

高功率 CO₂ 激光器谐振开关变换型电源的计算仿真

彭晓原 李适民 韩晏生 曹怀宇 樊文泉 左都罗 周新军

(华中理工大学激光加工国家工程研究中心, 武汉, 430074)

摘要: 研究了高功率 CO₂ 激光器用零电流开关准谐振开关电源, 讨论了电源的工作原理和电路结构, 进行了激光电源的计算仿真研究, 得到了谐振电路的工作波形, 通过谐振开关方式与 PWM 硬开关方式的比较, 论述了零电流开关准谐振变换器的技术特点及优势。

关键词: 轴快流 CO₂ 激光器 零电流开关准谐振变换器 计算仿真

Computer simulating of resonant switching power supply for high power CO₂ gas laser

Peng Xiaoyuan, Li Shimin, Han Yansheng, Cao Huaiyu,

Fan Wenquan, Zuo Duluo, Zhou Xinjun

(National Engineering Research Center for Laser Processing, HUST, Wuhan, 430074)

Abstract: The zero-current-switching quasi-resonant converter for high power Fast-Axis-Flow CO₂ gas laser is studied in this paper. The operating principle and circuit structure of the power supply are discussed. The resonant converter is simulated by computer and the operating waveforms are obtained. Compared with the PWM hard-switching converter, the outstanding characteristics of the ZCS QR converter are presented. The resonant converter is especially attraction for high frequency, high power application.

Key words: high power FAF CO₂ laser zero-current-switching quasi-resonant-converter computer simulation

引 言

高功率电源技术是高功率轴快流 CO₂ 激光器的关键单元技术, 其性能和指标决定着整台激光设备的技术水平。随着激光加工技术应用范围的扩展, 以及在先进制造加工领域中的重要地位和广阔的前景, 使得提高激光器的可控性、长期运行的稳定性和可靠性以及高效率成为当前发展的核心, 当然也就对激光器的激励电源提出了越来越高的要求, 可以归结为五个方面: (1) 高功率 CO₂ 激光器的放电特性属于冷阴极辉光放电, 必须使气体激光管的空载端电压达到击穿电压(15~20kV); (2) 激光管负载呈负阻抗特性, 要求电源的外特性与之相匹配; (3) 为了满足激光输出功率的连续可调, 激励电源的电流、电压应有较宽的调节范围; (4) 高功率激光器与控制系统和加工机床组成激光加工设备, 激光电源产生的电磁干扰(EMI)将影响整个系统的可靠性; (5) 为了增强激光器的输出功能, 采取对开关电源进行调制, 获得脉冲激光输出, 因此, 开关电源的工作频率直接决定了调制脉冲频率的高低。此外, 当然还要求电源功耗低、效率高、体积小、适应性强。

近几年, 功率电子技术的迅速发展为高功率激光电源开辟了广阔的前景, 我们采用零电流开关准谐振变换技术实现高压输出、高频、低功耗、电磁干扰小、适应性强的激光器激励电源。通过计算仿真研究了零电流开关准谐振电路, 比较了这种软开关方式与 PWM 硬开关方式, 提

出了软开关谐振电源是激光电源发展的方向^[1]。

一、CO₂ 激光器激励电源的电路结构

针对“八五”国家重点科技攻关项目“1500W 轴快流 CO₂ 激光器”的激励电源,我们采用半桥式零电流开关准谐振变换器(HB ZCS-QRC)作为功率变换部分,专用开关电源集成电路 SG3524 作为脉冲调制和功率控制部分,采用四倍压整流电路与激光器的负载特性相匹配。激光电源工作时的结构框图如图 1 所示。

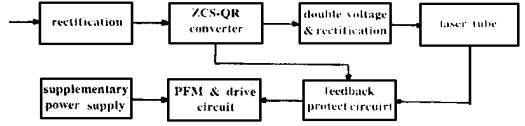


Fig. 1 Block diagram of switch mode power supply for CO₂ laser

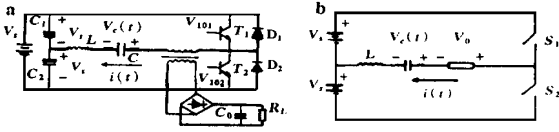


Fig. 2 Half-bridge ZCS-QR converter

a—topology diagram of HB ZCS-QRC b—equivalent circuit with ideal components

谐振频率 $f_0 = 100\text{kHz}$ 的零电流开关准谐振变换器的谐振电路由 L_R, C_R 构成,变压器一次侧作为谐振电路的负载与谐振电感 L_R 串联,当功率开关管 T_1, T_2 轮流导通时,变压器一次侧电流 I_R 是交流量。当 T_1, T_2 的其中之一导通时,变压器一次侧电流为直流量 I_R 。

半桥式零电流开关准谐振变换器的拓扑结构如图 2a 所示。这里我们先作如下假设: (1) 所有开关元件均是理想的; (2) 在稳态时,分压电容 C_1, C_2 均等分配输入电压; (3) 开关损耗通过集总电阻计入谐振电阻。图 2a 的等效电路如图 2b 所示。

二、计算仿真分析

1. 谐振电路的数学模型

在图 2b 中,有两个电压源,输入电压 $V_i(t)$, 它在 $-V_s$ 和 $+V_s$ 之间轮流变化,输出电压 $V_0(t)$, 它在 $-V_0$ 和 $+V_0$ 之间轮流变化, $V_0(t)$ 比 $V_i(t)$ 延迟 t_1 时间。采用图 3a 的计算等效电路分析,引入 $V(t), V(t) = V_i(t) + V_0(t)$ 。如图 3b 中所示,我们通过一个变换函数 $G(S)$ 建立 $V(t)$ 与 $V_C(t)$ 之间的关系^[2], 即为(1)式。这里, $V_C(t)$ 为谐振电容两端的电压。

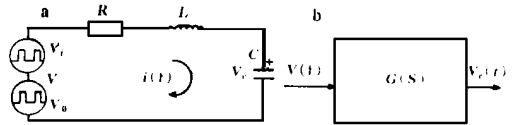


Fig. 3 Diagrams of mathematical analysis

a—circuit diagram of the model b—the transfer of relating $V(t)$ and $V_C(t)$

$$G(S) = L[V_C(t)/V(t)] = [1/(LC)]/[S^2 + (R/L)S + 1/(LC)] \quad (1)$$

式中, L 为 Laplace Operator。

$V_i(t)$ 和 $V_0(t)$ 用 Fourier 级数形式表示为:

$$V_i(t) = \sum_{n=-\infty, \text{odd}}^{\infty} \frac{2V_s}{jn\pi} e^{jn\omega_s t} = \sum_{n=1; \text{odd}}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \sin n\omega_s t \quad (2)$$

$$V_0(t) = \sum_{n=-\infty, \text{odd}}^{\infty} \frac{2V_0}{jn\pi} e^{jn\omega_s(t-t_1)} = \sum_{n=1; \text{odd}}^{\infty} \frac{4V_0}{n\pi} \sin n\omega_s(t-t_1) \quad (3)$$

式中, $\omega_s = 2\pi/(2T_s)$, 为开关角频率。

电容两端的电压 $V_C(t)$ 由图 3b 的模型得出:

$$V_C(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1, \text{odd}}^{\infty} \left\{ \frac{1}{n} \operatorname{Im}[H(t_1, jn\omega_s)] e^{jn\omega_s t} \right\} = \sum_{n=1, \text{odd}}^{\infty} \left[\frac{4}{n\pi} |H(t_1, jn\omega_s)| \sin(n\omega_s t + \theta_n) \right] \quad (4)$$

式中, θ_n 是与 $H(t_1, jn\omega_s)$ 有关的第 n 次谐波的相位角。

$$H(t_1, jn\omega_s) = V_s G(jn\omega_s) + V_0 G(jn\omega_s) e^{-jn\omega_s t_1} \quad (5)$$

通过对(4), (5) 两式微分, 得到谐振电流的表达式:

$$i(t) = C \frac{dV_C}{dt} = \frac{4\omega_s C}{\pi} \sum_{n=1, \text{odd}}^{\infty} [|H(t_1, jn\omega_s)| \cos(n\omega_s t + \theta_n)] \quad (6)$$

如果 ω_s 接近于 ω_0 , 则在计算时可只取级数的前两项, 谐振频率和开关频率的比值范围取为:

$$0.5 \leq f_s/f_0 \leq 1 \quad (7)$$

通过建立的数学模型得到了(1)~(6)式, 下面进行计算机模拟分析谐振电源的交流过程和电流过零开关特性。

2. 计算仿真分析

仿真结果如图 4a, 4b 所示。

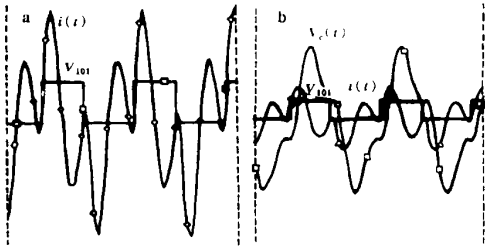


Fig. 4 Simulating waveforms of resonant converter
a—waveforms of V_{101} , $i(t)$ b—waveforms of $V_C(t)$, $V_{101}(t)$, $i(t)$

图 5a 所示为谐振电流 $i(t)$ 的波形, 图 5b 所示为功率管 T_1 的控制信号 V_{101} (T_2 的控制信号是 V_{102}), $i(t)$, $V_C(t)$ 的波形。当功率开关管 T_1 导通 (T_2 截止) 时, V_C 的初始

值为零, 然后进行充电。由于谐振电路的作用, $V_C(t)$, $i(t)$ 均为正弦波形状。当 $i(t)$ 反向时, 电流从 C 经 L 返回到电源, 变压器一次侧继续从谐振电路吸收电流提供给负载。当反向电流波形在其负半周的幅值变化时 (见图中 t_2 时刻) 关断了功率管 T_1 , 结束 f_s 开关频率下的这个正半周期, 此时, 开关电路处于零电流开关状态, 由于功率开关管的电流、电压波形无重叠现象, 因此, 开关损耗在理论上等于零, 不需要大的散热器件。同时, 谐振电源抑制了高次谐波, 电磁干扰 (EMI) 很小, 不需要缓冲吸收回路, 克服了 PWM 硬开关电路在高功率应用中不可避免的缺点, 是当前激光电源发展的方向。

3. 实验结果

在轴快流 CO₂ 激光器中采用谐振变换型开关电源功耗小、效率高, 功率开关管承受的电流、电压应力小, 工作稳定可靠, 而且电磁干扰 (EMI) 小。图 5 所示为实验波形。从图中可以看出, 总是在电流近似为零时开关功率管。因此功率管的开关损耗近似为零, 实现了谐振电路的目的。

比较计算仿真分析结果和实验波形, 理论和实验是一致的。

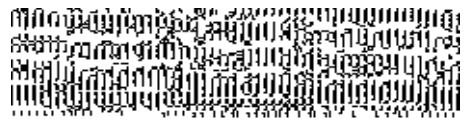


Fig. 5 Operating waveforms of resonant converter for CO₂ laser
a—waveforms of $i(t)$, $V_C(t)$
b—waveforms of V_{101} , $i(t)$

四、结 束 语

传统的 PWM 硬开关方式概括起来有四个难以克服的缺点^[3]: (1) 热学限制, 功率开关器件将承受很大的瞬时功耗, 导致结温升高; (2) 二次击穿限制, 开关导通和截止时的尖峰电流、电压易造成二次击穿; (3) 电磁干扰限制, di/dt , dV/dt 产生的 EMI; (4) 缓冲电路的限制, 为减小功率开关管承受的电流电压应力加入吸收缓冲电路。而谐振电源的输出近似为正弦波,

图像对比度增强的光学指纹实时识别系统*

陈鹤鸣^a 刘 昊^b 张爽斌^a

(^a 南京邮电学院, 南京, 210003) (^b 武汉邮电科学研究院系统部, 武汉, 430047)

摘要: 提出采用光学高通滤波器和直角三棱镜组成实时指纹输入装置, 对 F. T. Gamble 等人提出的实时指纹输入装置作出了重大改进, 大大增强了实时指纹输入图像的对比度。实验结果表明, 采用该装置组成的实时指纹识别系统, 具有识别速度快、精度高和装置比较简单等优点, 有较高的实用价值。

关键词: 高通滤波器 指纹识别

Real-time fingerprint verification system with pattern contrast enhancement

Chen Heming^a, Liu Hao^b, Zhang Shuangbin^a

(^aNanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, 210003)

(^bWuhan Institute of Posts and Telecommunications, Wuhan, 430047)

Abstract: In this paper, we present a new real-time input arrangement which combines the 90° prism and the high pass filter. The contrast of the fingerprint pattern introduced by the presented input arrangement is far higher than that introduced by the prism. The real-time fingerprint verification system with proposed input arrangement is demonstrated, and the experimental results show that it has a lower false-match rate and it is simple, practical and inexpensive.

Key words: high pass filter fingerprint verification

* 江苏省科委资助。

电磁干扰小, 零电流开关方式使得功率管开关损耗近似为零, 可以明显提高激光电源的工作频率, 以获得高的调制脉冲输出。因此, 谐振变换技术应用于高功率轴快流 CO₂ 激光器中具有独特的优势, 代表了高功率激光电源发展的方向。通过零电流开关准谐振变换器的模型建立和计算仿真分析可以为实验提供可靠的技术参数和理论波形。

参 考 文 献

- 1 彭晓原, 李适民. 激光与红外, 1996; 26(3): 203~ 205
- 2 Mathew A V. IEEE Proceedings, 1989; 136(2): 99~ 104
- 3 王 聪. 软性开关逆变电路及其应用. 北京: 机械工业出版社, 1993

作者简介: 彭晓原, 男, 1968 年出生。硕士研究生。现在华中理工大学激光加工国家工程研究中心, 主要从事激光技术和功率电子学方面的研究工作。

李适民, 男, 1938 年出生。博士生导师, 教授。主要从事高功率激光技术和激光加工等方面的研究工作。