

RF C02 激光电源类别与原理

时间：2011-06-01 20:37:52 来源： 作者：

1 引言

自 1973 年第一台射频（RF）波导激光器问世至今已 26 年多。最初是将线圈绕在波导上，实现了 RF 激励波导激光器的发光。它首次显示了低电压激励的优越性。那时，还有许多不完善的地方。存在的主要缺点是：放电不均匀，耦合效率差、线圈电感太大，限制 RF 频率的提高，只能在几 MHz 以下工作等。

尽管已有 26 年多的研制、使用历史，但当前它仍处于发展与改进阶段。其总的研制方向是：降低成本、增长寿命、提高输出功率和效率、减小体积和质量，改进可靠性，提高各项性能指标，以适应各种用途的需要。

RFC02 激光器工作频率按 ISM 规定为 27~40MHz；其主要分类如下所述：

- （1）按输出方式分
 - 1) 连续输出；
 - 2) 脉冲输出——调制频率高达 1MHz；
 - 3) Q 开关输出——电光调 Q 与声光调 Q。
- （2）按谐振腔的工作分
 - 1) 波导腔——孔径 $D=1\sim 3\text{mm}$ ；
 - 2) 自由空间腔——孔径 $D=4\sim 6\text{mm}$ 。
- （3）按激励极性分
 - 1) 单相；
 - 2) 反相。
- （4）按腔体结构分
 - 1) 单腔；
 - 2) 多腔；
 - （a）折叠腔：V 型——2 折；Z 型——3 折；X 型——4 折。
 - （b）列阵腔：短肩列阵；交错列阵。
 - （c）积木式：并联—2 腔；三角组联—3 腔。
- 3) 大面积放电
 - （a）平板型，（b）同心环型。
- （5）按均恒电感分布方式分
 - 1) 准电感谐振技术—用于低电容激光头；
 - 2) 平行分布电感谐振技术—用于高电容激光头。
- （6）按谐振腔材料分
 - 1) 陶瓷—金属混合型；2) 全陶瓷型；3) 全金属型。
- （7）按冷却方式分
 - 1) 空气冷却；2) 水冷却。
- （8）按封装方式分
 - 1) 封离型；2) 流动型。

谐振腔的材料一般为：金属—Al。陶瓷—BeO, BN, AlN、 Al_2O_3 等。

2 技术条件

用于 CO₂激光器的典型工作气体内含含有：二氧化碳、氮、氦和氙。氮气和氦气有利于放电的均匀性。氙气对 RF 放电激光器的功率和效率具有积极影响。添加 5% 氙气可使功率提高 24%。

通常单模结构器件，单位长度注入的连续（射频）激励功率限于 2~6W/cm，转换效率为 10%~20%，对激光电源的一般要求为：稳定可靠、维修方便、效率高、尺寸小、成本低。

具体技术条件如下：

输入参数：交流输入电压 220V；交流输入电流 1.5A；开关电源输出直流电压 30V，电流 8A。

RF 电源：输入功率 160W；工作频率 40MHz；输出波形正弦波；带宽 $\Delta f \pm 3\text{MHz}$ ；效率 70%。

调制器：脉冲调制频率 0~100kHz 方波连续可调；占空比连续可调；幅度调制度 100%。

3 原理电路

RFCO₂激光电源由 5 部分组成 [1]，如图 1 所示。

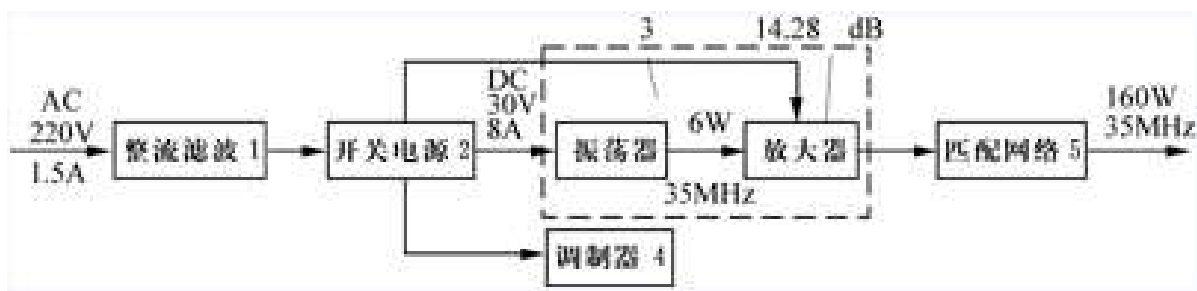


图 1 RF CO₂ 激光器电源原理框图

图 1 中第 1 部分为整流滤波电路，采用全桥桥式整流与电容滤波将 220V 交流变为 311V 平滑直流。第 2 部分为开关电源，将 311V 直流变为 100kHz 脉冲电流，再经电容、电感滤波后变为 30V、8A 直流。第 3 部分包括由振荡器与放大器两部分组成的 RF 电路（如虚线框内所示）。将输入直流经晶振变为 40MHz，6W 射频。再经 14.28dB 增益的放大器，放大后输出为 40MHz，160W。第 4 部分为脉冲工作的调制器。第 5 部分为匹配网络。

本文将重点介绍第 3 部分和第 4 部分。电路如图 2 所示。振荡器由晶体管 V2、电感线圈 L1、电容器 C5、C7、电阻 R11、R12、石英晶体振荡器 G 等组成。晶体振荡电路产生 6W、40MHz 正弦振荡波，经 3:1 传输线变压器 T，推动推挽功率放大器。推挽功率放大器由晶体管 V3、V4，电感 L3、L2，电阻器 R13、R14、R15，电容器 C9、C10 和变压器 T 组成 D 类电流开关推挽放大器，两个晶体管轮流导通。为了追求小型化，提高效率是关键，因而采用 D 类电流开关推挽放大器是一种必然结果。这一点可由下述工作过程的分析清楚地看出。

当晶体管导通时，C 极电流的基波分量为最大，回路中点电压也等于最大值 U_{\max} ，在中心点处的电压平均值等于电源电压。因此（当 $U_{CC} \approx 30V$ 时），

由此得出：

$$U_{\max} = (\pi/2) (U_{CC} - U_{CS}) + U_{CS} \quad (2)$$

C 极回路两端交流电压峰值为：

$$U_{Cmax}=2(U_{max}-U_{CS})=\pi(U_{CC}-U_{CS}) \quad (3)$$

基波分量振幅为: $(2/\pi) ICC$, 因而回路产生基频电压振幅为:

$$U_{Cmax}=(2/\pi) ICCR \quad (5)$$

将(3)式代入(5)式即得:

$$ICC=\pi U_{Cmax}/2R=(\pi/2R)(U_{CC}-U_{CS}) \quad (6)$$

则输出功率:

$$P_0=U_{Cmax}^2/2R=(\pi/2R)(U_{CC}-U_{CS})^2 \quad (7)$$

DC 输出功率:

$$P_{DC}=ICC \cdot U_{CC}=(\pi/2R)(U_{CC}-U_{CS})U_{CC} \quad (8)$$

C 极耗散功率:

$$P_C=P_{DC}-P_0=(\pi/2R)(U_{CC}-U_{CS})U_{CS} \quad (9)$$

由此得出 C 极效率:

$$\eta_C=P_0/P_{DC}=(U_{CC}-U_{CS})/U_{CC} \quad (10)$$

可见, 晶体管饱和压降 U_{CS} 越小、效率 η_C 则越高, 若

$U_{CS} \rightarrow 0$, 则 $\eta_C \rightarrow 100\%$, 这是 D 类电流开关推挽放大电路的优点, 为此设计时应注意尽量选取饱和压降低的功率晶体管。

脉冲工作由图 1 中第 4 部分调制器控制。调制器的原理电路见图 2, 它以 IC1 与 IC2 为主体, 组成幅度键控调制器, 属于数字信号调幅的线性调制器 [3]。连续工作时, 将图 2 中 S 开关置于 OFF 关断位置。脉冲工作时, 将 S 开关置于 ON 接通位置。脉冲调制的工作过程是: 利用一个矩形脉冲序列的基带信号对振荡器晶体管 V2 的振荡幅度进行控制。由控制振荡电路的起振与停振达到调制的目的。由电位器 RP4 控制调制频率, 由 RP7 控制脉冲宽度。所以, 调制频率与调制脉宽皆可作到连续可调。

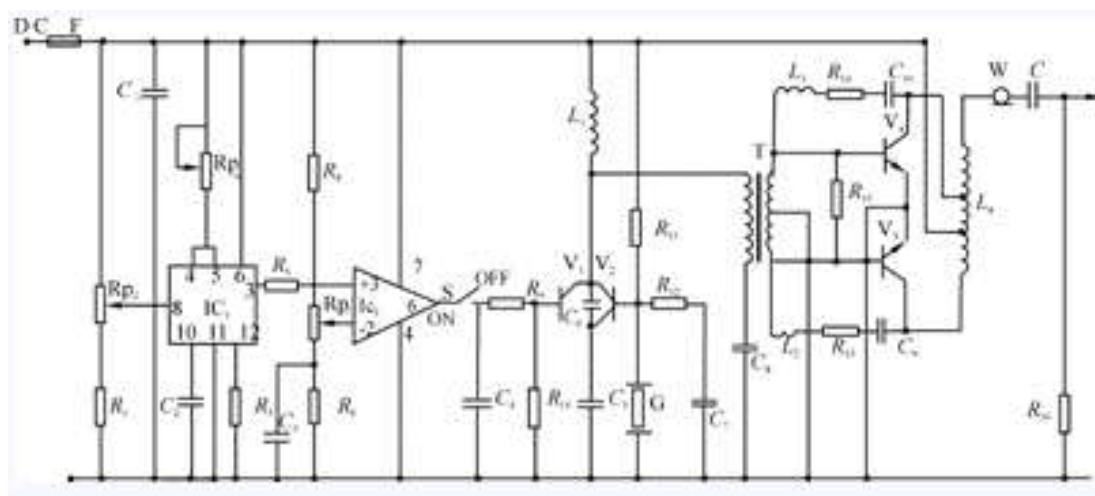


图 2 RF 电路原理图

第 5 部分是阻抗匹配网络。负载阻抗匹配的目的是消除不匹配负载的反射。方法是引入电抗性元件（电容、电感或传输线）。人为地产生一个或数个反射波。使它与原来不匹配负载产生的反射波相互抵消。使激光器的输入阻抗与 RF 电源的输出阻抗互为共轭复数。匹配网络一般分为两种, 一种是集总参数匹配网络, 其主要形式有 L 型、T 型、 π 型等 [3]。这种匹配网络的主要缺点是: 插入损耗大、噪声大、体积大。另一种是分布参数匹配网络, 是 $1/4$ 波长传输线, 这就克服了上述集总参数匹配网络的缺点。它的理论关系比较简单。由

传输线任一点上的电压和电流方程即可方便地导出下列 $1/4$ 波长 (或 $1/4$ 波长奇数倍) 阻抗交换方式为: $Z_0 = (10)$

式中 Z_1 ——电源输出的阻抗;

Z_2 ——激光器输入的阻抗;

Z_0 —— $1/4$ 传输线的特性阻抗。

$1/4$ 传输线采用 SYV—50—3 电缆。它一端接电源, 另一端接激光头。该 RF 电源如作积木式结构应用, 同时可满足输出激光 30W, 60W 等激光器的需要。

4 结束语

最后是关于激光头的准电感谐振技术。为了使输入射频沿激光器长度, 电压分布均匀, 加入一对电感并联在谐振腔上下电极之间。这样, 由于电感负导纳的补偿作用, 使激光器沿长度上的驻波比大大下降, 失配角小于 9° , 理论计算结果电压不均匀度小于 3%。