

ostaje jedina mogućnost istraživanja najudaljenijih dijelova svemira.

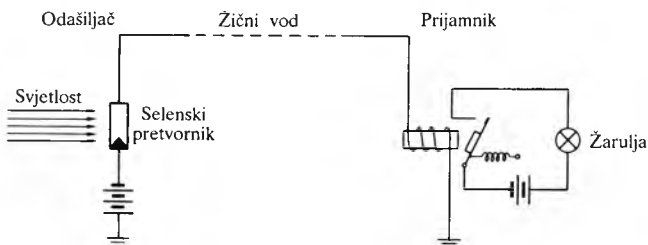
LIT.: J. L. Pawsey, R. N. Bracewell, Radio Astronomy. Clarendon Press, Oxford 1955. – R. Galić, Telekomunikacije satelitima. Školska knjiga, Zagreb 1982. – T. Kennie, M. Mathews, Remote Sensing in Civil Engineering. Surrey University Press, Glasgow 1985. – J. D. Kraus, Radio Astronomy. Cygnus-Quasar Books, Powell, Ohio 1986.

R. Galić

TELEVIZIJA U BOJI (kromatska televizija, kolortelevizija), tehnika elektroničkog snimanja, obradbe, prijenosa i reprodukcije pokretnih slika u boji. Nastala je razvojem crno-bijele televizije (v. *Elektronika, uređaji. Televizija*, TE 4, str. 669), u nastojanju da slika po bojama bude što vjernija originalu. Osim obojenosti slike, televizija u boji odlikuje se i mnogim drugim poboljšanjima slike, kao što su oštrina, razlučivanje, kontrast, brzina praćenja predmeta i dr. Uz nju su se također razvijale i druge tehničke mogućnosti elektroničke obradbe slike, npr. miješanje, sintetiziranje, deformiranje i dr. Takva je usavršena televizija osnova suvremenoga svjetskog sustava za brz prijenos informacija (satelitska televizija, povezivanje regionalnih, državnih i kontinentalnih mreža). Njome se, osim osnovne televizijske informacije u obliku slike i zvuka, istodobno prenose i druge, potpuno neovisne informacije (teletekst).

Prijenos električnih signala putem prvog praktično upotrebljivog električnog telegrafa (S. Morse, 1843. godine) bio je tehnička osnova i za prijenos drugih oblika informacija, govora i slike. Prvi je prijenos slike pomoću električnih signala ostvario Francuz Caselli 1862. između Amiensia i Pariza. Mali su dijelovi slike u obliku polaganog slijeda električnih impulsa prenošeni telegrafskom linijom u sekvencama. Na prijamoj su se strani ti impulsi rekonstruirali u sliku.

J. May je 1873. otkrio, a W. Smith naknadno objavio, da je električna provodnost metalnog selena ovisna o osvjetljenju (v. *Električna mjerenja*, TE 3, str. 642). To je svojstvo selena primijenio Amerikanac G. R. Carey za električni prijenos slike (sl. 1). Na odašiljačkoj je strani njegova uređaja bio selenski element, a na prijamoj strani relej koji je uključivao strujni krug žaruljice. Takav krug funkcionira digitalno: žaruljica svijetli samo ako je selenski element osvjetljen. Ploha na koju se optički projicirala slika bila je pokrivena mrežom selenskih elemenata, a ploha na kojoj se promatrala slika nizom žaruljica. Svjetleće su žaruljice prikazivale obrise slike. Osim što je taj sustav prenosio samo dva stupnja svjetloće, nedostatak mu je bio i velik broj električnih vodova za povezivanje selenskih elemenata i žaruljica. Iako se ta zamisao osnivala na rastavljanju slike na dijelove, to je rastavljanje bilo statičko.



Sl. 1. Osnovni krug za prijenos jednog elementa slike električnim putem

Dinamičko rastavljanje slike na niz dijelova ostvario je Nijemac P. Nipkow 1883. pomoću rotirajućeg diska sa spiralno poredanim rupicama (sl. 2). Informacije o osvjetljenosti pojedinih dijelova slike slijede u vremenskom nizu. Na prijamoj je strani potreban takav jednaki disk koji sinkrono rotira s onim koji analizira sliku. U promatračevo oko dolazi slijed svjetlosnih impulsa. Ako se diskovi vrte dovoljno brzo, uslijed perzistencije oka promatrač ima dojam cjelovite slike sastavljene od svijetlih ili tamnih elemenata.

Dinamičko analiziranje slike i pretvaranje u uređeni vremenski slijed impulsa, uz druge tehničke izvedbe, osnova je i današnjoj televiziji, iako se to postiže drugim, znatno savršenijim uređajima i složenijim postupcima.

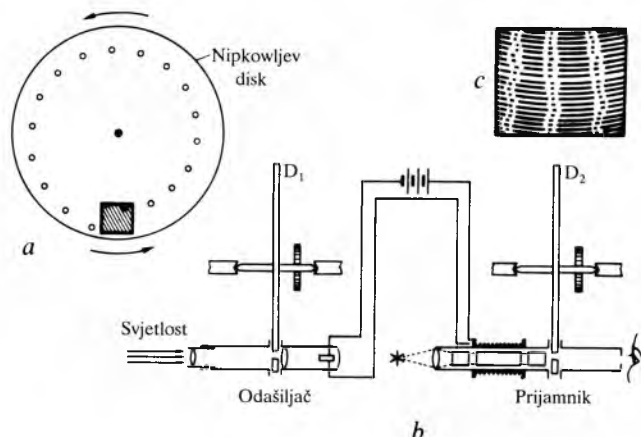
Katodnu cijev, prethodnicu današnjeg kineskopa, konstruirao je K. F. Braun 1897. Time je omogućena pretvorba informacije iz električnog oblika (slijeda impulsa) u vizualni oblik (optičku sliku) na fluorescentnom ekranu.

Prvi je televizijski prijenos na veću udaljenost ostvaren pomoću Nipkowljevih rotirajućih diskova 1923–27. Prijenos je između Washingtona i New Yorka (462 km) bio ostvaren dvožičnim zračnim telefonskim vodom, a između New Yorka i Whippanyja (56 km) radijskom vezom.

Na istoj su osnovi pokuse s analiziranjem i rekonstruiranjem slike obavljali 1924–25. godine Ch. F. Jenkins u SAD te J. L. Baird u Velikoj Britaniji.

Slijedeći važan izum u razvoju televizije načinio je ruski fizičar V. K. Zworykin. On je 1926. godine rađajući u tvrtki Westinghouse (SAD) konstruirao

ikonoskop, elektronsku cijev kojom je pretvarao optičku sliku u niz električnih impulsa. Osnova je ikonoskopa pločasta elektroda s finim mozaikom naparenog metala na keramičku podlogu, na koju se projicira optička slika. Ta se slika analizira pomoću elektronskog snopa. Zworykin je usavršio i katodnu cijev na kojoj se promatra slika u prijamniku.



Sl. 2. Shematski prikaz Nipkowljeva uređaja za dinamičko analiziranje, prijenos i rekonstrukciju slike. a Nipkowljev disk s nizom spiralno raspoređenih rupica, b sustav za prijenos (D_1 i D_2 sinkronizirajući diskovi), c promatračevo vidno polje

Tako su bile ostvarene osnove televizije. Slika se na odašiljačkoj strani u ikonoskopu (danas u drugim usavršenim analizirajućim cijevima) dinamički analizira i pretvara u vremenski slijed električnih impulsa. Zatim se kao električni signal prenosi radijom ili kabelom, a na prijamoj se strani u katodnoj cijevi pretvara u vidljivu sliku na fluorescentnom zaslonu, ekranu. U tom se lancu nalaze brojni drugi uređaji za obrađivanje i prenošenje slike.

Prijenosom televizijske slike u boji eksperimentiralo se upotrebom obojnih filtera i fotočelija osjetljivih na pojedine boje na odašiljačkoj strani. U prijamniku su upotrijebljene tri skupine cijevi koje emitiraju obojenu svjetlost (crvenu, modru i zelenu). Propuštanjem kroz polupropusna zrcala te aditivnim miješanjem boja u oku promatrača nastaje utisak obojene slike.

Radiodifuzijsko emitiranje televizijskog programa započelo je u SAD i Velikoj Britaniji 1929. godine. Bairdova je tvrtka u Velikoj Britaniji stavila 1929. na tržište televizijski prijamnik pod komercijalnim nazivom *televizor*. Ista je tvrtka 1931. ostvarila i prvi televizijski prijenos u boji, a 1938. stavila je na tržište prvi odašiljač za televiziju u boji.

Prvi je prijenos televizijskog programa u nas demonstrirala tvrtka Philips 26.–28. kolovoza 1939. u okviru Zagrebačkog zbora. U Zagrebu je prvi prijenos akromatske televizije ostvaren 15. svibnja 1956. na tridesetogodišnjicu Radio-Zagreba te se to smatra početkom televizije u Hrvatskoj. Televizija u boji postupno je u nas uvedena 1970-ih godina, a nakon toga se sav televizijski program nastavio emitirati u boji.

OPĆI POJMOVI O TELEVIZIJI

Razlučivanje. Spособnost razlikovanja dviju susjednih točaka različite svjetljivosti (luminancije) na televizijskoj slici naziva se razlučivanje (rezolucija). Razlučivanje se procjenjuje prema različitoj svjetljivosti točke i linije. Razlikuju se horizontalno i vertikalno razlučivanje, te razlučivanje u sredini i na krajevima televizijske slike. Na razlučivanje utječe frekvencijska širina kanala. Naime, za točke razlučivanja koje se nalaze u horizontalnom smjeru na liniji razlaganja granica razlučivanja nastaje onda kad se na jednoj liniji razlaganja još opaža minimalna razlika svjetljivosti dviju točaka (v. *Mikroskop*, TE 8, str. 537).

Prilikom snimanja na razlučivanje utječe televizijska kamera i njezina mogućnost razlučivanja detalja scene. Kako se kamera sastoji od više dijelova, svaki od njih utječe na razlučivanje detalja. To su u prvom redu analizirajuća cijev ili cijev za analiziranje slike, te njeni elektronički sklopovi, optički sustav objektivna i prizme, mehanička preciznost optičkog sustava, ujednačenost otklonskih sustava i kvaliteta prvog pretpojačala.

U tom je lancu najbitnije razlučivanje analizirajuće cijevi a određuju ga dva parametra. Prvi je razlučivanje samog fotovodljivog sloja koje ovisi o njegovu sastavu, debljini i površini, o čemu neposredno ovisi udjel apsorbiranog i raspršenog svjetla. Drugi je parametar elektronski snop (elektronska zraka ili mlaz), i to njegov promjer, ujednačenost brzine elektrona u snopu, elektronsko-optička svojstva cijevi, savijanje snopa, oblik presjeka snopa i prihvaćanje elektrona dospjelih na fotovodljivi sloj. Što je promjer snopa manji a

veća oštrina, te raspodjela toka po presjeku ravnomjernija i prihvaćanje elektrona na fotovodljivom sloju bolje, to je razlučivanje detalja finije.

Smatra se da je presjek elektronskog snopa krug i da snop na cijelu površinu fotovodljivog sloja stiže okomito i iste jakosti. Zapravo, zbog astigmatizma, presjek je snopa približno eliptičan, pa je razlučivanje u središtu i na rubovima slike različito.

Razlučivanje se televizijske kamere definira s dva parametra: dubinom modulacije i prijenosnom karakteristikom modulacije. Oba se parametra određuju mjerenjem pomoću pokusnih karata (test-karata), koje sadrže kombinaciju crno-bijelih pruga. Širina i raspored crno-bijelih pruga prostorni su ekvivalent pripadnih videosignala.

Svjetlosna osjetljivost. Svjetlosna osjetljivost televizijskih kamera ovisi o analizirajućoj cijevi, optičkim karakteristikama objektiva i prizme te o razini osvjetljenja (iluminancije) potrebnog za rad kamere. Svjetlosna je osjetljivost S_L kamere omjer prosječne generirane struje signala i svjetlosnog toka koji dospijeva na fotovodljivi sloj cijevi, odnosno na površinu koja se razlaže:

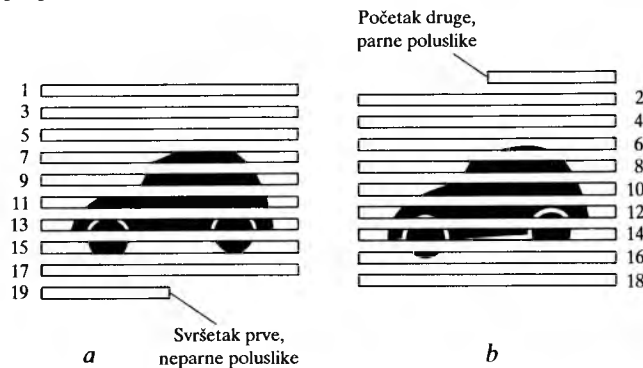
$$S_L = \frac{I_s}{P E_s}, \quad (1)$$

gdje je I_s prosječna struja signala, P ploština površine koja se analizira, E_s osvjetljenje fotovodljivog sloja u luksima ($lx = lm/m^2$).

Kod prijenosa kromatskog signala koji sadrži crvenu, zelenu i modru boju moraju se uzeti u obzir prijenosne karakteristike objektiva i prizme za pojedine boje.

Osim ukupne svjetlosne osjetljivosti S_L analizirajuće cijevi postoji i njezina spektralna osjetljivost S_λ koju karakterizira valna duljina.

Analiziranje i razlaganje slike. U televizijskoj se kameri pomoću analizirajuće cijevi slika razlaže u mnoštvo svjetlosnih elemenata koji se onda pretvaraju u videosignal. Slika se analiziranjem razlaže u svjetlosne elemente redak po redak, i to slijeva nadesno i odozgo nadolje, pri čemu elektronski snop prvo analizira neparne (1, 3, 5, 7. itd.), a zatim parne retke (2, 4, 6. itd.; sl. 3). Razlaganje se odvija u dvije poluslike, u tzv. neparnu i parnu polusliku. Prilikom razlaganja dva puta se pojavljuje zamračenje. Da bi se dobila televizijska slika bez titranja, potrebno je, kao i u kinematografiji, izmijeniti 50 slika u sekundi. U prvoj se pedesetinki sekunde prenose neparni reci slike, a u drugoj pedesetinki parni, tako da u jednoj dvadesetpetinki sekunde nastaje potpuna slika.

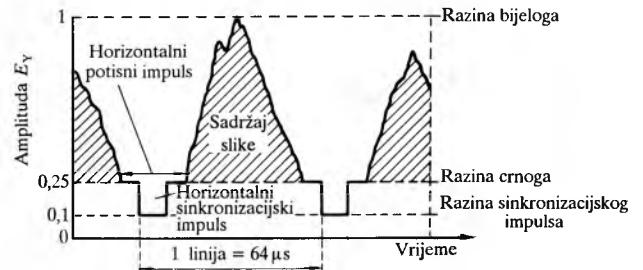


Sl. 3. Razlaganje dviju poluslika, a s neparnim, b s parnim rednim brojem linija

Polje linija na koje se razlaže slika naziva se *rasterom*. Za sve je televizijske sustave omjer širine i visine rastera 4:3. Omjer broja linija rastera i vremena analiziranja horizontalnim otklanjanjem elektronskog snopa naziva se *horizontalnom frekvencijom* analiziranja, a omjer broja slika i vremena analiziranja *vertikalnom frekvencijom*. Povratak elektronskog snopa zdesna nalijevo, na početak sljedeće linije, naziva se *pasivnim vremenom* analiziranja, i mnogo je kraće od *aktivnog vremena* analiziranja. Prva poluslika završava dolje

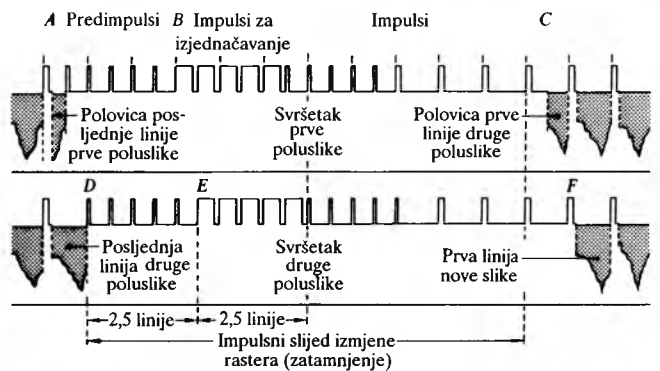
polovicom posljednje neparne linije, a sljedeća poluslika počinje gore drugim dijelom prve parne linije. Prema europskim televizijskim normama slika se razlaže na 625 linija, pa se dakle svaka poluslika sastoji od 312,5 linija. Za 25 slika u sekundi uz 625 linija bit će horizontalna frekvencija analiziranja $f_h = 625 \cdot 25 s^{-1} = 15625 Hz$. Vertikalna je frekvencija analiziranja 50 Hz, a toliki je i broj poluslika u sekundi. Te je norme preporučio još 1950. Međunarodni savjetodavni odbor za radiokomunikacije (franc. Comité Consultatif International des Radiocommunications, CCIR).

Televizijski signal. Luminantni se signal (signal svjetljivosti) jedne linije rastera sastoji od sadržaja (svjetljivosti) slike i sinkronizacijskog impulsa na kraju linije (sl. 4). Trajanje je jedne linije $T = 1/f_h = 1/15625 Hz = 64 \mu s$. Potisni impuls traje 11,5 μs , sinkronizacijski 5 μs , a razina sinkronizacijskog impulsa iznosi 75...100% maksimalne amplitude luminantnog signala. Razina od 75% je razina crnoga, prema tome je razina sinkronizacijskog impulsa crnja od najcrnje točke. Takav složeni akromatski signal naziva se *VPS-signalom* (videosignal s potisnim i sinkronizacijskim impulsima).



Sl. 4. Luminantni signal s horizontalnim potisnim i sinkronizacijskim impulsima

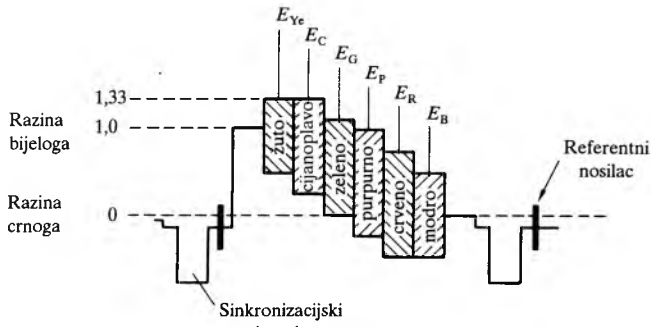
Osim horizontalnih sinkronizacijskih impulsa postoje i vertikalni (sl. 5), koji zajedno s horizontalnim osiguravaju ispravno primanje videosignala. Prva poluslika završava polovicom posljednje linije u točki A, nakon čega dolazi pet uskih predimpulsa, a zatim u točki B pet širih impulsa za izjednačavanje. U sredini prve parne linije (točka C) počinje druga poluslika. Druga poluslika završava u točki D cijelom linijom. Prvi sljedeći široki impuls za izjednačavanje počinje u sredini linije (točka E) kako bi u točki F mogla započeti cijela linija nove slike. Da bi se osigurao sinkroniziran rad odašiljača, odnosno da ne bi obje poluslike međusobno titrale, mora se u odašiljaču održavati slijed vertikalnih sinkronizacijskih impulsa točno za polovicu širine linije.



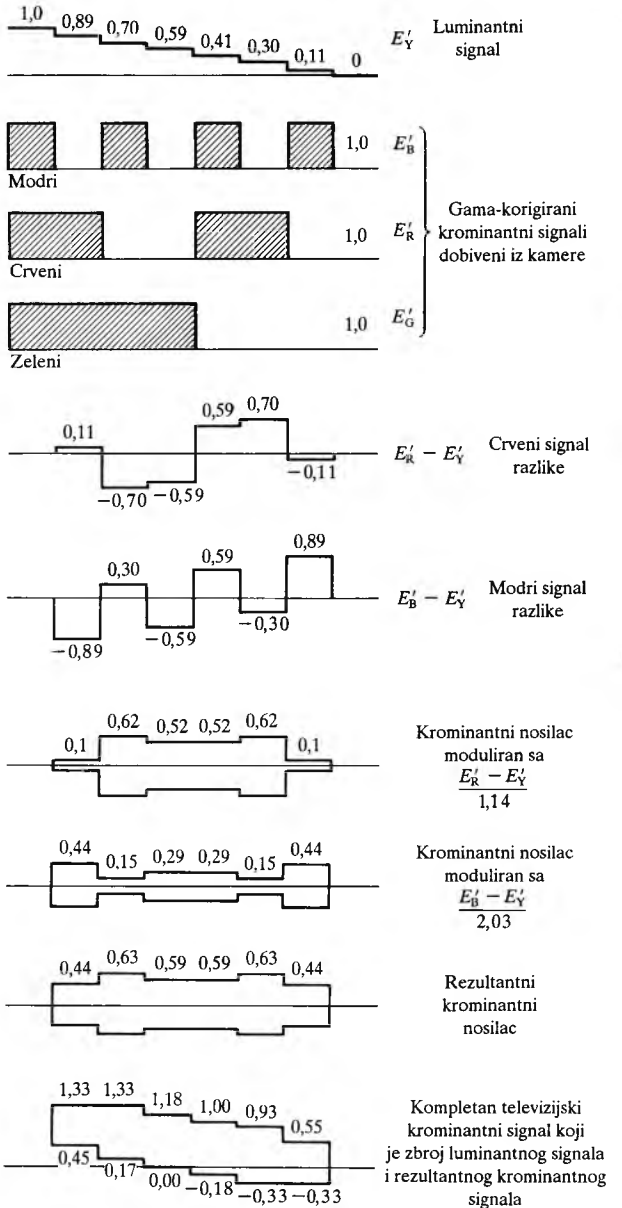
Sl. 5. Horizontalni i vertikalni sinkronizacijski impulsi

Krominantni signal ili videosignal jedne linije rastera u boji sastoji se od horizontalnog potisnog impulsa, horizontalnog sinkronizacijskog impulsa, referentnog nosioca (engl. *burst*) i ispitnog signala za bijelo, žuto, cijanoplavo, zeleno, purpurno, crveno, modro i crno (sl. 6).

U televizijskim se sustavima NTSC (engl. National Television System Committee, Nacionalni komitet za televizijski sustav) i PAL (engl. Phase Alternation Line, linija za promjenu faze) primjenjuje kvadraturna modulacija krominantnih komponenata, što omogućuje jednokanalni prijenos triju informacija. Dvjesto se krominantnim komponentama,



Sl. 6. Televizijski signal s horizontalnim potisnim i sinkronizacijskim impulsom, referentnim nosiocem i ispitnim signalima za bijelo, žuto, cijanoplavo, zeleno, purpurno, crveno, modro i crno



Sl. 7. Sastavni signali kromatskoga televizijskog signala

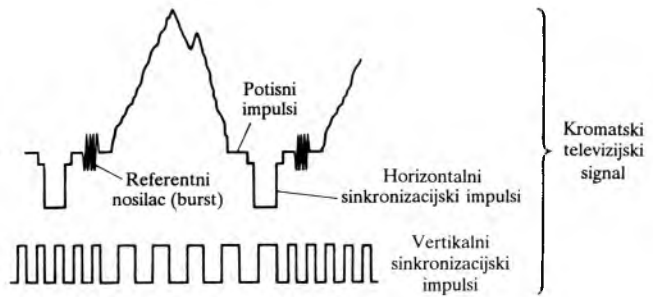
koje sadrže cio sadržaj slike u boji, modulira nosilac koji se onda zbraja s luminantnom komponentom nižega frekvencijskog sadržaja. Takav se videosignal naziva BVPS (bojeni VPS), što znači da je to signal VPS koji sadrži i informacije o boji (sl. 7).

Signal referentnog nosioca. U sustavu kvadraturne modulacije s potisnutim nosiocem potrebno je na prijamoj strani

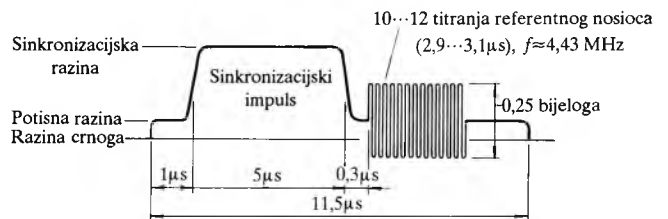
dovesti nosilac frekvencije 4,43 MHz ispravne faze radi osiguranja ispravnog tona boje. Nosilac se u sinkronom demodulatoru dodaje radi demodulacije. Zato se referentni nosilac odašilje u intervalu horizontalnog potisnog impulsa u trajanju od 2,9...3,1 μ s, a sastoji se od 10...12 titraja koji se ponavljaju u ritmu horizontalne frekvencije (sl. 8). Faza referentnog nosioca određena je sa 180° od pozitivne osi ($E_B - E_Y$), a amplituda mu je od vrha do vrha jednaka četvrtini vršnoga bijeloga u signalu.

Frekvencijska širina kanala. Za prijenos videosignala u sustavima NTSC i PAL primjenjuje se amplitudna modulacija, a za prijenos tona frekvencijska modulacija. Pri amplitudnoj modulaciji gornji i donji bočni pojas sadrže istu informaciju, pa je dovoljno prenositi samo jedan bočni pojas i nosilac. Tako se postiže ušteda potrebne frekvencijske širine kanala.

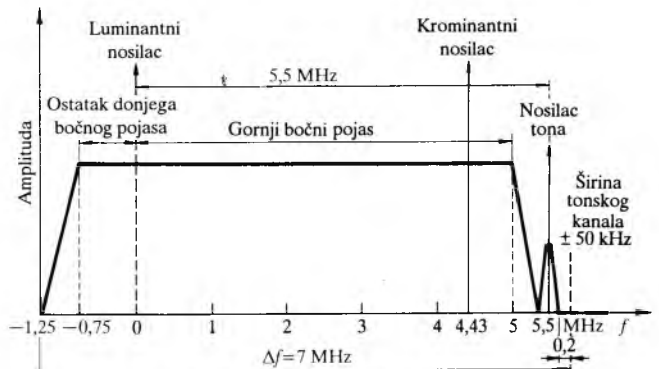
Sl. 9 prikazuje frekvencijsku širinu kanala u kojemu se nalaze val nosilac luminantnog signala, val nosilac tona i val



podnosilac dvaju krominantnih signala. Kanali su široki 5 MHz, 6 MHz, 7 MHz, 8 MHz i 14 MHz. Prema standardu CCIR za srednju Europu kanal je širok 7 MHz. Od donjega

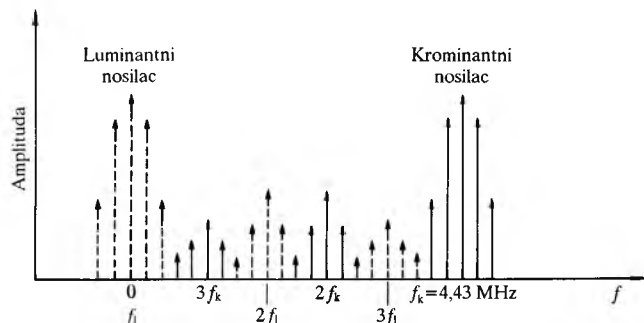


Sl. 8. Referentni nosilac (burst)



Sl. 9. Frekvencijska širina videokanala

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 $0,5 \cdot 15625 \text{ Hz} \cdot 567 = 4,4296875 \text{ MHz}$, 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 prijammika 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 prijammnik treba primljeni kromatski videosignal reproducirati kao crno-bijelu sliku, ali i svaki kromatski prijammnik treba primati 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.

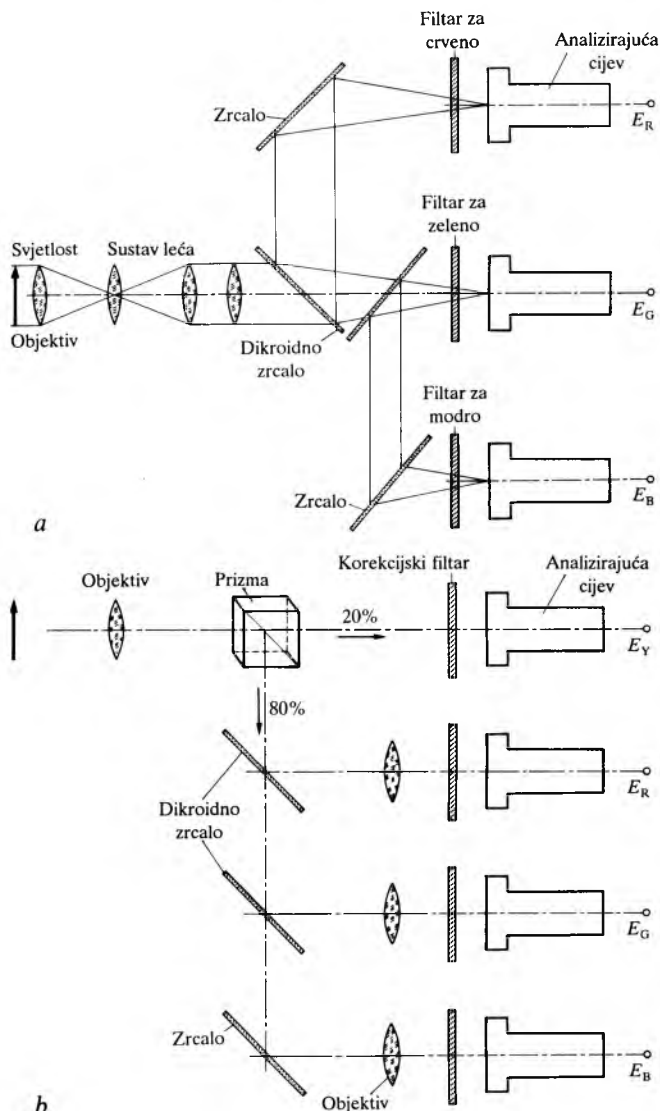
Svjetlost s predmeta koji se snima stiže u kromatsku kameru, gdje se iza sustava leća, prizme i dikroidnih (selektivnih) zrcala koja služe za filtriranje svjetlosti nalaze tri analizirajuće cijevi R, G i B, na izlazima kojih se dobivaju videosignali E_R , E_G i E_B (sl. 11a). Objektiv s promjenljivim 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...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