

双脉冲调 Q 激光器电源抗干扰问题

陈钟鸣

(合肥工业大学激光研究所 合肥 230009)

摘 要 本文阐述了使双脉冲调 Q 激光器不能正常工作的几个主要干扰源, 并对这些干扰源作了一定的数理分析, 最后针对双脉冲调 Q 激光器系统提出解决抗干扰问题的十项措施。

关键词 双脉冲激光器, 抗干扰, Q 开关

1 干扰的来源

“抗干扰”对整机一体的设备来说是一至关重要的问题, 这个问题不解决, 仪器的设计与研制就不能算成功。

双脉冲调 Q 固体激光器的电源其工作条件非常苛刻, 它既受到数千安培氙灯放电电流的干扰, 又受到氙灯触发高压(二、三万伏)窄脉冲强电场的辐射感应, 同时还受到具有 L-C 变换器充电电源的补电脉冲的干扰, 这些干扰可以通过机体引线感应、地线系统和具有天线效应的配电网系统串入控制系统电路内, 在这种情况下, 如不采取相应措施, 整个系统无法稳定工作。

2 干扰信号的分析与干扰的形成

2.1 氙灯触发高压的干扰

图 1 中 (a) 为未整形高压触发脉冲波形, (b) 为延迟受干扰的情况; (c) 为经整形的高压触发脉冲波形, (d) 为延迟受干扰的情况。

氙灯触发采取高压脉冲整形电路, 图 1(c) 的波形可近似认为二个半宽度分别为 $1 \mu\text{s}$, $10 \mu\text{s}$ 半个正弦波的迭加。若单脉冲波形为半周期正弦波, 即

$$f(t) = \begin{cases} \sin \omega_0 t & 0 \leq \omega_0 t < \pi, \\ 0 & \omega_0 t \geq \pi. \end{cases} \quad (1)$$

其傅里叶正弦变换为^[1]

$$F(\omega) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^\infty \sin \omega_0 t \sin \omega t dt = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\omega_0 \sin \frac{\omega}{\omega_0} \pi}{\omega_0^2 - \omega^2}. \quad (2)$$

可以证明当 $\omega = \omega_0$, $F(\omega)$ 取得最大值

$$\lim_{\omega \rightarrow \omega_0} F(\omega) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\omega_0}. \quad (3)$$

因此电源配电网滤波器的设计应以 ω_0 为吸收频率, 显然图 1(c) 中半宽度为 $1 \mu\text{s}$, $10 \mu\text{s}$ 的半周期正弦波脉冲其设计滤波器频率为 250 kHz 和 25 kHz 。

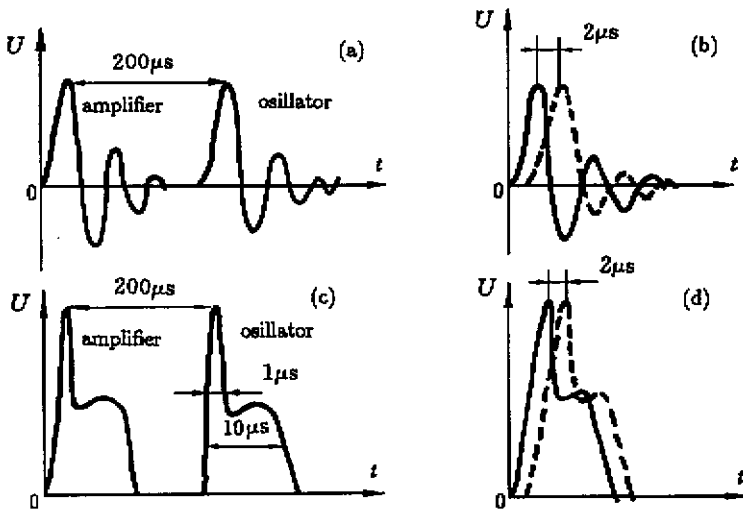


Fig.1 Xe-lamp trigger pulses wave shape

2.2 氙灯放电干扰

脉冲氙灯放电电流达数千安培，这时在邻近导线上将产生很强的电流辐射感应，同时放电线路上的接触电阻也由于强电流而形成一压降，使得仪器柜与激光器平台之间有几伏到十几伏的压差。这个与放电电流波形一致的干扰电压波通过 R_L 反串到控制器中，影响延时电路正常工作 (图 2)。

图中 R_0, R_1 为接触电阻， R_L 为信号线负载电阻， U_{R0} 为氙灯放电电流的压降， U_x 为感应电动势。 I_1 为氙灯放电电流 (①端子对)， I_2 为屏蔽层电流，②、③为信号输入端。

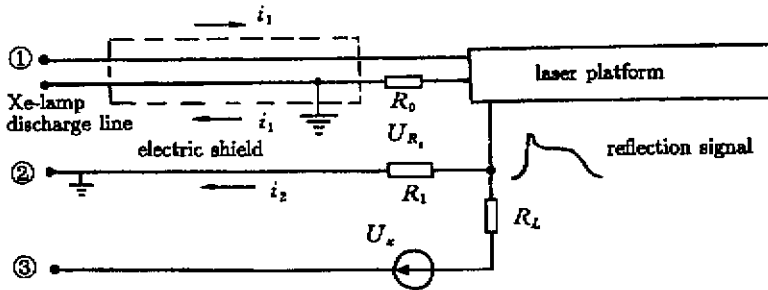


Fig.2 Equivalent discharge system

由于氙灯放电回路导线对不同轴，所以氙灯放电时两导线产生的干扰磁场不能相互抵消，设屏蔽线上感生电流为 I_2 ，则合成磁场在信号线上的感应电动势为 U_x ，对于单位长度的屏蔽线和信号电路则有如下关系 [2]

$$0 = I_1 \cdot Z_{12} + I_2 Z_{22},$$

$$U_x = I_1 \cdot Z_{13} + I_2 Z_{23}. \tag{4}$$

其中， I_1 表示等效干扰电流； Z_{22} 表示单位长度电路的自阻抗； Z_{mn} 表示电路 m 与电路 n 之间的单位长度互阻抗。

由 (4) 式得出

$$U_x = I_1 \cdot Z_{13} \left(1 - \frac{Z_{12}Z_{23}}{Z_{13}Z_{22}} \right).$$

假如没有屏蔽线或屏蔽线不接地, 则信号线上感应电势为

$$U_{31} = I_1 \cdot Z_{13}. \quad (5)$$

以及
$$\lambda = \frac{U_x}{U_{31}} = 1 - \frac{Z_{12}Z_{23}}{Z_{13}Z_{22}}. \quad (6)$$

λ 为屏蔽系数,

$$\lambda = \frac{\text{接入屏蔽电路后感应电压}}{\text{未接屏蔽电路时感应电压}}. \quad (7)$$

由于屏蔽层靠近信号线而远离干扰线, 所以屏蔽线路对干扰线路的反作用可以忽略, 可以认为 $Z_{12} \approx Z_{13}$

$$\lambda \approx 1 - \frac{Z_{23}}{Z_{22}} = \frac{Z_{22} - Z_{23}}{Z_{22}}. \quad (8)$$

显然为了减小屏蔽系数 λ 的值, 只能使 Z_{22} 和 Z_{23} 近似相等.

当信号线路与屏蔽线之间包括了串联阻抗 Z_g 时, 则 (8) 式应是

$$\lambda = \frac{Z_{22} + Z_g - Z_{23}}{Z_{22} + Z_g} = \frac{Z_{22} + R_L - Z_{23}}{Z_{22} + R_L}.$$

一般情况下 $Z_{23} \neq Z_{22} + R_L$, 所以信号线上存在有 U_x 的感应干扰电动势.

2.3 具有 L-C 变换器充电电源的干扰

具有 L-C 变换器充电电源, 充电时产生补电脉冲干扰, 尽管补电脉冲间隔较长, 由于它与控制电源共配电系统, 且脉冲电流很大, 前后沿较陡, 因此也能产生很强的干扰, 使得氙灯误触发.

2.4 Q 开关干扰

Q 开关打开时具有极小的脉冲前沿 (≤ 10 ns), 因此它的电场感应很强 (数千伏), 当第一个 Q 开关脉冲工作时, 若屏蔽隔离不好, 很可能引起第二个 Q 开关脉冲也同时工作, 从而使激光器只有一个激光脉冲输出.

3 抗干扰措施

根据以上分析, 可采取如下措施来消除干扰:

(1) 触发高压系统加静电屏蔽以抑制强电场辐射, 屏蔽效能按如下公式计算^[2]

$$S(\text{分贝}) = 1.314\delta\sqrt{fG\mu} + 361.7 + 10\lg \frac{G}{\mu f^3 x^2}. \quad (10)$$

其中: G 为相对铜的导电系数, μ 为相对导磁率, f 为频率 (Hz), δ 为屏蔽层厚度 (cm), x 为干扰源到屏蔽层距离 (cm).

(2) 氙灯放电系统加金属管屏蔽以抑制磁场辐射^[2]

$$S = 1.314\delta\sqrt{fG\mu} + 20\lg \left[\frac{1.17}{x} \sqrt{\frac{\mu}{fG}} + 0.0536x \sqrt{\frac{Gf}{\mu}} + 0.354 \right].$$

- (3) 为更有效地抑制强磁场辐射, 氙灯放电回路最好采用同轴系统。
- (4) 为消除 U_{RO} , 采取氙灯放电回路与充电电路“架空”技术(与控制系统地分开)。
- (5) 采取触发高压整形技术以减少触发高压的干扰。
- (6) 在控制电路加门控, 以保证稳定工作, 防止充电电源补电脉冲干扰, 造成误触发。
- (7) 电源配电线加高频滤波, 滤波器的设计如图 4。
- (8) 控制电路采用时间分离的方波前沿和后沿触发以避免强场干扰。
- (9) 控制电源接入 220 V. AC. 铁磁谐振恒压变压器进一步抑制 $L-C$ 变换器补电脉冲的干扰和高压触发干扰。
- (10) 各级信号的输入与输出均采用低阻抗耦合以及适当选用光耦。

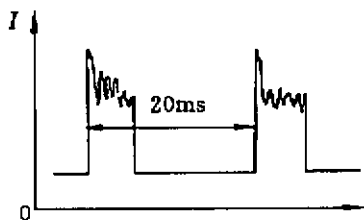


Fig.3 Supply charge current pulse wave shape

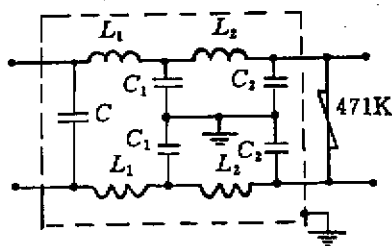


Fig.4 Supply filter

由于采取了上述措施, 我们所研制的双脉冲调 Q 激光器在动态情况下输出激光双脉冲很稳定。

参 考 文 献

- 1 Sneddon I N. 傅里叶变换. 北京: 科学出版社, 1958.
- 2 荒木庸夫著 [日]. 电子设备的屏蔽设计. 北京: 国防工业出版社, 1975.

The Problem of Anti-interference on Double Pulses Q -Switch Laser Supply

Chen Zhongming

(Institute of Laser, Hefei University of Technology Hefei 230009)

Abstract In this paper, the some main interference source that cannot result in normal operation of double pulses Q -switch laser is described and analysed, the ten methods for solving the problem of anti-interference are provided for the double pulses Q -switch laser system .

Key words double pulses laser, anti-interference, Q -switch

陈钟鸣 男, 1945 年 12 月生, 1968 年毕业于东南大学无线电系, 现为合肥工业大学激光研究所高级工程师, 硕士生导师。长期从事激光技术应用研究并取得多项成果, 目前正在注重这些成果的进一步开发。