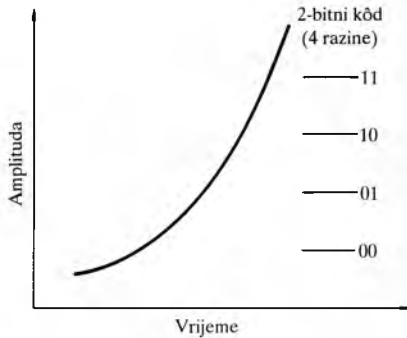


amplitudnih razina malen, na površinama ujednačenih razina pojavit će se konture.

Kodiranje i dekodiranje videosignala. Amplitudna se razina određuje kodiranjem kojim se tvore kodirane riječi od određenog broja bitova (sl. 98). Za određivanje četiriju razina dovoljna su dva bita (za $m = 2$ slijedi $N = 4$).

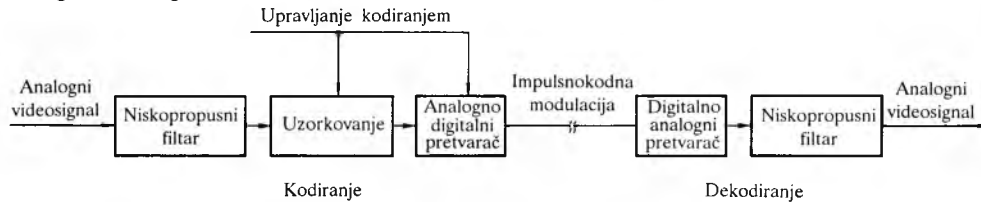


Sl. 98. Analogni signal kvantiziran u četiri razine

Televizijski se signali kodiraju binarnim kodom. Za prijenos videosignala u boji u sustavu NTSC pri frekvenciji uzorkovanja $3f_k$ i osam impulsa za svaki uzorak potrebna je brzina $3 \cdot 3,58 \text{ MHz} \cdot 8 \text{ bit} = 85,92 \text{ Mbit/s}$. Kad se doda paritetni bit kao zaštita od pojave pogreške, te bitovi za format i sinkronizaciju poruke, povećava se brzina prijenosa na 100 Mbit/s . Ako se u jednoj sekundi prenesu bar dva bita, potreban je pojas širine 50 MHz .

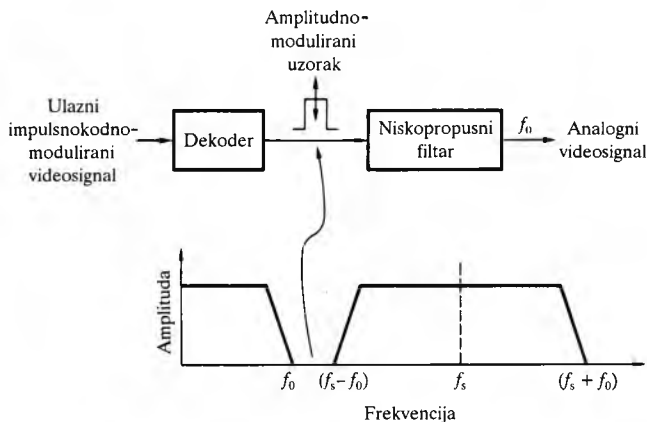
Osnovni sustav kodiranja i dekodiranja prikazan je na sl. 99. Analogni se videosignal propušta kroz niskopropusni filter da bi se uklonile visoke frekvencije koje su preblizu frekvenciji uzorkovanja.

Videosignal u digitalnom obliku jest skup pravokutnih impulsa, pa ih je potrebno na izlazu iz dekodera rekonstruirati u kontinuirani analogni videosignal.



Sl. 99. Blok-shema sustava kodiranja i dekodiranja

Digitalni televizijski impulsokodnomodulirani (PCM) signal pretvara se u analogni tako da se svaka binarno kodirana riječ u dekodera pretvara u kvantizirani amplitudnomodulirani uzorak na frekvenciji f_s . Tako dobiveni uzorci propuštaju se kroz niskopropusni filter da bi se izdvojilo osnovno frekvencijsko područje f_0 , a potisnulo frekvencijsko područje $f_s \pm f_0$ (sl. 100). Da bi se poboljšao frekvencijski odziv videosignala, potrebno je izdići više frekvencije. Budući da amplituda televizijskoga signala u boji opada s frekvencijom,



Sl. 100. Pretvorba digitalnog impulsokodnomoduliranog videosignala u analogni signal

izdizanjem frekvencije u okolišu 4 MHz neće se na odašiljačkoj strani preopteretiti dinamička karakteristika analogno-digitalnog pretvarača. Izdizanje se izvodi dodavanjem niskopropusnog filtra na ulaz analogno-digitalnog pretvarača. Dodavanjem takva filtra na izlaz iz dekodera poboljšat će se frekvencijski odziv, tako da će u okolišu frekvencije $4,43 \text{ MHz}$ biti gotovo horizontalan.

Dakle, pri digitalizaciji televizijskoga signala u boji primjenjuje se impulsokodna modulacija (PCM; v. *Elektronika, uređaji*. Sum, TE 4, str. 634) kod koje se kvantizacijske razine prikazuju u obliku binarne kodne riječi ostvarene karakterističnim rasporedom impulsa s dva moguća stanja, obilježena obično sa 0 i 1.

S gledateljeva se stajališta digitalizirana PCM slika sastoji od pravokutnog niza elemenata slike, od kojih svaki predstavlja kontinuiranu svjetljivost koja odgovara prosječnoj vrijednosti osvjetljenja analogne slike u okolišu te točke. U televizijskim se sustavima elementi slike određenog niza uvijek definiraju horizontalnim i vertikalnim razlaganjem.

Za sustav PAL potrebna je brzina prijenosa 216 Mbit/s , od čega za luminantni signal 108 Mbit/s , a za svaku krominantnu komponentu po 54 Mbit/s . Moguće je smanjiti brzinu prijenosa odašiljanjem samo aktivnog dijela slike, pa se tako smanjuje brzina na minimalnu vrijednost od $165,9 \text{ Mbit/s}$.

Brzina se prijenosa može smanjiti redukcijom redundancije u televizijskoj slici. Pod redundancijom se razumijeva onaj dio informacije koji nije prijeko potreban za rekonstrukciju prenošene informacije.

Usporedba kodiranja složenoga televizijskog signala i signala rastavljenog na komponente

Kodiranje složenog videosignala moglo bi imati prednosti pri digitalizaciji, jer se cijeli lanac sastoji od nekoliko digitalnih i analognih odsječaka spojenih u kaskade. Drugi način kodiranja televizijskog signala rastavljenog na komponente mogao bi biti u prednosti prema prvome kad se u

prijenosnom lancu nalazi samo nekoliko združenih digitalnih i analognih odsječaka. Međutim, obje metode digitalizacije televizijskog signala imaju svrhu i opravdanje kad se televizijski signal u digitalnom obliku prenosi od kamere do prijavnika. Postoji također mogućnost da se videosignal rastavljen u komponente pretvori u složeni videosignal prije prijenosa. Tako bi s gledišta prijenosa televizijskog signala nestale razlike između sustava NTSC, PAL i SECAM, što bi olakšalo međunarodnu razmjenu televizijskih programa.

SATELITSKI PRIJENOS TELEVIZIJSKOG SIGNALA

Radiokomunikacijski sateliti služe ostvarivanju veza od mjesta do mjesta, radi prijenosa televizijskih i telefonskih informacija te prijenosa podataka (v. *Sateliti, umjetni Zemljini*).

Satelitski prijenos ima dvije namjene: za radiodifuziju i radiokomunikacije (telekomunikacije). Radiodifuzijski sateliti izravno emitiraju televizijski signal u frekvencijskom području od 12 GHz , pa se prilikom primanja signala mora konvertirati frekvencija, kako bi se televizijski signal mogao obrađivati u prijavnima. Ti se televizijski signali primaju preko individualnih satelitskih antena različita promjera ili preko zajedničkih antenskih sustava te se distribuiraju kabelnim mrežama, što smanjuje troškove po kućanstvu.

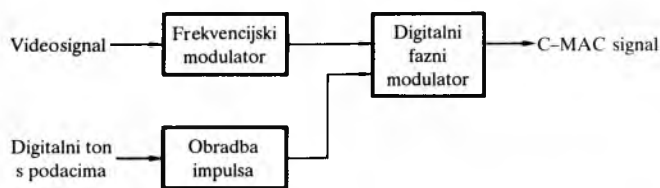
Na Svjetskoj administrativnoj konferenciji za radio WARC 79 (Word Administrative Radio Conference) u Ženevi 1979. utvrđeno je da se frekvencijski opseg $11,7 \dots 12,5 \text{ GHz}$ i širina

kanala od 27 MHz upotrebljavaju za satelitski prijenos televizijskog programa s primjenom analognog tonskog prijenosa u sustavima PAL i SECAM. Budući da se time povećava frekvencijska širina kanala u osnovnom opsegu, pojavile su se prve mogućnosti za televizijski prijenos te su se razvili novi sustavi pod nazivom MAC. U tom se sustavu primjenjuju vremenski multipleksirane analogne komponente videosignala (eng. Multiplexed Analogue Components) i digitalnog tonskog signala, uz signale podataka. To znači da se u sustavu MAC prenose analogne komponente E_Y , $(E_R - E_Y)$ i $(E_B - E_Y)$ televizijskog signala u boji za trajanja linije od 64 μ s jedna za drugom, pri čemu se vremenski slijed označuje kao vremenski multipleks. Taj je sustav potpuna novost i tehnički napredak s obzirom na sustav PAL.

Satelitski signali televizije u boji prenose se frekvencijskom modulacijom nosioca s frekvencijskom širinom kanala od 27 MHz.

Paketni sustavi MAC

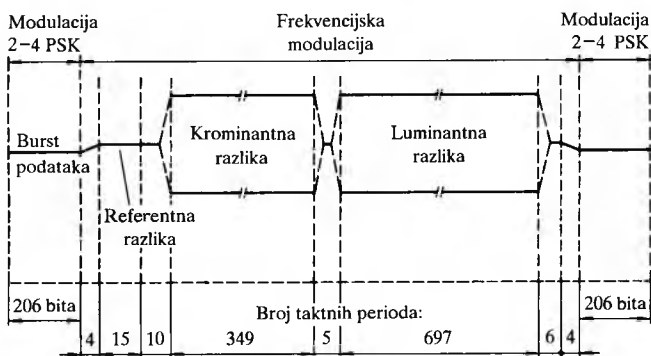
Suvremenom prijenosu televizijskog signala u boji najviše je pridonijela Uprava nezavisnih radiodifuzijskih stanica IBA (eng. Independent Broadcasting Authority) u Velikoj Britaniji koja je 1983. prikazala sustav C-MAC (sl. 101). Osnova je toga sustava moduliranje satelitskog nosioca televizijskim signalom u frekvencijskom modulatoru, nakon čega modulirani signal odlazi u digitalni modulator. U digitalni se modulator dovode digitalni podaci tona i ostali podaci koji za vrijeme horizontalnog potisnog intervala digitalno moduliraju fazu nosioca (2-4 PSK). Tom se modulacijom postiže da se cijela širina kanala od 27 MHz može upotrijebiti za prijenos tonskih podataka. Tako je Europski radiodifuzijski savez 1983. prihvatio francuski prijedlog da se ton prenosi u paketima, s time da svaki paket dobiva adresu. Videosignal se kodira prema Preporuci 601 CCIR s frekvencijom uzorkovanja od 13,5 MHz, a ton s frekvencijom uzorkovanja od 20,25 MHz. Tonski se podaci prenose brzinom od 20 Mbit/s.



Sl. 101. Blok-shema satelitskog prijenosa u sustavu C-MAC

Izvedbe pojedinih paketnih sustava porodice MAC razlikuju se u pojedinim zemljama. Tako je paket B-MAC razvijen u SAD, a upotrebljava se i u Australiji, D-MAC u Velikoj Britaniji, a D2-MAC u Francuskoj i Njemačkoj.

Sadržaj signala jedne televizijske linije. U jednoj televizijskoj liniji (sl. 102) postoji dio koji sadrži signale krominantnih razlika, s time da neparne linije nose komponente $(E_B - E_Y)$, a parne linije komponente $(E_R - E_Y)$. Luminantni signal E_Y prenosi svaka linija. U posljednjoj, 625. liniji nalaze se podaci, a cijela je linija modulirana u tehnici 2-4 PSK. Ta posljednja linija sadrži karakteristični signal za satelitski



Sl. 102. Struktura televizijske linije s brojem taktih perioda za pojedine dijelove signala

kanal, kombinaciju signala TDM (eng. Time Division Multiplex, vremenski multipleks) i signala sigurnoga korisničkog prepoznavanja višeg prioriteta.

Trajanje vremenskih dijelova daje se u taktu frekvencije 20,25 MHz. Na početku linije (sl. 102) nalaze se 206 bita za sinkronizaciju linije, te *burst* podataka, nakon čega dolaze četiri taktina perioda namijenjena prijelazu na kraju *bursta* podataka i ulaznog brida signala za izjednačenje. Iza toga slijedi 15 taktih perioda namijenjenih za referentnu nulu te još 10 taktih perioda od kojih je pet namijenjeno za prijelaz na signal krominantnih razlika. Sljedećih je 349 taktih perioda za komprimirani signal krominantnih razlika. Pet je taktih perioda za prijelaz s krominantnog na luminantni signal, nakon kojih dolazi 697 taktih perioda za komprimirani luminantni signal. Šest je taktih perioda za prijelaz s luminantnog signala, nakon kojih dolaze četiri taktina perioda za prijelaz na početak *bursta* podataka te silazni brid signala za izjednačenje.

Postupci modulacije. Rješenje se paketa u porodici MAC razlikuju prema načinu modulacije tako što je kod paketa B-MAC, D-MAC i D2-MAC vremenski multipleks u osnovnom opsegu, a kod paketa C-MAC na razini radiofrekvencijskog opsega. U sustavima B-MAC primjenjuje se delta-modulacija, a u sustavima D-MAC i D2-MAC za tonski signal i podatke primjenjuje se duobinarni kod. Prema tome, ti se digitalni podaci iz sustava B-MAC, D-MAC i D2-MAC dodaju videosignalu u sustavu MAC i svi se zajedno frekvencijski moduliraju.

U paketu C-MAC za tonski signal i podatke primjenjuje se modulacija QPSK (eng. Quadrature Phase Shift Keying), a videosignal se odašilje frekvencijski moduliran. Tada se frekvencijska modulacija i modulacija QPSK ne odašilju zajedno, pa se ne mogu pojaviti neželjeni efekti između slike i tona.

Vremenska kompresija videosignala. Pri prijenosu televizijskog signala u sustavu MAC primjenjuje se vremenski slijed signala tona i signala podataka, signala krominantnih razlika $(E_R - E_Y)$ i $(E_B - E_Y)$ i luminantnog signala E_Y . Taj se modulacijski postupak naziva vremenskim multipleksom. Budući da gotovo cijelu širinu televizijske linije od 52 μ s zauzimaju signali krominantnih razlika i luminantni signal, nastala je potreba da se oni vremenski komprimiraju, kako bi se svi potrebni signali mogli prenijeti unutar 64 μ s, koliko traje televizijska linija.

Televizijski signal koji je vremenski komprimiran prenosi se u kraćem vremenu nego nekomprimirani signal. To znači da je prijenos signala brži pa je frekvencijska širina kanala veća. Međutim, s povećavanjem frekvencijske širine kanala povećava se i šum.

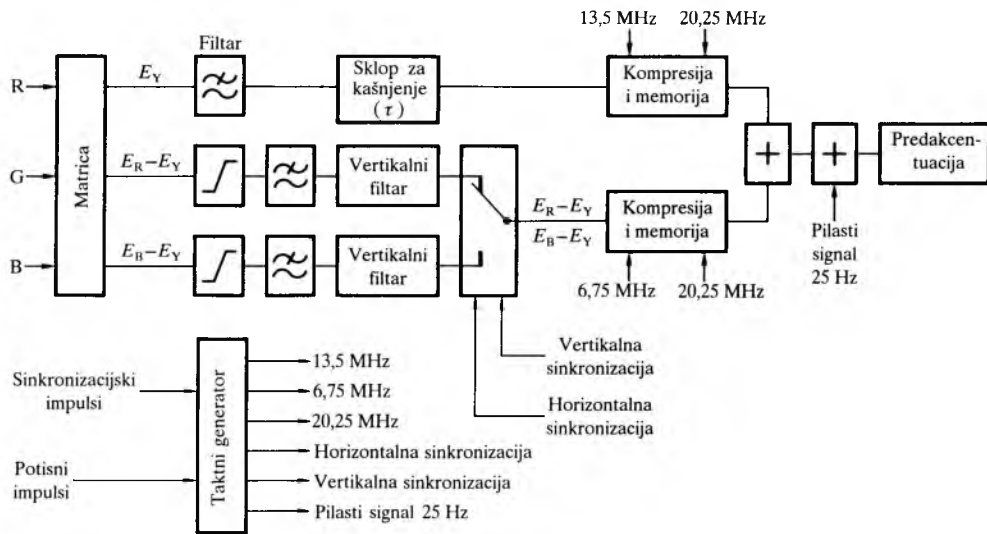
Za luminantni je signal izabran faktor kompresije u sklopu za kodiranje $k = 1,5$, a za signale krominantnih razlika $k = 3$ (tabl. 5).

Tablica 5

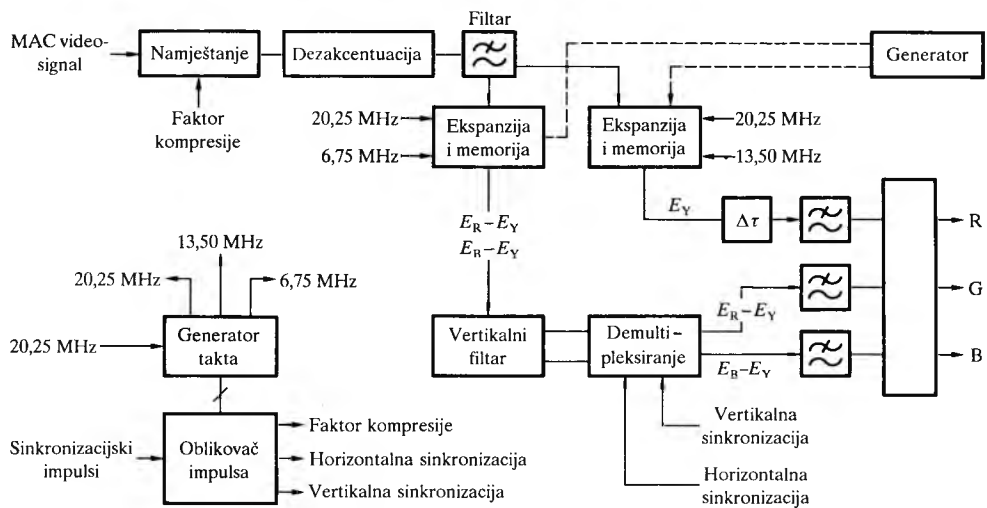
ŠIRINE FREKVENCIJSKIH KANALA ZA SATELITSKI PRIJENOS

Signal i njegov faktor kompresije k	Frekvencijski opseg Δf MHz	
	Nekomprimirani signal	Komprimirani signal
Luminantni signal E_Y ($k = 1,5$)	5,6	8,4
Signal $E_R - E_Y$ ($k = 3$)	1,6	4,8
Signal $E_B - E_Y$ ($k = 3$)	2,75	8,25

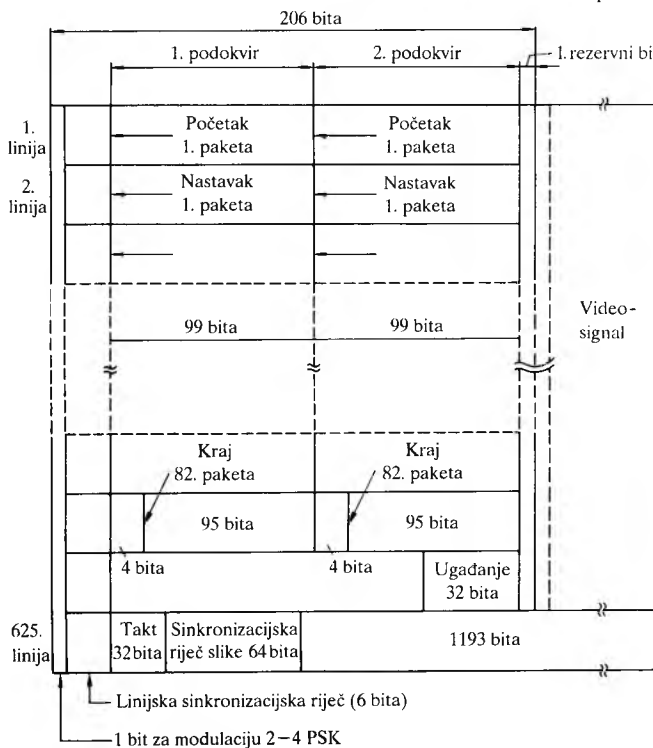
Unutar trajanja jedne linije luminantnom se signalu pridružuje 720 uzoraka, a krominantnim razlikama 360. U sklopu za kodiranje u sustavu MAC (sl. 103 i 104) provodi se kompresija digitaliziranih uzorkovanih veličina, a digitalizirani signali učitavaju u memoriju. Vrijeme je iščitavanja kraće za faktor kompresije, pa je tako za luminantni signal frekvencija uzorkovanja $1,5 \cdot 13,5 \text{ MHz} = 20,25 \text{ MHz}$, a za



Sl. 103. Sklop za kodiranje u sustavu MAC



Sl. 104. Sklop za dekodiranje u sustavu MAC



Sl. 105. Sadržaj tona s podacima podijeljen u dva podokvira

krominantne signale $3 \cdot 6,75 \text{ MHz} = 20,25 \text{ MHz}$. S frekvencijom od 20,25 MHz uzorkuje se i ton.

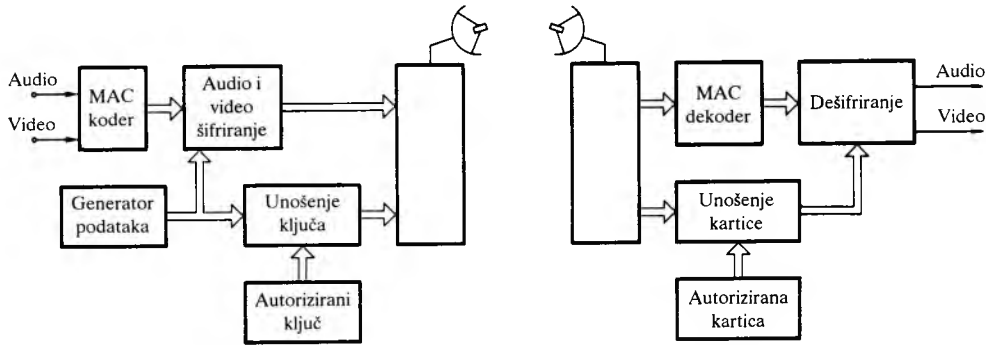
Ton i podaci. Ton i podaci prenose se u paketu na početku svake linije u dijelu *bursta* podataka koji u sustavu C-MAC sadrži 206 bita, a frekvencija uzorkovanja iznosi 20,25 MHz. Sustavi D2-MAC i C-MAC razlikuju se upravo u prijenosu tona i podataka. Da bi se izveo jednostavan prijelaz iz jednog sustava u drugi, podaci od 206 bita u sustavu C-MAC podijeljeni su u dva podokvira (sl. 105), a D2-MAC prenosi samo polovinu informacija. Svaki je podokvir organiziran samostalno pa je tako olakšan prijelaz pri dekodiranju iz sustava C-MAC u sustav D2-MAC.

Uvjetna dostupnost

U satelitskoj radiodifuziji uvjetna dostupnost omogućuje naplatu primanja televizijskog programa (engl. Pay-Television). To znači da se televizijski program pri odašiljanju šifrira, a da bi se mogao gledati, mora se dešifrirati.

Televizijski se signal u sustavu MAC šifrira tako da se krominantni i luminantni signali ispresijecaju unutar jedne linije i u pseudoslučajnom slijedu na određeni način pomiješaju (engl. scrambling), sl. 106. U signalu podataka nalazi se ključ šifriranja audiosignala i videosignala. Na prijamoj se strani televizijskog signala pomoću kartice, koja je ključ za dešifriranje, omogućuje prijam signala. Dakle, ako je emisija nešifrirana, moguće je izravno primanje, a ako je emisija šifrirana, primanje je moguće samo pomoću kartice.

Primanje na kućnom televizijskom prijammiku može biti preko ugrađenog mikroprocesora (tzv. Smart-card metoda) i



Sl. 106. Postupak šifriranja i dešifriranja videosignala i audiosignala

pomoću kartice. Kartice su s magnetskom vrpcom u koju je upisan ključ za dešifriranje.

VISOKOKVALITETNA TELEVIZIJA

U zadnjem se desetljeću u radiokomunikacijama postiže sve savršeniji prijenos i reprodukcija televizijskih signala. Želja da se što vjernije reproducira videosignal dovela je do bitnog povećanja broja linija i širine kanala, te površine ekrana, već prema sustavima u kojima se obavlja televizijski prijenos u pojedinim geografskim područjima. Tako je visokokvalitetna televizija (engl. High Definition Television, HDTV) prvi put predstavljena 1975. u Tokiju u povodu proslave 50-godišnjice japanske radiotelevizije. T. Fujio, autor visokokvalitetne televizije, prikazao je novi sustav televizije s karakteristikama: povećani broj linija, što omogućuje oštriju sliku i smanjuje promjenu kvalitete slike zbog strukture linija, te optimalni broj linija (predloženo je oko 900 i više), što poboljšava oštrinu i razlučivanje. Optimalna je udaljenost gledanja od 2-3 visine slike, a predložen je format slike 5:3.

Subjektivnim ispitivanjima kvalitete televizijske slike u japanskom sustavu 1125/60/2 (prvi broj znači broj linija, drugi broj poluslika, a treći prored) i europskom sustavu (Eureka 50) 1250/50/1, s progresivnim analiziranjem bez proreda, na završnom se zasjedanju SG11 CCIR postiglo 1989. zajedničko rješenje. U tom je zajedničkom standardu u Preporuci XA/11 CCIR definiran jedan dio osnovnih parametara za visokokvalitetnu televiziju prema proizvodnom modelu raznih međunarodnih organizacija.

Prema tom se standardu optička slika stvara skupnom od tri osnovne slike u električnom obliku uz linearnu optičko-elektroničku konverziju. Luminancija je $0 \leq L \leq 1$, a kolorimetrijske su koordinate (x, y): crveno (0,64; 0,33), zeleno (0,3; 0,6), modro (0,15; 0,06), referentno bijelo (0,3127; 0,329).

Uzorkovanje osnovnih slika i raspored uzoraka obavlja se uz format slike 16:9 (radi mogućnosti prikazivanja u kinematografima), te uz 1920 uzoraka po aktivnoj liniji.

Slika se analizira slijeva nadesno i od vrha do dna. Format je signala $\gamma = 0,45$, luminantni je signal $E'_Y = 0,2125 E'_R + 0,7154 E'_G + 0,0721 E'_B$, signali krominantne razlike iznose $E'_F = 0,6349 (E'_R - E'_Y)$, a $E'_P = 0,5389 (E'_B - E'_Y)$.

Za analogni prikaz nominalne su razine E'_R, E'_G, E'_B, E'_Y , referentno je crno 0 V, referentno bijelo 700 mV, a sinkronizacijska razina + 300 mV.

Za digitalni prikaz kodirani su signali E_R, E_G i E_B , odnosno $E_Y, (E_R - E_Y), (E_B - E_Y)$, a frekvencija $f_s = 2,25$ MHz.

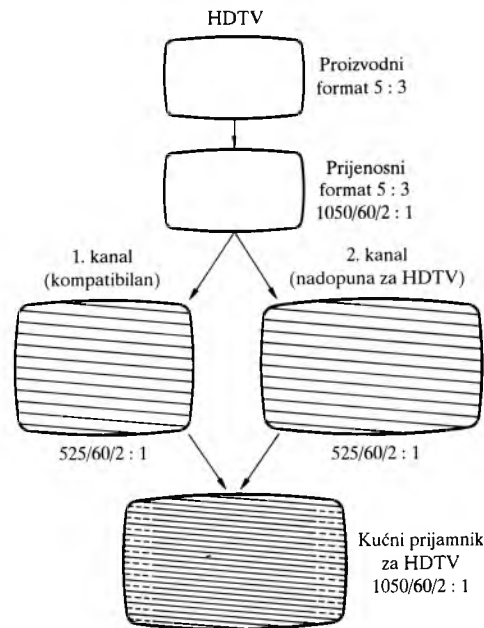
Raspored je uzoraka $(E_R - E_Y)$ i $(E_B - E_Y)$ koincidentan jedan za drugim i s alternativnim luminantnim uzorcima; $f_s = 1/2$ luminantne frekvencije uzorkovanja.

Prijenos signala visokokvalitetne televizije

Izvor signala visokokvalitetne televizije može biti kamera ili telekino. Izvor se sastoji od krominantnih signala E_R, E_G i E_B , te luminantnog signala E_Y . Da bi se uštedjela širina frekvencijskog opsega kanala, prenose se signali krominantnih razlika $(E_R - E_Y)$ i $(E_B - E_Y)$ te luminantni signal E_Y .

Predloženo je nekoliko načina odašiljanja signala visokokvalitetne televizije.

Dvokanalni prijenos. Jedan je od prijedloga za prijenos dala američka televizijska organizacija CBS (Columbia Broadcasting System). Taj bi prijedlog omogućio upotrebu dosadašnjih uređaja, a osniva se na tome što za prijamnik visokokvalitetne televizije nije potrebna memorija slike, jer se TV signal prenosi u dva kanala, pri čemu je jedan kanal kompatibilan sa sadašnjim standardom od 525 linija (sl. 107). Format je slike u proizvodnom studiju 5:3, a razlikuje se od formata slike koji se prenosi satelitski. Dvokanalni se prijenos ostvaruje tako što se u televizijskoj kameri stvara slika s 1050 linija, 60 poluslika i proredom 2:1 te s formatom 5:3. Broj



Sl. 107. Dvokanalni sustav CBS za prijenos visokokvalitetne televizije

je linija tako dvostruko veći od 525 linija. Da bi se dobio prored, mora se slijed sinkronizacijskih impulsa prikladno promijeniti ili načiniti tako da se linije u svakoj drugoj poluslici sa 525 linija međusobno učešljavaju. Jednim se kanalom prenosi dio slike koji odgovara formatu 4:3 sa 525 linija i proredom 2:1. Drugim se kanalom prenosi dopuna koja s prvim kanalom čini sliku visokokvalitetne televizije s 1050 linija (sl. 108).

U sustavu CBS primjenjuje se postupak TMC (engl. Time Multiplex of Components, vremenski multipleks komponenti). Proces se odvija tako da se luminantni i krominantni signali u 1. kanalu najprije komprimiraju, a u 2. kanalu ekspanziraju (sl. 109). U 1. kanalu započinje linija digitalnim podacima, signalom sinkronizacije i tonom, nakon toga slijede vremenski komprimirani signali $(E_R - E_Y)$ i $(E_B - E_Y)$, koji se izmjenjuju od linije do linije, uz faktor kompresije $k = 15:4$. Zatim slijedi luminantni signal s faktorom kompre-