

文章编号: 1001-3806(2002)06-0432-03

## 红外系统信号处理电路对激光干扰效应的影响\*

袁永华<sup>1,2</sup> 刘颂豪<sup>1</sup> 孙承纬<sup>2</sup> 廖常俊<sup>1</sup> 张大勇<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>华南师范大学量子电子学研究所, 广州, 510631)

(<sup>2</sup>中国工程物理研究院流体物理研究所, 绵阳, 621900)

**摘要:** 根据红外系统信号处理电路原理和等效 RC 时间常数, 分析了激光辐照红外系统使信号处理电路输出信号消失, 然后再逐渐恢复到正常现象产生的机理。理论分析和实验研究表明, 红外系统输出信号消失或恢复的时间不但与激光辐照功率和时间有关, 而且主要取决于信号处理电路的等效 RC 时间常数。RC 时间常数越大, 输出信号的消失和恢复时间就越长。激光对红外系统输出信号的干扰时间不但与滤光片/探测器吸收入射光能量产生的热效应有关, 而且还主要取决于信号处理电路 RC 时间常数的影响。实验验证了这种结论, 说明这种解释有一定的合理性。

**关键词:** 激光; 红外系统; 信号处理电路; RC 时间常数; 干扰

**中图分类号:** TN216 **文献标识码:** A

### The researches of laser disturbance effects in IR system processing circuit

Yuan Yonghua<sup>1,2</sup>, Liu Songhao<sup>1</sup>, Sun Chengwei<sup>2</sup>, Liao Changjun<sup>1</sup>, Zhang Dayong<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Quantum Electronics, South China Normal University, Guangdong, 510631)

(<sup>2</sup>Institute of Fluid Physics, CAEP, Mianyang, 621900)

**Abstract:** According to principle of IR processing circuit and time constant of RC, the output signal of processing circuit is analyzed when laser irradiates IR system. At first, the output signal of processing circuit is disappear, then it becomes normal gradually. By theoretical analysis and experiment research, the disappearance of output signal in IR system is not only related with power and time of laser, but also related with the time constant of RC. The bigger of RC time constant, the longer the time which output signal of processing circuit is disappear and becomes normal. When laser irradiates IR system, the disturbance time of output signal is not only related with thermal effects generated by absorbed power of detector and filter, but also related with the time constant of RC in IR system. The experiment proves that the theoretical analysis is advisable.

**Key words:** laser; IR system; signal processing circuit; RC time constant; disturbance

## 引言

红外系统是由目标辐射或反射的红外信息, 经大气媒质传递到光学接收器, 光学接收器将接收到的辐射经调制器调制后会聚到探测器上。红外探测器将已调制的随时间变化的红外辐射变成电信号, 经过电子学线路处理后的电信号就可供给终端系统或其它实际应用单元。制冷系统使红外探测器和部分光学零件处于低温状态下工作, 以抑制由于热而

引起的噪声<sup>[1,2]</sup>。它在航空、航天等领域得到广泛的使用, 对促进国民经济和国防建设具有明显的经济效益和社会效益<sup>[3~5]</sup>。

在激光对红外系统输出信号干扰效应的试验中, 发现激光功率较强时输出信号有明显的饱和, 特别是在激光结束后一段时间内输出信号消失, 然后再逐渐恢复的现象。这一现象对于开展激光对红外系统输出信号的失效机理研究来说是非常重要的。假如此现象具有普遍性, 它将成为激光干扰红外系统输出信号的有效手段之一。因此, 需要对激光辐照红外系统输出信号消失、然后再恢复的机理和产生的原因进行深入研究, 以便分析信号消失, 然后再逐渐恢复持续的时间与激光辐照功率的关系。同时, 考察能否采取有效措施, 减弱、甚至消除信号消

\* 国家高技术八六三计划激光技术领域资助项目。

作者简介: 袁永华, 男, 1955 年 1 月出生。博士研究生, 研究员。主要从事激光和光电子技术方面的研究工作。

收稿日期: 2001-11-12; 收到修改稿日期: 2002-05-04

失,然后再逐渐恢复的现象。所以,开展激光对红外系统输出信号失效机理的研究,并通过实验给出激光使红外系统输出信号消失然后再逐渐恢复的大致阈值范围,具有一定的现实意义。

笔者利用红外系统输出信号电路等效 RC 时间常数,解释了激光使红外系统输出信号消失,然后再逐渐恢复这种现象产生的机理。研究表明:输出信号消失,然后再逐渐恢复的时间,不但与激光辐照能量和时间有关,而且还主要取决于信号处理电路的特性。

### 1 输出电路简化原理的传递函数

红外系统采用的探测器响应灵敏度高(响应度达到 1A/W),响应滞抑时间短(一般  $10^{-7}$ s 以下),对入射激光脉冲响应快。红外系统主要用于对远距离目标的弱信号检测,因此,探测器输出的电信号必须由电子线路对其进行放大处理。对电路的主要要求是低噪声、补偿环境温度和背景辐射对测量结果的影响、线性指示以及工作可靠等。典型的电路方框图如图 1 所示。图中,1 为前置放大器,2 为带通滤波器,3 为主放大器,4 为移相器,5 为振子,6 为方波发生器,7 为相敏检波器,8 为积分器,9 为对数放大器,10 为环境温度补偿信号发生器,11 为加法器,12 为显示器。图中的放大器、滤波器和相敏检波器等对信号的响应都受电路 RC 时间常数的影响。例如在检波器后接有一个时间常数约为 2s 的 RC 积分电路,它实际上把噪声带宽压缩到  $\Delta f = 1/\pi\tau = 0.2$ Hz,即进一步削弱了附加噪声和干扰的影响。按照红外系统对信号响应时间的要求,该时间常数留有充分余地可以灵活改变。

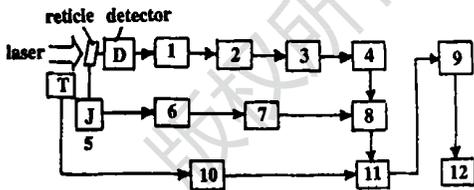


Fig. 1 The diagram of signal processing circuit

红外成像系统的探测器输出信号含有较大的直流背景信号,并且存在着由于探测器偏置引起的直流偏置电平。为了抑制背景电平,使输出信号具有良好的对比度,同时,又能消除探测器偏置引起的直流电平,以及减小探测器  $1/f$  噪声的影响。通常,红外成像系统的信号处理电路采用了隔直流(或交流耦合)电路。一般,在红外成像系统每元信号处理电路中包括两处隔直处理:第 1 处在探测器与第 1

级放大器之间或第 1 级放大器与第 2 级放大器之间;第 2 处在直流恢复电路之前。

在实际应用中,无论红外系统信号处理电路有多么不同,它们都可以近似简化为如图 2 所示的 RC 高通电路。

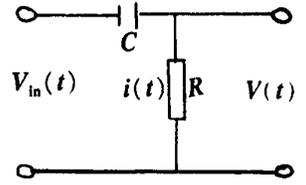


Fig. 2 Diagram of simple RC circuit in processing circuit

假设输入信号  $V_{in}(t)$  的表达式为:

$$V_{in}(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt + \frac{Q_0}{C} + i(t) R \quad (1)$$

$$\text{输出信号 } V_{out}(t) \text{ 为: } V_{out}(t) = i(t) R \quad (2)$$

式中,  $Q_0$  为时间是  $t = 0$  时电容器的电荷。

对方程(1),(2)作 Laplace 变换得到代数方程组,并进行 Laplace 反变换得到任意输入  $V_{in}(t)$  的响应  $V_{out}(t)$ :

$$V_{out}(t) = V_{in}(t) * \left[ -\frac{1}{RC} e^{-t/RC} + \delta(0) \right] - \frac{Q_0}{C} e^{-t/RC} = V_{in}(t) - \frac{Q_0}{C} e^{-t/RC} - \frac{1}{RC} V_{in}(t) * e^{-t/RC} \quad (3)$$

式中,\* 表示卷积运算。

对于脉宽为  $t_p$  的脉冲来说,输入信号可表示为:

$$V_{in}(t) = \text{rect}[(t - \tau)/t_p] \quad (4)$$

对应的输出信号为:

$$V_{out}(t) = \text{rect} \left[ \frac{t - \tau}{t_p} \right] e^{-(t - \tau)/RC} - U(t - t_p - \tau) [e^{-(t_p - \tau)/RC} - 1] e^{-(t - t_p - \tau)/RC} \quad (5)$$

输入、输出波形如图 3 所示。

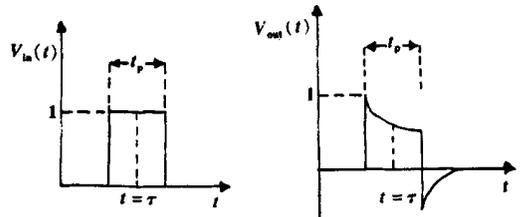


Fig. 3 The waveform of simplest circuit answered input impulse

### 2 实验和结果分析

激光对红外系统电路输出信号的影响实验示意图框图如图 4 所示,图中,平板玻璃反射率为 8%,1.06μm 连续 Nd:YAG 激光由平板玻璃反射后经准直系统发射平行光辐照红外系统,测试仪用于控制红外系统电路,并输出信号到记录仪进行记录,存

储, 红外源用于使红外系统跟踪目标。

表 1 给出在激光辐照时间 0.32s 的条件下, 不同强度激光对红外系统输出信号干扰的效果。有效干扰时间应

包括: 输出信号饱和、致盲和恢复的全过程时间。

Table 1 The disturbance effect of output signal when irradiated time is 0.32s

serial number	output power P/W	disturbance effect	
		signal saturation time t/s	signal blind and restore time t/s
1	2.2	0.32	0.00
2	3.5	0.32	0.01
3	9.9	0.32	0.19
4	27.8	0.32	0.70
5	54.6	0.32	0.93

图 5 给出了对应信号致盲和恢复过程的时间与激光强度的关系。图 6 给出在激光辐照时间 0.32s 的条件下, 不同强度激光对红外系统输出信

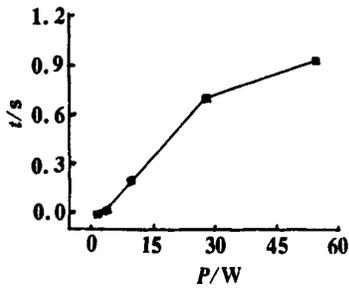


Fig. 5 Blind and restore time related with laser density

号干扰的典型结果, 图中信号饱和时间近似于激光辐照探测器的时间。可以看出: 在一定的辐照时间

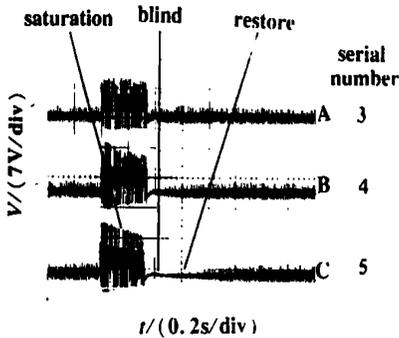


Fig. 6 The typical waveform of disturbance in different laser density

内, 激光对红外系统输出信号致盲和恢复过程的时间与激光强度成正比; 当激光强度达到某个数值后, 激光辐照引起红外系统输出信号致盲和恢复过程的

时间变化并不明显。

Table 2 The disturbance effect of output signal when laser irradiates IR system

serial number	irradiated time t/s	disturbance effect	
		signal saturation time t/s	signal blind and restore time t/s
1	0.34	0.34	0.91
2	0.51	0.51	1.26
3	0.80	0.80	1.51
4	1.60	1.60	1.81
5	5.89	5.89	1.55
6	12.71	12.71	0.82

表 2 给出在激光辐照功率 67W 的条件下, 不同辐照时间对红外系统输出信号干扰的结果。图 7 给出相应输出信号干扰的典型波形。从图中可以看出: 在一定的辐照时间内, 信号致盲和恢复过程的时间与激光辐照时间成正比; 当激光辐照时间增加到一定的范围时, 输出信号致盲和恢复过程的时间明显趋于稳定, 其原因主要是由信号处理电路 RC 时间常数引起的; 当激光辐照时间继续增大时, 如图 7 实验序号 5~6 给出输出信号致盲和恢复过程的时间明显缩短, 并伴随着信号恢复后的输出幅度下降。

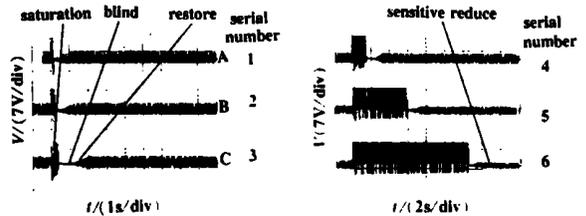


Fig. 7 The disturbance form of output signal in different time

由图 7 实验序号 6 的输出波形可以看出, 当激光辐照时间 12.74s 时, 输出信号致盲和恢复过程的时间明显缩短到 0.82s, 伴随的输出信号幅度则从激光辐照前的 3.25V 下降到激光辐照后的 2.17V。初步分析认为, 信号恢复后系统响应幅度减小的现象与激光对红外系统辐照产生的热效应有关。由于探测器对信号的灵敏度与环境温度有关, 其环境温度越高, 探测器的响应度越低, 甚至造成无信号输出。因此, 实验中激光进入红外系统, 滤光片吸收入射激光能量转换为热能, 形成温度场。导致热传导引起滤光片后探测器的环境温度增高, 红外系统输出信号灵敏度减少。信号恢复后系统输出响应幅度几乎保持不变的原因是, 在记录时间内探测器环境温度处于热平衡状态。

吸收,从而使荧光光谱强度降低,荧光光谱的特征也会随着溶血程度的加剧而发生变化。从而可以解释红细胞与血红蛋白产生荧光谱线的强度和峰值位置都明显不同的特点。这一实验结果可能会对某些有溶血的病理检查提供一定的指导作用。(5)进而根据 Niemi 等人所给的  $H_pD$  的能级图分析<sup>[11]</sup>, 564nm 和 694nm 处的荧光峰可能是由其中的  $^1S_{1,1} \rightarrow ^1S_{0,0}$  和  $^1S_{1,0} \rightarrow ^1S_{0,2}$  产生的。但这两种跃迁的几率很小,或者对应的激发态能级寿命较短。同时,因环境等因素的影响,其能级也将存在一定的扰动和分裂,实验结果也证实了这一结论。(6)比较图 6 和图 7 还可以看出,血红蛋白的荧光量子产额随浓度发生明显变化,而且浓度越高,量子产额越低。这也是因为当红细胞发生溶血时,将产生共振能量转移,引起自吸收,从而使荧光光谱强度降低。(7)至于 470nm~506nm 宽谱峰,经过分析,可能是红细胞膜上的多种荧光团共同的作用,这些荧光团在此范围内有相近的激发单态和跃迁到被进一步分裂的振动态几率,从而形成较宽的谱峰。具体由哪些荧光团参与发光,还有待于进一步研究。

通过研究紫色 LED 光诱导血细胞荧光光谱的研究,将对进一步解释低强度激光照射疗法的治疗

机理有一定的参考意义。考虑到生命组织的复杂性,影响因素也是多方面的,对应的理论体系尚待进一步研究。

#### 参 考 文 献

- [1] 李 静,李世荣,高 革 *et al.* 中华肿瘤杂志,2000,22(5): 893~993.
- [2] 金曼文,宋支才.激光杂志,1991,12(3): 148~150,131.
- [3] 刘文清, Ram R. 科学通报,1989,34(9): 700~703.
- [4] 赵箭光,杨佩青.中国医学物理学杂志,1996,13(4): 220~222.
- [5] Kessel D. IEEE J Q E, 1987, QE23(10): 1718~1720.
- [6] Tiina I. IEEE J Q E, 1987, QE23(10): 1703~1717.
- [7] Kertesz I, Fenyő M, Mester E *et al.* Opt Laser Technol, 1982, 14: 31~32.
- [8] 朱平主编.低强度激光血管内照射疗法,南宁:广西科学技术出版社,1999.
- [9] 兰秀凤,刘晓然,王亚伟 *et al.* 中国激光,2000,27(5): 477~480.
- [10] 陈 荣,陈艳娇,杨文琴 *et al.* 激光生物学报,1999,8(1): 62~65.
- [11] Niemi M H. Laser tissue interactions fundamentals and applications. Heidelberg: Springer Verlag Berlin, 1996.
- [12] 林克椿主编.生物物理学.武汉:华中师范大学出版社,1999.
- [13] Udenfriend S. Fluorescence assay in biology and medicine, New York: Academic, 1962.
- [14] Fisher F, Arnold J R P. Instant notes in chemistry for biologists. BIOS Scientific Publishers Limited, 1999.

(上接第 434 页)

### 3 讨论和结论

在一定的激光强度范围内,激光对红外系统输出信号的有效干扰主要表现为对红外系统输出信号饱和、瞬时致盲和恢复过程的时间。在一定的激光强度/辐照时间下,激光的辐照强度/辐照时间与致盲和恢复过程的时间成正比;但当激光强度/辐照时间增加到一定时,输出信号致盲和恢复过程的时间变化不明显,并逐渐趋于稳定,其原因主要是由信号处理电路 RC 时间常数引起的;当激光强度/辐照时间再继续增加时,激光加热滤光片使探测器环境温度增高,导致系统输出信号致盲和恢复过程的时间明显缩短、灵敏度下降。

研究表明:激光对红外系统输出信号的失效时间不但与滤光片/探测器吸收入射光能量产生的热效应有关,而且还主要取决于信号处理电路 RC 时间常数的影响。根据红外系统输出信号电路的原理分析,利用脉冲响应公式解释了激光辐照红外系统

输出信号饱和、消失,然后缓慢恢复信号的现象。RC 时间常数越大,饱和恢复时间越长。实验验证了这种结论,说明这种解释有一定的合理性。也就是说,激光对红外系统输出信号致盲和恢复过程的时间是信号处理系统电路本身特性固有的。对于激光短时间/低强度辐照来说,信号处理电路 RC 时间常数对输出信号的影响比激光引起的热效应要严重得多。显然,它有助于激光(或脉冲激光)对红外系统输出信号的有效干扰,并最终导致红外系统功能失效。研究结果对深入开展激光辐照红外系统的失效机理研究具有一定的参考价值。

#### 参 考 文 献

- [1] 何启予,金国祥,周茂树.飞航导弹红外导引头.北京:宇航出版社,1995.
- [2] 邓仁亮.光学制导技术.北京:国防工业出版社,1992.
- [3] 杨臣华,梅遂生,林钧挺 *et al.* 激光与红外手册.北京:国防工业出版社,1990.
- [4] Richard D. Hudson J R. Infrared system engineering. Wley, 1969.
- [5] 张敬贤,李玉丹,金伟其.微光与红外成像技术.北京:北京理工大学出版社,1995.