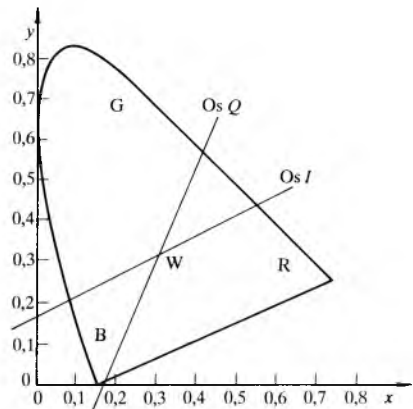


Sl. 39. Grafički prikaz komponenta krominantnog signala. *a* amplitude reduciranih krominantnih komponentata signala za primare i komplementare boja, *b* luminantni signal (sivi klin) za spektar krominantnih komponentata primara i komplementara boja, *c* zbroj luminantnog signala E_Y i reduciranih krominantnih komponentata primara i komplementara boja

komplementari boja jednoznačne su električne veličine koje određuju šesterokut unutar kojega se nalaze sve boje u električnom obliku. Pri kvadraturnoj se modulaciji obje krominantne komponente moduliraju na krominantni nosilac koji se zbraja s luminantnim signalom, pa je ukupni signal mnogo veći, što može uzrokovati premodulaciju odašiljača. Ako se prema šesterokutu boja (sl. 38) izračunaju amplitude primara i komplementara, može se dobiti kvalitativni prikaz signala (sl. 39a). Luminantni signal (sivi klin) grafički je prikazan na sl. 39b. Zbrajanje luminantnog signala s moduliranim krominantnim komponentama daje signal s prevelikom amplitudom. Da se izbjegnu problemi premodulacije, mora se ukupna amplituda smanjiti. Zbog uvjeta kompatibilnosti ne smije se smanjivati luminantni signal, pa se smanjuju krominantne komponente (sl. 39c): komponenta $(E'_R - E'_Y)$ smanjuje se na 87,7% početne amplitude, a komponenta $(E'_B - E'_Y)$ na 49,3% početne amplitude. Na prijamnoj je strani potrebno u određenoj mjeri povećati krominantne komponente zbog vjernosti reprodukcije boja, što se postiže matričnim sklopovima.

Smanjenje frekvencijske širine kanala krominantnih komponentata. Na osnovi ispitivanja u sustavu NTSC ustanovilo se da se sadržaj i razlučivost sitnih detalja nalaze u luminantnoj komponenti, a krominantne komponente pritom nisu



Sl. 40. Prikaz krivulja jednake razlučivosti

važne. Razlučivost krominantnih detalja iznosi 20...50% razlučivosti luminantnih detalja. Tako se dobio smjer najmanje razlučivosti, a predstavlja ga os Q koja zatvara s osi $(E'_R - E'_Y)$ kut od 33° . Os I , kao os najveće razlučivosti, okomita je na os Q . Širina kanala u sustavu sa 625 linija iznosi za luminantnu komponentu 5 MHz, potrebna širina za kanal Q iznosi 0,5 MHz, a za kanal I 1,3 MHz. Krivulje su jednake razlučivosti elipse, a leže u krominantnom području u određenom smjeru (sl. 40). Komponente signala E_I i E_Q dobivaju se iz relacija

$$E_I = (E'_R - E'_Y) \cos 33^\circ - (E'_B - E'_Y) \sin 33^\circ, \quad (10)$$

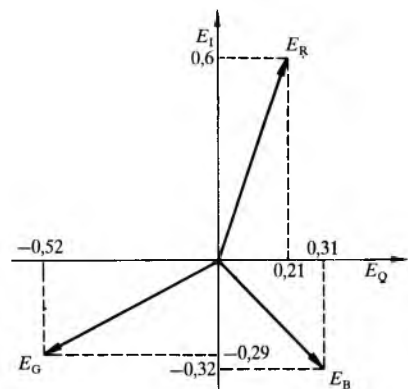
$$E_Q = (E'_R - E'_Y) \sin 33^\circ + (E'_B - E'_Y) \cos 33^\circ. \quad (11)$$

U sustavu NTSC s reduciranim krominantnim osima te su komponente

$$E_I = 0,74 (E'_R - E'_Y) - 0,27 (E'_B - E'_Y), \quad (12)$$

$$E_Q = 0,45 (E'_R - E'_Y) + 0,41 (E'_B - E'_Y). \quad (13)$$

U novom se koordinatnom sustavu s osima E_I i E_Q mijenja položaj primara boja (sl. 41). Takvom se transformacijom zadovoljava uvjet kompatibilnosti.



Sl. 41. Položaj primara boja u koordinatnom sustavu E_I i E_Q

SUSTAV TELEVIZIJE U BOJI

Televizija u boji upotrebljava tri krominantna signala, E_R , E_G i E_B , i njihovim se miješanjem mogu dobiti sve druge boje. Uz krominantne signale na utisak svjetljivosti cijele slike djeluje i luminantni signal E_Y . Ako se promijeni amplituda tog signala, slika će biti svjetlija ili tamnija, dok se ton i zasićenost boje neće promijeniti.

Kromatski se signali dobivaju pomoću analizirajuće cijevi ili CCD-elemenata u televizijskoj kameri, gdje se stvaranjem luminantnog signala i dodavanjem sinkronizacijskog signala tvori cjelovit signal slike u boji, tzv. BVPS-signal.

Signali slike u boji iz kamera ili drugih naprava (magnetski, telekina) dovode se na upravljačko mjesto videorežije. Iz videorežije signal se slike u boji vodi kabelima ili radiorelejnim vezama do odašiljačkog centra. Tehnička rješe-

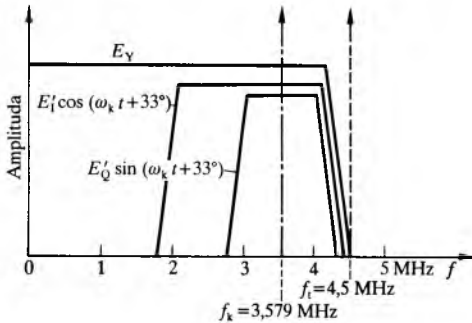
nja prijenosa videosignala i primjena određenih modulacijsko-demodulacijskih postupaka dali su danas tri svjetska sustava za prijenos televizije u boji: NTSC, PAL i SECAM.

Sustav NTSC. Prijenos televizijskog signala u boji koji ispunjava uvjete kompatibilnosti ostvario je 1953. američki sustav NTSC. Krominantni se signali dobivaju iz analizirajuće cijevi, a luminantni signal iz njihova zbroja. Komponente E_I i E_Q krominantnog signala s luminantnom komponentom E_Y daju utisak slike u boji. Krominantnim se komponentama modulira jedan nosilac frekvencije 4,43 MHz primjenom kvadraturene modulacije. Taj se modulacijski spektar uključuje u akromatski spektar (sl. 42). U sustavu NTSC luminantni se signal E_Y prenosi opsegom širine 0...4,5 MHz, a modulirana se komponenta krominantnog signala E_I prenosi nesimetrično, pa donji bočni opseg zauzima spektar do 1,5 MHz, a gornji do 0,5 MHz. Modulirana se komponenta krominantnog signala E_Q prenosi sa simetričnim bočnim opsezima do 0,5 MHz (sl. 43). U sustavu NTSC horizontalna je frekvencija $f_h = 15734,26$ Hz, a vrijednost se frekvencije krominantnog

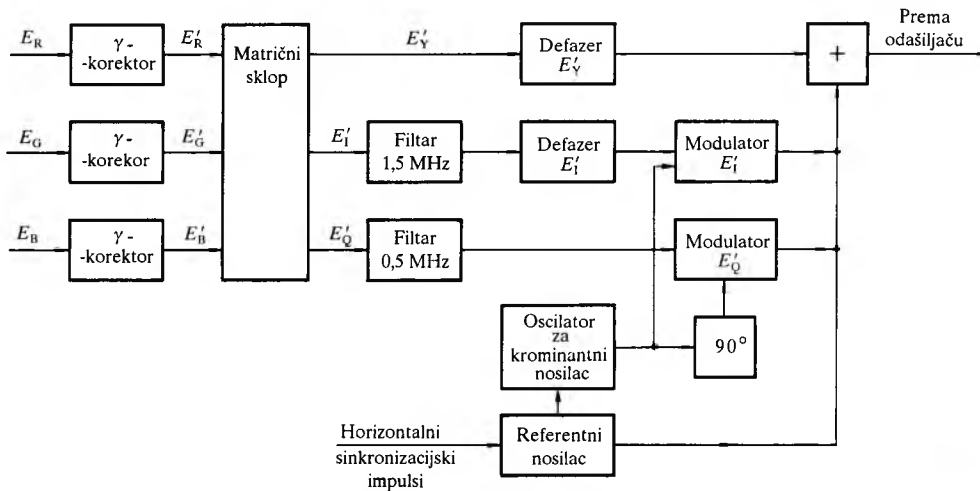
nosioca dobiva iz relacije $f_k = f_h(2n + 1)/2 = 3,57945$ MHz, gdje je n cijeli broj.

Tako se frekvencija nosioca boje i njezine harmonijske frekvencije umeću (učesljavaju) u frekvenciju luminantnog signala pa ne utječu jedna na drugu.

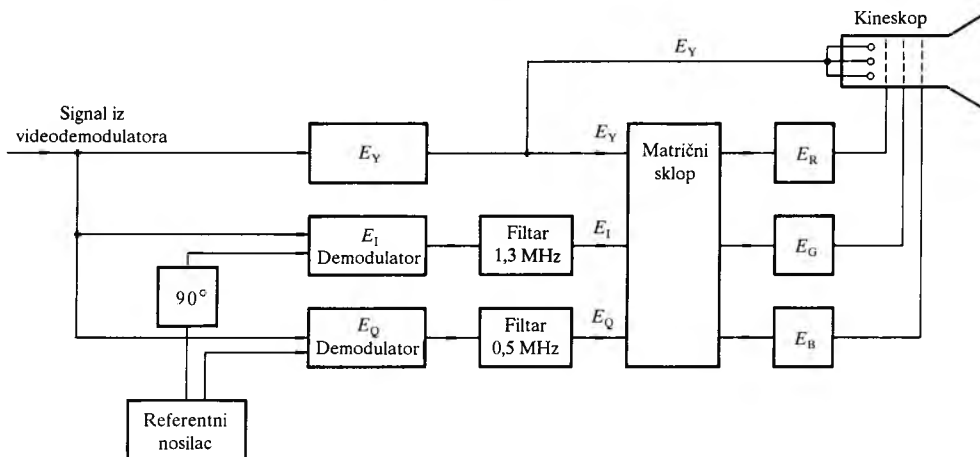
Kako se vidi na funkcijskoj blok-shemi uređaja za kodiranje u sustavu NTSC (sl. 43), iz kamere se dobivaju tri signala, E_R , E_G i E_B , koji se nakon gama-korektorâ vode u matrični sklop. Oni se u matričnom sklopu pretvaraju u luminantni signal E_Y i krominantne signale E_I i E_Q . Budući da je vrijeme prijenosa obrnuto razmjerno frekvencijskoj širini opsega, krominantni se signali E_I i E_Q vode kroz filtre koji služe za ograničenje frekvencijskih opsega. Nakon toga signali se vode kroz defazere koji služe za kompenzaciju različitih vremena prijenosa. Prema frekvencijskoj zaposjednutosti kanala za sustav NTSC potrebna je najveća kompenzacija za komponentu signala E_Y , manja za E_I , a zanemariva za E_Q . U sklopovima za modulaciju amplitudno se signalima E_I i E_Q moduliraju dva krominantna nosioca jednakih frekvencija, ali fazno pomaknutih za 90° . Modulacija se provodi u balansnim modulatorima na izlazima kojih nestaju krominantni nosioci, a ostaju samo bočni opsezi. Međutim, kako je potrebno da modulacija bude sinkrona s cijelim sustavom za prijenos krominantnog signala, što ovisi o referentnom krominantnom nosiocu (tzv. *burst*-signal), posebni impulsi otvaraju propust za referentni nosilac i to u kratkom intervalu horizontalnog potisnog impulsa, a nakon horizontalnog sinkronizacijskog impulsa. Referentni se nosilac prenosi zajedno sa signalom i potreban je za točnu demodulaciju u prijammniku. Tako dobiveni kodirani signali dovode se sklopu za miješanje, gdje se zbrajaju komponenta signala E_Y , bočni pojasi kvadraturene modulacije od E_I i E_Q , referentni nosilac i složeni sinkronizacijski impulsi pa se dobiva jedinstveni signal televi-



Sl. 42. Frekvencijski spektri u sustavu NTSC



Sl. 43. Sklop za kodiranje u sustavu NTSC

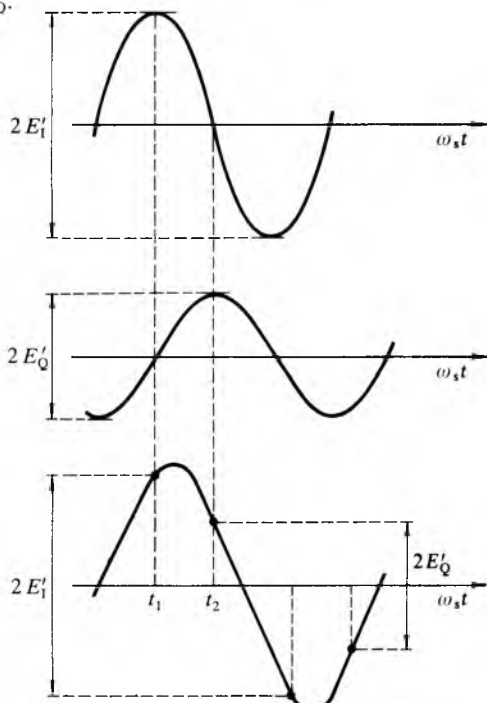


Sl. 44. Blok-shema dekodiranja u sustavu NTSC

zije u boji. Nakon toga krominantni signal dolazi u radiodifuzijski odašiljač ili radiorelejni uređaj za daleko odašiljanje.

Ton se prenosi pomoću odijeljenog odašiljača tona, s time da je modulacija tona u sustavu NTSC pomaknuta za 4,5 MHz u odnosu na luminantni signal.

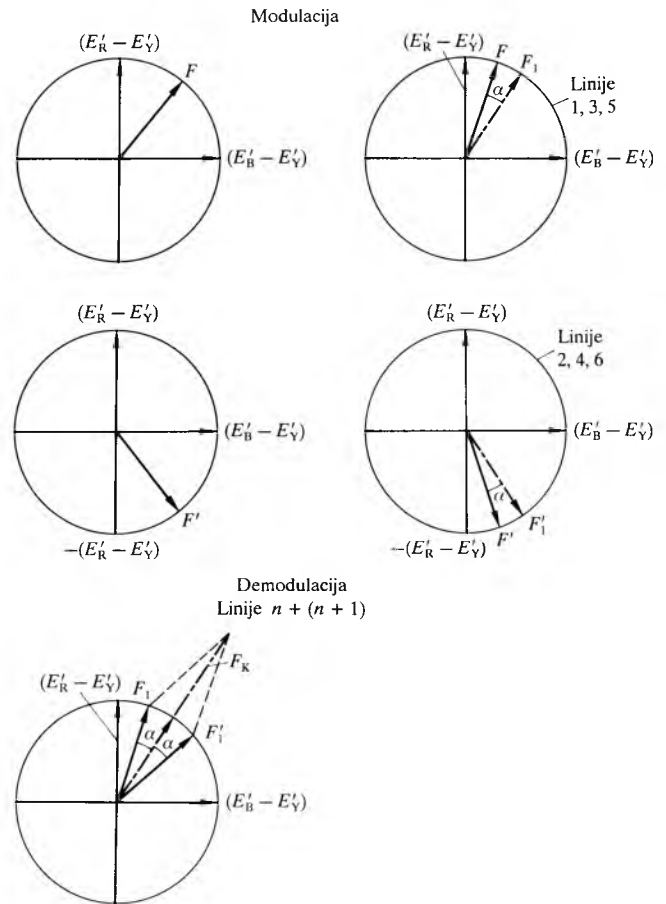
Dekoder u prijamniku služi za obrnut postupak, tj. od složenog signala televizije u boji dobivaju se komponente krominantnog signala E_R , E_G i E_B te luminantni signal E_Y kojima se napaja kineskop, da bi se na njegovu ekranu dobila slika u boji. Princip rada dekodera prikazuje blok-shema na sl. 44. Signal se iz antene prijamnika preko birača kanala i međufrekvencijskog pojačala dovodi u videodetektor, odakle se dobiva složeni videosignal. Pri demoduliranju proizvoda amplitudne modulacije, gdje je nosilac bio potisnut, potrebno je taj nosilac dodati na prijamnoj strani. U kvadraturnoj modulaciji koja se primjenjuje u sustavu NTSC postoje dva amplitudno modulirana signala s potisnutim nosiocem iste frekvencije, ali fazno pomaknute za 90° . Pri dekodiranju sinkronom detekcijom moguća je demodulacija jednog signala bez interferencije s drugim nosiocem. Ako se dodaju oba vala pomaknuta za 90° , dobivaju se obje krominantne komponente E'_1 i E'_0 .



Sl. 45. Vremenski raspored signala u sinkronoj detekciji

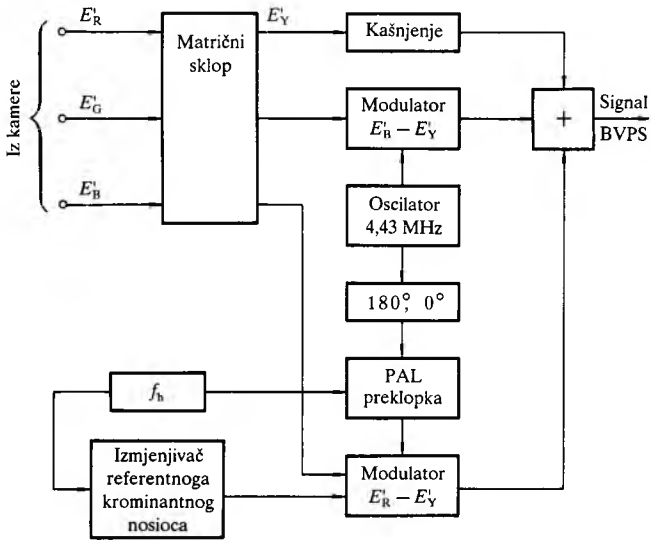
Na sl. 45 prikazan je princip sinkrone detekcije gdje su nosioci vremenski pomaknuti za 90° i amplitudno modulirani. Iz dijagrama se vidi da je jedan signal u maksimumu kad je drugi jednak nuli i obratno. Iz zbroja obaju signala (sl. 45) vidi se da u trenutku t_1 postoji samo amplituda E'_1 , a u trenutku t_2 samo amplituda E'_0 , dok je amplituda E'_1 jednaka nuli. Dakle, u rezultatnom izlaznom naponu postoji u svakom trenutku samo jedan signal kojim upravlja referentni nosilac. U prijamniku se nalazi generator referentnog nosioca koji mora biti fazno i frekvencijski sinkron s referentnim nosiocem na odašiljačkoj strani. Iz demodulatora se signal E'_1 vodi u matični sklop preko linije za kašnjenje, a signal E'_0 izravno. Na izlazu iz matičnog sklopa dobivaju se krominantni signali E_R , E_G i E_B koji se vode izravno na kineskop.

Sustav PAL. Sustav PAL stvoren je 1963. da bi se izbjegli nedostaci sustava NTSC koji su se pojavljivali prilikom prijenosa. Osnova je sustava PAL prebacivanje, odnosno okretanje faze razlike krominantnog signala ($E'_R - E'_Y$) za 180° u svakoj uzastopnoj liniji. To uzrokuje i promjenu faznoga kuta signala referentnog nosioca u skladu s linijama koje slijede. Pogreška je u prijenosu nastajala zbog fazne pogreške koja nastaje trenutačno, a ovisi o luminantnom sadržaju slike.



Sl. 46. Prikaz kompenzacije fazne pogreške pri modulaciji i demodulaciji u sustavu PAL

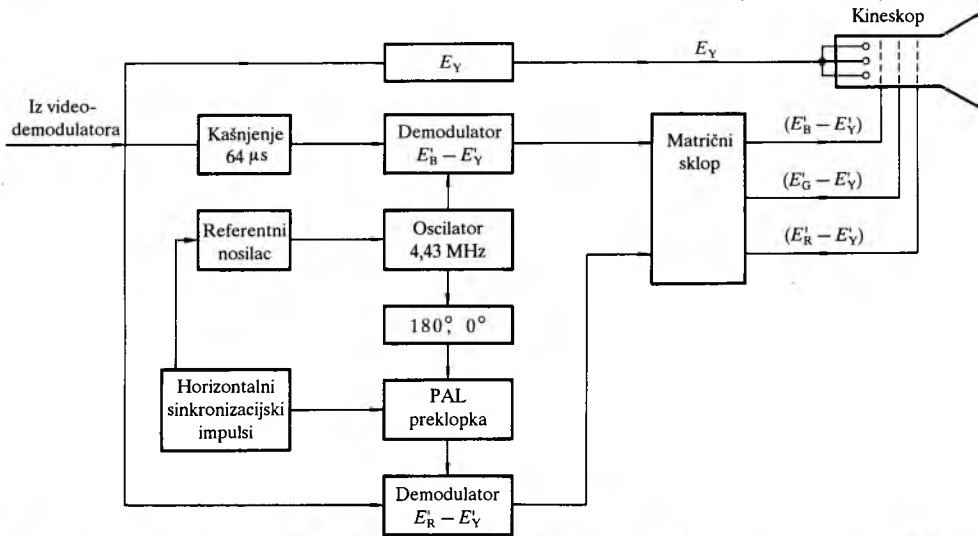
Sustav PAL riješio je prijenos krominantne komponente tako što se razlikom krominantnih signala ($E'_R - E'_Y$) modulira krominantni nosilac od linije do linije, i to fazom 0° , odnosno 180° (sl. 46). Krominantna se komponenta ($E'_B - E'_Y$) fazno ne mijenja. U sustavu PAL zadržala se kvadraturna modulacija s potisnutim nosiocem i istodoban prijenos krominantnih komponenata. Fazna se pogreška u prijenosu krominantnog signala očituje u promjeni kuta α , koji u sustavu NTSC uzrokuje promjenu tona boje. Na sl. 46 modulirane su komponente prikazane vektorima. Ako se pri demoduliranju na prijamnoj strani vrati razlika ($E'_R - E'_Y$) kod svake druge linije u prvobitni položaj, zbrajanjem vektora dobiva se rezultanta bez fazne pogreške. Amplituda F_k se povećala, što se može riješiti sklopom za ograničenje amplitude. Pri demodulaciji treba na prijamnoj strani zbrojiti krominantnu komponentu iz obiju linija (sl. 46). Uvjet je da se za $64 \mu s$ iz prve linije zadrži krominantna komponenta F_1 u sklopu za kašnjenje dok ne dođe krominantna komponenta F'_1 iz druge linije. Komponenta ($E'_R - E'_Y$) prebacuje se tzv. PAL-preklonom te se referentni nosilac za sinkronu demodulaciju privodi u izmjeničnoj fazi $\pm 90^\circ$. Jedna je komponenta referentnog nosioca usmjerena u pozitivnom smjeru ($E'_B - E'_Y$), a druga komponenta na osi ($E'_R - E'_Y$) mijenja polaritet u pozitivnom, odnosno negativnom smislu svake linije. Princip kodiranja u sustavu PAL prikazan je na sl. 47. U PAL-koderu krominantni signali ($E'_R - E'_Y$) i ($E'_B - E'_Y$) stvaraju jedan, zajednički modulirani signal F koji zbrojen s luminantnim signalom E_Y sadrži potpunu videoinformaciju televizijskog prijenosa u boji. U matrici stvoreni krominantni signali dovode se u modulator, gdje se obavlja kvadraturna modulacija s potisnutim nosiocem. Iz oscilatora se krominantni nosilac frekvencije $f_k = 4,43 \text{ MHz}$ dovodi u modulator za komponentu ($E'_B - E'_Y$) izravno, a u modulator za komponentu ($E'_R - E'_Y$) preko sklopa za pomak faze. U modulator se dovodi referentni krominantni nosilac koji u jednoj liniji ima fazu 135° , a u



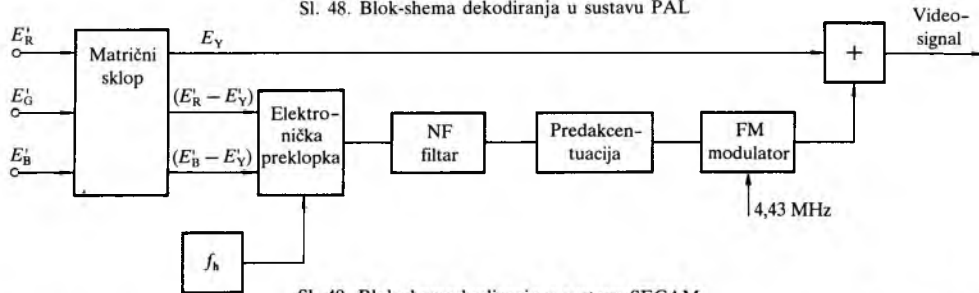
Sl. 47. Blok-shema kodiranja u sustavu PAL

drugoj 225° . Na izlazu iz modulatora za komponentu $(E'_B - E'_Y)$ dobiva se amplitudno modulirani signal s potisnutim nosiocem. U modulatoru za $(E'_R - E'_Y)$ krominantni se nosilac fazno pomiče za 90° , a u sljedećoj se liniji polaritet još mijenja za 180° , pa se krominantni vektor F_1 okreće nadolje. Amplitudno modulirani signali iz modulatora dovode se zajedno s luminantnim signalom E'_Y u sklop za zbrajanje te se na izlazu dobiva signal BVPS.

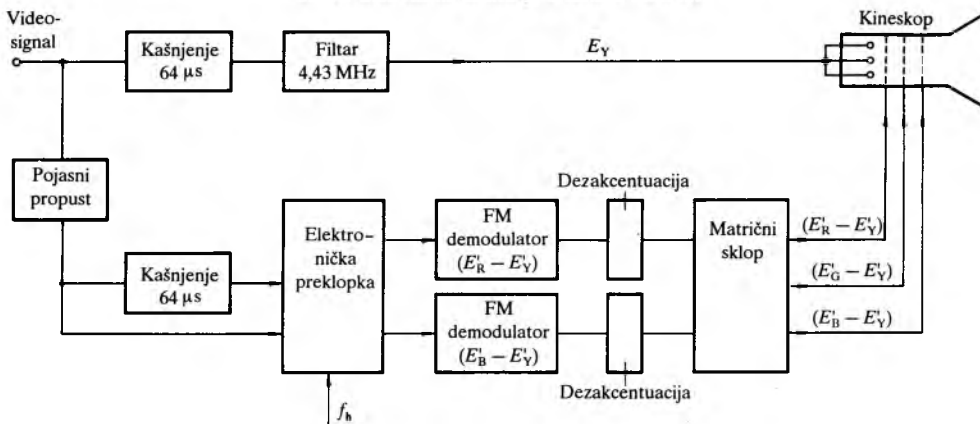
U prijamniku se nalazi PAL-dekoder koji služi za dekodiranje videosignala i stvaranje krominantnih signala E_R, E_G i E_B . Na sl. 48 prikazana je blok-shemom demodulacija signala $(E'_R - E'_Y)$ i $(E'_B - E'_Y)$. Na odašiljačkoj je strani provedena kvadratura modulacija s potisnutim nosiocem, te se na prijamoj strani (strana dekodiranja) mora radi sinkrone detekcije dodati krominantni nosilac frekvencije 4,43 MHz. U kanalu $(E'_R - E'_Y)$ dodaje se PAL-preklopka za promjenu faze od 180° , da bi se linije vratile u položaj prije kodiranja. PAL-preklopka je sinkronizirana s horizontalnom frekvencijom i signalom referentnog nosioca. Izlazi iz demodulatora spajaju se na matricu iz koje se dobivaju signali razlike. U sustavu PAL uklonjena je i fazna pogreška koja utječe na dominantnu valnu duljinu, a uklonjene su i pogreške u tonu



Sl. 48. Blok-shema dekodiranja u sustavu PAL



Sl. 49. Blok-shema kodiranja u sustavu SECAM



Sl. 50. Blok-shema dekodiranja u sustavu SECAM

boje. Specifičnost je sustava PAL da vrlo jednostavno može prijeći na rad u sustavu NTSC i obrnuto, jer je postupak modulacije i demodulacije u oba sustava jednak.

Sustav SECAM (franc. Séquentiel à mémoire, sekvencijski s memorijom) primjenjuje se u Francuskoj i u nekim drugim europskim zemljama. U tom se sustavu prenosi iz jedne linije krominantna komponenta ($E_R - E_Y$), a iz druge linije krominantna komponenta ($E_B - E_Y$), što znači da se za krominantne komponente primjenjuje sekvencijski rad, a za luminantnu komponentu simultani rad. Taj se način prijenosa ostvaruje s pretpostavkom da se kromatski sadržaj televizijske slike ne mijenja od linije do linije. Budući da prijenos teče sekvencijskim redoslijedom, to se u svakom vremenskom odsječku prenosi samo jedna krominantna komponenta. Kako se u jednom trenutku prenosi samo jedna krominantna komponenta, nije potrebna primjena složene kvadraturne modulacije, nego se pri prijenosu može upotrijebiti frekvencijska modulacija, koja je i kvalitetnija što se tiče šuma. Važno je, međutim, da se pri reprodukciji istodobno nađu obje krominantne komponente, pa se zato jedna komponenta pomoću sklopa za kašnjenje zadržava 64 μ s.

Iz matričnog se sklopa (sl. 49) dobivaju krominantne komponente ($E_R' - E_Y'$) i ($E_B' - E_Y'$) te se dovode na elektroničku preklopku koja se upravlja horizontalnom frekvencijom. Nakon izlaska iz elektroničke preklopke u ritmu horizontalne frekvencije krominantne komponente prolaze kroz sklop za predakcentuaciju, gdje se izdižu amplitude signala na visokim frekvencijama radi poboljšanja omjera signal/šum (v. *Elektronika, uređaji. Šum*, TE 4, str. 633...637), a zatim se frekvencijski moduliraju i odašilju jedna po jedna. Centralna je frekvencija za Europu 4,43 MHz (točnije 4429687,5 Hz) sa simetričnom frekvencijskom devijacijom ± 750 kHz za maksimalno zasićenje od 75%, a pojasi su ograničeni na 1,5 MHz. Referentni se nosilac prenosi radi upravljanja elektroničkom preklopkom u prijarniku i odašilje se nakon svake druge linije, i to nakon krominantne komponente ($E_R' - E_Y'$).

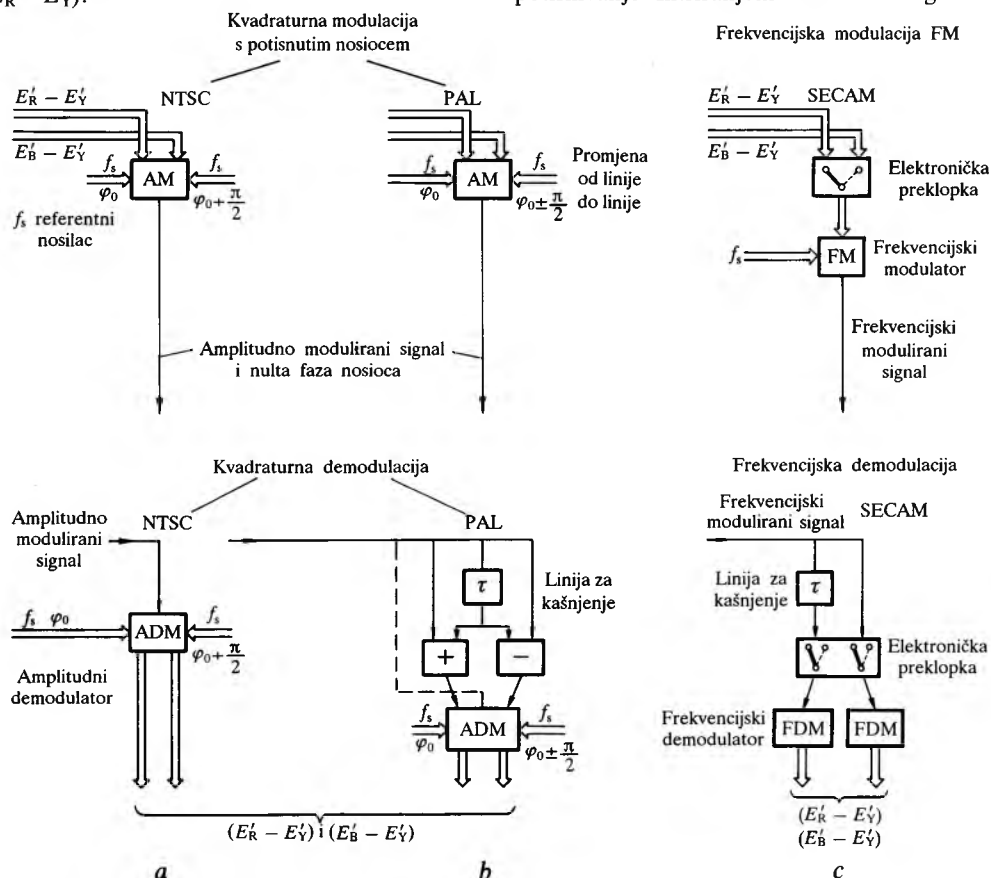
Pri dekodiranju u sustavu SECAM (sl. 50) složeni videosignal prolazi kroz liniju za kašnjenje i kristalni filter rezonantne frekvencije jednake frekvenciji krominantnog nosioca, tako da se propušta samo luminantni signal E_Y kojim se napajaju katode triju elektronskih topova u kineskopu. Pojasni propust odvađa krominantne komponente, koje odlaze u krominantni kanal gdje se nalazi sklop za kašnjenje. Elektronička preklopka propušta u ritmu horizontalne frekvencije prema FM demodulatorima krominantni signal i onaj koji kasni 64 μ s. Nakon FM demodulacije provodi se dezakcentuacija signala, tj. krominantnim komponentama viših frekvencija smanjuje se amplituda na prvobitnu vrijednost, da bi omjer signal/šum ostao stalan. Od elektroničke se preklopke zahtijeva da ispravno prebacuje signale prema demodulatorima i matričnom sklopu. Zbog toga njome upravlja multivibratorski sklop, a njime upravljaju horizontalni sinkronizacijski impulsi.

Osnovne razlike između triju sustava televizije u boji, NTSC, PAL i SECAM, shematski su prikazane na sl. 51.

PRIMANJE I REPRODUCIRANJE SIGNALA U BOJI

Televizijski prijarnici za primanje signala u boji svrstavaju se prema sustavima za prijenos na NTSC, PAL i SECAM. U nas je usvojen PAL sustav.

Veći je dio kromatskog prijarnika (sl. 52) sličan prijarniku za akromatsku televiziju (v. *Elektronika, uređaji. Televizija*, TE 4, str. 678...679). Televizijski signal u boji dolazi iz prijarnne antene na kanalni preklopnik gdje se nalaze selektivni filtri, visokofrekvencijsko pojačalo, lokalni oscilator i stupanj za miješanje. Selektivni filtri odvajaju signale u frekvencijska područja UHF i VHF, a visokofrekventni se signal miješa s frekvencijom iz lokalnog oscilatora pa nastaju međufrekventni signali. Transpozicijom frekvencije pomoću lokalnog oscilatora u međufrekvencijskim pojačalima luminantni nosilac dolazi na frekvenciju 38,9 MHz, a krominantni na 34,47 MHz, dok je međufrekvencija tona 33,4 MHz. Uz potiskivanje filtriranjem krominantnog nosioca frekvencije



Sl. 51. Usporedba modulatorskih postupaka za prijenos televizije u boji, a u sustavu NTSC, b u sustavu PAL i c u sustavu SECAM