

磁压缩器的设计

王朝华

(中国科学院力学研究所)

Design of magnetic compressors

Wang Chaohua

(Institute of Mechanics, Academia Sinica, Beijing)

Abstract: Properties and structure of magnetic materials for manufacturing magnetic compressors are theoretically analysed. Experimental results of compressing pulsed discharge with magnetic compressors wound around domestically ferrite toroids are given. The results are in agreement with the theoretical analysis.

一、引言

大功率准分子、铜蒸气等激光器都是大体积、高压脉冲型激光器,要提高它们的效率,需要提供足够窄的放电脉冲。七十年代以前,大功率闸流管一直是理想的主要开关元件。但是,放电能量越大,峰值电流越高,上升时间越短,闸流管的寿命也就越短。七十年代后期,[1,2]先后报道了利用磁材料的饱和性质压缩放电脉冲的结果。目前,国外在百瓦级准分子激光器中已广泛使用磁材料来压缩放电脉冲了。

二、原理

磁压缩器是由磁材料为介质制成的电感元件。在磁材料不饱和时,相对导磁系数很大($\mu=10^3\sim 10^4$),感抗很大;饱和时,相对导磁系数很小($\mu\sim 1$),感抗很小。压缩放电脉冲就是利用了磁材料相对导磁系数突变这一特性实现的。图1是典型的 Melville 线路。

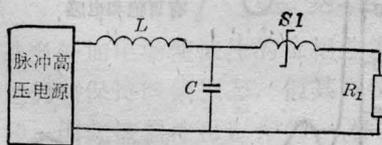


图1 Melville 线路

可饱和电感器 SI 是由涂抹上磁性材料的绝缘带

绕制而成。在磁材料不饱和时,由于 SI 的感抗很大,施加在负载阻抗 R_L 上的电压很小。随着流过可饱和电感器 SI 的电流增加,磁性材料饱和,相对导磁系数突然下降,接近于真空时的相对导磁系数。此时, SI 的感抗突然变小,负载 R_L 上的电压突然变大,电流迅速增加,储能元件 C 上的电能迅速通过可饱和电感器 SI 向负载 R_L 泄放。只要放电参数选取得合适,电压传输系数可接近于 1, 能量传输系数可接近于 100%。

三、磁材料的选择

3.1 磁滞回线的选择

为获得较高的能量传输系数,要求所用磁材料的磁滞损耗要小,即要求有较窄的磁滞回线。

铁氧体的磁化可分为三个部分:可逆部分、不可逆部分及饱和部分(图2)。在弱磁场作用下,一般

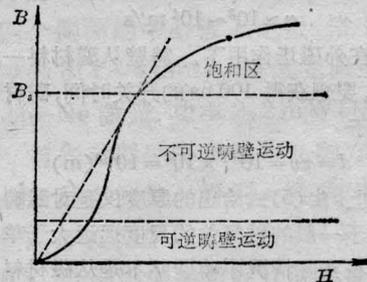


图2

是可逆畴壁运动;在强磁场作用下,一般是不可逆畴壁运动;在饱和区是畴磁化的转动(图3)。要获得较短的电流上升时间,则要求磁材料尽快地进入饱和区,即要求磁滞回线尽可能呈矩形。



图 3

3.2 磁材料厚度的选择

对于高频或快放电脉冲,磁材料的涡流损耗是不容忽略的。根据[3]的报道,磁材料厚度的选择不应超过相应频率的趋肤深度 d_s 。

$$d_s = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_0 \mu \sigma}} \quad (1)$$

式中 μ_0 是真空磁导率, μ 是磁材料未饱和时的相对导磁系数, σ 是磁材料的电导率, ω 是角频率。根据此式,如选择 $\mu \sim 2000$ 的磁材料,要获得小于10ns的上升时间,磁材料的厚度一般不超过 $5\mu\text{m}$ 。

选用薄带型磁材料,在工艺上容易做得均匀,磁滞回线较窄,涡流损失较小。用薄带型磁材料制作的磁压缩器,易于回复,可在高重复率时使用。

根据[4]的理论,当涡流损耗能够被忽略时,磁材料的开关速率将被内禀或弛豫阻尼所限制,其开关时间 τ 可表示为:

$$\tau = \frac{d}{R(H - H_0)} \quad (2)$$

畴壁迁移速率可表示为

$$v = \frac{d}{\tau} = R(H - H_0) \quad (3)$$

(2)和(3)式中, R 是畴壁迁移率; d 是畴壁迁移距离; H_0 是矫顽力。对于一般的铁氧体, $H - H_0$ 约为几个奥斯特, R 约为 $10^3 \sim 10^4 \text{ m/Oe}\cdot\text{s}$ 。由此获得畴壁的迁移速率

$$v \approx 10^3 \sim 10^4 \text{ m/s} \quad (4)$$

假定在外磁场作用下,畴壁从磁材料一端迁移至另一端,要想获得100 ns的开关时间,磁材料的厚度不应大于

$$d = \tau v = 10^{-7} \times 10^4 = 10^{-3}(\text{m}) \quad (5)$$

事实上,由(5)式给出的厚度仅是对磁畴尺度的要求。由于一般的铁氧体的尺度远远大于单个磁畴的尺度,在实际情况中畴壁并不是从磁材料的一端迁移至另一端。对于相对导磁系数 μ 为 10^3 的磁材料,取介电常数 $\epsilon = 1$,电磁波在其中的传播速度 v_μ

$$v_\mu = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0 \epsilon \mu}} \approx \frac{c}{30} = 10^7 \text{ m/s} = 1 \text{ cm/ns} \quad (6)$$

其中 c 为真空中的光速。由于电磁波在磁材料中的传播速度远远超过其中磁畴壁的迁移速度,对于100 ns开关时间的磁压缩器,可以认为外加磁场是同时地加在磁材料上,不同位置的磁畴壁同时开始迁移,因此,可用作磁压缩器的磁材料的实际厚度可以比由(5)式计算的厚度大得多。

四、用可饱和电感压缩放电脉冲的实验结果

实验线路图如图4。

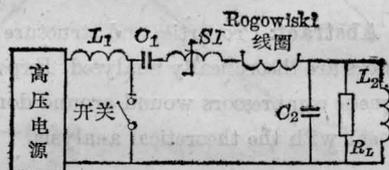


图4 实验线路图

可饱和电感 SI 是用国产MXO-2000环形铁氧体自己绕制成的,其尺寸为内径63 mm,外径123 mm,厚20 mm;负载 R_L 用 5Ω 电阻代替;放电电压 V_0 为13.8 kV。从单次脉冲放电电压压缩的实验结果可以看到,通过Rogowski线圈测量的电流宽度经可饱和电感压缩后,小于原来的二分之一,上升时间从原来的300 ns左右压缩至100 ns左右,电流峰值增加,结果示于图5。用国产NXO环形铁氧体代替MXO-2000也获得了类似结果,并且重复性很好。实验结果与理论分析相符。

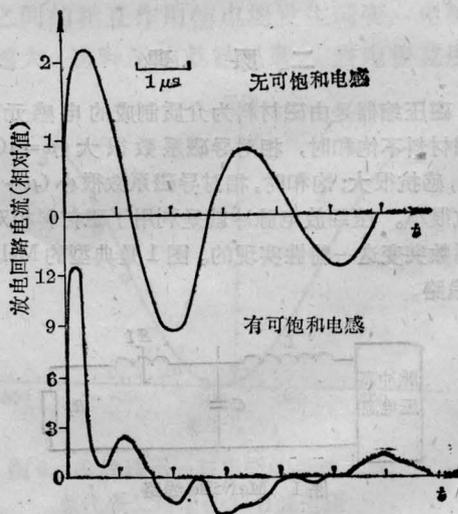


图5 可饱和电感对放电回路电流的影响

胡昌信、王竹威、杨明江和朱春梅几位同志参加了实验工作,线路部分是由胡昌信同志设计的,作者谨致谢意。

参 考 文 献

- 1 Laudenslager *et al.* Pulse Switching for High Energy Lasers, NASA, N79-21336
- 2 Merchant V E *et al.* *Rev. Sci. Instrum.*, 1979; 50

(9): 1151

- 3 Laudenslager *et al.* Pulse Switching for High Energy Lasers, United States Patent, 1981, Patent Number 4275317
- 4 R S 特贝尔 *et al.* 磁性材料, 西安: 科学出版社, 1979: 754

(收稿日期: 1987年5月7日)

对准连续激光电源中斩波器的分析

宁喜发 姚建铨 张大鹏

(天津大学精密系)

Theoretical analysis on choppers in the power supply for quasi-CW solid state lasers

Ning Xifa, Yao Jianquan, Zhang Dapeng

(Department of Precision Instruments, Tianjin University, Tianjin)

Abstract: A high repetition rate power supply is constructed for quasi-CW solid state lasers. It provides large current rectangular pulses at repetition rates of 50~200pps. The device has a ripple coefficient of <0.1% and shot-to-shot fluctuation within 1~0.1%. A theoretical analysis on the choppers in the power supply is formulated systematically.

一、引 言

在激光的某些应用中,要求高重复率的方波光泵功率,这种准连续激光电源采用斩波器最为适宜。提高斩波器的重复率,可相对提高激光的平均功率并使之更加稳定;又可减小滤波网络参数即缩小体积减轻重量;也可在激光输出的平均功率相同的情况下减小电源输出方波的电流幅值。

我们在原电路的基础上采用加负电压的办法,结果大大提高了电源的重复频率,对逆阻型(普通可控硅元件)斩波器可高达200 Hz。同时对电源的滤波网络进行了改进,获得了令人满意的灯电流波形和灯光波形。

准连续激光电源方框图如图1所示。

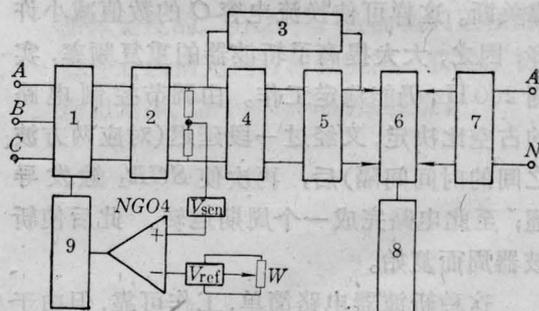


图1 高重复率准连续激光电源方框图

- 1—SCB三相交流调压网络; 2—三相整流滤波网络;
3—强预燃电路; 4—斩波器; 5—方波脉冲整形网络;
6—双氙灯负载电路; 7—触发预燃及降压电路;
8—取样监测及保护电路; 9—负反馈移相脉冲发生器

二、几种斩波器的运转分析

由文献[1]中图2所示的斩波器,去掉R