

*zenraft, I. M. Jacobs, Principles of communication engineering, New York 1965. — H. M. Ильинов, Основы радиотехники, Москва 1965. — M. Schwartz, W. R. Bennet, S. Stein, Communication systems and techniques, New York 1966. — S. Stein, J. J. Jones, Modern communication principles with application to digital signaling, New York 1967. — B. P. Lathi, Communication systems, London 1968. — H. Brodhage, W. Hormuth, Planung und Berechnung von Richtfunkverbindungen, Berlin 1968 (1 na engleskom: Planning and engineering of radio relay links, München 1968). — B. Carlson, Communication systems, New York 1968. — H. И. Чистяков, С. М. Халымчев, О. М. Малошинский, Радиосвязь и вещание, Москва 1968. — A. Ascione, Lezioni di punti radio, Roma 1970. — C. Rudiloso, Tecnica dei punti radio, Roma 1972. — M. Mandl, Principles of electronic communications, Englewood Cliffs, N. J. 1973.*

Z. Šolc

### ELEKTRONIČKI UREĐAJI U RADIO-DIFUZIJI

Radio-difuzija je jedno od najmasovnijih sredstava informacije. Radi vršenja svog zadatka, ona, osim potrebnim organizacijskim jedinicama, raspolaže i potrebnim tehničkim sredstvima, koja se pretežno sastoje od elektroničkih uređaja. S pomoću moduliranih elektromagnetskih valova ona prenosi vesti i zabavni, poučni ili umjetnički program velikom broju slušalaca i gledalaca, služeći se pri radio-prijenosu samo govorom ili glazbom, a pri televizijskom (TV) prijenosu, osim toga i slikom.

Program koji se prenosi stvara se u studijima radio- i televizijskog doma, gdje se izvorni govor ili glazba ili živa slika, ili njihova reprodukcija s gramofonskih ploča, magnetofona ili magnetoskopa, pretvara u električni modulacijski signal. Taj se vodi kabelom ili visokofrekvenčnom usmjerom vezom odašiljaču; tamo se on pretvara u modulirane visokofrekventne struje (potrebne jakosti), kojima se preko pojnoj voda napaja antena, a ova primljenu energiju zrači kao elektromagnetske valove u prostor. Za radio-prijenos primjenjuju se dugi, srednji, kratki i vrlo kratki valovi (niske, srednje, visoke i vrlo visoke frekvencije), a za televizijski prijenos vrlo kratki i ultrakratki valovi (vrlo visoke frekvencije). Valna područja za radio- i TV-prijenos utvrđena su i rezervirana samo za tu svrhu međunarodnim konvencijama (tabl. 1). Planove o raspodjeli frekvencija i njihovoj raspodjeli u mreže razrađuje i preporuča Međunarodni savjetodavni komitet

Tablica 1

PREGLED FREKVENCIJSKIH PODRUČJA DODIJELJENIH RADIO-DIFUZIJI ZA RADIO- I TV-PRIJENOS

Namjena i naziv područja	Frekvenčko područje	Pripadno valno područje
Radio-prijenos na niskim frekvencijama (NF) (na kilometarskim ili dugim valovima)	150...285 kHz	2000...1052,6 m
Radio-prijenos na srednjim frekvencijama (SF) (na hektometarskim ili srednjim valovima)	525...1605 kHz	371,4...186,9 m
Radio-prijenos na visokim frekvencijama VF) (na decimetarskim ili kratkim valovima): 49-metarski pojas 41-metarski pojas 31-metarski pojas 25-metarski pojas 19-metarski pojas 16-metarski pojas 13-metarski pojas	5,95...6,2 MHz 7,1...7,30 MHz 9,50...9,775 MHz 11,7...11,975 MHz 15,1...15,45 MHz 17,75...17,85 MHz 21,45...21,75 MHz	50,00...48,39 m 41,67...41,10 m 31,58...30,93 m 25,64...25,21 m 19,87...19,54 m 16,90...16,81 m 13,91...13,79 m
TV-prijenos na vrlo visokim frekvencijama (VVF) (na metarskim ili vrlo kratkim valovima), pojas I	41...68 MHz	7,31...4,41 m
Radio-prijenos na vrlo visokim frekvencijama (VVF) (na metarskim ili vrlo kratkim valovima), pojas II	87,5...100 MHz	3,43...3,00 m
TV-prijenos na vrlo visokim frekvencijama (VVF) (na metarskim ili vrlo kratkim valovima), pojas III	174...223 MHz	1,72...1,35 m
TV-prijenos na ultravisokim frekvencijama (UVF) (na decimetarskim valovima), pojas IV i V	470...790 MHz	0,64...0,38 m

U nas je običajno da se (prema njemačkom običaju) ultrakratkim valovima UKV nazivaju metarski valovi, koji odgovaraju vrlo visokim frekvencijama (VVF), a ne decimetarski valovi koji odgovaraju ultravisokim frekvencijama (UVF).

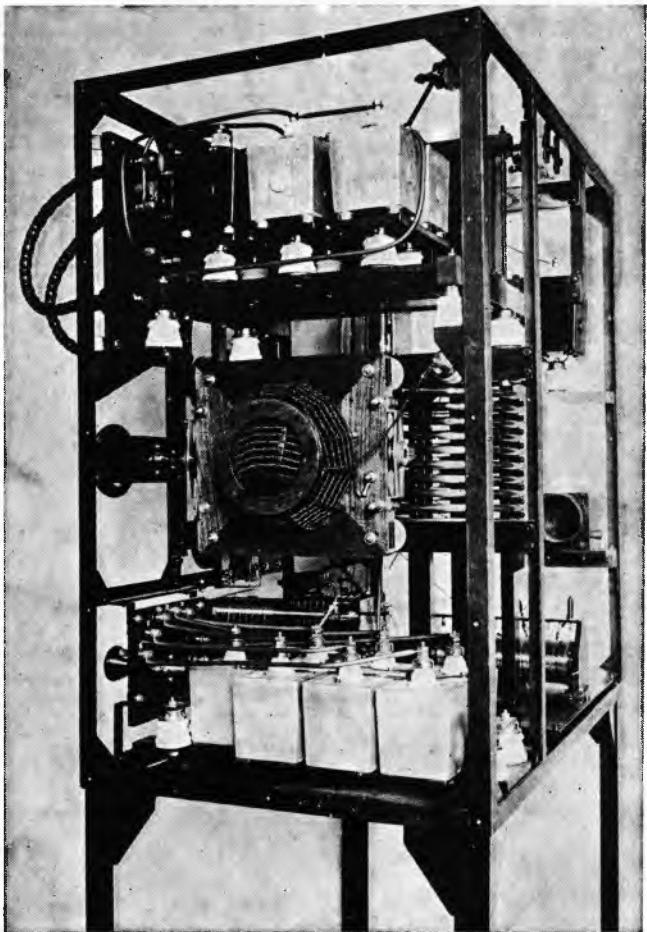
Tablica 2  
UKUPNA SNAGA MATIČNIH  
RADIO-ODAŠILJACA PO REPUBLIKAMA POČETKOM 1972

Republika	Ukupna snaga odašiljača kW
Srbija	750
B i H	700
Makedonija	1135
Hrvatska	550
Slovenija	280
Crna Gora	100
Jugoslavija	3515

za radio-saobraćaj CCIR (franc. Comité Consultatif International Radiophonique) kao permanentni organ Međunarodne telekomunikacijske unije ITU (engl. International Telecommunication Union), koja danas regulira tu materiju i čije studijske grupe daju preporuke i predlažu norme za tehnologiju i ponašanje na tom polju djelatnosti. Registraciju instaliranih radiodifuzijskih odašiljača i kontrolu njihove frekvencije vrši za zapadnu Evropu Evropsko udruženje radiostanica EBU (engl. European Broadcasting Union). U daljem izlaganju obrađeni su od elektroničkih uređaja radio-difuzije u tri naredna poglavila uređaji za radio-prijenos, a u posljednjem poglavlu uređaji za televiziju.

### Radio-prijenos na niskim i srednjim frekvencijama (NF i SF)

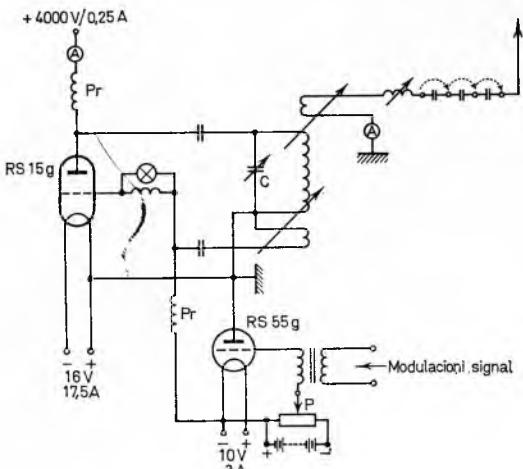
Do šire primjene radiotelegrafije s pomoću odašiljača na iskre i s Poulsenovim lukom došlo je već početkom ovog stoljeća, ali uspješniju radiodifuziju (engl. broadcasting, njem. Rundfunk) omogućili su tek odašiljači s elektronikama. Tako je 31. VIII 1920 proradila prva radio-difuzijska stanica u Pittsburghu (USA). Prva radiodifuzijska stanica u Evropi montirana je na Eiffelovom tornju u Parizu i stavljena u pogon februara 1921. U Engleskoj proradila je prva radio-stanica 14. II 1922. Uskoro slijede stanice u Njemačkoj, SSSR i drugdje. U Jugoslaviji puštena je prva radio-difuzijska stanica u rad u Zagrebu 15. V 1926. Ona je imala snagu 0,35 kW i radila na valnoj duljini 276,2 m. Za njom slijedi Ljubljana 1. IX 1927 sa 2,5 kW i Beograd 24. III 1929, također sa snagom 2,5 kW. Tabl. 2 pokazuje za početak 1972 ukupnu nazivnu snagu instaliranih srednjevjevnih odašiljača po republikama. Pri tom su uzete u obzir samo matične radio-stanice; osim njih postoji danas još znatan broj lokalnih i rečnih radio-stanica manje i srednje snage.



Sl. 1. Odašiljač 0,35 kW Radio Zagreba iz 1926, pogled na bočnu stranu odašiljača

Unutarnji izgled odašiljača Radio Zagreba iz 1926 prikazuje sl. 1. Kako je električna shema tog odašiljača bila jednostavna pokazuje sl. 2. U visokofrekvenčnom dijelu radila je samo elektronika RS 15 g kao samouzbudni oscilator

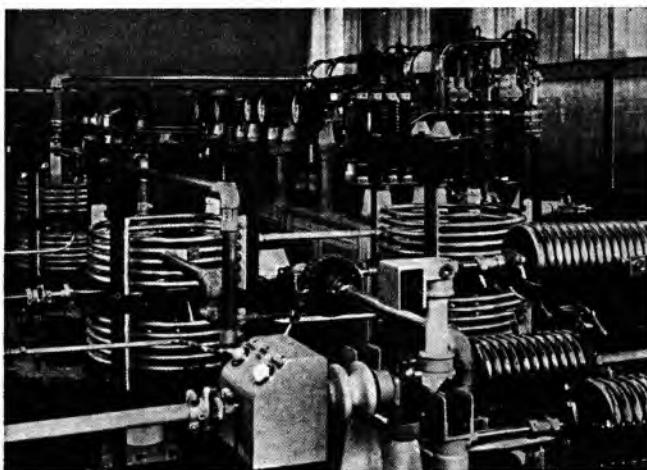
anage 350 W s ugodenim krugom u anodi. Radna frekvencija podešavala se kondenzatorom C. Rešetkina strujna modulacija te cijevi provodila se elektronkom RS 55 g, na čiju se rešetku dovodio modulacijski signal. Potenciometrom P



Sl. 2. Shema 0,35 kW-nog odašiljača Radio Zagreba iz 1926

odabirana je radna tačka u sredini radnog područja. Maksimalno mogući stupanj modulacije iznosio je 60 %. Frekvencija takvog odašiljača bila je, dakako, nestabilna, a pri modulaciji nastupala su izobilješenja.

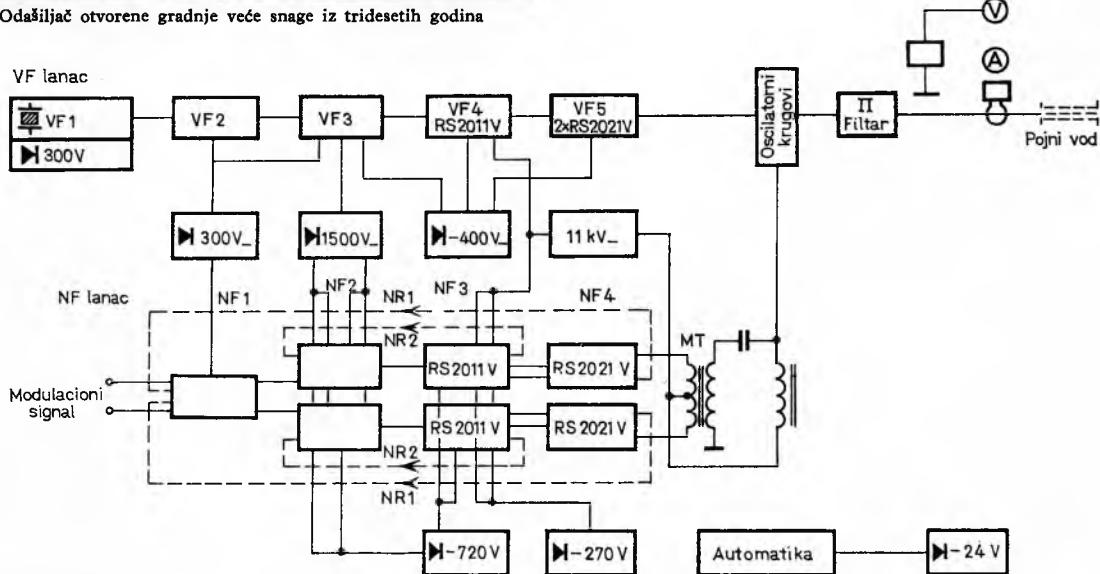
Odašiljači većih snaga gradili su se u prvo vrijeme pretežno u tzv. otvorenoj izvedbi (sl. 3).



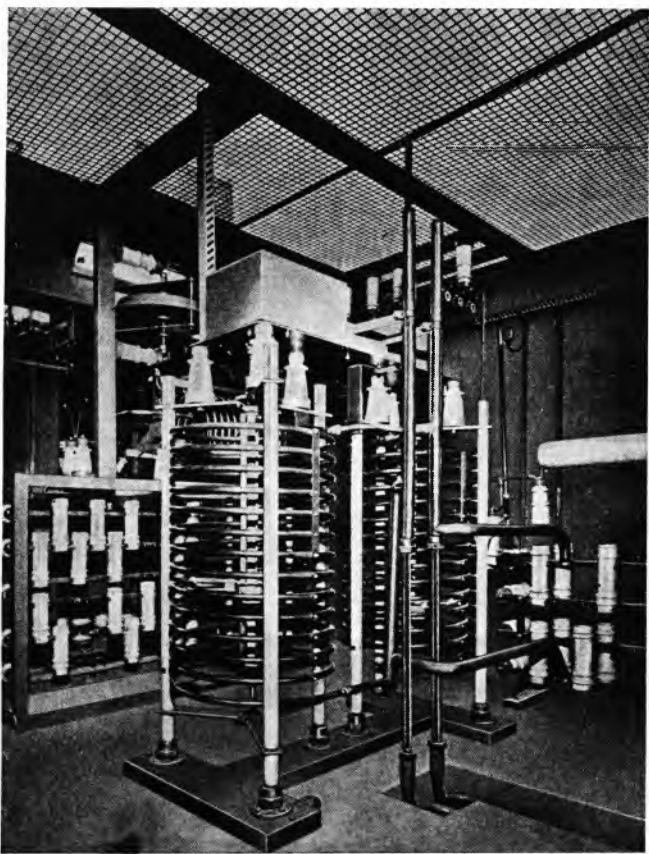
Sl. 3. Odašiljač otvorene gradnje veće snage iz tridesetih godina

**Radiodifuzijski odašiljač za rad na niskim i srednjim frekvencijama** (dugim, kilometarskim, i srednjim, hektometarskim, valovima) ugodeni su danas obično na samo jednu fiksnu i prema međunarodnoj raspodjeli tačno određenu frekvenciju. Samo je ponekad predviđen i rad na dvije ili više frekvencija s mogućnošću preklapanja. Kao oscilator služi sklop s kvarcom u termostatu. Time se eliminira utjecaj promjene temperature okoline na stabilnost frekvencije. Da zbog povratnog djelovanja idućih stupnjeva pojačanja ne bi došlo do pomicanja frekvencije, oscilator se odyaja od ostalih stupnjeva razdvojnim stupnjem i dobro zakrilaže. Razdvojni stupanj je samo slabo spregnut s oscilatorom. Tim i nekim drugim mjerama postiže se velika stabilnost frekvencije odašiljača; za moderne uređaje ona iznosi  $10^{-6} \dots 10^{-8}$  (v. *Električni satovi*). U istim granicama kreće se i tačnost frekvencije odašiljača. Još prije nego biva modulirana, visokofrekventna struja pojačava se u stupnjevima male snage dok nije dovoljna za upravljanje drajvera (engl. driver) koji daje potrebnu snagu za upravljanje posljednjeg izlaznog visokofrekvenčnog stupnja. Ovaj radi u režimu klase C (v. članak *Elektronika, sklopovi*, str. 503) i daje snagu i do 1000 kW. Veliki radiodifuzijski odašiljači moduliraju se sada isključivo u posljednjem stupnju anodnom naponskom modulacijom, u klasi B, a samo se ponekad primjenjuju i neke druge vrste modulacije, kao npr. modulacija po Dohertyju.

Kao primjer konstrukcije modernog radio-odašiljača prikazuje sl. 4 blok-schemu 100 kW-nog radiodifuzijskog odašiljača Radio-industrije Zagreb. Visokofrekvenički lanac sastoji se od kvarcnog oscilatora i razdvojnog stupnja VF1, dva stupnja pojačanja male snage VF2 i VF3, drajvera VF4, izlaznog stupnja VF5 i izlaznih krugova (sl. 5). Ovi su preko  $\Pi$ -filtra priključeni na pojni vod kojim se energija prenosi anteni. Drajver NF3 modulacijskog protutaktnog B-stupnja NF4, kojemu se dovodi modulacijski signal nakon pojačanja u pretpojačalu NF1 i pojačalima NF2, napaja modulacijski transformator MT kojim se provodi anodna B-modulacija izlaznog stupnja odašiljača. Za napajanje pojedinih stupnjeva predviđeni su ispravljači, za niže napone (24...1500 V) selenski, a za visoki napon (11 kV) ispravljač sa 6 tiratrona u trofaznom mosnom spoju, koji se upravljaju fazno pomaknutim impulsima. Elementi automatike služe, osim za vršenje uobičajenih funkcija kontrole i signalizacije, također za uključivanje i isključivanje odašiljača, osiguravajući pravilan redoslijed uklapanja u tri faze: žarenje elektronki i uključenje prednapona, uključenje niskih i srednjih napona i uključenje visokih napona. Elektronne velike snage drajverskih i izlaznih stupnjeva hlađe se isparavanjem vode. Sistem hlađenja je kružan. Isparena se destilirana voda u zrakom ili ponekad vodom hlađenom kondenzatoru kondenzira i ponovo privodi elektronkama. Uz primjenu izmjenjivača topline



Sl. 4. Blok-sHEMA modernog 100 kW-nog radio-odašiljača. VF1 kvarcni oscilator i razdvojni stupanj, VF2 i VF3 stupnjevi male snage, VF4 drajer, VF5 izlazni stupanj s izlaznim krugovima, NF1 modulacione pretpočačalo, NF2 modulaciono pojačalo, NF3 drajer, NF4 modulacioni izlazni stupanj, MT modulacioni transformator, NR1 i NR2 povratne veze (Radio-industrija Zagreb)



Sl. 5. Visokofrekvenčni izlazni krugovi

može se hlađenjem izgubljena toplina rashladne vode iskoristiti npr. za centralno grijanje. Vanjski izgled takvog odašiljača prikazuje sl. 6 gore, a unutrašnji raspored pojedinih dijelova odašiljača prikazuje sl. 6 dolje. Dva ovakva odašiljača s odgovarajućom jedinicom za povezivanje mogu raditi i paralelno ili služiti jedan drugome kao rezerva.

**Energetska bilanca radiodifuzijskog odašiljača.** U različnim dijelovima i stupnjevima odašiljačkog postrojenja i u anteni pojavljuju se gubici energije žarenja katoda elektronki, gubici na anodama, tj. anodna disipacija elektronki, gubici u anteni i zemlji itd., koji svi zajedno utječu na korisnost cijelog postrojenja.

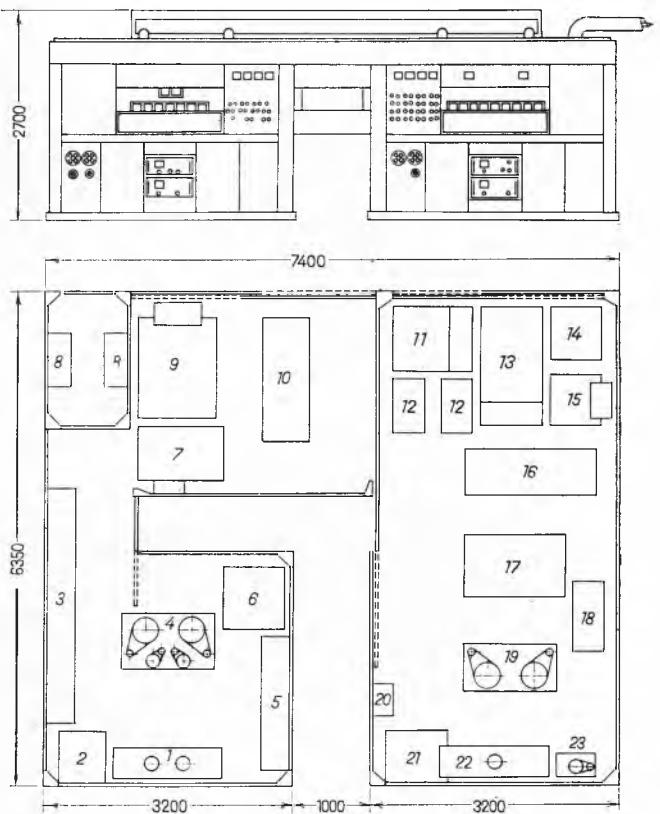
Na primjer, 100 kW-ni odašiljač RIZ tip 100 S-1 (prikazan na sl. 4) prema podacima tvornice ima za različne stupnje modulacije ove korisnosti: za  $m = 0$ ,  $\eta = 0,55$ ; za  $m = 0,3$ ,  $\eta = 0,52$  i za  $m = 1$ ,  $\eta = 0,53$ . U ova se tri slučaja iz mreže troši snaga  $P = P_{iz}/\eta$ , gdje  $P_{iz}$  znači snagu na izlazu odašiljača, pa je  $P_1 = 100/0,55 = 182 \text{ kW}$ ,  $P_2 = 104,5/0,52 = 198 \text{ kW}$  i  $P_3 = 150/0,53 = 252 \text{ kW}$ .

Razlika između energije utrošene iz mreže ( $P_1$ ,  $P_2$  i  $P_3$ ) i izlazne energije  $P_{iz}$  odašiljača pretvara se u toplinu. Analizu tih gubitaka daje grafički prikaz energetske bilance odašiljača na sl. 7. U ispravljačima, i naročito u predstupnjima, pojavljuju se znatni gubici koji su konstantni (neovisni o stupnju modulacije), a ovise o dimenzioniranju predstupnjeva i naročito o snazi potrebnoj za uzbudu izlaznog stupnja. Ti gubici ovde iznose 36 kW. Za žarenje katoda izlaznih elektronki treba 12,6 V i 160 A po elektronki, što čini za 4 elektronke u pogon 8 kW. Anodna disipacija ovih elektronki ovisna je o režimu rada i u slučaju rada u klasi C s anodno-naponskom modulacijom iznosi 15 kW po elektronki, a u slučaju rada u klasi B (u modulatoru) 4–15 kW po elektronki. To opet, ovisno o stupnju modulacije, čini ukupno 38–60 kW.

Nekada je znatan gubitak predstavljala energija potrebna za pogon pumpi u krugu rashladne vode i ventilatora; danas to primjenom elektronki hlađenih isparavanjem vode otpada. Isto se tako za grijanje katode elektronki s volframovom žarnom niti trošilo nekad znatno više energije nego danas na grijanje modernih toriranih katoda. Na taj je način povećana ukupna korisnost od nekadašnjih 15% na današnjih 50–60%.

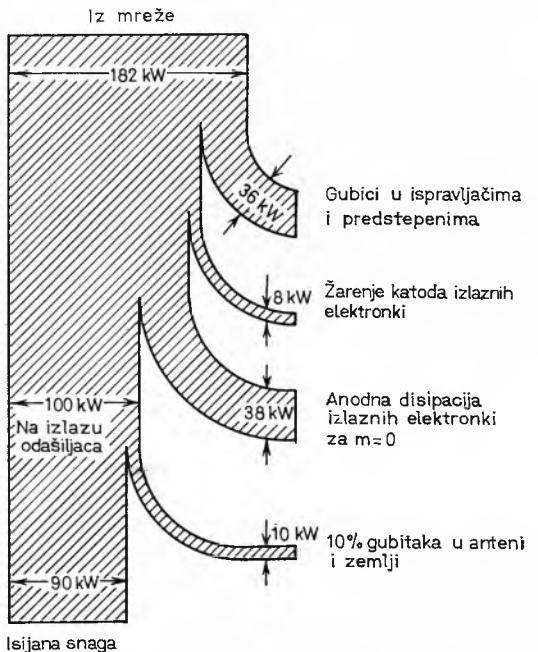
**Povezivanje odašiljača s antenama.** Na izlazu odašiljača predviđena je preklopka kojom se odašiljač može priključiti na tzv. umjetnu antenu ili na pojni vod prave antene.

**Umjetna antena** sastoji se od specijalnog vodom hlađenog otpornika u kome se sva izlazna energija odašiljača pretvara u toplinu. Odašiljač se priključi na umjetnu antenu prilikom ispitivanja, ugadanja i mjerjenja. Otpor umjetne antene odgovara val-



Sl. 6. Vanjski izgled (gore) i unutrašnji raspored dijelova 100 kW-nog moder ног odašiljača (Radio-industrija Zagreb). 1 NF predstupnjevi, 2 NF prednaponski potencijometri, 3 prednaponski i niskonaponski ispravljači, 4 NF drajver i izlazni stupanj, 5 automatski, 6 regulator napona, 7 visokonaponska sklopka, 8 visokonaponski rastavljač, 9 visokonaponski transformator, 10 titratori, 11 visokonaponska prigušnica, 12 kondenzatori visokonaponskog ispravljača, 13 modulacioni transformator, 14 vezni kondenzatori, 15 modulaciona prigušnica, 16 filter, 17 zavojnica titrajnog kruga, 18 kondenzatori titrajnog kruga, 19 visokofrekventni izlazni stupanj, 20 indikator nivoa vode za rashladivanje elektronki, 21 visokofrekvenčni prednaponski potencijometri, 22 visokofrekvenčni predstupnjevi, 23 visokofrekvenčni drajver

nom otporu (karakterističnoj impedanciji, v. *Električni vodovi*) antenskog pojnog voda. Otpornik umjetne antene hlađi se vodom, pa se iz protoka vode i razlike njezine temperature na izlazu i ulazu umjetne antene može izračunati količina topline oslobođene u jedinici vremena, a iz toga snaga kojom odašiljač napaja antenu.



Sl. 7. Energetska bilanca 100-kilovatnog odašiljača

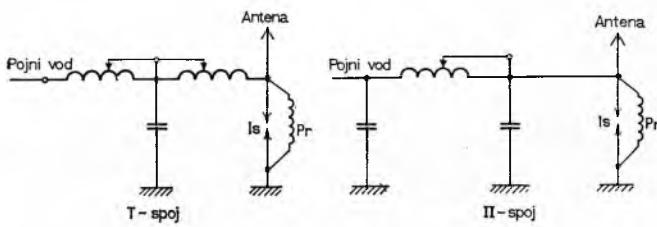
**Antenski pojni vod** služi za povezivanje odašiljača s udaljenom antenom prilikom emisije programa. On se u slučaju nesimetričnog napajanja antene izvodi koaksijalnim kabelom ili vodičima razapetim u obliku koaksijalnog kabela. U slučaju simetričnog napajanja pogodniji je simetrični nadzemni vod.

Poželjno je, naime, da antena bude odmaknuta od zgrade odašiljača bar toliko koliko je visok stup, kako ne bi u slučaju rušenja stupa došlo do oštećenja zgrade odašiljača i do opasnosti za život osoblja u zgradama. Izvjesna udaljenost zgrade od antene poželjna je i radi pravilnijeg rasprostiranja elektromagnetskih valova. Kad odašiljač ima veliku snagu, postoji još jedan razlog zbog koga treba antenu odmaknuti od odašiljača: velika jakost polja u neposrednoj blizini antene. Živim organizmima može naškoditi jakost polja veća od 50 V/m.

Primjer: Na udaljenosti 1 km od 1-kilovatnog odašiljača (uz četvrtvalnu antenu i dobri zemnu mrežu) jakost polja je  $\sim 300$  mV/m. U blizini antene mijenja se jakost polja linearno, tj. na udaljenosti npr. 200 m ona je 5 puta veća, dakle  $1,5 \text{ V/m}$ . Ako bi umjesto snage 1 kW odašiljač imao snagu npr. 1000 kW, jakost polja bila bi  $\sqrt{1000}$  puta veća, tj.  $1,5 \cdot \sqrt{1000} = 47,5 \text{ V/m}$ , a to je već gornja granica trajno dozvoljene jakosti polja.

Premda tome bi zgrada odašiljača snage 1000 kW morala biti odmaknuta od antene bar 200 m, a cijeli teren oko antene trebalo bi ogradići tako da je nemoguće pristup na udaljenost manju od 200 m od nje.

Impedancija antene na radnoj frekvenciji sastoji se od radne komponente (nekoliko desetaka do stotinjak om) i reaktivne komponente (također nekoliko desetaka do stotinjak om, induktivnih ili kapacitivnih). Da bi se energija od odašiljača do antene prenijela pod najpovoljnijim uvjetima, poželjno je da pojni vod bude opterećen samo čistom radnom komponentom impedancije koja odgovara valnom otporu ili tzv. karakterističnoj impedanciji pojnog voda. Zbog toga se redovito uz antenu postavlja »antenska kućica« (zidana ili limena), u koju se ugraduje tzv. transformator impedancije; pomoću njega se reaktivna komponenta impedancije antene kompenzira, a radna komponenta transformira na vrijednost valnog otpora pojnog voda. Usput se tu ugraduje i prigušnica  $Pr$  za kontinuirano pražnjenje atmosferskih naboja i iskrište  $Is$  za eventualno udarno pražnjenje atmosferskih naboja. Transformator impedancije u najopćenitijem obliku može biti izveden u T-spoju ili  $\Pi$ -spoju, kao što je to prikazano u sl. 8.

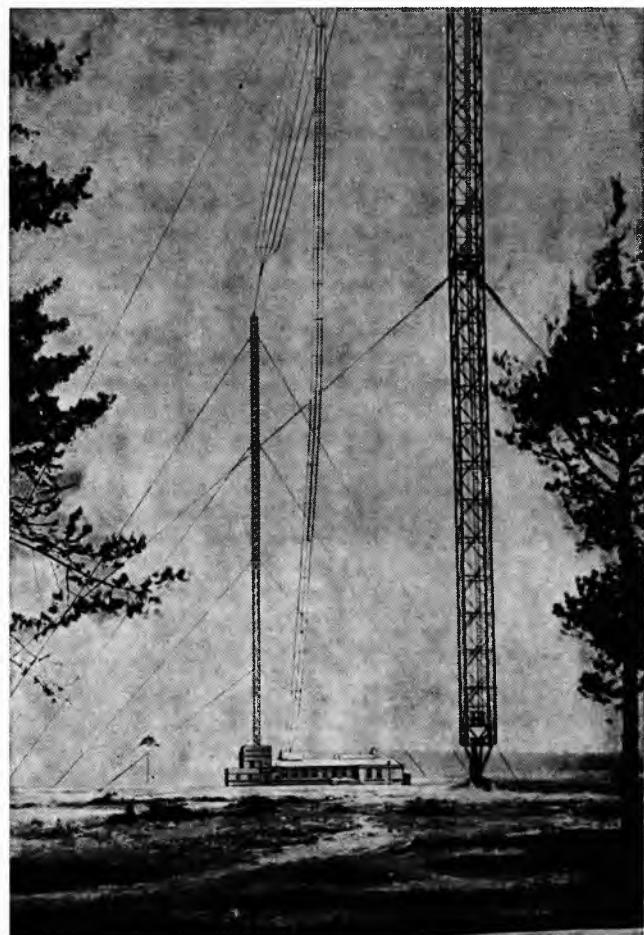


Sl. 8. Shema transformatora impedancije u T- i  $\Pi$ -spoju

**Antenski sistemi.** Za odašiljače dugih valova primjenjuju se velike žične antene oblika T (sl. 9) ili drugih oblika, razapet između dva ili više rešetkastih usidrenih stupova. Za odašiljače srednjih valova služe također slične žične antene ili stupne antene. U ovom drugom slučaju služe usidreni stupovi rešetkaste konstrukcije ili stupovi izrađeni u obliku debele cijevi izravno kao radijatori elektromagnetskih valova. Dugovalne i srednjevalne antene napajaju se redovito nesimetrički jednopolno u odnosu prema površini zemlje, jer bi simetrično napajane dipolne antene (s obzirom na veliku duljinu vala) morale biti suviše velike, tj. bile bi preskupе.

Isijavanje je antene to jače što je veća snaga kojom se antena napaja, što je visina antene bliža optimalnoj ( $\sim 0,5 \lambda$ ) i što je bolja vodljivost tla u okolini antene. Vodljivost tla poboljšava se tzv. zemnom mrežom, koju tvore radikalno od antene u svim smjerovima ukopane žice. Njezino djelovanje ilustriraju eksperimentalnim mjeranjima dobivene krivulje dijagrama na sl. 10, koje pokazuju jakost polja na udaljenosti  $\sim 1609$  m (1 milje) od antene (napajane snagom 1 kW) kao funkciju visine antene izražene u električnim stupnjevima ( $l/\lambda$ )  $\cdot 360^\circ$  uz različit broj i različitu duljinu krakova zemne mreže.

Za duljinu vala npr.  $\lambda = 300$  m i antenu visine  $l = 56$  m, čemu odgovara u električkim stupnjevima  $(56 \text{ m}/300 \text{ m}) \times 360^\circ = 67^\circ$ , dobije se od antene odašiljača snage 1 kW na udaljenosti od 1 milje, uz samo dva kraha zemne mreže - duljine  $0,137\lambda = 0,137 \times 300 \text{ m} = 41$  m, jakost polja od 110 m V/m. Ako bi se povećao broj krakova na  $15 \cdots 113$ , jakost polja bi porasla na  $140 \cdots 150$  mV/m.

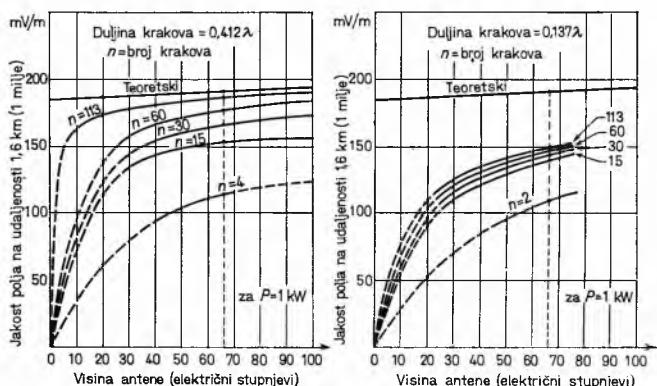


Sl. 9. Žična T-antena dugovalnog odašiljača

Ako bi se povećala duljina krakova na  $0,412\lambda = 123$  m, dobilo bi se uz četiri kraka opet tek malo jače polje od 110 mV/m, no uz broj krakova povećan na  $n = 15 \cdots 113$  dobila bi se jakost polja od  $160 \cdots 190$  mV/m. Pojačanju polja od 110 mV/m na 190 mV/m odgovara efekat povećanja snage odašiljača u omjeru  $(190/110)^2 = 3$ , tj. 1-kilovatni odašiljač s velikim brojem dugačkih krakova zemne mreže daje isti efekat kao 3-kilovatni odašiljač s malim brojem kratkih krakova zemne mreže.

Prednji primjer rječito pokazuje od kolike je važnosti za efikasno isijavanje odašiljača da vodljivost zemljišta u neposrednoj blizini antene bude dobra. To je i razlog zašto se za lokaciju srednjevalnih odašiljača zahtjeva veliki kompleks ravničarskog jednolikog vlažnog i dobro vodljivog zemljišta promjera oko jedne duljine vala.

Maksimalna se jakost polja uz površinu zemlje dobiva uz visinu antene do  $230^\circ$ , što odgovara nešto preko polovice duljine vala (v. str. 611). Ovo pojačanje tzv. površinskog vala ide na uštrb prostornog isijavanja. Preko dana se prostorni val iz srednjevalnog područja gubi u svemiru, no noću se reflektira od ionizativnih mračnih slojeva.



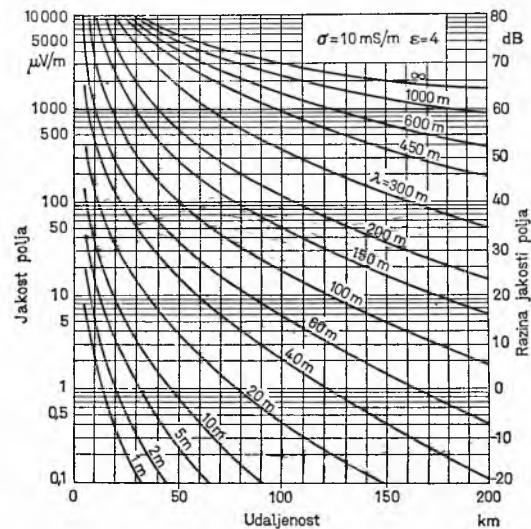
Sl. 10. Jakost polja kao funkcija visine antene i izvedbe zemne mreže za dvije duljine krakova

ranih slojeva Zemljine atmosfere, te se vraća na Zemlju. Takav reflektirani val može u mjestu prijema pojačavati ili slabiti površinski val, pa ako dolazi do pojave kolebanja jakosti prijema uz izobličavanje, to se zove fading (engl. fading). Budući da poluvalni stup ima oslabljeno prostorno isijavanje, dobio je i naziv antifading-antena.

**Šira lokacija srednjevalnih radio-stanica.** Kako je upravo rečeno, prilikom izbora mjesta za užu lokaciju srednjevalnih odašiljača treba radi postizanja dobrog isijavanja antene voditi računa o dobroj vodljivosti tla u njenoj neposrednoj blizini. Međutim, za dobro dalje rasprostiranje elektromagnetskih valova poželjno je da ni na desetak duljina vala od antene teren ne bude mnogo lošiji nego što je u neposrednoj blizini antene. Prigodom izbora šire lokacije potrebno je, dakle, izbjegavati guste i velike šume, suh pjeskovit teren i kamenjar, velika naseljena mjesta sa mnogo instalacija i velikih željeznih konstrukcija, a isto tako i brdovit teren. Najnepovoljnija lokacija bila bi u dubokim kotlinama ili usjecima. Pri izboru mjesta valja voditi računa i o tome da polje što ga isijava odašiljač bude i danju i noću dovoljno jako za kvalitetan radio-prijem na cijeloj teritoriji za koju je on predviđen. Kako se to utvrđuje objašnjeno je u idućem odlomku. Na lokaciju utječe, dakako, i komunikacije potrebe za pristup odašiljaču (ceste) i, što je naročito važno, povoljna mogućnost napajanja električnom energijom (postojanje dalekovoda).

**Jakost polja odašiljača i dijagram prekrivanja.** Kolika je jakost polja nekog odašiljača na određenoj udaljenosti od njega može se izračunati primjenom poznatih formula ili upotrebom odgovarajućih dijagrama (v. str. 625). Na većim udaljenostima od odašiljača jakost polja brzo opada, jer elektromagnetski valovi bivaju apsorbirani od tla. Apsorpcija ovisi o specifičnoj vodljivosti tla  $\sigma$ , o njegovoj dielektričnosti  $\epsilon$  i o valnoj duljini  $\lambda$  (frekvenciji  $f$ ) kojom zrači odašiljač. Dijagram koji važi za kopno srednje specifične vodljivosti tla ( $\sigma = 10 \text{ mS/m}$ ) i snagu odašiljača  $1 \text{ kW}$  prikazan je na sl. 11. S pomoću udaljenosti i valne duljine  $\lambda$  (koja je parametar) dobiva se predviđena jakost polja površinskog vala. Vidi se da će npr. polje  $1 \text{ kW}$ -nog srednjevalnog odašiljača na udaljenosti  $100 \text{ km}$  od njega oslabiti na  $\sim 100 \dots 1000 \mu\text{V}$ , već prema duljini vala. Ako je, međutim, specifična vodljivost tla bolja, jakost će polja istog odašiljača na istoj udaljenosti ( $100 \text{ km}$ ) biti veća:

Iznositi će za odabrani primjer  $\sim 2500 \mu\text{V/m}$ . Apsorpcija je za kraće valove (više frekvencije) jača, a za dulje valove (niže frekvencije) slabija.



Sl. 11. Jakost polja kao funkcija udaljenosti od odašiljača pri osrednjoj specifičnoj vodljivosti tla za odašiljač snage  $1 \text{ kW}$

Nakon prethodne pokusne emisije s pokretnim odašiljačem i po završenoj izgradnji mjeri se jakost polja na cijelom terenu što ga prekriva odašiljač. Mjerenjem dobiveni rezultati unose se u geografsku kartu i nakon toga se interpolacijama ucrtavaju krivulje jednakе jakosti polja. Tako se dobiva dijagram prekrivanja. U sl. 12 vidi se tako dobivena karta za odašiljač Radio Zagreba, koji se nalazi u selu Deanovac kod Ivanić Grada. Tumačeci ove krivulje možemo reći da se uz  $1 \text{ mV/m}$  može očekivati još dobar dnevni prijem na selu, gdje nema mnogo smetnji od industrijskih aparata i strojeva, pogotovo ako se pri prijemu upotrijebi još i kakva-takva vanjska antena. Uz  $3 \text{ mV/m}$  može se očekivati dobar dnevni prijem i u gradovima s višim nivoom smetnji. Uz polja



Sl. 12. Karta pokrivanja  $135 \text{ kW}$ -nog odašiljača u Deanovcu (Radio Zagreb, I program)

jača od  $10 \text{ mV/m}$  može se očekivati i dobar noćni prijem unatoč eventualnih smetnji od drugih stanica, koje se čuju samo noću.

**Troškovi održavanja radiodifuzijskih odašiljača.** Korisnost malih odašiljača iznosi od 10 do 20%, srednjih 30...50%, a velikih 50...60%. U troškovima održavanja velikih odašiljača, koji su gotovo neprekidno u pogonu, električna energija je znatna stavka. Nakon toga dolazi trošak rezervnih elektronika i ostalog materijala, a konačno i dohodak dežurnog pogonskog osoblja.

Dnevnom pogonu od npr. 20 sati odgovaralo bi u toku cijele godine  $\sim 7000$  pogonskih sati. Ako npr.  $1000 \text{ kW}$ -ni odašiljač troši iz mreže  $2000 \text{ kW}$ , on će za 7000 sati pogona godišnje potrošiti  $\sim 14\,000\,000 \text{ kWh}$ . Uz cijenu od  $0,50 \text{ Din/kWh}$  iznose troškovi samo za električnu energiju godišnje  $\sim 7\,000\,000$  dinara.

Rezervne elektronike i ostali materijal mogao bi za  $1000 \text{ kW}$ -ni odašiljač doći do  $1\,000\,000$  dinara godišnje, a dohodak pogonskog osoblja (prema stanju 1972) na  $500\,000$  dinara godišnje. Ukupni troškovi godišnjeg održavanja jednog takvog velikog objekta iznose prema tome  $\sim 10\,000\,000$  dinara.

**Istočvalni sistemi.** Samo s jednim odašiljačem, makar bio i reda veličine  $1000 \text{ kW}$ , ne mogu se pokriti prostranstvo od nekoliko stotina kilometara (npr. cijela SR Hrvatska). Ako za više odašiljača raspoređenih po tom velikom prostoru nema na raspolaganju dovoljno frekvencija, mora se pribjeći radu više odašiljača na zajedničkoj frekvenciji, što je donekle podnošljivo ako se preko svih odašiljača emitira jedan isti program. Ustanovljeno je da ti odašiljači jedan drugome najmanje smetaju ako im se frekvencije poklapaju s tačnošću od  $0,1$  do  $0,01 \text{ Hz}$ . Ovolika tačnost i stabilnost frekvencija može se danas već održavati preciznim kvarcnim oscilatorima uz povremenu sinhronizaciju. Nekada se ova sinhronizacija osiguravala centralnim upravljanjem (direktnim ili indirektnim) iz jednog zajedničkog oscilatora putem specijalnih veza.

U područjima gdje su jakosti takvih »sinhroniziranih« ili »istočvalnih« odašiljača podjednake, dolazi do smetnji zbog interferencije njihovih polja, što se očituje u jačanju, slabljenju i izobličenju signala u ritmu koji odgovara razlici frekvencija odašiljača. U područjima, pak, gdje je omjer jakosti polja odašiljača već  $1 : 3$ , prijem je uz sinhronizaciju sasvim dobar; kod nesinhroniziranih odašiljača uz zajednički program bio bi poželjan omjer jakosti polja  $1 : 10$ , a kad se emitiraju različiti programi, čak  $1 : 100$ . Interferencijske zone između sinhroniziranih odašiljača treba pokrивati dodatnim odašiljačima na drugim frekvencijama. Da ne bi interferencijske smetnje pale u područja još relativno jakih polja, povoljnijih za dobar prijem, udaljenost među sinhroniziranim odašiljačima mora biti razmjerna njihovoj snazi (npr. Deanovac—Tovarnik 220 km, Deanovac—Učka 180 km, Učka—Hvar 300 km).

**Budućnost radio-difuzije na niskim i srednjim frekvencijama.** Na niskim je frekvencijama rezervirano za radio-difuziju područje između  $150$  i  $285 \text{ kHz}$ . Na njemu ima svega nešto više od 10 kanala, koje su zaposjele većinom stanice u zapadnoj Evropi (neke su još iz prve ere radio-difuzije: Paris, Luxemburg, itd.). Mada je domet na tim frekvencijama zbog manje apsorpcije tla nešto veći, ovo je područje danas ipak izgubilo nešto od svog značenja jer na njemu ima malo stanica i jer su na njemu atmosferske smetnje vrlo jake. Tome doprinosi amplitudna modulacija (AM) koja se na tom području isključivo primjenjuje, ali i činjenica da spektar atmosferskih smetnji obuhvaća uglavnom duge valove.

Na srednjim frekvencijama predviđeno je za radio-difuziju područje između  $525$  i  $1605 \text{ kHz}$ . Zbog velike potražnje, kanali koji se raspoređuju po međunarodnom dogovoru uski su i obuhvaćaju samo 9 (a neki čak samo 8)  $\text{kHz}$ , što nije sasvim dovoljno za kvalitetnu reprodukciju govora ili glazbe. U cijelom području srednjih frekvencija ima samo 121 kanal. Samo u Evropi ima preko 700 radio-difuzijskih stanica, od kojih mnoge rade velikom snagom ( $50\cdots200 \text{ kW}$ , a poneke i do  $1000 \text{ kW}$ ); stoga je neizbjježno da polja nekih odašiljača, mada su oni geografski jedan od drugog udaljeni, ipak interferiraju. Zbog toga postaje čist i dobar prijem nemoguć, i to naročito noću, kad prostorni valovi smetnji postižu velike domete. Da bi u toj »prenapučenosti« radio-područja srednjih frekvencija prijem bio kako-tako moguć, mnogi odašiljači prenose samo zvučno područje do  $4500 \text{ Hz}$ , umjesto do  $8000 \text{ Hz}$

i više. S druge strane, moderni su prijemnici vrlo selektivni i reproduciraju na području srednjih frekvencija samo uži pojaz zvučnih frekvencija (do  $\sim 3500 \text{ Hz}$ ), a imaju i feritne antene, koje omogućuju da se primaju emisije samo iz nekih smjerova. Ograničenje zvučnih frekvencija ispod  $6\cdots8 \text{ kHz}$  onemogućuje, dakako, visokokvalitetnu reprodukciju govora i glazbe. Danas se može kvalitetan prijem na srednjim frekvencijama postići jedino ako se danju za to podešenim prijemnicima primaju emisije lokalnih odašiljača koji zrače šire zvučno područje.

Rješenje naprijed iznijetog problema traži se i u svršishodnijoj raspodjeli valova i ograničenju snage odašiljača, tj. u primjeni većeg broja radiodifuzijskih odašiljača manje snage, uz manji broj jakih stanica sa čistim kanalom, i što većom primjenom vrlo kratkih valova. Budući da se i na srednjim frekvencijama primjenjuje samo amplitudna modulacija, i prijemu na tim frekvencijama smetaju industrijske i atmosferske smetnje, mada su one u tom području slabije nego u području niskih frekvencija.

Posljednja međunarodna podjela frekvencija provedena je za srednje frekvencije u Kopenhagenu 1948 (stupila je na snagu 15. III 1950). Ukoliko bi došlo 1974 do nove međunarodne podjele, predviđa se da bi se svakoj zemlji osigurao čist val za nesmetano noćno emitiranje međunarodnog programa, a na izvjesnom broju kanala (zajedničkim frekvencijama) i dalje bi se emitirali nacionalni programi i po danu i po noći. V. Mužinić

#### Radio-prijenos na visokim frekvencijama (VF)

Za radio-difuziju predviđeno je na visokim frekvencijama 6 pojasa frekvencija širokih  $200\cdots500 \text{ kHz}$  između  $5950 \text{ kHz}$  i  $26\,100 \text{ kHz}$ , i to po jedan u  $12$ -,  $19$ -,  $25$ -,  $31$ -,  $42$ -, i  $49$ -metarskom valnom području. I ovo je valno područje prezauzeto, naročito stoga što po danu većina odašiljača radi na višim frekvencijama, a noću se sele na niže frekvencije u nastojanju da se koriste uvijek najpovoljnijom frekvencijom za dotočno doba dana i domet na kojem rade. Takvu situaciju donekle olakšava činjenica da su emisije na visokim frekvencijama redovito usmjerene samo prema sektoru s područjem kome su namijenjene emitirane informacije. Na visokim se frekvencijama iskorištavaju za prijenos informacija samo prostorni valovi koji se jedan ili više puta reflektiraju od ionosfere, jer je domet površinskih valova malen.

Za radio-difuziju na visokim frekvencijama primjenjuje se isključivo amplitudna modulacija. Načelno su radio-difuzijski odašiljači za visoke i za srednje frekvencije slični, te se sastoje od oscilatora, nekoliko stupnjeva pojačanja, izlaznog stupnja (u kome se provodi anodna modulacija) i izlaznih krugova. Ipak postoje neke razlike. Budući da s porastom frekvencije rastu utjecaji međuvodnih i međuelektrodnih kapaciteta, moraju se, radi sprečavanja samouzbudenja, pojedini stupnjevi pojačanja jedni od drugih zatriliti, a treba primijeniti između njih i neutralizaciju radi poništavanja povratnog djelovanja. Nadalje, zbog visoke izlazne frekvencije, oscilator obično ne radi na izlaznoj frekvenciji, već na jednoj nižoj frekvenciji iz koje se množenjem dobiva izlazna frekvencija. Obično se u jednom ili više prvih stupnjeva frekvencija uvišestručuje. Režim rada odašiljača na visokim frekvencijama traži da se frekvencija s obzirom na doba dana ili promjenu dometa češće u toku dana mijenja. Kao izvor stabilne frekvencije primjenjuje se najčešće oscilator sa do  $10 \text{ kvarcova}$ , koji se može preklopiti na  $10$  frekvencija na kojima odašiljač radi. Umjesto toga se sada često i u ovim odašiljačima upotrebljavaju sintezatori koji se mogu u skokovima od  $100 \text{ Hz}$  ugoditi na bilo koju frekvenciju u području visokih frekvencija. Da se izbjegne dugotrajno ugađanje pojedinih stupnjeva pojačanja, obično se primjenjuju širokopojasna pojačala sa širokopojasnim tetrodama. U tom se slučaju ugada samo posljednji stupanj, i to obično automatski. U posljednjem se stupnju i provodi amplitudna naponska B-modulacija.

Mada se na visokim frekvencijama već s odašiljačima male snage, npr.  $20 \text{ W}$ , mogu u  $10\%$  vremena premostiti velike udaljenosti, za postizanje tih dometa u  $95\%$  slučajeva potrebna je velika snaga. Stoga se, usprkos velikom pojačanju što ga daju usmjereni antenski sistemi, radiodifuzijski odašiljači za visoke frekvencije grade za  $10\cdots250 \text{ kW}$ . Antene se napajaju preko koaksialnog kabla. Budući da isti odašiljač daje emisije za udaljena područja koja leže često u sasvim različitim smjerovima, za svaku je područje

potreban i zaseban usmjereni antenski sistem. Ponekad se smjer zračenja sistema mijenja i električnim putem ili zamjenom antena reflektorom, kad se radi o promjeni smjera za  $180^\circ$ . Odašiljači se priključuju po potrebi na odgovarajuću antenu s pomoću antenske koaksialne preklopke, koja u novijim uredajima radi automatski.

#### Radio-prijenos na vrlo visokim frekvencijama

Do primjene vrlo visokih frekvencija (VVF) za prijenos radio-emisija došlo je u Evropi tek nekoliko godina poslije drugog svjetskog rata, uglavnom zbog prezauzetosti i zasićenosti za radio-difuziju predviđenih područja na niskim, srednjim i visokim frekvencijama. Njihovom uvođenju pogodovala je i činjenica da su dometi koji se pod redovitim uvjetima postižu s vrlo visokim frekvencijama, zbog njihovog kvazi optičkog širenja, relativno mali, pa stoga ne postoji tolika opasnost da će se stanice među sobom smetati kao na srednjim i visokim frekvencijama. Na tom području ima više mjesta, pa se može prenositi širi spekter zvučnih frekvencija ( $30\cdots15\,000$  Hz), što znatno doprinosi kvalitetnijem prijenosu govora i glazbe. Iz istog se razloga na tom području primjenjuje isključivo frekvencijska modulacija (FM) koja doduše traži mnogo šire kanale, ali kojom se znatno smanjuju atmosferske i industrijske smetnje.

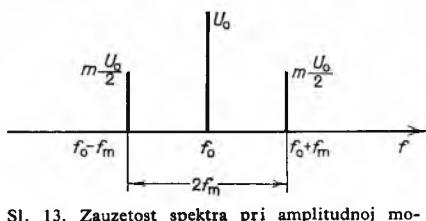
Vrlo visokim frekvencijama od 30 do 300 MHz odgovaraju vrlo kratki (metarski) valovi, za koje je u nas uobičajen naziv *ultrakratki valovi* (UKV). Ultravisokim frekvencijama nazivaju se frekvencije između  $\sim 300$  i  $3000$  MHz; njima odgovaraju decimetarski valovi.

Danas se već pomišlja čak i na primjenu supervisokih frekvencija (centimetarskih valova) u radio-difuziji i pri prijenosu preko telekomunikacijskih satelita, jer i na tim valovima ima dovoljno mjesta za ostvarivanje visokofrekvenčkih prijenosa.

Intenzivna istraživanja fenomena propagacije radio-valova, koja su vršena još od 1935 do 1938 i dalje, dala su uvid u mogućnosti iskorištenja područja vrlo visokih frekvencija i ubrzo su različne službe imale toliko zahtjeva da se međunarodnim dogovorom morala riješiti raspodjela tog frekvencijskog područja. Osnova je dana 1938 na konferenciji u Kairu, a raspodjela je izvršena 1947 u Atlantic Cityju. Tom su konvencijom dodijeljena radio-difuziji na vrlo kratkim valovima 4 pojasa frekvencija (v. tabl. 1). Od njih je za radio-prijenos predviđen samo II pojas ( $87,5\cdots108$  MHz), a ostali su pojasi namijenjeni televiziji. Pojedine zemlje imaju određena ograničenja na rubovima tih područja.

**Frekvencijska modulacija.** Na drugom pojasu vrlo visokih frekvencija primjenjuje se isključivo frekvencijska modulacija za razliku od amplitudne modulacije, koja se isključivo primjenjuje u radiodifuziji na srednjim i kratkim valovima.

Pri amplitudnoj modulaciji mijenjaju se amplitude vala nosioca frekvencije  $f_0$ , brzinom koja odgovara frekvenciji zvučnog (modulacionog) signala  $f_m$ , a iznos promjene amplitute proporcionalan je jakosti tog signala. Pri toj modulaciji stvaraju se pored vala nosioca još dva bočna valna područja:  $f_0 + f_m$  i  $f_0 - f_m$ , s relativnim amplitudama  $m U_0/2$ , gdje  $U_0$  znači amplitudu vala nosioca, a  $m$  faktor modulacije, koji za linearnu modulaciju smije biti  $0 < m < 1$ . Amplitudno modulirani val zauzima dakle samo pojas frekvencija širok  $B = 2f_m$  (sl. 13), gdje je  $f_m$  najviša modulacijska frekvencija.



Sl. 13. Zauzetost spektra pri amplitudnoj modulaciji

Do frekvencijski moduliranog vala nosioca dolazi se bilo direktno, izravnim moduliranjem njegove frekvencije, bilo indirektno, preko fazne modulacije.

Modulacija prenosnog visokofrekventnog signala  $u(t) = U_0 \sin \theta = U_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)$  može se, naime, provesti osim

na amplitudi (što je naprijed spomenuto pri amplitudnoj modulaciji) i na faznom kutu  $\theta = \omega_0 t + \varphi$  (*kutna modulacija*), gdje  $\omega_0$  znači kružnu frekvenciju visokofrekventnog prenosnog signala, a  $\varphi$  njegov nulti fazni kut. Kutna modulacija može se realizirati na dva načina: bilo djelovanjem na kružnu frekvenciju  $\omega_0$  (*frekvencijska modulacija*) bilo djelovanjem na cijeli argument  $\omega_0 t + \varphi$  (*fazna modulacija*).

Uz pretpostavku da su prenosni signal i modulirajući signal sinusna oblika, pri faznoj modulaciji mijenja se trenutna vrijednost faze visokofrekventnog signala u skladu s amplitudom modulacionog signala  $u_m(t) = U_m \cos \omega_m t$ , gdje  $\omega_m$  znači kružnu frekvenciju modulacionog signala, a  $U_m$  njegovu amplitudu.

Prema tome fazno modulirani signal ima oblik:

$$u_f(t) = U_0 \sin(\omega_0 t + \varphi + \Delta\varphi \cos \omega_m t),$$

gdje  $\Delta\varphi$  znači najveću dozvoljenu promjenu faznog kuta ili *faznu devijaciju*. Fazna se modulacija uz primjenu frekvencijskih kojektorova svodi na frekvencijsku modulaciju.

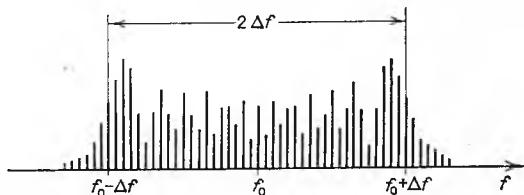
Pri frekvencijskoj se modulaciji mijenja trenutna vrijednost kružne frekvencije visokofrekventnog signala  $\omega_0$  u skladu s promjenama amplitudu modulacionog signala. Nakon određene transformacije (v. str. 600) dobije se za frekvencijski moduliran signal oblik:

$$u_{fr}(t) = U_0 \sin\left(\omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\omega_m} \sin \omega_m t\right),$$

ili, ako se umjesto kružne frekvencije  $\omega$  uvrsti frekvencija  $f = \frac{1}{2\pi} \omega$ ,

$$u_{fr}(t) = U_0 \sin\left(2\pi f_0 t + \frac{\Delta f}{f_m} \sin 2\pi f_m t\right),$$

gdje  $\Delta f$  znači najveće dozvoljeno odstupanje od srednje (centralne) frekvencije ili *devijaciju frekvencije*. Odnos  $\Delta f/f_m = m$  zove se *indeks modulacije*. Pri faznoj i frekvencijskoj modulaciji val nosilac zadržava konstantnu amplitudu, a mijenja se samo njegova faza, odnosno frekvencija, proporcionalno jakosti (naponu) zvučnog modulacionog signala. Izrazi li se funkcija  $\sin(\sin \omega t)$  s pomoću Besselovih funkcija (kao što je izvedeno na str. 600), vidi se da se pri faznoj i frekvencijskoj modulaciji javlja velik broj bočnih komponenata (sl. 14) iznad i ispod prenosne frekvencije.



Sl. 14. Zauzetost spektra pri frekvencijskoj modulaciji

Njihov broj zavisi od indeksa modulacije. Amplitude bočnih frekvencija naglo padaju izvan područja  $\pm \Delta f$  od vala nosioca. Budući da se komponente s malim amplitudama mogu zanemariti, širina zauzetog frekvencijskog spektra pri modulaciji frekvencije iznosi — grubo ali dovoljno točno za praksi —

$$B = 2(\Delta f + f_m).$$

Najveća nominalna devijacija frekvencije koja se primjenjuje u FM-odašiljačima iznosi  $\Delta f = 75$  kHz. Ako je najviša zvučna modulaciona frekvencija koja se još prenosi  $f_m = 15$  kHz, zauzetost spektra iznosi 180 kHz, a pri stereo-prenosu još i znatno više. Stoga je i predviđena širina kanala na tom valnom području znatno veća: iznosi i do 300 kHz.

Zbog veće zauzetosti spektra nije se frekvencijska modulacija mogla upotrijebiti na gusto zauzetom srednjevalnom i kratkovalnom području, već je tek na području vrlo kratkih valova našla svoju normalnu primjenu.

Pri frekvencijskoj modulaciji ukupna je snaga vala nosioca i bočnih signala jednaka snaži nemoduliranog vala nosioca.

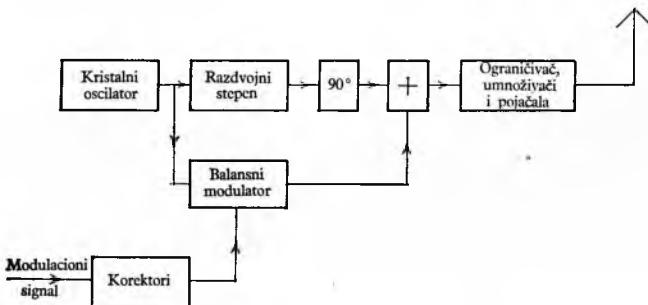
Upotreba frekvencijske modulacije daje radio-prijenosu na području vrlo kratkih valova mnogo prednosti pred prijenosom na srednjem valu. Već je 1921 H. I. Round iznio prednosti frekvencijske modulacije, ali je tek 1936 E. H. Armstrong to i demon-

strirao. Glavna je prednost frekvencijske modulacije poboljšanje odnosa korisnog signala prema šumu, pa mogućnost prijenosa šireg spektra tonskih frekvencija, manja potrebna snaga odašiljača za istu jakost prijema, šire opskrbno područje zaštićeno od interferencije drugih odašiljača i, konačno, uklanjanje lokalnih atmosferskih i industrijskih smetnji amplitudnog karaktera. Ove se prednosti postižu, dakako, pod određenim uvjetima rada, od kojih je najvažniji da se prijem provodi samo unutar »vidokruga« pripadne odašiljačke antene. Zahvaljujući ograničenom dometu vrlo kratkih valova uspjeli su u Evropi na području 87,5...104 MHz isplanirati i raspoređiti radne frekvencije i snage odašiljača tako da su se mogle uskladiti guse mreže odašiljača za prijenos triju programskih kanala.

**FM-odašiljači.** U frekvencijski moduliranim odašiljačima modulira se val nosilac uvek u nekom početnom stepenu (pri maloj snazi), zatim se provodi pojačanje u nizu stepena koji rade u klasi C (v. str. 502), a uz to se vrši i potrebna multiplikacija frekvencije, dok se, konačno, u izlaznom stepenu ne postigne potrebna snaga, željena frekvencija i pogodna devijacija.

Za postizanje frekvencijske modulacije postoje više metoda. One se mogu svrstati u dvije osnovne grupe: *direktnu frekvencijsku modulaciju* i *indirektnu frekvencijsku modulaciju*. Do potonje se dolazi u ovom slučaju pomoću fazne modulacije.

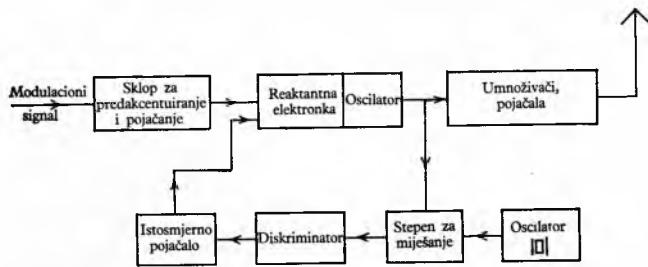
*Armstrongova metoda frekvencijske modulacije* bila je primijenjena na prvom demonstriranom FM-odašiljaču 1936. To je indirektna (fazna) modulacija, koja je frekvencijsko-amplitudnim korektorom tonskog signala korigirana na efekt frekvencijske modulacije (sl. 15). Izlaz kvarcnog oscilatora konstantne frekvencije priključen je s jedne strane na balansni modulator, a s druge strane na razdvojni stepen u kome se vrši i okretanje faze za  $90^\circ$ . U balansnom se modulatoru val nosilac iz oscilatora modulira modulacionim signalom, koji je prethodno amplitudo-frekvenčijski korigiran u korepcionom sklopu, i usput potiskuje. Val nosilac koji je za  $90^\circ$  fazno pomaknut zbraja se s gornjim i donjim bočnim područjem koje dolazi iz balansnog modulatora.



Sl. 15. Pojednostavljena shema odašiljača s faznom modulacijom po metodi Armstrong

Tako se dobiva fazno i amplitudno modulirani signal. Propuštanjem kroz ograničavač ograničuju se amplitude signala i time se eliminira amplitudni dio modulacije. Preostali signal je fazno moduliran s pomakom faze do najviše  $\pm \frac{1}{2}$  radijana ( $= \pm 28,6^\circ$ ) sa zadovoljavajućom linearnošću. Do devijacije  $\pm 75$  kHz potrebno je modulirani signal množiti nekoliko tisuća puta.

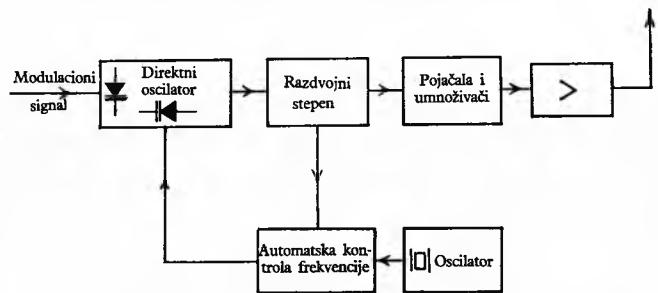
*Modulacija s pomoću reaktantne elektronke* direktna je metoda frekvencijske modulacije koja je dugo bila popularna. Reaktantna



Sl. 16. Blok-sHEMA odašiljača sa direktnom frekvencijskom modulacijom pomoću reaktantne elektronke

elektronka je u tom slučaju dio titrajnog kruga u kome ona djeluje kao promjenjiva reaktancija, tj. kao promjenjiv kapacitet. Modulacioni se signal nakon pojačanja i predakcentuacije dovodi mrežici reaktantne elektronke (sl. 16). Time se u ritmu zvučne frekvencije mijenja kapacitet oscilatornog kruga, a uslijed toga i frekvencija oscilatora. Nakon pojačanja i umnožavanja frekvencijom visokofrekventna se energija privodi anteni. Stabilizaciju srednje frekvencije oscilatora provodi ovdje uredaj za automatsku kontrolu frekvencije koji se sastoji od stabilnog kvarcnog oscilatora, stepena za mijenjanje, diskriminadora i istosmjernog pojačala. Ako srednja frekvencija oscilatora odstupa od prave vrijednosti, diskriminator djeluje suprotno tendenciji skretanja i preko prednapona, koji se prethodno pojača, djeluje na reaktantnu elektronku.

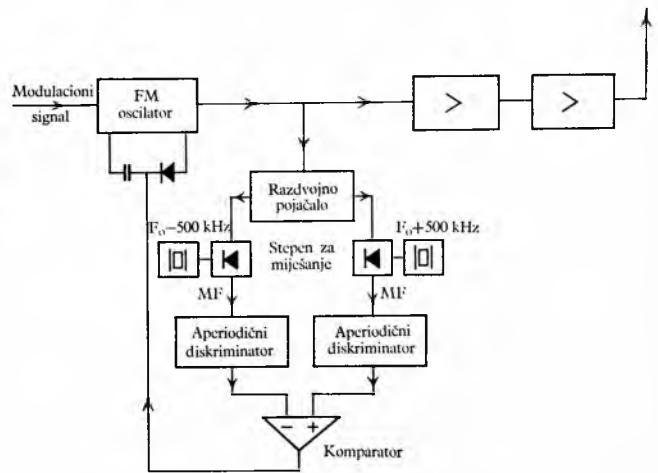
Devijacija je kod ovog tipa modulatora veća, pa je potrebno manje umnožavanje frekvencije nego kod indirektne (fazne) modulacije. Nedostatak je ovog sistema da na stabilnost frekvencije odašiljača djeluje ne samo stabilnost kristalnog oscilatora iz kruga korekcije, nego i stabilnost elemenata u diskriminatorskom dijelu korekcije. Dalja je njegova mana što se, ako (iz bilo kojeg razloga) zataji krug kontrole stabilnosti frekvencije, odašiljačka frekvencija trenutno promijeni i poprima novu, pogrešnu vrijednost.



Sl. 17. Pojednostavljena shema odašiljača sa direktnom frekvencijskom modulacijom pomoću kapacitivnih dioda

*Direktna modulacija kvarcnog oscilatora* (oznaka FMQ). Prijenom određenih sprega može se frekvencija kvarcnog oscilatora mijenjati u uskim granicama. Ova se činjenica primjenjuje ponkad i za direktnu modulaciju kvarcnog oscilatora. Prednost je te vrste modulacije jednostavnost modulatora i stabilnost frekvencije, a mana što je potreban veliki faktor umnožavanja da bi se dobila potrebna izlazna devijacija. Veliki broj rezonantnih umnožavačkih krugova u odašiljaču nije poželjan, jer se u slučaju promjene frekvencije mora ugadati veliki broj krugova.

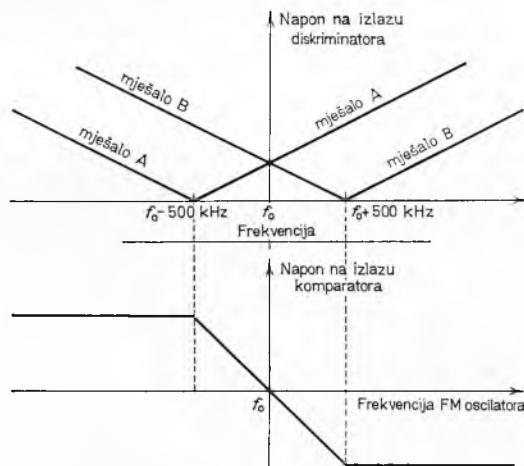
*Direktna modulacija oscilatora* (sl. 17). Moderni direktni FM-sistemi primjenjuju za moduliranje nosioca, kao rezultat nove tehnologije, specijalne poluvodičke diode. Direktno moduliran oscilator odašiljača nema kvarca, ali je temperaturno kompenziran. U njegov su oscilatorički krug ugrađene kapacitete diode (varikap, varaktori), koje prema narinutom prednaponom mijenjaju



Sl. 18. Varijanta direktno frekvencijski moduliranog odašiljača s većom stabilnošću frekvencije

svoj kapacitet, a time i frekvenciju oscilatora (v. str. 478). Oscilator je razdvojnim stupnjem izoliran od utjecaja visokofrekvenčkih pojačala snage koji iza njega slijede. Stabilizacija srednje frekvencije provodi se pomoću referentnog kristalnog oscilatora, a korekcioni se napon vodi na druge kapacitetne diode koje su također uvrštene u oscilator.

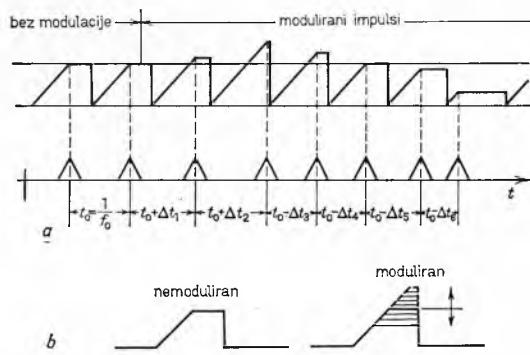
Varijanta direktnog FM-sistema (sl. 18) s većom stabilnošću frekvencije ima u krugu za korekciju srednje frekvencije dva kristalna oscilatora. Oni zajedno služe za automatsku stabilizaciju frekvencije. Njihova je frekvencija pomaknuta od nazivne srednje frekvencije odašiljača za  $\pm 500 \text{ kHz}$  i produkt miješanja njihove frekvencije i radne frekvencije odašiljača vodi se na aperiodske diskriminatore koji su priključeni na istosmjerni komparator. Iz njega se dobiva rezultantni istosmjerni izlazni napon (sl. 19) za upravljanje varaktorom u oscilatoru.



Sl. 19. Dijagram napona na diskriminatoru i komparatoru pri automatskoj regulaciji frekvencije u blokshemi na sl. 18

Dok su raniji indirektni (fazni) modulatori imali manu da im je devijacija bila mala, zbog čega je bio potreban velik broj umnožavanja, a direktni reaktantni modulatori imali su manu da im stabilnost vala nosioca nije bila najbolja, danas su realizirani modulatori obaju tipova s boljim osobinama.

Modulacija modulatorom tipa Serrason (J. R. Day) indirektna je impulsno-fazna modulacija. Njome se ostvaruje devijacija mnogo puta veća nego običnim faznim modulatorima. Time se smanjuje potreba za velikim umnožavanjem frekvencije, koja je glavna manja faznih modulatora. U ovom se sistemu od oscilatorskog signala proizvode pravokutni impulsi jednake frekvencije koji upravljaju pilastom oscilatorom (sl. 20 a). Impulsi pilastog oblika iz ovog oscilatora vode se na modulator koji ih u razmjeru s jačinom dolaznog tonskog signala na vrhu skraćuje ili produljuje (sl. 20 b). Modulirani signal se kasnije diferencira. Diferenciranjem



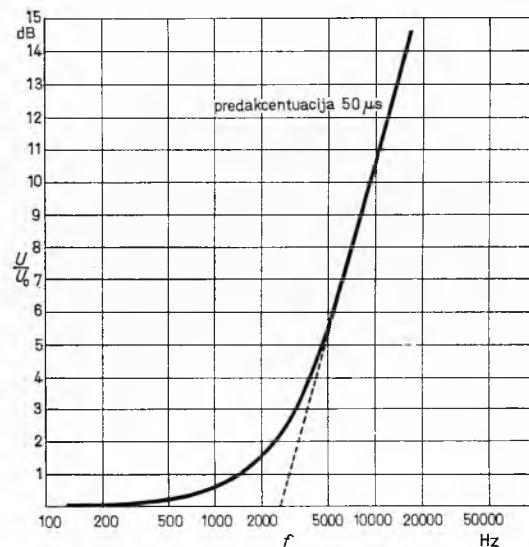
Sl. 20. Oblici signala pri serrasonoidnoj indirektnoj impulsno-faznoj modulaciji. a) Oblici pilastog impulsa, b) oblici nemoduliranog i moduliranog impulsa

moduliranog napona dobiju se impulsi na pozicijama ograničenja pilastog napona. Kako pozicija ovih impulsa ovisi o ranijoj tonskoj modulaciji pilastog napona, kao rezultat položaja impulsa nastaje

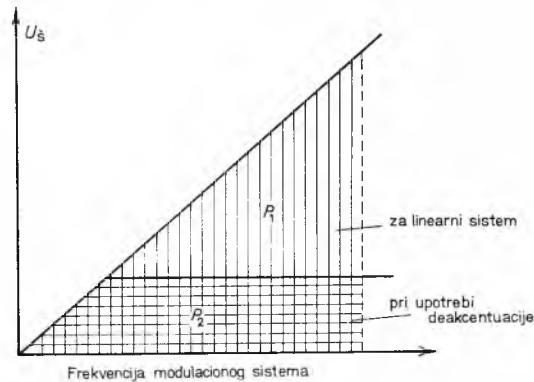
fazna promjena sinusnog vala, dobivenog u umnoživaču koji sledi. Time se ostvaruje i odgovarajuća frekvencijska modulacija vala nosioca.

Modulacioni signal govora i glazbe, koji se privodi odašiljaču, može biti monofonski i stereofonski.

Monofonski signal kojim se odašiljač modulira podvrgava se još prije modulacije frekvencijsko-amplitudnoj korekciji, tzv. predakcentuaciji. Tim se postupkom umjetno uzdižu amplitude viših frekvencija tonskog spektra radi poboljšanja odnosa signala prema šumu na tim frekvencijama. Veličina predakcentuacije definirana je za FM-odašiljače preporukama CCIR. Ona se mijenja kao napon na serijskom djelitelju otporno-induktivne kombinacije, napajane iz izvora konstantne struje, kad vremenska konstanta  $\tau = L/R$  ove kombinacije iznosi  $50 \mu\text{s}$  (sl. 21). Taj se



Sl. 21. Predakcentuacija viših zvučnih frekvencija pri vremenskoj konstanti  $\tau = 50 \mu\text{s}$



Sl. 22. Smanjenje šuma pri deakcentuaciji.  $P_1$ , šum u linearnom sistemu,  $P_2$ , šum pri upotrebi deakcentuacije

postupak osniva na činjenici da je u gornjem frekvencijskom području govora i glazbe vrlo malo energije. Umjetno podignute amplitude tog dijela spektra u prijemniku se postupkom deakcentuacije snižavaju natrag na svoj prvobitni iznos, pa se time snižava i energija šuma, unesenog u modulaciju za vrijeme prenosa. Prenosom unesen šum u linearnom je sistemu proporcionalan frekvenciji (tzv. trokutasti šum), on se ovdje deakcentuacijom snižava (sl. 22).

Poboljšanje je teoretski  $G = P_1/P_2$ , ali u stvari ono nije potpuno iskorišteno, jer se u praksi nivo modulacije drži nešto niže, da bi se spriječilo premoduliranje kod visokih komponenata tonskih frekvencija. U tonskom području do  $15 \text{ kHz}$  i akcentuacije  $50 \mu\text{s}$  postiže se poboljšanje  $\sim 8 \text{ dB}$ .

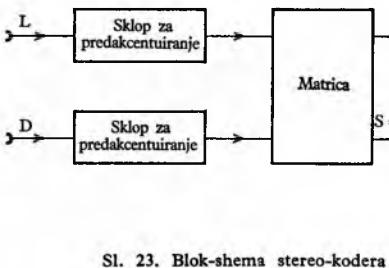
Poboljšanje odnosa signala prema šumu kod frekvencijske modulacije pozitivno je dok korisni signal na ulazu u prijemnik

nadvljuje šum smetnji. Kad prijemni signal padne u red veličine šuma, iskorištenje korisnog signala postaje nemoguće. Time je i ograničeno opskrbno područje, pokriveno FM-odašiljačem određene isijane snage.

Dalje perspektivno poboljšanje odnosa korisnog signala prema šumu i smanjenje smetnji u nižem dijelu tonskog područja moglo bi se postići uvođenjem tzv. *Dolby-sistema*. To je poseban sistem selektivne kompresije (i u prijemniku obratne ekspanzije), koji na početku prijenosa smanjuje dinamiku tonskih signala na račun pojačanja niskih nivoa. Uneseni šum i druge smetnje na kraju se prijenosa (u prijemniku) smanjuju recipročnom ekspanzijom na račun smanjenja pojačanja niskih nivoa. Pokusi su pokazali da se tom metodom dobije poboljšanje odnosa signala prema šumu kao da je snaga odašiljača povećana za 5–10 puta. Time bi se, uz istu snagu odašiljača, proširilo opskrbno područje. Taj sistem za sada nije uveden, ali se s njime eksperimentira.

**Stereofonski signal.** Stereofonija omogućava prostorno vjernu reprodukciju zvučnog događaja (v. *Elektroakustika*, str. 328). Za radio-prijenos prihvaćen je sada stereofonski sistem sume i diferencije. U tom se sistemu osnovni val nosilac modulira sumom signala obaju mikrofona,  $M = L + D$  (lijevi) +  $D$  (desni), a pomoći se val nosilac modulira razlikom  $S = L - D$ . Stereofonskim radio-prijenosom postiže se realnija reprodukcija, koju nije moguće postići monofonskom emisijom.

U početku (1950) stereofonske su se emisije emitirale s pomoći dva radio-odašiljača, od kojih bi jedan radio amplitudnom, a drugi frekvencijskom modulacijom; kasnije su oba odašiljača radila frekvencijskom modulacijom. Nakon uvođenja multipleksnog prijenosa prešlo se naskoro na samo jedan frekvencijski modulirani odašiljač. Pri tome se postavio uvjet kompatibilnosti stereofonske emisije, tj. zahtjev da se program prenesen stereo-emisijom može primati i običnim prijemnicima kao ispravna »mono«-emisija, i obratno, da se obične emisije mogu primati i stereo-prijemnicima. Prvo rješenje dano je još 1957 (Crosby), a kasnije je razvijeno još nekoliko metoda. Danas prevladava tzv. pilot-ton-sistem s niskofrekvenčnjim područjem do 53 kHz. Signali lijevog i desnog mikrofona (oznake:  $L$  i  $D$ ) pretvaraju se nakon predakcentuacije u matrici stereokodera (sl. 23) u signal zbroja  $M = \frac{1}{2}(L + D)$  i signal razlike  $S = \frac{1}{2}(L - D)$ . U balansnom modulatoru kodera se

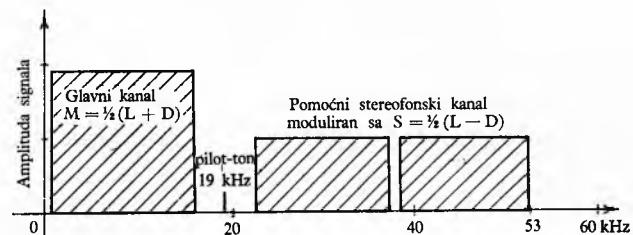


Sl. 23. Blok-sHEMA stereokodera

pomoći val nosilac od 38 kHz amplitudno modulira razlikom  $S$ , i usput potiskuje. Oba tako dobivena bočna pojasa razlike, zatim suma  $M$  i pilot-ton od 19 kHz ( $= 38 \text{ kHz}/2$ ) privodi se kao multipleksni signal modulatoru odašiljača (izgled tog signala shematski prikazuje sl. 24). Posebno uvedeni pilot-ton 19 kHz služi u prijemniku za restauraciju pomoćnog vala nosioca od 38 kHz. Blok-sHEMA FM-odašiljača vrlo visokih frekvencija za prijenos mono-i stereo-emisija prikazana je na sl. 25.

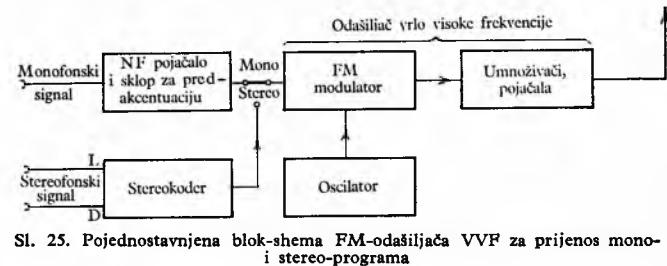
U prijemniku se poslije glavnog demodulatora signal privodi dekoderu, koji na svom izlazu daje početne signale  $L$  i  $D$ . Oni

se poslije odvojenog pojačanja vode na zvučnike simetrično postavljene lijevo i desno.



Sl. 24. Multipleksni stereo-signal priveden odašiljaču

Stereo-sistem može se primijeniti i za prijenos različitih informacija (npr. za informacije na različitim jezicima). Stereo-koder može biti dio odašiljača ili izrađen kao posebna jedinica prije ulaza u odašiljač. Ako se nalazi u studiju, multipleksni se signal prenosi odašiljaču posebnim vezama.



Sl. 25. Pojednostavljena blok-sHEMA FM-odašiljača VVF za prijenos mono-i stereo-programa

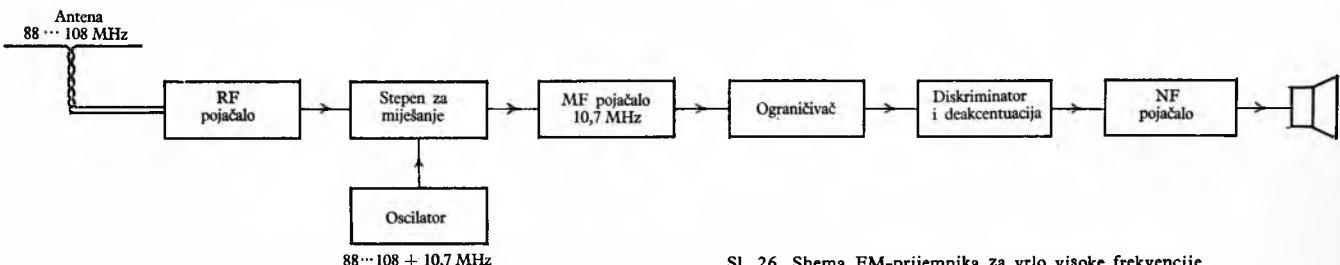
**FM-prijemnici za VVF.** FM-prijemnici za prijem radio-difuzijskog programa na vrlo kratkim valovima imaju prijemno područje 87,5–108 MHz. Zadovoljavajuća jakost polja za gradove je reda veličine mV/m, a za seoska područja može zadovoljiti jakost veća od 50  $\mu\text{V}/\text{m}$  (v. i str. 664).

Visokofrekvenčni dio i oscilator prijemnika ugadaju se bilo promjenljivim zračnim kondenzatorom, bilo pomičnom jezgrom zavojnice (sl. 26). Medufrekvenčna prijemnica standardizirana je na 10,7 MHz. Prije detekcije u diskriminatoru, na kraju medufrekvenčnog pojačanja nalazi se ograničavač (limiter), koji siječe vrhove titraja i time uklanja amplitudne primjese u signalu

koje su nastale u toku prenosa. Iza detekcije signal se deakcentira ( $50 \mu\text{s}$ ) i vodi na niskofrekvenčno pojačalo. Kombiniranim AM-FM-prijemnicima to je jedini zajednički dio.

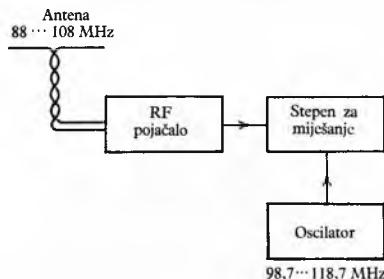
U stereo-prijemnicima signal se iza detekcije vodi na dekoder, odakle se dobiju dva signala ( $L$  i  $R$ ), koji se pojačavaju i reproduciraju odvojenim kanalima. Zvučnici, lijevi i desni, moraju odgovarati pripadnim kanalima (sl. 27).

Ako su parazitne amplitudne promjene signala što ga prijemnik prima manje od korisnog signala, rezultatni će ostatak te smetnje prolazom kroz ograničavački stupanj prijemnika (limiter) biti

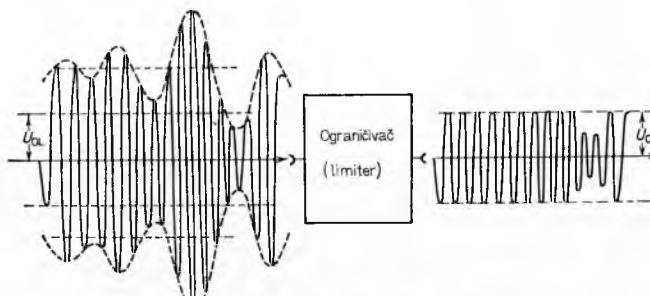


Sl. 26. Shema FM-prijemnika za vrlo visoke frekvencije

uklonjene, ili bar jako smanjene (sl. 28). Kad se amplitudna smetnja približi nivou korisnog signala, ograničavač to ne može ukloniti, pa taj dio smetnje ostaje i iza demodulacije. Kvalitetniji uredaji imaju više stupnjeva ograničavača.



Sl. 27. Pojednostavljena shema stereo-prijemnika



Sl. 28. Djelovanje ograničivača

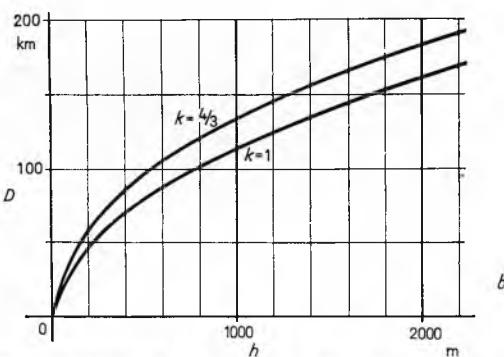
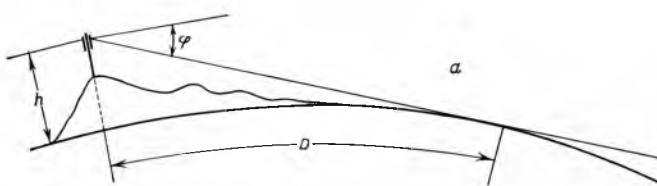
**Smještaj odašiljača VVF** izabire se tako da domet i pokrivena površina budu što veći, a da pri tome što manji dio površine bude u sjeni isijanih valova. Pri izboru tog mesta treba, dakle, voditi računa o karakteristikama širenja metarskih valova.

Elektromagnetski valovi što ih isijavaju antenski sistemi odašiljača vrlo visokih frekvencija šire se gotovo pravocrtno poput svjetlosti (v. poglavje Širenje radio-valova, str. 626).

Zbog tog se svojstva i domet tih valova otprilike poklapa s udaljenošću  $D$  optičkog horizonta od antenskog sistema postavljenog na visini  $h$  (sl. 29 a) i može se odrediti pomoću izraza:

$$D = \sqrt{(R_0 + h)^2 - R_0^2} \approx \sqrt{2} R_0 \text{ km}$$

(zbog  $h \ll R_0$ ).  $R_0$  je srednji polumjer Zemlje, tj.  $6367 \cdot 10^3$  km. Uvrstili se iznos za  $R_0$  u gornju jednadžbu, dobije se da je

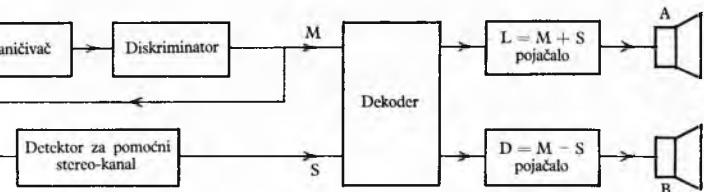
Sl. 29. Domet odašiljača vrlo kratkih valova. a) Ograničenje dometa horizontom, b) dijagram za određivanje dometa odašiljača u ovisnosti o visini postavlja odašiljačke antene,  $h$  visina antene,  $D$  domet,  $\mu$  kut depresije,  $k$  faktor kojim se množi polumjer Zemlje

$$D \approx 3,57 \sqrt{h},$$

gdje je  $D$  u km, a  $h$  u m. Iz prednjih izraza može se izračunati i površina zemljišta  $S$  što je pokriva isijavani valovi odašiljača:

$$S = D^2 \pi \approx 40 \text{ km}^2,$$

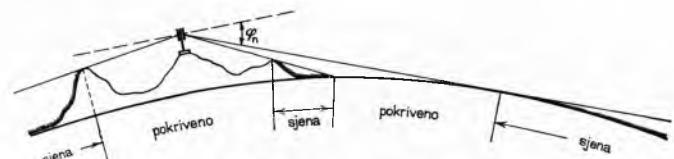
gdje je  $S$  izražen u  $\text{km}^2$ , a  $h$  u m.



Sl. 27. Pojednostavljena shema stereo-prijemnika

Površina pokrivenog zemljišta proporcionalna je, dakle, visini  $h$  položaja antenskog sistema. Domet odašiljača može se također odrediti s pomoću dijagrama na sl. 29 b. Krivulja označena sa  $k = 1$  daje udaljenost optičkog horizonta. Stvarni je domet metarskih valova pod normalnim meteorološkim prilikama zbog refrakcije u atmosferi nešto veći od optičkog. Ova je činjenica uzeta u obzir u drugoj krivulji dijagrama, koja je izračunata s modificiranim, tj. povećanim, polumjerom Zemlje  $R_m$  umjesto sa stvarnim srednjim polumjerom  $R_0$ . Za nju iznosi  $k = R_m/R_0 = 4/3$ . Iza tog radio-horizonta jakost polja brzo opada.

Radi postizanja što većeg dometa, antenski se sistemi odašiljača VVF postavljaju što više iznad zemlje. U brdovitom terenu antene se postavljaju na nižim stupovima smještenim na prikladnoj koti brda, odakle se dobiva što bolje pokrivanje. U ravničarskom području, gdje nema prirodnih visokih kota, antene se podižu na što više nosače (stupove); ponekad su ti nosači visoki i nekoliko stotina metara.



Sl. 30. Profil pokrivanja i sjena

Prednost je ograničenosti dometa zbog pravocrtnog širenja metarskih valova što se time smanjuje mogućnost međusobnih smetnji susjednih odašiljača koji rade na istoj frekvenciji. Mana takvog širenja, međutim, jesu sjene koje se pojavljuju iza zapreka (brdâ, velikih građevina i sl.). U tim je sjenama polje znatno slabije ili ga praktički uopće nema (sl. 30). Sjene odašiljača Učka vide se približno na reljefu prikazanom na sl. 31.

Prema tome, da bi korisnici odašiljača metarskih valova imali na njegovom području dobar prijem, moraju se antene njihovih prijemnika nalaziti u »vidokrugu« odašiljača. Zbog ograničenog dometa tih odašiljača potrebno je, da bi se pokrile veće teritorije, organizirati mrežu tih odašiljača i sve povezati sa studijskim centrom odgovarajućim vezama za prijenos modulacijskog signala. U takvoj mreži moraju biti pravilno raspoređene frekvencije i snage odašiljača i uskladene sa susjednim područjima, kako bi se izbjegle međusobne smetnje. Raspored tih frekvencija i pripadne snage odašiljača regulirane su međunarodnim planom.

Takav čisto lokalni karakter emisija na vrlo kratkim valovima olakšava i rješenje problema višestrukih radiodifuzijskih emisija na ograničenom geografskom području.

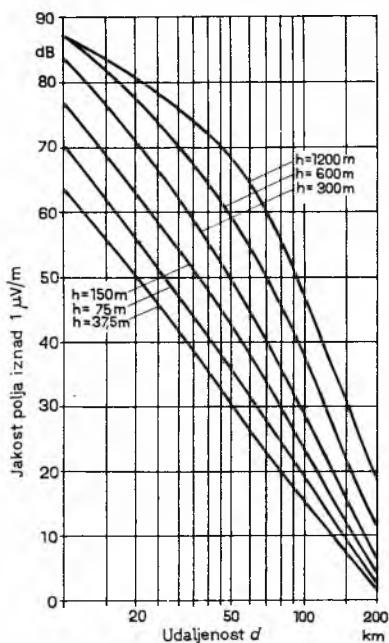
Dobrota prijema ovisna je o kvalitetu prijemnika, o upotrijebljenoj prijemnoj anteni, o jakosti smetnji i jakosti elektromagnetskog polja na mjestu prijema. Budući da su lokalne smetnje jače u gušće naseljenim mjestima, postavlja se prema naseljenosti (a i prema konfiguraciji terena) zahtjev za određenom jakošću polja, a u vezi s time i za potrebnom snagom odašiljača. Prema jakosti lokalnih smetnji potrebne su ove jakosti polja: za jako urbanizirana naselja (više od 100 000 stanovnika) više od 10 mV/m, za srednje urbani-



Sl. 31. Utvrđivanje sjena s pomoću žaruljice postavljene na mjesto odašiljača na reljefu pokrivenog području. Slika prikazuje sjene odašiljača Učka

zirana naselja (više od 10 000 stanovnika) više od 3 mV/m, za slabo urbanizirana naselja (ispod 10 000 stanovnika) više od 1 mV/m a na otvorenom polju bez smetnji više od 0,25  $\mu$ V/m.

Na osnovu podataka koji se odnose na isijanu efektivnu snagu 1 kW za 50% lokacija i 50% vremena, što se izražava oznakom  $E(50, 50)$ , određuje se potrebna efektivno isijana snaga odašiljača, tj. produkt instalirane snage i pojačanja antenskog sistema. Taj sistem može, naime, u horizontalnoj ravnini isijavati jednakomjerno u svim smjerovima ili, prema potrebi, u nekom smjeru jače, a u drugom slabije. Jače polje može se postići povećanjem snage odašiljača (one su obično 0,2, 0,5, 1, 2, 5 i 10 kW), ili primjenom antenskih sistema s većim dobitkom (između 1 i 10 puta). Time se mogu postići isijane snage i do 100 kW.



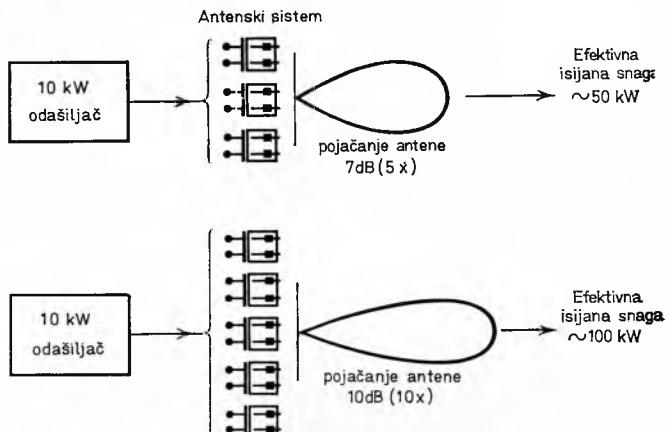
Sl. 32. Krivulje za određivanje jakosti polja (u dB iznad 1  $\mu$ V) na različitim udaljenostima od odašiljača u ovisnosti o efektivnoj visini  $h$  (kao parametra)

**Snaga odašiljača VVF.** Da bi se na nekom mjestu pokrivenog područja (koje leži u vidokrugu odašiljača) postigla jakost

polja potrebna za kvalitetan prijem, mora i efektivno isijana snaga odašiljača biti dovoljna. Za određivanje te snage primjenjuju se empirijski dobivene krivulje i nomogrami propagacije elektromagnetskih valova, koje preporuča CCIR. One su dobivene statističkom analizom podataka mjerena polja na različitim terenima i na različitim frekvencijama. Pri tome se uzima u obzir visina točke odašiljačke antene iznad srednje visine okolnog terena i ona se izražava tzv. efektivnom visinom antene  $h$ . U račun se unosi i faktor valovitosti terena koji se pokriva. Krivulje su date za isijanu snagu 1 kW i daju rezultate u decibelima iznad 1  $\mu$ V/m (sl. 32).

Tako, npr., ako je odašiljač isijane snage 1 kW smješten 300 m iznad terena gdje su prijemnici, bit će na udaljenosti 50 km od njega jakost polja  $E(50, 50)$  50 dB iznad 1  $\mu$ V/m, što znači da će na tom mjestu jakost polja  $E(50, 50)$  iznositi  $E = \text{antilog } 50 = 316 \mu\text{V/m}$ , ili, ako je snaga 25 kW,  $E \approx 316 \cdot \sqrt{25} = 1,58 \text{ mV/m}$ .

Primjena usmjerih antena omogućuje pojačanje snage u poželjnom smjeru tako da se odašiljačem odredene snage (npr. odašiljačem snage 10 kW na sl. 33) mogu primjenom antena različitih dobitaka (npr. 5 i 10) dobiti različite efektivno isijane snage (npr. ~50 i 100 kW na slici).



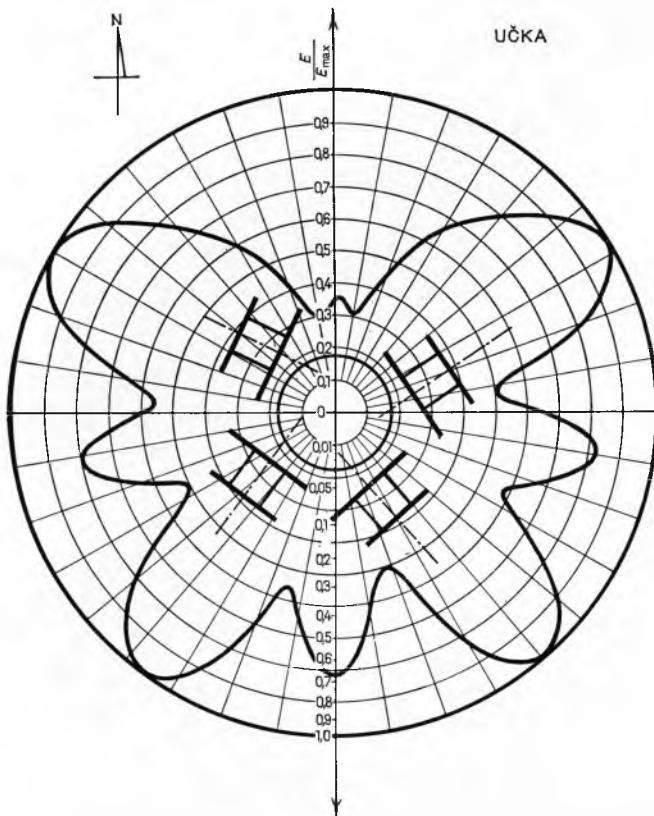
Sl. 33. Shematski prikaz postizanja pojačanja pomoću usmjerenih antenskih sistema

**Antenski sistemi za odašiljače VVF.** Za radiodifuzijske odašiljače vrlo visokih frekvencija ne primjenjuju se antene koje podjedнако isijavaju u okolni prostor, nego antenski sistemi sastavljeni od većeg broja aktivnih i pasivnih dipolnih elemenata koji isijavaju usmjereno u vertikalnoj, a često i u horizontalnoj ravnini.

**Horizontalni dijagram isijavanja.** Na ravničarskom tlu sa smještajem odašiljača u sredini tog područja poželjno je da antenski sistem isijava kružno, tj. jednoliko u svim smjerovima. Praktički se to smatra postignutim ako dijagram isijavanja  $E/E_{\max}$  ne odstupa za više od  $\pm 2$  dB od idealnog kruga. Ako je, međutim, odašiljač smješten na rubu ravničarskog područja koje treba opskrbiti, i antenski dijagram isijavanja mora imati takav oblik da se na cijelom području, pa i na njegovim rubovima, dobiva potrebna jakost polja, a da se pri tome beskorisno ne troši energija (sl. 34). U skladu s tim potrebama rješava se sklop antenskog sistema. Usmjereno isijavanje postiže se u horizontalnoj ravnini različitim smještajem antenskih elemenata u sklopu i njihovom pogodnom orientacijom ili različitim napajanjem po smjerovima u inače simetričnom sistemu. Pojačanje antene ovisi o broju upotrijebljenih antenskih elemenata i o načinu raspodjele energije među elemente u pojedinim smjerovima.

**Vertikalni dijagram isijavanja** mora se također prilagoditi potrebama opskrbnog područja. Pri niskom smještaju odašiljača može vertikalni kut između horizontalne i simetrale isijanog snopa biti malen ili jednak nuli, ali kad je odašiljač smješten na visokim kotama, treba ili primijeniti snop veće širine ili snop depresirati za određeni kut  $\varphi$ . Kut depresije  $\varphi$  može se za određeni domet odrediti prema jednadžbi

$$\tan \varphi = \frac{h}{D} + \frac{D}{2 R_{eq}},$$



Sl. 34. Horizontalni dijagram isijavanja odašiljača Učka sa shematski prikazanim položajem antenskih sistema

gdje je  $D$  željeni domet, a  $R_{eq}$  polumjer Zemlje modificiran faktorom  $k = 4/3$ . Prema toj jednadžbi izrađen je i dijagram koji služi za brzo određivanje kuta depresije  $\varphi$ . Redovno se, prema terenu, posebno oblikuje i oblik isijanog snopa u vertikalnom presjeku.

Teži se za tim da na svim točkama opskrbljjenog područja jakost polja bude jednaka. Da bi se to postiglo, primjenjuje se

nagib snopa, ispunjavaju se nule na vertikalnom dijagramu isijavanja, tj. snopu se daju posebni oblici. To se može postići različitom raspodjelom energije kao i različitim fazama u napajanju antenskih elemenata po vertikali. Radi jednostavnosti rješenja, češće se primjenjuje samo sistem različitog faznog napajanja.

Antenski sistemi s maksimalnim dobitkom (pojačanjem), koji bi u pojedinim slučajevima bili dobrodošli, ne mogu se uvejk primjeniti, jer se stupovi na kojima su montirani, naročito ako su vitki, njišu zbog vjetra, što bi zbog uskih isijanih snopova izazivalo nedopustivo velike promjene jakosti polja.

Na kotama koje su izložene zaledivanju, kritični dijelovi antene zaštićuju se posebnim plastičnim omotačima, a u kritičnim slučajevima stavlja se u plastičan štitnik cijeli antenski sistem (v. vrh antene na sl. 43).

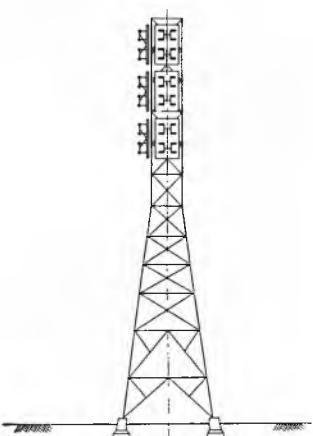
*Polarizacija antenskog sistema* za radiodifuzijsku službu na području vrlo kratkih valova uglavnom je horizontalna. Međutim, kad su uvedeni tranzistorizirani prenosni prijemnici i automobilski prijemnici, koji svi imaju uglavnom vertikalne prijemne antene, počelo se pomicati i na uvođenje vertikalne komponente isijanog vala, kako bi se tim tipovima prijemnika poboljšao prijem.

To se postiže cirkularno polariziranim antenama odašiljača. Ako bi se zadržala ista snaga odašiljača, onda bi se — ne povećavajući dobitak antene — izgubilo na horizontalnom prijemu 3 dB, a dobilo na vertikalnom prijemu 7 dB. Pri povećanju snage odašiljača, odnosno povećanju dobitka antene za 3 dB, ostao bi prijem na horizontalnoj polarizaciji isti, a na vertikalnoj polarizaciji dobilo bi se 10 dB prema jakosti polja prije uvođenja cirkularne polarizacije na odašiljačkoj anteni.

**Stupovi za nošenje antenskih sistema** mogu biti čelični (sl. 36), betonske (sl. 37) ili kombinirane konstrukcije, ali se danas najčešće primjenjuju čelični stupovi. Betonske konstrukcije imaju često na svom vrhu, ispod antenskih sistema, prostor za smještaj uređaja. Stupovi čelične konstrukcije mogu biti usidreni ili samostojeći. Oni se izrađuju ili kao rešetkasti ili kao cijevni nosači. Rešetkasti stupovi mogu biti u presjeku trostrani ili četverostrani, a cijevasti su redovno kružna presjeka, a rjeđe kvadratična presjeka (za antene pojasa IV/V).

Pristup vrhu stupa i antenama izvodi se vertikalnim stepeništem, a u višim objektima i dizalima. Stepenište se izrađuje u sekcijsima, koje su jedna prema drugoj pomaknute i jedna od druge odijeljene odmorištima.

Stupovi se moraju vidljivo označiti radi sigurnosti zračnog prometa, kao što je to propisano za sve visoke objekte, naročito one koji se nalaze u blizini zračnih koridora i aerodroma. Dnevno se osiguranje sastoje od prugasto obojenih crveno-bijelih sekacija u izmjeničnom poretku, a noćno osiguranje od crvenih svjetala za upozorenje.



Sl. 35. Čelični samostojeći antenski stup rešetkaste konstrukcije

Sl. 36. Antenski stup betonske konstrukcije s antenskim sistemom na vrhu i paraboličnim antenama usmjerenih veza za prijenos modulacionog signala (na donjoj platformi)

**Pojni vodovi** služe prijenosu energije iz odašiljača antenskom sistemu. U području vrlo visokih frekvencija primjenjuju se za ovu svrhu pretežno koaksijalni kabeli (v. članak *Električni vodovi*, str. 250 i 262) koji imaju svoju određenu (normirano) karakterističnu impedanciju (valni otpor): 50, 60 ili 75 Ω. Toj impedanciji mora odgovarati, s jedne strane, izlazna impedancija odašiljača i, s druge strane, ulazna impedancija antene. Ukoliko

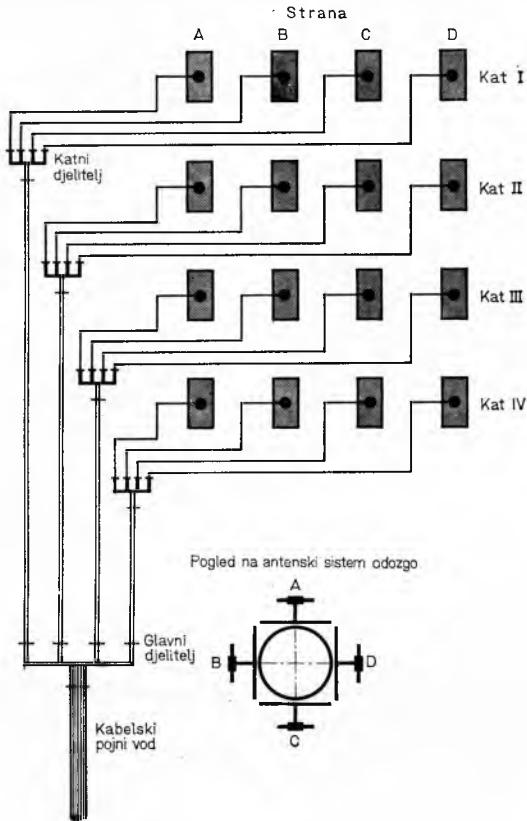
se te impedancije ne poklapaju, treba, s pomoću transformatora impedancije, izvršiti prilagođenje odašiljača na kabel i kabela na antenu, jer inače dolazi do refleksija, stvaranja stoećih valova i, u vezi s time, do gubitaka i smetnji. Prilagođenje antene na kabel mjeri se i izražava odnosom napona stognog vala VSWR (engl. Voltage Standing Wave Ratio)

$$\text{VSWR} = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|},$$

gdje je  $|\Gamma|$  faktor refleksije.

Za radio-prijenos na vrlo kratkim valovima (FM) traži se da bude  $\text{VSWR} < 1,2$  (kod TV treba da je  $\text{VSWR} < 1,05$ ).

Koaksijalni kabel treba dimenzionirati prema snazi koja se prenosi, i to tako da pri tome gubici budu minimalni.



Sl. 37. Shematski prikaz napajanja antenskog sistema pomoću koaksijalnih pojnih vodova

Valni otpor  $Z$  koaksijalnog kabela iznosi

$$Z = \frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'},$$

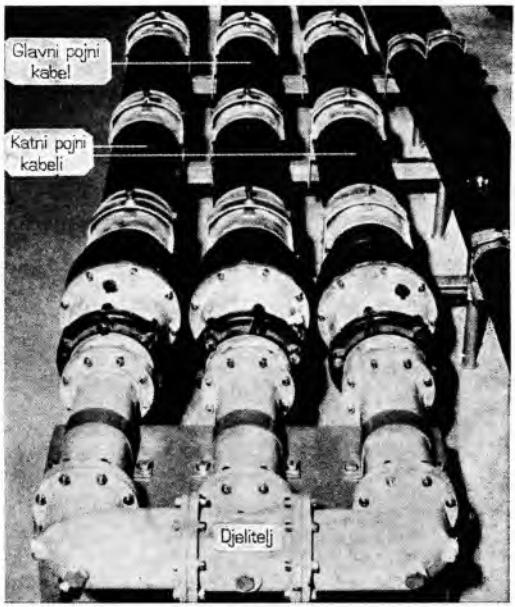
gdje  $L'$ ,  $C'$  i  $G'$  znače induktivitet, kapacitet i odvod po jedinici duljine kabela.

Pri malim gubicima, i izuzevši najniže frekvencije, može se primijeniti i izraz  $|Z| \approx \sqrt{L'/C'}$ . Uvrste li se u taj izraz približne vrijednosti za  $L'$  i  $C'$ , dobije se formula za izračunavanje valnog otpora koaksijalnog kabela:

$$|Z| \approx \frac{60}{\sqrt{\epsilon}} \ln \frac{D}{d} \approx \frac{138}{\sqrt{\epsilon}} \log \frac{D}{d}.$$

Napajanje antenskog sistema pomoću koaksijalnih pojnih vodova prikazuje shematski sl. 37, a izgled djelitelja sl. 38. Glavni se kabelski pojni vod u glavnom djelitelju račva na pojne vodove pojedinih katova, a ovi opet pomoću katnih djetelja na pojne vodove pojedinih antena. Koaksijalni kabel učvršćuje se u stupu posebnim držaćima. Pri tome je važno da se kabel ne deformira. Minimalni poljumjer zakrivljenosti ovisi o debljini kabela i propisan je za svaki tip izvedbe. Kabel se završava pripadnim priključnicama. Da se u unutrašnjosti kabela ne bi stvarao kondenzat, kabel se puni plinom (dušikom ili  $\text{CO}_2$ , ili suhim zrakom). Na pod-

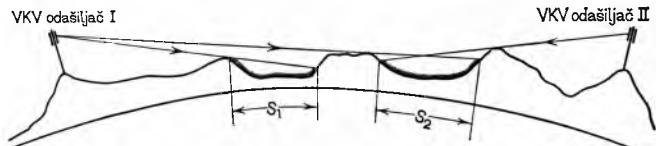
nožju stupa vanjski se plašt koaksijalnih kabela uzemljuje, kako bi se spriječilo oštećenje odašiljača pri atmosferskim pražnjenjima.



Sl. 38. Izgled djelitelja antenskog koaksijalnog pojnog voda

**Pretvarači (repetitorji) na području VVF.** Odašiljači koji rade na vrlo visokim frekvencijama postavljaju se na visokim kotačima, ali usprkos tome ostaje nepokriveno još mnogo terena unutar njihovog opskrbnog područja. To su područja »sjena« iza brda i u dolinama (sl. 39). Za pokrivanje tih područja služe tzv. pretvarači ili repetitori. Oni se primjenjuju ponekad za pokrivanje većih površina, a ponekad opskrbljuju samo neko manje mjesto. O veličini opskrbnog područja i udaljenosti pretvarača od njega ovisi i njihova snaga. Ona se može kretati od nekoliko milivata do nekoliko kilovata.

Pretvarač je, u širem smislu, svaka naprava koja mijenja jedan signal u drugi, ali ovdje će se pod tim pojmom razumijevati uređaj koji s pomoću prijemne antene prima radiodifuzijski signal na jednom kanalu i nakon pojačanja ga isijava, ponavlja (repetira) na drugom kanalu. Općenito se kanali kojima se koristi pretvarač smještaju u principu u isti frekvencijski pojas u kojem je i odašiljač čija se emisija prenosi. Postavljanje pretvarača u graničnom području prema drugoj zemlji podliježe uskladivanju frekvencija i snaga prema preporukama CCIR.



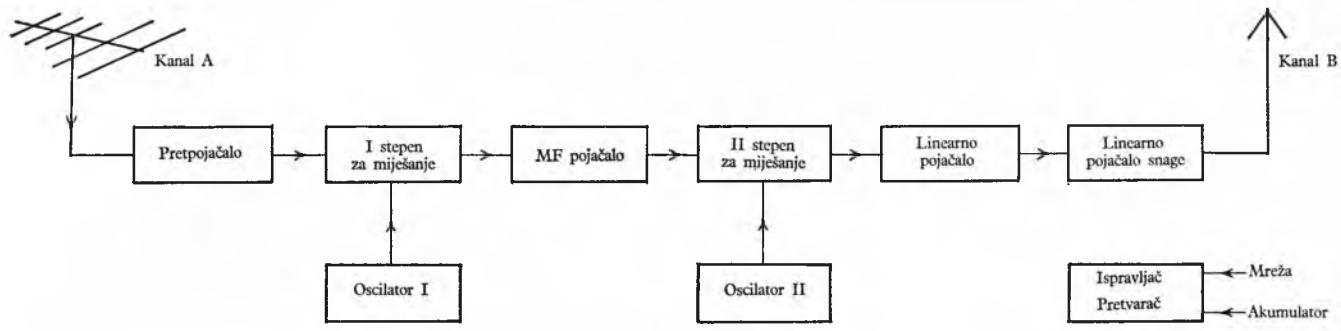
Sl. 39. Sjene na području pokrivanja.  $S_1$  i  $S_2$  su područja sjena

Blok-shemu 10-vatnog pretvarača prikazuje sl. 40. Pretvarač prima emisiju od odašiljača na kanalu A. Nakon prepojačanja snizuje se radna frekvencija odašiljača pomoću prvog lokalnog kvarcnog oscilatora u prvom mješalu na međufrekvenciju, gdje se signal pojačava do potrebne razine. Zatim se u drugom mješalu pomoću drugog kvarcnog lokalnog oscilatora frekvencija opet povisuje na frekvenciju kanala B. Nakon potrebnog pojačanja energija se preko pojnog voda dovodi anteni koja je isijava.

Za pravilan rad pretvarača — uz upotrebu standardnih antena — potrebno je da jakost prijemnog polja bude reda veličine 1 mV/m. Stoga je potrebno da prijemna antena pretvarača leži u vidokrugu odašiljača, a pretvaračeva se predajna antena mora vidjeti u području koje pokriva. Pretvarač obično pokriva točno ograničeno područje, na maloj udaljenosti, pa se isijani snop lako može formirati s jednim ili dva antenska elementa. To je za svaki slučaj

drukčije i konstrukcija antene prilagodava se dajoj situaciji. Srećom su potrebne snage pretvarača male, reda veličine 1, 10 ili

struje) ostali članovi lanca odašiljača ostajali su bez modulacije. Kad je trebalo da se signal dopremi samo krajnjem dijelu lanca



Sl. 40. Blok-sHEMA pretvarača (10 W)

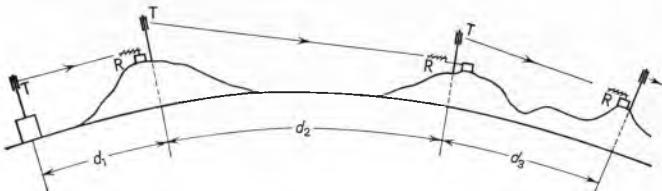
100 W, pa su antenski elementi lagane konstrukcije. To je važno i za nosače (stupove) ovih antena, koji su obično visoki 10 ... 30 m. Strukture nosača moraju biti dovoljno čvrste da izdrže i sve vremenske nepogode.

Objekt u kojem se smješta pretvarač ima površinu reda veličine deset kvadratnih metara, što ovisi o broju uređaja (FM I, II, III, TV I, II, III), kao i o upotrijebljenoj snazi, tj. dimenziji uređaja. Može biti izrađen od predfabriciranih elemenata ili građen na mjestu. Takvi objekti moraju imati izrađeno dobro uzemljenje i ostalu zaštitu protiv atmosferskih pražnjenja, kojima su često izloženi.

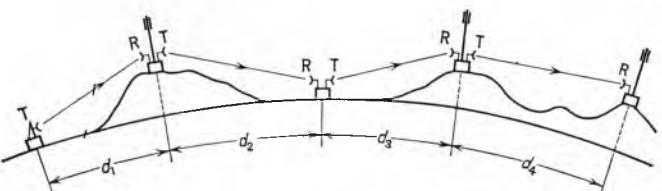
*Održavanje pretvarača* otežano je ne samo nepristupačnošću objekta nego i udaljenosću servisne ekipe (obično smještene u centru mreže). Zato su često predviđeni rezervni uređaji, koji se uključuju automatski čim isijavanje glavnog uređaja padne ispod propisane snage. Uključenje rezervnih uređaja signalizira se prikladnim načinom (npr. svjetлом), na temelju čega osobe zadužene za nadzor pozivaju servisnu ekipu.

Napajanje uređaja vrši se po mogućnosti iz mreže 220 V, a gdje to nije moguće, primjenjuju se akumulatori ili specijalne baterije za manje snage i agregati za veće.

**Veze za prijenos modulacionog signala.** *Prijenos dobacivanjem.* Napajanje odašiljača modulacionim signalom vršilo se u početku razvoja radiodifuzijskog prijenosa na VVF »dobačivanjem« signala od odašiljača do odašiljača. U tu bi se svr-



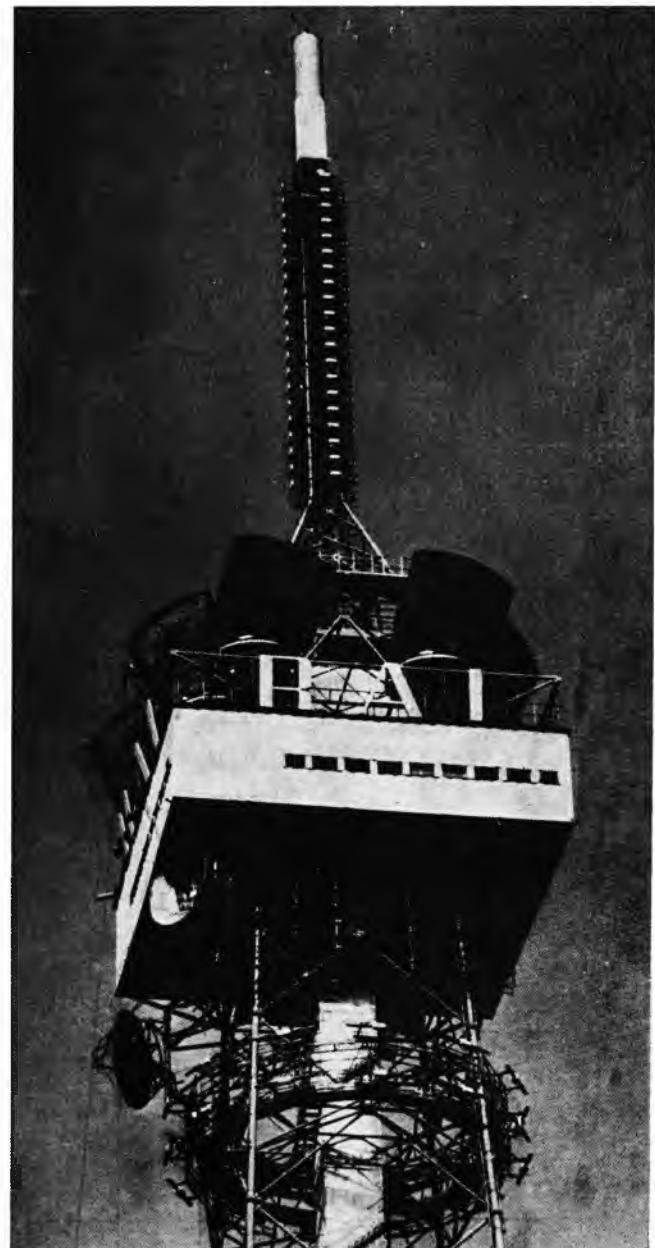
Sl. 41. Prijenos modulacionog signala prijemnicima (sistem dobacivanja). T odašiljač, R prijemnik, d udaljenost



Sl. 42. Prijenos modulacionog signala posebnim vezama

hu kod studija postavio manji odašiljač T, a na prvom bližem odašiljačkom objektu specijalni prijemnik R. Primljenim modulacionim signalom vršila bi se modulacija odašiljača. Emisija tog odašiljača bi se primala na slijedećoj točki i opet njome vršilo moduliranje, i tako dalje (sl. 41). Prednost je tog sistema bila što su investiciona ulaganja bila manja a održavanje lakše. Nedostataka je bilo mnogo više. Kvalitet takvog prenosa degradirao se s brojem skokova. Pri ispadanju jednog odašiljača (zbog kvara ili nestanka

ili drugom studijskom centru, morao je raditi cijeli sistem odašiljača. Najzad, krajnjem se korisniku ovakve modulacije nije mogao prenositi signal koji nije bio predviđen i za prijenos na ostalim odašiljačima.



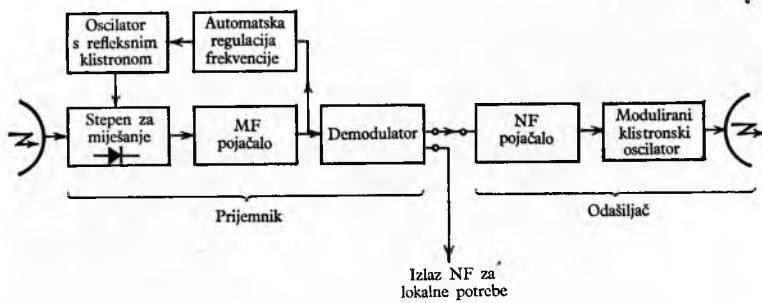
Sl. 43. Antenski stup s odašiljačkim antenama i parabolnim antenama za veze

*Posebne usmjerene veze za prijenos modulacionog signala.* Zahtjevi za kvalitetnijim i sigurnijim prijenosom modulacije vodili su upotrebi posebnih uređaja za vezu koji se postavljaju na odašiljačke objekte i između njih (sl. 42).

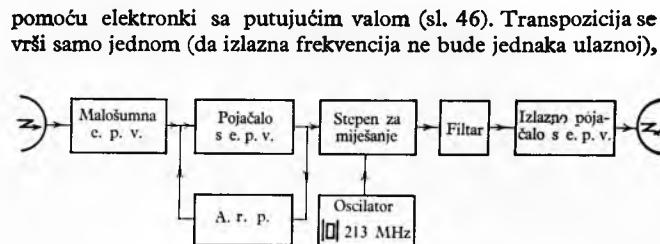
U frekvencijskom spektru postoji više planiranih kanala za potrebe takvih usmjerenih veza. One su u početku bile smještene na području vrlo visokih frekvencija, a kasnije, razvojem tehnologije, gusto su zauzele područje supervisokih frekvencija (mikrovalne veze). Jedna je od prednosti tog područja frekvencija da antene prihvatljivih dimenzija imaju vrlo visoko pojačanje (koncentraciju snopa). Na tom području frekvencijā valna je duljina već tako mala da se mogu primjenjivati elementi mikrovalne tehnike. Najčešće se primjenjuju parabolni reflektori (ili njihovi isječci, sl. 43) kojima se u žarištu postavlja osnovni antenski radijator; on »osvjetljava« reflektorskiju plohu tako da se isijana energija koncentriira u uski snop od nekoliko stupnjeva i tako dobiva pojačanje i do 10 000 puta.

Antene se na tom području frekvencijā rjeđe napajaju kabelom, a češće valovodom (v. *Električni vodovi*, str. 232 i 263). U početku su valovodi bili krute cijevi, obično pravokutna oblika, čija su koljena i zavoji morali biti specijalno rađeni da ne bi došlo do refleksije. Nepraktično je što se mnogo komada mora spajati preko prirubnica. Danas se već proizvode fleksibilni valovodi eliptična presjeka, koji se mogu savijati i u jednom komadu bez sastavaka provesti od odašiljača do antena (v. *Električni vodovi*, str. 263, sl. 94).

*Sastav uređaja za vezu* bio je kod starih izvedbi takav da je na svakoj relejnoj točki vršena demodulacija do kraja i ponovna modulacija kao na početku. U stvari, tu su se nalazili odvojeni odašiljači i prijemnici (sl. 44). Prednosti toga su bile da je modulacioni signal bio na raspolaganju na svakoj relejnoj tački i tu se upotrebljavao za odašiljače, te da se relejni i terminalni uređaji nisu razlikovali. Mana je toga sistema bila što se postepeno degradirao kvalitet signala na svim usputnim demodulatorima i modulatorima. Takvi su bili naši prvi uređaji za prijenos TV-programa; oni se i danas primjenjuju za mobilne veze. Novije izvedbe su išle za tim da se na relejnim točkama prelazi samo



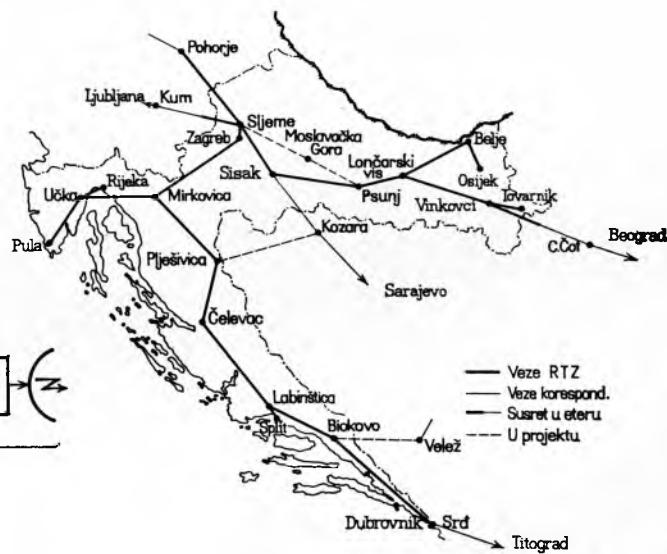
Sl. 44. Stariji tip uređaja veze s demodulacijom signala, njegovim pojačanjem na niskoj frekvenciji i ponovnim moduliranjem odašiljača



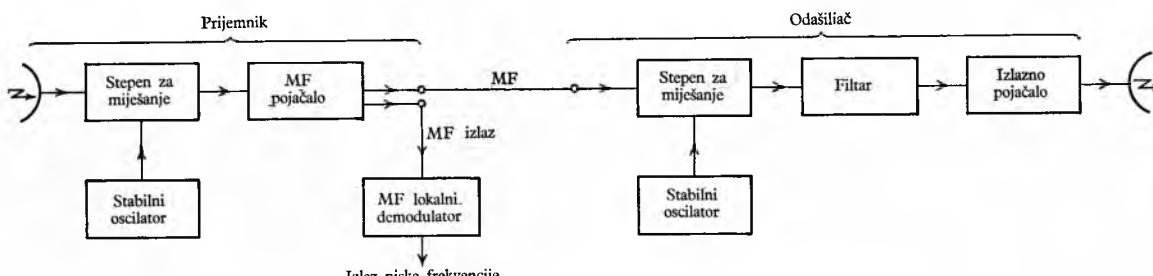
Sl. 46. Sistem uređaja veze s pojačanjem na visokoj frekvenciji, e. p. v. Elektronika s putujućim valom, A. r. p. automatska regulacija pojačanja

a razlika ulazne i izlazne frekvencije je 213 MHz. Takva veza u Jugoslaviji je postavljena za prvu međurepubličku izmjenu televizijskog programa i još uvijek se upotrebljava (Marconi HM 200).

*Lokacija uređaja za vezu.* Prve su veze postavljene na radiodifuzijskim odašiljačkim objektima, koji mogu biti jedan od drugih udaljeni i preko stotinu kilometara. Na prvi pogled takve su veze zadovoljavale uvjete prijenosa, ali je kasnije iskustvo pokazalo da su isčezavanja signala (feding) bila dublja i trajala dulje nego što se očekivalo kad su objekti postavljeni. Zato se morala između udaljenijih objekata ubaciti medurelejna točka. (Npr. na potezu Sljeme-Psunj, 120 km, ubacuje se medurelejna točka Moslavačka gora, s udaljenostima 60 i 50 km.) Prijenos je optimalan ako se relejne točke postavljaju na udaljenostima ~50 km.



**Sl. 47. Pregled veza za potrebe radio-difuzije u  
SR Hrvatskoj**



Sl. 45. Noviji tip uređaja veze s pojačanjem u međufrekvenciji

na međufrekvenciju i vrši pojačanje, a onda mijешanjem signal ponovo prebacuje na izlaznu frekvenciju (sl. 45). Time se kvalitet ne snizuje, a za lokalne potrebe odašiljača postavlja se poseban demodulator na međufrekvenciji.

Postoje i stariji uređaji za vezu koji radi pojačanja ne prelaze na međufrekvenciju, nego se pojačanje vrši na visokoj frekvenciji

Uz posebne veze za prijenos radio-programa i posebne za televizijski program, danas se (u nas) upotrebljavaju sistemi za zajednički prijenos televizijskog programa i četiri tonska kanala. Od njih se jedan upotrebljava za ton televizijskog programa, a ostala tri za radio-prijenos. Osim ovih *programskih veza* postavljaju se još i tzv. *servisne veze* između studijskog centra i odašiljačkih objekata, koje

služe za tehničku vezu (telefon) i dodatni prijenos tehničkih podataka, telekontrole i telekomande (specijalno za objekte bez posade). Pregled veza za potrebe radio-difuzije u SR Hrvatskoj prikazuje sl. 47.

I. Vukov

### Televizija

Pod televizijom razumije se prijenos na veću ili manju udaljenost pokretne slike nekog zbijanja. Televizija (gledanje na daljinu) primjenjuje se u mnogim slučajevima kad je izravno gledanje nemoguće, neefikasno, neudobno ili opasno (npr. industrijska televizija, podvodna televizija), a osobito se rasirio televizijski prijenos programa publici u radio-difuziji. Televizija može biti *akromatska* (crno-bijela) ili *kromatska* (u boji). Elektroonički su osnovi jednoj i drugoj zajednički i one su ostvarene tako da su među sobom *kompatibilne*, tj. da se program akromatske televizije može primati i prijemnikom za kromatsku, a program emitiran u boji može primati, kao crno-bijeli, akromatskim prijemnikom.

Pri ostvarenju televizije prostorni se raspored svjetlosnih intenziteta koji predstavljaju podražaj za osjetni doživljaj vida transformiraju u vremenski slijed električnih impulsa kojima amplituda odgovara tim svjetlosnim intenzitetima. Tako dobiveni impulsi predstavljaju električni signal (*video-signal*), koji se s pomoću elektroničkih uređaja može pojačati, upotrijebiti za moduliranje elektromagnetskog vala nosioca i tako prenijeti do udaljenih mjesto prijema, gdje se modulirani val nosilac demodulira i pretvara natrag u prostorni raspored svjetlosnih intenziteta, reproducirajući time odašiljačem snimljenu sliku.

**Analiziranje i reprodukcija slike.** Slikom se naziva statički raspored svjetlosnih elemenata koji se analizatorskom elektronskom cijevi u jednom trenutku pretvara u video-signal i također reprodukciju tog rasporeda na ekranu elektronske cijevi za reprodukciju slike u televizoru. Doživljaj pokreta postiže se u televiziji na isti način kao u kinematografiji: time što se velik broj statičkih slika projicira na ekran u brzom slijedu. Razlika je između kinematografije i televizije pri tom taj da se u kinematografiji projiciraju svi svjetlosni elementi jedne statičke slike istovremeno, a u televiziji se projiciraju uzastopno brzinom kojom je video-signal dobiven u uređaju za snimanje televizijske kamere i u prijemniku pretvoren u slijed svjetlosnih intenziteta. (Ta je brzina tako velika da gledalac doživljava projekciju svih elemenata slike kao istovremenu.)

Redoslijed kojim će se svjetlosni intenziteti elemenata slike pretvarati u električni signal mogao bi u načelu biti bilo kakav; općenito je usvojen postupak analiziranja po linijama (recima), tj. redak po redak, slijeva nadesno i odozgo dolje (v. sl. 48), dakle onako kako se čitaju reci štampanog teksta.

Postupak analiziranja po linijama u dva smjera jedini ispunjava uvjete za tehnički i ekonomski optimalnu analizu: da se saki element jedne slike snima samo jedanput, da se svi elementi snimaju istom brzinom, da brzina kojom slijede slike jedna iz druge može biti najmanja i da se analiza može tehnički ostvariti na najjednostavniji način.

Skup svih linija kojima je analizirana jedna statička slika naziva se *rasterom*. Raster se ostvaruje u analizatorskoj elektronskoj cijevi elektronskim snopom koji se magnetski otklanja u horizontalnom i u vertikalnom smjeru. Broj redaka rastera koji se u jedinici vremena analizira horizontalnim otklanjanjem elektronskog snopa naziva se *horizontalnom frekvencijom* analiziranja; *vertikalnom frekvencijom* naziva se (uz pretpostavku da se cijela slika analizira jednim prolazom snopa) broj slika koji se u jedinici vremena analiziraju, tj. frekvencija kojom elektronski snop prelazi odozgo dolje, od prvog do posljednjeg retka rastara i natrag gore do prvog retka. Po završenom analiziranju jednog retka elektronski se snop vraća (pasivno) zdesna nalijevo do početka narednog retka brzinom mnogo većom od brzine (aktivnog) analiziranja, a isto tako je (pasivno) vrijeme povrata snopa odozdo gore mnogo kraće od (aktivnog) vremena analiziranja po vertikali odozgo dolje. Razmak među linijama približno je jednak visini elementa površine kojemu se svjetlosni intenzitet pri analiziranju pretvara u električni signal.

Za reprodukciju rastara slike snimljene pomoću analizatorske cijevi, tj. za pretvaranje video-signala u prostorni raspored elemenata različitog svjetlosnog intenziteta, služe katodne elektronske cijevi zvane *kineskopi*. U kineskopu se elektronski snop

magnetski otklanja u ritmu spomenute horizontalne i vertikalne frekvencije snimanja. Koncentracija elektrona u tom snopu, a prema tome i svjetlosni intenzitet elemenata slike dobivenih udarom elektronskog snopa na ekran kineskopa, mijenja se djelovanjem primljenog video-signala, pa se time na ekranu reproducira snimljena slika.

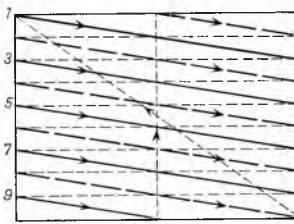
Unatoč tome što se slika analizira element po element i s intervalima kad analiziranja nema, gledalac doživljava reproduciranu sliku cijelovito i pokrete kontinuirano zbog toga što i oko i ekran prijemnika imaju sposobnost zadržavanja (*persistencije*) slike kroz određeno vrijeme, čime se premošćuju kratki intervali mraka. (Neki od elemenata originalne slike moraju se svakako izgubiti u procesu prijenosa i reprodukcije zbog končne veličine elemenata analiziranja, ali to gledalac ne osjeća zbog toga što i oko ima ograničenu moć razlučivanja detalja.) Da bi se postigao taj doživljaj cijelovitosti slike i kontinuiranog zbijanja, potrebno je da proces analiziranja teče dovoljno brzo (u skladu s vremenom persistencije slike u oku i na ekranu), tj. da frekvencija otklanjanja elektronskih snopova bude dovoljno visoka. S druge strane, budući da povećanje te frekvencije zahtijeva povećanje širine frekvencijskog spektra prenosnog signala (v. dalje), što izaziva poteškoće u tehničkoj izvedbi uređaja i distribuciji kanala, povećanju su frekvencije postavljene praktične granice, pa, općenito, treba naći kompromis između mogućeg povišenja frekvencije i poželjnog kvaliteta reprodukcije.

Minimalna frekvencija izmjene slika potrebna da se kontinuirano reproducira televizijska snimka uz iskoristenje sposobnosti oka da u sebi zadrži sliku ovisi o razlici između srednje svjetline (luminancije) slike na ekranu i luminancije ekrana u intervalima mraka. Poznato je da frekvencija od 24 slike na sekundu (24 Hz) usvojena u normalnoj kinematografiji, dostaje za oštro snimanje i za kontinuirano reproduciranje dosta brzih kretanja (npr. trkačeg automobila koji se kreće brzinom od 250 km/h). Otpriklje tolika frekvencija izmjene slike usvojena je i u televiziji (25, odn. 30 Hz, v. dalje). Međutim, ako pri reprodukciji nastaju zamračenja samo pri izmjeni sliku, tj. ako je frekvencija zamračenja jednaka frekvenciji izmjene sliku, gledalac doživljava neugodnu pojavu svjetlosnog treperenja, koje nestaje tek ako se frekvencija kojom slijede jedni za drugima intervali svjetla i mraka povisi na ~40 Hz.

Pojava persistencije slike u oku uzrokvana je tromošću mrežnica, tj. spo-roču kojom ona reagira na promjene luminancije. Međutim, šarenica oka, kojoj je zadaća da sužavanjem zjenice štiti mrežnicu od prejakog svjetla, slijedi promjene luminancije sa kudikamo manjom tromošću, pa stoga, ako je frekvencija kojom periodski slijede jedni za drugima intervali svjetla i mraka premala, zjenica se periodski sužava i širi u ritmu te frekvencije, što gledalac doživljava kao svjetlosno treperenje.

U kinematografiji svjetlosno se treperenje sprečava time što se izmedu dva zamračenja koja nastaju za vrijeme izmjene slike ubaci još jedno zamračenje za vrijeme dok slika miruje; time se povećava frekvencija zamračenja na dvostruko, bez promjene frekvencije izmjene slike. U televiziji se povećanje frekvencije zamračenja bez povećanja frekvencije izmjene sliku (tj. bez vrlo nepoželjnog proširenja frekvencijskog spektra prenosnog kanala) postiže tzv. sistemom proreda.

**Sistem proreda** (preskoka redova) sastoji se u tome da pri analiziranju slike elektronski snop ne prelazi od jednog retka na slijedeći, nego redom s prvog na 3., 5., 7. itd., dok se na taj način polovina redaka nije analizirala. Poslije toga se analiziraju oni reci koji prvi put nisu bili analizirani, tj. 2., 4., 6. itd., kako je za raster od devet linija prikazano na sl. 48. Tako je analiziranje jedne slike podijeljeno na dva dijela, od kojih se svaki zove *poluslika*. Poluslika sastavljena od neparnih redaka zove se neparna poluslika, a poluslika sastavljena od parnih redaka, parna poluslika. Time dolazi do dva zamračenja unutar vremena za analiziranje i reproduciranje jedne slike, tj. povećana je frekvencija zamračenja na dvostruko bez povećanja broja slika u jedinici vremena.



Sl. 48. Princip proreda

Kako se vidi na sl. 49, da elektronski snop ne bi u parnoj poluslici prolazio istim točkama rastera kao u neparnoj, prvi redak parne poluslike mora početi na istoj visini kao prvi redak neparne, ali pomaknut za pola širine slike udesno. To je moguće samo ako posljednji redak neparne poluslike također završava na sredini širine slike, tj. ako je broj redaka slike neparan.

Broj dionih slika na koji se u sistemu proreda dijeli svaka slika naziva se *omjerom proreda*. U televizijskoj radio-difuziji prihvaćen je omjer proreda jednak 2, tj. podjela slike u dvije poluslike, kako je naprijed izloženo.

Ako je  $T_b$  vrijeme prolaza elektronskog snopa jednim retkom, a  $Z$  broj redaka u rasteru, vrijeme potrebno za analiziranje jedne slike bit će  $T_s = Z \cdot T_b$ , a poluslike  $T_v = Z \cdot T_b / 2$ . Izraženo frekvencijama ta jednadžba glasi  $1/f_v = Z/2f_h$  i iz nje slijedi da je broj redaka  $Z = 2f_h/f_v$ , a horizontalna frekvencija  $Z/2$  puta veća od verticalne frekvencije (koja je u sistemu proreda broj *poluslike analiziranih u jedinici vremena*):  $f_v = Zf_h/2$ .

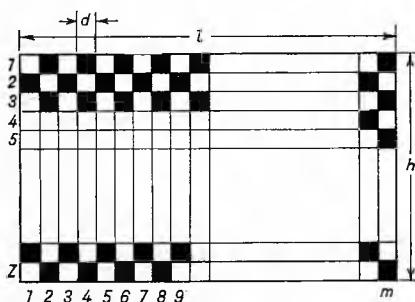
U tzv. sistemu televizije CCIR, verticalna frekvencija (frekvencija redanja poluslike) uzeta je jednaka frekvenciji energetske mreže, tj.  $f_v = 50$  Hz; frekvencija redanja slike, prema tome, jednaka je 25 Hz. Za analiziranje cijele slike potrebno je  $1/25 = 0,04$  s. Broj redaka izabran je u tom sistemu 625; za analiziranje jednog retka potrebno je  $0,04/625 = 64$  µs, tj. horizontalna je frekvencija  $f_h = 1/(64 \cdot 10^{-6}) = 15\,625$  Hz. Zamraćenje radi prelaza snopa s linije na liniju nastaje, kako se vidi, sa mnogo većom frekvencijom nego zamraćenje radi prelaza od slike na sliku; stoga ga pri odluci o frekvenciji analiziranja ne treba uzimati u obzir.

Verticalna frekvencija  $f_v$  uzeta je jednaka frekvenciji energetske mreže zbog toga što u tom ritmu nastaju i izobiljećuju uzrokovana rasipom magnetskih poljima i brujanjem, pa se ona primjećuju najmanje ako je verticalni otok elektronskog snopa sinhron s njima. To se, međutim, može ostvariti samo ako odašiljač i prijemnik rade u istom energetskom sistemu. Ako treba primati emisiju odašiljača s drugog energetskog sistema, povoljnije je da prijemnik bude neovisan o frekvenciji energetske mreže. Sadašnji su televizijski sistemi (uredaji za snimanje, prijenos i prijem) konstruirani tako da im je rad neovisan o frekvenciji mreže, ali je usvojena verticalna frekvencija  $f_v$  ostala historijski vezana uz frekvenciju mreže, tj. iznosi u Evropi 50 Hz, a u Americi 60 Hz.

Da bi broj linija u rasteru  $Z = 2f_h/f_v$  ostao konstantan, mora ostati konstantan omjer  $f_h/f_v$ . To se postiže time što se frekvencije  $f_h$  i  $f_v$  dobiju iz iste frekvencije  $2f_h$  (koja daje frekvencijski standard studija): frekvencija  $f_h$  dijeljenjem s omjerom proreda 2, a frekvencija  $f_v$  dijeljenjem s brojem redaka  $Z$ . U evropskom sistemu CCIR broj  $Z$  uzet je tako da se dijeljenje nije može provesti u četiri jednaka stepena:  $625 = 5 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5$ .

**Spektar video-signala.** Širina spektra video-signala vrlo je važna za kvalitetan prijenos kanalom veze. Ona je određena minimalnom i maksimalnom frekvencijom u spektru. Iz naprijed navedenih razloga poželjno je da ta širina bude što manja.

Da bismo odredili kolika je maksimalna frekvencija video-signala potrebna za kvalitetan prijenos, odredit ćemo kolika je frekvencija analiziranja slike po linijama rastera u ekstremnom slučaju, tj. kad se u njoj izmjenjuju bijeli i crni elementi oblika i veličine presjeka analizirajućeg elektronskog snopa (sl. 54). U tom će slučaju, naime, luminancija svjetlosnih elemenata pri analizi slike elektronskim snopom s najvećom frekvencijom prelaziti od maksimalne na minimalnu i, prema tome, po transformaciji slijeda promjenljiva luminancija u slijed impulsâ, i frekvencija tih impulsa biti najveća moguća.



Sl. 49. Uz izračunavanje maksimalne frekvencije video-signala

Ako se pretpostavi da su elementi (i presjek snopa) kvadratni, tj. da im je duljina jednaka širini linije  $d$  i da je duljina linije  $l$ , broj elemenata u liniji je  $m = l/d$ . Ako je broj linija u slici visine  $h$  jednak  $Z$ , širina je linije  $d = h/Z$ , a  $m = Z \cdot l/h$ . Ako je broj slika u jedinici vremena  $n$ , broj je elemenata slike preko kojih prelazi elektronski snop u jedinici vremena  $mZn = (l/h)Z^2n$ . Pod pretpostavkom da se svaki svjetli element sa slijedećim tamnim elementom može ostvariti jednom periodom sinusnog vala, iznosit će maksimalna frekvencija za prijenos takvog

hovskog polja\*

$$f_{\max} = \frac{1}{2} \frac{l}{h} Z^2 n$$

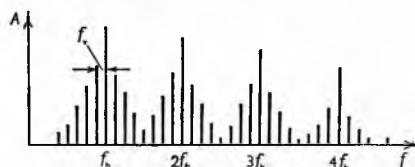
(Radi jednostavnosti zanemarena su pasivna vremena analiziranja). Odnos  $l/h$  naziva se *formatom slike*. On u svim televizijskim sistemima iznosi 4/3. Duljina je uzeta veća od visine zbog toga što horizontalna kretanja po pravilu prevladavaju, a omjer 4 : 3 izabran je iz estetskih razloga.

Može se pokazati da je minimalna potrebna frekvencija  $f_{\min}$  video-signala jednaka frekvenciji izmjene slike  $n$ . Budući da ta frekvencija, koja je reda veličine desetaka herca, iščezava u odnosu prema veličini maksimalne frekvencije (koja se mjeri milionima herca), širina frekvencijskog spektra video-signala određena je praktički njegovom maksimalnom frekvencijom.

Kako se vidi iz prednjeg jednadžbe, uz dati format slike i danu frekvenciju izmjene slike, maksimalna frekvencija (širina spektra) ovisi o broju linija u rasteru; uz razmak među linijama jednak širini linije, broj linija koji se može smjestiti u raster obrnutu je proporcionalan promjeru elektronskog snopa. Moderna tehnika omogućila je da se uzme broj  $Z = 1000$  i više, ali kako širina spektra signala raste s kvadratom broja linija, a širini su spektra signali postavljene granice, trebalo je izvršiti kompromisni izbor broja linija. Iskustvo (napose također u sklopu francuskim sistemom od 819 linija i britanskim od 405 linija) pokazalo je da broj oko 500 ili 600 linija predstavlja najbolji kompromis.

Širina frekvencijskog spektra video-signala, prema prednjoj jednadžbi, uz format slike 4/3, broj redaka 625 i frekvenciju izmjene slike 50 Hz, bila bi  $\sim 12,5$  MHz, što je previše za kvalitetan prijenos. Primjenom sistema proreda ta se širina spektra prepoloviće na 6,25 MHz.

**Struktura frekvencijskog spektra video-signala.** Video-signal se grafički prikazuje kao ovisnost napona (u koji je pretvorena luminancija elemenata analizirane slike) o vremenu. Zbog malog raz-

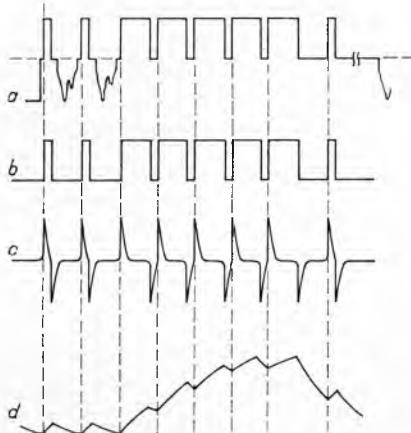


Sl. 50. Struktura frekvencijskog spektra video-signala

maka među linijama i brzine kojom linije slijede jedna iza druge, u susjednim linijama, pa i u većim ili manjim grupama susjednih linija, raspodjela luminancije, a prema tome i raspodjela napona u koji je luminancija pretvorena, praktički je jednak. Video-signal je, prema tome, kvazi-periodska funkcija vremena s periodom jednakom intervalu trajanja jedne linije, te se može harmonijskom analizom rastaviti na niz sinusnih valova kojima su frekvencije mnogokratnici horizontalne frekvencije  $f_h$  analiziranja slike. Drugim riječima, frekvencijski spektar video-signala je linjski spektar sastavljen od linija među kojima je razmak jednak horizontalnoj frekvenciji analiziranja (sl. 50). To što je rečeno o linijama rastera može se reći i o slikama koje slijede jedna iza druge: susjedne su slike praktički jednake, video-signal je kvazi-periodski također s periodom jednakom verticalnoj frekvenciji analiziranja  $f_v$ . Stoga se u frekvencijskom spektru video-signala s obje strane linije svakog harmonika horizontalne frekvencije pojavljuju slabije spektarske linije u razmacima jednakim verticalnoj frekvenciji. Između linija horizontalnih i vertikalnih harmonika frekvencijski je spektar video-signala prazan. Iz toga slijedi da frekvencijski pojas prijenosnog kanala nije video-signalom potpuno iskorišten. Time se koristi televizija u bojam, smještajući svoje krominantne signale (signale boje) u razmake među harmonicima luminantnog signala (signala svjetline, analognog video-signalu crno-bijele televizije).

**Potisni i sinhronizacijski impulsi.** Da bi se na mjestu prijema mogla reproducirati televizijska slika na ekranu, treba prijemniku uz video-signal privesti i dvije druge vrste impulsâ: potisne i sinhronizacijske impulse. *Potisni impulsi (horizontalni i vertikalni)* služe za potiskivanje (gašenje) elektronskog snopa u katodnoj cijevi prijemnika za vrijeme horizontalnog i vertikalnog povrata snopa. *Potisno vrijeme*, tj. vrijeme u kojem nema informacije slike, iskorištava se za odašiljanje sinhronizacijskih impulsâ, tj. impulsâ koji osiguravaju sinhronizam otklanjanja elektronskog

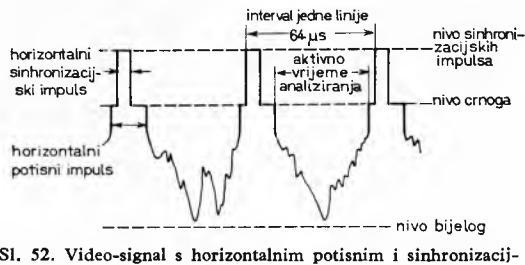
snopa u odašiljaču i prijemniku. *Horizontalnih potisnih impulsa* ima u jedinici vremena koliko i linija u rasteru, a grupa *vertikalnih potisnih impulsa* koliko poluslikâ; sinhronizacijski impuls i odašilju se istovremeno sa svim potisnim impulsima. Da bi se različiti impulsi mogli u prijemniku jedan od drugog odvojiti, horizontalni i vertikalni potisni impulsi su različite širine, a potisni i sinhronizacijski impuls i različite amplitude (sl. 51 a, v. i sl. 53). U



Sl. 51. Složeni televizijski signal i njegova obrada u prijemniku. *a* VPS-signal (video-signal s potisnim i sinhronizacijskim impulsima), *b* izdvajanje sinhronizacijskih impulsa ograničavačem amplitude, *c* obrazovanje impulsa za okidanje horizontalnog oscilatora, *d* obrazovanje impulsa za okidanje vertikalnog oscilatora

prijemniku se sinhronizacijski impulsi odvajaju od potisnih po-moću ograničavača amplitude (sl. 51 b), a sinhronizacijski impulsi se razdvajaju pomoću sklopa za integriranje i sklopa za diferenciranje (v. članak *Elektronika, sklopovi*, str. 548), kako to principijelno pokazuje sl. 51 c i d. Pravokutni sinhronizacijski impulsi, privedeni RC-sklopu za diferenciranje daju na izlazu iz tog sklopa po dva šljasta impulsa oblika prikazanog na sl. 51 c, koji služe za sinhronizaciju oscilatora pilastog napona za horizontalno otklanjanje snopa u kineskopu prijemnika, a privedeni RC-sklopu za integriranje pet duljih sinhronizacijskih impulsa daju jedan široki i visoki impuls (sl. 51 d) koji se odvodi u oscilator pilastog napona za vertikalno otklanjanje snopa, gdje služi za njegovu sinhronizaciju.

**Složeni televizijski signal.** Na sl. 52 vidi se kako je video-signal koji se prenosi kanalom od odašiljača prijemniku na kraju svake linije (unutar trajanja linije od  $64 \mu\text{s}$ ) prekidan horizontalnim potisnim impulsom (»zamračenjem«), unutar kojeg se intervala emitira horizontalni sinhronizacijski impuls. Amplituda potisnog signala jednaka je maksimalnoj amplitudi video-signala, koja odgovara luminanciji najtamnije moguće točke televizijske slike. Taj se nivo amplitude televizijskog signala naziva *nivo crnoga*.



Sl. 52. Video-signal s horizontalnim potisnim i sinhronizacijskim impulsimi

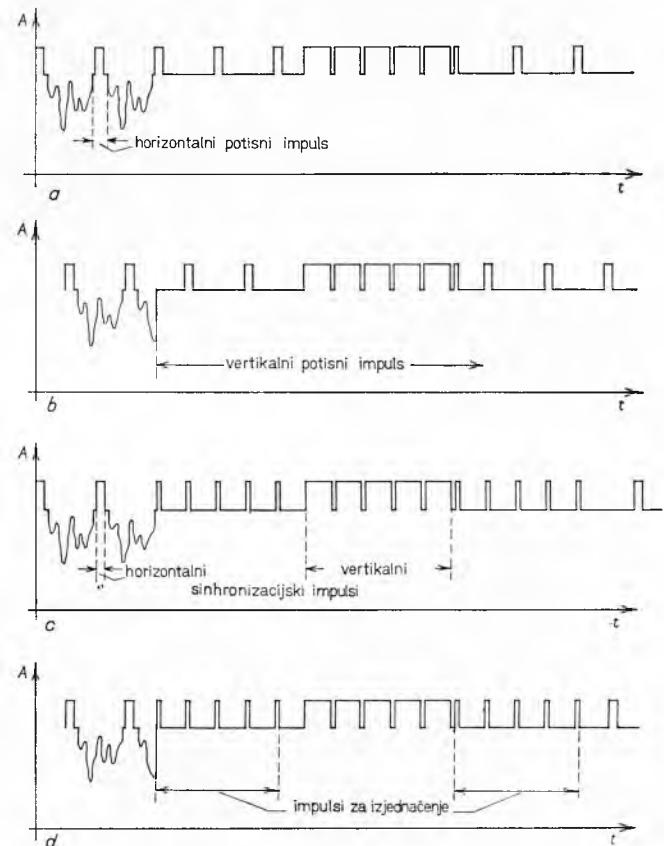
Amplituda sinhronizacijskih impulsa je veća od toga, ona je na nivou »crnjem od crnoga«. Ako se nivo sinhronizacijskih signala označi sa 100%, nivo crnoga je na 75%, a tzv. *nivo bijelog*, koji odgovara maksimalnoj dozvoljenoj luminanciji televizijske slike, nalazi se na 10% maksimalne amplitude.

Televizijskim se signalom amplitudno modulira visokofrekventni val nosilac kojim se signal bežično prenosi od odašiljača do prijemnika (v. dalje). U sistemu

CCIR primjenjena je negativna modulacija, te nivo sinhronizacijskog impulsa odgovara nepromijenjenoj amplitudi vala nosioca, nivo crnoga amplitudi vala nosioca smanjenoj na 75%, a nivo bijeloga amplitudi vala nosioca smanjenoj na 10%.

Horizontalni sinhronizacijski impuls ne nalazi se na sredini potisnog impulsa, nego je trajanje potisnog impulsa prije sinhronizacijskog, tzv. *prednja crna stepenica*, kraće nego njegovo trajanje poslije sinhronizacijskog impulsa, *zadnja crna stepenica*. Prednja crna stepenica svodi trenutačno modulaciju vala nosioca na nivo crnoga, a zadnja crna stepenica, zbog svoje veće duljine, pogodna je kao referentni potencijal u automatskoj regulaciji kontrasta slike. Zbog toga se o njezinom nivou (nivou crnoga) govorи često kao o *referentnom* nivou crnoga.

Sl. 53 a i b prikazuju kombinaciju video-signala s horizontalnim i vertikalnim potisnim i sinhronizacijskim impulsima za neparnu i parnu polusliku. Kako se vidi, vertikalni potisni impuls traje koliko  $\sim 20$  linija i  $\sim 100$  puta je širi od horizontalnog potisnog impulsa. U razmjeru malom dijelu vertikalnog potisnog vremena odašilje se grupa vertikalnih sinhronizacijskih impulsa u području crnog od crnog. Ta grupa od 5 impulsâ nastaje podjelom jedinstvenog vertikalnog sinhronizacijskog impulsa »urezima« kojima se postiže da i za vrijeme rada oscilatora vertikalne sinhronizacije nastavlja raditi u sinhronizmu oscilator horizontalne sinhronizacije. »Urez« slijede jedan iza drugog u razmacima vremena jednakim polovici trajanja jedne linije.



Sl. 53. Sinhronizacijski impulsi i impulsi za izjednačenje. *a*, *b* VPS-signal bez impulsâ za izjednačenje: *a* neparne linije, *b* parne linije; *c*, *d* VPS-signal s impulsima za izjednačenje: *c* neparne linije, *d* parne linije

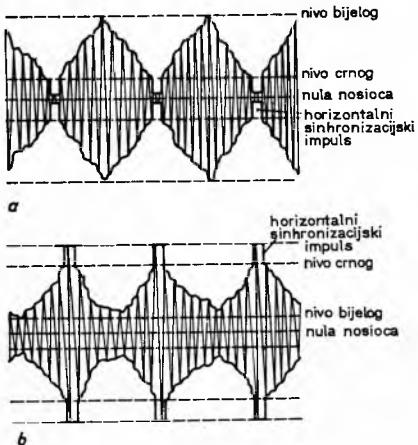
Uslijed toga što posljednji redak neparne poluslike završava u sredini slike, dok posljednji redak parne poluslike završava na desnom rubu slike, interval između posljednjeg horizontalnog sinhronizacijskog impulsa i prvog vertikalnog dvaput je veći u signalu na sl. 53 a nego u signalu na sl. 53 b. To znači da bi uz složeni televizijski signal prema sl. 53 a i b signal za vertikalni povrat elektronskog snopa u integratorskom sklopu prijemnika zatekao kondenzator na kraju neparne slike s jednim početnim nabojem, a na kraju parne slike s drugim. Posljedica bi toga bila da vertikalni povrat snopa u prijemniku ne bi bio točno sinhron s povratom snopa u odašiljaču. Da se to sprijeći, moraju se na

spomenutom kondenzatoru prije početka vertikalnog otklona uspostaviti uvijek jednake napomske prilike. Tome služi 5 impuls za izjednačenje (sl. 58 c i d), koji prethode vertikalnom sinkronizacijskom impulsu s frekvencijom dvostruko većom od horizontalne frekvencije i s trajanjem za polovicu manjim od trajanja horizontalnog sinkronizacijskog impulsa. Elektronički sklop prijemnika tako je dimenzioniran da samo svaki drugi uski impuls za izjednačenje (i svaki drugi "urez" vertikalnog sinkronizacijskog impulsa) djeluje kao dvostruko širi horizontalni sinkronizacijski impuls, pa je tako točna horizontalna sinkronizacija za cijelo vertikalno potisno vrijeme osigurana. Poslije pet glavnih vertikalnih sinkronizacijskih impuls dolazi opet pet impuls za izjednačenje, jednakih onima prije sinkronizacijskih impuls, i napon je opet doveden na nulu.

Zbog horizontalnih potisnih impuls aaktivno vrijeme horizontalnog analiziranja iznosi samo 83% ukupnog horizontalnog intervala od 64 μs, a 17% je horizontalno potisno vrijeme; zbog vertikalnih potisnih impuls aaktivno vrijeme vertikalnog analiziranja iznosi 94% ukupnog vertikalnog intervala od 64 × 625 = 4 ms, ostalih 6% je vertikalno potisno vrijeme. Format vidljive slike mijenja se time od 4 : 3 na približno 7 : 6 (sl. 54), broj prenijetih točaka slike smanjuje se u omjeru ~1 : 0,8, i u istom se omjeru smanjuje potrebna širina frekvencijskog spektra video-signala, tj. od 6,25 MHz na 5 MHz. Tolika je širina niskofrekveničkog spektra i standardizirana.

**Prijenos televizijskog signala.** Televizijski signal može se prenijeti električnim vodom ili bežično do mjesta prijema, gdje se prijemnim uredajem može izvršiti električno-optička transformacija i postići reprodukcija slike. Kako je bežični prijenos znatno jeftiniji i djelotvorniji od žičnog, ta se vrsta prijenosa najviše primjenjuje i za radiodifuzijski televizijski prijenos. (U industrijskoj se televiziji primjenjuje pretežno žični prijenos.) U tu je svrhu bilo potrebno utvrditi način modulacije vala nosioca televizijskim signalom, uključiti u prijenos popratni ton, odrediti širinu i broj prijenosnih kanala i izvršiti raspodjelu kanala među frekvencijsku području.

**Modulacija nosioca televizijskim signalom.** Za prijenos slike upotrebljava se u svim sistemima televizije amplitudna modulacija s potisnutim valom nosiocem i djelomično potisnutim jednim bočnim pojason (oznaka te vrste emisije je A5C), a za prijenos tona upotrebljava se u nekim sistemima amplitudna modulacija, a u većini sistem televizije frekvencijska modulacija.



Sl. 55. Amplitudna modulacija televizijskog signala: a) pozitivna, b) negativna

Postoje dvije mogućnosti polariteta amplitudne modulacije. Kao pozitivna definirana je modulacija kad je amplituda moduliranog nosioca to veća što je luminancija pripadnog elementa

slike veća (sl. 55 a), a negativna modulacija kad je amplituda moduliranog nosioca to veća što je luminancija pripadnog elementa slike manja (sl. 55 b). Pozitivna modulacija ima prednost što je uz nju stabilnija sinkronizacija u prisutnosti impulsnih šumova, jer se oni ograničuju na nultoj razini nosioca, ali joj je nedostatak što se uz nju iz danog odašiljača može emitirati manja snaga, jer treba spriječiti nelinearnost modulacijske karakteristike u predjelu većih luminancija. Pri negativnoj modulaciji ta nelinearnost ne dolazi do izražaja jer ona na sinkronizacijske impulse naročito ne utječe, pa negativna modulacija omogućava za 30% veću vršnu snagu odašiljača nego pozitivna. Negativna modulacija je, nadalje, prikladnija za krugove automatske regulacije pojačanja, jer se potisni nivo (zadnja crna stepenica) može držati konstantnim i iskoristiti kao referentni napon pomoću običnog diodnog detektora. Velika je prednost negativne modulacije što se pri njoj smetnje — impulsi s velikom amplitudom — ispoljavaju na televizijskoj slici kao crne točke, koje manje smetaju gledaocu nego bljeskovi svjetlih točaka što ih izazivaju smetnje pri pozitivnoj modulaciji. Zbog svega toga u sistemu CCIR standardizirana je negativna modulacija.

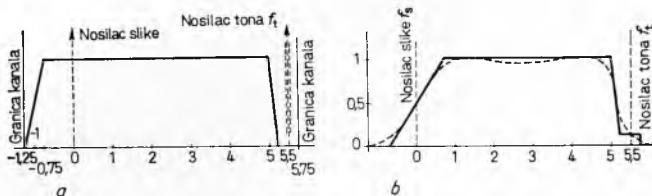
U sistemu s negativnom modulacijom nivo bijelog mora biti određen kao vršni, da bi se spriječio prekid vala nosioca u kratkim intervalima vrlo svjetlih područja snimane slike; takav bi prekid ometao prijem i mijenja linearnost gradacije. Nivo crnog mora pri toj modulaciji ostati kao referentan, da bi se kontrast između luminancija slike mogao održati konstantnim neovisno o srednjoj luminanciji slike kao cijeline. Potisni nivo, koji je u dosadašnjem izlaganju radi jednostavnosti prikaza identificiran s nivoom crnoga, u stvari se od njega može malo razlikovati, jer ga daje i određuje generator sinkronizacijskih impuls. Razlika između potisnog nivoa i nivoa crnog zove se postava ili postavljanje signala. Sto je postava signala manja to je moguće veći raspon kontrasta. Vršni nivo sinkronizacijskog impulsa s potisnim nivoom određuje amplitudu sinkronizacijskog impulsa. Pri negativnoj modulaciji on je mjerodavan za vršnu snagu odašiljača.

**Prijenos popratnog tona** pridružuje se redovito prijenosu televizijskog signala. Modulacija je, kako je već rečeno, u nekim sistemima (obično starijim) amplitudna, a u drugim (npr. u srednjoj Evropi), frekvencijska, jer se njome postiže povoljniji odnos signal/šum i prikladnija konstrukcija prijemnika. Za frekvencijsku modulaciju predviđena je — osim u jednom sistemu — frekvencijska devijacija od ±50 kHz. To je rješenje kompromis između odnosa signala/šum (koji je povoljniji kad su devijacije veće) i širine pojasa te stabilnosti prijemnih krugova (u pogledu kojih je povoljnija manja devijacija). Iskorištava se i činjenica da je energija govora i glazbe manja na višim frekvencijama, pa se poboljšanje odnosa signal/šum postiže predakcentuacijom pri odašiljanju i deakcentuacijom u prijemniku (v. str. 633).

**Širina kanala** pri amplitudnoj je modulaciji uz prijenos obaju bočnih pojasas, kako je poznato (v. str. 589), dvostruko veća od širine frekvencijskog spektra modulirajućeg signala, budući da modulirani val sadrži, osim frekvencije vala nosioca  $f_n$ , također različite frekvencije između  $f_n - f_m$  i  $f_n + f_m$  ( $f_m$  je najviša frekvencija modulacijskog signala). Uz širinu frekvencijskog spektra televizijskog signala od 5 MHz, standardiziranu u sistemu CCIR, trebalo bi, prema tome, da širina visokofrekveničkog prijenosnog kanala iznosi 10 MHz. U praksi se, međutim, u svim sistemima djelomično potiskuje jedan od bočnih pojasas i val nosilac, čime se znatno smanjuje širina prijenosnog kanala, npr. uz nominalnu širinu nepotisnutog glavnog bočnog pojasa od 5 MHz (odn. 6 MHz) na 7 MHz (odn. 8 MHz).

Sl. 56 a prikazuje graničnu krivulju frekvencijskog spektra televizijskog odašiljača prema standardu CCIR, koji je prihvaten od država srednje Evrope, za kanal širine 7 MHz. Na osi apsisa nanijeta je razlika frekvencija  $f - f_n$  (tj. frekvencija mjerena od frekvencije nosioca kao nule), a na osi ordinata amplituda signala u odnosu prema amplitudi nosioca. Od donjeg bočnog pojasa potisnute su sve amplitude ispod frekvencije -1,25 MHz, a ostavljene pune amplitude iznad frekvencije -0,75 MHz. Gornji bočni pojas ima širinu 5 MHz (odn. 6 MHz) iznad frekvencije 5 MHz (odn. 6 MHz) amplituda signala naglo pada na nulu. Na udaljenosti 5,5 MHz (odn. 6,5 MHz) od frekvencije nosioca slike nalazi se frekvencija nosioca tona (koji je u ovom

sistemu frekvenčijski moduliran). Frekvenčija nosioca tona uđaljena je od najviše prenesene frekvenčije slike 0,5 MHz, a od granice prema susjednom kanalu 0,2 MHz, dovoljno da ne nastaje interferencija između tona i slike. Navedena krivulja predstavlja graničnu krivulju amplitudu za spektar televizijskog signala što ga zrače odašiljači slike i tona; stvarne frekvenčije signala zauzimaju unutar tih granica samo mali prostor, kako je iznijeto u odlomku o strukturi spektra video-signala.



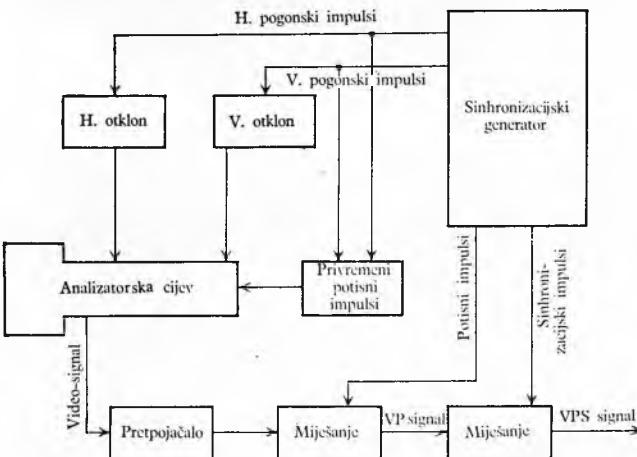
Sl. 56. Granična krivulja frekvenčijskog spektra emitiranog televizijskog signala (a) i propusna karakteristika televizijskog prijemnika (b)

Radi usporedbe prikazana je na sl. 56 b za isti televizijski sistem standardizirana propusna karakteristika televizijskog prijemnika.

*Raspodjela kanala po frekvenčijskim pojasmima.* Za televiziju postoje sada tri frekvenčijska područja (v. tabl. 1, str. 653): pojaz I od 41 do 68 MHz, pojaz III od 174 do 223 MHz i pojaz IV od 470 do 790 MHz. U pojasmima I i III širina je kanala 7 MHz, a u pojazu IV, 8 MHz. Prema tome u pojaz I stane 4 kanala (od kojih se prvi ne upotrebljava), u pojaz III stane 8 kanala (od kojih se posljednji ne upotrebljava), a u pojaz IV stane 49 kanala. Nedostatak prijenosa na ultravisokim frekvenčijama da mu domet nije veći od 50 do 100 km predstavlja i prednost utoliko što više odašiljačkih stanica može raditi na istom kanalu, ako udaljenost između njih nije veća od toga.

*Snimanje televizijske slike i tona.* Za snimanje scena i slika služe pri televizijskom prijenosu televizijske kamere. Scene i slike mogu se, međutim, reproducirati i s filmova (v. teleokino, str. 677), s dijapozitiva i s vrpce magnetoskopa (v. str. 680).

*Televizijska kamera* sastoji se načelno od objektiva sa servosistemom, analizatorske cijevi (v. str. 674) s pripadnim uređajima za fokusiranje i otklanjanje analizirajućeg elektronskog snopa, potrebnih mrežnih ispravljača, prepočaćala za video-signal, različitih dodatnih uređaja i elektroničkog tražioca slike, tj. male katodne cijevi na kojoj se vidi reprodukcija slike koja se upravo snima. Tom se cijevi upravlja video-signalom i sinhronizacijskim i potisnim impulsima iz kamere. Blok-sHEMA na sl. 57



Sl. 57. Blok-sHEMA sklopova koji su potrebni za rad analizatorske cijevi u televizijskoj kameri. H horizontalni, V vertikalni, VP signal: video-signal s potisnim impulsima, VPS signal: video-signal s potisnim i sinhronizacijskim impulsima

prikazuje sklopove potrebne za rad analizatorske cijevi u kamери. Za horizontalno i vertikalno otklanjanje analizirajućeg elektronskog snopa privodi se otklonskim zavojnicama analizatorske cijevi struja linearne pilastog oblika. Generatorima tih impulsata upravljaju horizontalni i vertikalni pogonski impulsi iz studija.

Oni upravljaju i privremenim potisnim impulsima kamere koji se privode analizatorskoj cijevi u takvom polaritetu da potiskuju analizirajući snop elektrona za vrijeme horizontalnog i vertikalnog povrata. (Ti potisni impulsi nisu oni koji se prenose prijemniku, nego služe samo za to da bi se rad televizijske kamere mogao pratiti na tzv. monitorima, lokalnim, s kamerom žično spojenim prijemnicima, koji nemaju visokofrekvenčijskog dijela.)

Zajedno s pogonskim impulsima stvaraju se u sinhronizacijskom generatoru složeni potisni impulsi koji podliježu propisima standarda. Pod složenim impulsima razumijevaju se impulsi različitih trajanja i repeticione frekvenčije koji u jednom slijedu djeluju preko zajedničkog voda.

Zadatak je televizijskih kamera (kao i drugih izvora slike ili televizijskih signala) da stvore video-signal koji treba podvrgnuti što moguće manjem broju što jednostavnijih električnih operacija, da bi na prijemnom kraju mogao poslužiti za reprodukciju snimljene slike. U tu svrhu kamera s pomoću svoje analizatorske cijevi sistematski analizira snimanu sliku. Analizirajući snop analizatorske cijevi sadrži informaciju o luminanciji točke analizirane u svakom trenutku i pretvara je u električni signal. Slijed svih trenutnih signala predstavlja video-signal koji se mora još kodirati da bi se jednoznačno odredio položaj snopa u svakom trenutku.

*Uredaji u studiju.* Iz televizijskih se kamera signal privodi kontrolnom mjestu kameru u studiju gdje se pojača na potrebnu razinu. Pojačani signali svih kamera kao i drugih izvora slike (telekina itd.) vode se preko prespojnih polja na kontrolno mjesto video-režije. Tu se slike pojedinih kamera kontroliraju na ekranima monitora, iz njih odabiru slike za prijenos i među sobom mijenju. Konačno se oblikovan televizijski signal (VPS-signal), tj. video-signal pomiješan sa potisnim i sinhronizacijskim impulsima, vodi preko kabela ili preko usmjerene veze do odašiljača slike.

Ton se snima ili reproducira na isti način kao pri radio-prijenosu. Izvori tona priključeni su na kontrolni pult tonske režije, gdje se vrši obrada tona, mijenjanje tona, sinhronizacija tona i slike, ubacivanje tonskih efekata i sl. Tonski se signal vodi zasebnim kanalom ili usmjerrenom vezom do odašiljača tona.

Svi izvori slike vezani su preko razdjelnih pojačala na centralni generator impulsa, čime se postiže da pri prijelazu s jednog izvora slike na drugi ne dolazi do poremećaja (v. poglavje Radio-i televizijski studio, str. 684).

*Prijenos televizijske slike i tona.* Televizijski odašiljač sastoji se od odašiljača slike i odašiljača tona. Frekvenčijsko područje odašiljača za akromatsku televiziju jednako je području za kromatsku televiziju. Odašiljanje vrši se za sliku i ton u I, III, IV i V pojasu frekvenčija (v. str. 653).

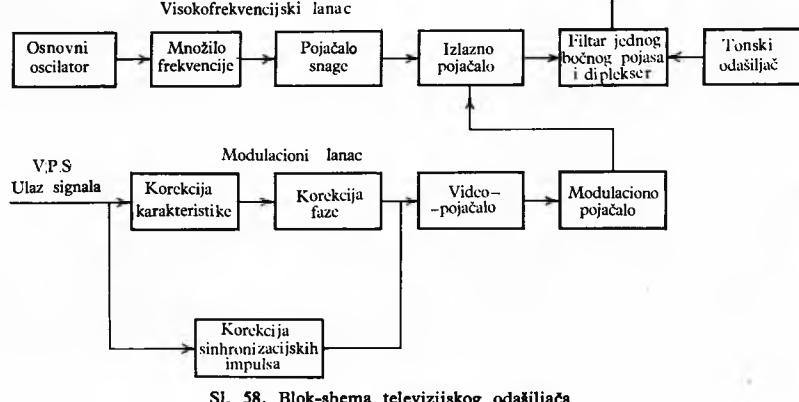
*Odašiljač slike* je amplitudno moduliran. Njegova se snaga kreće između 1 kW i 50 kW, s time da je efektivna snaga zračenja ERP (od engl. Effective Radiated Power, efektivna snaga zračenja) veća za dobitak antene. Televizijski odašiljač je građen prema sl. 58. Visokofrekvenčni lanac počinje osnovnim oscilatorom koji radi na frekvenčiji nižoj od nominalne, da bi se lakše provela stabilizacija frekvenčije. Množila frekvenčije koja slijede daju nominalnu frekvenčiju odašiljanja. Pojačala daju snagu koja se privodi anteni. Video-lanac dobiva iz studija preko kabelske ili usmjerene veze složeni VPS-signal koji se po pravilu dotjeruje u modulacijskom lancu. U njemu se vrši regeneracija impulsa, korekcija linearnosti karakteristike i korekcija faze ili faznog predizobiljeđenja (zbog greške koja nastaje kao posljedica djelomičnog potiskivanja jednog bočnog pojasa). Konstantnost amplitude ulaznog signala postiže se automatskom regulacijom veličine sinhronizacijskih impulsata i automatskom regulacijom pojačanja, koja je upravljena posebnim impulsom bijelog, a uključena je u signal za vertikalno potisno vrijeme unutar nekoliko posljednjih linija. Taj signal, kao i drugi mogući signali za ispitivanje, mogu se izbrisati prije modulacije. Nakon modulacije, koja se vrši u posljednjem ili pretposljednjem stepenu visokofrekvenčnog lanca, signal se privodi filtru za potiskivanje bočnog pojasa i anteni. Modulacija u izlaznom stupnju stvara poteškoće u vezi s linearnošću, budući da je potrebna relativno velika snaga modulirajućeg signala. Osim toga mora i filter za potiskivanje bočnog

pojasa biti dimenzioniran za punu snagu. Modulacija u predstupnju zahtijeva širokopojasni izlazni stupanj.

Kao izlazne elektronke upotrebljavaju se tetrode, a u decimetarskom području klistromi.

Odašiljač tona je potpuno odvojen odašiljača, a po konstrukciji je jednak odašiljaču za radio-prijenos vrlo visokih i ultravisokih frekvencija. Njegova snaga iznosi obično 100...50% snage odašiljača slike. U većini sistema odašiljač tona je frekvencijski moduliran, a devijacija frekvencije iznosi  $\pm 50$  kHz.

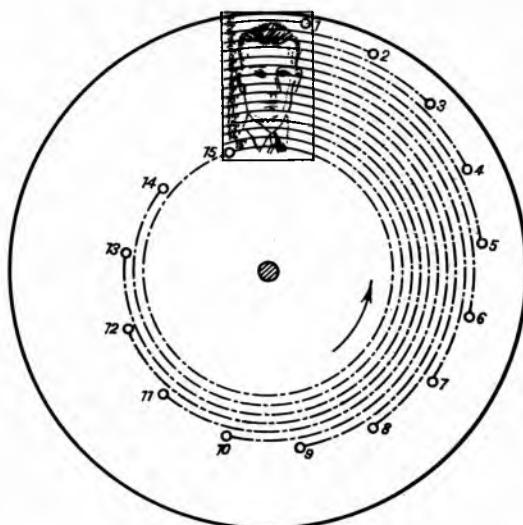
Odašiljači slike i tona mogu raditi ili svaki na svoju antenu ili na zajedničku antenu. Za priključak na zajedničku antenu služi tzv. dipleks, posebna filterska skretnica na principu Wheatstoneovog mosta, kojom se jedan odašiljač odvaja od drugog. U dipleks se ponekad ugrađuje i filter za potiskivanje donjeg bočnog pojasa.



Sl. 58. Blok-sHEMA televizijskog odašiljača

Kao antene za televizijske odašiljače primjenjuju se nizovi širokopojasnih antena.

U početnoj fazi razvoja televizije služila je za analiziranje slike Nipkowijeva spiralno perforirana ploča (1884). Ona je rotirala ispred objekta koji se snimao i time omogućila djelovanje svjetlosnih intenziteta pojedinih točaka snimane slike na fotoceliiju koja se nalazila s druge strane ploče i koja je služila za luminantno-električnu transformaciju (sl. 59). Za električno-luminantnu transformaciju u prijemniku upotrebljavala se neonska sijalica ili specijalna lučnica.



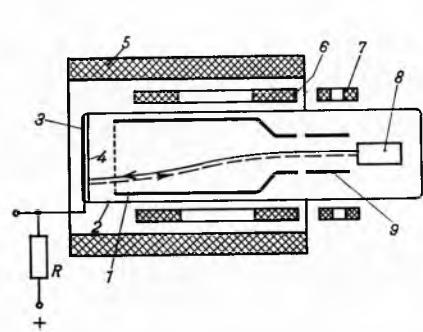
Sl. 59. Analiza slike s pomoću Nipkowijeve spiralno perforirane ploče

Tehnički razvoj moderne televizije počinje između 1930 i 1935, kad su razvijene analizatorske cijevi ikonoskop i katodna cijev za reprodukciju. 1933 je V. K. Zworykin, otkrićem ikonoskopa (v. Elektronika, sastavni dijelovi, str. 468) dao dva krupna poboljšanja: analiziranje slike elektronskim snopom, koje je daleko brže od mehaničkog postupka i bez tromosti, i akumulacija luminantne informacije tijekom čitavog trajanja odredene slike, što je znatno povećalo osjetljivost. Ikonoskop je, međutim, stvarao na slici mrlje zbog sekundarnih elektrona koji se pojavljuju prilikom analiziranja i koji se vraćaju i raspodjeljuju na mozaičnoj površini bez kontrole. Te se mrlje nisu mogle lako ispraviti.

Slijedeći je korak u razvoju analizatorskih cijevi bio ortikon (1939) koji je s jedne strane uskladišten primao luminantne informacije, a s druge vrši elektronsko analiziranje, za razliku prema ikonoskopu, koji obje funkcije vrši s iste strane. U daljem razvoju slijedili su superikonoskop (1940) (v. Elektronika, sastavni dijelovi, str. 468) i superortikon (1946). Ove se cijevi koriste efektom foto-emisije. Fotovodljivim slojem koristi se vidikon (1950), cijev znatno smanjenih dimenzija i jednostavnije konstrukcije. Iz njega je kasnije razvijen plumbikon (1970), koji ima bolju osjetljivost i manji efekt povlačenja (zadržavanja prethodne slike) od vidikona.

Vidikon je najjednostavnija analizatorska cijev. On se upotrebljava u industrijskoj televiziji, za teleokino, ali i za kvalitetna snimanja u televizijskim studijima. To je analizatorska cijev s malom brzinom elektrona u snopu; u njoj je fotovodljivi materijal upotrijebljen i kao svjetlosno osjetljiv element i kao sredstvo za uskladištenje. Sl. 60 shematski pokazuje presjek te cijevi.

S pomoću optike kamere za snimanje projicira se slika kroz prozirnu signalnu elektrodu 3 na tanki poluvodički fotoosjetljivi sloj 4 koji je na tu elektrodu naparen. Zbog unutarnjeg foto-



Sl. 60. Shematski presjek vidikona. 1 Anoda, 2 stakleni balon, 3 signalna elektroda, 4 fotoosjetljivi sloj, 5 zavojnica za fokusiranje, 6 zavojnice za horizontalno i vertikalno otklanjanje snopa, 7 zavojnica za linearizaciju (justiranje), 8 elektronski top, 9 elektroda za fokusiranje i ubrzavanje elektrona

efekta mijenja se proporcionalno intenzitetu svjetla otpor na pojedinim elementima fotoosjetljivog sloja. Svaki element tog sloja djeluje, dakle, kao sićušni kondenzator s bolje ili lošije vodljivim dielektrikumom. Na neosvjetljenim mjestima fotoosjetljivi sloj djeluje skoro kao izolator, pa se na njemu zadržava nabo. Osvojiteljena mesta imaju manji otpor, pa stoga — budući da je signalna elektroda na pozitivnom naponu (+10...100 V) — dolazi tu do neutralizacije naboja i pojave pozitivnih potencijala s unutrašnje strane fotoosjetljivog sloja. Tako dobiveni potencijali, koji na pojedinim točkama sloja odgovaraju intenzitetu svjetla, predstavljaju električnu reprodukciju slike i vrše njeni uskladištenje između dva uzastopna analiziranja.

Elektronski snop koji izlazi iz elektronskog topa 8 biva ubran električnim poljem elektroda 9 i 1, lineariziran (ispravljen) magnetskim poljima zavojnica 7 i fokusiran djelovanjem aksijalnog polja zavojnice za fokusiranje 5. Otklonske zavojnice 6 svojim magnetskim poljima otklanjaju snop u horizontalnom i vertikalnom smjeru radi analiziranja fotoosjetljivog sloja. Tom prilikom elektronski snop svojim elektronima male brzine neutralizira pozitivne potencijale koji se pojavljuju na osvjetljenim točkama, svodeći njihov potencijal na potencijal katode. Preostali elektroni snopa vraćaju se prema elektronskom topu.

Budući da fotoosjetljivi sloj ima relativno mali faktor sekundarne emisije i budući da je napon signalne elektrode relativno nizak, brzina je elektrona koji stižu do fotoosjetljivog sloja skoro jednaka nuli.

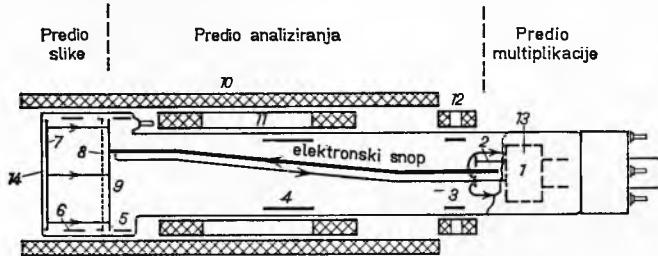
Ispravnim lineariziranjem snopa poljem zavojnica 7 postiže se maksimalna rezolucija, jednoličnost fokusa i jednolična osjetljivost. Postoji, međutim, nejednoličnost snopa u analiziranju, tipična za taj tip cijevi, zbog helikoidne brzinske komponente koja djeluje na snop za vrijeme otklonske periode.

Rad s vrlo niskim naponom signalne elektrode uzrokuje zatamnjivanja kutova slike zbog slabog neutraliziranja snopa u tim predjelima. Srednja struja izbjeganja konstantno teče preko opteretnog otpora R. Međutim, pri analiziranju pojedinih točaka dolazi do trenutačne ravnoteže potencijala, a time i promjene struje u opteretnom otporu. Odgovarajući pad napona na otporniku otpora R koristan je video-signal. Spomenuta se srednja struja

može mjeriti na izlazu i iznosi pri maksimalnom osvjetljenju  $0,2\cdots0,35 \mu\text{A}$ . Vrlo mala struja teče i u potpunoj tami, iako je tada otpor poluvodiča maksimalan. To je takozvana struja tame ili struja crnoga.

**Plumbikon.** Na principu unutarnjeg fotoefekta razvijen je plumbikon, po konstrukciji sličan vidikonu; osnovna je razlika u tome što fotoosjetljivi sloj od olovnog oksida pokazuje znatno manji efekti povlačenja, tj. ne zadržava dugo elemente prethodne slike. Zato se može upotrijebiti za snimanje u živo, tj. za snimanje kontinuiranog kretanja. Preostali signal traje 40 ms, što je samo četvrtina trajanja preostalog signala kod vidikona, uz iste uvjete rada. Nakon 100 ms praktički je na nuli. Suprotno nego kod vidikona, povlačenje kod plumbikona nezнатно ovisi o jakosti rasvjete, a smanjuje se smanjenjem osvjetljenja. Struja crnoga u plumbikonu je za red veličine manja od struje crnoga u vidikonu i prema tome zanemarljivo mala. U pogledu visokofrekvenčkog odziva dubina modulacije iznosi kod 5 MHz 35%, uz struju od  $0,35 \mu\text{A}$ . Prijenosna karakteristika gotovo je sasvim linearna do  $0,35 \mu\text{A}$ , što se može uspješno iskoristiti u kromatskoj televiziji.

**Superortikon** je danas najčešće upotrebljavana analizirajuća cijev; ona ima i najveću osjetljivost. Sastoji se od tri predjela:



Sl. 61. Shematski prikaz superortikona. 1 Elektronski top, 2 ubrzavajuća elektroda koja djeluje i kao dinoda, 3 elektroda, 4 anoda za fokusiranje, 5 deceleratorska elektroda, 6 akceleratorska elektroda, 7 foto-katoda, 8 staklena mrežica, 9 staklo uskladištenja, 10 fokusirajuća zavojnica, 11 otklonsko zavojnica, 12 zavojnica za justiranje, 13 multiplikator, 14 stakleni balon

predjela slike, predjela analiziranja i predjela mnoštva (sl. 61).

**Predio slike.** S pomoću optike televizijske kamere projicira se izoštrena slika na fotokatodu 7, koja se nalazi na unutrašnjoj strani čeonе stjenke staklenog balona 14. Time se dobije na površini fotokatode geometrijska raspodjela svjetlosnih intenziteta koji odgovaraju snimanoj slici. Fotokatoda, koja je na naponu  $\sim -450 \text{ V}$ , pod utjecajem svjetlosti emitira na svakoj osvjetljenoj točki foto-elektrone kojih je količina proporcionalna svjetlosnom intenzitetu. Ti se elektroni ubrzavaju prema staklu uskladištenja 9, koje je na nultom potencijalu. Akceleratorska elektroda 6 služi za ubrzavanje tih elektrona i sprečava rasipanje elektronskih snopova koje bi moglo nastati uslijed prisustva magnetskih polja, a ujedno čuva geometrijsku simetriju slike koja se u vidu električnih naboja stvara na staklu uskladištenja. Na tom su staklu elektroni dovedeni u jak fokus djelovanjem elektrostatickog polja elektrode 6 u predjelu slike i aksijalnim magnetskim poljem jakosti  $175 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ , izazvanim fokusirajućim zavojnicama 10 izvan cijevi. Pred stakлом uskladištenja, koje je debelo svega  $\sim 3 \mu\text{m}$ , nalazi se fina mrežica 8 od tankih staklenih niti kroz koju većina elektrona prolazi na staklo, gdje izaziva sekundarnu emisiju (faktor sekundarne emisije je  $3\cdots5$ ). Sekundarne elektrone oslobođene sa stakla 9 mrežica 8 sakuplja jer je na malo pozitivnijem potencijalu od njega. Tim se postupkom stvara na staklu raspored pozitivnih naboja koji odgovara rasporedu svjetlosnih intenziteta slike, a ujedno se vrši i odgovarajuće povećanje naboja u omjeru faktora sekundarne emisije. Slika je, dakle, na taj način uskladištena na staklu 9. Otpor stakla uskladištenja mora biti toliko mali da naboje sa strane predjela slike može preći kroz staklo u vremenu između dva sukladivna analiziranja, a ujedno mora biti toliko velik da sprečava poprečnu neutralizaciju uskladištenih naboja. Provodenje naboja kroz staklo zapravo je ionska vodljivost: naboje se prenose ionima primjesa u materijalu. Radni vijek superortikona ovisan je o koncentraciji tih iona i njihovoj raspodjeli. Zadržavanje slike

(pamćenje) pripisuje se tome što se na strani predjela slike stvara visokoomski sloj stakla, jer se ioni primjesa odvode za vrijeme procesa neutralizirajućeg analiziranja na stranu analiziranja. Prema tome je život cijevi određen nabojem ukupno odvedenim kroz staklo za vrijeme njegova rada.

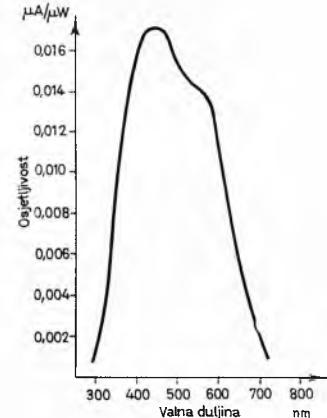
**Predio analiziranja.** Elektronski top 1, koji se sastoji od termionske katode (na potencijalu mase), upravljačke rešetke i ubrzavajuće anode 2, daje elektronski snop čiji je presjek vrlo mali, a čija struja iznosi  $\sim 5 \cdot 10^{-9} \text{ A}$ . Elektroni snopa prolaze kroz cijev brzinom koju određuje napon anode za fokusiranje 4. Snop elektrona biva fokusiran magnetskim poljem zavojnice 10 i otklanjan poljima otklonskih zavojnica 11 za horizontalno i vertikalno otklanjanje. Sve su ove zavojnice smještene izvan cijevi, oko nje. Putanja elektrona snopa ima spiralni oblik. Elektroni se dovode u oštar fokus na staklu pošto su prošli kroz usporavajuće polje deceleratorske elektrode 5. Prema tome, oni dolaze na staklo 9 s približno nultom brzinom. Elektronski snop ostavlja na svakoj točki površine stakla upravo toliko elektronâ koliko je potrebno za neutraliziranje njezinog naboja. Time se svodi potencijal svake pojedine točke na potencijal katode elektronskog topa. Čim je naboј neutraliziran, dalji elektroni više ne mogu da se zadrže na staklu, nego se vraćaju prema elektronskom topu. Snop se vraća približno istom putanjom kojom se kreće prema staklu. Međutim, u povratku je struja snopa amplitudno modulirana zbog gubitka elektronâ na staklu. Ta modulacija odgovara snimanim svjetlosnim intenzitetima i sadrži video-signal. Povratak snopa je izведен tako da elektroni udaraju na prvu dinodu, koja je ujedno i ubrzavajuća elektroda 2. Njena površina ima visok faktor sekundarne emisije. Sekundarni elektroni prve dinode ubrzavaju se i privode multiplikatorskim stupnjevima utjecajem elektrode 3 i elektrostatickim poljem druge dinode.

**Predio mnoštva** sastoji se od multiplikatora 13 na osnovi sekundarne emisije, čije je strujno pojačanje između 1000 i 2000, tako da izlazna struja iznosi 5 do  $30 \mu\text{A}$ .

**Fotokatoda superortikona** je od oksida cezija, srebra i bizmuta, koji imaju vrlo veliku fotoosjetljivost. Fotokatoda je nanesena izravno na unutrašnjoj strani stakla cijevi. Spektralna osjetljivost superortikona, izražena u mikroamerima po mikrovatu zračene energije, prikazana je na sl. 62.

**Izlazni signal superortikona** ima vršnu vrijednost reda veličine  $10 \mu\text{A}$ . Signal na opteretnom otporu je negativan za crno. Postoji određena razlika u izlaznom signalu između cijevi s različitim udaljenosti mrežice od stakla uskladištenja (v. sl. 68). Izlazna impedancija multiplikatora vrlo je velika, tako da se superortikon može smatrati generatorom konstantne struje. Izlazna paralelna kapacitivnost (između anode i dinodâ) iznosi  $12 \text{ pF}$ . Kako signal sadrži određenu razinu crnoga stvorenu za vrijeme potiskivanja, signal se može izravno preko kapaciteta spregnuti na prepojačalo, budući da je potencijal anode relativno vrlo visok.

**Analizirajući snop superortikona** sadrži statistička kolebanja koja se kao šum pojavljuju na reproduciranoj slici. Zbog raspodjele brzine snop je na staklu uskladištenja moduliran slično samo 50%, što znači da je samo 50% iskoristeno. To je posljedica toga što u snopu postoji i određena količina elektronâ premale brzine i s radikalnom komponentom brzine, koji ne mogu učestvovati u neutralizaciji. Ti — zapravo prekobrojni — elektroni nepotrebno povećavaju jakost struje snopa i smanjuju razmak prema šumu. Da bi odnos signala prema šumu bio dobar, potrebno je povećati količinu elektrona u polaznom snopu, ali samo do vrijednosti pri kojoj dolazi upravo do neutralizacije uskladištenih naboja na staklu. Ispod te vrijednosti stepen modulacije nije



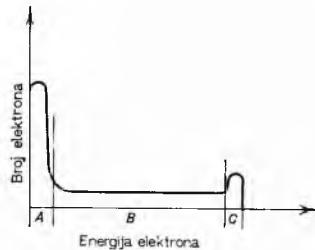
Sl. 62. Spektralna osjetljivost superortikona

dovoljan, a iznad nje raste šum. Regulacija struje snopa provodi se podešavanjem napona na upravljačkoj rešetki elektronskog topa (Wehneltovom cilindru). I raspon rasvjete mora biti dovoljan da se u potpunosti iskoristi kapacitet uskladištenja. Povećanjem kapaciteta i malim povećanjem prednapona mrežice može se poboljšati razmak prema šumu. Međutim, povećanje kapaciteta traži veći raspon rasvjete, tako da je i tu potreban kompromis. Sam odnos signala prema šumu varira s drugim korijenom struje snopa potrebne za neutralizaciju naboja na staklu. Primjećeno je da se šum može smanjiti smanjenjem razmaka između mrežice i stakla uskladištenja. Šum superortikona ima spektralnu karakteristiku bijelog šuma (v. poglavlje Šum, str. 627).

*Prijenosna karakteristika superortikona* prikazana je na sl. 63. Zasićenje na karakteristici nastaje u točki gdje se staklo nabija na potencijal mrežice i na tom potencijalu ostaje stabilizirano sekundarnom emisijom. U toj točki mrežica više ne hvata sve sekundarne elektrone stakla, već se oni preraspodjeljuju na susjedne površine. Takvo djelovanje je modificirano prirodnom brzinske raspodjele sekundarnih elektrona, prikazane na sl. 64.



Sl. 63. Prijenosna karakteristika superortikona



Sl. 64. Energetska raspodjela sekundarnih elektrona u superortikonu

Brzina većine elektrona manja je od 1 V, iako je gornja granica brzine između 3 i 5 V. Elektroni područja označenog slovom A na slici napuštaju staklo uskladištenja na niskom naponu i privučeni su mrežicom zbog njenog ubrzavajućeg napona od +2 V. Kad se napon stakla približi naponu mrežice, a svjetlosni intenzitet je izazao veću količinu elektrona, elektroni napuštaju površinu stakla s istim potencijalom kakav je na mrežici. Zbog toga nema privlačne sile koja bi sakupila sve te elektrone i oni slobodno prolaze kroz mrežicu u negativno polje. Kako im je brzina mala, ti su elektroni odbijeni negativnim poljem i prisiljeni da se vrate u staklo i mrežicu. Oni mogu biti prihvaćeni bilo od mrežice bilo od stakla, jer su i mrežica i staklo na istom potencijalu. Dolazeći na staklo oni neutraliziraju nabolj, jer im je brzina premala da bi faktor sekundarne emisije bio veći od jedinice. U tome je trenutku nabijanje stakla ograničeno na potencijal mrežice i on je na tome stabiliziran, odnosno ograničen, što proizvodi koljeno karakteristike.

Brzina v elektrona često se izražava naponom  $U_a$  između elektrode koja emitira elektron i elektrode prema kojoj se elektron kreće. Za brzinu malu prema brzini svjetlosti važi naime relacija  $v = \sqrt{\frac{2e}{m}} U_a$ , gdje e znači nabolj, a m masu elektrona. Tako npr. brzina 10 V znači brzinu 1874 km/s.

Mala količina elektrona, brzine nekoliko volti, također je oslobođena i prelazi odredene udaljenosti od svog ishodišta prije nego se opet vrati na staklo. Ako je brzina dovoljno mala, tako da je faktor sekundarne emisije manji od jedinice, ti elektroni neutraliziraju površinu stakla na koju dolaze. Ako je njihova brzina dovoljno velika pa prelaze veće udaljenosti, oni padaju na područja iz kojih nisu proizašli, pa neutraliziraju susjedne površine i stvaraju crn rub oko svjetlih površina.

Sekundarni elektroni, brzine nekoliko volti (područje B na sl. 69), prelaze veće udaljenosti, ovisno o tim brzinama. Neki od njih imaju dovoljno energije da prouzroče pozitivni nabolj tamo gdje završavaju. Takvi elektroni izazivaju bijelu površinu (engl. halo effect, pojava oreole) oko crnog područja.

Sekundarni elektroni vrlo velikih brzina (područje C na sl. 69) zapravo su reflektirani fotoelektroni. Oni odlaze natrag, u blizinu fotopovršine, pa se ponovo vraćaju staklu, prolazeći svaki put kroz mrežicu. Ti su elektroni dobro fokusirani i stvaraju povratnu sliku (engl. ghost, sablast), jer zakretno magnetsko polje koje

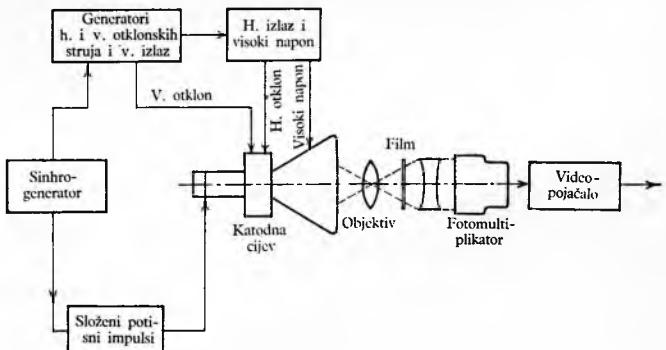
vrši rotaciju putanje fotoelektrona u primarnom putu od fotokatode do stakla uskladištenja zatreće i ove sekundarne elektrone velikih brzina, pa se pri drugom povratu pojavljuju na drugome mjestu. Taj drugi povrat to je dalji od prvog što su oni pošli dalje od centra. Zbog toga je karakteristika superortikona kompleksna, osobito kad radi s jakim intenzitetima iznad koljena. U tom je slučaju izlazni signal modificiran susjednim površinama. Međutim, rad u području iznad koljena ima svojih posebnih prednosti. Najprije, on daje kontrolu prosječne prijenosne karakteristike. Rad s dvostruko većom količinom svjetlosti potrebne za koljeno karakteristike daje signal koji je približno komplementaran s karakteristikom kineskopa i za to stvara ugodnu raspodjelu sivila. U tom slučaju karakteristika nije ravna, a eksponent gama iznosi  $\gamma = 0,5 \dots 0,6$  (v. str. 635).

*Rezolucija superortikona.* Oparanje rezolucije u ovisnosti o temperaturi stakla uskladištenja pokazuje sl. 65. Inače, preveliki temperaturni gradijenti u cijevi uzrokuju migraciju cezija na hladnije površine. Takav cezij na staklu uskladištenja uzrokuje poprečnu vodljivost, što smanjuje razlučivanje.

Rezolucija (razlučivanje) ograničena je, osim konačnim presekom analizirajućeg snopa, također djelovanjem otklovnih polja. Ta polja uzrokuju poprečno kretanje fotoelektronskih snopova, što eliminira sitne detalje. Zbog toga treba predio slike superortikona pomno oklopiti i zaštiti ga od polja horizontalnog i vertikalnog otklona.

Pogoršanje rezolucije u kutovima slike treba korigirati dinamičkim fokusirajućim naponom ili modulacijom fokusa elektrode za fokusiranje (v. sl. 61). Napon modulacije je u tom slučaju parabolnog valnovog oblika.

*Teleprojektor s fotočelijom* služi za analiziranje, radi dajljinskog prijenosa, statičkih slika kao što su dijapozitivi, filmske trake, pa i slike na neprozirnoj podlozi. Shema takvog aparata za slike na filmu ili drugom prozirnom materijalu prikazuje sl. 66.



Sl. 66. Shematski prikaz teleprojektora s fotočelijom (fotomultiplikatorom)

Slika se analizira standardnim televizijskim postupkom po linijama pomoću zrake koja se proizvodi u katodnoj cijevi, tj. kineskopu posebne izvedbe. Svjetleća točka koja se pojavljuje na ekranu te katodne cijevi obilazi u ritmu horizontalne i vertikalne frekvencije cijeli raster; zraka svjetla koja iz nje izlazi usmjerava se optičkim sistemom i prolazi kroz film ili drugi prozirni nosilac slike koju treba prenijeti na daljinu. Po izlazu iz filma intenzitet svjetlosti (luminacija) moduliran je zacrnjenjem slike. Tako modulirana svjetlost prenosi se optikom na fotočeliju, gdje se pretvara u električni signal, koji se nakon pojačanja u fotočelijskom multiplikatoru pojača još u video-pojačalu. Zahtjevi koji se postavljaju takvoj specijalnoj katodnoj cijevi su veliki. Traži se da svjetleća točka koja opisuje raster bude vrlo oštra i što manja, da ekran bude ravan, a sloj svjetlećeg materijala (fosfora) homogen i sitnozrnat, te da ima što manji dosjaj (perzistenciju). Na-

dalje su potrebiti: snop za visoku rezoluciju, jednolična fokusacija, što se postiže posebnim fokusirajućim zavojnicama, i velika izlazna snaga. Ekstremno mali dosaj potreban je zato što se pretvaranje u električni signal mora odnositi samo na element koji se toga trenutka analizira, da se trenutačnoj analizi ne bi pribrajali i utjecaji prethodnih elemenata slike, što bi dovelo do stvaranja neželjenih signala. Budući da fosfori praktički imaju veći dosaj, treba elektroničkom sklopovnom tehnikom eliminirati njegov negativni utjecaj.

Sistem s fotočelijom primjenjuje se i u akromatskoj i u kromatskoj televiziji. Za primjenu u jednom i drugom slučaju moraju upotrijebljene fotočelije (fotomultiplikatori) biti osjetljive prema određenom dijelu svjetlosnog spektra.

Sistem s fotočelijom (koji se u anglo-američkoj literaturi zove i sistem s letećom točkom, flying spot system) upotrebljava se u televiziji za prikazivanje slika s pomoću episkopije i dijaskopije, kao i za prikazivanje filmova. Odnos signala prema šumu kod dijaprojektora veći je nego kod filmskih projektori zato što nema poteškoća od lošije optičke izdašnosti zbog pokretnog mehanizma.

Za filmske projektoare ili telekino može se upotrijebiti sistem s fotočelijom uz uvjet da mehanički sistem u zajednici s optičkim ostavlja dovoljno vremena da se svaka slika izanalizira u cijelosti. Postoje različiti načini takvog ostvarenja. Poteškoća nastaje zbog toga što taj sistem ne može uskladištiti sliku i što katodna cijev mora vršiti analizu dok je film statički pred rasterom statičke katodne cijevi. Sistem sa skokovitim kretanjem filma, tj. sistem s malteškim križem (v. Kinematografija) omogućuje filmu da bude statičan za vrijeme aktivnog analiziranja. Pomicanje se vrši za vrijeme vertikalnog potisnog impulsa. Taj se sistem uspješno primjenjuje kod 16-milimetarskog filma. Sistem s kontinuiranim kretanjem filma omogućuje analiziranje pojedine linije dok se film kontinuirano kreće u vertikalnom smjeru. U tom slučaju treba, da bi se postigle poluslike, na pogodan način ili pomicati film- ili (električki) liniju analiziranja.

Svjetlost koja se prenosi kroz film pri kontinuiranom kretanju ili skokovitom pomicanju skuplja se konvencionalnim optičkim sistemom i fotočelijskim detektorom pretvara u električni signal radi dobivanja video-signala.

Sistem s fotočelijom ne može se izravno usporediti s analizirajućim cijevima u pogledu odnosa signala prema šumu jer glavnina šuma sistema fotočelija nastaje u većim intenzitetima luminancije, dok se glavnina šuma, npr. kod superortikona, pojavljuje u tamnim predjelima. Gama-korekcija mijenja karakteristiku šuma i potiskuje ga u tamnija područja. Primarni šum ima u sistemu s fotočelijom karakteristiku bijelog šuma (v. poglavje Šum, str. 627, 631, 637.)

Z. Smrkic

**Reprodukcijsa televizijskog signala.** Za prijem signala koji se prenose bežičnim ili žičnim putem, a koji sadrže informaciju o pokretnoj slici i pripadnom zvuku, ili samo o slici, služe televizijski (TV) prijemnici. Njihov je zadatak da primljene električne video-signale pretvore na ekranu svoje katodne cijevi (kinoskopa) u optičku sliku.

U radio-difuziji provodi se prijenos televizijskog programa pretežno bežičnim putem. Postoji, međutim, i kabelska televizija, koja prenosi svojim pretplatnicima televizijski program preko kabela. Industrijska, medicinska i znanstvena televizija primjenjuju pretežno kabelski prijenos, a da pri tome često ne prenose zvuk.

Pri bežičnom i kabelskom prijenosu televizijskog signala odašiljač i prijemnici čine jedan sistem, koji mora imati neke zajedničke električne karakteristike da bi se prijenos mogao ostvariti. Postoji nekoliko vrsta televizijskih sistema kojima su električne karakteristike standardizirane (v. tablicu 3). Prijemnici jednog sistema nisu prikladni za prijem programa u drugom sistemu. Međutim, izraduju se i višesistemski TV-prijemnici s preklapanjem od jednog sistema na drugi. Televizijski prijemnici mogu biti opremljeni za prijem slika u boji (za kromatsku televiziju) ili samo za prijem crno-bijelih slika (za akromatsku televiziju). Prijemnici kromatske televizije redovito su kompatibilni s akro-

matskim prijenosom, a akromatski prijemnici rekompabilni s kromatskim prijenosom.

**Konstrukcija televizijskog prijemnika.** Kod suvremenih prijemnika za radiodifuzijski televizijski prijenos reprodukcija slike vrši se isključivo pomoću specijalne katodne cijevi, tzv. kinoskopa (v. Elektronika, sastavni dijelovi, str. 467). Zastor (ekran) te cijevi svijetli uslijed udara pokretnog snopa elektronâ koji se emitiraju iz užarene katode, usnopljavaju i ubrzavaju elektrostatičkim poljima i otklanjaju većinom magnetskim poljima. Oblik zastora suvremenih prijemnika vrlo je sličan pravokutniku s omjerom stranica od 3 : 4 do 4 : 5. Kineskop je pričvršćen na kućište (kutiju, kabinet) koja je većinom od drveta i s dodacima od plastike i metalna čini estetski oblikovanu cijelinu (sl. 67). Prednju stranu prijemnika zauzima najvećim dijelom zastor kineskopa, a tu su obično smješteni i organi za rukovanje. Oblik i dimenzije katodnih cijevi su standardizirani, a pojedini se tipovi razlikuju po dimenzijama zastora, po maksimalnom otklonском kutu elektronskog snopa i po električnim karakteristikama (v. str. 679). Suvremene katodne cijevi imaju otklonski kut 90°, 110° ili 114°. Mjera za označavanje dimenzija zastora je duljina dijagonale izražena u centimetrima ili palcima. Upotrebljavaju se katodne cijevi s dijagonalom od ~12 cm pa do preko 70 cm. Najčešće su dimenzije zastora za akromatsku televiziju između 28 i 66 cm, a za kromatsku između 56 i 67 cm. Veličina cijelog prijemnika najviše je uvjetovana dimenzijama ekrana i duljinom kineskopa.



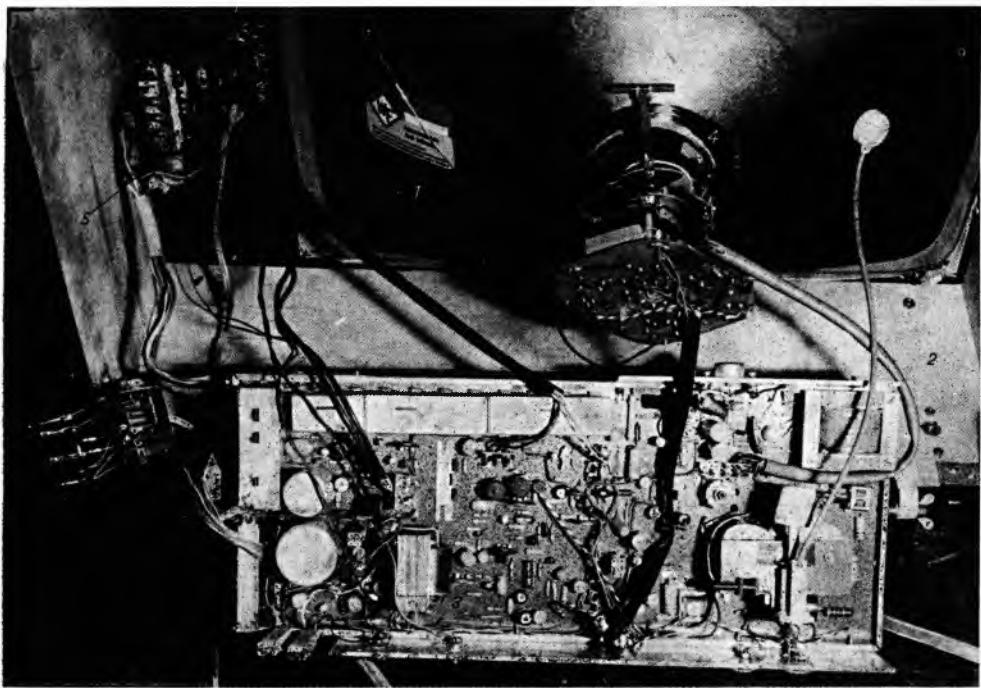
Sl. 67. Prijemnik stolnog tipa za akromatsku televiziju

Zbog toga se za prijemnike koji se ne prenose (stolne, konzolne i kabinete) upotrebljavaju veće katodne cijevi, od 47 cm dalje, a prijenosni prijemnici se rade najčešće s kineskopima dimenzije od 28 do 44 cm. U kućištu prijemnika smješten je i zvučnik (zvučnici), koji služi za reprodukciju zvuka, i ostali električni elementi i sklopovi. Ovi potonji smješteni su na »šasiji« koja osigurava mehanički stabilan položaj svih dijelova i omogućava da oni električki ispravno funkcionišu (sl. 68).

Toplina koja se stvara prilikom rada prijemnika odvodi se najviše konvekcijom pomoću zraka koji struji kroz otvore poklopca na stražnjoj strani prijemnika i slobodno cirkulira.

**Djelovanje akromatskog televizijskog prijemnika.** Televizijski prijemnici zapravo su kombinacija dvaju prijemnika, jednog za prijem slike i drugog za prijem tona, koji imaju zajedničke ulazne sklopove. Oni se samo iznimno grade kao direktni prijemnici (amaterski, jednokanalni). Suvremeni televizijski prijemnici izrađuju se isključivo na superheterodinskom principu (v. str. 593). Oni se mogu podijeliti na dvije izvedbe prema tome koliko je sklopova zajedničkih; to su izvedbe po sistemu paralelnog tona i po sistemu interkerijer.

U prijemnicima sistema paralelnog tona signal slike odvaja se od signala tona odmah iza štopena za miješanje i zatim se jedan i drugi signal odvojen u posebnim sklopovima paralelno pojačavaju i obraduju. U tzv. sistemu interkerijer s pomoćnim nosiocem za prijenos zvuka (engl. intercarrier) signali slike i tona zajedno se obraduju i pojačavaju sve do video-detektora, iza kojeg se tek

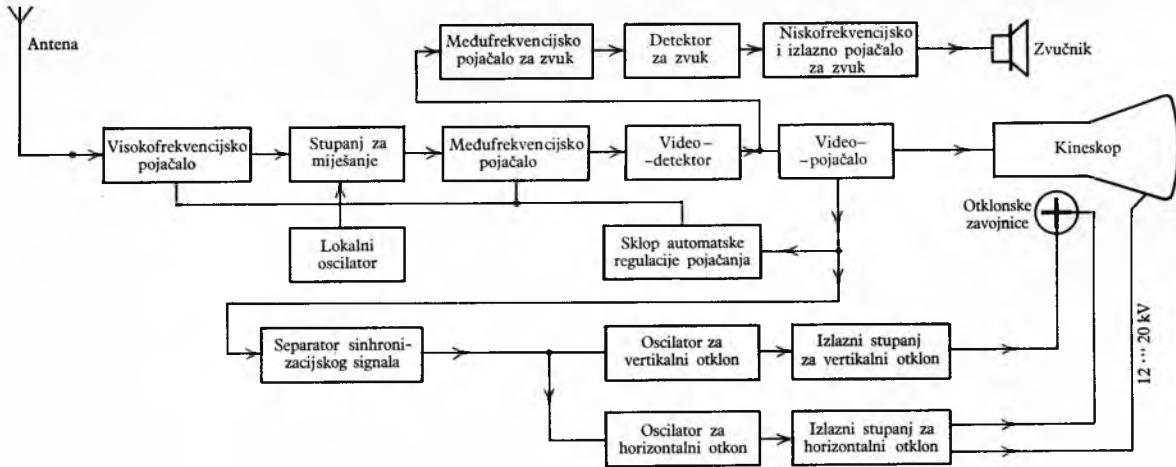


Sl. 68. Unutrašnjost prijemnika za akromatsku televiziju. 1 Kućište, 2 kineskop, 3 šasija izrađena tehnikom tiskanih spajeva, 4 otklonske zavojnice, 5 sklop organa za rukovanje

razdvajaju. Suvremeni televizijski prijemnici TV-sistemâ kod kojih je nosilac zvuka frekvencijski moduliran izvode se isključivo po sistemu interkerijer. Na sl. 69 prikazana je blok-sHEMA akromatskog prijemnika sistema interkerijer.

Signali koji dolaze iz antene bivaju u ulaznom visokofrekvenčnom pojačalu najprije pojačani, zatim se u stepenu za miješanje miješa ulazni signal sa signalom lokalnog oscilatora i time signal transponira na međufrekvenciju. Visokofrekvenčno pojačalo, stupanj za miješanje i lokalni oscilator smješteni su u posebnoj jedinici koja se zove *birač kanala* ili *tuner* (engl. tuner),

pobuduju izlazne otklonske stupnjeve (izlazni stupanj za vertikalni otklon i izlazni stupanj za horizontalni otklon) koji daju snagu potrebnu za otklanjanje elektronskog snopa pomoću otklonskih zavojnica. U transformatoru izlaznog stepena za horizontalni otklon pojavljuju se prilikom povratka snopa impulsi visokog napona koji se nakon dodatnog transformiranja i ispravljanja iskorištavaju za dobivanje visokog istosmernog napona od 12 do 20 kV u akromatskim i od 25 kV u kromatskim prijemnicima. Taj visoki napon služi za ubrzavanje elektrona u kineskopu. Velika brzina elektronskâ potrebna je da bi se postigla dovoljno svjetla slika.



Sl. 69. Blok-sHEMA prijemnika za akromatsku televiziju

a koja je izrađena tako da omogućuje biranje televizijskog kanala s pomoću pripadnog preklopnika. Zatim se transponirani signal pojačava u međufrekvenčnom pojačalu, koje mora biti širokopojasno i propuštaći pojas frekvencija od 5,5 MHz. Informacija o sadržaju slike koja se nalazi u video-signalu dobiva se u video-detektoru demodulacijom pojačanog vala nosioca slike i jednog njegovog bočnog pojasa. Poslije pojačanja u video-pojačalu taj se luminantni signal dovodi na katodu kineskopa, gdje upravlja intenzitetom svjetla. Nakon pojačanja nosioca zvuka i njegovih bočnih pojasa u međufrekvenčnom pojačalu za zvuk, zvučni se signal demodulira nakon prolaska kroz limiter i diskri-

minator u detektoru za zvuk. Tako dobiveni niskofrekventni signal zvuka, koji se u niskofrekvenčnom i izlaznom pojačalu za zvuk dalje pojačava, dovodi se zvučniku.

Do sada opisani skloovi više su ili manje slični odgovarajućim skloovima uobičajenih amplitudno moduliranih i frekvencijski moduliranih prijemnika (v. str. 591). Specifični su za televizijski prijemnik skloovi koji služe za pretvaranje električnog video-signala u optičku sliku. To su skloovi za pojačanje video-signala i sinhronizacioni skloovi koji služe za pomicanje snopa elektrona u kineskopu, a kojih rad mora biti sinhroniziran s radom identičnih skloova u kamери za snimanje predajnika. Taj tzv. sinhronizacijski signal odvaja se iz video-pojačala od signala slike u sklopu za odvajanje, tj. u separatoru sinhronizacijskog signala i vrši sinhroniziranje oscilatorâ za vertikalni i horizontalni otklon. Ti oscilatori

pobudjuju izlazne otklonske stupnjeve (izlazni stupanj za vertikalni otklon i izlazni stupanj za horizontalni otklon) koji daju snagu potrebnu za otklanjanje elektronskog snopa pomoću otklonskih zavojnica. U transformatoru izlaznog stepena za horizontalni otklon pojavljuju se prilikom povratka snopa impulsi visokog napona koji se nakon dodatnog transformiranja i ispravljanja iskorištavaju za dobivanje visokog istosmernog napona od 12 do 20 kV u akromatskim i od 25 kV u kromatskim prijemnicima. Taj visoki napon služi za ubrzavanje elektrona u kineskopu. Velika brzina elektronskâ potrebna je da bi se postigla dovoljno svjetla slika.

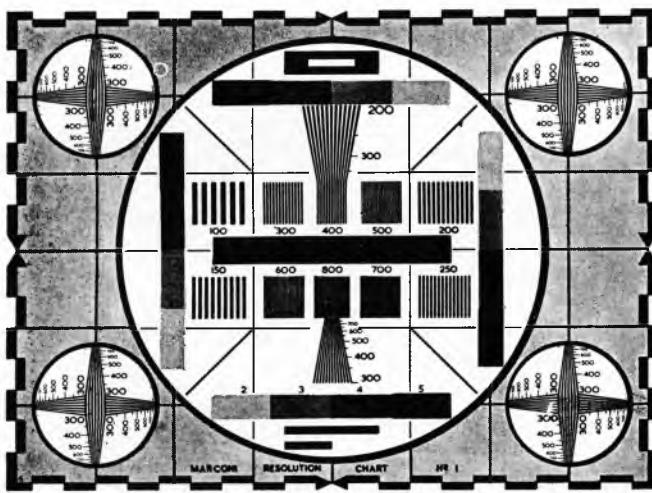
**Napajanje televizijskih prijemnika.** Električna energija potrebna za rad prijemnika dobiva se iz električne mreže ili elektrokemijskih izvora (galvanskih elemenata ili akumulatora). Baterije galvanskih elemenata ili, češće, akumulatori upotrebljavaju se za prijenosne prijemnike. Takav način pogona je kapacitetom izvora vremenski ograničen na nekoliko sati, poslije čega se moraju izmjeniti baterije ili ponovo nabit akumulator.

**Primjena poluvodiča u proizvodnji televizijskih prijemnika.** Kao aktivni elementi, koji uz pojačavanje električnih signala u televizijskom prijemniku vrše i različite druge funkcije, upotrebljavaju se danas podjednako i elektronske cijevi i poluvodički elementi, tranzistori. Prijemnici s miješanom upotrebom obiju vrsta elemenata nazivaju se hibridni. Za prijenosne prijemnike

upotrebljavaju se skoro isključivo poluvodički elementi, zbog njihovih malih dimenzija, niskog pogonskog napona i malog potroška snage. U posljednje vrijeme počinje i primjena monolitskih integriranih krugova u televizijskim prijemnicima. Jedan takav krug nadomještava veći broj tranzistora, dioda i otpornika, pa omogućava uštedu volumena i pojednostavljenje konstrukcije prijemnika. Tehnički razvoj televizijskih prijemnika pokazuje težnju za sve većom primjenom poluvodičkih elemenata na sve vrste prijemnika, pa će za nekoliko godina takvi prijemnici bez sumnje prevladati.

**Upotreba televizijskog prijemnika.** Za prijem bežično prenesenog televizijskog programa potrebna je antena koja mora udovoljiti određenim zahtjevima da bi prijem bio kvalitetan. Zahtjevi su to stroži što je manja jakost elektromagnetskog polja na mjestu prijema. Kad je jakost polja mala, treba upotrijebiti antene s velikim dobitkom, koje se obično izvode kao različite varijante Yagi-antene (v. str. 612). Važno je prilagodenje karakterističnih impedancija antene, antenskog voda i ulaznih sklopova prijemnika. Većinom se upotrebljavaju sistemi s karakterističnom impedancijom  $240 \dots 300 \Omega$  simetrično prema zemlji. Antenu, koja ima više ili manje oštro usmjerenu prijemnu karakteristiku, treba pažljivo usmjeriti, tako da prima željeni val izravno od odašiljača, a ne valove odbijene od prirodnih ili umjetnih zapreka, npr. kuća. Prijem kombinacije izravnog i odbijenih valova stvara na zastoru prijemnika višestruke slike. Gledanje programa u mračnoj prostoriji nije preporučljivo jer zamara oči. Najpovoljnije prilike za gledanje televizijskog programa dobivaju se u umjereno osvjetljenoj prostoriji; pri tome svjetlo ne treba da pada izravno na zastor prijemnika, jer bi to smanjilo kontrast slike. Udaljenost gledaoca od zastora također je važna za postizanje najboljeg utiska i što manjeg zamaranja očiju. Kad se gleda iz male udaljenosti, vidi se linijska struktura slike, a kad je udaljenost prevelika, oko više ne može razlikovati sitne detalje. Smatra se da je najpovoljnija udaljenost jednaka  $5 \dots 10$  visina zastora. Svjetlinu i kontrast slike treba prilagoditi uvjetima rasvjete u prostoriji. Važno je da njihov odnos bude takav da se postigne dobra gradacija osvjetljenja, što znači da crni dijelovi slike budu stvarno crni, a svi tonovi sivog u prijelazu na bijelo jednoliko zastupljeni.

**Test-slike** koje se emitiraju na početku prijenosa programa služe za ispravno podešavanje televizijskog prijemnika i daju izvjesne podatke o njegovom stanju (sl. 70). Cjelokupna test-



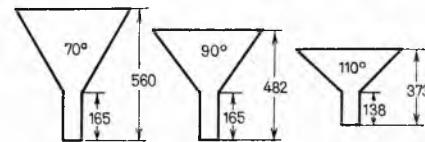
Sl. 70. Test-slika za podešavanje i provjeru rada televizijskog prijemnika

-slika pokazuje oštrinu, položaj, eventualnu deformiranost slike i jednoličnost osvjetljenosti. Pojedini detalji test-slike služe npr. za podešavanje osvjetljenja i kontrasta (polja sa 4 debele crte sa stepenima sivila), namještanje visine i širine slike (svi krugovi), podešavanje pravilnog položaja slike i njezino lineariziranje (4 kružića). Neki detalji pokazuju i stanje nekih sklopova: kvalitet pojačala (vertikalne lepeze s pripadnim brojevima), utjecaj veličine tačke i pravilnost sistema proreda (horizontalne lepeze), kvalitet sinhronizacije i fokusiranja (brojevi različitih veličina), kvalitet pojačala u donjem dijelu frekvencijske karakteristike (paralelne crne crte), linearnost horizontalnog osculatora (vertikalne paralelne linije), itd.

B. Rihnovski

**Kineskop** je katodna cijev koja služi za električno-luminantnu transformaciju u akromatskoj televiziji. Sastoje se od staklenog balona s grlom cijevi, elektronskog topa i ekrana. S vanjske se strane nalazi otklonski sistem i magnetska leća koja vrši fokusaciju snopa na ekran (v. *Elektronska optika*). Otklonski sistem su horizontalna i vertikalna zavojnica koje na elektromagnetskom principu vrše otklon reproduksijskog snopa u ritmu televizijskih sinhronizacijskih impulsata. Da bi reprodukcija slike na ekranu bila zadovoljavajuća, kineskop mora dati dovoljnu oštrinu, luminanciju i kontrast.

**Dimenzije kineskopa.** U staklenom je balonu vakuum pa staklo mora da izdrži atmosferski pritisak. Zbog toga je debljina stakla kineskopa dijagonale 53 cm u sredini ekranu  $\sim 8$  mm. Sam ekran je iz konstruktivnih razloga malo zakrivljen i zbog toga nastaju u slici geometrijska izobličenja koja treba drugim sredstvima otkloniti. Odnos stranica je većinom 4 : 5; kako je na odašilačkoj strani standardiziran omjer 3 : 4, u prijemniku se gubi nešto na horizontalnoj dimenziji slike. Veličina cijevi se izražava duljinom dijagonale ekranu. Uz veći ekran i cijev je dulja i time je veća treća dimenzija prijemnika. Da bi ta dimenzija ipak uz danu veličinu ekranu ostala što manja, prešlo se na proizvodnju cijevi s većim maksimalnim otklonom elektronskog snopa. Kutovi otklona su  $70^\circ$ ,  $90^\circ$  i konačno  $110^\circ$ . Pripadajuće duljine cijevi iznose 56, 48 i 37 cm (sl. 71).



Sl. 71. Kineskopi iste veličine ekranu (53 cm) s različitim kutovima otklona elektronskog snopa

**Ecran** je prednji dio kineskopa na kojem se reproducira slika. Sastoje se od sloja posebnih vrsta fosfora; na njima se kinetička energija elektronskog snopa transformira u svjetlosni intenzitet. Luminancija površine na koju je udario elektronski snop proporcionalna je naponu ubrzavanja i struci snopa, tj. količini elektronâ koji u jedinici vremena udare na element ekrana. Kako je snop moduliran video-signalom, on će izazvati na različitim mjestima, prema sinhronizaciji rastera, različite svjetlosne intenzitete i time ostvariti akromatsku sliku. Na stražnjoj se strani ekrana nalazi tanak sloj aluminija koji prekriva čitavu unutarnju površinu staklenog balona. Na njega je priključen visoki napon preko vodljivog grafitnog sloja (koji se često zove i »quadag«-sloj) prema trgovackom nazivu za koloidnu suspenziju grafita u vodi), stoga ukupni prostor cijevi između anode i ekrana nema elektrostatičkog polja. Preko grafitnog sloja odvodi se naboj ekrana, a povećava se i svjetlosna izdašnost. Naime, fosfor bi izazvani svjetlosni intenzitet zračio ne samo prema prednjoj strani, već i prema stražnjoj. Zračenje prema stražnjoj strani bilo bi izgubljeno, kad ga aluminijski sloj ne bi reflektirao prema naprijed.

**Zasićenje svjetlosnog intenziteta.** Ovisnost svjetlosnog intenziteta o struci snopa pokazuje zasićenje pri određenoj jakosti struje snopa. Na kojem će opterećenju ekrana ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ), odnosno na kojem svjetlosnom intenzitetu, nastati zasićenje, ovisi o materijalu; na slojevima od silikata nastaje s porastom struje zasićenje kasnije nego na slojevima od sulfida. Zato se za kineskope koji služe za projekciju televizijske slike i prijelaz s jednog televizijskog sistema na drugi upotrebljavaju silikati cinka, kadmija ili kalija. Za aktiviranje služe titan i mangan.

**Svetlosna izdašnost** ovisi o brzini elektronâ koju određuje visoki napon kineskopa. Pri konstantnoj struci snopa raste izdašnost proporcionalno naponu. To se tumači time što elektroni veće energije dublje prodiru u sloj fosfora, pa se pobuduje veći broj njegovih atoma. Inače je prosječna izdašnost kineskopa  $6 \dots 8$  lumena po vatu, a pada s vremenom upotrebe.

**Dosjaj.** Svjetlosni intenziteti izazvani na ekranu pod utjecajem struje snopa elektrona rastu i padaju u vremenu po eksponentijalnom zakonu. Proizlazi da je trajanje zračenja svjetlosti određenog intenziteta dulje od pobude. Zračenje svjetlosti nakon prestanka pobude zove se dosjaj; ono je ovisno o materijalu ekrana.

Dosaj je važan za televizijsku reprodukciju i utječe na pojavu treptanja. Dosaj je koristan samo ukoliko popunjava vremenski razmak između suksesivnih poluslika, odnosno slike, a zatim bi trebalo da trenutno padne na nulu. Tom idealu raspoloživa rješenja djelomično udovoljavaju. Pri izrazitom neslaganju s tim zahtjevom dolazi do preklapanja slike, što kod pokretnih objekata stvara efekt povlačenja. Ujedno dolazi do integriranja šuma pojedinih poluslika, pa je utisak smetnje veći.

*Faktor sekundarne emisije*, kojim je dan omjer sekundarnih i primarnih elektrona na ekranu, također utječe na rad kineskopa. Elektroni udaraju na ekran brzinom koja je odredena anodnim naponom. Pod malim anodnim naponima faktor je manji od jedan i nema pozitivnog nabijanja ekranu. S porastom anodnog napona rastu faktor sekundarne emisije i potencijal ekranu, dok taj faktor ne postane veći od jedinice. Sekundarni elektroni putuju do vodljivog obloga staklenog balona cijevi i potencijal se ekranu stabilizira na vrijednosti faktora jedan. Dalji porast napona je, dakle, beskoristan. Međutim, sami sekundarni elektroni zbog različitih brzina ne dopiru svi do anode, već se jedan dio vraća na ekran. Potencijal ekranu bit će, naime, za nekoliko volti pozitivniji od anodnog napona, jer je faktor sekundarne emisije stalno nešto veći od jedinice. Višak sekundarnih elektrona vraća se, stoga, na ekran.

*Luminancija i kontrast*. Sve što je upravo rečeno govori o tome da je postiziva luminancija ekranu ograničena. Metaliziranje unutarnje strane ekranu omogućuje nešto veću luminanciju zbog veće moguće brzine udaranja primarnih elektrona, ali i to samo do određene granice. Time je, dakle, ukupni raspoloživi kontrast kineskopa također ograničen. Kod prosječnih kineskopa on iznosi  $1000 : 1$ , uz uvjet da na ekranu nema stranog svjetla. Taj je kontrast zbog raspanja svjetlosti smanjen na sitnim detaljima u odnosu prema većim površinama. To ide tako daleko da kontrast reprodukcije sitnih detalja pada na jednu petinu do jednu desetinu kontrasta velikih površina, uz isti raspon luminancije originala. Na veličinu kontrasta utječe također refleksije u staklu i upadna svjetlost okoline. Refleksije u staklu mogu opet biti dvojake: prema natrag i prema naprijed.

Kontrast se ocjenjuje količinom stepenica tzv. sivog klina (v. str. 679) koje oko na test-slici još razlikuje. Da bi se dvije takve stepenice razlikovale, mora razlika luminancija imati određeni minimum. Taj minimum je kod manjih luminancija manji, a kod većih sve veći. Osim toga je ovisan o stanju adaptacije oka, koje opet zavisi o srednjem osvjetljenju ekranu i rasvjeti okoline. S druge strane, rasvjeta okoline osvjetljuje niže stepenice sivoga klina i kvari ih u tom smislu da se njihova količina u području nižih luminancija smanjuje. To se zapravo svodi na to da je luminantno-električna karakteristika kineskopa komprimirana u donjem dijelu. Najbolji se kontrast, dakle, uočuje u potpunoj tamni. To, međutim, s vremenom umara oko zbog razlike srednje svjetline ekranu i svjetline, odnosno tame, okoline. Tzv. neutralno filtersko staklo, pored toga što smanjuje refleksije svjetla, rješava donekle i taj problem.

Na koji način struja snopa kineskopa ovisi o naponu na upravljačkoj rešetki, uz konstantne napone zakrilne rešetke i anode, pokazuje slika 72. Na slici je ujedno prikazana već spomenuta promjena karakteristike i kompresije u crnom, koja nastaje zbog rasvjete ekranu stranim vanjskim svjetлом (krivulje 1 i 2). Eksponentijalni tok krivulje odgovara u takvom pentodnom sistemu eksponentu gama  $\gamma = 2,5$ , u triodnom sistemu  $\gamma = 2$ , a u kromatskoj cijevi  $\gamma = 2,2$ . Uz linearni odnos raspodjele luminancije u originalu i reproduciranoj slici nastaje potreba gamma-korekcije. Upravljanje video-signalom vrši se tako da na mini-

malnom nivou signala nastaje minimalna luminancija ( $\sim 1$  nit). Taj minimum određuje raspoloživi raspon kontrasta. Strano svjetlo smanjuje raspon kontrasta, kako to pokazuje slika. Kontrast se u tom slučaju može povećati samo većim video-signalom, ali to, s jedne strane, dovodi do preopterećenja katode i, s druge strane, do efekta treptanja. Zato je kvalitet slike u pogledu kontrasta uvjetovan ispravnim prednaponom i rasponom video-signala, s time da je strano svjetlo na ekranu svedeno na minimum.

*Kineskopi za specijalne svrhe*. Na konstrukciju specijalnih kineskopa, npr. kineskopa za televizijsko snimanje sistemom s fotočelijom ili projekcijskih kineskopa, postavljaju se dodatni stroži zahtjevi. Za snimanje sistemom s fotočelijom, što se primjenjuje za film i dijapoitive, potrebno je da svjetlosna točka koja na ekranu kineskopa opisuje raster bude vrlo oštra. Dosaj mora biti što je moguće manji, a ekran homogen i sitnozrnati (v. str. 676). Za veliku oštrinu izrađuju se posebne fokusirajuće zavojnice, koje obuhvaćaju mnogo veću duljinu grla cijevi nego kod kineskopa za komercijalnu reprodukciju slike: takva se zavojnica pruža od elektronskog topa do kraja grla cijevi. Otklonski sistem dolazi u nekim rješenjima iznad fokusirajuće zavojnice.

Kineskop za televizijsku projekciju treba da emitira velik raspon luminancija, zbog čega je potrebno, između ostalog, povećati što je moguće više anodni napon. Povećanje iznad  $20\text{ kV}$  troši veću snagu otklanjanja snopa, veći napon upravljanja, a nastaje i porast rendgenskih zračenja. Anodni naponi se penju i do  $50\text{ kV}$ , a struje snopa, koje kod običnih kineskopa iznose nešto preko  $300\text{ }\mu\text{A}$ , penju se ovdje do nekoliko miliampera.

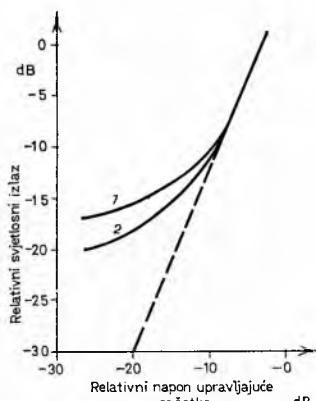
*Magnetoskopi* su naprave koje služe za magnetsko pohranjivanje video-signala. One su u principu slične magnetofonima (v. *Elektroakustika*, str. 321), ali budući da se pri pohranjivanju video-signala radi o znatno širem području frekvencija (do  $5\text{ MHz}$ ) nego pri pohranjivanju zvuka, na konstrukciju se tih aparata postavljaju sasvim drugačiji i mnogo stroži zahtjevi.

Magnetoskopi sastoje se od glavā za snimanje, reprodukciju i brisanje, od pogonskih sistemā glavā i vrpce sa pripadnim servosistemima i od elektroničkih sklopova za obradu signala.

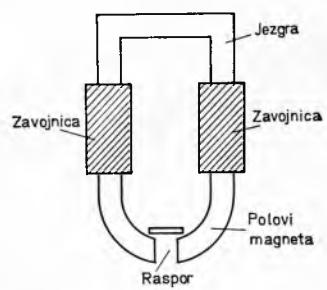
*Glave za snimanje i reprodukciju* sastoje se od namota vodiča oko željezne jezgre unutar metalnog oklopa. Jezgra je savijena tako da samo s jedne strane ima mali zračni raspored. Signal koji se snima pojavljuje se na tom rasporu u vidu magnetskih silnica. Jezgra i raspored sačinjavaju magnetski krug. Dimenzije rasporeda određuju potrebnu jakost struje za dovoljno magnetiziranje vrpce i za dobru reprodukciju. Što je manji raspored to je teže postići potrebnu jakost polja, a u reprodukciji širina rasporeda utječe na frekvencijsku karakteristiku procesa. Zato je potreban kompromis između amplitudne signala i odaziva na višim frekvencijama. Slika 73 prikazuje glavu za snimanje s njezinim rasporedom.

Električni signal, protječući kroz zavojnice glave, izaziva u jezgri magnetomotornu silu, a ova stvara magnetske silnice koje se zatvaraju kroz savijeni oblik jezgre preko rasporeda. Pri snimanju magnetska se vrpca nalazi u dodiru s glavom, silnice se sabiru jer im vrpca pruža put manje reluktancije i prolaze kroz vrpco zatvarajući svoju putanju kroz jezgru. Silnice u prolazu kroz vrpco magnetiziraju oksidni sloj na njih, ovisno o njihovoj jakosti i smjeru. Kad uslijedi pomicanja vrpce onaj jezgin dio koji je bio pred rasporedom napusti raspored, orientacija magnetskih dipola izazvana magnetskim tokom ostaje na vrpci sačuvana jer izvan raspora više nema nikakva magnetskog djelovanja. Pri reprodukciji vrpca prolazi ispred rasporeda slične ili iste glave kao pri snimanju. Ali sada nema izvorne struje u zavojnici oko jezgre, već orientacija magnetskih dipola na vrpci izaziva zatvaranje magnetskog toka kroz jezgru, čime se induciraju naponi video-signala u zavojnici glave.

Na visokofrekventni odziv magnetoskopa utječu tri faktora: brzina vrpce, širina rasporeda pri reprodukciji i položaj vrpce prema



Slika 72. Tipična prijenosna karakteristika aluminiziranog kineskopa. Krvilje 1 i 2 pokazuju utjecaj osvjetljivosti okoline na osjetljivost kineskopa



Slika 73. Glava za snimanje s njenim rasporedom

glavi. Brzina vrpce je važna zbog toga što se izmjenična veličina koju treba pohraniti sastoji od pozitivnog i negativnog dijela. Ako vrpca nije dovoljno brzo prešla raspored, pozitivni i negativni dio će se poništiti, jer vrpca registrira samo posljednju informaciju prije napuštanja raspora. Širina raspora u reprodukciji značajna je zato što za određenu brzinu vrpce ona mora biti to manja što su više frekvencije koje treba reproducirati. Promjena položaja vrpce prema glavi, koja se ovdje kreće okomito na smjer kretanja vrpce, izaziva dalji gubitak u visokofrekventnom odzivu.

*Glave za brisanje*, za razliku od glave za snimanje i reprodukciju, rade s visokofrekventnom strujom konstantne amplitude i tolike jakosti da izbrišu i maksimume prethodno snimljenog signala. Njihov je raspored mnogo širi, tako da omogućuje promjenu polariteta više puta prije nego pojedino mjesto na vrpci napusti raspored. Brisati se može i permanentnim magnetom, ali taj način brisanja ne zadovoljava u cijelini.

*Prednapon magnetskoga*. Kako prijenosna karakteristika nije linearna, naročito oko ishodišta koordinatnog sistema, primjenjuje se ili istosmjerni prednapon ili visokofrekventni prednapon, koji pomiče radnu točku u linearni dio magnetske karakteristike (v. *Elektroakustika*, str. 323).

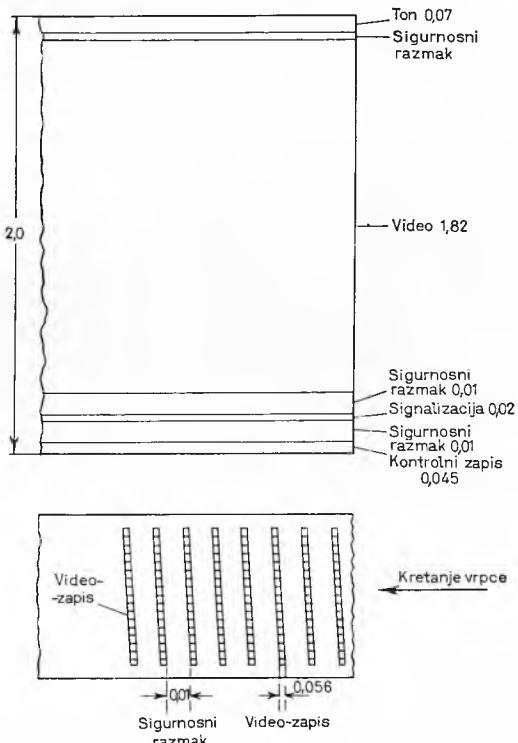
*Pohranjivanje video-signala*. Budući da video-signal sadrži komponente frekvencije koje se u spektru prostiru od vrlo niskih pa do gornje granične frekvencije od 5 MHz, pojavljuju se pri magnetoskopskom pohranjivanju posebni problemi. (To se naročito odnosi na kromatsku televiziju, jer se krominantni dio informacije nalazi blizu gornje granične frekvencije.) Najviša prenosiva frekvencija ovisi o relativnoj brzini između glave i vrpce. Pri tome je sporedno kako se ta relativna brzina postiže pa se, prema tome, može i sama glava pokretati u odnosu prema vrpci. To se iskorištava pri rješenju problema magnetskog pohranjivanja video-signala. Naime, na široj magnetskoj vrpci vrši se magnetski zapis poprečno na smjer njezina kretanja time što se jedan bubenj sa četiri glave, napajane istim signalom, okreće tako da zapisivanje mogu vršiti glave za redom. Kad je jedna glava došla do kraja zapisivanja, vrpca se pomakla upravo toliko da sljedeća glava počinje zapisivanje do zapisa prve glave opet s vrha vrpce. Taj se proces nastavlja, te se tako pomicanjem vrpce i rotacijom bubnja može znatno uštedjeti na vremenu i duljini vrpce, uz određeni raspored glava i određenu gornju graničnu frekvenciju. U usvojenom rješenju bubenj rotira sa 15 000 okretaja u minuti, što na obodu daje brzinu od 41,25 m/s. Brzina vrpce je 39,7 cm/s. Magnetski zapis je prikazan na sl. 74. Tragovi zapisa su zbog pomaka vrpce nagnuti pod kutom od 89,5°.

Na gornjem se dijelu vrpce na način poznat iz magnetofonske tehnike snima *popratni ton*, a na donjem se zapisuju *kontrolni signali* od 250 Hz za upravljanje brzinama vrpce i bubnja s glavama pri reprodukciji i signal za označavanje sadržaja. Svaka od glava zapisuje u jednom vertikalnom nizu 15...16 linija rastera. Širina vrpce je tolika da glava koja na donjem dijelu napušta vrpco i sljedeća glava koja započinje zapis na gornjem dijelu zapisuje isti signal. To preklapanje sprečava da se prijelaz od glave na glavu ispoljava na slici.

Kontrolni signal od 250 Hz sadrži i impulse vertikalnog ritma za identifikaciju vertikalnog potisnog impulsa koji dolazi iza parne poluslike. On mora biti smješten tako da se njegova centralna linija i produljena centralna linija vertikalnog prostora između petog i šestog video-zapisa prije vertikalnog sinhronizacijskog impulsa sijeku unutar  $\pm 0,5$  mm na donjem rubu vrpce.

*Današnje realizacije magnetoskopa*. Prvi su magnetoskopi izrađeni u USA i to u dva tipa. Jedan je proizvod tvrtke Ampex, a drugi tvrtke RCA (Radio Corporation of America). Sistemi se razlikuju po načinu modulacije i demodulacije i po načinu kako se četiri glave i četiri glave pri reprodukciji spajaju radi dobivanja jednog kontinuiranog signala. I jedan i drugi primjenjuju bubenj sa četiri glave. Uporedno s njima razvijen je u Japanu magnetoskop tvrtke Toshiba, koji se razlikuje od američkih magnetoskopa po načinu magnetskog zapisivanja. On ima samo jednu glavu za snimanje, koja zapisuje odozdo do gore jedan trag pod nagibom 4°, širine 0,25 mm, duljine 672 mm, a svaki taj trag sadrži punu informaciju jedne poluslike. Zbog toga se glava okreće brzinom svega  $3600 \text{ min}^{-1}$  (u američkim rješenjima  $14\,500 \text{ min}^{-1}$ ), a brzina vrpce je 38,1 cm/s.

Međutim, i uz proširenje vrpce i poprečno zapisivanje bubenjem sa četiri glave ostao je još uvijek da se riješi problem frekvencijske širine video-signala. Reprodukcija, za koju je reproducirani napon jednak vremenskoj promjeni magnetskog toka, daje uvijek pri frekvenciji za polovicu nižoj signal za polovicu manji. Kako je raspored frekvencija u video-signalu reda veličine  $10^6$ , nije zbog prevelike dinamike moguće taj signal pohraniti u izvornom obliku. Naime, zbog velikog raspona, koji iznosi više od stotinu decibela, signal bi zašao ili s jedne strane u zasićenje, ili bi s druge strane pao daleko ispod nivoa šuma. Rješenje tog problema daje *transpoziciju frekvencije signala* koja se postiže modulacijom. Nakon transpozicije signala na višu frekvenciju, omjer donje i gornje granične frekvencije znatno je manji i dinamika više ne predstavlja problem. Kao sistem modulacije odabran je frekvencijska modulacija. Ona omogućuje samu po sebi, ali i primjenom predakcentuacije, bolji odnos signala prema šumu, limiterom eliminira amplitudna kolebanja izazvana različitom osjetljivosti glave i nosi sadržaj informacije samo prelazom kroz nulu, pa eventualna izobličenja uslijed magnetiziranja ne djeluju na reprodukciju.

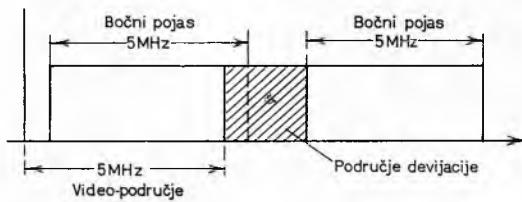


Sl. 74. Dimenzije zapisa na magnetskoj vrpci, u palcima (1 palac = 2,54 cm)

Modulacijska frekvencija određena je već širinom video-kanala od 5 MHz, ali je potrebno odrediti prikladnu frekvencijsku devijaciju. Sa smanjenjem devijacije smanjuje se odnos signala prema šumu, a smanjuju se i bočni pojasevi višeg reda, pa je gotovo cijela informacija sadržana u prvom bočnom pojusu. Zato ima smanjenje devijacije prednost pri frekvencijskoj modulaciji za magnetsko zapisivanje. S druge strane, trebalo bi da zapisani signal smanji omjer gornje i donje granične frekvencije, ali tako da gornja granična frekvencija ne bude previšoka. Zbog ograničenja koje daju raspori glave i brzina vrpce, spektar treba da bude transponiran dovoljno visoko, da se lakše odvoji od demoduliranih signala nakon demodulacije.

Tako je za akromatsku televiziju u početku bilo predloženo: sinhronizacijski nivo 5,0 MHz, potisni nivo 5,5 MHz i nivo bijelog 6,8 MHz. Taj se standard naziva niskopojasni, za razliku od visokopojasnog, o kojem će dalje biti riječ. Sama devijacija nije dovoljna za određivanje širine prijenosa, jer ipak dolaze u obzir i spomenuti bočni pojasi. Mjerilo za njihovu veličinu i kolичinu pruža indeks modulacije, koji je definiran kao omjer između devijacije frekvencije  $\Delta f$  i modulacijske frekvencije  $f_m$ ,  $m = \Delta f/f_m$ . Može se pokazati da je devijacija dovoljno široka za prijenos

ako je taj indeks veći od 10. Ako je indeks manji od 10, potrebno frekvencijsko područje za prijenos određeno je izrazom  $f_n \pm \Delta f = n \cdot f_m$ , gdje je  $f_n$  frekvencija nosioca, a  $n$  broj bočnih pojasa koje treba uzeti u obzir. Ako se uzmu  $f_m = 5 \text{ MHz}$ ,  $\Delta f = 0,65 \text{ MHz}$ , modulacijski je indeks  $m = 0,13$ . Tada je sasvim dovoljno



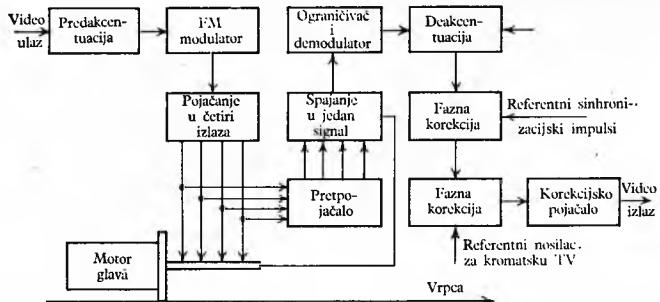
Sl. 75. Položaj frekvencijskih područja pri magnetskom zapisivanju

uzeti u obzir i za prijenos informacije samo prvi bočni pojas, tj. samo gornji i donji bočni pojas modulacije. Ostali se pojasi mogu zanemariti. Ukupni spektar moduliranog signala prema gornjim vrijednostima prikazan je na sl. 75.

**Video-sistem magnetoskopa.** Sl. 76 prikazuje osnovnu blok-shemu video-sistema za snimanje i reprodukciju magnetoskopom sa četiri glave.

Pri snimanju se ulazni video signal nakon prolaza kroz sklop za predakcentuaciju privodi modulatoru. Tu se pojavljuje zbog frekvencijske modulacije svojevrstan problem. Potrebno je, naime, nosilac relativno niske frekvencije frekvencijski modulirati s priličnom devijacijom, što otežava stabilizaciju centralne frekvencije. Rješenje tvrtke Ampex za akromatske magnetoskope sadrži multivibrator kojemu napon signala mijenja frekvenciju, a tvrtka RCA modulira nosilac dovoljno visoke frekvencije ( $\sim 50 \text{ MHz}$ ) i zatim transponira modulirani signal u niskofrekvenčko područje. Modulirani se signal dovodi rastavnim pojačalima sa četiri jednaka izlaza, preko kojih se simultano posredstvom kliznih prstena napajaju zavojnice četiriju glave za snimanje.

Pri reprodukciji magnetizirani trag vrpce inducira napon signala u zavojnicama rotirajućih glava, redom kako one nailaze, s neophodnim preklapanjem snimaka prethodne i naredne glave. Pretpojačala koja pojačavaju i izjednačuju četiri izlaza napajaju sistem elektronskih preklopki, koje iz četiri signala s međusobnim malim preklapanjem stvaraju jedan kontinuiran signal. Kako je



Sl. 76. Blok-shema sistema za snimanje i reprodukciju televizijskog video-signala s pomoću magnetoskopa sa četiri glave

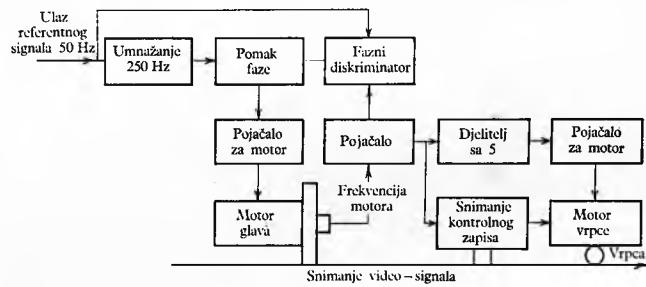
svaka preklopka, mehanička ili električka, izvor šuma i prelaznih pojava, sjedinjavanje se signala mora obaviti posebnim načinom. Zato se kao vrijeme preklapanja upotrebljava vrijeme horizontalnog potisnog impulsa. Kako je to vrijeme relativno kratko, treba upotrijebiti električne preklopke. Sinhronizacija preklapanja je prema tome vezana i na rotaciju bubenja s glavama i na horizontalnu frekvenciju. Zadatak preklopki je ujedno da eliminiraju suviše linije koje su snimljene vremenskim preklapanjem sukcesivnih glava, a ne smije biti ni djelovanja između kanala glava i demodulatora koji dolazi iza preklopke, da bi se eliminirala neželjena preslušavanja. Očito je da čitav problem nastaje zbog toga što ima četiri glave. Zato te vrste problema nema u japanskom rješenju, ali u njemu postoje druge vrste, npr. habanje vrpce i kratak vijek trajanja glave (30...50 sati).

Signal se iz preklopki privodi ograničavaču amplitudne, koji ga smanjuje do 1% vrijednosti, jer su za sadržaj informacije važni ionako samo prijelazi kroz nulu, budući da je valni oblik nosioca izobličen. Zato i nije pri snimanju bio upotrijebljen visokofrekventni prednapon.

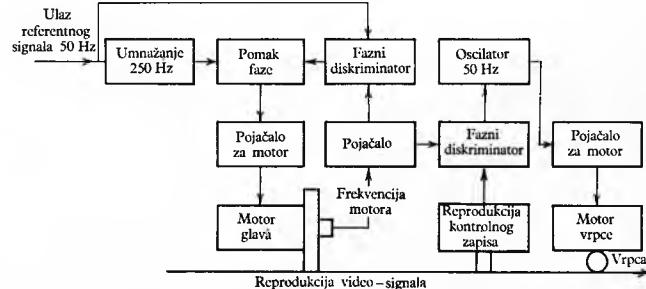
Postupak je demodulacija zbog velike relativne širine na nižem području frekvencija otežan. Postupak Ampex upotrebljava za demodulaciju razdvajanje frekvencijski moduliranog signala u dva kanala, od kojih je u jednome linija za defaziranje. Defaziranje iznosi  $90^\circ$  samo na  $5 \text{ MHz}$ , a na nižim frekvencijama linearno pada. Zbrajanjem signala obaju kanala dobiva se iz frekvencijski moduliranog signala amplitudno moduliran signal, koji se na klasičan način demodulira. Sistem RCA također primjenjuje pri demodulaciji posredni postupak, jer razdvaja signal u dva kanala. U jednom kanalu je opet linija za defaziranje. Miješanjem protufaznih izlaza obaju kanala postiže se najprije širinska, zatim fazna, pa na kraju amplitudna modulacija, koja se opet može na klasični način demodulirati.

**Servo-sistem magnetoskopa.** U vezi s magnetskim pohranjivanjem video-signala postoji strogi zahtjev u pogledu preciznosti odnosa između brzinâ okretanja motora glava i motora pogona vrpce, a također u pogledu položaja vrpce prema glavama. Procesom snimanja treba upravljati određenim signalom i ujedno zadržati iste odnose između brzina i iste položaje vrpce prema glavama pri reprodukciji. U tu svrhu služe tri sistema servo-mehanizama: servo-mehanizam motora glava, servo-mehanizam motora pogona vrpce i servo-mehanizam vodenja. Oni stoje u određenoj međusobnoj vezi, posebno pri snimanju i posebno pri reprodukciji.

Rad servo-sistema pri snimanju prikazuje sl. 77. Osnovni ritam od  $50 \text{ Hz}$  može se dobiti od sinhronizacijskih impulsata iz video-



Sl. 77. Blok-shema servo-mehanizama motora glava i motora vrpce u postupku snimanja



Sl. 78. Blok-shemski prikaz servo-mehanizama u magnetoskopu sa četiri glave koji služe za regulaciju motora glava i motora vrpce u postupku reprodukcije

-signala koji treba snimiti, iz frekvencije energetske mreže ili iz kvarcnog oscilatora. Iz tog osnovnog ritma umnožanjem se dobiva frekvencija  $250 \text{ Hz}$ , što je frekvencija motora za okretanje glava. Napon te frekvencije privodi se pojačalima koja pogone motor. Servo-mehanizam motora glava snima brzinu okretanja motora i tu frekvenciju nakon pojačanja uspoređuje u diskriminatore s frekvencijom izvora. Naponom greške dotjeruje se faza struje kojom se pogoni motor. Time je brzina motora glava definirana i stabilizirana po frekvenciji i fazi. Tako određeni ritam od  $50 \text{ Hz}$  daje dijeljenjem opet napon frekvencije od  $50 \text{ Hz}$ , kojim se preko pojačala pokreće motor pogona vrpce. Isti se ritam od  $50 \text{ Hz}$  zapisuje i kao kontrolni zapis na magnetsku vrpco, da bi pri reprodukciji služio kao referentni ritam pokretanja vrpce.

*Rad servo-sistema pri reprodukciji* prikazuje sl. 78. Referentni signal 50 Hz dobiven iz kvarcnog oscilatora ili energetske mreže opet daje nakon množenja u umnoživaču upravljući signal frekvencije 250 Hz. Nakon što se korigira faza tog signala u sklopu za pomak faze i signal pojača u pojačalu za motor, on služi za pogon motora glavā. Usposredovanjem frekvencije snimljene sa motora glavā sa frekvencijom i fazom referentnog signala dobije se u faznom diskriminatoru napon greške kojim se u sklopu za pomak faze neprekidno dotjeruju frekvencija i faza signala. Time se postiže pri snimanju i reprodukciji precizan sinhronizam između referentnog signala i kretanja motora s glavama. Osim toga se na vrpci reproducirani kontrolni zapis frekvencije 250 Hz usporeduje s frekvencijom 250 Hz motora glava i opet naponom greške dotjeruje brzina okretanja motora pogona vrpce, da bi odnos brzine vrpce prema brzini motora glavā bio jednak pri reprodukciji i pri snimanju.

*Rad servomehanizma vodenja vrpce.* Položaj vrpce u dodiru s glavama mora biti jednak pri snimanju i pri reprodukciji, jer inače nastaju izobličenja u slici uslijed toga što je snimak jedne glave prema snimku susjednih glava ponešto pomaknut u horizontalnom smjeru. Jednakost položaja vrpce pri snimanju i pri reprodukciji osigurava servo-mehanizam vodenja. Vrpca je vakuumskom vodilicom pritegnuta na zaobljeni nosač, a servomehanizmom se može mijenjati vertikalni položaj vrpce u vodilici. Njime se može upravljati ručno ili automatski. Za automatsko se upravljanje iskorističava činjenica da se pri pomicanju vrpce u vertikalnom smjeru skraćuje ili produljuje trajanje jedne horizontalne linije. Zbog toga demodulirani sinhronizacijski impulsi mijenjaju vremenski razmak. Ako se elektroničkim putem iz slijeda takvih impulsa upravlja generatorom pilastog napona određenim porastom u jedinici vremena, nastat će zbog pogrešaka u vremenskim razmacima razlike u amplitudi. Integriranjem naponskih razlika u jednom ili drugom smjeru dobiva se polarizirani napon greške, koji upravlja motorom vodenja.

**Podaci o televizijskim sistemima.** Internacionali savjetodavni komitet za radio CCIR (Comité Consultatif International Radiophonique) izdao je standarde za različite akromatske i kromatske sisteme televizije.

Karakteristike akromatskih televizijskih sistema daje tabl. 3. Pojedini standardi označeni su velikim slovima.

U Evropi se u Velikoj Britaniji i nekoliko irskih stanica još upotrebljava sistem (engleski) sa 405 linija u rasteru (standard A), u Francuskoj i Monaku (francuski) standard E sistema sa 819 linija u rasteru, a u Belgiji i Luksemburgu njegov standard F (u Belgiji uz standard C sistema sa 625 linija). Sve druge zemlje Evrope usvojile su sistem sa 625 linija u rasteru (evropski) i to zemlje zapadne i srednje Evrope (Austrija, Danska, Finska, Grčka, Italija, Malta, Nizozemska, Norveška, obje Njemačke, Portugal, Španija, Švedska, Švicarska) i Jugoslavija standard B (zvan također CCIR i Gerberov, po predsjedniku komiteta CCIR), a zemlje istočne Evrope (Bugsarska, Čehoslovačka, Mađarska, Poljska, Rumunjska, SSSR) standard D (standard OIRT). U Irskoj je u upotrebi, pored engleskog sistema, i standard I evropskog sistema. Može se očekivati da će u skoroj budućnosti sve evropske zemlje preći na sistem sa 625 linija; na to sili naročito televizija u bojama, u kojoj se primanje emisija jednog sistema prijemnicima drugog ostvaruje mnogo teže nego u crno-bijeloj televiziji.

U sjevernoj i srednjoj Americi (Gvatemala, Hondurasu, Kandi, Kostariki, Meksiku, Nikaragvi, Panami, Salvadoru, USA) u upotrebi je (američki) sistem sa 525 linija u rasteru (standard M). Istim se sistemom služe također na otocima Zapadne Indije (u Dominikanskoj republici, Kubi, Puerto Riku, Trinidatu) i u većini država južne Amerike (Bolivijski, Brazil, Čile, Ekvador, Kolumbija, Peru, Venezuela); samo su Argentina i Urugvaj usvojili sistem sa 625 linija, i to standard N.

Osim u navedenim zemljama, američki sistem usvojen je još na Azorima i posjedima USA u Pacifiku. U Aziji se njime služe Filipini, Japan, Iran, Kambodža, Koreja, Saudijska Arabija, Tajland i Tajvan. U ostalim zemljama Azije usvojen je sistem sa 625 linija, i to u Afganistanu i Kini standard D, a u Indiji, Indoneziji, Iranu, Izraelu, Kuvajtu, Libanonu, Malaji, Pakistanu, Siriji i Turskoj standard B.

U Africi gotovo je općenito usvojen sistem sa 625 linija, i to u nekoliko država (napose u Egiptu i Etiopiji) standard B, a u mnogim je predviđeno uvodenje standarda K1. Južna Afrika je predviđela uvođenje televizije po standardu I. Jedino u Tunisu još se služe »francuskim« sistemom (standardom E).

U Australiji i Novom Zelandu uveden je standard B.

Navedeni podaci o televizijskim standardima usvojenim ili planiranim u pojedinim zemljama odnose se na emisije u frekvencijskim pojasima I i III; za emisije u pojasu IV često vrijede drugi standardi. Tako gotovo sve zemlje koje u pojasima I i III upotrebljavaju standard B, u pojasu IV upotrebljavaju ili planiraju upotrebljavanje standarda G (neke vanevropske zemlje također malo različitog standarda H); zemlje koje u pojasima I i III upotrebljavaju standard D, u pojasu IV upotrebljavaju ili planiraju malo različit standard K; Velika Britanija u IV pojasu upotrebljava standard I, Francuski i Monako standard L, a Belgija i Luksemburg standard H. Standard M upotrebljava se u svim pojasima, a tako i standardi K1 i I (to je bez sumnje razlog zašto ove standarde evropskog sistema neke zemlje uvede umjesto standarda B).

Tablica 3

GLAVNE KARAKTERISTIKE AKROMATSKIH TELEVIZIJSKIH  
SISTEMA  
(prema CCIR-1966)

Karakteristika	Standard				
	A	B	D	E	M
Broj linija po slici	405	625	625	819	525
Vertikalna frekvencija	50	50	50	50	60
Horizontalna frekvencija	10 125	15 625	15 625	20 475	15 750
Tolerancija horizont. frekvencije		± 0,1 %	± 0,05 %		
Nominalna širina niskofrekvenčnog pojasa, MHz	3	5	6	10	4,2
Nominalna širina visokofrekvenčnog pojasa, MHz	5	5	8	14	5
Nominalna širina glavnog bočnog pojasa, MHz	3	5	6	10	4,2
Nominalna širina ostatka bočnog pojasa, MHz	0,75	0,75	0,75	2	0,75
Polaritet video-modulacije	+	-	-	+	-

Standard C ima u tablici navedene karakteristike jednakе kao standard B, ali pozitivnu modulaciju.

Standard F ima toleranciju horizontalne frekvencije 0,1%, nominalnu širinu niskofrekvenčnog i glavnog bočnog pojasa 5 MHz, visokofrekvenčnog 7 MHz, ostatka bočnog pojasa 0,75 MHz, inače sve kao standard E.

Standard G ima nominalnu širinu visokofrekvenčnog pojasa 8 MHz, inače sve kao standard B.

Standard H ima iste karakteristike kao standard G, osim nominalne širine ostatka bočnog pojasa, koja mu je 1,25 MHz.

Standard I ima nominalnu širinu niskofrekvenčnog i glavnog bočnog pojasa 5,5 MHz, toleranciju horizontalne frekvencije 0,001%, inače sve kao standard H.

Standard K1 ima nominalnu širinu visokofrekvenčnog pojasa 8,5 MHz i ostatka bočnog pojasa 1,25 MHz, inače sve kao sistem D.

Standard L ima toleranciju horizontalne frekvencije 0,1%, širine ostatka bočnog pojasa 1,25 MHz i pozitivnu modulaciju, inače sve kao standard D.

Standard N razlikuje se od standarda B po tome što ima nominalnu širinu niskofrekvenčnog pojasa 4,2 MHz, a visokofrekvenčnog 6 MHz.

Osim po karakteristikama navedenim u tablici, pojedini standardi mogu se razlikovati i po drugim karakteristikama, npr. po propisanom odnosu razinā VPS-signala.

**Kromatska televizija** (televizija u bojama) osniva se na Grassmannovim zakonima aditivnog miješanja boja (v. Boja, TE 2, str. 61). Prema prvom od tih zakona svaki se bojeni osjet može imitirati aditivnim miješanjem triju pogodno izabranih osnovnih bojenih podražaja. Na osnovi toga može se boja, npr., neke obojene zrake svjetla prikazati kao smjesa triju osnovnih boja i karakterizirati udjelima tih osnovnih boja u smjesi. U tri analizatora odašiljača kromatske televizije, kojima se istovremeno dovodi slika preko optičkih filtera u osnovnim bojama, pretvaraju se pomoću elektronskih snopova u električni signal ne samo luminancije elemenata analizirane slike (kao u crno-bijeloj televiziji), nego i udjeli kojima učestvuju osnovne boje u boji tih elemenata.

Na slici 20 članka Boja (TE 2, str. 68) vidi se u dijagramu kromatičnosti ucrtan (crtkano) trokut kojemu su vrhovi figurativne točke osnovnih boja jednog sistema kromatske televizije. Miješanjem tih boja mogu se imitirati sve boje kojima su figurativne točke unutar trokuta.

U prijemniku kromatske televizije (v. Elektronika, sastavni dijelovi, str. 466) primljeni luminantni i krominantni električni signali

(informacije o svjetlini i obojenosti) pretvaraju se, na primjer pomoću bojenih fosfora, u obojene svjetlosne elemente koji pomiješani rekonstituiraju boje analizirane slike. Budući da se konverzija kromatičnosti svjetlosnih elemenata u električne signale i konverzija električnih signala u pojedine osnovne boje ostvaruje načelno (sa stanovišta elektronike) na isti način kao luminantno-električna i električno-luminantna konverzija u crno-bijeloj televiziji, elektroničke su osnove za kromatsku televiziju jednake kao za akromatsku, pa ih stoga u okviru ovog članka o elektroničkim uređajima nije potrebno ponavljati. O brojnim problemima koji su se postavili pri ostvarenju kromatske televizije bit će govor u članku *Televizija* ove enciklopedije, u kojemu će biti obradeni i neki nedelektronički aspekti akromatske i kromatske televizije.

LIT.: *J. Bernstein, Video tape recording*, New York 1950. — *F. Kerkhof, W. Werner, Fernsehen, Eindhoven* 1951. — *H. A. Chinn, Television broadcasting*, New York 1953. — *S. Hell, Practical television engineering*, New York-Toronto 1953. — *B. Grob, Basic television: Principles and servicing*, New York 1954. — *W. Holm, Wege zum Fernsehen*, Eindhoven 1955. — *M. S. Kiver, Television simplified*, New York 1955. — *A. M. Халфин, Основы телевизионной техники*, Москва 1955. — *F. Schröter, R. Theile, G. Wendt, Fernsehtechnik I, Berlin-Göttingen-Heidelberg* 1956. — *D. G. Fink, Television engineering handbook*, New York 1957. — *V. K. Zworykin, E. G. Ramberg, L. E. Flory, Television in science and industry*, New York-London 1958. — *H. K. Изнатчев, Телевидение*, Москва 1957. — *C. B. Гуревич, Физические процессы в передающих телевизионных трубках*, Москва 1958. — *H. Mann, H.-J. Fischer, Fernsehtechnik II, Fernsehsender- und Fernsehempfängerschaltungstechnik, sowie industrielles Fernsehen*, Leipzig 1959. — *G. И. Блак, Б. Г. Богатов, Прикладные телевизионные установки*, Москва 1959. — *G. И. Блак, Телевидение*, Ленинград 1960. — *H. В. Вершининский, Подводное телевидение*, Москва 1960. — *M. Koubeck, Fernsehempfangstechnik*, München 1961. — *A. Boekhorst, J. Stock, Ablenktechnik in Fernseh-Empfängern*, Eindhoven 1961. — *E. L. Орловский, А. М. Халфин и др., Теоретические основы электрической передачи изображений*, Москва 1962. — *Ю. В. Костыков, Приемные телевизионные трубы*, Москва 1962. — *B. С. Полоник, Прикладное телевидение*, Москва 1962. — *F. Schröter, Fernsehtechnik II, Berlin-Heidelberg-New York* 1963. — *W. Dillenburger, Einführung in die Fernsehtechnik*, Berlin 1964. — *A. M. Варбанский, Телевизионная техника*, Москва 1964. — *A. Е. Гершберг, Передающие телевизионные трубы использующие внутренний фотозефект*, Москва 1964. — *С. В. Гуревич, Эффективность и чувствительность телевизионных систем*, Москва 1964. — *П. Маркус, Практика телевизионного приема*, Москва 1964. — *А. Г. Андреева, Караванова развертка телевизоров*, Москва 1965. — *Л. В. Фельдман, Телевизионный прием*, Москва 1965. — *G. Plotin, J. Eagog, Les émetteurs de télévision*, Paris 1965. — *P. Duon, Hilfsbuch für den Fernsehtechniker* (prijevod s francuskog, ima i na engleskom i španjolskom), Eindhoven 1965. — *T. В. Топорев, Транзисторные телевизоры*, Москва 1966. — *Я. А. Рыбкин, Телевизионная система. Теория*, Москва 1967. — *К. М. Михалко, Основы телевизионной автоматики*, Москва 1967. — *П. Ф. Брачаков, И. А. Росселевич, Л. И. Хромов, Космическое телевидение*, Москва 1967. — *П. В. Шмаков, К. Т. Колин, В. Е. Джакония, Стреотелевидение*, Москва 1968. — *А. Я. Корниенко, И. Е. Ульяштейн, Особенности схем современных телевизоров*, Москва 1968. — *Л. М. Кузинец, Е. З. Метузалев, А. Рыманов, Приемная телевизионная техника*, Справочник, Москва 1968. — *Ю. А. Шумахин, Телевизионный сигнал*, Москва 1968. — *M. Tadej, TVO-Televizor*, Zagreb 1968. — *G. L. Hansen, Introduction to solid-state television systems: color and black and white*, London 1969. — *Z. Smrkic, Uvod u televiziju*, Zagreb 1969. — *Z. E. Weaver, Television video transmission measurements*, London 1970. — *J. Konrad, Fernsehtechnik von A bis Z*, München 1970. — *H. Dobesch, Grundlagen der Schwarz-Weiß- und Farbfernsehtechnik*, Berlin 1970. — *Ю. А. Шумахин, Телевидение в науке и технике*, Москва 1970. — *В. С. Полоник, Телевизионная автоматика*, Москва 1970. — *П. В. Шмаков и др., Телевидение*, Москва 1970. — *Ю. И. Омельяненко и др., Телевидение. Справочное пособие*, Киев 1971. — *А. М. Халфин, Телевизионная техника*, Москва 1971. — *В. П. Брилиантов, Портативные транзисторные телевизоры*, Москва 1971. — *M. McGann, A new FM drive, sound and vision*, Chelmsford 1971. — *N. Stanciu, Fernsehen. Theoretische Grundlagen* (prijevod s rumunskog), Berlin 1972. — *К. Т. Колин, Ю. В. Аксентьев, Е. Ю. Колленская, Основы телевидения*, Москва 1972. — *Ю. В. Костыков, В. Д. Крыжановский, Телевидение (физические основы)*, Москва 1972. — *C. N. Herrick, Television theory and servicing. Color and black and white*, Reston, Va. 1972.

Z. Smrkic

### Radio- i televizijski studio

Prostorije u kojima se stvara radio- i televizijski program zovu se *studio*. One moraju biti opremljene nizom elektroničkih aparata i uređaja za stvaranje i prijenos tona i slike. Ako su sve prostorije studija i pripadni uređaji koncentrirani u naročito za tu svrhu građenoj i opremljenoj zgradi, govor se o *radio- i/ili televizijskom domu*.

Od svih aparata, uređaja i instalacija koje se upotrebljavaju u radio- i televizijskim studijima i domovima traži se da budu profesionalne izvedbe, tj. studijskog kvaliteta. Pod tim se pojmom razumijeva da uređaji imaju mogućnost prijenosa što šireg opsega frekvencija, da rade bez izobličenja i da je njihova pouzdanost velika.

**Uredaji za radio-prijenos.** Za radio-prijenos potrebni su samo tonski uređaji i instalacije sa svim pripadnim pratećim uređajima.

Tonska instalacija studija treba da omogućava: reprodukciju tona u studiju posredstvom mikrofona; odabiranje, miješanje

i pojačavanje signalâ koje daju mikrofoni; miješanje signalâ koji dolaze od magnetofona i gramofona; mjerjenje nivoa i jakosti programskih signala; ubacivanje zvučnih efekata u studio putem zvučnika; uključivanje umjetnog odjeka i drugih posebnih efekata. Osim toga instalacija treba da omogućava predslušanje i interno komuniciranje, u prvom redu između režije i studija, putem malih mikrofona, montiranih na pultu zvučnika.

**Mikrofoni** koji se upotrebljavaju u studijskoj tehniči treba da budu kadri prenositi područje frekvencija od 20 do 20 000 Hz i da u užem području, po prilici između 30 i 15 000 Hz, imaju ravnu frekvencijsku karakteristiku. Najviše se upotrebljavaju kondenzatorski i elektrodinamički mikrofoni (v. *Elektroakustika*, str. 310), i to najčešće kondenzatorski jer imaju najveći kvalitet i ravniju karakteristiku nego elektrodinamički (osjetljivost im se mijenja za najviše  $\pm 2,5$  dB u opsegu frekvencija od 30 do 15 000 Hz), iako im je osjetljivost manja od osjetljivosti elektrodinamičkih mikrofona: iznosi (s pojačalom)  $\sim 0,4 \text{ mV}/\mu\text{bar}$ , što odgovara efikasnosti  $-68 \text{ dB}$ , prema osjetljivosti dinamičkog mikrofona, npr.,  $0,16 \text{ mV}/\mu\text{bar}$ , što odgovara efikasnosti  $-76 \text{ dB}$ .

Budući da su snage što ih prenose mikrofoni mnogo manje od referentne snage 1 mW (v. *Elektroakustika*, str. 311), efikasnosti mikrofona imaju negativni predznak.

Prepojavačalo mora se smjestiti uz sam sistem kondenzatorskog mikrofona, da bi se spriječilo povećanje gubitka osjetljivosti i povećanje smetnji u priključnom kabelu.

Elektrodinamički mikrofoni s titrajanim svitkom u novije su doba znatno usavršeni. Prednost im je pred kondenzatorskim mikrofonom što ne trebaju za rad nikakav napojni napon na sistemu, a niti prepojavačalo uz sam sistem mikrofona. Mogu se preoptereti bez posljedica, neosjetljivi su prema vremenskim nepogodama i sigurni u pogonu. Uslijed toga oni se sve više primjenjuju u studijima radija i televizije.

Na terenu, za reportaže i u pomoćne svrhe — dogovor i interfon — upotrebljavaju se gdjekad i kristalni mikrofoni i jednostavnije izvedbe elektrodinamičkih tipova mikrofona. Posebna je izvedba mikrofona s malim odašiljačem u zajedničkom oklopku, koji se objesi oko vrata i omogućuje govorniku slobodno kretanje; signal se prima na režiji i uvodi u tonsko mješalo.

Studijski **magnetofoni** (v. *Elektroakustika*, str. 321) rade s vrpcom od 6,25 mm širine i imaju obično na izbor tri brzine (38, 18 i 9,5 cm/s). Magnetofoni služe za tri osnovne svrhe: za reprodukciju izvedbi u emisiji (za tzv. odvijanje programa), za snimanje izvedbi i za montažu i obradu snimljenih izvedbi.

**Gramofoni** (v. *Elektroakustika*, str. 316). Radi reprodukcije i kontrole komercijalnih gramofonskih ploča svaki radio-studio raspolaže i kvalitetnim gramofonom, obično za 3 ili 4 brzine okretanja (16, 33, 45 i 78 okretaja u minuti). Gramofon ima ugrađeno korekciono pojačalo za različite tipove snimaka, tako da njihova reprodukcija bude u svakom slučaju jednakovjerna.

**Pojačala niske frekvencije** jesu u prvom redu mikrofonska pojačala kojima je zadatak da podižu nivo tonskog signala, dokle da ga pojačaju, prije ulaska u mješalo na kontrolnom pultu. To pojačanje iznosi  $\sim 80 \text{ dB}$  i jednoliko je u opsegu frekvencija od 40 do 15 000 Hz. Ostala su pojačala slične izvedbe, ali različite namjene: ulazna pojačala u mješalo, grupna pojačala, pojačala za odjek, linijska pojačala, razdjelna pojačala (sa više izlaza) i, konačno, pojačala snage za kontrolne zvučnike. Većina tih pojačala ugrađena su u tzv. modularne jedinice unesene u kontrolni pult kao pretinci u koje je ujedno ugrađen potreban regulator jakosti. To je sve omogućeno time što su pojačala izvedena s tranzistorima te zahtijevaju vrlo malo mesta. U takav kontrolni pult smještaju se i korektori frekvencijske karakteristike signala primanog putem kabela ili različnih vodova.

**Mješala** takvih kontrolnih pultova imaju po 40 i više ulaza, od kojih se desetak može istodobno upotrebljavati mješajući njihove signale u željenoj kombinaciji i redoslijedu. Umjetni odjek, koji se je prije postizao specijalnim pločama većih dimenzija u posebnim prostorijama, može se danas postići u boljem kvalitetu uređajima veličine kutije koja se može ugraditi u kontrolni pult mješala.

**Primjena stereofonije** zahtijeva mogućnost snimanja i reprodukcije na magnetofonima i gramofonima dvaju odijeljenih signala (v. *Elektroakustika*, str. 328) i dva neovisna ulaza u