



Osnove telekomunikacija

Doc. dr Enis Kočan (enisk@ucg.ac.me)

Saradnici: Dr Uglješa Urošević (ugljesa@ucg.ac.me)

MSc Slavica Tomović (slavicat@ucg.ac.me)

SADRŽAJ KURSA

1. Uvod. Opšti model telekomunikacionog sistema. Vrste prenosa signala.
- 2. Medijumi za prenos. Pojam modulacije.**
3. Multipleksiranje. Referentni model za povezivanje otvorenih sistema (OSI i TCP/IP)
4. Harmonijska analiza periodičnih signala
5. Analiza aperiodičnih signala i slučajnih signala
6. Prenos signala kroz linearne sisteme. Izobličenja pri prenosu signala
7. Amplitudske modulacije
8. Demodulacija AM signala. Realizacija multipleksa sa frekvencijskom raspodelom kanala
9. Ugaona modulacija. Spektar UM signala
10. FM modulatori. Demodulacija FM signala
11. Slučajni šum. Karakteristike uskopojasnog šuma
12. Uticaj šuma na prenos amplitudski moduliranih signala
13. Uticaj šuma na prenos ugaono moduliranih signala

Termin 2 - Sadržaj

- **Vrste medijuma za prenos**
- Kablovi sa upredenim bakarnim paricama
- Koaksijalni kablovi
- Kablovi sa optičkim vlaknima
- Bežični prenos
- Pojam modulacije

Medijumi za prenos

- Medijumi za prenos se generalno mogu podijeliti na:

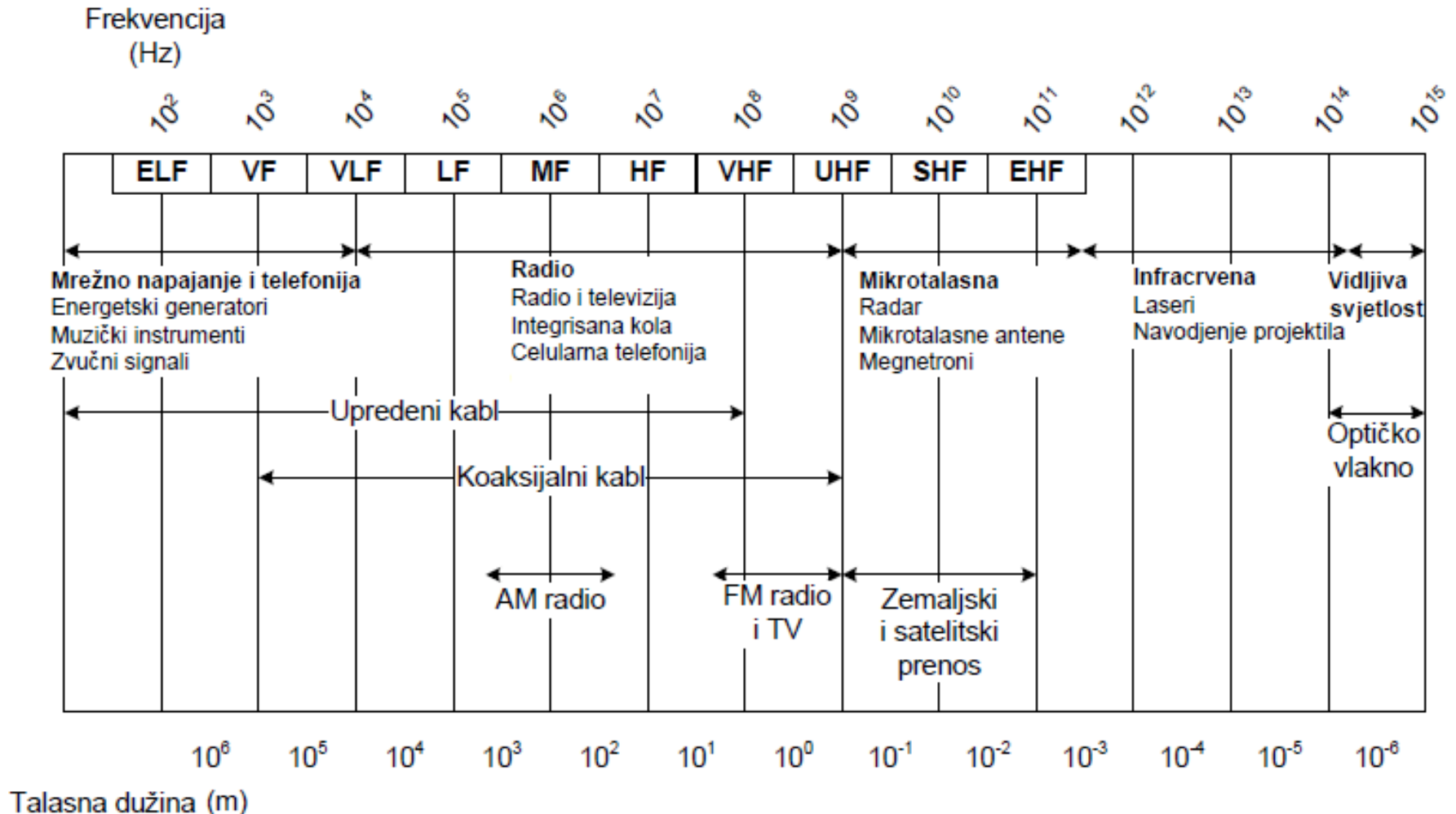
1. Vođene

- Talasi su vođeni kroz medijum od čvrstog materijala, kao što je bakarna parica, koaksijalni kabal ili kabal sa optičkim vlaknima.

2. Nevođene

- Atmosfera i slobodni prostor su primjeri medija kojima se ostvaruje nevođena komunikacija, putem slobodnog prostiranja elektromagnetnog talasa.

Propusni opsezi pojedinih medijuma za prenos



Uvodni pojmovi

- Frekvencija predstavlja broj ciklusa periodičnog signala u jedinici vremena, a računa se kao inverzna vrijednost periode signala, $f=1/T$
- Jedinica za frekvenciju je **Hz** (Herc). Veće jedinice su **kHz** (kilo-Herc), **MHz** (mega-Herc), **GHz** (giga-Herc)
- Veza frekvencije i talasne dužine: $\lambda = v \cdot T = v/f$
- λ – talasna dužina [m]
- $v=c$ – za slobodni prostor, to je brzina prostiranja svjetlosti (300 000 km/s)

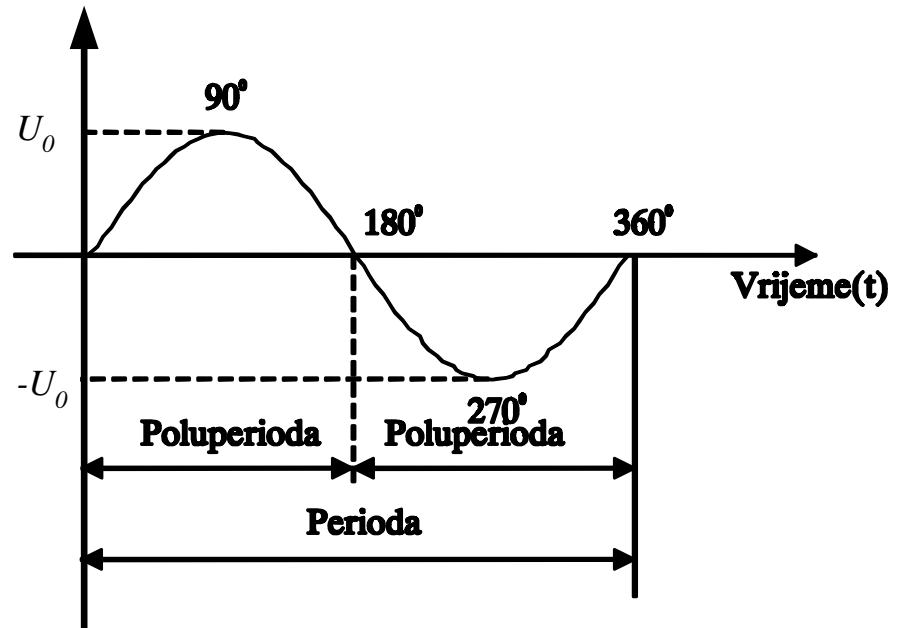
$$u_o(t) = U_o \sin(2\pi f_o t + \varphi)$$

U_o - Amplituda

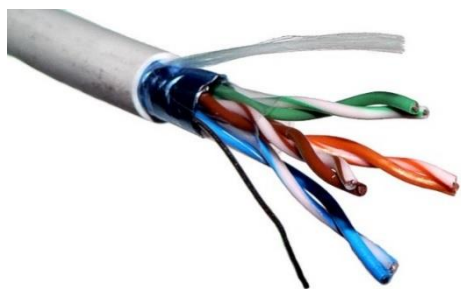
T – Perioda

$f_o = 1/T$ – Frekvencija

φ - faza

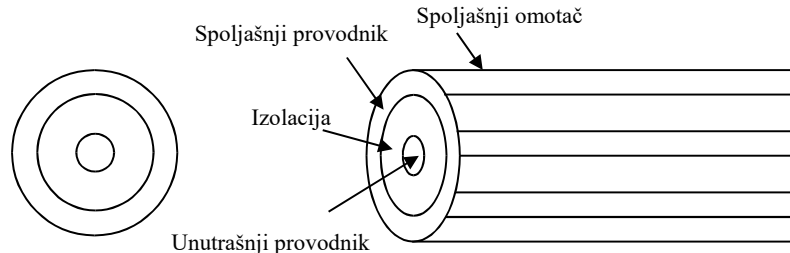
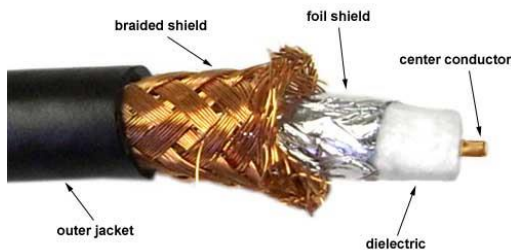


Vođeni medijumi za prenos

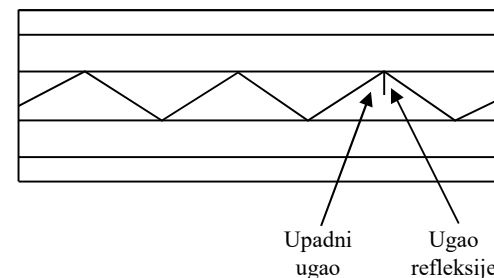
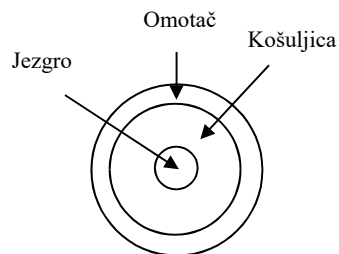
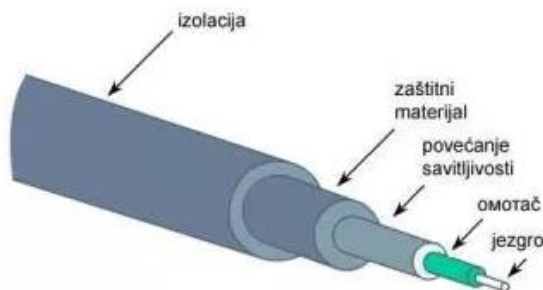


a)

COAXIAL CABLE



b)



c)

Vođeni medijumi za prenos

a) Upredena parica; b) Koaksijalni kabl; c) Optičko vlakno

Medijumi za prenos

- Izuzimajući kablove sa optičkim vlaknima, kod ostalih vođenih medijuma za prenos, poruka se prenosi varijacijama naponskih ili strujnih nivoa signala. Osnovne karakteristike ovih vođenih medijuma za prenos, na osnovu kojih se može vršiti njihovo poređenje, su:
 1. Slabljenje signala po jedinici dužine, α_p , [dB/m]
 2. Širina propusnog opsega, B , [Hz],
 3. Kašnjenje po jedinici dužine, τ_p , [s].

Medijumi za prenos

- Kao mjera koja pokazuje relativnu vrijednost dva signala u telekomunikacijama koristi se jedinica **decibel (dB)**. Decibel se definiše izrazom:

$$dB = 10 \log \frac{P_A}{P_B}$$

- Kako je snaga proporcionalna kvadratu napona (ili struje), kada je u pitanju relativni odnos dva napona, decibel se definiše kao:

$$dB = 20 \log \frac{U_A}{U_B}$$

- Iz prethodnih definicija je jasno da se slabljenje signala definiše kao logaritamski odnos snage (napona) signala na ulazu u telekomunikacioni sistem, i snage (napona) signala na njegovom izlazu:

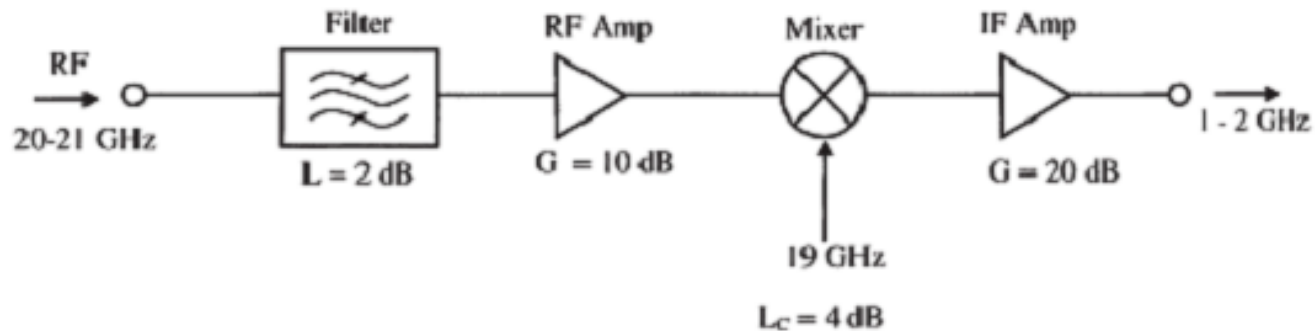
$$a = 10 \log \frac{P_{ul}}{P_{izl}} = 20 \log \frac{U_{ul}}{U_{izl}}$$

Primjeri

- Veza između predajnika i prijemnika jednog telekomunikacionog sistema realizovana je korišćenjem dva različita medijuma za prenos, pri čemu prvi ima dužinu od 150m, i podužno slabljenje od 4dB/100m, a drugi ima dužinu od 3km i podužno slabljenje od 0,4dB/km. Na spoju ova dva različita tipa medijuma za prenos, sklop za konverziju/prilagođenje unosi dodatnih 1dB slabljenja.
 - a) Izračunati ukupno slabljenje signala između predajnika i prijemnika.
 - b) Odrediti max. nivo emisionog signala, ako se zna da je signal na prijemu imao max. naponski nivo od 0,1mV.

Primjeri

- Odrediti ukupno pojačanje (slabljenje) za dio radio prijemnika prikazanog na slici.
 - Ako je ulazni signal napona $2\mu\text{V}$, odrediti vrijednost napona signala na izlazu iz ovog dijela telekomunikacionog sistema



Napomena: Sa G su označena pojačanja pojačavača, a sa L slabljenja koja unosi pasivni sklopovi

Termin 2 - Sadržaj

- Vrste medijuma za prenos
- **Kablovi sa upredenim bakarnim paricama**
- Koaksijalni kablovi
- Kablovi sa optičkim vlaknima
- Bežični prenos
- Pojam modulacije

Kablovi sa upredenim bakarnim paricama

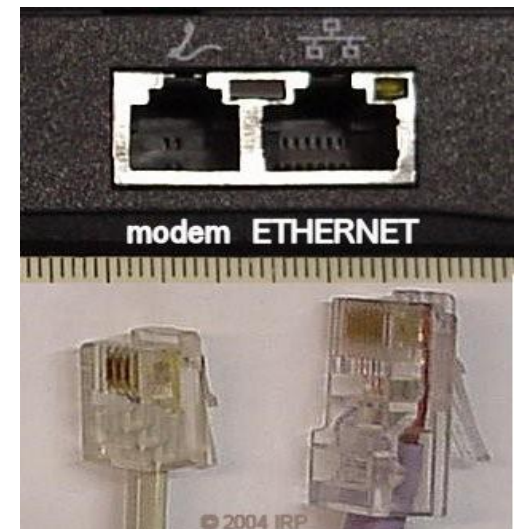
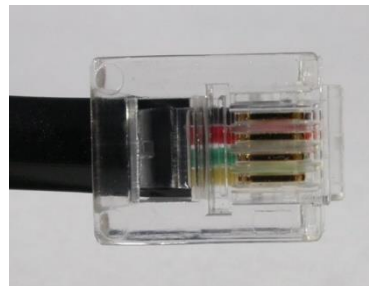
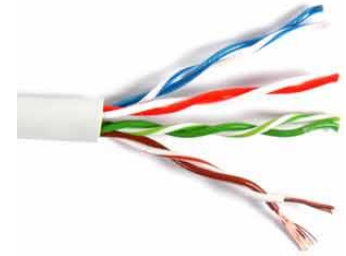
- Kablovi sa upredenim paricama (*twisted pair cable*) se sastoje od parova izolovanih bakarnih žica koje su obmotane (upredene) jedna oko druge i označene različitim bojama. Radi fizičke zaštite, parice su obuhvaćene omotačem od PVC-a ili teflona (ukoliko kablovi treba da bude vatrootporni).
- Provodnici se upredaju da bi se smanjio uticaj elektromagnetnih smetnji (interferencije) iz okoline na signal koji se prenosi. Broj upredanja po jedinici dužine čini dio specifikacije kablova, jer sa smanjenjem koraka upredanja, povećava se otpornost kablova na elektromagnetne smetnje. Za linkove veće dužine, korak upredanja se kreće između 5cm i 15cm.

Kablovi sa upredenim bakarnim paricama

- Predstavljaju najčešće upotrebljavan medijum za prenos u lokalnim računarskim mrežama (LAN).
- Upotreba u javnim telefonskim mrežama, za prenos govora i za prenos podataka (DSL – *Digital Subscriber Line*)
- Privatne telefonske centrale povezuju korisničke uređaja kablovima sa upredenim bakarnim paricama.
- Njihova prednost ogleda se u lakoći postavljanja i održavanja, kao i veoma niskoj cijeni.
 - Danas je moguće ostvariti brzine prenosa od više desetina Gb/s na kratkim rastojanjima
- U poređenju sa drugim vođenim medijumima za prenos, kabal sa upredenim bakarni paricama ima manji domet, propusni opseg i manje brzine prenosa podataka.
 - Pri prenosu analogni signala potrebni su pojačavači na svakih 5-6km, a pri prenosu digitalnih signala, potrebni su ripiteri na 2-3km
 - Za prenos analognih signala moguće je koristiti opseg do 1MHz.

Kablovi sa upredenim bakarnim paricama

- Postoje dvije osnovne varijante ovih kablova u realizaciji sa 4 parice:
 1. **neoklopljeni - UTP (*Unshielded Twisted Pair*)**,
 2. **oklopljeni – STP (*Shielded Twisted Pair*)**.
- Završni konektor kabla sa 4 upredene parice je **RJ-45 konektor** sa 8 pinova. Za telefonske linije se koristi kabal sa 2 upredene parice, koji završava sa **RJ-11 konektorom** sa 4 pina

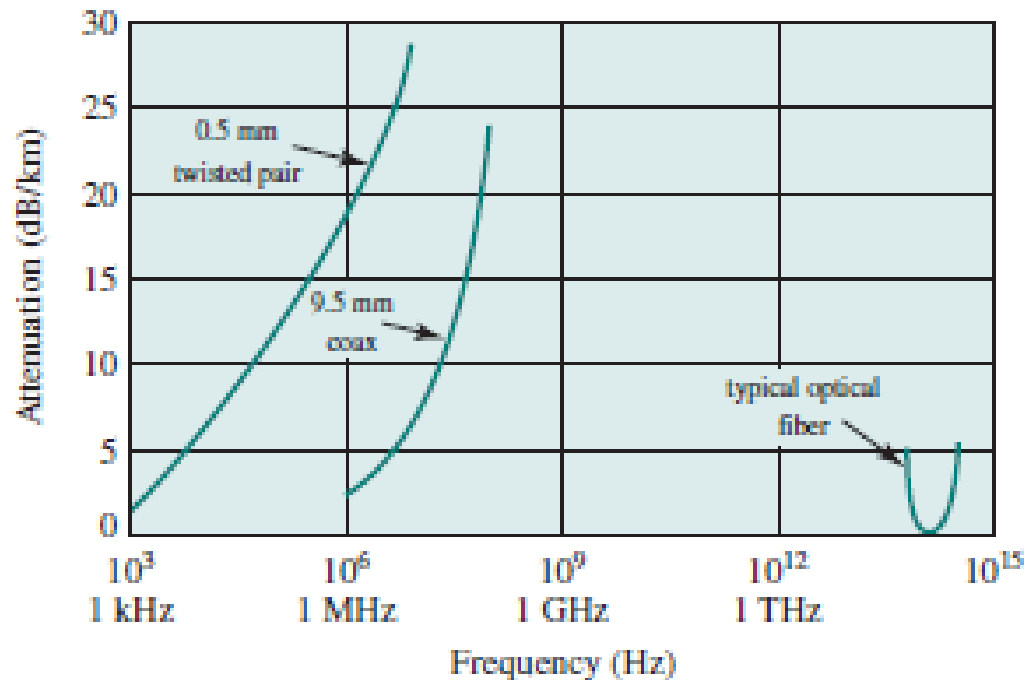


Kablovi sa upredenim bakarnim paricama

- UTP kablovi su jeftiniji, fleksibilniji za rukovanje i imaju i dalje široku primjenu, iako su im karakteristike lošije od STP kablova.
- Kablovi sa upredenim bakarnim paricama se dijele u **7 kategorija**, od kojih prvih 5 kategorija pripadaju UTP kablovima

Kategorije:

- Cat 3 – 16 MHz
- Cat 5e – 100 MHz
- Cat 6 – 250 MHz
- Cat 6a – 500 MHz
- Cat 7 – 600 MHz
- Cat 7a – 1000 MHz

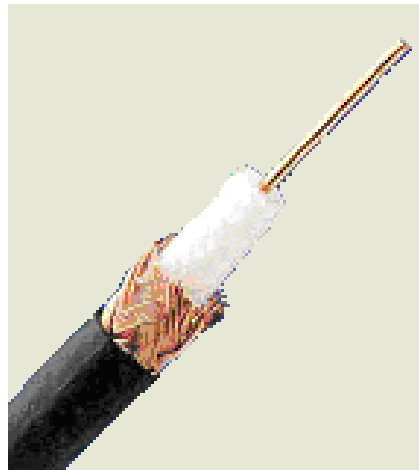
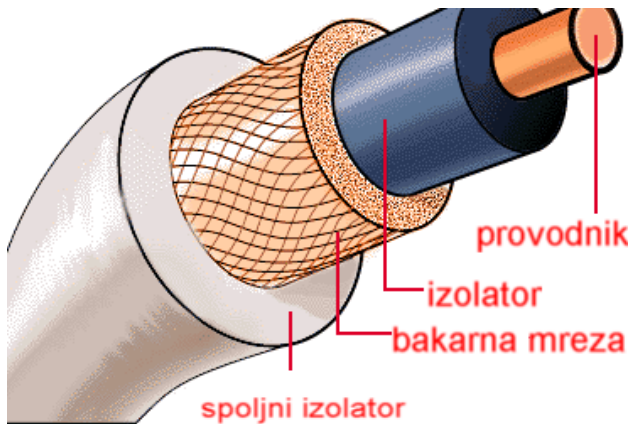


Termin 2 - Sadržaj

- Vrste medijuma za prenos
- Kablovi sa upredenim bakarnim paricama
- **Koaksijalni kablovi**
- Kablovi sa optičkim vlaknima
- Bežični prenos
- Pojam modulacije

Koaksijalni kablovi

- Koaksijalni kabal se sastoji od dva koncentrično postavljena provodnika. Spoljašnji provodnik je šupalj, pa se između njih postavlja neki dielektrični materijal ili izolatorski prstenovi. Oko spoljnog provodnika se nalazi zaštitni omotač.
- Zbog svoje konstrukcije i oklopa, koaksijalni kabl je veoma otporan na razne oblike degradacije signala (npr.interferencija sa signalima iz okoline), što znači da koaksijalni kablovi omogućavaju prenos kroz okruženja sa izraženim električnim šumom



Koaksijalni kablovi

- Jedan od bitnih parametara ovih kablova je njihova **karakteristična impedansa**.
 - Dimenzije kabla, zajedno sa tipom primijenjenog izolatora određuju impedansu ovog voda.
- Najzastupljeniji su koaksijalni kablovi karakteristične impedanse od:
 - **50/52 Ω** : Ovaj tip kabla se koristi za profesionalne primjene kod radio uređaja – sve od vodova korišćenih u testnoj opremi, do internih vodova u uređajima, zatim vodova između antena i predajnika ili prijemnika, itd.
 - **75 Ω** : Koaksijalni kabal ove impedanse se koristi u kućnim primjenama, kao što su za povezivanje TV antene sa TV prijemnikom, ili VH FM antene sa radio prijemnikom, itd.

Koaksijalni kablovi

- **Slabljenje po jedinici dužine** koje unosi koaksijalni kabal je takođe veoma bitan parametar.
 - Vrijednost ovog slabljenja zavisi od gubitaka u izolatoru koji ispunjava koaksijalni kabal, kao i od gubitaka otpornosti u centralnom i spoljnom provodniku.
 - Slabljenje po jedinici dužine je frekvencijski zavisani parametar i gubici rastu sa porastom frekvencije
- Sa porastom frekvencije opada i maksimalna vrijednost snage koju može kabal podnijeti, a da ne dođe do njegovog oštećenja.

Frequency (MHz)	100	200	300	400	450	800	900	1000	1800	2000	2200	2500	2700	3000
Attenuation (dB/100 m)	4.16	5.96	7.39	8.61	8.73	12.10	12.70	13.40	18.40	19.50	20.50	22.10	24.30	24.40
Average power (kW)	2.00	1.34	1.15	1.14	1.13	0.82	0.78	0.74	0.54	0.51	0.48	0.45	0.41	0.40

Koaksijalni kablovi

- Koaksijalni kablovi se danas koriste za prenos signala učestanosti i **preko 10GHz**.
- Za veće učestanosti se primjenjuju **polu-čvrsti koaksijalni vodovi**, koji u odnosu na koaksijalne kablove:
 - Imaju bolje oklapanje,
 - Unose manje slabljenje,
 - Podnose veću RF snagu,
 - Imaju manju fleksibilnost (mana).



Semi-rigid koaksijalni kabal

Koaksijalni kablovi

- Koaksijalni kablovi se na uređaje povezuju preko odgovarajućeg konektora.
- Konektor mora unijeti što manje slabljenje, i mora biti prilagođen karakteristikama kabla.
 - Prilikom projektovanje trase realizovane koaksijalnim kablovima, moraju se uzeti u obzir i gubici na konektorima.
- Koriste se standardni, uglavnom 50-omski konektori.



BNC konektori
(do oko 300MHz ;
poboljšane verzije i do reda GHz)



N konektori
(do oko 18GHz)



SMA konektori
(do oko 20GHz)



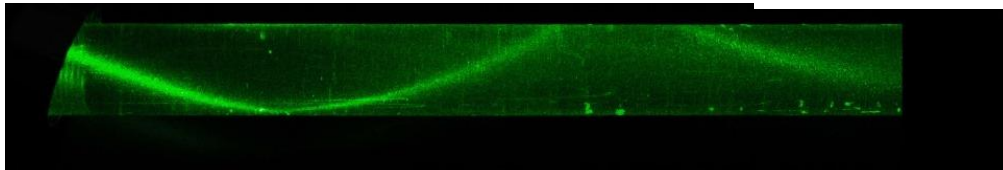
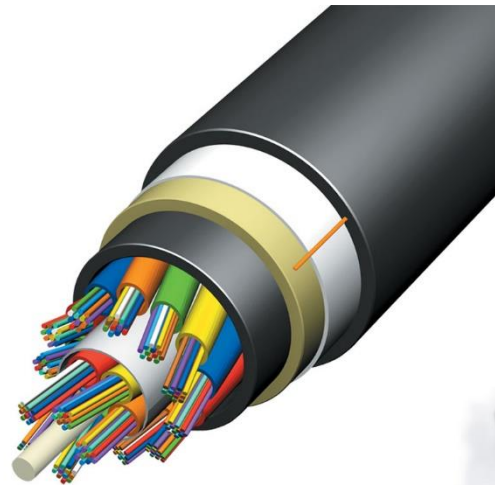
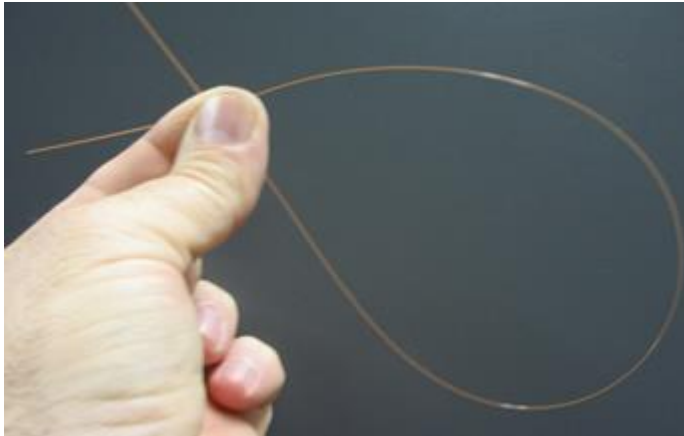
- Nepravilan spoj kabla i konektora uzrokuje djelimičnu refleksiju signala.

Termin 2 - Sadržaj

- Vrste medijuma za prenos
- Kablovi sa upredenim bakarnim paricama
- Koaksijalni kablovi
- **Kablovi sa optičkim vlaknima**
- Bežični prenos
- Pojam modulacije

Kablovi sa optičkim vlaknima

- Prenosi se svjetlosni zrak, koji uvijek ostaje unutar jezgra optičkog vlakna (reflektuje se od košuljice).
- Optičko vlakno se pravi od stakla ili posebne plastike.
- Kod predajnika se koristi LED (*light-emitting diode*) ili laser, a glavni dio prijemnika je foto-detektor.



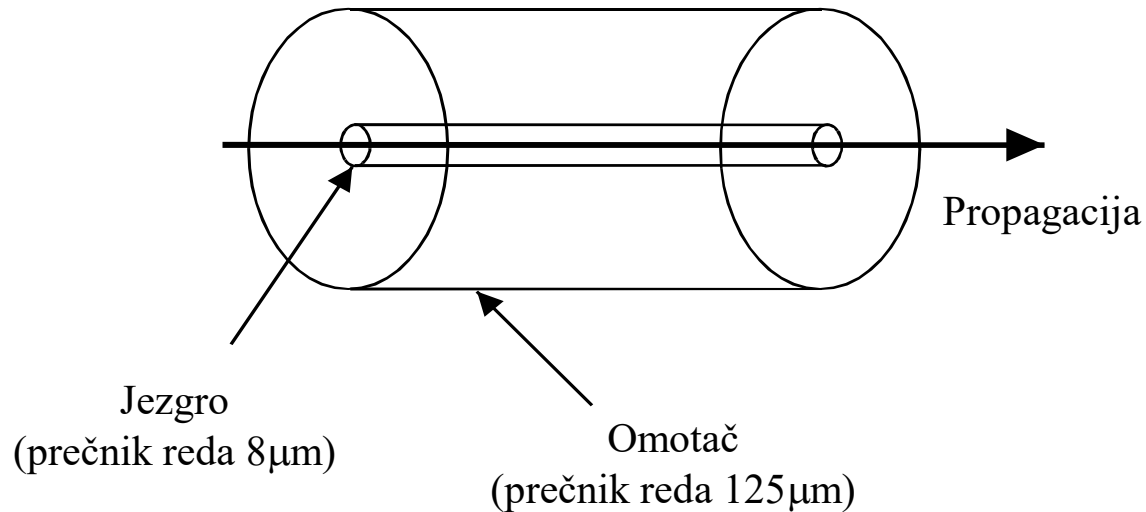
Kablovi sa optičkim vlaknima

- Indeks prelamanja svjetlosti jezgra je uvijek veći od indeksa prelamanja omotača. Indeks prelamanja (n) neke sredine je odnos brzine prostiranja svjetlosti u slobodnom prostoru ($c=3 \cdot 10^8$ m/s) i u toj sredini (v):

$$n=c/v$$

- U odnosu na način prostiranja svjetlosti duž vlakna, razlikuju se:
 - **monomodna** i
 - **multimodna** vlakna.
- Kod monomodnih vlakana postoji samo jedna putanja prostiranja svjetlosti duž jezgra. Za smanjivanje broja refleksija od ivice jezgra, potrebno je da jezgro bude što je moguće manje (reda $8\mu\text{m}$), što stvara probleme u proizvodnji.
- Multimodna vlakna, imaju veći prečnik jezgra i veći broj putanja prostiranja dobijenih refrakcijom svjetlosnog zraka. Postojanje više putanja prostiranja različitih dužina, a time i različitih vremena potrebnih za prelazak vlakna, dovodi do toga da se pojedinačni elementi signala (impulsi) rasipaju u vremenu. Ova pojava zove se **modalna disperzija**

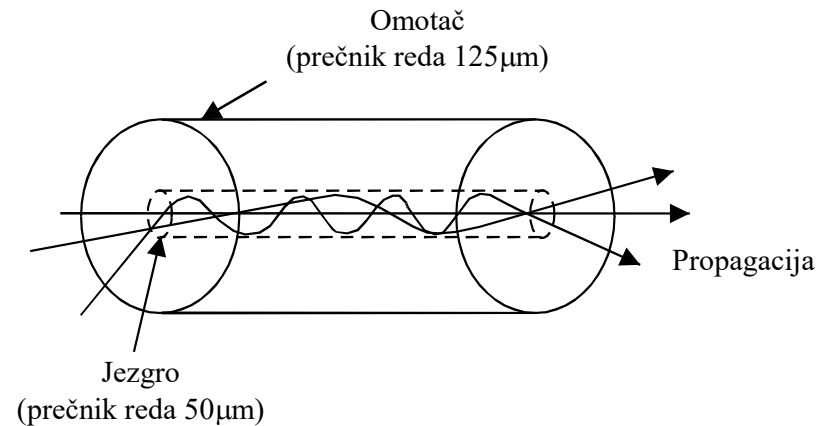
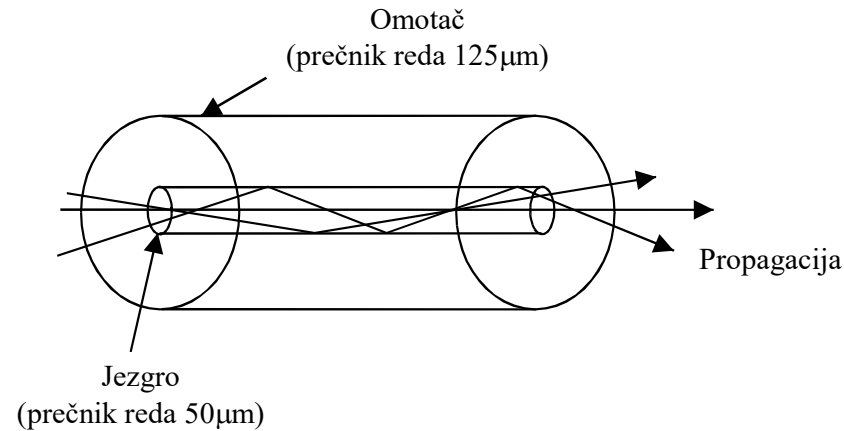
Kablovi sa optičkim vlaknima



Prostiranje svjetlosti duž jezgra kod monomodnih vlakana

- Tipične vrijednosti slabljenja monomodnog optičkog vlakna se kreću u opsegu **od 0,3 do 0,4 dB/km**.
- U praksi se uobičajeno sreću dvije vrste multimodnih vlakana:
 - **dvoslojna** i
 - **gradijentna**.

Kablovi sa optičkim vlaknima



Putanje prostiranja svjetlosnih zraka kod dvoslojnih i gradijentnih multimodnih optičkih vlakana

Kablovi sa optičkim vlaknima

- Optička vlakna imaju brojne prednosti u odnosu na druge fiksne medijume, kada je prenos podataka u pitanju.
 - **Veća brzina prenosa.** Svjetlost se optičkim vlaknom prostire brzinom oko 300 miliona metara u sekundi.
 - **Veći kapacitet prenosa.** Protoci i do Tb/s (10^{12} b/s) se mogu realizovati optičkim vlaknima, dok za upredene parice gornja granica za sada iznosi 40Gb/s, ali na veoma kratkim rastojanjima
 - **Elektromagnetna izolacija.** Optička vlakna ne stvaraju elektromagnetnu interferenciju i nisu osjetljiva na spoljašnju interferenciju i atmosferska pražnjenja (ukoliko su vlakna organizovana u okviru kabla koji nije armiran).
 - **Manje slabljenje.** Slabljenje raste sa rastojanjem sporije nego u slučaju prenosa električnim medijumima, čime se omogućava postavljanje ripitera na većim razmacima
 - **Nema problema preslušavanja i refleksije,** prisutnih kod upredenih parica i koaksijalnih kablova.
 - **Manja vjerovatnoća greške.** Vjerovatnoće greške reda 10^{-9} su tipične, u odnosu na 10^{-6} za koaksijalne kablove

Kablovi sa optičkim vlaknima

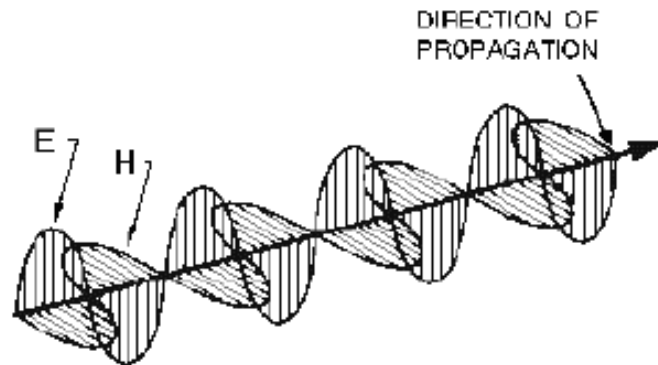
- Prednosti optičkih vlakana:
 - **Manji su i lakši.** Tipično, kablovi sa optičkim vlaknima imaju deset puta manju težinu od koaksijalnih kablova, tanji su i lakši za ugradnju.
 - Optička vlakna su otporna na koroziju i vlagu.
 - Troškovi održavanja su manji nego za električne kablove. Takođe je i srednje vrijeme između otkaza znatno duže
- Optička vlakna su danas sve zastupljeniji medijum za prenos zbog svojih brojnih dobrih osobina.
 - Svi linkovi koji čine okosnicu interneta, magistralne pravci telekomunikacionih kompanija, čak i veze između rutera unutar zgrada, tj. sve veze gdje je potrebna velika brzina i pouzdan prenos podataka koriste ovaj medijum za prenos, ako to mogućnosti dozvoljavaju.
 - Tendencija je da se kablovima sa optičkim vlaknima ide do krajnjih korisnika (**FTTH** - *fiber to the home*), ili što je moguće bliže krajnjim korisnicima (**FTTB** – *fiber to the building* ili **FTTC** – *fiber to the curb*), da bi se omogućio širokopojasni pristup Internetu, HD TV servisi, itd.

Termin 2 - Sadržaj

- Vrste medijuma za prenos
- Kablovi sa upredenim bakarnim paricama
- Koaksijalni kablovi
- Kablovi sa optičkim vlaknima
- Bežični prenos
- Pojam modulacije

Elektromagnetni talas

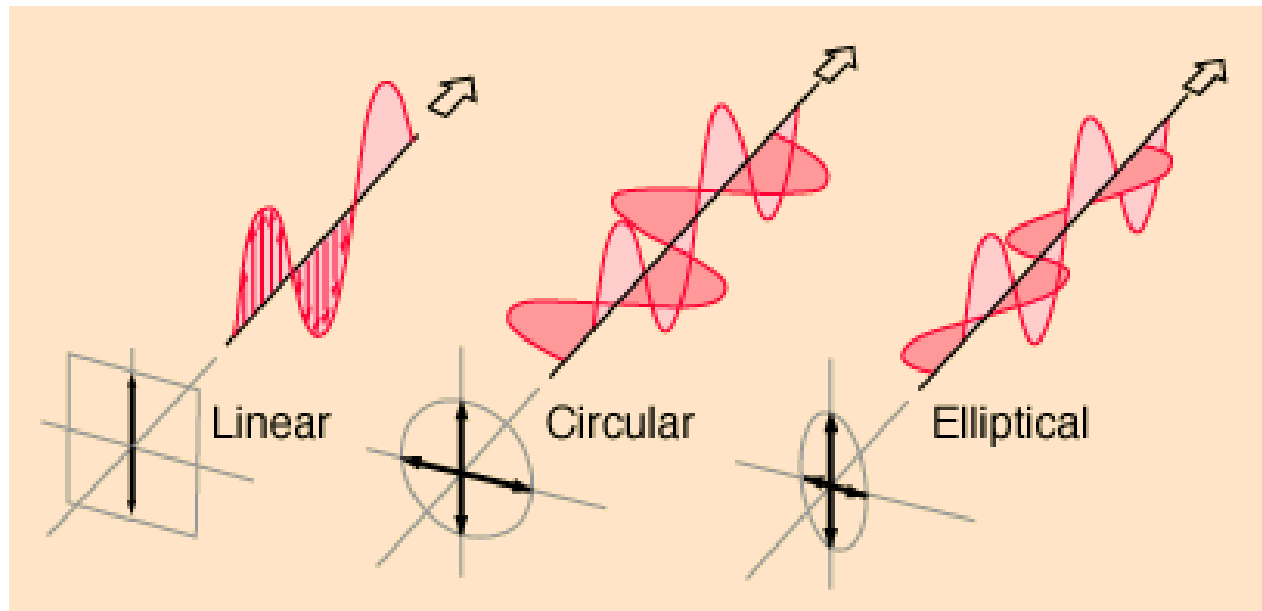
- **Elektromagnetni talas (EMT)**, ili radio talas, predstavlja oblik energije koji emituje predajna antena, a koji u sebi sadrži komponentu električnog polja (E) i komponentu magnetnog polja (H)
- EM energija koju emituje predajna antena se u vidu sfere širi u prostoru. Svaki dio te sfere je normalan na pravac prostiranja EM energije, i naziva se **talasni front**
- Obično su sve tačke na talasnom frontu na istoj udaljenosti od predajne antene, i sve komponente E polja (kao i komponente H polja) su u fazi



E i H komponente radio talasa

Polarizacija radio talasa

- **Ravan polarizacije** radio talasa se uobičajeno predstavlja kao ravan u kojoj se komponenta električnog polja (E) prostire u odnosu na površinu Zemlje
- Da bi prijemna antena absorbovala što veću energiju iz radio talasa, neophodno je da bude postavljena u ravni polarizacije, tj. **paralelno sa linijama električnog polja**
- Elektromagnetni talas (EMT) može biti polarisan:
 - **Linearno,**
 - **Eliptično,**
 - **Cirkularno.**

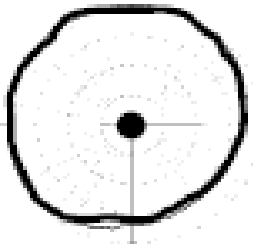


Antene

- **Antena** – konvertuje električnu energiju u elektromagnetni (EM) talas na strani predajnika
- Prijemna antena konvertuje elektromagnetni talas u električnu energiju
 - Ista antena se u većini sistema koristi za predaju i za prijem
- Bilo koji provodni materijal će se ponašati kao antena na proizvoljnoj frekvenciji
- Razlog zašto se koriste antene specifičnog dizajna je u cilju kreiranja kontrolisanog dijagrama zračenja
 - Ukupna emisiona snaga ostaje ista
- **Bez odgovarajuće, pravilno instalirane antene, i najbolji predajni i prijemni uređaji su beskorisni**
- Neke od bitnih karakteristika antene su: **dijagram (usmjerenost) zračenja, pojačanje, radni opseg, karakteristična impedansa, polarizacija,...**

Antene

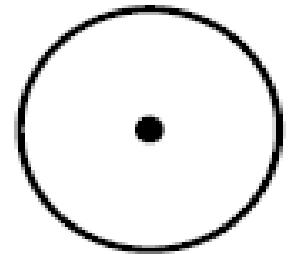
- U zavisnosti od dijagrama zračenja, antene se mogu podijeliti na:
 - **Omni-direkzione antene** – emituju EM energiju u svim pravcima
 - **Direkzione antene** – imaju usmjereno zračenje
- Kao teorijski model antene koja emituje EM energiju podjednako u svim pravcima koristi se **izotropna antena**



a)



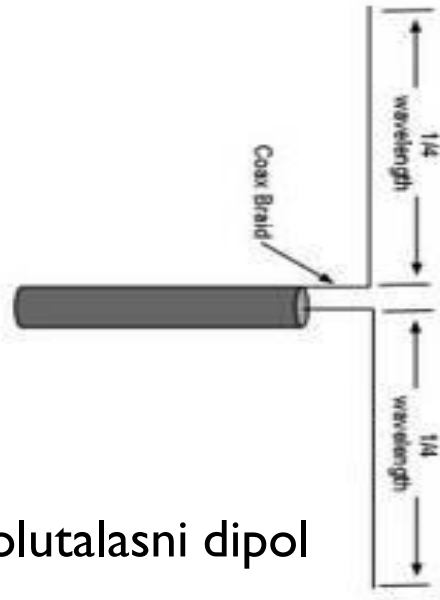
b)



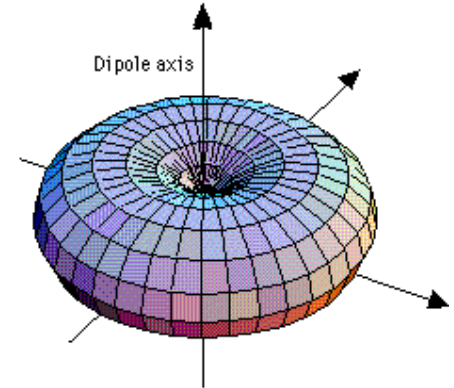
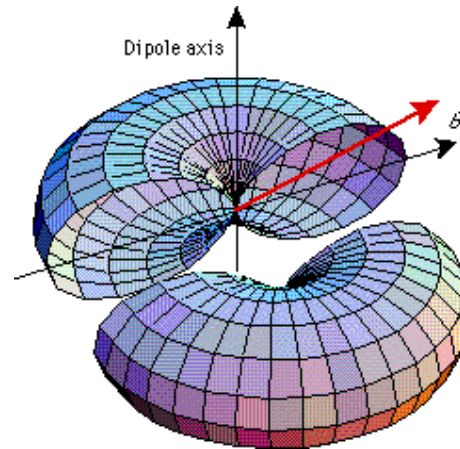
c)

Dijagrami zračenja u horizontalnoj ravni : a) Omni-direkzione antene;
b) Direkzione antene; c) Izotropne antene

Antenski dobitak



Polutalasni dipol



Dijagram zračenja polutalasnog dipola

$$\text{Slabljenje} = \log_{10} \frac{P_{in}}{P_{out}} \quad [\text{Bel}]$$

$$\text{Slabljenje} = 10 \log_{10} \frac{P_{in}}{P_{out}} \quad [\text{dB}]$$

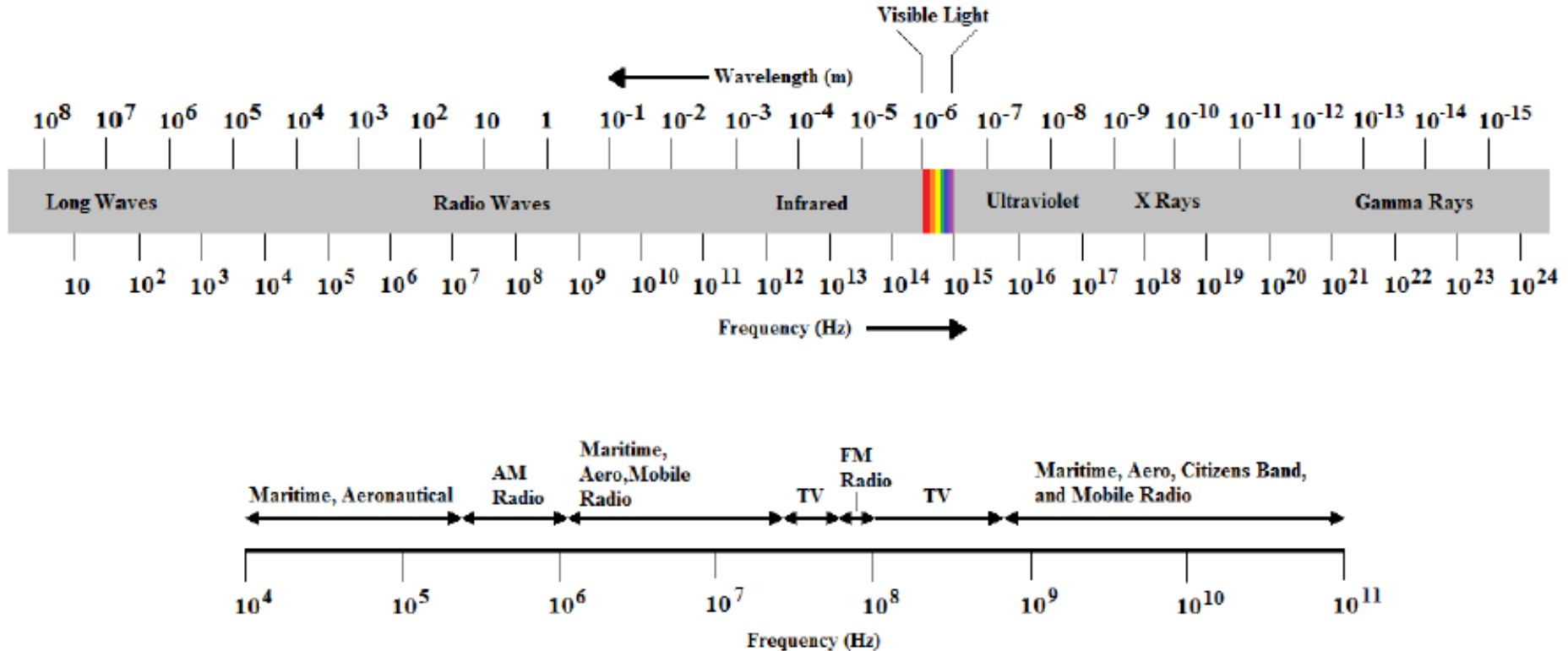
$$\text{Slabljenje} = 20 \log_{10} \frac{V_{in}}{V_{out}} \quad [\text{dB}]$$

- Antenski dobitak (pojačanje antene) u odnosu na izotropnu antenu – **dB_i**
 - Antenski dobitak (pojačanje antene) u odnosu na polutalasnu dipol antenu - **dB_d**
- dB_i = dB_d + 2,15**

Antene

- U opštem slučaju, učestanosti ispod 1GHz su pogodnije za omnidirekciono zračenje, dok se na višim frekvencijama lakše ostvaruje usmjereno zračenje.
- Na nižim i srednjim frekvencijama, radio talasi mogu prodirati kroz zidove, stakla, i slične prepreke, što se prednost ukoliko treba ostvariti prijem signala i unutar objekata.
 - Sa druge strane ovo može biti nedostatak, u slučajevima kada se zahtijeva da se komunikacija izoluje i ostane sam unutar objekta, ili samo izvan objekta, da bi se smanjio nivo interferencije.

Elektromagnetni spektar



- Radio spektru pripadaju učestanosti od 3kHz do reda 300 GHz

Klasifikacija podopsega

- **ITU-R** (*International Telecommunication Union - Radio*) klasifikacija podopsega, koji su od značaja:
 - Low Frequency - LF (**30KHz – 300kHz**; $\lambda=1\text{km}-10\text{km}$)
 - Medium Frequency - MF (**300KHz – 3MHz**; $\lambda=100\text{m}-1\text{km}$)
 - High Frequency - HF (**3MHz – 30MHz**; $\lambda=10\text{m}-100\text{m}$)
 - Very High Frequency - VHF (**30MHz – 300MHz**; $\lambda=1\text{m}-10\text{m}$)
 - Ultra High Frequency - UHF (**300MHz – 3GHz**; $\lambda=10\text{cm}-1\text{m}$)
 - Super High Frequency - SHF (**3GHz – 30GHz**; $\lambda=1\text{cm}-10\text{cm}$)
 - Extremely High Frequency - EHF (**30GHz – 300GHz**; $\lambda=0.1\text{cm}-1\text{cm}$)

Klasifikacija podopsega

Tip talasa	Opis učestanosti	Oznaka	λ	f
Dugi talasi	Niske učestanosti	LF	10km-1km	30kHz-300kHz
Srednji talasi	Srednje učestanosti	MF	1km-100m	300kHz-3MHz
Kratki talasi	Visoke učestanosti	HF	100m-10m	3MHz-30MHz
Vrlo kratki talasi	Vrlo visoke učestanosti	VHF	10m-1m	30MHz-300MHz
Ultra kratki talasi	Ultra visoke učestanosti	UHF	1m-10cm	300MHz-3GHz
Super kratki talasi	Super visoke učestanosti	SHF	10cm-1cm	3GHz-30GHz

Klasifikacija podopsega

- U odnosu na namjenu, svi opsezi se dijele na:
 - **Nelicencirane** – za čije korišćenje se ne plaća nikakva nadoknada i
 - **Licencirane.**
- **Nelicencirani opsezi – ISM** (*Industrial, Science, Medical*)
 - U ISM opsezima funkcionišu sve **WLAN mreže, bežični telefoni, bluetooth veze, zigbee senzorske mreže**
- U nelicenciranim opsezima je strogo ograničena izračena snaga

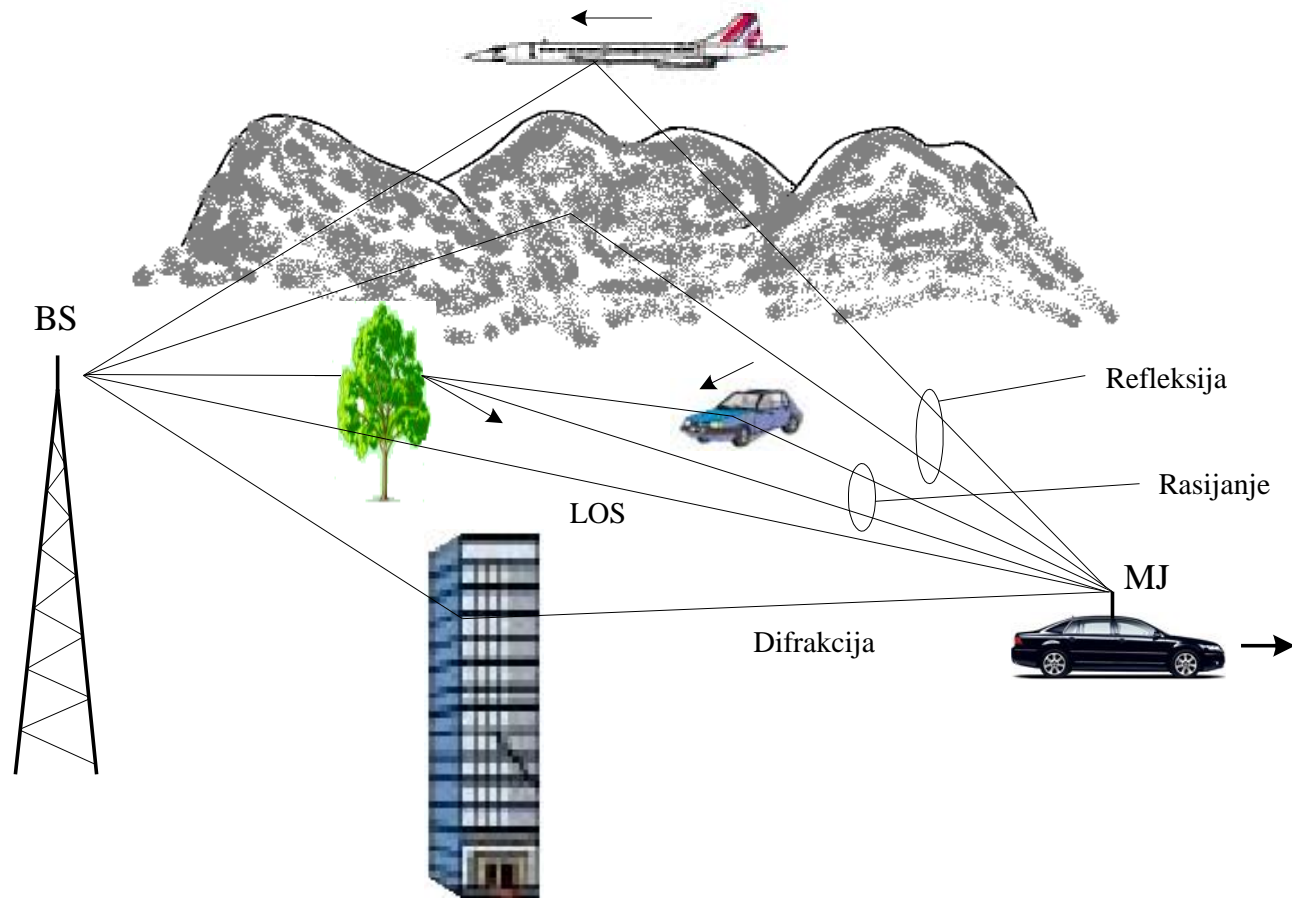
Osnovne osobine

- VHF/UHF kanali koji se koriste u:
 - Javnim i privatnim mobilnim radio sistemima,
 - Radio- i TV- difuziji,
 - WLAN mrežama,...predstavljaju primjere **kanala sa vremenski promjenljivim parametrima**.
- Mehanizam prostiranja signala je uglavnom nepredvidljiv
- Karakteristike prijemnog signala su promjenljive u vremenu i određuju se na statističkoj osnovi
- Pojave karakteristične za komunikacije preko vremenski promjenljivih kanala:
 - Prostiranje signala višestrukim putanjama (*Multipath* prostiranje),
 - varijacije srednje snage signala u zavisnosti od trase kretanja korisnika (*shadowing*),
 - interferencija (preklapanje sa signalima iz istog ili drugih sistema),
 - intersimbolska interferencija (ISI),
 - Doppler-ovo širenje uslijed mobilnosti,
 - šum, ...

Mehanizmi propagacije EMT

- Mehanizmi propagacije EMT između dvije tačke na Zemlji, ili između dvije tačke u proizvoljnim slojevima atmosfere su:
 - **Refleksija** (od površina čije su dimenzije $\gg \lambda$)
 - **Refrakcija** (povijanje talasa zbog nehomogenosti u medijumu)
 - **Difrakcija** (prelamanje talasa na ivici objekata dimenzija reda λ)
 - **Rasijanje (*scattering*)** (od mnoštva objekata čije su dimenzije $\ll \lambda$)
- Pri interakciji EMT sa različitim objektima i površinama dolazi i do apsorpcije i promjene polarizacije EMT.
- Sve navedene pojave pri prostiranju EMT su **frekvencijski zavisne**

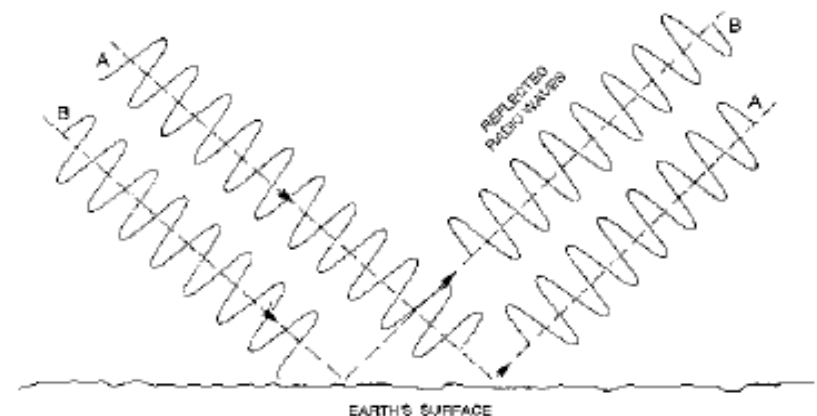
Mehanizmi propagacije EMT



Mehanizmi propagacije EMT u mobilnim celularnim sistemima

Refleksija

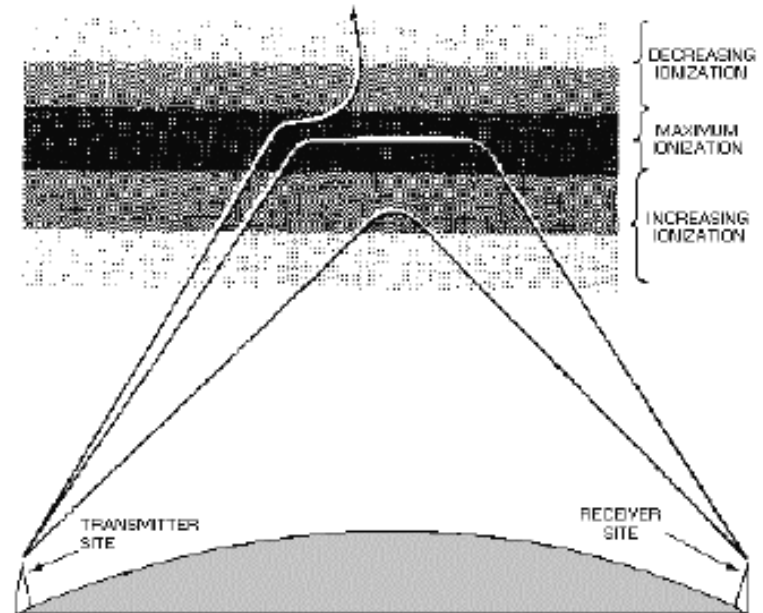
- Predstavlja pojavu **odbijanja EMT od površina čije su dimenzije znatno veće od talasne dužine EMT, λ .**
- Veličina refleksije zavisi od karakteristika površine (provodnosti) i upadnog ugla EMT.
 - Refleksija je veća od materijala koji imaju bolju provodnost (metalne površine).
 - Površina Zemlje ima dobre refleksione karakteristike
- Pri refleksiji od ravnih površina dolazi do promjene faze EMT
 - ✓ Zavisi od polarizacije talasa i od upadnog ugla



Refrakcija

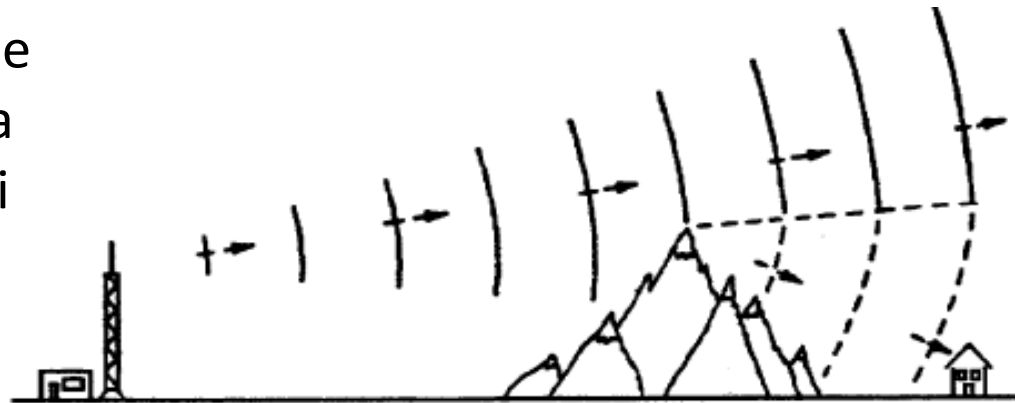
- Predstavlja pojavu **promjene pravca prostiranja (povijanja) EMT pri prelasku iz jedne u drugu sredinu** (ili pri promjeni karakteristike iste sredine), u kojima se razlikuju brzine prostiranja EMT.
- **Relativna dielektrična permeabilnost**, ϵ_r nije konstantna, već se mijenja sa visinom i zavisi od klimatskih uslova (temperature, pritiska, vodene pare).
- ϵ_r obično opada sa porastom visine.
- Indeks (koeficijent) refrakcije, $n = \sqrt{\epsilon_r}$
- Brzina prostiranja EMT, $v = c / \sqrt{\epsilon_r}$

- EMT se uvijek povija prema sredini (medijumu) u kojoj je manja brzina prenosa v .



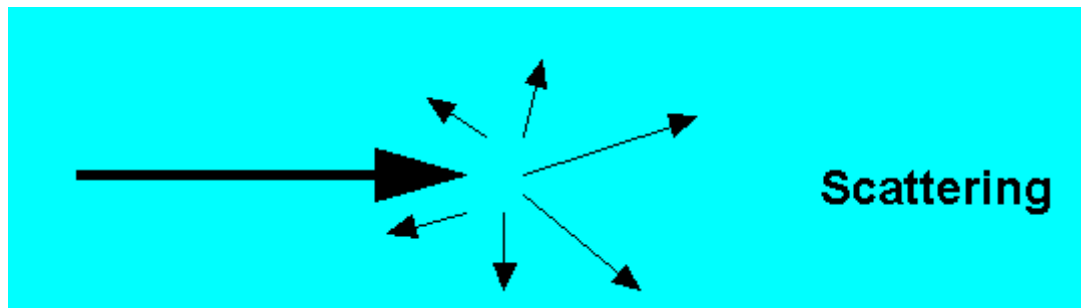
Difrakcija

- Predstavlja pojavu **prelamanja EMT na ivicama objekata čije su dimenzije reda λ** , odnosno savijanja oko objekata.
- Difrakcija omogućuje ostvarivanje radio-komunikacije i u **NLOS** (**Non-line of Sight**) slučajevima, tj. kada ne postoji direktna vidljivost između predajnika i prijemnika
 - **Ovaj mehanizam je od posebnog značaja za mobilne celularne sisteme**
- U principu, koristeći predajnike jako velike snage i veoma male učestanosti, EMT bi mogao da obiđe čitavu Zemlju zahvaljujući pojavi difrakcije.



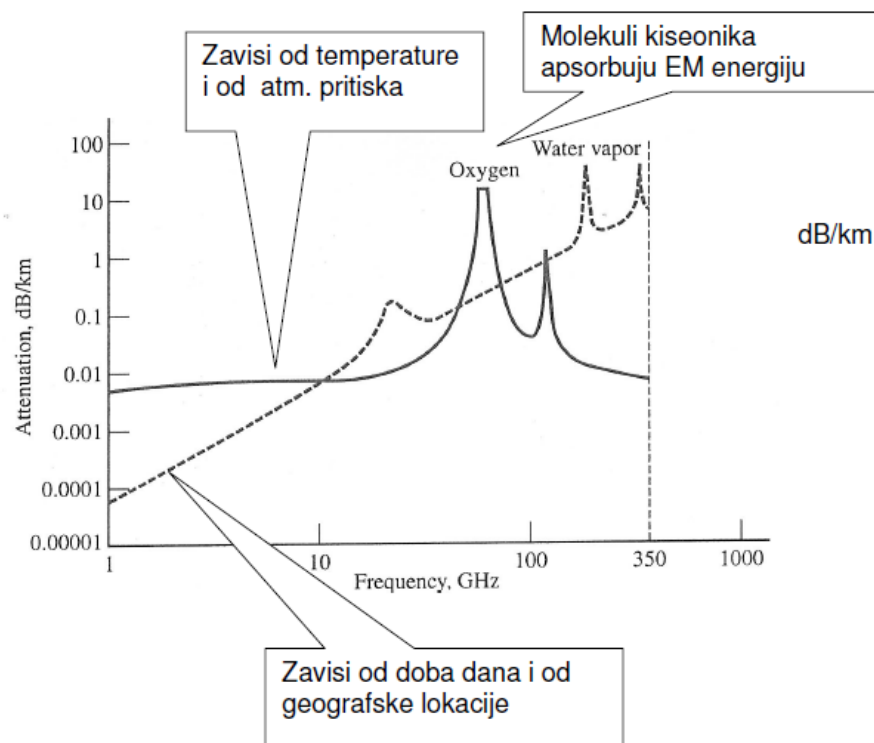
Rasijanje

- Rasijanje (*scattering*) EMT se dešava kada EMT naiđe na mnoštvo objekata (nehomogenosti u sredini kojom se prostire) čije su dimenzije znatno manje od λ , prilikom čega se energija upadnog EMT preraspodjeljuje u svim pravcima.
- Tačka rasijanja se može prikazati kao novi, ekvivalentni izvor EMT.
 - Rasijanje na UHF opsegu, kod mobilnih celularnih sistema se dešava na grubim površinama zidova, na lišću drveća, itd.
 - Do rasijanja može doći i na česticama u atmosferi



Apsorpcija

- Pri interakciji EMT s različitim objektima, uvijek se jedan dio energije talasa apsorbira (osim ako se ne radi o superprovodnim površinama).
- U atmosferi, na visokim učestanostima, prisustvo kapi kiše, vodene pare i molekula kiseonika dovodi do pojave apsorpcije.
- Fenomen apsorpcije bitno utiče na prostiranje i slabljenje signala u radio-relejnem kanalu, u satelitskom kanalu, i u WLAN kanalu na 60GHz.



Slabljenje signala u slobodnom prostoru

- Pri prostiranju signala radio linkom, slabljenje signala raste sa porastom frekvencije, i sa porastom rastojanja.
 - U slučaju prostiranja u slobodnom prostoru (nema prepreka između predajnika i prijemnika) slabljenje raste sa kvadratom porasta rastojanja, i sa kvadratom porasta učestanosti.
- **Friisova formula** za primljenu snagu pri prostiranju u slobodnom prostoru:

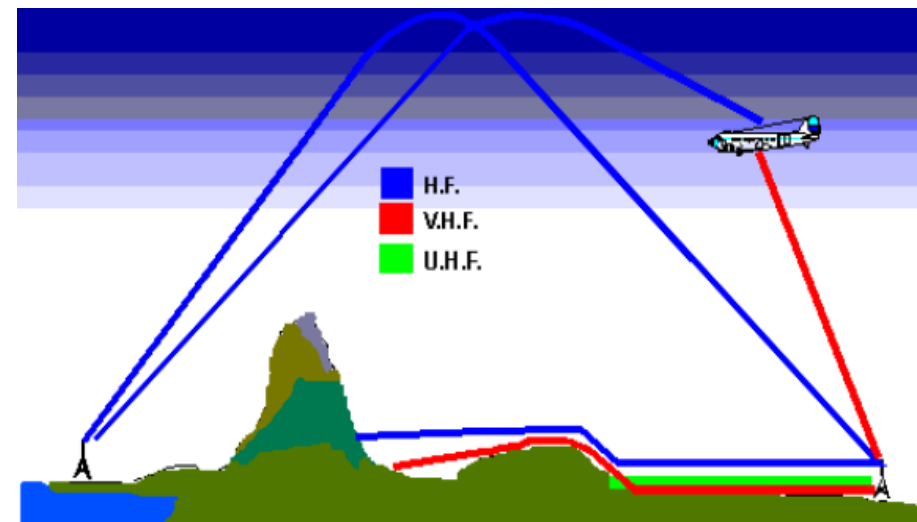
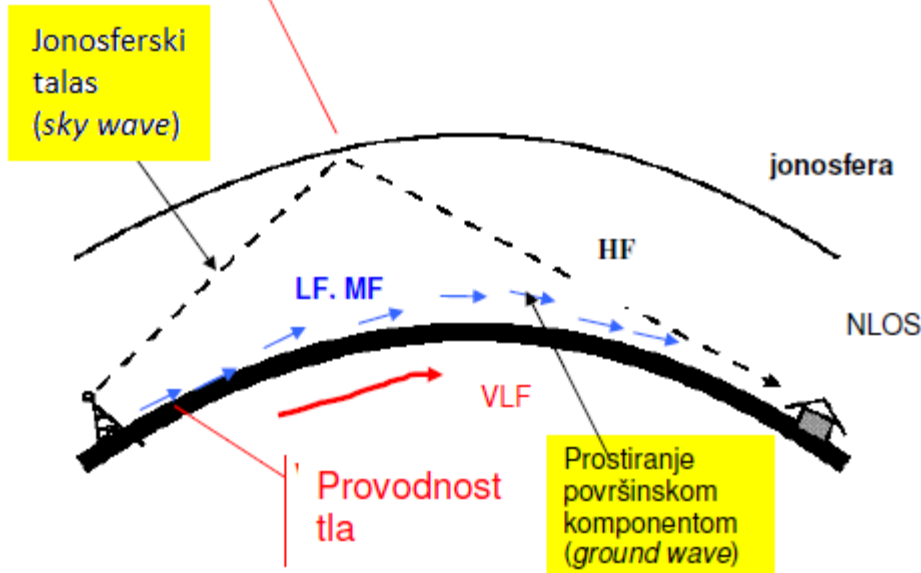
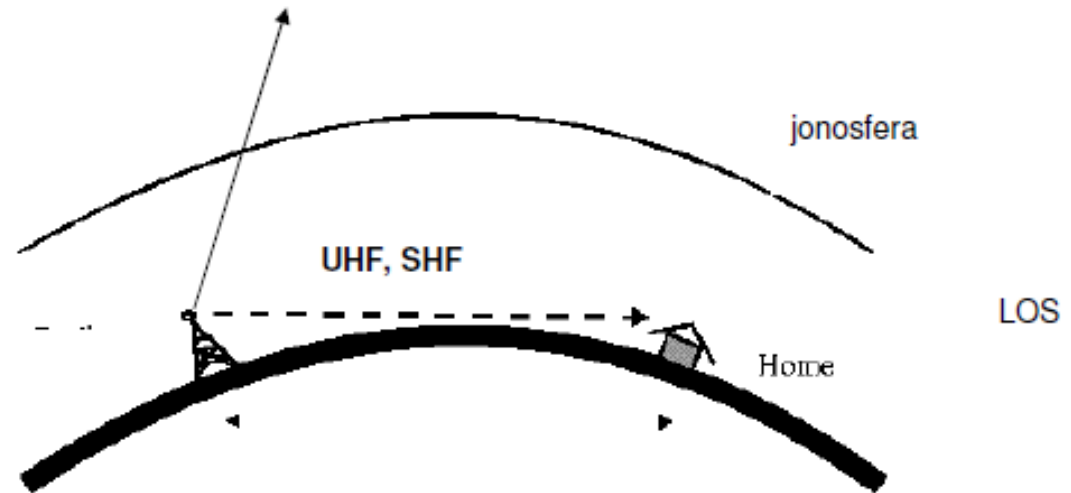
$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}, \quad d > 0$$

G_t i G_r predstavljaju pojačanja predajne i prijemne antene, respektivno.

Frekvencijska zavisnost propagacije EMT

- VLF: 3KHz – 30kHz
- LF: 30KHz – 300kHz
- MF: 300KHz – 3MHz
- HF: 3MHz – 30MHz
- VHF: 30MHz – 300MHz
- UHF: 300MHz – 3GHz
- SHF: 3GHz – 30GHz

- apsorpcija
- refrakcija
- refleksija

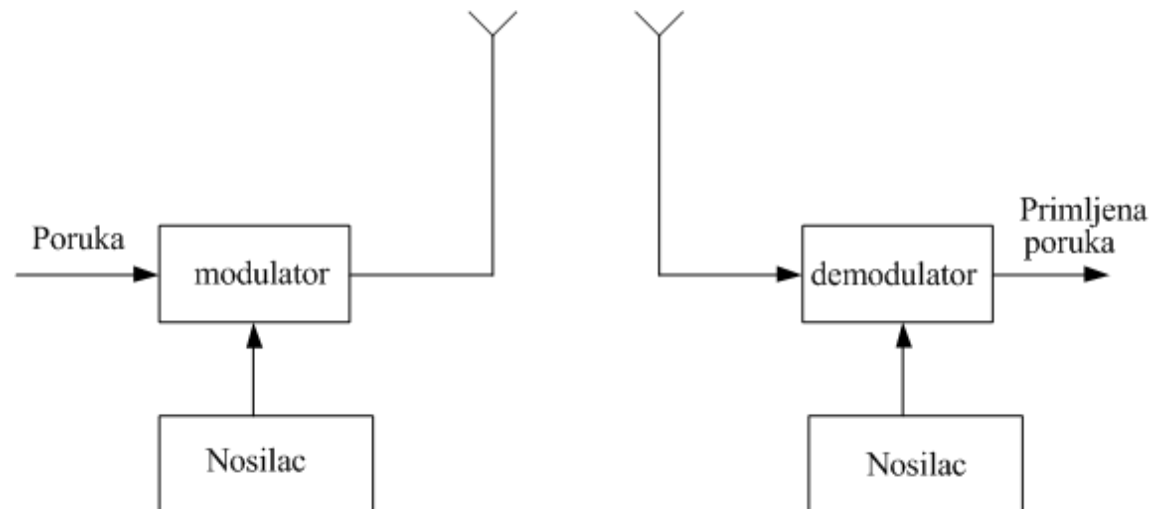


Termin 2 - Sadržaj

- Vrste medijuma za prenos
- Kablovi sa upredenim bakarnim paricama
- Koaksijalni kablovi
- Kablovi sa optičkim vlaknima
- Bežični prenos
- **Pojam modulacije**

Pojam modulacije

- Modulacija predstavlja postupak prilagođenja signala koji se prenosi medijumu za prenos.
- Modulacijom se signal poruke (**modulišući signal**) utiskuje u pomoćni signal (**nosilac**), tako da se neki od parametara nosioca mijenja u skladu sa promjena poruke
 - Kao pomoćni signal se obično koristi prostoperiodična (sinusna) funkcija, a u nekim slučajevima povorka pravougaonih impulsa
 - Signal na izlazu modulatora se označava kao **modulisani signal**

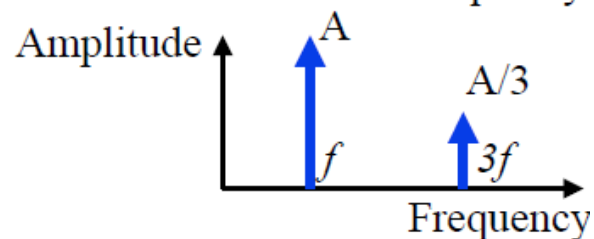
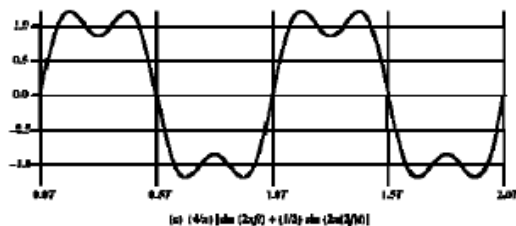
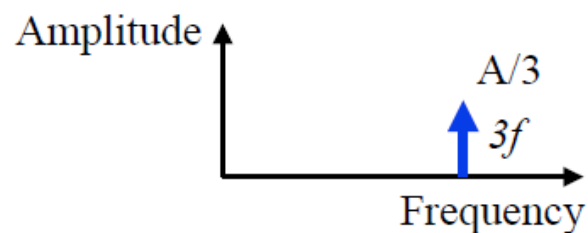
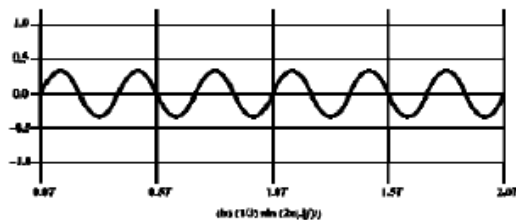
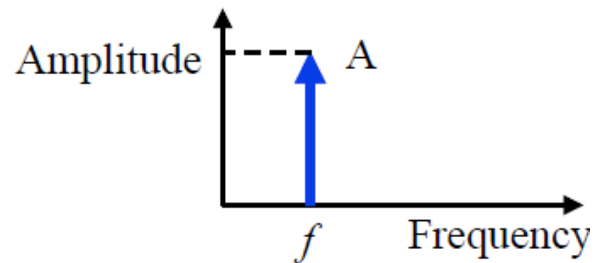
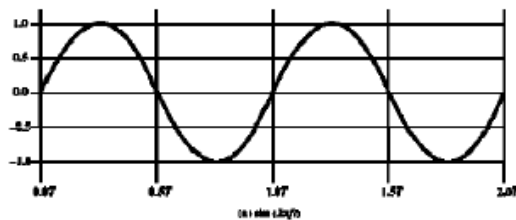


Pojam modulacije

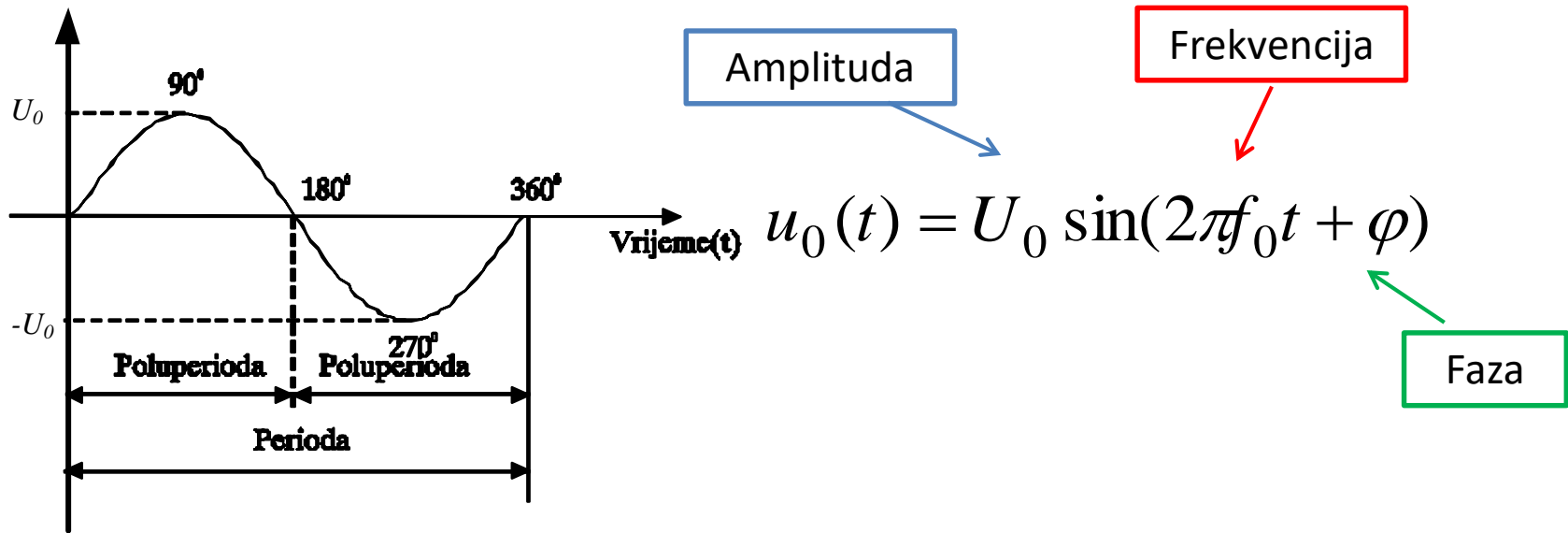
- Postupak modulacije može da se analizira u vremenskom i u frekvencijskom domenu
- Rezultati obrade signala postupkom modulacije mnogo jasnije se uočavaju u domenu učestanosti
- Različiti postupci modulacije imaju različite efekte na oblik signala u domenu učestanosti, kao što su:
 - Pomjeranje spektra signala na više učestanosti
 - Proširenje spektra signala,
 - Proširenje i pomjeranje spektra signala
- Ukoliko se u sistemu ne primjenjuje modulacija, onda kažemo da se signal prenosi **u osnovnom opsegu**
 - Ovakav tip prenosa nedovoljno koristi frekvencijski opseg koji ima na raspolaganju
 - Imaju mnogo manju primjenu nego sistemi prenosa sa modulacijom

Vremenski domen i domen učestanosti

- Svaki signal se može predstaviti u domenu vremena i u domenu učestanosti (spektar signala)
 - Spektri periodičnih signala su diskretni (linijski)
 - Spektri aperiodičnih signala su kontinualni

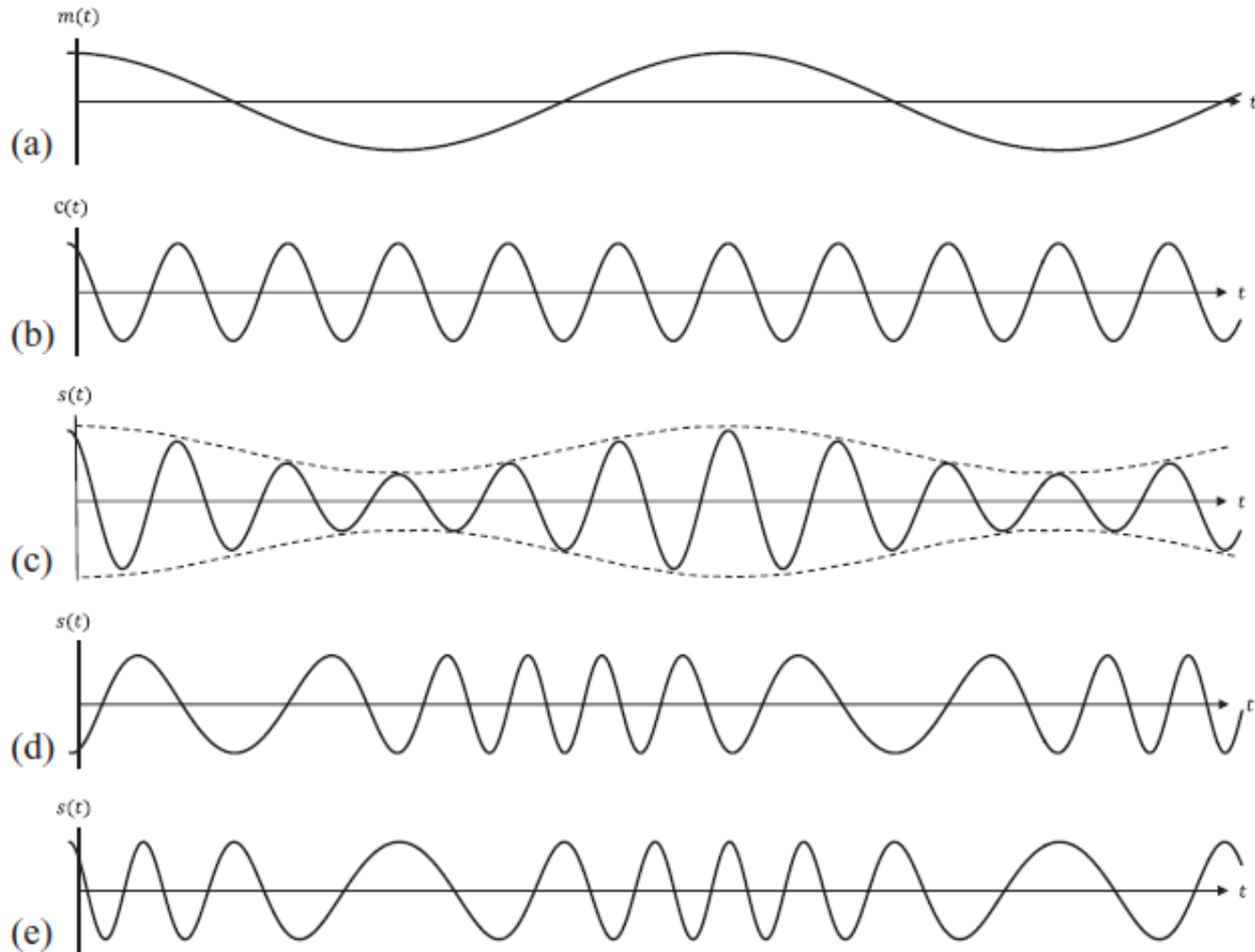


Pojam modulacije



- U zavisnosti od toga da li se signal poruke utiskuje u amplitudu, frekvenciju ili fazu nosioca razlikujemo sledeće osnovne tipove modulacije:
 - Amplitudska modulacija (AM – *Amplitude Modulation*)
 - Frekvencijska modulacija (FM – *Frequency Modulation*)
 - Fazna modulacija (PM – *Phase Modulation*)

Analogne modulacije



a) Modulišući signal, b) Nosilac, c) AM signal, d) PM signal, e) FM signal

Digitalne modulacije

- Ako je modulišući signal (poruka) digitalni, onda govorimo o digitalnim modulacijama
- Postoje različite vrste digitalnih modulacija, a osnovni tipovi su:
 - ASK – Amplitude Shift Keying
 - FSK – Frequency Shift Keying
 - PSK – Phase Shift Keying
- U praksi, poseban značaj danas imaju višenivoovske amplitudsko-fazne digitalne modulacije (M-QAM)

Digitalne modulacije

