

UNIVERZITET U BEOGRADU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET



RF I MIKROTALASNE PASIVNE
KOMPONENTE SISTEMA RADIO-
TELEVIZIJE SRBIJE – EMISIONOG
CENTRA „AVALA”

– Diplomski rad –

Mentor:
dr Vladimir Petrović, v.prof.

Kandidat:
Petra Stojsavljević

Beograd, 2009.

Predgovor

Ovaj rad urađen je u saradnji sa sektorom „Emisiona tehnika i veze“ Radiodifuzne ustanove „Radio-televizija Srbije“ (ETV-RTS), Tim povodom se zahvaljujem inž. Radiši Petroviću, izvršnom direktoru ETV-RTS i rukovodiocima i inženjerima ETV koji su mi u toku niza poseta ETV-u praktično pokazivali, demonstrirali i objašnjavali komponente emisione tehnike i celog televizijskog sistema RTS: Mr Dušanu Markoviću, inž. Miodragu Tomaševiću, inž. Milanu Ostojiću, inž. Slađanu Cukiću, inž. Ivani Lacković i inž. Petru Đekiću.

Zahvaljujem se takođe mom mentoru, v. prof. Vladimiru Petroviću koji mi je izuzetno pomogao u pisanju ovog rada.

U Beogradu, juna 2009.

Petra Stojsavljević

Sadržaj

Uvod.....	4
1. Osnove radio-televizijskog sistema.....	5
1.1. Studijska tehnika – od kamere do predajnika.....	6
1.1.1. Analogni televizijski sistemi	6
1.1.2. Digitalni televizijski sistemi.....	8
1.2. Emisiona tehnika – od predajnika do televizora	12
1.2.1. Frekvencijsko planiranje	13
1.2.2. Mikrotalasni linkovi	14
2. Pregled osnovnih RF i mikrotalasnih pasivnih komponenti.....	15
2.1. Sistemi za vođenje talasa.....	15
2.1.1. Vodovi.....	15
2.1.2. Talasovodi	20
2.1.3. Konektori, adapteri i spajanje sekcija talasovoda	22
2.2. Usmereni sprežnjaci	23
2.3. Delitelji snage.....	26
2.3.1. Wilkinson-ov delitelj snage.....	26
2.3.2. Gysel-ov delitelj snage	27
2.4. Cirkulatori i izolatori	28
2.5. Filtri.....	30
2.5.1. Specifikacija filtara.....	31
2.5.2. Stepped-impedance realizacija filtra propusnika niskih učestanosti.....	33
2.5.3. Propusnici opsega učestanosti sa spregnutim vodovima.....	34
2.6. Multiplekseri	36
2.6.1. Starpoint (branchline) multiplekser.....	36
2.6.2. CIF (constant impedance filter) moduli	36
2.6.3. Strechline diplekser	37
2.6.4. Kaskadno vezivanje dipleksera	38
2.7. Antenski sistem	39
2.7.1. Predajne antene	39
2.7.2. Prijemne antene	41
2.7.3. Antenski nizovi	41
2.7.4. Primeri antena	44
3. Pasivne komponente emisionog centra „Avala“	47
3.1. Mikrotalasni linkovi	47
3.2. Predajnici.....	50
3.2.1. FM predajnici	50
3.2.2. TV predajnici.....	51
3.3. Usmereni sprežnjaci	52
3.4. Delitelji snage i kombajneri	52
3.5. Filtri.....	53
3.6. Multiplekseri	55
3.7. Antenski sistem	56
Zaključak.....	58
Literatura	59

Uvod

Radio-televizijski sistemi su jedan od najvažnijih telekomunikacionih sistema za prenos i distribuciju multimedijalnog sadržaja. Jedan takav sistem se grubo može podeliti na dva nezavisna dela - studijsku i emisionu tehniku. Emitovanje, tj. distribucija, televizijskog signala u zemaljskoj televiziji odvija se putem radio-talasa, stoga su RF i mikrotalasne pasivne komponente neizostavni deo svakog emisionog sistema. Osnovni zadatak ovog diplomskog rada bio je opis i uloga pasivnih komponenti emisione tehnike u jednom radio-televizijskom sistemu, konkretno, u Radio Televiziji Srbija, a posebno u njenom emisionom centru „Avala“.

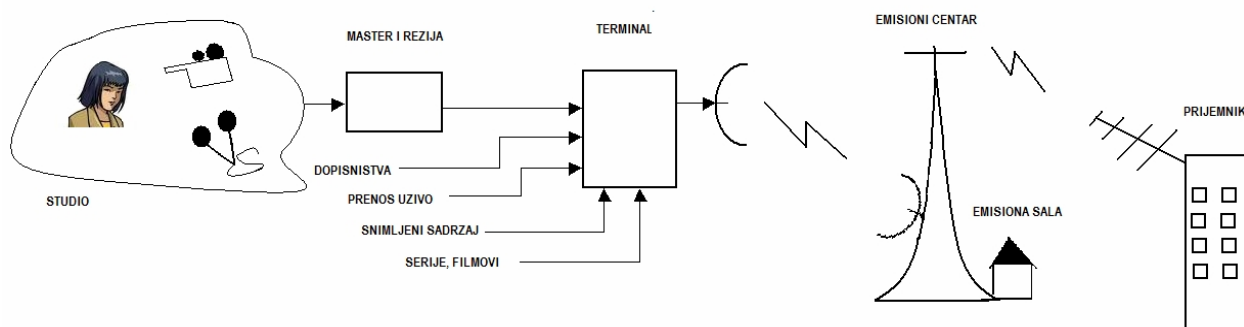
U prvom poglavlju ukratko je opisana struktura i princip funkcionisanja radio-televizijskih sistema. Definisani su osnovni pojmovi vezani za sam proces formiranja audio i video signala i dat je pregled najvažnijih standarda koji se danas koriste. Takođe, opisana je obrada i put koji signal pređe od samog nastanka do distribucije širokom auditorijumu - slušaocima i gledaocima.

Pregled komponenti specifičnih za RF i mikrotalasne učestanosti koje su esencijalne za funkcionisanje radio-televizijskih sistema dat je u drugom poglavlju. Izdvojene su najbitnije osobine elektromagnetskih talasa, a posebna pažnja posvećena je strukturama za vođenje talasa, usmerenim sprežnjacima, deliteljima snage i kombajnerima, multiplekserima, cirkulatorima i izolatorima, kao i filtrima i antenskim sistemima. Objašnjen je ukratko princip funkcionisanja komponenti, definisani osnovni pojmovi koji se koriste u njihovoj karakterizaciji kao i najčešća primena u praksi.

U trećem poglavlju prikazane su RF i mikrotalasne komponente pasivnih komponenti emisionog centra „Avala“ koji trenutno radi iz pomoćnog montažnog objekta i sa ograničenim dometom. Emisioni toranj na Avali je trenutno u izgradnji i završetak radova se očekuje za kraj godine. Pored šema i fotografija, date su specifikacije komponenti iz kataloga proizvođača koje se trenutno koriste u pomoćnom objektu, kao i onih koje će se tek koristiti na glavnom objektu kada ovaj bude završen.

1. Osnove radio-televizijskog sistema

Radio-televizijski sistem je telekomunikacioni sistem za emitovanje i difuziju pokretnih slika i zvuka na daljinu. Struktura i način rada jednog sistema za radio-televizijski prenos najlakše se može objasniti pomoću šeme sa slike 1.1.



Slika 1.1. Blok šema TV sistema

Prvo, postoje različiti izvori samog sadržaja radio/televizijskog programa. Sadržaj može biti snimak iz studija, prilog iz dopisništva, prenos uživo ili emisije, serije i filmovi koji su snimljeni od ranije. Ukoliko se ne emituje odmah, snimljeni sadržaj se čuva na video serverima. Koji kod da je izvor samog sadržaja, sav snimljeni materijal mora proći kroz režiju i master. Studio, režija i master se obično nalaze u istoj zgradi, a u slučaju prenosa uživo, režija i master se nalaze u reportažnim kolima. U režiji se vrši montaža snimljenog materijala, kao na primer, šta će od snimljenog biti za prikazivanje a šta ne. U masteru se koriguju sirovi audio i video signali, kombinuje se više kanala, sređuju se boje i slično. Ovaj deo sistema se naziva **studijska tehnika**. Signal iz mastera ide dalje u terminal, gde se sakupljaju svi signali koji treba da se emituju. U terminalu se vrši dodatna obrada i signal se priprema za slanje mikrotalasnim linkovima (nazivaju se još i radio-relejne veze).

Obično postoji samo jedan terminal u jednoj televizijskoj kući. Iz terminala se signali dostavljaju emisionim centrima širom zemlje. Mikrotalasne veze su izuzetno usmerene i odvijaju se na učestanostima reda GHz, tako da ne smetaju jedna drugoj. Emisione antene imaju zadatak da dostave signal što većem broju gledalaca i zbog toga su one izuzetno neusmerene. Da ne bi došlo do interferencije, svakom emisionom centru se dodeljuje skup kanala sa kojima može da radi. U emisionim centrima se primljeni signal prvo spušta u osnovni opseg (u slučaju analognog) ili se raspakuje iz paketa (u slučaju digitalnog), a zatim se konvertuje u dodeljni VHF ili UHF kanal i emituje u etar. Emisioni centri, mikrotalasni linkovi i deo opreme u terminalu spadaju u **emisionu tehniku**.

Kod FM radio difuzije princip rada je isti, postoji studio ili već neki drugi način generisanja sadržaja, samo se oni obično nalaze u zasebnom objektu. U slučaju da je stanica sa nacionalnim, ili eventualno regionalnim pokrivanjem, signal se dostavlja centralnom terminalu i dalje se prosleđuje slušaocima na isti način kao televizijski signal.

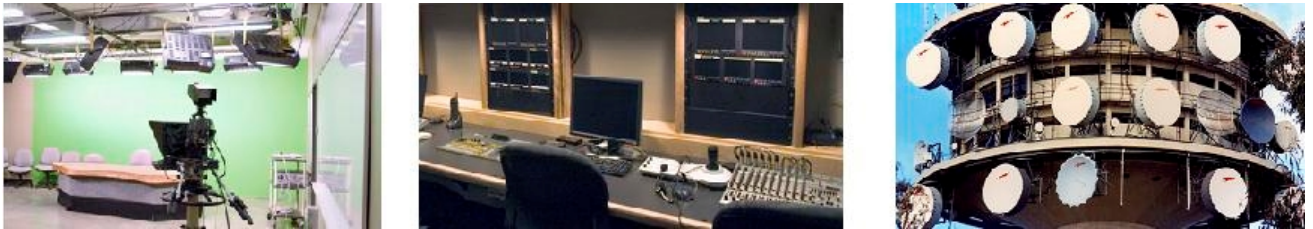
Postoji nekoliko načina prijema televizijskog signala od strane krajnjih korisnika. Najstariji način prijema televizijskog signala (kao i FM radio signala) je preko antene naziva se zemaljska ili terestrička radio difuzija (TTV - Terrestrial TeleVision). Pored ovog načina uveliko se koriste mogućnosti prijema putem kabla (CATV - Community Antenna Television) ili putem satelita. U poslednje vreme, razvijaju se nove tehnologije, kao što su IPTV, koja predstavlja prijem signala

preko Internet protokola putem DSL ili optičkih linija, i MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service) koja se naziva još i bežični kabl. Neki standardi uključuju i mogućnost prijema televizijskog signala putem mobilne telefonije. Nijedna od ovih novih tehnologija još nije zaživela kod nas, a koja od njih će doživeti najveći komercijalni uspeh ostaje tek da se vidi.

1.1. Studijska tehnika – od kamere do predajnika

Kao što je već spomenuto, izvori signala mogu biti različiti, oni mogu poticati iz studija, iz dopisništva ili može se emitovati već snimljen sadržaj sa video servera i svi oni se sakupljaju u centralnom delu sistema – terminalu. Može se smatrati da na ulazu u terminal imamo video signal u osnovnom opsegu. Dalji način obrade u terminalu zavisi od toga da li se želi analogno ili digitalno emitovanje.

U Srbiji se, kao i u većini zemalja u Evropi, koristi PAL sistem za analognu televiziju, a digitalno emitovanje po DVB-T i DVB-T2 su trenutno u eksperimentalnoj fazi. Koristi se analogna, FM, radio difuzija, a neke prognoze govore o tome da standard za digitalnu radiodifuziju, DAB, koji je takođe u fazi testiranja kod nas, neće ni zaživeti.



Slika 1.2. Od kamere do predajnika: studio, produkcija i terminal

1.1.1. Analogni televizijski sistemi

Formiranje slike

Ukoliko se zanemari boja, svi televizijski sistemi u suštini rade na isti način. Monohromatska slika koju vidi kamera (sada je to luminescentna komponenta slike u boji) se deli na horizontalne linije. Skup svih linija jedne slike se naziva frejm. Svi savremeni analogni sistemi koriste analizu sa proredom. Jedna za drugom, redom se prenose naizmenične linije frejma – prvo sve neparne, a zatim sve parne. Svaka od ovih polovina frejma naziva se poluslika. Frejmovi se smenjuju 25 (30) puta u sekundi, zavisno od standarda, pa se tako poluslike javljaju 50 (60) u sekundi što je kompatibilno sa napajanjem u mreži koje u raznim delovima sveta iznosi 50 Hz (odnosno 60 Hz). Ovakav način prenosa omogućio je da pokreti na slici deluju kontinualno, za šta je, kako je eksperimentom utvrđeno potrebno bar 24 slike/s, i izbegnut je osećaj treperenja (fliker šum) za koji je potrebna veća frekvencija ponavljanja slike. Ukoliko bi se frejmovi smenjivali 50 puta u sekundi to bi duplo povećalo zahtevani propusni opseg, pa je ovo bila ključna ideja koja je doprinela razvoju televizijskog prenosa.

Prikazivanje signala je isto kao i analiza – sa proredom. Elektronski mlaz katodne cevi se gasi pri povratku na početak linije (povlačenje po horizontali) i pri povratku na početak ekrana (vertikalno povlačenje). Povlačenje po vertikalnoj liniji ekrana se naziva još i fantomska linija. Fantomske linije se ne prikazuju, ali su uračunate u ukupan broj linija pri specifikaciji video sistema. Kako je pri ovom povlačenju elektronski mlaz ionako ugašen, ove praznine u prikazivanju signala se mogu iskoristiti za prenos drugih informacija, kao što su informacije o boji ili test signali. Kasnije

su razvijeni mehanizmi za prenos digitalnih informacija za vreme trajanja ovih fantomskih linija, uglavnom kao teletekst.

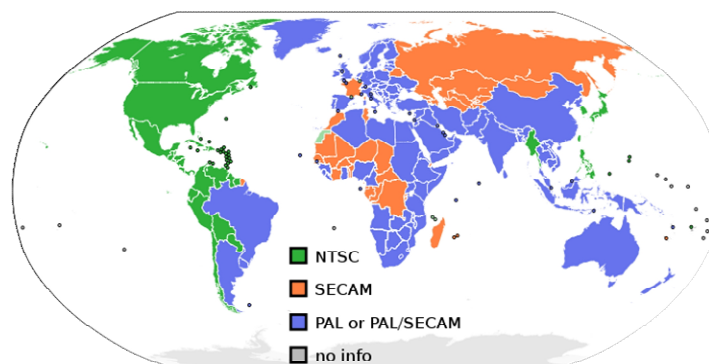
Modulacija audio i video signala

U analognoj televiziji, zvučni signal se snima, obrađuje i moduliše odvojeno od video signala. Najčešće se audio i video signal spajaju u predajniku, pre nego što se odvedu na emisionu antenu. U skoro svim standardima koristi se frekvencijska modulacija monofonskog signala (izuzetak su neki sistemi u Francuskoj, koji koriste AM) pa se prenos i obrada televizijskog audio signala ne razlikuju bitno od FM radio-difuzije. Stereofonski, i uopšte višekanalni audio, može se kodirati na različite načine. Tri najčešća postupka su NICAM (Near Instantaneous Companded Audio Multiplex) koji koristi digitalno kodiranje, sistem sa dva nosioca (Dual System Carrier) kod kojih srednja vrednost dva kanala moduliše jedan, a jedan od njih drugi nosilac zvuka i MTS (Multichannel Television Sound) kod kog se dodatni audio kanali multipleksiraju sa video nosiocem. Sva tri sistema su kompatibilna sa monofonskim FM prenosom.

Svi analogni televizijski sistemi koriste amplitudsku modulaciju sa nesimetričnim bočnim opsegom (VSB - Vestigial Sideband Modulation) za prenos video signala. Bitan parametar u televizijskom prenosu je i tip modulacije - da li se koristi pozitivna ili negativna. Pozitivna modulacija znači da se maksimum luminescentnog signala predstavlja maksimalnim naponom, a negativna znači da najjačem luminescentnom signalu odgovara najmanja snaga nosioca. Većina savremenih televizijskih sistema koristi negativnu modulaciju koja je znatno otpornija na šum. Druga prednost korišćenja negativne modulacije je što se tada sinhronizacioni impulsi predstavljaju maksimalnim naponom, pa je relativno jednostavno konstruisati automatsku kontrolu pojačanja koja će održavati konstantan nivo signala u celom TV prijemniku.

Prenos boje

Svi analogni televizijski sistemi su svoj radni vek počeli kao monohromatski. Svaka zemlja je, suočena sa lokalnim političkim, tehničkim i ekonomskim situacijom, usvojila sistem za prenos boje koji je najviše odgovarao postojećem monohromatskom sistemu. Teorijski, svaki monohromatski sistem bi mogao da se kombinuje sa bilo kojim sistemom za kodiranje boja, ali se u praksi pokazalo da nisu svi monohromatski sistemi pogodni za prenos televizije u boji, pa su neki od njih danas uveliko napušteni. Sve zemlje koriste jedan od tri postojeća sistema za prenos boje – NTSC, PAL ili SECAM. Na slici 1.3 prikazana je zastupljenost različitih sistema za prenos boje. Vidi se da Srbija, kao i veći deo Evrope koristi PAL (SECAM kompatibilni) standard.



Slika 1.3. Zastupljenost različitih televizijskih standarda

Formiranje PAL signala

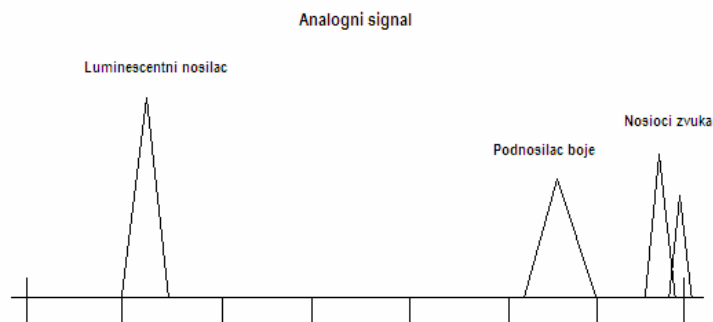
Televizijska kamera vrši analizu sa proredom, i na svom izlazu daje tri signala koji predstavljaju informacije o osnovnim bojama - crvenoj, zelenoj i plavoj, što se popularno naziva RGB sistem. Katodna cev pomoću koje se prikazuje signal na ekranu ima nelinearnu karakteristiku što bi promenilo vernost boja na slici zbog čega se vrši gamma korekcija. Posle gamma korekcije dobijamo R'G'B' od kog se dalje formiraju luminescentna (Y) i dve hrominentne komponente (U, V).

$$Y = 0.299R' + 0.587G' + 0.114B' \quad U = 0.492(B' - Y) \quad V = 0.877(R' - Y)$$

Kompozitni PAL signal izgleda sada kao:

$$u(t) = Y + U\sin(\omega t) + V\cos(\omega t), \text{ pri čemu je } \omega = 2\pi F_{SC} \text{ učestanost skeniranja.}$$

Vidi se da hrominentne komponente modulišu nosilac boje u kvadraturi. Svaka od ove tri komponente zauzima opseg od oko 1.3 MHz. Podnosilac boje pomeren u odnosu na luminescentnu komponentu za 4.43 MHz. Na ovaj signal se dodaje još i zvuk, koji je obično FM modulisan, i pomeren je u odnosu na luminescentnu komponentu za 5.5 MHz.

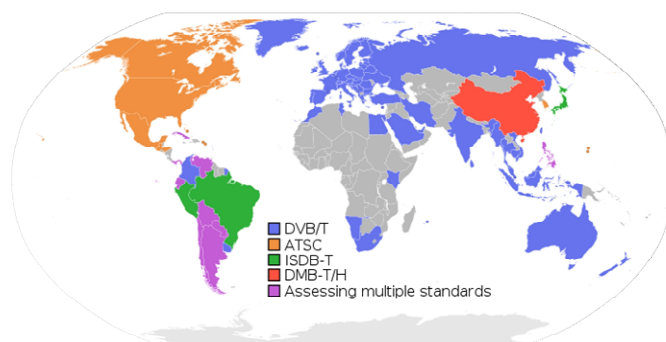


Slika 1.4. Spektar analognog video signala.

1.1.2. Digitalni televizijski sistemi

U poređenju sa analognom televizijom gde postoji više nekompatibilnih standarda, situacija sa digitalnom televizijom u svetu je dosta jednostavnija. Većina postojećih digitalnih televizijskih sistema bazirani su na standardu MPEG-2 za kodiranje audio i video signala i multipleksiranje tokova podataka. Standardi za digitalnu televiziju se razlikuju po audio i video formatu koji se koristi pre kodiranja. Postoje dva glavna međunarodnog standarda - ATSC i DVB, koji su nekompatibilni u skoro svakom smislu.

ATSC (Advanced Television Systems Committee) standard se koristi u SAD i Kanadi, a **DVB** u većem delu ostatka sveta. Znatno slabije su zastupljena preostala dva standarda, **ISDB**, koji se koristi u Japanu i Brazilu i veoma je sličan DVB standardu, i **DMB** koji se koristi u Narodnoj Republici Kini (uključujući Hong Kong i Makau) i Koreji, a koji dosta podseća na ATSC sistem.



Slika 1.5. Zastupljenost različitih standarda za digitalnu televiziju.

ATSC – Advanced Television Systems Committee

Zemaljski ATSC sistem (nezvanično ATSC-T) koristi modulaciju 8-VSB, koja je razvijena i patentirana od strane kompanije Zenith. U osnovi, analogni VSB je u odnosu na običnu amplitudsku modulaciju isto što i 8-VSB u odnosu na 8-QAM. Ovaj sistem je izabran kako bi obezbedio maksimalnu spektralnu kompatibilnost između postojeće analogne televizije i novih digitalnih stanica u frekvencijski već prezauzetom spektru televizije u SAD. Iako je inferioran u odnosu na ostale sisteme za digitalni prenos u pogledu fedinga, bolje rešava problem impulsnog šuma, koji je često prisutan u VHF opsegu, zbog čega su druge zemlje prestale ga da koriste za televiziju. Nakon demodulacije i ispravljanja grešaka, 8-VSB modulacija podržava digitalni tok podataka brzine oko 19.2 Mbit/s, dovoljno za jedan video tok visoke definicije (HDTV), ili nekoliko usluga standardnog kvaliteta.

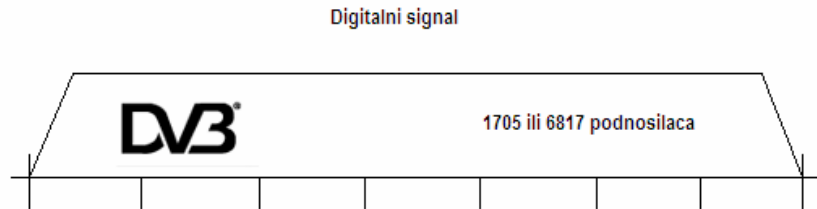
Kod kablovskog prenosa, ATSC obično koristi 256-QAM, iako neki sistemi koriste 16VSB. Oba ova standarda dupliraju protok na 38.4Mb/s u okviru istog opsega učestanosti širine 6MHz. ATSC se takođe koristi za satelitski prenos. ATSC-C i ATSC-S nikada nisu prihvaćeni kao zvanični nazivi

DVB – Digital Video Broadcast

DVB-T sadrži specifikacije za zemaljsku radio difuziju (Digital Video Broadcast - Terrestrial). Koristi COFDM sa 2k do 8k nezavisnih podnosilaca, zbog čega daje odlične rezultate u nepovoljnim uslovima prostiranja, kao što su putanje sa dubokim fedingom. Pruža izbor različitih varijanti standarda koje obezbeđuju brzine prenosa podataka od 4 do 24 MBit/s.

DVB-S je prvi objavljeni DVB standard, i definisan je 1995. Sadrži specifikacije modulacija i zaštitnog kodovanja namenjenih satelitskoj televiziji. Koristi se za komunikacione satelite širom sveta, pa čak i u Severnoj Americi. DVB-S koristi MPEG-2.

DVB-C predstavlja skup standarda za prenos signala digitalne televizije kablovskim putem (Digital Video Broadcasting - Cable). Ovaj sistem prenosi digitalni audio/video tok koji pripada MPEG-2 familiji, koristeći QAM modulaciju sa kanalskim kodiranjem.



Slika 1.7. Spektar jednog DVB-T signala

Prednost u odnosu na analogne sisteme

Digitalna televizija ima nekoliko prednosti u odnosu na analognu, a najznačajnija je ta što digitalni kanali zauzimanju manji opseg učestanosti (a potrebe za propusnim opsegom variraju sa zahtevima za kvalitet slike, koji zavisi od nivoa kompresije). Ovo znači da digitalni emiteri mogu spakovati više digitalnih kanala u jednom analognom, HDTV ili druge ne-televizijske usluge kao što su multimedija ili video na zahtev. DTV takođe omogućuje specijalne servise kao što su elektronski vodiči kroz program i izbor jezika za zvuk i titlove.

Moderni DTV sistemi pružaju interakciju između krajnjeg korisnika i emitera korišćenjem povratnog toka podataka. Sa izuzetkom koaksijalnih i kablova od optičkih vlakana, koji mogu biti dvosmerni, kada su u pitanju jednosmerne mreže kao što je satelitsko ili emitovanje putem antena obično se koristi dial-up modem ili neki drugi tip Internet konekcije za povratni tok podataka.

Zaštitne margine u digitalnoj televiziji

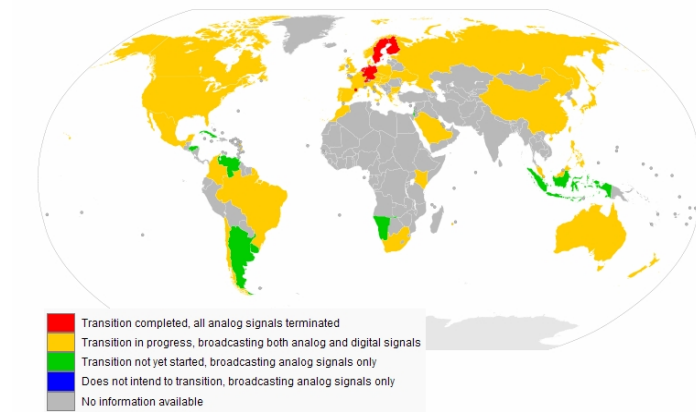
Digitalni signali bolje podnose interferenciju od analognih. Digitalni televizijski signali ne smeju da smetaju jedan drugom, i takođe moraju da se koriste zajedno sa analognom televizijom dok se ona ne ukine (tzv. "analogni switch-off"). Sledeća tabela prikazuje dozvoljene odnose signal-šum i signal-interferencija za različite scenarije interferencije. Ovi zaštitni odnosi predstavljaju odlučujući faktor pri izboru lokacije i jačine snage emisione stanice. Digitalna televizija je znatno tolerantnija prema interferenciji nego analogna televizija, i ovo je razlog zbog kojeg je manji broj kanala potreban za prenos skupa svih televizijskih stanica.

Sistemske parametri (ITU-model M3)	Zaštitne margine (C/N)
ABGŠ (aditivni beli gausov šum) u kanalu	+19.3 dB
Susednokanalska interferencija DTV u analognom kanalu	~ 37 dB
Susednokanalska interferencija analognog TV signala u DTV kanalu	+4 dB
Susednokanalska interferencija DTV u DTV kanalu	+19 dB

Tabela 1.1. Najmanji odnos signal/šum kada u kanalu postoje različite vrste smetnji.

Efekat na postojeću analognu televiziju

Potpuno i naglo gašenje analogne televizije, dovelo bi do toga da svi analogni televizori postanu neupotrebljivi nakon gašenja, osim ako se povežu na eksterni uređaj za konverziju signala, ili se prebace na (analognu ili digitalnu) kablovsku ili satelitsku televiziju. Većina zemalja je započela, a neke su već i završile prelazak na digitalno emitovanje. Analogni "switch-off" je u SAD zakazan za 12. jun 2009, za 31. avgust 2011. u Kanadi, 14. oktobar 2009. u nekim delovima Severne Italije i 2012-te u Velikoj Britaniji. Dinamika prelaska sa analogne na digitalnu televiziju, prikazana je na slici 1.8.



Slika 1.8. *Dinamika prelaska sa analognog na digitalno emitovanje*

1.2. Emisiona tehnika – od predajnika do televizora

Emisiona tehnika počinje sa mikrotalasnim linkovima (radio relejnim vezama) između terminala i emisionih centara.



Slika 1.9. *Od predajnika do televizora: emisiona sala antenski sistem i TV prijemnik*

U emisionom centru se signal po prijemu spušta u osnovni opseg, a zatim se konvertuje na željenu učestanost kanala koji su dodeljeni emisionom centru. Ovo je mesto gde se sabiraju video i zvučni signali. Posle konvertovanja u radni kanal, signal je potrebno pojačati dovoljno da on može da se prenese širokom auditorijumu sa zadovoljavajućim kvalitetom.

Nakon što je dovoljno pojačan, signal se vodi na antene koje se nalaze na antenskom stubu ili tornju. Da bi pokrio što veću teritoriju, toranj se postavlja na izdignuto mesto u odnosu na okolinu. Poželjno je da se postavi na neko brdo van grada da zračenje velike snage ne bi ometalo život i rad ljudi i uređaja u urbanoj sredini.

Na prijemnoj strani, potrebno je imati antenu i prijemnik koji su u stanju da prime i prikažu televizijski signal u odgovarajućem formatu. Kao što je već spomenuto, ovo nije jedini način dostavljanja radio i televizijskih signala. Postoje još i kablovska i satelitska televizija, ali je ovo najstariji, i još uvek najzastupljeniji način prijema TV signala u našoj zemlji.

1.2.1. Frekvencijsko planiranje

Spektar radio frekvencija je jedan od ograničenih resursa svake zemlje, pa je njegova upotreba u većini zemalja regulisana od strane države, i taj proces se naziva alokacija radio spektra. Propagacija radio talasa se ne zaustavlja na državnim granicama i zbog toga je neophodno postići dogovor o nameni i korišćenju radio spektra na međunarodnom nivou. U alokaciji radio spektra učestvuju veći broj organizacija za standardizaciju kao što su:

- International Telecommunication Union (**ITU**)
- European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (**CEPT**)
- European Telecommunications Standards Institute (**ETSI**)
- International Special Committee on Radio Interference (Comité international spécial des perturbations radioélectriques - **CISPR**)

Internacionalna Unija za Telekomunikacije, ITU, je jedna od najstarijih postojećih međunarodnih organizacija i bavi se standardizacijom, alokacijom radio spektra i uređivanjem međunarodnih sporazuma u oblasti telekomunikacija. Sa sedištem u Ženevi, predstavlja jednu od specijalizovanih agencija Ujedinjenih nacija.

U Srbiji, najviše regulatorno telo po pitanju alokacije radio spektra je Ministarstvo za telekomunikacije i informatičko društvo, i njegova specijalna agencija Republička agencija za telekomunikacije (**RATEL**).

Deo RF spektra koji je od interesa za radio-televiziju, raspored i numeracija kanala, prikazan je u tabeli 1.2.

Opseg	Dodeljene frekvencije	Kanal	Širina kanala
I	47 MHz – 68 MHz	2 - 4	7 MHz
II	87.5 MHz – 108 MHz	FM zvuk	
III	174 MHz – 223 (230) MHz	5 - 11(12)	7 MHz
IV	470 MHz – 582 MHz	21 - 27	8 MHz
V	582 MHz – 790 (860) MHz	28 - 60(69)	8 MHz
VI	10.7 GHz – 12.75 GHz	SATV	
Specijalni kanali	68 MHz – 82 (89) MHz	2 (3) S kanala	7 MHz
DAB	113 MHz – 123 MHz	S 2/3	5 MHz
CATV	125 MHz – 174 MHz 230 MHz – 300 MHz 302 MHz – 470 MHz	S4-S10 S11-S20 MAC S21-S41	7 MHz 7 MHz 12 MHz 8 MHz

Tabela 1.2. Radio kanali koji se koriste u radio-televizijskom prenosu

1.2.2. Mikrotalasni linkovi

Mikrotalasni radio prenos je tehnologija koji koristi usmereno zračenje (snop) radio-talasa u mikrotalasnom opsegu učestanosti za prenošenje digitalnih i analognih signala, između dve lokacije koje mogu biti udaljene od nekoliko metara do nekoliko stotina kilometara. Radio talasi se prenose između dve lokacije koristeći usmerene antene, formirajući fiksnu radio vezu između te dve tačke. Dugačke ulančane serije takvih linkova formiraju interkontinentalne telefonske i televizijske komunikacione sisteme.

U slučaju Radio Televizije Srbija (RTS) sistem mikrotalasnih linkova je sledeći. Na Košutnjaku se nalazi centar u kom se sakupljaju prilazi iz svih dopisništva. Sa Košutnjaka se emisionim centrima dostavlja signal za emitovanje. Ne postoji direktna veza svih emisionih lokacija sa centrom u Košutnjaku – neki emisioni centri signal dobijaju od drugih emisionih lokacija. Zbog toga se formira nekoliko prstenova, u slučaju da neka od veza otkáže ili da uslovi za propagaciju signala postanu loši.

Radio Televizija Srbije radi sa dvanaest velikih emisionih centara. To su: Subotica, Crveni Čot, Vršac, Avala, Crni Vrh, Ovčar, Tupižnica, Deli Jovan, Kopaonik, Jastrebac, Besna Kobilica i Tornik. Postoji i nekoliko desetina malih emisionih centara. Pored predajnika, emisionu tehniku upotpunjava još i mreža od 205 ripitera. Na slici 1.12 je prikazana mreža predajnika RTS.



Slika 1.12. Mreža predajnika Radio Televizije Srbije.

2. Pregled osnovnih RF i mikrotalasnih pasivnih komponenti

U ovom poglavlju dat je kratak pregled komponenti specifičnih za RF i mikrotalasne učestanosti koje su esencijalne za funkcionisanje radio-televizijskih sistema. Opisane su i osnovne osobine vođenih i slobodnih elektromagnetskih talasa, a posebna pažnja posvećena je strukturama za vođenje talasa, usmerenim sprežnjacima, deliteljima snage i kombajnerima, multiplekserima, cirkulatorima i izolatorima, kao i filtrima i antenskim sistemima. Objašnjen je ukratko princip funkcionisanja komponenti, definisani osnovni pojmovi koji se koriste u njihovoj karakterizaciji kao i najčešća primena u praksi.

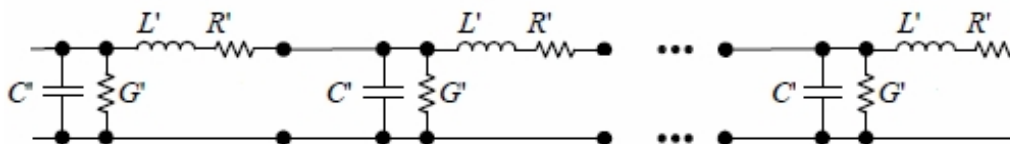
2.1. Sistemi za vođenje talasa

Sistemi za vođenje elektromagnetskih talasa imaju zadatak da usmere tok elektromagnetske energije duž određenog puta. Ovi sistemi se dele na vodove i talasovode. Vodovi i talasovodi treba što manje da zrače i da imaju što manje gubitke.

2.1.1. Vodovi

Primarni i sekundarni parametri vodova

Približna analiza vodova sa TEM talasima sa malim gubicima može se sprovesti preko jednačina teorije kola. Analiza je približna, ali za većinu praktičnih primena daje dovoljno tačne rezultate. Osnovnu strukturu za vođenje talasa – vod, možemo predstaviti kaskadom L-polučelija kao na slici. U ovoj aproksimaciji redna otpornost modeluje gubitke u provodniku, paralelna otpornost gubitke u dielektriku, redna induktivnost i paralelna kapacitivnost modeluju raspodeljenu induktivnost i kapacitivnost voda. Ovi parametri se nazivaju primarni parametri voda.



Slika 2.1. Lestvičasta mreža koja aproksimira ponašanje voda

Sekundarni parametri – karakteristična impedansa i koeficijent prostiranja – su pogodniji za opisivanje talasa koji se prostire duž voda. Sekundarni parametri računaju se iz primarnih na sledeći:

karakteristična impedansa	$Z_c = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}}$
koeficijent prostiranja	$g = \sqrt{(R' + j\omega L')(G' + j\omega C')}$

Tabela 2.1. Sekundarni parametri voda

Kod vodova koji rade u RF i mikrotalasnom području, obično je $R' \ll \omega L'$ i $G' \ll \omega C'$, pa se jednačine iz tabele mogu pojednostaviti:

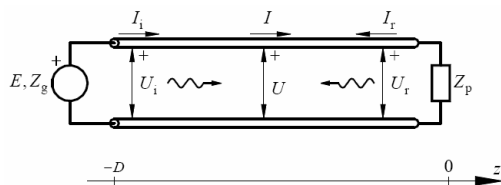
karakteristična impedansa	$Z_c = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$	$[\Omega]$
koeficijent prostiranja	$g = a + jb$	$[1/m]$
koeficijent slabljenja	$a = \frac{R'}{2Z_c} + \frac{G'}{2Y_c}$	$[N/m]$
fazni koeficijent	$b = w\sqrt{L'C'}$	$[rad/m]$

Tabela 2.2. Sekundarni parametri voda sa malim gubicima

Podužna kapacitivnost voda praktično ne zavisi od frekvencije i određena je permitivnošću dielektrika i dimenzijama voda. Podužna induktivnost blago zavisi od frekvencije (pre svega zbog površinskog efekta), pa je i karakteristična impedansa pod navedenim uslovima praktično konstantna u širokom opsegu učestanosti.

Koeficijent refleksije i koeficijent stojećih talasa

Na slici je prikazan primer kola sa vodom. Referentni smerovi napona i struja su kao na slici 2.2. Rešavanjem jednačina telegrafičara (koje su specijalan slučaj Maxwell-ovih) dobija se da na vodu postoje incidentni i reflektovani talas.



Slika 2.2. Primer jednostavnog kola sa vodom i referentni smerovi napona i struja na njemu

Količnik napona incidentnog i reflektovanog talasa, naziva se koeficijent refleksije i iznosi:

$$\underline{G}_p = \frac{U_r}{U_i} = \frac{Z_p - Z_c}{Z_p + Z_c}$$

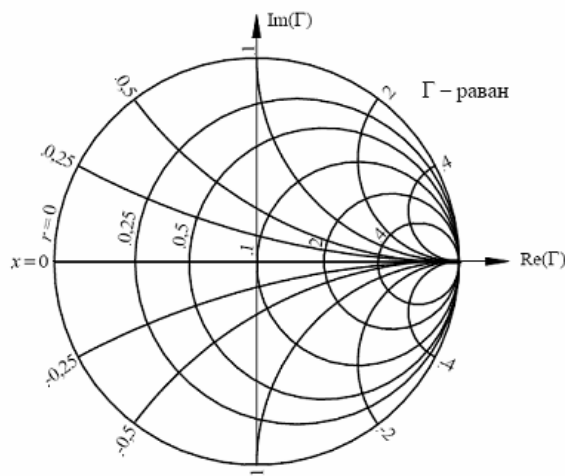
Ukoliko je koeficijent refleksije jednak nuli kaže se da je prijemnik prilagođen na vod. U praksi se češće daje koeficijent stojećih talasa, VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) koji je povezan sa koeficijentom refleksije relacijom:

$$S = \frac{1 + |\underline{\Gamma}_p|}{1 - |\underline{\Gamma}_p|}$$

Koeficijent refleksije u nekom preseku voda predstavlja bilinearnu transformaciju normalizovane impedanse prijemnika $z_p = Z_p/Z_c$:

$$\underline{\Gamma}_p = \frac{Z_p - Z_c}{Z_p + Z_c} = \frac{z_p - 1}{z_p + 1}$$

Transformacija normalizovane impedanse u koeficijent refleksije i obratno, najlakše se vrši pomoću *Smith*-ovog dijagrama. Sa *Smith*-ovog dijagrama lako se uočavaju i neke druge osobine kola pa je ovakav način prikaza danas ugrađen u praktično sve mikrotalasne merne instrumente i softverske alate.



Slika 2.3. Smitov dijagram

Na visokim frekvencijama je veoma teško ostvariti idealne kratke spojeve i otvorene veze, a čak i kada se ostvare mogu izazvati kvar ili nepravilan rad uređaja koji se meri (npr. pojačavača). Takođe, kod nekih uređaja koji su karakteristični za RF i mikrotalasne učestanosti nije uvek moguće jednoznačno definisati struje i napone. Zato su uvedeni s -parametri (parametri rasejanja) koji opisuju odnose intenziteta talasa koji se javljaju na pristupima mreže, kada je jedan od njih pobuđen, a svi ostali zatvoreni prilagođenjima. Popularnost s -parametara potiče od činjenice da ne zahtevaju kratak spoj i otvorenu vezu pristupa za njihovo određivanje, kao što je to slučaj sa y , z i h parametrima. Treba imati u vidu se s -parametri odnose na linearna kola i kao takvi nisu pogodni za opisivanje nelinearnih komponenti. S -parametri mikrotalasnih mreža se predstavljaju matricom rasejanja. Parametar s_{ii} predstavlja koeficijent refleksije na pristupu i kada su svi ostali pristupi zatvoreni nominalnim impedansama. Parametar s_{ij} predstavlja koeficijent prenosa od pristupa j ka pristupu i pod istim uslovima.

$$[S] = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{bmatrix}$$

Slika 2.4. S -matrica mreže sa dva pristupa

Talasna dužina, fazna i grupna brzina

Talasna dužina, fazna i grupna brzina su tri bitna parametra koja opisuju talas na vodu. Talasna dužina predstavlja rastojanje između dva najbliža transverzalna preseka sistema za vođenje talasa u kojima je talas u fazi. Talasnu dužinu označavamo sa l_g (g potiče od "guided"). Fazna brzina je brzina kojom bi trebao da se kreće posmatrač tako da talas uvek vidi u istoj fazi. Označava se sa c_j . Grupna brzina predstavlja brzinu prostiranja faze sinusoidalne modulacije prostoperiodičnog nosioca, i označava se sa c_g . Pojava da grupna brzina zavisi od učestanosti naziva se disperzija. Zbog disperzije se talasni oblik (nesinusoidalnog) modulisanog signala izobličuje, što često ograničava kapacitet sistema za prenos informacija. U tabeli 2.3 date su formule za računanje ovih parametara.

Talasna dužina	l_g	$l_g = \frac{2p}{b}$
----------------	-------	----------------------

Fazna brzina	c_j	$c_j = \frac{w}{b}$
Grupna brzina	c_g	$c_g = \left(\frac{db}{dw}\right)^{-1}$

Tabela 2.3. Talasna dužina, fazna i grupna brzina elektromagnetskog talasa koji se prostire na vodu

Srednja snaga, gubici i koeficijent slabljenja

U svim realnim sistemima za vođenje talasa postoje gubici, koji se javljaju zbog nesavršenosti materijala. Ukoliko su gubici dovoljno mali, moguće je primeniti perturbacioni metod za njihovo računanje. Po tom postupku, najpre se pretpostavi da je sistem idealan bez gubitaka i odredi se struktura polja, pa se onda uračunaju gubici. U opštem slučaju, gubici postoje i u provodnicima i u dielektriku, a koeficijent slabljenja se može prikazati kao zbir, $\alpha = \alpha_p + \alpha_d$. Koeficijent slabljenja voda računamo kao realni deo koeficijenta prostiranja:

$$\alpha = \text{Re}\{\gamma\} = \text{Re}\left\{\sqrt{j\omega\mu\sigma - \omega^2\mu\epsilon}\right\}$$

Kod gubitaka u provodnicima, bitna je dubina prodiranja. Dubina prodiranja se definiše kao rastojanje od površi provodnika na kome polje opadne e puta, a računa se kao

$$d = \frac{1}{\sqrt{spmf}}$$

Polje u provodnike praktično prodire do nekoliko d (što se naziva još i *skin* efekat). Gubici u dielektriku potiču od polarizacionih gubitaka (dielektrični histerezis) i konačno male specifične provodnosti dielektrika (Džulovi gubici). Džulovi gubici se javljaju kako pri stalnim i sporo promenljivim poljima, tako i pri visokim učestanostima. Polarizacioni gubici su karakteristični za visoke učestanosti, jer vektor polarizacije ne može da prati brze promene električnog polja. U praksi je obično nebitno koji od ova dva mehanizma dominira, pa gubitke u dielektriku zajednički karakterišemo preko tangensa ugla gubitaka,

$$\alpha_d = \frac{s_d}{2} \sqrt{\frac{m}{e}} = \frac{b}{2} \text{tg} d.$$

TEM, TE, TM i hibridni talasi

Kao što je već rečeno, naponi i struje nisu uvek pogodni za opisivanje prostiranja signala na vodu. U RF i mikrotalasnoj tehnici mnogo je pogodnije posmatrati prostiranje talasa. U sistemima za vođenje talasa mogu se prostirati TEM, TE, TM i hibridni talasi.

Transverzalni elektromagnetski (TEM) talas nema komponente električnog i magnetskog polja u pravcu prostiranja talasa. TEM talas može da se prostire samo na vodovima jer zahteva bar dva provodnika. Koeficijent prostiranja TEM talasa je isti kao za uniforman ravan talas (slobodni talas) koji se prostire u homogenoj sredini istih parametara kao dielektrik voda.

Trasverzalni električni (TE) talas je talas kod kog postoji longitudinalna komponenta magnetskog polja, a ne postoji longitudinalna komponenta električnog polja. Analogno tome, transverzalni magnetski (TM) talasi su talasi koji sadrže longitudinalnu komponentu električnog polja, ali ne i magnetskog polja. TE i TM talasi mogu se prostirati i duž vodova i duž talasovoda. Kod TE i TM

talasa, definiše se kritična učestanost. Ako je učestanost niža od kritične, polje eksponencijalno slabi (što znači da se ne prostire – reč je o evanescentnom talasu). Talas se prostire samo ako je učestanost viša od kritične.

Hibridni talasi imaju longitudinalne komponente i električnog i magnetskog polja. Kvazi-TEM talasi su hibridni talasi koji imaju zanemarljivo male longitudinalne komponente električnog i magnetskog polja.

Vodovi su sistemi od dva ili više paralelnih provodnika. Najveću primenu u televizijskim sistemima imaju koaksijalni i planarni vodovi.

Koaksijalni vod

Karakteristična impedansa koaksijalnog voda određena je njegovom podužnom induktivnošću i podužnom kapacitivnošću kao što je navedeno u tabeli 2.2. Zbog uticaja skin efekta na induktivnost, karakteristična impedansa nije potpuno nezavisna od frekvencije. Karakteristična impedansa koaksijalnog voda (kada je dubina prodiranja mnogo manja od unutrašnjeg poluprečnika voda) može se računati po obrascu:

$$Z_c = \frac{60}{\sqrt{e_r}} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \quad [\Omega]$$

gde je e_r relativna dielektrična permitivnost, b spoljašnji, a a unutrašnji poluprečnik koaksijalnog voda.

Pri visokim učestanostima, kada je površinski efekat izražen, koeficijent slabljenja je srazmeran kvadratnom korenu iz učestanosti. Slabljenje se može smanjiti povećanjem dimenzija voda. Međutim, povećanje gabarita kabla dovodi do porasta težine i cene voda. Imajući u vidu slabljenje, optimalan odnos spoljašnjeg i unutrašnjeg prečnika iznosi $b/a=3.59$. Za najčešće korišćeni dielektrik, polietilen, $e_r = 2.25$, karakteristična impedansa voda koji unosi minimalno slabljenje iznosi oko 50Ω . Pored slabljenja, dimenzije voda se mogu optimizovati tako da vod bude u stanju da izdrži što veći napon ili snagu. Maksimalna snaga koja se može preneti koaksijalnim vodom ograničena je sa dva faktora. Prvi je proboj dielektrika zbog jakog električnog polja. Drugi faktor je pregrevanje dielektrika oko unutrašnjeg provodnika.

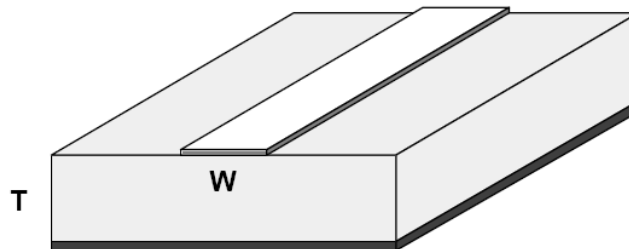
Postoje tri vrste koaksijalnih vodova: kruti, polukruti, i savitljivi. Kod krutih vodova, dielektrik je najčešće vazduh, i zbog toga se unutrašnji provodnici moraju fiksirati na određen način. Kruti vodovi se primenjuju u mernoj opremi i za prenos velikih snaga. Polukruti vodovi se koriste za spajanje pojedinih kola u okviru jednog uređaja. Spoljašnji provodnici su sačinjeni od bakarnih cevi tankih zidova. Savitljivi vodovi se najčešće koriste za povezivanje različitih uređaja kad god je potrebno imati savitljivu vezu koja se može lako rastaviti. Spoljašnji provodnici savitljivih vodova sastoje se od upletenih tankih žica.



Slika 2.5. Koaksijalni vodovi - savitljivi, polusavitljivi i kruti

Planarni vodovi

U savremenoj mikrotalasnoj tehnici dominiraju kola izrađena u tehnici štampanih veza (planarna kola). Planarni vodovi omogućavaju minijaturizaciju i jednostavna rešenja bez suvišnih kablova, ali su zbog konstrukcije ograničeni na manje snage. Dielektrici planarnih vodova su često nehomogeni (npr. kod mikrotrakastih vodova). Zbog nehomogenosti dielektrika, na planarnim vodovima se mogu prostirati samo hibridni talasi. Stroga analiza ovakvih planarnih vodova zahteva primenu numeričkih metoda. Postoje razni softverski alati koji omogućavaju jednostavno projektovanje, analizu i sintezu pomoću ugrađenih empirijski dobijenih formula.



Slika 2.6. Planarni vod u mikrostrip tehnologiji

2.1.2. Talasovodi

Talasovodi su cevi, dielektrični cilindri ili provodnici presvučeni dielektrikom, kroz koje se mogu prostirati elektromagnetski talasi. Za talasovode u obliku cevi (šuplji talasovodi), ispunjene vazduhom, gubici u dielektriku su zanemarljivo mali. Najveća snaga koja se može prenositi talasovodom ograničena je probojom dielektrika u talasovodu. Za razliku od vodova, kod šupljih talasovoda zagrevanje provodnika nije kritično jer se on nalazi sa spoljašnje strane i dobro se hladi. Na talasovodima se ne mogu jednoznačno definisati napon i struja, pa se analiza prostiranja talasa obično vrši preko ekvivalentnih vodova ili numeričkim metodama.

Kod talasovoda se definiše kritična učestanost (*cut off frequency*). Rešavanjem Maxwell-ovih jednačina za slučaj prostiranja talasa u pravougaonom talasovodu dobija se da fazni koeficijent iznosi:

$$b = w\sqrt{em}\sqrt{1 - \left(\frac{kp}{wa\sqrt{em}}\right)^2}$$

gde je a horizontalna dimenzija talasovoda. Da bi se talas prostirao fazni koeficijent mora biti realan, odnosno:

$$w > w_c = \frac{kp}{a\sqrt{em}}$$

Učestanost w_c naziva se kritična učestanost talasovoda, a definiču se još i kritična talasna dužina i frekvencija. Za različito k dobijaju se različite strukture polja talasa koji se prostire u talasovodu, i one se nazivaju modovi. Najnižu kritičnu učestanost ima talas za $k=1$ (u pravougaonom talasovodu TE₁₀ mod) i on se naziva dominantni mod.

Formula za slabljenje u talasovodu iznad kritične frekvencije glasi:

$$a = \frac{2p}{I_c} \sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}$$

Na talasovodu se ne mogu prostirati TEM talasi, već samo TE i TM. U tabeli X, upoređene su talasne impedanse ovih tipova talasa.

	TEM	TE	TM
Talasna impedansa	$Z_{TEM} = \sqrt{\frac{m}{e}}$	$Z_{TE} = \frac{Z_{TEM}}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}}$	$Z_{TM} = Z_{TEM} \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}$
Koeficijent prostiranja	$g = jw\sqrt{em}$	$g = j\sqrt{w^2em - K^2}$	$g = j\sqrt{w^2em - K^2}$

Tabela 2.4. Pregled talasnih impedansi i koeficijenata prostiranja za različite tipove talasa

gde je f_c kritična učestanost talasovoda, a K koeficijent koji zavisi od oblika i dimenzija talasovoda.

U praksi se najčešće koristi pravougaoni i eliptički talasovod, a ređe kružni.



Slika 2.7. Eliptički talasovod

Prelazi između koaksijalnih vodova i talasovoda se mogu podeliti na dve grupe – kapacitivne (električne) i induktivne (magnetske). Osnovni oblik kapacitivne sprege je kratka žica (antenica ili sonda) koja predstavlja produžetak unutrašnjeg provodnika koaksijalnog voda, a spoljašnji provodnik se vezuje za zid talasovoda. Induktivna sprega je u obliku petljice koja je vezana između unutrašnjeg provodnika koaksijalnog voda i zida talasovoda.

2.1.3. Konektori, adapteri i spajanje sekcija talasovoda

Vodovi su najčešće završeni konektorima koji obezbeđuju lako spajanje i rastavljanje veza. U televizijskom sistemu koriste se različiti tipovi standardnih konektora. Pregled konektora i njihovih radnih opsega dat je u tabeli 2.5. Adapteri služe za prelazak sa konektora jednog tipa na konektor drugog tipa.

Spajanje sekcija talasovoda ostvaruje se na razne načine u zavisnosti od namene. Fiksni spoj dva talasovoda ostvaruje se lemljenjem ili zavarivanjem po obimu, a rastavljiv spoj se ostvaruje pomoću prirubnice (flanše). U slučaju da talasovod treba saviti, savijutak ne sme biti oštar, jer to unosi veliki diskontinuitet. Račvanje talasovoda se obično pravi u obliku T-spojeva.


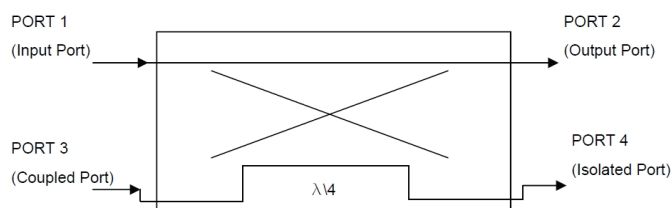
Tip	Maksimalna frekvencija	Ženski konektor	Muški konektor
F	250 MHz – 1 GHz		
BNC	2 GHz i više		
EIA	3 GHz		
N	12 GHz i više		
SMA	12 GHz i više		

Tabela 2.5. Pregled najčešće korišćenih konektora u televizijskom sistemu

2.2. Usmereni sprežnjaci

Prvo treba da idu delitelji, pa sprežnjaci, pa cirkulatori i izolatori, pa filtri i na kraju multiplekseri! Usmereni sprežnjaci su recipročne prilagođene mreže sa četiri pristupa. Blok šema usmerenog sprežnjaka prikazana je na slici 2.8. Signal sa ulaza 1 se na izlazu 2 javlja oslabljen, na pristupu 3 sa određenim nivoom sprege, a pristupi 1 i 4 su međusobno izolovani. (U literaturi nije standardizovana numeracija pristupa.) Ponekad se izolovani pristup završava prilagođenjem, pa sprežnjak postaje mreža sa tri pristupa. Zbog usmerivačkog svojstva, sprežnjak omogućava razdvajanje podataka u talasima koji se prostiru u suprotnim smerovima, pa se on najčešće koristi za kontrolu rada uređaja, u merenjima ili kao deo multipleksera i drugih složenijih komponenti.



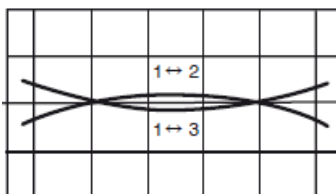
Slika 2.8. Blok šema usmerenog sprežnjaka.

Kod usmerenog sprežnjaka definišu se uneto slabljenje (A), sprege (C), izolacija (I) i usmerenost (ili direktivnost) (D).

$$A = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad C = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_3} \right) \quad I = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_4} \right) \quad D = I - C = 10 \log \left(\frac{P_3}{P_4} \right).$$

Kod sprežnjaka koji se koriste u merenjima, uneto slabljenje je reda 0.5 dB, a sprege 20-30 dB. Kod hibridnih (trodecibelskih ili 3dB) sprežnjaka, snaga na ulazu se deli na dva jednaka dela, pa su sprege i uneto slabljenje po 3 dB. Odnos signala na pristupima 1 i 4 naziva se izolacija. Poželjno je da izolacija bude što veća i u praksi se najčešće kreće od 20 dB do 50 dB. Direktivnost sprežnjaka je mera koliko je sprežnjak zaista dobar i predstavlja razliku između izolacije i sprege.

Još jedna bitna karakteristika usmerenog sprežnjaka je i devijacija sprege u radnom opsegu. Frekvencijska zavisnost unetog slabljenja i sprege je takva da postoje dva preseka, kao na slici 2.9. Obično se frekvencijski opseg definiše kao opseg između ta dva preseka. Devijacija sprege predstavlja dozvoljenu maksimalnu razliku ove dve krive. Obično se kreće oko 0.5 dB.



Slika 2.9. Devijacija sprege u radnom opsegu sprežnjaka

Idealno, usmereni sprežnjak je mreža bez gubitaka, a uz to je prilagođena na svim pristupima. S-parametri usmerenog sprežnjaka se pogodnom numeracijom pristupa mogu svesti na jedan od dva oblika:

$$[s] = \begin{bmatrix} 0 & \alpha & 0 & j\beta \\ \alpha & 0 & j\beta & 0 \\ 0 & j\beta & 0 & \alpha \\ j\beta & 0 & \alpha & 0 \end{bmatrix}$$

s - parametri kvadraturnog sprežnjaka

$$[s] = \begin{bmatrix} 0 & \alpha & 0 & \beta \\ \alpha & 0 & -\beta & 0 \\ 0 & -\beta & 0 & \alpha \\ \beta & 0 & \alpha & 0 \end{bmatrix}$$

s - parametri antisimetričnog sprežnjak

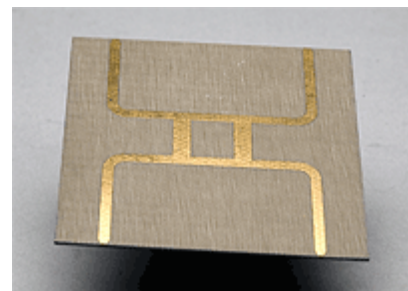
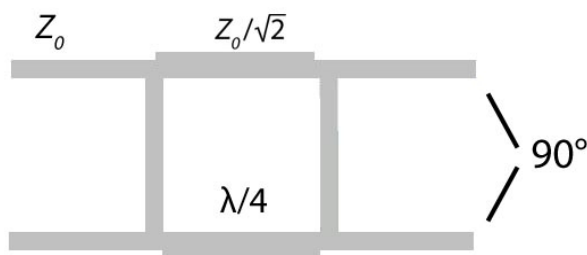
Kod kvadraturnih sprežnjaka (nazivaju se još i simetrični) signali na izlazu su fazno pomereni za 90 stepeni, a kod antisimetričnih, signali na izlazu su u protivfazi. Kod 3dB-sprežnjaka $a = b = 1/\sqrt{2}$.

U katalogima proizvođača mogu se naći još dva bitna parametra kvadraturnih hibridnih sprežnjaka (nazivaju se još i 3dB-kvadraturni sprežnjaci ili „kvadraturni hibridi”) koji su najčešće i javljaju u praksi – amplitudsko i fazno odstupanje. Amplitudsko odstupanje predstavlja razliku nivoa snage na dva izlazna pristupa. Idealno, ne bi trebalo da bude razlike i oba signala bi trebalo da su 3 dB ispod nivoa ulaza. Međutim, komponente sprežnjaka su frekvencijski zavisne i razlika postoji ali obično ne prelazi 0.5 dB. Fazno odstupanje je veoma bitno kada se sprežnjak koristi kao deo drugih, složenijih komponenti. Tipično odstupanje faznog pomeraja izlaznih signala je 1.5°.

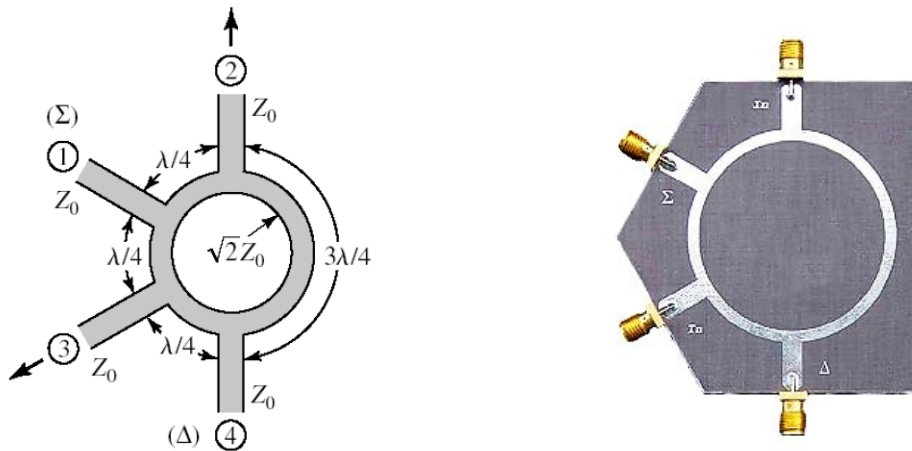
Sprežnjaci sa koncentrisanom spregom

Kod ove grupe sprežnjaka, četiri pristupa su povezana mrežom običnih (dvoprovodničkih) vodova. Signali se prostiru od pobuđenog pristupa do ostalih pristupa. Do izolovanog pristupa različitim putevima stižu signali istih efektivnih vrednosti, ali u protivfazi.

Dva tipična predstavnika ove grupe sprežnjaka su sprežnjak sa ograncima (branch-line coupler) i hibridni prsten (hybrid ring) koji se još naziva i "rat-race". Prvi je primer kvadraturnog, a drugi antisimetričnog sprežnjaka.



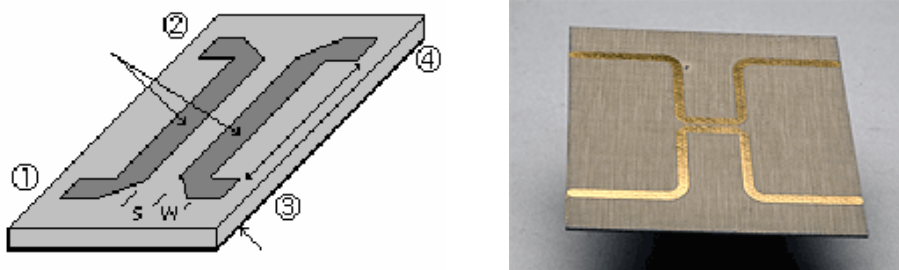
Slika 2.10. Branchline sprežnjak - blok šema i fotografija



Slika 2.11. Rat-race sprežnjak - blok šema i fotografija

Sprežnjaci sa raspodeljenom spregom

Ako su dva voda smeštena dovoljno blizu, deo energije koja se prostire jednim vodom preneće se na drugi. Koliki deo energije će se preneti na drugi (nepobuđeni) vod zavisi od sprege između vodova – što su vodovi bliži, veća je njihova međusobna sprega. Usmerenost se postiže pogodnim izborom dužine spregnutih sekcija, u ovom slučaju to je $l/4$. U praksi se pokazalo da je bolje $l/4$ računati nešto iznad centralne frekvencije radnog opsega, jer se tada dobija bolji frekvencijski odziv na gornjoj granici radnog opsega. Na slici 2.12 je predstavljen jedan ovakav usmereni sprežnjak.



Slika 2.12. Primer sprežnjaka sa raspodeljenom spregom - blok šema i fotografija

2.3. Delitelji snage

Kvadraturni 3dB-sprežnjak deli ulazni signal na dva jednaka dela, koji su fazno pomereni za 90 stepeni, što je poželjno u nekim primenama ali ne i ukoliko se želi postići da izlazi budu u fazi ili ukoliko je potrebno signal podeliti na više delova. U tom slučaju koristi se delitelj snage koji daje izlaze koji su u fazi i nije ograničen na samo dva izlaza.

Delitelji snage se koriste kad god je potrebno podeliti snagu održavajući pri tome dobro prilagođenje na svim pristupima. Bitne karakteristike delitelja snage su - uneto slabljenje, amplitudska i fazna odstupanja među izlazima, izolacija pristupa, prilagođenje i radni opseg.

Svaki pasivni delitelj snage je istovremeno i kombajner (sabirač snage), a da li će ova komponenta raditi kao delitelj ili kombajner određeno je samo time koji pristupi se koriste kao ulazni a koji kao izlazni.

U realnim deliteljima snage javljaju se gubici pa se definiše uneto slabljenje. U slučaju delitelja snage sa dva izlaza nemamo samo slabljenje od 3 dB koje postoji zbog jednake raspodele snage, već je ukupno slabljenje izlaznog signala tipično oko 3.15 dB. Razlika od 0.15 dB na prvi pogled nije velika, ali treba imati u vidu da u sistemu često postoji nekoliko delitelja, pa ovako akumulirano slabljenje može biti značajno. Kao i kod usmerenih sprežnjaka, kod delitelja snage bitna su amplitudska i fazna odstupanja. Amplitudsko odstupanje govori o tome koliko se razlikuju snage na pojedinačnim pristupima. Ukoliko, na primer, kod delitelja snage sa tri izlaza na jednom pristupu merimo -4.98 dB, na drugom -5.00 dB, i na trećem -5.01 dB, izlazi se razlikuju za 0.03 dB. U zavisnosti od broja izlaza, amplitudsko odstupanje se kreće od 0.2 do 0.5 dB. Fazno odstupanje se može posmatrati kao odstupanje od ulaza, ili kao maksimalno odstupanje među izlazima. Tipično fazno odstupanje je reda 2° .

Jedna od najčešćih primena delitelja snage je deljenje signala na ulazu u pojačavač. Signal se podeli na nekoliko pojačavača, a zatim se njihovi izlazi sabiraju kombajnerom, čime je izbegnuto korišćenje pojačavača velikih snaga, koje je u praksi vrlo teško, a nekada i nemoguće napraviti. Druga česta primena delitelja snage je kod emisionih antenskih sistema, gde su neophodni za napajanje više antena pomoću jednog napojnog voda signalima koji najčešće treba da budu u fazi.

2.3.1. Wilkinson-ov delitelj snage

Wilkinsonov delitelj snage omogućava različit broj izlaza, od kojih su svi u fazi, a moguća je postići različitu raspodelu snaga na izlazima sa prihvatljivom tolerancijom. Na slici 2.13 prikazana je blok šema i primer Wilkinsonovog delitelja snage u tehnici mikrotrakastih vodova.

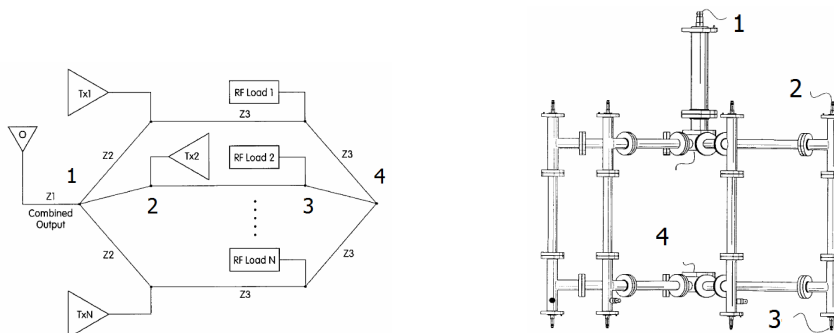


Slika 2.13. Wilkinson-ov delitelj snage – blok šema i fotografija

Treba istaći da su uvodnici (ulazni i izlazni vodovi) delitelja 50-omski vodovi. Impedansa sekcija vodova između uvodnika zavisi od broja izlaza. U slučaju delitelja sa dva izlaza, njihova impedansa iznosi $50\sqrt{2} = 70.7 \Omega$ (u tehničarima mikrotrakaških vodova, vodovi veće impedanse su uži). Takođe, Wilkinson-ov delitelj ima otpornik između izlaznih vodova. Uloga otpornika je da obezbedi izolaciju između izlaza. Da nema otpornika, izolacija bi bila veoma niska. Sekcije vodova između uvodnika su dugačke po $l/4$.

2.3.2. Gysel-ov delitelj snage

Wilkinsonov delitelj daje zadovoljavajuće rezultate za većinu primena i zbog toga je široko zastupljen u praksi. Najveća mana mu je, međutim, takozvani „lebdeći otpornik“ koji se vezuje između izlaznih vodova. Pri velikim snagama ili neispravnom radu uređaja ovaj otpornik se jako zagreva jer nije vezan za masu. Takođe, ukoliko želimo delitelj sa više izlaza lebdeći otpornik predstavlja problem za realizaciju u tehničarima štampanih vodova, jer delitelj tada nije više planarna struktura. Kao rešenje ova dva problema, Gysel je smislio modifikaciju Wilkinsonovog delitelja snage koji se po njemu zove Gyselov delitelj snage. Modifikacija se sastoji u tome da se „lebdeći otpornik“ sada vezuje na masu umesto između izlaznih vodova.



Slika 2.14. Gysel-ov delitelj snage – blok šema i skica patenta.

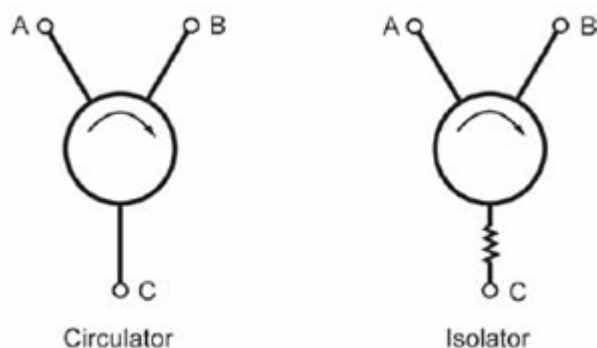
2.4 Cirkulatori i izolatori

Cirkulator je neregipročna pasivna mreža bez gubitaka sa tri pristupa, a uloga mu je da signal na ulazu propušta samo u određenom smeru, kao što se vidi sa njegove šematske oznake na slici 2.15. Izolator je takođe neregipročna pasivna mreža. Ima dva pristupa i služi tome da propušta signal samo u jednom smeru. Izolator je specijalan slučaj cirkulatora kod koga je jedan pristup zatvoren prilagođenjem. Najbitniji parametri cirkulatora i izolatora su prilagođenje, uneto slabljenje i izolacija.

Kod cirkulatora postoji interakcija između stacionarnog magnetskog polja i feritnog materijala, koja uzrokuje žiromagnetsko kretanje i rezultuje veoma usmerenim osobinama komponente.

Na slici 2.21 su prikazani simbol za cirkulator i jedna od mogućih realizacija izolatora pomoću cirkulatora. Strelica pokazuje pravac cirkulacije.

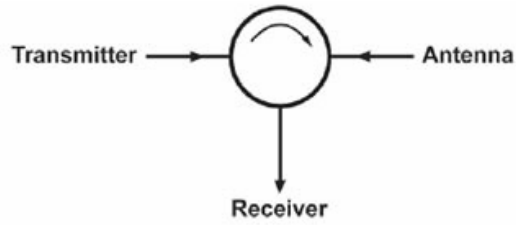
Imajući u vidu kako funkcioniše cirkulator, jednostavno je objasniti kako radi izolator. Ukoliko je pobuda na pristupu A, signal izlazi na pristupu B ako postoji prilagođenje. Ukoliko ne postoji prilagođenje na pristupu B, deo signala se reflektuje, ali pošto je na pristupu C prilagođenje, sav reflektovani signal se na njemu apsorbuje.



Slika 2.15. Šematska oznaka cirkulatora i izolatora

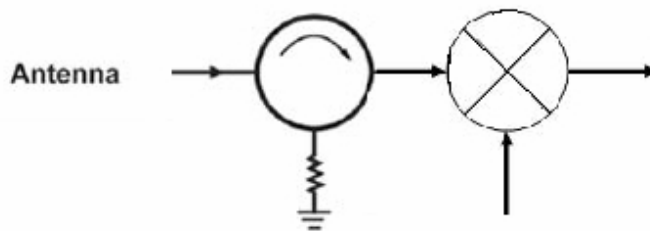
Uneto slabljenje kod cirkulatora i izolatora je tipično 0.5 dB, a izolacija obično prelazi 20 dB. Izolacija pristupa kod izolatora bitno zavisi od prilagođenja na pristupu C. Uz veoma dobro prilagođenje, reda $VSWR = 1.05$, moguće je postići izolaciju i do 30 dB. Isto važi i za izolator – ukoliko se želi dobro razdvajanje signala, komponente moraju biti dobro prilagođene.

Najčešća primena cirkulatora prikazana je na slici 2.16. U pitanju je duplekser koji se koristi kada predajnik i prijemnik koriste istu antenu. Kada predajnik emituje, signal ide na pristup sa antenom i ne prenosi se dalje na prijemnik zbog dobre izolacije cirkulatora. Neophodno je obezbediti da signal velike snage sa predajnika ne stigne do prijemnika, jer bi ga mogao uništiti. Kada antena prima signal, on se direktno prosleđuje prijemniku i opet, zbog prilagođenja, ništa ne stiže do predajnika. Neophodno je da sva tri uređaja – predajnik, antena i prijemnik, budu dobro prilagođeni na cirkulator.



Slika 2.16. *Cirkulator u duplexeru*

Na slici 2.17 prikazana je jedna od mogućih primena izolatora. Uloga izolatora je da spreči signal sa lokalnog oscilatora u mikseru da stigne do antene, i tako bude izračen. Ulazni RF signal i signal sa oscilatora su frekvencijski bliski, pa bi antena vrlo lako mogla da emituje signal oscilatora (koji je znatno jači) ukoliko bi deo tog signala stigao do nje. Izolator je tu da svaki povratni signal prosledi otporniku, i tako spreči ovaj neželjeni efekat.



Slika 2.17. *Primena izolatora*

Na slici 2.18 prikazani su feritni cirkulatori i izolatori kakvi se najčešće sreću u praksi.



Slika 2.18. *Feritni cirkulator i izolator*

2.5. Filtri

Filtri su fundamentalni gradivni blokovi RF i mikrotalasnih sklopova za postizanje frekvencijske selektivnosti - propuštanje signala određenih frekvencija bez slabljenja i nepropuštanje ostalih. Prema opsegu frekvencija koji se propušta, sve filtre možemo podeliti na propusnike niskih učestanosti, propusnike visokih učestanosti, propusnike opsega učestanosti i nepropusnike opsega učestanosti.

Propusnici niskih učestanosti (LP – Low Pass Filtri)

Propusnici niskih učestanosti, propuštaju niske a potiskuju visoke frekvencije. Tipično se primenjuju u prijemniku iza lokalnog oscilatora, gde omogućavaju potiskivanje višeg intermodulacionog produkta kao i na izlazu iz predajnika za potiskivanje harmonika i koji predstavljaju interferenciju za ostatak sistema.

Propusnici opsega učestanosti (BP – Band Pass filtri)

Filtri propusnici opsega se primenjuju u oblastima gde mogu smanjiti interferenciju i šum ograničavanjem širine frekvencijskog opsega signala koji ulazi u sistem. Takođe mogu biti smešteni na ulaz sistema radi povećane selektivnosti prijemnika. Najpreciznije izdvajaju željeni signal i zbog toga su zastupljeniji od ostalih.

Propusnici visokih učestanosti (HP – High Pass filtri)

Propusnik visokih učestanosti vrši upravo suprotnu funkciju od propusnika niskih učestanosti - propušta učestanosti iznad neke granične učestanosti. Kod ovog filtra zapravo postoji gornja granična učestanost, i ona treba da je dovoljno izvan opsega učestanosti za koji je filter projektovan. Jedna od najčešćih primena je kada signali niskih učestanosti izazivaju probleme u sistemu, kao što su na primer smetnje na mreži za napajanje (50 Hz).

Nepropusnici opsega učestanosti (BP – Band Pass ili notch filtri)

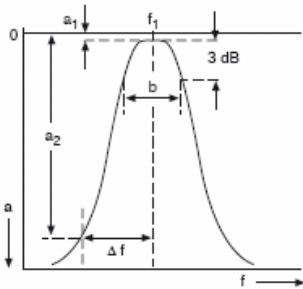
Nepropusnici opsega nemaju tako veliki broj primena kao propusnici niskih i propusnici opsega učestanosti. Obično se koriste u kombinaciji sa njima, kada je potrebno potisnuti interferenciju za koju znamo u kom delu spektra se nalazi, kao što su viši harmonici ili intermodulacioni produkti.



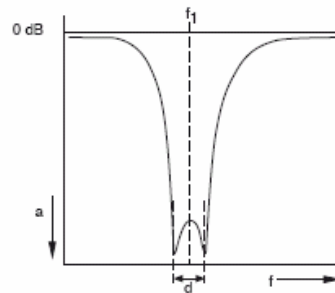
Slika 219. Šematske oznake za filtre - propusnik niskih učestanosti, propusnik visokih učestanosti, propusnik i nepropusnik opsega učestanosti

2.5.1. Specifikacija filtara

Frekvencijski odziv filtra predstavlja Furijeovu transformaciju njegovog impulsnog odziva. Amplitudska i fazna karakteristika frekvencijskog odziva nisu nezavisne, povezuje ih Hilbertova transformacija pa nije moguće istovremeno podešavati selektivnost i grupno kašnjenje. U praksi to znači da filtri sa veoma strmom frekvencijskom karakteristikom (transition bands) unose veliko grupno kašnjenje. Izuzeci postoje, SAW (*Surface Acoustic Wave*) filtri i neki realizacije digitalnih filtara imaju mogućnost nezavisnog podešavanja amplitudske i fazne karakteristike, ali oni obično unose veliko slabljenje.



Slika 2.20. Frekvencijski odziv filtra propusnika opsega učestanosti - amplitudska karakteristika



Slika 2.21. Koeficijent refleksije filtra propusnika opsega učestanosti

Četiri najbitnije karakteristika filtara su uneto slabljenje u propusnom opsegu, slabljenje u nepropusnom opsegu, selektivnost i širina propusnog opsega. Slabljenje uneto u propusnom opsegu (insertion loss) je neželjeni efekat i potrebno je da bude što manje. Slabljenje filtra u nepropusnom opsegu (attenuation) se odnosi na apsorpciju ili refleksiju signala u nepropusnom opsegu i treba da bude što veće. Selektivnost filtra se definiše prema obliku frekvencijskog odziva filtra i govori o tome koliko je neželjena frekvencija oslabljena na ivicama filtra. Na primer, filtri koji se koriste u digitalnoj televiziji imaju vrlo strme ivice, tj. veliku selektivnost. U duplekserima koji se koriste u izlaznom stepenu pojačavača potrebno je da slabljenje u nepropusnom opsegu bude veće od 80 dB. Propusni opseg se definiše kao frekvencijski opseg u kome je slabljenje filtra manje od zadatog. Obično se pod propusnim opsegom smatra 3dB širina, odnosno opseg u kome je signal oslabljen za manje od pola ulazne snage. Širina propusnog opsega filtra ne mora uvek biti 3 dB-širina, mogu se uzeti i druge vrednosti 1dB ili 5 dB, što zavisi od konkretne primene.

U katalogu proizvođača se ponekad mogu se ponekad može naći i *ripple*-faktor koji predstavlja talasanje amplitudske karakteristike u propusnom opsegu. Ponekad se daje još i prilagođenje pristupa. Filter mora biti dobro prilagođen na ulazu i na izlazu da ne bi uzrokovao neželjene refleksije u sistemu.

Najveći izazov u dizajnu filtra je postizanje dovoljno male refleksije u propusnom i dovoljno velikog slabljenja u nepropusnom opsegu. Kod najvećeg broja filtara, slabljenje u nepropusnom opsegu se postiže refleksijom (refleksioni filtri), dok izvestan broj filtara to postiže apsorpcijom (rezistivni filtri).

Filtri su veoma važan deo RF i mikrotalasnih sistema, ali ne treba preterivati u njihovom kaskadnom vezivanju, jer prilikom svakog dodavanja filtra kolu se unosi dodatno

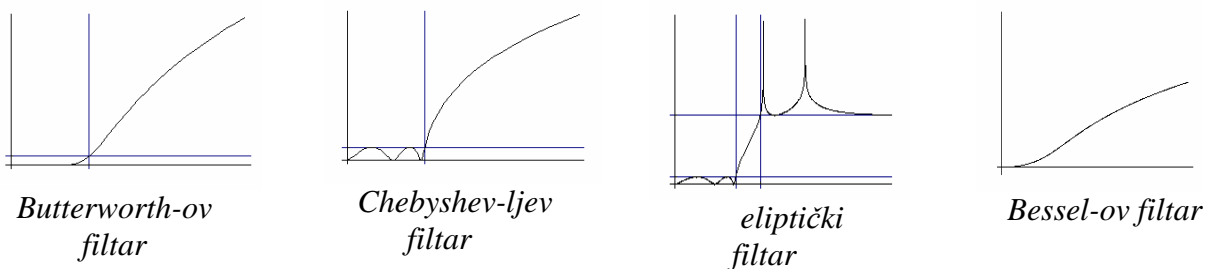
slabljenje, refleksija, talasanje u spektru, kao i kašnjenje. Zbog toga, korišćenje filtara treba razmotriti pažljivo – u nekim slučajevima može postojati bolje alternativno rešenje za kontrolu spektra signala u sistemu.

Projektovanje filtara

Prvi korak u projektovanju filtara je realizacija idealnim elementima, LC prototip, lestvičasta mreža kalemova i kondenzatora (kod propusnika opsega oni su povezani kao rezonantna kola). Kod realnih filtara neophodno je uzeti u obzir i razne parazitne efekte, koji mogu značajno uticati na karakteristike filtara.

Aproksimacije transfer funkcije

Aproksimacija predstavlja matematički opis frekvencijskog odziva koji zadovoljava zadate specifikacije i može da se ostvari u praksi. Rezultat aproksimacije su koeficijenti filtra – induktivnosti kalemova i kapacitivnosti kondenzatora koji se koriste u LC prototipu. LC prototip se obično daje za filter propusnik niskih učestanosti. HF, BP i BS filtri mogu se izvesti iz LP prototipa koristeći odgovarajuće transformacije.



Slika 2.22. Frekvencijski odziv niskopropusnog filtra sa različitim aproksimacijama

Na slici 2.22 su prikazane četiri najčešće aproksimacije koje se sreću u praksi. Svaka od njih ima specifične prednosti koje je čine karakterističnom za neku određenu primenu. Butterworth-ova aproksimacija ima maksimalno ravnu amplitudsku karakteristiku, a Chebyshev-ljeva ravnomerno talasanje u propusnom opsegu. Uz to Chebyshev-ljeva aproksimacija daje filter najveće selektivnosti (filter najmanjeg reda pomoću koga se ostvaruje željeni frekvencijska karakteristika) od svih filtara koji nemaju nule u transfer funkciji. Eliptička aproksimacija ima najveću selektivnost, ali je kompleksnija od ostalih. Bessel-ova aproksimacija pokazuje najmanju selektivnost ali ima faznu karakteristiku koja je gotovo linearna u celom propusnom opsegu, što je veoma bitno u nekim sistemima.

2.5.2. Stepped-impedance realizacija filtra propusnika niskih učestanosti

Realizacija filtra propusnika niskih učestanosti kaskadom sekcija vodova se u literaturi zove stepped-impedance ili high-Z-low-Z realizacija. Sekcija voda velike karakteristične impedanse se ponaša približno kao redna induktivnost, a sekcija male karakteristične impedanse kao paralelna kapacitivnost, tako da rednim vezivanjem ovakvih sekcija dobijamo filter propusnik niskih učestanosti.

Uobičajena realizacija stepped-impedance filtera u tehnici koaksijalnih i mikrostrakastih vodova, prikazana je na slici 2.23. Na slici uski vodovi predstavljaju rednu induktivnost, a široki paralelnu kapacitivnost. Ovaj dizajn LP filtra je relativno lak za proizvodnju i spada u najzastupljenije LP filtre u RF i mikrotalasnim sistemima.



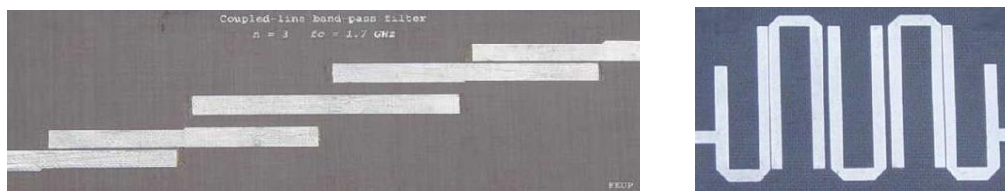
Slika 2.23. *Stepped-impedance filter realizovan u tehnici koaksijalnih i mikrotrakastih vodova*

2.5.3. Propusnici opsega učestanosti sa spregnutim vodovima

Propusnici opsega imaju posebnu pogodnost u odnosu na ostale tipove filtera, a to je da se mogu realizovati pomoću spregnutih vodova. Rezonantne učestanosti spregnutih vodova su međusobno jednake ili bliske, pa filter propušta signale čija je učestanost u okolini tih rezonantnih učestanosti, a slabi sve ostale. Rezonatori su napravljeni od sekcija vodova (polutalasnih ili četvrtalasnih rezonatora). Isti vodovi koji se upotrebljavaju kao rezonatori, upotrebljavaju se i za spregu, koja je raspodeljena. Filter sa spregnutim rezonatorima se lako može fino podesiti, jednostavno, promenom sprege.

Paralelno vezani kondenzator i kalem predstavljaju jednostavno rezonantno kolo. Koaksijalni vod, dužine $l/4$, zatvoren na jednom, a otvoren na drugom kraju takođe predstavlja jedan tipičan rezonator. Glavni razlog za korišćenje ovakvih rezonatora je veoma visok Q-faktor u poređenju sa koncentrisanim (diskretnim) L i C komponentama. Q-faktor kalema je u praksi ograničen na oko 150, dok je Q-faktor koaksijalnih rezonatora ograničen samo njihovom veličinom (u praksi je ostvarivo Q reda par stotina, pa i 1000), zbog čega su oni dominantni u televizijskoj tehnici. U emisionim sistemima filteri se obično realizuju pomoću nekoliko $l/4$ rezonatora. Q-faktor rezonatora je veoma važan, a zavisi od oblika i veličine filtra kao i od specifične provodnosti i površinske obrade korišćenog materijala. Velika je raznovrsnost tehnika koje se primenjuju na projektovanje filtera ovog tipa. Na slikama koje slede prikazane su neke od njih koje se često sreću u praksi.

Prvi od njih, filter sa bočno spregnutim polutalasnim rezonatorima, je veoma jednostavan za realizaciju. Sastoji se od niza bočno postavljenih rezonatora, koji su otvoreni na oba kraja. Susjedni rezonatori su u sprezi jer se vodovi nalaze jedan blizu drugog na dužini od $l/4$. Problem koji može da se javi sa ovim tipom filtra je što je vrlo verovatno da će biti veoma uzak i dugačak kada se koristi veliki broj rezonatora. Ako se rezonatori presaviju, tako da poprime oblik latiničnog slova U, dobijamo hair-pin filter, ili filter sa ukosnicama.



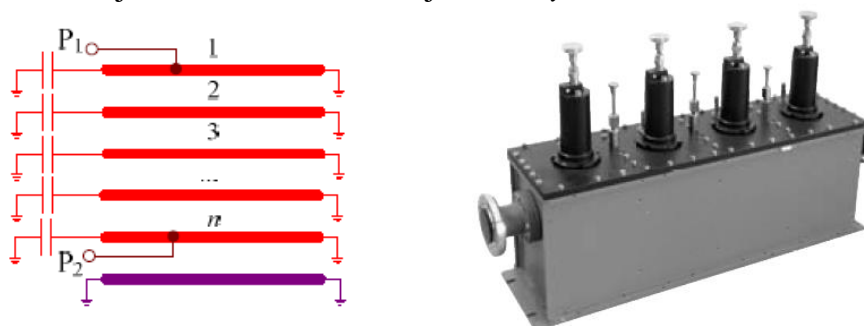
Slika 2.24. Filtar sa paralelno spregnutim polutalasnim rezonatorima, i njegova modifikacija - hairpin filter

Interdigitalni filter se sastoji od nekoliko paralelno postavljenih spregnutih četvrtalasnih rezonatora. Sprega se ostvaruje celom dužinom rezonatora. Dominira sprega između parova susednih rezonatora. Svaki rezonator je otvoren na jednom, a kratko spojen na drugom kraju.



Slika 2.25. Interdigitalni filter

Češljasti filter se sastoji od nekoliko spregnutih vodova koji su kratko spojeni na jednom kraju, dok je drugi kraj povezan na masu preko kondenzatora, koji mogu biti i promenljivi. Unutrašnji vodovi su rezonatori. Dužina svih vodova na centralnoj učestanosti je manja od $\lambda_g/4$. Promenljiva kapacitivnost, koja se u praksi obično realizuje pomoću zavrtnja kojim regulišemo rastojanje ploča kondenzatora, omogućava podešavanje propusnog opsega filtra. Ukoliko se realizuje u tehnici koaksijalnih vodova naziva se još i *cavity* filter.



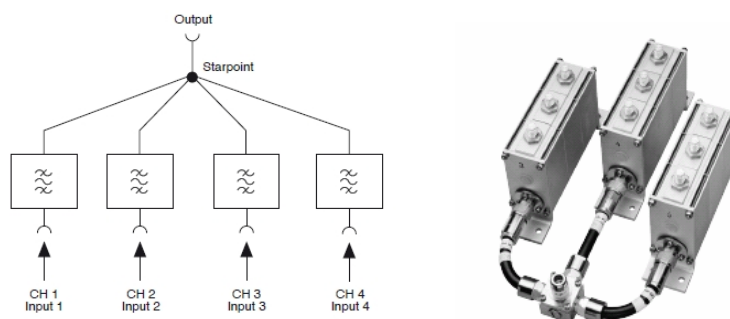
Slika 2.26. Šema češljastog (comblin) filtra i cavity filter

2.6. Multiplekseri

Multiplekseri su kombinacija nekoliko frekvencijski selektivnih komponenti (filtri, vodovi za faziranje) povezanih različitim elementima (sprežnjaci, zvezdište) čija je uloga da kombinuju nekoliko različitih signala različitih frekvencijskih opsega koji se zatim prosleđuju na zajedničku antenu ili dalje na obradu u drugi deo sistema. (Za razliku od multipleksera kombajneri sabiraju signale istih frekvencijskih opsega.) Signali koji dolaze u multiplekser obično su razmaknuti bar nekoliko kanala.

2.6.1. Starpoint (branchline) multiplekser

Starpoint multiplekseri sa n ulaza sastoje se od n filtara propusnika opsega učestanosti, čiji su izlazi preko zvezdišta (starpoint) povezani na zajednički izlaz. Pojedinačni filtri se podešavaju na frekvencije ulaznih kanala. Kako su filtri podešeni da propuštaju samo signal sa ulaza koji je direktno vezan na njih, svi ostali signali se nalaze u njegovom nepropusnom opsegu pa se reflektuju od filtra nazad u zvezdište. Izolaciju pristupa obezbeđuje slabljenje filtra u nepropusnom opsegu.

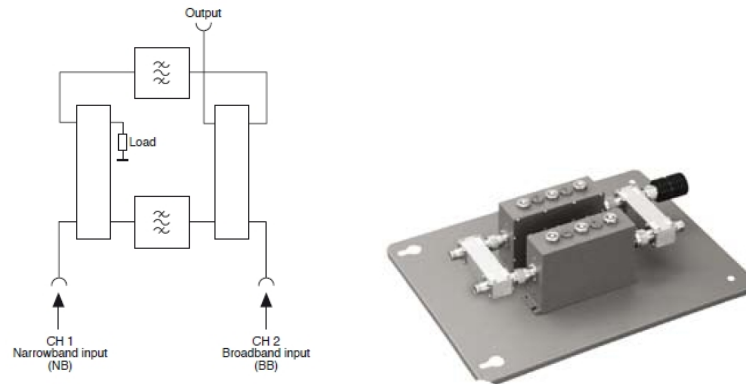


Slika 2.27. Starpoint multiplekser – blok šema i fotografija

2.6.2. CIF (constant impedance filter) moduli

CIF moduli predstavljaju jednu grupu dipleksera i sastoje se od 3dB-sprežnjaka i filtara propusnika opsega učestanosti. Balansno opterećenje apsorbira signale koji se javljaju zbog konačne usmerenosti sprežnjaka kao i signale koji se mogu javiti zbog delimičnog prolaska signala sa širokopojasnog ulaza kroz filtre. Izolaciju pristupa obezbeđuju usmerenost sprežnjaka i selektivnost filtara. Jedan ulaz je uskopojasan (koliko i propusni opseg odgovarajućeg filtra), a drugi širokopojasan (koliko i radni opseg 3dB-sprežnjaka). Signal na širokopojasnom ulazu može biti bilo koje frekvencije, ukoliko ne upada u propusni opseg filtara.

Levi 3dB-sprežnjak deli signal na uskopojasnom ulazu na dva jednaka dela. Podeljeni signal prolazi kroz filtre propusnike opsega, a zatim još jednom kroz drugi sprežnjak, posle čega se polovine sabiraju u fazi na izlazu. Na širokopojasnom ulazu signali se sabiraju u protivfazi pa je, u odnosu na uskopojasni ulaz, širokopojasni ulaz izolovan. Signal sa širokopojasnog ulaza se posle 3dB-sprežnjaka takođe deli na dve polovine. Obe ove polovine se zatim reflektuju od filtara, jer je njihova frekvencija u nepropusnom opsegu filtara. Nakon refleksije, polovine signala se na izlazu sabiraju u fazi.



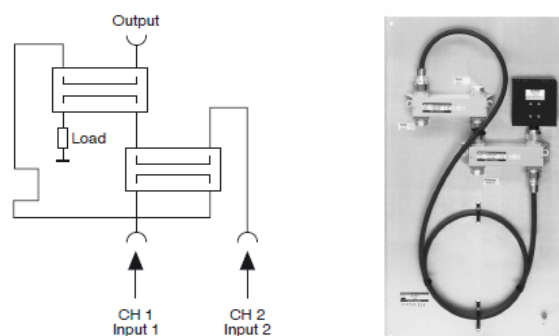
Slika 2.28. CIF modul - blok šema i fotografija

Selektivnost filtara koji se koriste u multiplekserima imaju odlučujući uticaj na frekvencijski razmak korišćenih kanala predajnika koji se povezuju na istu antenu. Povećavanjem selektivnosti, obično se povećava uneto slabljenje a samim tim i zagrevanje filtra. Problem se može prevazići korišćenjem većih filtara, koji po pravilu imaju bolji Q-faktor i unose manje slabljenje.

U poređenju sa drugim tipovima tipovima multipleksera CIF moduli su nešto skuplji, ali imaju brojne prednosti: jednostavno vezivanje modula u kaskadu, visoka izolacija između portova, konstantna ulazna impedansa u širokom opsegu učestanosti.

2.6.3. Stretchline diplexer

Stretchline diplekseri se sastoje od dva 3dB-sprežnjaka, voda za faziranje i balansnog otpornika. Izolacija pristupa je ostvarena pomoću 3dB-sprežnjaka. Signali na ulazu u 3dB-sprežnjak se dele dva jednaka dela. Jedna polovina ulazi u drugi sprežnjak, dok druga polovina ide kroz vod za faziranje. Da bi se signali na izlazu sabrali u fazi a na balansnom otporniku sabrali u protivfazi (tj. međusobno poništili), dužina voda za faziranje, l , podešena je tako da je $l = (n + 1/2)l_1 = nl_2$.

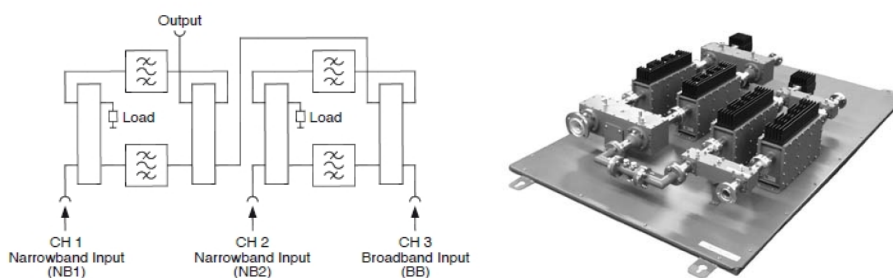


Slika 2.29. Stretchline diplexer – blok šema i fotografija.

Kod ovog tipa kombajnera nije moguće fino podešavanje ali je moguća promena radnih kanala, jednostavnom zamenom voda za faziranje. Stretchline kombajneri su ekonomični zato što nema filtara u njihovoj realizaciji. Ovo rešenje se široko koristi u VHF i UHF području.

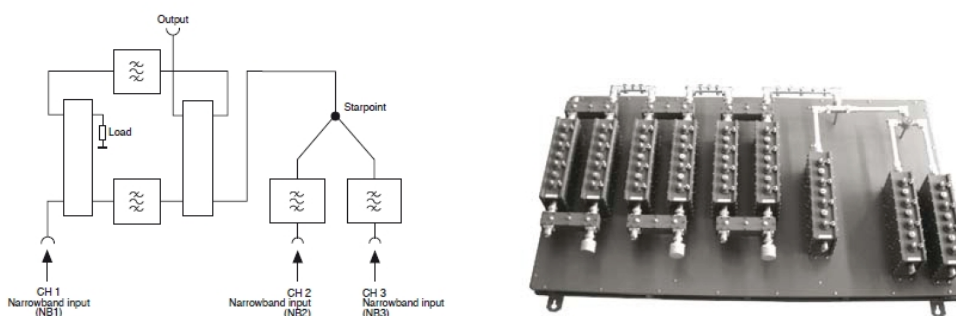
2.6.4. Kaskadno vezivanje dipleksera

Više CIF modula se jednostavno povezuju u jedan multiplekser, kao na slici 2.19. U primeru sa slike dva signala su sabrana u prvom (na slici desnom) CIF modulu, a zatim su dovedeni na širokopolasni ulaz drugog CIF kombajnera. Na izlazu sada imamo tri signala. Broj kaskada ograničen je frekvencijskim razmakom kanala (odnosno selektivnošću filtera), unetim slabljenjem filtera u propusnom opsegu, kao i maksimalnom radnom snagom koju može da podnese 3dB-sprežnjak.



Slika 2.30. Dva CIF modula vezana u kaskadu - blok šema i fotografija

Pri kaskadnom vezivanju moguće je iskoristiti i različite tipove multipleksera, npr. starpoint i CIF. Signal dobijen sabiranjem dva uskopojasna ulaza starpoint kombajnera, dovodi se na širokopolasni ulaz CIF modula. Prednosti ovakvog dizajna su jednostavnost proširenja, jeftinije rešenje od realizacije sa dva CIF modula, a opet moguć je rad sa manjim frekvencijskim razmacima nego kod starpoint-a.



Slika 2.31. Starpoint i CIF modul vezani u kaskadu – blok šema i fotografija

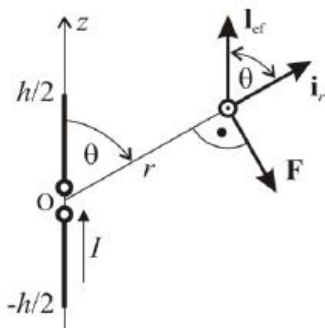
2.7. Antenski sistem

Antena je sklop koji vođeni elektromagnetski (EM) talas pretvara u slobodan (predajna antena), ili obratno (prijemna antena). Predajna antena zrači energiju kojom se napaja iz generatora, i stvara EM talas. Talasi se prostiru od antene na sve strane, ali zračenje nije jednako u svim pravcima. Na velikom rastojanju od antene, lokalno gledano, talasi imaju osobine uniformnih ravnih talasa. Svaka antena može da radi kao predajna i prijemna. U oba režima rada antena ima iste osobine usmerenosti – kada radi kao prijemna, antena najbolje prima energiju talasa koji dolazi iz pravca maksimalnog zračenja iste antene kada radi kao predajna.

2.7.1. Predajne antene

Predajna antena ima zadatak da što efikasnije izrači energiju kojom se napaja i da, ako je to potrebno, izračenu energiju usmeri u odgovarajući deo prostora. Osnovne karakteristike predajne antene su polarizacija, pojačanje, dijagram zračenja i impedansa .

Polarizacija antene



Slika 2.32. Koordinatni sistem za opisivanje polja antene

Antena u udaljenim tačkama (na rastojanju mnogo većem od talasne dužine EM talasa koji antena stvara – tzv. zona zračenja) proizvodi EM talas koji lokalno (u malom prostornom uglu) ima osobine ravnog, uniformnog TEM talasom. Električno i magnetsko polje tog talasa dato je izrazima

$$\mathbf{E} = j \frac{Z_0}{2p} I \frac{e^{-jbr}}{r} \mathbf{F}(q, f) \quad \mathbf{H} = \frac{1}{Z_0} \mathbf{i}_r \times \mathbf{E}$$

gde je I efektivna vrednost referentne struje (npr. struje napajanja antene), r rastojanje tačke u kojoj tražimo polje od centra usvojenog koordinatnog sistema, a \mathbf{F} karakteristična funkcija zračenja antene u pravcu i smeru određenom ortom \mathbf{i}_r , prikazanom na slici 2.32. Najteži zadatak u proračunu polja koje stvara predajna antena je određivanje raspodele struja antene. Taj zadatak se, u opštem slučaju, rešava numeričkim metodama.

Vektori \mathbf{E} i \mathbf{H} leže u ravni upravnoj na pravac u kojem posmatramo prostiranje talasa, tzv. transverzalnoj ravni. Polarizacija može biti linijska, kružna i eliptička. Ukoliko je polarizacija linijska, a pravac prostiranja talasa horizontalan ili približno horizontalan, vektor \mathbf{E} talasa je najčešće ili horizontalan ili vertikaln, pa se u odnosu na to definiše horizontalna i vertikalna

polarizacija. Vertikalna polarizacija definiše se i za talas koji se ne prostire u horizontalnom pravcu, kao polarizacija ortogonalna na horizontalnu. Antene se najčešće projektuju tako da imaju linijsku ili kružnu polarizaciju, a eliptička polarizacija se tada javlja usled nesavršenosti antene i prisustva okolnih objekata.

Pojačanje antene

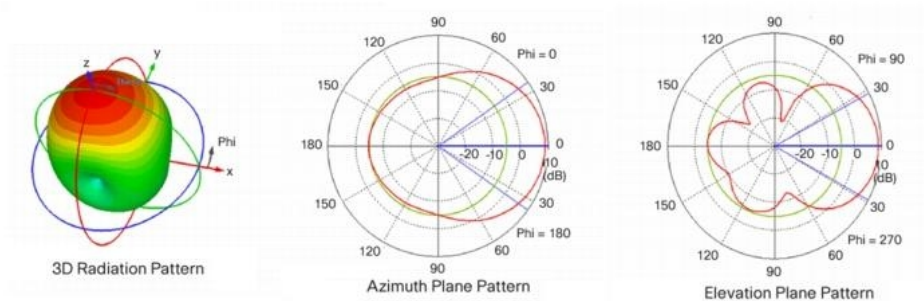
Pojačanje antene se obično daje u odnosu na izotropni radijator (dBi) ili polutalasni dipol (dBd). Pojačanje antene u odnosu na izotropni radijator se definiše kao:

$$G = \frac{4\pi r^2 \frac{E^2}{Z_0}}{P_{em}}$$

gde je P_{em} snaga kojom se antena napaja. U ovom izrazu E može biti polje u proizvoljnom pravcu, a uobičajeno se uzima maksimalno E . Tada pojačanje antene predstavlja pojačanje signala u glavnom pravcu zračenja što je rezultat smanjenja zračenja u svim ostalim pravcima i koncentrisanjem zračenja u glavni snop.

Dijagram zračenja

Pod 3D dijagramom zračenja antene podrazumeva se (grafička ili analitička predstava) jačine električnog polja ili pojačanja antene na sferi poluprečnika mnogo većeg od talasne dužine. Često se posmatraju samo karakteristični preseki ove sfere, obično u E i H ravni, i tako dobijamo 2D dijagram zračenja.



Slika 2.33. Dijagram zračenja antene - 3D i 2D

Impedansa antene je ekvivalentna impedansa na priključcima antene. Na radnim učestanostima antene potrebno je da antena bude što bolje prilagođena na napojni vod, što znači da njen koeficijent stojećih talasa i modul koeficijenta refleksije budu što manji.

2.7.2. Prijemne antene

Dijagram primanja antene je isti kao njen dijagram zračenja, mada je raspodela struje kod predajne i prijemne antene različita. Da bi se maksimizirala efektivna vrednost indukovane elektromotorne sile, polarizacije incidentnog talasa i vektora \mathbf{F} antene moraju biti iste.

Friisova formula

Posmatrajmo predajnu i prijemnu antenu koje se nalaze u slobodnom prostoru, na međusobnom rastojanju r . Predajna antena se napaja snagom P_0 , polarizacije su iste i maksimum dijagrama zračenja svake antene je uperen prema onoj drugoj.

gde je \mathbf{E} polje incidentnog talasa predajne antene, a \mathbf{F} karakteristična funkcija zračenja prijemne antene u smeru incidentnog talasa talasa. Snaga prijemnika prilagođenog na antenu (tj. na ekvivalentni generator koji je predstavlja) je:

$$e_a = \frac{I}{P} \mathbf{E} \cdot \mathbf{F}$$

gde je \mathbf{E} polje incidentnog ravnog TEM talasa, a \mathbf{F} karakteristična funkcija zračenja prijemne antene u pravcu i smeru odakle dolazi talas. Snaga prijemnika prilagođenog na ekvivalentni generator je:

$$P_{pr} = \frac{|e_a|^2}{4R_a}$$

i biće najveća kada su vektori \mathbf{E} i \mathbf{F} paralelni:

$$P_{pr} = \frac{I^2 |\mathbf{E}|^2 |\mathbf{F}|^2}{4R_a}$$

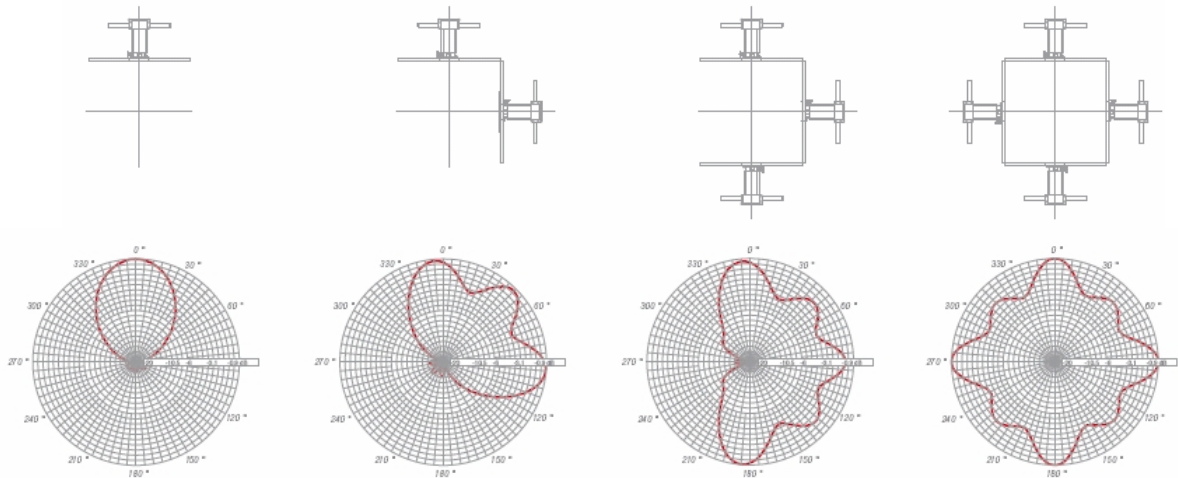
Znajući snagu napajanja (P_{em}), pojačanje predajne antene (G_1), rastojanje između antena (r) i pojačanje prijemne antene (G_2), iz prethodnog izraza dobija se Friisova formula:

$$P_{pr} = \left(\frac{I}{4pr} \right)^2 G_1 G_2 P_{em}$$

2.7.3. Antenski nizovi

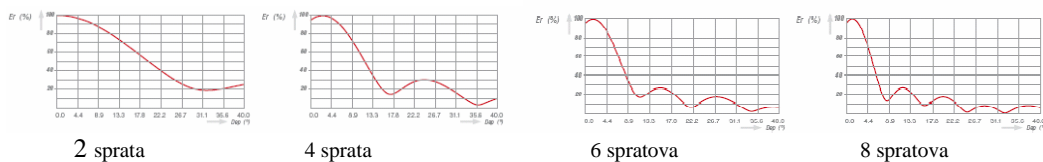
Radi povećavanja usmerenosti dijagrama zračenja, često se prave antenski nizovi. Antenski niz je sistem od nekoliko identičnih ili vrlo sličnih antena koje su poredane na određeni način. Pravilnim podešavanjem efektivnih vrednosti i faze struja napajanja, može se postići usmeravanje rezultujućeg dijagrama zračenja u željenom pravcu.

Horizontalni nizovi se koriste radi boljeg kontrolisanja horizontalnog dijagrama zračenja. Ukoliko je antenski stub trougaoni pojedinačne antene se postavljaju tako da pokrivaju azimutni ugao od 120° , a ukoliko je stub kvadratnog poprečnog preseka tako da pokrivaju ugao od 90° . Za radiodifuziju TV signala se načešće koriste panel antene („paneli“) U zavisnosti od toga koliko se panela iskoristi i koji je odnos njihovog napajanja moguće je dobiti različite dijagrame zračenja. Ukoliko je poprečni presek antenskog stuba veći od talasne dužine nemoguće je dobiti zadovoljavajući omnidirekcionni dijagram zračenja sa samo tri ili četiri panela, pa se prave nizovi sa više panela u horizontalnoj ravni.



Slika 2.34. *Mogući oblici poprečnog preseka antenskog stuba i odgovarajući dijagrami zračenja*

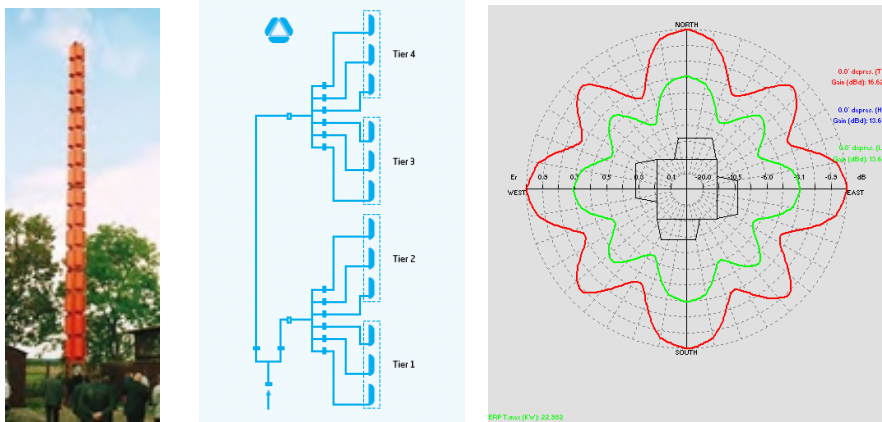
Spratovi antenskog stuba u stvari predstavljaju vertikalne nizove i omogućavaju preciznu kontrolu vertikalne pokrivenosti terena. Pravilnim podešavanjem amplitude i faze napajanja moguće je suziti dijagram zračenja u vertikalnoj ravni, npr. pojačati zračenje ka gusto naseljenim područjima a preskočiti šumovite i nenaseljene terene na koje bi se rasipala dragocena RF energija. U televizijskim sistemima se tipično koristi jedan do osam spratova, ali se može sresti 16 pa čak i 32 spratova. Kod emisionih antena, koje su najčešće na visokim stubovima i vrhovima brda ili planina, poželjno je da se glavni snop zračenja usmeri na dole i to se zove tiltovanje. Tiltovanje se može vršiti mehanički, pomeranjem antena, ili elektronskim putem, odgovarajućim podešavanjem faza napajanja.



Slika 2.35. *Vertikalni dijagram zračenja u zavisnosti od broja spratova antenskog stuba*

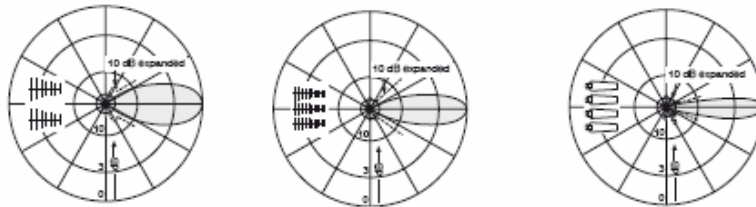
Nizovi sa više spratova obično imaju izražene nule u vretikalnom dijagramu zračenja ukoliko su napajani signalima iste faze i amplitude. Popunjavanje ovih nula obično se vrši mehanički, tiltovanjem nekih antena nadole, uvođenjem faznog pomeraja ili nejednakom raspodelom snage među spratovima. U televizijskim sistemima obično nije dovoljno obezbediti samo minimalno potreban nivo signala, već je potrebno da direktni signal bude jači od bilo koje refleksije da se ne bi javili „duhovi“ u slici.

Antenski sistem sa spratovima se obično realizuje tako da se može podeliti u gornju i donju polovinu koje su u stanju da funkcionišu zasebno. Time je omogućeno da jedna polovina radi nesmetano, dok se na drugoj vrše popravke ili standardna kontrola opreme i održavanje. Nivo signala će biti smanjen za 6dB ukoliko se polovina antenskog sistema napaja polovinom snage predajnika. Ukoliko se puna snaga predajnika prebaci na jednu polovinu antenskog sistema signal će oslabiti za 3dB. U slučaju kvara jedne polovine, obično postoji uređaj (patch panel) koji automatski prebacuje signal za emitovanje na polovinu koja radi ispravno.



Slika 2.36. Spratovi antenskog stuba, sistem za napajanje (split sistem) i odgovarajući dijagram zračenja kada su u funkciji obe i samo jedna polovina antenskog sistema

Relejne antene se u televizijskim sistemima koriste za ostvarivanje veze između predajnika (mikrotalasni linkovi). Za razliku od antena za radio-difuziju, relejne antene imaju izuzetno usmeren dijagram zračenja i rade tipično na nekoliko GHz. Najčešće se koriste parabolične antene zbog svoje velike usmerenosti, i do 40 dBi, kao i nizovi logperiodičnih ili jagi antena koji obezbeđuju veoma uzak glavni snop i veliko potiskivanje interferirajućih signala.



Slika 2.37. Dijagram zračenja antenskog niza sa dva, tri i četiri elementa

2.7.4. Primeri antena

Simetrični dipol

Najjednostavnija žičana antena je simetrični dipol. Kraci simetričnog dipola leže na istoj pravoj. Dužina jednog kraka je l , a priključci su u centru. Najčešće korišćen simetrični dipol je polutalasni dipol, kod koga je dužina jednog kraka $l = \lambda / 4$.



Slika 2.38. *Simetrični dipol*

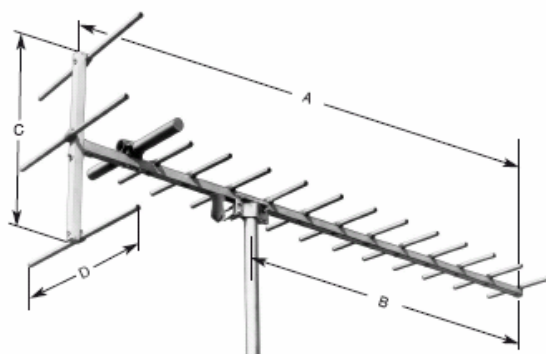
Povećanjem debljine krakova, posebno pri vrhovima, dobijaju se širokopoljnije antene. Na slici 2.39 je prikazana bikonična antena koja može pokriti jednu do dve oktave. Druga značajna modifikacija simetričnog dipola je presavijeni dipol. U odnosu na klasičan dipol, presavijeni dipol je nešto širokopoljniji, a ulazna impedansa mu je četiri puta veća. Posebna klasa antena su monopol antene. To su antene postavljene iznad provodne ravni, kod kojih je generator priključen između provodne ravni i baze antene. Raspodela struje u monopolu je ista kao u gornjem kraku dipola. Napon generatora je, međutim (za istu struju napajanja), dva puta manji nego kod dipola, pa je i impedansa monopola dva puta manja. Monopol zrači samo u gornji poluprostor, pa su usmerenost i pojačanje monopola dva puta veći (za 3 dB) nego kod dipola.



Slika 2.39. *Modifikacije simetričnog dipola – bikonična antena i presavijeni dipol*

Yagi - Uda

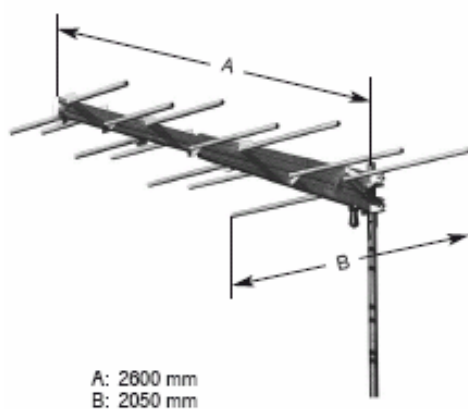
Yagi-Uda antena je niz dipola čija je dužina oko $l/2$. Samo jedan dipol se direktno napaja. U komercijalnim primenama, to je obično presavijeni dipol. Iza presavijenog dipola postavljaju se jedan ili više „reflektora“ (pasivnih antenskih elemenata nešto dužih od aktivnog dipola), a ispred nekoliko „direktora“ (pasivnih antenskih elemenata nešto kraćih od aktivnog dipola), koji poboljšavaju usmerenost zračenja. Rastojanje između elemenata je oko $l/4$. Yagi antene su uskopojasne, relativni radni opseg je obično manji od 10%. Tipično pojačanje im je između 5 dBi i 16 dBi. U radiotelevizijskom sistemu koriste se obično kao predajne antene za FM signal.



Slika 2.40. Yagi-Uda antena.

Log periodična antena

Log periodična antena je u stvari periodični niz antena (slika 2.41). Niz se obično sastoji od nekoliko desetina dipola. Dužine dipola, debljine žica od kojih su sačinjeni i rastojanje između dipola, povećavaju se geometrijskom progresijom. Ovakva antena je širokopojasna i može pokriti nekoliko oktava. Pri jednoj radnoj učestanosti, aktivna je samo grupa od nekoliko dipola čija je dužina oko $l/2$ (na gornjoj granici radnog opsega, aktivni su samo najkraći dipoli). Tipično pojačanje log periodične antene je 7-10 dBi. U televiziji se najčešće koriste kao predajne antene televizijskog signala u UHF opsegu.



Slika 2.41. Log-periodična antena

Panel četverac i osmerac

Panel antene su najčešće korišćene antene za radiodifuziju u UHF području. Sastoje se od tipično četiri ili osam dipola (takozvani „četverac“ i „osmerac“) postavljenih ispred metalne ploče koja suži kao reflektor.



Slika 2.42. Panel antene - četverac i osmerac

Parabolične reflektorske antene

Parabolična antena spada u grupu reflektorskih antena. Ove antene imaju veoma veliko pojačanje – od 30 do 60 dBi, a rade na sličnim principima kao u optici. Okrugli parabolični reflektori koriste se da bi se dobio glavni list dijagrama zračenja, približno rotaciono simetričnog oblika (pencil beam). Primer su antene za satelitske signale i radio-relejne veze. Kod paraboličnih reflektora, kao i kod drugih vrlo usmerenih antena, dimenzije antena su mnogo veće od talasne dužine. Pri proceni rastojanja na kom počinje zona zračenja koristi se formula koja uključuje maksimalne dimenzije antene.



Slika 2.43. Parabolična reflektorska antena.

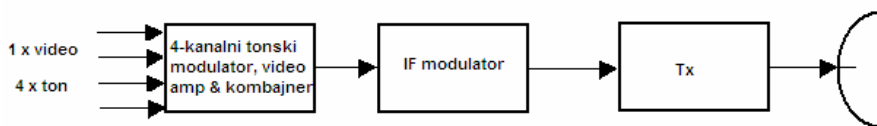
3. Pasivne komponente emisionog centra „Avala“

U ovom poglavlju dat je kratak pregled i specifikacije RF i mikrotalasnih pasivnih komponenti koje se nalaze u emisionom centru RTS-a „Avala“. Uloga ovog bloka u emisionom lancu objašnjena je u prvom poglavlju, a način rada i terminologija vezana za pojedinačne komponente u drugom.

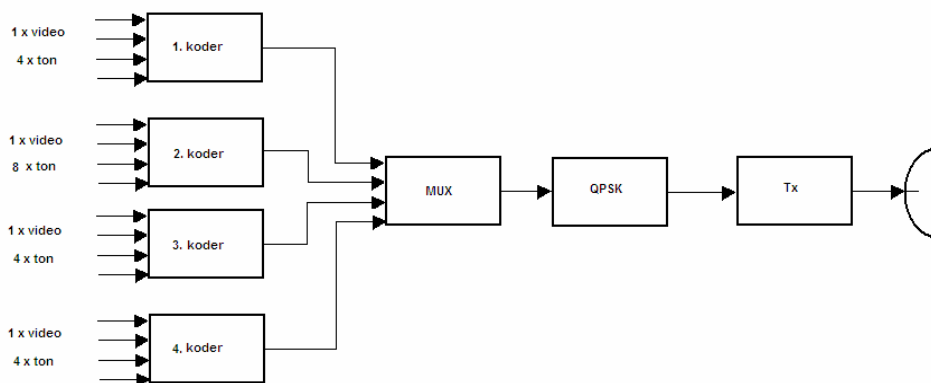
3.1. Mikrotalasni linkovi

Može se reći da emisiona tehnika počinje mikrotalasnim linkovima. U slučaju Radio Televizije Srbija (RTS) signali iz svih dopisništva i studija se nakon obrade sakupljaju u glavnom centru u Košutnjaku i obrađuju u bloku koji se naziva „terminal“. Iz Košutnjaka se signali dalje dostavljaju emisionim centrima. Jedan od njih je i emisioni centar na Avali.

Prvi deo terminala je kontrolna soba iz koje se vrši nadzor rada mikrotalasnih linkova koji polaze iz Košutnjaka i rada svih emisionih centara RTS-a. Svi kvarovi koji se dogode u emisionoj tehnici sistema RTS se prijavljuju terminalu. Drugi deo terminala je deo za obradu svih primljenih signala. Može se smatrati da u terminal dolaze audio i video signal u osnovnom opsegu. Blok šema ovog dela data je u na slikama 3.1 i 3.2. Postoje dve varijante mikrotalasnih linkova – analogni i digitalni.



Slika 3.1. Blok šema analognog mikrotlasnog linka



Slika 3.2. Blok šema digitalnog mikrotlasnog linka.

Jedan analogni link može da primi jedan video i četiri audio signala. Digitalni linkovi, kao što se vidi sa slike, imaju četiri puta veći kapacitet od analognih. Signal se kompresuje u koderu, vrši se multipleksiranje, a zatim se signal vodi u QPSK modulator i šalje na antenu. Ukratko, analogni signal se šalje direktno u modulator, a u slučaju digitalnog emitovanja signal prolazi prvo kroz DVB enkoder, a zatim se vodi u modulator.

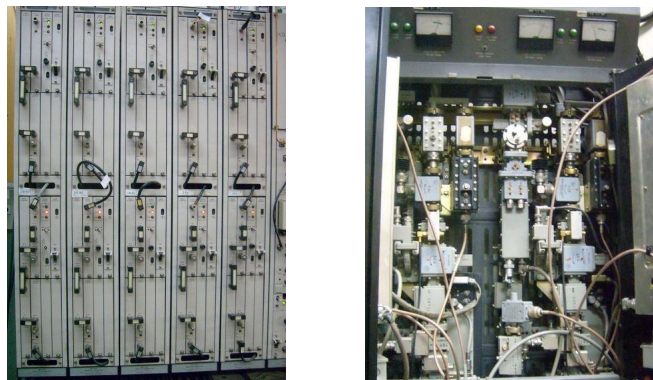
U kućištu DVB enkodera, veličine 40x40x10 cm, se nalaze filtri, pojačavači i ostala kola za formatiranje digitalnih signala. Ovo je dobar primer kako u televizijskim sistemima veličinu uređaja, pored radne frekvencije i funkcionalnosti, određuje snaga sa kojom radi. Može se reći da

enkoder predstavlja „mozak operacije“, a praktično je najmanji uređaj u celom emisionom lancu. Poređenja radi – svi filtri u emisionoj sali, koji rade sa snagama reda kW, su bar dva-tri puta veći od enkodera, u kom su signali reda mW. Većina DVB enkordera u sistemu RTS je marke **Tandberg** i **Scientific Atlanta**.



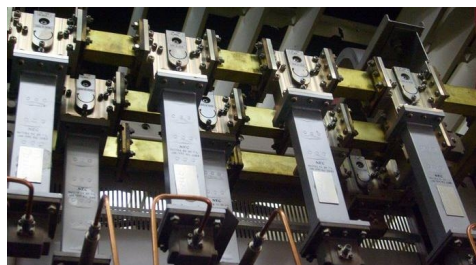
Slika 3.3. DVB enkoderi u terminalu na Košutnjaku.

Modulatori za mikrotalasne linkove su prikazani na slici 3.4. Radio relejne veze (mikrotalasne veze) se ostvaruju na učestanostima od 2 do 12 GHz. Konverzija signala iz osnovnog opsega (~ 5 MHz) se vrši u dva koraka. Signal se prvo podiže na međufrekvenciju (donja polovina) a zatim se konvertuje na željenu mikrotalasnu učestanost (gornji polovina modulatora). Mikrotalasne modulatore na slici proizvodi firma **NEC**.



Slika 3.4. Mikrotalasni modulator na Košutnjaku – nekoliko modulatora u fijokama i unutrašnjost jednog od njih.

Kvalitetne parabolične antene velike direktivnosti su izuzetno skupe i zbog toga je uvek ekonomičnije koristiti istu antenu za predaju i prijem. Za izolaciju predaje i prijema koristi se *branching* moduo (slika 3.5). Branching se nalazi između modulatora za mikrotalasne linkove i radio-relejnih antena. Sastoji se od filtara i cirkulatora koji imaju zadatak da razdvoje signal predaje i prijema.



Slika 3.5. Branching

Na slici 3.6 su prikazane parabolične antene (popularno „parabole“) pomoću kojih se ostvaruje dvosmerna komunikacija sa dopisništvima i emisionim centrima širom zemlje. Nalaze se na krovu zgrade, tačno iznad terminala. Velika parabola u donjem desnom uglu služi za vezu sa Čotom na Fruškoj Gori. Sve parabole u emisionoj tehnici RTS-a su proizvodi kompanije **Andrew**.

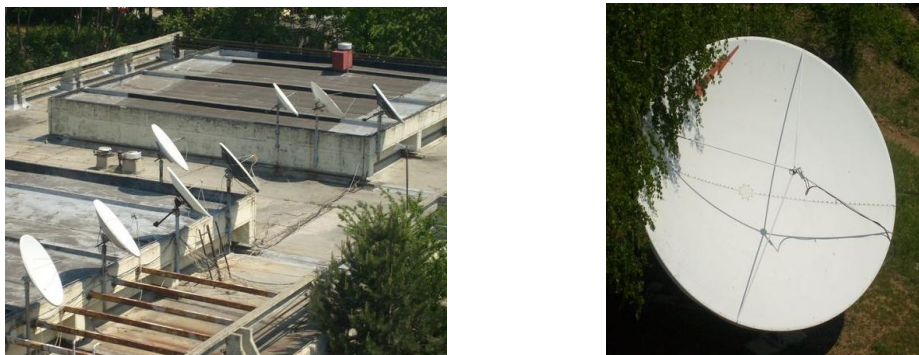
Zbog specifičnih karakterisika mikrotalasa, radio-relejne veze zahtevaju posebne uslove propagacije (čistu prvu Frenelovu zonu i relativno suv vazduh). Na slici 3.6 desno, vidi se da postoji direktna optička vidljivost sa emisionim centrom na Avali.

U emisionom centru „Avala“ takođe postoje parabole, prijemnik, modulator i demodulator za mikrotalasne linkove, identični terminalu u Košutnjaku, samo što se na Avali ovi uređaji ne nalaze u zasebnoj sobi, već se nalaze, zajedno sa mnogim drugim uređajima emisionog sistema, u prostoriji koja se naziva emisiona sala.



Slika 3.6. Parabolične reflektorske antene na Košutnjaku za veze sa emisionim centrima i pogled na jedan od njih – Avalu

Veze sa satelitom se ostvaruju na učestanostima reda nekoliko GHz, slično kao i radio-relejne veze, pa je konstrukcija prijemnika i antena koji se koriste u ove svrhe identična. Na slici 3.7 su prikazane parabolične antene koje se koriste za vezu centra u Košutnjaku sa satelitom.



Slika 3.7. Parabolične reflektorske antene na Košutnjaku za vezu sa satelitom.

3.2. Predajnici

Nakon što je prošao kroz demodulator, signal je raspakovan i obrađen na odgovarajući način u mikrotalasnom prijemniku, i može se smatrati da u osnovnom opsegu stiže do predajnika. Uloga predajnika je da ulazni signal konvertuje na frekvenciju radnog kanala i pojača dovoljno da bi mogao da se emituje do udaljenih korisničkih prijemnika.

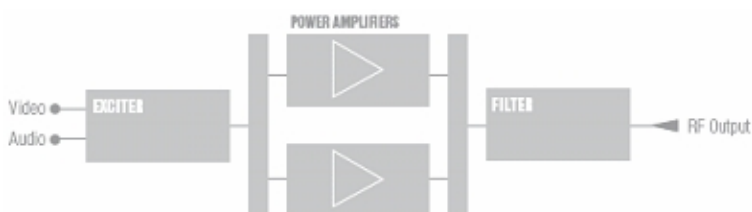
3.2.1 FM predajnici

U emisionom centru „Avala“ nalaze se četiri FM predajnika, i to za Prvi program RTS-a na 95.3 MHz, Drugi program RTS-a na 97.6 MHz i Radio Fokus na 101.4 MHz i Radio 202 104 MHz. Prva tri predajnika su proizvođača **IMTEL**, a poslednji **RIZ**.



Slika 3.8. FM predajnici na Avali

Zadatak predajnika je da audio i video signale pojača dovoljno da bi oni mogli da se emituju širokom auditorijumu. Signal koji predajnik dobija iz mikrotalasnih linkova je reda 200 mW do 1 W, a snage sa kojima se radi na Avali su reda 2 kW do 20 kW. Ne postoji pojačavač koji može da radi sa nekoliko kW, pa se pojačavači projektuju tako da se signal na ulazu podeli na nekoliko delova jednakih snaga, pojača u odvojenim modulima, a zatim sabere. Deljenje i sabiranje snage se vrši pomoću delitelja i kombajnera o kojima je bilo reči u drugom poglavlju.

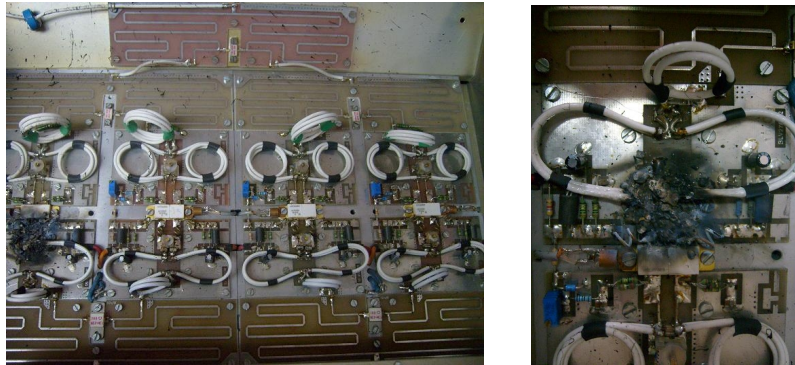


Slika 3.9. Uprošćena struktura predajnika



Slika 3.10. FM predajnik - slika iz kataloga i unutrašnjost jednog modula

Na slici 3.11 je prikazan predajnik koji više nije u funkciji. Kondenzator u RF prigušnici je pregoreo verovatno zbog istrošenosti dielektrika do čega je došlo usled dužeg rada pod ekstremnim uslovima. Bombardovanjem 1999-te godine, uništen je i oštećen izvestan broj predajnika na gotovo svim lokacijama u Srbiji. Oni koji su ostali u funkciji morali su da nadoknade manjak i pokriju celu teritoriju, radeći punom snagom gotovo jednu deceniju. (Ovaj kvar se desio 3. maja 2009.)



Slika 3.11. *Unutrašnjost FM predajnika koji je pregoreo.*

3.2.2 TV predajnici

Na Avali postoje četiri televizijska predajnika – jedan koji radi u VHF području (RTS 1 na 6. kanalu) i tri u UHF području (RTS 2 na 22-om, Avala na 28-om kanalu i još jedan koji radi na 27-om kanalu koji vrši emitovanje digitalnih signala). Predajnik koji radi na 6-om kanalu jedini radi u VHF području, i predajnik na 27-om kanalu radi sa digitalnim signalom za koji je potrebna manja snaga pa oni imaju zasebne antene i signali iz njih se nakon prolaska kroz *harmonic* filtre vode direktno na antenski sistem. Signali iz predajnika koji rade na 22-tom i 28-om kanalu koriste isti antenski sistem pa se pre emitovanja vode u multiplekser.

Struktura predajnika je ista kao kod prethodnih. Ulazni signal se deli na više delova koji se vode na pojačavačke module i zatim sabiraju. Cirkulator sa slike se nalazi na izlazu iz predajnika i služi tome da sve reflektovane signale koji se javljaju zbog neprilagođenja i eventualnog kvara u nekom drugom delu sistema spreči da se vrate nazad na pojačavače i tako poremete rad predajnika. Televizijski predajnici na Avali su proizvele kompanije **Rohde & Schwarz**, **Thomson** i **Itelco**.



Slika 3.12. *TV predajnik kompanije Rohde & Schwarz – slika iz kataloga i cirkulator u na izlazu poslednjeg pojačavačkog stepena*

3.3. Usmereni sprežnjaci

Usmereni sprežnjaci se uglavnom koriste u multiplekserima i mernim uređajima i ređe se mogu videti kao zasebni uređaji.. Dimenzije se u zavisnosti od radne snage kreću od 8 cm do 0.5 m (od 400g do 39 kg).



Slika 3.13. Usmereni sprežnjak

3.4. Delitelji snage i kombajneri

Kao što je već rečeno, kod pojačavača snage u izlaznim stepenima predajnika nalaze se delitelji („divajderi“) i kombajneri („sabirači snage“). Oni su neophodni da bi se RF signal pravilno podelio i sabrao. Ukoliko bi se koristili obični spojevi vodova i talasovoda dolazilo bi do znatnog neprilagođenja u sistemu, što bi izazvalo nepravilan rad uređaja i njihove kvarove.



Slika 3.14. Wilkinson-ov delitelj snage

Delitelji snage za FM i TV signale prave se najčešće po narudžbini za različite antenske sisteme. Uglavnom se projektuju tako da rade u čitavom VHF ili UHF opsegu. Prave se sa različitim brojem izlaza (najviše 16), i sa različitim odnosima izlaznih snaga, čak i za antene sa radomom pod pritiskom. Kompanije koje proizvode antene obično uz njih isporučuju i svoje delitelje snage.



Slika 3.15. Delitelj snage u tehnici koaksijalnih vodova

DELITELJI	radni opseg	broj izlaza	ulazna snaga	neprilagođenje
770-149	FM	8	1 - 200 kW	>30 dB
770-515	VHF	8	1 - 150 kW	>30 dB
764-491	UHF	8	1 - 70 kW	>30 dB

Tabela 3.1. Specifikacije delitelja snage kompanije Kathrein koji se koriste u televiziji.

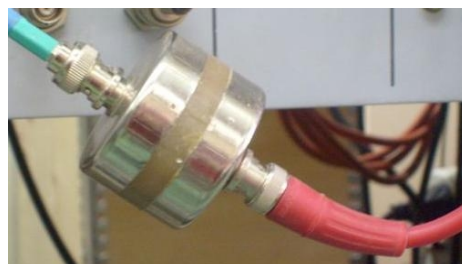
3.5. Filtri

Harmonik filter predstavlja kombinaciju propusnika niskih učestanosti i notch filtra. Filtar sa slike je realizovan kao stepped-impedance. Nalazi se na izlazu predajnika i ima zadatak da eliminiše više harmonike.



Slika 3.17. Harmonic filter

Propusnik visokih učestanosti sa slike se nalazi na ulazu u modulatora za mikrotalasne linkove i tu je da eliminiše smetnje koje dolaze iz mreže. Smetnje se javljaju na 50 Hz pa filter ustvari predstavlja kombinaciju propusnika visokih učestanosti i notch filtra.



Slika 3.18. Propusnik visokih učestanosti

Propusnik opsega učestanosti se u emisionom sistemu može naći na više mesta. Filtar sa slike se nalazi na izlazu predajnika. Uloga mu je da dodatno ograniči spektar signala i očisti ga harmonika i intermodulacionih produkata koji bi mogli izazvati smetnju na ostalim kanalima.



Slika 3.19. Propunilk opsega učestanosti

Nepropusnik opsega sa slike se nalazi iza jednog od diplexera u kojem se sabiraju slika i zvuk. Filtar ima ulogu da potisne intermodulacione produkte koji se javljaju zbog nelinearnosti pojedinih delova samog diplexera.



Slika 3.20. Nepropusnik opsega učestanosti

Specifikacije pojedinih filtara iz kataloga kompanije Exir (bivši Terracom)

HARMONIC FILTRI	radni opseg	neprilagođenje	uneto slabljenje	ulazna snaga
LPF4-1177-AA00	470 - 582 MHz	30 dB	0.1 dB	10 kW
LPF4-1116-AB00	558 - 710 MHz	30 dB	0.05 dB	1 kW
LPF4-0998-AC00	774 - 854 MHz	30 dB	0.05 dB	20 kW

Tabela 3.3. *Specifikacije stepped-impedance filtara kompanije Exir koji se koriste u FM radio difuziji*

FM FILTRI	broj rezonatora	neprilagođenje	uneto slabljenje	ulazna snaga
BPF2-3C20-A001	3	32 dB	0.25 dB	5 kW
BPF2-3C35-A001	3	32 dB	0.15 dB	10 kW

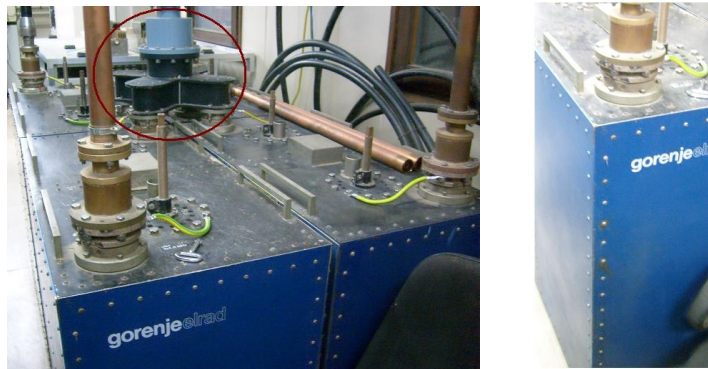
Tabela 3.4. *Specifikacije filtara propusnika opsega kompanije Exir koji se koriste u FM radiodifuziji*

TV FILTRI	radni opseg	broj rezonatora	neprilagođenje	uneto slabljenje	ulazna snaga
BPF3-6C25-A003	VHF	6	26 dB	0.15 dB	7 kW
BPF4-3CWG-AA00	UHF	3	26 dB	0.1 dB	12-20 kW
BPF4-6CWG-AB00	UHF	6	26 dB	0.15 dB	12-15 kW

Tabela 3.5. *Specifikacije filtara propusnika opsega kompanije Exir koji se koriste u televiziji*

3.6 Multiplekseri

Multiplekseri se koriste kada je potrebno sabrati signale, različitih frekvencija, koji se vode na istu antenu. Kako se nalaze pred samom antenom, rade sa velikim snagama, pa se obično većih dimenzija u odnosu na ostale uređaje u emisionoj sali.



Slika 3.16. Starpoint multiplekser za FM. Na slici je uokvireno zvezdište.

MULTIPLEKSERI	radni opseg	razmak kanala	neprilagođenje	uneto slabljenje	izolacija
starpoint	FM	1.8 MHz	28 dB	0.5 - 0.9 dB	30 dB
CIF	FM	1.8 MHz	30 dB (uskopojasni) 25 dB (širokopojasni)	0.7 - 0.9 (uskopojasni) 0.15 - 0.2 (širokopojasni)	30 dB
starpoint	UHF	3 TV (24 MHz)	27 dB	0.5- 1 dB	30 dB
CIF	UHF	2 TV (16 MHz)	28 dB	0.1- 0.8 dB	30 dB
stretchline	UHF	zavisi	26-30 dB	0.3 - 0.6 dB	30 dB

Tabela 3.2. Specifikacije multipleksera kompanije Elti

3.7. Antenski sistem

Visina antene u odnosu na okolinu znatno utiče na veličinu zone pokrivanja. Zbog toga se antene, osim što se postavljaju na uzvišena mesta, kao što su brda i visoke zgrade, dodatno izdižu pomoću antenskih stubova i tornjeva.

Emisioni centar „Avala“ se nalazi na nadmorskoj visini od 439 m, a stari toranj je bio visok 203 m. Po konstrukciji i načinu gradnje bio je jedinstven u svetu. Srušen je u toku bombardovanja 29.4.1999. Izgradnja novog tornja je u toku a završetak radova se očekuje krajem 2009-te godine.

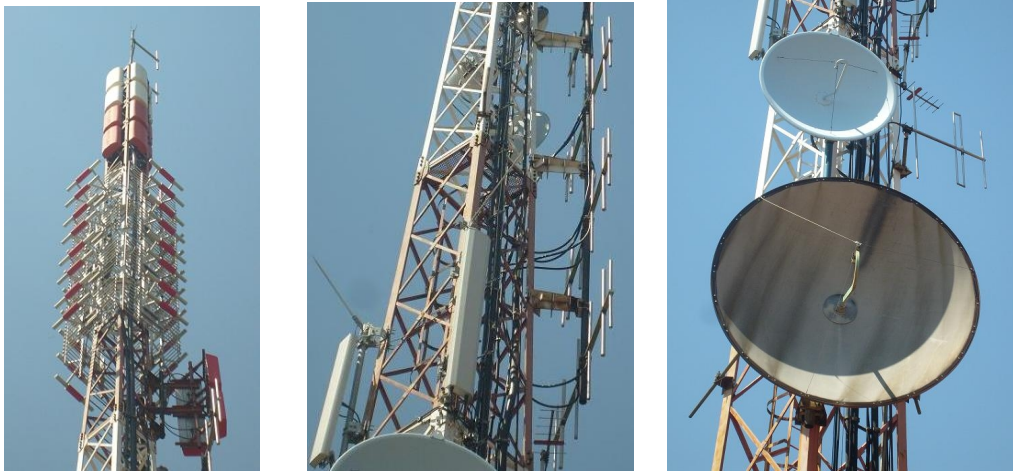
Dok se čeka na izgradnju novog tornja koristi se pomoćni stub, visok 41 m. Pomoćni stub se nalazi vrlo blizu emisione sale, pa se dešava ponekad da se na mernim vodovima za kontrolu rada predajnika indukuje signal koji sigurnosni uređaj prijavljuje kao lažnu refleksiju i automatski isključuje predajnik.



Slika 3.21. Avalski toranj - pre rušenja i novi toranj koji je još uvek u izgradnji

Na većini antenskih stubova raspored antena je sličan. UHF antene su najmanje (rade na najvišoj frekvenciji) i potrebno je da one budu što bliže jedna drugoj da bi dijagram zračenja bio što više omnidirekcioni. Zbog toga se UHF antene uvek nalaze na samom vrhu stuba, koji je najuži. UHF antene na Avali su panel osmerci (slika 3.22, levo). Postavljene su u dva sprata i postoji split sistem. Jedan sprat je crvene, a drugi bele boje. (Zbog toga se ove antene popularno nazivaju „cigara“ antene.) Ispod njih se nalaze VHF antene, simetrični dipoli, koji su glomazniji i oni su projektovani u osam spratova. Neposredno ispod VHF antena nalaze se dve panel osmerca, za emitovanje digitalnog TV signala - RTS Digital, Avala, RTS 1 i RTS 2 na 27-om kanalu. Digitalna televizija je još uvek u eksperimentalnoj fazi i zbog toga postoje samo dve antene i one su usmerena prema Beogradu.

Na slici 3.22 u sredini su prikazane yagi antene koje se koriste za FM difuziju i one se nalaze ispod VHF antena. FM antene na Avali imaju vertikalnu polarizaciju. Poslednje u nizu (slika 3.22, desno) su parabolične antene, mikrotalasni linkovi, za vezu sa Košutnjakom i drugim lokacijama emisionih centara.



Slika 3.22. Antenski sistem na pomoćnom stubu emisionog centra Avala.

Prema frekvencijskom planu (koji je usvojen na nivou Evrope) svi kanali koji se koriste na teritoriji Srbije za televiziju imaju horizontalnu polarizaciju, izuzev jednog koji se koristi na relativno malom području u okolini Subotice.

Pregled najbitnijih parametara korišćenih antena – pojačanje, 3dB širina u E i H ravni i radni opseg - dati su u tabeli 3.6.

ANTENE	opseg	polarizacija	G [dBd]	3dB E-ravan	3dB H-ravan
yagi sa 3 elementa	FM	V	4 (7 ukupno)	60	120
paneli sa dva dipola	VHF	H	7	55	50
paneli osmerci	UHF	H	10 -13	60	20

Tabela 3.6. Pregled najbitnijih parametara antena koje se koriste na emisionom

Zaključak

Kao što je navedeno na samom početku, zadatak ovog rada je bio pregled RF i mikrotalasnih pasivnih komponenti jednog od emisionih centara Radio Televizije Srbija - emisionog centra „Avala“. Pored osnovne teorije neophodne za razumevanje funkcionisanja ovih komponenti, prikazane su i opisane komponente koje se praktično koriste u emisionom lancu radija i televizije. Priložene su fotografije i specifikacije iz kataloga proizvođača. Važnost pasivnih komponenti u emisionom sistemu predstavlja dobar razlog za njihovo dalje proučavanje i usavršavanje.

Može se reći da ovaj rad predstavlja spoj teorije i prakse – primenu pasivnih komponenti karakterističnih za RF i mikrotalasne učestanosti u jednom realnom telekomunikacionom sistemu, televiziji, i kao takav može biti dobar osnov za svakog ko želi da počne da se bavi ovom tematikom.

Literatura

- [1] A. R. Đorđević, **Mikrotalasna tehnika**, Beograd: Akademska misao, 2001
- [2] V. Petrović, **Mikrotalasna pasivna kola**, Beograd: CD izdanje, 2008
- [3] A. R. Đorđević, **Elektromagnetika**, Beograd: Akademska misao, 2008
- [4] P. Vizmuller, **RF Design Guide: systems, circuits and equations**, Norwood: Artech House, 1995
- [5] T. S. Laverghetta, **Microwaves and Wireless Simplified**, Norwood: Artech House, 1995
- [6] M. I. Aksun, **Modern Microwave Circuits**, Norwood: Artech House, 2005
- [7] D. M. Pozar, **Microwave Engineering**, New York: John Wiley and Sons Inc., 1998
- [8] D. K. Misra, **Radio-frequency and Microwave communication circuits**, New York: John Wiley and Sons Inc., 2004
- [9] K. Chang, **RF and Microwave Wireless Systems**, New York: John Wiley and Sons Inc., 2000
- [8] C. A. Balanis, **Antena Theory - Analysis and Design**, New York: John Wiley and Sons Inc., 1997
- [9] www.microwaves101.com/

Dodatak

Pregled korišćenih skraćenica u radu

TTV	Terrestrial Television
CATV	Community Antenna Television
DSL	Digital Subscriber Line
MMDS	Multichannel Multipoint Distribution Service
IPTV	Internet Protocol Television
NICAM	Near Instantaneous Companded Audio Multiplex
MTS	Multichannel Television Sound
VSB	Vestigial Sideband Modulation
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
PAL	Phase Alternating Line
SECAM	Séquentielle à mémoire
NTSC	National Television System Committee
MPEG	Moving Picture Experts Group
ATSC	Advanced Television Systems Committee
DVB	Digital Video Broadcasting
DAB	Digital Audio Broadcasting
HDTV	High Definition Television
SDTV	Standard Definition Television
(ITU)	International Telecommunication Union
(CEPT)	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations)
(ETSI)	European Telecommunications Standards Institute
CISPR	International Special Committee on Radio Interference (Comité international spécial des perturbations radioélectriques)
RATEL	Republička agencija za telekomunikacije

Proizvođači opreme korišćene u emisionom centru Avala

Naziv kompanije	Tip korišćene opreme	Katalozi proizvođača
Rohde und Schwarz	predajnici	www2.rohde-schwarz.com/
Thomson	predajnici	www.thomsongrassvalley.com/
Harris	predajnici	www.harris.com/
Itelco (Nera)	predajnici	www.itelcospa.com/
Imtel	FM predajnici	--
RIZ	FM predajnici	www.riz.hr/
Kathrein	multiplexeri, delitelji snage, antene	www.kathrein.com/
Andrew	parabolične antene	www.commscope.com/andrew/
Tandberg	mikroralasni linkovi	www.tandberg.com/
RFS	kablovi, talasovodi	www.rfsworld.com/
Exir (Terracom)	filtri i multiplexeri	www.exirbroadcasting.com/
ELTI (Elrad Gorenje)	filtri i multiplexeri	www.elti.com/
Spinner	patch paneli	www.spinner.de/
NEC	mikrotalasni linkovi	www.nec.com/
DielectricSolutions	panel antene	dielectricsolutions.com/