

引用格式: SUN Mohan, QIAN Yunsheng, REN Yingnan, et al. Brightness of the Screen of Gated Low Light Level Image Intensifier Based on Automatic Brightness Control Model[J]. Acta Photonica Sinica, 2022, 51(3):0304004

孙默涵, 钱芸生, 任莹楠, 等. 基于自动亮度控制模型的门控型微光像增强器荧光屏亮度研究[J]. 光子学报, 2022, 51(3): 0304004

# 基于自动亮度控制模型的门控型微光像增强器 荧光屏亮度研究

孙默涵<sup>1</sup>, 钱芸生<sup>1</sup>, 任莹楠<sup>2</sup>, 智强<sup>2</sup>, 孔祥宇<sup>1</sup>, 郎怡政<sup>1</sup>

(1 南京理工大学 电子工程与光电技术学院, 南京 210094)

(2 微光夜视技术重点实验室, 西安 710065)

**摘 要:**为研究三代像增强器在强光环境下的有效保护措施,设计了一种基于荧光屏电流反馈来实现高照度环境下的自动亮度控制模型,并对该模型进行了仿真分析。制作了荧光屏亮度测试系统,对依托高照度自动亮度控制模型制作的门控电源像增强器进行了测试实验。通过测试像管响应时间和稳定时间,对像增强器门控电源在突发强光下产生理想控制效果的速度以及荧光屏亮度稳定的速度进行了分析。实验结果表明,荧光屏亮度变化趋势与仿真结果基本吻合,并且实验得到的荧光屏亮度曲线可以准确的反映门控电源的工作状态,为后续像增强器门控电源的性能测试提供了技术支持。

**关键词:**像增强器;自动亮度控制;性能测试;自动门控电源;响应时间;稳定时间

中图分类号: TN223

文献标识码: A

doi:10.3788/gzxb20225103.0304004

## 0 引言

微光像增强器是夜间战场的一种重要武器装备,从一代像增强器出现,经过二代、超二代像增强器的发展,到目前各军事国家三代像增强器装备的普及,以及美国四代像增强器产品的出现<sup>[1-3]</sup>,微光像增强器技术产生了质的飞跃。微光像增强器能将微弱的可见光图像增强为人眼可见的亮度图像。微光像增强器通常由光电阴极、微通道板(Microchannel Plate, MCP)、荧光屏和适配的专用电源组成,其中光电阴极、MCP和荧光屏构成微光像增强器的光学组件部分,而与之适配的专用电源除了为微光像增强器提供各电极必要的稳定电压,还必须具有自动亮度控制(Automatic Brightness Control, ABC)功能和强光保护功能,以确保荧光屏亮度保持稳定适合人眼观察,同时保护光电阴极在高照度下免受损坏<sup>[4-5]</sup>。应用于光电阴极与MCP之间的门控电源是实现像增强器强光保护的重要部分,主要特征是以脉冲(Pulse width Modulation, PWM)高压取代传统直流高压,仅在脉冲持续期间才有光电子通过,实现电子流的开关操作<sup>[6-7]</sup>。国内学者目前对自动门控电源性能的测试研究主要集中在测试微光像增强器的动态范围、信噪比等指标<sup>[8-9]</sup>,但缺少与之相关的自动亮度控制模型以及反映其强光保护效果的测试指标。

基于目前国内微光像增强器用门控电源缺少理论模型支撑和测试指标的现状,本文设计了一种高照度自动亮度控制模型,并提出了响应时间和稳定时间两个测试指标,来反映门控电源微光像管在突发强光环境下,强光保护电路产生效果的速度以及荧光屏亮度稳定到适合人眼观看的时间,并对微光夜视技术重点实验室制作的自动门控电源像增强器进行测试实验,验证了测试方法的有效性。

基金项目: 国防基础科研计划(No.JCKY2018208B016)

第一作者: 孙默涵(1994—),男,硕士研究生,主要研究方向为光电成像器件测试技术。Email: 843137120@qq.com

导师(通讯作者): 钱芸生(1968—),男,教授,博士,主要研究方向为光电成像器件、系统与相关测试技术。Email: yshqian@njust.edu.cn

收稿日期: 2021-09-12; 录用日期: 2021-11-19

<http://www.photon.ac.cn>

## 1 实验装置及基本原理

### 1.1 实验装置

荧光屏亮度测试装置主要由光源组件、电动光阑、电动衰减片、光快门、测试暗箱、光伏电池、信号采集模块、工控计算机和电源模块组成,系统框图如图1所示,测试系统实物图如图2所示。

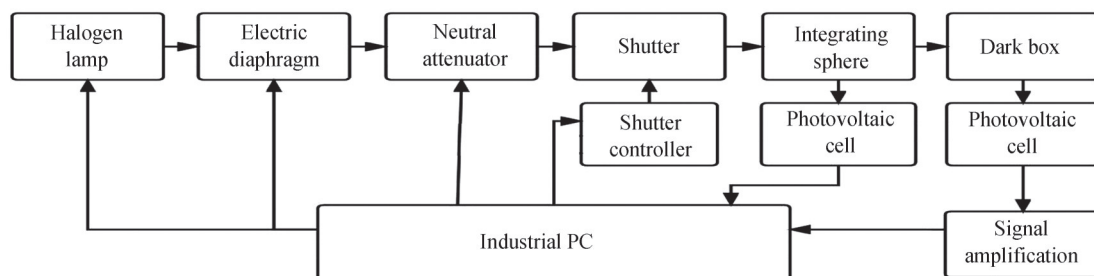


图1 系统框图

Fig.1 The system block diagram

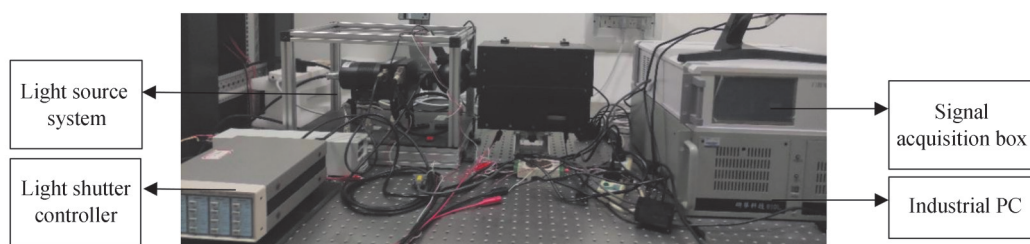


图2 测试系统实物图

Fig.2 The picture of the test system

其工作过程为:实验时,光源系统处于常亮状态,通过调节电动光阑及电动衰减片使光源系统积分球出口处输出 200 lx 的稳定光源;通过上位机软件和光快门控制器控制光快门的开闭,使置于测试暗箱的待测像增强器间歇处于 200 lx 的强光照射下;信号采集模块将荧光屏亮度信号集到的上位机,并进行显示,最后计算出响应时间及稳定时间。

### 1.2 门控电源

门控电源,是微光像增强器发展与应用的一个重要方向<sup>[10-11]</sup>,主要是通过MCP电压调节与光电阴极电压脉宽调节<sup>[12]</sup>相结合的方式增加光电阴极的照度适应范围。在阴极和MCP之间加负电压时,其工作原理如图3(a)所示,光电子由光电阴极发射到达MCP输入端并进入通道倍增,最后在荧光屏和MCP输出端之间正电场的作用下到达荧光屏;当电压方向反转,即在阴极和MCP之间加正电压时,情况如图3(b)所示,阴极发射的电子在逆电场的作用下未能到达MCP输入端,因此没有二次电子轰击荧光屏。可见,通过控制光电阴极电压的正负极性,就能控制光电阴极到MCP输入端电子的流动,起到电子快门<sup>[13]</sup>的作用。基于以上原理,四代像增强器使用的门控电源<sup>[14]</sup>在管体的电极上施加受控的门控脉冲电压,而不是固定的电压。按选通脉冲施加位置的不同,可以分为阳极(即荧光屏)门控、MCP门控和光阴极门控。门控驱动后,管体电极间的加速电场不再是固定的,而是受控于门控信号,这样像增强器就只在门控信号出现时工作,而没有门控信号的时候像增强器不工作<sup>[5]</sup>。

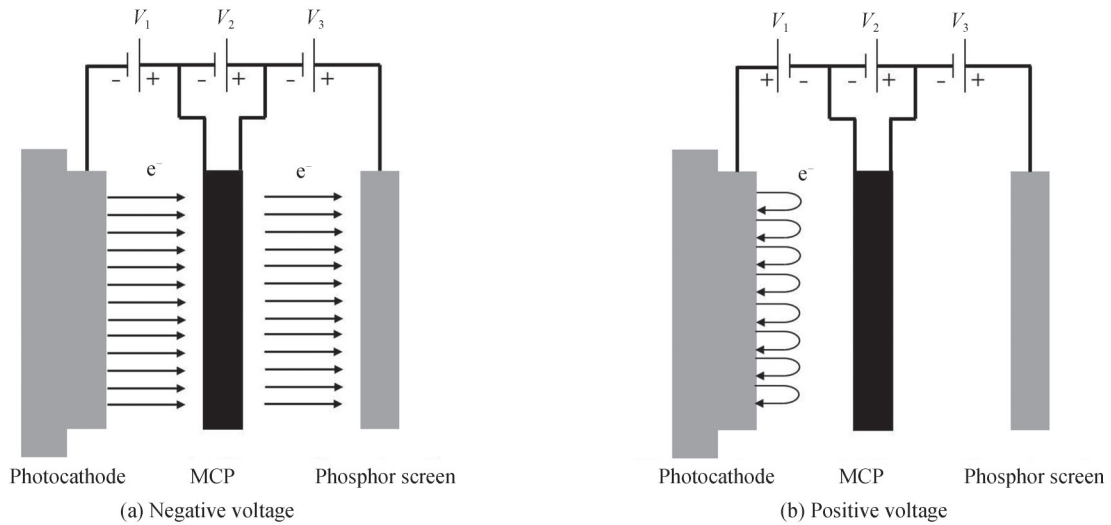


图3 光电阴极电子发射与驱动电压极性的关系

Fig.3 The relation between electron emitting of photocathode and working voltage polarity

### 1.3 荧光屏信号采集装置

进行门控电源微光像增强器响应时间的测试时,像增强器荧光屏的亮度信号是由光电池采集并转化为微小光电流信号,故需将此电流信号转换成电压信号并放大;同时像增强器的响应时间在ms级,采样模块的采样频率设置为20 480 Hz,因此放大电路需要足够大的带宽,本实验装置采用了11 MHz带宽的放大器OPA2140,并设计了如图4所示电路。

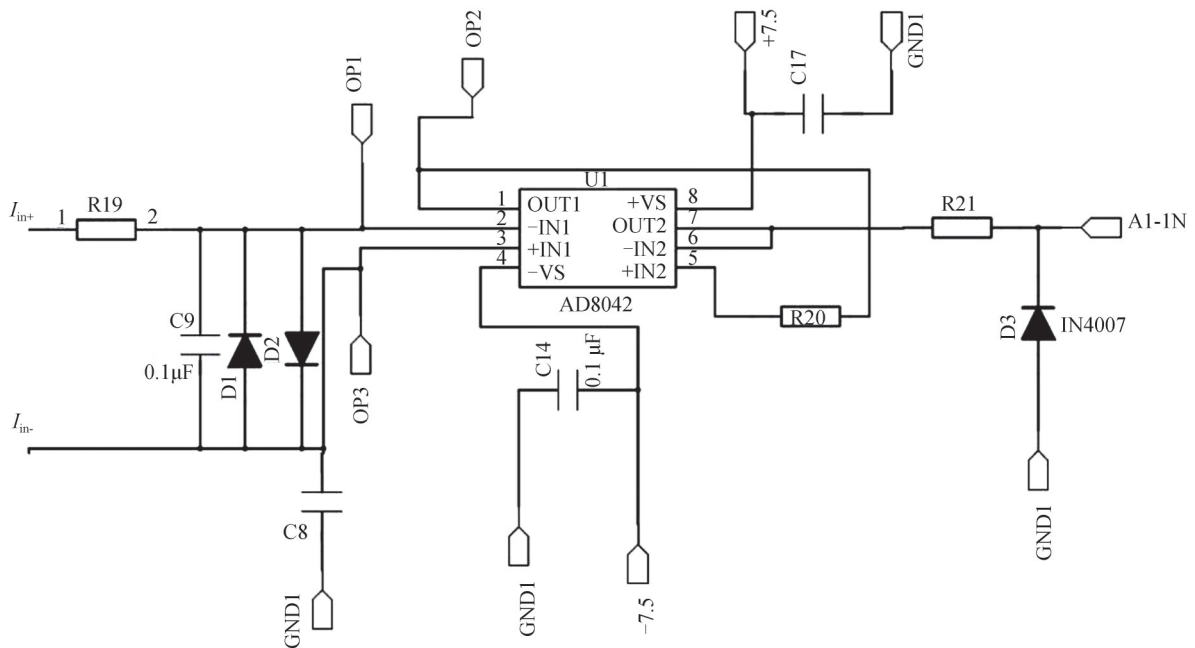


图4 电流转电压放大电路

Fig.4 Current to voltage amplifier circuit

## 2 高照度自动亮度控制模型建立

假设入射光照度为  $S_0$ , 建立像增强器连续的主要影响因素的关系示意图如图5所示。

假设各级单元的准确函数为  $F_k (k = 1, 2, 3, 4)$ , 则各级信号  $S_k$  关系为

$$S_1 = F_1(S_0, d) \tag{1}$$

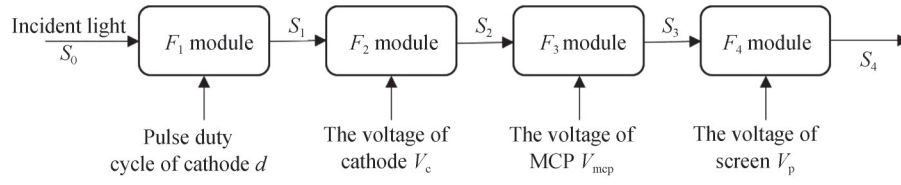


图5 像增强器亮度的主要影响因素关系示意图

Fig.5 Schematic diagram of the relationship between the main factors affecting the brightness of the image intensifier

$$S_2 = F_2(S_1, V_c) \quad (2)$$

$$S_3 = F_3(S_2, V_{mcp}) \quad (3)$$

$$S_4 = F_4(S_3, V_p) \quad (4)$$

荧光屏亮度  $L_p$  的理论表达式为

$$L_p = \alpha x_m \rho V G R_0 R_s \frac{E_c}{\beta^2} \quad (5)$$

式中,  $L_p$  为像增强器荧光屏亮度;  $\alpha$  为光谱匹配系数;  $x_m$  为光电阴极峰值灵敏度;  $V$  为电子到达荧光屏时获得的加速电位;  $G$  为微通道板的电流增益;  $E_c$  为阴极入射照度;  $\beta$  为电子光学系统的横向放大率;  $\rho, R_0, R_s$  为像增强器中的各级转换效率。仅考虑与模型相关的参数  $V, G$ 。  $V$  表示电子到达荧光屏时获得的加速电位,  $G$  为微通道板的电流增益。因此可得  $S_4$  和各电压之间的关系有

$$S_4 = F_4(F_3(F_2(F_1(S_0, d), V_c), V_{mcp}), V_p) \quad (6)$$

分两步进行模型建立。

第一步:亮度粗控制模型。

利用器件特性与实验结合的方法对函数中的参数进行估计,其表达式为

$$\widetilde{S}_4 = \widetilde{F}_4(\widetilde{F}_3(\widetilde{F}_2(\widetilde{F}_1(S_0, d), V_c), V_{mcp}), V_p) \quad (7)$$

其中每一个变量或函数上加“~”表示该函数或变量的估计,通过多次实验,对不同入射照度下的各控制参数得到不同的估计表达式。

第二步:高照度下亮度自动细控制模型。

基于估计函数,根据荧光屏电流  $I_{pt}$  和入射光照度  $S_0$ ,只能实现对参数  $d, V_c, V_{mcp}, V_p$  的粗略控制。为实现精确控制,将第一步获得的初步估计值记  $P^{[0]}$  作向量

$$P^{[0]} = [d^{[0]}, V_c^{[0]}, V_{mcp}^{[0]}, V_p^{[0]}] \quad (8)$$

以  $P^{[0]}$  为基础,对各参数进行适当调整,使荧光屏实际亮度  $S_4$  与理想荧光屏亮度  $S_4'$  之差在合理范围  $\delta_{S_4}$  内,即

$$|S_4 - S_4'| < \delta_{S_4} \quad (9)$$

然后根据各参数最大增量进行迭代求得控制参数的优化值,假设第  $k$  步中,实际所测的荧光屏电流为  $S_4^k$ ,各参数所组成向量为  $P^{[k]}$

$$P^{[k]} = [d^{[k]}, V_c^{[k]}, V_{mcp}^{[k]}, V_p^{[k]}] \quad (10)$$

为描述方便,将4个参数统一表示为  $P_{m[k]}$ ,有

$$P^{[k]} = [P_{1[k]}, P_{2[k]}, P_{3[k]}, P_{4[k]}] \quad (11)$$

(1) 计算各参数变化对  $S_4^k$  的影响,取其主增量单独调整  $P_{m[k]}$ ,使

$$P_{m[k+1]} = P_{m[k]} \pm \Delta P_{m[k]} \quad (12)$$

式中,  $\Delta P_{m[k]}$  为  $P_{m[k]}$  在第  $k$  步的增量。调整该参数使  $|S_4^{[k+1]} - S_4^k|$  减小,取满足该条件的最大参数作为主变化量记为  $n$ ,即

$$P_{n[k+1]} = P_{n[k]} \pm \Delta P_{n[k]} \quad (13)$$

更新该参数,其余参数保持不变。

(2) 计算  $|S_4^{[k+1]} - S_4^k|$  与  $\delta_{S_4}$  的关系,若  $|S_4 - S_4'| < \delta_{S_4}$ ,则得到各参数最优解,否则继续第(1)步

(3) 假设入射光照度  $S_0$  不变

$$\Delta S_4 = \frac{\partial S_4}{\partial P_1} \Delta P_1 + \frac{\partial S_4}{\partial P_2} \Delta P_2 + \frac{\partial S_4}{\partial P_3} \Delta P_3 + \frac{\partial S_4}{\partial P_4} \Delta P_4 \quad (14)$$

取各增量最大值,若第  $n$  个最大,则将该变量更新,其他不变。至此模型建立完成。

### 3 实验结果

#### 3.1 强光响应时间及稳定时间测试原理

强光响应时间是反映像增强器强光保护技术是否有效及其性能的重要指标,它定义为:在规定的工作电压下,像增强器阴极前端从微光照度环境突变到高照度条件环境(一般为 200 lx),门控电源开始工作使荧光屏亮度降低,从高照度环境的峰值时刻开始,到荧光屏亮度下降到最大亮度峰值的 90% 所需要的时间即为强光响应时间,也是强光保护措施的工作时间。强光响应时间越短,则表示像增强器强光保护性能越好。此时,强光响应时间  $T_R$  可表示为

$$T_R = T_2 - T_1 \quad (15)$$

式中,  $T_2$  为强光目标照度达到峰值的时刻,  $T_1$  为像增强器在强光保护方法的作用下降低荧光屏亮度到最大亮度峰值的 90% 的时刻。

荧光屏亮度在下降到最低点后会有一个回冲的过程,荧光屏会由暗变亮,经过一段时间稳定,强光稳定时间定义为荧光屏亮度最高点的时刻  $T_1'$  到亮度稳定时刻  $T_2'$  的时间,稳定时间  $T_s$  可表示为

$$T_s = T_2' - T_1' \quad (16)$$

稳定时间越短说明荧光屏亮度到达人眼适合观察的稳定亮度的速度越快。

#### 3.2 模型仿真

实际电路中无法直接使用荧光屏亮度进行信号反馈,而荧光屏亮度  $L_p$  和荧光屏电流  $I_p$  有

$$I_p = \pi \cdot L_p \cdot A_p / (\eta \cdot V_p) \quad (17)$$

在阳极电压  $V_p$ 、荧光屏发光效率  $\eta$  和荧光屏面积  $A_p$  都为固定值时,  $I_p$  和  $L_p$  有唯一线性对应关系<sup>[15]</sup>。

根据实验数据,将阴极电压与荧光屏电压设为定值,则根据式荧光屏电流的理论公式<sup>[15]</sup>有

$$I_p = d \cdot E \cdot S_c \cdot A_c \cdot G \quad (18)$$

式中,对于同一样本,  $S_c \cdot A_c$  为常数,则计  $k = S_c \cdot A_c$ 。而微通道板<sup>[16]</sup>电流增益  $G$  有

$$G = \left( \frac{V_{mcp}}{C\alpha} \right)^{\frac{\alpha}{4}} \quad (19)$$

式中,  $C$  为常数,对未经电子清刷的 MCP,  $C=8.5$ ,对清刷过的 MCP,  $C=9.5 \sim 10$ ;  $\alpha$  为 MCP 长径比,对于  $5 \mu\text{m}$  通道板,  $\alpha$  在 50~56 之间。取  $\alpha = 50$ ,  $C = 10$ ,则有

$$G = \left( \frac{V_{mcp}}{500} \right)^{12.5} \quad (20)$$

$$I_p = d \cdot E \cdot k \cdot \left( \frac{V_{mcp}}{500} \right)^{12.5} \quad (21)$$

$$L_p = k_p \cdot I_p = k_p \cdot k \cdot d \cdot E \cdot \left( \frac{V_{mcp}}{500} \right)^{12.5} \quad (22)$$

表 1 为某型号像管荧光屏亮度测试结果,将数据代入式(22)。可估算出  $k_p \cdot k \approx 2.16$ ,则有

$$L_p = 2.16 \cdot d \cdot E \cdot \left( \frac{V_{mcp}}{500} \right)^{12.5} \quad (23)$$

将式(23)代入式(14)模型,选取的迭代方式为占空比按比例调节  $d_{[k+1]} = k_d \cdot d_{[k]}$ ; MCP 电压按固定步长调节  $V_{mcp[k+1]} = V_{mcp[k]} \pm \Delta V_{mcp}$ ,并在接近目标值  $S_4'$  时改为较小的步长  $\Delta V_{mcp}'$ 。在此迭代控制方式下,改变不同的  $k_d$  和  $\Delta V_{mcp}$ ,  $\Delta V_{mcp}'$ ,可得到如图 6 曲线。

由图 6 可以发现,响应时间会随着  $k_d$ ,  $\Delta V_{mcp}$  的增大而减小,但在  $k_d$ ,  $\Delta V_{mcp}$  过大时,会造成荧光屏亮度快速下降到低于目标值的水平,导致后续需要通过  $\Delta V_{mcp}'$  的小步长对 MCP 电压进行调节,这样就会增加荧光



表1 某型号像管荧光屏亮度测试结果  
Table 1 Experiment results of screen brightness for an image intensifier

| Illuminance/lx    | Pulse width/ $\mu\text{s}$ | $V_{\text{mcp}}/\text{V}$ | Brightness/ $(\text{cd}\cdot\text{m}^{-2})$ |
|-------------------|----------------------------|---------------------------|---|
| $1\times 10^{-4}$ | 4 000                      | 840                       | 0.13  |
| $1\times 10^{-3}$ | 4 000                      | 840                       | 1.2   |
| $1\times 10^{-2}$ | 4 000                      | 750                       | 3.1   |
| $1\times 10^{-1}$ | 4 000                      | 610                       | 3.7   |
| 1                 | 4 000                      | 570                       | 4.1   |
| 10                | 4 000                      | 455                       | 4.6   |
| 100               | 2 500                      | 370                       | 4.9   |
| 1000              | 550                        | 350                       | 5.3   |
| 5 000.00          | 180                        | 350                       | 4.9   |
| 10 000.00         | 87                         | 350                       | 4.8   |

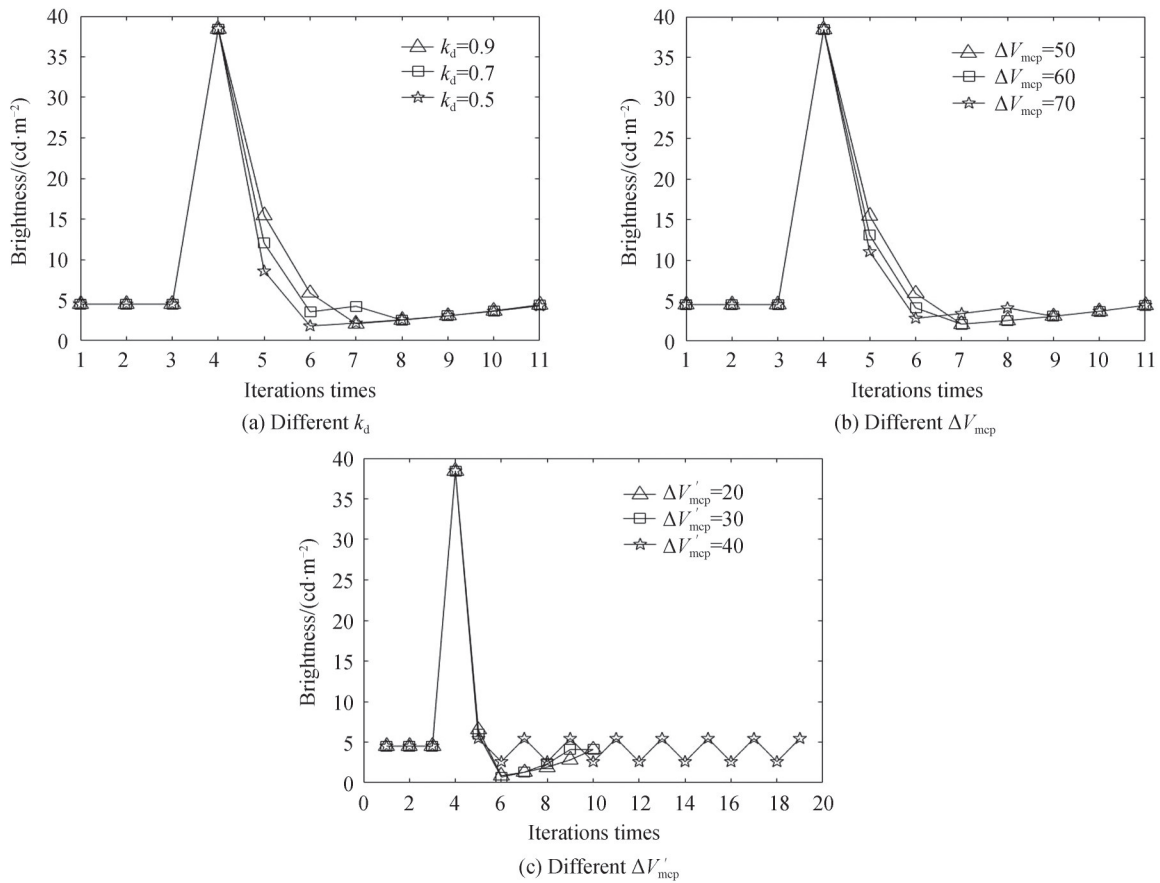


图6 各参数不同步长变化下的荧光屏亮度仿真曲线  
Fig.6 Simulation curve of screen brightness under different parameter length change

屏的稳定时间;而稳定时间会随 $\Delta V'_{\text{mcp}}$ 的增大而减小,但 $\Delta V'_{\text{mcp}}$ 过大时会导致荧光屏亮度在一个范围内不停震荡。因此要使荧光屏亮度有快速的响应和稳定,控制步长的选择至关重要。

### 3.3 荧光屏亮度测试实验结果

根据响应时间测试流程,对 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 三种不同型号的像管进行测试,各样品主要有以下不同: $a$ 样品的门控电源频率为160 Hz, $b$ 、 $c$ 样品的门控电源频率为500 Hz; $a$ 、 $b$ 样品的控制方式为阴极脉宽与MCP电压同时下降, $c$ 样品的控制方式为先降MCP电压再调整阴极脉宽。图7中的(a)、(b)、(c)分别代表样品 $a$ 、样品 $b$ 、样品 $c$ 的荧光屏亮度实验结果。

可以看出,因阴极脉冲信号的影响,荧光屏的亮度在以一个固定频率闪烁, $a$ 管为160 Hz, $b$ 、 $c$ 管为500 Hz,

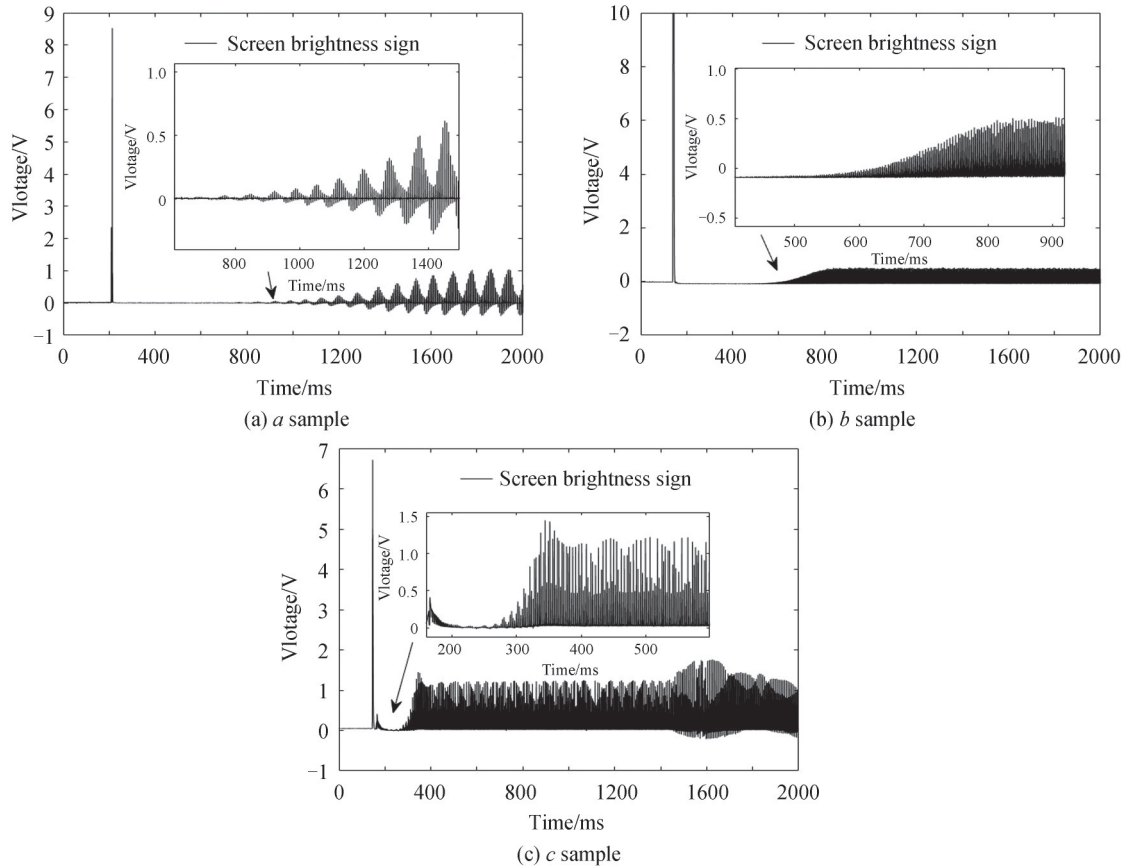


图7 三种像管荧光屏亮度实验结果及回冲过程放大图

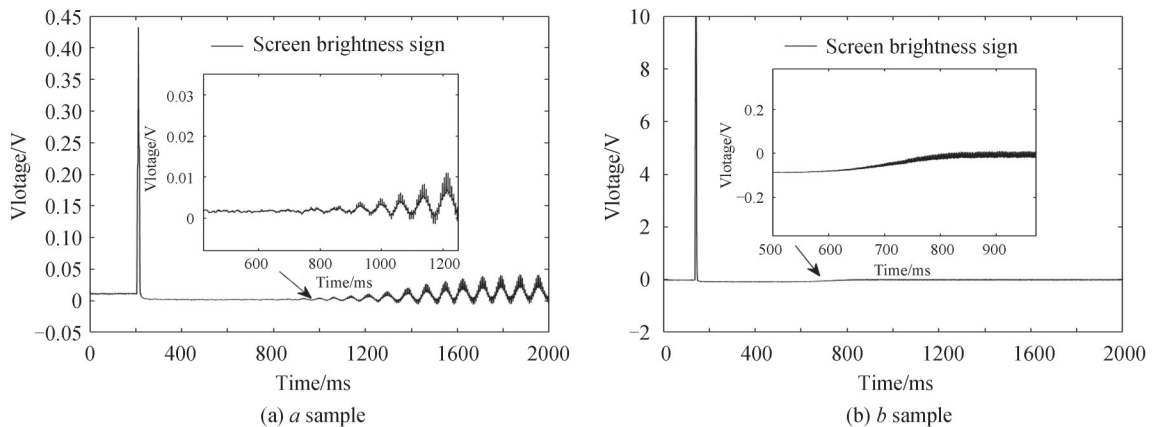
Fig.7 Experiment results of screen brightness for three kinds of image intensifier and enlarged view of rebound process

为符合人眼所见亮度,分别对三个像管的实验数据进行均值滤波,窗口大小为门控电源信号的周期,得到图8,其中图8(a)、(b)、(c)分别代表样品a、样品b、样品c实验数据均值滤波后的曲线及其局部放大图;同时图中荧光屏亮度在下降到最低点后会有一个回冲的过程,荧光屏会由暗变亮,经过一段时间变稳定,将荧光屏亮度最高点的时刻到亮度稳定时刻的时间记为稳定时间(Stabilization time)。

根据均值滤波后的曲线进行响应时间与稳定时间的计算,得到三种像管响应时间及稳定时间的数据,如表2所示。

根据图7~8曲线与表2的数据,可以发现:

- 1) 荧光屏在门控电源的作用下不停闪烁,闪烁频率与门控电源信号频率有关,门控电源信号频率较低会造成强光来临时刻门控电源信号的占空比调节不及时,导致  $V_{mcp}$  被持续拉低;
- 2) 对于三个样本,因为实际使用过程中,电路的实际运作存在延迟以及过冲等种种现象,所以仿真结果



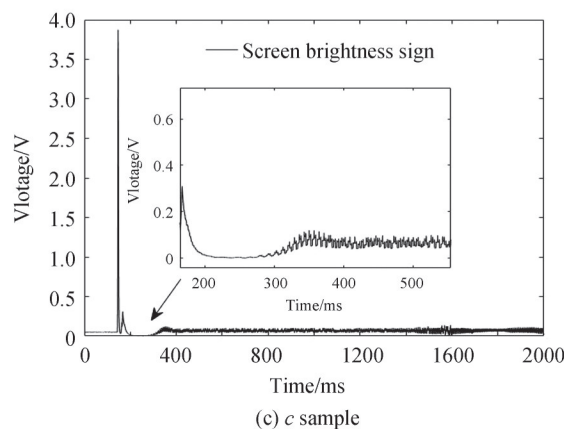


图8 三种像管荧光屏亮度均值滤波结果及回冲过程放大图

Fig.8 Mean filtering results of screen brightness for three kinds of image intensifier and enlarged view of rebound process

表2 三种像管响应时间及稳定时间结果

Table 2 Response time and stabilization time of three kinds of image intensifier

| Image intensifier number | Response time/ms | Stabilization time/ms |
|--------------------------|------------------|-----------------------|
| <i>a</i>                 | 0.4              | 1 499.8               |
| <i>b</i>                 | 0.5              | 654.9                 |
| <i>c</i>                 | 0.7              | 198.7                 |

与实验结果会存在偏差,但变化趋势上两者是一致的,荧光屏亮度在强光来临时迅速上升,随后迅速变暗,最后进行一段时间的缓慢回升,达到稳定点;

3)对于样本*a*,响应时间最快,稳定时间最长,并且亮度稳定之后仍然有一定频率的震荡,这与 $\Delta V_{mcp}$ 较大的情况相一致。同时其门控电源脉冲频率最小,小于 $V_{mcp}$ 的反馈速度,也会导致 $V_{mcp}$ 不停变化,使荧光屏亮度不断变化;

4)对于*a, b, c*样品,相同的门控电源脉冲频率,不同的控制步长情况下,响应时间和稳定时间呈反比趋势。参照仿真曲线图6,响应时间越小说明占空比及MCP电压调节步长较大,导致后续的回冲阶段需要更多次的迭代达到稳定,所以稳定时间随响应时间的增大而减小。

## 4 结论

基于国内关于门控电源微光像增强器缺少自动亮度控制模型和评价测试指标的现状,根据荧光屏亮度理论公式,设计了一套自动亮度控制模型,进行了仿真研究,制作了荧光屏亮度测试系统,通过测试微光夜视技术重点实验室制作的自动门控电源微光像增强器的响应时间以及稳定时间,验证了模型的可行性,并分析了控制方案的不同对响应时间以及稳定时间的影响,对后续的微光像增强器用门控电源的研究具有指导意义。

### 参考文献

- [1] XIANG Shiming, NI Guoqiang. The principle of photoelectronic imaging devices[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1999: 6-9.  
向世明, 倪国强. 光电子成像器件原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999: 6-9.
- [2] GUO Hui, XIANG Shiming, TIAN Minqiang. A review of the development of low-light night vision technology [J]. Infrared Technology, 2013, 35(2): 63-68.  
郭晖, 向世明, 田民强. 微光夜视技术发展动态评述[J]. 红外技术, 2013, 35(2): 63-68.
- [3] AI Kecong. Development and prospect of Low-light-level (LLL) night vision technology [J]. Journal of Applied Optics, 2006, 27(4): 304-305.  
艾克聪. 微光夜视技术的进展和展望[J]. 应用光学, 2006, 27(4): 304-305.
- [4] ZHI Qiang, YAN Bo, YANG Ye, et al. Application of gating technique based on the PLD devices in low-light-level image intensifier [J]. Infrared Technology, 2013, 35(3): 180-184.



- 智强,延波,杨晔,等.基于PLD器件的门控技术在微光像增强器中的应用[J].红外技术,2013,35(3):180-184.
- [5] DENG Guangxu, YAN Bo, ZHI Qiang, et al. Study of technology of auto-gating power source in image intensifier[J]. Infrared Technology, 2012, 34(3): 157-158.
- 邓广绪,延波,智强,等.微光像增强器自动门控电源技术研究[J].红外技术,2012,34(3):157-158.
- [6] ESTRERA J P, SALDANA M R. Gated power supply technologies for advanced image intensifiers[C]. SPIE, 2003, 4796: 60-70.
- [7] HAMILTON S, MOTTOLA A. Investigation of the On/Off ratio of a gated image intensifier[C]. SPIE, 2003, 4796: 83-89.
- [8] NI Xiaobing, YAN Bo, YANG Ye, et al. Study of image intensifier SNR based on auto gated power supply[J]. Infrared Technology, 2017, 39(3): 284-287.
- 倪小兵,延波,杨晔,等.基于自动门控电源的微光像增强器信噪比研究[J].红外技术,2017,39(3):284-287.
- [9] YAN Bo, ZHI Qiang, LI Junguo, et al. Study of image intensifier dynamic range based on auto-gating power source[J]. Infrared Technology, 2013, 35(5): 300-302.
- 延波,智强,李军国,等.基于自动门控电源的微光像增强器动态范围研究[J].红外技术,2013,35(5):300-302.
- [10] YANG Ye, ZHI Qiang, YAN Bo, et al. Auto-gated power supply for low-light level image intensifier [C]. SPIE, 2013, 8912: 891210.
- [11] YANG Ye, YAN Bo, ZHI Qiang, et al. Some improvements on the auto-gated power for low-light level image intensifier [C]. SPIE, 2014: 9284: 92840L.
- [12] ESTRERA J P, SALDANA M R. High-speed photocathode gating for generation III image intensifier applications[C]. SPIE, 2003, 5079: 212-221.
- [13] YANG Ye, YAN Bo. Feedback circuit design of an auto-gating power supply for low-light-level image intensifier[C]. SPIE, 2015, 9795: 97950B.
- [14] LIU Yuwen, CHANG Lihua, XIAO Zhengfei, et al. Measuring gating time of gated image intensifier[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2012, 24(10): 2447-2450.
- 刘宁文,畅里华,肖正飞,等.门控型像增强器开门时间测量[J].强激光与粒子束,2012,24(10):2447-2450.
- [15] YAN Bo, YANG Ye, NI Xiaobing, et al. Relationship between cathode pulse duty cycle and phosphor screen current[J]. Infrared Technology, 2017, 39(8): 757-760.
- 延波,杨晔,倪小兵,等.阴极脉冲占空比与荧光屏电流关系研究[J].红外技术,2017,39(8):757-760.
- [16] LI Xiaofeng, LI Tingtao, ZENG Jinneng, et al. Study on the improvement of input signal utilization of MCP[J]. Acta Photonica Sinica, 2020, 49(3): 0325002.
- 李晓峰,李廷涛,曾进能,等.微通道板输入信号利用率提高研究[J].光子学报,2020,49(3):0325002.

## Brightness of the Screen of Gated Low Light Level Image Intensifier Based on Automatic Brightness Control Model

SUN Mohan<sup>1</sup>, QIAN Yunsheng<sup>1</sup>, REN Yingnan<sup>2</sup>, ZHI Qiang<sup>2</sup>, KONG Xiangyu<sup>1</sup>,  
LANG Yizheng<sup>1</sup>

(1 College of Electronic Engineering and Optoelectronic Technology, Nanjing University of Science and Technology,  
Nanjing 210094, China)

(2 Science and Technology on Low-Light-Level Night Vision Laboratory, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** Low light level image intensifier is an important military hardware in the night battlefield, and it usually consists of photoelectric cathodes, Microchannel Plates (MCP), fluorescent screens, and adapted dedicated power supplies. The gated power supply applied between the photoelectric cathode and MCP is an important part of the strong light protection of the image intensifier. Its main feature is the application of Pulse Width Modulation (PWM) high voltage instead of the traditional direct current high voltage, and photoelectron passes through only during the duration of the pulse, which achieves the switch operation of the electronic flow. However, domestic low light level image intensifier with gated power supply is in lack of theoretical model support and test indicators at present. Based on the above background, the theoretical models and test indicators are studied in this paper. In terms of theoretical models, this paper incorporates factors that affect the brightness of the fluorescent screen, including incident illuminance, cathode voltage, cathode pulse duty cycle, MCP voltage and fluorescent screen voltage into the model for analysis, and

finally establishes an automatic brightness control model. In terms of test indicators, the two parameters of enhancer response time and stabilization time are proposed. Response time represents the time it takes from the brightness peak to 90% of the maximum brightness a high-light environment. The stabilization time represents the time between the moment when the brightness of the screen is at its highest point and the moment when the brightness is stable. Aiming to study the effect of each parameter on the response time and stabilization time of the low light level image intensifier, two variables controlled when the gated power supply is actually used are selected: cathode pulse duty cycle and MCP voltage, and the simulation analysis is carried out. By changing the step size of the variables regulation, the change trend of the brightness of the fluorescent screen in the model is calculated and analyzed, and the simulation curve is drawn to compare with the subsequent experimental results. In order to verify the results of model simulation, a fluorescent screen brightness test system is designed and produced, which includes a light source system, a signal acquisition system and an upper computer software system. The signal acquisition system uses photocells and high-speed signal acquisition circuits to collect the brightness of the fluorescent screen in real time to ensure the accuracy of the test results. Using this test system, three gated image intensifier samples based on the automatic brightness control model were tested, and the experimental results showed that the larger step size of the cathode pulse duty cycle regulation and MCP voltage regulation, the smaller the response time, but the stabilization time would increase as well; the larger step size of the MCP voltage regulation, the smaller the stabilization time, and if this parameter is too large, the brightness of the fluorescent screen will fluctuate. These trends are basically consistent with the simulation results. Besides, the low cathode pulse frequency can also cause unstable brightness oscillation of the fluorescent screen. Based on the above work, this paper verifies the feasibility of automatic brightness model, and analyzes the effect of different control schemes on response time and stabilization time, which is of guiding significance to the subsequent research on gated power supply for Low light level image intensifiers.

**Key words:** Image intensifier; Automatic brightness control; Performance test; Auto-gating power source; Response time; Stabilization time

**OCIS Codes:** 040.3780; 250.0040; 040.5160; 230.2090