

铜蒸气激光器放电回路元件的最佳化

黄振国 陈 堤 单焕炎

(中国科学院电子学研究所)

提要: 用计算机对铜蒸气激光器放电回路元件的最佳值进行了数值求解。适当选择锐化电容和回路电感量,可以使放电电流脉冲变窄而又不加重闸流管的负担。

Optimization of discharge circuit elements for copper vapor lasers

Huang Zhenguo, Chen Te, Shan Huanyan

(Institute of Electronics, Academia Sinica)

Abstract: The optimal value of the discharge circuit element for CVL was obtained by digital calculation with micro-computer. It was shown that appropriate selection of sharpening capacitor and circuit inductance would decrease the current-pulse length without any harm to the thyatron.

一、前 言

铜蒸气激光器是一种自终止型循环脉冲激光器,激光下能级 $^3D_{3/2}$ 是亚稳态,为了减小激光下能级的集居数以增加输出功率,这类激光器要求放电回路电感尽量小,以便获得宽度尽量窄,前沿尽量陡的激励电流脉冲。但是这样一来,作为转换元件的闸流管的损耗就加大,寿命缩短,往往只能工作几十小时。为了在提高激光器输出功率的前提下,尽量减轻闸流管的负担,人们设计了各种充放电回路。有的是利用可饱和电感来延长闸流管的消电离时间^[1];有的采用磁脉冲压缩器^[2~4]或脉冲变压器^[5,6]来提高通过激光管的电流上升率而又不使通过闸流管的电流上

升率增加;也有的采用了多个闸流管并联使用的方法来减小闸流管的负担^[7]。这些方法都有一定效果,特别是采用磁脉冲压缩技术很有前途,但是电路同步技术及磁脉冲压缩器的制造都很复杂,一般难以达到。

二、电路方程

本文的目的,是在不改变原来电路构成的条件下,用计算机对基本放电回路进行数值计算,寻求最佳回路元件值。在这里,“最佳”的意思是指通过激光器的电流脉冲变窄,而又不加重闸流管的负担。

放电回路的等效电路如图1所示。 L_1 表示闸流管及附加电感的值,闸流管的电感大

收稿日期:1984年4月28日。

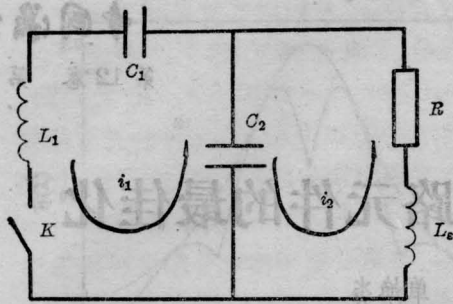


图1 放电回路的等效电路

约为 $0.3 \mu\text{H}$ 的大小^[8]。我们也可附加一定大小的电感来控制放电电流，也归入 L_1 之中， L_s 为激光器的电感。由于纯铜蒸气激光器一般均为同轴结构，单位长度的电感 $L = \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{R}{r}$ ， r 和 R 分别为放电管内径和外壳内径，对于我们的装置约为 $0.3 \mu\text{H}$ 的数量级，玻璃壳结构的铜蒸气激光器难以达到如此小的电感。 C_1 为贮能电容，它的大小由需要注入激光器的能量来决定。对于 $\phi 30 \sim 60$ 的放电管，一般取 $C_1 = 10000 \text{ pF}$ 。 C_2 是锐化电容，其最佳值一般由实验决定，本文以它为变量，选取了几种不同的值。 R 为激光管内阻，它是一个随时间变化的阻抗，在管子未导通之前无穷大，导通后，等离子体电阻率为 $\rho = m_e \nu_m / e^2 n_e$ ^[8]，式中 m_e 为电子质量， e 为电子电荷， ν_m 为电子与粒子碰撞频率， n_e 为电子密度。在我们的实验条件下，它大约为 $\frac{1}{1.5} \Omega \cdot \text{cm}$ 。为计算简单起见，把它当作一个常数。

在以上近似条件下，利用克希霍夫定律可以写出等效回路方程：

$$\frac{1}{C_1} \int i_1 dt + L_1 \frac{di_1}{dt} + \frac{1}{C_2} \int (i_1 - i_2) dt = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{C_2} \int (i_2 - i_1) dt + L_s \frac{di_2}{dt} + R i_2 = 0 \quad (2)$$

为了便于在计算机中引入初始条件，进行变量代换：

令： $V_{C_1} = \frac{1}{C_1} \int i_1 dt$ ，即 $i_1 = C_1 \frac{dV_{C_1}}{dt}$ 是通过闸流管的电流， $V_{C_2} = \frac{1}{C_2} \int i_2 dt$ ，即 $i_2 = C_2 \frac{dV_{C_2}}{dt}$ 是通过激光器的电流。这样，原微分方程组变为：

$$V_{C_1} + L_1 C_1 \frac{d^2 V_{C_1}}{dt^2} + \frac{C_1}{C_2} V_{C_1} - V_{C_2} = 0 \quad (3)$$

$$V_{C_2} - \frac{C_1}{C_2} V_{C_1} + L_s C_2 \frac{d^2 V_{C_2}}{dt^2} + R C_2 \frac{dV_{C_2}}{dt} = 0 \quad (4)$$

这是一组相互耦合的二元二阶微分方程组，可用计算机进行数值求解。初始条件是 $t = 0$ 时， C_1 二端的电压为 $V_{C_1}|_{t=0} = -V_0$ ，电流 $i_1|_{t=0} = 0$ ， C_2 二端的电压为 0，即：

$$\frac{1}{C_2} \int (i_1 - i_2) dt = \frac{C_1}{C_2} V_{C_1} - V_{C_2} = 0,$$

即 $V_{C_2}|_{t=0} = -\frac{C_1}{C_2} V_0,$

还有 $i_2|_{t=0} = 0$ ，式中的 V_0 为共振充电电压。

三、数值计算结果

计算结果见图 2~5。图 2 是不加锐化电容时贮能电容 C_1 的放电电压曲线和通过激光管的电流曲线。可以看出，这时的电流脉宽(半极大之间的全宽)约为 $\sim 0.25 \mu\text{s}$ ，峰值电流为 $\sim 1000 \text{ A}$ ，图 3 是加有锐化电容时

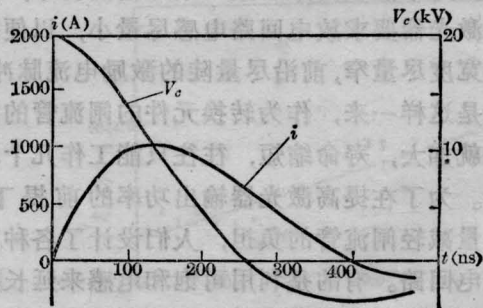


图2 不加锐化电容时的放电电流和贮能电容放电电压曲线

$C_1 = 10000 \text{ pF}$, $C_2 = 0$, $L_1 = L_s = 0.6 \mu\text{H}$, $R = 10 \Omega$

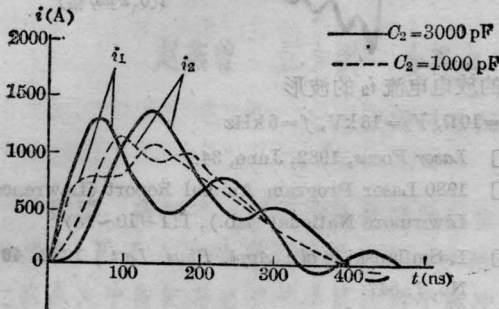
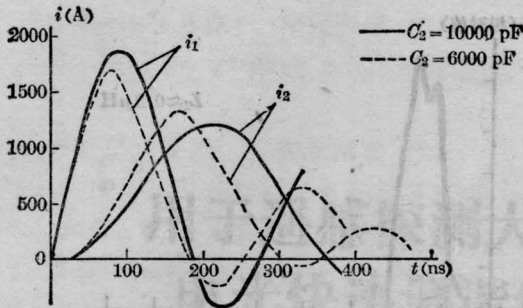


图3 加有各种锐化电容时,通过闸流管的电流 i_1 和通过激光器的电流 i_2
 $C_1=10000 \text{ pF}$, $L_1=L_s=0.6 \mu\text{H}$, $R=10 \Omega$, $V_c=20 \text{ kV}$

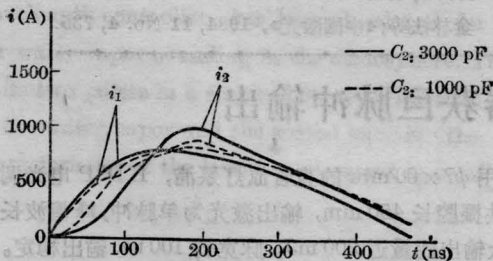
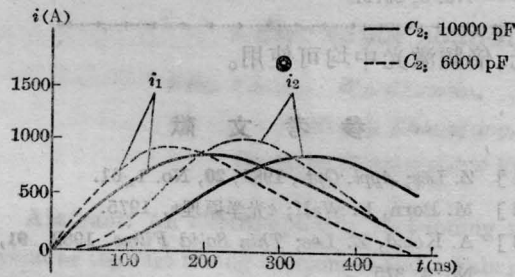


图4 当闸流管串联一个小电感时,对于各种不同锐化电容时的放电电流

$C_1=10000 \text{ pF}$, $L_1=2 \mu\text{H}$, $L_s=0.6 \mu\text{H}$,
 $R=10 \Omega$, $V_c=20 \text{ kV}$

的情况。可以看出,当 $C_2=10000 \text{ pF}$ 时,通过闸流管的放电电流 i_1 大大提高,达到 $\sim 1850 \text{ A}$,脉宽也大大缩窄,达到 $\sim 0.12 \mu\text{s}$ 。

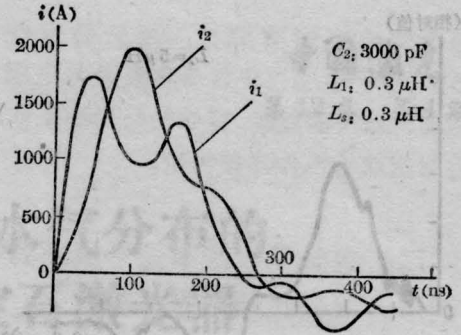


图5 将放电回路电感减小到理论值的放电电流
 $C_1=10000 \text{ pF}$, $R=10 \Omega$, $V_c=20 \text{ kV}$

但通过激光器的电流 i_2 只增加到 $\sim 1180 \text{ A}$,脉宽减小到 $\sim 0.15 \mu\text{s}$ 。这种情况应当避免,因为这加重了闸流管的负担而又未明显改善通过激光器的电流。逐步减小锐化电容的值,在 $C_2=3000 \text{ pF}$ 时, i_2 就变成比 i_1 大了。同时 i_2 的半极大宽度也有所改善,约为 $\sim 0.12 \mu\text{s}$ 。当 C_2 继续减小到 1000 pF , i_2 与 i_1 重新接近相等,并且峰值下降,脉宽增加。

以上情况表明,锐化电容的大小将影响通过激光器的电流参量。加上锐化电容后放电电流脉冲变窄变高,但锐化电容太大,则仅使通过闸流管的电流脉冲变大变窄,而通过激光管的电流并无太大改变。

为了保护闸流管,可以在闸流管的阳极上串联一个小电感,例如使 $L_1=2\sim 3 \mu\text{H}$,这时的电流波形如图4所示。 i_1 和 i_2 的峰值均大幅度下降,脉宽也加宽。这表明,附加一个小电感后,可以起到保护闸流管的作用,通过适当选取 C_2 ,又可使通过激光器的电流不下降(与不加锐化电容时的情况相比)。

图5是设法减小分布电感,使激光器和闸流管的电感值均减小到理论值,即 $L_1=L_s=0.3 \mu\text{H}$ 时的放电电流,这时通过激光管的电流峰值达 $\sim 2000 \text{ A}$,脉宽减为 $\sim 0.12 \mu\text{s}$ 是非常理想的情况。通过闸流管的电流峰值也较大,为 $\sim 1680 \text{ A}$,脉宽为 $\sim 0.17 \mu\text{s}$ 。这表明减小回路电感可以大幅度增加放电电流峰值和减小脉宽。只要闸流管的负荷能力允

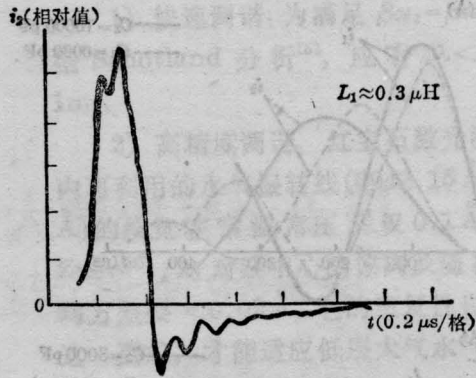
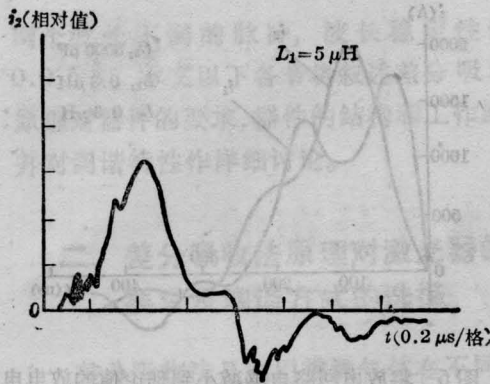


图6 用儒柯夫斯基线圈测得的放电电流 i_2 的波形

$C_1=8000\text{ pF}$, $C_2=3000\text{ pF}$, $L_2\approx 0.3\text{ }\mu\text{H}$, $R=10\text{ }\Omega$, $V_c=13\text{ kV}$, $f=5\text{ kHz}$

许, 应向这个方向努力。

图6是儒柯夫斯基线圈实测的放电电流波形。可以看出回路电感增加, 通过激光器的电流 i_2 将大幅度下降, 脉宽也大大增加。

参 考 文 献

[1] Z. Karny *et al.*; *Rev. Sci. Instrum.*, 1980, **51**, No. 10, 1426.

[2] *Laser Focus*, 1982, June, 34.
 [3] 1980 Laser Program Annual Report (Lawrence Livermore National Lab.), III-(10~18).
 [4] I. Smilanski *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1982, **40**, No. 7, 547.
 [5] М. Л. Мучник; *ПТЭ*, 1983, №3, 93.
 [6] В. В. Зубов; *Кван. электр.*, 1983, **10**, №9, 1908.
 [7] Д. Е. Кирилов; *ПТЭ*, 1981, №4, 165.
 [8] M. J. Kushner *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1983, **54**, No. 6, 2970.

(上接第241页)

表2 宽带反射膜的实测反射率

波长(nm)	420	530	633	700
反射率 %	97.97	94.33	93.89	96.69

到相应的二个干涉圈。由此估计至少可分辨 0.01 \AA 。这种标准具在 Ar^+ 激光、He-Ne 激

光、倍频激光中均可使用。

参 考 文 献

[1] Z. Lés; *Appl. Opt.*, 1981, **20**, No. 1, 61.
 [2] M. Born, E. Wolf; 《光学原理》, 1975.
 [3] A. Kozid, Z. Lés; *Thin Solid Films*, 1982, **91**, No. 4, 375.
 [4] 金林法等; 《中国激光》, 1984, **11** No. 4, 735.

可调谐金绿宝石激光器获巨脉冲输出

金绿宝石激光器是近几年发展起来的新型可调谐固体激光器。它的优点是可用闪光灯泵浦, 能连续或脉冲运转, 器件结构紧凑, 能在室温下连续调谐输出, 输出能量大, 功率高。其输出能量和调谐波段是目前其他各类调谐激光器不能比拟的, 因此具有很大的应用发展前景。

在今年初我们已实现自由振荡大能量连续调谐输出。波长调谐范围 $720\sim 780\text{ nm}$ 。在输入能量 196 J 时最大输出能量达 560 mJ , 输出线宽 $6\sim 8\text{ \AA}$ 。在此基础上, 近期我们又顺利实现了调 Q 巨脉冲输出。实验条件是: 金绿宝石棒 $\phi 6.9\times 65\text{ mm}$, C 轴通

光, 用 $\phi 7\times 60\text{ mm}$ 的直管氙灯泵浦, KD^*P 电光调 Q , 共振腔长 450 mm , 输出激光为单脉冲, 峰值波长最大输出能量近 200 mJ , 脉宽约 100 ns , 输出稳定。由于采取了一些特殊技术措施, 使调 Q 元件的插入损耗降至最低, 动态振荡阈值仅略高于静态阈值。

由于实现了调 Q 巨脉冲输出, 使得这种激光器具有更大的实用意义。有关详细实验结果正在整理中。

(中国科学院安徽光机所 张邦星 郭行安
 吴路生 陈梅玲 赵梅荣
 1984年11月18日收稿)