

加压式调 Q 电路最佳设计

张建华

本文采用一种典型的可控硅变压器加压调Q电路, 实验结果证实, 此电路能有效抑制激光后置脉冲, 并在一定范围内对光脉宽可调。

一、Q 开关对调 Q 电路的基本要求

激光调Q技术对激光的实际应用有广泛的意义, 调Q形式很多。所谓调Q, 实际上就是按照一定的规律改变激光谐振腔的损耗值。而电光调Q正是利用Q开关的电光效应改变激光谐振腔的损耗率。

由激光原理可知, 当反转粒子超过出光阈值时就产生激光。同时粒子数反转程度迅速下降, 降到低于阈值时出光停止, 这叫做临界振荡。所以很难产生大功率激光输出。而调Q就是控制阈值振荡条件, 在光泵激励初期, 设法使谐振腔处于低Q值状态, 使激光振荡不形成, 而尽可能地使反转粒子数增加。当反转粒子数足够大时把Q值突然升高, 形成振荡使能量瞬间放出, 产生大功率激光输出, 这叫做超临界振荡。

如果设初始反转粒子数为 N_1 , 阈值反转粒子数为 N_t , 那么调Q就是希望得到大值的 N_1/N_t 。

由公式有Q值^[1]:

$$Q = \frac{2\pi L}{\lambda \cdot \alpha}$$

而脉宽 $\Delta\tau = \tau_c \cdot \sqrt{2N_1/N_t}$, $\tau_c = L/c \cdot \alpha$ 。式中, τ_c 为光子在谐振腔中的寿命, α 为腔的单程损耗, L 为腔长, c 为光速。

这样可以看出, Q值和损耗 α 有关; 脉宽 $\Delta\tau$ 与 τ_c 因为也与 α 有关, 同时还与 N_1/N_t 有关。因此, 对调Q电路有两个基本要求, 一是能有效地控制腔损耗 α 的范围, 二是在一个足够短的时间间隔内使 α 值由高到低, 因而使腔的Q值由低到高发生突变, 从而使阈值反转粒子数由 N_t 突变为 N_t' 。这个时间 ΔT 小于腔的激光脉冲建立时间, 否则严重影响调Q性能。一般器件的光脉冲建立时间为100ns左右, 所以电光开关时间一般在100ns以内为宜。开关时间在40ns以内的又称为快开关。其调Q简要原理如图1所示。

二、加压式调 Q 电路设计计算

可控硅变压器加压调Q电路如图2所示。设定变压器初级电压为 V_1 , 设次级Q开关工作

收稿日期: 1986年9月27日。

电压为 V_2 。则，

$$V_2 = nV_1 \quad (1)$$

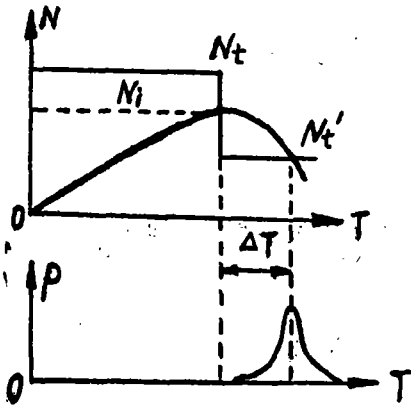


图1

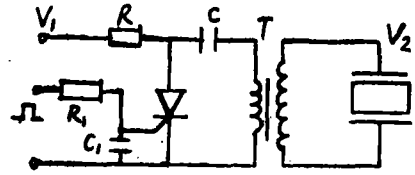


图2

n 的取值为3~10。由 V_1 选择电容器 C 的耐压值，根据 Q 开关工作电压从低到高 C 的取值为 $4700p \sim 4 \times 4700p$ 之间。可控硅有二个参数需要选择，一是耐压值，二是计算电容在放电时的瞬时电流值 I 。

$$I = \frac{CV}{t_r} \quad (2)$$

式中， V 为电容器的充电电压， t_r 为可控硅开关时间。

计算出的电流值应小于可控硅的浪涌电流值。由于开关时间快，只能选择铁氧体磁芯。

对于此电路有二个难办的问题，一是不易做到电压上升时间快，二是出现线圈振荡产生后置脉冲，把图2画成等效电路图3可看出，是一个RLC振荡电路。其中忽略变压器次级影响。为了让电压上升快，使其呈欠阻尼振荡。其频率为

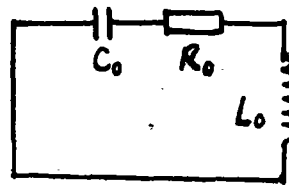


图3

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L_0 C_0} - \frac{R_0^2}{4L_0^2}} = 2\pi f_0 \quad (3)$$

由电路可以改变 L_0 及 R_0 值达到改变 f_0 的目的，使其电压上升沿加快。式中电感可按小电流电感计算公式：

$$L_0 = \frac{S_0}{l} 4\pi N^2 \mu_0 10^{-3} \quad (4)$$

式中， S_0 为铁芯截面积，单位 cm^2 ， N 为电感匝数， μ_0 为铁芯初始导磁率， l 为平均磁路长度，单位 cm 。

R 值可用表直接测量。

对于前置脉冲，我们控制可控硅的开关时间让其在振荡的第一个周期结束前停止。这样能有效地抑制后置脉冲。同时负半周高压可起到消除光弹效应的作用。可控硅的开关时间由触发极的脉冲上升沿控制以及可控硅在击穿电压附近工作的开关时间参数决定。由于可控硅在击穿电压附近工作时的开关时间可达500ns左右，所以前者是决定因素。这样改变 R_0 及 L_0 值以改变脉冲电压上升沿，又引起 α 及 N_i/N_1 的变化率最终达到改变脉宽影响的目的。工作示意图如图4。

三、实验结果及结论

根据上述步骤，我们进行了实验。做KD*P晶体调Q电源。其工作电压6000V，即 $V_2 = 6000V$ ；选 $n=7$ ，则 $V_1 = 6000/n = 857V$ ，取 $V_1 = 900V$ ；电容选用4700p/3600V；可控硅选用5A/1000V。其浪涌电流38A。设可控硅开关时间为500ns。

$$\text{则据 (2) 式有 } I = \frac{CV}{t_s} = \frac{4700 \times 1000 \times 10^{-12}}{500 \times 10^{-9}} = 9.4A$$

证明可控硅能用。铁芯选用M×4000- ϕ 22铁氧体磁环，初级4匝，次级30匝，用多股软线均匀绕制。

$$\text{据 (4) 式有 } L_0 = \frac{S}{l} 4\pi N^2 \mu_0 \times 10^{-8} = \frac{0.55^2}{15.5\pi} \times 4\pi \times 4^2 \times 4000 \times 10^{-8} = 5\mu H$$

R实测为0.2 Ω 。

$$\text{则 } \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L_0 C_0} - \frac{R_0^2}{4L_0^2}} = \sqrt{1/5 \times 4700 \times 10^{-18} - \frac{0.2^2}{4(5 \times 10^{-6})^2}} = 6523280 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$f_0 = 1/T_0, T_0 = 1/f_0 = 9.63 \times 10^{-7} \text{ s} = 963 \text{ ns}$$

用示波器观察如图5所示。由于有感抗及容抗的复杂因素，和实际计算有一定出入。

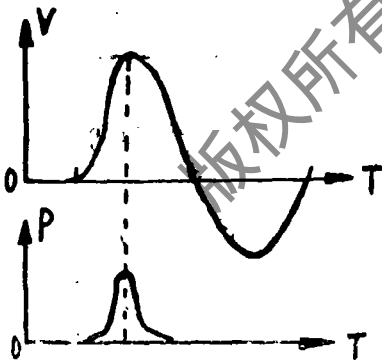


图4

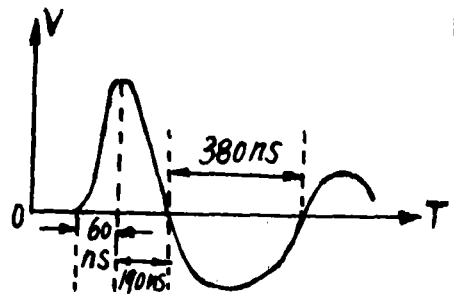


图5

可控硅在击穿电压附近工作时开关时间很快，所以当第一个周期的振荡还没完全结束时可控硅已关闭。而次级是一个过阻尼振荡回路，所以也不出现第二个振荡，仅出现幅度很低的波形。这样可靠地抑制了后置脉冲。而改变变压器的匝数又可改变电压上升率，以致改变 N_i/N_1 就改变了光脉宽。我们做到了在10~20ns以内可调。这对一般测距来讲无疑对放大器

(下接第50页)

动物实验结果

用该照射装置的 $1.06\mu\text{m}$ 及 $0.53\mu\text{m}$ 激光各照射兔眼70只(共927个样点),猴眼各10只(共355个样点), $1.06\mu\text{m}$ 激光照射兔眼能量密度范围为角膜平均入射 $9.32\times 10^{-4}\sim 1.44\times 10^{-3}\text{J}/\text{cm}^2$,猴眼为 $2.96\times 10^{-3}\sim 5.91\times 10^{-3}\text{J}/\text{cm}^2$; $0.53\mu\text{m}$ 绿光兔眼角膜平均入射 $14.4\sim 70.1\mu\text{J}/\text{cm}^2$,猴 $210\sim 327\mu\text{J}/\text{cm}^2$ 所造成的视网膜损伤最轻型损伤为小色素环或色素聚集,另一类为圆形淡灰色凝固水肿斑(照射剂量增大,造成出血斑)。

阈值实验生物部分由徐碣敏、胡富根、周淑英同志负责,参数测量由张桂素同志负责。

参考文献

- [1] 《固体激光导论》编写组,《固体激光导论》,1975年。
- [2] 邹海兴,圆对称非稳腔的光束发散度问题,《激光》,1982年,第9卷,第2期,第74页。
- [3] 郑辉,有多块晶体的不稳定腔系统补偿透镜f的选取及位置的计算,《激光与光学》,1981年,第4期,第41页。
- [4] American National Standard for the Safe Use of Lasers, Z-136, 1-1980.
- [5] 徐碣敏等, Nd^{3+} :YAG倍频激光对眼损伤阈值的研究,《中国激光》,1985年,第12卷,第10期,第618页。
- [6] 胡富根等, Nd^{3+} :YAG 1.06微米激光损伤阈值实验,1985年,内部资料。

(上接第33页)

有益。且用负半周电压去光弹效应。用该电路,我们达到器件输出效率为1.4%,整机输出效率1%的高指标。看来对效率影响不大。在调试及应用中未发现后置脉冲。

实验证明,只要根据以上步骤设计,只在绕制变压器时稍加调整即可获满意效果。该电路简单,体积小,元件无特殊要求,工作可靠。很适合野外整机使用以及对脉宽调整有一定要求的电光调Q器件,我们成功地用于整机一年来未出现故障。

参考文献

- [1] 北京工业学院431教研室编,《固体激光器件与技术》。

Optimum design of the voltage addition Q-switch circuit

Zhang Jianhua

(Huaguang Instrument Factory)

Abstract

A canonical silicon-controlled transformer is adopted in the voltage addition Q-switch circuit. The experimental results have proved that this circuit is able to suppress post-laser pulses effectively, and to make laser pulse-width adjustable within a certain range.