

高功率激光器新型谐振变换型开关电源

彭晓原 李适民 韩晏生

(华中理工大学激光加工国家工程研究中心 武汉 430074)

摘要 采用新型谐振技术,成功地研制出激励高功率激光器的零电流开关谐振式开关电源,其工作频率为 50 kHz,功率转换效率为 82% 以上,输出电流为 0~ 80 mA 连续可调,放电电流波动小于 ± 1 mA。实现了功率管的低损耗工作,无需镇流电阻实现稳定放电,使起辉电流及电流的稳定度与放电管气体浓度和气压等无关。

关键词 高功率激光器,零电流开关,谐振式电源

1 引言

作为高功率 CO₂ 激光器核心之一的泵浦电源的性能和特点决定了整台激光设备的技术指标^[1]。围绕着减小激光加工设备的体积、提高工作效率、实现激光电源稳定可靠的工作、获得电源控制的高频脉冲输出,尤其使激励电源适应激光器这一特殊负载的要求等问题已成为目前激光设备制造领域发展的热点^[2]。作者结合功率电子技术的最新发展,从气体放电的负载特性出发,提出了合理的电源方案,并针对理论和实验研究的结果进行分析讨论。本文将针对实验电路和实验结果进行介绍和讨论。

2 电源电路结构

2.1 电路结构

由于我们研制的 1500 W 轴快流 CO₂ 激光器为 8 只放电管串联,因此可采用 8 台电源分别激励,每台电源的输出功率为 1800~ 2000 W。该电源分为开关调节控制部分和功率变换部分,功率变换部分采用半桥式零电流开关谐振变换器;开关调节控制部分包括脉冲发生电路、驱动电路、反馈电路和保护电路,电源电路结构如图 1 所示。谐振频率 $f_0 = 50$ kHz 的零电流开关准谐振变换器的谐振电路由 L_1, C_4 构成。在稳态时,分压电容 C_2, C_3 均等分配输入电压,变压器一次侧作为谐振电路的负载与谐振电感 L_1 串联,当功率开关管 BG₁, BG₂ 轮流导通时,变压器一次侧电流(i) 是交流量。当 BG₁, BG₂ 的其中之一导通时,变压器一次侧电流为直流量。

2.2 理论计算

为了说明谐振电路的特点,并且使理论分析结果应用于电路的研制和调试工作中,我们建立了理论计算模型,针对半桥式零电流开关谐振电源进行了计算仿真研究,得到了计算仿真波

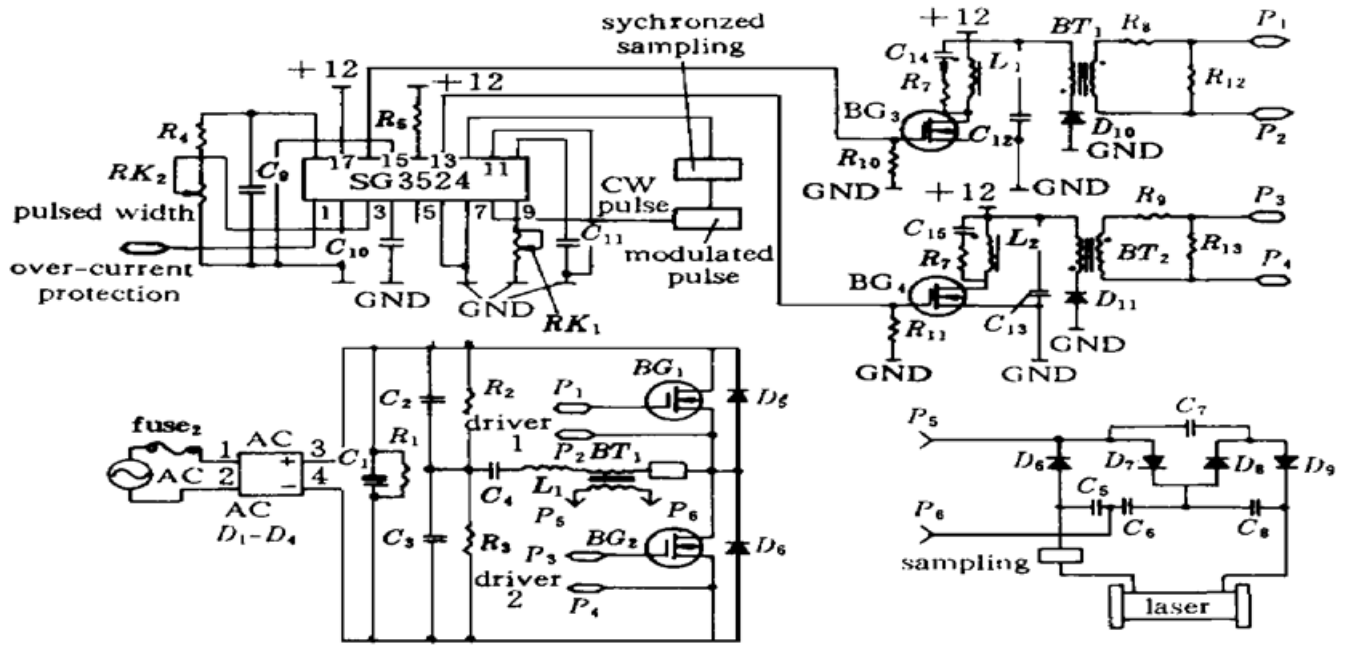


图 1 电源原理图

Fig. 1 Principle scheme of the power supply

形。仿真结果见图 2 (a), 图 3(a) 和图 4(a) 所示, 图 2(a) 为功率开关管的控制驱动波形 V_{GS} 和其两端的电压工作波形, 图 3(a) 为功率开关管 DS 两端的电压波形和流过功率管的电流波形, 图 4(a) 为谐振电容 C 两端的电压 V_c 和流过谐振电容的电流 i_c 的波形。

3 联机实验和结果讨论

联机实验在美国 Coherent 公司的 EFA51 型 1500 W 轴快流 CO_2 激光器上进行。该激光器的气压为 9487 Pa, 气体流速为 300 m/s, 放电管管长为 300 mm, 管内径为 17 mm。在稳定放电实验条件下的主要电参数是: 电源输入电压为直流 270 V, 放电电流为 70 mA, 放电电压为 14 kV。

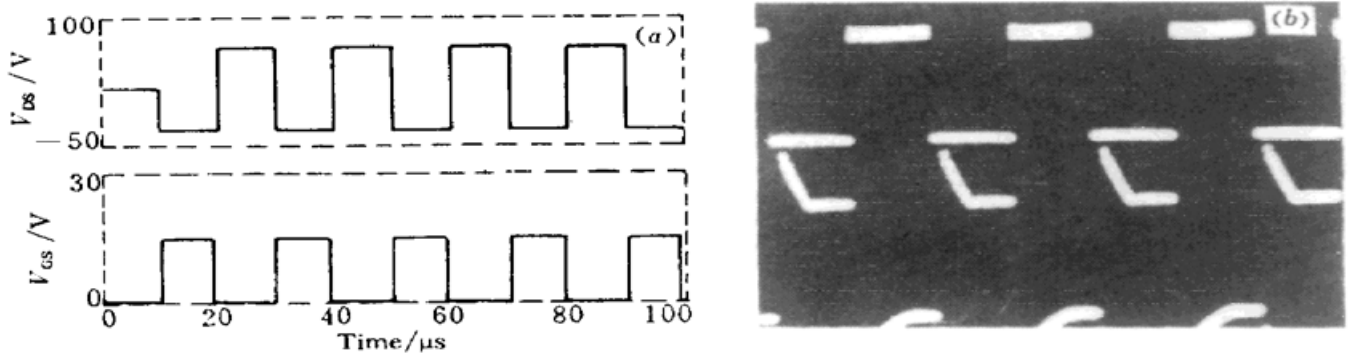


图 2 V_{GS} 和 V_{DS} 的波形

Fig. 2 Waveforms of V_{GS} and V_{DS}

$T: 5 \mu s/div; V_{GS}: 5 V/div; V_{DS}: 50 V/div$

图 2 (b) 为实验中 MOS 功率管栅极的驱动波形 V_{GS} 和其两端的电压波形 V_{DS} 与图 2(a) 的仿

真结果相一致。从图中可发现驱动波形中, 栅极波形前沿陡峭并带有过冲的上升沿, 利于功率管的迅速开启; 反向驱动瞬间边沿陡、幅值大, 利于减小功率管的关断存储和下降时间。

图 3(a) 和(b) 为功率管 BG_1 的 DS 两端电压波形和流过功率管的电流波形。谐振电路中的工作频率接近于谐振频率。从图中发现实验结果与仿真实论分析结果一致。在功率管由导通到截止和由截止到导通的瞬间, 流过功率管的电流为零, 消除了功率开关管的开关损耗, 提高了电源的功率转换效率。而且谐振电路的高次谐波被抑制, 对外电路的干扰减小。还有一个很重要的事实就是电压波形在截止瞬间没有过冲(本电路没有附加任何吸收回路), 功率管两端承受的最大反压就是电源的直流输入电压, 而没有关断时刻的尖峰电压。

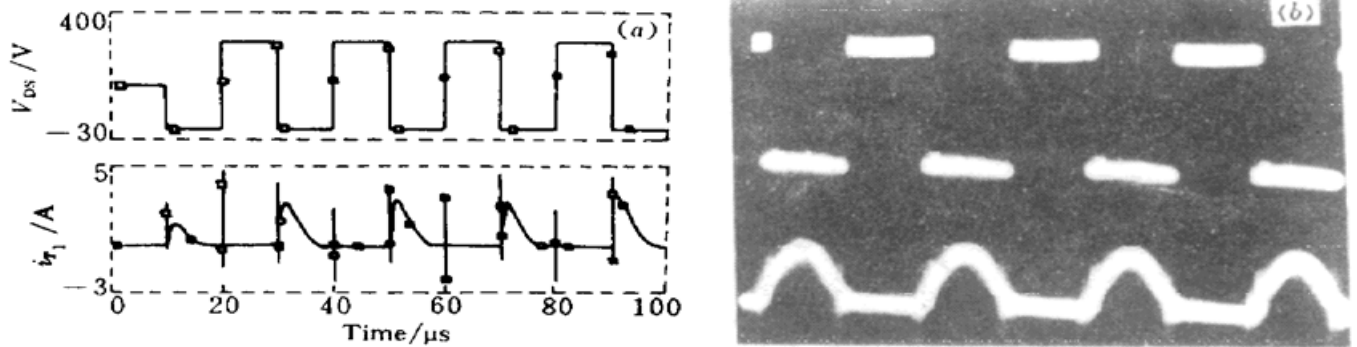


图 3 i_{r1} 和 V_{DS} 的波形

Fig. 3 Waveforms of i_{r1} and V_{DS}

$T: 5 \mu\text{s}/\text{div}; i_{r1}: 0.5 \text{ V}/\text{div}; V_{DS}: 50 \text{ V}/\text{div}$

图 4(b) 为谐振电容 C_4 两端的电压 V_c 和流过谐振电容的电流 i_c 的波形, 这与仿真波形图 4(a) 相对应。变压器的一次侧电流、电压波形类似于 V_c 和 i_c 的波形。谐振电源无多次谐波, 电磁干扰和射频干扰都小。实现了谐振的目的之一。

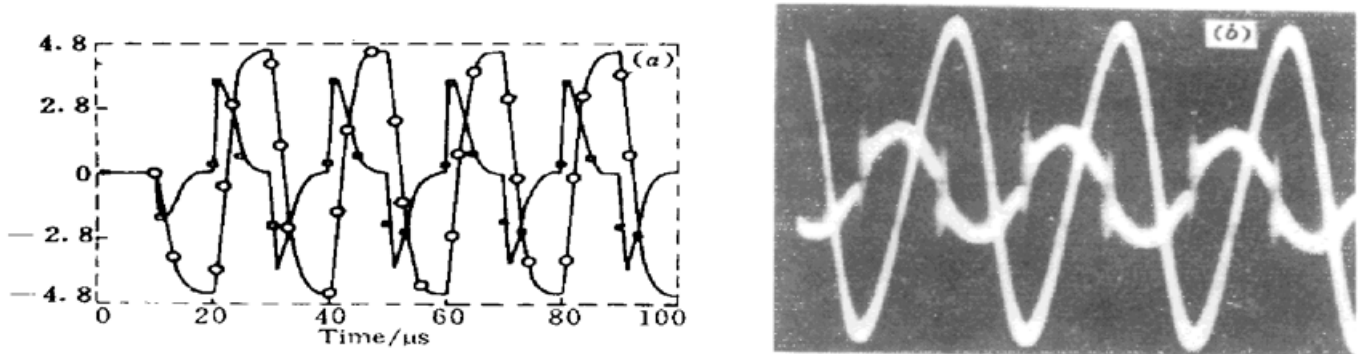


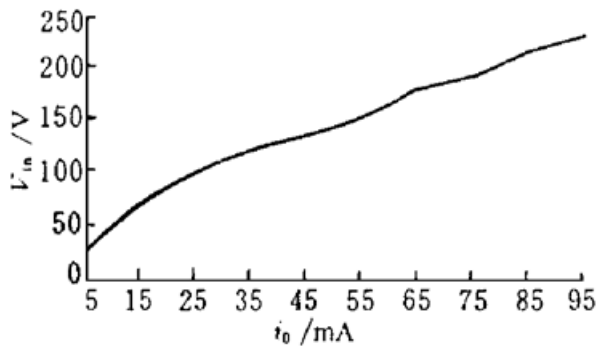
图 4 i_c 和 V_c 的波形

Fig. 4 Waveforms of i_c and V_c

$T: 5 \mu\text{s}/\text{div}; i_c: 5 \text{ V}/\text{div}; V_c: 50 \text{ V}/\text{div}$

图 5 为联机实验中得到的一系列数据绘制的 i_o-V_{in} 平面关系图, 激光管的激光输出功率与其放电电流相对应, 而在放电起辉后, 正常的放电情况下, 放电管两端的电压基本上维持不变。放电管的放电电流与输入电压基本上是线性关系, 说明了谐振变换器的电流源特性。图中, i_o 为激光管放电电流, V_{in} 为电源的直流输入电压。

另外, 在联机实验中, 当输入电压小于 20 V 时, 就能观察到激光管放电管起辉工作, 此时的维持电流小于 5 mA, 放电电流从零开始连续可调至 80 mA, 电流的波动小于 $\pm 1 \text{ mA}$ 。

图 5 i_o - V_{in} 的关系曲线Fig. 5 The i_o - V_{in} characteristic

为了说明本电源的功率转换效率,我们获得了表 1 的联机实验的有关数据。 P_{in} 为输入电功率, P_{out} 为输出电功率, η 为输入输出功率转换效率。

从表 1 可得到电源的总体功率转换效率为 82% 以上,说明谐振电源的功率转换效率高,热损耗小。联机实验连续工作 4 h,功率管的温升约为 5℃,证实了功率管的低损耗。

表 1 电源的功率转换效率

Table 1 The efficiency of the power supply

experiments	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_{in}/W	86	167	288	364	442	616	920	950	1455	1909
P_{out}/W	69	138	234	296	360	504	756	787.5	1213	1605
$\eta/\%$	80.2	82.6	81.1	81.4	81.4	81.8	82.1	82.8	83.4	84.1

参 考 文 献

- 1 Michael M. Walters. High-efficiency laser power conversion. *Laser Focus*, 1987, (4): 130
- 2 Peng Xiaoyuan, Li Shimin, Wu Heqing *et al.*. Power supplies of high-power CO₂ gas laser equipments and their current development. *Laser & Infrared* (激光与红外), 1996, 26(3): 203~ 205

A Novel Resonant Switching Mode Power Supply for High-power Lasers

Peng Xiaoyuan Li Shimin Han Yansheng

(Huanzhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract The prototype of ZCS-SRC (zero current switching-series resonant converter) switching mode power supply for high-power lasers is developed successfully based on a novel resonant technique. Compared with the conventional and PWM hard-switching power supplies, the outstanding technical indexes of the ZCS-SRC which holds a leading position in China are as follows: operating frequency is 50 kHz, efficiency is 82%, output current is 0~ 80 mA, and the fluctuation of current is $\leq \pm 1$ mA. The power supply for the high-power gas laser provides a steady discharge current without the need of any amperites. The discharge current can be adjusted from zero and is independent on gas density and gas pressure.

Key words high-power laser, zero-current-switching, resonant power supply