

胡昌信、王竹威、杨明江和朱春梅几位同志参加了实验工作,线路部分是由胡昌信同志设计的,作者谨致谢意。

参 考 文 献

- 1 Laudenslager *et al.* Pulse Switching for High Energy Lasers, NASA, N79-21336
- 2 Merchant V E *et al.* *Rev. Sci. Instrum.*, 1979; 50

(9): 1151

- 3 Laudenslager *et al.* Pulse Switching for High Energy Lasers, United States Patent, 1981, Patent Number 4275317
- 4 R S 特贝尔 *et al.* 磁性材料, 西安: 科学出版社, 1979: 754

(收稿日期: 1987年5月7日)

对准连续激光电源中斩波器的分析

宁喜发 姚建铨 张大鹏

(天津大学精密系)

Theoretical analysis on choppers in the power supply for quasi-CW solid state lasers

Ning Xifa, Yao Jianquan, Zhang Dapeng

(Department of Precision Instruments, Tianjin University, Tianjin)

Abstract: A high repetition rate power supply is constructed for quasi-CW solid state lasers. It provides large current rectangular pulses at repetition rates of 50~200pps. The device has a ripple coefficient of <0.1% and shot-to-shot fluctuation within 1~0.1%. A theoretical analysis on the choppers in the power supply is formulated systematically.

一、引 言

在激光的某些应用中,要求高重复率的方波光泵功率,这种准连续激光电源采用斩波器最为适宜。提高斩波器的重复率,可相对提高激光的平均功率并使之更加稳定;又可减小滤波网络参数即缩小体积减轻重量;也可在激光输出的平均功率相同的情况下减小电源输出方波的电流幅值。

我们在原电路的基础上采用加负电压的办法,结果大大提高了电源的重复频率,对逆阻型(普通可控硅元件)斩波器可高达200 Hz。同时对电源的滤波网络进行了改进,获得了令人满意的灯电流波形和灯光波形。

准连续激光电源方框图如图1所示。

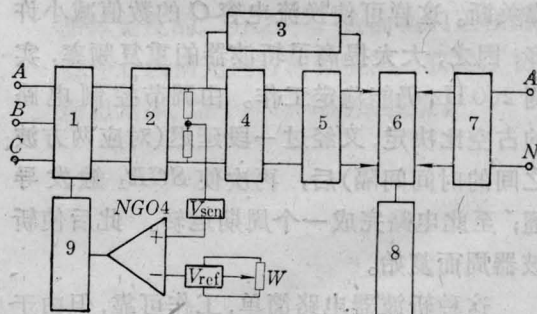


图1 高重复率准连续激光电源方框图

- 1—SCB三相交流调压网络; 2—三相整流滤波网络;
3—强预燃电路; 4—斩波器; 5—方波脉冲整形网络;
6—双氙灯负载电路; 7—触发预燃及降压电路;
8—取样监测及保护电路; 9—负反馈移相脉冲发生器

二、几种斩波器的运转分析

由文献[1]中图2所示的斩波器,去掉R

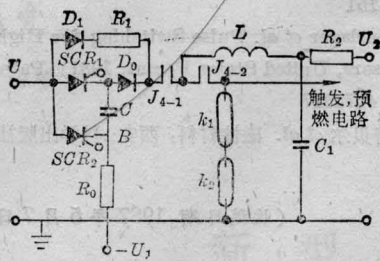


图 2

使 R_0 的下端不接地而接在 -55V 的电压上,便成为如图 2 所示的加负压斩波器电路。由工作程序可知,图 2 中 C_1 和 L 为降压启动电路,即当 J_{4-1} 、 J_{4-2} 闭合时已充好电的电容 C_1 通过 L 向 k_1 、 k_2 瞬时强弧光放电,此刻 $U_1 \ll U$,使 k_1 、 k_2 能顺利由辉光放电过渡到弧光放电(强预燃)。当强预燃稳定后,控制电路才发出触发脉冲,使斩波器(由 SCR_1 、 SCR_2 、 C 和 R_0 组成)开始工作。当 SCR_1 触发导通时,一方面使主电压 U 加到灯上,另一方面使 C 充电到上正下负的电压,其值为 $|U + U_1|$;即 U_B 为 $-U_1$ (如不加负压,则 U_B 这时为地电位)。经一段延迟(即为加在灯上的方波脉宽)后,使 SCR_2 触发导通, $-U_1$ 立即加到 SCR_1 的阳极上并使之可靠关断;这就是加负压的关键所在,否则 SCR_1 很难可靠关断。这样可使换流电容 C 的数值减小许多,因之,大大提高了斩波器的重复频率,实测 200Hz 仍能稳定工作。由调节控制电路的占空比决定,又经过一段延迟(对应两方波之间的时间间隔)后,再次使 SCR_1 触发导通;至此电路完成一个周期运转。此后使斩波器周而复始。

这种斩波器电路简单,工作可靠,但由于接入较大功率的耗能电阻 R_0 ,降低了电能利用率。为克服此缺点,还可采用如图 3 所示的脉宽可调无电阻逆阻型斩波电路。该电路特点是,加入了 C_1 、 L_1 换流振荡电路,它们与 D_1 、 L_2 、 D_2 共同组成 SCR_1 的换流关断电路。同样,在该斩波器工作前双灯已进入了稳定的强预燃弧光放电,与此同时 C_1 也被充电到

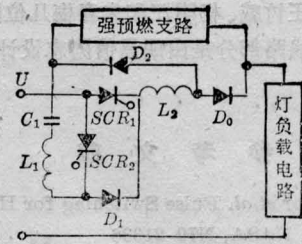


图 3

U 。当 SCR_1 触发导通时, U 加到灯上,但由于 D_1 的存在 C_1 不能通过 SCR_1 和 L_1 放电;经方波脉宽对应的时间后,使 SCR_2 触发导通, C_1 才能通过 SCR_2 、 L_1 放电并且反向充电,由于串联振荡使 C_1 上端的电压由正变负,且其数值要大于 U (实则 C_1 为过充)。因此使得 SCR_1 和 SCR_2 可靠关断。此后 C_1 下端的正电压又经 L_1 、 D_1 、 L_2 和 D_2 放电且反充电,当该反充电电流小到一定程度时, D_2 支路断流, U 开始再次向 C_1 充电,直到充至电源电压 U 。此后使斩波器工作周而复始。由上述的工作过程文献[2]给出如下方程式:

换流振荡电容的容量 C_1 为

$$C_1 = 2.5 I_m t_q / U \quad (1)$$

式中 I_m 为 SCR_1 关断前通过的最大负载电流; t_q 为 SCR_1 的关断时间。

为 SCR_2 触发导通, C_1 、 L_1 回路振荡电流为

$$i_{C1} = \frac{U_{C1m}}{\sqrt{L_1/C_1}} \sin \omega t = i_{C1m} \sin \omega t \quad (2)$$

式中 $\sqrt{L_1/C_1}$ 为电路的特征阻抗,其振荡角频率为

$$\omega = 2\pi f = 1/\sqrt{L_1 C_1} \quad (\text{谐振条件})$$

SCR_1 承受 u_{L2} 反压的持续时间 t_c 为:

取 $di_{C1}/dt = 0$, 即 i_{C1} 达负的最大值时有

$$\omega' t_c + \omega t_1 = \pi/2$$

$$(\text{式中 } \omega' = 1/\sqrt{(L_1 + L_2)C_1})$$

$$\therefore t_c = \frac{1}{\omega'} \left(\frac{\pi}{2} - \omega t_1 \right) \quad (3)$$

SCR_1 承受反压值为

$$u_{L2} = L_2 \frac{di_{C1}}{dt} \quad (4)$$

(下转第 622 页)

两圈之间平均距离,即

$$\left. \begin{aligned} \bar{h} &= \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n h_m \\ h_m &= h_1 \left(1 - \frac{1}{H} \sum_{j=1}^{m-1} h_j \right) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

式中 $h_1 = 2\pi R_1 \tan \alpha$, $H = R_1 / \tan \frac{\theta}{2}$, (8)、(9)式推导过程中利用 $e^{j\pi} = \cos \pi + j \sin \pi = -1$ 的关系。如果 $\theta = 0$, 则系统成为圆柱形双螺旋线系统, 显然此时 $R_k = R_1 = R_0$, R_0 为螺旋线圈起始半径, 相应两种激励状态为同相电流激励:

$$\left. \begin{aligned} B_{Lz_i} &= \frac{4\pi \cos \alpha I_0 e^{j(\omega t + \psi)}}{CR_0} \sum_{k=1}^n \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{d_{z_{ik}}}{R_0} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \\ B_{Lz_i} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

反相电流激励:

$$\left. \begin{aligned} B_{Lz_i} &= 0 \\ B_{Lz_i} &= \frac{4 \sin \alpha I_0 e^{j(\omega t + \psi)}}{CR_0} \sum_{k=1}^n \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{d_{z_{ik}}}{R_0} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

(8)、(9)式表明, 圆锥形双螺旋线在同相电流激励下轴上的纵向磁场和反相电流激励下轴上的横向磁场都比单根同类圆锥螺旋线激励的相应磁场增加一倍, 这些结果与前面定性分析完全符合。

由此可见, 圆锥形双螺旋线结构在反相电流激励下其中心轴上磁场恰好构成 FEL 中振幅螺旋变化周期 Wiggler 磁场, 磁场强度的计算可由(9)式结合实际螺旋尺寸直接算出, 这对我们实际试验螺旋变化振幅的 FEL 提供很大方便。

参 考 文 献

- 1 赵东焕, 雷仕湛. 量子电子学, 1987; 4(2): 142~154
- 2 刘盛纲主编. 微波电子学导论, 国防工业出版社出版, 1985; 175

(收稿日期: 1987年4月16日)

(上接第 628 页)

由以上分析所得到的 7 个方程式以及 i_{C1} , u_{C1} , u_{L1} , u_{L2} 之间的相位关系, 即可绘出斩波器运转时的各参数波形(如图 4 所示)。

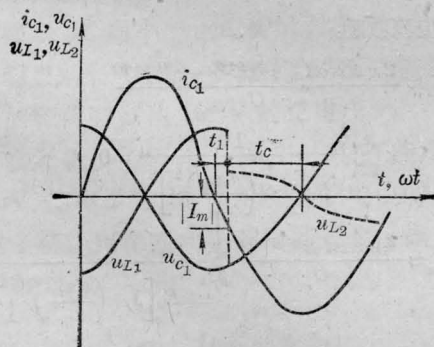


图 4

由图 4 可知, 振荡电感 L_1 与振荡回路周期 T_h 和振荡电容的容量 C_1 有关, 由此结合振荡电路理论可得

$$L_1 = \frac{1}{C_1} \frac{T_h^2}{4\pi^2} \quad (\mu H)$$

式中 C_1 由(1)式确定, $T_h \approx 8t_q$ (t_q 为 SCR_1 的最大关断时间, 一般 $t_q = 80 \mu s$)。

此外还有如下近似公式

$$\left. \begin{aligned} |i_{C1max}| &\approx 2.5 |I_m| \\ t_0 &\approx 2t_q \end{aligned} \right\}$$

电感量 L_2 的选择是不使 SCR_1 承受过大的反压即可, 通常取 $L_2 \approx L_{10}$ 若 $I_m = 40 A$, 则由上述公式选用的参数为: $C_1 \approx 32 \mu F$, $L_1 = L_2 \approx 300 \mu H$, 可得到满意的实验结果。

上述斩波器尽管去掉了耗能电阻, 但电路结构较复杂, 为简化电路结构可采用逆导型斩波器(用逆导可控硅元件)。这样既减小了体积又消除了配线分布电感的影响。 $L_1 C_1$ 参数相对减小, 即可更加提高重复频率。逆导型斩波器的具体工作过程详见文献[2]。

参 考 文 献

- 1 薛彬 et al. 中国激光, 1986; 13(2): 113
- 2 黄俊主编. 半导体变流技术, 机械工业出版社, 1983; 199~203

(收稿日期: 1987年5月28日)