

〈微光技术〉

三代微光像增强器光阴极保护方法研究

倪小兵^{1,2}, 杨 晔^{1,2}, 延 波^{1,2}, 智 强^{1,2}, 李军国^{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: 本文主要研究三代微光像增强器光阴极保护。通过对三代微光像增强器性能分析, 确定高照度下影响像增强器光阴极性能的主要因素, 并分析了常规直流高压电源阴极保护电路, 给出自动门控电源两种阴极保护电路设计思路。实际测量了基于常规直流高压电源的三代像增强器工作状态, 自动门控电源两种阴极保护电路实际工作状态, 验证了阴极保护电路设计。最后对研究课题进行了总结并确定了自动门控电源光阴极保护电路形式。

关键词: 三代微光像增强器; 光阴极; 微光电源; 保护电路

中图分类号: TN223

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2018)05-0492-04

Research on Photocathode Protection Method of the Three-Generation Image Intensifier

NI Xiaobing^{1,2}, YANG Ye^{1,2}, YAN Bo^{1,2}, ZHI Qiang^{1,2}, LI Junguo^{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: The paper focuses primarily on photocathode protection of three-generation image intensifiers. In particular, the main factors that affect the photocathode performance of the image intensifier under high illumination are determined. We analyze the photocathode protection circuit of a conventional high voltage DC power supply, and present the design concept of a two photocathode protection circuit for an auto-gating power source. The working conditions are also evaluated and the circuit design is verified. Finally, a summary of the work is provided, and the circuit form of the auto-gating power source photocathode protection is determined.

Key words: the three generation image intensifier, photocathode, LLL power source, protection circuit

0 引言

微光像增强器作为夜间战场的重要武器装备, 其主要可用于空军飞行员头盔系统、陆军单兵夜视系统、枪瞄系统、海军夜视侦查系统; 也可作为重要民用设备, 如交通监视、海底探测、医学观察等。从一代像增强器出现, 经过二代、超二代像增强器的发展, 到目前各军事强国三代像增强器装备普及, 以及美国四代像增强器产品出现^[1-3], 微光像增强器技术产生了质的飞跃。

微光像增强器 4 大核心部件光阴极、微通道板(MCP)、荧光屏、微光电源作为重点攻关点^[4], 研制技术一直在不断提升。而 4 大部件中光阴极的技术革

新又具有划代意义, 所以光阴极技术在微光夜视领域中备受关注。

大部分光阴极材料是半导体, 其主要作用是将光信号转换成电信号, 其特性参数有积分灵敏度($\mu\text{A}/\text{lm}$)、光谱灵敏度(mA/W)、光谱响应范围及量子效率, 而在像增强器实际使用过程中光阴极又多了疲劳特性(强光下灵敏度随时间衰减)和寿命特性(通常在非疲劳光照下)^[4]。三代微光像增强器长时间工作在高光照环境下会造成像增强器疲劳, 缩短其使用寿命, 表现形式为光阴极灵敏度快速下降。提高像增强器寿命特性可以通过改善光阴极材料或者通过微光电源光阴极电流限制实现。本文只讨论通过微光电源保护光阴极提高像增强器寿命的方式。

收稿日期: 2017-11-01; 修订日期: 2018-04-22.

作者简介: 倪小兵(1988-), 陕西宝鸡人, 男, 工程师, 主要从事电子学在微光夜视技术中的应用研究。

1 原理分析

1.1 光阴极保护分析

像增强器作为一种光电-电光转换的电子倍增器件,其荧光屏亮度的稳定控制是主要通过控制电子发射和倍增,其中阴极的电子发射在像增强器工作中发挥着重要作用,而影响像增强器阴极寿命的两个主要因素为:①像增强器的阴极制造工艺;②像增强器阴极的电子发射。像增强器阴极的电子发射量过大时,会造成阴极损伤。实现保护像增强器光阴极的基本原理就是精确控制像增强器光阴极的电子发射量。要控制像增强器光阴极的电子发射量就需要通过微光电源阴极控制电路来实现。而光阴极电子发射量的表现形式就是光阴极电流,所以最终只需要控制光阴极电流就可以实现对光阴极的保护。

1.2 常规电源阴极保护电路

微光电源发展至今主要有两大类:第一类是阴极电压为直流高压的常规电源;第二类是阴极电压为高压脉冲的选通电源和自动门控电源。选通电源须手动调节,没有ABC控制电路,使用方向单一,本文只讨论常规电源及自动门控电源,自动门控电源得益于脉冲宽度的变化,其比常规电源的动态工作范围更宽。光阴极电流直接关系着光阴极灵敏度,当阴极电压取固定值时,光阴极电流与光阴极灵敏关系如式(1)所见,二者为线性关系,即光阴极电流随着光阴极照度的增加而变大^[5],但当光阴极电流超过某阈值后像增强器光阴极出现损伤(灵敏度快速下降),所以装配没有光阴极保护功能的像增强器只能在低照度环境观看,强光环境照射时间过长会造成微光像增强器损伤。

$$I_{ca}=S_{ca}(V_{ca})\cdot A_{ca}\cdot E \tag{1}$$

式中: I_{ca} 为光阴极电流; $S_{ca}(V_{ca})$ 为光阴极灵敏度; A_{ca} 为光阴极有效面积; E 为光阴极照度。

当光阴极照度升高时,必须降低阴极与 MCP 之间的电压,才能达到控制光阴极电流不能增加太快^[5]。常规电源阴极部分电路如图 1 所示,阴极输出串联接

入电阻,当光阴极照度升高时,阴极电流增大,图 1 中电阻 R 与像增强器光阴极形成串联分压,像增强器光阴极实际所受电压值降低,控制光阴极电流不能增长过快。理论上当光照一直增大,阴极电压就会一直降低,当阴极电压过低时,电子无法通过 MCP 防离子反馈膜而出现散射现象,像增强器荧光屏变暗无法正常使用,所以 R 电阻取值需要根据像增强器实际工作环境进行调整。

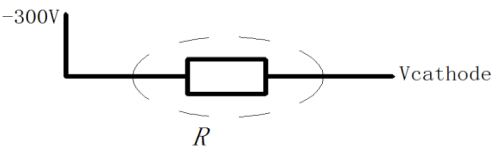


图 1 常规电源像增强器阴极保护电路
Fig.1 Cathode protection circuit for conventional power supply image tube

1.3 自动门控电源阴极保护电路

自动门控电源与常规电源的不同之处在于,阴极电压使用高压脉冲取代直流高压^[6-8]。自动门控电源阴极电路工作原理如图 2 所示,该电路是采用 PLD(可编程逻辑器件)器件实现低压控制信号到低压脉冲信号的转换,再结合阴极高压脉冲电路(利用光耦进行高压隔离转换,最终实现阴极高速高压脉冲信号的产生)进行阴极脉冲宽度调制。当基于自动门控电源的像增强器工作时,脉冲宽度的变化可以起到控制阴极电子发射量的目的,为了更加有效地控制电子发射量,考虑像增强器在高照度工作环境下降低阴极开启电压的方式,其中可用 2 种控制方法实现。

方法 1: 如常规电源阴极保护电路一样,串接分压电阻。串接位置可以选择在阴极开启电压进入 MOS 管之后,也可以选择在阴极开启电压进入 MOS 管之前。该方法实现简单,但是无法精确控制微光电源阴极开启电压在光照强度多少时开始降低,并且无法精确控制阴极开启电压最小值,且串接电阻放置在 MOS 管之后会使得阴极脉冲边沿时间变长,电阻选取不合适,会造成低照度情况下阴极电压降低,影响像增强器成像质量。

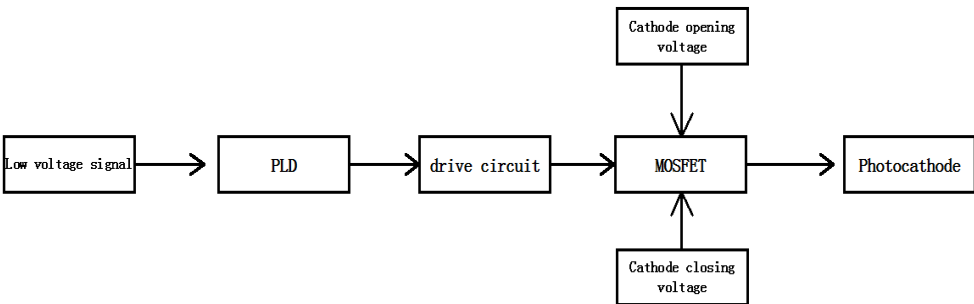


图 2 自动门控电源阴极电路工作原理 Fig.2 Cathode protection circuit for auto-gating power supply image tube

方法 2: 增加微光电源阴极开启电压控制电路, 电路系统如图 3 所示。该电路通过光电隔离器件实现低压控制信号对阴极高压的控制, 在控制电路中采用负反馈控制方式, 从而确保阴极高压调节过程中的稳定性, 采用钳位方式实现阴极脉冲高压下限电压限制。该方法实现复杂, 电子元器件的增加会影响自动门控电源的小型化发展, 但电路控制性强, 当外界照度高于设定值时, 精确控制阴极开启电压开始降低, 随着照度上升, 降至阴极电压设定最小值为止。

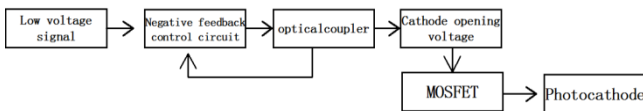


图 3 阴极开启电压控制电路
Fig.3 Cathode opening voltage control circuit

2 实验与分析

2.1 基于常规电源测试

利用 1.2 中常规电源阴极保护电路连接像管测试一组数据如表 1, 该阴极分压电阻阻值取 1 GΩ 进行试验, 阴极电压为 -600 V, 像增强器为某型像增强器, 电源取某型配套电源。

试验中可以得出以下结论: 从表 1 中数据可以看出, 在外界入射照度达到一定值时, 微光电源的自动亮度控制 (ABC) 功能开始发挥作用, 使得当外界光照强度继续增加时, 像管屏亮度得到控制。在外界光照较为强烈时, 电源通过降低阴极电压控制屏亮度从而保证观察者视觉上的舒适度, 不致因亮度过高而引起视觉疲劳, 从而引发不适感。伴随像管阴极面照度的不断增加, 电源 MCP 电压逐渐降低, 阴极电压逐步降低, 电源的变化规律已经体现出了其对像管的控制能力, 但是从屏亮度的变化情况分析, 电源对像管屏亮度的控制力还不够。当光照达到 50 lx 时, 阴极电压已经降低至 100 V 以下, 荧光屏出现暗斑, 该现象就是阴极电压过低电子没有足够的能量使之穿过 MCP 防离子反馈膜, 发生散射现象^[9]。表 1 数据

是单一像增强器测试结果, 经过多个像管试验验证, 发现当阴极电压降低至 100 V 以下时, 荧光屏会观察到暗斑或屏幕变暗, 而当阴极电压高于 100 V 时均未发现该现象。故阴极分压电阻阻值选取要确保高照度下阴极输出不低于 100 V。

表 1 常规电源测试数据

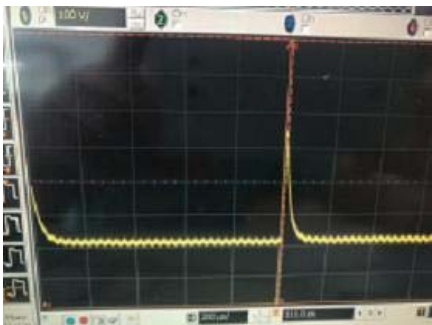
Table 1 Conventional power test data		
Cathode illumination/ lx	screen brightness/ (cd/m ²)	Cathode voltage/ - V
0.50×10^{-3}	1.54	620
1.00×10^{-2}	2.06	600
1.00×10^{-1}	2.152	510
1.00	2.205	420
10	2.196	320
50 (dark spots on the screen)	2.172	50

2.2 基于自动门控电源测试

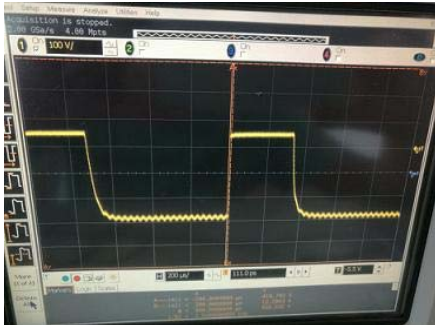
利用 1.3 中方法 1、方法 2 分别测试, 截取自动门控电源工作过程中阴极开启电压变化情况如图 4, 方法 1 中分压电阻 R 取 1 MΩ, 阴极开启电压 -300 V, 像增强器取三代某型像增强器, 方法 2 中为保证工作过程中阴极开启电压高于 100 V, 利于钳位方式实现对阴极开启电压下限设置。

图 4 可以看出按照方法 1 连接三代微光像增强器测试时, 阴极开启电压降低效果不明显如图 4(a)所示, 其原因在于阴极电流本身很小, 该分压电阻阻值太小, 分压效果不明显所致。换取阻值 50 MΩ 电阻接入测试, 如图 4(b), 阴极在无光照时, 阴极开启电压已将出现下降, 该电阻阻值增大后, 阴极脉冲边沿明显变差, 像管工作时画面质量变差。

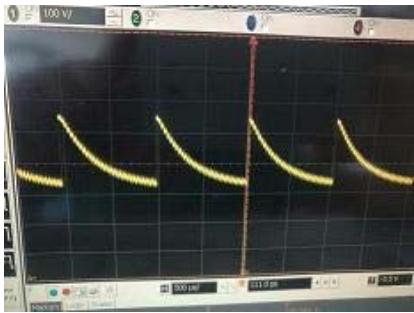
采用方法 2 测试如图 5 所示, 无光照时, 阴极开启电压未降低, 随着光照的增加, 阴极开启电压线性降低, 最终保持在限定值, 并且阴极脉冲波形保持较好的边沿, 该电路很好的保持了脉冲边沿, 不足之处在于增加了一定数量的电子元件, 给自动门控电源布局 PCB 带来新的问题。



(a) 1 MΩ 分压电阻阴极波形

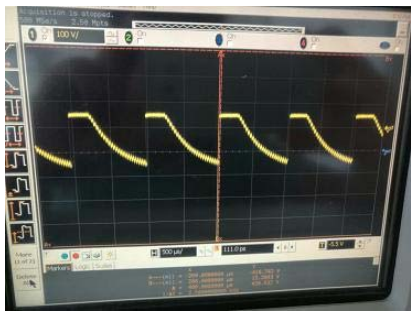


(a) Cathode waveform of resistance partial pressure 1 MΩ



(b) 50 MΩ分压电阻阴极波形

图4 方法1电阻分压时阴极波形图



(b) Cathode waveform of resistance partial pressure 50 MΩ

Fig.4 Method 1 Cathode waveform of resistance partial pressure

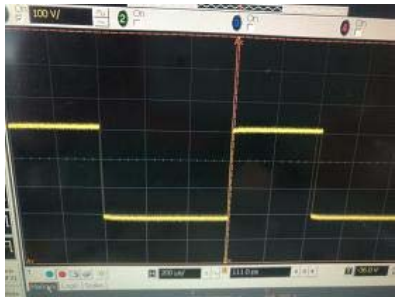


图5 调控电路下阴极波形图

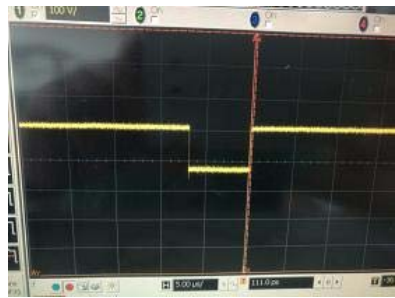


Fig.5 Cathode waveform of control circuit

3 结论

本文介绍了基于微光电源对像增强器光阴极的保护方式,分析了常规微光电源与自动门控微光电源在像增强器光阴极保护中的不同,对比了自动门控电源两种光阴极保护电路的优缺点,给出了效果更好方法2中的阴极保护电路作为自动门控电源阴极保护电路,但是,该方法会增加电子元器件数量,不利于自动门控电源小型化发展,后期需要调试优化或者设计出简化电路,达到更好的控制效果且减少电子元件数量。

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] 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.
Ai Kecong. Development and prospect of Low-light-level(LL) Night Vision Technology[J]. *Journal of Applied Optics*, 2006, 27(4): 304-305.
[3] 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.
XIANG Shiming, NI Guoqiang. *The Principle of Photoelectronic Imaging*

Devices[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1999: 6-9.
[4] 向世明, 高教波, 焦明印. 现代光电子成像技术概论[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.
[5] 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): 300-303.
YAN Bo, ZHI Qiang, LI Junguo. Study of Image Intensifier Dynamic Range Based on Auto-gating Power Source[J]. *Infrared Technology*, 2013, 35(5): 300-303.
[6] YANG Ye, ZHI Qiang, YAN Bo, et al. Auto-gated Power Supply for Low-light Level Image[C]//*SPIE*, 2013: 8912-63.
[7] Joseph P Estrera. Gate power supply technologies for advanced image intensifier[C]//*Proc SPIE*, 2003: 60-70.
[8] 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): 155-158.
DENG Guangxu, YAN Bo, ZHI Qiang. Study on Technology of Auto-gating Power Source in Image Intensifier[J]. *Infrared Technology*, 2012, 34(3): 155-158.
[9] 秦志楠. 微通道板防离子反馈膜电子散射对像管的性能影响[D]. 长春: 长春理工大学, 2011: 157-158.
QIN Zhinan. Research on Micro-channel Plate and Ion Barrier Film for the Image Intensifier Electron Scattering[D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2011: 157-158.