

Praćenje karakteristika mikrokanalne ploče u sistemu pojačavača slike

Slobodan J. Petričević, Branislav Brindić, Miloš C. Tomić, Pedja M. Mihailović, Marko Barjaktarović, Ljubiša Tomić

Apstrakt—Pojačavači slike (Image Intensifier) zauzimaju značajno mesto u sistemima za osmatranje zbog svojih dobrih optičkih osobina i velike pouzdanosti. Konstruisani kao kompaktne i robusne jedinice sa baterijskim napajanjem, oni poseduju sposobnost prilagođavanja svog pojačanja uslovima osvetljenosti koju obezbeđuje elektronski sistem za napajanje. Ova osobina je ključni element za karakterizaciju celog pojačavača slike i njegova realizacija zavisi od konstruisanja napajanja i njegove funkcionalnosti. U radu će biti prikazana jedna realizacija elektronskog napajanja za pojačavač slike koji je u stanju da prati ključne karakteristike mikro kanalne ploče pojačavača i time prilagodi parametre rada karakteristikama modula pojačavača.

Ključne reči—Mikrokanalna ploča; pojačavač slike.

I. UVOD

Pojačavači slike (Image Intensifier – II ili I2) široko su rasprostranjeni sistemi za posmatranje u situacijama slabe vidljivosti i male osvetljenosti [1]. Njihova popularnost u vojnoj primeni proističe kako iz prednosti koju donose u slučaju vođenja noćnih operacija tako i robusnosti kao i sposobnosti da rade u širokom opsegu temperatura.

Ključni element u I2 je mikrokanalna ploča (MKP) u vidu sačaste strukture od nekoliko miliona kanala prečnika nekoliko mikrometara i dužine reda milimetra na međusobnim rastojanjima reda desetak mikrometara. Svaki kanal u MKP, ukoliko je adekvatno polarizovan, ispoljava sposobnost sekundarne emisije elektrona, što dozvoljava pojačanje elektronskog toka kroz kanal za nekoliko hiljada puta.

Da bi se MKP iskoristio kao pojačavač slike potrebno je izvršiti optoelektronsku konverziju fotona u elektrone pre MKP-a i elektro-optičku konveziju posle MKP-a. Prvu funkciju u I2 obavlja fotokatoda koja ujedno određuje i spektralnu karakteristiku pojačavača slike. Fotokatoda vrši konverziju fotona u elektrone i zahteva visok napon za formiranje električnog polja između nje i MKP-a koje

ubrazava generisane elektrone. Fotokatoda i MKP su u bliskom kontaktu kako bi se obezbedilo da površinska raspodela elektrona odgovara ekvivalentnoj raspodeli fotona na fotokaturi. Ovako ubrzani elektroni ulaze u kanale MKP-a i izazivaju sekundarnu emisiju.

Elektronska struja na izlazu iz MKP-a se konvertuje u sliku uz pomoć monohromatskog fosfornog ekrana. Fosforni ekran može biti u raznim bojama u zavisnosti od želja kupaca mada se najčešće proizvodi sa fosforima tipa P43 (zeleni) i P45 (beli). P45 inherentno rezultuje i nešto većim optičkim pojačanjem zbog veće pokrivenosti spektra [2].

Ukupno fotonsko pojačanje I2 je proizvod pojačanja fotokature, MKP-a i ekrana i kreće se u rasponu od 40000 za pojačavače slike namenjene za civilno tržište do 80000 za najbolje uređaje. Pojačavač slike konstruisan prema zahtevima kupca mora biti u stanju da radi u kompletnom rasponu osvetljenja fotokature koje se sreće na vojištima i generalno se kreće u rasponu od 10^{-5} lux što odgovara noćnim uslovima sa najmanje svetla (oblačno nebo bez meseca) pa sve to 10^5 lux što odgovara eksplozijama ne vojištu ili dnevnom svetlu. Ovaj enorman raspon od 10 dekada osvetljenosti predstavlja problem, jer zahteva da se optičko pojačanje reguliše kako bi se obezbedilo da MKP i ekran ne uđu u saturaciju kada se u potpunosti gube elementi slike. Dodatno, svetlo velikog intenziteta može da ošteti fotokaturu ukoliko je ona polarizovana radnim naponom. U praksi se zahteva od pojačavača slike da poseduju konstantan osvetljaj ekrana reda nekoliko lux-a u rasponu osvetljenja fotokature od 10^{-3} lux do 200 lux i taj zahtev se u industriji označava akronimom ABC (*automatic brightness control*). U praksi se ABC realizuje iz napajanja preko regulacije napona MKP čije elektronsko pojačanje zavisi od napona. Prilikom porasta osvetljenja fotokature, obara se napon MKP i tako održava konstantan osvetljaj ekrana. Dodatno, elektronsko napajanje mora obavljati i funkciju zaštite fotokature (tzv. BSP – *bright screen protection*) koja se realizuje podizanjem napona katode iz negativne radne vrednosti (nekoliko stotina volti) do blizu nule.

Nažalost proizvodnja MKP i modula pojačavača slike je složen tehnološki problem koji rezultuje neprijatno velikom tolerancijom karakteristika gotovih modula. Pri istim radnim naponima MKP, fotokature i ekrana različiti moduli proizvode različito pojačanje (takođe odnos signal/šum i rezoluciju) pa se od elektronskog napajanja ujedno očekuje da poseduje mogućnost kompenzacije tolerancije modula. U praktičnom smislu, napajanje mora biti u stanju da adaptira svoju ABC karakteristiku tako da se prilagodi karakteristici

Slobodan Petričević – Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: slobodan@etf.rs).

Miloš Tomić – Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: milos.tomic@gmail.com).

Pedja Mihailović – Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: pedja@etf.rs).

Marko Barjaktarović – Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: mbarjaktarovic@etf.rs).

Branislav Brindić – Sova HD, Bulevar Svetog Cara Konstantina 80-82, 18000 Niš, Srbija.

Ljubiša Tomić – Vojnotehnički Institut, Ratka Resanovića 1, 11000 Beograd, Srbija.

modula što se u proizvodnji zove postupak uparivanja.

Elektronsko napajanje za modul pojačavača slike realizuje se kao minijaturna, baterijski napajana jedinica (tipično 2x1.5 V baterija) u vidu torusa koja svojim unutrašnjim krugom naleže na ekran modula pojačavača slike. Povezivanje napajanja i modula realizuje se preko 4 teflonske žice (katoda, MKP-ulaz, MKP-izlaz i ekran) posle čega se kompletna struktura zaliva u masu. Dve žice koje se povezuju na baterijsko napajanje izvode se kao slobodne van zalivne mase. Kada se završi proces zalivanja dobija se pojačavač slike kao mehanički i električno samostalan modul koje aktivira povezivanjem na baterije. Sa strane ekrana moguće je pristupiti potencimetrima za podešavanje radne struje ekrana i maksimalne vrednosti napona mikrokanalne ploče tako da je uparivanje modula moguće i posle upotrebe u uređaju.

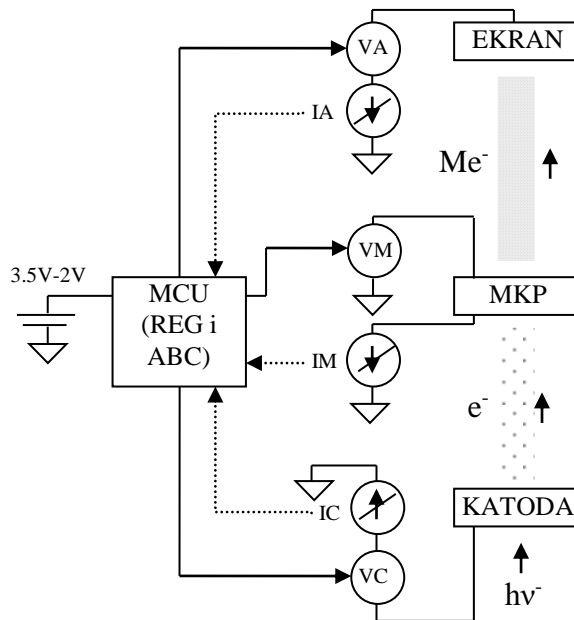
Realizacije ABC preko napajanja uglavnom se izvodi tehnikom merenja struje ekrana čije odstupanje od zadate vrednosti preko potencimetra dovodi do promene napona napajanja MKP. Ova regulaciona petlja oslanja se na vrednost struje ekrana koji je polarizovan visokim naponom i teško ju je meriti iz tog razloga. Alternative uključuju merenje struje katode kao ulazne veličine u ABC petlju, ali se on izbegavaju zbog velikog raspona vrednosti struja katoda koje treba meriti. Tipična fotokatoda treće generacije ispoljava odzivnost od oko 1000 $\mu\text{A}/\text{lm}$ što pri osvetljaju od 10^{-3} lux rezultuje strujom fotokatode od 1 nA. Regulacija ovako male veličine zahteva odnos signal/šum njenog merenja od oko 100:1 što znači da je potrebno merenje sa rezolucijom od oko 10 pA. Dinamički opseg ovog merenja mora pratiti dinamički opseg ulaznog osvetljaja, što znači da se maksimalna struja fotokatode kreće u mA zoni. Dakle potrebno je meriti struju fotokatode sa rezolucijom od 100000 tačaka što je težak zadatak.

Postoji i treća mogućnost koja se može realizovati u paraleli sa merenjem struja ekrana i/ili fotokatode, a to je merenje povratne struje MKP. Ukoliko je poznata otpornost MKP i ukoliko se meri napon MKP, moguće je izračunati tzv *strip* struju MKP (I_S) i ustanoviti ekransku struju. Kako se povratna struja MKP može referisati prema niskonaponskom delu napajanja, njeno merenje je lakše realizovati i rezultuje boljim odnosom signal/šum. Poznavanjem sve tri struje moguće je izvršiti i karakterizaciju MKP preko napajanja čime se ono može samo prilagoditi modulu. Ovo omogućava da se deo procesa uparivanja automatizuje jer napajanje može samo da ustanovi karakteristiku pojačanja MKP u funkciji njegovog napona.

II. SISTEM ZA NAPAJANJE MODULA

Elektronsko napajanje modula pojačavača slike prikazano je na blok šemi na Sl. 1. Napajanje je preko baterija, tipično 2xAA 1.5V, koje u toku rada varira od 3.5V do 2V. Mikrokontroler (MCU) u napajanju zadužen je za kontrolu prekidačkih izvora koji generišu potrebne napone ekrana (VA), MKP (VM) i katode (VC). Tipične vrednosti napona su $VA=6400V$, $400V < VM < 1200V$ i $VK=-600V$, mada postoji i potreba da se ovi naponi podese prema tipu modula ili

zahtevima kupaca. MCU prati struje ekrana (I_A), MKP (I_M) i fotokatode (I_C) i na osnovu njih realizuje ABC kao i karakterizaciju MKP. MCU se povezuje sa PC računom preko serijskog interfejsa koji služi za zadavanje i čitanje vrednosti, a nije prikazan na slici pošto se ne povezuje za finalni proizvod. Kada radi u pojačavaču slike, napajanje dobija zadate vrednosti preko dva ili više potencimetara kojima se može zadati maksimalna vrednost napona MKP i radna struja ekrana.



Sl. 1. Blok šema elektronskog napajanja.

Slika koja se posmatra pojačavačem pobuđuje katodu generišući elektrone sa suprotne strane tela. Da bi se elektroni prebacili u MKP potrebna je negativna polarizacija katode čija vrednost zavisi od generacije uređaja i kreće se od -200V do skoro -800V. Fotostruja katode može se meriti preko povratne struje stepena koji generiše visok negativan napon. Elektroni pobuđuju MKP sa takozvane ulazne strane MKP koja je polarizovana visokim pozitivnim naponom. MKP pojačava elektronsku struju sa katode sa faktorom $M(VM)$. Ovako pojačana elektronska struja pobuđuje ekran zahvaljujući izuzetno visokoj pozitivnoj polarizaciji ekrana i na njemu ponovo generiše fotonski niz u vidu slike koja je pojačana replika slike sa katode. Struja MKP sastoji je od dve komponente: struje trake (*strip current* I_S) koja je u stvari struja polarizacije MKP i ne zavisi od osvetljaja i struje koja je posledica osvetljaja (I_A). Struje MKP jednaka je struji ekrana, a ova se može meriti kao povratna struja stepena koji pobuđuje ekran.

$$I_M = I_S + I_A = I_S + MI_C \quad (1)$$

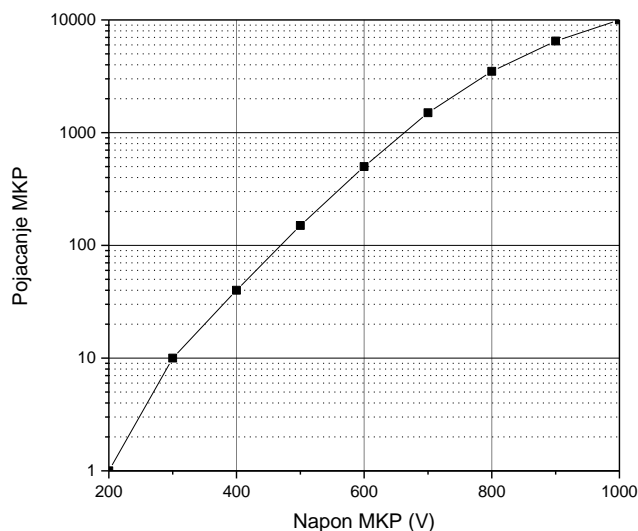
Pošto se struja ekrana može meriti nezavisno moguće je realizovati ABC regulaciju bez merenja struje MKP. Problem je međutim povezan sa načinom na koji se generiše napon polarizacije ekrana gde se izolacija visokonaponskih

elemenata mora realizovati izuzetno dobro. U protivnom, curenja pri visokom naponu mogu poremetiti merenje struje ekrana kako uvođenjem jednosmerne komponente, tako i pojavom impulsa koji nastaju kratkim probojima. Iz ovog razloga stabilizacija ABC petlje može biti problematična. Sa druge strane merenje struje MKP ne podleže ovakvim problemima pošto je polarizacija takva da je ulazna strana MKP na niskom naponu. Da bi se međutim ovako izmerila I_A potrebno je poznavati I_S što je moguće ukoliko se istovremeno meri i napon MKP i poznaje njena otpornost. Merenje napona MKP može se relativno jednostavno realizovati otporničkim razdelnikom, kako je u ovom slučaju i rešeno. Međutim otpornost MKP funkcija je ne samo generacije MKP nego i polarizacije, što znači da je potrebno premeriti ovu funkciju za svaki pojedinačni modul.

Ukoliko je napajanje realizovano sa mikrokontrolerskom jedinicom ovo je moguće automatski izvršiti u fazi uparivanja, što je i učinjeno kada su prikupljeni rezultati merenja. Na osnovu ove informacije moguće je realizovati ABC preko struje MKP, ali je moguće i izmeriti krivu pojačanja MKP u funkciji napona što je takođe jako korisno prilikom uparivanja. Rad će prikazati rezultate merenja ovih karakteristika dobijene preko namenski konstruisanog napajanja koje poseduje realizaciju prema Sl. 1.

III. REZULTATI MERENJA

Najvažniji parametar je kriva elektronskog pojačanja mikrokanalne ploče u funkciji njenog napona. Ova kriva se dobija kao količnik vrednosti struje ekrana i struje katode ($M=I_A/I_C$). Za jedan tipičan modul III generacije izmerena kriva prikazana je na Sl. 2.

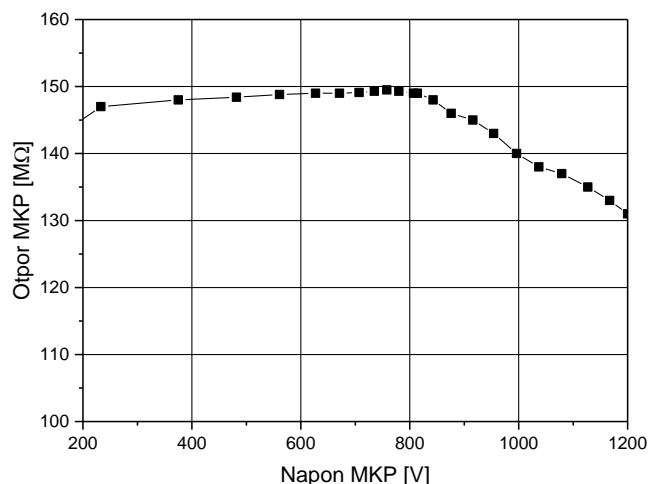


Sl. 2. Pojaćanje mikrokanalne ploče u funkciji napona.

Sa slike se može videti opseg mogućih pojaćanje MKP, od kojih se nažalost može koristiti samo jedan deo pošto se pri jako velikim pojaćanjima reda preko 5000 javlja „snež“ na ekranu usled pojaćanja termički generisanih elektrona [3,4]. Ova pojava zajedno sa nečistoćama u kanalima MKP određuje

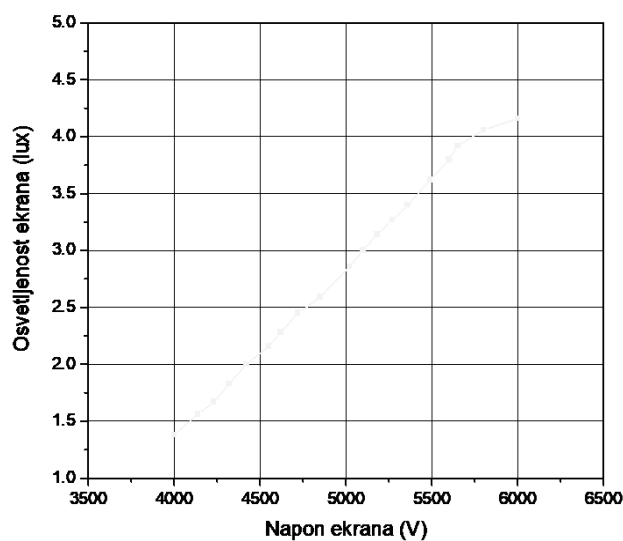
i odnos signal/šum pojaćavača slike (SNR) koji se kreće u zoni od 25 pa do 50 [5].

Sledeći faktor od interesa za merenje je otpornost MKP u funkciji napona. Karakteristika jednog tipičnog MKP prikazana je na Sl. 3.



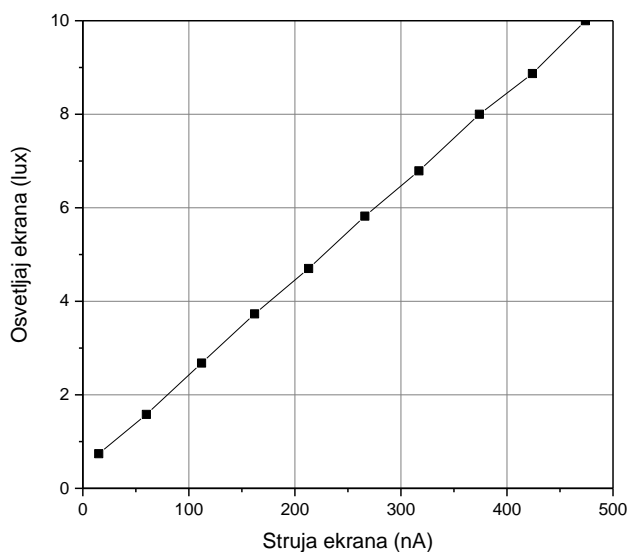
Sl. 3. Otpornost mikrokanalne ploče u funkciji napona.

Karakteristika je uniformno rastuća sa malim nagibom do kritične vrednosti koji se pripisuje porastu temperature usled disipacije [6]. Preko kritične vrednosti od 800 V otpornost MKP počinje naglo da opada i pada na 87% od maksimalne vrednosti. Pad otpornosti ima za posledicu porast struje polarizacije MKP i potrošnje elektronskog napajanja. Iz ovog razloga su MKP velike otpornosti poželjnije za primenu u pojaćavačima slike pošto značajno smanjuju potrošnju u uslovima slabog osvetljaja kada je napon MKP velik. Dodatno, termička disipacija može dovesti do velikog zagrevanja MKP i povećanja šuma [6]. Na tržištu su trenutno u optičaju MKP čije se otpornosti kreću od 100 MΩ do 300 MΩ u zavisnosti od geografske lokacije proizvođača [7].



Sl. 4. Osvetljenost ekrana u funkciji napona ekrana pri struji od 200 nA.

Od interesa su još i funkcije koje pokazuju osvetljenost ekrana modula u funkciji struje ekrana i napona ekrana, koje su prikazane na Sl. 4 i Sl. 5. Osvetljenost ekrana merena je uz pomoć eksternog luksmetra Optronik Digilux 9500 a ceo pojačavač je pobuđivan u namenski konstruisanoj laboratoriji sa kalibrisanim izvorima svetla.



Sl. 5. Osvetljenost ekrana u funkciji struje ekrana pri naponu od 6000 V

Sa prethodnih slika se može videti linearna zavisnost obe karakteristike sa nagibima od 0.0015 lux/V i 0.02 lux/nA. Normalna radna tačka je osvetljaj ekrana od 3.5 lux koji se postiže pri naponu od 5400 V i struji ekrana on 150 nA. Od interesa je poređenje relativnog uticaja ove dve veličine na osvetljenost ekrana gde se može uočiti da promena od 13% napona ekrana menja osvetljenost za 1 lux dok isti efekat izaziva promena struje ekrana od 33%. Iako se tipična dostupna literatura osvrće na regulaciju osvetljenosti ekrana preko struje ekrana (ABC) [8], u praksi se ispostavlja da je stabilnost napona ekrana važnija za pravilan rad regulacije jer je uticaj napona ekrana više od dva puta veći.

IV. ZAKLJUČAK

Zahvaljujući realizaciji napajanja koje istovremeno meri struje ekrana, struje MKP i struje fotokatode moguće je pratiti ključne parametre mikrokanalne ploče, otpornost i pojačanje, u sistemu. Na osnovu poznavanja ovih parametara moguće je realizovati sistem za regulaciju osvetljenosti ekrana koji koristi povratnu struju MKP kao ulaznu veličinu u ABC petlju, zajedno sa strujom ekrana što može popraviti regulaciju. Rezultati dobijeni neposrednim merenjem na MKP treće generacije pokazuju nelinearnu karakteristiku otpornosti i pojačanja MKP, prema očekivanjima. Pored karakterizacije

MKP u radu su prikazani i rezultat vezani za ponašanje ekrana koji su od interesa za realizaciju ABC.

ZAHVALNICA

Zahvaljujemo se korporacijama Harder Digital GmbH i Sova HD koji su stvorili uslove za merenje karakteristika pojačavača slike. Autori zahvalnost duguju i kolegama V. Jariću, V. Baloviću i I. Živkoviću iz firme Real Electronics koji su učestvovali u procesu dizajniranja sistema za napajanje.

LITERATURA

- [1] D. Borissova, *NIGHT VISION DEVICES Modeling and Optimal Design*, Sofia, Bulgaria: Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2015.
- [2] "Generation III based P45 White Phosphor Image Intensifiers," Aviation Specialties Unlimited, 4632 West Aeronca St., Boise, Idaho, 2016.
- [3] A. M. Cruise, J. A. Bowles, T. J. Patrick, C. V. Goodall, *Principles of Space Instrument Design*, UK, Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
- [4] "MCP Assembly," Hamamatsu Photonics K.K., 2006.
- [5] H. Wang, Y., Y. Feng, Y. Lv, X. Hu, Y. Qian, "Effective Evaluation of the Noise Factor of Microchannel Plate," *Advances in OptoElectronics*, vol. 2015, pp. 1-6, Aug., 2015.
- [6] J.F. Pearson, G.W. Fraser, M.J. Whiteley, "Variation of microchannel plate resistance with temperature and applied voltage," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 258, no. 2, pp. 270-274, Aug., 1987.
- [7] Dmitry Bestvater, privatna komunikacija sa autorima, 2015-2016.
- [8] J. P. Estrera, M.R. Saldana, "Gated Power Supply Technologies for Advanced Image Intensifiers," *Proc. SPIE*, vol. 4796, pp. 60-70, Feb 6, 2003.

ABSTRACT

Image intensifiers are an important unit in vision and observation systems due to their excellent optical performance and great reliability. Made as compact and robust battery powered units, they exhibit capability of adapting their gain to the illumination conditions, provided by power supply unit. This functionality is crucial for characterization of complete intensifier units and relies on power supply construction and functionality. This paper will present a power supply unit for an image amplifier that is capable of characterizing crucial characteristics of the micro channel plate in the intensifier and thus adapt its parametric for a good power supply-MCP match.

In System Characterization of Image Intensifier Micro Channel Plate Parameters

Slobodan J. Petričević, Branislav Brindić, Miloš C. Tomić, Pedja M. Mihailović, Marko Barjaktarović, Ljubiša Tomić