

〈微光技术〉

基于自动门控电源的微光像增强器局部强光防护

延波^{1,2}, 倪小兵^{1,2}, 智强^{1,2}, 刘佳音^{1,2}, 宋海浩^{1,2}, 李梦依^{1,2}

(1. 微光夜视技术重点实验室, 陕西 西安 710065; 2. 昆明物理研究所, 云南 昆明 650223)

摘要: 自动门控电源作为微光像增强器的能量来源, 其局部强光防护方法研究对完善自动门控电源控制策略、提升微光像增强器强光使用性能具有重要意义。分析了匹配传统直流高压电源与自动门控电源的微光像增强器大动态照度范围应用的优劣势, 提出了一种能够使微光像增强器兼具高照度应用和低照度局部强光防护能力的自动门控电源设计思路, 并给出了自动门控电源电路的控制策略实现方法。

关键词: 自动门控电源; 像增强器; 自动亮度控制; 阴极脉冲占空比; 局部强光防护

中图分类号: TN215

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2022)09-0951-07

Local Bright-light Protection for Low-Light-Level Image Intensifier Based on Auto-gating Power Supply

YAN Bo^{1,2}, NI Xiaobing^{1,2}, ZHI Qiang^{1,2}, LIU Jiayin^{1,2}, SONG Haihao^{1,2}, LI Mengyi^{1,2}

(1. Science and Technology on Low-Light-Level Night Vision Laboratory, Xi'an 710065, China;

2. Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China)

Abstract: Auto-gating power supply is the energy source of low light level image intensifiers, and research on its local bright-light protection method is of great significance for improving the control strategy of auto-gating power supply and the bright-light performance of low light level image intensifiers. This paper analyzes the advantages and disadvantages of the low light level image intensifier that matches the DC high-voltage power supply and auto-gating power supply in the application of a large dynamic illumination range. A design idea for an auto-gating power supply is presented, which can provide the low light level image intensifier with high illumination application and low illumination local bright-light protection and offers a control strategy for an auto-gating power supply circuit.

Key words: auto-gating power supply, image intensifier, automatic brightness control, cathode pulse duty cycle, local bright-light protection

0 引言

复杂照明环境下, 强光防护技术是防止微光像增强器饱和、失效和损坏的有效手段。微光像增强器领域的强光防护概念, 主要针对的是低照度下的亮光源防护, 即在光阴极 1 mm^2 上, 施加 0.05 lm 的光通量 (约 $5 \times 10^4\text{ lx}$ 照度), 持续 60 s 。之后, 在室温放置 24 h , 微光像增强器不应损坏, 无阴影现象。

目前根据适用环境不同, 强光防护技术主要涉及两个概念: 微光像增强器在高照度下的应用和低照度下的亮光源防护或局部强光防护。

基于传统直流高压电源的微光像增强器只能应用于低照度环境, 该照度环境下具有强光防护功能或亮光源防护 (Bright source protection, BSP) 功能, 但不具有在高照度条件应用能力; 目前基于自动门控电源的微光像增强器能够应用于大动态范围照度环境, 尤其是高照度环境, 但其在低照度环境下的局部强光防护能力相对较弱^[1]。

目前自动门控电源技术已经得到突破, 使得微光像增强器能够在高照度环境下使用, 但其在低照度下的局部强光防护技术还需进一步深入开展研究。

本课题开展阴极脉冲工作方式强光防护方法研

收稿日期: 2021-09-08; 修订日期: 2021-10-18.

作者简介: 延波 (1984-), 男, 陕西绥德人, 高工, 硕士, 主要从事微光电源及控制技术研究。E-mail: 13571900902@126.com.

基金项目: 国防基础科研项目 (JCKY2018208B016)。

究,就是为了探索一种能够使微光像增强器兼具高照度应用和低照度局部强光防护的方法,降低基于自动门控电源的微光像增强器在高照度应用和低照度局部强光环境下的损伤,实现微光像增强器在复杂照度环境中的可靠应用。

1 直流高压电源与自动门控电源的工作原理

基于直流高压电源的微光像增强器工作原理:将微光像增强器荧光屏微电流作为反馈信号,自动调控微通道板(Microchannel plate, MCP)电压控制微光像增强器 MCP 的电子倍增效率,从而实现微光像增强器荧光屏亮度的基本恒定,如图1所示,图1中上半部分为像管的主要组成,下半部分为直流高压电源的主要组成。

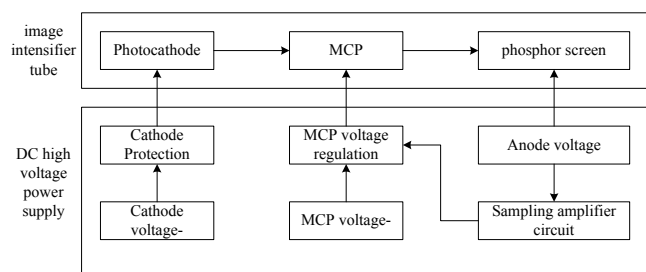


图1 基于直流高压电源的微光像增强器工作原理

Fig.1 Operating principle of low light level image intensifier based on DC high voltage power supply

传统的直流高压电源的强光防护,主要是通过电阻分压的方式,利用光阴极电流随光照强度增加的特性,当环境照度增加时,光阴极电流增大,串联于直流高压电源与光阴极之间的防护电阻的分压增大,使得施加于光阴极的实际电压减小,从而实现光阴极的强光防护。当光阴极电流继续增加时,施加于光阴极端的电压几乎为零,微光像增强器则无法正常工作^[2-3]。

基于自动门控电源的微光像增强器工作原理:将微光像增强器荧光屏微电流作为反馈信号,一方面自动调控 MCP 电压控制微光像增强器 MCP 的电子倍增效率;另一方面自动调整阴极高压脉冲宽度,控制微光像增强器在单位时间内从光阴极发射并到达 MCP 输入面的电子数量,从而实现微光像增强器荧光屏亮度的基本恒定^[4],如图2所示,图2中上半部分为像管的简单组成,下半部分为自动门控电源的主要组成。

自动门控电源设计之初,主要是在高照度环境下应用的,其通过高压脉冲占空比调节代替阴极直流电压,使得微光像增强器的应用范围由几勒克斯的最大照度,延伸到现在的近 10^5 lx 的照度,同时由于微光像增强器的阴极工作在脉冲状态,基本保证了微光像增强器的高照度分辨力,即高照度环境下微光像增强器

能够正常工作,这是使用自动门控电源的优势之处^[5]。

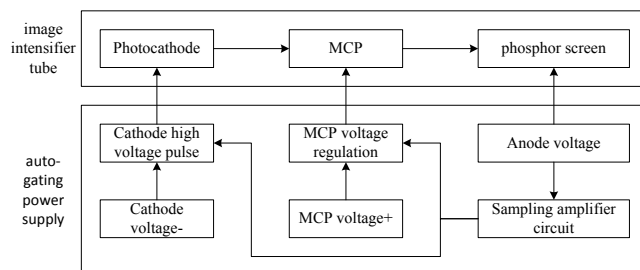


图2 基于自动门控电源的微光像增强器工作原理

Fig.2 Operating principle of low light level image intensifier based on auto-gating power supply

自动门控电源技术作为一项新的微光像增强器供电控制技术,目前技术电路实现方式已经突破,但与微光像增强器的匹配性方面还存在一定不足,尤其在低照度环境下遇到局部强光时的控制策略,还需要进一步统筹优化,即开展脉冲工作模式时的强光防护方法研究。

2 基于自动门控电源的微光像增强器局部强光防护分析

2.1 技术难点及分析

1) 受体积限制,不能额外增加电路,尽力在现有电路基础上进行优化改进;

2) 微光像增强器无法进行局部强光判断,即无法通过电路对局部强光区域相关参数进行调整;

在自动门控电源中,如果直接参考传统直流高压电源,采用串联电阻方式实现低照度的局部强光防护,在低照度环境下效果会相对有效,但高照度时由于串联电阻分压,光阴极端电压会显著下降,造成光阴极发射电子无法到达 MCP,即分辨力下降,使基于自动门控电源的微光像增强器在高照度条件下无法正常工作。

采取调整串联电阻阻值方法,同样达不到强光防护要求。因电阻阻值太小,则低照度环境下的强光防护效果会减弱;高照度环境下,照度会相对增加,到一定值时,光阴极端电压同样会下降,同样会造成微光像增强器无法正常工作。如果串联电阻太大,则低照度环境下的强光防护效果会比较好,但高照度环境下,光阴极端电压相对会下降更多,相比在更低照度下就会造成微光像增强器无法正常工作。

基于上述分析,通过简单的电阻调整优化,无法达到强光防护目的,需通过研究微光像增强器强光损伤的机理,对大动态照度范围内的高低照度下的控制策略,尤其是低照度下的控制策略进行重新计算、优化,进而最大限度降低损伤。

2.2 技术途径及可行性分析

如果在低照度环境下使用串联电阻的方法, 在高照度环境下使用自动门控的方法, 即采用不同的控制方法对应不同的控制策略, 因自动门控电源的自动亮度控制 (automatic brightness control, ABC) 功能是通过控制微光像增强器亮度增益来实现荧光屏亮度稳定控制的, 因此控制策略的不同需要通过微光像增强器的增益公式对高低照度下的过程数据进行计算^[6], 具体如下。

2.2.1 ABC 功能启动点计算

目前微光像增强器亮度增益 G 一般调节为 $12000 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$, 该状态下的测试照度 E_i 为 $2 \times 10^{-5} \text{ lx}$, 对应的微光像增强器荧光屏亮度约 $0.24 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$; 当 ABC 功能启动时, 微光像增强器的荧光屏亮度 L 一般调节为 $6 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, 此时对应的阳极电流约 60 nA , 对应的光阴极面照度 $E_q = L/G$, 约 $5 \times 10^{-4} \text{ lx}$, 说明 ABC 功能在光阴极面照度大于约 $5 \times 10^{-4} \text{ lx}$ 时, 即会启动。

高照度环境下, 自动门控电源的 ABC 功能必然处于启动状态, 自动门控电源能够通过自动调整 MCP 电压和阴极脉冲占空比, 实现微光像增强器荧光屏亮度的基本稳定。

2.2.2 荧光屏电流计算及影响参数分析

微光像增强器荧光屏电流与光阴极灵敏度、光阴极面积、光阴极面照度、阴极脉冲占空比、微通道板电流增益等因素有关^[7], 其关系可表示为:

$$i_{ca} = S_{ca} \cdot A_{ca} \cdot E \cdot N \cdot G_p \quad (1)$$

式中: i_{ca} 为荧光屏电流, 也称阳极电流; S_{ca} 为光阴极灵敏度, 而阴极灵敏度是在固定电压下测量得到, 其与阴极电压 V_{ca} 有关, 可表示为 $S_{ca}(V_{ca})$, 阴极电压固定时为定值; A_{ca} 为光阴极有效面积, 为定值 2.54 cm^2 ; E 为光阴极光输入照度; N 为阴极脉冲占空比; G_p 为 MCP 电流增益, 是与 MCP 电压 V_p 有关的函数, 可表示为 $G_p(V_p)$ 。

荧光屏电流 i_{ca} 的主要影响因素就是 MCP 电流增益 G_p 、阴极灵敏度 S_{ca} 、光阴极面照度 E 。

从公式(1)可知, 光阴极面积和灵敏度均为定值, 而阳极电流在 ABC 功能启动后近似不变, 则上式中只要光阴极面照度 E 不发生变化, 则 MCP 电流增益 G_p 、阴极脉冲占空比 N 都不会变化。

2.2.3 高照度环境强光防护技术途径

环境照度为 200 lx , 是微光像增强器高照度分辨力的测试条件^[8]。

假定上述测试条件下, 阳极电流 i_{ca} 为 60 nA , 阴极灵敏度 S_{ca} 为 $1800 \mu\text{A} \cdot \text{lm}^{-1}$, 阴极脉冲占空比 N 为 0.05% , 根据公式(1)可计算得到 MCP 的电流增益 G_p

为:

$$G_p = \frac{i_{ca}}{S_{ca} \cdot A_{ca} \cdot E \cdot N} \approx 1.31$$

计算得到的 MCP 电流增益约 1.31, 即 MCP 输出与 MCP 输入的电流比为 1.31, 说明 MCP 已经处于饱和状态, MCP 电流增益的计算值越低, 说明 MCP 电子倍增的效果越差。

如果 200 lx 环境照度中, 一旦出现强亮光源, 则照度 E 必然发生变化, 自动门控电源在 ABC 功能作用下就会自动调整阴极脉冲占空比和 MCP 电压, 占空比的减小和 MCP 电压的降低, 都会减少微光像增强器在单位时间内的高照度工作时间, 尤其占空比降低到最小时, 相比光阴极处于直流工作状态, 光阴极单位时间内的工作时间能够降到 0.05% , 说明自动门控电源占空比值越小, 对高照度或强光的防护效果越明显。

微光像增强器本身属于低照度探测器件, 虽然采用自动门控电源后, 能够使微光像增强器应用于高照度环境下, 主要是为了避免复杂战场环境中出现局部强光, 引起微光像增强器自身防护而形成致盲现象, 同时微光像增强器在高照度环境下应用时, 即使单位时间内的工作时间很短, 但依然还是高照度工作环境, 因此应该尽量减少微光像增强器在高照度环境下的长时间使用。

在高照度环境中, 即使出现强光, 强光与环境照度的对比也相对较弱, 且有自动门控防护, 而在低照度环境中, 一旦出现局部强光, 局部强光与环境照度的对比会很明显, 此时自动门控电源的占空比还不可能降低到最小, 或可能占空比调节还未启动, 因此相对而言对在低照度下的强光防护效果会较弱, 这也是为什么强光防护主要针对低照度环境的原因。

因此, 高照度环境局部强光防护实现途径, 主要是降低光阴极单位时间内的工作时间, 在自动门控电源的设计方面, 就是降低阴极脉冲频率、减小阴极最小脉冲宽度, 即增大阴极脉冲占空比的调节范围, 如: 占空比范围从 $100\% \sim 1\%$ 调整为 $100\% \sim 0.5\%$ 。

2.2.4 低照度环境局部强光防护技术途径

低照度环境中, 实现局部强光防护主要有两个途径:

途径①: 使阴极脉冲占空比调节功能前移, 通过降低微光像增强器在单位时间内的工作时间来实现光阴极防护。

途径②: 采用与直流高压电源类似的方式, 通过降低光阴极电压来实现光阴极防护, 但不是简单的采

用串联电阻方式,需要与阴极高压脉冲结合。低照度时,阴极高压脉冲的负压通过电阻供给光阴极;高照度时,阴极高压脉冲与现有自动门控电源控制策略相同,同上述2.2.3分析。

1) 途径①可行性分析

途径①可以减小微光像增强器在单位时间内的的工作时间,但是阴极脉冲占空比调节的弊端,会造成微光像增强器在低照度环境中信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)指标下降^[9],具体见图3。

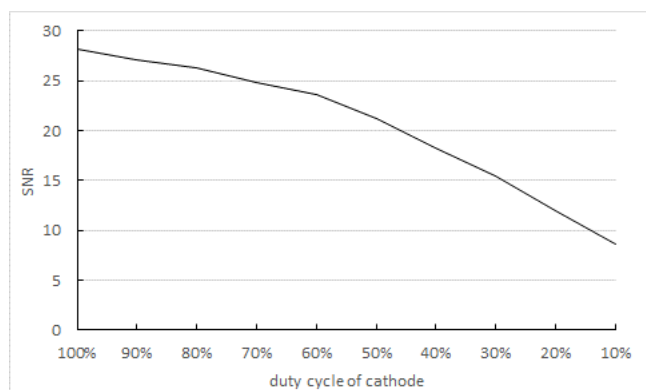


图3 信噪比随阴极占空比变化曲线

Fig.3 The curve of signal to noise ratio following the duty cycle of cathode

上述分析说明,通过阴极脉冲占空比调节功能前移的方法,在低照度条件下对光阴极有一定防护作用,但会使微光像增强器的信噪比有适当下降,因此途径①不是已知办法中最好的选择。

2) 途径②可行性分析

目前自动门控电源阴极高压脉冲采用的是图4所示电路原理^[10](不包括R1),V-P端实线波形为P-MOS管3个周期的驱动信号,P-MOS管的导通电平为低电平,占空比分别为25%、50%、75%;V-N端实线波形为N-MOS管3个周期的驱动信号,N-MOS管的导通电平为高电平,占空比分别为75%、50%、25%;V-P和V-N在两端驱动信号共同作用下实现阴极高压脉冲输出,-400V为光阴极工作的有效电平,形成阴极高压脉冲的占空比分别为75%、50%、25%。

在N-MOS管漏极和源极之间并联电阻R1,V-P端的驱动信号不变,将V-N端的驱动信号调整为图4中V-N端虚线所示波形,N-MOS管的导通电平依旧为高电平,占空比由75%、50%、25%分别变为0%、0%、25%,即第1个、第2个周期内N-MOS管为一直关闭状态,除P-MOS管导通时,光阴极都是通过电阻R1给其供电;第3个周期内占空比为正常状态25%。

上述电路分析说明,通过MOS管的驱动信号调

整,可实现对微光像增强器光阴极直接施加高压脉冲,还是通过电阻进行供电。说明采用途径②,从电路实现方面是可行的。

综上分析,通过驱动信号调整,能够控制电阻给光阴极供电的时间,而通过串联电阻方式对低照度局部强光防护又是可行的(参考直流高压电源亮光源防护),因此采用上述途径能够实现微光像增强器高低照度下的强光防护,即高照度环境应用和低照度局部强光防护。

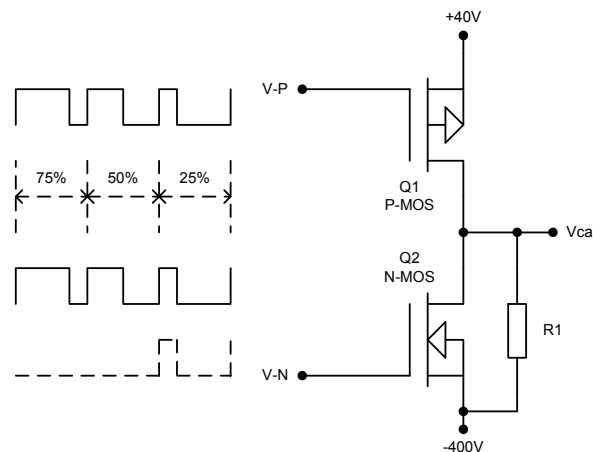


图4 阴极高压脉冲控制原理

Fig.4 Control principle of cathode high voltage pulse

3 局部强光防护试验验证及分析

因基于自动门控电源的微光像增强器在高照度环境下应用为已突破技术,因此本章主要对低照度局部强光防护的参数分析及计算。

3.1 低照度局部强光分析计算

以典型的亮光源防护测试条件(在光阴极1mm²上,施加0.05lm的光通量)为例进行计算分析,具体如下:

3.1.1 亮光源照度计算

由光通量 Φ 等于面积S与照度E的乘积可知:亮光源照度可表示为:

$$E = \Phi / S \quad (2)$$

计算得,1mm²光阴极上,施加0.05lm光通量,对应的光照强度为:

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{0.05}{1 \times 10^{-6}} = 5 \times 10^4 \text{ lx}$$

3.1.2 光阴极电流计算

由公式(1)可知:光阴极电流计算公式可表示为:

$$i_{ca} = S_{ca} \cdot A_{ca} \cdot E \quad (3)$$

假定光阴极灵敏度为1800 μ A/lm;已知光阴极面积为2.54cm²,但光阴极上实际照射面积为1mm²时,可知此时的光阴极电流理论值为:

$$i_{ca}' = S_{ca} \cdot A_{ca} \cdot E = 1800 \times 1 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^4 = 90 \mu A$$

3.1.3 荧光屏电流计算

在微光像增强器的 MCP 输出与荧光屏之间电场不变的前提下, MCP 输出电流 i_{mcp} 与荧光屏电流 i_a 近似, 而 MCP 输出电流又受 MCP 饱和电流 I_{mcp} 限制, 可表示为:

$$I_{mcp} \leq \frac{V_{mcp}}{R_{mcp}} \quad (4)$$

式中: V_{mcp} 为 MCP 电压, 最大值不大于 1100 V, 一般选典型工作电压为 825 V; R_{mcp} 为 MCP 的体电阻, 范围为 80~200 M Ω , 一般选典型体电阻值为 150 M Ω 。

由公式(4), 计算得到 MCP 的饱和电流 I_{mcp} 为 5.5 μA , 当 MCP 电压下降时, MCP 的饱和电流 I_{mcp} 也会随之线性下降, 这也是 MCP 的显著特性之一^[11-12]。

在 1 mm² 的亮光源条件下, 光阴极电流 i_{ca}' (90 μA) 远大于 MCP 的饱和电流 I_{mcp} (5.5 μA), 而实际 MCP 的最大输出电流只有 5.5 μA , 在计算时需要注意。

因光阴极与 MCP 为近贴结构, 在高压电场作用下, 依然具有很高的分辨力, 因此可以忽略光阴极发射电子的偏转量, 即当光阴极 1 mm² 的局部电子发射到 MCP 输入面时也占约 1 mm² 的面积。

根据 MCP 的结构特性可知: MCP 输入面 1 mm² 的入射电子, 对应 MCP 输出面也只有 1 mm² 的出射电子, 即可有如下关系, MCP 局部饱和电流 i_{mcp}' 与 MCP 饱和电流 I_{mcp} 比值, 与其对应面积比 ($A_{i_{mcp}'} / A_{I_{mcp}}$) 近似相等^[13], 即:

$$i_{mcp}' / I_{mcp} \approx A_{i_{mcp}'} / A_{I_{mcp}} \quad (5)$$

因此实际荧光屏电流值为:

$$i_a \approx i_{mcp} \approx i_{mcp}' \approx \frac{A_{i_{mcp}'}}{A_{I_{mcp}}} \times I_{mcp} \approx 21.6 \text{ nA}$$

3.1.4 亮光源照射时的 ABC 工作状态

由于述 3.1.3 节可知, 给光阴极施加 1 mm²、0.05 lm 的光照时, 尽管光阴极电流比较大, 但因 MCP 饱和特性的存在, 实际荧光屏电流约 21.6 nA, 达不到 ABC 功能启动时对应的阳极电流值 60 nA。

3.1.5 分析

1) 对于测试条件的亮光源状态, 自动门控电源的阴极脉冲占空比调节还未启动, 无法通过调整阴极占空比的方式来减弱微光像增强器光阴极损伤。

2) 即使光阴极施加的局部强光比测试条件的亮

光源照度再高或面积再大, 能够实现 ABC 功能启动, 但由于局部强光的局限性, 阴极脉冲占空比和 MCP 电压都不可能下降到很小, 还无法最大限度的防护光阴极。

上述计算及分析, 借鉴验证了目前技术状态的自动门控电源是不具有低照度条件下的局部强光防护功能的。

3.2 电路参数确定及验证

电路参数主要通过亮光源条件下的防护电阻计算、光阴极极限损伤电流分析, 再进行防护电阻的折衷选择, 最后通过电路功能验证。

3.2.1 亮光源条件防护电阻计算

由 3.1 节可知, 即使亮光源测试条件下的光阴极电流达到 90 μA , 依然无法使 ABC 功能启动, 但该条件下由于光阴极的长时间持续电子发射, 极有可能造成 MCP 防离子反馈膜及光阴极损伤。

当在亮光源测试条件下, 采用低照度局部强光防护的技术途径②, 在自动门控电源中 NMOS 管的漏极与源极之间并联一只分压电阻 R_1 , 通过电路控制使得低照度状态下自动门控电源通过该分压电阻 R_1 给光阴极供电, 在亮光源测试条件下光阴极电流为 90 μA 时, 要实现光阴极防护, 该分压电阻 R_1 的值只需要满足如下条件:

$$R_1 = \frac{V_{ca}}{i_{ca}} = \frac{400 \text{ V}}{90 \mu A} = 4.44 \text{ M}\Omega \quad (6)$$

即分压电阻 R_1 的值大于 4.44 M Ω 时, 光阴极工作电压将接近 0 V, 从而减弱光阴极损伤。

3.2.2 光阴极工作电流测试

在阴极电压为 400 V 时, 摸底测试了三代微光像增强器光阴极电流随光照强度的变化规律。

1) 调整光照强度, 使光阴极电流约 20 μA 时, 在持续照射条件下, 光阴极电流会出现缓慢下降现象, 说明光阴极应避免强光照射或工作在大电流状态;

2) 调整光照强度, 在光阴极电流约 1 μA 时, 持续光照 10 min, 光阴极电流未见异常, 能够保证相对稳定。

10 min 的持续光照, 光阴极电流依然能够稳定, 说明在光阴极电流值应不大于 1 μA 的使用环境中, 光阴极性能不会发生明显变化。

以上光阴极电流为随机选取的 1 只三代微光像增强器的摸底测试数据, 不同三代微光像增强器的光阴极电流数据会有所不同, 随着工艺优化改进, 光阴极电流值也会不同。

以下为了方便计算, 还是选取光阴极电流值为 1 μA 。

3.2.3 防护电阻选择

大多数情况局部强光照度都远小于亮光源测试条件的 $5 \times 10^4 \text{ lx}$, 即光阴极电流值远小于 $90 \mu\text{A}$, 再结合光阴极电流应小于 $1 \mu\text{A}$ 的条件, 可初步计算得到防护电阻的最小值:

$$R_1 = \frac{V_{ca}}{i_{ca}} = \frac{400 \text{ V}}{1 \mu\text{A}} = 400 \text{ M}\Omega$$

计算可知, 防护电阻值需大于 $400 \text{ M}\Omega$, 同时在三代微光像增强器性能不下降的前提下, 选取的电阻值应至少在计算值的 2 倍以上, 从而更好地减弱光阴极在亮光源条件下的损伤。

最佳电阻选取, 需考虑标准电阻档, 还需与三代微光像增强器进行多次性能匹配联调试验确定。

3.2.4 电路功能验证

结合原有自动门控电源控制原理, 将目前自动门控电源的 MCP 电压与阴极高压脉冲的控制曲线设计如图 5 所示, 同时对 N-MOS 管控制驱动信号进行调整, 使自动门控电源的阴极高压脉冲按照设定技术状态进行输出, 即在低照度条件下, N-MOS 管与 P-MOS 管均为关闭状态, 光阴极主要通过跨接 N-MOS 管漏源极之间的防护电阻提供供电, 同时提供亮光源防护; 当照度达到一定限制时, 自动门控电源阴极输出变为标准方波形态, 其驱动信号如图 6 所示。

亮光源实验过程照片如图 7(a)所示; 微光像增强器使用改进前自动门控电源进行亮光源实验后, 会出现如图 7(b)所示的约 1 mm^2 的阴影斑现象; 按照上述

控制曲线及驱动方式, 再经参数优化试验, 该自动门控电源最后折衷选择了 $1 \text{ G}\Omega$ 阻值的防护电阻, 使用该电源的微光像增强器再进行亮光源实验后, 未出现阴影斑现象, 如图 7(c)所示, 试验结果进一步验证了自动门控电源采用局部强光防护措施的有效性及其电路实现的正确性。

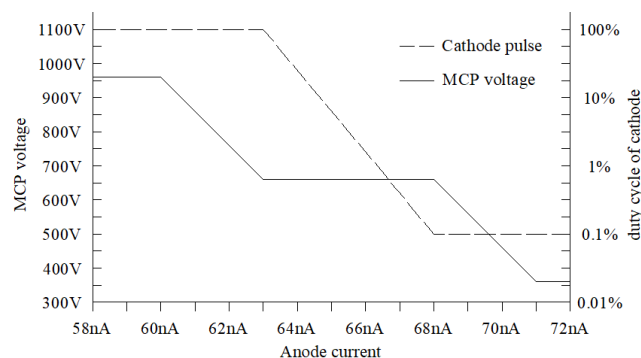


图5 自动门控电源控制方式

Fig.5 Control mode of auto-gating power supply

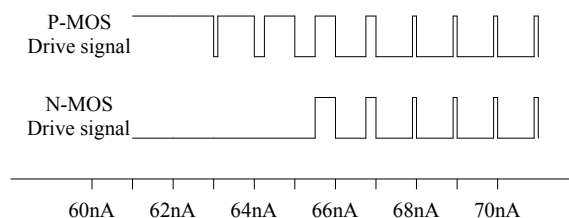


图6 自动门控电源阴极脉冲驱动方式

Fig.6 Cathode pulse driving mode of auto-gating power supply

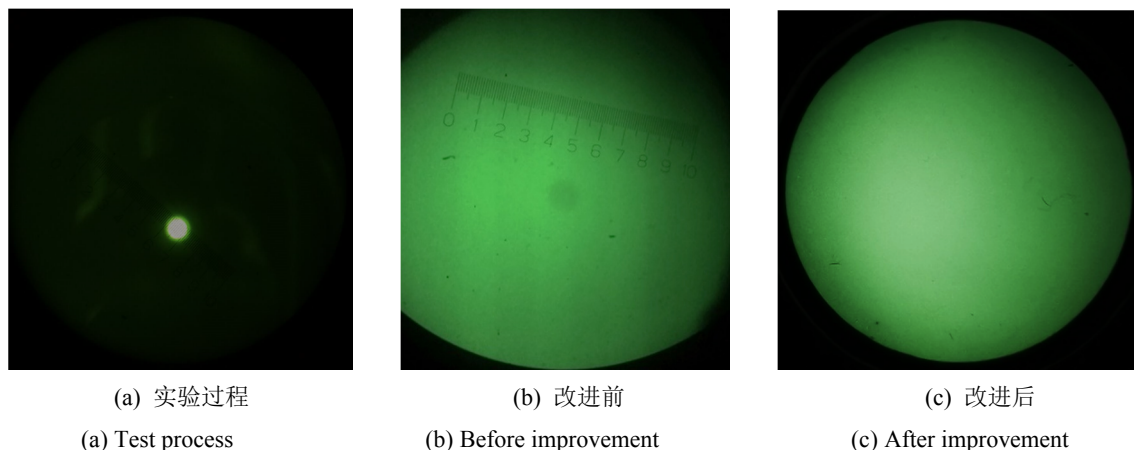


图7 微光像增强器亮光源实验结果

Fig.7 Experimental results of bright-light spot of low light level image intensifier

4 结论

通过脉冲工作方式下的局部强光防护方法研究, 分析了基于自动门控电源的微光像增强器在大动态照度范围内遇到局部强光时的控制差异。针对低照度

局部强光防护存在的问题, 制定了防护电阻及优化控制策略的方法, 在自动门控电源电路进行了验证, 达到了预期目标, 但电路参数选择, 尤其是阴极驱动脉冲控制方式的最优设计, 还需要自动门控电源与像管的多轮联调摸底试验来进一步确定, 以最大程度地

提升微光像增强器局部强光防护能力。

参考文献:

- [1] 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.
- 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.
- [2] 王永仲. 现代军用光学技术[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 66-73.
- WANG Yongzhong. *Modern Military Optical Technology*[M]. Beijing: Science Publishing House, 2009: 66-73.
- [3] 白廷柱, 金伟其. 光电成像原理与技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006: 131-199, 227.
- BAI Tingzhu, JIN Weiqi. *Photoelectric Imaging Principles and Technology*[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2006: 131-199, 227.
- [4] 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.
- 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.
- [5] 向世明, 高教波, 焦明印. 现代光电电子成像技术概论[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2010: 300-380.
- XIANG Shiming, GAO Jiaobo, JIAO Mingyin. *Introduction to Modern Photoelectron Imaging Technology*[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2010: 300-380.
- [6] 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.
- 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.
- [7] 孙夏南. 微光像增强器亮度增益和余辉测试技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2012.
- SUN Xianan. Research on Brightness Gain and Afterglow Measurement Technology of Low Light Level Image Intensifier[D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2012.
- [8] Photonis. XR5™ Image Intensifier[DB/OL]. <http://www.photonis.com>.
- [9] 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.
- 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.
- [10] 延波. 像增强器高速选通电源技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2021.
- YAN Bo. High-speed Gated Power Supply Technology for Image Intensifiers[D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2021.
- [11] 谢运涛, 张玉钧, 王玺, 等. 基于微通道板的像增强器增益饱和效应研究[J]. *红外与激光工程*, 2017, **46**(10): 1003005.
- XIE Yuntao, ZHANG Yujun, WANG Xi, et al. Research on the gain saturation effect of an image intensifier based on microchannel plate[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2017, **46**(10): 1003005.
- [12] 宋德, 朴雪, 拜晓锋, 等. 近贴型像增强器中微通道板输入端电场模拟研究[J]. *红外与激光工程*, 2015(10): 121-126.
- SONG De, PIAO Xue, BAI Xiaofeng, et al. Simulation research of electrostatic field of MCP input in proximity image intensifier[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2015, **44**(10): 2981-2986.
- [13] 李晓峰, 常乐, 曾进能, 等. 微通道板分辨力提高研究[J]. *光子学报*, 2019, **48**(12): 1223002.
- LI Xiaofeng, CHANG Le, ZENG Jinneng, et al. Study on resolution improvement of microchannel plate[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2019, **48**(12): 1223002.