脉冲波形，结果见图 3。从照片上测量，并考虑示波器和衰减器的响应后得出锐化后的前沿为 1.5 ns，脉冲幅度没有明显下降。改变输入脉冲电压时，相应的输出波形见图 4。输出脉冲的前沿随电压增加而越来越陡，但最后达到极限值 1.5 ns，脉宽也随电压的增加而增加，电压为 1.2 kV 时，电脉冲

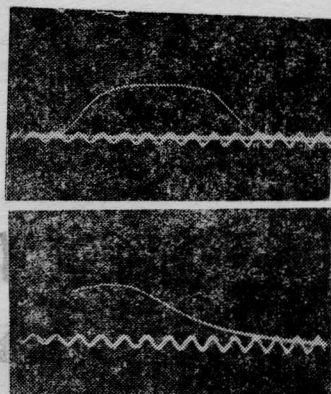


图 3 上：原始电脉冲；下：经过铁氧体线后的电脉冲
电压 5 kV，水平时标 100 MHz

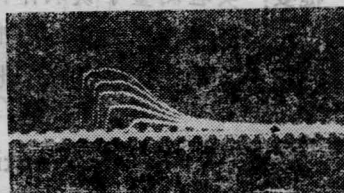


图 4 不同电压的脉冲被同一铁氧体锐化后的波形
自下至上电压分别为 1.2、2.5、3.7、5 和 6.2 kV
水平时标为 100 MHz

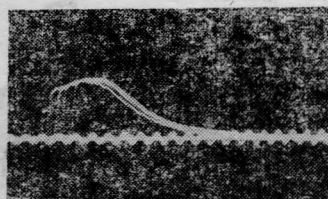


图 5 相同原始脉冲在不同磁化电流下的输出波形
从左到右电流分别为 200、300、400 和 500 mA
水平时标为 100 MHz

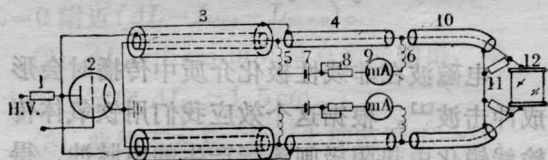


图 6 铁氧体线电光开关

- 1—限流电阻；2—闸流管；3—三同轴电缆；4—铁氧体线；5、6—扼流圈；7—电池；8—限流器；9—毫安表；10—同轴电缆；11—终端匹配电阻；12—普克尔盒

几乎全部被铁氧体线“吃掉”。加上反向磁化电流时输出电脉冲的变化见图 5。磁化电流用于电池作电源，经过电位器限流和扼流圈隔离后流过铁氧体线的内导体，见图 6。实验表明，对于电压高、前沿慢的输入脉冲，则

需要长一些的铁氧体线才能达到好的前沿锐化效果,磁化电流与被锐化电脉冲的电流方向相反时,磁化电流的效果相当于把铁氧体线变长了,电脉冲的前沿也被“吃掉”更多,反之亦然。

电光开关的结构见图6。一个 ZQM₁-100/10 热阴极闸流管同时用作两路 Blumlein 线的开关,产生两个相同的高压脉冲,分别经过一根铁氧体线,然后两个终端的外导体被连接在一起,内导体分别接到普克尔盒的两个电极上,同时并联上终端匹配电阻,通过改变铁氧体线中偏置磁化电流的大小(约 100~400 mA),可以得到从 2 ns 到 30 ns 宽度连续可调的矩形电脉冲,最大电压可达 8kV。实验发现,只有在加偏置磁化电流时,输出脉冲才稳定。不加磁化电流时,由于有不大的反射信号存在,改变了铁氧体线中介质的磁化状态,从而会得到交替出现的两种不同宽度的脉冲。

我们用上述办法产生的脉冲驱动普克尔盒来削波。一台磷酸盐钨玻璃调 Q 振荡器输出半极大全宽为 60 ns 的激光脉冲,从 Q 开关驱动器中分出一个信号,并经过适当延时后去触发热阴极闸流管,产生两个 6 kV 的电脉冲,经过锐化和相减后驱动一个 LiNbO₃ 普克尔盒实现削波。实验排布见图7。从调 Q 激光中削出的矩形激光脉冲照片见图8。从照片上量出光脉冲的上升时间小于 2 ns,这里还包含了普克尔盒电极电容(20 pF)的

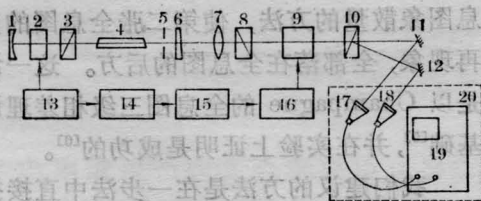
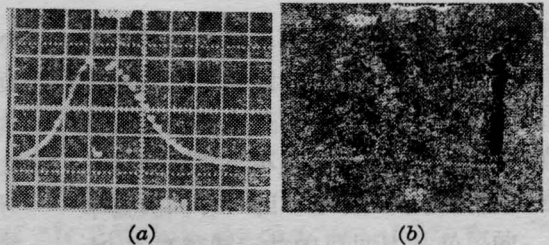
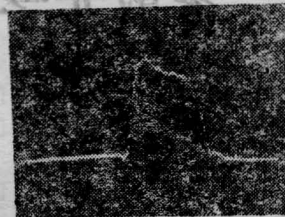


图7 削波实验排布

1、6—腔镜; 2、9—电光晶体; 3、8、10—偏振器; 4—激光介质; 5—小孔; 7—波面补偿透镜; 11、12—反射镜; 13—调 Q 驱动器; 14—触发信号产生; 15—延时线; 16—铁氧体线高压脉冲发生器; 17、18—强流管; 19—示波器; 20—屏蔽室



(a) (b)



(c)

图8

(a)被削波后的调 Q 激光脉冲,水平扫描 20ns/div; (b)、(c)削出来的激光脉冲,水平扫描 5 ns/div。

影响。光脉冲的宽度可以通过改变磁化电流来灵便地控制。

三、评 述

用铁氧体线产生高压毫微秒脉冲的优点是可以不用娇贵的冷阴极管;得到的脉冲上升时间快,而且脉宽可以方便地改变。这个开关已被用于腔内激光剪切,达到了很好的效果^[2]。但是,用它作为削波器,延时太长,达 400~500 ns,如果采用光同步触发闸流管,要求调 Q 脉冲有足够的宽度,而采用电同步触发时,要求激光器从打开 Q 开关到输出激光脉冲之间的时间抖动远小于调 Q 激光的脉宽,否则削波的位置会前后跳动。因此这类削波开关适用于准稳态调 Q 激光器。

用的铁氧体线是电子工业部第二十三研究所谭延楨、王明宝等同志研制并提供的。

参 考 文 献

- [1] Катаев И. Г.; “Ударные электромагнитные волны”, М. Сов. Радио, 1963.
- [2] Wang He, Fan Dianyuan: Conference on Laser and Electro-optics, Technical Digest, June 1984, Anaheim, California, p. 38.