

文章编号: 1001-3806(2004)06-0569-03

一种新颖钛宝石激光器电源电路

赵南京, 邓国庆, 张玉亮

(中国科学院 安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

摘要: 介绍了一种灯抽运钛宝石激光器电源充放电电路。利用脉冲能量进行变压器升压式充电, 用磁脉冲压缩开关替代了传统灯抽运钛宝石激光器电源中的放电开关闸流管, 并对整个电路的工作过程进行了分析。

关键词: 脉冲变压器式充电; 磁脉冲压缩开关; 闸流管; 钛宝石激光器

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A

A new circuit of Ti:sapphire laser power supply

ZHAO Nan-jing, DENG Guo-qing, ZHANG Yu-liang

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, the Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: This article introduces a new charge and discharge circuit of Ti:sapphire laser power supply for the flash lamp. The capacitor is charged by resonant transformer, and the magnetic pulse compressor (MPC) as a discharge switch instead of thyatron used in Ti:sapphire laser power supply for the flash lamp. The function of the circuit is described.

Key words: resonant transformer of charge; magnetic pulse compressor (MPC); thyatron; Ti:sapphire laser

引言

大范围可调谐钛宝石 ($Ti^{3+}:Al_2O_3$) 激光器, 因其具有优良的光学、力学、热学、化学特性和增益高、阈值低、转换效率高以及可用多种光源抽运等优点^[1,2], 在激光光谱、激光化学、激光遥感、激光雷达、光计算、医学等领域有着极广泛的应用。目前灯抽运钛宝石激光器已被用于监测大气污染的激光雷达系统, 其高重复频率、高脉冲能量、窄线宽、窄脉宽及大调谐范围等特点, 已显示它是一种用于污染监测激光雷达的较理想的激光光源。但是其高重复频率、大能量激光输出的闪光灯抽运技术仍存在许多有待解决的问题。这是因为钛宝石晶体的激光上能态寿命很短 ($3.2\mu s$), 这就要求储能电容容量要很小, 导致充电电压很高^[3,4]; 由于短时间大电流的放电, 对放电开关和储能电容器的要求就比较苛刻; 灯抽运钛宝石激光器中的放电开关采用闸流管, 因其价格昂贵、寿命有限, 成为整机长期运行的制约因

素; 已严重影响到它更快推广应用。

钛宝石激光器电源的充电电路以直流 LC 恒流充电式为主, 作者是利用脉冲能量进行变压器升压式充电^[5], 并将磁脉冲压缩开关^[6-8]作为放电开关研制了一种新颖电源电路。脉冲变压器升压式充电只需用一低压供电直流电源; 充电开关容易控制; 重复率高; 充电电压高。磁脉冲压缩开关可以有效地实现脉冲的压缩, 在准分子激光器中已实现脉冲压缩比为 5 的应用^[9]。

1 一种新颖灯抽运钛宝石激光器电源充放电电路

图 1 是利用脉冲能量进行变压器升压式充电、并将磁脉冲压缩开关作为放电开关的电源电路。

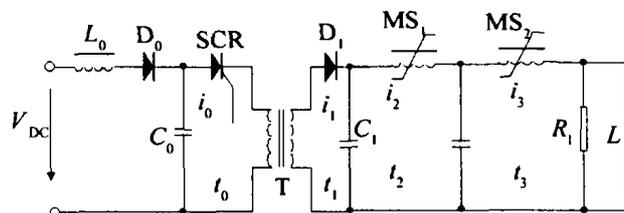


Fig. 1 A new type charge and discharge circuit schematic diagram of Ti:sapphire laser power supply

C_0 为初级储能电容, C_1 和 C_2 为次级储能电容, D_0 为二极管, SCR 为充电可控硅, T 为升压变压器,

作者简介: 赵南京 (1976-), 男, 博士研究生, 从事固体激光及激光电源的研究工作。

E-mail: njzhao@aiofm.ac.cn

收稿日期: 2003-11-07; 收到修改稿日期: 2003-12-15

D_1 为高压二极管; MS_1 和 MS_2 为磁脉冲压缩开关, R_1 为负载(4只串联闪光灯), L_0, L 是充电电感。下面对此电路的工作过程进行分析。

1.1 脉冲变压器式充电电路

其充电原理如图2所示。

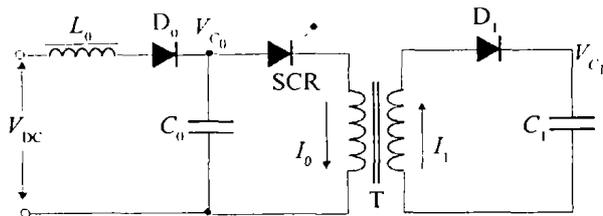


Fig. 2 The charge schematic diagram of resonant pulsed transformer

当可控硅 SCR 打开时, 储存在电容 C_0 中的能量通过变压器 T、高压二极管 D_1 转移到储能电容器 C_1 上; 可控硅 SCR 过零关断后, 电容 C_0 通过电感 L_0 、二极管 D_0 进行谐振充电。电容 C_0 和 C_1 上的电压变化如下:

$$\begin{cases} V_{C_0}(t) = V_{C_0} [(X - Y) \cos(\omega_+ t) e^{-\gamma_+ t} + \\ (1 - XY) \cos(\omega_- t) e^{-\gamma_- t}] \\ V_{C_1}(t) = V_{C_1} [\cos(\omega_- t) e^{-\gamma_- t} - \cos(\omega_+ t) e^{-\gamma_+ t}] \end{cases} \quad (1)$$

式中, $V_{C_0} = \frac{V_{C_0}(0)}{[(1-X)(1-Y)]}$, $V_{C_1} = KNV_{C_0}(0) /$

$$\sqrt{(1-X)^2 + 4K^2X}, \omega_{\pm} = \frac{1+X}{2X(1-k^2)L_1C_0} \times [1 \pm \sqrt{1 - \frac{4X(1-k^2)}{(1+X^2)}}], X = \frac{L_2C_1}{L_1C_0}, N = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}, Y = \frac{\omega_-^2}{\omega_+^2}.$$

$V_{C_0}(0)$ 是储能电容 C_0 上的初始电压; L_1, L_2 是指变压器初级和次级线圈的电感; k 是变压器的耦合系数, N 是变压器升压变比, ω_{\pm} 为变压器原副边回路振荡的角频率; γ_{\pm} 是指与电路损耗有关的阻尼因子。

如果满足条件 $L_1C_0 = L_2C_1$, 即 $X = 1$; 忽略电路损耗的影响, 则电容 C_1 上电压随时间变化的规律如下:

$$V_{C_1}(t) = \frac{1}{2}NV_{C_0}(0) [\cos(\omega_- t) - \cos(\omega_+ t)] \quad (2)$$

如果变压器的耦合系数接近于1, 即 $Y \ll 1$, 则电容 C_1 上的电压上升时间和峰值电压为: $T_p \approx \pi \sqrt{(1-K)L_1C_0} / (1+Y)$, $V_{C_1,p} \approx NV_{C_0}(0) (1 - Y\pi^2/4)$ 。所以, 能量传输效率是: $\eta = C_1V_{C_1,p}^2 / C_0V_{C_0}^2(0) \approx 1 - Y\pi^2/2$, 因为 $Y \ll 1$, 所以 η 非常接近于1。

其充电波形如图3所示。图3a和图3b分别为图2中未加和加上二极管 D_1 情况下的波形。

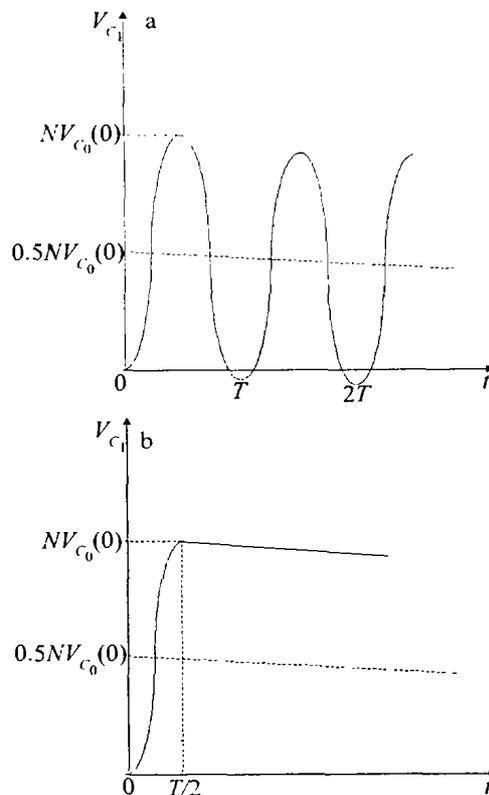


Fig. 3 Charge waveform of resonant pulsed transformer a—the resonant charge waveform of capacitor C_1 without diode D_1 b—the voltage waveform of capacitor C_1

1.2 磁脉冲压缩开关放电电路

1.2.1 磁脉冲压缩开关的基本原理 磁脉冲压缩开关是利用铁磁材料的非线性制成可饱和的电感线圈, 在电感未饱和时其阻抗很大, 当流过电流上升到某一值时电感到饱和, 其阻抗变小。磁脉冲压缩开关正是利用这种阻抗的突变起到“开关”的作用^[10-12]。目前磁脉冲压缩开关磁芯多采用纳米晶合金材料。

磁脉冲压缩开关电感线圈两端电压为: $U = N \times d(B \times S) / dt$, 式中, N 是磁脉冲压缩开关电感线圈的匝数, B 是电感铁芯中的磁感应强度, S 是磁芯材料的截面积。对上式两边积分得:

$$\int U dt = N \cdot S \cdot \Delta B \quad (3)$$

ΔB 是磁芯内磁感应强度变化总量。

磁开关的电感值由下式给出:

$$L_{MS} = \mu N^2 \times S / l \quad (4)$$

式中, $\mu = dB/dH$, l 为磁开关线圈长度, μ 为磁芯材料磁导率。由于磁性材料的非线性, 可分别算出电感线圈饱和前后的电感值。(3)式、(4)式是设计磁脉冲压缩开关的依据。

1.2.2 磁脉冲压缩开关放电电路 其放电回路如图1所示, 当充电可控硅打开, 储存在电容 C_0 中的

能量向电容 C_1 上转移时,由于这时 MS_1 刚开始磁化,尚未饱和,因此其相对导磁率很高,阻抗很大,因而流过 MS_1 的电流很小。合理选择电容 C_0, C_1 以及变压器的初级和次级电感 L_1, L_2 , 可以调整该回路的时间常数 τ , 使得 C_1 充电完毕时 MS_1 恰好饱和, 此时 MS_1 的阻抗急剧减小, C_1 通过 MS_1 向 C_2 充电, 而这时 MS_2 刚开始磁化, 尚未饱和, 因此其阻抗很大, 电流不能流过 MS_2 。当 C_2 充电完毕时, MS_2 又恰好磁化饱和, C_2 可以通过 MS_2 向负载 R_1 放电。当忽略电路中的损耗时, 3 个电路中的电流与其时间常数之间存在 $i_1 t_1 = i_2 t_2 = i_3 t_3$, 因此在上述电路中, 如果合理选择 3 个回路的时间常数 t_1, t_2 和 t_3 , 使得 $t_1 > t_2 > t_3$, 那么将有 $i_3 > i_2 > i_1$ 。这样, 所输入的小电流的宽脉冲传输到负载时变成了大电流的窄脉冲, 故有效地实现了脉冲压缩, 省却了传统的放电开关闸流管。

设磁脉冲压缩开关饱和电感为 L_s , 负载阻抗为 R , 则当电容 C_2 充电完毕, 磁芯 MS_2 恰好饱和时, 在电容 C_2 、负载 R_1 和磁脉冲压缩开关 MS_2 的放电回路中, 由 RLC 振荡放电回路可以求出电路中电流的变化关系为:

$$i = \frac{V_{C_2}}{\omega' L_s} e^{-\delta t} \sin \omega' t \quad (5)$$

式中, $\delta = R/2L_s$, $\omega' = [1/L_s C_2 - (R/2L_s)^2]^{1/2}$ 。

根据钛宝石晶体的激光上能态寿命 $3.2 \mu s$, 要求放电时间在 $5 \mu s$ 左右, 可以计算出磁脉冲压缩开关铁芯的饱和电感。根据磁脉冲压缩开关铁芯的饱和时间即电容 C_1 上的电压上升时间 T_p , (3) 式和 (4) 式可以选取磁性材料的牌号、相应尺寸和结构。磁性材料的磁滞损耗和涡流损耗应尽量小, 以期获得高的开关效率。

2 结 论

简述了现有灯抽运钛宝石激光器的特点后, 给出了一种新颖的灯抽运钛宝石激光器电源充放电电路。利用脉冲能量进行变压器升压式充电, 用磁脉冲压缩开关替代了传统灯抽运钛宝石激光器电源中的放电开关闸流管, 能有效解决高重复频率、大能量激光输出的闪光灯抽运技术问题。实验结果将另文报道。

参 考 文 献

- [1] 张永梅, 余吟山, 汪建业. 双预燃闪光灯泵浦钛宝石激光输出的实验研究 [J]. 光学学报, 1998, 18(7): 866 ~ 869.
- [2] 高郭昌, 李子尧, 殷绍塘 *et al.* 高重复率运转的闪光灯泵浦钛宝石激光器研究 [J]. 量子电子学报, 1995, 12(4): 341 ~ 346.
- [3] 汪建业, 王建国, 徐之海 *et al.* 灯泵钛宝石激光器高压开关电源 [J]. 中国激光, 1998, A25(7): 591 ~ 594.
- [4] 朱宝亮, 刘宏发, 周海龙. 预脉冲灯泵钛宝石可调谐激光器 [J]. 光学技术, 1999(1): 2 ~ 6.
- [5] MATERA M, BUFFA R, CONFORTI G *et al.* Resonant transformer command charging system for high repetition rate rare-gas halide lasers [J]. Rev Sci Instrum, 1983, 54(6): 716 ~ 718.
- [6] BASTING D, HOHLA K, ALBERS E *et al.* Thyratrons with magnetic switches: the key to reliable excimer lasers [J]. Laser & Optoelektronik, 1984(2): 128 ~ 131.
- [7] SMILANSKI I, BYRON S R, BURKES T R. Electrical excitation of an XeCl laser using magnetic pulse compression [J]. A P L, 1982, 40(7): 547 ~ 548.
- [8] TANAKA H, OBARA M. An all solid-state magnetic pulse compressor with amorphous metals for pumping a repetition-rated KrF excimer laser [J]. Rev Sci Instrum, 1990, 61(4): 1196 ~ 1199.
- [9] 余吟山, 方晓东, 汪建业 *et al.* 磁脉冲开关在准分子激光器中的应用 [J]. 量子电子学报, 1995, 12(4): 372 ~ 376.
- [10] SHIMADA T, OBARA M, NOGUCHI A. An all solid-state magnetic switching exciter for pumping excimer lasers [J]. Rev Sci Instrum, 1985, 56(11): 2018 ~ 2020.

请向邮局订阅 2005 年度《激光技术》

国内统一刊号: CN51-1125/TN, 邮发代号: 62-74