

# 串联谐振升压式 He-Ne 激光器电源

张新昌 王利国

(山西大学电子信息技术系 太原 030006)

提要 论述了串联谐振升压式 He-Ne 激光器电源的设计与制作方法。

关键词 串联谐振, 伏安特性, He-Ne 激光

利用串联谐振的方法获得高频高压, 经整流滤波后的直流高压电源可以作为 He-Ne 激光器电源。由于 LC 谐振电路的输出电压随负载电流的增大而很快下降, 与气体放电管的伏安特性性能很好地配合, 无需外加限流电阻, 故电源效率显著提高; 又由于电源的内阻很大, 可使稳流性能大为改善; 同时由于电路中无笨重的升压变压器且高频滤波电容的容量很小, 故电源体积小, 重量很轻, 使用方便, 是一种性能较好, 具有推广价值的 He-Ne 激光器电源。

我们研制的电源电路图如图 1 所示, 图中  $L_1, L_2$  和  $L_3$  是绕在同一磁环上的三个小线圈, 通过它们间的耦合使晶体管  $T_1$  和  $T_2$  (我们采用 BU 508A) 交替饱和导通, 从 AB 端口输出高频方波电压, 此方波电压即是 LC 串联谐振电路的激励源。从电容器 C 两端输出的高频交流电压  $V_0$  经二极管  $D_6$  和  $D_7$  倍压整流后变为直流高压  $U_0$ 。采用倍压整流的目的是为了降低对  $V_0$  的要求并使正负半周的负载相等。为了防止 He-Ne 管与滤波电容  $C_4$  和  $C_5$  直接并联时有可能产生负阻振荡, He-Ne 管可串接一小阻值的电阻  $R^*$ , 其值由实验确定。

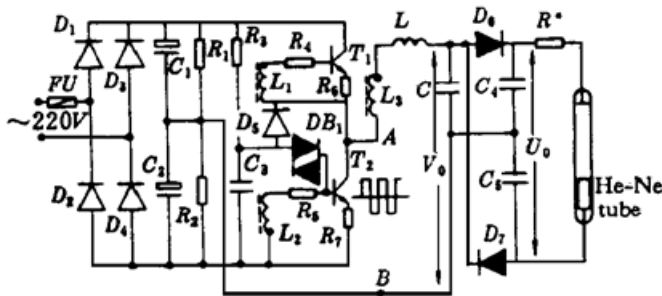


图 1 He-Ne 激光电源电路的串联谐振模式  
Fig. 1 Circuit of series resonance model for the He-Ne laser

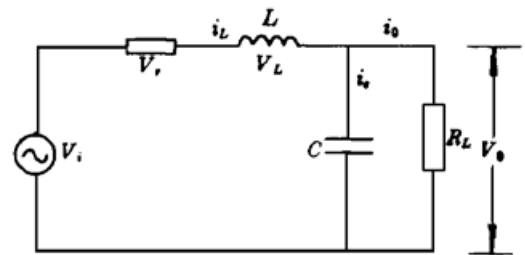


图 2 等效电路  
Fig. 2 Equivalent circuit

电路的核心问题是 LC 串联谐振电路的设计。当电网电压为 220 V 时, 激励方波的幅度约为 150 V。由傅里叶展开式可知, 其中基波成份的有效值为 135 V, 由于谐振电路的 Q 值较大, 可忽略方波中高次谐波的作用, 近似认为激励源是有效值为  $V_i = 135$  V 的高频正弦恒压源。谐

振电路的等效电路如图 2 所示。

图 2 中  $r$  是谐振电路的固有损耗电阻, 包括电感  $L$  的直流电阻、晶体管的饱和导通电阻及发射极电阻、电感电容的高频损耗等效电阻等。等效负载电阻  $R_L$  可根据等损耗折算原理算出。

设整流滤波后的直流输出电压为  $U_0$ , 输出电流为  $I_0$ , 则直流负载  $R_T = U_0/I_0$ , 由  $V_0^2/R_L = U_0^2/R_T$ , 而  $U_0 = 2\sqrt{2}V_0$ , 求得  $R_L = \frac{1}{8}R_T$ 。

等效电路的微分方程为

$$LC \frac{d^2V_0}{dt^2} + \left[ C_r + \frac{L}{R_L} \right] \frac{dV_0}{dt} + \left[ \frac{r}{R_L} + 1 \right] V_0 = V_i \quad (1)$$

用相量法<sup>[1]</sup>求解:

$$V_0 = \frac{1}{r} \sqrt{L/C} V_i - \frac{1}{r} \frac{L}{C} i_0 = Q_0 V_i - r Q_0^2 i_0 \quad (2)$$

式中  $Q_0 = \omega L/r$  是谐振电路的固有品质因数。

倍压整流滤波后的直流输出电压和输出电流分别为  $U_0$  和  $I_0$ , 利用  $U_0 = 2\sqrt{2}V_0$ ,  $I_0 = i_0/(2\sqrt{2})$  得

$$U_0 = 2\sqrt{2}Q_0V_i - 8Q_0^2rI_0 \quad (3)$$

这就是此高压直流电源的输出伏安特性。(3) 式表明此电源的戴维南等效电压为  $2\sqrt{2}Q_0V_i$ , 等效内阻为  $8Q_0^2r$ 。

由(3) 式得到如下谐振电路的设计步骤:

1) 电源的空载输出电压  $2\sqrt{2}Q_0V_i$  应大于 He-Ne 管的起辉电压  $U_{BR}$ 。若希望在电网电压很低时也能可靠起辉, 可选  $2\sqrt{2}Q_0V_i = 1.5U_{BR}$ , 由此可确定  $Q_0$  值;

2) 在 He-Ne 管正常工作时, 设其管压降为  $U_T$ , 管电流为  $I_T$ 。则应有  $U_0 = U_T = 2\sqrt{2}Q_0V_i - 8Q_0^2rI_T$ , 由此式可求出  $r$  值;

3) 谐振频率  $f_0$  选定后, 由  $Q_0 = 2\pi f_0 L/r$  算出所需的  $L$  值, 由  $C = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L}$  算出所需的  $C$  值。

例: 长度为 25 cm 的 He-Ne 管正常工作时, 设  $U_T \approx 1200$  V,  $I_T \approx 6 \times 10^{-3}$  A,  $U_{BR} \approx 6000$  V, 令  $2\sqrt{2}Q_0V_i = 1.5U_{BR} = 9000$  V, 确定  $Q_0 = 23.6$  (式中的  $V_i$  按照 135 V 计算), 由  $U_0 = 1200 = 9000 - 8 \times 23.6^2 \times 6 \times 10^{-3} r$ , 求出  $r = 292 \Omega$ 。若设定  $f_0 = 50$  kHz, 求出

$$L = Q_0 r / (2\pi f_0) = 23.6 \times 292 / (2\pi \times 5 \times 10^4) = 22 \text{ mH},$$

$$C = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L} = \frac{1}{(2\pi \times 5 \times 10^4)^2 \times 22 \times 10^{-3}} = 460 \text{ pF}.$$

在电源制作中, 要注意两个关键问题:

1) 从(2) 式可知, 当  $L, C$  确定后, 应尽量减小串联谐振电路中的固有损耗电阻  $r$ , 使它不超过计算值, 否则将使电源的开路输出电压降低, 甚至使 He-Ne 管不能起辉。为此首先要正确选择耦合线圈  $L_1$  和  $L_2$  的匝数, 使晶体管  $T_1$  和  $T_2$  处于交替饱和导通状态, 以减少导通电阻。我们使用  $\Phi 7$  磁环,  $L_3$  取 8 匝,  $L_1$  和  $L_2$  取 6 匝, 发现效果较好。其次由于电感  $L$  的值较大, 如绕成空心线圈, 则匝数多, 直流电阻大, 体积也很大。我们用 0.21 的高强度漆包线在 EE12 磁芯上制成

电感  $L$ , 由于匝数大大减少直流电阻只有  $10 \Omega$  左右。绕好后用环氧树脂密封, 以满足高压绝缘要求;

2) 由于是高频电压整流, 整流二极管  $D_6$  和  $D_7$  的结电容应很小。在 He-Ne 管开路的情况下, 由于整流二极管结电容的存在, 它与滤波电容  $C_4$  和  $C_5$  仍构成高频通路而仍有输出电流  $I_0$  存在, 由(2) 式可知, 它使谐振电容  $C$  两端的输出电压  $V_0$  降低。普通整流二极管或硅堆由于结电容较大, 不适合于高频电压整流, 应采用结电容很小的快速二极管, 如 MBR 系列的二极管。根据耐压要求可用几个二极管串联。

我们成功地制作了一个适用于 25 cm He-Ne 管的串联谐振升压式电源。电网电压低至 170 V 时也可使 He-Ne 管可靠起辉。电压由 170 V 调至 230 V 时, 管电流由 4 mA 变至 6.5 mA, 稳流性能明显改善。实测电源效率为 82%, 重量约 0.5 kg。

本电源的设计思想也可用于小型二氧化碳激光器。

### 参 考 文 献

- 1 李翰荪 编. 电路分析基础, 第二版. 北京: 高等教育出版社, 1991, 548~ 550

## Series Resonance Way to Step up Voltage for the He-Ne Laser

Zhang Xinchang Wang Liguo

(*Department of Electronic Information Technology, Shanxi University, Taiyuan 030006*)

**Abstract** In this paper, we have discussed the design and the making methods of the series resonance power supply for the He-Ne Laser.

**Key words** series resonance,  $V-I$  characteristic, He-Ne laser