

# 非晶合金可饱和电感及磁脉冲压缩器在高重复率脉冲激光电路中的应用

黄振国 王 红 侯澄宇

(中国科学院电子学研究所)

在许多高重复率脉冲激光器(例如铜蒸气激光器、准分子激光器和 TEA-CO<sub>2</sub> 激光器)中,放电开关是一个关键性元件。低重复率的放电开关可以使用火花隙开关,但当重复率高时(~1kHz以上),充氩闸流管似乎是唯一的候选者。采用闸流管作放电开关的共振充电回路如图1所示。回路的工作原理是,当闸流管 T 不

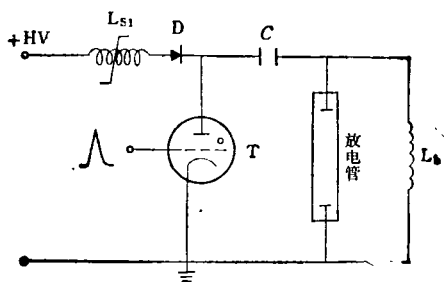


图1 激光电路中的共振充电回路

导通时,电源+HV 通过充电电感  $L_{s1}$ ,二极管 D 和旁路电感  $L_b$  给贮能电容 C 充电。当闸流管被触发导通时,电容 C 里的能量就通过闸流管向激光放电管放电。这时的  $L_b$  对快速放电来说感抗极大,等于断路。共振充电回路的最大工作重复率为<sup>[1]</sup>

$$f_{\max} = \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{L_{s1} \cdot C}} \quad (1)$$

增加重复率可提高激光器的输出功率。由(1)式可知,为了增加重复率,只有减小充电电感  $L_{s1}$  的值,而电容 C 的大小是由激光器的注入能量决定,不能随意减小。

另一方面,闸流管 T 是一种气体放电器件,如果充电电感太小,通过的重复率太高,则管内等离子体来不及消电离,会使闸流管始终处于导通状态,以致使电源+HV 短路,造成闸流管

自身的破坏。所以,充电电感不能太小,放电回路的工作频率不能太高。前后二次的导通时间间隔必须大于闸流管的消电离时间  $\tau_f$ 。特别是在输入功率大于几个 kW 时尤其如此,否则闸流管往往不能胜任。为了使闸流管既能工作于高重复率,又不至于发生短路现象,一个最简单有效的办法是将充电电感  $L_{s1}$  从线性电感改为可饱和电感<sup>[2]</sup>。

## 一、可饱和电感的工作原理

一个具有可饱和铁芯的电感,对跨越它两端的电压在一定时间内具有隔离作用。这可用法拉第公式来表示<sup>[3]</sup>:

$$V = NA \frac{\Delta B}{\Delta t} \quad (2)$$

式中 V 为电感两端所隔离的电压(V),N 为电感的线圈数,A 为铁芯截面积(m<sup>2</sup>), $\Delta B$  为铁芯材料的磁通密度变化(T),它一般等于  $B_s - B_r$ ,  $B_s$  及  $B_r$  分别为铁芯材料的饱和及剩余磁通密度。 $\Delta t$  为电感从被施加电压时开始到铁芯材料饱和时所需的时间(s)。(2)式表明,一个可饱和电感隔离一个恒定电压 V 的时间  $\Delta t$  与铁芯材料磁通密度的变化  $\Delta B$  成正比。这样,为了使电源电压 V 的隔离时间  $\Delta t$  大于闸流管的消电离时间  $\tau_f$ ,作为充电电感的磁通密度变化  $\Delta B$  应尽可能大。

当铁芯饱和后,铁芯的磁导率急剧下降,电感量也随之急剧下降。由(1)式可知,重复率仍可工作得很高。故采用可饱和电感作充电电感的好处是:非饱和时的电感很大,可以有充分的时间隔离电源电压,使闸流管有充分的时间

消电离;另一方面,饱和后的电感又极小,不妨碍电路的高重复率工作。

使用可饱和充电电感后的最大可工作重复率由它的饱和时间、充电时间和恢复时间(大致等于饱和时间)决定<sup>[3]</sup>:

$$F_{\max} = \frac{1}{2 \cdot \Delta t + T'} \quad (3)$$

式中的饱和时间  $\Delta t$  由(2)式决定,充电时间  $T'$  由(1)式决定,(1)式中的电感值应代人它的饱和值。

目前,使用的可饱和铁芯材料有两种:一种是铁氧体,另一种是非晶合金<sup>[4]</sup>。铁氧体的优点是在高重复率工作时损失小,但缺点是饱和磁通密度  $B_s$  小( $\sim 0.4\text{T}$ )。对于单向充电电流工作状态,  $\Delta B = B_s - B_r \approx 0.25\text{T}$ ,也比较小。为了增加  $\Delta B$ ,可把铁氧体环切一个1—2mm的空气隙,由于退磁场的作用,使得  $B_r \rightarrow 0$ ,从而使  $\Delta B \approx B_s$ 。但这种切有空气隙的铁氧体磁芯的磁导率较低,所以隔离电压的作用较差。非晶态合金的优点是:经过退火后,可使  $\Delta B$  达到1.3T,远远大于铁氧体;由(2)式可知,使用非晶态合金还可降低  $N$  值,节省磁芯的体积;此外,非晶合金可以做得很薄( $\sim 20\mu\text{m}$ ),用它与一些绝缘材料(例如Kapton)间绕的电感,涡流损失小,温升低。

## 二、非晶合金可饱和电感应用实例

用冶金工业部钢铁研究总院提供的非晶合金(相当于METGLAS, 2605 SC的型号)作铁芯,制作了可饱和和充电电感。磁环尺寸为:外径6.5cm,内径4cm,厚2.5cm。每个磁环绕160圈,用八个电感相串联,总的非饱和电感约为480mH,饱和电感为0.48mH。整体浸于变压器油中。当把非晶合金可饱和电感及一个300mH的线性电感分别用作共振充电回路的充电电感时,所得的充电电压和充电电流波形如图2所示。

由图2可见,利用非晶合金可饱和电感作充电电感时,不仅隔离时间增加,而且重复率增

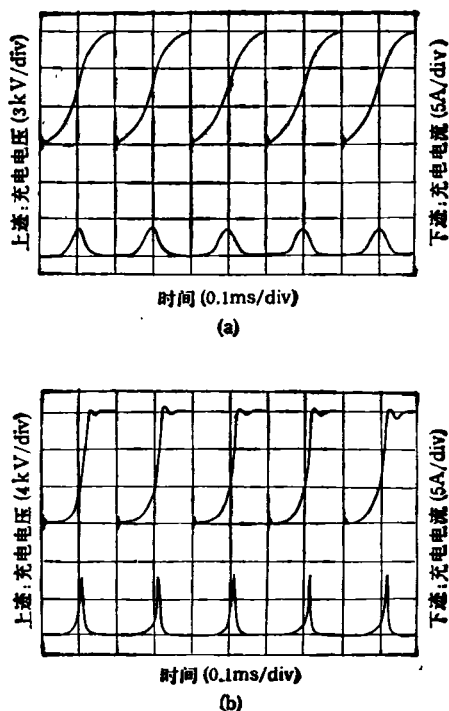


图2 充电电压和充电电流波形

- (a) 利用300mH的线性电感作充电电感;
- (b) 利用非晶合金可饱和电感作充电电感

加的潜力也增大。闸流管可以在较高的电压和重复率下工作,并且工作稳定。

## 三、磁脉冲压缩器

根据可饱和电感在饱和前感抗很大,饱和后感抗很小的特性,可饱和电感还可用于磁开关线路中,作为磁脉冲压缩器,其原理如图3所示<sup>[5]</sup>。磁开关线路以一个固体器件可控硅

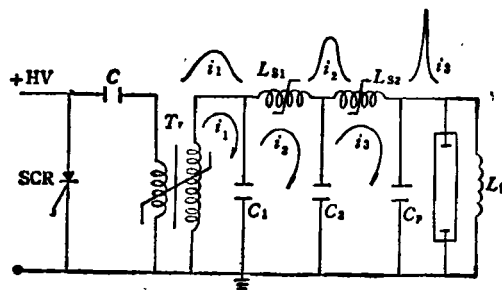


图3 磁开关线路

(下转第352页)