

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0341-03

# 一种新型中小功率射频激励 CO<sub>2</sub> 激光器电源

王晓东<sup>1</sup>, 汪盛烈<sup>1</sup>, 赵学民<sup>1</sup>, 王新兵<sup>1</sup>, 何云贵<sup>1</sup>, 李敦明<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 华中科技大学激光加工国家工程研究中心, 湖北 武汉 430074; <sup>2</sup> 河南羚锐制药股份有限公司, 河南 新县 465550)

**摘要** 分析了中小功率射频激励 CO<sub>2</sub> 激光器电源的结构和各模块功能。然后以 25 W 射频激励 CO<sub>2</sub> 激光器电源为例, 给出了采用新型高频、大功率晶体管放大器模块的新型电源设计方案。同时, 通过温度传感器获取激光放电管温度, 通过反馈回路获取电源系统的电流、电压, 对整个电源系统提供过热、过流、过压保护。然后分析了电源与激光管的阻抗匹配以及电源的调制问题。按要求设计制造的电源, 体积小、成本低、调试方便、运行稳定。

**关键词** 激光技术; CO<sub>2</sub> 激光器; 射频激励; 射频电源

中图分类号 TN245

文献标识码 A

## A New Type of RF Supply for Medium Power RF CO<sub>2</sub> Laser

WANG Xiao-dong, WANG Sheng-lie, ZHAO Xue-min, WANG Xin-bing, HE Yun-gui

(National Engineering Research Center of Laser Processing, Huazhong University of Science & Technology, Hubei Wuhan 430074, China)

LI Dun-ming

(Henan Lingrui Pharmaceutical Co. Ltd, Xinxian, Henan 465550, China)

**Abstract** As the core technology, a new type of RF supply was developed and produced successfully. The high frequency supply transistor was used in the design, which made the new RF supply lower cost and more excellent performance. Further more, the impedance match network and supply modulation were discussed.

**Key words** laser technique; CO<sub>2</sub> laser; RF Excited; RF supply

### 1 引言

射频电源是射频激励 CO<sub>2</sub> 激光器的重要组成部分。随着高频电子线路制造技术和高频、大功率单元器件的发展, 射频激励 CO<sub>2</sub> 激光器电源技术也不断进步。先后出现了采用功率合成器、推挽功率放大器以及射频大功率晶体管放大电路为主体的射频激励 CO<sub>2</sub> 激光器激励源。

以 25 W 射频激励 CO<sub>2</sub> 激光器电源设计为例, 分析中小功率射频激励 CO<sub>2</sub> 激光器电源的结构及控制方法, 提出了一种新型中小功率射频激励 CO<sub>2</sub> 激光器电源方案。

### 2 电源结构

射频 CO<sub>2</sub> 激光器电源由 5 个部分组成, 其电路框图如图 1 所示。直流电源通过输入回路为激光器电源供电。输入回路由抗电磁干扰(EMI)网络和功率开关器件组成, 抗干扰网络抑制各种电磁干扰, 功率开关器件接受电源控制模块的控制信号, 实现电

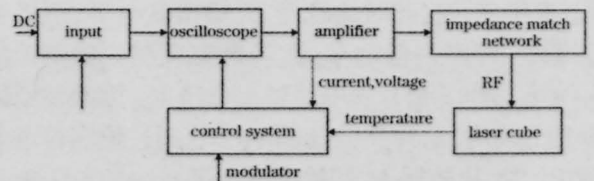


图 1 射频 CO<sub>2</sub> 激光器电源电路框图

Fig.1 Diagram of RF supply circuit

源的自动开通、关断。振荡回路产生射频激励信号, 并接受电源控制模块的脉宽调制(PWM)波调制, 调制后的射频激励信号输入功率放大器, 放大后输出符合要求功率的射频能量, 最后由阻抗匹配网络输入激光放电管电极。电源控制模块通过温度传感器获取激光放电管温度, 并通过反馈回路获取电源系统的电流、电压, 对整个电源系统提供过流、过压、过热保护。

设计电路即采用功率晶体管放大电路, 电路原理图如图 2 所示。

直流电源通过由抗电磁干扰(EMI)网络和功率

作者简介: 王晓东(1977-), 男, 华中科技大学硕士研究生。主要从事射频激励 CO<sub>2</sub> 激光器及激光先进制造技术研究。

Email: xdwang0@tom.com

开关器件组成的输入回路为电源供电,抗电磁干扰网络能削弱共模噪声,额定噪声和全频带噪声。

功率开关器件  $Q_1, Q_2$  接受电源控制模块的控制信号,实现电源的自动开通、关断。功率晶体管的最大工作电流,以及导通、关断时间决定电源开通和关断的性能。在高频工作状态下,高频扼流线圈  $Z_0$  通

常更换为  $1/4$  波长传输线,其作为阻抗匹配,使一个实数负载阻抗和一个所希望的实数输入阻抗匹配,由功率晶体管  $Q_5$  构成的放大回路将射频信号放大。放大后的射频能量经过阻抗匹配网络耦合进放电管电极。

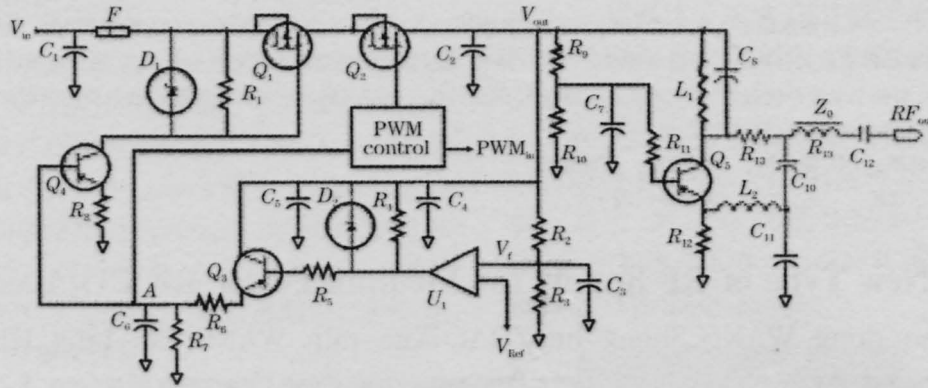


图2 射频电源电路图  
Fig.2 RF supply circuit

由于电源工作在低压大电流状态,因此开关管、调制管和射频功放管发热都较严重,而且射频工作频率下,电磁干扰大,难以消除,更易引起连锁故障发生。针对上述故障出现的原因,下面讨论过压保护电路与负载短路保护电路<sup>[1]</sup>。

图2中,当电路正常工作时,输出取样信号  $V_f < V_{ref}$  [参考电位],此时比较器  $U_1$  输出高电平,三极管  $Q_3$  截止,A点为低电平, $Q_4$  与脉宽调制中输出锁定环节不动作。当开关电路输出电压  $V_{out}$  因某种原因异常升高时,取样反馈电压  $V_f$  一旦超过设定参考电压  $V_{ref}$  时,比较器  $U_1$  即输出低电平,此时  $Q_3$  导通,A点为高电平,此信号一路去锁定脉宽调制信号源,使开关管  $Q_2$  因失去信号而截止,另一路使开关管  $Q_4$  因失去信号而截止,此外,瞬间大电流流过保险丝  $F$ ,使其熔断,从而实现对面元器件的保护。通过合理选择  $R_5, R_6, R_7, C_6$  及  $Q_3, Q_4$  的参数,可使该保护电路响应时间限定在约  $5 \mu s$  以内。一般来说,在这样短的时间内,因为这些元件都有承受过压的能力,不会对负载元器件造成致命危害。负载突然出现短路故障时,也由该电路来实现保护。电路正常工作时, $C_4$  充电至  $V_{out}$ ,一旦负载突然出现短路, $Q_3$  在  $C_4$  上电压的作用下瞬间导通,A点输出高电平,去锁定脉宽调制信号源并触发  $Q_4$ ,同样达到保护目的。实际的电源控制模块用单片机实现各种信号的收集,并由内部程序控制,在不同信号输入时作出不同的保护动作。

### 3 阻抗匹配

为了使射频源与激光放电气体的阻抗相匹配,采用阻抗匹配网络。匹配网络有两方面的作用:一是保护电源;二是使放电装置获得最佳功耗而把除放电之外的其他功耗降到最小值。一般的匹配网络是一种共轭匹配,其目的在于使射频电源的输出有功功率达到最大值<sup>[2]</sup>。

对激光器放电管而言,其阻抗与腔体结构、气压、放电电压、放电电流均有很大的关系。对于毫米级电极间距的射频激励  $CO_2$  激光器,其放电管等效阻抗一般可表示为电极极间电容和放电时等离子体复阻抗的并联。没有放电时,仅有电极极间电容;放电产生后,要考虑上述两项阻抗的并联。射频放电的等效阻抗可表示为<sup>[3]</sup>:

$$\begin{cases} Z_L = R + jI \\ R = \frac{Hm}{Se^2 n_e} \left( \nu_m + 2 \frac{\nu}{H} \right) \\ I = \frac{4\pi(A_1 + A_2)}{S\omega} - \frac{Hm\omega}{Se^2 n_e} \end{cases} \quad (1)$$

单位为高斯制,  $\nu_m$  为碰撞频率 ( $3 \times 10^9 \sim 3 \times 10^{11}$  Hz),  $H$  为电极间距 (通常  $1 \sim 5$  mm),  $\nu$  为电子平均漂移速度 ( $10^5 \sim 10^8$  cm/s),  $A_1, A_2$  分别为鞘层厚度 (通常  $< 0.1$  cm),  $s$  为放电面积 ( $cm^2$ ),  $n_e$  为电子数密度 (一般  $10^8 \sim 10^{11}$   $cm^{-3}$ )。

射频气体放电管可以等效为一电容性负载,射频功率电源的内阻一般为  $50 \Omega$ ,因此,实现共轭匹

配的电网络为电感性。显然,理想的共轭匹配网络是应该随各个电参量(电源频率,负载阻抗)的变化而实时改变自身的复阻抗值,以保证在每一时刻都达到共轭匹配。但由于技术上的原因,实现理想的共轭匹配网络非常困难,有时也不必要<sup>[4]</sup>。目前使用的匹配网络的复阻抗值是固定的、不随时间变化,它只取决于射频电源的频率。

#### 4 射频电源的脉宽调制波调制

图1中,电源控制模块的一个主要功能是接受外部脉宽调制信号,对射频驱动信号进行调制,在脉宽调制信号的高电平时间内,射频工作电压被允许输出到放电管;在脉宽调制信号的低电平时间内,射频工作电压被禁止输出到放电管,从而控制了通过放电电极耦合进入放电管内的电功率,实现了对输出光功率的控制<sup>[5]</sup>。图3至图6显示了用频率为20 kHz,不同

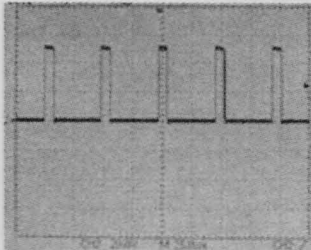


图3 占空比10%的脉宽调制控制波  
Fig.3 10 percent duty circle PWM

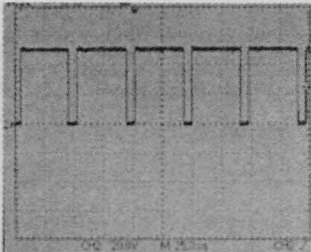


图4 占空比95%的脉宽调制控制波  
Fig.4 95 percent duty circle PWM

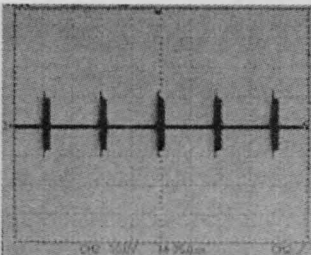


图5 在图3脉宽调制波调制下的射频激励波形  
Fig.5 RF-excited wave modulated by 10 percent duty circle PWM

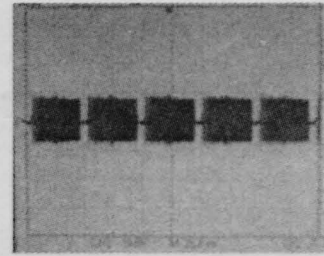


图6 在图4脉宽调制波调制下的射频激励波形  
Fig.5 RF-excited wave modulated by 95 percent duty circle PWM

占空比的脉宽调制波对所设计电源进行调制时的波形图。由图可以看出,射频激励信号对外部脉宽调制调制波响应迅速,从而实现了对激光器输出功率的控制。

#### 5 实验结果及总结

将本设计电源用于放电通道横截面为4.8 mm×4.8 mm,管长300 mm的准波导放电腔。全反镜采用曲率半径为4 m的硅凹面镜,输出镜采用透过率为3%的ZnSe平面镜,通光直径3 mm,气压50 torr,使用气体比例为:He:CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:Xe=3.5:1:1:0.3。按以上参量构成的实验环境,电源注入功率为220 W,产生25 W激光输出。

#### 参考文献

- 1 Wang Youqing, Guo Zhenhua, Lu Yimin *et al.* Protection circuit for a portable RF excited CO<sub>2</sub> Laser[J]. *Laser Technology*, 1995, 19(5): 307-308  
王又青,郭振华,卢益民等.小型 RFCO<sub>2</sub> 激光器的电路保护[J]. 激光技术, 1995, 19(5): 307-308
- 2 Chen Shenghong, Mao Yuzhou, Zhang Gan *et al.* The Experimental Investigation on Impedance Matching and Modulation of RF-excited CO<sub>2</sub> Laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 1997, 24(9): 787-788  
陈声鸿,毛玉周,张刚等.射频激励 CO<sub>2</sub> 激光器的阻抗匹配及调制的实验研究[J]. 中国激光, 1997, 24(9): 787-788
- 3 M. N. Shneider, N. A. Yatsenko. Radio-Frequency Capacitive Discharges[M]. Boca Raton: CRC, 1995
- 4 Jackson P. E. Abramski, K. M. Hall, D. R. Automatic impedance matching and opto-Hertzian effect in RF excited CO<sub>2</sub> Waveguide Lasers [J]. *Appl. Phys. B: Photophysics and Laser Chemistry*, 1988, 47(2): 149-157
- 5 S. Messaoud, Guo Zhenhua, Xu Desheng. Power unit controller for RF excited CO<sub>2</sub> Laser[J]. *Laser Technology*, 1999, 23(3): 156-158  
S. 麦哨德,郭振华,许德胜. RF 激励 CO<sub>2</sub> 激光器功率控制器[J]. 激光技术, 1999, 23(3): 156-158