



Tehničko veleučilište u Zagrebu
Elektrotehnički odjel

Uredio:
Ime i prezime: *Mirko Huis*

Indeks br. *22001/e*

Radiokomunikacijski uređaji i sustavi
Laboratorijske vježbe

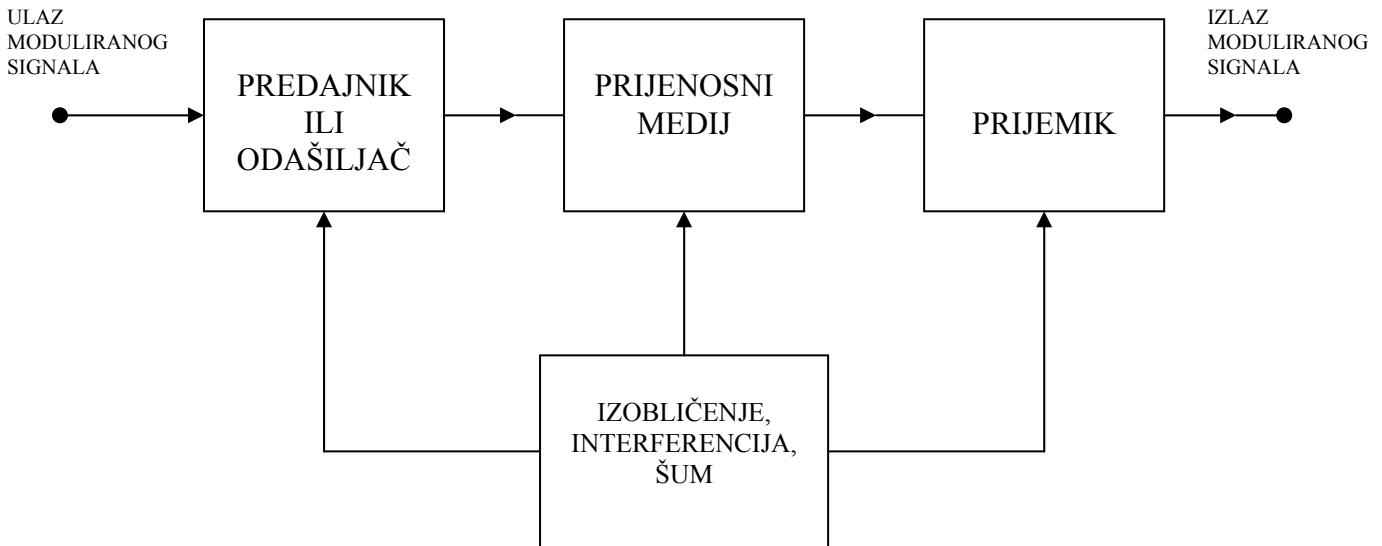
Predavač:

Doc. dr. sc. S. Čosović Bajić

2004./2005

Radio komunikacijski sustavi

Def. To je takav sustav u kome se poruka iz jedne točke u prostoru i vremenu prenosi do druge točke pomiču EMV.



Predajnik

- transformira poruku (modulirani signal) u odgovarajući oblik (modulirani signal) da bi se poruka mogla prenijeti do prijammika
- to je modulacija – poruka prilagodi mediju

Prijenosni Medij

- to je sredstvo u kome se širi ENV (atmosfera uz površinu zemlje)
- u mediju SLABI EMV

Prijamnik

- izdvaja željeni signal iz prijenosnog medija i na svom izlazu reproducira uzlaznu prijenosnu poruku.

Izobličenja

– neželjene pojave na putu od predajnika do prijemnika.

a) Izobličenje

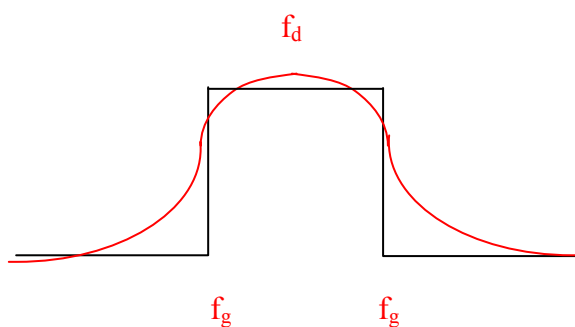
- Odstupanje oblika signala od izvornog
- Dopušteno izobličenje ovisi o sadržaju poruke i redovito je propisano međunarodnim preporukama

b) Interferencije – djelovanje signala drugih sustava na oblik izvornog signala

- c) Šum – neželjeni signal, nepravilna oblika koji uvijek prati korisni signal. Izvor šuma može biti u samom sustavu ili izvan njega. Posljedica djelovanja šuma može biti da se izvorni signal djelomično maskira. Šum je nemoguće eliminirati jer je vezan za samu fiz. pojavu prijenosa signala (to je osnovno fiz. ograničenje radio-kom. sustava).

Vrijeme

- prijenos poruka je u realnom vremenu; istovremeno s pojavom mod. signala na ulazu odašiljača započinje prijenos
- signal na izlazu prijemnika manje ili više kasni. U slučaju satelita to kašnjenje može biti reda veličine sekunde.
- oblik signala u ovisnosti o vremenu nepromijenjen je nakon prolaza kroz sustav
- vremenska promjena signala znači promjenu energije uskladištene u sustavu (to nužno traje konačno vrijeme jer stvarni sustav nije bez gubitaka)
- brzina promjene signala ograničena je sustavom, a veličina koja to izražava je širina frek. pojasa
- pri prijenosu u u realnom vremenu širina pojasa radio-kom. sustava može biti prilagođene modulacijskom signalu i to je drugo fizikalno ograničenje koncepciji uređaja i teh. rješenja
- važno je relativna širina frek. pojasa – apsolutna širina ($f_g - f_d$) podijeljena s frekvencijom vala nosioca f_0

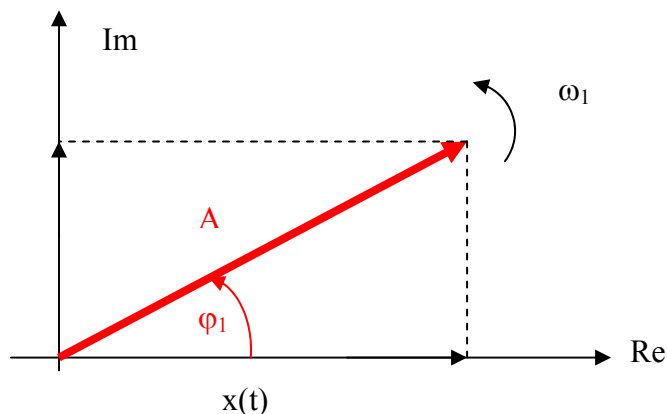


$$\frac{f_g - f_d}{f_0} = \text{aps. širina}$$

Prikaz Signala Fazorima

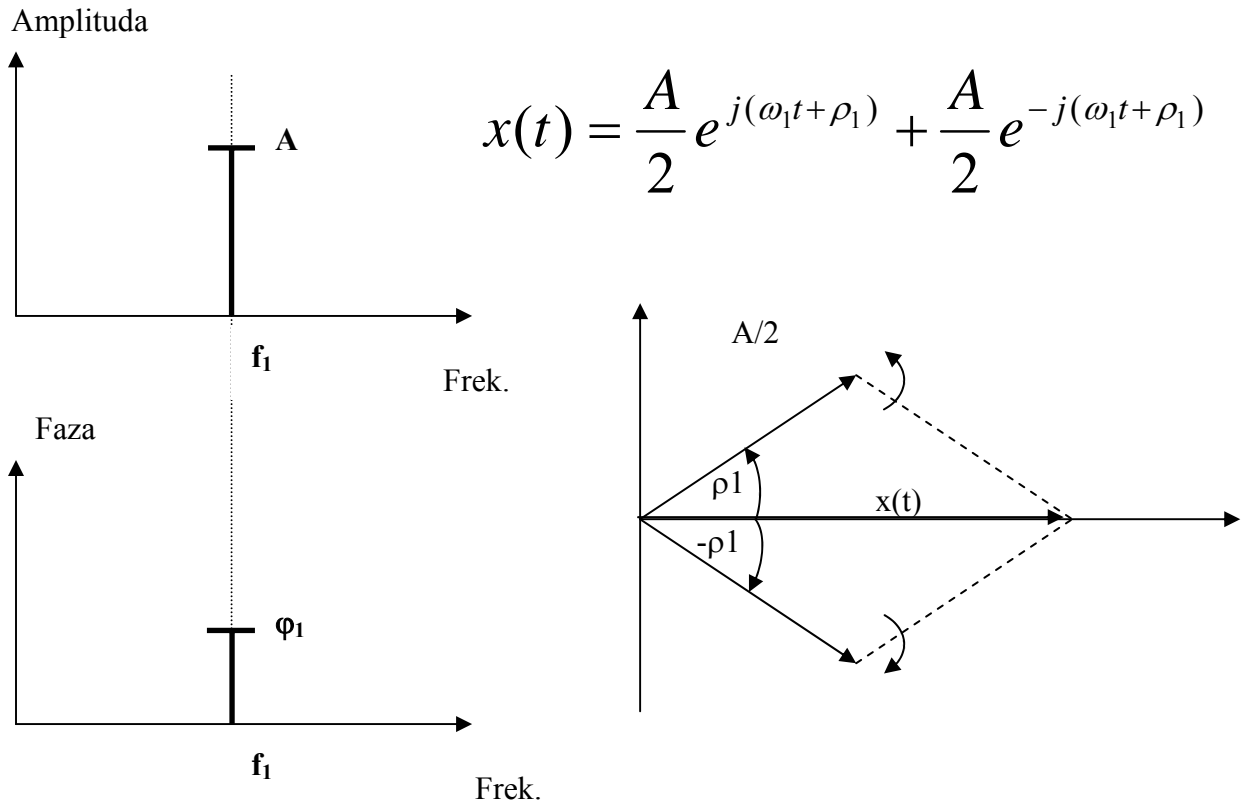
$$x(t) = A \cos(\omega_1 t + \varphi_1)$$

Svaki fazor je jednoznačno određen s amplitudom, fazom i frekvencijom.

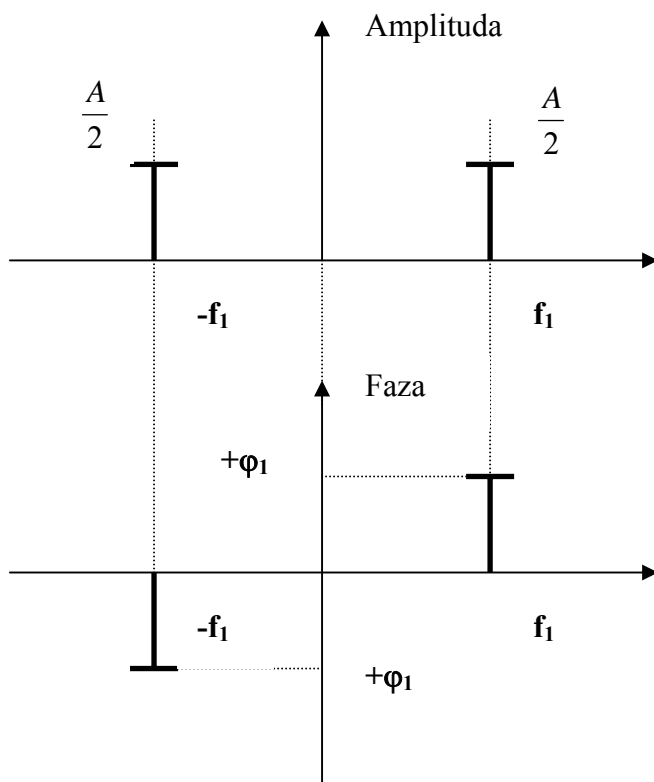


$$x(t) = \Re \left[A \cdot e^{j(\omega_1 + \rho_1)} \right]$$

Spektar



-ovo je jednostrani spektar



- ovo je dvostrani spektar

- zbroj dva konjugirano – kompleksna zavora uvijek se nalazi na Re osi
- dvostrani spektar se proteže i na negativne frekvencije
- amplituda tog spektra je parna funkcija, a faza je neparna funkcija

Analitički Signal

- za prijenos poruka u radiokomunikacijskim sustavima se koriste uskopojasni signali
- to su signali kojima je snaga koncentrirana u blizini prijenosne frekvencije
- mogu se opisati realnom funkcijom oblika:

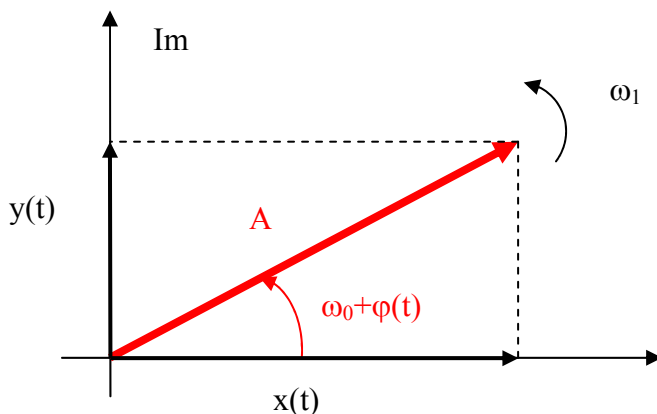
$$x(t) = a(t) \cdot \cos[\omega_0 \cdot t + \varphi(t)]$$

- $a(t)$, $\varphi(t)$ – funkcije koje se sporo mijenjaju s vremenom
- $x(t)$ – realni dio funkcije $z(t)$ - (analitički signal)

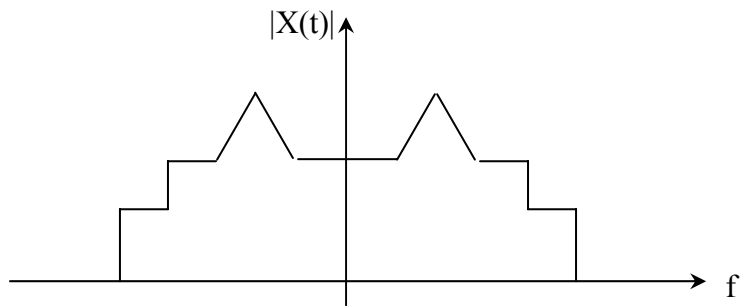
$$z(t) = x(t) + jy(t)$$

- $z(t)$ – analitički signal; predstavlja širi pojam od fazora; za razliku od fazora, analitičkom se signalu ovisno o vremenu mijenja amplituda i faza

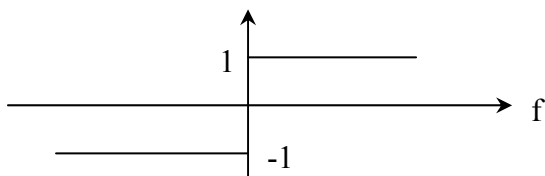
a) $z(t)$ u kompleksnoj ravnini



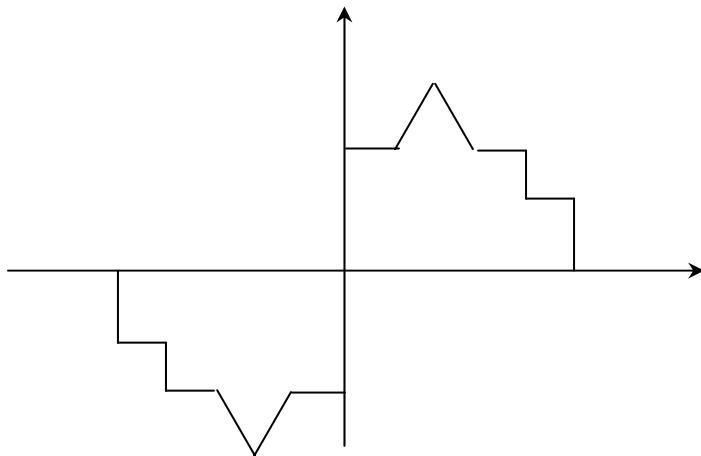
b) prirodni spektar realne komponente $|X(f)|$, $\arg X(f)$



a) spektar funkcije SGNF -funkcija predznaka



d) spektar imaginarne komponente $|Y(f)|$, $\arg Y(f)$



Za određivanje imaginarnog djela funkcije $y(t)$ postoji ∞ mnogo rješenja, međutim postoji jedno ograničenje kojim je izbor funkcije $y(t)$ jednoznačno određen

Kada je $f < 0$ onda je $|Z(f)| = 0$

Spektar analitičkog signala za negativne frekvencije ima vrijednost nula.

veza: $y(f)$ i $x(f)$

$$\text{sgn}(f) = \begin{cases} +1 & \text{za } f > 0 \\ 0 & \text{za } f = 0 \\ -1 & \text{za } f < 0 \end{cases}$$

$y(t) = ?$

- inverznom Fourier-ovom transformacijom iz $y(f)$

$$y(t) = Q(f) X(f)$$

$$Q(f) = -j \text{SGH}(f)$$

$$q(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} Q(f) e^{j2\pi ft} df \quad \text{IFT}$$

$$Q(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} q(f) e^{-j2\pi ft} df \quad \text{FT}$$

Rasprostiranje EMV

- EMV je fizikalna pojava u kojoj se javlja promjenjivo električno i magnetsko polje. Promjena jednog polja izaziva nastanak drugog tako da nastaje val koji se širi konačnom brzinom (brzinom svjetlosti, ali ukoliko to dopušta medij kojim se širi).

Svojstva EMV:

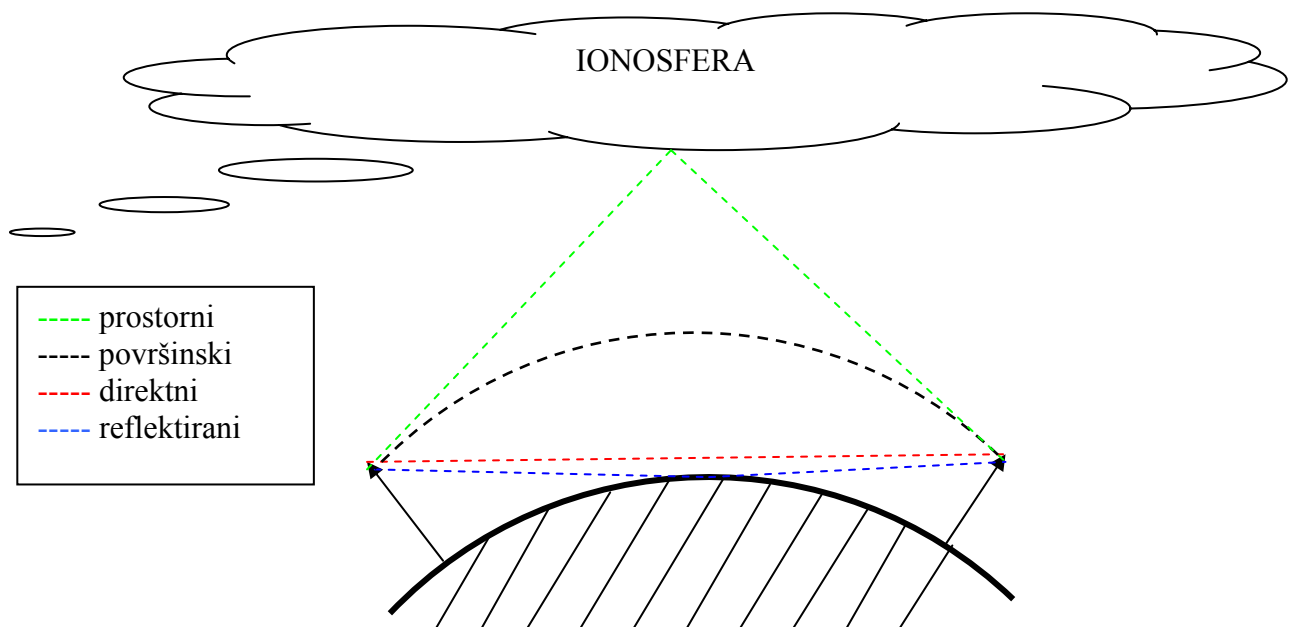
- Koristi se za prijenos informacija kao val nosioc
- Velika brzina širenja, rasprostiranja (idealno brzina svjetlosti)
- Karakteristika rasprostiranja ovisi o fr. Vala

Faktori o kojima ovisi rasprostiranje

- PUTANJA
- MEDIJ
- FIZIKALNI UTJECAJI
- FREKVENCIJA

Put

- površinski val
- reflektirani val (od površine Zemlje)
- direktni val
- prostorni val



Medij

- prostor kojem se val širi
- Atmosfera-niži slojevi, Troposfera, Ionosfera, Svemir
- Voda
- Gornji slojevi Zemlje

Atmosfera

- troposfera
- ionosfera
- svemir

- voda
- Zemlja - površinski slojevi

Troposfera

- to je sloj iznad površine Zemlje u kojem postoji velika količina vodene pare na udaljenosti je 8-11 km, a na tropskom djelu 15-18 tu djeluju oborine(vjetar, kiša, oblaci i ostale padaline.
4/5 ukupne mase zračne oko Zemlje
- Vodena para
- Vjetar, kiša i oblaci

El. Vodljivost je mala

Karakteristike se mijenjaju promjenom visine

- Vlažnost
- Gustoća
- Indeks loma

Osnovne značajke u Troposferi

- refrakcija
- apsorpcija
- rasipanje

Ionosfera

Vanjski elekt. Vodljivi sloj Zemljine atmosfere od 60-80 km a može biti do 20000 km
Po kemijskom sastavu ona je plinovita plazma koja se sastoji od molekula i iona i slobodnih elektrona.

Karakteristike

- maksimalna ionizacija
- mora se odabrati određena frekvencija

Tlo i Voda

- kod upada EMV u vodu ili tlo dio vala se reflektira, a dio prolazi u medij i pretvara se u toplinu.
- Što je frekvencija viša duljina prodiranja je manja!
- Obrnuto je proporcionalno vodljivosti medija

Svemir

Vrlo razrijeđena plazma, tu je putanja pravac i nema slabljenja.
Važan je za satelitske telekomunikacije
Svemir je razrijeđena plazma

Fizikalni utjecaji:

Refrakcija - promjena smjera EMV zbog promjena el. din. svojstava medija.
- mjera promjene svojstva je izražena u indexu loma.

1.
$$n = \sqrt{\varepsilon \cdot \mu}$$

n – index loma
ε - diel. konstanta
μ - mag. susceptibilnost

2. index loma = omjer brzina

$$n = \frac{v_V}{v_M}$$

v_V - brzina širenja vala u vakuumu
v_M – brzina širenja vala u mediju

3. često puta se definira relativni index loma

$$n = \frac{n_1}{n_2}$$

- omjer apsolutnih vrijednosti indexa loma u različitim medijima

Obalni efekt

Savijanje površinskih valova kod prelaska vala s mora na kopno i obratno.
Posljedica je da unosi pogrešku pri određivanju smjera vala

Refleksija

Pojava koja se javlja na granici medija s različitim el. din. svojstvom.
Uz određene uvijete ova pojava prevladava u ionosferi.

- refleksija na površini zemlje
- refleksija na ionosferi

Difrakcija (ogib)

Promjena u širenju EMV na prepreci između predajne i prijemne antene(najčešće u troposferi).
Pri ogibu na prepreci može se uspostaviti veza tako da je na mjestu prijema polje jace nego za slučaj bez prepreke.

Ogib je interferencija direktnog i reflektiranog vala.
Ovisi o atmosferskim prilikama.

Raspršenje (disperzija)

Pojava u kojoj se refrakcija, refleksija i difrakcija javljaju istovremeno tako da ih nije moguće razdvojiti.
Najčešće se javlja u donjim slojevima troposfere gdje zbog valova turbulencije dolazi do nepravilnih promjena indeksa loma u prostoru i vremenu.

Apsorpcija

Slabljenje intenziteta EMV valova zbog djelovanja medija. Pri tom se EM energija pretvara u druge oblike (tlo, oblaci, magla, kisa...).

Sa porastom frekvencije efekt je veći.

Fadeing

Promjena jakosti polja oko neke vrijednosti u prostoru i vremenu na mjestu prijema (najčešće se javlja u gradu).

Frekvencija

10 – 100 kHz - frek. u kojima prevladava površinski i prostorni val, kod ovih frek. Je velik domet (10000 km), fadeing je vrlo slabo izražen.

100 kHz – 10 MHz – prevladava površinski val, djeluje ionosfera (razlika kada je dan, val se apsorbira u ionosferi; a u noći se reflektira od ionosfere). Domet je veći.

Formula za računanje donje frekvencije i gornje frekvencije:

Statističke vrijednosti

1. Lognormalna razdioba – javlja se kada osim glavne zrake na mjestu prijema postoji jedna ili više zraka sa slučajnom fazom i mnogo manjom amplitudom.
2. Rayleigh-ova razdioba – kod dubokog fadienga kada su uvjeti nepovoljni i na prijemnu antenu zbog višestrukih refleksija dolazi više zraka približno iste amplitude, a slučajne faze (urbana sredina).
3. Rice-ova razdioba – to je slučaj koji se javlja kod umjerenog fadienga kada je prijemno polje sastavljeno od jedne izvorne zrake konstantne amplitude i većeg broja zraka kojima je zbroj konstantan, a faza slučajna.

Klasifikacija radio frekvencija i valova

ITU – Internacional Television Union

λ - valna duljina

f- frekvencija

c- brzina svjetlosti

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Za svaku frekvenciju definiramo **broj područja N**.

$$f_d = 0,3 \cdot 10^N \text{ [Hz]}$$

N	Oznake		λ
4	vrlo niske frekvencije	VNF (VLF)	100km - 10km
5	niske frekvencije	NF (LF)	10km – 1km
6	srednje frekvencije	SF (MF)	1000m – 100m
7	visoke frekvencije	VF (HF)	100m – 10m
8	vrlo visoke frekvencije	VVF (VHF)	10m – 1m
9	ultra visoke frekvencije	UVF (UHF)	10dm – 1dm
10	super visoke frekvencije	SVF (SHF)	10cm – 1cm
11	extra visoke frekvencije	EVF (EHF)	10mm – 1mm
12	decimilimetrski valovi 300GHz – 3000GHz		

UDC (Univerzalna Decimalna Klasifikacija)

1. Niske frekvencije 0 – 30 kHz
 - Valne duljine > 10 km
2. Visoke frekvencije 30 kHz – 30 MHz
 - dugi valovi (km) - 30 kHz – 300 kHz
 - Srednji valovi - 300 kHz – 3 MHz
 - kratki valovi - 3MHz – 30 MHz
3. Frekvencije 30 MHz – 3 THz
4. Frekvencije iznad 3 THz

Mogućnost primjene EMV

1. Radiokomunikacije
 - prostorne
 - zemaljske (terestičke)
2. Radiodeterminacija
 - radionavigacija
 - radiolokacija
3. Radioastronomija
4. Industrija, znanost i medicina

Definicije

Radio – naziv za oznaku korištenja radio valova

Informacija – skup znanja o svojstvima objekta, promjene njihova sastava, te odvijanje procesa u prirodi, proizvodnji i društvu.

Signal – fizički fenomen (npr. Zvučni pritisak, napon, struja) odnosno karakteristična veličina čije promjene u vremenu predstavljaju informaciju.

Radio signal – radiofrekvencijsko titranje koje sadrži informaciju.

Veza – označava postojanje komunikacijske mogućnosti između točaka.

Radio veza – komunikacija pomoću radiovalova.

RADIOKOMUNIKACIJE

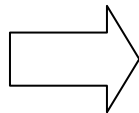
RADIODETERMINACIJA

RADIOASTRONOMIJA

INDUSTRIJSKA

ZNANSTVENA

MEDICINSKA



Je rad uređaja ili sredstva projektiranih da lokalno generiraju i koriste radiofrekvencije za potrebu industrije, znanosti, medicine, domaćinstava.

Radiokomunikacije – telekomunikacije pomoću radiovalova.

Radiodeterminacija – određivanje položaja brzine i drugih karakteristika objekta.

Radioastronomija – astronomija bazirana na prijemu radiovalova kozmičkog podrijetla.

Radiotehnika, Radiosustavi, Radiomreža

Radiotehnika

- Načela rada Radiotehničkih sustava (primjena radiovalova)
- Radiotehničko sredstvo
 - električne sheme, konstrukcija, tehnologija proizvodnje
- Eksploatacija (korištenje Radiotehničkih sredstava)

Radiosustavi

To znači funkcionalno objedinjen skup uređaja i opreme za ostvarenje radiokomunikacija odnosno radiodeterminacija.

- Medij u kojem se rasprostiru radiovalovi
- Operatori

- Uvjeti u kojima uređaji rade

Radiomreže

Više uređaja umreženo.

Klasifikacija sustava prema namjeni

Prijenos informacija

- radioveze (pokretne)
- radiousmjerene veze
- radiodifuzija slike i zvuka
- telemetrija
- prijenos komandi

Otkrivanje informacija

- radiolokacija
- radiogoniometrija
- radionavigacija
- radioispitivanje
- radioastronomija
- radioizviđanje (u vojne svrhe)

Sustavi za upravljanje

- radioupravljanje raketama
- radioupravljanje svemirskim letjelicama

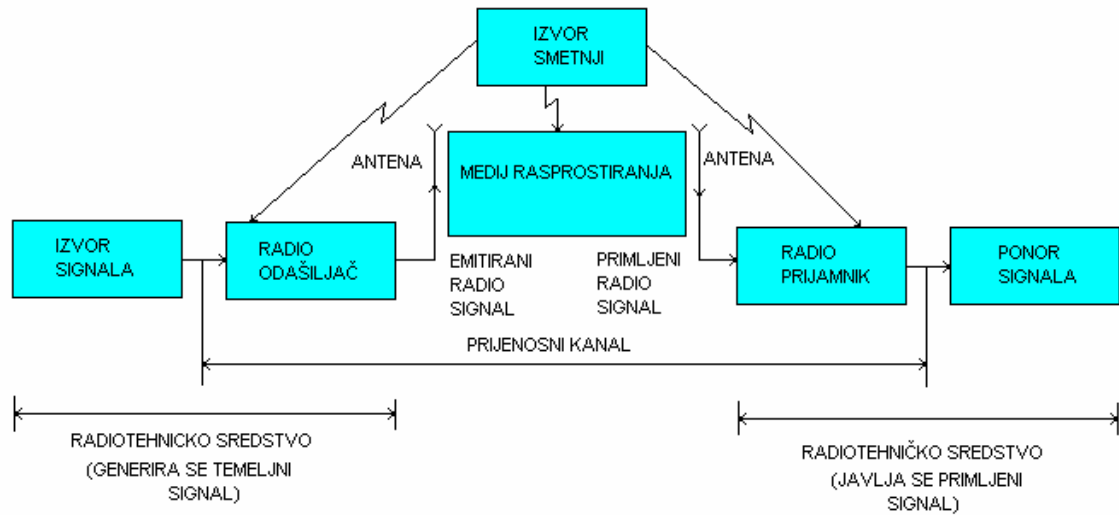
Sustavi za rušenje informacija (ometanje i obmanjivanje)

- radioprotudjelovanje

Primjeri elementarnih radiosustava

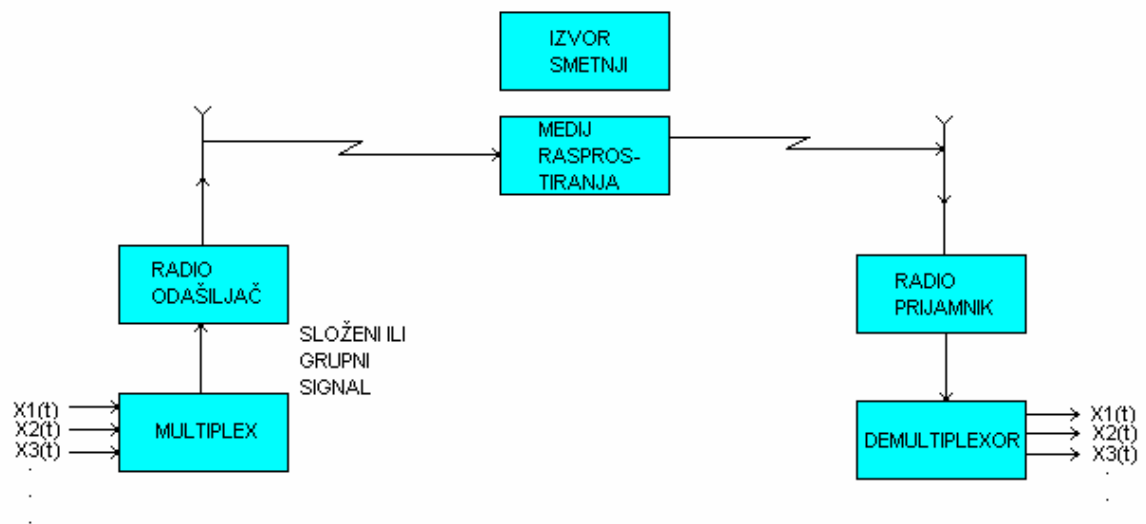
Jednokanalni radiokomunikacijski sustav

Blok shema:



Višekanalni radiokomunikacijski sustav

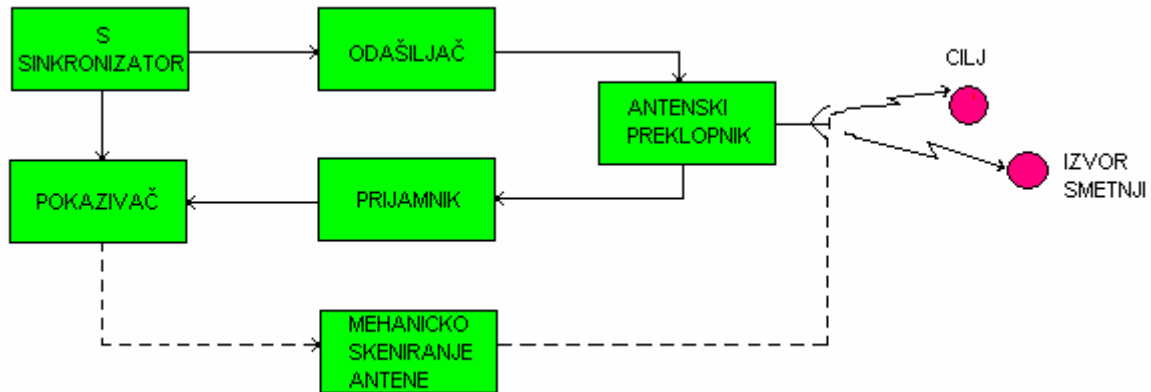
Blok shema :



MULTIPLEXOR – obavlja pakiranje više signala radi zajedničkog prijenosa

Radiodeterminacijski sustav (Radar)

Blok shema:



- radi u pulsnom režimu rada

U radiodeterminacijskom sustavu odašiljač i prijamnik nalaze se na istoj lokaciji **Sinkronizator** određuje frekvenciju ponavljanja, a to određuje sljed odašiljanja.

Signali odjeka od cilja vremenski su pomaknuti i primaju se u prijamnik.

$$t = \frac{2 \cdot r}{c}$$

t – vremenski pomak

c – brzina svjetlosti

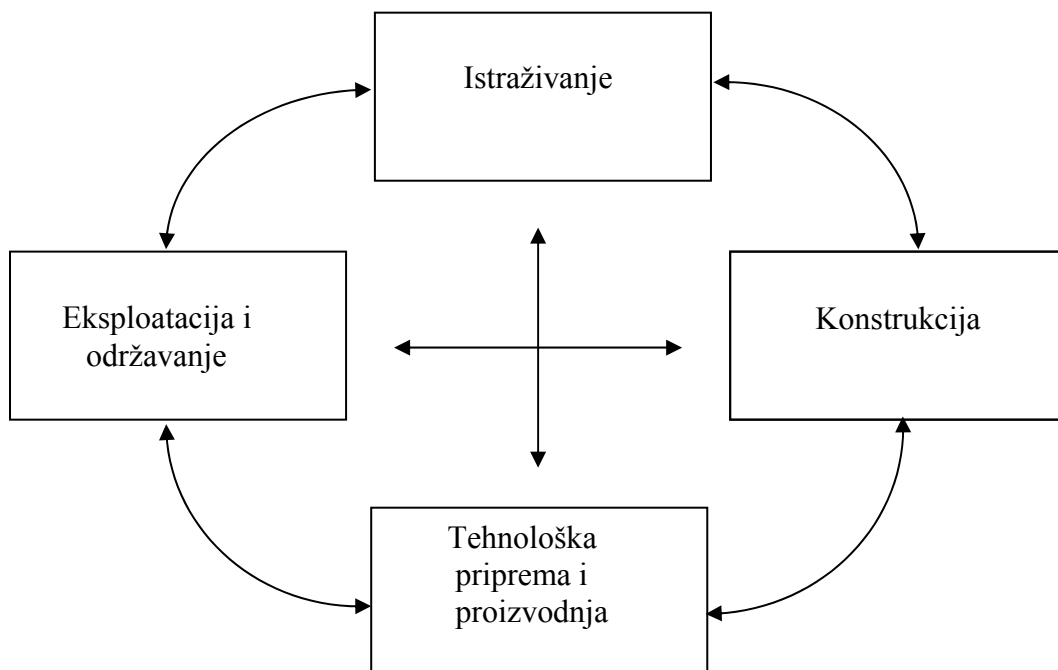
r – udaljenost od cilja

Antenski prijamnik ima zadatak da isključi prijamnik kad odašiljač radi.

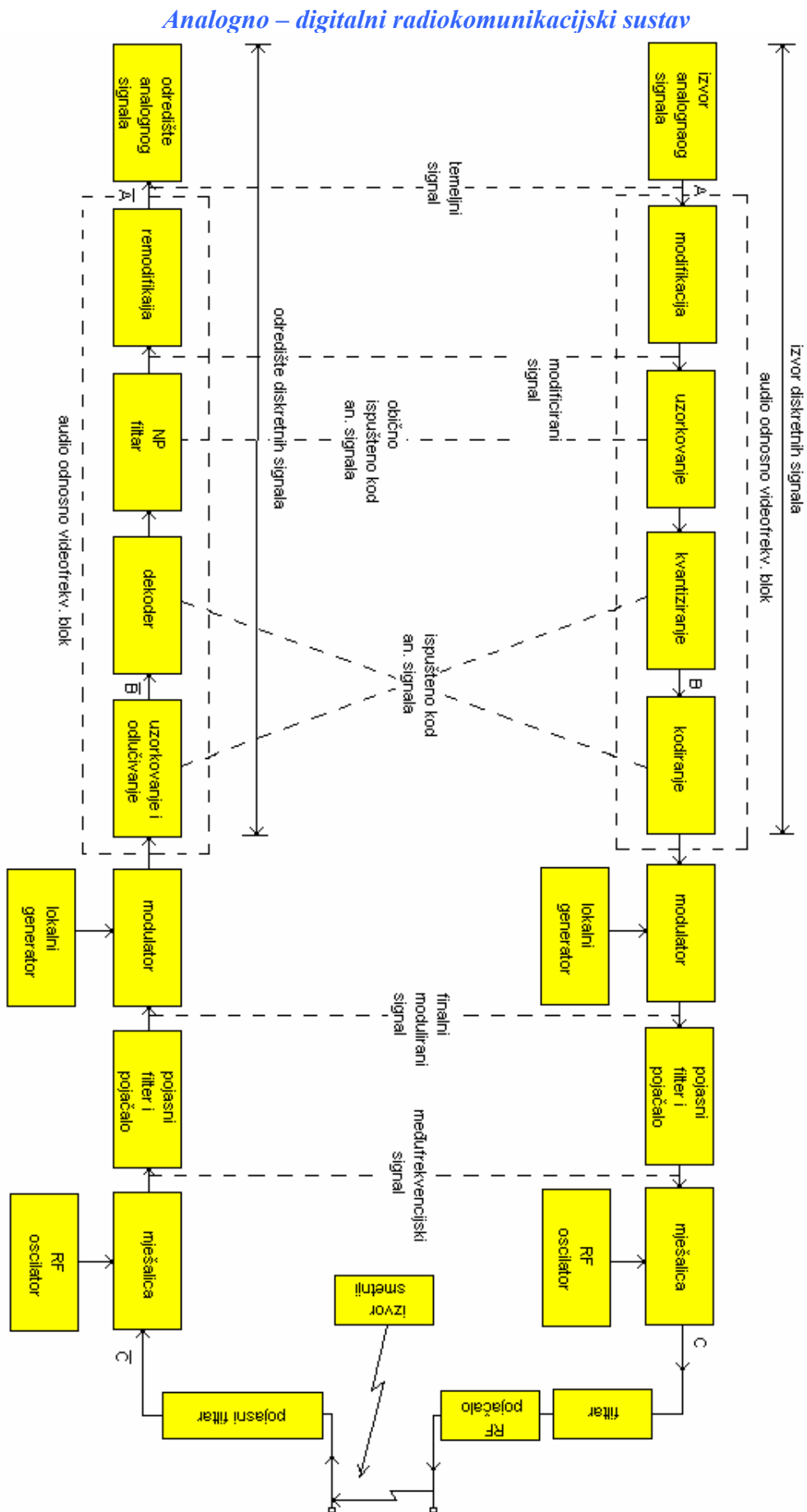
Antena se mehanički okreće po azimutu s konstantnom kutnom brzinom.

Na **pokazivaču** se dobije udaljenost cilja i njegov azimut.

Životni ciklus radio sustava



Nastajanje novog radiosredstva počinje znanstvenim i razvojnim istraživanjima, nakon toga slijedi konstrukcija pa razrada tehnoloških poeracija i na kraju tehnološke pripreme počinje proizvodnja. U proizvodnji se realiziraju ideje istraživača, konstruktora i tehnologa. Tu se uključe i potreba dopunskog istraživanja na temelju kojeg se doraduje konstrukcija i dvršava tehnologija. Gotov uređaj prelazi u ruke korisnika gdje počinje eksploatacija , a usporedno počinje i održavanje. Tijekom eksploatacije i održavanja daje se kritička ocjena proizvoda. Prijedlog te usavršavanje takvog proizvoda te zahtjev za novi proizvod umjesto postojećeg. Time se krug zatvara, a korisnik doprinosi proizvodnji i razvoju znanosti i tehnike. Nema dobrog održavanja bez dobre konstrukcije. Uvijek su nova sredstva najbolja. Novo sredstvo često zahtjeva i novi pristup održavanju . Održavanje ovisi o uvjetima rada, zaštiti na radu, znanstvenoj organizaciji , ekonomskim učincima i ekološkoj ravnoteži.



Na slici je prikazana blok shema jednosmjernog radiokomunikacijskog sustava u kojem se primjenjuje izvor analognog signala npr. mikrofona i analogno-digitalna pretvorba temeljnog signala pomoću pulsno kodne modulacije (PCM). Da bi se digitalni oblik temeljnog signala mogao prenositi radiokanalom primjenjuje se postupak diskretne modulacije. Na prijemnoj strani obavlja se demodulacija i digitalno analogna pretvorba.

Digitalni sustavi- sustavi u kojima se obavljaju D/A i A/D pretvorba.

U odnosu na analogni sustav postoje razlike koje su prikazane u srednjem dijelu slike.

Analogni sustav nema kvantiziranje, kodiranje i uzorkovanje.

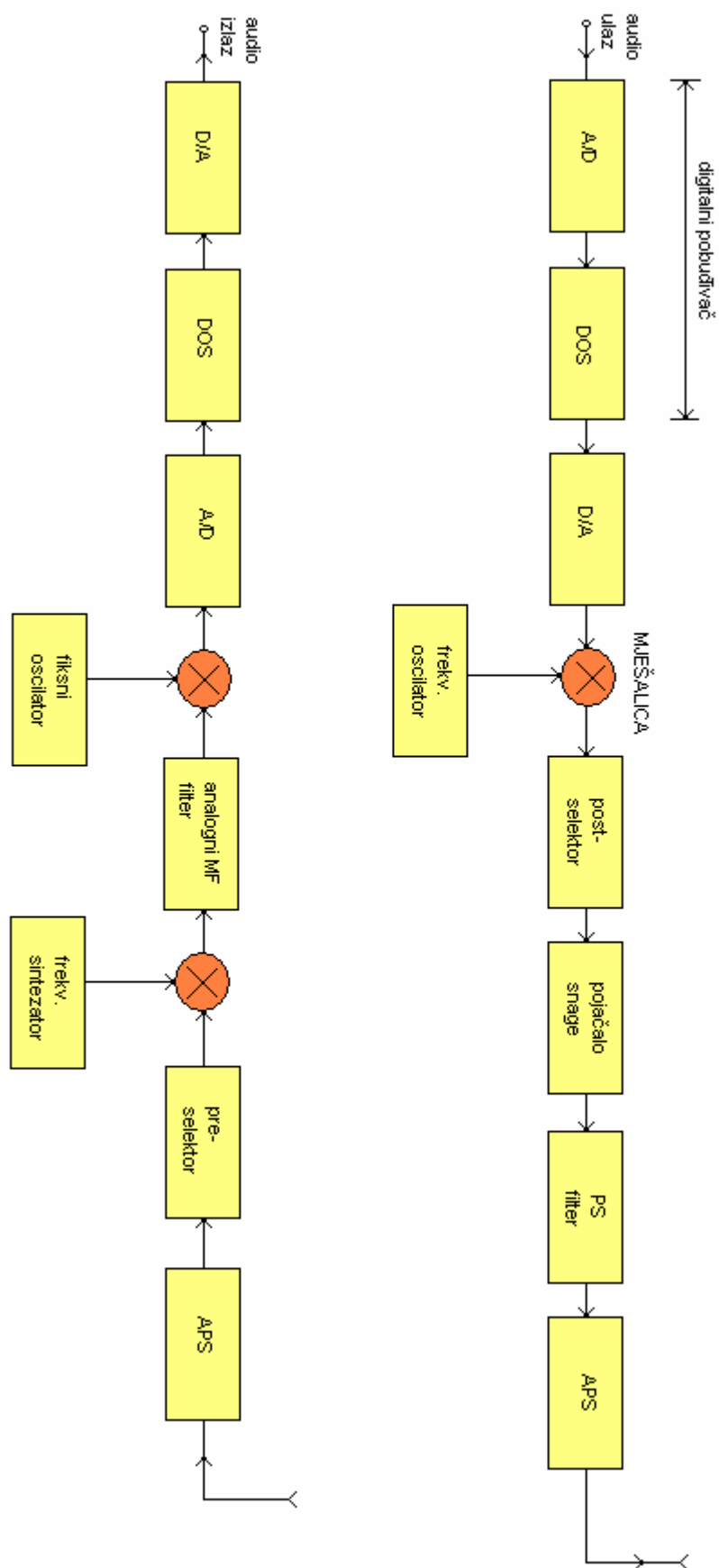
U novijim uređajima javljaju se različiti postupci digitalne obrade signala.

Odašiljač ili predajnik

U modifikatoru se temeljni signal pojačava, filtrira i amplitudno ograničava (ili komprimira). Nakon toga može se modificirani temeljni signal izravno voditi na modulator (ili se prije toga može uzorkovati, kvantizirati i kodirati). Modificirani i uzorkovani oblik sadrže trenutne vrijednosti i nazivaju se **analogni signali**. Kvantizirani oblik temeljnog signala poprima diskretne vrijednosti (nazivamo ga diskretni signal), a ako se diskretni signal kodira naziva se **digitalni signal**. U modulatoru se karakteristična veličina neke oscilacije, obično periodične (nosilac) podvrgava promjenama pod utjecajem modulacijskog signala. Spektar moduliranog signala obično je smješten oko frekvencije nosioca. Ako se želi spektar moduliranog signala premjestiti u frekventijskom području treba mješalica gdje se modulirani signal miješa sa harmonijskim signalom određene frekvencije. Na slici je prikazan primjer gdje se za premještanje spektra primjenjuje mješanjem modificiranog signala s harmonijskim nosiocem. Modulirani signal čiji je spektar već smješten u željeno područje radiofrekvencija treba pojačati na račun energije izvora napajanja, U tu svrhu primjenjuje se radiofrekvencijsko pojačalo. Radiofrekvencijsko pojačalo (pojačalo snage) treba pojačati snagu radiofrekvencijskog signala do iznosa koji je potreban za svladavanje slabljenja i svladavanje utjecaja smetnji na prijenosnom putu.

Filtri odstranjuju neželjene produkte modulatora mješalice i radiofrekvencijskog pojačala (kad pojačalo radi u C klasi).

Blok shema digitalnog radiokomunikacijskog sustava



Radioveza

Antene se povezuju s odašiljačem pomoću koaksijalnih ili drugih linija ili direktno. Da bi se impedancija antena prilagodila na impedanciju koaksijalnog voda (50Ω) upotrebljava se APS (antenski prilagodni sklop) za prigušenje smetnji koriste se filtri (postselektori na izlazu odašiljača ili preselektori na ulazu u prijamnik). Antene zajedno s pripadnim sklopovima čine poseban podsustav koji nazivamo radioveza. Odašiljačka antena osim pretvorbe oblika EM energije obavlja i prostorno usmjeravanje EM valova, a prijemna antena obavlja prostornu selekciju. Prostorno usmjeravanje i prostorna selekcija postižu se pomoću usmjerenih antena. Vanjske smetnje koje dolaze izvan kuta usmjerenja prijemne antene biti će znatno prigušeni. Prostorno usmjeravanje i prostorna selekcija mogu se to bolje iskoristiti što je radna frekvencija viša. Tako npr. Području supervisokih frekvencija (SVF) mogu se postići vrlo mali utori usmjerenja s antenama prihvatljivih dimenzija.

Polarizacijska selekcija se postiže također pomoću antene. Ona se temelji na razlici u polarizaciji EM valova, signala i smetnji, ako je npr. prijemna antena postavljena za prijem horizontalne polarizacije signala onda će neželjeni signali koji dolaze iz izvora pretežno vertikalno polariziranih valova biti oslabljeni u prijemnoj anteni.

Smetnje

Smetnja je učinak neželjene energije zbog emisije zračenja indukcije i/ili njihovih kombinacija na prijemu u radiokomunikacijski sustav. Taj se učinak manifestira degradacijom kvalitete, pogrešnom interpretacijom ili gubitkom informacijakoje bi se mogle primiti u odsutnosti takve neželjene en. EMS koja se pojavljuje u prijemnoj anteni pod utjecajem EM valova korisnog signala i smetnji, obično ima gledajući u vremenskoj domeni osim spektralnih komponenti koje pripadaju korisnom signalu četo pojavljuje puno drugih komponenti uvjetovanih različitim smetnjama.

$u(t)$ -primljeni RF signal

$u_k(t)$ - korisni signal

1. Idealni uvjeti $u(t) = u_k(t)$

2. Prisutna aditivna smetnja

$u_s(t)$ -signal smetnje

$$u(t) = u_k(t) + u_s(t)$$

3. Prisutna multiplikativna smetnja

$$u(t) = u_k(t) \cdot u_s(t)$$

5. kada postoji Doppler-ov efekt (višeputno rasprostiranje)

$$u(t) = f(u_k(t))$$

Funkcija korisnog signala-određena je parametrimaodređenih okolnosti(brzina, veza između brzopokretnih objekata).

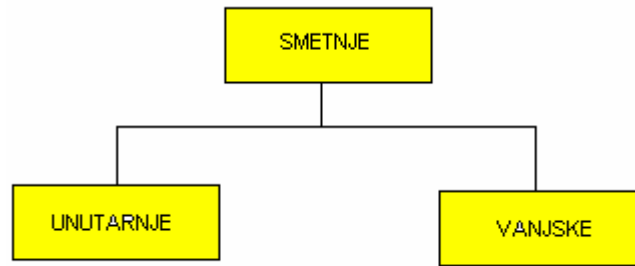
Smetnje

• prema izvoru nastajanja

◇ unutarnje smetnje:

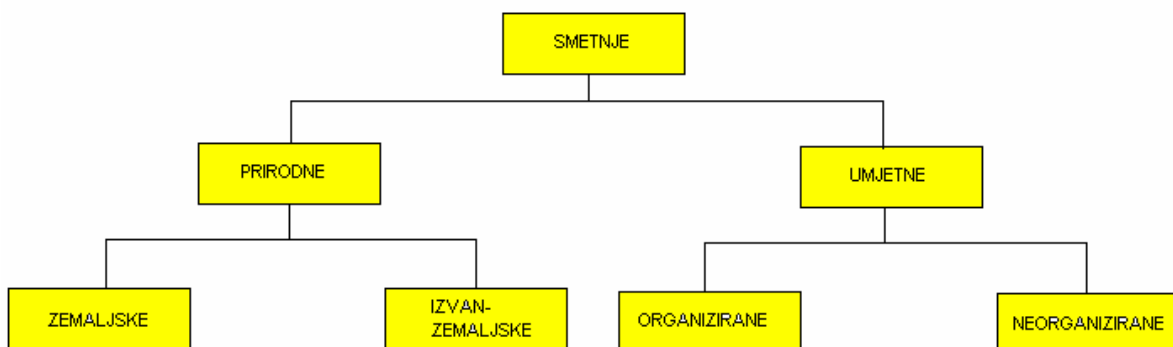
- između elementarnih sustava (radiolinija) objedinjenih u jedan složeni sustav (radiomreža).
- Smetnje između funkcionalnih elemenata (blokova)
- Vlastiti šum elemenata unutar bloka

◇ vanjske smetnje



- smetnje koje nastaju izvan sustava i na neki način (preko antene ili preko izvora napajanja) prenose u prijamnik ili odašiljač.
- To su atmosferske smetnje, industrijske, galaktičke i druge smetnje.

• *Po pdrijetlu*



◇ prirodne smetnje

Pojavljuju se kao posljedica različitih procesa u prirodi koji stvaraju EM polje ili koji utječu na rasprostiranje radiovalova.

- zemaljske smetnje
 - ♣ atmosferske, toplinsko zračenje Zemlje
 - Izvanzemaljsko
 - ♣ kozmički šum, šum sunca i drugi izvori.

Umjetne smetnje

Nastaju zbog djelovanja drugih uređaja ili zbog djelovanja tehničkih sredstava namjenjenih narušavanje normalnog rasprostiranja radiovalova.

- Organizirane smetnje nalazimo u modernism ratovima kad se upotrebljavaju specijalni radioodašiljači za stvaranje smatnji ili kad se pomoću rakete ili posebnog artiljerijskog trna izbaci oblak pasivnih dipola od metaliziranih traka vlakana, balona idr. Kako bi se na određenoj radiotrasu narušili normalni uvjeti prostiranja radiovalova.
- Neorganizirane smetnje nalazimo kod simultanog rada više radiomreža za kloje nije napravljen dobar frekvencijski plan pa dolazi do međusobnog smetanja.

• *Po strukturi*

Prema vremenskoj i vremenskoj konstanti smetnje možemo podjeliti na uskopojasne (koncentrirane po spektru) ili pulsne (koncentrirane po vremenu) – (širokopojasne) i fluktuacijske (nisu koncentrirane ni po vremenu nip o spektru)

- uskopojasna smetnja je smetnja čija širina spectra ne prelazi širinu spectra korisnog signala (radioodašiljači).

- Pulsna sketnja je jedan ili više pulseva pri čemu je trajanje τ_s smetajućeg pulsa kraće od trajanja τ_k elementarnog korisnog pulsa nosioca poruke. Širina B_s spektra smetnje veća je od širine B_k spektra signala.

Amplituda pulsa smetnje, razmaci između pulseva ($\Delta\tau$) kao i broj pulseva grupiranih u pakete obično su slučajnog karaktera. Pojam pulsne smetnje nije vezan samo sa parametrima samog izvora zračenja nego i s odnosom trajanja pulseva prema trajanju prijelaznih pojava koje nastaju u selektivnim krugovima prijemnika.

Neka se na ulazu prijemnika pojavi niz kratkih pulseva .

Ukoliko je trajanje pulsa smetnje kraće od trajanja prijelazne pojave $\tau_s < \tau_p$ (τ_p -trajanje prijelazne pojave), a razmak između pulseva veći od trajanje prijelazne pojave $\Delta\tau > \tau_p$, onda će smetnja na izlazu zadržati pulsni karakter.

Fluktirajuća smetnja nije koncentrirana ni po spektru ni po vremenu. Ona ima širi spektar od spektra korisnog signala i neprekidno je prisutna .Ovdje se ubrajaju vlastiti šum radiouređaja i fluktuacija dobivena zbarjanjem višeskopojasnih ili pulsni smetnji.

Prijamnik

U prijamniku se pojavljuju vlastite ili unutarnje smetnje kao rezultat neželjenih električnih fluktuacija u njegovim elementima. Na ulazu prijemnika pojavljuje se korisni signal u prisutnosti vanjskih smetnji.

Prva funkcija prijemnika je izdvajanje (selekcija) korisnog RF- signala iz rezultirajućeg napona antene i pojačanje izdvojenog signala. U prijemnicima se primjenjuje frekvencijska selekcija što znači da prijemnik propušta odnosno prima pojas frekvencija. To svojstvo prijamnika naziva se frekvencijska selektivnost. U prijemniku se mogu primjeniti i drugi oblici selekcije, primjerice kod primanja pulsni signala može se primjeniti vremenska selekcija tako da se zatvara neki stupanj prijemnika za vrijeme pauze između dva susjedna pulsa.

Vremenska selekcija korisnog signala može se realizirati ako je na prijemnoj strani dovoljno točno poznat trenutak pojave signala.

Pojačanje izdvojenog RF- signala nužno je zato što je korisni signal vrlo male snage (pW) I kao takav nije dovoljan za kvalitetan rad određenih sklopova za obradu signala (demodulator).

Druga funkcija radioprijemnika je demodulacija izdvojenog RF- signala tj. Odvajanje modulacijskog signala. Na ulazu demodulatora pojavljuje se modulirani signal , ali u isto vrijeme i smetnja i šum. Često se pojam detekcije upotrebljava u istom smislu kao i pojam demodulacije. Detekcija je širi pojam i primjenjuje se u smislu razlikovanja šumom smetanog signala od samog šuma ili za razlikovanje jednog šumom smetanog signala od drugog, zatim za otkrivanje signala za potrebu automatske regulacije pojačanja (ARP) ili frekvencije(ARF).

Treća funkcija radioprijemnika je obrada demoduliranog signala, remodifikacija i pojačanje. Obično je snaga signala koji se pojavljuje ne izlaz demodulatora vrlo mala I nije dovoljna za rad završnog uređaja. Stoga je potrebno pojačati demodulirani signal. No ima i drugih obrada npr. Ako je na predajnoj strani izvršena kompresija amplitude moduliranog signala na prijemnoj strani se obavlja dekompresija demoduliranog signala.

Prijenosni i frekvencijski kanal

Prijenosni kanal definira se kao skup sredstava koja su nužna da se ostvari prijenos signala u samo jednom smjeru. Prijenosni kanal je skup skup sredstava koja omogućavaju prijenos između dvije točke pri čemu je moguć izbor dviju točaka. Dio sustava od izvora signala do ulaza u kanal A- ulaz, B- ulaz, C- ulaz čini izvor signala za taj kanal. Prijenosni kanal možemo klasificirati prema prirodi signala koje treba prenositi (telefonski, televizijski i dr.), i prema širini upotrebljenog frekvencijskog područja, ako su ulazni i izlazni signal kontinuirani po razini kažemo da je kanal kontinuirani odnosno analogan (to je kanal između točaka $A - \bar{A}$). Ako su ulazni i izlazni signal diskretni po razini bez obzira dali su ti signali kontinuirani ili diskretni po vremenu kažemo da je kanal diskretan ($B - \bar{B}$). Postoji i tzv. Diskretno – kontinuirani kanal što znači da je na ulazu signal diskretan po razini, a na izlazu kontinuiran po razini (B-C). Također je moguće kontinuirano –diskretan kanal da kanal može biti diskretan ili kontinuiran neovisno o karakteru poruke koju treba prenositi. Svaki diskretan i svaki polukontinuiran kanal sadrži u sebi kontinuirani kanal (gotovo svaki).

Frekvencijski kanal

Dio je frekvencijskog spektra koji je namjenjen za prijenos signala. Definira se dvijema granicama ili centralnom frekvencijom i širinom pridruženog spektra. Frekvencijski kanal može omogućiti komunikaciju izmjenično u oba smjera ($C - \bar{C}$) RF- kanal. RF- kanal možemo dalje klasificirati prema frekvencijskom području u kojem su smješteni (VF, VVF, UVF).

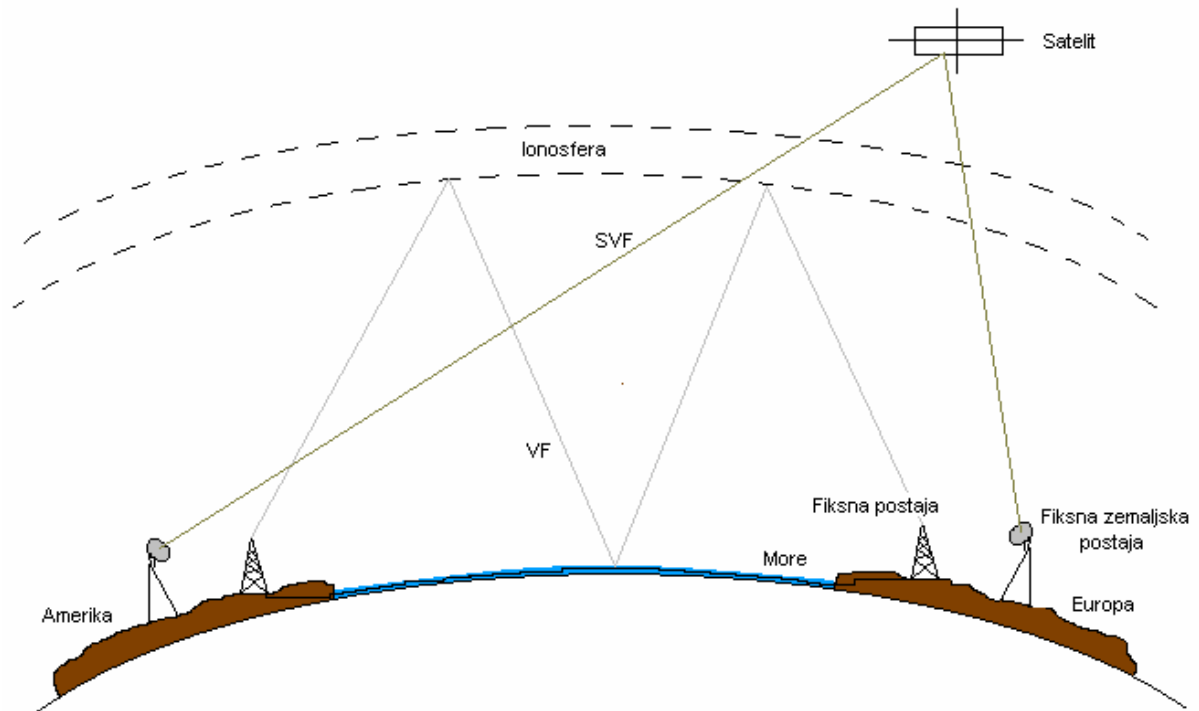
Fiksne i pokretne službe

Fiksne službe

To su službe između nekakvih fiksnih točaka i tu se koristi jednokanalni i višekanalni radiokomunikacijski sustav.

Fiksna postaja

1. Rad sa primjenom refleksije od ionsfere, radna frekvencija $f < 28$ MHz
2. Sustav sa primjenom satelita (SVF)
3. Podmorski kabel



Fiksno - satelitska služba

To je radiokomunikacijska služba između zemaljskih postaja koje se nalaze na određenim fiksnim točkama kada se primjenjuje jedan ili više satelita. U nekim slučajevima ova služba obuhvaća i veze između satelita koje se mogu svrstati u međusatelitsku službu. Tu se također ubrajaju spojne veze za druge prostorne radiokomunikacijske službe.

Aeronautička fiksna služba

Je radiokomunikacijska služba između specificiranih fiksnih točaka predviđene primarno za sigurnost zračne navigacije i za pravilan, efikasan i ekonomičan rad zračnog transporta.

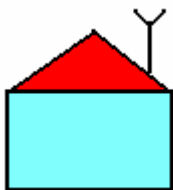
Pokretne službe

To su službe između pokretnih postaja i kopnenih postaja ili samo između pokretnih postaja.



- ***Kopnena pokretna služba***
- ***Pomorska pokretna služba***
- ***Aeronautička pokretna služba***

-Pokretna postaja



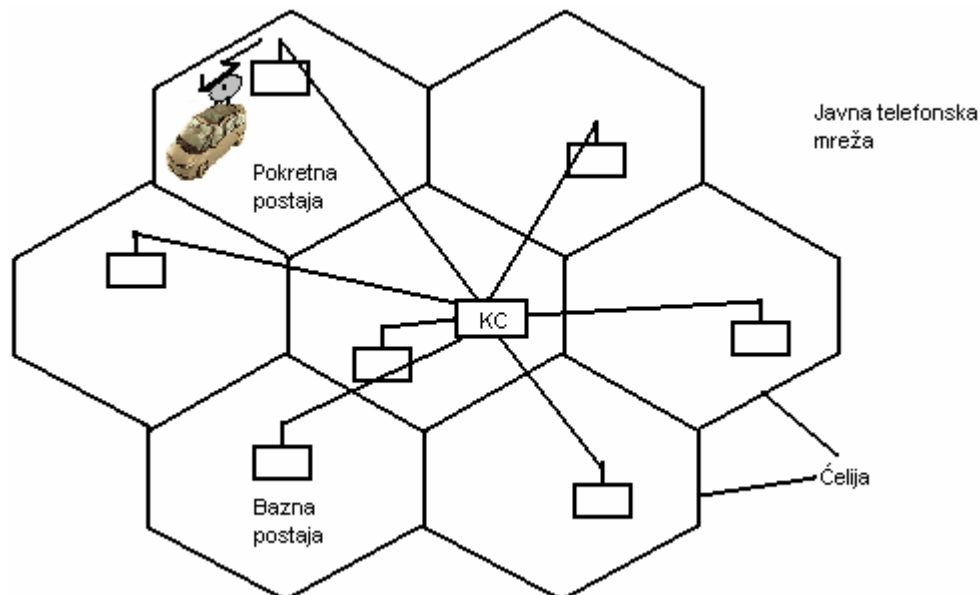
-Bazna postaja

U trenutku kada je radiokanal slobodan komunikaciju može ostvariti samo jedna pokretna postaja sa središnjom postajom. To je primjer kako više pokretnih postaja može upotrebljavati zajednički radiokanal, ali ne u isto vrijeme. Pitanje iskorištenja nekog radiokanala vrlo je značajno i predstavlja glavnu prepreku bržem razvoju pokretnih službi.

Ćelijska struktura

Da bi se pokrilo određeno područje mora se podijeliti u odgovarajući broj ćelija. U svakoj ćeliji smještena je bazna radiopostaja preko koje se ostvaruje veza s pokretnim postajama unutar ćelije. Bazne postaje su povezane s komutacijskim centrom (KC) koji obavlja sve funkcije pri uspostavljanju veze, upravlja baznim postajama i povezuje ih s javnom telefonskom mrežom. U KC obavljaju se sva ispitivanja radi održavanja sustava radi naplate. Tipično je za takve sustave da su ćelije relativno male površine pa se radna frekvencija odabire u UVF području (od 800 – 900 MHz). Radna se frekvencija dodjeljena jednoj ćeliji može ponovo koristiti u još nekim ali ne susjednim ćelijama.

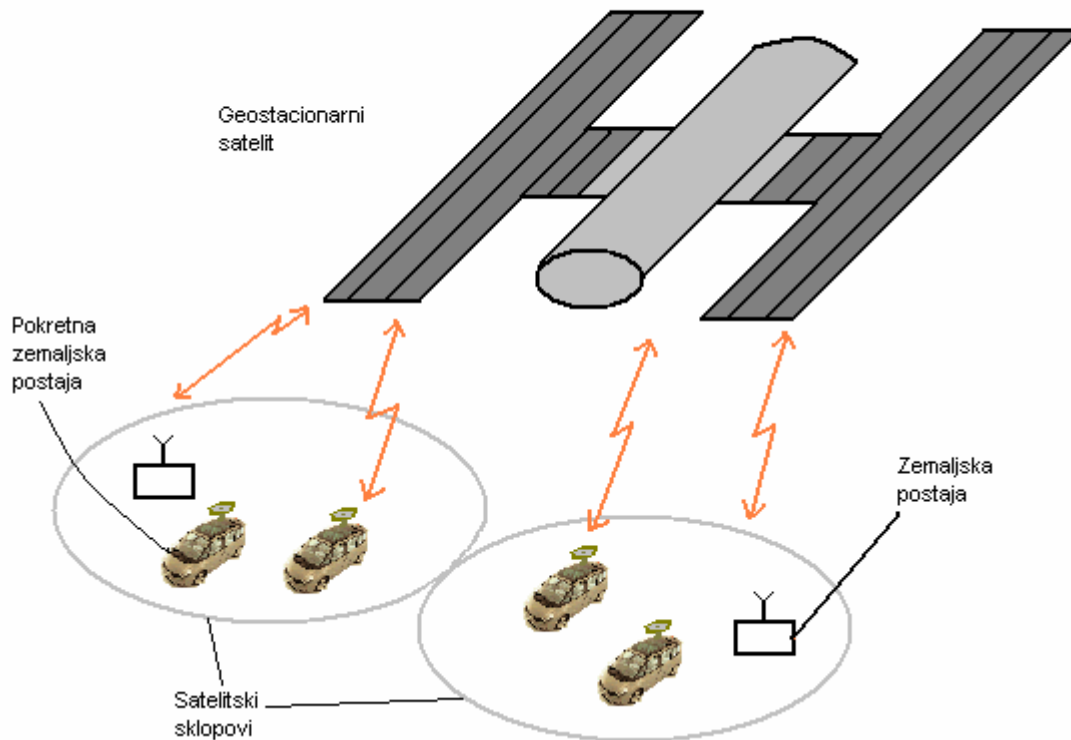
Kopneni pokretni radiokomunikacijski sustav



Pokretno – satelitska služba

Je radiokomunikacijska služba između pokretnih zemaljskih postaja i jedne ili više prostornih postaja i pokretnih zemaljskih postaja preko jedne ili više prostornih postaja.

- **Kopnena**
- **Pomorska**
- **Aeronautička**



Signali se prenose od vozila do satelita u području ultravisokih frekvencija. Satelit služi kao relej koji isti signal prosljedi na nešto višoj frekvenciji (12 – 14 GHz) do male zemaljske postaje. Zemaljska postaja automatski dodjeli jedan par kanala za upotrebu u tom snopu i povezuje pokretnu postaju javnom telefonskom mrežom. Smatra se da su kopnene pokretne satelitske službe prikladne za komunikaciju izvan većih gradova.

Terestrički sustav

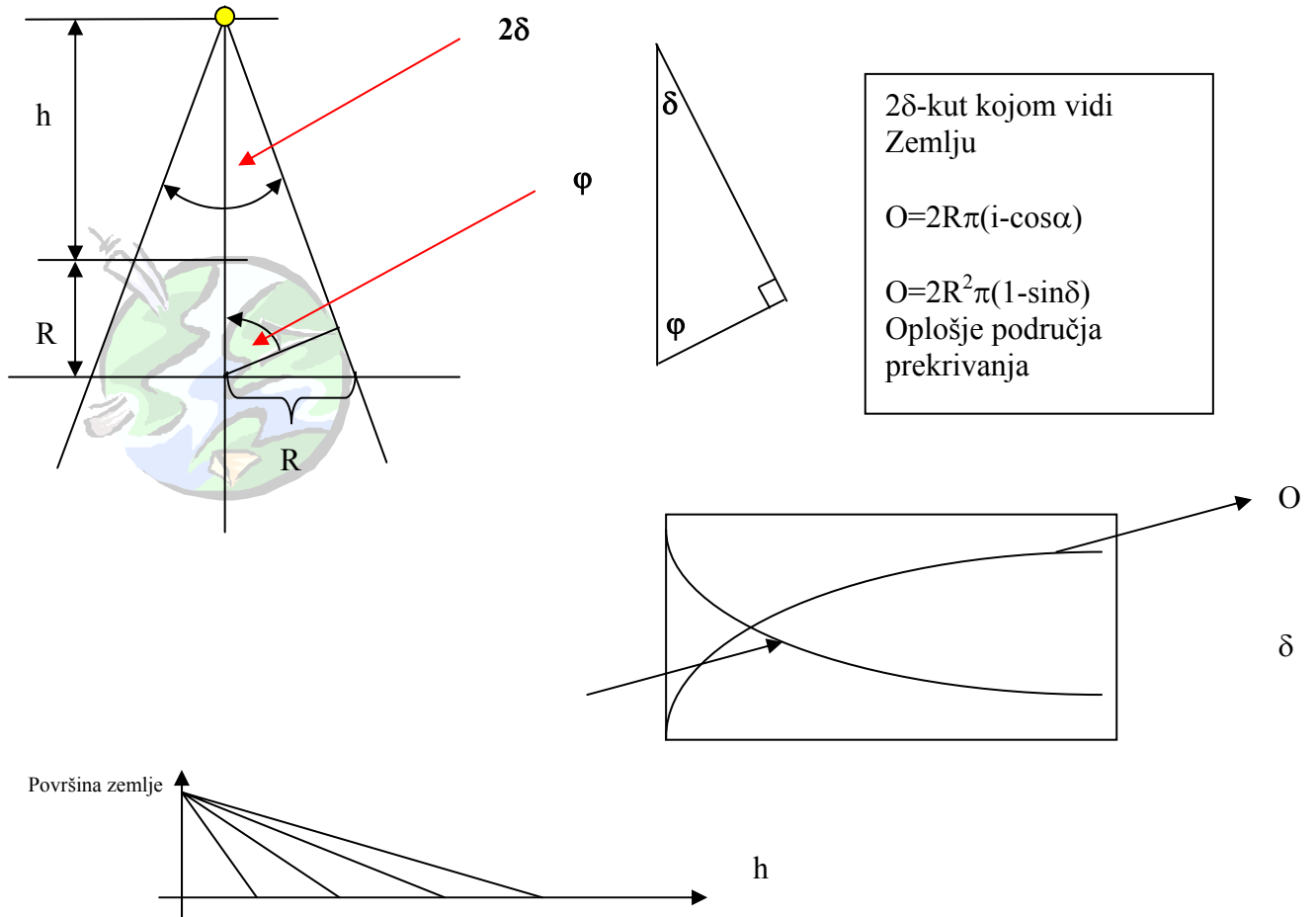
Nalazi se unutar pokretnog satelitskog sustava.

Primjer: Uz frekvenciju 850 MHz i promjer satelitske antene od 35 m. Takav slučaj pokriva područje od 250000 km^2 .

Satelitski sustavi

- sustav u kome se komunikacija ostvaruje tako da se sateliti koji kruže oko Zemlje iskorištavaju kao reflektori ili kao radioponavljači.
- to je obično višekanalna veza koja se ostvaruje na velike udaljenosti

Opskrbno područje satelita



Odnos širine i snage snopa

- za veliku snagu odašiljača potrebno je povećati masu i geometrijske dimenzije satelita (širina snopa $< 5^\circ$)

Vrste satelitskih veza

- pasivni satelit-kao reflektor
 - aktivni-repetitor (ponavljač)
- prednost aktivnih –bolja kvaliteta veze

Izbor frekvencije

- mora biti iz područja koje ionosfera i troposfera propuštaju
- položaj

- aktivnost sunca
- godišnje doba, vremenu

TEHNIČKI ZAHTJEVI ZA UREĐAJE SATELITKIH VEZA

$$P_c = \frac{P_T \cdot g_T \cdot g_R}{l}$$

Gdje je:

- p_C – primljena snaga
- p_T – odaslana snaga
- g_T – dobita odašiljačke antene
- g_R – dobitak primljene antene
- l – slabljenje između dvaju antena

Energetski zahtjevi u dB prema referentnoj snazi od 1 W

$$P_C = (P_T + G_T + G_R - L) \quad [\text{dB}]$$

Kvaliteta prijema i veze bit će funkcija odnosa signala šum.

$$\frac{S}{N} = \frac{P_C}{P_N} = P_C - P_N \quad - \text{ kvaliteta veze}$$

$$\frac{P_C}{t} = P_C - T_\xi$$

mjera šumnih svojstava nekog sustava = temperatura šuma

$$\begin{aligned} & \geq 40,7 + 20 \log \frac{f}{4} \rightarrow \text{dB} \\ \text{snaga primljenog signala} & \\ & \geq 57 + 20 \log \frac{f}{4} \rightarrow \text{dB} \end{aligned}$$

VJEŽBA 16

GUBICI PRI PRIJENOSU POVRŠINSKOG VALA

Program računa gubitke u prijenosu elektromagnetskog vala između 2 točke na zemlji.
Primjenjuje se za frekvencije 1-1000 MHz za vertikalnu i horizontalnu polarizaciju antene.

1. Za zemlju

Ulazni podaci:

```
GUBICI PRI PRIJENOSU POVRŠINSKOG VALA

Unesi tražene podatke:
Broj udaljenosti?           3_____
Relativna dielektrična konstanta? 15_____
Uodljivost [mS/m]?         27.8_____
Frekvencija [MHz]?         22_____
```

```
GUBICI PRI PRIJENOSU POVRŠINSKOG VALA

Udaljenost #1 [km]?       25_____
Udaljenost #2 [km]?       50_____
Udaljenost #3 [km]?      100_____
```

```
GUBICI PRI PRIJENOSU POVRŠINSKOG VALA

Unesi visinu antene predajnika [m]: 9.75_____
Unesi visinu antene prijemnika [m]: 9.75_____
```

Izlazni podaci:

```
GUBICI PRI PRIJENOSU POVRŠINSKOG VALA

Izlazni podaci:
Vertikalna polarizacija.
Visina antene predajnika: 9.75 m
Visina antene prijemnika: 9.75 m
Frekvencija: 22.00 MHz
```

GUBICI PRI PRIJENOSU POUVRŠINSKOG UALA

Udaljenost [km]	Gubici prijenosa [dB]
25.00	133.5862
50.00	146.0282
100.00	164.2550

2. Površinski val iznad mora

Ulazni podaci:

GUBICI PRI PRIJENOSU POUVRŠINSKOG UALA

Unesi tražene podatke:

Broj udaljenosti? 3 _____
Relativna dielektrična konstanta? 81 _____
Uodljivost [mS/m]? 4640 _____
Frekvencija [MHz]? 12 _____

GUBICI PRI PRIJENOSU POUVRŠINSKOG UALA

Udaljenost #1 [km]? 25 _____
Udaljenost #2 [km]? 50 _____
Udaljenost #3 [km]? 100 _____

GUBICI PRI PRIJENOSU POUVRŠINSKOG UALA

Unesi visinu antene predajnika [m]: 2.44 _____
Unesi visinu antene prijemnika [m]: 2.44 _____

Izlazni podaci:

GUBICI PRI PRIJENOSU POUVRŠINSKOG UALA

Izlazni podaci:

Vertikalna polarizacija.
Visina antene predajnika: 2.44 m
Visina antene prijemnika: 2.44 m
Frekvencija: 12.00 MHz

GUBICI PRI PRIJENOSU POUŠINSKOG VALA

Udaljenost [km]	Gubici prijenosa [dB]
25.00	78.0867
50.00	86.9223
100.00	98.5729

VJEŽBA 18
PROSTORNI VAL

Program računa minimalnu i maksimalnu frekvenciju za komunikaciju pomoću prostornog vala. Zadaje se koordinata prijemnika i predajnika te vrijeme u kome će se obavljati veza. Veza se ostvaruje bez posrednika (repetitora) i može raditi na vrlo velikim udaljenostima. Za ovaj program veoma je važna sunčeva aktivnost.

Ulazni podaci:

```
PROSTORNI <NEBESKI> VAL  
  
Sunčevi parametri:  
Broj sunčevih pjega = 150  
10.7 CM FLUX = 192.9750
```

```
PROSTORNI <NEBESKI> VAL  
  
Zemljopisna širina predajnika  
(+ za sjever, - za jug) [°]? 32 _____  
Zemljopisna duljina predajnika  
(+ za zapad, - za istok) [°]? 290 _____  
Zemljopisna širina prijemnika  
(+ za sjever, - za jug) [°]? 40 _____  
Zemljopisna duljina prijemnika  
(+ za zapad, - za istok) [°]? 285 _____
```

```
PROSTORNI <NEBESKI> UAL

Unesi mjesec proračuna <1-12>?      6
Unesi datum u mjesecu?              28
Unesi startno vrijeme <GMT 0-2359>?  0
Unesi trajanje perioda predviđanja [h]? 12
Unesi vrijeme koraka [min]?         60
Unesi graničnu vrijednost
gubitaka sistema [dB]?              40
```

Izlazni podaci:

```
PROSTORNI <NEBESKI> UAL

Izlazni podaci:
```

Urijeme	LUF	MUF
0	1.60	17.90
100	1.60	17.60
200	1.60	16.60
300	1.60	14.90
400	1.60	13.50
500	1.60	12.20
600	1.60	11.20
700	1.60	10.30
800	1.60	9.50
900	1.60	9.50
1000	1.90	10.50
1100	3.20	12.00

```
PROSTORNI <NEBESKI> UAL

Izlazni podaci:
```

Urijeme	LUF	MUF
1200	4.10	13.30

Domet signala: **996.36** km

VJEŽBA 19

PROSTORNI VAL I ŠUM

Program računa jakost polja signala prostornog vala, jakost polja šuma, te omjer S/N u prijemniku za zadane parametre veze.

Ulazni podaci:

```

                                PROSTORNI UAL I ŠUM

Najniža upotrebljavana frekvencija [MHz]? 6
Najviša upotrebljavana frekvencija [MHz]? 19
Udaljenost odašiljača i prijemnika [km] ? 4000
Efektivna izračena snaga [kW]
<ENTER za računanje snage u programu?> 0.25
Unesi relativni dobitak antene [dB]? 6

```

Izlazni podaci:

Frekvencija [MHz]	Polje signala dB iznad uU/m	Polje šuma dB iznad uU/m	Signal/šum [dB]
1	-35.0000	1.5000	-30.5000
2	-35.0000	-0.7577	-28.2423
3	-35.0000	-2.0784	-26.9216
4	-35.0000	-3.0155	-25.9846
5	-35.0000	-3.7423	-25.2577
6	-30.0000	-4.3361	-19.6639
7	-9.6707	-4.8382	1.1675
8	1.9120	-5.2732	13.1852
9	8.2037	-5.6568	19.8605
10	11.0242	-6.0000	23.0242
11	11.4061	-6.3104	23.7166
12	9.9706	-6.5939	22.5645
13	7.1096	-6.8546	19.9641
14	3.0801	-7.0960	16.1761
15	-1.9432	-7.3207	11.3775

Frekvencija [MHz]	Polje signala dB iznad uU/m	Polje šuma dB iznad uU/m	Signal/šum [dB]
16	-7.8389	-7.5309	5.6920
17	-14.5199	-7.7284	-0.7915
18	-21.9227	-7.9145	-8.0081
19	-30.0000	-8.0907	-15.9093
20	-35.0000	-8.2577	-20.7423
21	-35.0000	-8.4166	-20.5834
22	-35.0000	-8.5682	-20.4318
23	-35.0000	-8.7130	-20.2870
24	-35.0000	-8.8516	-20.1484
25	-35.0000	-8.9846	-20.0154
26	-35.0000	-9.1123	-19.8877
27	-35.0000	-9.2352	-19.7648
28	-35.0000	-9.3537	-19.6463
29	-35.0000	-9.4680	-19.5320
30	-35.0000	-9.5784	-19.4216

VJEŽBA 22

KUT / UDALJENOST

Program računa udaljenost i kut između dvije zemaljske stanice. Ulazni podaci su zemaljska duljina i širina stanica, te visina antene na zemlji.

Primjer 1. Proračun na 2 zemaljske stanice.

Ulazni podaci:

KUT / UDALJENOST	
Željena lokacija zemljopisne širine (+ za sjever, - za jug) [°]?	32_____
Željena lokacija zemljopisne duljine (+ za zapad, - za istok) [°]?	117_____
Početna lokacija zemljopisne širine (+ za sjever, - za jug) [°]?	21_____
Početna lokacija zemljopisne duljine (+ za zapad, - za istok) [°]?	-204_____

Izlazni podaci:

KUT / UDALJENOST	
Izlazni podaci:	
Velika kružna udaljenost je	2513.016 [miljal].
Velika kružna udaljenost je	4042.184 [km].
Kut na zemljinoj površini je	295.8469 [°].

Primjer 2. Proračun za zemaljsku i satelitsku stanicu

Ulazni podaci:

KUT / UDALJENOST	
Zemljopisna širina antene na zemlji (+ za sjever, - za jug) [°]?	21_____
Zemljopisna duljina antene na zemlji (+ za zapad, - za istok) [°]?	-204_____
Visina antene na zemlji [m]?	0_____
Zemljopisna širina satelita (+ za sjever, - za jug) [°]?	0_____
Zemljopisna duljina satelita (+ za zapad, - za istok) [°]?	-204_____
Visina satelita [m]?	35900000_____

Izlazni podaci:

KUT / UDALJENOST	
Izlazni podaci:	
Udaljenost =	3.63948e+07 [m]
Zenitni kut veze između satelita i zemlje je	24.59671 [°].
Kut na zemljinoj površini je	179.9316 [°].

VJEŽBA 20

Intermodulacijska analiza

Program koji računa intermodulaciju na prijamniku dobivenu zbog skupa više frekvencije na nekom prostoru.

Rezultat je najniži stupanj na zadanoj frekvenciji

Ulazni podaci:

```

                                INTERMODULACIJSKA ANALIZA

                Unesi tražene podatke:

    Broj predajnih frekvencija? 3 _____
    Predajna frekvencija #1?    1500 _____
    Predajna frekvencija #2?    1000 _____
    Predajna frekvencija #3?    2300 _____

```

```

                                INTERMODULACIJSKA ANALIZA

                Unesi tražene podatke:

    Prijemna frekvencija?      5300 _____
    Zaštićeni pojas?           6 _____
    Najniži stupanj?           20 _____
    Broj aktivnih odašiljača?  3 _____

```

Izlazni podaci:

INTERMODULACIJSKA ANALIZA

Izlazni podaci:

Tx frekvencija	Cjelobrojna
2300	1
1300	0
1000	3

Najniži intermodulacijski stupanj je 4.

VJEŽBA 21.

Intermodulacijske frekvencije

Proračun intermodulacijskih frekvencija zadane stupnjem modulacije za sl.3 predajnika

Ulazni podaci:

INTERMODULACIJSKE FREKVENCIJE

Unesi tražene podatke:

Broj odašiljačkih frekvencija (2 ili 3)? **3**_____

Odašiljačka frekvencija #1? **1000**_____

Odašiljačka frekvencija #2? **1500**_____

Odašiljačka frekvencija #3? **2300**_____

Intermodulacijski red? **3**_____

Izlazni podaci:

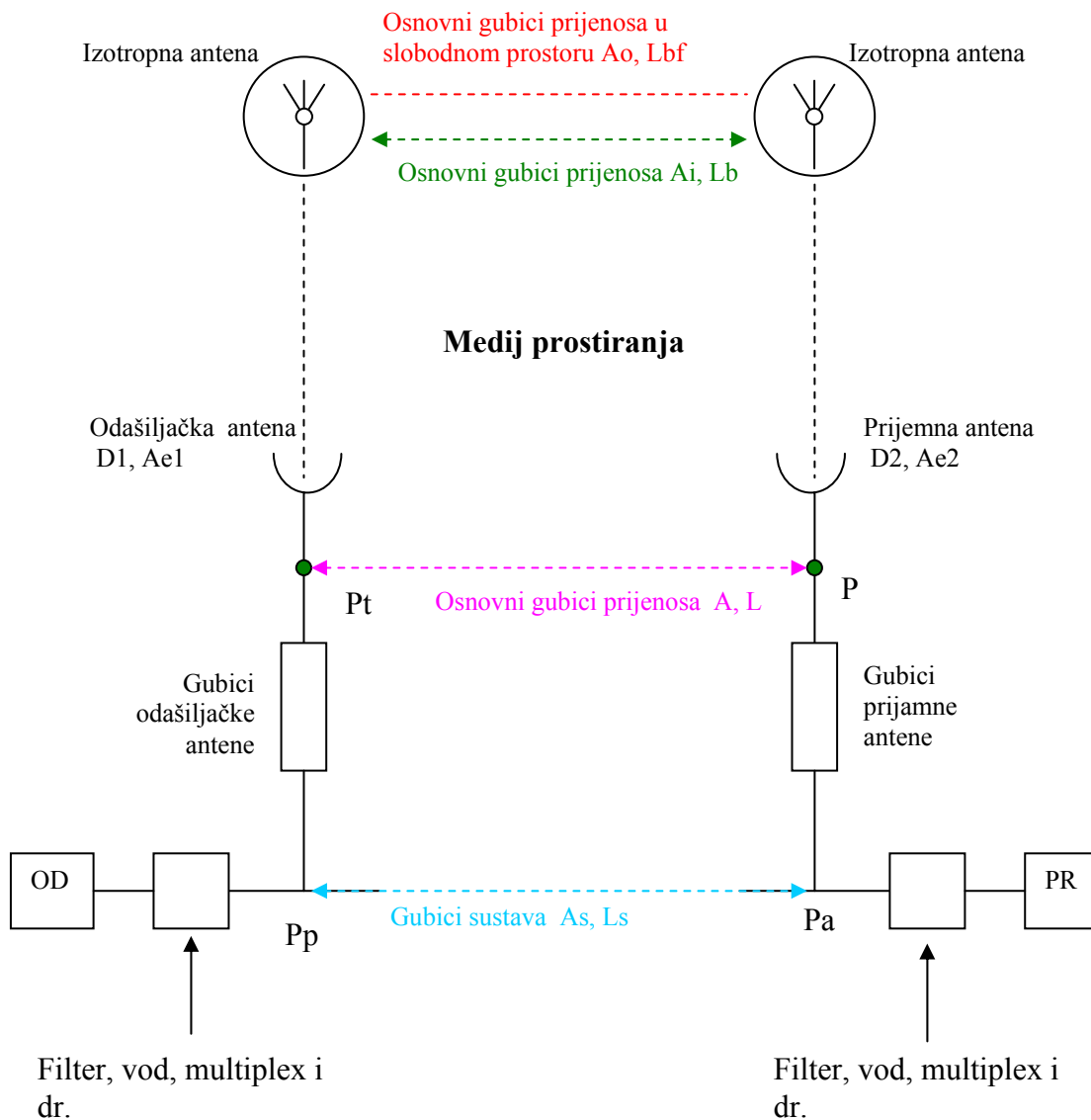
INTERMODULACIJSKE FREKVENCIJE

Izlazni podaci:

Intermodulacijske frekvencije reda 3.

Intermod	1000	1500	2300
Frekvencija	Koeficijent	Koeficijent	Koeficijent
200	1	1	-1
300	-2	0	1
500	2	-1	0
700	0	2	-1
1800	1	-1	1
2000	-1	2	0
2800	-1	1	1
3000	3	0	0

Gubici prijenosa



Gubitci sustava

- mogu se definirati pomoću omjera $A_s = P_p/P_a$ ili se mogu pisati u decibelima
 $L_s = 10 \log A_s = 10 \log(P_p/P_a)$
 $L_s = P_p(\text{dB}) - P_a(\text{dB})$

P_p – snaga na izlazu sustava odnosno na priključnicama odašiljačke antene
 P_a – snaga koja se dobije na priključnicama prijemne antene

- raspoloživa snaga je snaga na priključnom teretu
- isključeni su gubici prijenosne linije, a uključen je gubitak tla, gubici antenskih zavojnica i drugi gubici sklopova na mjestu predaje i prijema

SLOBODNI PROSTOR

- u slobodnom prostoru gubici sustava nastoji zbog radijalnog rasprostiranja i zbog gubitaka antene
- gustoća snage u smjeru zračenja na udaljenosti d od odašiljačke antene je

$$S_1 = \frac{P_t}{4d^2\pi} \quad D_1 = \frac{P_p}{4d^2\pi} \quad G_1 = \frac{E_0^2}{Z_c} \quad E_0 = \sqrt{30G_1P_p}/d \quad E_0 = \sqrt{30D_1P_t}/d$$

D_1 = usmjerenost

G_1 = gubitak

$$P_a = S_1 A_{e2} = E_0^2 / Z_c * A_{e2}$$

$$A_{e2} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_2$$

$$P_a = P_p \left(\frac{\pi}{4d\pi} \right)^2 G_1 G_2$$

$$A_s = P_p / P_a = \left(\frac{4d^2\pi}{\lambda} \right) \frac{1}{G_1 G_2} = \left(\frac{4\pi}{c} \right)^2 d^2 f^2 \frac{1}{G_1 G_2}$$

U decibelima

$$L_s = 10 \log P_p / P_a = 20 \log \left(\frac{4d\pi}{\lambda} \right) - 10 \log G_1 - 10 \log G_2$$

$$L_s = 32.5 + 20 \log f_{\text{MHz}} + 20 \log d_{\text{km}} - G_1 \text{dB} - G_2 \text{dB}$$

GUBICI PRIJENOSA ILI GUBICI RADIOVEZE

- gubici prijenosa definiraju se omjerom između zračene snage odašiljačke antene i snage koja bi bila raspoloživa na izlazu prijemne antene kada ne bi bilo gubitaka u antenskim krugovima i uz pretpostavku da se dijagram zračenja nije promijenio.

$$A = P_t / P$$

$$L = L_s - L_t - L_r$$

$P_t \rightarrow$ gubici krugova odašiljačke antene

$L_r \rightarrow$ gubici krugova prijemne antene

$$L_t = L_r = \log (R'/R)$$

$R' \rightarrow$ otpor gubitaka antene

$R \rightarrow$ otpor zračenja

Gubici prijenosa u slobodnom prostoru

$$P = S_1 A_{e2} = \frac{P_t}{4d^2 \pi} D_1 \frac{\lambda^2}{4\pi} D_2$$

$$A = \frac{P_t}{P} = \left(\frac{4d \pi}{\lambda} \right)^2 \frac{1}{D_1 D_2}$$

OSNOVNI GUBICI PRIJENOSA U SLOBODNOM PROSTORU

(A₀, L_{bf})

- Pod osnovnim gubicima prijenosa u slobodnom prostoru podrazumijevamo gubitke prijenosa koji bi se pojavili ako se antene nadomjeste izotropnim antenama koje su smještene u idealni dielektrik, prostorno neograničeno i ako bi se zadržala ista udaljenost i polarizacija kakvu imaju realne antene.
- Gubici se pojavljuju samo zbog nepotpune usmjerenosti energije odašiljačke prema prijemnoj anteni

D=1 – izotropna antena

P_t – ekvivalentna izotropno zračena snaga odašiljača

D – usmjerenost

A_e – efektivna površina

$$\frac{D}{A_e} = \frac{4\pi}{\lambda^2}, \quad D=1$$

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

Raspoloživa snaga prijemne antene:

$$P = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot \frac{P_T}{4\pi d^2} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \cdot P_T$$

$$A_0 = \frac{P_T}{P} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

A₀ – osnovni gubici prijenosa u slobodnom prostoru u dB

$$L_{bf} = 10 \log \frac{P_T}{P} = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = 10 \log \left(\frac{d}{\lambda} \right)^2 + 22$$

$$L_{bf} = 20 \log \left(\frac{4\pi}{c} \cdot f \cdot d \right) = 32,5 + 20 \log f_{MHz} + 20 \log d_{km}$$

Gubici prijenosa izraženi preko jakosti polja:

E – jakost polja na mjestu prijema

P – maksimalna raspoloživa snaga prijemne antene

$$P = A_{e2} \cdot S_1 = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot D_2 \cdot \frac{E^2}{Z_c}$$

P_T – snaga zračenja u slobodnom prostoru

d – udaljenost

D_1 – usmjerenost

$$E_0 = \sqrt{30D_1P_T} / d$$

$$P_T = \frac{d^2 E_0^2}{30D_1}$$

$$A = \frac{P_T}{P} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \cdot \frac{1}{D_1 D_2} \cdot \left(\frac{E_0}{E}\right)^2$$

- gubici prijenosa izražen preko jakosti polja
SLOBODNI PROSTOR

$$E = E_0 \rightarrow \frac{E_0}{E} = 1$$

- za polualni dipol

$$D_1 = D_2 = 1,64$$

$$\frac{P_T}{P} = \left(\frac{4\pi d}{1,64\lambda}\right)^2 \cdot \left(\frac{E_0}{E}\right)^2 = \left(\frac{d}{0,13\lambda}\right)^2 \cdot \left(\frac{E_0}{E}\right)^2$$

$$\frac{D}{A_e} = \frac{4\pi}{\lambda} \Rightarrow \frac{P_T}{P} = \frac{(\lambda d)^2}{A_{e1} A_{e2}} \cdot \left(\frac{E_0}{E}\right)^2$$

- taj izraz se koristi kada je antena parabola, ako imamo antenski niz i kada nemamo polualni dipol.

$$A_v = \left(\frac{E_0}{E}\right)^2 = \frac{A}{A_0} \rightarrow \text{gubici prijenosa na mjestu prijema}$$

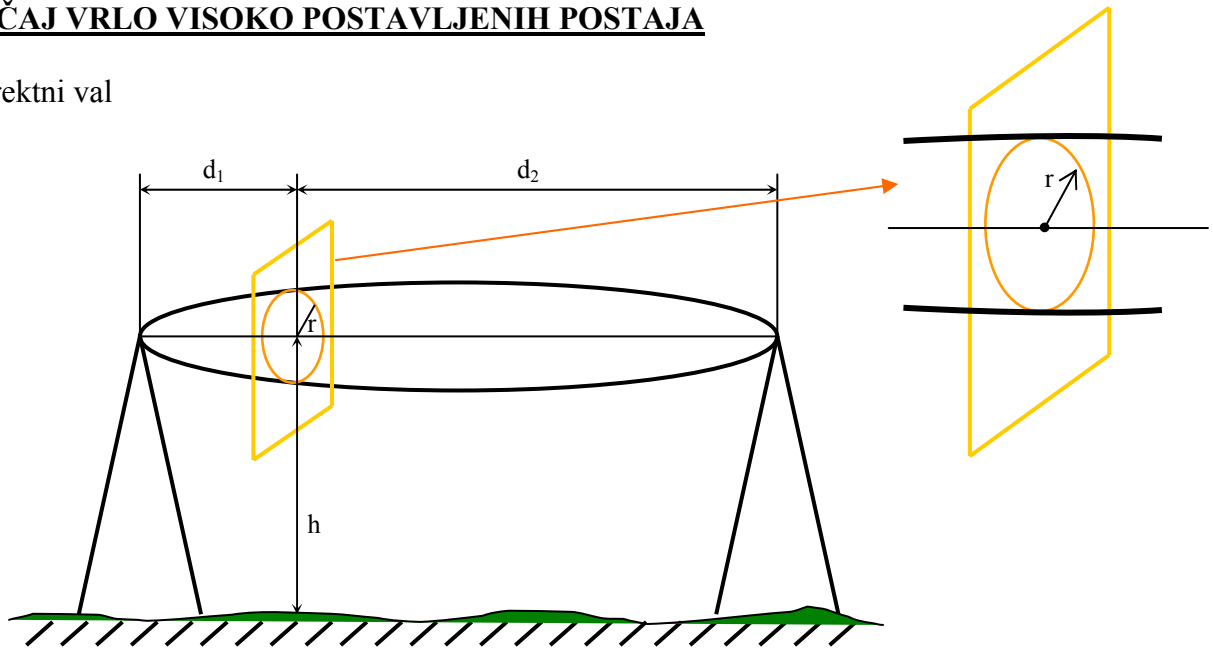
ili

$$L_v = 20 \log \frac{E_0}{E} = -20 \log \frac{E}{E_0}$$

$$A_v = \frac{\text{gubici prijenosa}}{\text{osnovni gubici u slobodnom prostoru}}$$

SLUČAJ VRLO VISOKO POSTAVLJENIH POSTAJA

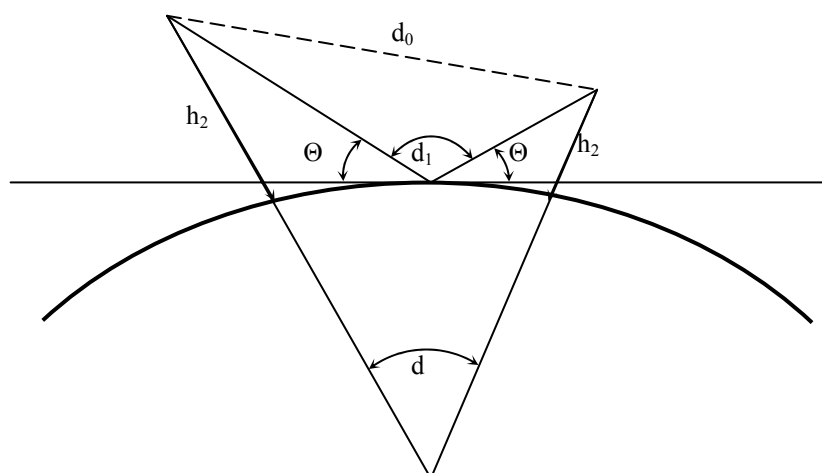
a) direktni val



- gubici prijenosa određeni su zbog radijalnog rasprostiranja
- SLOBODNI PROSTOR: $h/r > 0.6$
 - h – udaljenost od profila prepreke do direktne linije između antena
 - r – Fresnel-ov radijus koji je određen izrazom:

$$r \approx 548 \sqrt{\frac{d_1 [km] d_2 [km]}{f_{MHz} (d_1 [km] + d_2 [km])}}$$

b) direktni i reflektirani val



- efektivna visina odašiljača antene definira se kao visina centra zračenja odašiljačke antene u odnosu površine tla, a visina prijemne antene je visina njenog centra zračenja iznad tla

$$e_0 = E_0 \cos\left(\omega t - \frac{d_0}{c}\right)$$

E_0 - efektivna vrijednost jakosti polja koja bi se dobila u slobodnom prostoru

KOEFICIJENT REFLEKSIJE

$$R = E_r/E_u = |R| e^{j\varphi} = \frac{\sin \Theta - z}{\sin \Theta + z}$$

Θ - upadni kut

$$z = \sqrt{u^2 - \cos^2 \Theta} \text{ - za horizontalnu polarizaciju}$$

$$z = \sqrt{u^2 - \cos^2 \Theta} / n \text{ - za vertikalnu polarizaciju}$$

n - indeks refrakcije

$$n = \sqrt{\varepsilon_r - j \frac{\sigma}{\omega \varepsilon_0}} = \sqrt{\varepsilon_r - j 60 \sigma \lambda} \quad \sigma \text{ - vodljivost tla}$$

ε_r – dielektrična konstanta

REFLEKTIRANI VAL

$$e_1(t) = E_{10} |R| \cos\left[\omega\left(t - \frac{d_1}{c}\right) + \psi\right]$$

$$E_{10} = \frac{\sqrt{30 G_1 P_{1t}}}{d_1}$$

ψ - fazni pomak koji nastaje na mjestu refleksije

G_1 – dobitak odašiljača antene u smjeru mjesta refleksije

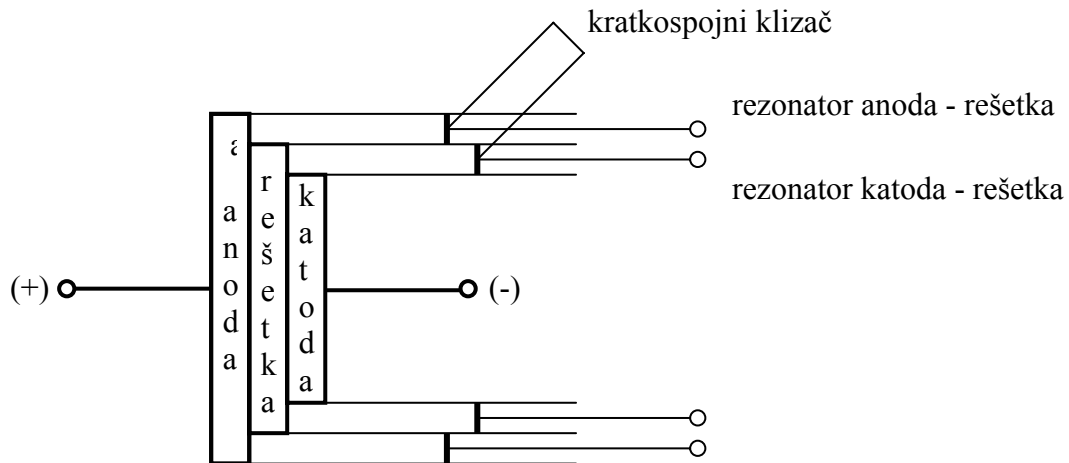
- reflektirana se zraka može zamijeniti ako je kut direktnog vala puno manji od reflektirane zrake (puno manje od 1)

AKTIVNE I MIKROVALNE ELEKTRIČNE KOMPONENTE

Mikrovalne cijevi

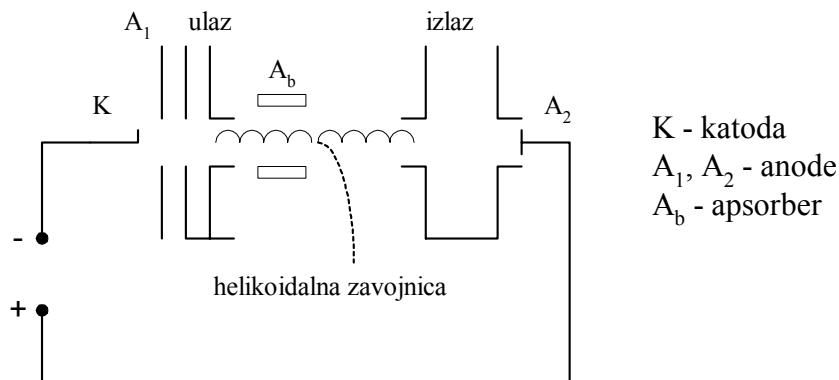
- cijev s pločastim elektrodama u koaksijalnom rezonatoru

❖ pločasta trioda



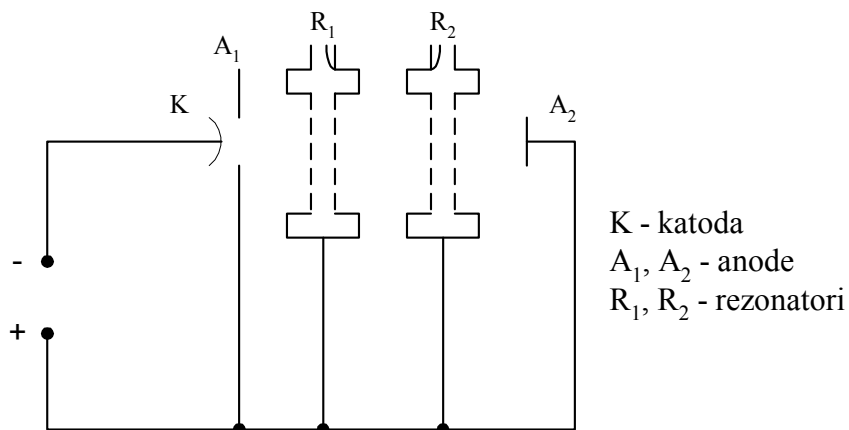
-pojava parazitnih kapaciteta između anode i katode te dolazi do osciliranja

TWT-cijev s putujućim valom



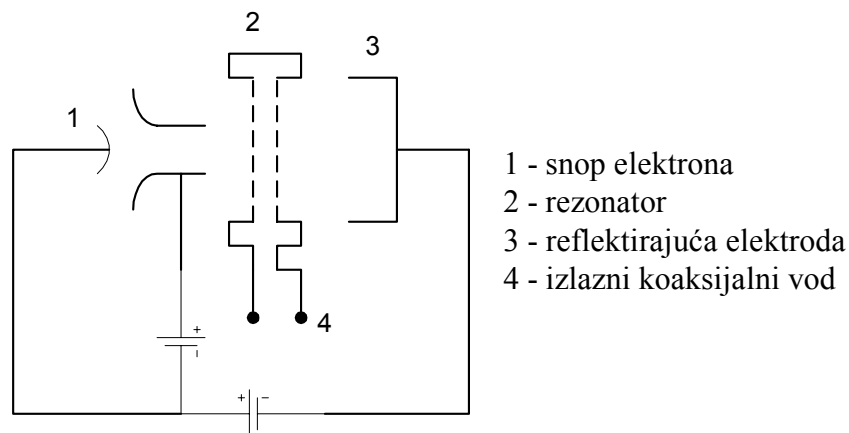
El. mag. val slijedi helikoidalnu zavojnicu od ulaza prema izlazu. Snop elektrona iz elektroničkog topa prolazi unutar zavojnice. Javlja se pojava brzinske modulacije u kojoj se veći dio istosmjerne energije predaje el. mag. polju. Time se pojačava el.mag.val. Za prijemne i odašiljačke stupnjeve radiorelejnih uređaja.

Klistron



Vrijeme preleta elektrona osnovno je ograničenje primjene mikrovalnih cijevi. Ono je iskorišteno za konstrukciju posebnih cijevi koje rade s brzinskom modulacijom. Takva cijev je klistron. Elektroni iz elektronskog snopa prolaze prvim rezonatorom I u njemu se brzinski moduliraju. Brzinska modulacija djeluje tako da u pozitivnoj poluperiodi elektroni uzimaju energiju iz polja i dobiju dodatno ubrzanje a u negativnoj poluperiodi predaju energiju polju (oni su kočeni, tj. smanjuje im se brzina). Posljedica toga je da će se u pojedinim trenucima pojaviti, a u pojedinim nestati-brzinska modulacija. Zadaća drugog rezonatora je da taj proces pojača.

Refleksni Klistron



Reflektirajuća elektroda nalazi se na negativnom potencijalu i vraća elektrone u rezonator. Napon reflektora odabire se tako da ubrzan i usporeni elektroni dolaze istovremeno u rezonator. Na taj način elektroni predaju svoju energiju rezonatoru i održavaju oscilacije u njemu.

Prednosti (u odnosu na klistron);

-samo jedno mehaničko podešavanje frekvencije (grubo podešavanje) do 10 % nominalne frekvencije

-fino podešavanje provodi se promjenom napona reflektora do 1 % nom. frekvencije

Primjena: oscilatori mjernih generatora, modulatora i prijemnika

Snaga do 10 W. Frekvencija od 16 Hz do 50 GHz.

Poluvodički Mikrovalni Elementi

PiN dioda. I-intristični sloj (između P i N). Može se koristiti na visokim frekvencijama. RF-otpor. Struktura PiN diode karakterizira I sloj visoko otporni materijal između PiN sloja. Kod reverzne polarizacije PiN dioda predstavlja veliki otpor. Kod priključka napona koji osigurava propusnu polarizaciju pozitivni napon iz P sloja i negativni napon iz N sloja prodire u I sloj što povećava vodljivost a smanjuje otpor. Ima visok OFF otpor a nizak ON otpor. Karakteristika otpora u ovisnosti o naponu je linearna. Primjena: za atenvatore (regulacija napona).

Vrijeme života nosioca

$$\tau = 1/2\pi f$$

f - donja granična frekvencija na kojoj se dioda može koristiti

U primjenama koje nisu sklopke minimalna frekvencija je 10 f.

Kapacitet

Kapacitet diode ograničuje primjenu na višim frekvencijama. Ovisi o geometriji I električnim svojstvima I sloja.

Vrijeme oporavka

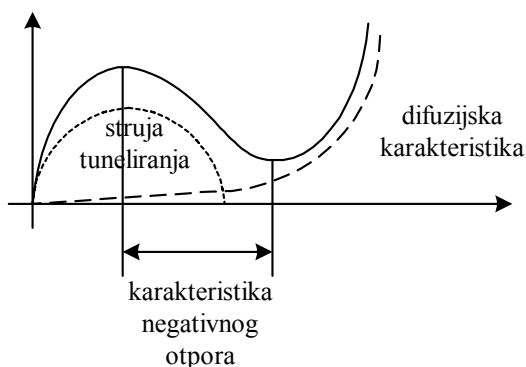
Je mjera vremena preklapanja. Ovisi o propusnom, odnosno nepropusnom naponu polarizacije. Kada se priključi reverzni napon nakon vremena kašnjenja (t_d) poteče reverzna struja. Da bi se ta struja smanjila s 90% na 10% vrijednosti to vrijeme zove se vrijeme prijenosa t_t . Zajedno daju vrijeme oporavka $t_r = t_d + t_t$

Reverzni napon prekida

To je vrijednost koja definira maksimalni nivo signala koji se može spojiti na diodi. Rad sa signalima oko ove granice izaziva degradaciju karakteristika diode ili njeno uništenje. Uz propusnu polarizaciju PiN dioda se koristi kao naponski kontroliran otpor.

Tunel Dioda

Tunel efekat



Read Dioda

Na vrlo visokim frekvencijama u realizaciji pojačala i oscilatora. Lavinska multiplikacija

Bipolarni Mikrovalni Tranzistor

HP serija

HXTR- 2000-za pojačala

-3000-VKF i UKF

HSMX-3000-veća pouzdanost

-4000-oscilatori

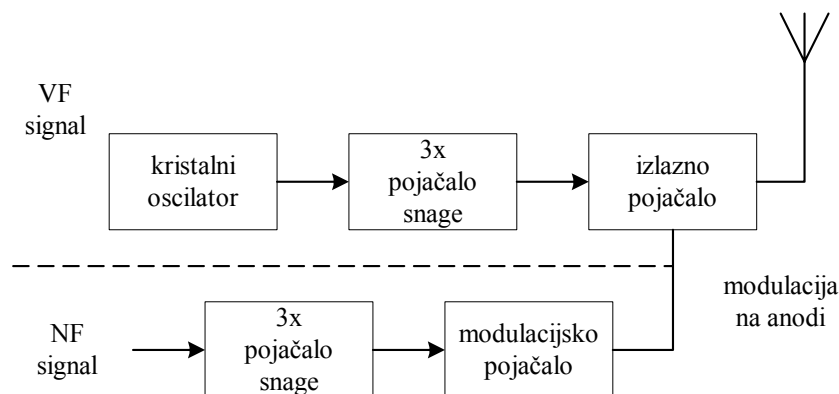
-5000-specijalna primljen, postavljeni zahtjevi na linearni izlaz

-6000-nizak šum

-7000-linearni izlaz i nizak šum

Mikrovalni Integrirani Sklopovi

Predajnik



Uređaj za stvaranje moduliranog prijenosnog em vala dovoljne snage i odgovarajuće visoke frekvencije.

Domet odašiljača;

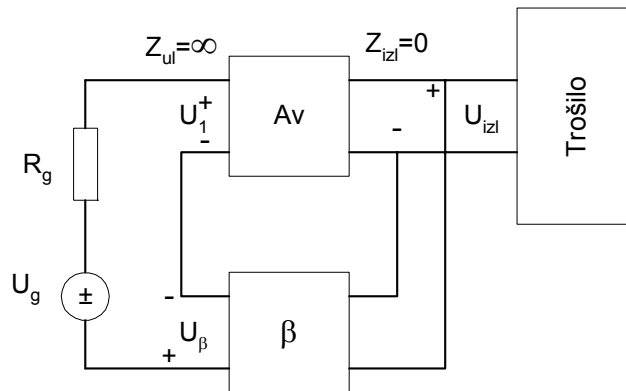
- ovisi o karakteristikama rasprostiranja em valova
- ovisi o frekvenciji na kojoj odašiljač radi
- ovisi o snazi

Snaga odašiljača je snaga privedena anteni. Stabilnost frekvencije je omjer odstupanja frekvencije Δf od radne frekvencije f .

Korisnost odašiljača je omjer snage koju odašiljač predaje anteni i snage dovedene odašiljaču iz izvora napajanja. (faktor korisnog djelovanja)

Frekvencijsko područje određeno je Marx i Emin frekvencijom (valnom duljinom) na kojoj odašiljač može raditi. Frekvencija može biti fiksna i promjenjiva; a) kontinuirana i b) diskretna

Osnovni Oscilatori



Su sklopovi za pretvorbu istosmjerne struje izvora napajanja u izmjeničnu struju visoke frekvencije.

Uvjeti osciliranja;

$$|\beta A_v| = 1$$

$$\varphi = 0$$

Valni oblik frekvencije i amplitude električnog titraja određeni su vrstom primijenjenog oscilatora i njegovim parametrima.

Titraji koje stvara osnovni oscilator u odašiljaču moraju imati sinusni oblik a frekvencija i amplituda moraju biti stabilni. To se postiže primjenom titrajnog kruga velike dobrote u sklopu oscilatora.

Oscilator S Kvarcom

Oscilator koji ima veću stabilnost frekvencije što se postiže piezo električnim efektom kristala kvarca. U oscilatoru se koristi induktivni karakter njegove reaktancije.

Pojačala Snage

Sklop koji pretvara istosmjernu snagu izvora napajanja u korisnu izmjeničnu.

η = faktor korisnog djelovanja

$$\eta = P_u / P_{ak}$$

Da bi na izlazu dobili sinusni signal u izlazni se krug ugrađuje filter kojim se izdvaja harmonik sadržan u impulsu anodne struje.

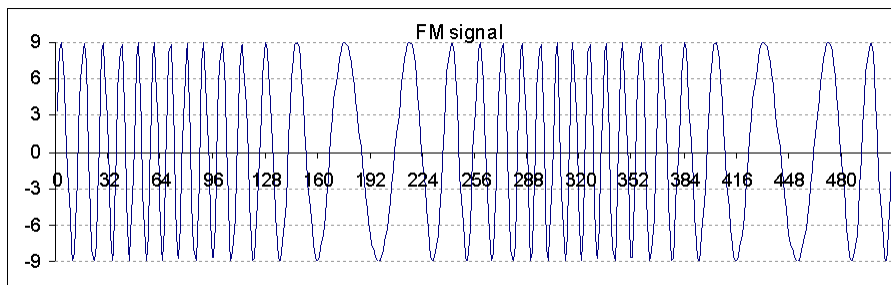
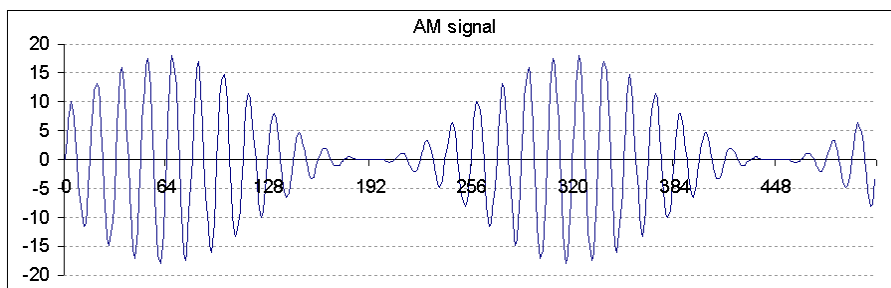
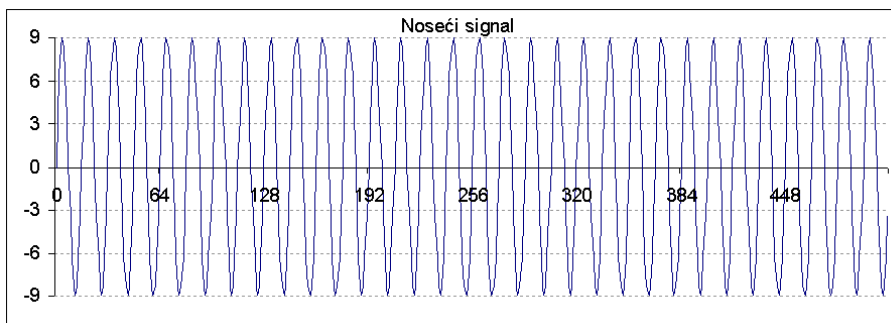
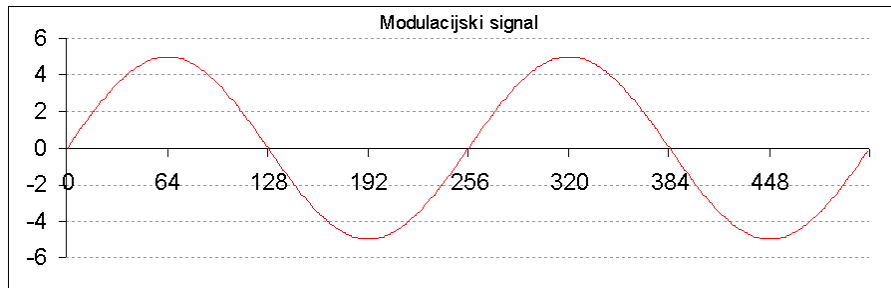
Klasa

A $2\vartheta = 360$

B $2\vartheta = 180$

C $2\vartheta < 180$

Modulacija



Je proces promjene amplitude, frekvencije i faze VF prijenosnog vala u zavisnosti od trenutne vrijednosti NF modulacionog signala. Sklop koji to obavlja zove se modulator.

Trenutna vrijednost $U = U_{pm} + \sin(\omega_p t + \phi_p)$

Modulacioni+val nosioc=modulirani val

Osnovni Sklopovi Radio Prijemnika

Radio prijemnik je uređaj sastavljen od niza sklopova pomoću kojih se iz signala što ih u anteni induciraju modulirani em valovi izdvaja pojačava i detektira signal željene informacije.

Podjela;

- prema namjeni - koncertni
- profesionalni

- po frekvenciji
- prema mjestu uporabe
 - stacionarni
 - prijenosni
 - mobilni
- prema načinu biranja frekvencije
 - kontinuirano
 - diskretno
 - dekadsko
- prema izvedbi

Parametri Prijemnika

1) Osjetljivost

10-20 dB iznad vlastitog šuma

To je potrební nivo normiranog visokofrekventnog signala doveden na ulaz prijemnika da bi se na izlazu dobila normirana izlazna snaga uz određeni odnos signal šum.

2) Selektivnost

To je sposobnost prijemnika da iz mnogobrojnih u anteni induciranih radio signala različitih frekvencija izdvoji samo jedan

Krivulja selektivnosti

3) Stabilnost frekvencije ili frek.stabilnost

Parametar koji ovisi o stabilnosti frekvencije lokalnog oscilatora

-ARF-automatska regulacija frekvencije

-sintezator

4) Točnost postavljanja

-sintezator 10^{-6} do 10^{-9} nosive frekvencije

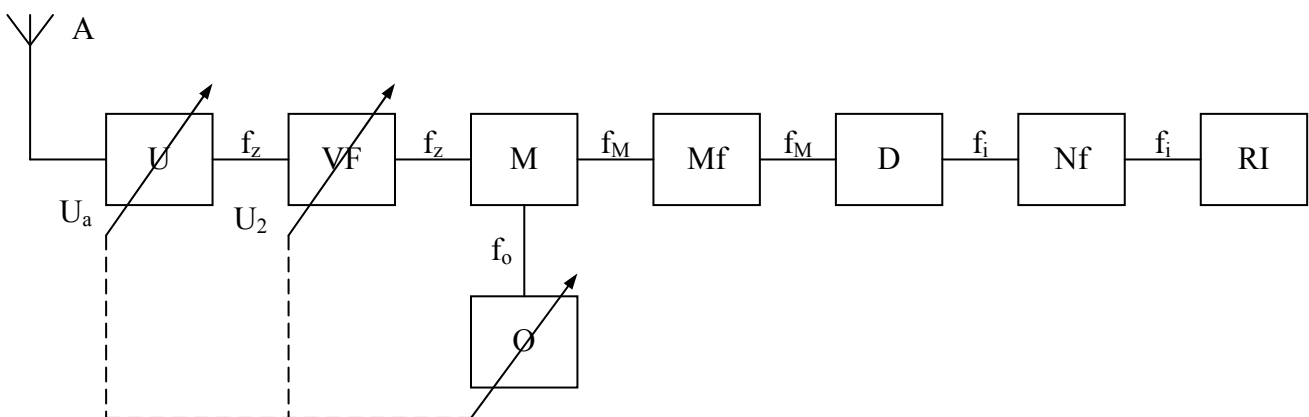
5) Nepoželjno zračenje

<400 pW

6) Vjernost reprodukcije

Idealni slučaj nema izobličenje, realni, linearno i nelinearno izobličenje

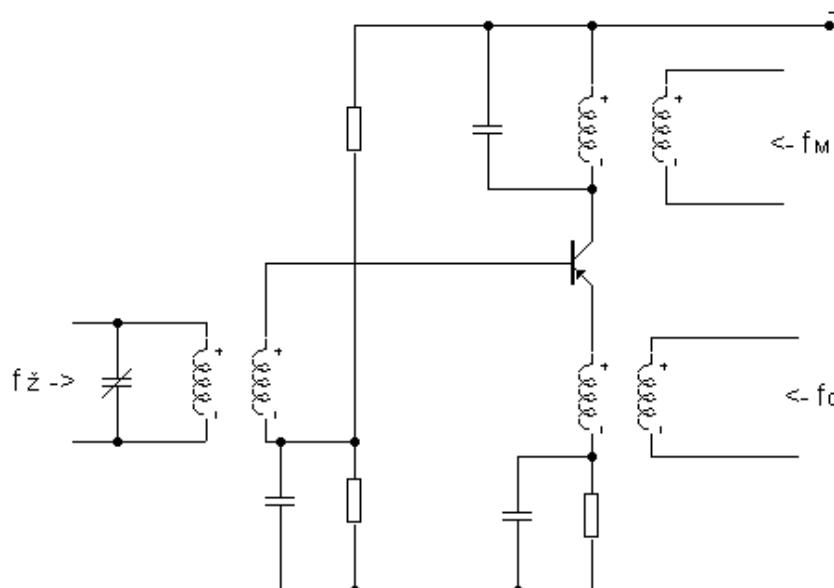
Principijelna Blok Shema



f_ž-frekvencija željenog signala
f_o-frekvencija oscilatora
f_M-frekvencija međufrekventnog signala
f_i-frekvencija informacije
A-prijemna antena
U-ulazni sklop
VF-visokofrekventno pojačalo
M-mješač
MF-međufrekventno pojačalo
O-oscilator
D-demodulator
NF-niskofrekventno pojačalo
RI-uređaj za reprodukciju informacije

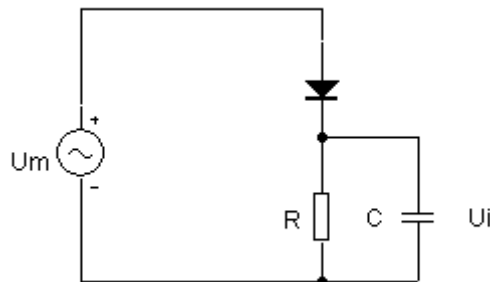
- 1) služi za selektivno izdvajanje signala
 - 2) za prilagođene antene na VF pojačalo
 - 3) osigurava dobar faktor prijenosa
- V. pojačalo povećava ili popravlja selektivnost. Pojačava željeni a potiskuje smetajući signal. Slabiji željeni signal pojačava više a jači manje (automatska regulacija pojačala). Na ulazu stupnja za miješanje dobiju se priložno isti nivoi VF signala.
- 4) Odvaja lokalni oscilator od prijemne antene i time smanjuje nivo zračenja od lokalnog oscilatora preko vlastite prijemne antene.
 - 5) Izlazni titrajni krug mora biti usklađen s ulaznim titrajnim krugom
 - 6) Iznos pojačanja 10-20 puta
- Stupanj za miješanje: sklop u kojem se pomoću nelinearne karakteristike aktivnog elementa koja se može izraziti kao suma ili zbroj potencija $i=i_0+au+bu^2...$ ostvaruje efekt miješanja

Produkti miješanja su osim željene frekvencije primjenom signala i frekvencije lokalnog oscilatora viši harmonici tih frekvencija te njihov zbroj i razlika. Pomoću titrajnog kruga na izlazu mješača izdvaja se samo jedna frekvencija (međufrekvencija f_M).
f_M=f_ž



Međufrekventno pojačalo mora osigurati pojačanje MF signala, a također i vjeran prijenos informacije koju sadrži MF signal. Povećava selektivnost i pojačanje prijemnika, izjednačuje nivoe signala.

**Demodulator
AM**

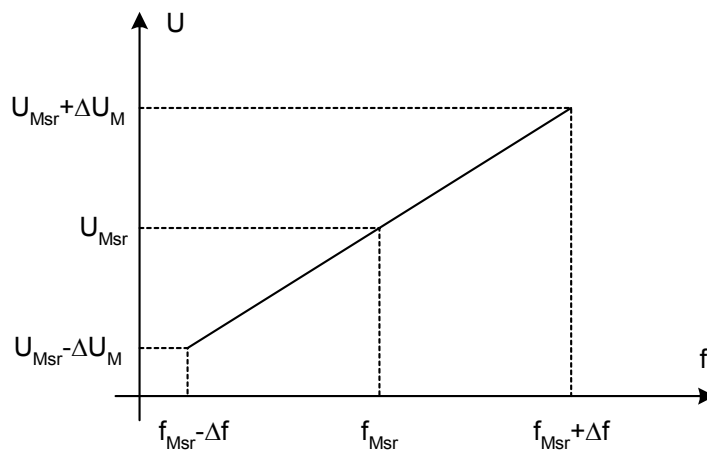


$\tau \ll 1/f_{ig}$ -> granična frekvencija informacije

$f_M = 470 \text{ kHz}$ $f_{ig} = 4500 \text{ Hz}$ $f_M/f_{ig} = 102$

Demodulator izdvaja signal informacije frekvencije f_i iz mofuliranog MF signala frekvencije f_M .

FM



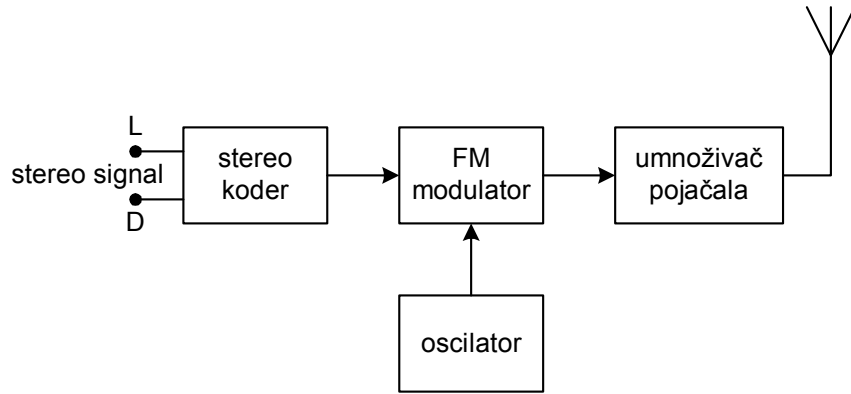
f_{MsR} – uvijek $\gg \Delta f$ – vremenska konstanta RC AM demodulatora obavlja jednako funkciju pri frekvencijama $f_{MsR} - \Delta f$, $f_{MsR} + \Delta f$.

Δf je u funkciji amplitude NF signala f_i . Ako je promjena frekvencije linearna tada je osigurano linearno pretvaranje FM u amplitudu.

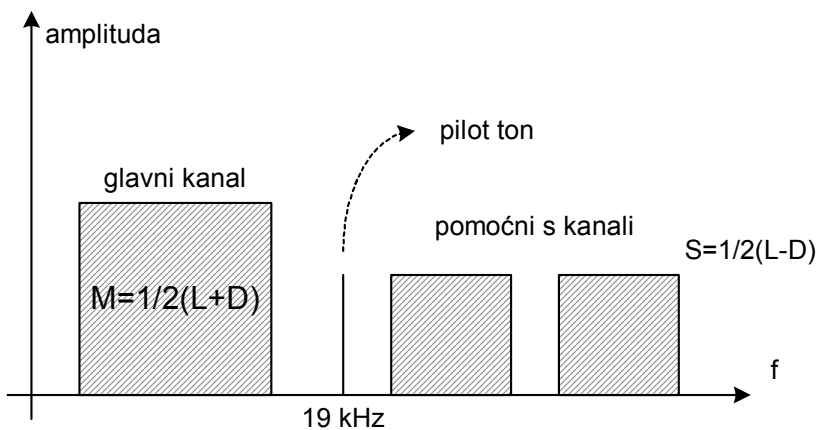
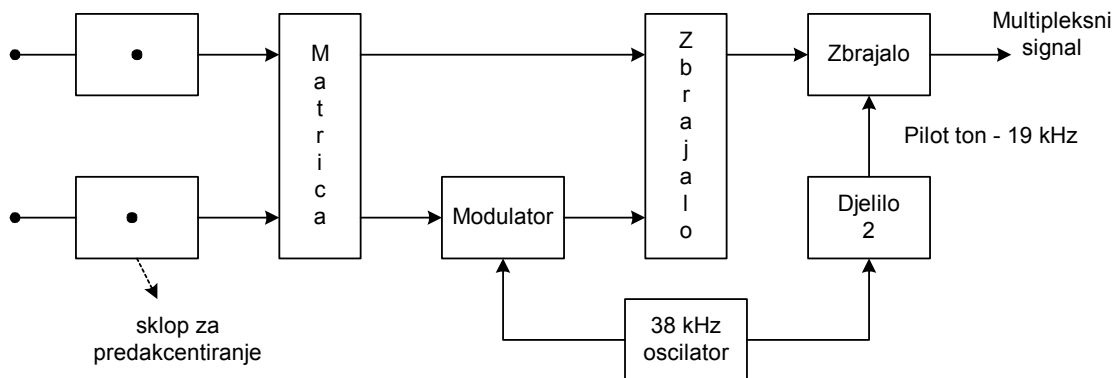
Stereofonski signal

Ima mogućnost prostorne reprodukcije zvučnog događaja. Sustav zbroja i razlike (sume i diferencije).

FM-stereo odašiljač



Blok shema stereo-kodera



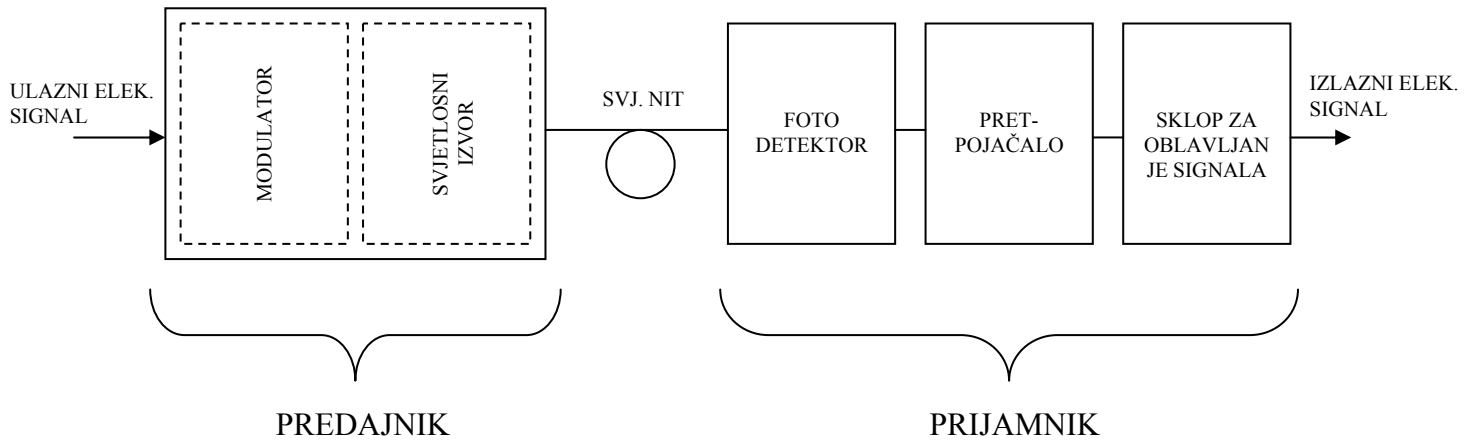
Stereoprijemnik
Stereodekoder – L,D

Svjetlosni komunikacijski sustav

Svjetlovodna nit je dielektrički valovod. Osigurava prijenos jednog snopa svjetlosti.

- nosioci informacije su fotoni

Blok shema

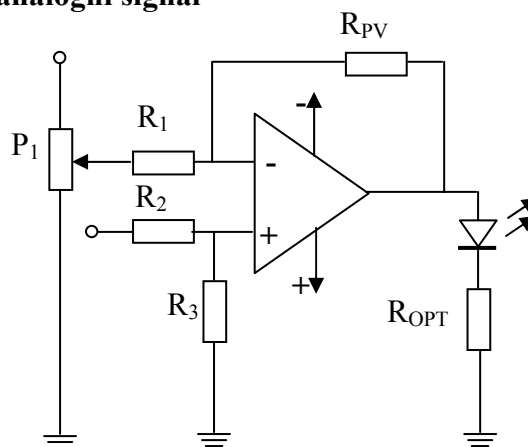


- sustav se sastoji od:
 - predajnik
 - svjet. Izvora
 - svjetlovodne niti
 - detektor svjetlosti koji pretvara svjetlosni signal u električni
 - niskošumni prijemnik velikog naponskog pojačanja koji pojačava signal iz detektora te različitih spreznika koji se javljaju

PREDAJNIK

El. Signal pretvara se u struju koja pobuđuje nisko impedantni izvor svjetlosti

- **pobudni stupanj za analogni signal**



- pobudni stupanj čini OT s Naponskom Serijskom Povratnom Vezom (NSPV)

- signal se dovodi na neinvertirajući ulaz preko naponskog djelitelja (R_2, R_3)
- pomoću potenciometra i R_1 polarizira se invertirajući ulaz OP-a tako da pozitivne i negativne promjene ulaznog analognog signala proizvode samo pozitivne izlazne napone

- svjetlosni izvor

LED
LD – laser dioda } Male su, nizak napon napajanja, jasnoća svjetlosti

LED – dugi radni vijek, bolja stabilnost, niža cijena

LD – veću izlaznu snagu i zbog toga unosi veću snagu u svjetlosnu nit, nedostatak je u ograničenom opsegu struje

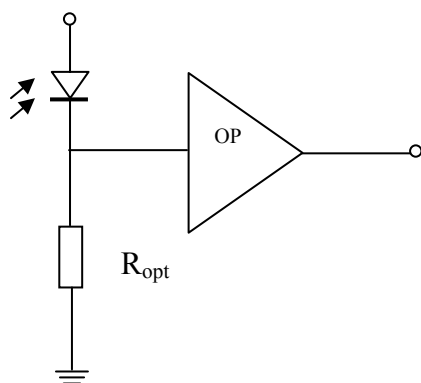
- uvjeti rada sustava (sa LD) mogu se mjenjati što nužno unosi ugradnju električnih sklopova za kompenzaciju

- svjetlosni detektor

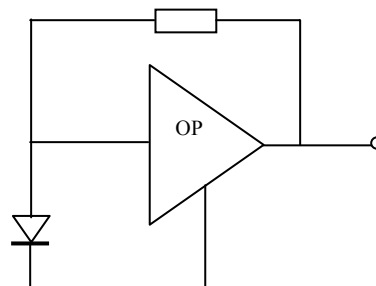
- optički element koji svjetlosni signal pretvara u električnu struju
- upotrebljavaju se fototranzistori, PIN diode i lavinske fotodiode
- fototranzistor je jeftin ali ima uzak frekvencijski opseg te se rijetko koristi
- PIN dioda ima prihvatljivu širinu opsega i cijenu
- Lavinska FD ima veću osjetljivost, skuplja je od PIN

- PRIJAMNIK

a) BEZ PV



b) sa PV



- slabi signal pretvori se u pojačani naponski signal prema:

sl. a) detektor svojom strujom proizvede pad napona na djelotvornom opterećenju R_{opt} koji se vodi u ulazni signal u pojačalo

sl. b) izlazni je napon posljedica struje detektora u PV, izlazni napon predstavlja pojačanu promjenu ulaznog signala

OFDM i bežični uređaji četvrte generacije

Uvod

Polje bežičnih komunikacija postalo je vrlo popularno u zadnjih nekoliko godina. Bežične komunikacijske mreže (Internet, HiperLAN) zahtijevaju sve veću propusnost, te tako stvaraju i potrebu za novim, poboljšanim i bržim standardima.

Većina trenutnih komunikacijskih mreža koriste IEEE 802.11b standard, koji omogućuje propusnost do 11 Mbps. Noviji standardi – IEEE 802.11a i HiperLAN2, bazirani na OFDM modulaciji, omogućuju veću propusnost koja iznosi do 54 Mbps.

Noviji sustavi (sustavi 4. generacije) uskoro će zahtijevati brzine veće od 100 Mbps, što vodi ka poboljšanju OFDM modulacije, kako bi se postigla tražena propusnost.

Veća brzina prijenosa omogućiti će puno veći spektar usluga (videotelefon, prijenos glasa, širokopoljasni internet, HDTV i druge).

Komercijalizacija sustava četvrte generacije očekuje se oko 2008. godine.

Specifikacija sustava biti će određena IEEE802.16 standardom, te budućim standardima.

IEEE 802.16

Standard određuje specifikaciju pristupa dvaju sučelja – sučelju medija kojim se prenosi informacija (zrak) *eng.* Medium Access Control layer (MAC), te fizičkom sučelju (uređaji za obradu, prilagodbu, primanje i odašiljanje signala) *eng.* Physical layer (PHY).

Frekventni opseg dodijeljen IEEE802.16 standardu nalazi se u rasponu frekvencija od 10-66 GHz

te 2-11 GHz (koji je definiran standardom IEEE802.16a).

802.16 je točka-više točaka standard gdje bazna stanica komunicira sa više pretplatničkih stanica. Svaka bazna stanica podržava trenutnu adaptivnu modulaciju uz kodiranje. Alokacija uplink i downlink kanala vrši se dinamički, ovisno o zahtjevima aplikacije korisnika. Zbog frekvencije vala nosioca 10-66 GHz, potrebna je vizualna vidljivost između prijemne i predajne točke (antene).

Modulacija koja je odabrana jest single carrier TDMA (*eng. time division multiple access*).

Na frekvencijskom opsegu 2-11 GHz (802.16a) situacija je drukčija. Nije potrebna vizualna uočljivost između predajne i prijemne antene te se javlja *multipath fading* (istovremeni primitak zakašnjelog odaslanog signala uslijed refleksije od objekta).

Standard usvaja tri modulacijske tehnike: single carrier TDM/FDM i OFDM.

OFDM koristi Fourierovu transformaciju u 256, odnosno 2048 točaka.

Podržane subcarrier modulacije su QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) te 16-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) i 64-QAM.

Osnove OFDM-a

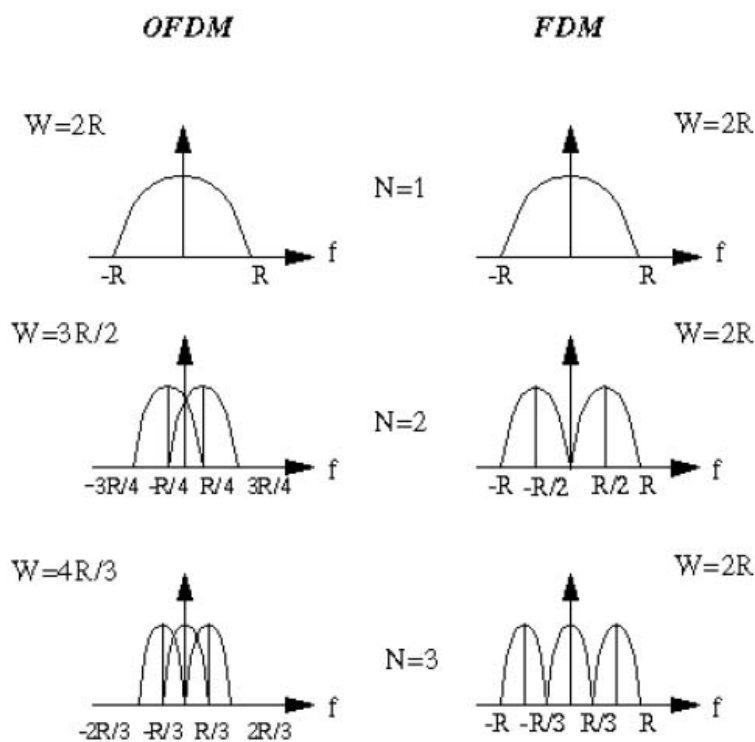
OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) je tip modulacije signala koji omogućuje prijenos digitalnih informacija putem radio-valova. Modulacija koristi metodu prijenosa podataka koristeći velik broj uskih pojasnih nosioca (*eng. bandwidth carrier*). Valovi nosioci frekventno se pravilno raspoređuju te tako formiraju spektr. Ortogonalnost

(neovisnost) postiže se upravo njihovim pravilnim, točno određenim, međusobnim razmakom, preklapajućim, ali opet neovisnim.

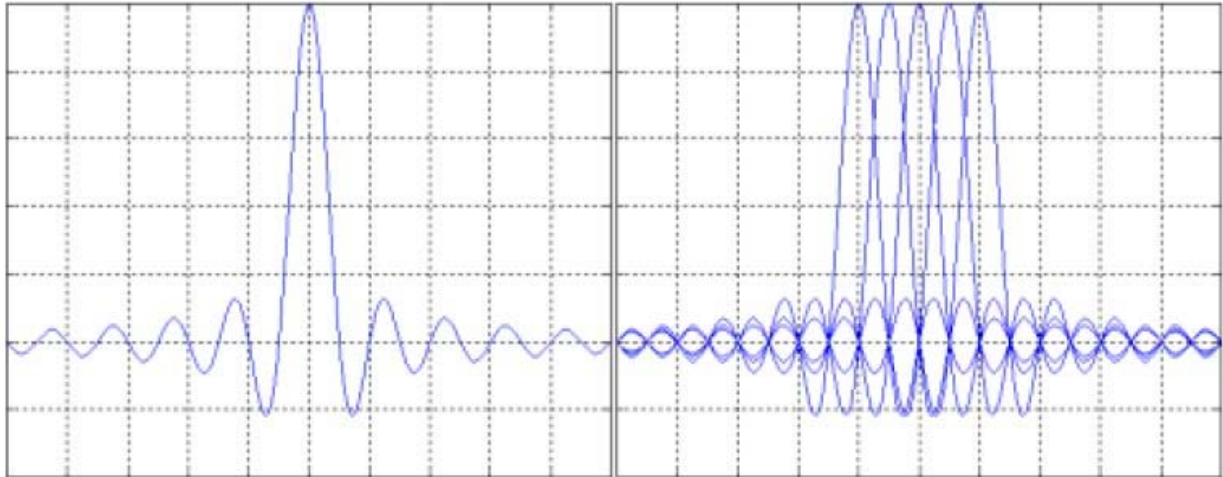
Matematički, signali su linearno nezavisni (ortogonalni) ako je njihov međusobni razmak višekratnik izraza $1/T$ (T =perioda spektra) – slika 1.

Također može se vidjeti ušteda u prostoru spektra kod ortogonalne modulacijske tehnike, u odnosu na "klasičnu" frekvencijsku multicarrier modulaciju (FDM).

Kod $N=2$ modulirana subcarriera ušteda spektra je 25% ($R/2$). Kod $N=3$ ona iznosi 33,3% ($2R/3$).

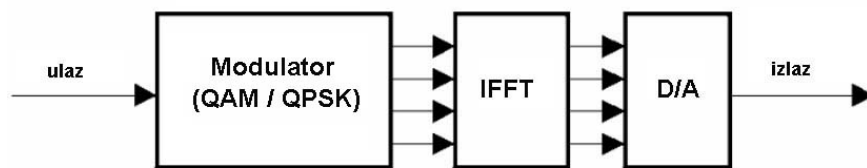


slika 1: pokaz ortogonalnosti

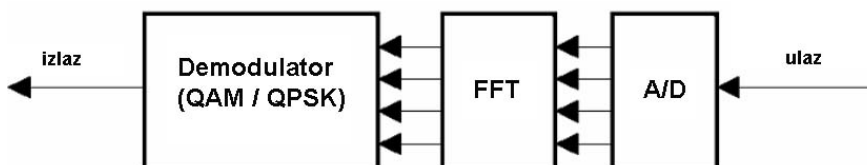


slika 2: OFDM signal (lijevo) i OFDM spektar (desno)

Principijelna shema OFDM predajnika / prijemnika



slika 3: OFDM predajnik



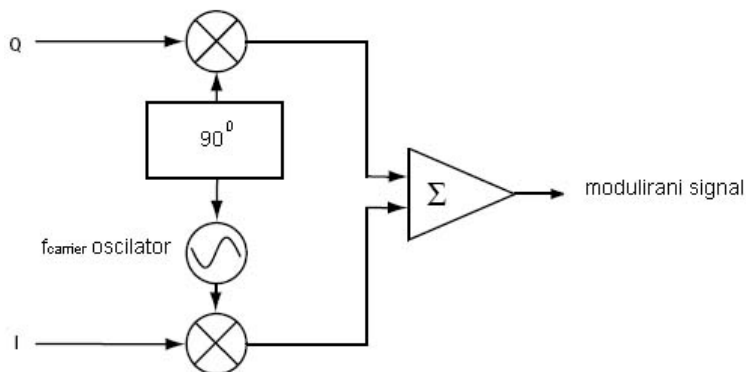
slika 4: OFDM prijemnik

Ulazni signal (digitalna informacija) dovodi se do modulatora (tipično QPSK – Quadrature Phase Shift Keying ili QAM – Quadrature Amplitude Modulation), koji u predsklopu sadrži i serijsko-paralelni pretvornik. U pretvorniku, digitalni signal (serijski niz podataka) razdjeljuje se na više manjih paralelnih skupina (bauda), koje zajedno čine OFDM simbol. Broj bitova u jednom OFDM simbolu iznosi 40-4000. Broj bitova po jednoj skupini ovisi o tipu modulacije

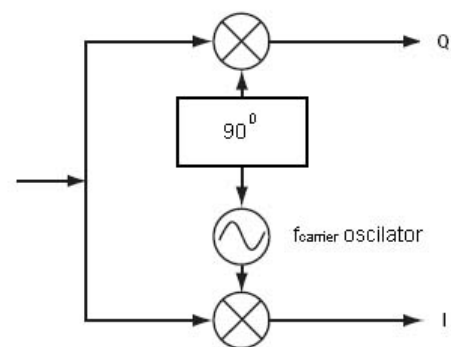
(do 12). Prolaskom kroz modulator signal se kodira, tj. modulira fazno (QPSK) ili i fazno i amplitudno (QAM). Upotreba QAM-a bolje je rješenje jer omogućuje veći broj kodiranih bitova. Nakon modulacije signal se prebacuje iz frekventne u vremensku domenu, te se nakon toga propušta kroz paralelno-serijski konverter. Dobiva se OFDM signal kojem se dodaje val nosioc ($f=10-66$ GHz), kako bi se signal pripremio za odašiljanje.

Inverzna situacija događa se s prijemne strane. Prijemni signal, prije serijsko-paralelnog pretvarača, prolazi kroz frekventni filtar, da bi se razdvojio val nosioc. Serijsko paralelni pretvarač razdvaja serijski signal na paralelne simbole, koji se zatim prevode iz vremenske u frekvencijsku domenu. QAM/QPSK demodulator razdvaja paralelne I/Q komponente. Demodulirani simboli idu na paralelno-serijski pretvarač, da bi se dobio digitalni serijski signal (informacija).

QAM



slika 5: blok shema modulatora



slika 6: blok shema demodulatora

Opis rada modulatora

Ulazni Q (*eng. quadrature*) – realna komponenta, odnosno komponenta amplitude, i I (*eng. In-phase*) – imaginarna komponenta, tj. komponenta faznog pomaka, miješaju se s frekvencijom nosioca koju generira lokalni oscilator. Pomicanjem faze nosioca za 90° prema Q komponenti, postiže se međusobna ortogonalnost. Neovisne I i Q komponente prolaze kroz zbrajalo te se dobiva složeni modulirani signal.

Opis rada demodulatora

Modulirani I/Q signal prolazi kroz frekvencijski filter, gdje mu se oduzima nosiva frekvencija, odnosno pomaknuta nosiva frekvencija (za 90^0). Dobivaju se neovisne I i Q komponente.

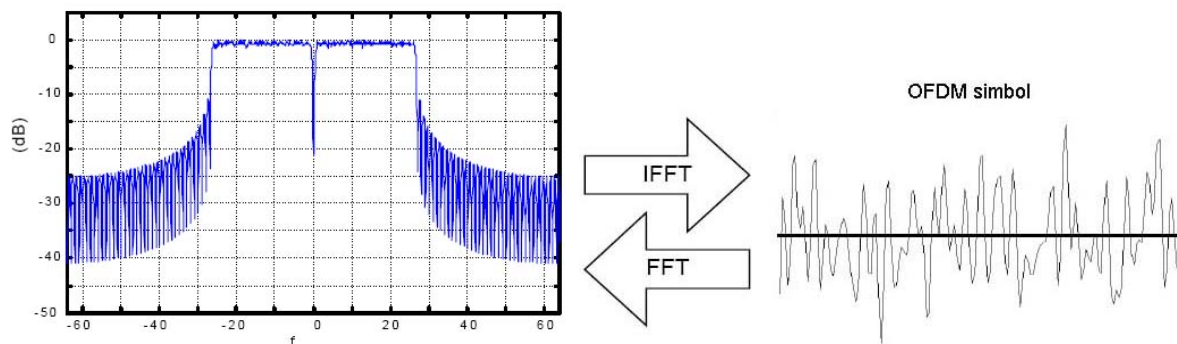
Funkcija I/Q mapiranja

Digitalni podaci mapiraju se iz vrijednosti u polarnom formatu na određene točke u I/Q ravnini (konstelacijske točke). Broj konstelacijskih točaka u I/Q ravnini broj je mapiranih kombinacija. Broj bitova u jednom simbolu kod 64-QAM konstelacije iznosi 6 ($2^6 = 64$). Kod 4096-QAM broj bitova je 12 ($2^{12} = 4096$).

IFFT

IFFT (*eng. Inverse Fast Fourier Transform*) je sklop koji modulirane (QAM/QPSK) paralelne nizove početnog signala pretvara iz frekvencijske u vremensku domenu. Sukladno tome, FFT sklop radi suprotno – pretvara OFDM signal iz vremenske u frekvencijsku domenu, i nalazi se u prijemniku.

Više moduliranih pomoćnih valova nosioca (subcarrieri) tvore jedan OFDM simbol, te se nalaze na vrlo maloj "udaljenosti" tipično nekoliko kHz (slika 8). Frekvencijski međurazmak računa se po formuli $\Delta f = F_S / N_{FFT}$, gdje je F_S frekvencija QAM /QPSK moduliranja, a N_{FFT} broj pomoćnih valova nosioca.



slika 8: Signal u frekvencijskoj (lijevo), odnosno vremenskoj domeni (desno)

Nakon pretvorbe signala u vremensku domenu, paralelni OFDM simboli prolaze kroz paralelno-serijski pretvarač koji ih sekvencijalizira.

Proširena blok shema OFDM primopredajnika

U realnom primopredajniku dodaju se određeni sklopovi koji služe za detekciju i smanjenje grešaka u predajnoprijemnom procesu, upotrebom za to predodređenih tehnologija. Glavni cilj jest umanjiti smetnje/greške uslijed pretvorbi u samom ofdm sklopovlju, kao i smetnje uslijed djelovanja vanjskih faktora.

Za otklanjanje i smanjenje smetnji uvode se zaštitni predsimboli. Zaštitni predsimboli dodaju se kako na početak subcarrier simbola, tako i na početke samih OFDM simbola.

Reed Solomonov sklop

Reed Solomon-ov sklop koristi istoimeni algoritam koji omogućuje otklanjanje određenog broja bitova greške u odnosu na ukupan broj bitova (*eng. bit error rate*).

Tipičan RS (Reed Solomon) kod predstavlja se kao RS(n,k) sa s -bit-nim simbolima. To znači da koder uzima k -podatkovnih simbola, dugačkih s -bitova svaki. Na kraj se dodaje *parity* simbol te se ukupno dobiva n -bitni kodirani simbol. Dobiva se $n-k$ parity simbola dužine s -bitova.

U predajnom dijelu, dekodeer može ispraviti t -simbola koji čine grešku u jednoj kodiranoj riječi.

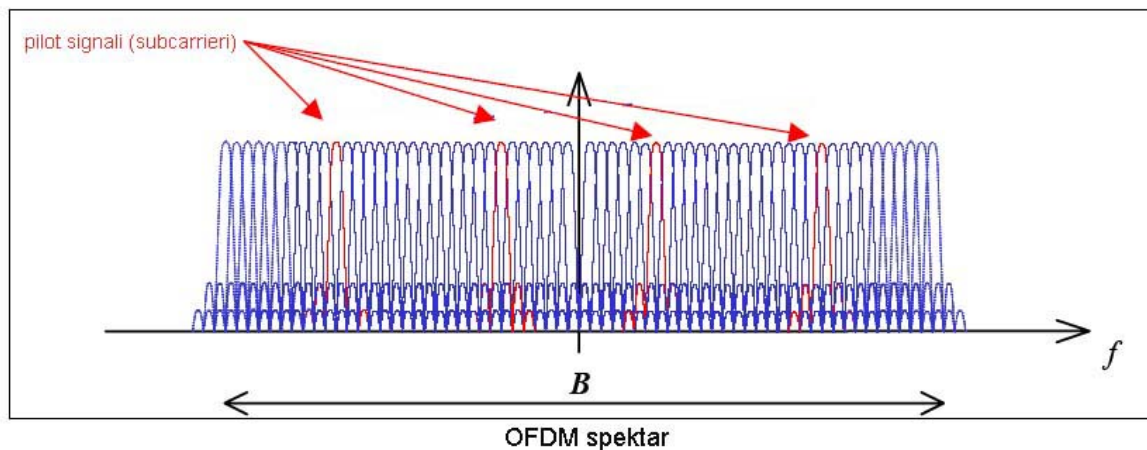
$$2t = n-k$$

Maksimalna dužina riječi može se izračunati po formuli:

$$n_{\max} = 2^s - 1, \text{ gdje je } s = \text{broj bitova po jednom simbolu}$$

Pilot signal

Pilot signal (*eng. Pilot signal*) umeće se repetitivno na kraj svakog bloka simbola, te je kopija početnih simbola bloka. Pilot signal jest znani simbol koji služi za estimaciju (analizu) kanala, kako bi se eliminirao utjecaj međusimbolne i međuvalne interferencije na podatkovne simbole u spektru.



Pilot simboli umeću se u simbolni niz u frekvencijskoj domeni, prije OFDM modulacije. Tako je svaki pilot simbol, unutar OFDM simbola, moduliran u jedinstveni subcarrier.

slika 10: prikaz distorzije faze u 16-QAM (lijevo), odnosno 64-QAM (desno)

Randomizator

Svaki pomoćni nosioc (subcarrier) množi se sa slučajnim faznim vektorom kako bi se smanjio omjer vrijednosti vršne (maksimalne u trenutku) i srednje snage.

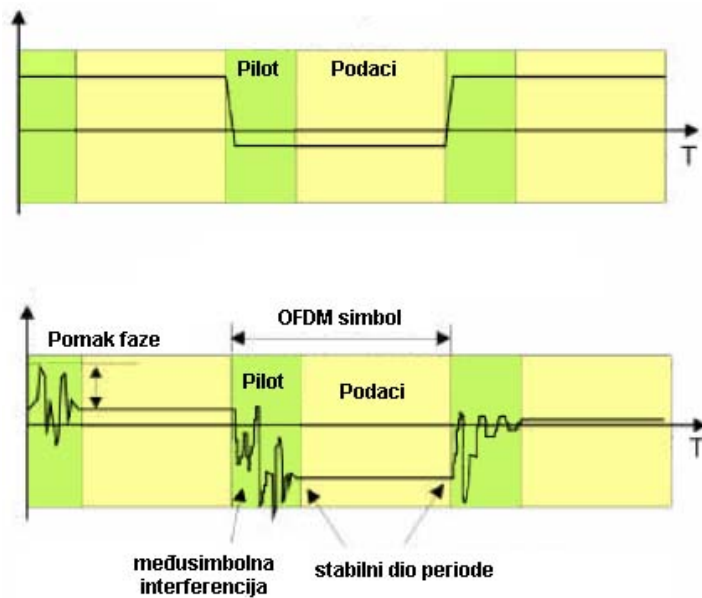
Proces se naziva randomizacija signala, i potreban je kako bi se donekle izbjegla potreba za linearnim područjima pojačala signala na nivoima većih snaga, što je u praksi teško izvodljivo i dosta skupo.

Training sklop

Training simboli umeću se na početak signala radi estimacije frekventnog pomaka i određivanja granica simbola.

Multipath sklop

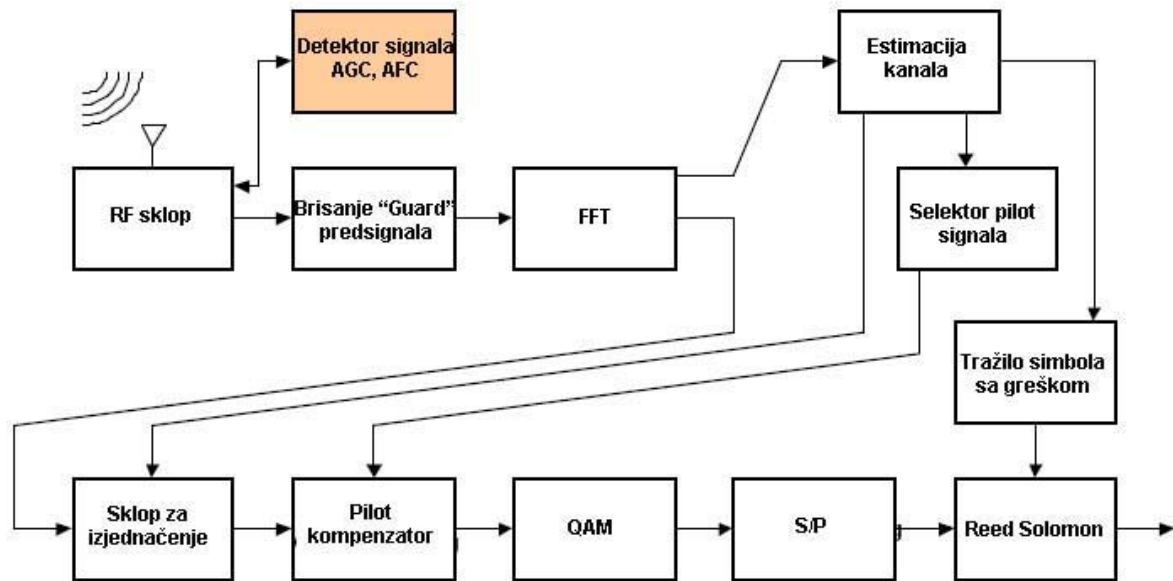
Pilot signal kopira se s jednog kraja bloka na drugi radi zaštite od pomaknutog prijema istog signala (*eng. multipath delay*).



slika 11: odaslani signal (gore) i primljeni reflektirani signal (dolje)

Važno je napomenuti da dužina pilot signala treba biti veća od dužine međusimbolnih smetnji, kako se smetnje ne bi prenijele na podatkovni dio.

Slika 12: Prijemni dio



Nakon vremenske i frekvencijske sinhronizacije primljenog signala te Fourierove pretvorbe vrši se estimacija. U procesu estimacije lociraju se pilot signali kako bi se odredile granice podatkovnih dijelova. Dijelovi sa poništenim/netočnim pilot signalom predstavljaju simbol sa greškom i šalju se na Reed-Solomonov dekodir. U sklopu za izjednačenje otkriva se relativna pozicija svake konstelacijske točke u odnosu na pilot signal te se vrši i de-randomizacija faze. U daljnjoj obradi (pilot kompenzacija) saznaje se točan podatak o odaslanoj konstelacijskoj koordinati.

OFDM – prednosti i mane

prednosti (u odnosu na single-carrier sustave):

- efikasno iskorištenje spektra uporabom preklapanja
- otpornost na selektivno gušenje frekvencije (dijeljenje kanala na puno manjih uskih pod-kanala)
- eliminacija međusimbolne i međuvalne interferencije (zaštitni predsignal)
- jednostavnija ekvalizacija kanala
- razlučivanje grešaka upotrebom određenih coding tehnika

- u kombinaciji sa diferencijalnom modulacijom nepotrebnost korištenja analizatora kanala
- manja osjetljivost na vremenske pomake uzorka (eng. *timing offset*)
- bolja zaštita od međukanalnih interferencija i parazitnih smetnji

mane:

- veliki srazmjer između srednje i maksimalne amplitude, potreba za korištenjem skupljih i finijih RF pojačala
- osjetljivost na pomake nosive frekvencije (Dopplerov efekt)

Sigurnost podataka

IEEE 802.16 sigurnosni protokoli temelje se na PKM (*Privacy Key Management*) protokolu modificiranom da podržava i AES enkripciju.

Svaka prijemna stanica sadrži X.509 digitalni certifikat proizvođača i dodatni X.509 certifikat specifičan za stanicu, također izdan od proizvođača. Certifikati se koriste kod procesa autentikacije između prijemne i bazne stanice. RSA javni ključ prijemne stanice kombinira se sa 48-bitnom MAC adresom i šalje se baznoj stanici. Bazna stanica ispituje validitet certifikata i kreira autorizacijski ključ, ako je prijemna stanica potvrdila validitet. Autorizacijski ključ, enkriptiran javnim ključem prijemne stanice šalje se prijemnoj stanici u obliku autorizacijskog odgovora.

Trenutno 802.16 standard koristi *Data Encryption Standard* (DES) sa 56-bitnim ključevima. Dodatno, integritet poruke verificira se *Hashed Message Authentication Code* (HMAC) protokolom.

Usporedba 3G/4G bežičnih sustava

3G

- 2G kompatibilan
- W-CDMA
- circuit i packet switched mreže
- mogućnost korištenja analogne i digitalne opreme
- brzina prijenosa do 2Mbps

4G

- "proširuje" mogućnosti 3G sustava
- OFDM
- samo packet switched mreže
- svi elementi mreže su digitalni
- brzina prijenosa do 100Mbps

1. Poluvalni dipol zrači snagu $P_t=1\text{KW}$.

- kolika je jakost polja E na udaljenosti $d=160\text{km}$ u smjeru maksimalnog zračenja
- treba izraziti jakost polja u dB u odnosu na $1\ \mu\text{V/m}$
- usmjerenost dipola je $D=1.64$

EDU» $P_t=1000$

$P_t =$

1000

EDU» $d=160000$

$d =$

160000

EDU» $D=1.64$

$D =$

1.6400

EDU» $E=(1/d)*\text{sqrt}(30*D*P_t)$

$E =$

0.0014

EDU» $E=E*10^6$

$E =$

$1.3863\text{e}+003$

EDU» $E_{\text{dB}}=20*\log_{10}(E)$

$E_{\text{dB}} =$

62.8373

2. Treba odrediti maksimalnu korisnu snagu , koja se može primiti pri frekvenciji $f=100\text{MHz}$, poluvalnim dipolom $D=1.64$ u polju jakosti $E= 50\text{dB}\ \mu\text{V/m}$. Dobivenu snagu izraziti u dBW .

Rješenje:

EDU» $f=100$

$f =$

100

EDU» $D=1.64$

$D =$

1.6400

EDU» $E=50$

$E =$

50

EDU» $E=10^{(5/2)}$

$E =$

316.2278

EDU» $E=E*10^{(-6)}$

$E =$

$3.1623\text{e}-004$

EDU» $c=3*10^8$

$c =$

300000000

EDU» $P=D*(c^2*E^2)/(4*pi^2*f^2*120)$

P =

311.5626

EDU» $Pdb=10*log10(E)$

Pdb =

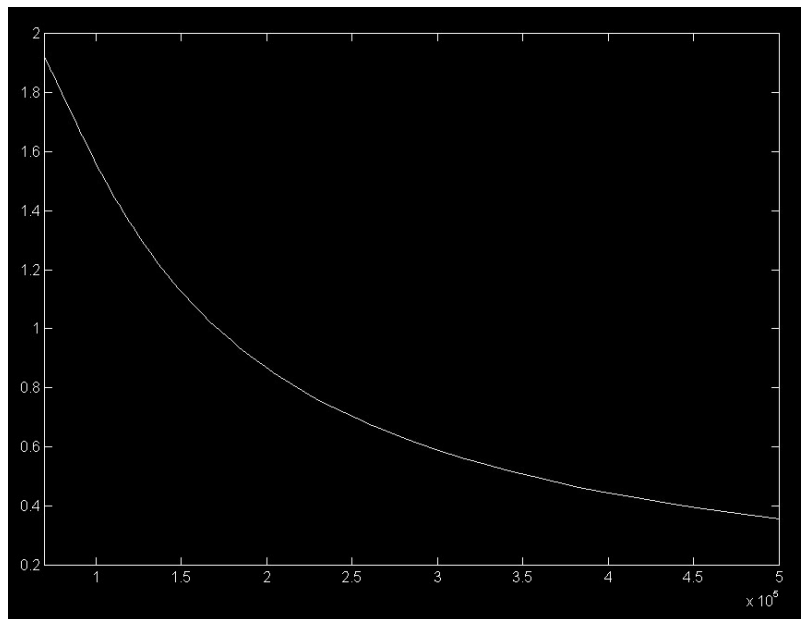
-35

3. Neka su zadane visine antene $b_1 = b_2 = 100$ m, valna duljina $\lambda = 0,7$ m. Treba odrediti varijacije amplitude jačine polja ako je tlo suho i ako se udaljenosti između stanica mijenja od 100m do 100 km.

Rješenje:

EDU» $f='2*abs(sin(89760/x))'$;

EDU» $fplot(f,[70000 500000])$



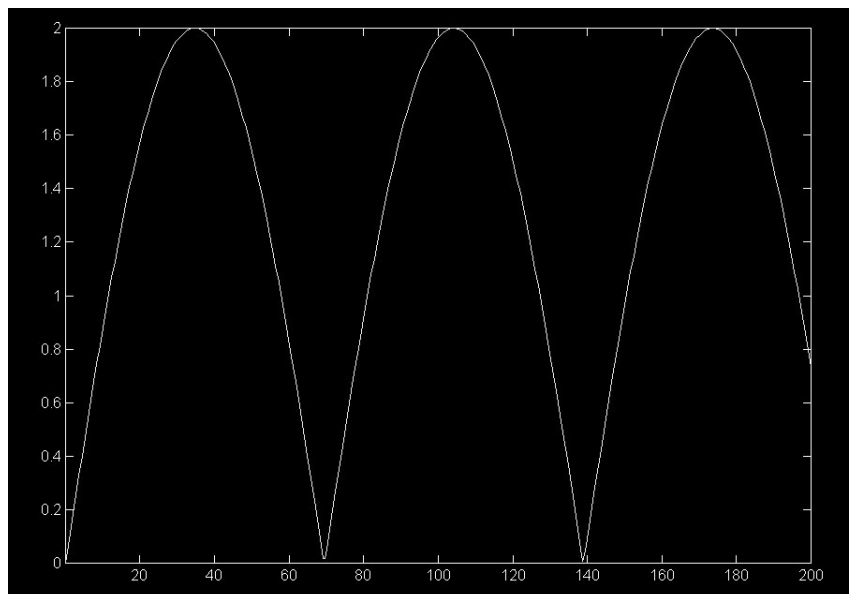
4. Za danu udaljenost (d) i danu frekvenciju (f), jačina polja će zbog prisutnosti tla ovisiti o visini antene. Ako se mijenja visina prijemne antene b_1 , polje će varirati oko vrijednosti dobivene u slobodnom prostoru (od 0 do $2E_0$).

Rješenje:

EDU» $f='2*abs(sin(0.04524*x))'$;

EDU» $fplot(f,[0.05 200])$

5. Prijenosni put zadan je u visokofrekvencijskom području uz prosječno tlo $\epsilon_r=15$,
 $\sigma = 27,8$ mS/m.



Udaljenost $d = 25$ km
Frekvencija $f = 22$ MHz
Polarizacija, vertikalna
Visina odašiljačke antene $b_1 = 9,75$ m
Visina prijemne antene $b_2 = 9,75$ m

Rješenje:

EDU» $e=15$

$e =$

15

EDU» $r=27.8 \cdot 10^{-3}$

$r =$

0.0278

EDU» $d=25$

$d =$

25

EDU» $f=22$

$f =$

22

EDU» $h_1=9.75$

$h_1 =$

9.7500

EDU» $h_2=9.75$

$h_2 =$

9.7500

EDU» $\lambda=300/f$

$\lambda =$

13.6364

EDU» $\delta=(4 \cdot \pi \cdot h_1 \cdot h_2)/(\lambda \cdot d \cdot 10^3)$

$\delta =$

0.0035

EDU» $h_o=(\lambda \cdot (e^2 + (60 \cdot r \cdot \lambda)^2)^{1/2}) / (2 \cdot \pi \cdot ((e-1)^2 + (60 \cdot r \cdot \lambda)^2)^{1/4})$

$h_o =$

11.4419

EDU» $L=120+40 \cdot \log_{10}(d)-20 \cdot \log_{10}(h_1 \cdot h_2)$

$L =$

136.3574

6. Visina odašiljačke antene je $b_1 = 20\text{m}$. Promjenom visine odašiljačke antene treba dobiti porast snage primljenog signala za 3 dB. Pretpostavlja se da je $b_1 > b_0$ i $b_2 > b_0$.

Rješenje:

EDU» $h1=20*10^{(0.15)}$

$h1 =$

28.2508

7. U slučaju dvoputnog rasprostiranja radiovalova neka je zadano : $a \approx 0.5$, $\tau = 10\mu\text{s}$, $f_m = 5\text{ kHz}$,

$\Delta f = 50\text{ kHz}$. Treba odrediti dodatnu komponentu trenutne frekvencije primarnog signala ?

Rješenje:

EDU» $a=0.5$

$a =$

0.5000

EDU» $\tau=10*10^{(-6)}$

$\tau =$

1.0000e-005

EDU» $f_m=5000$

$f_m =$

5000

EDU» $df=50000$

$df =$

50000

EDU» $O_m=2*\pi*f_m$

$O_m =$

3.1416e+004

EDU» $dO=2*\pi*df$

$dO =$

3.1416e+005

EDU» $k1=(0.5*a*dO*O_m*\tau^2)/(1+a^2)$

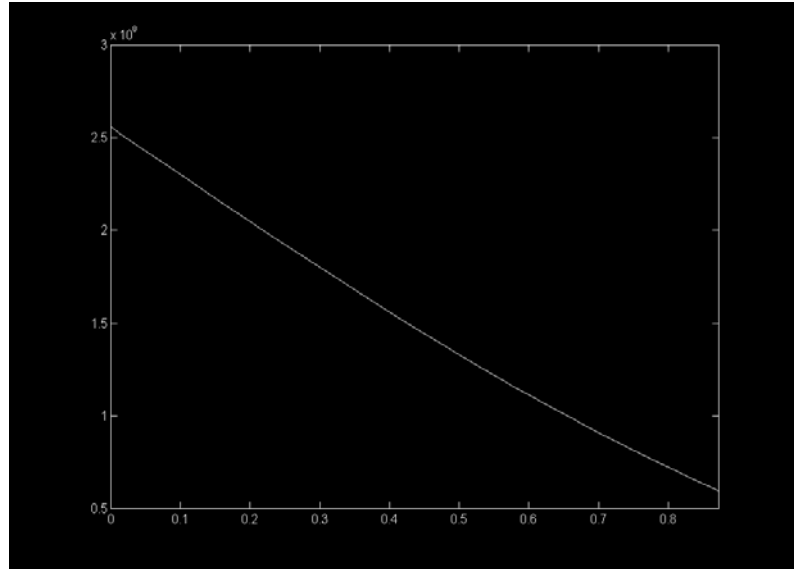
$k1 =$

0.1974

8. Izračunaj opskrbno područje satelita:

Rješenje:

```
EDU» f='2*6378^2*pi*(1-sin(x))';  
EDU» fplot(f,[0 0.87266])
```



9. Izračunaj vrijeme kašnjenja signala odaslanog sa zemlje prema satelitu , koji se reflektira od satelita i vraća na zemlju. Zadani su sljedeći podaci : $h = 35863$ km, $c = 3 * 10^8$ m/s ?

Rješenje:

```
EDU» R=6378
```

R =

6378

```
EDU» h=35863
```

h =

35863

```
EDU» fi=1.4172
```

 u radijanima

fi =

1.4172

```
EDU» d=2*(h+R)*sin(fi)
```

d =

8.3487e+004

```
EDU» c=3*10^8
```

c =

300000000

```
EDU» d=d*10^3
```

d =

8.3487e+007

```
EDU» t=d/c
```

t =

0.2783