

灯泵钛宝石激光器高压开关电源

汪建业 王建国 徐之海 江海河 余吟山

(中国科学院安徽光机所 合肥 230031)

提要 介绍了一台重复率运转的灯泵掺钛宝石激光器的开关电源。其中包括高压开关电路和双预燃电路。电源输出功率达 2 kW, 重复率为 5 Hz。

关键词 高压, 开关电源, 钛宝石激光, 重复率

1 引言

闪光灯泵浦的钛宝石激光器是 80 年代中期才在国际上出现的一种新型固体可调谐激光器, 它的优点是室温下可获得高能量、高效率、高重复率、宽调谐范围, 而且结构简单、造价低、寿命长、稳定性好。它在遥感、远距测量、电子对抗等方面有着重大应用。由于掺钛宝石晶体的激光阈值高(约 100 J), 上能级寿命短(3.2 μ s), 因此灯泵掺钛宝石激光器电源一般采用高压小电容方案, 要求电源具有 10~30 kV 的高输出电压, 数百焦耳的脉冲贮能, 几微秒的放电速度等特点^[1]。与普通氙灯泵浦的固体激光器电源不同, 灯泵掺钛宝石激光电源需要解决强预燃、耐高压、提高放电速度及抗干扰等技术问题。

我们研制的开关电源采用四灯串联的双强预燃电路, 主充电回路采用大电流的功率场效应管组成桥式逆变电路, 逆变频率达 40 kHz; 采用光电隔离技术, 较好地解决了高效率、抗干扰等一些关键问题。

2 电源框图及工作原理

图 1 为电源原理图。整个电路可分为双预燃电路、开关高压充电电路、保护控制电路等三大部分。

2.1 双预燃电路

图 2 给出了双预燃电路原理图。 U_{c1} , U_{c2} 是两个 4 kV 和 1.2 kV 的直流电压源; 当用高压脉冲触发氙灯(四只串联), U_{c1} 提供约 40 mA 的电流 I_1 接通氙灯, 使 U_L 两端电压降至 1.1 kV 左右, 同时 U_{c2} 为氙灯提供大电流 I_2 , 使 U_L 进一步下降至 500 V 左右。改变 R_2 的阻值可改变强预燃电流的大小。采用新型双预燃电路的好处是减小主电流对氙灯的冲击, 延长氙灯使用寿命和改善放电波形, 提高上升速率。

通过改变预燃电流 I_2 的大小, 分别研究了放电电流波形以及泵浦能量与输出能量的关

系。当预燃电流为 1.6 A 时,得到理想的激光斜率效率为 0.24%,最高输出能量为 608 mJ。

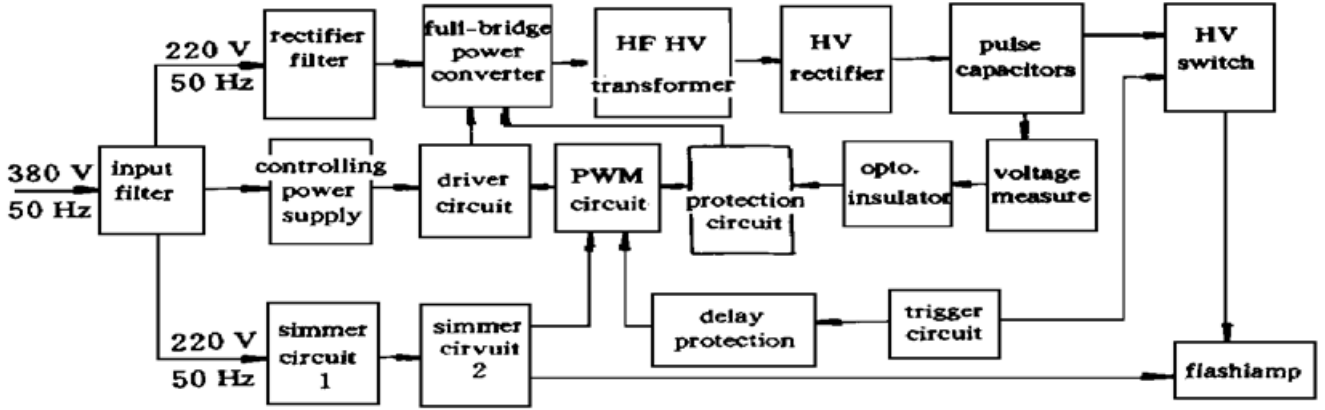


图 1 灯泵掺钛宝石激光器电源原理框图

Fig. 1 Schematic diagram of the power supply for a flash-pumped Ti:sapphire laser

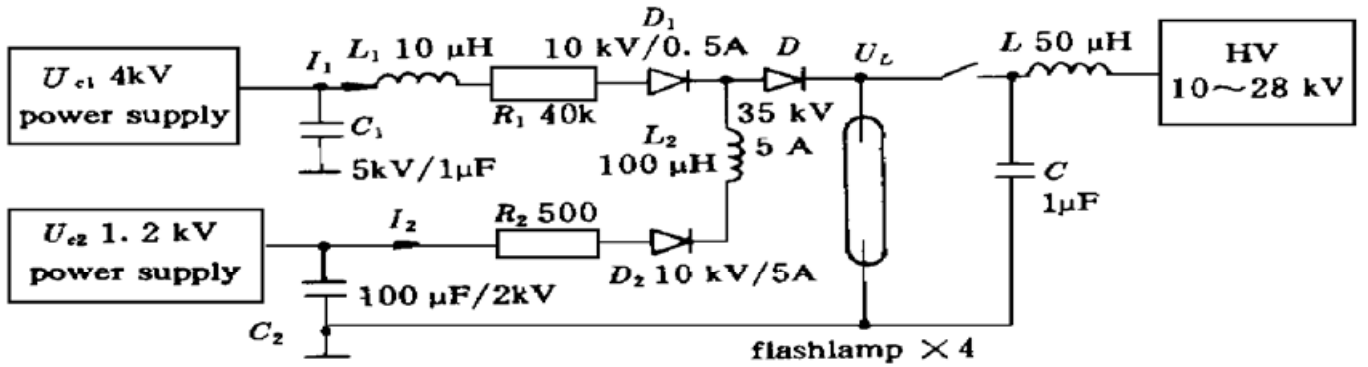


图 2 灯泵掺钛宝石激光器双预燃电路

Fig. 2 The double-priming circuit of the flashlamp-pumped Ti:sapphire laser

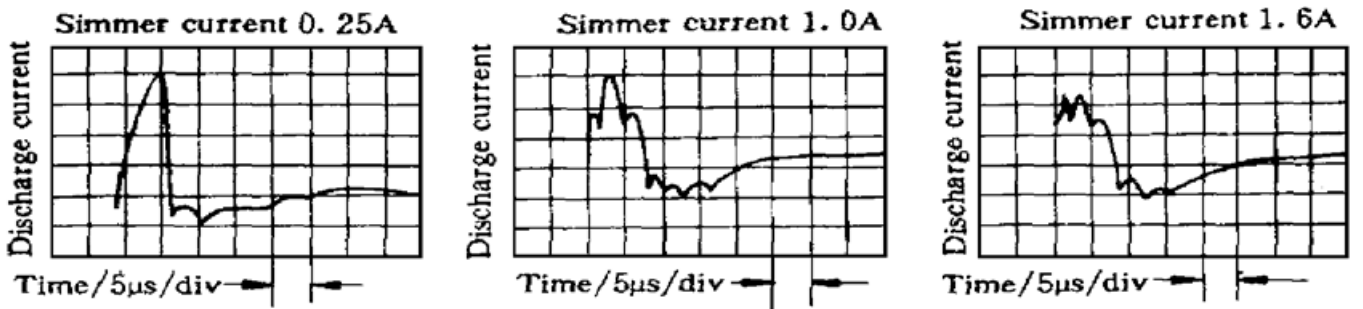


图 3 不同预燃电流下闪光灯的放电脉冲波形

Fig. 3 Flashlamp discharge pulse shapes with different pre-priming currents

当泵浦能量不变时,不同预燃电流下闪光灯的放电波形如图 3 所示。从波形上看出,当预燃电流达到 1.6 A 时,放电波形接近方波,主放电电流上升时间短。从而使泵浦效果比较理想。

2.2 开关高压充电电路

采用桥式逆变电路。因为功率 MOS 器件具有高速、安全工作区稳定和驱动控制电路简单等优点,所以我们选择了单管功率在 300 W 的日本富士公司的功率 MOS 管 2SK1019 作为开关元件。图 4 表示全桥型高压充电主电路的原理图。经过高频滤波的单相 220 V 交流电压经整流滤波后成为 300 V 的直流电压,该电压加到全桥电力开关管上,由 PWM 脉宽调制控制电路提供一对相位差为 180°的方波电压驱动信号,通过隔离驱动电路使 T_1, T_4 和 T_2, T_3 轮流导

通和截止,从而将直流电压变成高频方波电压,然后由高频变压器隔离、升压,再经高频整流给贮能电容 C 充电。在控制回路中,电压充到预定值后,产生一控制信号反馈给 PWM 脉冲信号发生器,切断开关管的驱动信号。

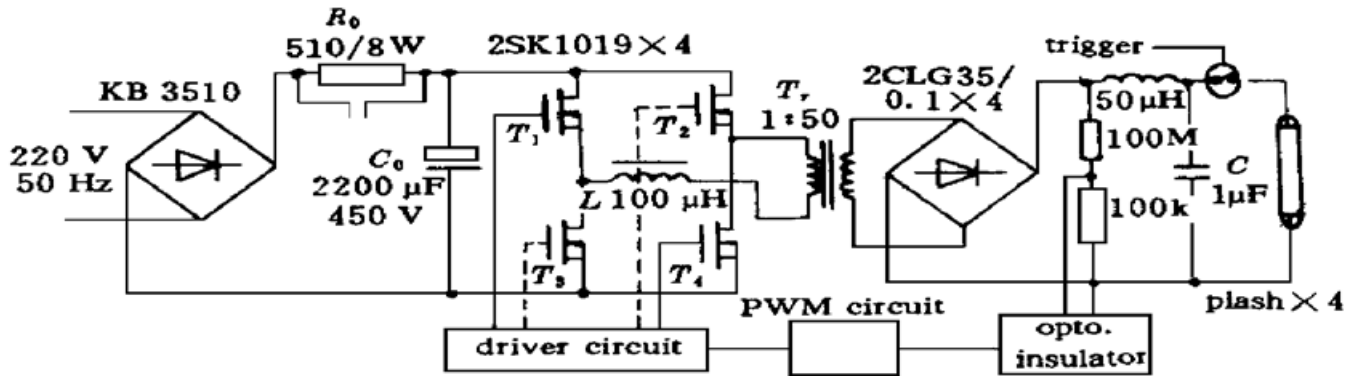


图 4 全桥逆变电源主电路

Fig. 4 Main circuit of the full-bridge power supply

电路中的核心元件高频升压变压器 T_1 用超微晶材料做成的环形卷绕铁芯绕制。这种新型铁芯材料磁通密度 B_m 大,卷片薄,用它绕制的变压器具有体积小、功率大、变压器损耗小等优点。铁芯尺寸可以通过下式计算^[2,3]

$$A_p = S_c * S_m - \frac{P_o \times 10^{-4}}{4K \cdot B_m \cdot f \cdot K_m \cdot J} \left[\frac{1}{\eta} + 1 \right]$$

式中 K 为波形系数,对方波 $K = 1$; B_m 为磁通密度(T); $J = K_j \times A_p^{-0.14}$ 为电流密度(A/cm²); f 为频率(Hz); K_m 为铜在铁芯窗口的占空系数; η 为变压器效率; P_o 为变压器输出功率(W); S_c 为铁芯截面积(cm²); S_m 为铁芯窗口面积(cm²)。

初次级匝数 W_1, W_2 分别由下面两式给出

$$W_1 = \frac{U_m \cdot \tau}{2B_m \cdot S_c} \times 10^{-2}$$

式中, U_m 为峰值电压(V); τ 为脉冲宽度(μ s)。

$$W_2 = \frac{U_2}{U_1} \times W_1$$

式中, U_1 为初级电压(V); U_2 为次级电压(V)。

如果取输出功率 $P_o = 1$ kW, 逆变频率 $f = 40$ kHz, $B_m = 0.4$ T, 考虑到变压器的损耗、集肤效应和分布参数等因素的影响,通过估算,经过最后的调试,实验修正,选用 $\phi 51/\phi 74$ mm \times 20 mm 的磁芯,初级取 $W_1 = 24$ 匝,次级 $W_2 = 1200$ 匝。

限流电感 L 由经验公式 $L/L_m = 50$ 给定^[2], L_m 为变压器 T_1 初级电感。

2.3 保护控制电路

整个电源保护控制电路包括 4 部分: (1) 软启动电路,避免电源开启时,大电流对整流管和滤波电容的冲击; (2) 过流、过压保护电路,在逆变电流太大和输出电压过高时,关闭 PWM 电路。为了减小功率 MOS 管的损耗,在逆变电路中加上了 R, C, D 和 L, R, D 吸收电路,避免器件的冲击及损坏; (3) 信号延时保护电路,控制信号使得预燃导通后,给出充电信号,充电结束后,给出高压开关触发信号。同时触发高压放电开关之后的 5 ms 内切断 PWM 脉冲驱动信号,避免高压在放电时的连通; (4) 光电隔离抗干扰电路。整个电源采用三相供电,充电回路、

预燃电路、控制回路分别采用不同相线,利用高频滤波相互隔离。电压取样采用光电隔离,避免控制线路的地与高压地的串扰,保护整个电源安全稳定工作。

3 电源的主要性能指标

该电源的主要性能指标为输入电压 AC 380 V, 50 Hz; 输出功率 2 kW(其中预燃 1 kW, 充电 1 kW); 输出电压 10~ 28 kV, 连续可调; 放电频率 0.5~ 5 Hz; 放电脉冲宽度 5 μ s 左右; 单脉冲储能 100~ 400 J; 充电精度 $\leq 1\%$ 。

利用这台电源,实现了灯泵钛宝石激光器的连续运转,工作频率为 5 Hz,单脉冲能量为 400 mJ,器件运转一直稳定可靠。

参 考 文 献

- 1 J. P. Boquillon, J. Said. Flashlamp-pumped Ti:sapphire laser with different rods grown by Czochralski and verneuil methods. *Appl. Phys. A*, 1992, **54**(4) : 384~ 388
- 2 S. Young, G. Casting. High frequency resonant converter using power MosFETS, Proceedings of the High Frequency Power Supply Conference, Virginia Beach, Am, 1986. 21~ 25
- 3 Zhang Zhansong. High Frequency Switching Power Supply. Guangzhou : Guangdong Science and Technology Press, 1990. 78~ 85 (in Chinese)
- 4 Zhang Li, Zhao Yongjian. Modern Power Electronics. Beijing : Science Press, 1992. 150~ 156 (in Chinese)

High Voltage Switching Power Supply for Flashlamp-pumped Ti:sapphire Laser

Wang Jianye Wang Jianguo Xu Zhihai Jiang Haihe Yu Yinshan
(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031)

Abstract This paper introduces a switching power supply for a repetition rate flashlamp-pumped Ti:sapphire laser. It includes a switching circuit at PWM mode and a double-prefiring circuit. This power supply is capable of giving an output power of 2 kilowatts at a repetition rate of 5 Hz.

Key words high voltage, switching power supply, Ti:sapphire laser, repetition rate