

# 射频CO<sub>2</sub>波导激光器电源设计与调试

滕学顺

(天津光电技术研究所)

**摘要:** 本文介绍小型全固体电路RF CO<sub>2</sub>波导激光器电源的设计和调试方法。该电源连续波工作时,工作频率 $f=120\text{MHz}$ ,输出最大连续功率 $W=160\text{W}$ ,脉冲工作时,调制频率 $f_m=0\sim 10\text{kHz}$ 的方波连续可调,占空比连续可调。

The design and adjustment of RF CO<sub>2</sub> waveguide laser power supply

Teng Xueshun

(Tianjin Institute of Optoelectronic Technology)

**Abstract:** The design and adjustment of a miniaturized all solid-state circuit RF CO<sub>2</sub> waveguide laser power supply is discussed in detail. Maximal output power of the power supply is 160 W, with frequency of 120 MHz in continuous wave mode and modulated frequency is 0 to 10 kHz, with rectangular wave width continually adjustable.

## 一、概 述

RF CO<sub>2</sub>波导激光器近年来在美、苏、英、加拿大、西德、日本等国引起了很大重视,发展很快。民用产品已由医用 $10.6\mu\text{m}$ 波长激光输出功率的25W扩展到更大输出功率的工业应用。现在最高连续输出与脉冲输出功率皆达到5000W<sup>[1]</sup>。军用最佳小型化有:美国休斯航空公司产品用于导弹驾束制导和目标指示器的4903型。激光连续输出功率4W,全重0.6kg,直流电源47W。每台1万美元<sup>[2]</sup>。相应我国近年来在这方面的研究水平也在迅速提高。本文介绍一种全固体电路射频CO<sub>2</sub>波导激光器电源的设计与调试方法。有关电源的设计要求及激光器联合调试方法过去已有介绍<sup>[3]</sup>。

本电源由三部分组成:1.信号源;2.调制器;3.放大器。其原理框图如图1所示。

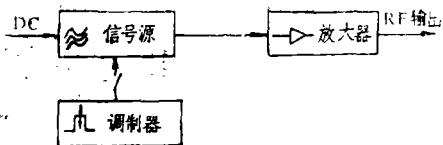


图1 RF CO<sub>2</sub>波导激光器电源原理框图

## 二、信号源

信号源的作用是产生初始信号，核心是晶体振荡器。信号源的技术要求是：工作频率  $f = 120\text{MHz}$ 。输出功率  $W = 1\text{mW}$ ，总频差  $\Delta f/f = \pm 5 \times 10^{-5}$ 。为此该电路可由三部分组成，即：晶体振荡器、放大器与射极跟随器，电路如图2所示。

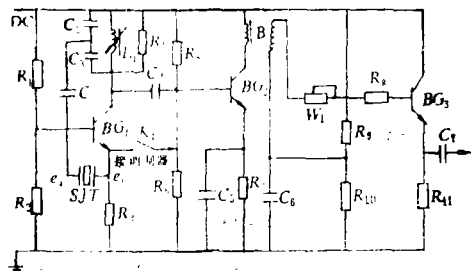


图2 信号源电路原理图

石英晶体的  $Q$  值范围是 10000 至几兆，陶瓷谐振器的  $Q$  值可达几千，因而频率稳定性很高。目前在射频电路中多采用串联晶体振荡电路。一般 20MHz 以下可采用基频振荡晶体，20到60MHz采用三次泛音晶体，60到125MHz采用五次泛音晶体。再高次振荡多采用倍频技术。

现将图2电路主要元器件作用简单说明如下：由  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $S1T$ 、 $L_1$  及  $BC_{107}$  组成串联型晶体振荡电路。串联电路中，石英晶体谐振器的作用，类似窄的带通滤波器，像个电阻提供反馈途径。

激励功率：

$$W = \frac{(E_2 - E_1)^2}{R} \quad (1)$$

式中， $R$  是晶体的等效电阻； $E_1$ 、 $E_2$  分别为  $e_1$ 、 $e_2$  的有效值。

工作频率调  $L_1$ ，输出功率幅度调  $W_1$ 。

## 三、调制器

激光电源的调制是为了将晶振产生的连续RF波转化成间断的具有矩形包络外形的组合脉冲串。完成这个任务的电路就叫调制器。

调制器的技术要求是：1. 调制频率  $f_m = 0 \sim 10\text{kHz}$  连续可调；2. 调制度 100%；3. 脉冲宽度连续可调；4. 输出功率幅度连续可调；5. 最大输出电压 12V。

调制器电路我们采用S类放大器常用的脉宽调制器。它是用一个比较器作为零交检波器，产生脉宽调制信号。它由三角波发生器  $IC_1$  与窗口比较器  $IC_2$  组成。电路原理图如图3所示。

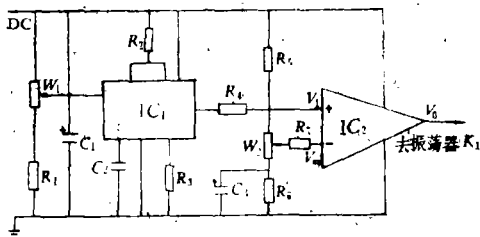


图3 调制器电路原理图

调制器的工作过程是：将图2中的开关  $K_1$  接通图3调制器。调制器的  $IC_1$  输出三角波，移动电位器  $W_1$ ，其频率在  $0 \sim 10\text{kHz}$  范围变动。然后由  $IC_2$  输出可变脉宽方波，调电位器  $W_2$  即可变更脉冲宽度。它可强迫振荡电路起振与停振，借以得到间断的矩形组合振荡脉冲串，完成调制工作。

脉宽调制的原理是：由图3可知， $IC_1$  输

出的三角波 $V_1$ 与可变电平 $V_m$ 一齐加到窗口比较器 $IC_2$ 输入端。三角波 $V_1$ 加于同相端, 可变电平 $V_m$ 加于反相端。窗口门限于 $V_1 = V_m$ 处, 当 $V_1 < V_m$ 时,  $V_0$ 为负。当 $V_1 > V_m$ 时,  $V_0$ 为正。在 $V_m$ 为不同值时, 三角波 $V_1$ 的一个周期里, 小于和大于 $V_m$ 的两部分所得出的时间比例是不同的。于是, 窗口比较器 $IC_2$ 输出脉冲宽度将随 $V_m$ 之值变化而变化。设 $T$ 为周期,  $T_0$ 为输出脉冲的 $V_0$ 为负极性电平持续期。则当 $V_m$ 电平越高时, 输出脉冲 $V_0$ 的负极性电平持续期 $T_0$ 愈长。当 $V_m \rightarrow V_{1pp}/2$ 时,  $T_0 \rightarrow T$ 。当 $V_m \rightarrow -V_{1pp}/2$ 时,  $T_0 \rightarrow 0$ , 由波形图可得出:

$$T_0 = \frac{T(V_m + V_{1pp}/2)}{V_{1pp}} \quad (2)$$

式中,  $V_{1pp}$ 是三角波的峰-峰电压幅值。由(2)式可知, 调制电平 $V_m$ 幅度不得超过 $\pm V_{1pp}/2$ 。超过此限度, 输出脉冲宽度将不再随调制电平 $V_m$ 变化。

#### 四、放大器

放大器的任务是将信号源的信号放大到要求的输出功率。放大器的主要技术指标是: 正常功率增益 $G_p = 52\text{dB}$ , 增益偏差:  $\pm 1.5\text{dB}$ , 输入阻抗:  $50\ \Omega$ , 最大 $\text{VSWR} = 2.5$ , 输出阻抗:  $50\ \Omega$ 最大 $\text{VSWR} = 1.2$ 。射频大信号放大器设计是按工作状态选择晶体管, 再以阻抗匹配为中心进行设计与调试。该放大器由两部分组成: 一是推动级由4级组成, 功率增益 $G_p = 43\text{dB}$ , 另一是功率放大级即功率合成级。功率增益 $G_p = 9\text{dB}$ , 本节只介绍推动末级, 示于图4。

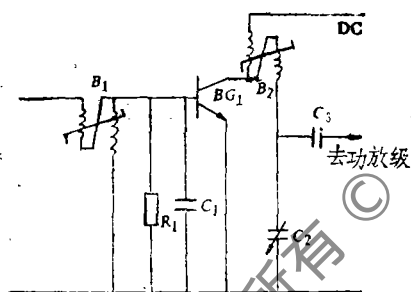


图4 放大器推动级

图4中电路器件主要作用说明如下:  $B_1$ 、 $B_2$ 为4:1 阻抗变换传输线变压器。用无磁心 $d = 1.2\text{mm}$ 高强度漆包线并行绞合绕成。 $R_1$ 为满足负载条件的无感电阻。 $C_1$ 是调节输入端匹配, 中和输入导纳中的电纳部分,  $C_2$ 是电源滤波电容。

#### 五、功率合成器

末级功放采用功率合成方式, 它由两只RF大功率晶体管合成输出。合成的方法是先用功率分配器将推动末级输出功率一分为二。然后, 通过两只RF功率放大管分别放大输入功率。再由功率合成器合成。功率分配器和功率合成器都是由3dB单节耦合传输线 $90^\circ$ 定向耦合器, 采用重叠耦合带定向耦合方式组成。电路原理图如图5所示。

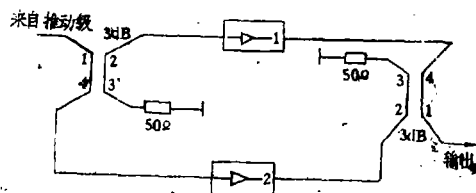


图5 功率合成器电路原理图

#### 六、结束语

本文结束前, 现将完整的放大器原理电路图示于图6。放大器由 $BG_4$ 至 $BG_7$ 共五级组成, 输入端 $BG_4$ 接图2信号源中 $BG_3$ 的输出。末级合成器的输出接阻抗匹配网络, 将RF功率送入激光腔。放大器中 $BG_4$ 至 $BG_7$ 为推

动级。BG<sub>6</sub>与BG<sub>7</sub>组成功率合成器，div是功率分配器，syn是功率合成器。由div, syn, BG<sub>6</sub>, BG<sub>7</sub>，组成功率合成级。因BG<sub>4</sub>至BG<sub>6</sub>三级是A类放大器，这方面的资料极易找到，没有单独进行分析。只介绍了推动末级BG<sub>7</sub>的C类放大器，示于图4。

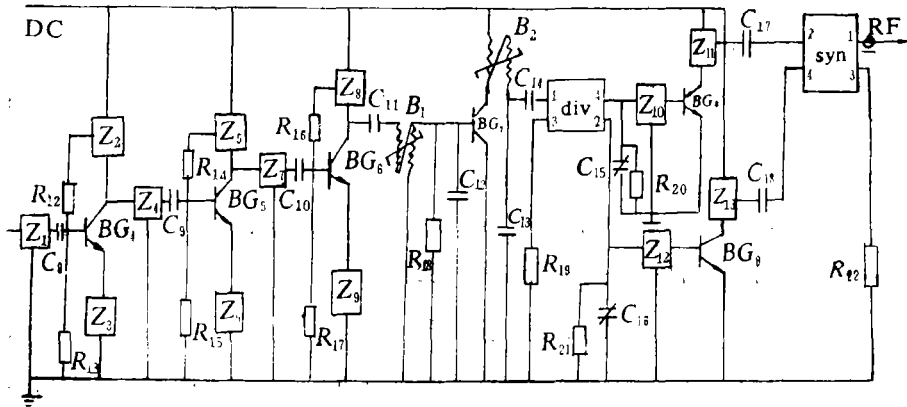


图6 放大器电路原理图

在电源调试工作中，重点是级间匹配，而电源与激光器的联机试验中应先作调制状态试验后作连续状态试验。在调制状态工作时，如果出现嗡鸣声，首先要注意分清它是机械振荡还是射频幻听。要是机械振荡就针对振源去消除，如果是射频幻听，它不是声波，而是射频矩形波调制本身的一种属性。它是人在方波调制的RF辐射下产生的RF听觉效应。通常解释是人的头部受到低功率照射，由“热弹性膨胀”导致耳蜗传声器效应，从而引起听觉响应。解决的办法是将感性匹配网络改为容性匹配网络，就能使射频幻听消除或得到满意的改善。在连续状态工作时，如出现鸣叫，只需由激光器的合理设计与精心调准就能解决〔4〕，它不是电源的问题。另外脉冲状态工作时，激光工作气体中应再加2%的D或H<sub>2</sub>，减少或不加N<sub>2</sub>，这样可增加自动增益开关效益，使脉冲更狭，后向尾巴更短。

最后一个值得提醒注意的问题就是放大器直流工作电压的选择。到目前为止，还没有一个令人满意的简单工程理论计算方法。一般的设计计算结果与实际情况都有些差别，就40~50 Torr 低压工作气体的RF CO<sub>2</sub>波导激光器而言，28V能正常工作，24V就不能起辉，且发不出激光。这就要求设计人员不能把直流工作电压选得太低，但提高电压又受电子器件的限制。目前国内RF强放管V<sub>(BR)CEO</sub>一般约有30V，如要采用V<sub>(BR)CEO</sub>再增加一个数量级的强放管就要采用国外产品。

### 参 考 文 献

- [1] Lasers & Optronics, 1988 Buying guide, 1988, P.144~161.
- [2] Lasers & Optronics circle 206, 1987, No.9, P.97.
- [3] 《红外与激光技术》，1988年，第2期，第28页。
- [4] IEEE J.Q.E., 1988, Vol.24, No.10, P.1776~1980.

\* \* \*  
 作者简介：滕学顺，男，1935年出生。高级工程师。现从事激光应用、激光技术及激光电源方面的科研及实验工作。

收稿日期：1989年4月30日。