

127.162

BRANKO RAKOČEVIĆ

**INFRACRVENI ZRACI
U VOJNOJ TEHNICI**

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

37

44

66 (UBACITI KOD UREĐAJA ZA VOŽIŠU HOĆE)

~~66~~

132 (SAMOHODIČE - UBACITI)



VOJNA BIBLIOTEKA

NAŠI PISCI

KNJIGA ČETRDESET ŠESTA

UREĐIVAČKI ODBOR

Nenad DRAKULIĆ, Boško ĐURIČKOVIĆ, Petar MATIĆ, Veljko
MILADINOVIĆ, Gojko NIKOLIŠ, Bogdan OREŠČANIN, Milija
STANIŠIĆ, Rajko TANASKOVIĆ, Raško
POPOVIĆ, (odgovorni urednik)

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

CENTRALNA VOJNA BIBLIOTEKA

INV. BR.

127162

Potpukovnik

BRANKO RAKOČEVIĆ

diplomirani inženjer

INFRACRVENI ZRACI U VOJNOJ TEHNICI

CENTRALNA
VOJNA
BIBLIOTEKA

BEOGRAD 1966.

PREDGOVOR

U inostranstvu je u posleratnom periodu štampano više publikacija iz oblasti primene infracrvenih (IC) zraka, a naročito iz domena njihove vojnotehničke upotrebe. Ovo je i razumljivo, s obzirom na to što će već veoma razvijena vojna IC-tehnika imati široku primenu u eventualnom ratu.

Kod nas, sem nekoliko kraćih napisa i prikaza inostranih publikacija, nije iz ove oblasti ništa publikovano. Zato ću, ako moja knjiga doprinese makar i početnom popunjavanju ove praznine u našoj vojnotehničkoj publicistici, biti veoma zadovoljan i smatraću da sam postigao ono što sam želeo.

Knjiga je prvenstveno namenjena starešinskom i boračkom sastavu Armije, s ciljem da ga uputi u osnovna pitanja vojne IC-tehnike i da mu pomogne da tu, relativno novu oblast celovitije sagleda, izvlačeći potrebne zaključke, ukoliko to izložena materija omogućava, s obzirom na živu dinamiku razvoja vojne IC-tehnike.

Mnogo sam zahvalan drugu dr Vojislavu Simiću, koji se rado prihvatio stručne recenzije rukopisa i tako mi pomogao savetima i primedbama. Isto tako zahvaljujem na korisnim primedbama general-potpukovniku avijacije drugu Miliji Stanišiću.

AUTOR

FIZIČKA PRIRODA IC-ZRAKA

Infracrvene (IC) zrake je prvi otkrio engleski astronom Viljem Heršel (Herschel) 1800. godine. Ali, iako se za narednih 165 godina smenilo nekoliko generacija ljudskog roda, infracrvena tehnika se i dan-danas smatra relativno mladom tehničkom oblašću, naročito kada je reč o vojno-tehničkoj primeni IC-zraka.

Heršel je 1800. godine, proučavajući sunčev spektar, izveo sledeći opit: laboratorijskim termometrom merio je toplotu pojedinih delova spektra i otkrio da je ona najviša u njegovom crvenom delu. Kad je zatim izmerio temperaturu iza crvenog dela spektra (u smislu porasta talasnih dužina zračenja) konstatovao je da je tu temperatura još veća. Heršel je odatle izvukao logičan zaključak: sunčev spektar se ne završava crvenim zračenjem; postoje i neki drugi zraci, nevidljivi golim ljudskim okom. Udaljujući termometar od granice crvenog dela spektra, Heršel je ustanovio da na izvesnom odstojanju, koje odgovara zracima talasne dužine $0,8 \mu$ (mikrona), termometar pokazuje najveću temperaturu, a da zatim temperatura postepeno opada, silazeći do sobne (ako se termometar pomera u smeru porasta talasnih dužina zračenja).

Tako je Heršel dokazao da u sunčevom spektru, uporedo sa vidljivim postoje još i nevidljivi zraci, koji su dobili ime — infracrveni zraci.

Ukupna energija IC-zraka zagrejanog tela znatno je veća od energije njegovih vidljivih zraka. Tako, na primer, savremene električne sijalice (lampe) sa usijanim vlaknom, zrače oko 90% svoje zračne energije u IC-oblasti spektra, a u vidljivoj oblasti spektra svega oko 3—5%, dok ostatak zračenja otpada na druge oblasti spektra.

IC-zraci su toplotni zraci elektromagnetne prirode. Pokrivaju, približno, talasno područje od 0,76 do 750 μ talasne dužine i graniče se s jedne strane crvenim, a s druge mikroradiotalasima. Njihovo mesto u području elektromagnetnog spektra i uslovna podela vide se iz tabelarnog pregleda.

Oblast spektra		Talasna dužina	
		U najčešće upotrebljenim jedinicama	U santimetrima
Niskofrekventne oscilacije		Veće od 20.000 m	veće od $2 \cdot 10^6$
Radiotalasi	dugi	20.000 — 2.000 m	$2 \cdot 10^6$ — $2 \cdot 10^5$
	srednji	2.000 — 200 m	$2 \cdot 10^5$ — $2 \cdot 10^4$
	kratki	200 — 10 m	$2 \cdot 10^4$ — $1 \cdot 10^3$
	ultrakratki	10 — 0,5 m	$1 \cdot 10^3$ — $0,5 \cdot 10^2$
	mikroradiotalasi	manje od 0,5 m	manje od $0,5 \cdot 10^2$
Infracrveni zraci	dugotalasni	750 — 25 mikrona	$7,5 \cdot 10^{-2}$ — $2,5 \cdot 10^{-3}$
	srednjetalasni	25 — 2,5 mikrona	$2,5 \cdot 10^{-3}$ — $2,5 \cdot 10^{-4}$
	kratkotalasni	2,5 — 0,76 mikrona	$2,5 \cdot 10^{-4}$ — $7,6 \cdot 10^{-5}$
Vidljivi zraci	civeni	7.600 — 6.200 angstr.	$0,76 \cdot 10^{-4}$ — $0,62 \cdot 10^{-4}$
	narandžasti	6.200 — 5.900 „	$0,62 \cdot 10^{-4}$ — $0,59 \cdot 10^{-4}$
	žuti	5.900 — 5.600 „	$0,59 \cdot 10^{-4}$ — $0,56 \cdot 10^{-4}$
	zeleni	5.600 — 5.000 „	$0,56 \cdot 10^{-4}$ — $0,5 \cdot 10^{-4}$
	plavi	5.000 — 4.800 „	$0,5 \cdot 10^{-4}$ — $0,48 \cdot 10^{-4}$
	tamnoplavi	4.800 — 4.500 „	$0,48 \cdot 10^{-4}$ — $0,45 \cdot 10^{-4}$
	ljubičasti	4.500 — 4.000 „	$0,45 \cdot 10^{-4}$ — $0,4 \cdot 10^{-4}$
	ultraljubičasti zraci	4.000 — 50 „	$0,4 \cdot 10^{-4}$ — $5 \cdot 10^{-7}$
	rendgenski zraci	50 — 0,04 „	$5 \cdot 10^{-7}$ — $4 \cdot 10^{-10}$
	gama-zraci	$40 \times$ i kraći	$4 \cdot 10^{-10}$ i kraći

IC-zranci poseduju, kao i zranci vidljivog dela spektra, takva svojstva kao što su: prelamanje, refleksija, pravolinijsko prostiranje, polarizacija i interferencija. IC-zranci su i toplotni zranci, jer zagrevaju materijalne prepreke kada na ove naiđu. Izvori IC-zračenja su sva čvrsta, tečna i gasovita tela, čija je temperatura veća od temperature apsolutne nule ($0^{\circ}\text{K} = -273,16^{\circ}\text{C}$).

IC-zračenje je posledica obrtnih i oscilatornih kretanja spoljnih elektrona atoma i molekula. Infracrvena zračna energija se oslobađa onda kada spoljni elektroni prelaze sa neke od svojih mogućih putanja, s višim energetske nivoom, na osnovnu putanju, odnosno na putanju sa nižim energetske nivoom. Energija elektrona je toliko veća ukoliko se elektron nalazi na putanji udaljenijoj od jezgra atoma. Kod normalnog stanja kretanja elektrona po putanji oko jezgra atoma, kretanje ima stacionaran karakter. Posle narušavanja stacionarnog stanja kretanja elektrona, mogu nastupiti dva slučaja: da elektron prelazi s orbite bliže jezgru na orbitu udaljeniju od jezgra atoma i da elektron prelazi s udaljenije orbite od jezgra atoma na putanju koja je bliža njemu. U prvom slučaju treba elektronu dovesti spoljašnju energiju i tako ga podići s nižeg na viši energetske nivo, dok u drugom slučaju dolazi do oslobađanja energije, jer elektron prelazi sa višeg na niže energetske stanje.

Ovaj prelaz elektrona, odnosno atoma, iz jednog u drugo energetske stanje, vrši se skokovito, u duhu Planckove teorije kvanta. Pri tome, kvant oslobodene energije iznosi

$$E = h \cdot \lambda,$$

gde h predstavlja tzv. univerzalnu Plankovu konstantu, a λ učestanost ($h = 6,6252 \cdot 10^{-27}$ erg. sec).

Atomi različitih materija međusobno se razlikuju: masom i naelektrisanjem jezgra, brojem elektrona i njihovom energijom na orbitama.

Na kojoj talasnoj dužini će zračiti maksimum energije neki atom, odnosno neko materijalno telo, može se približno izračunati iz poznatog Vinovog zakona:

$\lambda_{\max} T = \text{const} = b$, gde je $b \approx 2892$, tj.

$$\lambda_{\max} = \frac{2892}{T} \quad [\mu], \text{ pri čemu je}$$

λ_{\max} talasna dužina maksimalnog zračenja tela pri sopstvenoj temperaturi T , a T apsolutna temperatura datog tela.

Dakle, u gornjem obrascu λ_{\max} predstavlja talasnu dužinu maksimalnog zračenja tela na temperaturi T , a ne i jedinu talasnu dužinu zračenja. Jer, svako telo koje se nalazi na temperaturi T zrači čitav spektar talasnih dužina sa jedne i druge strane talasne dužine λ_{\max} .

Iz Vinovog zakona se vidi da što je apsolutna temperatura T nekog tela veća, to je talasna dužina njegovog maksimalnog zračenja manja. Tako, na primer: čovek telesne temperature 37°C , odnosno čija je apsolutna temperatura organizma približno 310°K ($T = 273 + 37$) postiže maksimum zračenja na talasnoj dužini

$$\lambda_{\max} = \frac{2892}{310} \approx 9,33 \quad [\mu].$$

Levo i desno od vrednosti $\lambda_{\max} \approx 9,33 \mu$ na skali talasnih dužina na zračenja (za navedeni slučaj) energija zračenja opada. Ako se želi posedovati infracrveni detektorski prijemnik, čiji je glavni zadatak detekcija protivničke žive sile, onda bi bilo idealno napraviti takav IC-detektor čiji bi maksimum osetljivosti približno bio $9,33 \mu$. Drugo je pitanje, na kakve se tehničke teškoće nailazi kada se pristupa konstrukciji takvog IC-detektora. Reaktivni avionski motor ima $T \approx 1000^{\circ}\text{K}$ i po Vinovom zakonu dobija se $\lambda_{\max} \approx 3 \mu$, dok je kod benzinskog avio-motora $\lambda_{\max} \approx 4 \mu$ ($T \approx 750^{\circ}\text{K}$), itd.

Sunce je, kao prirodni izvor IC-zračenja, od posebnog interesa. Ogromna većina energije zračenja Sunca pada u oblast infracrvenog dela spektra, tj. u oblast talasnih dužina od približno $0,76 \mu$ do 750μ . Prema nekim autorima, može se približno uzeti da oko 50% ukupne zračne energije Sunca otpada na talasne dužine iznad $0,7 \mu$, oko 25%

na talasne dužine veće od 1μ , i oko 20% na talasne dužine veće od 3μ . Približno se računa da oko 70% ukupnog zračenja Sunca otpada na njegovo zračenje u oblasti talasnih dužina infracrvenog dela elektromagnetnog spektra.

Kod raznih autora mogu se naći različite podele infracrvenog dela spektra, zavisno od talasnih dužina zračenja. Najrasprostranjenija je podela IC-zraka na: kratkotalasne ($\lambda \approx 0,76 - 2,5\mu$), srednjetalasne ($\lambda \approx 2,5 - 25\mu$) i dugotalasne ($\lambda \approx 25 - 750\mu$). Ovakva podela je uslovna, a opravdava se izvesnim praktičnim razlozima, prvenstveno razlozima tehničke prirode, vezanim za praktično korišćenje IC-zraka. Inače, jasno je da se oštra fizička granica ne može povući između navedene tri grupe jedinstvenog područja infracrvenog dela spektra.

IC-zraci se mogu otkriti i fotografisanjem. Za to se upotrebljavaju specijalne vrste filma (foto-ploča), osetljive na IC-zrake. Poslednjih godina se u tehnici, za otkrivanje i izučavanje IC-zraka, koriste i mnogi drugi fizički uređaji, zasnovani na raznim dejstvima IC-zraka.

IZVORI IC-ZRAČENJA

Prema najopštijoj podeli izvori IC-zračenja mogu biti: prirodni ili veštački.

Svako materijalno telo, temperature veće od temperature apsolutne nule, zrači IC-zrake, čija talasna dužina zavisi od temperature tela. To znači da prirodnih izvora IC-zračenja ima beskrajno mnogo. No, svi nisu od praktičnog značaja, naročito ne s vojne tačke gledišta. Najvažniji bi bili: planete, zvezde, dnevno i noćno nebo, magline, ljudska tela, zemljište i prirodni objekti na njemu (vegetacija i dr.), razne komponente atmosfere, itd. Ako se usvoji da su veštački izvori IC-zračenja uglavnom oni koji su napravljeni s ciljem da posluže kao izvori IC-zračenja, onda se mogu u prirodne izvore IC-zračenja ubrojiti i: naseljena mesta, industrijska i druga postrojenja, saobraćajni objekti, transportna sredstva, kao i svi drugi veštački objekti na zemlji, vodi i u vazduhu, itd.

Najvažniji veštački izvori IC-zračenja bili bi: sijalice sa usijanim volframovim vlaknom, nernstov grejač, globar, auerov grejač, električni luk, kvarcne lampe, kseonske lampe, cezijumove lampe, natrijumove lampe, ži-vine lampe niskog i visokog pritiska, neonske cevi (lampe), gajslerova cev, laseri kao izvori IC-zračenja, poluprovodnički IC-izvori zračenja, itd.

Celokupna vojna tehnika i oprema takođe predstavljaju izvore IC-zračenja, a naročito: oklopna i druga motorna vozila (pogotovu kad im rade motori), oruđa i oružje za vreme dejstva, ratni brodovi i čamci u pokretu, rakete, klipni i mlazni avioni u letu (njihovi motori i izduvni gasovi), itd.

Sa čisto vojne tačke gledišta praktičnija je podela izvora IC-zračenja na borbene ciljeve (kao izvore IC-zračenja) i na izvore smetnji. Ovakva podela je dobra i za sve one koji se na ma koji način bave vojnom IC-tehnikom. Pod borbenim ciljevima, kao izvorima IC-zračenja, treba podrazumevati sve one objekte koji zrače IC-zrake, a koje je potrebno otkriti, odrediti im mesto i bliže ih identifikovati na osnovu njihovog sopstvenog IC-zračenja, a pomoću IC-uređaja. Pod izvorima smetnji podrazumevaju se svi drugi izvori IC-zračenja, čije se IC-zračenje meša sa IC-zračenjem borbenih ciljeva — koji su predmet osmatranja i bližeg identifikovanja — usled čega nastaju određene smetnje.

Izvor IC-zračenja može u jednom slučaju da predstavlja borbeni cilj — kao izvor IC-zračenja — a u drugom slučaju izvor smetnji, zavisno od zadatka posmatrača. Tako, na primer, ako je objekt osmatranja brod koji se kreće rekom i treba ga identifikovati IC-uređajem na osnovu IC-zračenja broda, a u njegovoj pozadini ili između njega i osmatrača sa IC-uređajem se nalazi dimnjak fabrike u pogonu, onda se ovaj pojavljuje kao izvor smetnji, jer se njegovo IC-zračenje meša sa IC-zračenjem broda. Logično je da će situacija biti potpuno obrnuta, ako je objekt identifikovanja fabrički dimnjak.

Savremenim metodama se, na bazi sopstvenog IC-zračenja, određuje temperatura površine nebeskih tela; ispituje atmosfera (ili pojedine njene komponente) planeta; snimaju IC-fotografije, mnogo se koristi i IC-mikroskopija, a medicina i industrija sve više upotrebljavaju razne IC-izvore i uređaje. IC-uređaji prodiru i u druge grane ljudske delatnosti: saobraćaj, domaćinstvo, itd.

I u svim savremeno opremljenim armijama postoji obilje najrazličitijih IC-uređaja. Tako se, na primer, uz njihovu pomoć otkrivaju vatreni položaji ili otkriva i prati let aviona, raketa, satelita, itd.

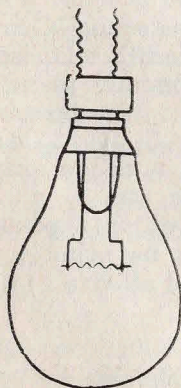
Sijalice sa usijanim metalnim vlaknom

Danas postoje, gotovo bez izuzetka, samo sijalice sa usijanim volframovim vlaknom ($T = 2.500^{\circ}\text{K}$) smeštenim

u stakleni balon u kome postoji vakuum određenog stepena. Ovakva sijalica zrači maksimum energije na talasnoj dužini $\lambda_{\max} \approx 1,15 \mu$. Ako se ukupna zračna snaga ovakve sijalice označi sa 100%, onda na talasne dužine vidljivog dela spektra otpada svega 7—12%. Neuporedivo veći deo energije zračenja sijalice pada u domen IC-zračenja i približno iznosi do 70% ukupnog zračenja sijalice. Prema tome, volframove sijalice su veoma pogodni izvori kratkotalasnog IC-zračenja (do 2,5 μ).

Pregled raspodele energije zračenja u procentima

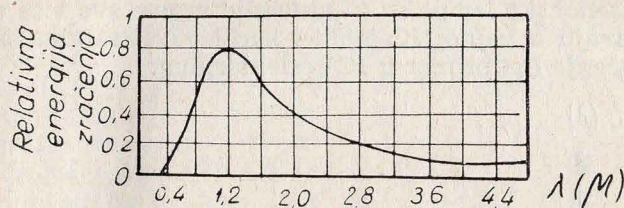
Vrsta zračenja	Vakuumska sijalica (bez inertnog gasa)	Sijalica punjena argonom	Bispiralna sijalica napunjena argonom	Sijalica punjena kriptonom i ksenonom
Vidljivo zračenje	7	10	12	13
Nevidljivo zračenje	86	68	74	76
Gubici na držačima	7	3	2	2
Gubici u gasu	0	19	12	9



Sl. 1 — Opšti izgled obične sijalice sa volframovom niti

Baloni volframskih sijalica se mogu puniti inertnim gasovima i tada se menja njihova spektralna raspodela zračenja.

Kada je u pitanju primena volframskih sijalica kod reflektora IC-uređaja, onda se kao njihov osnovni nedostatak pojavljuje (kao i kod ostalih temperaturnih izvora zračenja) vrlo mala selektivnost zračenja, što uslovljava nužnost primene specijalnih filtera (IC-filtera), radi eliminisanja golim okom vidljivog zračenja.



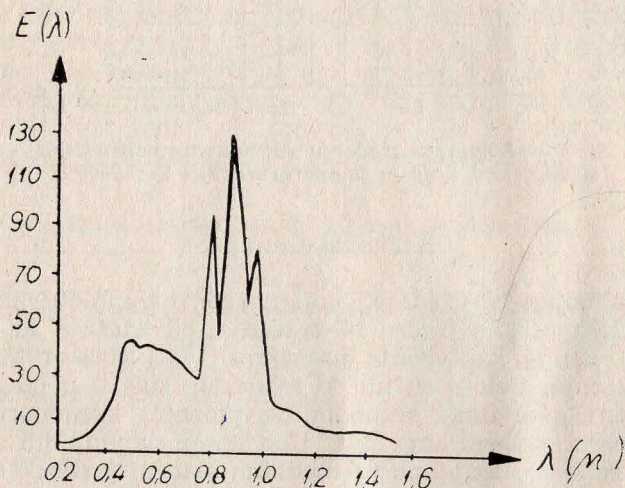
Sl. 2 — Dijagram zračenja vakuumske volframske sijalice kod koje je temperatura niti $T = 2800^{\circ}\text{K}$

Ksenonske lampe

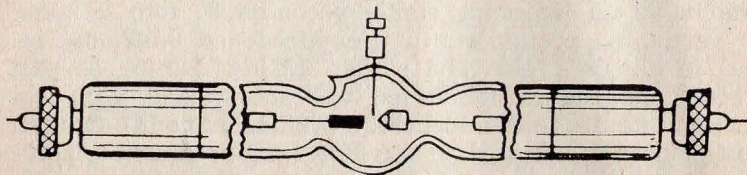
Za vojne IC-uređaje, koji u svom kompletu imaju IC-reflektore kao izvore IC-zračenja, od značaja su ksenonske lampe, kao veoma intenzivni izvori kratkotalasnog IC-zračenja. Baloni su im od kvarcnog stakla, a pune se inertnim gasovima: argonom, kriptonom, ksenonom ili određenim mešavinama ovih. Kod lampi napunjenih smešom ksenona i kriptonu (u hladnom stanju) pritisak unutar balona iznosi 15—30 atmosfera.

Standardne lampe ovog tipa su snage 250 i 750 W (izrađuju se i drugih snaga, manjih i većih). Lampa 750 W ima balon od kvarcnog stakla prečnika 36 mm u kome su vertikalno postavljene dve elektrode od volframa; iznad je katoda prekrivena slojem oksida. Lampa se pali trećom elektrodom, takođe od volframove žice, koja leži upravno na druge dve elektrode (katodu i anodu). Odmah posle paljenja, lampa daje oko 80% svog nominalnog zračnog fluksa, dok se nominalni fluks postiže nakon uspostavljanje odgovarajućeg toplotnog režima. Pritisak inertnog gasa unutar balona za to vreme poraste dva puta u odnosu na pritisak hladne lampe. U kratkotalasnom IC-području ova lampa zrači kontinualan spektar, koji se približava spektru zračenja apsolutno crnog tela pri temperaturi od 5.200 do 5.700°K, sa izrazito intenzivnim linijama zračenja na talasnim dužinama 0,76, 0,82, 0,84, 0,90 i 1 μ. S povećanjem atomske težine inertnog gasa kojim se pune ovakve lampe, maksimum zračenja lampe se pomera u smeru porasta talasnih dužina zračenja.

Ksenonske lampe se u poslednje vreme sve više upotrebljavaju u vojnoj IC-tehnici kao izvor kratkotalasnog IC-zračenja (na primer u IC-reflektorima).



Sl. 3 — Spektar zračenja ksenonske lampe za radne uslove $p = 40$ at i I (struja) = 7,5 A



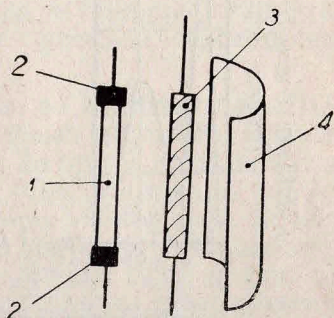
Sl. 4 — Ksenonsko-kriptonska lampa snage 750 W

Usijane nemetalne šipke

Od ovih izvora IC-zračenja pomenuće se samo nernstov grejač i globar. Oba daju maksimum zračenja u području od oko 2 μ (kod globara su nešto bolje karakteristike zračenja u dugotalasnom delu spektra). Nernstov grejač ima konstantan režim rada, visok intenzitet zra-

čenja i radi bez produkata sagorevanja, zbog čega predstavlja za spektroskopiju idealan izvor kratkotalasnog IC-zračenja. Radno temperaturno područje mu je oko $1.600\text{--}1.700^{\circ}\text{K}$, a može se podići i do oko 2.000°K , pri čemu mu se skraćuje vek trajanja.

Nernstov grejač je u stvari cilindrična šipka dužine 25—30 mm, prečnika oko 2—3 mm, a pretežno se sastoji iz oksida cirkonijuma, s primesama oksida retkih zemalja ili nekih drugih elemenata. Prema nekim podacima iz literature hemijski sastav nernstonovog grejača može biti: dioksid cirkonijuma 80%; dioksid torijuma 10%; oksid magnezijuma 5%; oksid kalcijuma 5%; borna kiselina u tragovima.

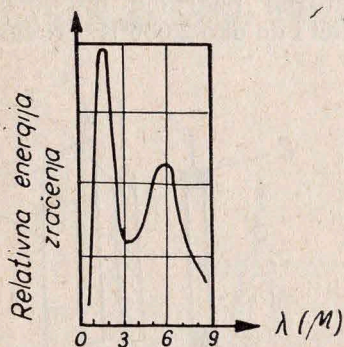


Sl. 5 — 1-nernstov grejač; 2-platinski izvodi; 3-pomoćni platinski grejač, 4-reflektor

Nernstov grejač radi na sledeći način: najpre se pomoću pomoćnog platinskog grejača (3) zagreje šipka grejača (1) do tamnocrvenog usijanja, koji počinje normalno da radi i postaje jak izvor IC-zračenja, a pomoćni platinski grejač se isključuje iz rada. Nernstov grejač radi sa strujom od 0,5 do 1 A pri naponu od 110 ili 220 V. Prethodno zagrevanje platinskim grejačem nužno je zbog toga što u hladnom stanju nernstov grejač ima veoma veliki otpor i gotovo ne provodi struju. Nakon zagrevanja (oko 1073°K u toku od 30 do 45 sekundi) otpor znatno pada.

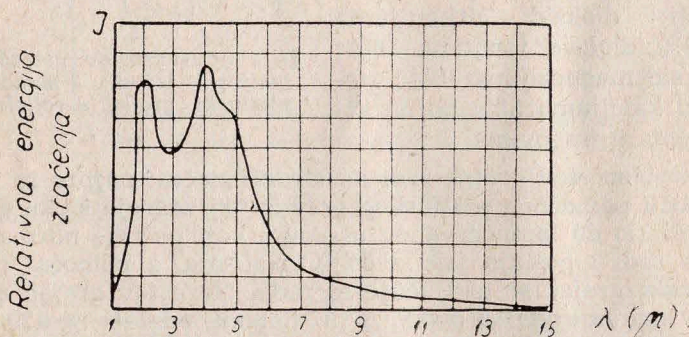
Kod globara zagrevanje je maksimum do oko 1.500°K , jer bi viša temperatura razorila materijal od koga je napravljen (silicijum-karbidova šipka, dužine 50—100 mm, prečnika 5—6 mm). Radni vek mu je oko 250 časova. U odnosu na nernstov grejač, mana mu je: ima nižu radnu temperaturu; u izvesnoj meri sublimiše materijal svoje površine, što može da ošteti bliske osetljive optičke površine; ponekad se elektrode pri radu odvajaju od šipke gre-

jača; mora se hladiti vodom. Prednost u odnosu na nernstov grejač mu je u tome što je manje krt od globara.



Sl. 6 — Spektar zračenja nernstovog grejača.

Za spektar zračenja male snage zagrevanja (2—20 W) postoje dva maksimuma. Međutim, sa povećanjem snage zagrevanja prvi maksimum raste a drugi opada, dok se sasvim ne izgubi negde posle porasta snage napajanja preko 100 W



Sl. 7 — Dijagram spektra zračenja globara

Živine lampe

Živina lampa, kao izvor IC-zračenja, veoma je interesantna, naročito u dugotalasnom IC-području spektra. Njene zračne karakteristike veoma mnogo zavise od veličine pritiska živinih para u balonu — pri određenoj radnoj temperaturi lampe, kao i od konstrukcije i uslova njenoga rada. Prema veličini pritiska živinih para i karakteru zračenja, ove lampe se dele na: lampe niskog, visokog

i vrlo visokog pritiska. Kod živinih lampi, uporedo s elektronskom teče i jonska struja (od anode ka katodi). Gustine ovih struja zavise od brzine kretanja elektrona i jona. Kako je brzina kretanja elektrona znatno veća od brzine kretanja jona, to je i gustina elektronske struje mnogo veća od gustine jonske, zbog čega je i ukupna struja pražnjenja živinog luka u osnovi određena elektronskom strujom.

Kvarcne živine lampe (balon od kvarcnog stakla) visokog i vrlo visokog pritiska su danas jedinstveni veštački izvori dugotalasnog IC-zračenja. Za njih je karakteristična pojava koncentracije svetlećeg stuba pražnjenja, tj. njegova kontrakcija u tanku nit veoma visokog sjaja. Rubens je 1911. godine, pomoću živine lampe, postigao zračenje talasne dužine od $\lambda = 343 \mu$, Nikols 1923. godine od $\lambda = 420 \mu$, a 1950. godine Mak Kubin je dobio zračenje iznad $\lambda = 750 \mu$, dakle, na granici dugotalasnog IC-zračenja i mikrotalasnog područja elektromagnetnog spektra. Dugotalasna IC-zračenja živinih lampi su po intenzitetu vrlo mala, zbog čega mogu biti registrovana samo pomoću prijemnika veoma visoke osetljivosti.

Kada je u pitanju živina lampa niskog pritiska (svega nekoliko mm Hg) i mala gustina struje ($4-5 \text{ A/cm}^2$), onda lampa zrači najviše u ultraljubičastom području spektra. Sa povećanjem pritiska živinih para povećavaju se gustina struje i koncentracija elektrona i jona, pa se pojačavaju rezonantne linije zračenja u vidljivom delu spektra. Ako je pritisak vrlo visok, gustina struje još više raste, zbog čega se još više povećava zračenje u IC-delu spektra, a menja se i raspodela zračenja u spektru zračenja.

Živine lampe s pritiskom od 200 atm. zrače oko 75% priključne snage, što govori o njihovoj velikoj ekonomičnosti. Tako, na primer, pri svetlosnoj emisiji od 65 lm/W i priključnoj snazi od 710 W, lampa zrači fluks od $46:10^3$ lumena. Da bi se običnom volframskom lampom dobio takav zračni fluks, bilo bi nužno da njena snaga bude 1.700 W, tj. 2,5 puta veća. S porastom pritiska u živinim lampama, raste i njihova snaga zračenja u IC-području spektra.

Tabela raspodele energije u spektru zračenja živinih lampi vrlo visokog pritiska

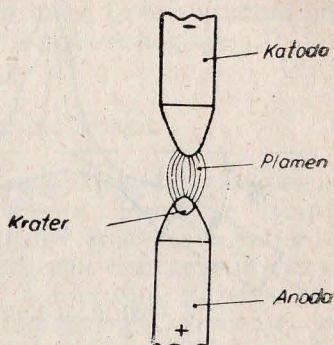
Karakteristike lampe			Svetlosna emisija [lm/W]	Raspodela energije zračenja u spektru (%)		
prečn. [mm]	gradijent. [V/cm]	pritis. [atm.]		$\lambda < 0,4\mu$	$\lambda = 0,4 - 0,7\mu$	$\lambda > 0,7\mu$
4,5	120	20	40	45	28	27
4,5	135	20	48	46	26	28
2	500	130	130	40	30	30
1	800	200	200	31	35	34

Kod živinih lampi niskog pritiska snaga zračenja u IC-području spektra iznosi 15—19%, a na pritisku od 200 atm. dostiže 34% ukupnog zračenja. Odatle se vidi da živine lučne lampe vrlo visokog pritiska predstavljaju dobre izvore kratkotalasnog IC-zračenja.

Električni luk

Električni luk spada u najintenzivnije izvore IC-zračenja. Kod njega se lučno pražnjenje obrazuje između dve grafitne elektrode (katode i anode). Struja elektrona sa katode »bombarduje« anodu koja se usijava do belog usijanja i tada obrazuje krater temperature 4.000°K—5.000°K. Zračne osobine električnog luka su uglavnom određene temperaturom kratera. Krater zrači oko 85% ukupnog zračnog fluksa luka, dok katoda 10% a plamen 5%. Postoje dve vrste električnog luka: jednostavni i visokog intenziteta. Maksimalna energija zračenja jednostavnog električnog luka nalazi se u području $\lambda = 0,7 - \lambda = 0,8 \mu$, zbog čega je jednostavni električni luk dobar izvor kratkotalasnog IC-zračenja. Elektrode jednostavnog električnog luka su obično od grafita ili pak imaju fitilj u čvrstom grafitnom omotaču (čađ sa tečnim staklom). Elektrode sa fitiljem gore stabilnije, jer masa fitilja isparava jače od grafitnog omotača, pa se tako stvara »gasni oblak« koji pojačava jonizaciju luka, što pospešuje stabilan

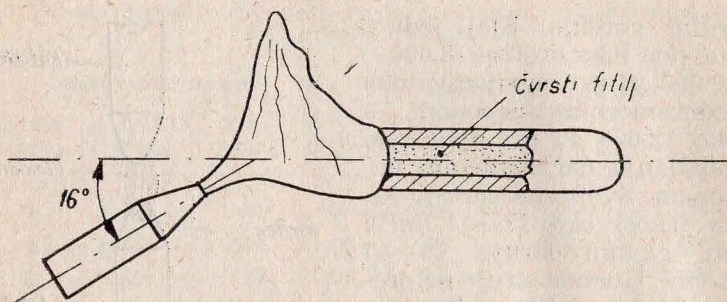
režim gorenja. Sjaj jednostavnog luka dostiže 18.000—20.000 sb pri napajanju luka jednosmernim naponom, a oko 12.000 sb pri njegovom napajanju naizmeničnim naponom. Svetlosna emisija luka iznosi oko 12—14 lm/W pri gustini struje 15—17 A/cm². Gustina struje ne prelazi 30 A/cm². Sjaj jednostavnog luka pojačava se povećanjem pritiska, zato što temperatura isparavanja ugljenika raste s porastom pritiska.



Sl. 8 — Šematski prikazan jednostavni električni luk

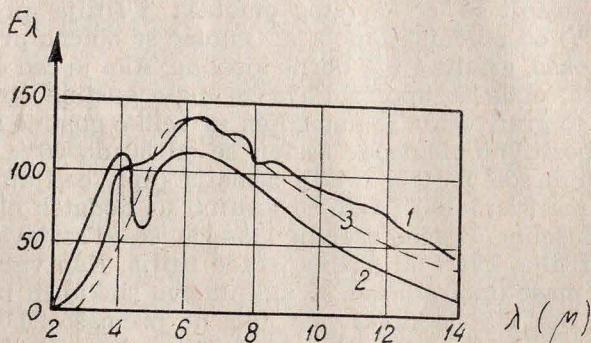
Kod napajanja jednosmernim naponom pozitivna elektroda sagoreva znatno brže od negativne, dok je kod napajanja naizmeničnim naponom sagorevanje obe elektrode ravnomerno, pa je zato svetlosni fluks manji nego pri napajanju jednosmernim naponom.

Električni luk visokog intenziteta ima elektrode koje omogućavaju povećanje gustine struje. Posledica ovoga je poboljšanje svetlosnih karakteristika luka. Pozitivna elektroda sastoji se od čvrstog omotača i fitilja prečnika 50—65% od prečnika omotača. Omotač se obično pravi od čađi, koksa, grafita i 1% borne kiseline. Ako je čađ osnova omotača, onda se upotrebljava za male gustine struje, a ako je to grafit onda je namenjen za velike gustine struje. Fitolj pozitivne elektrode sastoji se od 30 do 60% smeše fluoridnih soli metala retkih zemalja (npr. cerijuma, samarijuma i lantana) i čađi ili grafita, uz dodatak oko 4% borne kiseline. Zračne osobine luka zavise od sastava omotača i fitilja, kao i od načina izrade fitilja. Kao vezivo fitiljske mase upotrebljava se kalijumovo staklo ili izvesne smole. Dok sjaj jednostavnog luka ne premaša 20.000 sb, dotle se kod luka visokog intenziteta postiže i 80.000 sb. Odgovarajuće maksimalne vrednosti jačine svetlosti iznose 22.500 sveća kod jednostavnog luka i 110.000 sveća kod luka visokog intenziteta.



Sl. 9 — Luk visokog intenziteta

Na slici 9 se vidi da ispred anode nastaje sjajni gasni oblak, koji počinje u krateru. Plamen katode potiskuje oblak ka anodi, skupljajući gasove u udubljenju kratera. Sjaj anodnog oblaka mnogo je veći od sjaja katodnog plamena. Za razliku od jednostavnog električnog luka, u luku visokog intenziteta se, na čisto toplotno zračenje kratera, dodaje luminiscentno zračenje oblaka usijanih para metala retkih zemalja koji ulaze u sastav fitilja pozitivne elektrode. Zato luk visokog intenziteta ima veći sjaj od sjaja jednostavnog luka. Luk visokog intenziteta obično radi pomoću jednosmernog napona, da bi se postigao veći koeficijent korisnog dejstva.



Sl. 10 — Spektari zračenja električnog luka visokog intenziteta (kriva 1), električnog jednostavnog luka (kriva 2) i spektar zračenja apsolutno crnog tela temperature 5.000°K (kriva 3)

U IC-mikroskopiji se koriste lučni izvori izrađeni od cirkonijum-oksida. To je tačkasti izvor velikog sjaja.

Cezijumska rezonantna lampa

Cezijumska rezonantna lampa predstavlja vrlo pogodan izvor kratkotalnog IC-zračenja. Punjenje lampe argonom s primesama vodonika (0,006%) olakšava paljenje lampe i povećava intenzitet svetljenja cezijumskih para. Pod pritiskom od 200 mm Hg, lampa daje najveće rezonantno zračenje u oblasti kratkotalnog IC-zračenja. Sa sniženjem pritiska rezonantno zračenje se smanjuje, a sa porastom pritiska premešta se u vidljivi deo spektra i gorjenje lampe postaje nestabilno. Cezijumska lampa od 100 W, u domenu svog maksimalnog zračenja, daje snagu ekvivalentnu snazi sijalice sa usijanim vlaknom od 700 W. Ovakve lampe se prave najčešće od 50, 100 i 500 W. Pražnjenje se vrši između dve spiralne volframske elektrode pokrivene oksidom barijuma i stroncijuma. Rastojanje između elektroda je oko 75 mm. Približno 25% energije napajanja lampe izrađuje se u vidu IC-zraka, preko rezonantnih linija na 0,8521 μ i 0,8944 μ .

Svi opisani veštački izvori IC-zračenja mogu biti, na odgovarajući način, upotrebljeni kod IC-vojnih uređaja. Međutim, za sada se, kod IC-reflektora, uglavnom koriste sijalice sa užarenom volframovom niti i ksenonske lampe. Primena ovih poslednjih u navedene svrhe je relativno novijeg datuma (od pre nekoliko godina).

KRATAK OSVRT NA ISTORIJAT VOJNE PRIMENE IC-ZRAKA

Prošlo je više od jedne polovine stoleća, od vremena kada su se vojnotehničke ustanove V. Britanije, Nemačke i Sjedinjenih Američkih Država počele ozbiljno interesovati za IC-zračenje. Godine 1904. objavljeno je otkriće fotoelektričnog efekta sa IC-zracima na prirodnom olovnom sulfidu, odnosno galenitu (PbS). U toku prvog svetskog rata publikovan je opis jednog od prvih tzv. pasivnih IC-sistema, koji je u svom sklopu imao termosprej i galvanometar, a omogućavao da se otkrije čovek, na osnovu njegovog IC-zračenja, do odstojanja od 180 m, a avion do oko 1.600 m.

Krajem 1917. godine američkoj kopненоj vojsci i mornarici prikazan je tzv. aktivni IC-uređaj, koji je u svom sklopu imao: izvor IC-zračenja sa IC-filtrom, kolektor prečnika oko 600 mm), za sakupljanje od cilja reflektovanih IC-zraka i talijum-sulfidnu ćeliju. Uređaj je postizao domet oko 1,8 milja, pri prosečnim vremenskim prilikama, a odašiljao je i primao reflektovane impulse IC-zračenja. Proizvodnja uređaja ove vrste, dometa od oko 4 milje, otpočela je krajem prvog svetskog rata. U to vreme, sa izvesnim uspesima, razvijani su i sistemi za prenos govora na daljinu; kao izvor IC-zračenja primenjen je modulisani acetilenski plamen. Takođe, krajem prvog svetskog rata, u nekim armijama su primenjivani, istina u manjem obimu, impulsni sistemi sa talijum-sulfidnim ćelijama, namenjeni za spuštanje aviona pri sletanju, kao i za održavanje određenog poretka brodova u konvoju.

Talijum-sulfidne ćelije pojavile su se na tržištu nekoliko godina posle prvog svetskog rata. U to vreme Nemačka i Italija razvijaju talijum-sulfidne ćelije, a slične, fotonaponskog tipa, i SSSR. I to je uglavnom sve. Tek oko 1930. godine u Nemačkoj ponovo dolazi do porasta interesovanja za dalje poboljšanje i usavršavanje IC-detektora (naročito posle uspešnog razvoja galenitne fotonaponske ćelije), a od 1932. godine i oficijelno se nastavlja rad na programu razvoja vojnih IC-uređaja (IC-detektorski sa ili bez hlađenja). Tako su u frankfurtskom fizičkom institutu razvijeni termički detektori zvani »bolometri«.

Istraživački i razvojni radovi u Nemačkoj i nekim drugim zemljama doveli su do realizacije više vrsta i tipova fotoprovodničkih i termičkih detektora, a što je omogućilo razvoj i konstrukciju čitavog niza IC-detektorskih sistema, od kojih su najznačajniji:

— IC-uređaji za upravljanje protivavionskom vatrom i protivavionskim reflektorima;

— IC-uređaji za otkrivanje brodova u priobalnom pojasu;

— IC-uređaji za otkrivanje brodova i aviona sa kopna;

— IC-uređaji na avionima za detekciju aviona i drugih zagrejanih objekata;

— IC-uređaji za upravljanje raketnim projektilima vazduh-vazduh, vazduh-zemlja i zemlja-vazduh;

— blizinski IC-upaljači, itd.

Najveći broj ovih IC-uređaja razvijen je u to vreme samo do laboratorijske faze, a samo neki, proizvedeni u vrlo ograničenom broju, korišćeni su protiv britanskih brodova u Lamanšu u drugom svetskom ratu. IC-uređaji za otkrivanje bombardera noću poznati su pod imenom »kil-sistemi«. Jedan od njih, »kil IV«, bio je predviđen za serijsku proizvodnju, ali je to sprečio kraj drugog svetskog rata.

Znatni naponi su činjeni na razvoju IC-uređaja za prenošenje govora na daljinu — tzv. IC-telefonija. Prvo-bitni prijemnici zasnovani su na bazi talijum-sulfida, a kasnije olovnog sulfida, uz primenu sistema modulacije. Domet im je iznosio približno 10 milja. Upotreba IC-tele-

fonije doživela je i ograničenu praktičnu primenu: upotreba joj je bila znatno otežana i ograničena zbog uskih IC-zračnih snopova predajnika — teško ih je usmeriti u tačno određenom pravcu, tj. između korespondenata. Zato je razvoj ovih IC-sistema usporen ili je sasvim zastao u nekim zemljama.

Novu fazu u razvoju vojnih IC-uređaja predstavljao je pronalazak i konstrukcija elektronsko-optičkog pretvarača slike. Najpre je razvijen u Nemačkoj kao uređaj za otkrivanje protivničkih IC-izvora, za signalizaciju, za noćnu vožnju oklopnih borbenih vozila uz korišćenje farova sa IC-filtrima kao izvora IC-zračenja. Tokom drugog svetskog rata ovaj uređaj je proizveden u ograničenom broju.

Između dva svetska rata, uporedo sa Evropom, i SAD rade na vojnim IC-uređajima. Tridesetih godina SAD stvaraju elektronsko-optički pretvarač slike sa fotoemisionom površinom od cezijuma i oksida srebra, na kojoj se, pomoću optičkog sistema objektiva, formira tzv. IC-slika. Posredstvom sistema elektronskih sočiva IC-slika posmatranog objekta prenosi se i transformiše u, za čovekovo oko, vidljivu sliku, na fluorescentnom ekranu. Slika se vidi pomoću okulara, koji se nalazi između fluorescentnog ekrana i posmatračevog oka. Kasnije su elektronsko-optički pretvarači slike ugrađivani u IC-teleskope i IC-mikroskope. Znatni napori su uloženi na povećanje spektralne osetljivosti drugih bitnih karakteristika elektronsko-optičkih pretvarača slike. Tako se još za vreme drugog svetskog rata — pored IC-uređaja za noćnu vožnju oklopnih i drugih borbenih vozila i izvesnih osmatračkih i nišanskih IC-uređaja manjeg dometa — pojavljuje i binokularni IC-sistem koji je omogućavao sletanje aviona noću na piste ozračene IC-reflektorima. U pomenuti binokularni IC-sistem bila su ugrađena dva elektronsko-optička pretvarača slike. Tokom rata razvijeni su IC-uređaji sa elektronsko-optičkim pretvaračima slike koji su omogućavali prikriven noćni saobraćaj u lukama i pristanje plovni objekata kao i noćnu vožnju brodova i lokomotiva, prikrivenu signalizaciju na vodi i kopnu, itd.

Još za vreme drugog svetskog rata izvođeni su opiti sa avionskim IC-nišanskim uređajima pasivnog principa dejstva. Oni su radili na bazi IC-zračenja ciljeva. Jedan od prvih IC-nišana bio je protivavionski elektronsko-optički nišan »orel« (Nemačka). Postavljen na avionu, omogućavao je otkrivanje američkog aviona B-29, na osnovu IC-zračenja avionskih motora, na odstojanju od oko 30 km.

U V. Britaniji se 1942. godine pojavio noćni lovac snabdeven elektronsko-optičkim viziorom kruto ugrađenim u kabini. Vizir je najpre bio predviđen za otkrivanje i uočavanje sopstvenih aviona opremljenih IC-farovima. Kasnije su ispred vizira postavljeni kolimatori, koji su omogućili nišanje i gađanje. Gotovo u isto vreme u Nemačkoj je ugrađen na nekim lovcima elektronsko-optički nišan »španer-IIA« s fiksnom končanicom. Imao je svetlosno jaku optiku (objektiv) s velikim relativnim otvorom ($A = 1 : 0,8$), žižno rastojanje objektiva $f = 90$ mm i prilično velike gabaritne dimenzije. U nišan je bio ugrađen pretvarač slike firme AEG. Kod vidnog polja od 30° nišan je omogućavao otkrivanje i uočavanje aviona B-29 na odstojanju 8—10 km.

U toku drugog svetskog rata, na Okinavi, američka mornarička pešadija raspolagala je izvesnim brojem IC-nišana aktivnog principa dejstva (za noćne borbe) montiranim na streljačkom oružju. Japanski gubici su bili znatni; ceni se da je 30% gubitaka bio rezultat primene IC-nišana (M-2).

Sa primenom vojne IC-tehnike nastavilo se uspešno i u korejskom ratu.

Poznato je da su Francuzi u Alžiru dosta široko koristili razne IC-uređaje u noćnim dejstvima i da su zbog toga borci FLN-a imali velike gubitke.

U celini uzevši, razne vrste i tipovi vojnih IC-uređaja razvili su se toliko (kako u pogledu širine primena tako i kvalitetom) da su ih sve moderne armije prihvatile kao neophodne. Danas se više ne može postavljati pitanje da li je celishodno, s obzirom na mane i vrline IC-tehnike, opremiti njome armiju. IC-uređaji aktivnog i pasivnog principa dejstva u rodovima i službama, namenjeni za razne borbene i predborbene zadatke, dobili su svoj udeo u voj-

noj tehnici i opremi i predstavljaju dalji korak u modernizaciji armije, tj. njenoj opremljenosti za noćna dejstva. Jasno je da su i taktička načela noćnih dejstava morala pretrpeti logične modifikacije.

IC-tehnikom se moraju opremiti naročito one armije čija doktrina predviđa široku primenu noćnih borbi na frontu i u pozadini neprijatelja, kao i za skrivanje, odnosno maskiranje različitih predborbenih i borbenih radnji u sopstvenoj pozadini.

Danas su IC-uređaji i sistemi, u nizu slučajeva, postali nezamenljivi, a zahtevi za njihovim daljim razvojem i usavršavanjem su imperativni, bez obzira na materijalne troškove razvoja, proizvodnje i održavanja. Borbena obuka celokupnog sastava armije je važna komponenta bojeve gotovosti i implikacije IC-tehnike su ušle u borbena pravila i obuku većine armija.

Za relativno spori razvoj vojne IC-tehnike do nekoliko godina unazad, postojalo je više razloga, od kojih su najvažniji:

- relativno usko infracrveno talasno područje spektra za do sada pogodnu i racionalnije ostvarljivu tehničku primenu;

- velika zavisnost efikasnosti rada i primene IC-uređaja od atmosferskih, a delom i od terenskih prilika;

- raniji brzi razvoj tehničke primene kratkotalasnog i ultrakratkotalasnog područja spektra elektromagnetnih talasa (u oblasti veza naročito);

- relativno kasni pronalazak pogodnih tehničkih sistema za direktno vizuelno uočavanje slike objekta, pomoću IC-zraka;

- neraspologanje pouzdanim i potrebnim podacima o prostiranju IC-zraka određenih talasnih dužina kroz atmosferu, pod uslovima koji se neprekidno menjaju, itd.

Savremeni razvoj vojne IC-tehnike, u dobroj meri, diktiran je, pored ostalih, i sledećim razlozima:

- radio-tehničko područje spektra elektromagnetnih talasa je već prilično zasićeno, pa i veoma preopterećeno;

- potreba da se dobiju što detaljniji i tačniji vizuelni podaci (slika) o cilju, naročito noću i pri ograničenoj vidljivosti;

— nužnost da se dobije i svestranije ispita, donekadavno, malo poznato područje elektromagnetnih IC-talasa radi maksimalnog korišćenja svojstava ovog talasnog područja spektra;

— okolnost da svako prirodno i veštačko telo, odnosno da svaka materijalna sredina, čija je temperatura površine veća od temperature Kelvinove nule ($0^{\circ}\text{K} = -2736,1^{\circ}\text{C}$), zrači IC-zrake određenih talasnih dužina, a što se veoma često može praktično iskoristiti u različite svrhe;

— otkriće više »prozora« visoke atmosfere propustljivosti IC-zraka određenih talasnih dužina elektromagnetnog spektra;

— sve veći obim i značaj noćnih dejstava jedinica, posebno partizanskih, pri čemu IC-uređaji, znalački upotrebljeni, mogu dati dosad neviđene pozitivne rezultate;

— brz razvoj vojnih raketa, potreba za povećanjem verovatnoće pogađanja cilja i neophodnost blagovremenog otkrivanja protivničkih raketa u letu [na bazi njihovog toplotnog (IC) zračenja], radi presretanja i uništavanja pre dolaska u rejon cilja;

— brz razvoj tehnike poluprovodnika i radio-fotoelektronike, što sve omogućava primenu sitnogabaritnih elemenata i sklopova kod raznih IC-sistema i uređaja, itd.

Uopšte uzev, može se reći da istraživanja i tehnička primena infracrvenog talasnog područja spektra predstavljaju, u stvari, popunjavanje jedne praznine u primeni ovog talasnog dijapazona, i to između područja vidljivog dela spektra i područja spektra mikroradiotalasa.

Treba istaći i to da se istraživanja IC-zračenja ni izdaleka ne ograničavaju samo na njihovu vojnu primenu. To je upravo samo jedno od širokih polja istraživanja i praktičnog iskorišćavanja osobina IC-zračenja. Biologija, hemija, medicina, saobraćaj, tehnika grejanja, industrija, IC-fotografija, razni sistemi veza, spektroskopija, kriminalistika, geodezija, itd., oblasti su sve šire i uspešnije primene IC-zračenja. IC-optika pruža neviđene mogućnosti raznovrsne tehničke, naučne i svestrane praktične primene.

PROSTIRANJE IC-ZRAKA KROZ ATMOSFERU

Mogućnost otkrivanja, uočavanja i osmatranja nadzemnih objekata pomoću uređaja na bazi IC-zračenja veoma mnogo zavisi od optičkih svojstava nižih (prizemnih) slojeva atmosfere, tj. od apsorpcije IC-zraka pri prostiranju kroz atmosferu i njihove difuzije u njoj. Kao što je poznato, atmosfera je Zemljin gasoviti omotač, koji se sastoji iz: vazduha, vode, odnosno njenih sastavnih komponenata, raspršenih čestica organskog i neorganskog porekla i različitih gasova. Suv atmosferski vazduh se sastoji iz smeše: azota 78,08%, kiseonika 20,95%, argona 0,93% i neznatne količine drugih gasova (oko 0,04%). Sadržina vodene pare, ugljeničnih gasova, dima, prašine, bakterija i drugih primesa, menja se, zavisno od okolnih i mesnih uslova. U nižim slojevima atmosfere veličina raspršenih čestica se kreće od $5 \cdot 10^{-6}$ do $5 \cdot 10^{-3}$ cm. Krupnije čestice se retko sreću u atmosferi, jer se pod uticajem sopstvene težine brzo talože na površini zemlje. Skupljanje u vazduhu čestica vlage, prečnika do 0,5 μ , dovodi do obrazovanja sumaglice poznate pod imenom »smog«, dok krupnije čestice vodene pare obrazuju maglu.

Vazduh nikada nije apsolutno čist, već u njemu uvek ima čestica čvrstih i tečnih materija, koje smanjuju prozračnost atmosfere, tj. snižavaju joj propustljivost za IC-zrake. Glavni uzrok »zamućivanja« atmosfere je zgušnjavanje vodene pare. Dok vodena para zadržava svojstva gasa (prečnik molekula vodene pare je 10^{-4} μ), ona malo utiče na prozračnost atmosfere. Ali kad se pretvore u maglu i što su veće vodene kapljice u jedinici zapremine

vazduha, time je manja prozračnost atmosfere. Male i relativno lake kapljice vodene pare mogu dugo lebdeti u vazduhu. Pri još većem zgušnjavanju vodenih kapljica stvaraju se krupnije vodene kapi, koje se, pod sopstvenom težinom, spuštaju prema površini zemlje. Tako nastaje kišna rosa pri kojoj se vazduh polako zasićuje lakom vodenom »prašinom«. Što su ove kapljice krupnije, to brže silaze prema površini zemlje. Inje i sneg jako smanjuju propustljivost atmosfere za IC-zrake. Isto tako »mute« atmosferu i različite čvrste čestice u atmosferi (dim, sitan pesak, prašina) i mikroorganizmi.

Što je put zraka kroz atmosferu duži i što je ona nečistija, to je veće apsorbovanje i rasipanje zračne energije. Da bi se odredilo slabljenje zračne energije pri njenom prostiranju kroz atmosferu, mora se koristiti tzv. koeficijent prozračnosti atmosfere (vazduha). On pokazuje koliki je deo zračnog fluksa prošao kroz sloj vazduha debljine 1 km, tj.

$$\delta = \frac{\Phi_1}{\Phi_0}, \text{ gde su:}$$

δ koeficijent prozračnosti; Φ_1 količina zraka koja je prošla kroz sloj vazduha, debljine 1 km Φ_0 količina zraka koja je ušla u taj sloj vazduha.

Prozračnost atmosfere praktično ne zavisi od stanja neba (vedro, promenljiva oblačnost, potpuna oblačnost). Koeficijent prozračnosti atmosfere ima vrednost od 0,8 do 0,9.

Prozračnost atmosfere se menja, zavisno od godišnjeg doba; najveća je leti a najmanja u jesen.

Prilikom prostiranja IC-zraka kroz atmosferu, veoma mali deo zračne IC-energije se pretvara u druge oblike energije — najviše u toplotnu, što dovodi do zagrevanja vazduha. Drugi deo zračne IC-energije se raspršava nialaskom na čestice magle, prašine ili molekulske agregate vazduha. IC-zračnu energiju, pri prostiranju kroz atmosferu, najviše slabe one čestice čiji je prečnik jednak ili blizak talasnoj dužini datog IC-zraka. Što je veća talasna dužina IC-zraka, u poređenju s prečnikom čestica u atmo-

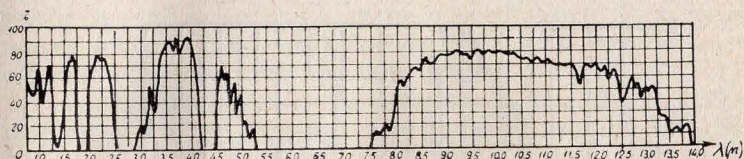
Tabela koeficijenta prozračnosti
atmosfere pri različitim uslovima

Stanje atmosfere	Koeficijent prozračnosti	Daljina vidljivosti [km]
Apsolutno čist vazduh	0,99	300
Osobito visoka prozračnost	0,97	150
Vrlo prozračan vazduh	0,96	100
Dobra prozračnost	0,92	50
Srednja prozračnost	0,81	20
Nešto mutan vazduh	0,66	10
Mutan vazduh	0,36	4
Vrlo mutan vazduh	0,12	2
Laka magla	0,015	1
Magla	$2 \cdot 10^{-4} - 8 \cdot 10^{-10}$	0,5 — 0,2
Gusta magla	$10^{-19} - 10^{-34}$	0,1 — 0,05

sferi, to je manje njihovo rasipanje i slabljenje. IC-zraci većih talasnih dužina bolje »optiču« takve čestice. Stoga se IC-zraci, čija je talasna dužina veća od talasnih dužina vidljivih zraka, bolje prostiru u atmosferi, jer u značajnoj meri prolaze kroz dim i »suvu« maglu (čestice manje od 1 μ). Međutim, za kratkotalasne IC-zrake gusta magla i magla čije su vodene kapljice prečnika iznad 3 μ , praktično su neprozračne.

Pod apsorbovanjem se podrazumeva proces prelaska zračne energije u toplotu. Apсорbovanje IC-zraka i vidljivih zraka u atmosferi je različito. U nekim slučajevima atmosfera može biti prozračna za IC-zrake, a potpuno neprozračna za vidljive zrake. Energiju IC-zraka najviše apsorbuje vodena para, a delimično azot, ugljen-dioksid i ozon. Prozračnost atmosfere za IC-zrake u velikoj meri zavisi od postojanja vodene pare u njoj. Apсорbovanje IC-zraka od strane vodene pare i gasova ima selektivan karakter, što znači da će se IC-zraci različitih talasnih dužina apsorbovati u različitim stepenima. Maksimumi apsorpcije vodene pare se nalaze na talasnim dužinama: 0,94, 1,13, 1,47, 1,89 i 2,51—3,1 μ . Talasna dužina 3,2—4,8 μ je

oblast prozračnosti, a 4,8—7,7 μ jakog apsorbovanja. Zatim ponovo dolazi oblast prozračnosti do 11 μ . Od 17 μ apsorbovanje u vodenoj pari raste, dok je za dugotalasne IC-zrake vodena para praktično neprozračna.



ZONE PROPUSTANJA ATMOSFERE U OBLASTI OD 0,61—14 μ

Sl. 11 — Dijagram zona propustljivosti atmosfere za talasne dužine od 0,61 do 14 μ .

Ugljen-dioksid veoma jako apsorbuje zrake talasnih dužina: 2,7, 4,27 i 12—16 μ . Za kratkotalasne IC-zrake ugljen-dioksid je dosta prozračan, pa se u proračunima može i zanemariti.

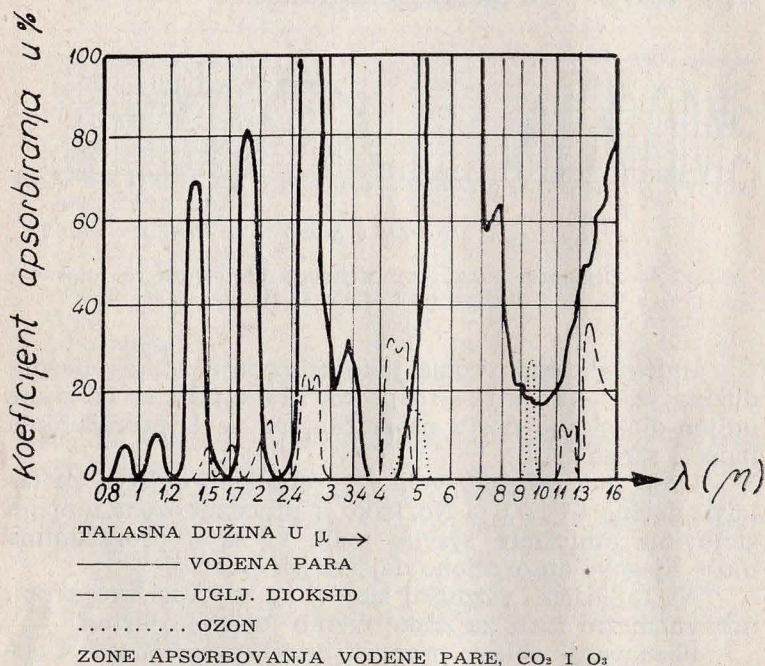
Ozon ima posebno veliko apsorpciono dejstvo za talasne dužine 4,7 i 9,6 μ . No, kako je procenat ozona u nižim slojevima atmosfere sasvim mali, to se u proračunima može njegovo apsorpciono dejstvo zanemariti.

Na taj način, vazdušni slojevi su u stvari svojevrsni neravnomerni filtri za zrake raznih talasnih dužina.

Poznavanje oblasti propustljivosti (prozračnosti) i apsorpcije IC-zraka je vrlo važno prilikom izbora izvora IC-zraka i prijemnika IC-zračenja za različite IC-uređaje, kao i pri određivanju dometa efikasnog dejstva pojedinih IC-uređaja.

Raspršivanje IC-zraka pri njihovom prostiranju kroz atmosferu je veoma složena pojava. Odbivši se od jedne čestice zrak može naići na drugu i odbiti se i drugi put, itd. Tačan proračun uzastopnih odbijanja IC-zraka je veoma težak matematički problem. Raspršivanje zračne energije u nekoj sredini je posledica njene optičke nehomogenosti. One sredine koje su strogo jednorodne (homogene) po sastavu i gustini ne raspršuju zračnu energiju. Ako sasvim čist vazduh raspršuje zračnu energiju, onda je to

isključivo posledica toga što se neregularno menja gustina molekula vazduha u vrlo malim zapreminama, zbog haotičnog kretanja molekula.



Sl. 12 — Dijagram oblasti apsorpcije IC-zraka u atmosferi od vodene pare, ugljen-dioksida i ozona

Važno je uočiti da je uzrok raspršivanja zračne energije upravo narušavanje homogenosti sredine kroz koju se zračna energija prostire. Odbijanje i prelamanje zraka nastaje uvek kada se ovi prostiru kroz nehomogenu sredinu (po sastavu i gustini), što dovodi i do sasvim promenjenog uzajamnog dejstva delova zračne energije. U nehomogenoj sredini uzajamno dejstvo različitih talasa postaje »neorganizovano« u odnosu na njihovo »organizovano« dejstvo u homogenoj sredini prostiranja. Ako je optička nehomo-

genost sredine (po sastavu ili gustini) velika, onda raspršivanje može biti toliko jako da zraci skoro uopšte ne prolaze kroz tu sredinu, tj. zračna energija skoro u celini biva raspršena. Takva sredina je neprozračna za zrake koji su u nju ušli. Stoga se sredine s jasno izraženom optičkom nehomogenošću nazivaju mutnim sredinama. Takvim se mogu smatrati one vazdušne sredine koje sadrže iznad određene granice: dim, prašinu, maglu, itd.

Vazduh koji se u svakodnevnom životu naziva čistim raspršuje zračnu energiju. Sovjetski akademik Mandelštam je pokazao da su centri raspršivanja u vazduhu delići vazduha s povremenim povećavanjem ili smanjivanjem gustine molekula. Promena gustine molekula u datom deliću sredine izaziva promenu njenog indeksa prelamanja. Otuda izlazi da čak i u čistom suvom vazduhu može doći do raspršivanja IC-zraka. Raspršivanje zračne energije u čistom vazduhu, izazvano promenom gustine molekula u njemu, naziva se molekularnim raspršivanjem. Kako je pokazao Relej (Rayleigh), veličina molekularnog raspršivanja zavisi od talasne dužine zračenja. Ta zavisnost se može izraziti sledećom formulom:

$$\delta = \frac{K}{\lambda^4}, \text{ gde su:}$$

σ — koeficijent rasipanja (raspršivanja); K — konstanta;
 λ — talasna dužina zračenja.

Iz jednačine se vidi da sa opadanjem talasne dužine zračenja raste raspršivanje zračne energije, a takođe da je i molekularno raspršivanje IC-zraka manje no kod vidljivih zraka.

Jednačinom je, na primer, moguće proračunati da je za ljubičaste zrake $\lambda = 0,4 \mu$ raspršivanje pet puta veće nego za vidljive zrake talasne dužine $\lambda = 0,6 \mu$, a 16 puta veće od raspršivanja IC-zraka talasne dužine $\lambda = 1 \mu$. Ovi prosti proračuni su potvrđeni i praktičnim ispitivanjima.

Dakle, vidi se da stepen raspršivanja zračne energije, pri prostiranju kroz vazdušni prostor, zavisi od talasne dužine zračenja. No, ovo pravilo važi za slučaj relativno čistog vazduha, tj. kada prečnici čestica, koje izazivaju ras-

pršivanje, nisu mnogo manji od talasne dužine datog zračenja. Međutim, kada su prečnici čestica jednaki ili skoro jednaki talasnoj dužini zračenja, onda je karakter raspodele raspršivanja po spektru zračenja mnogo složeniji, a preimućstva IC-zraka (u pogledu prostiranja) nad vidljivim zracima se smanjuju. Naročito jako se menja karakter raspršivanja zračenja u magli. Prečnici kapljica magle kreću se od 0,5 do 60 μ , a najčešće od 2 do 5 μ . Kapljice magle prečnika većeg od 60 μ prelaze u kišne kapi i relativno brzo padaju na zemlju. Merenjem prozračnosti prirodnih magli Bokin, Černjajev i drugi su pokazali da u oblasti spektra od 0,3 do 3 μ prozračnost magle vrlo malo raste s porastom talasne dužine zračenja. U stvari, karakter i intenzitet raspršivanja zavise ne od apsolutne veličine prečnika čestica (r) i talasne dužine zračenja (λ), već od njihovog odnosa, tj. od veličine α pri čemu je:

$$\alpha = \frac{2\pi r}{\lambda}$$

Maksimalno raspršivanje nastaje kada je talasna dužina jednaka prečniku čestica koje izazivaju raspršivanje. Na rasprostiranje IC-zraka u atmosferi najveći uticaj ispoljavaju dimenzije kapljica magle. Na taj način pri magli treba očekivati dobar prolaz kratkotalasnih IC-zraka, zato što većina kapljica ima prečnik 3—5 μ . Kada je minimalni prečnik kišnih kapi približno oko 60 μ , IC-zraci slabo prolaze kroz atmosferu — kao i vidljivi zraci. Zato je tada potrebno povećati talasnu dužinu IC-zračenja, a što pretpostavlja znatne tehničke teškoće.

Proučavanje prostiranja IC-zraka kroz atmosferu doводи do sledećih zaključaka:

— raspršivanje IC-zraka je znatno manje no kod vidljivih zraka ako prečnici čestica ne prelaze 0,5 μ ,

— dugotalasni IC-zraci se raspršavaju manje od vidljivih zraka, čak pri prečniku čestica do 2 μ . U blizini zemljine površine, uslovi prostiranja IC-zraka su bolji nego za vidljive zrake. Poznavanje stepena slabljenja IC-zraka pri njihovom prostiranju kroz atmosferu omogućava ocenu daljine dejstva IC-uređaja (njihovog efikasnog dometa).

NEKOLIKO NAPOMENA O VIDLJIVOSTI I OSMATRANJU NOĆU

Noćna dejstva, zbog prednosti koje pružaju u odnosu na dnevna, dobijaju sve veći značaj. Kako su uslovi vidljivosti i mogućnosti osmatranja, u skoro svakom borbenom dejstvu, od bitnog uticaja na njegov tok i rezultat, to je neophodno zadržati se na ovim pitanjima. Razvoj vojne tehnike dao je nove i veoma široke mogućnosti noćnim dejstvima svih rodova i službi. Zato se danas relativno veliki broj vojnotehničkih i drugih razvojno-istraživačkih institucija, u razvijenim zemljama, intenzivno bavi problematikom opreme armije modernim tehničkim sredstvima namenjenim noćnim dejstvima. Tu najpre spadaju raznovrsni i mnogobrojni IC-uređaji, aktivnog ili pasivnog principa dejstva, namenjeni za detekciju, izviđanje i osmatranje, nišanje, fotografisanje, telekomunikacije, vođenje i samonavođenje, itd. i to prvenstveno za noćna dejstva, dok se neka mogu koristiti i danju.

Među najvažnije borbene radnje spadaju izviđanje i osmatranje koji su noću otežani.

Čovekovo oko noću daleko teže i slabije zapaža razlike u sjaju predmeta nego danju. Tako, na primer, oko može danju da uoči predmet čiji se sjaj razlikuje od sjaja pozadine (fona) za 5—10%, dok je za uočavanje toga predmeta noću, na istoj pozadini, potrebna razlika u sjaju najmanje 20—50%. Noću jako opada tzv. oštrina vida. Tanke linije, male mrlje i pege, uski međuprostori između dva predmeta, postaju neuočljivi — oko nije u stanju da ih »razloži«, kako se to kaže, čak i pri relativno velikim kontrastima. Ako se približno uzme da je u toku dana

oštrina čovekovog oka takva da može u uglovnim jedinicama da razloži 1 minut, onda moć razlaganja oka pri slaboj mesečini pada za oko 4 puta, tj. ona je oko 4 minuta, u noćima bez mesečine 10—30, a u tamnoj noći čak i 60 minuta. Noću oko ne razlikuje boje, već sve predmete vidi u sivim tonovima različitog sjaja, slično crno-beloj fotografiji.

I bez primene specijalnih IC-uređaja, noću je, ako je zemljište osvetljeno, na primer prirodnim svetlosnim izvorima (mesec, zvezde, atmosfera itd.), moguće, donekle, poboljšati uslove vidljivosti i osmatranja, primenom optičkih instrumenata i uređaja velikog povećanja, velike svetlosne jačine i optike velike transparentcije. Veliko povećanje je potrebno radi podizanja moći razlaganja. Optika sa većom transparentcijom vidljivih svetlosnih zraka smanjuje gubitke koji potiču od refleksije i apsorpcije zraka unutar samog optičkog sistema, a svetlosno jači objekti takođe pospešuju uslove vidljivosti, u odnosu na golo oko ili objektivne manje svetlosne jačine. Međutim, i za optičke instrumente, koji poseduju navedene karakteristike, potreban je izvestan minimum osvetljaja, da bi im se povećala vidljivost pri noćnom osmatranju, a taj minimum iznosi 0,01 lx*) (jutarnji ili večernji sumrak). Pri osvetljaju od 0,01 lx, klasični optički instrumenti praktično ne daju nikakvo značajnije poboljšanje vidljivosti, u odnosu na vidljivost golim okom.

*Približne vrednosti osvetljenja na horizontalnoj površini
Zemlje u toku noći*

Noćni uslovi	Osvetljaj u [lx]
— Pun mesec, nebo vedro i svetlo	0,2
— Pun mesec, laka oblačnost	0,07 — 0,15
— Pun mesec, gusta oblačnost	0,02 — 0,08
— Noć bez mesečine, svetlo zvezdano nebo	0,001 — 0,003
— Noć bez mesečine, gusti oblaci	0,0002 — 0,0003

*) Luks (lx) jedinica za merenje osvetljaja.

Iz tabele, a na osnovu izloženog, vidi se kada ima a kada nema smisla nastojati da se klasičnim optičkim instrumentima poboljšaju uslovi vidljivosti i osmatranja noću.

Radi povećanja vidljivosti noću, a da se pri tome izbegne upotreba veštačke vidljive svetlosti, tehnički postoje dve mogućnosti. Obe se zasnivaju na primeni elektromagnetnih talasa iz domena golim okom nevidljivog dela spektra, talasnih dužina zračenja manjih ili većih od talasnih dužina vidljivog dela spektra. Prva mogućnost je zasnovana na korišćenju ultraljubičastih zraka a druga na korišćenju IC-zraka. I u prvom i u drugom slučaju je nužno pretvaranje nevidljive slike u vidljivu.

Oblast ultraljubičastih zraka obuhvata područje elektromagnetnog spektra talasnih dužina 50—4.000 angstrema. Pretvaranje ultraljubičaste slike, nevidljive za čovekovo oko, u vidljivu je relativno prosto, jer je kvant energije ultraljubičastog zraka dovoljan da izazove fluorescenciju ekrana. Stoga uređaj koji radi na bazi ultraljubičastih zraka može da bude sasvim jednostavan i da se njegov prijemnik sastoji samo iz: objektiva, fluorescentnog ekrana i okulara. Ovakav instrument funkcioniše na sledećem principu: zemljišni predeo, odnosno objekt osmatranja, ozračuje se (»osvetljava«) pomoću specijalnog reflektora, snopom ultraljubičastih zraka. »Osvetljeni« objekt delimično apsorbuje a delimično reflektuje ultraljubičaste zrake koji padaju na njega. Jedan deo reflektovanih ultraljubičastih zraka pada na objektiv prijemnika, pomoću kojeg se ti zraci usmeravaju i koncentrišu na fluorescentni ekran, na kojem se usled fluorescencije, izazivane upadnim ultraljubičastim zracima, stvara vidljiva slika objekta, posmatranog kroz okular prijemnika.

No, praktična primena ultraljubičastih zraka za osmatranje u mraku nije još zadovoljavajuće ostvarena, uglavnom zbog nepostojanja pogodnih i ekonomičnih izvora dugotalasnih ultraljubičastih zraka. Pored toga, daljina do koje je moguće vršiti osmatranje pomoću ovakvog uređaja je relativno mala, prvenstveno zato što ultraljubičaste zrake veoma jako apsorbuje i rasipa atmosfera.

TENDENCIJE RAZVOJA I UOBIČAJENE PODELE VOJNIH IC-UREĐAJA

Podela IC-zraka na kratkotalasne (0,76—2,5 μ), srednjetalasne (2,5—25 μ) i dugotalasne (25—750 μ), sreće se najčešće (iako se u literaturi može naići i na druge). Ona nije ni slučajna ni sasvim proizvoljna, mada je uslovna, a ima opravdanja s obzirom na praktičnu primenu IC-zraka, prvenstveno u vojnoj tehnici. Naime, dok je vojna IC-tehnika, na bazi kratkotalasnih pa i srednjetalasnih IC-zraka, već postigla relativno visok stepen razvoja, dotle dugotalasni IC-zraci nemaju još nikakvu praktičnu tehničku primenu. Glavne teškoće pri tome se javljaju oko realizovanja odgovarajućih prijemnika dugotalasnih IC-zraka. Prema do sada postignutim praktičnim rezultatima može se zaključiti da najveće perspektive imaju srednjetaladni IC-zraci, a naročito od 3 do 5 μ . Ovo je logična posledica okolnosti da mnogi važni vojni objekti intenzivno zrače IC-zrake tih talasnih dužina i što okolina i pozadina takvih objekata mogu izazivati mnogo manje smetnje baš u tom talasnom području. U vezi s tim, na primer pre 4—5 godina, na području vojne IC-tehnike u SAD su bili postavljeni sledeći perspektivni zadaci:

— istraživanje i razvoj prijemnika IC-zračenja za talasno područje 9—14 μ , s inercijom reda nekoliko mikrosekundi i za rad prijemnika na normalnoj temperaturi (bez specijalnog hlađenja); ovi prijemnici treba da budu osetljiviji od postojećih;

— istraživanje i razvoj prijemnika i prijemnih uređaja posebno osetljivih na tačno određene uske oblasti ta-

lasnih dužina zračenja, tj. razvoj selektivnih IC-prijemnika;

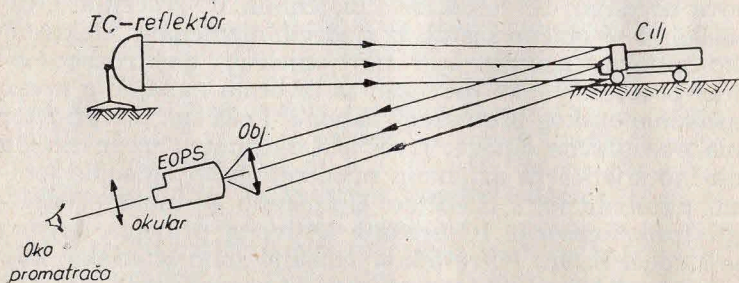
— studija i razvoj visokoosetljivih IC-uređaja za pretvaranje IC-slike u okom vidljivu sliku, za rad na talasnim dužinama od oko 14μ i s malom inercijom.

Ovako formulisani perspektivni zadaci od pre nekoliko godina, rečito govore o tendencijama u daljem razvoju vojne IC-tehnike u SAD.

Takođe je usvojena podela IC-uređaja na aktivne i pasivne. Pored ove dve glavne grupe postoje i tzv. poluaktivni IC-sistemi.

Kao aktivan smatra se onaj IC-uređaj, koji u svom kompletu, pored IC-prijemnika, ima i sopstveni izvor IC-zračenja, najčešće IC-reflektor snabdeven tzv. IC-filterom, čiji je zadatak da propusti IC-zrake određenih talasnih dužina, a spreči prolazak zraka vidljivog dela spektra. Prema tome, IC-uređaj aktivnog principa dejstva ima u svom kompletu ove glavne sklopove: izvor električne energije za napajanje strujom čitavog uređaja (tu dolazi i mreža kablova za međusobno povezivanje pojedinih sklopova uređaja), IC-reflektor i prijemnik IC-zračenja. Ovaj poslednji se obično sastoji iz sledećih elemenata: elektronsko-optičkog sistema koji čine objektiv, elektronsko-optički pretvarač slike (povezan sa izvorom napajanja preko visokonaponskog pretvarača napona) i okular. IC-reflektor ima ove glavne delove: izvor IC-zračenja u užem smislu (obično sijalica sa usijanom niti), refleksno ogledalo (obično parabolično) i IC-filter. Uprošćeno se može predstaviti funkcionisanje IC-uređaja aktivnog principa dejstva na sledeći način: IC-reflektor odašilje snop IC-zraka, koji — posle slabljenja usled apsorpcije i raspršivanja, na putu kroz atmosferu — pada na objekt osmatranja; posle refleksije od objekta, deo IC-zračnog snopa ulazi kroz ulazni otvor objektiva prijemnika, a zatim objektiv fokusira upadne IC-zrake na fotokatodu elektronsko-optičkog pretvarača slike na kojoj se formira tzv. IC-slika posmatranog objekta; fotoni zračnog IC-snopa sa unutrašnje strane fotokatore izbijaju elektrone sa onog dela njene površine, na koju su dospeli upadni IC-zraci, posle njihovog prolaska kroz objektiv prijemnika. Slika i intenzitet izbijenih

elektrona odgovaraju IC-slici formiranoj na fotokatodi, posle prolaska upadnih IC-zraka kroz objektiv sistema. Izbijeni elektroni sistemom elektronskih sočiva, u elektrostatskom polju, usmeravaju se i ubrzavaju, dobijajući tako veliku kinetičku energiju, koja se, udarima usmerenih i fokusiranih elektrona na fluorescentni ekran, pretvara u fluorescentnu, vidljivu sliku na ekranu elektronsko-optičkog pretvarača slika, a koja po svojoj verodostojnosti odgovara IC-slici na fotokatodi; kroz okular prijemnika se sada može golim okom gledati slika posmatranog objekta. Pretvarač visokog napona ima zadatak da, posredstvom sistema elektronskih sočiva u elektronsko-optičkom pretvaraču slike, stvori elektrostatičko polje u kome se iz fotokatode izbijeni elektroni ubrzavaju do potrebne mere, dobijajući na taj način određenu kinetičku energiju i istovremeno fokusiraju na fluorescentni ekran. Dakle, uprošćeno rečeno: najpre se IC-slika posmatranog objekta formira na fotokatodi elektronsko-optičkog pretvarača slike, a zatim se transformiše u vidljivu sliku na fluorescentnom ekranu.



Sl. 13 — Princip funkcionisanja IC-uređaja aktivnog principa dejstva

Drugu grupu čine tzv. IC-uređaji pasivnog principa dejstva. Oni nemaju sopstveni izvor IC-zračenja, već njihovi prijemnici reaguju na IC-zrake koje odašilje sam cilj (objekt) osmatranja ili se rad nekih od ovih uređaja zasniva na korišćenju IC-zračenja nebeskih tela i atmosfere. Kod nekih pasivnih IC-uređaja postoje i elektronsko-op-

tički pretvarači slike, obično sa više stepeni pojačanja. Takvi prijemnici daju sliku posmatranog objekta.

Međutim, većina pasivnih uređaja, kod kojih kao prijemnik zračenja služe fotonaponski elementi, koji — preko sistema višestrukog pojačanja i nakon pretvaranja IC-zračenja u električni napon — daju signal određene vrste, zavisno od konstruktivnog rešenja prijemnika: svetlosni, zvučni, naponski, itd.

IC-uređaji pasivnog principa dejstva našli su veoma široku primenu u armiji i dobijaju sve dominantniju ulogu nad aktivnim IC-uređajima, prvenstveno radi maskiranja.

Već nekoliko godina se aktivno radi na tzv. fototer-mojonskim pretvaračima slike, čija je maksimalna spek-tralna osetljivost u domenu srednjetalasnih IC-zraka.

Poluaktivni IC-sistemi nisu doživeli širu primenu.

OPTIČKI MATERIJALI ZA IC-SISTEME

Dok se kod radara, radio-otpremnik, radio-prijemnik, itd., upotrebljavaju antene, dotle se kod aktivnih IC-uređaja u iste svrhe primenjuju optički sistemi, napravljeni od materijala koji propuštaju IC-zrake određenih talasnih dužina. Komponente optičkog sistema nekog IC-uređaja su obično: sočiva raznih vrsta i tipova, prizme, ogledala, filtri, itd., čiji materijal ima selektivna svojstva. Tako, na primer, sočiva napravljena od kvarcnog stakla ili kvarcnih kristala, propuštaju IC-zrake talasnih dužina do oko $2,7 \mu$, dok neke vrste stakla propuštaju IC-zrake $3,5-5 \mu$. Obično optičko staklo propušta IC-zrake do nešto iznad 2μ . U materijale koji dobro propuštaju IC-zrake talasnih dužina do oko 15 mikrona spadaju: KCl (kalijum-hlorid), NaCl (natrijum-hlorid) i KBr (kalijum-bromid). Međutim, kako se ove materije rastvaraju u vodi, to se od njih napravljena sočiva moraju zaštititi od vlage. S druge strane, optički materijali kao što su: LiF (litijum-fluorid), MgO (magnezijum-oksidi), CaF₂ (kalcijum-fluorid), veštački safir i kvarcno staklo, postojani su i otporni materijali, pa se iz njih mogu praviti optička sočiva i razna ogledala. Ovakvi optički materijali prave se i od sintetičkih kristala. Površine ravnih, sferičnih i asferičnih ogledala za infracrvene optičke sisteme, posle finalne obrade, prekrivaju se tankim slojem materijala koji dobro reflektuje IC-zrake određenih talasnih dužina. Za ovakve, refleksne slojeve najčešće se upotrebljavaju: zlato, srebro, aluminijum, bakar i rodijum.

Za talasne dužine veće od 4 μ , koeficijent refleksije tankih prevlaka može se odrediti iz obrasca:

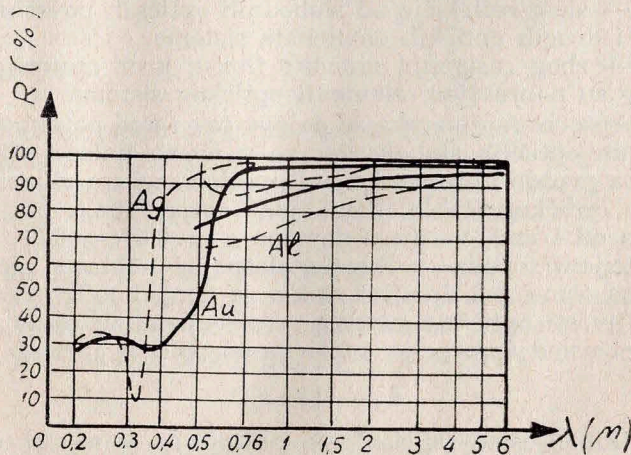
$$\sigma = I - 0,365 \cdot \sqrt{\frac{r}{\lambda}}, \text{ gde je: } r \text{ — specifičan otpor me-}$$

tala [$\text{om/mm}^3/\text{m}$], a λ — talasna dužina IC-zraka [μ]

Opiti su pokazali da su najbolji refleksni slojevi od zlata (u pogledu stepena refleksije), kada su u pitanju kratkotalasni IC-zraci i kada je potrebno smanjiti refleksiju zraka vidljivog dela spektra.

Srebro ima koeficijent refleksije $R = 99\%$, za sveže urađen refleksni sloj. Vremenom, zbog oksidacije, koeficijent refleksije jako opada. Pored toga, zbog slabih adhezionih veza između staklene podloge i srebra, fizička otpornost ovakvog sloja je mala. Legura aluminijuma (69%) i magnezijuma (31%) fizički je otpornija od srebra, a koeficijent refleksije joj dostiže 92%.

Refleksni slojevi od zlata, odnosno platine, za infracrveni deo spektra, imaju veoma visoke koeficijente refleksije, kao i srebro, a po hemijskim i fizičkim osobinama ih prevazilaze samo refleksni slojevi iz rodijuma.



Sl. 14 — Spektralni koeficijent refleksije za nekoliko vrsta refleksnih slojeva

Aluminijum ima visok koeficijent refleksije u čitavom dijapazonu elektromagnetnih talasa sve do dugotalasnih IC-zraka. Refleksni sloj aluminijuma se čvrsto povezuje sa staklenom podlogom, a na svojoj površini stvara zaštitni oksidni sloj, što ga sve čini mehanički otpornim (sloj se može prati vodom i sapunom) i postojanim na vazduhu. Debljina refleksnog sloja ide do oko 100 angstrema, a za povećanje njegove otpornosti se nanosi zaštitni sloj od SiO (silicijum-oksidi).

Što je više sočiva u jednom optičkom sistemu nekog IC-uređaja, na primer u jednom objektivu, to su veći gubici IC-zraka na putu kroz taj optički sistem. Radi smanjenja ovih gubitaka, na površine optičkih elemenata, tj. na površine sočiva i prizama, nanose se antirefleksni slojevi. Vrsta antirefleksnog sloja zavisi od toga za koje područje talasnih dužina infracrvenog dela spektra je namenjen optički sistem.

Prilikom prolaženja fluksa nekog zračenja kroz optički sistem, dolazi do slabljenja zračnog fluksa, uglavnom iz sledećih razloga:

- zbog apsorpcije zračenja od strane materijala iz kojeg je napravljen taj sistem,
- zbog refleksije od slobodnih optičkih površina sočiva i drugih optičkih elemenata sistema,
- zbog rasipanja zračnog fluksa kroz materijal od kojeg su napravljeni elementi optičkog sistema.

Apsorbovanje zraka se dešava čak i kod potpuno prozračnih optičkih stakala, jer se u njima nalaze primese oksida gvožđa i hroma. Za vidljivi deo spektra, zavisno od vrste optičkog stakla, koeficijent apsorpcije α (na putu zraka od 1 cm), varira u domenu $\alpha = 0,01 - 0,03$. Ovaj koeficijent opada u kratkotalasnoj IC-oblasti spektra. Prema tome, pri debljini stakla m [cm], koeficijent propustljivosti optičkog sistema, ako se uzmu u obzir samo gubici usled apsorpcije, može se odrediti iz formule:

$$\delta_{\alpha} = (1 - \alpha)^m$$

Gubici usled refleksije se javljaju na svim slobodnim površinama sočiva i ogledala optičkog sistema. Oni zavise od indeksa prelamanja sredine u kojoj se prostire zračni

fluks, kao i od ugla upada zračnog fluksa na podeonu površinu dveju optičkih sredina. U slučaju refleksije zraka na podeonoj površini »vazduh-staklo« ili »staklo-vazduh«, pri upadnom uglu od 45° do 50° u odnosu na normalu te površine, koeficijent refleksije se može izračunati iz obrasca:

$$\rho = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2, \text{ gde je: } n - \text{ indeks prelamanja stakla}$$

sočiva.

Tabela indeksa prelamanja

Materijal	Indeks prelamanja n		
	$\lambda = 0,68 \mu$	$\lambda = 2,2 \mu$	$\lambda = 4,3 \mu$
Vazduh	1,000292	—	—
Organsko staklo	1,49	—	—
Kanada-balzam	1,54	—	—
Optičko staklo	1,5 — 1,92	1,5 — 1,7	—
Kvarcno staklo	1,43	1,43	1,37
Safir	1,77	1,73	1,68
KRS-6	2,63	2,2	2,19
Germanijum	4,13	4,08	4,02
Kalijum-bromid	1,55	1,54	1,53
Srebro-hlorid	2,071	2,01	2,00

Najviše upotrebljavani optički materijal za objektivne IC-uredaja, u kratkotalasnoj IC-oblasti spektra, jeste optičko staklo, čiji se indeks prelamanja, zavisno od vrste optičkog stakla, kreće od 1,5 do 1,92. Iz obrasca za koeficijent refleksije dobija se da ovaj koeficijent varira od 0,04 do 0,06 za jednu podeonu površinu »staklo-vazduh«.

U slučaju postojanja n refleksivnih površina, koeficijent propustljivosti (na primer objektivu, pri uzimanju u obzir samo gubitaka od refleksije) može se izračunati iz obrasca:

$$\delta_{\sigma} = (1-\rho)_n$$

Ako se uzmu u obzir gubici usled apsorpcije i refleksije u datom optičkom sistemu, na primer objektivu, onda se koeficijent propustljivosti može izračunati iz obrasca:

$$\delta = \delta_p \cdot \delta_\alpha = (1 - \rho)_n \cdot (1 - \alpha)^m$$

Gubici zračnog fluksa nastaju i zbog rasipanja zraka usled neizbežnih nedostataka materijala od koga je napravljen optički sistem: mehurići, končići, kamenčići i dr. Gubici usled ovakvih uzroka se povećavaju tokom eksploatacije optičkog instrumenta; tako zbog ogrebotina, mrlja i patine dolazi do zamagljiivanja optike, dok se čestice prašine i sitni metalni opiljci osipaju po optičkim površinama, a takođe dolazi i do odvajanja slepljenih sočiva, itd. Sve ovo dovodi do slabljenja propustljivosti optičkog sistema.

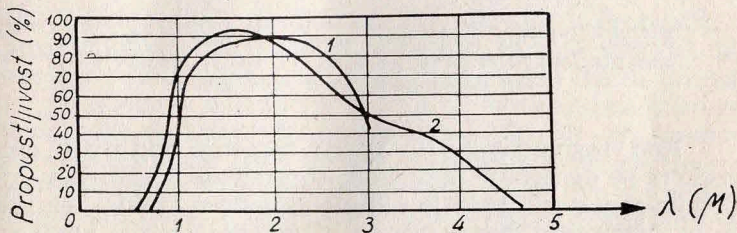
Gubici zračne energije, pri prostiranju zraka kroz optički instrument, mogu se značajno smanjiti na dva načina: smanjenjem broja refleksnih (slobodnih) površina i »prosvetljavanjem« optike. Kod prvog načina gubici usled refleksije se smanjuju smanjenjem broja slobodnih optičkih površina sistema, odnosno lepljenjem sočiva kanada-balzamom ili balzaminom, koji imaju indeks prelamanja veoma sličan indeksu prelamanja optičkog stakla. Pod »prosvetljavanjem« optičkog sistema podrazumevaju se mere za smanjenje koeficijenta refleksije na radnim površinama optičkih elemenata sistema. Ovo se postiže nanošenjem slojeva s indeksom prelamanja za \sqrt{n} puta manjim od indeksa prelamanja optičkog stakla. Ovakvi slojevi, smanjujući gubitke zračne energije, povećavaju efektivnu svetlosnu jačinu optičkog sistema, smanjuju intenzitet odsjaja optike pri osmatranju i ispoljavaju dejstvo suprotno štetnoj pojavi »oreola«.

Nanošenje »prosvetljavajućih« slojeva na optičke detalje postiže se hemijskim ili fizičkim putem. U prvom slučaju dolazi do promene strukture tankog površinskog sloja optičkog detalja, a u drugom se neparavanjem u vakuumu na površinu optičkog elementa nanosi sloj prozračne materije. U ovu svrhu se upotrebljava magnezijum-fluorid ili kalcijum-fluorid, čije se pare kondenzuju na hladnim površinama optičkih elemenata, obrazujući tako tanku površinsku prevlaku.

INFRACRVENI FILTRI

Infracrvenim filtrom naziva se takav optički element, pomoću kojeg se vrši izmena spektralnog sastava i intenziteta zračnog snopa i to tako da ovaj propušta tačno određeni dijapazon talasnih dužina IC-zraka, dok ostali deo zračenja apsorbuje, odnosno reflektuje. Uopšteno govoreći o optičkim filtrima, njihovo dejstvo može biti zasnovano na različitim optičkim pojavama: apsorbovanju, interferenciji, selektivnom reflektovanju, polarizaciji, itd.

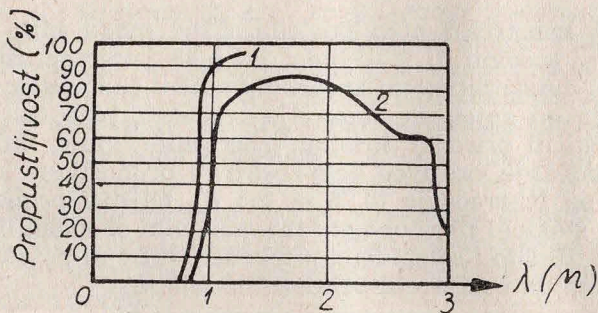
U konstruktivnom pogledu, filtri mogu biti: čvrsti, tečni ili gasoviti. U IC-tehnici, a i inače, najrasprostranjeniji su čvrsti filtri; oni apsorbuju zračni fluks masom materijala od kojeg su napravljeni (staklo, plastična masa, veštački ili prirodni kristali, specijalne folije, itd.). Za apsorbovanje vidljivog dela spektra i propuštanje kratkotalasnog IC-zračenja ($0,76 - 2,5 \mu$), najširu primenu su dobili stakleni filtri obojeni manganovim oksidom ili anti-mon-sulfidom i selenidom, a takođe i filtri sa površinskim folijama na bazi acetil-celuloze ili želatina.



Sl. 15 — Kriva spektralne propustljivosti infracrvenog stakla ICS-1 i manganovog IC-filtra. Propustljivost ICS-1, za $d = 2 \text{ mm}$ (1) i manganov IC-filter za $d = 2 \text{ mm}$ (2)

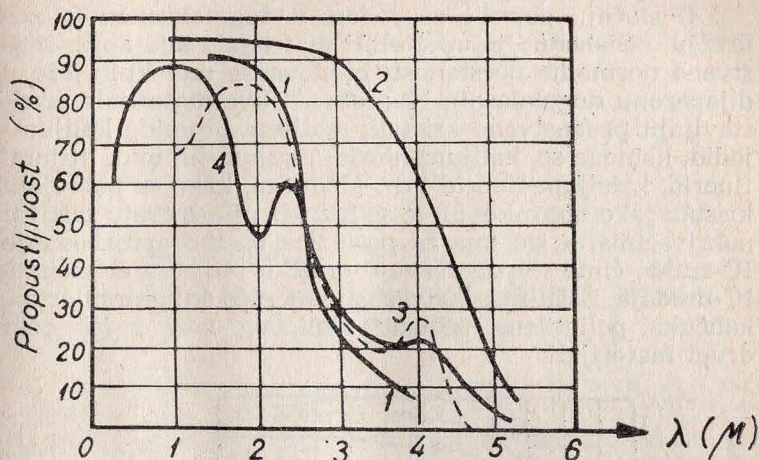
Od IC-filtera se zahteva maksimalna integralna propustljivost u IC-oblasti spektra, a minimalna u njegovom vidljivom delu. Osim toga, poželjno je da početni deo krive propustljivosti bude što strmiji, kako bi vidljivi deo spektra bio što oštrije »odsečen« i eliminisan. U tom pogledu su bolji IC-filtri sa folijama, ali su stakleni dugotrajniji i otporniji na temperaturu i vlagu, a tehnološki pogodniji za proizvodnju.

Radi filtriranja vidljivog dela spektra, s uspehom se mogu primenjivati želatinsko-stakleni filtri, koji, u stvari, predstavljaju sloj obojenog želatina, smeštenog između dve staklene ploče. Takvi IC-filtri imaju strm početni deo spektralne krive propustljivosti, a u IC-području spektra raspolažu visokim procentom propustljivosti. Međutim, ovakvi IC-filtri su osetljivi na temperaturne promene i nedovoljno postojani na vlagu, jer su sastavljeni iz tri međusobno slepljena elementa.



Sl. 16 — Kriva spektralne propustljivosti za želatinsko-stakleni filter firme »Kodak« (1) i GOI № 2128/6680 (2); debljina filtra $d = 4 \text{ mm}$

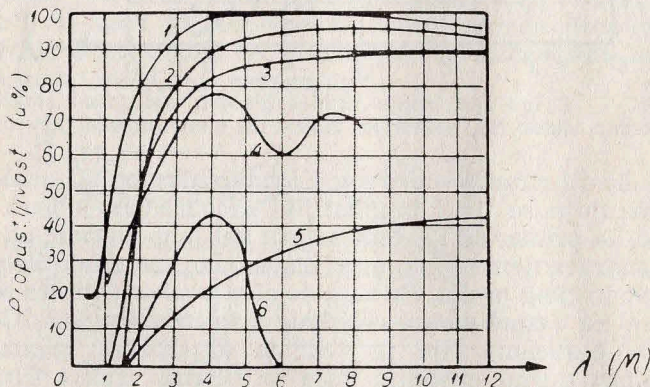
Kod razmotrenih IC-filtera zračenje vidljivog dela spektra se apsorbuje obojenom supstancom. Apsorbovanje dugotalasnog zračenja je određeno vrstom stakla, tako da se za filtriranje dugotalasnog IC-zračenja mogu upotrebljavati i nebojena stakla. Ona dobro propuštaju vidljivi deo spektra i IC-zrake do $2,5 \mu$, a nepropustljiva su za IC-zrake iznad $4,5 \mu$.



Sl. 17 — Krive spektralne propustljivosti: ogledalno staklo (1), kvarcno staklo (2), prozorsko staklo (3) i monokristal kvarca (4)

Za filtriranje vidljivog i kratkotalasnog IC-zračenja, primenjuju se filtri propustljivi za određenu oblast spektra, na primer od kamene soli ili kalijum-hlorida, na koje se isparavanjem u vakuumu nanosi sloj metalnog ili poluprovodničkog praha. Princip dejstva ovakvih filtera se zasniva na raspršivanju vidljivog i kratkotalasnog IC-zračenja česticama čija je veličina (dijametar) srazmerna talasnoj dužini zračenja koje se filtrira. Takvi filtri su neprozračni za zračenje talasne dužine manje od dimenzija čestica praha koji obrazuje filterski sloj, a propustljivi (prozračni) za zračenja čije su talasne dužine veće od dimenzija čestica praha. Utvrđeno je opitima da za propuštanje zračenja u domenu 2—7,5 μ , čestice »praškastog« filtra treba da imaju dijametar 0,22—2,5 μ . U »praškaste« filtre se ubrajaju filtri od srebro-hlorida s crnim slojem srebro-bromida. Oni su savršeno nepropustljivi za talasne dužine vidljivog zračenja, a dobro propuštaju zračenje u dijapazonu talasnih dužina 1—3 μ . Upotrebljeni prah mora biti prozračan za IC-zrake. Kao osnova za mnoge (praškaste) filtre primenjuje se liskun, ako se želi da postigne izdvajanje zračenja s talasnim dužinama 2—8 μ .

U slučaju potrebe za radom u dugotalasnom IC-području, celishodno je upotrebiti materijale kod kojih sopstvene normalne učestanosti oscilovanja molekula leže u dijapazonu dugotalasnih IC-zraka. Takve materijale predstavljaju prvenstveno kristali: kalijum-bromid, kalijum-jodid, kamena so, kalijum-hlorid, cezijum-bromid, litijum-fluorid, kalcijum-fluorid i dr. Međutim, kako su pobrojani kristali jako higroskopni, to se filtri iz njih moraju zaštititi pokrivačima, a što ima za posledicu osetno apsorbovanje IC-zraka, čime se pogoršavaju optička svojstva elemenata IC-uređaja. Zaštitni pokrivači su najčešće od: hidrohlorida, kaučuka, polietilena, teflona, vinilovog laka i još neki drugi materijali.



Sl. 18 — Spektralne krive propustljivosti za nekoliko vrsta praškastih filtera: 1 — koloidno zlato na silvinu (KCl); 2 — selen na silvinu; 3 — koloidni telur na silvinu; 4 — manganov oksid na liskunu; 5 — koloidni bizmut na silvinu; 6 — magnezijumov oksid na staklu (sve za debljinu $d = 0,1$ mm)

NAPAJANJE IC-UREĐAJA ELEKTRIČNIM NAPONOM

Kod IC-uređaja aktivnog principa dejstva dva elementa se moraju napajati električnim naponom: IC-reflektor i elektronsko-optički pretvarač slike. Isto tako se električnim naponom moraju napajati i skoro svi IC-uređaji pasivnog principa dejstva. Za napajanje IC-reflektora napon napajanja je obično 5—30 V jednosmerne ili naizmenične struje, a za elektronsko-optičke pretvarače 4.000—20.000 V — najčešće 15.000—20.000 V. Danas se ide i na napone preko 30.000 V kod nekih IC-sistema. U praksi se najčešće koristi jedan izvor niskog napona, ali se zato za napajanje elektronsko-optičkog pretvarača slike ugrađuje odgovarajući pretvarač napona. Kod zemaljskih i vazdušnih vozila i brodova za napajanje električnim naponom koristi se električna mreža ovih vozila.

Znatno teže je napajati IC-uređaje malih dimenzija, na primer IC-uređaje za streljačko naoružanje, jer na težinu izvora napajanja otpada više od 50% ukupne težine uređaja. Za sada se koriste akumulatori, naročito srebrno-cink akumulatori, jer su znatno lakši od olovnih i čeličnih.

Akumulatorske baterije

Akumulatorska baterija je hemijski izvor električne struje, a sastoji se iz više akumulatora, vezanih na red ili paralelno. Pri punjenju akumulatora električna energija se pretvara u hemijsku, a ova se, pri pražnjenju akumulatora, ponovo pretvara u električnu. U tehnici su naj-

rasprostranjeniji akumulatori sa kiselinom (olovni) i alkalni akumulatori (čelični). Teški su, glomazni i imaju malu specifičnu energiju (odnos količine električne energije prema ukupnoj težini akumulatora). Primena ovih akumulatora, s obzirom na njihovu veliku težinu, naročito olovnih, nepogodna je kod lakih IC-uređaja, gde je njihova težina od izuzetne važnosti.

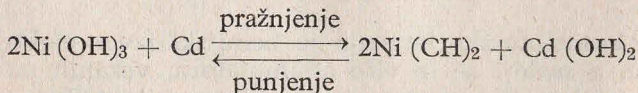
Zadnjih godina u nizu zemalja razrađeni su novi tipovi alkalnih akumulatora: nikel-kadmijum, bezlamelni i srebro-cink akumulatori. Oni imaju 2—3 puta veću specifičnu energiju, malu struju samopražnjenja i dozvoljavaju pražnjenje strujama velikog intenziteta. Kompaktni su i praktični za lake IC-uređaje. Međutim, dosta su skupi, a zahtevaju i specijalne režime održavanja, što je nepodesno, naročito za trupne i borbene uslove eksploatacije.

Bezlamelne akumulatorske baterije

Baterije imaju metalnu rešetku i aktivnu masu koje su, pod velikim pritiskom, presovane i spečene u specijalnoj peći pri visokoj temperaturi. Takva ploča je, u stvari, metalo-keramička i sunderasta masa, šupljikava oko 70%, što obezbeđuje dodirivanje s elektrolitom i učešće u hemijskoj reakciji veće površine aktivne mase. Akumulator se sastoji iz pozitivnog i negativnog bloka, smeštenih u sud od metala ili plastične mase. Pozitivna i negativna ploča su izolovane jedna od druge pomoću kombinovane izolacije.

Princip dejstva i mehanizam hemijskih reakcija u bezlamelnim akumulatorima je isti kao i kod lamelastih nikel-kadmijum-akumulatora.

Proces punjenja i pražnjenja ovih akumulatora se može shematski predstaviti ovako:



Napon nikel-kadmijum-akumulatora neposredno posle punjenja je 1,25 V. Kao elektrolit primenjuje se (za tem-

perature od -20 do $+40^{\circ}\text{C}$) jak rastvor kalijum-hidroksida (KOH) u vodi, gustine 1,19 — 1,21, s dodatkom 20 grama monohidrata litijuma na litar rastvora. Bezlamelni akumulatori se izrađuju i otpremaju nenapunjeni, bez elektrolita. Pravila eksploatacije ovih akumulatora su analogna propisima eksploatacije običnih akumulatora sa lamelama.

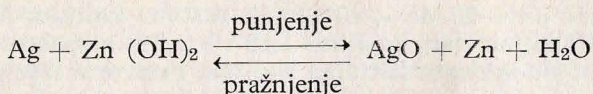
Srebro-cink-akumulatori

Ploča srebro-cink-akumulatora, po konstrukciji, analogna je sa pločom bezlamelnih niki-kadmijum-akumulatora. Za izradu pozitivnih ploča primenjuje se čisto srebro i srebrni odvodni kabl.

Kao polazni elementi za izradu negativnih ploča upotrebljavaju se: oksid cinka, cinkani prah i oksid kadmijuma, izmešani i zapresovani zajedno sa srebrnim odvodnim kablom. Kao separatori se koriste: za negativne ploče — alkalno otporna hartija i celofan, a za pozitivne — kapronska tkanina. Separatori dobro propuštaju elektrolit, a onemogućavaju prolaženje sitnih metalnih čestica, koje dovode do kratkog spoja. Telo akumulatora je od polietilena, u kome su smeštene pozitivne i negativne ploče, spojene međusobno u grupe i povezane u pozitivan i negativan pol. Elektrolit se uliva kroz grlo (otvor), koje se može hermetički zatvoriti.

Telo akumulatora od polietilena smanjuje gabaritne dimenzije, ne stupa u reakciju sa alkalijom, otporno je i elastično, a kako nije provodnik struje, to je nepotrebna izolacija krajnjih ploča u sudu, kao i međusobno pojedinih akumulatora u akumulatorskoj bateriji. Kao elektrolit za srebro-cink-akumulatore služi rastvor hemijski čistog kalijum-hidroksida, gustine 1,4 u destilovanoj vodi. Kako je za normalan rad srebro-cink-akumulatora potrebna mala količina elektrolita, to ovi mogu raditi i u horizontalnom položaju. Pri punjenju, pak, akumulator mora biti postavljen vertikalno, sa otvorenim čepom na glau.

Reakcija kod punjenja — pražnjenja se može izraziti ovako:



Proces punjenja se karakteriše time da čisto srebro prelazi u oksid srebra (AgO), dok se pri pražnjenju ponovo izdvaja srebro. Punjenje akumulatora se vrši naponom 2,1 V u toku oko 20 časova. Nominalni napon sveže napunjenog akumulatora je 1,5 V.

Srebro-cink-akumulatori se proizvode i isporučuju, prema zahtevima poručioca, suvi i zaliveni (formirani). Suvi akumulatori se mogu čuvati više od 2 godine, a zaliveni oko 6 meseci. Vek trajanja im je u radu najmanje 30 ciklusa.

Dobre strane srebro-cink-akumulatora dolaze naročito do izražaja pri impulsnim opterećenjima. Tako, na primer, akumulator kapaciteta 0,5 Ah može dati u impulsu struju do 600 A, a akumulator kapaciteta 25—30 Ah omogućava pražnjenje strujom u impulsu i do 1.500 A. Srebro-cink-akumulatori rade normalno pri spoljnjoj temperaturi od —20 do +60°C, a sasvim dobro i na temperaturama do —40°C, dok je gornja granica rada kod +80°C. Rad im se ne remeti, takođe, ni pri znatnim promenama atmosferskog pritiska.

U nedostatke srebro-cink-akumulatora treba ubrojati: dugotrajan i složen proces punjenja (naročito proces formiranja), velika nestabilnost akumulatora pri prepunjanju, mali vek trajanja (30—40 ciklusa), relativno visoka cena, kao i potreba za hemijski čistim kalijum-hidroksidom i destiliranom vodom.

PRETVARAČI VISOKOG NAPONA

Visokonaponski pretvarač je uređaj koji pretvara jednosmerni niski napon u jednosmerni visoki napon, potreban za napajanje elektronsko-optičkog pretvarača slike nekog IC-uređaja (za stvaranje elektrostatičkog polja u pretvaraču slike). On treba da bude ekonomičan, malih dimenzija i težine. Ovim zahtevima je moguće udovoljiti, zato što je za rad elektronsko-optičkog pretvarača slike potrebna mala snaga (struja u elektronsko-optičkom pretvaraču je reda 10^{-9} — 10^{-8} A). Konstrukcija i dimenzije visokonaponskog pretvarača se određuju zavisno od namene IC-uređaja i tipa elektronsko-optičkog pretvarača slike.

Prema načinu pretvaranja jednosmernog napona u naizmjenični, svi pretvarači napona mogu se svrstati u 3 grupe: sa elektromehaničkom šemom, relaksacione i elektronske. U praksi se najčešće sreću elektromehanički i elektronski. Elektromehanički pretvarači napona su zasnovani na korišćenju elemenata koji pretvaraju jednosmerni napon u pulsirajući, posredstvom mehaničkih pretvarača, na primer vibratora. Elektronski tip pretvarača napona raspolaže elektronskim lampama i tranzistorima.

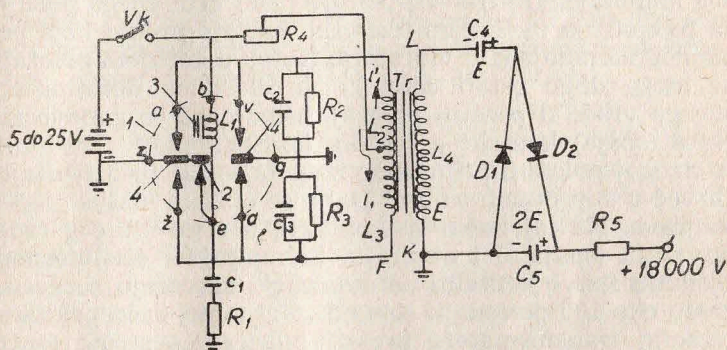
Vibratorski pretvarač napona

Jedan od sastavnih delova svakog vibratorskog pretvarača visokog napona je transformator. Za njegov normalan rad neophodno je da struja i_1 , koja protiče kroz

njegov primarni namotaj, periodično menja svoj pravac i veličinu. Pri tome se magnetni fluks (Φ) u jezgru transformatora menja i u njegovom sekundarnom namotaju se indukuje elektromotorna sila. Ako se transformator priključi na izvor jednosmerne struje za duže, onda struja u njegovom primarnom namotaju u početku brzo raste, zatim ovaj priraštaj postepeno počinje da se usporava i najzad se sasvim prekida; kroz primarni namotaj transformatora tada protiče jednosmerna struja. U sekundarnom namotaju transformatora pri tome, za kratko vreme — određeno vremenom narastanja struje — indukuje se elektromotorna sila, koja opada do nule onda kada struja dostigne stalnu vrednost (struja zasićenja). Ako se pak transformator priključi na izvor jednosmerne struje za vrlo mali vremenski interval, u kojem struja u primarnom namotaju ne uspeva da dostigne stalnu vrednost (zasićenje), a zatim brzo i takođe za kratko vreme se promene mesta krajeva primarnog namotaja transformatora, tako da se polaritet napona na njegovim krajevima izmeni, oblik elektromotorne sile na drugom namotaju se naglo menja. Posle uključivanja transformatora, struja i_1 neprekidno i skoro linearno raste, usled čega se po istom tom zakonu menja i magnetni fluks u jezgru transformatora. Pri takvom karakteru promene struje i magnetnog fluksa, elektromotorna sila, koja se indukuje u sekundarnom namotaju transformatora, u toku čitavog kratkog intervala, ostaje praktično nepromenjena. Pri promeni znaka napona na krajevima primarnog namotaja transformatora, struja i_1 , koja kroz njega protiče, menja smer u suprotan. Magnetni fluks u jezgru, takođe menja smer, a ova promena se odvija po istom zakonu po kojem se vrši i promena struje i_1 . Sledstveno tome, menja svoj znak i elektromotorna sila, indukovana u sekundarnom namotaju transformatora. Ovaj ciklus se zatim ponavlja iz početka, pri radu transformatora.

Kod vibratorskog pretvarača napona krajevi primarnog namotaja transformatora se prekopčavaju pomoću vibratora (1), čiji su glavni delovi: elektromagnet (3), s pokretnom kotvom (2), učvršćenom za elastičnu osnovu i kontakti elektromagneta (4). Kontakti (a-v i ž-d) povezani

su paralelno, što omogućava ostvarivanje dva puta veće komutacije struje. Zato, da bi se uprostilo prekopčavanje vibratora na jezgro transformatora, često se postavljaju, ne jedan, već dva jednaka primarna namotaja. Njihova zajednička tačka se vezuje na pozitivan pol akumulatorske baterije. Negativan pol baterije vibratorom se naizmenično priključuje na jedan i drugi namotaj.



Sl. 19 — Šema vibratorskog pretvarača visokog napona

Rad visokonaponskog pretvarača napona se može razložiti na tri glavne etape:

- pretvaranje jednosmernog napona u naizmenični;
- povećanje dobijenog naizmeničnog napona;
- dobijanje jednosmernog visokog napona uz njegovo istovremeno multipliciranje.

Prvu etapu rada izvršava vibrator, drugu transformator, a treću električno kolo za ispravljanje i multipliciranje.

Uz pomoć principijelne električne šeme na slici 19, može se detaljnije analizirati rad pretvarača napona.

Do uključivanja pretvarača napona kontakt za uključivanje vibratora (e) i radni kontakti (ž-d) su zatvoreni. Pri uključivanju prekidača (V_k) struja od akumulatora polazi kroz dve grane kola: kroz prvu — od pozitivnog pola akumulatora, kroz pobudni namotaj (L_1) i kontakt (e) do negativnog pola akumulatora i kroz drugu granu — od

pozitivnog pola akumulatora kroz otpor R_4 , zatim kroz primarni namotaj transformatora (L_3) i kontakte ž-d do negativnog pola akumulatora. Struja akumulatora, protičući po pobudnom namotaju vibratora (L_1) stvara magnetno polje, usled čega kotvu elektromagneta (2) privlači jezgro (3). Pri tome kontakti (a-v), koji su smešteni na opruzi kotve (4), zatvaraju granu (kolo) polovine primarnog namotaja (L_2) transformatora (T_1) i kroz njega počinje da teče struja i_1 . U tom trenutku nastaje prekid kola pobudnog namotaja (L_1) vibratora. Kotva u gornjem položaju ne može dugo ostati zato što je elastična deformisana opruga vraća u početni položaj, usled čega se ponovo zatvara (spaja) kontakt e i radni kontakti (ž-d). Pri tome, po drugoj polovini primarnog namotaja (L_3) teče struja i_1 , ali već u suprotnom smeru. Dalje se opisani ciklus iznova odigrava. Na taj način se kontakti, u toku čitavog rada, zatvaraju (spajaju) i otvaraju. Zahvaljujući oscilatornom kretanju kotve kontakti se otvaraju i zatvaraju s učestanošću oko 100 perioda u sekundi. Pri tome, kroz primarni namotaj transformatora prolazi pulsirajuća struja (naizmenično kroz L_2 i L_3), stvarajući promenljivi magnetni fluks u jezgru transformatora po intenzitetu i smeru. Usled toga u sekundarnom namotaju transformatora (L_4) nastaje promenljiva elektromotorna sila. Kao što je poznato, veličina elektromotorne sile u namotaju zavisi od broja navoja u namotaju i brzine kojom oni presecaju magnetne linije sile. Zbog toga u sekundarnom namotaju, koji ima mnogo veći broj navoja od primarnog namotaja, nastaje naizmenični napon (U) od 9.000 do 10.000 V. Razmotrivši rad vibratora, može se reći da se, u toku jednog punog ciklusa, transformator dva puta odvaja (isključuje) od akumulatora, dok kotva pređe iz jednog u drugi krajnji položaj. Pri svakom isključivanju transformatora u njegovim namotajima bi trebalo da se indukuje znatna elektromotorna sila, zbog čega bi, između kontakata, u momentu njihovog razmicanja, nastalo jako iskrenje, pa bi se kontakti zagrevali i sagorevali. Da ne bi dolazilo do kvarenja kontakata vibratora, a samim tim i do remećenja normalnog rada pretvarača napona, u njega se ugrađuje kolo za gašenje iskrenja, koje se sastoji iz kondenzatora

C_1 , C_2 i C_3 i otpora R_1 , R_2 i R_3 , koji su uključeni paralelno sa kontaktima vibratora. U momentu razmicanja kontakata, paralelno uključeni s njima, sva tri kondenzatora se pune, čime se brže smanjuje struja u kolu, a time izbegava i sagorevanje kontakata. Za vreme prelaženja kontakata iz jednog u drugi krajnji položaj, oscilovanje napona u namotajima transformatora se smanjuje i dostiže veličinu blisku veličini napona izvora napajanja, a kondenzatori uspevaju da se isprazne preko otpora R_1 , R_2 i R_3 . Pri tome se, zbog male razlike napona na kontaktima i akumulatoru, ostvaruje uključivanje kola bez iskrenja.

Struja sekundarnog namotaja transformatora se ispravlja, a napon povećava, prema šemi multiplikacije koja se sastoji od: ispravljača D_1 i D_2 (diode na primer) i kondenzatora C_4 i C_5 . Suština ispravljanja naizmenične struje se sastoji u tome da dioda propušta struju samo u jednom (provodnom) pravcu.

Deo električne šeme za multiplikaciju napona funkcioniše na sledeći način. Napon na namotaju L_4 transformatora deluje kao izvor elektromotorne sile E . U nastavku dela perioda, kada je napon u tački k pozitivan, ispravljač D_1 je otvoren i kroz kolo $L_4 - D_1 - C_4$ teče struja koja puni kondenzator C_4 do amplitudne vrednosti napona jednakog U . U to vreme ispravljač D_2 je zatvoren, zato što se njegova anoda u odnosu na katodu nalazi pod negativnim potencijalom. Posle promene znaka napona na sekundarnom namotaju transformatora, napon u tački l postaje pozitivan a u tački k negativan; pri tome se ispravljač D_1 zatvara a ispravljač D_2 otvara. Napon U na namotaju L_4 i napon U na kondenzatoru C_4 deluju kao dva izvora spojena na red, sa ukupnom elektromotornom silom ravnom $2E$. U tom slučaju struja polazi od kondenzatora C_4 , kroz ispravljač D_2 ka kondenzatoru C_5 i dalje se kolo zatvara kroz sekundarni namotaj transformatora. Na taj način, na kondenzatoru C_5 se nalazi sumarni napon koji se sabira od napona na kondenzatoru C_4 i na sekundarnom namotaju transformatora. Prema tome, kondenzator C_5 se puni do napona koji je po veličini blizak dvostrukoj vrednosti maksimalnog napona na sekundarnom namotaju transformatora. Analogno opisanom, proizilazi tro, četvero, peto-

kratno itd. multipliciranje ispravljenog napona. Veličina ispravljenog napona se reguliše pomoću reostata (R_4), koji menja struju kroz primarni namotaj transformatora.

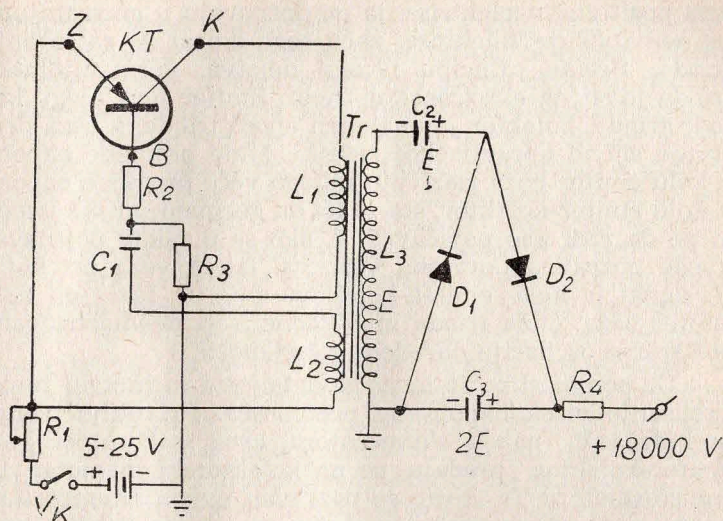
Otpor R_5 obezbeđuje elektronsko-optički pretvarač slike od oštećenja pri prolaženju kratkotrajnih većih strujnih impulsa, koji nastaju pri svetlosnom preopterećenju elektronsko-optičkog pretvarača slike. Pri normalnom radu, pad napona na tom otporu je mali, zato što kroz elektronsko-optički pretvarač slike prolazi struja male veličine.

Pri veoma jakom osvetljavanju, veličina struje, koja prolazi kroz elektronsko-optički pretvarač slike, narasta stotinama puta u odnosu na normalno stanje, usled čega pad napona na zaštitnom otporu takođe raste stotinama puta. Na taj način, u momentu osvetljavanja, napon koji se dovodi na elektronsko-optički pretvarač slike naglo opada, zbog čega se smanjuje osetljivost elektronsko-optičkog pretvarača slike, a time se, u stvari, čuva od oštećenja. Međutim, ipak zaštitni otpor R_5 ne osigurava potpunu zaštitu elektronsko-optičkog pretvarača slike od dugotrajnih svetlosnih preopterećenja, pa ih zato treba izbegavati.

Rad mehaničkog prekidača visokonaponskog vibratorskog pretvarača napona je praćen karakterističnim zvukom, te se zato ne može ugrađivati, zbog maskiranja, u IC-uređaje, namenjene, na primer, izviđačima i snajperistima. Osim toga, životni vek kontakata vibratora određuje i vek trajanja celog pretvarača napona. To je bio razlog zbog kojeg se već nekoliko godina primenjuju pretvarači napona na bazi poluprovodničkih trioda, u svim onim slučajevima gde je to neophodno.

Pretvarač napona sa kristalnom triodom

Principijelna električna šema visokonaponskog pretvarača na bazi kristalne triode razlikuje se od one na slici 19 samo pretvaračem jednosmernog napona u naizmenični, pa će se zato razmotriti samo njen niskonaponski deo.



Sl. 20 — Principijelna električna šema visokonaponskog pretvarača na bazi kristalne triode

Niskonaponski deo šeme sam po sebi predstavlja auto-generator s povratnom induktivnom vezom na kristalnoj triodi (KT). Kristalna trioda (npr. germanijeva), predstavlja u suštini poluprovodnički trielektrodni uređaj, koji se sastoji iz tanke pločice germanijuma (osnova B) i dva sa njom granična sloja (emiter E i kolektor K). Kao materijal za izradu emitera i kolektora se upotrebljava metal retkih zemalja indijum. U kristalu germanijuma se nalazi višak negativnog naelektrisanja, a u emiteru i kolektoru (u sloju indijuma) višak pozitivnog naelektrisanja. Pri pozitivnom potencijalu emitera trioda je otvorena, tj. emiter uvodi u germanijum pozitivna naelektrisanja, čiji veći deo, pod dejstvom izvora električnog napajanja, koji je spojen pozitivnim polom s emiterom a negativnim s bazom, prolazi kroz sloj germanijuma (bazu) i dospeva na kolektor. Od veličine razlike potencijala između baze i emitera zavisi količina u germanijum unetih pozitivnih naelektrisanja, tj. zavisi struja kolektora. Pri negativnom potencijalu emi-

tera pozitivna naelektrisanja ne dospevaju u germanijum, pa nema struje kolektora, zbog čega dolazi do zatvaranja triode. Prema principu svoga dejstva, germanijumska trioda je slična elektronskoj triodi. Emiter igra ulogu katode triode, kolektor je analogan anodi triode, a baza dejstvuje slično upravljačkoj rešetki. Male promene napona u kolu emiter-baza izazivaju mnogo veće promene napona u kolu emiter-kolektor, što znači da germanijumska trioda može da radi kao pojačavač. A ako se u takav pojačavač uvede pozitivna povratna veza, tj. takva veza pri kojoj se signal iz kola emiter-kolektor daje, u fazi, na kolo emiter-baza, onda trioda može generisati neamortizovane električne oscilacije određene učestanosti.

Uz pomoć slike 20 može se detaljnije razmotriti funkcionisanje visokonaponskog pretvarača. Pri uključivanju prekidača V_k , napon akumulatora, kroz mali otpor kola emiter-kolektor, predaje se na kolektorski namotaj L_1 transformatora Tr . Pošto se pozitivan napon akumulatora predaje na emiter, trioda se otvara, tj. emiter uvodi u germanijum pozitivna naelektrisanja, čiji veći deo, pod dejstvom izvora napajanja, prolazi slojem germanijuma i dospeva na kolektor. Stoga u namotaju kolektora nastaje gubitak struje, koji izaziva električna oscilovanja, čija je učestanost određena kapacitetom i induktivnošću namotaja. Nastala električna oscilovanja induktivnim putem se predaju na namotaj povratne veze L_2 transformatora. Namotaj L_2 je uključen u kolo emiter-baza tako da pri porastu struje kolektora u njemu nastaje elektromotorna sila sa znakom »plus« na emiteru i »minus« na bazi (pozitivna povratna veza). Pošto od razlike potencijala između baze i emitera zavisi količina pozitivnih naelektrisanja unetih u germanijum (tj. struja kolektora), porast elektromotorne sile povratne veze izaziva dopunsko povećanje struje u kolektorskom namotaju L_1 . Povećanje ove struje pak, sa svoje strane, izaziva dopunski porast struje kolektora. Proces se nastavlja sve dotle dok povećanje struje u kolu baze ne prestane da izaziva odgovarajući porast struje kolektora, tj. dok struja kolektora ne dostigne vrednost zasićenja. Smanjivanje brzine porasta struje kolektora izaziva smanjenje indukovanog napona u pobudnom namotaju L_2 , a

sledstveno tome, i smanjenje struje u kolu baze. Smanjenje struje baze izaziva smanjenje struje kolektora, a ovo, sa svoje strane, izaziva smanjenje struje baze, tj. počinje proces brzog smanjenja struje kolektora i baze. Ovaj proces se nastavlja sve dok se trioda ne zatvori, tj. dok struja kolektora ne padne do nule. Posle toga ponovo počinje porast struja kolektora i baze — celokupan proces se ponavlja. Kako se vidi, u kolu kolektora struja će se periodično povećavati i smanjivati, tj. uporedo s jednosmernom u lancu će poteći i naizmenična struja. Na taj način električna šema na sl. 20 generiše neamortizovane oscilacije što je nepovoljno, jer se nekorisno troši energija akumulatora. Da se ovo otkloni, u kolo emiter-baza se uvodi kondenzator C_1 . Impulsi napona u namotaju povratne veze L_2 , zahvaljujući jednosmernoj provodljivosti kola emiter-baza, pune kondenzator C_1 na taj način što je napon na njemu priključen minusom na emitar. Sa svakim novim impulsom u namotaju L_2 , emiter postaje sve više negativan u odnosu na bazu. Kada napon na kondenzatoru C_1 dostigne potencijal zatvaranja triode, oscilovanja se prekidaju.

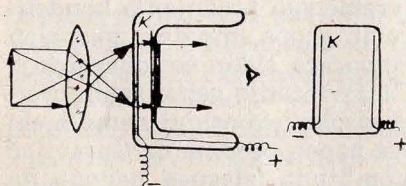
Otvaranje triode i početak generacije nastupa posle pražnjenja kondenzatora C_1 , preko otpora R_3 . Na taj način, ovakva električna šema generiše grupe impulsa s pauzama (u intervalima), određenim vremenom pražnjenja kondenzatora. U međuintervalima ovih grupa impulsa, normalan rad elektronsko-optičkih pretvarača slike se obezbeđuje naponom sa kondenzatora C_3 . Povećanje generisanih oscilovanja napona ostvaruje se visokonaponskim namotajem L_3 transformatora, sa kojeg se napon predaje na ispravljač i pojačavače. Regulisanje amplituda izlaznog napona na sekundarnom namotaju transformatora postiže se pomoću otpora R_1 .

Ispravljanje i multiplikacija napona ostvaruju se kao i kod pretvarača napona vibratorskog tipa.

Pretvarači napona sa kristalastim triodama imaju manju težinu i gabaritne dimenzije, sigurniji su u eksploataciji, a vek trajanja im se računa desetinama hiljada časova.

ELEKTRONSKO-OPTIČKI PRETVARAČI SLIKE

Kod IC-uređaja aktivnog ili pasivnog principa dejstva, od kojih se traži da daju vizuelnu sliku cilja pri osmatranju i nišanjenju, najvažniji i najdelikatniji deo je pretvarač slike. Uopšteno govoreći, pod pretvaračem slike se podrazumeva takav elektronskovakuumski uređaj, koji omogućava pretvaranje optičke slike jednog spektralnog sastava u sliku drugog spektralnog sastava, posredstvom elektronske slike. Cilj takvog pretvaranja slike može biti: bilo prenos slike iz jedne spektralne oblasti u drugu, bilo pojačavanje osvetljenosti slike ili istovremeno i jedno i drugo. Najviše su rasprostranjeni, bar zasad, elektronsko-optički pretvarači slike.



Sl. 21 — Dvoelektrodni pretvarač slike

Dvoelektrodni pretvarač je ravan kondenzator smešten u staklenom sudu, u kojem je postignut vakuum reda 10^{-4} do 10^{-5} mm Hg, kako bi se fotoelektroni mogli kretati bez sudaranja s molekulima vazduha. Na prednji zid

staklenog suda, s unutrašnje strane, nanesen je vrlo tanak, prozračan sloj srebra, koji predstavlja jednu od dve elektrode pretvarača. Na ovaj sloj, kao na podlogu, nanosi se, isparavanjem u vakuumu, poluprozračni fotoosetljivi sloj (oksid cezijuma ili cezijum-antimonida). Na suprotnom zidu staklenog suda, takođe na prozračnu podlogu od sre-

bra, nanosi se sloj luminofora. Između katode i ekrana uspostavlja se visoki napon (do 12.000 V), koji u unutrašnjosti pretvarača stvara homogeno elektrostatičko polje napona:

$$E = \frac{U}{d}$$

gde je d rastojanje između fotokatode i ekrana uzeto u [cm].

Funkcionisanje ovakvog pretvarača slike se ukratko može predstaviti na sledeći način: od posmatranog predmeta reflektovani IC-zraci se projektuju pomoću objektiva na fotokatodu, na kojoj se stvara okom nevidljiva izvrnuta i umanjena slika predmeta, s raspodelom »svetlih« i »tamnih« mesta na fotokatodi, sledstveno raspodeli intenziteta zračenja (ili refleksije) pojedinih delova površine posmatranog predmeta. Sa »svetlijih« mesta slike predmeta, iz fotokatode će izletati elektroni (fotoelektroni) u većem broju nego sa »tamnijih« mesta. Oni dospevaju u elektrostatičko polje, krećući se jednoliko ubrzano ka ekanu.

Gustina, u pretvaraču slike, nastale fotoelektrične struje, s raznih mesta površine fotokatode, proporcionalna je intenzitetu ozračenosti tih mesta IC-zracima. Sledstveno tome, elektronska slika će biti analogna IC-slici na fotokatodi. Fotoelektroni elektronske slike, koji dobijaju u toku svog kretanja ka ekranu kinetičku energiju veličine eU (elektron-volti), bombarduju ekran i tako izazivaju njegovo svetljenje. Intenzitet svetljenja pojedinih mesta je proporcionalan snazi (jačini) fotoelektrične struje. Ovo omogućava da se na ekranu pretvarača slike posmatra jednobojna slika osmatranog predmeta, koja po intenzitetu osvetljenosti i površini odgovara intenzitetu sopstvenog, odnosno reflektovanog IC-zračenja sa tih površina, tj. delova površine predmeta. Kvalitet slike predmeta, koja je dobijena posredstvom dvoelektrodnog pretvarača slike, dosta je nizak, zbog neusavršenosti elektronsko-optičkog sistema tipa »ravnoparalelnom« prenosu, zbog različitih početnih brzina (v_0), elektroni se u elektrostatičkom polju ne kreću paralelno jedan drugom već po paraboličnim putanjama; sa temenom u

tački izbijanja elektrona. Ova okolnost ne dozvoljava da elektroni na ekranu padaju u jednu istu tačku, koja odgovara određenoj tački na fotokatodi. Zbog toga se svaka tačka na katodi preslikava na ekranu u vidu »kružića rasejavanja«, a što i određuje moć razlaganja jednog ovakvog pretvarača slike. Mogućnosti za povećanje moći razlaganja dvoelektrodnog elektronsko-optičkog pretvarača slike su ograničene sledećim faktorima:

— pri jačini polja fotokatode reda 10 kV/cm, nastaje autoelektronska emisija sa fotokatode, koja jako smanjuje kontrast slike;

— smanjenje rastojanja između fotokatode i ekrana dovodi do povećanja »povratnog« osvetljavanja fotokatode od zračenja ekrana, što izaziva smanjenje moći razlaganja pretvaračke slike i pojavu (na slici) ukupnog parazitnog fona;

— povećanje radnog napona ili smanjenje rastojanja između elektroda takođe su ograničeni, usled nastupanja proboja među elektrodama, a što dovodi do neupotrebljivosti elektronsko-optičkog pretvarača slike;

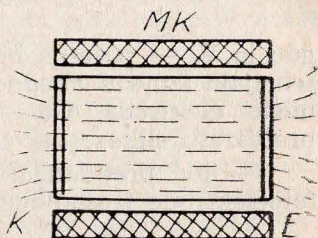
— pri malom rastojanju između ekrana i fotokatode nastaju tehnološke teškoće oko dobijanja fotokatode sa homogenom površinom, pri njenoj senzibilizaciji parama cezijuma.

Izložena ograničenja ne dozvoljavaju dobijanje pretvarača slike ove vrste s visokom moći razlaganja. Tako je, kod boljih uzoraka dvoelektrodnih pretvarača slike, dobijen »kružić rasejavanja« prečnika 0,1 mm, tj. u tom slučaju moć razlaganja pretvarača slike ima vrednost reda 10 linija/mm.

Radi poboljšanja kvaliteta slike, kod prostijih pretvarača, kombinovano je elektrostatičko i magnetno fokusiranje fotoelektrona. Fotokatoda i ekran pretvarača slike se postavljaju na većem rastojanju (i do 70 mm), a napon za ubrzavanje elektrona se snižava do 500 V. Fokusiranje elektrona je ostvareno dugačkim magnetnim sočivom.

Ovim načinom fokusiranja elektrona, postignuta je moć razlaganja pretvarača od 20 do 30 linija/mm (kod rastojanja među elektrodama od 70 mm i naponu od 500 V).

No, bez obzira na jednostavnost, dvoelektrodni pretvarači slike su već za vreme II svetskog rata potisnuti savršenijim, višeelektrodnim pretvaračima slike, koji imaju u sebi uključenu elektrostatičku elektronsku optiku. Trielektrodni ili višeelektrodni pretvarači slike, bez obzira što je njihova izrada složenija, imaju niz preimućstava nad dvoelektrodnim. Zato je i došlo do njihove široke primene, naročito kod vojnih IC-uređaja. Ova preimućstva su:



Sl. 22 — Uproščena šema dvoelektrodnog pretvarača slike s magnetskim fokusiranjem

— poboljšanje zaštite fotokatode od svetlosnog dejstva ekrana pomoću dijafragme. Ovo omogućava primenu katodnih luminofora s intenzivnijim svetljenjem i veći napon ubrzavanja elektrona, pri kojima jako narasta emisija ekrana;

— primena nekoliko elektroda omogućava postepen porast jačine elektrostatičkog polja, idući od fotokatode ka ekranu. Ovo daje mogućnost primene vrlo velikih napona za ubrzavanje elektrona, bez opasnosti od nastanka autoelektronske emisije sa fotoosetljivog sloja fotokatode;

— pretvarači slike s više elektroda omogućavaju dobijanje slike, ne samo odnosa 1 : 1 već i s većim ili manjim povećanjem. Ovi poslednji imaju veoma veliki značaj za pojačanje osvetljenosti slike, zato što pri smanjenju slike rastu gustina struje i intenzitet svetljenja ekrana;

— primena sistema za fokusiranje podiže moć razlaganja pretvarača slike, u poređenju s paralelnim prenosom elektrona. U slučaju elektrostatičkog fokusiranja dijametara »kružića rasejavanja« (D) može se proračunati prema jednačini:

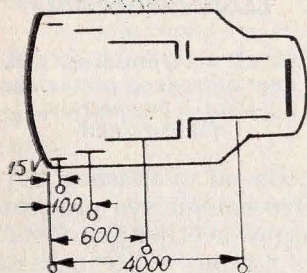
$$D = 2d \cdot \frac{Ge}{2 \cdot Ge + 1} \cdot \frac{V_0}{U},$$

a pri kombinovanom fokusiranju prema jednačini:

$$D = d \cdot \frac{Ge}{2Ge + 1} \cdot \frac{V_0}{U}$$

gde je V_0 — početna brzina fotoelektrona, U razlika potencijala između anode i fotokatode, d — rastojanje između elektroda, Ge — elektronsko-optičko povećanje pretvarača slike;

— kod pretvarača slike sa više elektroda, između fotoelektrode i osnovne fokusirajuće elektrode, postavlja

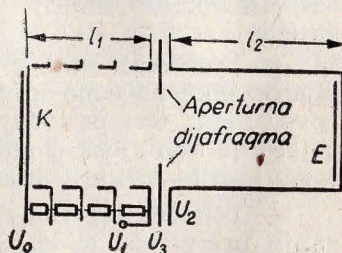


Sl. 23 — Šema pretvarača 1-P-25

se niz međuelektroda, na koje se s potenciometra daje napon. Takva konstrukcija dozvoljava promenu relativne raspodele potencijala među elektrodama, a time je omogućeno elektronsko fokusiranje slike na ekranu pretvarača slike. Tipičan predstavnik takve vrste pretvarača slike je 1-P-25, koji je razrađen u toku II svetskog rata u SAD;

— kod pretvarača slike s više elektroda, pri postojanju aperturne dijafragme, postoji mogućnost menjanja

uveličanja. Zato je potrebno davati promenljiv potencijal U_3 koji se menja u intervalu od U_1 do U_2 . Ukupno uveličanje takvog pretvarača slike (pri $U_3=0$) jednako je $l_2 : 2l_1$. Isto tako, ako se na dijafragmu dovodi potencijal $U_3=U_2$ onda će uveličanje biti manje, a pri $U_3=U_1$ veće od $l_2 : 2l_1$;



Sl. 24 — Šema pretvarača slike koji omogućava elektronsko-optičko povećanje

— prelazak na višeelektrodne pretvarače slike poboljšan je kvalitetom slike, smanjenjem distorzije i primenom sferne fotokatode. Poluprečnik sfere fotokatode

se bira tako da se njen centar nalazi u domenu podeone ravni glavnih fokusirajućih elektroda.

Zbog svojih preimućstava višeelektrodni pretvarači slike su već krajem II svetskog rata potisnuli pretvarače sa homogenim elektrostatičkim poljem.

Na Zapadu su najširu primenu dobili elektronsko-optički pretvarači slike firmi RCA (SAD), AEG (Zapadna Nemačka), zatim u V. Britaniji, u Švajcarskoj, itd. Firma RCA izrađuje više vrsta elektronsko-optičkih pretvarača slike, triodnog i diodnog tipa. Među njima najširu primenu su dobili diodni pretvarači slike oznake RCA 6914 i RCA 6929.

Kod nekih pretvarača slike se primenjuje aluminizacija unutrašnje površine ekrana pomoću cinka, sumpora i selena. Pokrivanje ekrana tankim slojem aluminijuma omogućava povećanje emisije ekrana i slabi štetno ozračivanje fotokatode sa strane ekrana. Ovim se poboljšava kontrast slike i povećava njena oštrina. Do povećanja ukupne emisije ekrana u ovom slučaju dolazi zbog reflektovanja svetlosnog fluksa ekrana u smeru posmatrača, a refleksija se vrši s unutrašnje površine aluminijumskog sloja, kao od ogledala. Ovo dovodi do znatnog slabljenja svetlosnog fluksa ekrana u smeru fotokatode, a to se baš i želi postići.

Tabela osnovnih karakteristika pretvarača slike američkog porekla

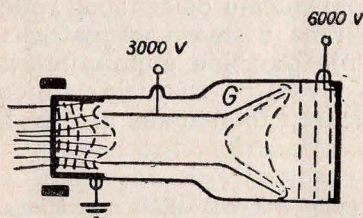
Karakteristika	Jedinica mere	Oznaka pretvarača slike i vrednost	
		1—P—25	RCA—6914
Dužina	mm	115	68
Prečnik	mm	42	43
Radni napon	V	4.000	16.000
Uveličanje	puta	0,5	0,8
Srednja moć razlaganja za celo vidno polje	lin/mm	8	28
Koeficijent pretvaranja		0,4	30
Osetljivost fotokatode	$\mu\text{A/lm}$	20 — 30	30 — 40

Elektronsko-optički pretvarači slike firme AEG (od pre nekoliko godina), pri upotrebi svetlosno jake optike u ulozi objektiva, imali su sledeće osnovne karakteristike:

- osetljivost fotokatode 30—25 $\mu\text{A}/\text{lm}$;
- elektronsko-optičko uveličanje 0,65;
- moć razlaganja u centru vidnog polja 40 lin/mm.

Pretvarač slike RCA 6914 se koristi u SAD od 1959. godine do danas. To je pretvarač slike diodnog tipa, bez mogućnosti naknadnog elektrostatičkog fokusiranja u toku upotrebe u datom IC-uređaju.

Pretvarač slike ME-1201 je triodnog tipa. Proizvodi ga firma Malard (Mullard — V. Britanija). Njegova karakteristika je u tome što se može koristiti bilo elektrostatičko, bilo kombinovano fokusiranje snopa elektrona, a takođe i mogućnost rada pretvarača slike pri dodatnom naponu ubrzavanja elektrona, u impulsnom režimu rada.

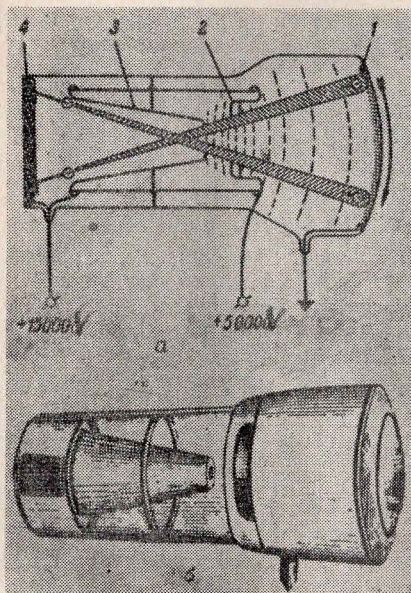


Sl. 25 — Šema elektronsko-optičkog pretvarača slike ME-1201

Dimenzije ovog pretvarača slike su: dužina — 235 mm, prečnik fotokatode — 30 mm, prečnik ekrana — 115 mm. Pretvarač slike ima promenljivo elektronsko-optičko povećanje od 1 do 4, pri ravnomernoj moći razlaganja na ekranu od 20 lin/mm (pri $G_e = 1$). Ovo promenljivo povećanje se postiže kombinovanim fokusiranjem elektronskih snopova.

Triodni pretvarač slike firme AEG je, u stvari, stakleni balon, na čijoj je prednjoj strani nanese~~n~~a fotokatoda (1) a na zadnjoj se nalazi ekran (4). Na prvu anodu (2), oblika plitke čaše, dovodi se napon od 5.000 V.

Druga anoda (3 — zarubljeni konus) ima potencijal, u odnosu na katodu, od 15.000 V. Ekran se nalazi na potencijalu druge anode. Pretvarač ima 3 elektrode: fotokatodu, prvu anodu i ekran (druga anoda). Kružni otvori

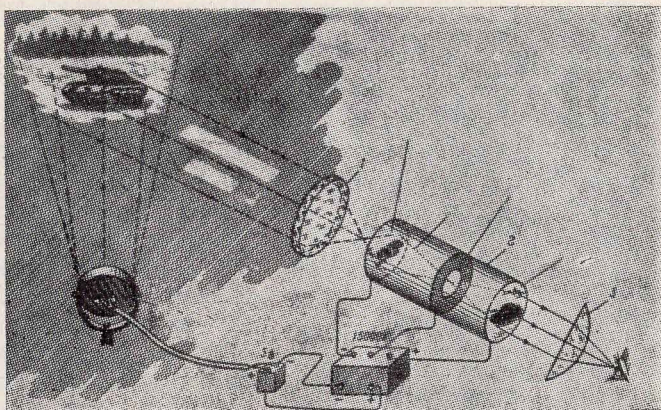


Sl. 26 — Šema triođnog pretvarača firme AEG

u anodama (dijafragme) omogućavaju prolaz elektrona od fotokateode do ekrana. Kod ovakvog pretvarača slike, pomenute dijafragme u znatnoj meri smanjuju štetno povratno osvetljavanje fotokateode od svetlosne emisije ekrana i štite fotokatuodu od štetnog dejstva IC-zraka koje reflektuje ekran pretvarača slike.

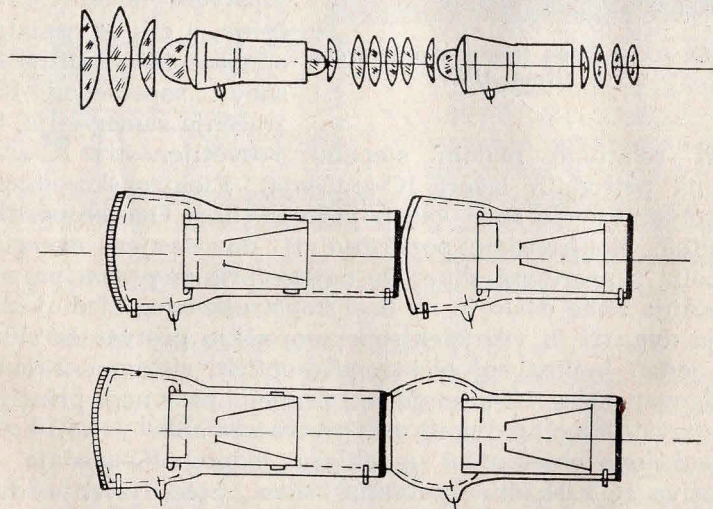
Elektronsko-optički pretvarači slike se primenjuju i kod IC-uređaja pasivnog principa dejstva (IC-uređaj nema sopstveni izvor IC-zračenja, a cilj se osmatra odnosno nišani ili na osnovu sopstvenog IC-zračenja samog cilja, ili

pri relativno malom stepenu »osvetljenosti« IC-zracima prirodnih izvora IC-zračenja). Elektronsko-optički pretvarač ovde služi kao pojačavač slike. Ovo se postiže putem elektronskog pojačanja, tj. dovođenjem energije spolja u pretvarač slike. Do najšire primene principa pojačanja slike došlo je na bazi konstrukcionog sjedinjavanja dva, tri ili više elektronsko-optičkih pretvarača slike u jedan jedinstveni elektronsko-optički sistem u sklopu odgovarajućeg IC-uređaja, na primer, pasivnog principa dejstva. Sklop od dva ili više pretvarača slike — koji konstrukciono objedinjeni u okviru jednog IC-uređaja — naziva se kaskadni pretvarač slike. Sjedinjavanje dva pretvarača slike naziva se jednokaskadni sistem, tri dvo-kaskadni, itd.



Sl. 27 — Princip dejstva IC-uređaja s fotoemisionim elektronsko-optičkim pretvaračem slike, prvenstveno namenjenim za osmatračke i nišanske IC-uređaje aktivnog principa dejstva

Na slici 28 se vidi da su načelno mogućna dva konstrukciona rešenja. Kod prvog, između dva uzastopna



Sl. 28 — Šeme poznatih tipova jednokaskadnih elektronsko-optičkih pretvarača slike

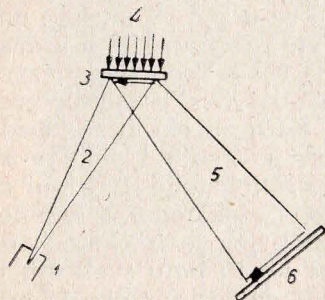
elektronsko-optička pretvarača slike, nalaze se odgovarajući optički elementi, preko kojih je ostvaren optički kontakt pretvarača slike, dok je kod drugog rešenja, optički kontakt postignut neposredno između ekrana prvog pretvarača slike i fotokatode drugog pretvarača slike. Firma AEG je dala podatke o tome da se u prvom slučaju dobija koeficijent svetlosnog pojačanja jednak 115, a u drugom slučaju 1.460. Radi dobijanja većih koeficijenata svetlosnog pojačanja slike, kod jedno i dvokaskadnih pretvarača slike, ulazna fotokatoda i izlazni ekran se izvode tako da zadovolje zahteve izvora zračenja i pribora za registrovanje slike, a unutrašnje fotokatode i ekrani se izrađuju od cezijum-antimonida (fotokatode) i luminofera koji svetli svetlosivom bojom, jer je fotokatoda od cezijum-antimonida najosetljivija na tu boju svetlosti. U slučaju primene ulazne fotokatode od cezijum-oksida primećuju se znatne tamne struje, koje su posledica termoemissionih procesa na fotokatodi. Tamne struje se pojačavaju kroz naredne kaskade i na izlaznom ekranu daju intenzivno svetao fon, što je nepoželjno i štetno. Da bi se smanjile tamne struje, pri promeni kaskadnih pretvarača slike sa ulaznom fotokatodom od cezijum-oksida, nužno je hlađenje fotokatode (od -40°C do -50°C).

Iz raspoložive literature se vidi da su kaskadni elektronsko-optički pretvarači slike već u upotrebi kod vojnih IC-uređaja, namenjenih za osmatranje i nišanje.

Elektronsko-optički pretvarači slike sa fotoemisionom katodom otkrivaju objekte na bazi njihovog sopstvenog IC-zračenja, ako im je površinska temperatura veća od 250 do 300°C . Za otkrivanje objekata niže površinske temperature moraju se primenjivati fotootpornici. Zato su već poodavno vršena istraživanja radi ispitivanja mogućnosti stvaranja elektronsko-optičkih pretvarača slike na bazi fotootpornika u ulozi katode. Princip rada takvih pretvarača slike se razlikuje od principa rada fotoemisionih pretvarača slike.

Zagrejana katoda (1) zrači snop elektrona (2) koji pada na površinu fotootpornika (3), malog pozitivnog potencijala u odnosu na katodu. Elektronski snop stvara struju kroz fotosloj, izazivajući pad potencijala na nje-

govoj površini, usled čega se deo elektrona (5) reflektuje u pravcu luminiscentnog ekrana (6). Ako se sada na fotootpornik projektuje IC-slika posmatranog objekta (4), onda poprečni otpor pojedinih tačaka fotoosetljivog sloja



Sl. 29 — Princip rada elektronsko-optičkog pretvarača slike sa fotootpornikom

se menja u saglasnosti sa intenzivnošću zračnog fluksa koji pada na te tačke. Promena otpora izaziva promenu struje i potencijala kroz fotootpornik u svakoj tački njegove površine, a što sa svoje strane menja i količinu elektrona koji se reflektuju sa odgovarajućih tačaka ovog u pravcu ekrana. Pošto je količina od fotootpornika reflektovanih elektrona zavisna od intenziteta zračnog fluksa koji pada na njega, to je i intenzitet zračenja ekrana proporcionalan zračnom fluksu. Prema tome, na ovaj način postoji mogućnost dobijanja slike posmatranog objekta pomoću fotootpornika, ako se na odgovarajući ekran fokusira reflektovani elektronski snop. Pored visoke integralne osetljivosti, koja je neophodna fotootpornicima za ovakve pretvarače slike, zahteva se takođe njihov veoma visok specifičan otpor u poprečnom pravcu (reda 10^9 om.cm), jer je neophodno dobiti dovoljne razlike potencijala između ozračenih i neozračenih tačaka na fotootporniku, kao i za sprečavanje »rasplinjavanja« naelektrisanja po površini koja reflektuje elektrone.

Podela upadnog i reflektovanog elektronskog snopa se može izvesti pomoću magnetnog ili elektrostatičkog polja. U literaturi, navedenoj uz ovu knjigu, mogu se naći detaljniji podaci i o jednom i o drugom tipu ovih elektronsko-optičkih pretvarača slike.

se menja u saglasnosti sa intenzivnošću zračnog fluksa koji pada na te tačke. Promena otpora izaziva promenu struje i potencijala kroz fotootpornik u svakoj tački njegove površine, a što sa svoje strane menja i količinu elektrona koji se reflektuju sa odgovarajućih tačaka ovog u pravcu ekrana. Pošto je količina od fotootpornika reflektovanih elektrona zavisna od intenziteta zračnog fluksa koji pada na njega, to je i intenzitet zračenja ekrana

NEKI PRIJEMNICI ZRAČNE ENERGIJE I NJIHOVA PRAKTIČNA PRIMENA

U optičkoj oblasti spektra elektromagnetnih talasa rasprostranjena su četiri metoda za registrovanje njihove energije zračenja: vizuelni, metod fotografije, fotoelektrični i radiometrijski metod. Po pravilu, kod vojnih IC-uređaja, za registrovanje IC- zračenja se primenjuje fotoelektrični metod, koji se karakteriše veoma visokim stepenom osetljivosti i malom inercijom, budući da se tu vrši neposredna predaja energije kvanta zračenja elektronima fotoosetljive materije.

Detaljnija klasifikacija prijemnika zračenja u optičkoj oblasti spektra bila bi:

Neselektivni prijemnici: termoelementi, bolometri, pneumatički indikatori, evaporografi, radiometri, optičko-akustični prijemnici.

Selektivni prijemnici: fotoelementi sa spoljnim fotoefektom, fotoelementi s unutrašnjim fotoefektom (fotootpornici), fotoelementi s fotogalvanskim efektom, fotoelementi s bočnim (lateralnim) fotoefektom, fotoelementi s fotomagnetnim efektom.

Kod neselektivnih prijemnika se energija zračenja pretvara u toplotnu energiju, što je u osnovi njihovog principa rada. S obzirom na to, ovim prijemnicima se postavljaju izvesni specifični zahtevi:

— prijemna površina prijemnika mora imati visoku sposobnost apsorbovanja, što se, najčešće, postiže »zacrnljenjem«
prijemne površine;

— inercija prijemnika zavisi od brzine porasta njegove temperature. Sledstveno tome, on mora imati sasvim male dimenzije i male toplotne gubitke.

U vezi s tim treba razraditi konstrukcije toplotnih prijemnika uz primenu dubokog hlađenja i vakuuma, za čije se prijemne površine koriste poluprovodnici i dielektrici.

Osnovne karakteristike toplotnih prijemnika koji se šire koriste u istraživačkim razvojnim laboratorijama

Tip prijemnika	Prijemna površina u [cm ²]	Temperatura u [°K]	Vremenska konstanta u [sec]	Prag osetljivosti u [W/cm ²]
Termoelement Fasta	1,5.10 ⁻²	300	8.10 ⁻³	1,3.10 ⁻⁷
Termoelement metalni	5.10 ⁻³	300	3,6.10 ⁻²	10 ⁻⁸
Termoelement Kozireva	2,4.10 ⁻²	300	—	2,3.10 ⁻⁹
Metalni bolometar Brokmana	5,3.10 ⁻²	300	50.10 ⁻⁴	9.10 ⁻⁶
Poluprovodnički bolometar Muna	0,5.10 ⁻²	300	50.10 ⁻⁴	5.10 ⁻¹⁰
Dielektrični bolometar Klejsa	0,5.10 ⁻²	300	0,1	100.10 ⁻¹⁰

Razume se da ovi toplotni prijemnici ne mogu biti uspešno upotrebljeni za registraciju procesa koji vremenski brzo protiču. S vojne tačke gledišta interesantni su i superprovodljivi bolometri visoke osetljivosti u širokom dijapazonu infracrvenog dela spektra i male inercije. Efekat superprovodljivosti, kod pretežne većine materijala, javlja se tek na veoma niskim temperaturama (kod olova na 4°K, kod tantala na 3,22—3,23°K, itd.), a te veoma niske temperature se mogu postići primenom hlađenja pomoću agenasa tečnog helijuma. Takvi materijali, u uslovima superprovodljivosti, dobijaju sasvim velike temperaturne koeficijente otpora, što predstavlja jedan od neophodnih uslova za dobijanje visokoosetljivih bolometara. Toplotni kapacitet materijala, u uslovima superprovodljivosti, postaje izvanredno mali, a što je u stvari drugi uslov za ostva-

renje visokoosetljivih bolometara. Pored toga, gubici napona na prijemnom elementu na sasvim niskim temperaturama, naglo se smanjuju, težeći k nuli. Time je omogućeno dobijanje znatnog pojačanja korisnog signala, obično ograničen sopstvenim šumovima šeme, a sledstveno tome, poboljšava se prag osetljivosti prijemnika. Pojava superprovodljivosti nekih materijala već je poodavno otkrivena, a ispoljava se u tome što im u blizini apsolutne nule ($-273,16^{\circ}\text{C}$) električni otpor praktično pada na nulu.

Osnovne karakteristike nekih superprovodljivih bolometara

Autor	Dimenzije [mm ²]	Otpor [Ω]	Vremenska konstanta [sec]	Prag osetljivosti [W]	Tip punjenja
Endrjus	1,25	5	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-10}$	vakuum
Milton	0,8	—	$3 \cdot 10^{-4}$	$10 \cdot 10^{-10}$	vakuum
Nelson	0,8	—	$18 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-10}$	vakuum

Kod tzv. prijemnika sa spoljašnjim fotoefektom postoji pojava emisije elektrona s površine nekog tela, pod dejstvom zračnog fluksa koji pada na tu površinu. U normalnim uslovima kod svakog metala ima oko 10^{23} slobodnih elektrona u 1 cm^3 metala. Svaki od njih poseduje određenu rezervu energije i slobodno se kreću po svim mogućim pravcima unutar mase metala. Međutim, energija elektrona je još nedovoljna da bi oni mogli napustiti masu metala u kome se nalaze. Da se to desi, kako je već poznato iz kvantne teorije, slobodnim elektronima je nužno saopštiti dopunsku energiju, koja može biti i energija IC-zračenja, koju apsorbuje materija. Deo apsorbovane IC-zračne energije se troši na zagrevanje same materije a drugi na saopštavanje dopunske kinetičke energije elektronima, izbacujući ih iz mase materije. Na taj način, u slučaju spoljašnjeg fotoefekta, nastaje pretvaranje energije zračenja u kinetičku energiju elektrona, tj. u elektromagnetnu energiju (ako je početna brzina elektrona $v \neq 0$). Elektron može napustiti materiju (metal na primer) samo ako je energija zračenja, koju apsorbuje ta materija,

u stanju da preodoli silu veze između elektrona i površine tela i da elektronu saopšti neku brzinu v , tj.

$$h \cdot v = \varepsilon \cdot \varphi + \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Prvi član jednačine na desnoj strani ($\varepsilon \cdot \varphi$) predstavlja minimalnu potrebnu energiju »izlazni rad« koju treba saopštiti elektronu da bi ovaj bio »iščupan« iz mase materije, s brzinom $v = 0$. Veličina ove energije je konstantna za čiste metale i u srednjem osciluje od 1 do 5 eV (elektron-volti). U ovom slučaju sva energija fotona se troši na savlađivanje »potencijalne barijere«, pa se prethodna jednačina može napisati u obliku:

$$h \cdot \nu_0 = \varepsilon \cdot \varphi_0,$$

gde je ν_0 granična učestanost elektromagnetnog zračenja, pri kojoj elektroni »izleću« s površine metala nultom brzinom.

Graničnoj učestanosti ν_0 odgovara talasna dužina λ_0 , koja se naziva »dugotalasnom« ili »crvenom« granicom fotoefekta, pri čemu je:

$$\lambda_0 = \frac{1,236}{\varphi_0},$$

gde je λ_0 u mikronima a φ_0 u elektron-voltima.

Smanjenje »izlaznog rada«, i sledstveno tome, povećanje dugotalasne granice osetljivosti spoljnog fotoefekta se može postići adsorbovanjem (na površini metala) atoma ili jona materije s manjim »izlaznim radom«. U tom slučaju na površini metala se obrazuju dipolni slojevi s pozitivnim naelektrisanjima okrenutim na spoljnu stranu, koji smanjuju veličinu »potencijalne barijere«. Svi slojevi sa spoljašnjim fotoefektom, koji su osetljivi na vidljivo i IC-zračenje, sastoje se iz nekoliko komponenti. Spoljašnji fotoefekt praktično nastupa trenutno, posle početka ozračivanja površine fotoelementa (inercija ne prelazi $3 \cdot 10^{-9}$ sec). S tačke gledišta praktične primene, kod IC-uređaja najinteresantnije su sledeće karakteristike spoljašnjeg fotoefekta.

Integralna osetljivost; to je odnos fotostruje u električnom kolu prijemnika prema snazi zračnog fluksa, koji pada na prijemnik. Integralna osetljivost se izražava u mikroamperima po vatu ($\mu\text{A/W}$) ili u slučaju vidljive svetlosti u mikroamperima po lumenu ($\mu\text{A/lm}$). Za proračun integralne osetljivosti, često se primenjuje sledeći izraz:

$$S = \frac{I_F \cdot l^2}{q \cdot \alpha} = \frac{I_F}{\Delta \cdot q} = \frac{I_F}{\Phi},$$

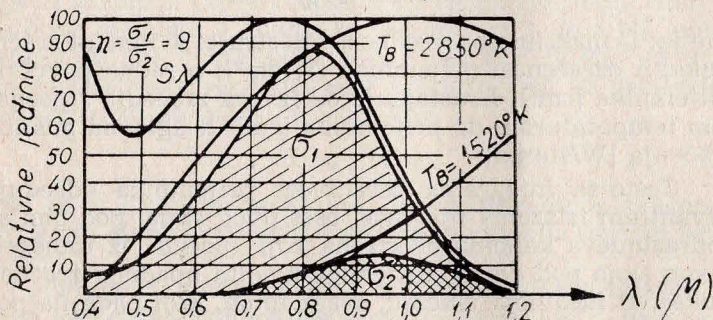
gde je: I_F maksimalna vrednost fotostruje; Φ upadni zračni fluks; Δ ozračenost prijemnika [W/cm^2]; q radna površina prijemnika [cm^2]; l rastojanje od izvora zračenja s poznatom temperaturom od prijemnika [cm]; α uglovna gustina zračenja [W/sterad].

Često se integralna osetljivost prijemnika određuje »kvantnim izlazom« njegovog osetljivog sloja, pod čim se podrazumeva količina elektrona koji »izleću« iz fotoosetljivog sloja pod dejstvom jednog kvanta upadnog zračnog fluksa. U idealnom slučaju, svaki foton, koji pada na površinu fotoosetljivog sloja, može osloboditi jedan elektron, tj. kao teoretska granica fotoelektronske emisije se pojavljuje »kvantni izlaz« jednak jedinici. Doduše, takav »izlaz« se praktično nikada ne postiže. Njegova veličina zavisi od sveukupnih fizičkih osobina date materije, a u najboljem slučaju uzima se da »kvantni izlaz« fotoemisionih slojeva ne prelazi 10 do 20%.

Spektralna osetljivost; ona definiše zavisnost osetljivosti prijemnika od talasnih dužina monohromatskog zračnog fluksa, koji pada na prijemnik. Spektralna osetljivost, u krajnjem, određuje efektivnost primene IC-uređaja pri njegovom zajedničkom radu sa izvorom energije zračenja.

Prag osetljivosti; to je minimalna veličina zračnog fluksa u vatima ili luksima (za vidljivu svetlost), koja još može biti otkrivena datim prijemnim uređajem. Prag osetljivosti prijemnika određuje se veličinom šumova u električnom kolu prijemnika. On se u osnovi određuje strujnim gubicima i tamnim strujama koje su posledica autoemisije i termoelektronske emisije. Kod IC-uređaja spoljašnji fotoefekat se iskorišćava u elektronsko-optičkim

pretvaračima slike i fotoelektronskim pojačavačima, a takođe i kod noćnih predajnih televizijskih cevi povišene osetljivosti. Kod ovih uređaja se, u svojstvu fotokatoda, primenjuju cezijum-oksidni, cezijum-antimonidni i Bi-Ag-Cs fotoosetljivi slojevi, a u novije vreme i višebazne fotokatode, koje se odlikuju visokom integralnom osetljivošću i veoma malim tamnim strujama, uz visok stepen osvetljenosti slike, bez hlađenja fotokatode.



Sl. 30 — Zavisnost efektivnosti prijemnika cezijum-oksidnog fotoosetljivog sloja od zračenja električnih lampi sa usijanom niti i različitim temperaturama boje niti

Osnovne karakteristike fotokatoda sa spoljašnjim fotoefektom

Vrsta fotokatode	Talasna dužina max. osetljivosti (μ)	Dugotalasna granica λ 0,01 [μ]	„Kvantni izlaz“ za vidljivi deo spektra	Integralna osetljivost [μ A/lm]
Ag-O-Cs	0,85	1,4	0,005	50
Sb-Cs	0,45	0,65	0,1	25
Sb-Cs (O)	0,48	0,70	0,2	90
Bi-Ag-O-Cs	0,48	0,75	0,1	90
Sb-K-Na	0,4	0,62	0,1	60
Sb-K-Na-Cs	0,4	0,82	0,2	200

Prijemnici s unutrašnjim fotoefektom koriste tzv. fotootpornike. Fotootpornici su u stvari poluprovodnici, koji

pod dejstvom energije zračenja menjaju svoj unutrašnji otpor. Za razliku od metala, kod kojih su atomi kristalne rešetke lišeni spoljašnjih valentnih elektrona, kod poluprovodnika, pri niskim temperaturama, većina elektrona je povezana s atomima rešetki. Međutim, ova veza je kratkotrajna. Učestvujući u toplotnom kretanju, atomi osciluju, gubeći valentne elektrone. Prema tome, pri zagrevanju poluprovodnika povećava se količina onih elektrona koji su sposobni da prenose struju, a ovo je ekvivalentno smanjenju električnog otpora poluprovodnika. To je prva razlika poluprovodnika od metala, za koje je karakteristično povećanje otpora s porastom njihove temperature. Druga osobenost poluprovodnika je što kod njih nosioci struje nisu samo slobodni elektroni, već i atomi koji su ostali bez spoljnih valentnih elektrona, zbog čega su postali pozitivno naelektrisani (joni). Poslednjih godina je takođe ustanovljeno da postojanje primesa u poluprovodnicima (jer čistih prirodnih poluprovodnika u prirodi nema) izvanredno jako povećava (nekada i za desetine miliona puta) njihovu specifičnu elektroprovodljivost. Međutim, kod metala elektroprovodljivost opada s porastom primesa u njima. Uvođenje primesa u poluprovodnike se dozvoljava radi smanjenja »širine zabranjene zone« (ΔE), koja se izražava u elektron-voltima. Pod »širinom zabranjene zone« podrazumeva se minimalna veličina energije koju treba saopštiti elektronu da ovaj pređe iz vezanog u slobodno stanje (u zonu provodljivosti). Širina zabranjene zone, isto kao i »izlazni rad« u slučaju spoljašnjeg fotoefekta, određuje dugotalasnu granicu osetljivosti poluprovodnikovog fotootpora.

Vrednosti u gornjoj tabeli su date po Frederiksu i Blantu. Većina autora karakteriše dugotalasnu granicu osetljivosti onom talasnom dužinom za koju osetljivost iznosi 50% od maksimalne vrednosti (dok se poneki autori drže granice osetljivosti 10% od maksimuma).

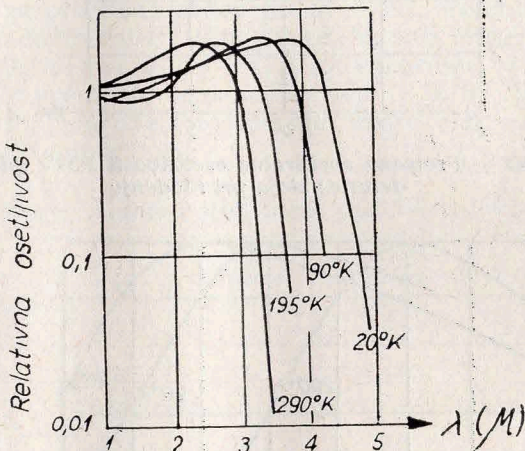
U IC-uredajima, kao prijemnici tipa fotooptornika, najpre su našli primenu: olovo-sulfid (PbS), olovni-telurid (PbTe), olovo-selenid (PbSe). Sve su to poluprovodnici s elektroprovodnostima oba tipa (elektronskog i šupljinskog tipa). Pri niskim temperaturama pokretljivost nosi-

Tabela vrednosti za širinu zabranjenih zona i dugotalasnu granicu osetljivosti pri $t = 20^{\circ}\text{C}$ (neka od ovih jedinjenja imaju samo teorijsku vrednost)

Poluprovodničko jedinjenje	ΔE [eV]	λ_0 [μ]
PbS	0,4	3,1
PbTe	0,34	3,7
PbSe	0,25	5
InSb	0,16	7,8
InAs	0,3	4,1
GaSb	0,65	1,9
Mg_3Sb_2	0,8	1,55
Mg_2Sn	0,22	5,6
Bi_2S_3	1,25	0,98
Ag_2S	0,9	1,38
MoS_2	0,6	2,1
HgTe	0,4	3,1
ZnSb	0,55	2,25
Cd_3As_2	0,6	2,1

laca struje jako raste i za PbS (olovo-sulfid) dostiže (pri temperaturi 77°K) 10^4 cm^2/sec . V, a pri 20°K ide na 10^5 cm^2/sec . V. Ovo i obezbeđuje povećanje osetljivosti fotootpornika pri njihovom hlađenju. Za razliku od toplotnih indikatora, fotootpornici imaju jasno izražen maksimum osetljivosti i malu inerciju. IC-uređaji u praksi upotrebljavaju ne prirodne, već veštačke fotoosetljive slojeve. Poslednjih 10—15 godina su razrađena dva metoda za dobijanje fotoosetljivih slojeva — hemijski i fizički. Kod hemijskog metoda tanki fotoosetljivi sloj se taloži iz rastvora u prisustvu oksidatora. Posle prekrivanja zaštitnim lakom ovaj sloj se može ostaviti otkriven i na vazduhu. Po fizičkom metodu osetljivi sloj se dobija isparavanjem u vakuumu, naknadnim zagrevanjem u atmosferi s malim pritiskom kiseonika ili neposrednim isparavanjem u atmosferi s niskim pritiskom kiseonika. Fotoosetljivi slojevi (debljine oko 1 mikron) fotootpornika, dobijeni isparavanjem, obrazuju zrnastu strukturu, koja se sastoji iz skupina kristala dimenzija 0,1—1 μ . Otpor slojeva olovo-sulfida i olovo-selenida, na sobnoj temperaturi, jeste reda 0,5 — 2 M Ω . Pri hlađenju njihov otpor jako raste, tako

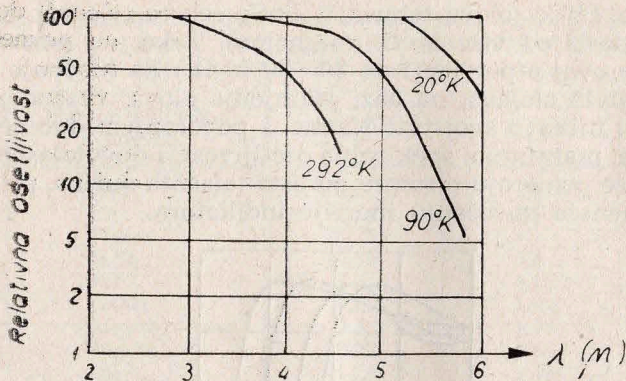
da za PbTe (olovo-telurid) i PbSe (olovo-selenid) dostiže vrednosti od više $M \Omega$ (megaoma). Tako, na primer, za PbTe ovaj otpor ide i do 30—50 $M \Omega$. Za hlađenje fotoosetljivih slojeva, na bazi jedinjenja olova, vezano je još jedno njihovo svojstvo. Naime, s povećanjem dubine hlađenja, maksimum spektralne osetljivosti i dugotalasna granica se pomeraju u smeru porasta talasnih dužina, pri istovremenom povećanju inercije indikatora.



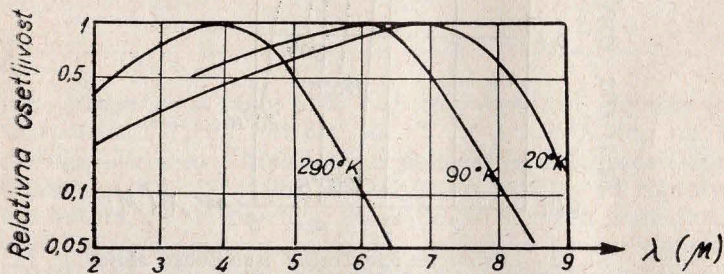
Sl. 31 — Promena spektralne osetljivosti sloja PbS (olovo-sulfid) sa hlađenjem

Sa slike se vidi da za veće talasne dužine osetljivost fotootpornika brzo opada. Krive su date u polulogaritamskoj razmeri.

Integralna osetljivost fotootpornika, na bazi jedinjenja Pb (olova), jako se menja sa promenama temperature. Tako, na primer, kod PbTe, na sobnoj temperaturi, postaje nemerljivo mala. Po pravilu, integralna osetljivost jedinjenja olova raste sa snižavanjem temperature do temperature tečnog vazduha, posle čega zadržava praktično konstantnu vrednost. PbS fotootpornici mogu raditi i pri sobnim temperaturama, tj. bez hlađenja, mada im se tada osetljivost znatno smanjuje.



Sl. 32 — Promena spektralne osetljivosti PbTe (olovo-telurid) sloja pri hlađenju



Sl. 33 — Promena spektralne osetljivosti PbSe (olovo-selenid) sloja pri hlađenju

Ispitivanjem je ustanovljeno da se pri sobnoj temperaturi osetljivost fotooptornika menja približno za 5% s promenom temperature za 1°C. Granična osetljivost PbS je najmanje 100 puta veća od osetljivosti savremenih termoelemenata. Minimum energije, koju je još moguće otkriti PbS fotooptornikom, u blizini maksimuma njegove osetljivosti, a za propusni opseg od 1 Hz, ima veličinu reda 10^{-12} W. Smit je dao proračun osetljivosti nehlađenog PbS na zračenje s temperaturom od 200°C s propusnim opsegom od 1 Hz, pri čemu je dobio da ona u tom slučaju iznosi $\Phi_p = 10^{-10}$ W, a hlađenje čvrstom ugljenom kiselinom

povećava osetljivost i omogućava registrovanje zračenja s $\lambda = 2,2 \mu$ snagom od 4.10^{-12} W/Hz. Merenja su vršena pri učestanosti modulacije zračnog fluksa od 800 Hz.

Fotootpornik od PbTe, pri dubokom hlađenju, ima donju granicu osetljivosti (prag) takođe za 100 i više puta veću od praga osetljivosti savremenih termoelemenata. Može se očekivati da minimalna količina monohromatskog zračenja u maksimumu osetljivosti PbTe iznosi 10^{-12} — 10^{-11} W za propusno područje od 1 Hz. Fotootpornik od PbSe, pri temperaturi tečnog vazduha, ima integralnu osetljivost nešto manju od PbTe fotootpornika, 6—10 puta veću od savremenih termoindikatora, tj. 3.10^{-11} W. Za razliku od PbTe, PbSe fotootpornici imaju vidnu osetljivost na sobnoj temperaturi.

Proračunske vrednosti Mosa praga osetljivosti fotootpornika

Vrsta fotootpornika	T ⁰ K	Površina q [mm ²]	Talaska dužina zračenja λ [μ]	Osetljivost Φ_p [W]
PbS	273	1	—	5.10^{-14}
PbS	90	1	—	$0,8.10^{-14}$
PbS	293	10	2,2	2.10^{-11}
PbS	90	10	2,2	4.10^{-12}
PbTe	90	1	4	5.10^{-13}

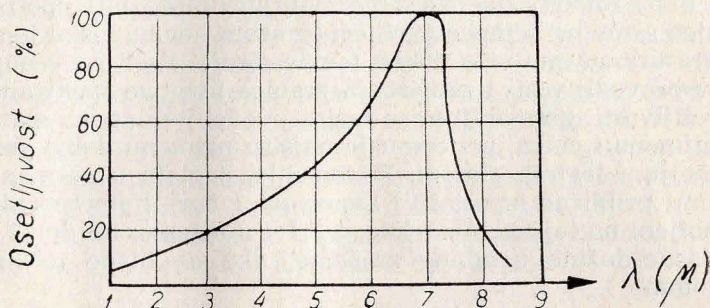
Pri registrovanju modulisanog zračnog fluksa veliki značaj ima inercija fotootpornika, koja se karakteriše: bilo frekventnom karakteristikom, tj. zavisnošću izlaznog signala (dobijenog na fotootporniku) od učestanosti modulacije zračnog fluksa koji pada na njega, bilo vremenskom konstantom fotootpornika, koja karakteriše vreme u toku kojeg signal dobija vrednost 50, 63, 90% od svoje maksimalne vrednosti. Vremenska konstanta fotootpornika je znatno manja nego kod toplotnih prijemnika zračne energije. Tako, na primer, vremenska konstanta PbS sa temperaturom od 293⁰K se koleba između vrednosti 10^{-4} —

— 10^{-5} sec. Zavisno od metoda dobijanja fotoosetljivog sloja od PbS, vremenska konstanta σ 0,5 može imati vrednost: od 1 do 2 pa do nekoliko stotina mikrosekundi pri fizičkom metodu, a pri hemijskom od nekoliko stotina mikrosekundi do 1 milisekunda. Za te fotootpornike postoji oštra zavisnost veličine vremenske konstante od temperature. Pri hlađenju čvrstom ugljenom kiselinom ili tečnim vazduhom, vremenska konstanta može dostići vrednost 10^{-2} sec. Iznad 200°K vremenska konstanta se brzo smanjuje s porastom temperature. U prvoj približnosti ova promena (zavisnost) se kreće po eksponencijalnom zakonu. Kod PbTe i PbSe je znatno manja inercija. Tako, vremenska konstanta PbTe iznosi 5 mikrosekundi, a PbSe 0,5 — 1,5 mikrosekundi, bitno se ne menjajući sve do dubokog hlađenja. Ovo daje mogućnost da se pomoću ovih fotootpornika registruje zračni fluks modulisan s učestanošću do 20 KHz, bez vidnog smanjenja izlaznog signala.

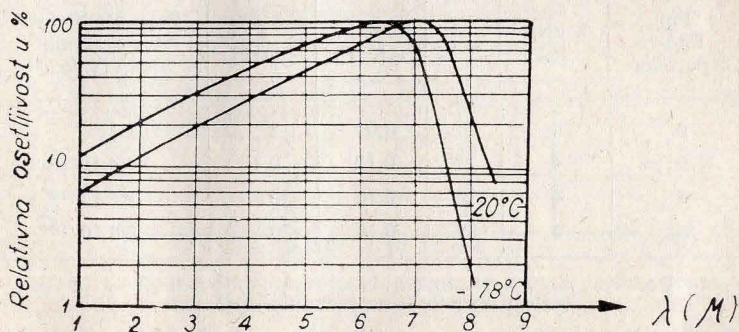
Fotootpornici na bazi jedinjenja Pb su našli široku primenu u IC-uređajima, u ulozi osetljivih elemenata sistema za upravljanje vatrom, zatim u sistemima za samonavođenje rakete, kod blizinskih upaljača i izviđačkih IC-uređaja.

Bez obzira na uspehe postignute u oblasti visokoosetljivih i maloinercionih fotootpornika na bazi jedinjenja Pb, otprilike počev od 1952. godine, osobita pažnja je poklonjena izučavanju poluprovodničkih jedinjenja obrazovanih od elemenata II, III i V grupe periodnog sistema, a takođe i od germanijuma. Ovo je bilo podstaknuto i okolnošću da je tehnologija dobijanja ovih fotootpornika prostija od tehnologije dobijanja slojeva sa Pb, a osim toga, ovi fotootpornici uspešno konkurišu slojevima s Pb u pogledu dugotalasne granice osetljivosti, inercije i veličine sopstvenih šumova. U svojstvu indikatora IC-zračenja, od svih ranije pomenutih jedinjenja, najširu primenu su dobili indijum-antimonid (InSb) prijemnici, jer imaju veoma male sopstvene šumove (do 10^{-8} V), što omogućava registrovanje veoma malih IC-zračenja. Vremenska konstanta InSb na sobnoj temperaturi (20°C) i pri dubokom hlađenju je do 10^{-7} sec. Eksperimentalno je utvrđeno da, pri hlađenju InSb tečnim vazduhom, vreme za koje izlazni signal

dostiže 63% svoje maksimalne vrednosti iznosi približno 0,8 mikrosekundi — na sobnoj temperaturi nije se mogla izmeriti.



Sl. 34 — Spektralna osetljivost fotootpornika InSb pri 20°C



Sl. 35 — Krive spektralne osetljivosti InSb za razne temperature

Pored InSb fotootpornika, veći interes privlači germanijum, koji takođe omogućava različite metode registracije IC-zračenja. Od glatke površine germanijuma se reflektuje oko 50% vidljive svetlosti, ali se u IC-oblasti spektra koeficijent refleksije smanjuje. Otpornost čistog germanijuma je 47 Ω cm, širina zabranjene zone je 0,75

eV pri 0°K. Germanijum je u hemijskom pogledu vrlo postojan. U ulozi indikatora IC-zračenja može biti upotrebljen kao: fotootpornik, fotodioda i elemenat koji menja svoju dielektričnu konstantu pri ozračivanju IC-zracima. U ulozi fotootpornika čist germanijum može biti upotrebljen samo pri temperaturi tečnog azota, jer na višim temperaturama ima vrlo velike tamne struje. Radi povećanja fotoprovodljivosti i proširenja granica njegove spektralne osetljivosti, germanijum se legira uvođenjem atoma zlata, antimona i cinka, pri čemu je najširu primenu dobio germanijum legiran zlatom. Rastvorljivost zlata u germanijumu približno iznosi 10^{15} atoma na 1 cm^3 . Fotootpornici dobijeni na taj način su fotoosetljivi u dijapazonu do 10μ talasne dužine upadnog zračenja, ako se hlade tečnim azotom.

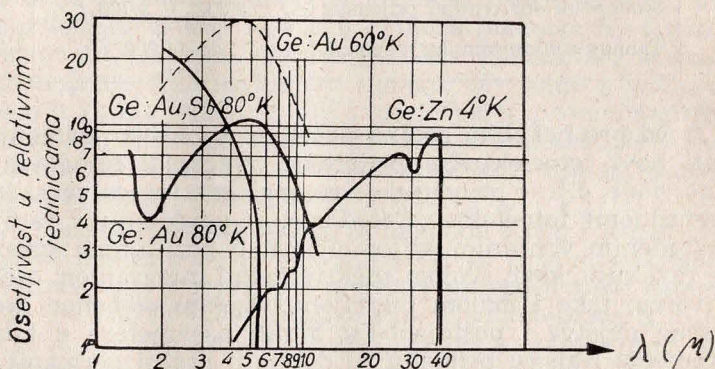
Osnovni parametri industrijskih uzoraka germanijumskih fotootpornika legiranih zlatom

Tip foto-otpornika	$\lambda \text{ max}$ [μ]	T°K	Površina q [cm^2]	δ [μsec]	Prag osetljivosti na zračenje $\lambda=4\mu$ [W/cm^2]
p	4	77	0,04	1	1.10^{-9}
p	4	77	0,12	0,1	$4,4.10^{-10+}$
n	4	90	0,16	20	$1,6.10^{-10}$
n	4	90	0,16	20	$3,8.10^{-13+}$

Znak + se odnosi na računске vrednosti

U literaturi se mogu pronaći podaci koji govore o tome da su neke firme razradile germanijumske fotootpornike p-tipa, legirane zlatom, za rad u oblasti talasnih dužina $1 - 10 \mu$, pri hlađenju tečnim azotom. Ovakvi fotootpornici imaju prag osetljivosti (ekvivalentnu snagu šuma) od 5.10^{-11} W pri temperaturi 78°K i $1,6.10^{-11} \text{ W}$ pri temperaturi 60°K . Vremenska konstanta je manja od 0,2 mikrosekunde, a PbSe ima u tim uslovima istu osetljivost za talasne dužine $2-5 \mu$, s vremenskom konstantom od 30 mikrosekundi.

Takođe se u literaturi susreću podaci o germanijumskim fotootpornicima, legiranim cinkom koji rade na temperaturi tečnog helijuma tipa 536 — IZIP. Njihova osetljivost se proteže do 40μ talasnih dužina zračenja, uz vremensku konstantu od 0,01 mikrosekunde. Dimenzije fotoosetljivog sloja su 2×2 mm. Prag osetljivosti na zračenje crnog tela temperature $T = 500^\circ\text{K}$ karakteriše se ekvivalentnom snagom šumova od $4 \cdot 10^{-9}\text{W}$ za propusni opseg od 1 Hz i učestanost modulacije zračnog fluksa od 800 Hz. Navode se i podaci o tome da je — na bazi germanijumskog fotootpornika legiranog Sb koji radi na temperaturi tečnog helijuma — realizovan laboratorijski uređaj za registraciju zračenja u dijapazonu talasnih dužina 55 — 100μ , uz vremensku konstantu od 10^{-5} sec.



Sl. 36 — Spektralna osetljivost germanijumovih fotootpornika, legiranih raznim primesama

Kod prijemnika s fotogalvanskim efektom (ventilni) pretvaranje zračne energije u električnu, posredstvom fotoosetljivih slojeva, takođe se može ostvariti pomoću fotogalvanskog (ventilskog) efekta. Suština ovog efekta je u tome da se pri dodiru poluprovodnika i metala formira tanki međusloj s jednostranom provodljivošću. Pri ozračivanju takvog prijemnika zračnim fluksom, nosioci struje se mogu premeštati samo u jednom smeru, na primer od poluprovodnika k metalu, stvarajući između njih razliku

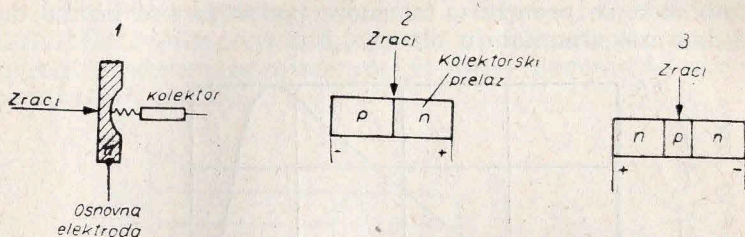
potencijala i struju u spoljnom kolu. U poređenju sa fotoemisionim slojevima, ventilni prijemnici imaju znatno veću integralnu osetljivost, ali, ipak nisu našli široku primenu kod IC-uređaja zbog velike inercije, nelinearne svetlosne karakteristike pri porastu opterećenja i relativno malog radnog dijapazona (0,5—1,4 μ).

Uporedne vrednosti integralne osetljivosti na zračenje izvora s temperaturom boje $T_b = 2850^\circ\text{K}$

Vrsta prijemnika	Integralna osetljivost S [$\mu\text{A}/\text{lm}$]
Prijemnik sa spoljaš. fotoefektom	150 — 200
Srebro-sulfidni ventilni prijemnik	8.000 — 8.700
Talijum-sulfidni ventilni prijemnik	do 11.000

Od pre nekoliko godina počeli su se široko primenjivati novi fotoelektrični prijemnici zračenja: fotodiode i fototriode, čiji je princip dejstva analogan fotogalvanskom (ventilnom) fotoefektu. Fotodiode, u poređenju s ranije razrađenim ventilnim prijemnicima, u pozitivnom smislu se razlikuju, kako svojom spektralnom i integralnom osetljivošću, tako i malom inercijom, visokim stepenom korisnog dejstva i postojanošću bitnih parametara u toku vremena. Najširu primenu su dobile u praksi germanijumove fotodiode.

Ove fotodiode mogu biti uključene u šemu za registrovanje zračnog fluksa i to u dva režima: na red s izvorom jednosmerne struje s naponom od nekoliko volti do 80—100 V (fotodiodni režim) i bez izvora struje (ventilni režim); u prvom slučaju se postiže znatno veća osetljivost prijemnika. Fotodioda s tačkastim kontaktom je tanka pločica monokristala germanijuma elektronske provodljivosti (n-tipa) i sa udubljenjem na unutrašnjoj strani. Na tom mestu na germanijum se vezuje kolektor-metalna elektroda od opružne volframske žice. Pri ozračivanju spoljašnje površine germanijumske pločice, nad vrhom kolek-



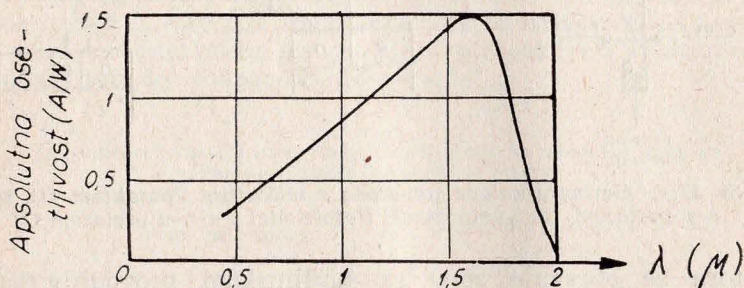
Sl. 37 — Germanijumove fotodiode s tačkastim kontaktom (1), sa n-p prelazom, (2) i umnoživači (fototriode) s n-p-n prelazom (3)

tora se obrazuje zona sa šupljinskom provodljivošću prečnika oko 1 mm, u kojoj se stvara prelaz tipa n-p, koji uslovljava prelaz u zaprečnom sloju. Konstruktivno, ove fotodiode se izvode u obliku cilindra prečnika 5—6 mm i dužine 10—12 mm. Germanijumska pločica se, pomoću smola postojanih na toplotu i vlagu, učvršćuje u jednu od čeonih strana ovog cilindra i ta strana je prijemna strana fotodiode. S druge strane cilindra je smešten izvod kolektora. Fotootpornici s kolektorima od indijuma (umesto od volframa), veće su osetljivosti.

Germanijumske pločaste fotodiode s n-p i n-p-n prelazom izrađuju se iz pravougaonih pločica monokristala germanijuma s različitim znacima provodljivosti. Dimenzije pločica su reda 1x1x3,5 mm. Kod fotodioda s n-p-n prelazima, oba prelaza se postavljaju na rastojanju od oko 0,05 mm.

Osetljivost sva tri tipa fotodioda zavisi od mesta upada zračnog fluksa na površinu germanijuma. Najveći efekat se postiže kada zračni fluks pada u oblast od nekoliko desetih delova milimetra od prelaza. Germanijumske fotodiode konstruktivno imaju male gabaritne dimenzije. Tako, na primer, kod jedne vrste fotodiode francuskog porekla »efektivna površina« iznosi 1,05 mm². Tamne struje, na sobnoj temperaturi, kod germanijumovih fotodioda u fotodiodnom režimu imaju vrednosti od 3 do 10 μ A, s tim što za porast temperature od 1°C rastu za 2—3% kod fotodioda s tačkastim kontaktom, odnosno za 10% kod pločastih fotodioda. Spektralna osetljivost germanijumovih

fotodioda se proteže u talasnom području sve do 1,8 do 2 μ , s maksimumom u blizini 1,5 μ .



Sl. 38 — Kriva spektralne osetljivosti germanijumovih fotodioda

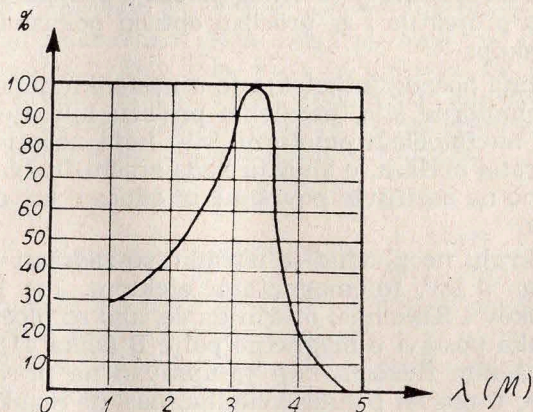
Za razliku od starih ventilnih prijemnika, germanijumove fotodiode imaju vrlo malu inerciju. Voltamperne karakteristike germanijumovih fotodioda zavise od njihovog tipa. Tako, na primer, za fotodiodu s tačkastim kontaktom, linearne voltamperne karakteristike se narušavaju pri povećanju intenziteta osračivanja. Međutim, pločaste fotodiode imaju voltamperne karakteristike s dobrom linearnošću pri maksimalnoj veličini napona zasićenja (1,5 — 4,5 V), a njihova paralelnost je određena proporcionalnošću struje i veličinom zračnog fluksa.

Vrednosti osnovnih parametara germanijumovih fotodioda

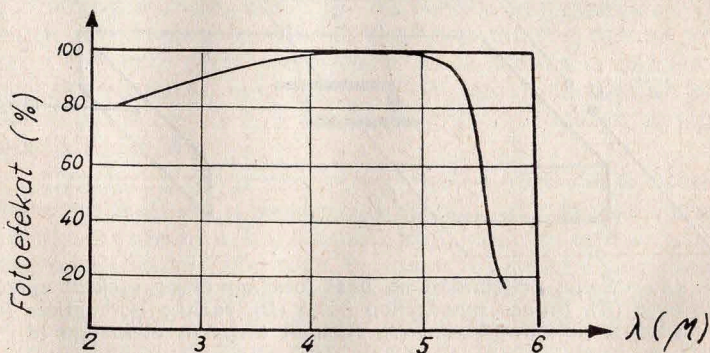
Tip fotodiode	Struja	Temperaturni koeficijent tamne struje [%]	Otpor [om]	Osetljivost [A/lm]
S tačkastim kontaktom	1 — 2mA	2 — 3	20.000	0,1
n-p	1 — 10 μ A	10	10 ⁷	0,03
n-p-n	20 — 40 μ A	10	10 ⁵	3 — 10

Zahvaljujući razvoju novih poluprovodničkih jedinjenja, granice osetljivosti savremenih fotodioda su se

proširile. Pre nekoliko godina su razvijene fotodiode na bazi InSb i InAs, visokog stepena osetljivosti pri maloj inerciji. Međutim, za njihov rad je nužno hlađenje do temperatura 75 do 77°K.



Sl. 39 — Spektralna osetljivost InSb (indijum-antimonid) fotodiode



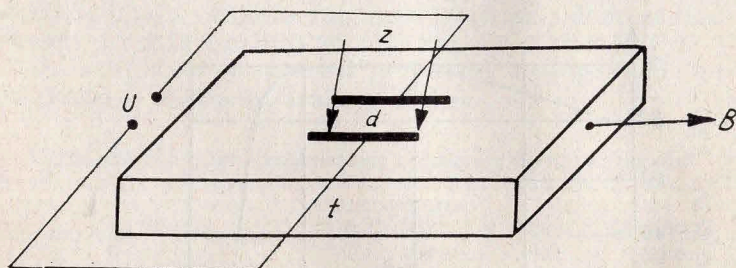
Sl. 40 — Spektralna osetljivost InAs (indijum-arsenid) fotodiode

Dalja istraživanja fotoelektričnog efekta kod germanijumovih fotodioda dovela su do otkrivanja tzv. lateralnog (bočnog) fotoefekta, pri nejednorodnom ozračivanju

površine prijemnika. Pre nekoliko godina, na Zapadu su se pojavila saopštenja o izradi, na bazi prijemnika s bočnim fotoefektom, uređaja: za određivanje pravca izvora zračenja; za procenu prostornog položaja projektila; za stabilizaciju projektila i za precizni optički pokazivač precesije žiroskopa.

Sušтина бочног фотоэффекта је у nastanku dopunske fotoelektromotorne sile, paralelne prelazu i u njenom davanju na fotoelektromotornu silu koja nastaje između dveju strana prelaza, u slučaju kada zračni fluks pada nesimetrično na osetljivu površinu u odnosu na osu fotoelementa.

Na kraju neophodno je ukratko se zadržati i na prijemnicima s tzv. fotomagnetnim efektom. Još 1934. godine Noskov i Kikoin su otkrili da će, ako se pločica poluprovodnika postavi u magnetno polje B (slika 41) i ako se ozrači zračnim fluksom koji je upravan na pravac linija sile polja, u pločici poluprovodnika, nastati razlika potencijala, upravna na polje i zračni fluks. Ova pojava je nazvana »fotomagnetni efekat«.



Sl. 41 — Šema prijemnika na bazi fotomagnetnog efekta: upadno zračenje (Z), pravac magnetnog polja (B), razlika potencijala (U), pločica poluprovodnika (t), razmak linijskih elektroda (d)

Kasnije su detaljnija istraživanja nastavljena sa germanijumom, silicijumom, olovnim-sulfidom, indijum-antimonidom, indijum-arsenidom i Mg_2Sn . Najohrabrujući rezultati su dobijeni pre nekoliko godina, sa dovoljno čistim uzorcima indijum-antimonida.

Ako se ozrači jedna od površina pravougaonog uzorka nekog od napred navedenih jedinjenja, na njihovom površinskom sloju će doći do obrazovanja paraova »elektron-šupljina«, koji potom počinju da difundiraju unutar uzorka i pod dejstvom poprečnog magnetnog polja skreću u suprotnim smerovima. Kao rezultat toga na uzorku se stvara razlika potencijala, koja je upravna na magnetno polje i pravac zračnog fluksa. Napon između dve linijske elektrode, postavljene na uzorku na međusobnom rastojanju d [cm], može se izračunati iz obrasca:

$$U = I \cdot d \cdot B \cdot V \cdot 10^8 \text{ [V]},$$

gde je: I — intenzitet zračnog fluksa $\left[\frac{\text{kvant}}{\text{sec. cm}^2} \right]$; B — jačina magnetnog polja [erst]; V — brzina površinske rekombinacije nosilaca struje [cm/sec].

Rezultati merenja spektralne osetljivosti čistih uzoraka InSb, InAs i Mg₂Sn su pokazali da su ovi indikatori zračenja pogodni za prijem u relativno dugotalasnom IC-području spektra.

U literaturi se opisuje fotomagnetni prijemnik na bazi monokristala InSb, koji radi na sobnoj temperaturi i poseduje spektralnu osetljivost do 7,5 μ talasne dužine zračenja. Njegov prag osetljivosti na zračenje, s talasnom dužinom od 6,6 μ , iznosi 6,7 · 10⁻¹⁰ W, pri dimenzijama prijemne površine od 0,71 mm² i propusnom opsegu pojačavača $\Delta f = 1$ Hz.

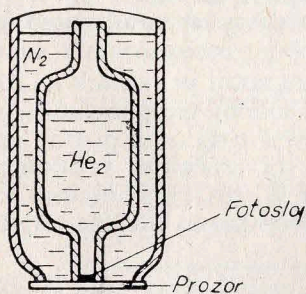
Ukratko, napred razmotreni metod otkrivanja IC-zračenja razlikuje se, u pozitivnom smislu, od primene fotootpornika neznatnim šumovima, koji znatno ograničavaju prag osetljivosti. Zbog toga, primena fotomagnetnog efekta InSb zahteva upotrebu pojačavača s vrlo malim sopstvenim šumovima. U protivnom, korist od primene ovog visokoosetljivog metoda registrovanja IC-zračenja, u širokom dijapazonu spektra, može biti znatno umanjena, zbog pogoršanja praga osetljivosti prijemnika u celini.

Većina prijemnika zračenja zahteva hlađenje pri svom radu. Hlađenje fotoosetljivih slojeva omogućava da se povećaju njihova integralna osetljivost, proširi interval spek-

tralne osetljivosti (u smeru porasta talasnih dužina kod nekih važnih prijemnika), smanje unutrašnji šumovi (koji ograničavaju prag osetljivosti IC-uređaja).

Uobičajena rashladna sredstva i rashladne temperature

Rashladno sredstvo i njegovo stanje	Postignuta temperatura	
	°K	°C
Led koji se topi	273,16	0
Čvrsta ugljena kiselina koja sublimiše	194,7	— 78,64
Tečan vazduh koji ključa	88 — 85	— 185 do 183
Tečan kiseonik koji ključa	90,2	— 183
Tečan azot koji ključa	77,4	— 195,8
Tečan neon koji ključa	23	— 250,16
Tečan vodonik koji ključa	20,5	— 252,66
Tečan helijum koji ključa	4,22	— 268,94



Sl. 42 — Šema kriostata za hlađenje prijemnika tečnim helijumom (He_2) u unutrašnjem sudu i tečnim azotom (N_2) u spoljašnjem sudu

U tabeli izneti metodi hlađenja su našli širu primenu u laboratorijskim uslovima i mogu se primeniti za hlađenje laboratorijskih uzoraka prijemnika. Ovakvo hlađenje se postiže stavljanjem fotoosetljivog elementa u kriostat.

Na slici 42 je, kao primer, data šema hlađenja visokoosetljivog germanijumovog fotootpornika legiranog cinkom (536-1ZIP firme »Perkin-Elmer«) — koji je namenjen za otkrivanje relativno niskotemperaturnih izvora zračenja.

Fotootpornik se hladi tečnim helijumom, kojim je ispunjena unutrašnja zapremina kriostata. Oko unutrašnjeg suda se postavlja spoljašnji sud ispunjen tečnim azotom, radi smanjenja brzine isparavanja tečnog helijuma. Sam fotootpornik se postavlja u vakuumu na

unutrašnjem zidu unutrašnjeg suda. Spoljašnji zid dna suda (prozor) se izrađuje od KRS-5 (jedna vrsta stakla). Fotootpornik se hladi do temperature od 4°K i ima sledeće parametre: dimenzije kriostatata su 45×15 [cm]; dimenzije fotoosetljivog sloja su od 2×2 [mm] do 20×20 [mm]; spektralna osetljivost 2—40 μ talasne dužine; inercija 0,01 mikrosekunda.

Kod razrade sistema hlađenja fotoosetljivih slojeva, namenjenih za vojne IC-uređaje, pored ekonomskog faktora, prvostepeni značaj ima sigurnost rada sistema, njegova težina i gabaritne dimenzije, vek trajanja i mogućnosti za upotrebu na svakom mestu i po svakom vremenu. Da bi se ocenile teškoće pri razradi pogodnih sistema, treba imati u vidu osobenosti rada ovih sistema koje se ukratko mogu rezimirati ovako:

— sistemi hlađenja se mogu postavljati: na raketnim projektilima sa IC-glavama za samonavođenje; satelitima, avionima, prenosnim IC-uređajima, itd. Stoga moraju biti relativno malih dimenzija i lagani a takođe da imaju i što manju potrošnju spoljašnje energije;

— vreme rashladnog dejstva rashladnog sredstva se može menjati u intervalu od nekoliko minuta do nekoliko dana, bez naknadnog dopunjavanja;

— sistemi za hlađenje moraju sigurno funkcionisati na bilo kojoj visini, pri bilo kojoj spoljašnjoj temperaturi i u bilo kom položaju;

— sistem za hlađenje mora obezbediti: maksimalnu sigurnost, a posebno držati rashladno sredstvo u čistom stanju, zatim mora posedovati mehaničku otpornost materijala sposobnu da podnosi veoma niske radne temperature.

Od svih pobrojanih, načelno teških, zahteva, najteži je hlađenje IC-indikatora.

Kod hlađenja fotoosetljivih slojeva u IC-uređajima, primenu mogu naći sledeća četiri osnovna tipa rashladnih sistema: kriostatni; oni koji rade na bazi adijabatskog širenja radne materije (rashladnog sredstva); sa direktnim hlađenjem kondenzovanim gasom (toplotna razmena); termoelektrični.

Kod prva tri sistema kao opšti uslov se postavlja zahtev: zatvoren sistem (radi obezbeđenja potrebne čistoće rashladnog sredstva) i dovoljna dugotrajnost rada bez naknadnog dopunjavanja.

U kosmičkim uslovima rada, otvoreni sistemi u principu su neupotrebljivi.

Od pre nekoliko godina naponi su usmereni na razradu rashladnih sistema na bazi iskorišćavanja termoelektričnih generatora, kada nije nužno duboko hlađenje. Još je 1834. godine otkriveno da, ako se propusti električna struja kroz termospoj, u smeru suprotnom smeru termostruje koja nastaje pri zagrevanju termospoja, dolazi do snižavanja temperature termospoja. Tako je francuski naučnik Peltije (Peltijeov efekt), propuštajući struju od Sb (antimona) ka Bi (bizmutu), postigao hlađenje spoja za 45°C u odnosu na okolnu temperaturu. Peltijeov efekt se naročito ispoljava na spoju dva poluprovodnika. Savremeni brzi razvoj fizike poluprovodnika omogućio je praktičnu primenu Peltijeovog efekta. Stoga se poslednjih godina intenzivno radi na istraživanju onih materijala koji imaju malu toplotnu provodljivost a visoku elektroprovodljivost i termoelektromotornu silu. Uporedo sa ovim razrađuju se konstrukcije termoelektričnih rashladnih sistema, zasad za hlađenje PbS (olovo-sulfid) fotootpornika. Termoelektrični rashladni sistemi su veoma sigurni u radu; oni nemaju pokretnih delova, malih su težina, a konstrukciono se mogu izvesti zajedno sa fotoosetljivim slojem. Potrebna snaga za njihov rad je vrlo mala (2—2,5 W). U poređenju s drugim, termoelektrični rashladni sistemi imaju tri značajna svojstva:

— rad im nije podvrgnut uticaju vakuuma i okolne sredine;

— koeficijent korisnog dejstva se poboljšava s porastom temperature okolnog vazduha;

— potrebna energija za rad se može dobiti iz bilo kakvog spoljnog izvora električne energije.

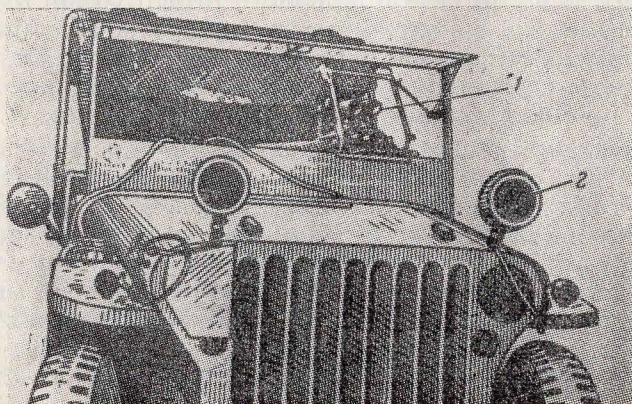
NEKE VRSTE VOJNIH IC-UREĐAJA

IC-uređaji za noćnu vožnju

Do sada je u svetu razvijeno više tipova i modela IC-uređaja za noćnu vožnju oklopnih i drugih vojnih motor-nih vozila. Svi su oni aktivnog principa dejstva (mada, principijelno, mogu biti i pasivnog principa dejstva). Sa primenom uređaja aktivnog principa dejstva, iako ograničeno, počelo se već krajem drugog svetskog rata.

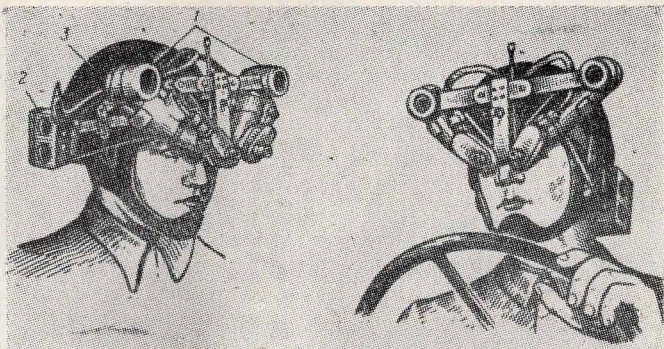
Svaki od IC-uređaja aktivnog dejstva ima tri osnovna sklopa: sam osmatrački IC-uređaj, IC-farove (dva ili jedan) i izvor za napajanje s pretvaračem visokog napona. Elek-tronsko-optički pretvarači slike, kao najvitalniji delovi samog osmatračkog IC-uređaja, jesu triodnog ili, u novije vreme, sve više diodnog tipa. Neki od ovih uređaja su pe-riskopskog a neki aksijalnog tipa. Visoki napon na izlazu iz pretvarača napona je danas obično 16.000 V, a na ulaz u pretvarač napona se dovodi niski napon (obično 24 ili 12 V) iz električne mreže vozila. Ovi uređaji su, najčešće, binokularnog tipa, jer je to pogodnije za vozača, odnosno pruža mu bolje uslove noćne vožnje. Vidno polje takvih IC-uređaja je najčešće nekoliko desetina stepeni, a domet pri srednje povoljnih noćnim, atmosferskim i terenskim prilikama, 40—80 m. IC-uređaji za noćnu vožnju oklopnih borbenih vozila su redovno periskopskog tipa; IC-periskop je ugrađen ispred vozača u istom ležištu u kojem se danju nalazi običan periskop. IC-farovi (jedan ili dva) ugrađeni su na vozilu obično pored njegovih običnih farova, a mogu

biti ili samo sa »normalnim«, ili sa »normalnim« i »oborenim« svetlom«. IC-far je u stvari običan far, s tim što ispred sijalice ima ugrađen IC-filter, koji propušta IC-zrake a vidljivu svetlost apsorbira (propušta doduše i nešto vidljivog crvenog svetla). Prekidači za uključivanje i isključivanje IC-uređaja za noćnu vožnju se nalaze na mestu pogodnom za vozača (na posebnoj upravljačkoj tabli ili na instrument-tabli). Vožnja noću pomoću IC-uređaja je teža za vozača no dnevna ili pomoću običnih farova, pogotovu ako duže traje: boja slike puta, odnosno predmeta i predmeta, ispred vozača je jednolična (jednobojna), a ocena odstojanja otežana. Zato ovakva vožnja zahteva posebnu obuku vozača. No, ona se može relativno brzo usvojiti. Ukupno povećanje elektronsko-optičkog sistema kod svih ovih IC-uređaja je približno 1^x.



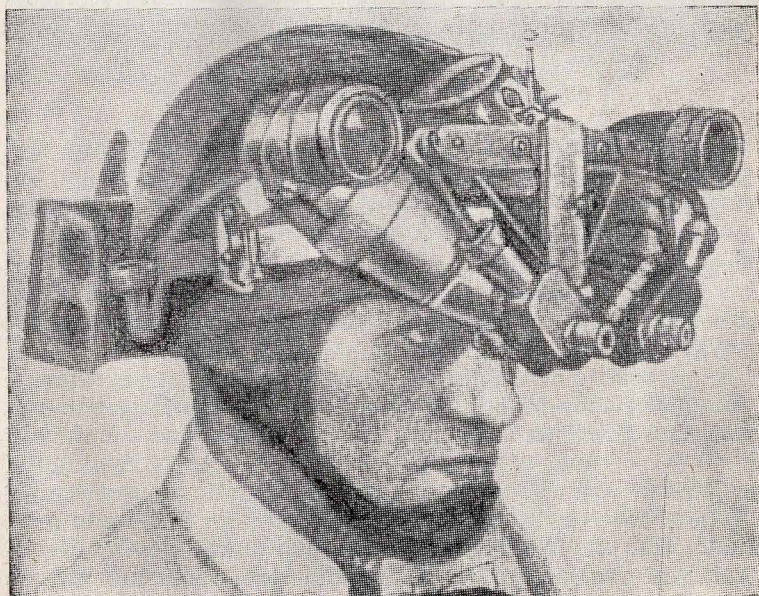
Sl. 43 — Terensko vozilo sa IC-uređajem aksijalnog binokularnog tipa. Osmatrački deo IC-uređaja vozača (1) i IC-far (2). Pretvarač visokog napona je ugrađen u vozilo, kao i prekidači za uključivanje i isključivanje IC-uređaja

IC-uređaj postavljen na vozačkom šlemu, periskopskog je tipa. Radi uravnoteženja opterećenja, iza potiljka vozača se nalazi pretvarač visokog napona. IC-uređaj se napaja strujom iz električne mreže automobila.



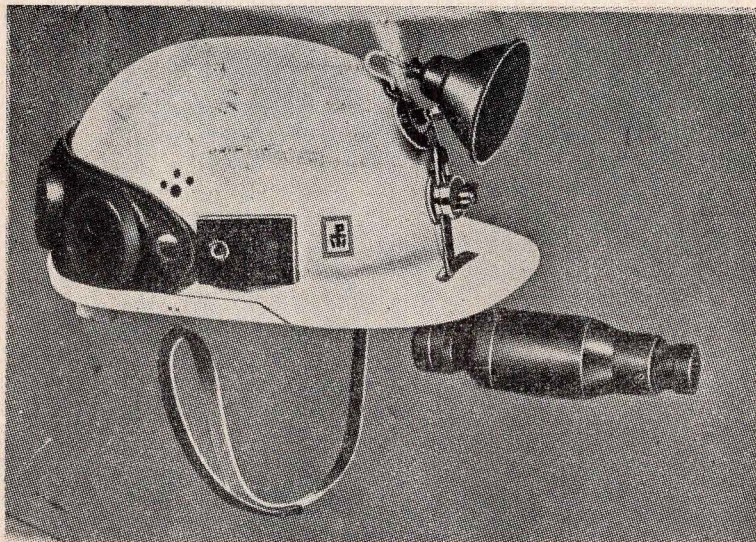
Sl. 44 -- IC-binokularni uređaj za noćnu vožnju automobila; objektivni osmatračkog IC-uređaja (1), pretvarač napona (2), vozačev šlem (3)

da



Sl. 45 — IC-uređaj za noćnu vožnju automobila

da



Sl. 46 — Monokularni IC-uređaj za noćnu vožnju motornih vozila i bliska noćna osmatranja — tip BWI 41

Pored IC-uređaja BWI 41 postoji i tip BWI 42. Totalno povećanje elektronsko-optičkog sistema je približno 1^{\times} . Kod tipa 41 je objektiv relativnog otvora 1 : 3 sa žižom $f = 50$ mm, a kod tipa 42 objektiv je Ksenar (»Xenar«) sa specijalnim grlom i relativnim otvorom 1 : 2,8 i žižom $f = 50$ mm. U uređaj je ugrađen diodni pretvarač slike tipa BW405 (za tip 41) ili BW405a (za tip 42). Spektralna osetljivost pretvarača slike je 0,8—1,2 mikrona. Okular ima povećanje 10^{\times} . Sijalica IC-fara ima grlo tipa »elo«, a napaja se naponom od 6 V. Pretvarač napona je tranzistor-skog tipa HS16, sa visokim naponom na izlazu — približno 9.000 V. Prečnik IC-reflektora je $\varnothing 70$ mm. Akumulator je ($Ni-Cd$) s autonomijom rada od 1 časa, uz korišćenje IC-fara. Može se koristiti i dodatna baterija ili mrežni prekidač. Ukupna težina uređaja je oko 1 kg. Postoji jedna varijanta ovakvog IC-uređaja, koja služi za noćno prikri-veno čitanje karata, izveštaja i naredjenja, a može se upo-trebiti i u druge slične svrhe.

Sva borbena, pa i druga vozila su u većini armija već opremljena IC-uređajima za noćnu vožnju, koja se mogu takođe upotrebiti i za osmatranje terena ispred vozila, pa bilo kad se kreće ili stoji — razume se u okviru dometa odnosnog IC-uređaja.

Pri noćnoj vožnji oklopnih vozila u koloni, obično se samo čelno vozilo kreće uz pomoć IC-uređaja za noćnu vožnju, a ostala, ako im to odstojanje omogućava, uz pomoć »obeležnog svetla« prethodnog vozila.

Najzad, osmatrački deo IC-uređaja za noćnu vožnju borbenih vozila, može se koristiti i za otkrivanje protivničkih IC-reflektora i IC-farova na znatnim odstojanjima. U tom slučaju IC-farovi ne smeju biti uključeni, što znači da se vozilo IC-uređaja nalazi na mestu.

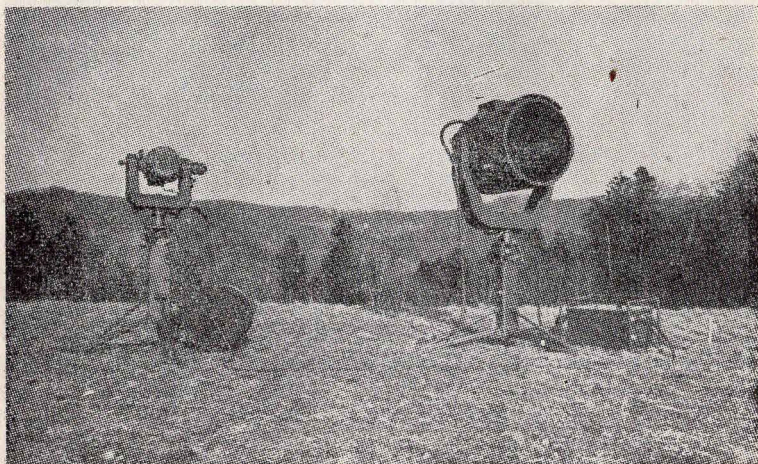
Radi maskiranja, IC-farove treba uključivati samo kada je to neophodno. Time se smanjuje mogućnost protivnika da otkrije borbeno vozilo.

IC-uređaji za noćno osmatranje i izviđanje aktivnog principa dejstva

Ova porodica IC-uređaja je veoma bogata po broju tipova, varijantama i nameni. Tu spadaju: stacionarni IC-uređaji (poluprenosni), prenosni IC-uređaji, laki ručni osmatrački (izviđački) IC-uređaji, IC-dogledi, itd.

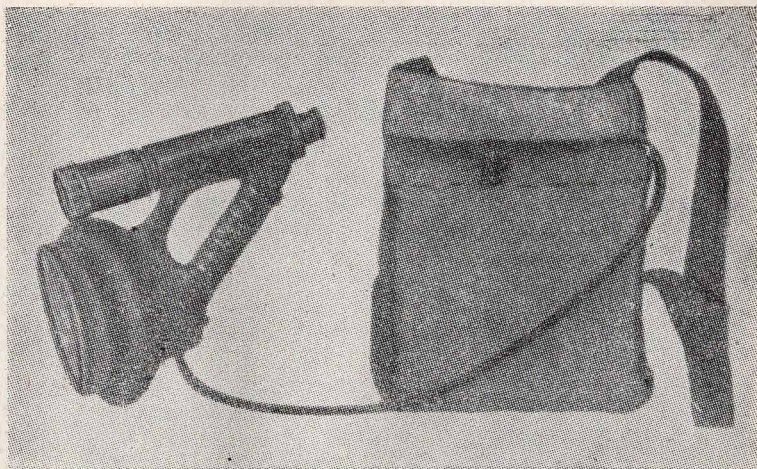
Polustacionarni IC-uređaj za osmatranje tipa BZ 1500 S/RIVf sa daljinskim upravljanjem poreklom je sa Zapada. Težina kompletnog uređaja u transportnom položaju je oko 400 kg, dok sam uređaj iznosi oko 350 kg. Ukupno povećanje elektronsko-optičkog sistema iznosi oko 6%. Napajanje električnom energijom je iz električne mreže 220 V \pm 10%, preko visokonaponskog pretvarača, a može i iz posebnog generatora. Snaga IC-reflektora je 1.500 W, prečnik paraboličnog ogledala je 600 mm, ugao snopa reflektora oko 4°. Domet uspešnog osmatranja na kopnu do 1.000 m, a iznad vodene površine i do 3.500 m. Vidno polje monokularnog IC-dogleda je oko 12°. Ovaj IC-uređaj je namenjen za osmatranje stalnih i pokretnih ciljeva i važnih pravaca, za osmatranje i kontrolu prelaza na granici,

kao i za upravljanje vatrom teških mitraljeza i protivoklopnih oruđa. Prva saopštenja o ovom uređaju su se pojavila 1955. godine u američkoj štampi, što znači da je to jedan od starijih tipova IC-uređaja ove vrste.



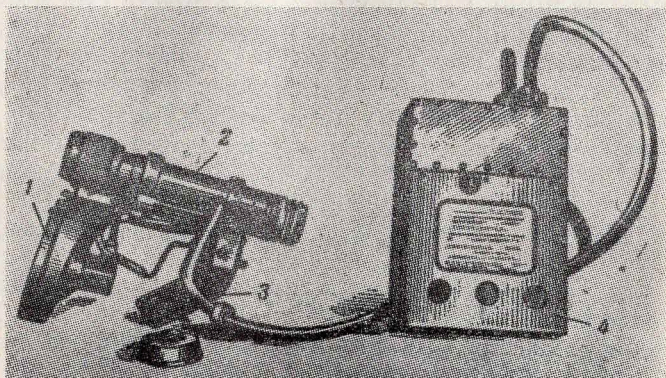
Sl. 47 — BZ 1500 S/RIVf

IC-uređaj B200 S/R IV takođe potiče sa Zapada; lako je pokretljiv i prenose ga dva poslužioca; sam uređaj je težak 42 kg, a u transportnom položaju 105 kg. IC-reflektor ima snagu od 200 W. Napajanje (220 V) je iz mrežnog uređaja (ili iz benzinskog agregata). Ukupno povećanje elektronsko-optičkog sistema je oko 3^x , vidno polje IC-dogleda oko 12° , domet na kopnu (pod povoljnim uslovima) do 500 m, a iznad vodene površine i do 1.500 m. Namenjen je za osmatranje stalnih i pokretnih ciljeva, za pogranična osmatranja, za izviđanje predterena i pojedinih pravaca i prolaza, kao i za upravljanje vatrom mitraljeza i protivtenkovskih oruđa. I ovaj IC-uređaj pripada starijoj generaciji.

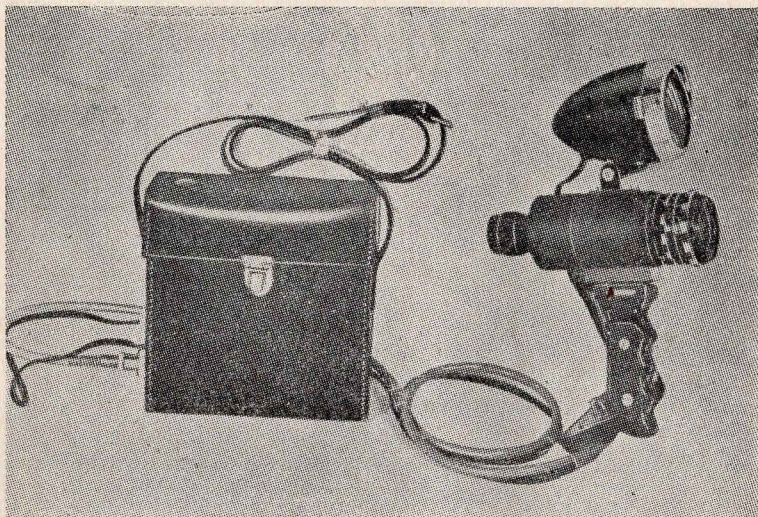


Sl. 48 — Ručni IC-uređaj francuskog porekla

Na slici 49 prikazan je osmatračko-izviđački IC-uređaj, dometa do oko 100 m. Snaga IC-reflektora je 40 W, a ukupna težina kompleta uređaja iznosi oko 10 kg. Akumulator se nosi u torbici na remniku preko ramena.



Sl. 49 — Ručni IC-uređaj; (1) IC-reflektor, (2) IC-durbin, (3) rukohvat, (4) akumulator, iznad koga se nalazi visokonaponski pretvarač, u istoj kutiji s akumulatorom



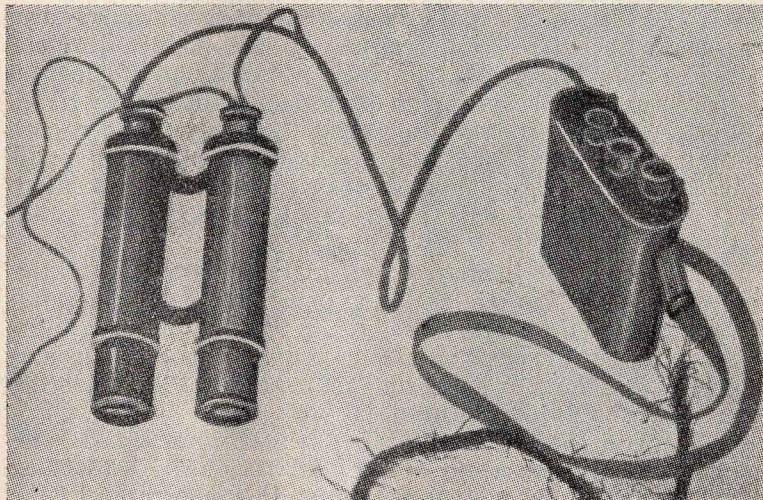
Sl. 50 — IC-uređaj BWI 32 za noćno izviđanje i osmatranje

Ukupno elektronsko-optičko povećanje ovog ručnog IC-uređaja je oko 1^{\times} . Pretvarač slike je diodni, tipa BW405; korisni prečnik fotokatode je 25 mm, a ekran 13 mm; spektralna osetljivost fotokatode je 0,8—1,2 μ . Objektiv je relativnog otvora 1 : 2,8 sa žižnim odstojanjem $f = 50$ mm. Okular ima povećanje 10^{\times} . Visoki napon je 9.000 V⁰. IC-reflektor je prečnika 65 mm, a napaja se iz akumulatora napona 6 V. Akumulator je Ni-Cd, a može se napajati i iz mreže 220 V naizmeničnog napona. Dimenzije IC-durbina (bez ručkovata) su 185 x 80 x 170 mm, a težina, bez ručkovata, oko 1 kg.

Binokularni osmatračko-izviđački IC-dogled može se učvrstiti ispred vozača pozadi vetrobrana automobila. Napaja se iz posebnog akumulatora ili iz električne mreže automobila.

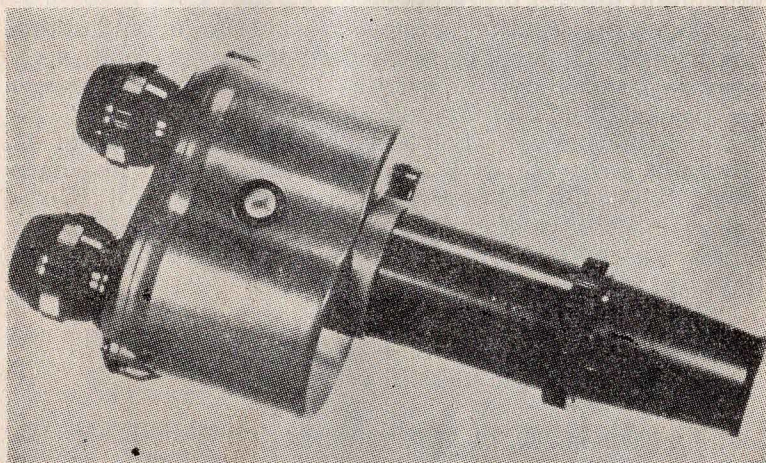
Ručni IC-dogled tipa »ELTRO« B 14-2-60 je binokularni, s jednim objektivom, težine oko 2 kg i autonomijom od oko 300 časova rada. Napajanje se vrši sa 4 na

red vezana suva elementa — svaki napona 1,5 V. Ovaj dogled nema sopstvenog IC-reflektora, već za noćno osma-



da

Sl. 51 — Dogled



da

Sl. 52 — Dogled

tranje koristi IC-reflektore (IC-farove) susednih IC-uređaja. Namenjen je za starešine i poslužioce oruđa sa IC-uređajima za noćno gađanje. Vidno polje IC-dogleda je oko 23° , a domet zavisi i od snage IC-reflektora (IC-fara) čiji snop koristi pri osmatranju. Ukupno povećanje elektronsko-optičkog sistema je oko 2^{\times} . Nosi se preko leđa, u kožnoj futroli. Pritiskom na prekidač uključuje se i radi 30 sekundi, a zatim se automatski isključuje. Ako se želi osmatrati duže od 30 sekundi, onda treba ponovo pritisnuti prekidač. Ograničenjem vremena rada štedi se utrošak električnih baterija za napajanje elektronsko-optičkog pretvarača slike.

U inostranoj literaturi ima malo podataka o taktičkoj primeni IC-uređaja aktivnog principa dejstva za osmatranje i izviđanje. Isto tako, malo je i podataka o tome koje jedinice i u kom obimu su opremljene ovim uređajima. Ostaje da se o tome sudi na osnovu taktičko-tehničkih svojstava pojedinih uređaja ove vrste.

Logično je da osmatračkim IC-uređajima tipa IC-dogleda budu prvenstveno opremljeni izviđači i osmatrači, kao i starešine (određene) do komandira osnovne taktičke jedinice; zatim diverzantske i partizanske grupe, grupe za pravljenje prolaza u preprekama i sl.

Ako je u pitanju osmatračko-izviđački uređaj aktivnog principa dejstva, onda ga prvo treba upotrebiti s ciljem da se ustanovi ne osmatra li protivnik dati pravac dejstva svojim IC-uređajima, koristeći IC-reflektor, pa tek onda uključivati svoj IC-reflektor. Ali, s obzirom da protivnik može otkriti IC-reflektor u radu, ako raspolaze istim ili sličnim IC-uređajima, potrebno je svoj IC-reflektor koristiti za što kraće vreme, nikad sa jednog mesta i uvek u parovima, pri čemu jedan osmatra a drugi »osvetljava«
predteren, itd.

Nekoliko IC-uređaja pasivnog principa za detekciju i izviđanje

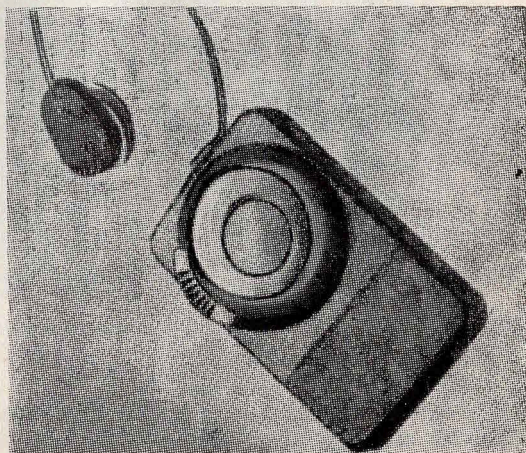
Metaskop služi za otkrivanje protivničkih IC-reflektora i IC-farova u radu. Metaskop je po konstrukciji veoma prost a težak je svega nekoliko stotina grama.

Njime se opremaju izviđači, osmatrači, padobranici, itd. Pre upotrebe je potrebno aktiviranje fotosetljivog sloja (fosfora), bilo kakvim izvorom »bele svetlosti«.

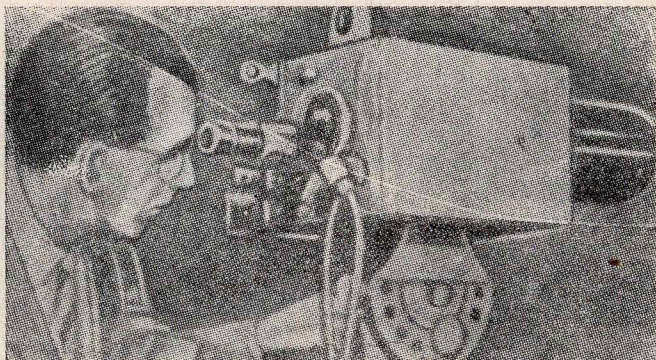
Akustički IC-detektor služi za otkrivanje protivničkih IC-reflektora i IC-farova u radu. Vidno polje mu je oko 140° , a autonomija rada oko 50 časova; težina s baterijom za napajanje 200 gr, a domet nekoliko puta veći od dometa IC-reflektora koji se otkriva; snabdeven je slušalicom, a nosi se okačen o grudima. Pravac protivničkog IC-reflektora (IC-fara) se određuje prema jačini zvuka u slušalici, a tačnost određivanja ovog pravca je reda nekoliko stepeni. Korisno ga mogu upotrebiti izviđači, osmatrači, padobranici i sl. Na osnovu intenziteta zvuka u slušalici, moguće je suditi ne samo o pravcu na kom se nalazi protivnički IC-reflektor (IC-far) već, donekle, i o njegovom odstojanju.



Sl. 53 — Metaskop iz drugog svetskog rata

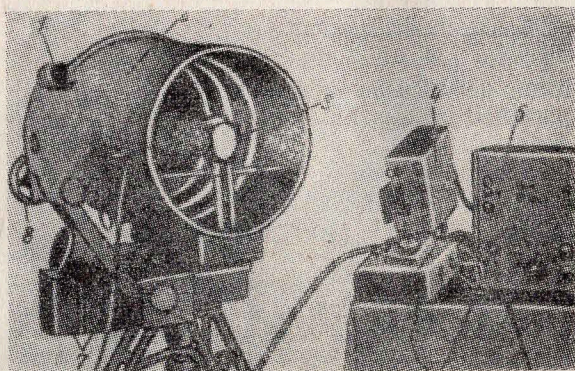


Sl. 54 — Akustički IC-detektor



Sl. 55 — IC-evaporograf »eva«

IC-evapograf tipa »eva« (SAD) u upotrebi je negde od oko 1960. godine. Može dati crno-belu fotografiju čoveka u mraku na odstojanju do 180 m, a većih objekata i do 1.500 m.

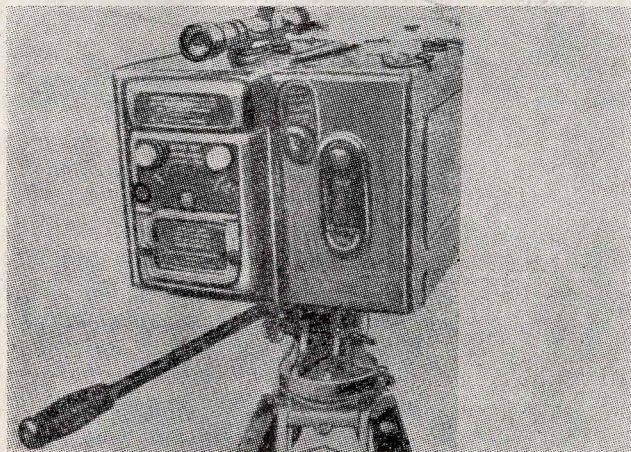


Sl. 56 — »Donau-60«

Nemački obalski IC-lokator »donau-60« je pasivnog principa dejstva, s bolometrom kao detektorskim elementom. Prečnik paraboličnog ogledala prijemnika je 600 mm;

1 — vizir, 3 — prijemnik IC-zračenja, 4 — indikatorski uređaj, 5 — pult s priborima za elektro-merenja, 6 — uređaj za upravljanje brzinom obrtaja, 7 — predajni mehanizam za upravljanje, 8 — uređaj za ručno navođenje po mesnom uglu.

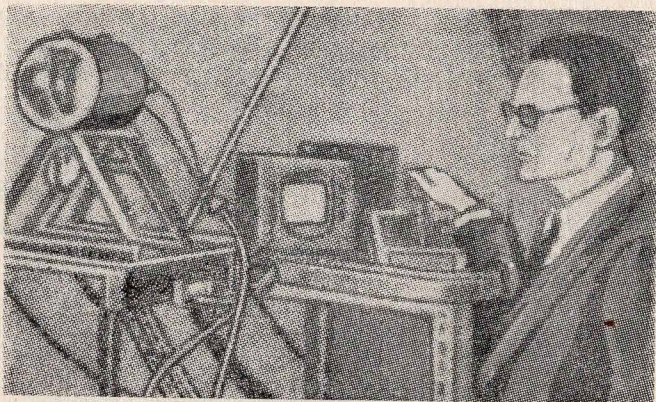
Pomoću ovog lokatora, pri dobrim meteorološkim uslovima, može se otkriti noću brod (mašine 17.000 KS) na 10—15 km, a ako se primeni parabolično ogledalo prijemnika od 1.500 mm, onda i na 30 km.



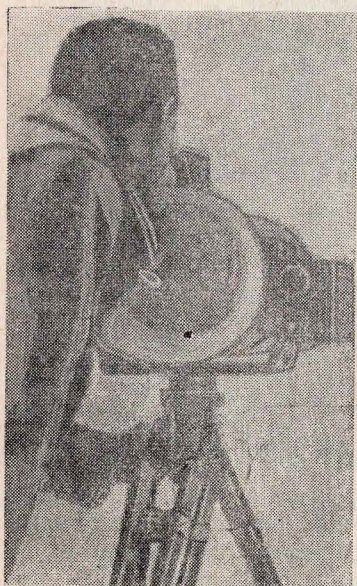
Sl. 57 — IC-uređaj pasivnog dejstva za detekciju protivničke žive sile i borbene tehnike, na bazi njihovog sopstvenog IC-zračenja

Signal detekcije je zvučni. Niz ovakvih IC-detektorskih uređaja, postavljen ispred sopstvenog prednjeg kraja, obrazuje »IC-zaštitnu liniju«.

Uređaj je spregnut sa IC-glavom za automatsko praćenje cilja, posle njegovog »hvatanja«; radi na pasivnom principu dejstva; dva režima automatskog »hvatanja« ciljeva: u sektoru od 80° po azimutu i 16° po mesnom uglu i u sektoru od 30° po azimutu i 16° po mesnom uglu. Težina uređaja je 23 kg, potrošnja 125 W.



Sl. 58 — Komplet avionskog IC-uređaja za »hvatanje« ciljeva



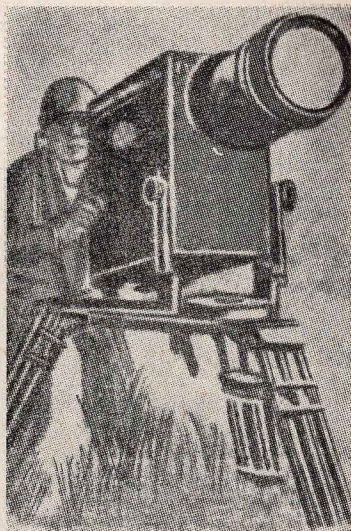
Sl. 59 — IC-radiometar, firme »Berns Engineering« (SAD)

Služi za tačna kvantitativna merenja IC-zračenja ciljeva, a i za daljinsko merenje temperature. U dugotalasnoj oblasti IC-spektra najveću primenu su doživeli IC-radiometri veličine 100 i 200 mm.

Specijalna IC-foto-kamera »pajping tom« (Piping Tom), izrađena je 1955—1957. godine (SAD). Za IC-fotografisanje na površini zemlje ova kamera ima dugofokusni objektiv ($f=254$ cm) s relativnim otvorom 1:12,5. Dimenzije snimka su 12,7 x 17,8 cm. Minimalna ekspozicija je 1/200 sec, a blenda ima još 9 stepeni s dužim ekspozicijama od minimalne. Kamera je namenjena za IC-

-fotografisanje objekata na daljini do 50 km. Dobijena fotografija omogućava da se na snimku, napravljenom s rastojanja od 10 km, raspoznaju usamljeni automobil. Nemci su za vreme II svetskog rata imali IC-foto-kameru s objektivom žižne daljine $f = 17$ m; sa njom su snimali britansku obalu preko La Manša (33 km) pri jakom dimu i magli.

Fotografija vatrenog položaja jedne baterije može se dobiti pomoću IC-foto-kamere u roku od nekoliko minuta. Njome se mogu fotografisati i eksplozije granata sopstvene artiljerije i na osnovu snimaka vršiti korektura vatre.



Sl. 60 — Fotografski IC-aparat (SAD) na bazi refleksije prirodnog dnevnog IC-zračenja. Fotografiše do 50 km



Sl. 61 — »Pajping tom«

Iz dosadašnjeg izlaganja se vidi da ima više vrsta IC-uređaja pasivnog principa dejstva koji služe za detekciju i izviđanje — počev od onih teških svega nekoliko stotina grama, pa do relativno velikih težina i dimenzija (IC-foto-aparati, evaporografi, itd.). Dok metaskopi (infra-skopi), akustički IC-detektori i slični uređaji mogu biti predmet opreme većeg broja starešina i boraca, dotle se IC-foto-aparati i slični uređaji veće težine i većeg dometa mogu koristiti samo na važnijim pravcima. Upotreba svih ovih IC-uređaja je moguća u svim fazama borbenog dejstva. IC-fotografije protivničkog prednjeg kraja ili ciljeva u njegovoj pozadini, mogu biti od velike koristi u periodu pripreme i organizacije napada.

IC-foto-aparatima, evaporografima i sličnim uređajima rukuju specijalno obučene ekipe.

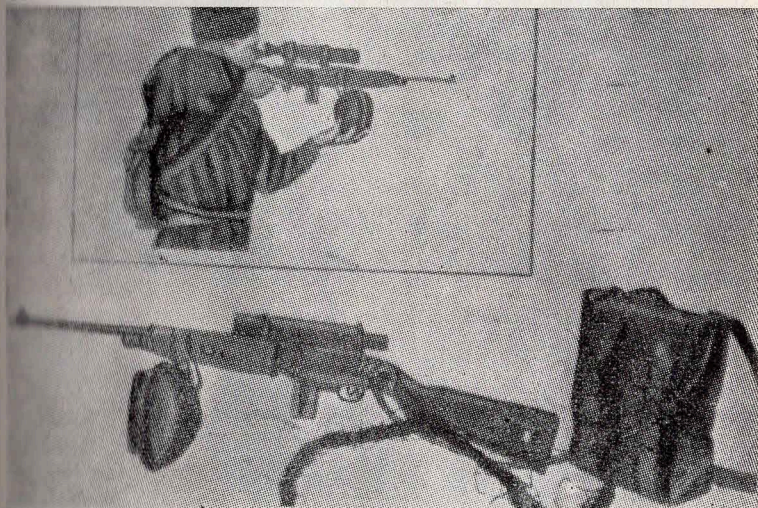
Danas se naročito radi na razvoju pasivnih IC-sistema i pronalasku novih, kako za izviđanje i detekciju, tako i za druge borbene svrhe (nišanjenje, itd.).

Nišanski IC-uređaji za streljačko naoružanje

Ova grupa IC-uređaja je najbrojnija — po razvijanim vrstama i tipovima. Prvi uzroci nekih od njih praktično su korišćeni već krajem II svetskog rata. Od tada, pa do danas, oni su znatno poboljšani: povećan je domet, a smanjena težina i gabaritne dimenzije. Tako su, na primer, težine IC-uređaja u početku iznosile oko 15 kg, a danas 3—4 kg, pa i manje, dok su dometi efikasnog nišanjenja noću porasli od nekoliko desetina na 150, 200 pa i više metara, pri srednje povoljnim atmosferskim i terenskim uslovima. Ovaj napredak je postignut, pored ostalog, zahvaljujući i primeni novih, lakših materijala, poboljšanju bitnih karakteristika elektronskih, električnih i optičkih elemenata.

Neka inostrana saopštenja govore da se radi i na nišanskim IC-uređajima za streljačko naoružanje pasivnog principa dejstva, što predstavlja dalji kvalitativan korak u razvoju ove široke i značajne grupe vojnih IC-uređaja.

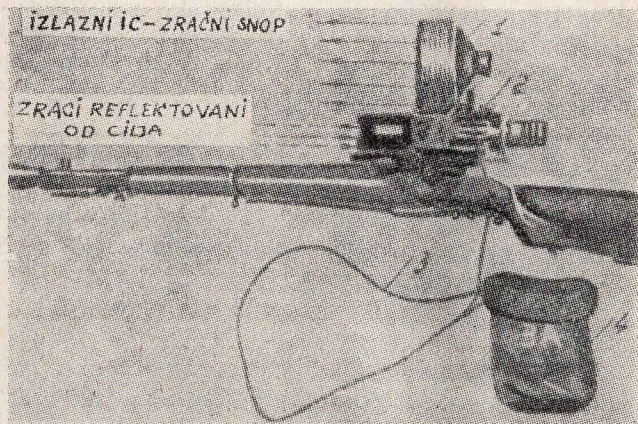
Kod ovog uređaja IC-reflektor je smešten sa donje strane pušcane cevi, zato što je tako moguće bolje maskiranje od protivničkog IC-osmatranja. No, ovakav položaj ima i jednu manu — na terenu obraslom, na primer, visokom travom, s obzirom na pravolinijsko prostiranje IC-zraka, može doći do ometanja prostiranja zračnog snopa do cilja i nazad do IC-durbina. Noćni domet je do 100 m, pod povoljnim uslovima osmatranja i nišanja. Uređaj potiče sa Zapada.



Sl. 62 — Nišanski IC-uređaj za pušku

Snajperski nišanski IC-uređaj »eltro« B 8—2—61, potiče sa Zapada: domet 150—200 m, težina 7,4 kg, autonomija rada oko 2,5 časa sa olovnim akumulatorom napona 6 V. Reflektor 35 W (sa protivne strane može se uočiti golim okom sa odstojanja do 30 m), sa uglom zračnog snopa oko 3°. Vidno polje nišanskog IC-durbina je 7°. Ukupno elektronsko-optičko povećanje je 1,7*. Pretvarač slike je tipa »TELEFUNKEN B55S« s radnim naponom od 16.000 V, a spektralna osetljivost 0,6 — 1,1 μ , s maksi-

mumom osetljivosti $0,8 \mu$. Balistička končanica, osvetljena preko malog reostata, predstavlja poseban podsklop u IC-durbinu. Objektiv i okular se ne mogu naknadno fokusirati.

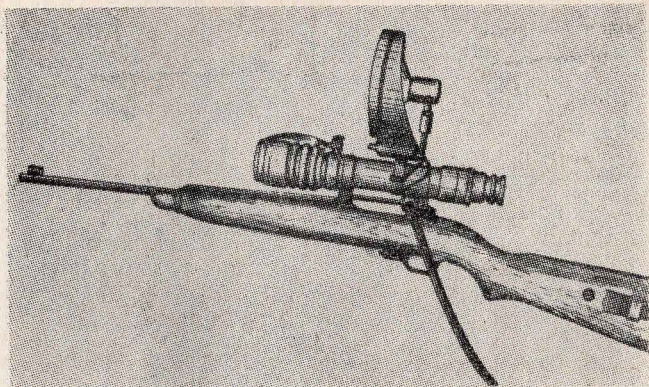


Sl. 63 — Snajperski nišanski IC-uređaji dometa 100 m (potiču sa Zapada); 1 — IC-reflektor, 2 — IC-durbin, 3 — kabl za napajanje, 4 — torba u kojoj je smešten akumulator.



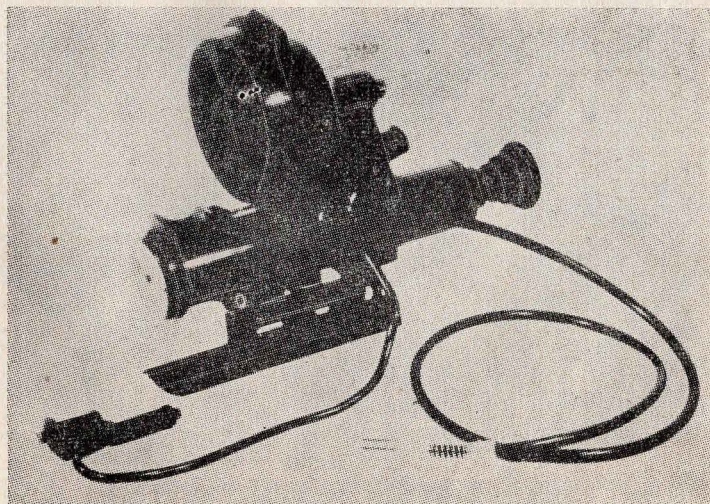
Sl. 64 — Nišanski IC-uređaj za automatsku pušku — »supersnajperskop«, dometa nešto preko 100 m (potiče sa Zapada)

rati, odnosno samo u odgovarajućoj radionici od strane stručnih lica. Visokonaponski pretvarač je tranzistorskog tipa. Akumulator je hermetički zatvoren pa može raditi u bilo kom položaju; nosi se u posebnoj torbi sa remnikom preko ramena. »ELTRO« se montira na NATO-pušku; u naoružanje je ušao 1961. godine.



da

Sl. 65 — Snajperski noćni IC-nišan, dometa 80—100 m, težina kompleta oko 15 kg, IC-reflektor 30 W, sa uglom zračnog snopa oko 5°, prečnika oko 200 mm. Stariji tip, potiče sa Zapada

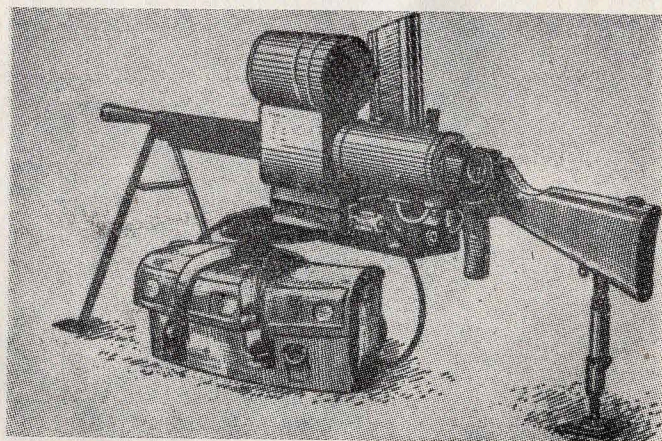


da

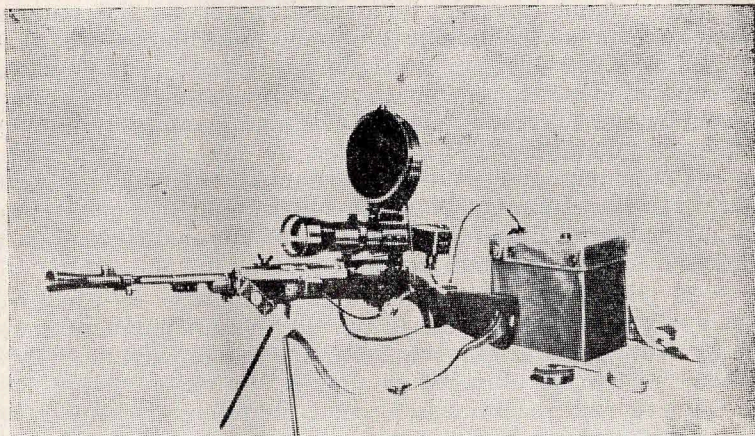
Sl. 66 — »Eltro«



Sl. 67 — nišanski IC-uređaj za automat, dometa do 70 m, poreklom je sa Zapada. Akumulator olovni, s autonomijom rada oko 5 sati. IC-reflektor od 30 W, prečnika 170 mm. Ukupno povećanje elektronsko-optičkog sistema oko 1,6*

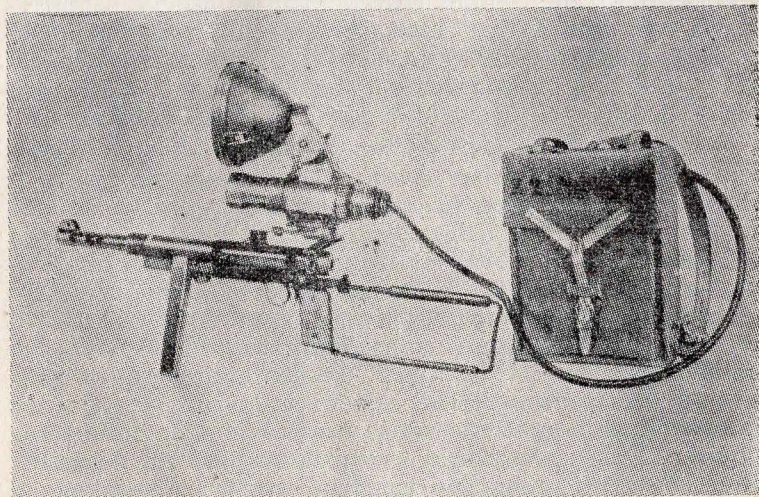


Sl. 68 — nišanski IC-uređaj za puškomitraljez, dometa od 200 do 300 m, težine oko 30 kg (zbog glomaznih olovni akumulatora), stariji tip, poreklom sa Zapada



Sl. 69 — IC-nišanski uređaj za puškòmitraljez, poreklom sa Zapada

da



Sl. 70 — IC-nišanski uređaj, poreklom sa Zapada, za automat Z 2/RI, težine 14,7 kg (durbin 2,7 kg, akumulator 12 kg), dometa do 120 m. Napon akumulatora 6 V, kapacitet 40 Ah, sa autonomijom rada oko 4 časa. Visoki napon je 8.000 V

da

Savremeni nišanski IC uređaji za streljačko naoružanje znatno su lakši i manjih gabaritnih dimenzija, a dometa oko 150—200 m. Smanjenje težine je postignuto prvenstveno primenom znatno lakših akumulatora.

Postoje, takođe, i nišanski IC-uređaji dometa oko 400 m — za mitraljeze.

Treba napomenuti da IC-nišanski uređaj za jedno streljačko oružje može biti postavljen i na druga streljačka oružja, ako se samo na njima ugrade odgovarajući nosači i držači, što omogućava unifikaciju.

U pogledu taktičke primene nišanskih IC-uređaja, inostrani autori preporučuju da, na primer, jedan snajperista svojim IC-reflektorom »osvetljava« cilj drugom koji otvara vatru, ne uključujući svoj IC-reflektor. Ovome se pribegava radi maskiranja i iznenađenja neprijatelja. Isto tako, treba raditi kad su u pitanju mitraljezi ili puškomitraljezi. Takođe se preporučuje da se IC-reflektori, postave ispred mitraljeskih položaja — na pogodnom mestu i nešto sa strane — radi »osvetljavanja« ciljeva, a mitraljezi (puškomitraljezi) sa svojih vatrenih položaja, nišaneći IC-nišanima, otvaraju vatru. I u jednom i u drugom slučaju nužna je koordinacija dejstva između onih koji »osvetljavaju« ciljeve i onih koji otvaraju vatru.

Nišanski IC-uređaji pasivnog principa dejstva, namenjeni za streljačko naoružanje, principijelno mogu raditi ili na bazi sopstvenog IC-zračenja samog cilja ili na bazi pojačanja od cilja reflektovanog prirodnog IC-zračenja (Meseca, zvezda, neba). Pošto ovde nema IC-reflektora, najvećeg potrošača električne energije, to je moguće elektronsko-optički sistem IC-nišana napajati iz električnih izvora malog kapaciteta — malih dimenzija i težina. Jasno da ako IC-nišan radi na bazi IC-zračenja samog cilja, onda njegov elektronsko-optički sistem mora biti osjetljiv na talasne dužine zračenja cilja, na primer neprijateljskog vojnika. Dokle se otišlo u konstrukciji ovakvih nišanskih IC-uređaja nije moguće precizno utvrditi. Pouzdano je da se oni još ne koriste u trupi. Sa IC-nišanima na bazi pojačanja od cilja reflektovanog prirodnog IC-zračenja, otišlo se znatno dalje, pa se zato već koriste u trupi, istina u manjem obimu.

Teško je pretpostaviti da je neka armija u stanju da celokupno streljačko naoružanje opremi nišanskim IC-uređajima, ne samo što su skupi već i što im je složeno trupno održavanje. S druge strane, postavlja se i pitanje da li je uopšte potrebno imati ih masovno? Iz tih razloga, nišanskim IC-uređajima za streljačko naoružanje potrebno je opremiti prvenstveno: diverzantske grupe, delove partizanskih jedinica, snajperiste, specijalne grupe za uništavanje važnih živih ciljeva, vatrenih tačaka, tenkova, itd. U običnim streljačkim jedinicama, nišanskim IC-uređajima treba opremiti poslugu pojedinih mitraljeza, puškomitraljeza i ručnih bacača, kao i po nekoliko boraca streljačkih odeljenja, itd. Obuku, pak, u uslovima obostrane primene IC-uređaja, treba izvoditi sa celokupnim ljudstvom trupnih jedinica.

Koristi od nišanskih IC-uređaja za streljačko naoružanje biće najveće pre juriša, jer kada obostrana vatra dostigne kulminaciju preteren će biti intenzivno osvetljen, što dovodi do zaslepljivanja nišandžije (intenzivna emisija fotokatode odnosno ekrana elektronsko-optičkog pretvarača slike u nišanskom IC-uređaju). Ovim nije rečeno da su nišanski IC-uređaji beskorisni u ovoj fazi borbe.

U odbrani i prilikom borbi zaštitnih delova u povlačenju, nišanski IC-uređaji mogu biti veoma korisni i efikasni.

Nišanski IC-uređaji za tenkovska i protivtenkovska oruđa

Pored IC-uređaja za noćnu vožnju, savremeni tenkovi, oklopni transporter i samohotke raspolažu i nišanskim IC-uređajima za top i mitraljez — donedavna uglavnom aktivnog principa dejstva, dometa 500—700 pa i nešto više metara. Kako je problem težine u ovom slučaju drugostepen, to je kod nišanskih IC-durbina moguće ići na relativno velike ulazne otvore objektiva nišana, što utiče na povećanje daljine njegove vidljivosti. Ukupno elektronsko-optičko povećanje je redovno iznad 5*. Nišanski IC-durbin i IC-reflektor su spregnuti sa topovskom cevi, a rektifikacija nišana se vrši na određenom dometu IC-uređaja, zavisno od razantnosti putanje topovskog zrna. U

nišanu je ugravirana balistička končanica za odstojanja u domenu dometa uređaja. Vidno polje nišanskog IC-durbina, periskopskog ili aksijalnog tipa, redovno je veće od ugla zračnog snopa IC-reflektora, približno za dva ili više puta. Zato je veoma otežano, pa često i sasvim nemoguće, nišanići ovim nišanom kada se tenk nalazi u pokretu. Nišanskim IC-uređajem rukuje nišandžija topa. Najosetljiviji element na oštećenja, kod nišanskih IC-uređaja aktivnog principa dejstva, jeste IC-reflektor, koji istovremeno i demaskirajuće deluje, jer ga protivnik može uočiti odgovarajućim IC-uređajima aktivnog ili pasivnog principa dejstva. Zbog toga je preporučljivo da se IC-reflektor uključuje u rad što je moguće kraće vreme, tj. samo koliko je to nužno za uočavanje cilja i nišanje. Preporučljivo je da se komandir tenka prethodno, pomoću pasivnog IC-detektora, ako to borbena situacija dozvoljava, uveri da u pravcu njegovog tenka neprijatelj ne vrši IC-osmatranje. Protivnički IC-reflektori u radu lako se uočavaju i u vidnom polju nišanskog IC-durbina, pa zato i svi mogu poslužiti za otkrivanje neprijateljevih IC-reflektora i IC-farova, bez upotrebe sopstvenog IC-reflektora.

Snage poznatih IC-reflektora tenkovskih nišanskih IC-uređaja su različite i kreću se uglavnom od 200 do 1.000 W. Kao izvori IC-zračenja se zasad koriste sijalice sa užarenim volframovim vlaknom i ksenonske (ksenonsko-kriptonske) lampe. Konstrukcija ovih izvora IC-zračenja za tenkove je unekoliko specifična, s obzirom na zahtev za što boljom koncentracijom zračnog IC-snopa reflektora, jer to utiče na domet uređaja. Radi dobijanja zračnog IC-snopa što veće koncentracije, u IC-reflektore se redovno ugrađuje parabolno refleksno ogledalo, metalno ili stakleno. Staklena ogledala daju veći koeficijent refleksije, ali su metalna manje osjetljiva na mehanička oštećenja, a naročito na protivničku vatru.

Napajanje nišanskog IC-uređaja električnim naponom vrši se iz električne mreže tenka koji su kod savremenih tenkova tako i dimenzionisani.

Što se tiče nišanskih IC-uređaja za protivtenkovska oruđa, tu su zahtevi u pogledu dometa isti kao i kod tenkovskih IC-nišana, s tim što se umesto čeličnih akumula-

tora, u novije vreme, uvode lakši, mada znatno skuplji, srebro-cink-akumulatori.

Za protivtenkovska oruđa je takođe od velikog značaja da im i nišanski IC-durbin i IC-reflektor budu što lakši i što manjih gabaritnih dimenzija. Zatim, s obzirom na namenu, ovde je povoljnije da IC-durbin bude aksijalnog tipa. Što se tiče ostalih pitanja vezanih za ove nišanske IC-uređaje, uglavnom važi ono što je rečeno kod tenkovskih nišanskih IC-uređaja.

Poslednjih godina nišanski IC-uređaji pasivnog principa dejstva u nekim armijama se već koriste na protivtenkovskim oruđima. IC-nišani su snabdeveni sa višestepenim (kaskadnim) elektronsko-optičkim pretvaračima slike. Kako ovde ne postoji IC-reflektor (najveći potrošač električne energije), to otpada i potreba za akumulatorima relativno velikog kapaciteta, pa su zato IC-nišani znatno lakši, iako su ulazni otvori nišanskih IC-durbina znatno veći.

Nema sumnje da se učešće oklopnih borbenih vozila, prvenstveno tenkova, u svim noćnim borbenim dejstvima, znatno povećalo IC-opremom, jer im je ona omogućila slobodan manevar pokretom i preciznu vatru.

Protivtenkovska odbrana je takođe dobila velike mogućnosti, jer se protivtenkovskim sredstvima može noću otvarati precizna vatra, a ne nasumce, po unapred (u toku dana) pripremljenim pravcima i linijama.

IC-uređaji su dali noćnoj borbi, naročito oklopnih vozila i protivtenkovskoj odbrani, dinamiku i efikasnost, koje ranije nije imala.

Ne treba izgubiti iz vida, da će u eventualnim noćnim borbenim dejstvima, sva savremena oklopna borbena vozila, prvenstveno tenkovi, biti opremljeni IC-uređajima za noćno kretanje i gađanje, a verovatno i većina osnovnih protivtenkovskih oruđa.

IC-uređaji u RM i lukama

Za noćno nišanje i gađanje iz naoružanja borbenih čamaca, patrolnih i sličnih brodova, mogu se postaviti odgovarajući nišanski IC-uređaji aktivnog ili pasivnog

principa dejstva. Principijelno, to su isti nišanski IC-uređaji, kao i kod protivtenkovskih oruđa ili oklopnih vozila, s tim što su balističke končanice u IC-durbinima prilagođene balistici oruđa na koja se postavljaju. S obzirom na to što problem težine kompleta ovde nije tako akutan, može se ići na objektivne velikih ulaznih otvora, što bitno utiče na povećanje dometa IC-uređaja. Isto tako i snaga IC-reflektora može biti veća, jer na brodu ima relativno dovoljno električnih kapaciteta; ovo takođe doprinosi izvesnom porastu dometa IC-uređaja. Kod nišanskih IC-uređaja pasivnog principa dejstva takođe se mogu primeniti veći ulazni otvori objektiva, čime se povećava domet i preciznost nišanja.

Zavisno od vlažnosti vazduha i opšte prozračnosti atmosfere iznad morske površine, domet IC-uređaja može biti nekoliko puta veći nego na kopnu.

IC-uređaji za osmatranje na kopnu se korisno primenjuju i za noćni saobraćaj i osmatranje u lukama i pristaništima, kao i prilikom noćnog sprovođenja plovnih jedinica kroz prolaze u sopstvenim minskim poljima, za saobraćaj čamaca između usidrenih brodova i obale, itd.

Za potrebe signalizacije i kodni saobraćaj između dva ili više korenspondenata, bilo da su na vodi ili jedan ili više na vodi a drugi na obali, koriste se već razvijeni odgovarajući IC-uređaji.

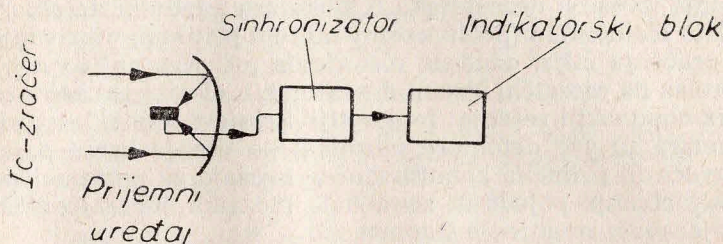
Principijelno, svi ovi uređaji mogu biti aktivnog ili pasivnog principa dejstva. No, koliko je za sada poznato, u većini se primenjuju IC-uređaji aktivnog principa dejstva.

Mogućnosti i potrebe za primenu IC-uređaja na plovnim objektima, pristaništima i lukama su velike, pa ih zato neke zemlje, prema dostupnim informacijama, već umnogome koriste.

IC-lokatori

Infracrveni lokatori su optičko-elektromehanički sistemi namenjeni za određivanje uglovnih koordinata zemaljskih, pomorskih i vazdušnih ciljeva, na bazi njihovog sopstvenog IC-zračenja (pasivni IC-sistemi).

IC-lokator mora imati: prijemni uređaj s osetljivim elementom (detektorom) na IC-zračenje cilja, pojačavač, sinhronizator i indikatorski blok.



Sl. 71 — Principijelna šema pasivnog IC-lokatora

IC-zračenje cilja se »prihvata« pogodnim optičkim sistemom lokatora, a ovaj »prihvaćene« IC-zrake fokusira na površinu detektora u kome se dospela zračna IC-energija transformiše u fotostruju, pojačanu do određene mere u pojačavaču, a zatim se upućuje u sinhronizator, koji omogućava određivanje ugaonog položaja cilja u odnosu na optičku osu prijemnog uređaja. Položaj cilja se zatim može vizuelno uočiti u vidu svetlosnog signala na indikatorskom uređaju ili se fiksira u vidu električnih signala, koji su proporcionalni uglovnim koordinatama cilja.

IC-lokatori se mogu podeliti u dve velike grupe: za »pretraživanje« i »praćenje«. Druga grupa je našla široku primenu kod IC-sistema za samonavođenje. IC-lokatori za pretraživanje imaju užu zadatka i koriste se za pretraživanje određenog prostora i otkrivanje ciljeva, kao i za određivanje pravca na kojem se cilj nalazi. Ovi IC-lokatori nalaze široku primenu u otkrivanju ciljeva koji zrače IC-zrake određenih talasnih dužina, zatim u centrima za upravljanje vatrom i kod uređaja za toplotno (IC) izviđanje zemljišta.

Konstruktivna izvedba obe grupe lokatora može biti veoma raznovrsna — poznat je veliki broj tehničkih rešenja. IC-lokatori se sve više usavršavaju i sve ih šire koriste savremene armije. Naročito su intenzivni radovi

na konstrukciji poluautomatskih i automatskih IC-stanica za pretraživanje i otkrivanje ciljeva i upravu vatrom.

Već nekoliko godina se radi na IC-lokatorima sa mozačnim sistemom IC-detektora, koji će omogućiti savladavanje izvesnih nedostataka IC-lokatora s jednim detektorskim elementom (protivurečni zahtevi prilikom otkrivanja i praćenja cilja, odnosno nišanjenja pri otvaranju vatre). Prelaz na mozačni sistem detektorskih elemenata zahteva niz dopunskih rešenja: fotoosetljivi slojevi jednakih parametara za sve detektore mozaika; povećanje broja pojačavača ili primena komutirajućeg uređaja za naizmenično uključivanje pojedinih elemenata mozaika na zajednički pojačavač; smanjenje šumova, itd.

Od pre nekoliko godina su poznata tri tipa sistema s mozaikom detektorskih elemenata:

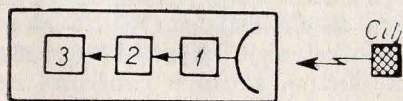
- svaki element mozaika ima poseban pojačavač;
- svi elementi mozaika naizmenično se uključuju na zajednički pojačavač;
- mozaik se zamenjuje IC-vidikonom.

Najinteresantnija i kroz literaturu detaljnije opisana je druga grupa.

Danas se IC-lokatori već dosta primenjuju za određivanje položaja ciljeva na kopnu, moru i u vazduhu, na bazi njihovog sopstvenog IC-zračenja.

IC-lokatorima se opremaju kako zemaljska borbena sredstva i postrojenja, tako i pomorska i vazдушna.

IC-sistemi za samonavodeње



Sl. 72 — Principijelna šema IC-sistema za samonavodeње: koordinator cilja (1), računski uređaj (2) i uređaj za upravljanje letom projektila (3)

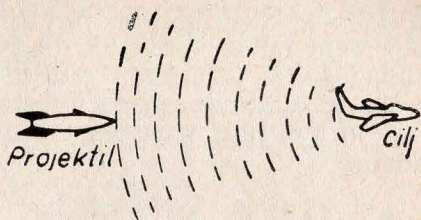
Razvoj prvih IC-sistema za samonavodeње počeo je još u toku II svetskog rata. Nemci su ostvarili čitav niz modela i prototipova IC-sistema za samonavodeње raznih vrsta projektila, ali je kraj rata onemogućio njihovo

vu praktičnu primenu. Posle II svetskog rata sa radovima su nastavile: SAD, Velika Britanija, Švajcarska, Francuska, Italija, Švedska, SSSR i dr. Danas je taj razvoj već dostigao takav stepen, da je IC-sistemima za samonavođenje opremljen veliki broj raketnih projektila.

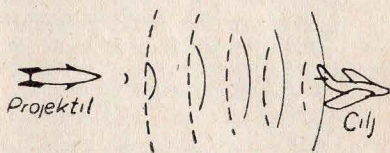
Principijelno, IC-sistemi za samonavođenje se mogu razvrstati u tri grupe: pasivni (sl. 73), aktivni (sl. 74) i poluaktivni (sl. 74). Praktičnu vrednost uglavnom imaju čisto pasivni sistemi, pa ćemo se, ukratko, samo osvrnuti na njih.

Uređaj, u sistemu za samonavođenje, koji reaguje na toplotno (IC) zračenje cilja (»glava za samonavođenje«) »méri« ugao između pravca aksijalne ose projektila i pravca na cilj, a zatim daje impuls mehanizmu koji pokreću kormila projektila, čime se automatski projektil navodi na cilj.

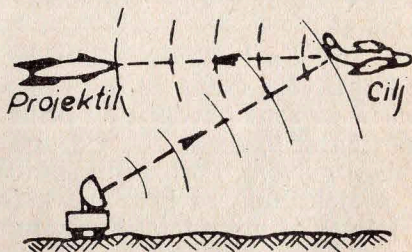
IC-sistemi za samonavođenje su, u konstruktivnom pogledu, relativno jednostavni i dosta pouzdani u radu. U poređenju sa mikrotalasnim (radarskim) sistemima samo-



Sl. 73 — Princip rada pasivnog IC-sistema za samonavođenje

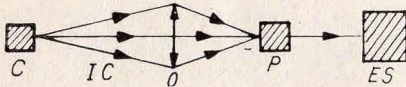


Sl. 74 — Princip rada aktivnog IC-sistema za samonavođenje



Sl. 75 — Princip rada poluaktivnog IC-sistema za samonavođenje

navođenja, IC-sistemi su prostiji, sigurniji pri radu, ne zauzimaju mnogo prostora (ima ih i prečnika svega 75 mm), teže im je ometati rad, a posebna prednost im je visoka moć razlaganja po uglovnim koordinatama, usled čega je i tačnost navođenja veća no kod odgovarajućih radara.



Sl. 76 — Nešto detaljnija principijelna šema pasivnog IC-sistema samonavođenja: cilj (C), toplotni zraci (IC), optički sistem (O), prijemni uređaj (P) i elektronski sistem za pojačavanje i registrovanje primljenog signala (ES)

No, IC-sistemi za samonavođenje imaju i izvesnih nedostataka, koji donekle ograničavaju njihovu primenu. Naime, niži slojevi atmosfere, do nadmorske visine oko 1 km, veoma mnogo apsorbuju i raspršuju IC-zrake koji dolaze od cilja u IC-glavu za samonavođenje

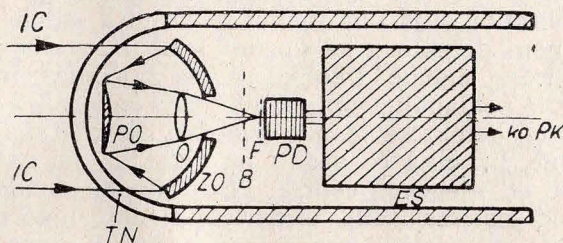
što može da dovede do znatnog smanjenja efikasnog dometa IC-glave za samonavođenje. Sličan negativan efekat ispoljavaju oblaci, jaka magla, kiša i dim, a takođe IC-zračenje Sunca i drugih nebeskih tela. Međutim, IC-sistemi za samonavođenje, uprkos ovih nedostataka, imaju dovoljno dobrih osobina koje apsolutno opravdavaju njihovu primenu.

Da bi se osiguralo korišćenje raketnih projektila po bilo kakvom vremenu (pa i nepovoljnom za upotrebu IC-glava za samonavođenje), pribeglo se projektilima u dve varijante: jedna sa IC, a druga sa mikrotalasnom (radarskom) glavom. Poslednjih godina se pojavljuju saopštenja o projektilima sa kombinovanim glavama za samonavođenje (IC i mikrotalasni sistem).

Sistem za IC-samonavođenje se sastoji: iz glave za samonavođenje i elektronskog sistema koji služi za pojačavanje primljenih električnih signala i prenošenje tih signala na kormila. Sistem je smešten na čeonom delu projektila, pa otuda i dolazi naziv »glava za samonavođenje«.

Transparentni nos (TN) projektila je izrađen od specijalnog stakla, koje dobro propušta IC-zrake onih talasnih dužina na koje je osetljiv prijemni detektor (PD) i

mora biti otporan na atmosferilije, mehaničke i toplotne udare, a tokom vremena ne sme da menja mehaničke i transparentne karakteristike.



Sl. 77 — Principijelna šema glave IC-sistema za samonavodjenje

Nakon prolaska kroz transparentni nos glave, IC-zraci nailaze na sistem za optičko fokusiranje, koji se najčešće sastoji iz prednjeg i zadnjeg ogledala (PO i ZO) i korekcionog objektiva (O). Zadatak mu je da primljenu energiju upadnog snopa IC-zraka koncentriše (fokusira) u jednu tačku na prijemnom detektoru (PD). Ogledala ovog sistema su sferna ili parabolična, a mogu se kombinovati i sa ravnim i hiperboličnim. Radi otklanjanja aberacija i boljeg fokusiranja, često je nužno da se upotrebi i korekcionni objektiv, koji može biti iz jednog ili više sočiva.

Snop IZ-zraka, pošto prođe kroz otvor na zadnjem ogledalu, prolazi kroz blendu (B) čiji je zadatak da jednosmerne »svetlosne« snopove pretvara u naizmenične impulse potrebne učestanosti, koji, kada dospeju na prijemni detektor, daju naizmenične električne signale. Od oblika blende (kvadrat- polukrug, Arhimedova spirala i sl.) zavisi način dobijanja koordinata cilja, tj. ugla odstupanja ose cilja od aksijalne ose vođenog projektila.

Ispred prijemnog detektora nalazi se filter (F), čiji je zadatak da propušta samo snopove IC-zraka, bliskih i pogodno odabranih talasnih dužina, te da tako svede uticaj spoljašnjih smetnji na najmanju moguću meru. Poznato je da postoje raznovrsne smetnje, koje mogu u prijemnom detektoru da proizvedu takve signale kakve daje

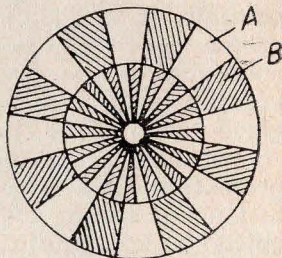
IC-zračenje cilja, što dovodi do skretanja projektila sa putanje usmerene na cilj.

Završni elemenat IC-glave za samonavođenje je prijemni detektor. Na njega pada tačkasti snop IC-zraka, koji dolaze od cilja i na njemu se formira »slika« cilja. U prijemnom detektoru se upadni snop IC-zraka pretvara u električne signale. Ukoliko se osa zračenja cilja i osa projektila poklapaju, »optički lik« cilja se formira u centru prijemnog detektora. A ako ove dve ose odstupaju jedna od druge, lik cilja će padati na detektor, na nekom odstojanju od njegovog centra. Posredstvom blende i elektronskog sistema (ES), električni signali (upoređeni sa signalima specijalnog generatora repernih signala) daju odgovarajuće komande pokretačima kormila (PK), a ovi pokreću projektil u onom smeru koji će dovesti do poklapanja osa cilja i projektila.

PV Protivnički avion u letu se može otkriti pomoću IC-glave na više načina: na bazi modulacije fona (pozadine) IC-zračenja elisa aviona: na bazi turbulencije koja se stvara na izlazu iz raketnih motora i na bazi IC-zračenja avionskih motora, odnosno izduvnih gasova. Glava za samonavođenje je u ovom slučaju nepokretna i njena osa se poklapa sa aksijalnom osom projektila na kojem se nalazi. Snop IC-zraka, koji dolazi sa cilja, ulazi kroz nos projektila i pada na sistem za optičko fokusiranje, a ovaj ga fokusira u centar prijemnog detektora. Ako osa zračenja cilja odstupa od ose projektila, snop IC-zraka će se pomeriti za određeni ugao. Da se dobije odgovarajući električni signal, zavisano od pomeranja snopa IC-zraka, upotrebljava se obrtna prozračna blenda (elektromotor je okreće konstantnom brzinom) i prijemni detektor, koji se mora nalaziti u fokusu (žiji) optičkog sistema glave. Blenda ima dva koncentrična pojasa sa prozračnim (A) i neprozračnim površinama (B). Broj ovih površina na oba pojasa nije isti — više ih je na unutrašnjem.

Kada se cilj nalazi tačno na optičkoj osi glave za IC-samonavođenje, njegov je lik na disku tačno na granici pomenuta dva pojasa. Ako se cilj u jednom trenutku nalazi ispod ose glave za samonavođenje, lik cilja će biti na spoljašnjem pojasa blende. Učestanost fluksa IC-zraka

koji padaju na prijemni detektor, zavisice; od broja prozračnih i neprozračnih površina na spoljašnjem pojasu blende i njene brzine obrtanja. Tako dobijeni IC-impulsi generišu, na prijemnom detektoru, električne impulse odgovarajuće učestanosti, koji se zatim pojačavaju u pojačavaču, a potom odlaze u dva filtra, od kojih je jedan podešen na učestanost impulsa koje daje spoljašnji pojas blende, a drugi na učestanost koja se dobija modulacijom pomoću unutrašnjeg pojasa (ovo bi se dogodilo kada bi se cilj nalazio iznad ose projektila). U slučaju o kojem je reč, na filtre dolaze naizmenični impulsi sa učestanošću koja odgovara prvom filtru. Sa filtra impulsi odlaze na ispravljač, a zatim na autopilot koji »komanduje« pokretačima kormila, a ovi pomeraju kormila projektila naniže, pa se tako osa projektila odmah okreće za ciljem. Kada bi se cilj nalazio iznad optičke ose, fluks IC-zraka bio bi modulisan unutrašnjim pojasom diska, pa bi se naizmenični signali dobijali na drugom filtru. Ispravljač bi ih prenosio na autopilot, usled čega bi pokretači kormila projektila pokrenuli kormila naviše. Kada se ose cilja i projektila poklapaju, tj. kada projektil prati cilj, lik cilja na blendi se nalazi na granici dva pojasa. Fluks IC-zraka



Sl. 78 — Blenda

se deli: na deo koji pada na prijemnik s učestanošću koju daje spoljašnji pojas diska i na deo sa učestanošću koju daje unutrašnji pojas diska. Prijemnik generiše impulse obe učestanosti, te se tako dobijaju struje jednake po amplitudi, ali suprotnog smera, pa se kompenzuju, usled čega signali ne pobuđuju autopilot, a projektil nastavlja let nepromenjenim pravcem.

Opisani sistem može da upravlja letom projektila samo u jednoj ravni, na primer u vertikalnoj. Za upravljanje u drugoj, upravnoj na pravu ravan (horizontalnu), mora se upotrebiti drugi kanal upravljanja, koji ima optički sistem analogan prvom kanalu, ali je u odnosu na

njega pomeren za 90° . Pošto oba kanala za upravljanje projektilom rade jednovremeno, projektil leti pravo na cilj. Treba napomenuti da postoje i drugi načini za dobijanje komandi za pokretanje kormila projektila, ali su skoro svi komplikovaniji od opisanog.

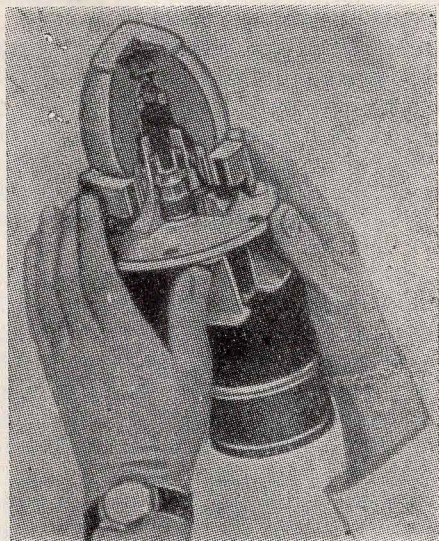
IC-glava za samonavođenje, usled velikih manevarskih sposobnosti ciljeva i nepredviđenih okolnosti za vreme leta projektila, može da »izgubi« cilj iz »vidnog polja«. Da bi se to izbeglo, često se konstruišu tzv. pokretne glave koje imaju višestruke prednosti nad nepokretnim. Kod pokretnih IC-glava reakcija elektronsko-optičkog sistema na manevrisanje cilja gotovo je trenutna, dok je za pokretanje kormila projektila i ispravljanje njegove putanje potrebno relativno duže vreme. Kod pokretnih IC-glava iskorišćena je baš ta okolnost. Naime, osa pokretne glave i osa projektila mogu da zauzimaju različite međusobne položaje, u određenim granicama. Sama glava, vrlo pokretna, neprekidno »prati« cilj, tako da ovaj ne može da »pobegne« iz njenog vidnog polja. Sistem za pokretanje kormila projektila, iako znatno sporiji, prati pokrete glave i tako navodi projektil na cilj.

Sistemi za IC-samonavođenje se najčešće ugrađuju na projektilima klase vazduh-vazduh; kod njih je vrlo često to i jedini sistem vođenja. Kod projektila zemlja-vazduh obično se kombinuju dva sistema, i to tako da se sistem za IC-samonavođenje upotrebljava tek u završnom delu leta projektila. Projektili zemlja-vazduh sa IC-samonavođenjem mogu da dejstvuju protiv klipnih i mlaznih aviona, kao i protiv raketa. Razume se da projektil mora biti brži od cilja (uračunavajući u njihovu brzinu i brzinu aviona-nosača).

U klasu projektila zemlja-vazduh, mogu se ubrojiti i projektili more-vazduh, koji prvenstveno služe za odbranu brodova i drugih pomorskih objekata od avio-napada, kao i taktički vođeni IC-projektili za dejstvo pešadije protiv niskoletućih aviona.

Glave za IC-samonavođenje se upotrebljavaju i na projektilima klase vazduh-zemlja (vazduh-more), prvenstveno protiv tenkova, važnih vatrenih tačaka, brodova, itd.

S obzirom da ciljevi, o kojima je napred bilo reči, zrače IC-zrake različitih talasnih dužina, čiji maksimum zračenja zavisi od apsolutne temperature cilja (Vinov zakon), to i detektorski prijemnici IC-glava za samonavođenje moraju biti takvi da reaguju na IC-zračenje onog cilja za čije su uništavanje prvenstveno predviđeni. Isto tako, zavisno od namene projektili moraju posedovati odgovarajuće manevarske i druge karakteristike.



Sl. 79 — Glava za IC-samonođenje

Do sada je publikovano najviše podataka o nekim američkim raketnim projektilima tipa vazduh-vazduh, sa IC-samonođenjem. Jedan od takvih je »sajdunder«, predviđen za borbu protiv nadzvučnih vazdušnih ciljeva, na visini do 15 km. Prema američkim izvorima, ovo je prvi vođeni projektil praktično upotrebljen 1958. godine iznad moreuza Formoza. Izrađen je od aluminijuma u obliku izduženog cilindra, dužine 275 cm, prečnika 11,5 cm, težine oko 70 kg. Domet mu je, pod najpovoljnijim

uslovima, 6—7 km, a brzina oko 2,5 maha, tj. 1.200—1.250 km/č, zavisno od temperature okoline. Motor mu je dug oko 190 cm i radi 2 sekunde. Cena projektila je oko 800—1.000 dolara. Prijemni detektor IC-glave je fotootpornik (PbS). Pre lansiranja, projektil se napaja električnom energijom iz svoga aviona-nosača. Predviđen je za dejstvo i protiv mlaznih i protiv klipnih aviona. Bojeva glava ima kontaktni ili blizinski upaljač. Amerikanci smatraju da verovatnoća pogađanja dvomotornog bombardera ovim projektilom iznosi najmanje 70%, a dostiže i 90%.

Vođeni projektil klase vazduh-vazduh »falcon« dug je oko 2 m, prečnika oko 16,5 cm, težine oko 50 kg, dometa oko 10 km, brzine nešto preko 2 maha. Telo mu je uglavnom od magnezijuma. Izrađuje se u dve varijante: prva sa IC-glavom a druga sa radarskom. Ako avion-nosač nosi istovremeno ove projektele sa oba pomenuta sistema za samonavođenje, onda mu je omogućeno dejstvo pod bilo kojim meteorološkim uslovima.

Britanci tvrde da je njihov projektil vazduh-vazduh »fajerstrajk« (dužine iznad 3 m i težine oko 130 kg) efikasniji od svih drugih projektila sa IC-sistemom samonavođenja. Projektil ima veću manevarsku sposobnost i snažnije bojevo dejstvo od »sajduindera«, a prilikom ispitivanja u Australiji, od oko 100 lansiranih »fajerstrajka« više od 80 je pogodilo cilj (avion-metu). Motor projektila radi 2—3 sekunde, a domet mu je 1,6—6,4 km. Brzina mu je 2,3 maha. Nos projektila je od pogodnog stakla u obliku osmostrane piramide. Kao i većina drugih projektila ove klase, može se upotrebiti samo za gađanje zadnje polusfere cilja (aviona). Usavršena varijanta »red top« može se lansirati sa aviona-nosača protiv zemaljskih ciljeva, kao i sa zemlje protiv ciljeva u vazduhu.

Američki raketni projektil »red aj« je jedan od najmanjih sa glavom za IC-samonavođenje. Namenjen je za borbu pešadije protiv niskoletećih aviona. Ispaljuje se sa rampe, a poslužuju ga dva poslužioca. Dužina mu je 120 cm, prečnik 7,5 cm, težina oko 9 kg.

Italijani imaju projektil klase vazduh-vazduh, pod imenom »C7«, brzine 1,9 maha, dužine oko 2 m, prečnika oko 15 cm i težine oko 70 kg. Snabdeven je sistemom za

IC-samonavođenje, a noviji model će moći da koristi infra-crveni ili radarski sistem samonavođenja.

Japanski projektil klase vazduh-vazduh »tamid«, sa sistemom za IC-samonavođenje, ima dužinu oko 2,5 m, težinu oko 145 kg, domet oko 2,8 km i brzinu oko 1,5 maha.

Navedeni su samo neki tipovi raketnih projektila sa IC-glavama za samonavođenje — o kojima su publikovani podaci u inostranim časopisima. Međutim, to nije ni izdaleka ono što je sve urađeno i šta se sada radi, istina u tajnosti.

Najzad neophodno je napomenuti da IC-glave za samonavođenje mogu da dejstvuju sve dotle dok IC-zračenje cilja nekoliko puta prevazilazi IC-zračenje fona (pozadine, okoline), koje se pojavljuje kao izvor smetnji. Rastojanje na kome se primljeni impulsi od IC-zračenja cilja još mogu sigurno izdvojiti od šumova usled IC-zračenja fona, predstavljaju domet sistema za IC-samonavođenje.

IC-blizinski upaljači za projekte

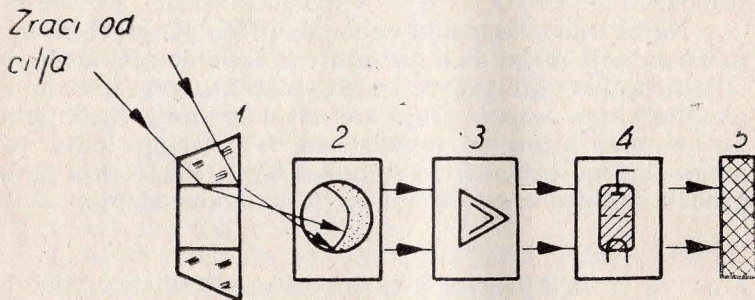
S obzirom na karakter vazdušnog cilja i karakteristike projektila, smatra se da blizinski (nekontaktni) upaljač treba da izazove dejstvo projektila na odstojanju 15—50 m od cilja. U tom slučaju, prema podacima iz inostrane literature, verovatnoća uništenja cilja je 80—90% (sa udarnim ili tempirnim upaljačem oko 60%).

Prema principu dejstva, elektro-optički blizinski upaljači mogu biti:

- pasivnog principa dejstva;
- aktivnog principa dejstva (aktivni ili optičko-radiolokacioni sistemi);
- konstantnog principa dejstva (koji reaguju na vidljivi kontrast između cilja i fona na kojem se cilj nalazi). Ovakav blizinski upaljač je u osnovi običan fotorele, a po pravilu radi u vidljivom delu spektra. Suštinska mana mu je osetljivost na smetnje, kao i neželjeno aktiviranje na granicama dva objekta različito osvetljenih, odnosno s različitom bojom. Stoga ova grupa upaljača nije našla značajnu praktičnu primenu.

Blizinski IC-upaljači se danas primenjuju kod velikog broja raketnih projektila različitih klasa i namene, jer su ne samo opiti potpuno opravdali njihovu upotrebu, već i praksa iz drugog svetskog rata: nemačke rakete V-1 Britanci su, prema objavljenim podacima, 79% obarali protivavionskom artiljerijom čija su zrna imala blizinske upaljače.

Danas su blizinski upaljači u nizu armija obavezni deo protivavionskih, vođenih i samonavedenih projektila.



Sl. 80 — Uprošćena šema blizinskog IC-upaljača: optičko sočivo (1), prijemnik IC-zraka (2), pojačavač (3), izvršni element (tiratron) (4), detonator (5)

IC-uređaji za sprečavanje sudara u vazduhu i sletanje aviona i helikoptera noću

Na većim visinama, pri vedrom nebu ili iznad oblaka, dolazi do pojave poznate pod imenom »kratkovidost praznine«, tj. pilot odjedanput postaje kratkovid; oči mu se fokusiraju na odstojanju ne većem od 2 m. Ako se tome doda i okolnost, da su uslovi osmatranja vazдушnih ciljeva na većim visinama otežani tamnim fonom nebeskog svoda i veoma malim raspršivanjem sunčeve svetlosti, onda je jasna velika važnost rešenja blagovremenog uočavanja aviona koji lete u istoj liniji ali suprotnom smeru. Sem toga, treba imati na umu da je pilot, naročito kod reaktivnih aviona, prisiljen da najveći deo vremena upotrebi za kontrolu instrumenata. Zato savremeni avioni raspo-

lažu specijalnim uređajima za blagovremeno sprečavanje sudara aviona u letu na velikim visinama. Ovakav uređaj ima zadatke da blagovremeno otkrije avion od koga preti opasnost sudara, obradi dobijene podatke i odredi da li se oba aviona nalaze na ugroženom kursu, zatim da eliminiše zaključke o bezopasnim avionima a da na jednostavan način ukaže pilotu na potreban manevar radi izbegavanja sudara. Uređaj je dužan da neprekidno analizira postojanje opasnosti od sudara i da pažnju pilota privuče tek onda kada predstoji realna opasnost.

Principijelno, ovakvi IC-uređaji mogu biti aktivnog, ali su najčešće pasivnog principa dejstva.

Za regulisanje saobraćaja aviona i helikoptera na aerodromima i improvizovanim sletištim i uzletištim takođe se koriste IC-sistemi, jer omogućavaju maskiranje ovih borbenih radnji od neželjenog osmatranja.

IC-uređaji za obezbeđenje objekata

Radi veće bezbednosti pojedinih važnih objekata, prolaza ili prelaza ili za držanje pod stalnom kontrolom pojedinih delova terena radi informisanja o pokretima na njemu, koriste se, pored straža, i razni aktivni ili pasivni IC-uređaji, zavisno i od zadatka. Nije mali broj onih firmi na Zapadu koje proizvode ovakve IC-uređaje, a isto tako rade i na njihovom usavršavanju i razvoju novih. Ovakvi uređaji su od naročito velikog značaja za povećanje sigurnosti obezbeđenja u uslovima ograničene vizuelne vidljivosti, a naročito noću i pri slaboj vidljivosti. Pomoću nekih tipova moguće je brzo i automatski ustanoviti i smer u kojem se vrši neko kretanje na osiguravanom pravcu, pogotovu kada treba kontrolisati kretanje samo u jednom pravcu.

Svi ovi uređaji su automatizovani, a dobijeni signali mogu biti svetlosni, akustični i dr. Čitav sistem ovakvog uređaja se postavlja prikriveno i zamaskirano, tako da onaj ko želi da prođe neotkriven ne zna kako je tačno sistem obezbeđenja izveden. Neke firme na Zapadu prodaju pojedine tipove ovih uređaja; jedan od takvih je L80 francuske firme BBT.

Avionski IC-nišani

Avionske IC-nišane koristile su Nemačka i Velika Britanija još u II svetskom ratu. Tako je, na primer, nemački »orel« mogao da otkrije i uoči avion B-29 s odstojanja od oko 30 km. Ovaj, kao i svi drugi današnji avionski IC-nišani zasnovani su na pasivnom principu dejstva. To su u stvari IC-prijemnici određenih spektralnih karakteristika, snabdeveni snažnim optičkim objektivima relativno velikog vidnog polja. Ovi IC-nišani imaju balističke končаницe, koje omogućavaju precizno nišanje i gađanje. Savremeni avionski IC-nišani se drže u tajnosti.

Za određivanje daljine do vazdušnih ciljeva, ubrzano i intenzivno se radi na laserskim daljinomerima, a takođe i na laserskim nišanima aktivnog principa dejstva (predajnik i prijemnik).

Laserski nišani omogućavaju istovremeno i precizno merenje odstojanja do cilja.

IC-daljinomeri

IC-daljinomer ima sledeće glavne sklopove: izvor IC-zračne energije, uređaj za modulaciju, optički sistem koji usmerava modulisani zračni snop u određenom pravcu, prijemnik reflektovanog zračnog IC-snopa i uređaj za merenje vremena odlaska modulisanog zračnog IC-snopa i njegovog povratka do prijemnika, posle reflektovanja od objektiva do koga se meri odstojanje. Tačnost merenja odstojanja pomoću IC-daljinomera aktivnog dejstva, veoma je velika. Jasno je da oni, zavisno od veličine odstojanja koja treba meriti, tj. od namene, zahtevaju veoma snažne izvore IC-zračenja određenih talasnih dužina. Zbog toga, ako se ne zahteva odveć velika preciznost u merenju daljine, mogu se koristiti pasivni IC-daljinomeri s unutrašnjom bazom. Oni obavezno u svom kompletu imaju sledeće sklopove: prijemne glave sa spektralnom osetljivošću u dijapazonu talasnih dužina IC-zračenja cilja, računsku mašinu i indikator daljine. Dve prijemne glave razmeštene su na krajevima baze daljinomera i to su istovremeno i najodgovorniji sklopovi kompleta

daljinomera. Postoje i daljinomeri s bazom na cilju, tj. sa »spoljašnjom bazom«, ali im je primena ograničena zbog znatno manje tačnosti merenja.

IC-daljinomeri pogodnog tipa mogu biti ugrađivani na avione, brodove i druga veća borbena sredstva, pri čemu služe da brzo izmere odstojanje do cilja, a zatim da ga predaju, na određeni način, sistemu za otvaranje vatre. Njihova primena takođe može biti velika u sistemu obalske i protivavionske odbrane, uvek kada su IC-daljinomeri efikasniji od drugih načina brzog određivanja odstojanja do cilja. Upotrebljavaju se i za određivanje odstojanja do raznih zemaljskih ciljeva, koji se mogu uništiti samo preciznom vatrom, kako u napadu tako i u odbrani.

Televizija u noćnim dejstvima

Razvojem i primenom televizije, dobijena je mogućnost da komandant, u toku borbenih dejstava, ne donosi odluku samo na osnovu izveštaja i subjektivnih zapažanja osmatračkih organa i potčinjenih starešina, odnosno sopstvenog izviđanja, već i preko televizijskih prijemnika, postavljenih na njegovom komandnom mestu. Noću ovu mogućnost pruža specijalna televizija. Ali ona zahteva specijalne visokoosetljive predajne cevi, sposobne da daju dovoljno razgovetnu sliku pri malom ili vrlo malom osvetljaju na fotokatodi cevi. Kako televizijske cevi tipa »superortikon« nisu omogućavale osmatranje, čak ni u periodu sumraka, bilo je nužno ići na dalje povećanje osetljivosti predajnih televizijskih cevi. Ovo je postignuto izradom pojačavačkih televizijskih cevi, sa jednim ili više stepena pojačanja, na bazi postojećih najosetljivijih televizijskih cevi. Broj stepena pojačanja (broj kaskada) ograničen je zahtevima moći razlaganja sistema, naročito na periferiji vidnog polja, zatim određenim aberacijama elektronsko-optičkog sistema i rasipanjem svetlosti na »opnama« koje dele ekrane i međufotokatode, kao i zrnastom strukturom ekrana. Pre nekoliko godina realizovan je televizijski sistem za noćno osmatranje i izviđanje (»kokošije oko«), kod kojeg je upotrebljen »super-ortikon« s jed-

nis stepenom pojačanja. Opiti su pokazali da je TV-uređaj s »kokošijim okom« za oko 1.000 puta osjetljiviji od obične TV kamere sa »superotikonom«. Zadnjih nekoliko godina napravljeni su dalji koraci na omogućavanju praktične primene televizije noću. Na žalost nije moguće izneti podatke o tome dokle se stiglo u razvoju i primeni televizije u noćnim dejstvima, jer se podaci čuvaju kao vojna tajna, a oni objavljeni su nedovoljni za pouzdane zaključke.

MASKIRNE MERE PROTIV IC-UREĐAJA

Prvenstveno treba koristiti, gde god je to moguće, IC-uređaje pasivnog principa dejstva, jer IC-uređaj aktivnog principa dejstva demaskira IC-reflektor.

Smanjenju efikasnosti protivničkih IC-uređaja doprineće i ljudstvo koje dobro poznaje savremenu, obostranu primenu IC-tehnike u borbenim dejstvima. Kroz obuku se ljudstvo mora upoznati sa dobrim i lošim stranama aktivnih i pasivnih IC-uređaja, sa borbenim načelima njihove primene i merama za smanjenje efikasnosti protivničke IC-tehnike. Lažni IC-izvori mogu biti od velike praktične koristi ako se znalački i smišljeno koriste. Lažni ciljevi su naročito pogodni za skretanje protivničkog projektila od pravog cilja, naročito ako je autonoman u pogledu navođenja, jer je tada nemoguće naknadno mu korigovati putanju.

Magla i oblaci, sneg i jaka kiša umnogome apsorbuju i raspršuju IC-zračenje, pa zato borbena dejstva treba izvoditi prvenstveno kada je efikasnost IC-uređaja jako smanjena, pa čak i sasvim beznačajna.

Maskiranju protiv IC-osmatranja doprinose i specijalna maskirna sredstva — mreže i zaštitni premazi. Premazi, tj. zaštitne boje apsorbuju IC-zračenje određenih talasnih dužina i smanjuju kontrast između objekta koji se maskira i fona (pozadine). Odeća ljudstva se takođe maskira odgovarajućim bojama.

Maskiranje je moguće ostvariti i premazima od termoizolacionog materijala. Ali kako ova zaštita nije potpuna, mora se dopunjavati i drugim merama IC-maskiranja.

Imitacija realnog IC-zračenja stvarnih ciljeva, pomoću lažnih ciljeva (specijalno napravljeni imitatori IC-zračenja), mada veoma skupa i složena, nalazi primenu, kako kod zemaljskih i pomorskih, tako i kod vazdušnih ciljeva.

Iz inostrane literature se mogu zapaziti pravci u kojima se odvijaju naponi za zaštitu od IC-sredstava protivnika, a preduzete mere bi se mogle grupisati ovako:

- usavršavanje metoda raspršivanja (rasipanja) IC-zračenja sa površine cilja;
- izvođenje manevra ciljem;
- primena po dimenzijama malih a visokointenzivnih izvora IC-zračenja, na primer u vidu pirotehničkih raketa;
- upotreba izvora smetnji niske temperature;
- primena brzih raketa lansiranih u pravcu protivnikovog napadnog sredstva sa sistemom za IC-samonavođenje;
- korišćenje veštačkog zamagljivanja atmosfere;
- primena specijalnih letelica, sa intenzivnim izvorima IC-zračenja, koje predvode sopstvene bombardere nad teritorijom protivnika.

Ovim što je rečeno ni izdaleka nisu iscrpljena sva pitanja vezana za zaštitu od IC-sredstava protivnika.

VOJNA IC-TEHNIKA U SAVREMENIM BORBENIM DEJSTVIMA

Iako prvi počeci razvoja vojnih IC-uređaja padaju još u vreme I svetskog rata, puni razvoj i široku praktičnu primenu doživljavaju tek posle II svetskog rata. Ovaj razvoj nije još završen, naročito ako su u pitanju uređaji pasivnog principa dejstva. Nagli razvoj tehnike poluprovodnika, naročito zadnjih desetak godina, jedan je od glavnih činilaca napretka vojne IC-tehnike. Što se pak tiče uređaja aktivnog principa dejstva, tu je, izgleda, uglavnom postignuto ono što se moglo, s izuzetkom laser-skih IC-sistema.

IC-uređaji aktivnog principa dejstva relativno su malih dometa; većih poboljšanja dometa neće biti, naročito ne na površini zemlje i u nižim slojevima atmosfere. Uzrok se nalazi u relativno velikom apsorbovanju i rasipanju zračne IC-energije sa područja kratkotalasnih IC-zraka ($0,76—2,5 \mu$), prilikom njihovog prostiranja kroz atmosferu, a IC-uređaji aktivnog principa dejstva upravo rade u ovom kratkotalasnom IC-području. Zračni snop IC-reflektora uređaja aktivnog principa dejstva, trpi apsorpciju i rasipanje na putu od IC-reflektora do cilja, zatim na samom cilju, i najzad, na putu od cilja do prijemnog uređaja i kroz sam uređaj do posmatračevog oka. Gubici zračne IC-energije na ovom putu su veliki. Povećanje dometa preko znatnog povećanja zračne snage IC-reflektora ne daje one rezultate koji bi se na prvi pogled mogli očekivati. To se vidi ako se, na primer, uporedi streljački

IC-nišan, čiji reflektor ima prečnik \varnothing 100 mm, snagu sijalice 30 W, a domet 150 m i drugi, mnogo veći, čiji osmatrački IC-uređaj ima reflektor sa sijalicom snage 1500 W, prečnik reflektora \varnothing 600 mm, a domet na kopnu oko 1000 m i oko 3.600 m iznad vodene površine. U prvom slučaju svetlosna jačina na aksijalnoj osi IC-reflektora iznosi 7.000—10.000 sveća, a u drugom 5 miliona. Poređenjem istih karakteristika za dva navedena uređaja vidi se: da je za povećanje dometa od 24 puta (3.600 : 150) nužno povećati snagu IC-reflektora za 50 puta (1500 : 30), a svetlosnu jačinu na osi 500 puta (5.000.000 : 10.000). Ako se doda još i to da je u prvom slučaju visoki napon 4000 V, a u drugom 20.000 V, a da je ukupno elektronsko-optičko povećanje u drugom slučaju 6^x , a u prvom verovatno negde oko 2^x ili još manje, i, najzad, da je ulazni otvor objektiva u drugom slučaju mnogo veći, onda postaje jasno da se, na račun velikog povećanja snage IC-reflektora, ne može ni u približnoj srazmeri povećavati i domet IC-uređaja aktivnog principa dejstva. Zato su IC-uređaji aktivnog principa dejstva uređaji malih dometa, pogotovu kada se radi o nišanskim i osmatračkim uređajima sa elektronsko-optičkim pretvaračima slike. Neophodno je napomenuti i teškoće koje stvara težina akumulatora IC-uređaja aktivnog principa dejstva ako ih moraju prenositi poslužioc.

Druga važna činjenica, u stvari glavna mana IC-uređaja aktivnog principa dejstva, jeste demaskirajuće dejstvo IC-reflektora (IC-farovi), koje protivnik može otkriti odgovarajućim IC-uređajima, a zatim ih podvrći vatri. Zbog toga se IC-uređaji aktivnog principa dejstva moraju taktički smišljeno koristiti.

Međutim, pomenuti nedostatak IC-uređaja aktivnog principa dejstva, njihova relativno visoka cena i potreba za negom i održavanjem, nikako ne mogu dovesti do dileme u pogledu koristi i efikasnosti njihove primene u noćnim dejstvima. Zato su IC-uređaji ušli u opremu skoro svih rodova i službi savremenih armija.

Važno je, isto tako, ne samo posedovati raznovrsnu IC-tehniku, već i poznavati njene dobre i loše strane, mogućnosti ovog ili onog IC-uređaja i načela njihove tak-

tičke primene. U tom slučaju se može u znatnoj meri neutralisati eventualno preimućstvo protivnika u IC-tehnici.

Laki IC-uređaji poseban značaj imaju u partizanskim noćnim borbenim dejstvima.

Nerealno je mišljenje da je moguće »pretvoriti noć u dan« posredstvom IC-uređaja, pa makar i kada bi svaki borac i starešina bio opremljen njima. Nikakvim IC-uređajima se od noćnih ne mogu stvoriti dnevni uslovi vidljivosti i osmatranja. IC-uređaji samo poboljšavaju, istina znatno, uslove noćnog osmatranja i gađanja, kako u kvalitativnom smislu tako i u smislu povećanja daljine, omogućavaju normalnu noćnu vožnju vozila.

IC-uređaji na bazi elektronsko-optičkih pretvarača slike pružaju mogućnost da se u zoni dometa nekog IC-uređaja vidi i zna tačno koji je cilj u pitanju, njegovi pokreti i radnje, približno oceni odstojanje (tek posle uvežbavanja), nišani, itd. Ovo sve, razume se, nakon prethodnog uočavanja cilja u ograničenom vidnom polju IC-uređaja.

IC-uređaje treba primiti onakvim kakvi su, sa njihovim manama i vrlinama, i upotrebljavati ih, izvlačeći iz njih sve koristi koje pružaju.

Nije moguće sve unapred propisati i precizirati kako treba koristiti IC-tehniku, pogotovu ako obe strane sa njom raspolazu. Konkretni uslovi, obilje borbenih situacija, daju mogućnost za maksimum samoinicijative borcu i starešini, opremljenih odgovarajućim IC-uređajima, da ih najefikasnije iskoriste.

Mada vojni IC-uređaji sami po sebi nisu komplikovani ipak zahtevaju od korisnika da ih dobro poznaju — njihove mane, dobre strane i mogućnosti. Isto tako je nužno da donekle poznaju i fiziku, odnosno optiku, IC-zračenje i njegovo prostiranje kroz atmosferu, elektriku i elektroniku, itd. Održavanje IC-uređaja u toku upotrebe je nužno i zahteva veći stepen tehničke kulture nego kad je u pitanju održavanje običnih (klasičnih) optičkih nišana, dogleda i drugih sličnih instrumenata.

IC-uređaji kao tehnička borbena sredstva i obučenosť ljudstva u rukovanju i njihovoj racionalnoj upotrebi po-

stali su važan i neposredan elemenat i činilac borbene gotovosti. Kod nekih borbenih sredstava, kao što su, na primer, rakete, IC-uređaji za vođenje i samovođenje su nezostavan, skoro nezamenljiv sastavan deo. Bez obzira na to da li će neka armija imati sve moguće vrste savremenih IC-uređaja, mora preduzeti sve da se armijski sastav u što je moguće većoj meri upozna sa borbenim uslovima u kojima se moderna IC-tehnika obostrano primenjuje.

O praktičnoj upotrebi IC-uređaja čitalac može i sam, na osnovu izloženog materijala i razmatranja, suditi o mnogim pitanjima koja se logično nameću i izvlačiti korisne zaključke.

LITERATURA

1. — Ю. А. Иванов, Б. В. Тяпкин: „Инфракрасная техника в военном деле“, Москва, 1963 год.
2. — В. Е. Кирка: „Инфракрасные лучи в военном деле“, Москва, 1962 год.
3. — Н. Г. Ильин: „Инфракрасные лучи“, Москва, 1961 год.
4. — М. А. Брамсон, А. Е. Каликеев: „Инфракрасная техника капиталистических стран“, Москва, 1960 год.
5. — V. Simić: »Izvori infracrvenog zračenja«, Vojnotehnički glasnik br. 2/65.
6. — Л. З. Криксунов, И. Ф. Усольчев: „Инфракрасные устройства самонаведения управляемых снарядов“, Москва, 1963 год.
7. — А. С. Коровкин: „Инфракрасная техника“, Москва, 1963 год.
8. — V. Simić: »Sistemi za infracrveno samonavodenje raketnih projektila«, Vojnotehnički glasnik br. 1/64.
9. — »Le rayonnement infrarouge« I. Lecomte Paris 1949.

IZDANJE VOJNE BIBLIOTEKE — NAŠI PISCI

¹ Vekoslav Kolb, BORBENA DEJSTVA U ŠUMI — II dopunjeno i prerađeno izdanje. — Izdanje 1956. — Rasprodato.

² Pero Morača, NAPADI NOVJ NA NASELJENA MJESTA — Izdanje 1956. — Rasprodato.

³ Jovo Vukotić, ZADRŽAVAJUĆA ODBRANA — Izdanje 1957, poluplatno, 16 skica, 193 strane, cena 400 dinara.

⁴ Grupa pisaca, ATOMSKO ORUŽJE I ZAŠTITA — Izdanje 1957. — Rasprodato.

⁵ Grupa pisaca, BIOLOŠKA SREDSTVA U RATU — Izdanje 1957. — Rasprodato.

⁶ Danilo Cerović, RAKETE — izdanje 1958. — Rasprodato.

⁷ Milivoje Stanković, ISTORIJSKI OSVRT NA ULOGU ARTILJERIJE U ZDRUŽENOM BOJU — Izdanje 1958, poluplatno, 20 slika, 31 skica, 896 strana, cena 1.200 din.

⁸ Branko Obradović, PROTIVVAZDUŠNA ODBRANA — Izdanje 1959. — Rasprodato.

⁹ Borivoje Rockov — Franc Smole, FORSIRANJE PLANINSKIH REKA — Izdanje 1958. — Rasprodato.

¹⁰ Aleksandar Vojinović, RAZMIŠLJANJA O PRINCIPIMA RATOVANJA U ATOMSKIM USLOVIMA — Izdanje 1959. — Rasprodato.

¹¹ Petar Tomac, VOJNA ISTORIJA — Izdanje 1959. — »Nagrada 22. decembar«. — Rasprodato.

¹² Milan Pavlović, TENKOVI U PROŠLOSTI I BUDUĆNOSTI — Izdanje 1959. — Rasprodato.

¹³ Pero Morača, ODBRANA U NOR — Izdanje 1959. »Nagrada 22. decembar«. — Rasprodato.

¹⁴ Vladimir Timčenko, OPERATIVNO MASKIRANJE — Izdanje 1959, proširano, 16 skica, 113 strana, cena 250 dinara.

¹⁵ Blažo Žugić, ANEGDOTE — Zbirka anegdota iz inostranih armija, srpske i crnogorske vojske, biv. jug. vojske, NOR-a i mirnodopskog života JNA — Izdanje 1959, proširano. — Rasprodato.

- 10 *Branko Borojević*, DRUGA STRANA RATA — Izdanje 1959. »Nagrada 22. decembar« — Rasprodato.
- 11 *Josip Žužul*, POMORSKI OPERATIVNOTAKTIČKI DESANTI — Izdanje 1959, broširano, 160 stranica, cena 250 din.
- 18 *Vladimir Gintovt*, GEOGRAFSKA KARTA — Izdanje 1959. — Rasprodato.
- 19 *Dorđe Dragić*, SANITETSKA SLUŽBA U PARTIZANSKIM USLOVIMA RATOVANJA — Izdanje 1959. »Nagrada 22. decembar«. — Rasprodato.
- 20 *Aleksandar Vojinović*, O NARODNOM RATU — 1960. — Rasprodato.
- 21 *Petar Kleut*, PARTIZANSKA TAKTIKA I ORGANIZACIJA — Izdanje 1960. — Rasprodato.
- 22 *Branko Borojević*, DRUGA STRANA RATA — II izdanje — Izdanje 1960. — Rasprodato.
- 23 *Grupa pisaca*, O VOJNOJ VEŠTINI — I — Zbirka izabranih članaka štampanih u časopisima JNA. — Izdanje 1960, poluplatno, 711 stranica, cena 800 dinara.
- 24 *Grupa pisaca*, O VOJNOJ VEŠTINI — II — zbirka izabranih članaka štampanih u časopisima JNA — Izdanje 1960. poluplatno, 713 strana, cena 800 dinara.
- 25 *Grupa pisaca*, O MORALNO-POLITIČKOM FAKTORU I PARTIJSKO-POLITIČKOM RADU — Zbirka izabranih članaka štampanih u časopisima JNA — Izdanje 1961. — Rasprodato.
- 26 *Dorđe Dragić*: SANITETSKA SLUŽBA U PARTIZANSKIM USLOVIMA RATOVANJA — II izdanje — Izdanje 1961. — Rasprodato.
- 27 *Peko Dapčević*, TAKTIKA PARTIZANSKIH ODREDA I BRIGADA U TOKU NOR — Izdanje 1961. — Rasprodato.
- 28 *Rajko Tanasković*, PITANJA PARTIZANSKOG RATOVANJA — Izdanje 1962. — »Nagrada 22. decembar« — Rasprodato.
- 29 *Grupa pisaca*, ARTILJERIJA U NOR — Izdanje 1962, poluplatno, 372 strana, cena 700 dinara.
- 30 *Milan Zelenika*, PRVI SVETSKI RAT — 1914. — Izdanje 1962. — Rasprodato.
- 31 *Savo Orović*, MORALNO VASPITANJE — Izdanje 1962. — Rasprodato.
- 32 *Grupa pisaca*, OKLOPNE JEDINICE — Izdanje 1962. — Rasprodato.
- 33 *Bogdan Oreščanin*, VOJNI ASPEKTI BORBE ZA SVETSKI MIR, NACIONALNU NEZAVISNOST I SOCIJALIZAM — Izdanje 1962. — Rasprodato.
- 34 *Blažo Žugić*, ANEGDOTE I HUMORESKE — Obuhvataju NOR i posleratni život u JNA. Izdanje 1962, broširano, 15 crteža, 191 strana, cena 350 dinara.

35 Dušan Živković, BOKA KOTORSKA I PAŠTROVIĆI U NOR — Izdanje 1964, poluplatno, 1 skica, 452 strane, cena 1.000 dinara.

36 Milija Stanišić, STAREŠINA U BORBI — Izdanje 1964, poluplatno, 243 strane, cena 600 dinara — »Nagrada 22. decembar«.

37 Rajko Tanasković, PITANJA PARTIZANSKOG RATOVANJA — II izdanje. — Izdanje 1964, poluplatno, 222 strane, cena 650 dinara.

38 Stojan Cmelić, VASPITANJE VOJNOG KOLEKTIVA — Izdanje 1965, poluplatno, 277 strana, cena 600 dinara.

39 Petar Tomac, FRANCUSKI REVOLUCIONARNI I NAPOLEONOVI RATOVI — Izdanje 1965, poluplatno, 794 strana, cena 1.800 dinara.

40 Đorđe Dragić, SANITETSKA SLUŽBA U USLOVIMA PARTIZANSKOG RATOVANJA — III izdanje. — Izdanje 1965, poluplatno, 452 strana, cena 1.000 dinara.

41 Petar Kleut, PARTIZANSKA TAKTIKA I ORGANIZACIJA — II izdanje. — Izdanje 1965, poluplatno, 324 strana, cena 800 dinara.

42 Grupa pisaca, ISKUSTVA IZ NARODNOOSLOBODILAČKOG RATA — Izdanje 1965, broširano, 298 strana, 8 skica, cena 800 dinara.

43 Grupa pisaca, IZGRADNJA ORUŽANIH SNAGA — Izdanje 1965, broširano, 317 strana, 3 skice, cena 850 dinara.

44 Grupa pisaca, TEHNIKA U SLUŽBI ARMIIJE — Izdanje 1965, broširano, 152 strana, 27 skica, cena 360 dinara.

45 Grupa pisaca, O BORBENIM DEJSTVIMA JEDINICA — Izdanje 1965, broširano, 231 strana, cena 580 dinara.

46 Dušan Mušicki, RAZORNI EKSPLOZIVI, Izdanje 1966, poluplatno, 185 strana, cena 700 dinara.

47 Kronja Tomislav, PSIHOLOŠKA RAZMATRANJA O RUKOVODENJU U ARMIIJI, Izdanje 1966, poluplatno, 129 strana, cena 600 dinara.

BRANKO RAKOČEVIĆ

INFRACRVENI ZRACI U VOJNOJ TEHNICI

Redaktor potpukovnik
Radomir Đurašinić

*

Lektor
Stana Stanić

*

Tehnički urednik
Andro Strugar

*

Korektor
Nada Vesić

Štampanje završeno maja 1966.

Tiraž 2.000

