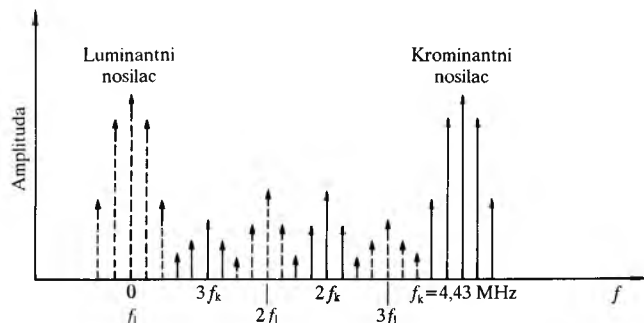


su bočnog pojasa potisnute dvije amplitude niže od $-1,25$ MHz, a ostavljene su one više od $-0,75$ MHz. Širina gornjega bočnog pojasa iznosi 5 MHz. Ton je udaljen od luminantnog nosioca $5,5$ MHz, a od granice susjednog kanala $0,2$ MHz, da se spriječi pojava interferencije između tona i slike.



Sl. 10. Frekvencijski spektar luminantnog i krominantnog signala

Nosilac je krominantnog signala na frekvenciji $4,43$ MHz koja se dobiva kao neparan višekratnik polovice horizontalne frekvencije prema izrazu $0,5 \cdot 15625 \text{ Hz} \cdot 567 = 4,4296875$ MHz, koju je prihvatio odbor CCIR 1958. godine. Krominantni se nosilac i njegove harmonijske frekvencije nalaze, na temelju tog izbora, između harmonijskih frekvencija luminantnog spektra u područjima bez signala (sl. 10) pa tada nema preslušavanja između luminantne i krominantne komponente.

PRETVARANJE SLIKE U BOJI U ELEKTRIČNI SIGNAL

Psihološki osjet vida i boje ovisi o svojstvima svjetlosti kao uzroka osjeta i oka kao prijavnika svjetlosti (v. *Optički instrumenti*, TE 9, str. 651), a opisuje se fotometrijskim i kolorimetrijskim veličinama (v. *Boja*, TE 2, str. 59; v. *Fotometrija*, TE 5, str. 608; v. *Kolorimetrija*, TE 7, str. 190). Televizija u boji, gdje se primjenjuje aditivno miješanje boja, oslanja se na međunarodne kolorimetrijske norme.

Televizijska kamera

Slike u boji pretvaraju se u električne signale u kromatskoj kameri, a prvo je tehničko rješenje razradio NTSC 1953. u Americi. Prvi zahtjev što ga je morala ispuniti televizija u boji bila je *kompatibilnost* s crno-bijelom televizijom. To znači da akromatski prijamnik treba primljeni kromatski videosignal reproducirati kao crno-bijelu sliku, ali i svaki kromatski prijamnik treba primiti akromatski videosignal i reproducirati ga kao crno-bijelu sliku. Drugi je zahtjev da akromatska i kromatska televizija imaju isti frekvencijski kanal i isti modulacijski postupak te da su im jednake horizontalna i vertikalna frekvencija i ista širina frekvencijskog opsega kao i slijed horizontalnih i vertikalnih sinkronizacijskih impulsa. Tek nakon ispunjenja tih zahtjeva moglo se započeti ostvarivanje prijenosa slike u boji.

Za prijenos videosignala u boji prenose se luminantni signal E_Y i tri krominantna signala (signali boje): crveni E_R , zeleni E_G i modri E_B . Ti se signali dobivaju pomoću triju elektronskih analizirajućih cijevi slike ili pomoću poluvodičkih videosenzora u kromatskoj kameri.

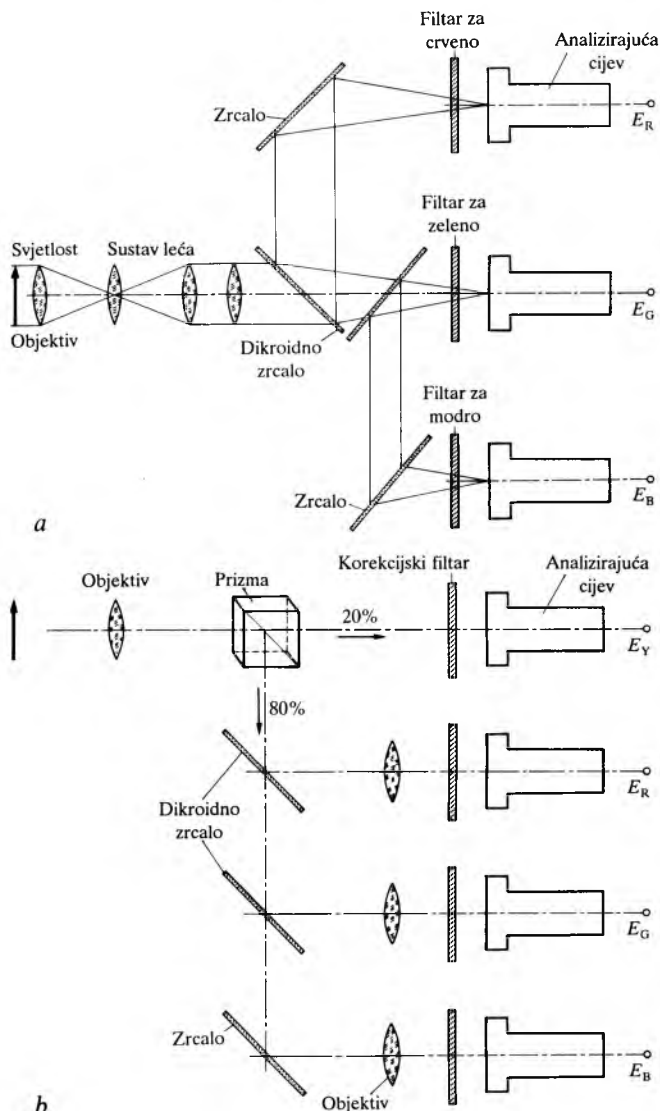
Svjetlost s predmeta koji se snima stiže u kromatsku kameru, gdje se iza sustava leća, prizme i dikroidnih (selektivnih) zrcala koja služe za filtriranje svjetlosti nalaze tri analizirajuće cijevi R, G i B, na izlazima kojih se dobivaju videosignali E_R , E_G i E_B (sl. 11a). Objektiv s promjenljivim zaslonom i sustav leća služe za optičko preslikavanje slika predmeta na dikroidna zrcala. Ta zrcala reflektiraju svjetlost samo jedne valne duljine, a svu ostalu svjetlost propuštaju, što ovisi o izradbi zrcala. To razlučivanje po valnim duljinama ovisi o upadnom kutu svjetlosti. Dikroidna zrcala čini $7 \cdot 20$ slojeva stakla (debljine $4 \mu\text{m}$, velikih i malih indeksa loma), koji su nalijepljeni na stranice prizme. Na sloju tako poredanih stakalaca nastaje selektivna refleksija. Tako prema

sl. 11a prvo dikroidno zrcalo propušta zelenu i modru svjetlost, a reflektira crvenu. Drugo dikroidno zrcalo propušta zelenu, a reflektira modru svjetlost. Filtri za korekturu služe za prilagodbu na potrebne krivulje miješanja. U analizirajućim cijevima pretvara se optička slika u električni signal. Pretvorba pojedinih dijelova primarnog spektra, tzv. primarne svjetlosti, daje pripadne krominantne signale E_R , E_G i E_B . Luminantni se signal dobiva iz sklopa za kodiranje prema izrazu

$$E_Y = 0,30 E_R + 0,59 E_G + 0,11 E_B. \quad (2)$$

Ima televizijskih kamera i sa četiri analizirajuće cijevi (sl. 11b). Jedna cijev proizvodi samo luminantni signal i osigurava reprodukciju sitnih detalja, a ostale tri daju krominantne komponente E_R , E_G i E_B . Slika se s kinematografskog filma snima fotočelijom (tzv. telekino) i dobiva se dobra kvaliteta slike s dobrim razlučivanjem.

Osim sustava leća, dikroidnih zrcala i analizirajućih cijevi, u kameri se nalazi izvor signala za horizontalno i vertikalno otklanjanje elektronskog snopa, mrežni ispravljač napona potrebnog za elektronski top i napajanje elektroničkih sklopova, te pretpojačala, pojačala videosignala i elektroničkog tražila slike. Elektroničko je tražilo slike mala katodna cijev na kojoj se motri reprodukcija slike koju kamera snima. U kameri se nalaze još sinkronizacijski generator, koji proizvodi sinkronizacijske impulse te horizontalne i vertikalne pogonske impulse, i dva stupnja za miješanje.



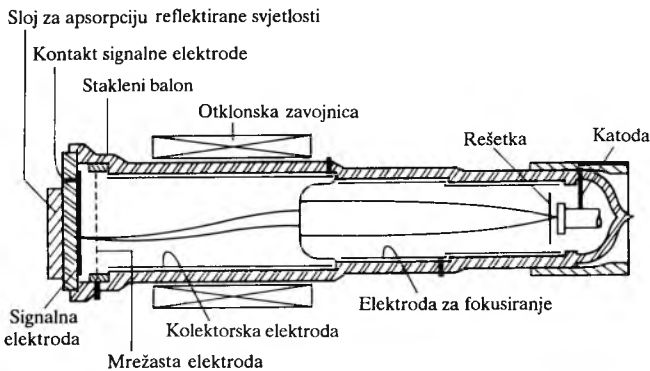
Sl. 11. Princip snimanja televizijskom kamerom, a s tri analizirajuće cijevi, b s četiri analizirajuće cijevi

Profesionalna studijska kamera visoke kvalitete odlikuje se visokim statičkim razlučivanjem i geometrijski neiskrivljenom slikom. Njome se snima šum pri standardnom osvjetljenju uz povoljan omjer signala i šuma. Masa, izmjere i potrošak energije su manje važni. Studijske se kamere u radu stalno nadziru i namještaju da bi se proizvodio što kvalitetniji videosignal.

Reporterske kamere ili kamere za elektroničko novinstvo (engl. Electronic News Gathering, ENG), sastoje se od dvaju dijelova. To su dio za snimanje i dio za zapis, koji konstrukcijski mogu biti u jednome ili u dva posebna komada. Kamere ENG također su visokoprofesionalne i sadrže sve elemente studijskih kamera, a namijenjene su za vanjska snimanja. Osobito je važno da imaju visoko dinamičko razlučivanje, da rade u širokom rasponu osvjetljenja i temperature okoliša te da budu što pokretljivije i jednostavnije za rukovanje (sl. 11b).

Analizirajuće cijevi. Pretvorba svjetlosne informacije u električnu (luminantno-električna transformacija) zbiva se u analizirajućim cijevima, kojih ima više izvedaba (v. *Elektronika, sastavni dijelovi*, TE 4, str. 468; v. *Elektronika, uređaji. Televizija*, TE 4, str. 674...676). Suvremenije izvedbe tih cijevi koje su pridonijele smanjenju dimenzija mase i potroška snage kromatskih televizijskih kamera jesu plumbikon i satikon.

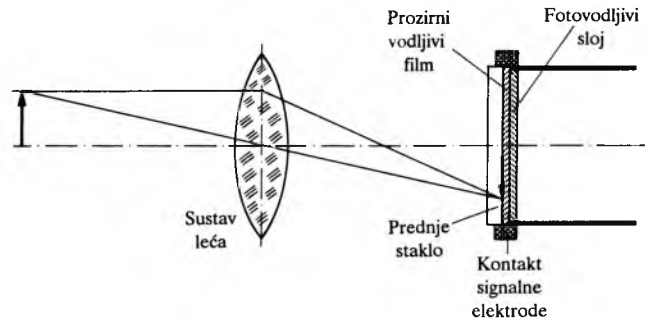
Plumbikon je analizirajuća cijev visokog razlučivanja, s dinamičkim upravljanjem struje elektronskog snopa, malena izlaznog električnog kapaciteta, s elektrostatičkim fokusiranjem smanjenja efekta povlačenja slike, te s linearnom svjetlosnom prijenosnom funkcijom i spektralnom osjetljivošću u području 400...750 nm, pa je upotrebljiva za stvaranje svih triju krominantskih signala, E_R , E_G i E_B , te luminantnog signala E_Y . Zbog osobitih kvaliteta upotrebljava se za snimanje scena u gibanju. Elektronski se top plumbikona sastoji od posredno žarene katode i četiriju elektroda (sl. 12). Napon na prvoj elektrodi (rešetka) upravlja strujom elektronskog snopa, a druga, fokusirajuća elektroda ubrzava elektrone koji prolaze kroz kolektorsku, tj. treću valjkastu elektrodu. Četvrta, mrežasta elektroda svojim naponom usporava elektrone kako bi se dobilo ravnomjerno usporeno polje prije udara elektronskog snopa u signalnu elektrodu.



Sl. 12. Presjek plumbikona s elektrostatičkim fokusiranjem i otklonskim zavojnicama

Zavojnica za fokusiranje proizvodi aksijalno magnetsko polje kojim se u sprezi s naponom na kolektorskoj elektrodi fokusira elektronski snop. Fokusiranje se namješta mijenjanjem napona na kolektorskoj elektrodi ili pomoću struje u zavojnici za fokusiranje.

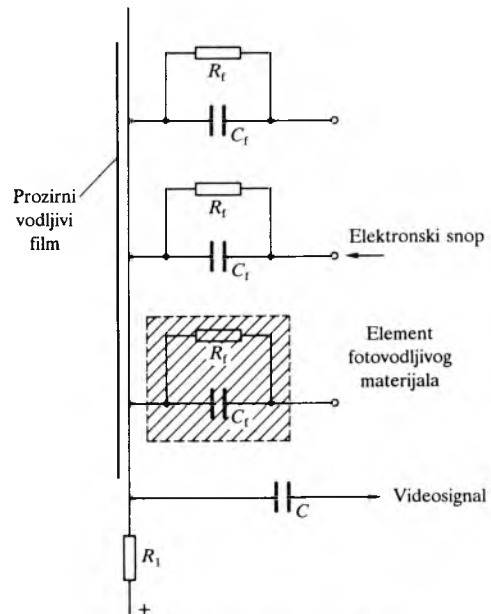
Dvije otklonske zavojnice proizvode promjenljivo magnetsko polje koje služi za otklon elektronskog snopa u horizontalnom i vertikalnom smjeru, liniju po liniju, kako bi se analizirala slika na fotoelektrodi. Fotoelektroda se nalazi na prednjoj strani plumbikona (sl. 13), a sastoji se od ravne staklene ploče i prozirnog, elektrovodljivog filma nanesenog na unutarnju stranu staklene ploče. Taj vodljivi film, na koji je naparen tanak sloj fotovodljivog materijala, predstavlja signalnu elektrodu. Električna vodljivost tog materijala ovisi



Sl. 13. Fotoelektroda plumbikona

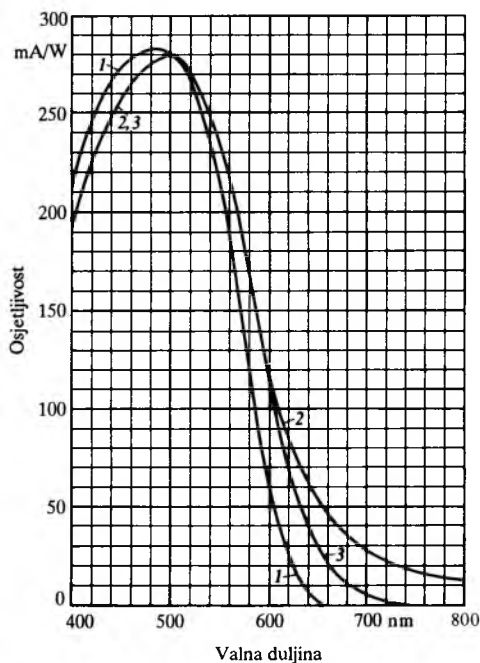
o osvjetljenju. Na neosvijetljenim mjestima fotovodljivi sloj djeluje kao izolator, a otpor mu se smanjuje s povećanjem osvjetljenja. Pomoću optičkog sustava snimana se slika projicira kroz prozirnu staklenu ploču na fotovodljivi sloj. Vanjski je kontakt signalne elektrode spojen preko opterećenog otpora na pozitivni napon od 45 V. Smatra se da se fotovodljivi sloj sastoji od mnogo malih elemenata (sl. 14) koji djeluju kao kondenzatori kapaciteta C_f , a spojeni su s jednom stranom signalne elektrode pomoću prozirnog vodljivog sloja filma. Paralelno s kondenzatorom spojen je o svjetlosti ovisan otpor R_f od fotovodljivog materijala. Prilikom razlaganja elektronski snop dolazi do fotovodljivog sloja, predaje mu elektrone i nabija sićušne kondenzatore dok potencijal analizirane površine ne bude jednak potencijalu katode. To se naziva stabilizacijom katodnog potencijala. Tako nastaje razlika napona na drugoj strani fotovodljivog sloja. Svaki se elementarni kondenzator nabija na potencijal približno jednak onome na signalnoj elektrodi. Na neosvijetljenim mjestima fotovodljivi materijal djeluje kao izolator i na njemu se zadržava naboj. Slika, koja se fokusira na fotovodljivom sloju, svojim svijetlim i tamnim mjestima mijenja promjenljive otpore R_f kroz koje se izbijaju kondenzatori C_f . Zbog toga se pozitivni potencijali raspodjeljuju s unutrašnje strane fotovodljivog sloja, i tako uskladištuju snimanu sliku između dva analiziranja. Prilikom analiziranja elektronski snop predaje elektrone pozitivnim elementima, tj. osvjetljenim mjestima fotovodljivog materijala, gdje se elektroni uskladištuju dok se ponovno ne uspostavi katodni potencijal koji uzrokuje kapacitivnu struju kroz opteretni otpor R_f . To je videosignal koji se dovodi pretpojačalu.

Analizirajuća cijev je stabilizirana kad je vrijednost struje elektronskog snopa dovoljna da ponovno uspostavi potencijal katode na analiziranoj površini.



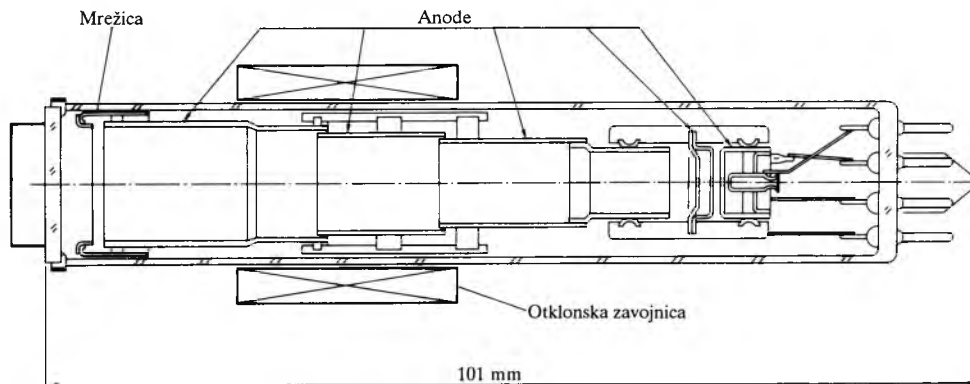
Sl. 14. Fotovodljivi sloj plumbikona

Ispred fotokatode u plumbikonu nalazi se posebno konstruirana mrežica koja reducira prostorni naboj skupljajući sekundarne elektrone u slobodnom prostoru u blizini mrežice, čime se poboljšava razlučivanje. Elektronski je top tako konstruiran da smanjuje efekt povlačenja pomoću struje elektronskog snopa koja se znatno povećava za vrijeme povratnog traga linije na rasteru. To se izvodi sklopovski. Fotokatoda je plumbikona od olovnog oksida vrlo velike fotovodljivosti. Spektralna je osjetljivost triju plumbikona prikazana na sl. 15.



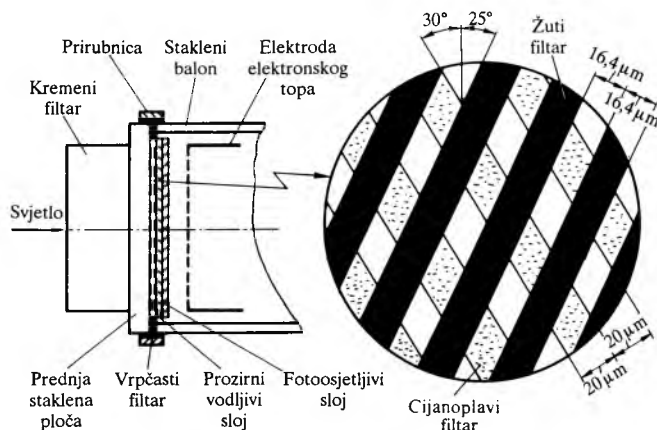
Sl. 15. Spektralna osjetljivost plumbikona. 1 plumbikon visoke rezolucije, 2 s fotoslojem povećane osjetljivosti na crveno, 3 plumbikon s reflektirajućim filtrom za infra-crveno zračenje

Satikon je analizirajuća cijev poboljšanih karakteristika prema vidikonu i superortikonu. Malih je dimenzija i treba malu energiju napajanja, pa je prikladna za ugradnju u prijenosne televizijske kamere. Razvili su je 1976. japanski stručnjaci tvrtke Hitachi. Ime joj potječe od početnih slova materijala od kojega je napravljen fotoosjetljivi sloj; to su selen, arsen i telur. Oni tvore amorfnu, a ne kristalnu strukturu poluvodičkog sloja. Karakteristike su satikona elektrostatski fokusiranje, magnetski otklon te novi tip fotovodljivog sloja i filtera u obliku isprepletenih vrpce (sl. 16). Zbog boljih parametara elektronskog topa, valjkaste konstrukcije elektroda za fokusiranje, ubrzanje i linearizaciju, te povećane razine izlznoga kromatskog signala dobiva se i bolji omjer signal/šum. Posebnom konstrukcijom zavojnice smanjuje se izlazni kapacitet između analizirajuće cijevi i pretpojačala pa je manji i šum komponenata viših frekvencija

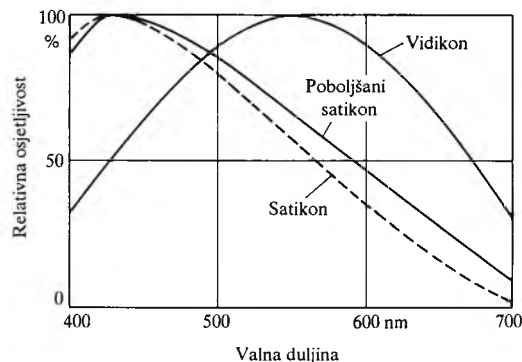


Sl. 16. Presjek satikona

videosignala. Fotoosjetljiva je elektroda nove konstrukcije (sl. 17) i odlikuje se zanemarivim odsjajem, malom strujom tame, niskim povlačenjem i većim statičkim i dinamičkim razlučivanjem. Sastoji se od kremenog filtera, prednjeg stakla, vrpčastih filtera, prozirne vodljive elektrode od kositar(IV)-oksida (SnO_2) na koju je naparen Se-As-Te fotovodljivi sloj. Dodatak telura poboljšava osjetljivost prema crvenom svjetlu. Sloj na koji dolazi elektronski snop za analiziranje napravljen je od antimon(III)-sulfida (Sb_2S_3), koji sprečava pojavu sekundarne emisije elektrona. Poboljšanje prednjeg dijela satikona postiglo se pomoću vrpčastih dikroidnih filtera, žutog i modrozelenog, za dva krominantna nosioca videosignala.

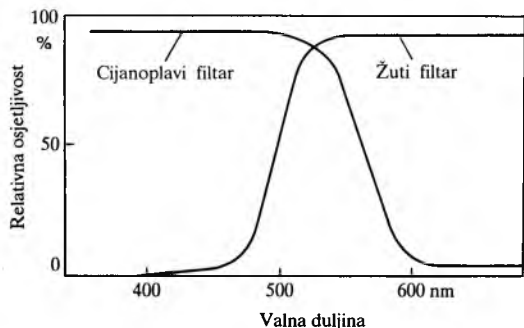


Sl. 17. Fotoosjetljiva elektroda satikona

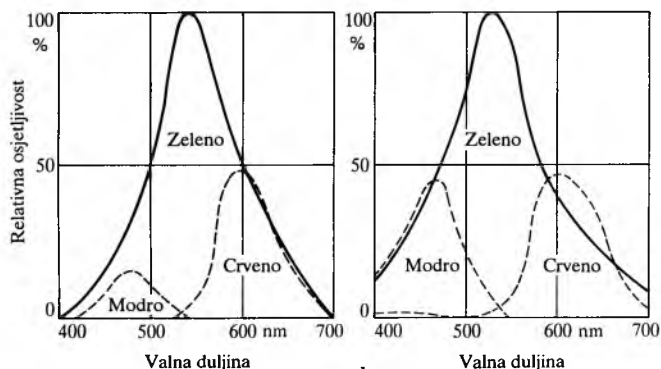


Sl. 18. Spektralna osjetljivost satikona

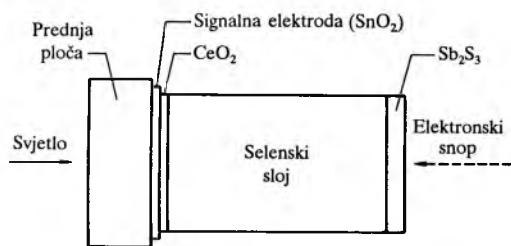
Kremeni filter sprečava ulaz svjetlosti koja dolazi sa strane, kako bi se uklonili smetajući kromatski signali. Što se tiče vjernosti reprodukcije boja, za modri se signal dobiva dobar rezultat, a reprodukcija je crvenog signala bolja što je viša temperatura boje svjetlosti (sl. 18). Upotrebom vrpčastog filtera (sl. 19) dobiva se jednolika osjetljivost u čitavu vidljivom spektru, što pokazuju izlazni kromatski signali nakon dodavanja vrpčastih filtera s prednje strane (sl. 20). Zato se satikon često upotrebljava u profesionalnim televizijskim kamerama.



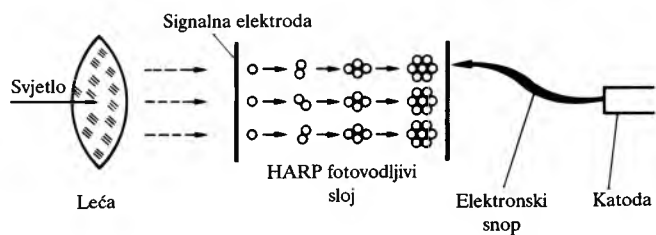
Sl. 19. Spektralna osjetljivost satikona uz primjenu vrpčastog filtra



Sl. 20. Spektralna osjetljivost vidikona s crvenim filtrom (a) i usavršenog tipa satikona (b)



Sl. 21. Shematski prikaz presjeka HARP fotovodljivog sloja

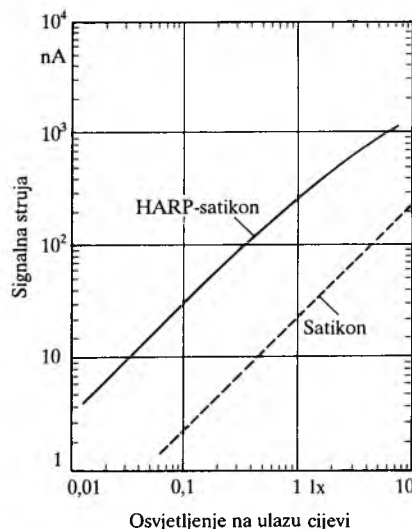


Sl. 22. Princip rada HARP fotovodljivog sloja

HARP-satikon je novi tip analizirajuće cijevi konstruirane 1987. u Japanu. Cijev ima poboljšanu fotoelektrodu po kojoj je i nazvana (engl. Highgain Avalanche Rushing Amorphous Photoconductor).

Fotoelektroda se sastoji od četiri sloja: prozirne signalne elektrode (SnO_2), sloja CeO_2 , selenskog sloja osjetljiva na svjetlost i sloja antimon(III)-sulfida (Sb_2S_3) koji sprečava ulaz elektrona iz elektronskog snopa u fotoosjetljivi sloj (sl. 21). Takvim se fotovodljivim slojem uz napon od 240 V na signalnoj elektrodi postiže visoka osjetljivost analizirajuće cijevi (sl. 22). Izlazna je signalna struja HARP-satikona uz isto osvjetljenje 1,3...1,6 puta veća nego kod satikona (sl. 23). Dovoljno velik omjer signal/šum omogućuje upotrebu te cijevi u kamerama namijenjenim za televiziju visoke kvalitete (HDTV).

Poboljšanje omjera signal/šum televizijske kamere. Za određivanje kvalitete televizijske kamere važan je omjer signal/šum. U starijim je tipovima analizirajućih cijevi, kao što je superortikon, glavni izvor šuma bila sama cijev, gdje

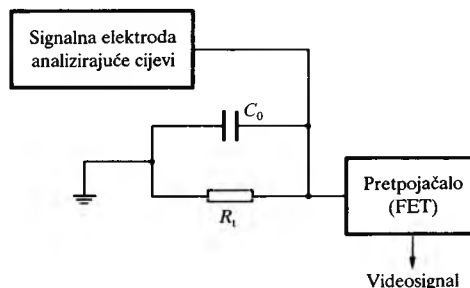


Sl. 23. Prijenosna karakteristika satikona i HARP-satikona

je razina omjera signal/šum bila 38...40 dB. Upotrebom cijevi za razlaganje s fotovodljivim slojem znatno se smanjio šum same cijevi, tako da u ukupnom šumu kamere veći njegov dio potječe od pretpojačala. Današnja se pretpojačala grade s FET-ovima kojima je ulazni šum vrlo malen, pa se zasad otuda ne može očekivati veće smanjenje šuma. Jedan je od načina smanjenja šuma smanjenje ukupnog izlaznog kapaciteta analizirajuće cijevi (sl. 24). U novim se tipovima cijevi za razlaganje, kao što je plumbikon XQ 3427-18 mm, izlazni kapacitet cijevi smanjio od 6 pF na 3 pF zato što se pretpojačalo izravno zalemito na držač kontakata signalne elektrode te povećao razmak fotovodljivog sloja od otklonskih zavojnica. Razina je omjera signala i šuma

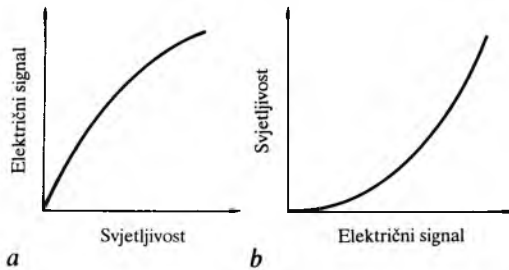
$$\text{signal/šum} = 10 \lg \frac{I_s^2}{4kTB \left(\frac{1}{R_i} + \frac{4\pi^2 B^2 C_0^2}{3g_m} \right)} \text{ dB}, \quad (3)$$

gdje je I_s struja signala, B širina frekvencijskog opsega, T termodinamička temperatura, R_i opteretni otpor cijevi i g_m vodljivost FET-a u pretpojačalu. Od razlučivanja 35...40% dubine modulacije na 400 TV linija kod standardnih cijevi postiglo se kod novih tipova plumbikona i satikona poboljšanje razlučivanja na 50...55% dubine modulacije na isti broj linija. Poboljšanjem izvedbe plumbikona i skraćanjem priključnih vodova pretpojačala te boljim razlučivanjem postiglo se povećanje razine omjera signal/šum na 51...53 dB.

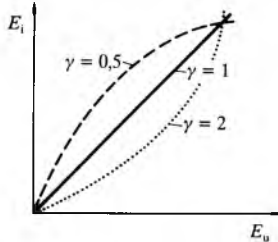


Sl. 24. Spoj pretpojačala na cijev za razlaganje; C_0 zbroj izlaznog kapaciteta cijevi i ulaznog kapaciteta pretpojačala, R_i opteretni otpor cijevi

Gama-korekcija. Pretvorba svjetlosnog signala u električni u analizirajućim cijevima nije linearna (sl. 25a) pa se krominantne komponente izobličuju u području koljena karakteristike. To se događa i na prijamnoj strani u kineskopima (sl. 25b). Kao posljedica pojavljuje se izobličenje gradacije sivila u akromatskoj televiziji, a izobličenje boja u kromatskoj televiziji. Da bi se te nelinearnosti kompenzirale, iza analizirajuće cijevi dodaju se sklopovi za korekciju, tzv.



Sl. 25. Medusobna ovisnost električnog signala i svjetljivosti (luminancije) predmeta, odnosno slike, *a* u analizirajućoj cijevi i *b* u kineskopu



Sl. 26. Ovisnost električnih signala na ulazu i izlazu gama-korektora

gama-korektori (γ -korektori). To su elektronički sklopovi, pojačala s obrnutom karakteristikom pojačanja (sl. 26). Pri konstrukciji gama-korektora za odnos između ulaznog signala E_u i izlaznog E_i vrijedi

$$E_i = k E_u^\gamma, \quad (4)$$

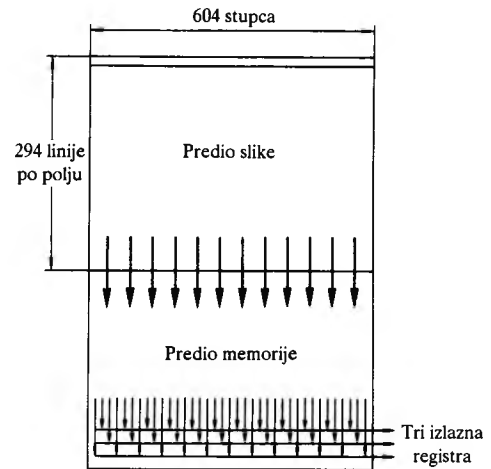
gdje su k i γ bezdimenzijske konstante. Za linearni je sustav $\gamma = 1$.

Pomoću sklopova za gama-korekciju postiže se kompenzacija nelinearnih prijenosnih karakteristika uvođenjem karakteristika takva oblika da njihov zbroj s postojećim karakteristikama daje linearnu karakteristiku. Veličina γ ovisi o tipu analizirajuće cijevi. Krominantni signali E_R , E_G i E_B koji se dobivaju na izlazu iz pojedinih cijevi u kameri nakon prolaska kroz gama-korektore imaju nove, korigirane vrijednosti E'_R , E'_G i E'_B .

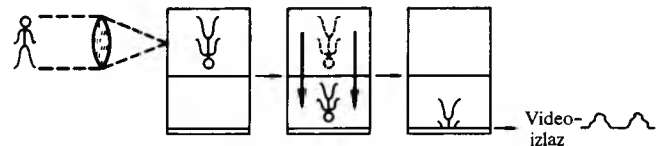
Televizijske kamere s poluvodičkim slikovnim sensorima (CCD-kamere). Razvoj poluvodičke tehnologije omogućio je primjenu poluvodičkih nabojno vezanih slikovnih senzora (engl. Charge Coupled Devices, CCD) u televizijskim kamerama umjesto analizirajućih cijevi. Prvi poluvodički slikovni senzor razvijen je 1975. za sustav NTSC. Kamere sa slikovnim sensorima malene su mase, dugotrajne su, troše malo energije, otporne su prema mehaničkim potresima, visoko im je razlučivanje, daju geometrijski vjernu sliku po cijeloj površini bez efekta povlačenja i bez otklonskih su zavojnica.

Nabojno vezan slikovni senzor načinjen je u poluvodičkoj tehnologiji MOS (v. *Poluvodiči*, TE 10, str. 656). Na silicijsku se pločicu nanese sloj oksida kao dielektrik i na to se napare metalne elektrode. Pod utjecajem upadnog svjetla naboj se raspoređuje razmjerno svjetlosnom toku. Paketi se manjinskih nosilaca skupljaju i uskladištavaju u potencijalne jame. Dovodeњem pozitivnog napona na metalne elektrode pomiču se potencijalne jame i tako u diskretnim vremenskim razmacima pomiču paketi naboja. Slikovni senzor radi kao posmični registar (v. *Računala*, TE 11, str. 345).

Princip rada poluvodičkog slikovnog senzora. Optička se slika u poluvodičkom slikovnom senzoru pretvara u televizijsku sliku tako da se slika prvo projicira na fotoosjetljivi sloj, gdje se u siliciju generira broj elektrona razmjernan broju fotona optičke slike. U tom se *predjelu slike* preslikava raspored fotona optičke slike u raspored naboja. Ti se naboji akumuliraju u $(1/50)$ s, a nakon toga tok naboja pomiče sliku u predio memorije (sl. 27). Predio memorije kraći je od predjela slike, pa se nabojna slika zbija od vrha prema dnu. Na kraju predjela memorije nalaze se tri izlazna registra koji *sjeckaju*, odnosno razlažu sliku u televizijske linije i tako tvore videosignal (sl. 28). Zbijanje ne utječe na konačnu televizijsku sliku. Nakon toga se u predjelu slike ponovno stvara nabojna slika koja se opet prenosi u predio memorije i predio stvaranja linija.



Sl. 27. Prikaz rada videosenzora tipa NXA 1010

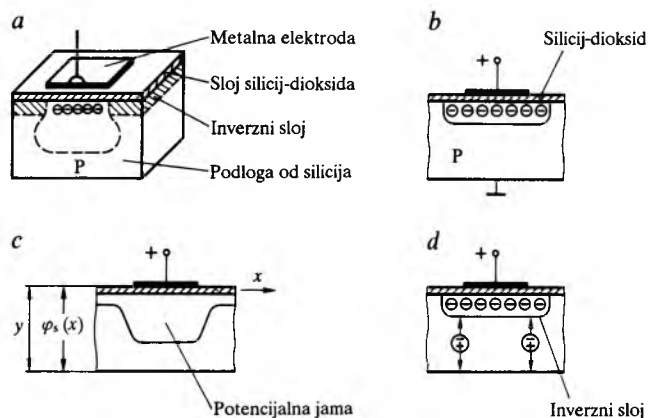


Sl. 28. Prikaz rada slikovnih senzora

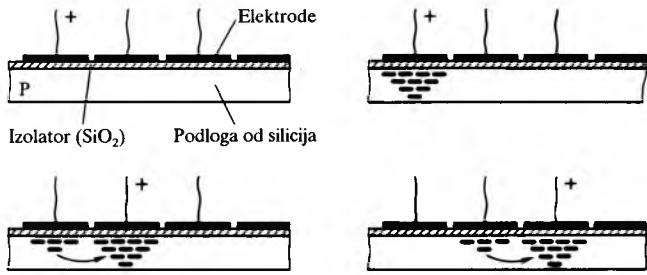
Struktura slikovnih senzora. Slikovni se senzori razlikuju po strukturi, pa postoje MOS-kondenzator s tranzistorom, MOS-dioda i HAD-senzor.

MOS-kondenzatori. U slikovnim su sensorima važni elementi poluvodički kondenzatori, koji se proizvode u tehnologiji MOS zajedno s MOS-tranzistorom (v. *Poluvodiči*, TE 10, str. 658). MOS-kondenzator se radi tako da se kao dielektrik na silicijsku podlogu nanosi silicij-dioksid na koji dolazi metalna elektroda (sl. 29a).

Kad se na metalnu elektrodu dovede pozitivni naboj, on potiskuje većinske nosioce (šupljine) u dubinu podloge, pa se prostor ispod elektrode osiromašuje pozitivnim nosiocima naboja. Uz dovoljno velik pozitivni napon početak će se u prostoru ispod elektrode skupljati elektroni (sl. 29b). Na granici između silicija i silicij-dioksida stvara se površinski potencijal φ_s , zbog kojeg u podlozi nastaju potencijalne jame (sl. 29c). Vrijednost tog potencijala ovisi o narinutom naponu na elektrodi i omjeru kapaciteta oksidnog sloja i osiromašene zone. U predjelu osiromašenu većinskim nosiocima pod termičkim se djelovanjem stvaraju parovi elektron-šupljina (sl. 29d), koji se zbijaju prema podlozi, a elektroni se privlače prema silicijskoj graničnoj plohi. Ta se nakupina naboja ispod graničnog sloja naziva inverznim slojem. Površinski potencijal ovisi samo o priključenom naponu. Dodatni je naboj koji pristiže iz podloge nepoželjan, a brzina kojom se on stvara ovisi o svojstvima podloge i granične plohe. Ravnotežno



Sl. 29. MOS-kondenzator kao element slikovnog senzora. *a* raspored slojeva, *b* elektroni nakupljeni influencijom, *c* nastanak potencijalne jame, *d* nastanak inverznog sloja



Sl. 30. Prijenos naboja u lancu kondenzatorá poluvodičkoga slikovnog senzora

stanje, tj. inverzni sloj, nastaje za nekoliko stotinki sekunde. Zbog toga vrijeme potrebno za obradbu signala mora biti maleno prema vremenu potrebnom za stvaranje inverznog sloja.

Kondenzator se može nabijati i vanjskom pobudom poluvodiča, npr. fotoelektrički, pa je tada stvoreni napon mjera za upadni svjetlosni tok. Na toj se pojavi osniva rad poluvodičkih slikovnih senzora.

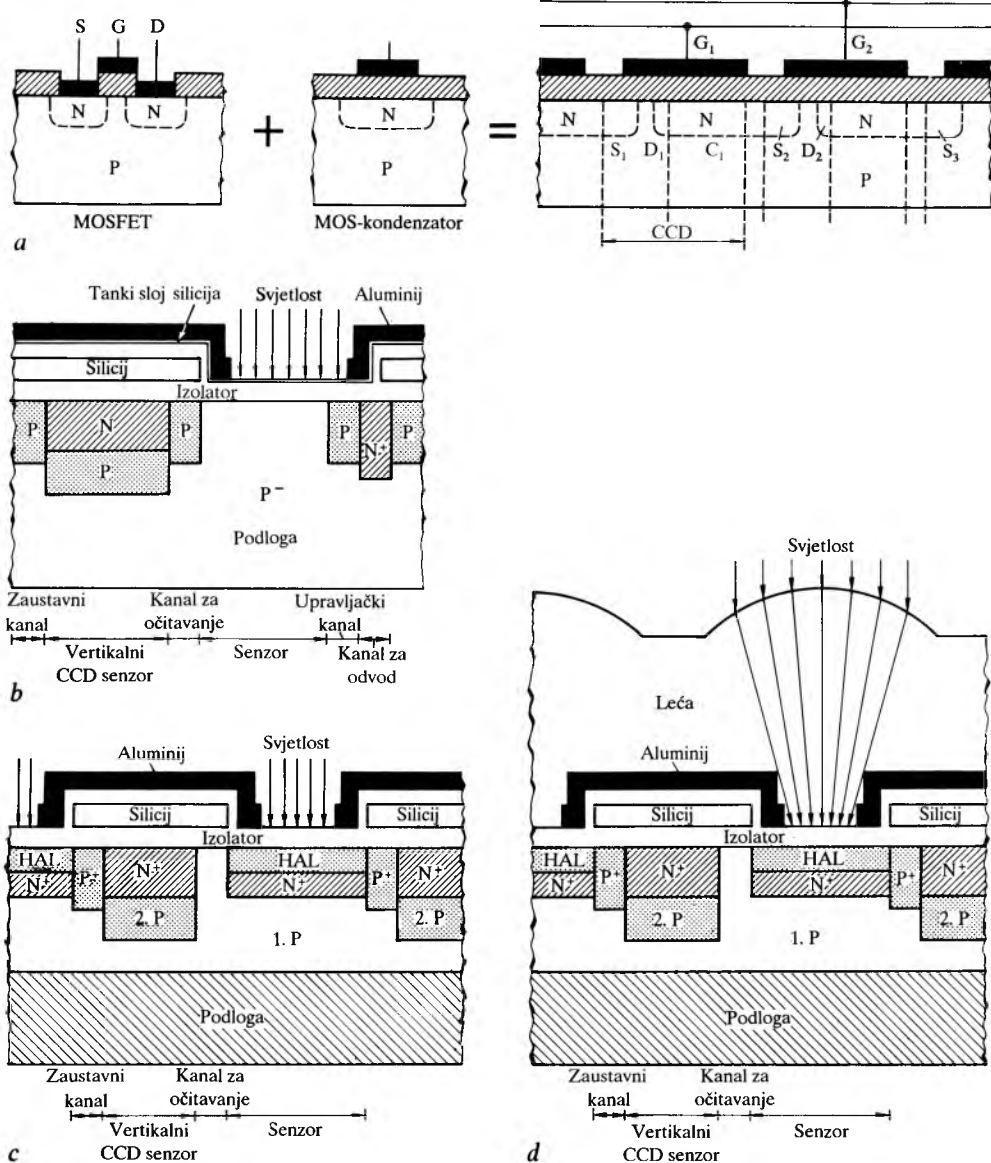
Svakom stupnju lanca MOS-kondenzatora za prijenos naboja pripada jedan kondenzator (sl. 30) i jedan MOSFET. Kondenzator se nalazi između zasuna i uvoda MOS-tranzistora, te se svakom stupnju na zasun dovodi određeni napon.

Galvanski su povezani uvod 2. stupnja s odvodom 3. stupnja, odnosno odvod 2. stupnja s uvodom 1. stupnja (sl. 31a).

MOS-diode. Fotodiode izrađene u tehnologiji MOS također se upotrebljavaju za izradbu slikovnih senzora. Senzorska je elektroda tanak sloj polikristaličnog silicija (sl. 31b). Naboji nastali fotoelektričnim efektom prenose se djelovanjem električnog polja do vertikalnog CCD-senzora.

HAD-senzor (engl. Hole Accumulated Diode, HAD, dioda s nakupljanjem šupljina) dosad je jedan od najkvalitetnijih slikovnih senzora (sl. 31c). Površinu senzora čini sloj od nakupina šupljina P-tipa, dok je podloga N-tipa na dnu senzora, što omogućuje vertikalni kanal za odvod naboja. Površina kanala za odvod smještena sa strane može se iskoristiti kao dodatna senzorska jedinica te se tako povećava broj elemenata slike. Time se povećava razlučivanje. Povećani broj elemenata slike utječe na smanjenje izobličenja slike, tzv. moire-efekta. Uspoređujući HAD-senzor s MOS-diodnim senzorom opaža se da je znatno smanjen efekt povlačenja i razmazivanja slike, što je posljedica prijenosa svih naboja iz gornjeg P-sloja u područje podloge N-tipa.

Hiper HAD-senzor (engl. Hyper HAD sensor) najnoviji je tip slikovnog senzora koji je 1991. godine proizvela japanska tvrtka SONY (sl. 31d). Novo tehnološko rješenje sastoji se u nanošenju mikroleće fotolitografskom tehnologi-

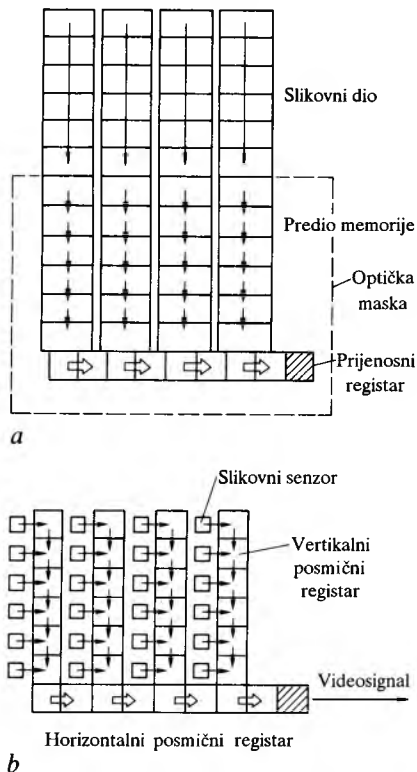


Sl. 31. Struktura slikovnih senzora. a MOSFET i MOS-kondenzator spojeni u lancu za prijenos naboja, b MOS-diodni senzor, c HAD-senzor (HAL sloj s nakupljenim šupljinama, 1.P i 2.P prvi, odnosno drugi odvodni kanal), d hiper HAD-senzor

jom. Mikroleća sakuplja dvostruko više dolazećeg svjetla nego što izravno pada na senzorsku površinu, a sposobnost svjetlosne konvergencije dopušta smanjenje otvora prozora aluminijske fotozaštite bez smanjenja osjetljivosti. Dodatkom mikroleće postiže se, u usporedbi s HAD-senzorom, osjetljivost bolja za 6 dB, a efekt razmazivanja manji za 20 dB. S obzirom na velik broj elemenata slike (oko 2 milijuna) hiper HAD-senzori primjenjuju se u kamerama visokokvalitetne televizije.

Poluslikovni senzori (engl. Frame Transfer CCD) za linijsko razlaganje sastoje se od fotoosjetljivih elemenata poredanih u nizu, memorije, te analognog prijenosnog registra, iza kojih slijedi izlazno pojačalo (sl. 32 a).

Naboji proizvedeni u fotovodljivom sloju slikovnog dijela za vrijeme vertikalnog potisnog intervala pomiču se u predio memorije, gdje se preslikava nabojna slika identična onoj koja je bila stvorena u predjelu slike. Na početku sljedeće poluslike fotosenzori su prazni i mogu primiti novu sliku. Iz analognog se prijenosnog registra s frekvencijom od 9,55 MHz preko pojačala dobiva videosignal.

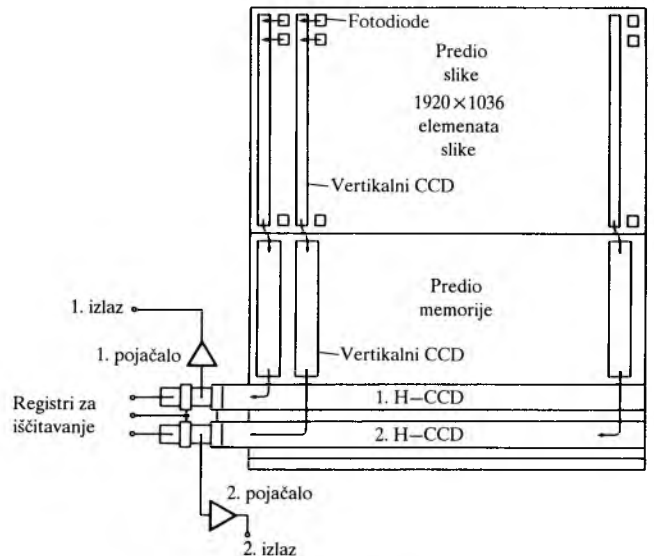


Sl. 32. Dvodimenzijalni slikovni senzori, a raspoređeni u okviru, b međulinijanski isprepleteni

Poluslikovni senzori imaju široku primjenu, od senzora za optičko raspoznavanje slike s 256×1 fotoosjetljivi element do senzora za osjetljive faksimile velikih brzina s 1728×1 ili 2048×1 fotoosjetljivi element u izvedbi tvornice Fairchild (SAD). Kamere s jednodimenzijalnim slikovnim sensorima upotrebljavaju se za precizna mjerenja, kao što su mjerenja dimenzija predmeta i njihovo raspoznavanje te otkrivanje neispravnih elemenata proizvodnje i njihovo sortiranje.

Međulinijanski senzori. Međulinijanski slikovni senzori (engl. Interline Transfer CCD) takve su strukture da su fotosenzori i elementi za uskladištenje međusobno isprepleteni (sl. 32b). Vertikalni i horizontalni posmični registri prekriveni su optički nepropusnim filmom. Prilikom vertikalnog potisnog perioda slikovna se informacija prenosi u vertikalni posmični registar kojim upravljaju impulsi horizontalne frekvencije. Informacija slike dolazi u horizontalni posmični registar nakon čega se očitava videosignal s frekvencijom 9,55 MHz.

Međulinijanski senzor tvornice Fairchild, model CCD 221, ima 488×380 fotoosjetljivih elemenata, radi na horizontalnoj frekvenciji od 7,16 MHz te osigurava videoizlaz kompatibilan



Sl. 33. Konfiguracija poluslikovnog međulinijanskog senzora (FIT-senzora)

akromatskom televizijskom standardu NTSC. Karakteristika je tih slikovnih senzora precizna identifikacija svake komponente signala slike.

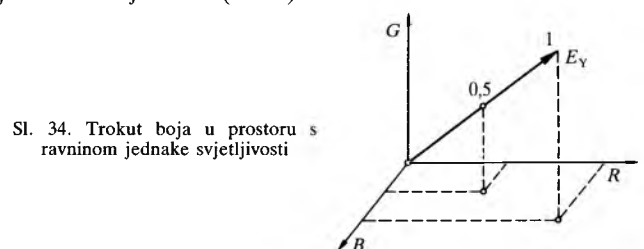
Poluslikovni međulinijanski senzori (engl. Frame Interline Transfer FIT) nastali su združivanjem poluslikovnog i međulinijanskog senzora u MOS-diodnoj HAD i hiper HAD strukturi (sl. 33). Kanal za odvod naboja nalazi se na gornjem dijelu slikovnog dijela. U uobičajenom radu, pri uobičajenom osvjetljenju, naboji se iz senzora prenose u vertikalni posmični registar, a iz njega prema dolje u predio memorije. Pri prevelikom osvjetljenju aktivira se aluminijski zaslon, te se svi dodatni naboji prenose prema gore u kanal za odvod, gdje se resorbiraju. Sve su karakteristike FIT-senzora poboljšane, pa je smanjeno povlačenje i razmazivanje slike, a povećano razlučivanje te omjer signala i šuma.

PRIENOS SLIKE U BOJI

Da bi se prenijela slika u boji, treba istodobno prenijeti tri informacije o boji te informaciju o svjetljivosti (luminanciji). Tri se informacije o boji mogu reproducirati vremenski jedna za drugom. Taj se način zove sekvencijski i može se odabrati kao sekvencijske slike, linije ili točke. Uz dovoljno visoku preklapnu frekvenciju nastat će aditivnim miješanjem u oku doživljaj boje.

Osim kompatibilnosti između akromatskog i kromatskog televizijskog prijamnika što se tiče primanja i reprodukcije videosignala, crno-bijela i televizija u boji trebaju imati istu vertikalnu i horizontalnu frekvenciju, istu širinu frekvencijskog opsega, isti razmak između nosioca tona i nosioca slike te isti modulacijski postupak, a uz to nosilac slike treba sadržavati cijelu luminantnu komponentu kromatske slike. Prvi sustav koji je tome udovoljio bio je NTSC, a iz njega su se kasnije razvili ostali suvremeni televizijski sustavi.

Transformacije krominantnih komponenata. Svaka je točka boje u prostoru određena trima unaprijed odabranim veličinama koje određuju smjerovi osi po volji odabrana koordinatnog sustava. U tom prostoru boja postoje ravnine jednake svjetljivosti, od nulte vrijednosti do dogovorene jedinične vrijednosti (sl. 34).



Sl. 34. Trokut boja u prostoru s ravninom jednake svjetljivosti