

IZOBLIČENJA U PRENOSU SIGNALA

Pri prenosu signala telekomunikacionim sistemom (ili sklopom) može doći do izobličenja zbog:

- odstupanja funkcije prenosa sistema od idealne
- nepoklapanja opsega signala i propusnog opsega sistema
- kombinacije prethodna dva slučaja

Sistem koji ima idealnu funkciju prenosa i čiji se propusni opseg poklapa sa opsegom signala na ulazu nije moguće realizovati. Drugim riječima, fizički nije moguće postići istovremeno oba uslova za idealan prenos.

- Odstupanja od uslova idealnog prenosa uvijek dovode do pojave ***izobličenja*** u signalu koji se prenosi.

LINEARNA IZOBLIČENJA

Razlikuju se tri vrste linearnih izobličenja:

1. amplitudska izobličenja – nastaju u linearnim sistemima u kojima amplitudska karakteristika odstupa od idealne (tj. zavisna je od učestanosti), dok karakteristika faznog kašnjenja ne odstupa od uslova za prenos bez izobličenja:

$$|H(j\omega)| = A(\omega) \neq \text{const}, \quad \theta(\omega) = \omega t_0 \pm n\pi$$

2. fazna izobličenja - karakteristika faznog kašnjenja odstupa od idealne, dok amplitudska karakteristika zadovoljava uslov za prenos bez izobličenja:

$$|H(j\omega)| = A(\omega) = A = \text{const}, \quad \theta(\omega) \neq \omega t_0 \pm n\pi$$

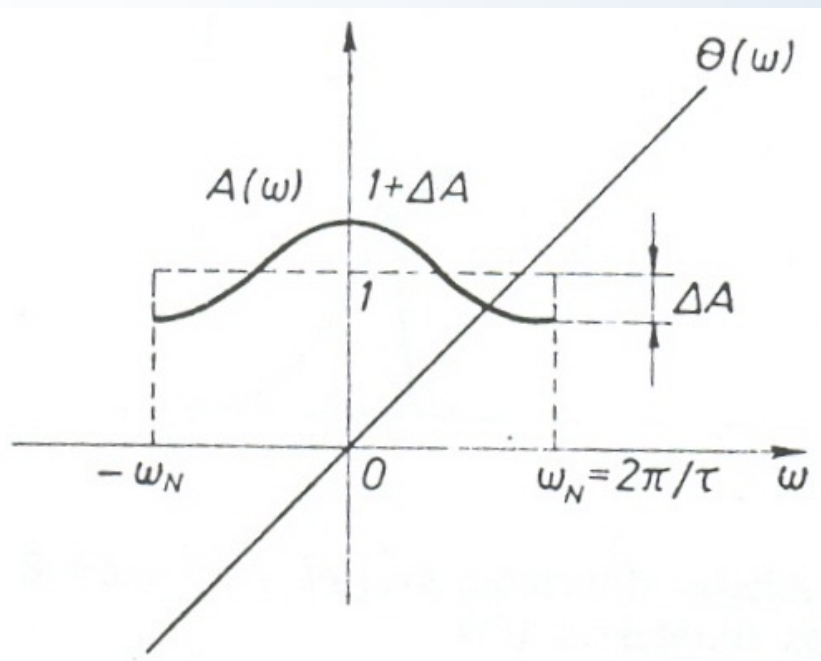
3. kombinovana izobličenja – i amplitudska karakteristika i karakteristika faznog kašnjenja odstupaju od idealne:

$$|H(j\omega)| = A(\omega) \neq \text{const}, \quad \theta(\omega) \neq \omega t_0 \pm n\pi$$

ANALIZA AMPLITUDSKIH IZOBLIČENJA METODOM UPARENIH ODJEKA

Posmatrajmo sistem propusnik niskih učestanosti.

-Kako bi proučili uticaj samo **amplitudskih** izobličenja, neka amplitudska karakteristika odstupa od idealne, tj. zavisi od učestanosti, a karakteristika faznog kašnjenja je linearna, tj:



$$A(\omega) = \begin{cases} 1 + \Delta A \cos \frac{\tau}{2} \omega & \text{za } |\omega| < \frac{2\pi}{\tau} = \omega_N \\ 0 & \text{za } |\omega| > \frac{2\pi}{\tau} = \omega_N \end{cases}$$

$$\theta(\omega) = \omega t_0$$

- Amplitudska karakterisitika je uvijek **parna funkcija** učestanosti.

Pretpostavimo da ulazni signal ima ograničen spektar u opsegu učestanosti od $\omega=0$ do $\omega=\omega_N$ (poklapa se sa propusnim opsegom sistema). Tada će izobličenja izlaznog signala biti isključivo uzrokovana neidealnošću amplitudske karakteristike.

U tim uslovima, kompleksni spektar izlaznog signala je:

$$Y(j\omega) = H(j\omega)X(j\omega) = \left(1 + \Delta A \cos \frac{\tau}{2} \omega\right) e^{-j\omega t_0} X(j\omega) =$$

$$Y(j\omega) = X(j\omega) \left(e^{-j\omega t_0} + \frac{\Delta A}{2} e^{-j\omega \left(t_0 - \frac{\tau}{2}\right)} + \frac{\Delta A}{2} e^{-j\omega \left(t_0 + \frac{\tau}{2}\right)} \right)$$

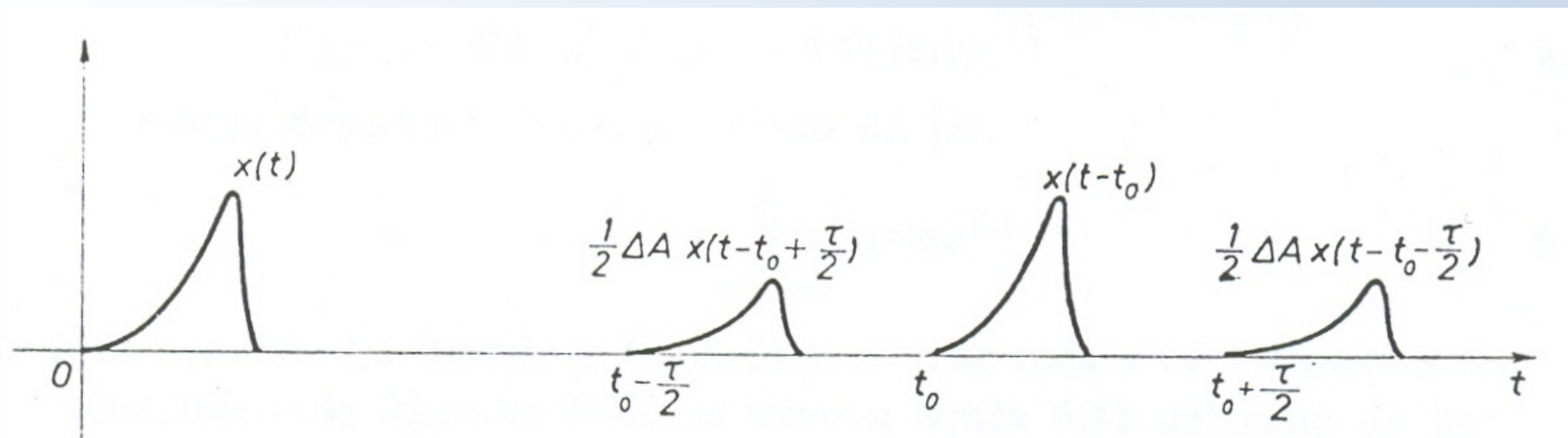
pa se dobija izlazni signal $y(t)$:

$$y(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} Y(j\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

$$y(t) = x(t - t_0) + \frac{1}{2} \Delta A x\left(t - t_0 + \frac{\tau}{2}\right) + \frac{1}{2} \Delta A x\left(t - t_0 - \frac{\tau}{2}\right)$$

Očigledno je da se izraz za izlazni signal sastoji iz tri člana:

1. poslati signal koji u vremenu kasni za t_0
2. drugi i treći član predstavljaju nove signale koji su se pojavili na izlazu iz sistema zbog amplitudskog izobličenja. Njihov talasni oblik je sličan originalnom, samo je amplituda pomnožena koeficijentom $(1/2)\Delta A$, a fazno su pomjereni za $t_0 - \tau/2$ i $t_0 + \tau/2$. Javljaju se u paru, lijevo i desno oko prenošenog signala $x(t-t_0)$, pa se nazivaju **upareni odjeci**.



Slika: Pojava uparenih odjeka nastalih uslijed amplitudskih izobličenja prenošenog signala $x(t)$ u sistemu sa navedenom funkcijom prenosa

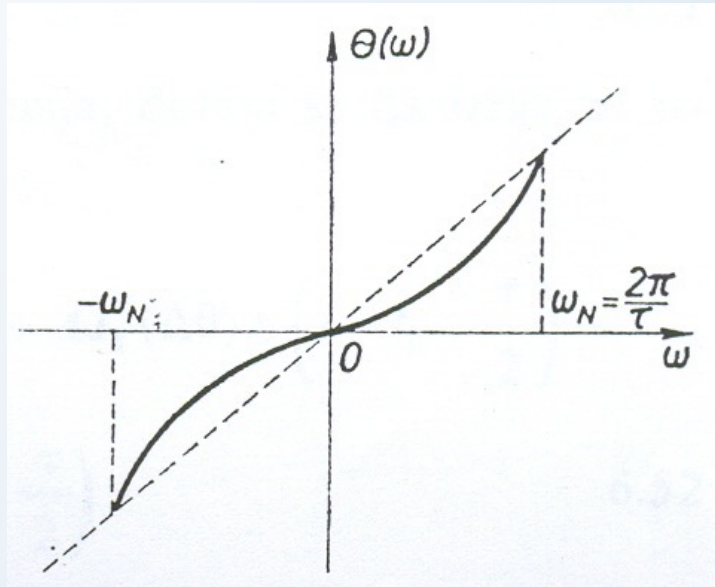
U prethodnoj analizi je pretpostavljen jedan specifičan oblik amplitudske karakteristike $A(\omega)$:

$$A(\omega) = \begin{cases} 1 + \Delta A \cos \frac{\tau}{2} \omega & \text{za } |\omega| < \frac{2\pi}{\tau} = \omega_N \\ 0 & \text{za } |\omega| > \frac{2\pi}{\tau} = \omega_N \end{cases}$$
$$\theta(\omega) = \omega t_0$$

Kako je amplitudska karakteristika ***parna*** funkcija, bilo koji drugačiji oblik zavisnosti A od učestanosti može da se razvije u Fourier-ov red u kome će se javiti ***kosinusni*** članovi. Kako je riječ o linearnim sistemima, važiće princip superpozicije, tj. svaki kosinusni član iz razvoja amplitudske karakteristike u red će izazvati pojavu po dva uparena odjeka lijevo i desno od signala $x(t-t_0)$.

ANALIZA FAZNIH IZOBLIČENJA METODOM UPARENIH ODJEKA

Posmatrajmo sistem propusnik niskih učestanosti čija amplitudska karakteristika ne zavisi od učestanosti, a karakteristika faznog kašnjenja nije linearna (kao na slici).



Pošto je $\theta(\omega)$ uvijek neparna funkcija od ω , pretpostavićemo faznu karakteristiku sledećeg oblika::

$$\theta(\omega) = \omega t_0 - \Delta\theta \sin \frac{\tau}{2} \omega$$

$$A(\omega) = |H(j\omega)| = A = \text{const.} \quad \text{za } |\omega| < \omega_N$$

Uz pretpostavku da se spektar ulaznog signala poklapa sa širinom propusnog opsega sistema (što znači da izobličenja nastaju samo usled nelinearnosti fazne karakteristike), spektar izlaznog signala će biti:

$$Y(j\omega) = H(j\omega)X(j\omega) = AX(j\omega)e^{-j\left(\omega t_0 - \Delta\theta \sin\frac{\tau}{2}\omega\right)}$$

Iz teorije Bessel-ovih funkcija važi:

$$e^{jmsinx} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m)e^{jnx} \quad \text{ i } \quad J_{-n}(m) = (-1)^n J_n(m)$$

gdje je $J_n(m)$ Bessel-ova funkcija prve vrste reda n od argumenta m .

$$Y(j\omega) = AX(j\omega)e^{-j\omega t_0} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\Delta\theta)e^{jn\frac{\tau}{2}\omega}$$

Za mali argument $m \ll 1$ Bessel-ova funkcija se može zapisati u obliku:

$$J_n(m) \approx \frac{m^m}{2^n n!}$$

Konačno se dobija, uz pretpostavku da je $\Delta\theta \ll 1$, da je spektar izlaznog signala:

$$Y(j\omega) \approx AX(j\omega)e^{-j\omega t_0} \left(J_0(\Delta\theta) + J_1(\Delta\theta)e^{j\frac{\tau}{2}\omega} - J_1(\Delta\theta)e^{-j\frac{\tau}{2}\omega} \right)$$

$$Y(j\omega) \approx AJ_0(\Delta\theta)X(j\omega)e^{-j\omega t_0} + AJ_1(\Delta\theta)X(j\omega)e^{-j\omega\left(t_0 - \frac{\tau}{2}\right)} - AJ_1(\Delta\theta)X(j\omega)e^{-j\omega\left(t_0 + \frac{\tau}{2}\right)}$$

Inverznom Fourier-ovom transformacijom se dolazi do izlaznog signala $y(t)$:

$$y(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} Y(j\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

$$y(t) = AJ_0(\Delta\theta)x(t-t_0) + AJ_1(\Delta\theta)x\left(t-t_0 + \frac{\tau}{2}\right) - AJ_1(\Delta\theta)x\left(t-t_0 - \frac{\tau}{2}\right)$$

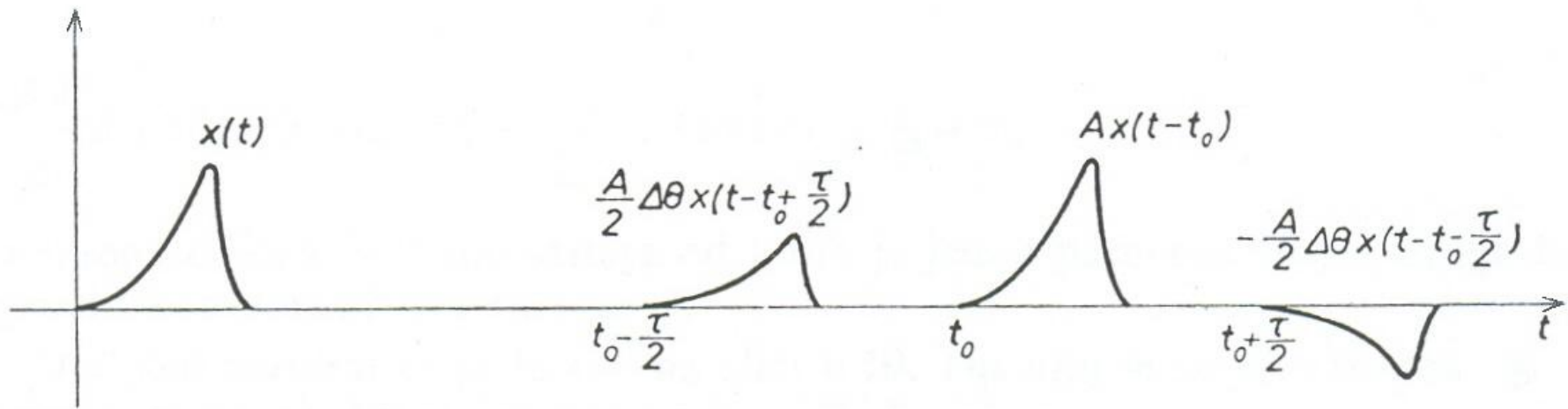
Koristeći aproksimacije za malo $\Delta\theta$:

$$J_0(\Delta\theta) \cong 1, \quad J_1(\Delta\theta) \cong \frac{1}{2}\Delta\theta$$

$$y(t) = Ax(t-t_0) + \frac{A}{2}\Delta\theta \cdot x\left(t-t_0 + \frac{\tau}{2}\right) - \frac{A}{2}\Delta\theta \cdot x\left(t-t_0 - \frac{\tau}{2}\right)$$

Uz učinjene pretpostavke dobija se odziv koji ima tri komponente:

1. komponenta $x(t-t_0)$ koja bi postojala u slučaju idealnog sistema prenosa
2. dva člana – **upareni odjeci**, lijevo i desno od glavne komponente, pri čemu desni odjek ima fazni pomeraaj od π .



Slika: Pojava uparenih odjeka nastalih usled faznih izobličenja prenošenog signala $x(t)$ u sistemu za pretpostavljenu funkciju prenosa

Ovaj slučaj se može generalizovati i za bilo koju proizvoljnu funkciju faznog kašnjenja. Kako je ona uvijek **neparna**, može da se razvije u Fourier-ov red koji sadrži samo **sinusne** članove, i svaki od njih će dati par odjeka. Njihovom superpozicijom se dobija talasni oblik izobličenog izlaznog signala $y(t)$.

UTICAJ ŠIRINE PROPUSNOG OPSEGA IDEALNOG SISTEMA ZA PRENOS NA TALASNI OBLIK PRENOŠENOG SIGNALA

Osnovna pretpostavka u razmatranjima idealnih sistema za prenos bila je da signal ima ograničen spektar i da se granice učestanosti u kome se on nalazi ***poklapaju sa graničnim učestanostima sistema za prenos.***

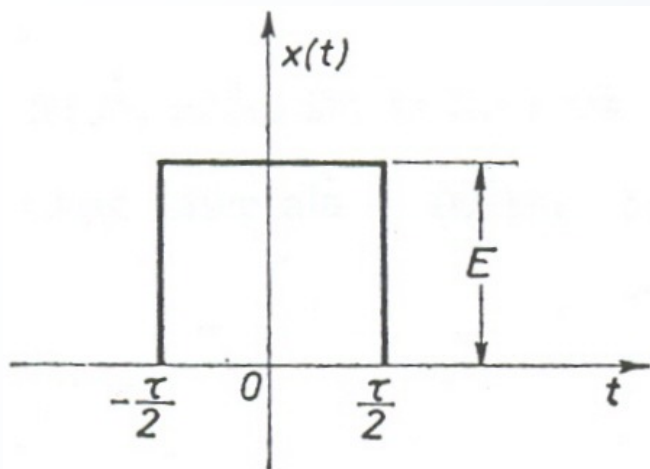
Razmatrajmo situaciju kada se signal prenosi kroz idealan linearni sistem pri čemu gore navedeni uslov nije ispunjen (odnosno propusni opseg sistema je manji od širine spektra signala).

1. PROPUSNIK NISKIH UČESTANOSTI

Posmatrajmo idealan sistem za prenos koji propušta samo komponente niskih učestanosti. Njegova funkcija prenosa je data izrazom:

$$H(j\omega) = A(\omega)e^{-j\theta(\omega)}$$
$$A(\omega) = \begin{cases} A = \text{const} & |\omega| < \omega_N \\ 0 & |\omega| > \omega_N \end{cases}, \quad \theta(\omega) = \omega t_0$$

Neka na ulaz sistema dolazi pravougaoni impuls:



$$X(j\omega) = \tau E \frac{\sin \frac{\omega\tau}{2}}{\frac{\omega\tau}{2}}$$

$$Y(j\omega) = \begin{cases} \tau E \frac{\sin \frac{\omega\tau}{2}}{\frac{\omega\tau}{2}} A e^{-j\omega t_0} & |\omega| < \omega_N \\ 0 & |\omega| > \omega_N \end{cases}$$

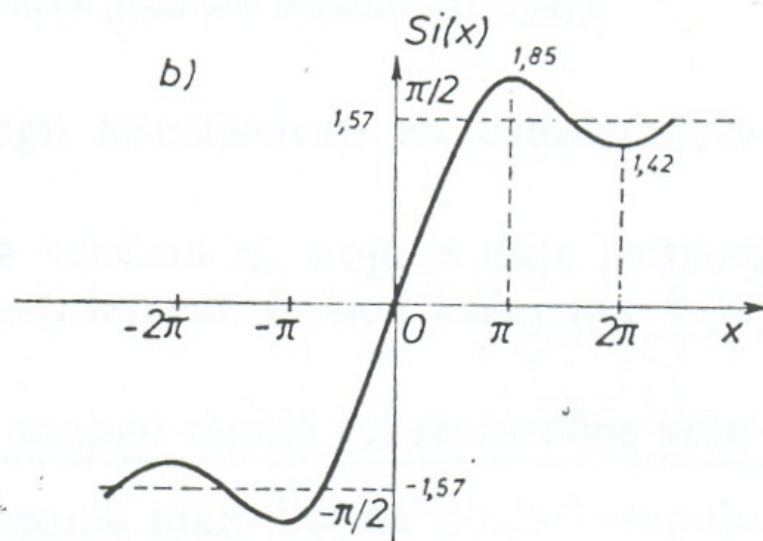
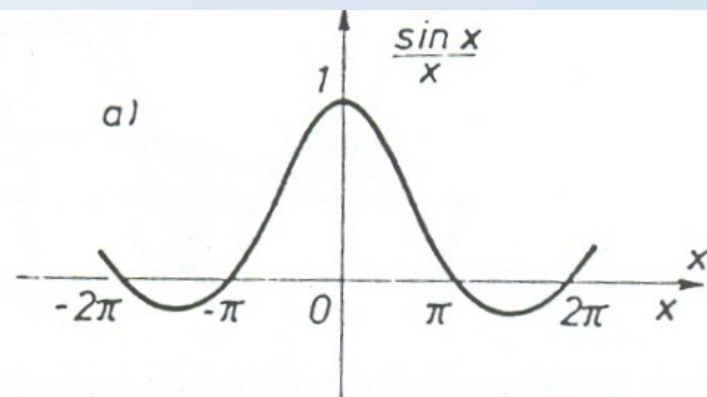
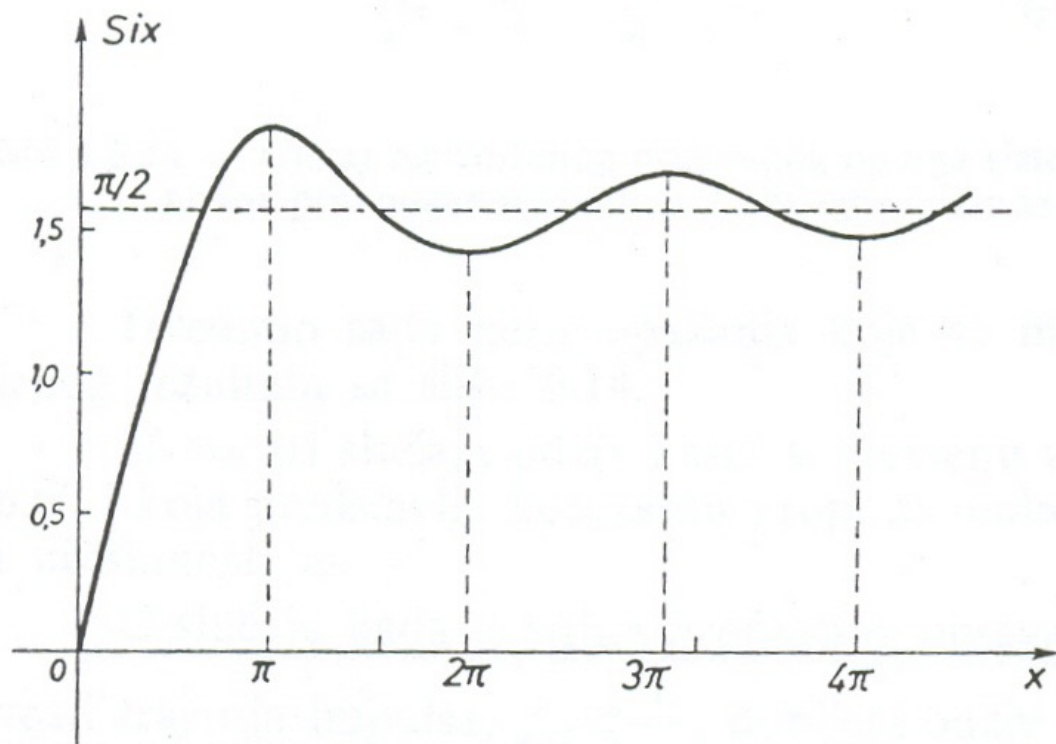
$$y(t) = \frac{AE\tau}{2\pi} \int_{-\omega_N}^{\omega_N} \frac{\sin \frac{\omega\tau}{2}}{\frac{\omega\tau}{2}} \cos \omega(t - t_0) d\omega = \frac{AE\tau}{2\pi} \int_{-\omega_N}^{\omega_N} \left(\frac{\sin \omega \left(t - t_0 + \frac{\tau}{2} \right)}{\frac{\omega\tau}{2}} - \frac{\sin \omega \left(t - t_0 - \frac{\tau}{2} \right)}{\frac{\omega\tau}{2}} \right) d\omega$$

$$y(t) = \frac{AE}{\pi} \int_0^{\omega_N \left(t - t_0 + \frac{\tau}{2} \right)} \frac{\sin x}{x} dx - \frac{AE}{\pi} \int_0^{\omega_N \left(t - t_0 - \frac{\tau}{2} \right)} \frac{\sin x}{x} dx$$

Integral funkcije $\sin x/x$ ne može da se riješi u zatvorenoj formi, tako da se definiše **sinus integral od x** funkcija:

$$Si(x) = \int_0^x \frac{\sin t}{t} dt$$

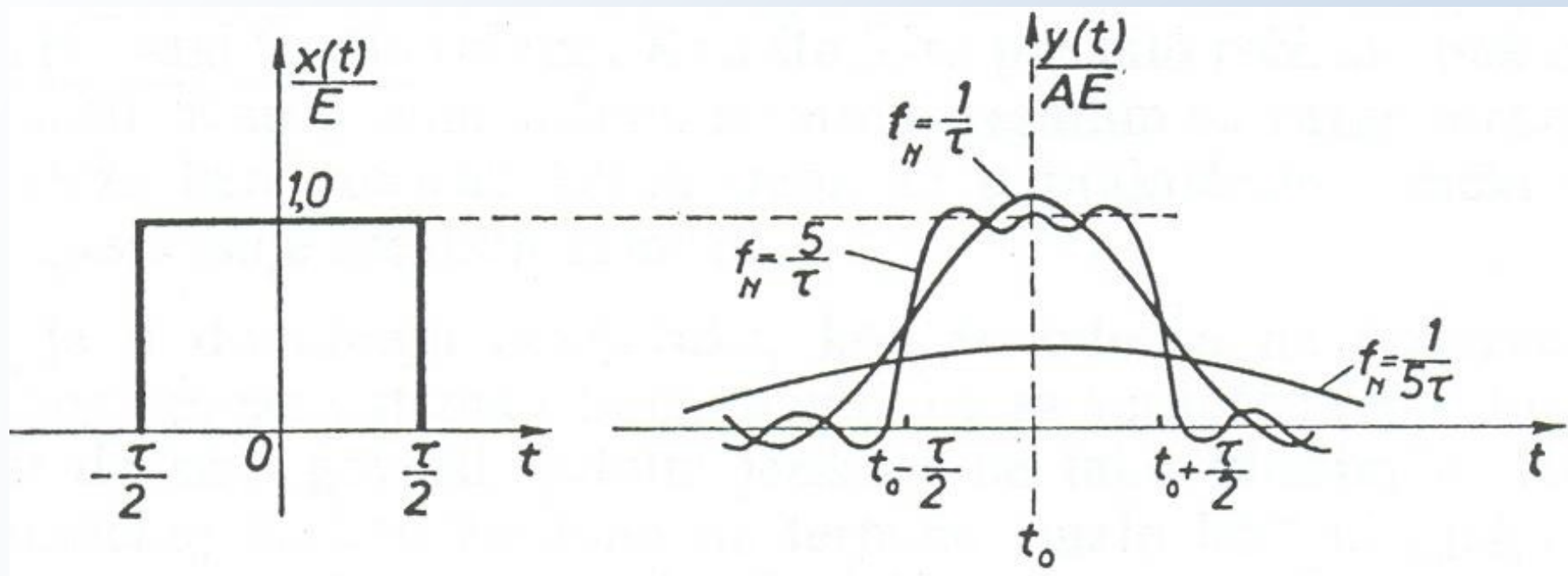
$$Si(-x) = -Si(x)$$



Sada možemo zapisati:

$$y(t) = \frac{AE}{\pi} \left\{ \text{Si} \left[\omega_N \left(t - t_0 + \frac{\tau}{2} \right) \right] - \text{Si} \left[\omega_N \left(t - t_0 - \frac{\tau}{2} \right) \right] \right\}$$

Za tri različite vrijednosti granične učestanosti $f_N = \omega_N / 2\pi$ ($f_N < 1/\tau$, $f_N = 1/\tau$ i $f_N \gg 1/\tau$), talasni oblici izlaznog signala prikazani su na slici:



Slika: Uticaj ograničenog propusnog opsega sistema propusnika niskih učestanosti na prenošeni pravougaoni impuls $x(t)$ i njegov odziv $y(t)$ za razne granične učestanosti

Na osnovu prikazanih rezultata, mogu se izvesti sledeći zaključci:

- U sva tri slučaja odziv ***kasni u vremenu*** za veličinu t_0 određenu faznim kašnjenjem koje unosi sistem za prenos.
- U slučaju kada je širina propusnog opsega znatno manja od recipročne vrijednosti trajanja impulsa ($f_N \ll 1/\tau$), dobijeni odziv veoma malo liči na poslati impuls (***izobličenje je vrlo veliko***).
- U slučaju kada je širina propusnog opsega jednaka recipročnoj vrijednosti trajanja impulsa ($f_N = 1/\tau$), dobijeni odziv omogućava da se prepozna da je bio poslat impuls i, relativno uzevši, liči na njega. Njegov talasni oblik je daleko od toga da bude pravougaonik.
- U slučaju kada je širina propusnog opsega znatno veća od recipročne vrijednosti trajanja impulsa ($f_N \gg 1/\tau$), dobijeni odziv znatno više liči na poslati pravougaoni impuls.
- Trenutak u kome se završava ulazni signal je $t = \tau/2$, dok izlazni signal traje beskonačno $t \rightarrow -\infty$. Ovakav rezultat ukazuje na neku nepravilnost. ***Ne može da postoji odziv na izlazu, a da ne postoji pobudni signal na ulazu u sistem.***

✓ Zaključak:

Idealan sistem propusnik niskih učestanosti sa proizvoljno odabranom amplitudskom i faznom karakteristikom ***ne može se realizovati***.

Prenos signala

Različite vrste poruka se, prije prenosa telekomunikacionim sistemima, transformišu u električne signale.

U zavisnosti od međusobnog odnosa karakteristika prenosnog puta, sa jedne strane, i predajnika i prijemnika, sa druge strane, prenos poruka (odnosno signala), može biti ostvaren u različitim formama. Postoje dva osnovna tipa prenosa poruka prenosnim medijumom komunikacionog sistema:

- analogni prenos i
- digitalni prenos.

Tako se razlikuju:

- analogni signali, kod kojih je analitički izraz kojim se opisuju promjene nekog od parametara signala u vremenu takav da predstavlja kontinualnu vremensku funkciju;
- digitalni signali, kod kojih je vremenska funkcija koja definiše promjene nekog od parametara signala predstavljena kombinacijom diskretnih elemenata koji su uzeti iz nekog konačnog skupa. Najjednostavnija forma digitalnih signala su binarni koji mogu imati jednu od dvije vrijednosti uobičajeno označene binarnim simbolima 0 i 1. U opštem slučaju, može se govoriti o M-arnim digitalnim signalima, čime se naglašava činjenica da su u pitanju signali koji u svakom pojedinačnom vremenskom trenutku mogu imati jednu od M različitih vrijednosti.

Električni signali se telekomunikacionim kanalom mogu prenositi u svom izvornom obliku – ***prenos u osnovnom (prirodnom, fizičkom) opsegu učestanosti***. Ovakav prenos je najjednostavniji.

Osim ovog, postoje i drugi načini prenosa koji zahtijevaju prethodnu obradu originalnog signala na strani predajnika (koder kanala). Cilj obrade je da se oblik signala na najbolji način prilagodi karakteristikama transmisionog medijuma (linije veze). Najčešće se takva obrada realizuje postupcima **modulacije i/ili kodiranja**.

Pri tome, nezavisno od toga da li se prenos obavlja u osnovnom opsegu ili ne, uobičajeno se polazilo od toga da se kontinualne poruke prenose analognim sistemima prenosa, dok su digitalni sistemi prenosa bili rezervisani za diskretne.

Međutim, s obzirom da svaki predajnik obavlja i funkciju prilagođavanja signala (dobijenog kroz postupak neposrednog pretvaranja poruke u njen električni ili svjetlosni ekvivalent) karakteristikama prenosnog puta, a u cilju ostvarivanja maksimalnog kvaliteta u prenosu, postoje i mogućnosti da se diskretne poruke prenose analognim sistemima prenosa, kao što se i kontinualne poruke mogu prenositi digitalnim signalima.

Vrsta poruke	Originalni signal	Vrsta prenosa	Postupak obrade
Kontinualna	Analogni	Analogni	Bez obrade (u osnovnom opsegu)
			Obrada signala (Modulacija)
		Digitalni	Kodiranje (analogno/digitalna konverzija)
Diskretna	Digitalni	Analogni	Modulacija
		Digitalni	Prenos u osnovnom opsegu (eventualno kodiranje)
			Obrada signala (modulacija)

Kada su u pitanju kontinualne poruke, na raspolaganju su sledeće mogućnosti:

- Prva se odnosi na njihov prenos analognim signalima, pri čemu je to moguće ostvariti bez primjene obrade signala (u osnovnom opsegu učestanosti) ili sa primjenom obrade signala. Prenos kontinualne poruke analognim signalom koji ne prolazi kroz fazu obrade u predajniku predstavlja tzv. prenos u osnovnom opsegu učestanosti. Jasno je da je struktura takvog predajnika vrlo jednostavna i uključuje samo pretvaranje poruke u signal.
- Prenos kontinualne poruke analognim signalom se može ostvariti i nakon njegove prethodne obrade kroz postupak modulacije kojim se može postići njegovo optimalno prilagodjenje karakteristikama prenosnog puta.
- Konačno, kada su u pitanju kontinualne poruke, moguć je i njihov prenos digitalnim signalom (digitalizacija). U tom slučaju, primjenom obrade generički nastalog analognog signala na način što se primijeni određeni postupak kodiranja, dobija se mogućnost korišćenja svih prednosti koje digitalni prenos ima u odnosu na analogni. S obzirom da se zadatak kodiranja u tom slučaju svodi na pretvaranje analognog signala u digitalni, uobičajeno se takvo kodiranje naziva analogno/digitalnom konverzijom.

Simplex/Polu-duplex/Duplex prenos

Pored ove osnovne klasifikacije, u okviru navedenih postupaka prenosa, moguće je identifikovati i druge specifičnosti na osnovu kojih se može napraviti njihova dalja sistematizacija.

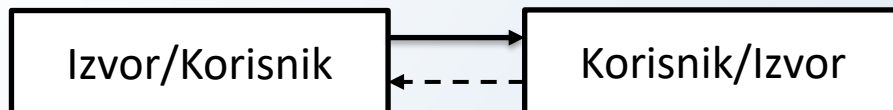
Tako se prenos poruka pojavljuje kao jednosmjerni ili dvosmjerni. Shodno tome, prenos poruka (kontinualnih i diskretnih) može biti realizovan u jednom od sledeća tri oblika:

- simplex (prenos u jednom smjeru),
- polu-duplex (naizmjeničan prenos u dva smjera),
- duplex (simultani prenos u dva smjera).

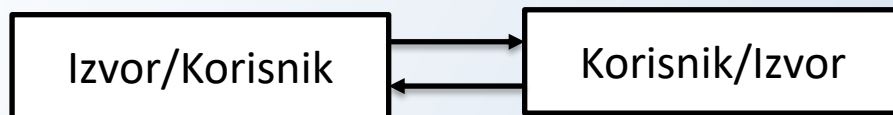
Očigledno je da duplex prenos, za razliku od simplex i polu-duplex prenosa, generalno zahtijeva 2- kanalnu vezu. Većina savremenih telekomunikacionih mreža je zasnovana na duplex prenosu, pri čemu se najčešće ostvaruje prenos poruke u jednom smjeru, dok se simultano u drugom smjeru prenosi neka vrsta kontrolne ili upravljačke informacije.

**Simplex:**

Signal se prenosi isključivo u jednom smjeru

**Polu-duplex:**

Signali se u datom vremenskom trenutku prenose u jednom smjeru

**Duplex:**

Signali se prenose istovremeno u dva smjera

Simplex prenos znači prenos u samo jednom smjeru, tako da korisnik samo prima poruke, a ne emituje ih. U ovom obliku prenosa prijemni uređaj nema mogućnost odgovora ili potvrde o prijemu signala.

Polu-duplex prenos omogućava prenos poruka u oba smjera, ali ne istovremeno. U ovom prenosnom modu, uređaji na oba kraja veze se prebacuju iz stanja prijema u stanje predaje nakon svakog prenosa, što se obično obavlja pod kontrolom posebnog kontrolnog signala koji generiše izvor poruke.

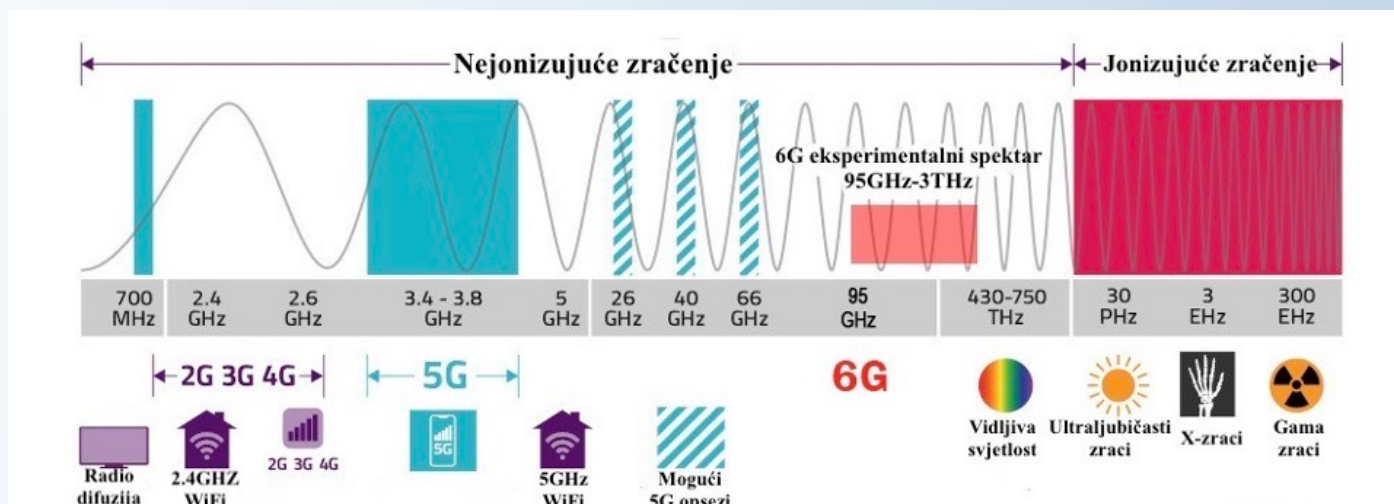
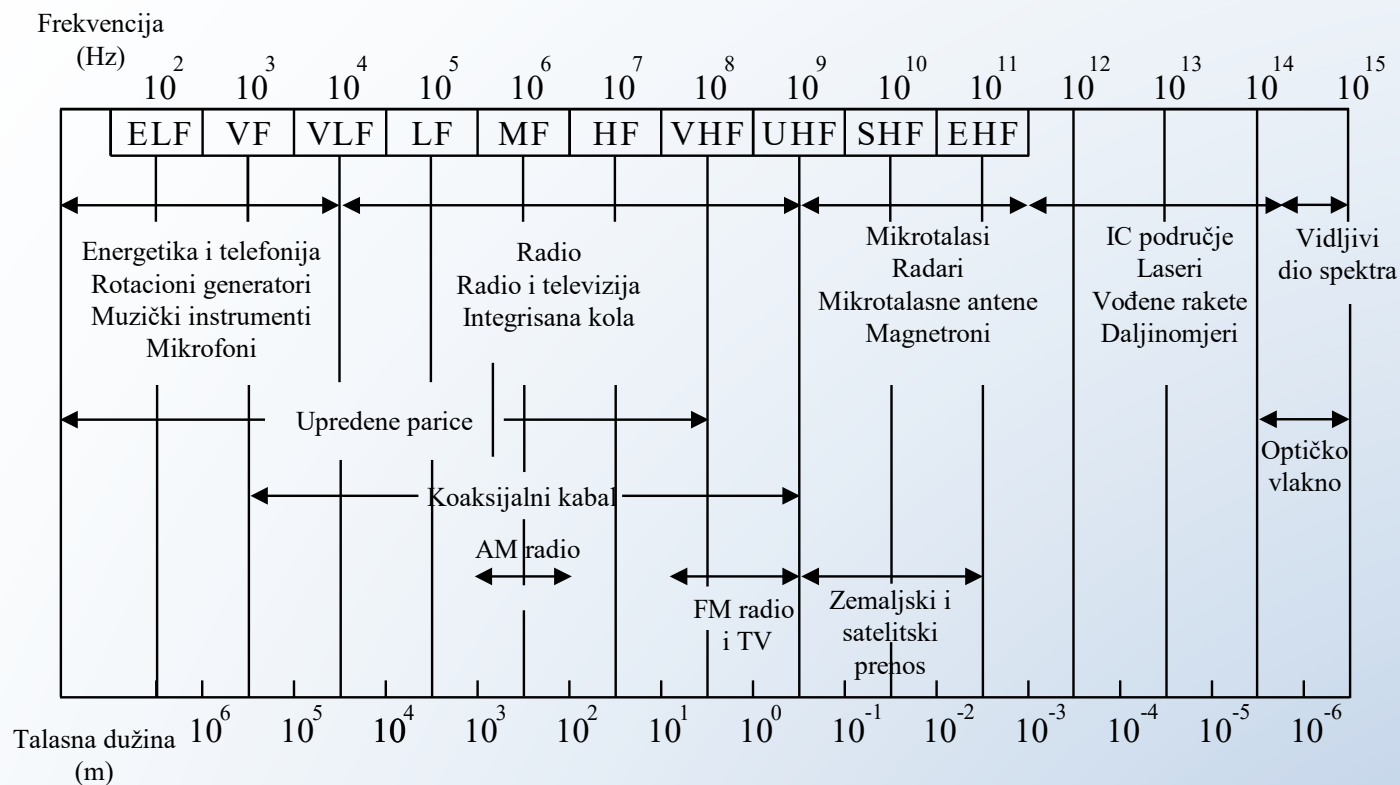
Prenosni putevi

Prenosni putevi (linija veze, transmisioni medijum) se generalno mogu podijeliti na:

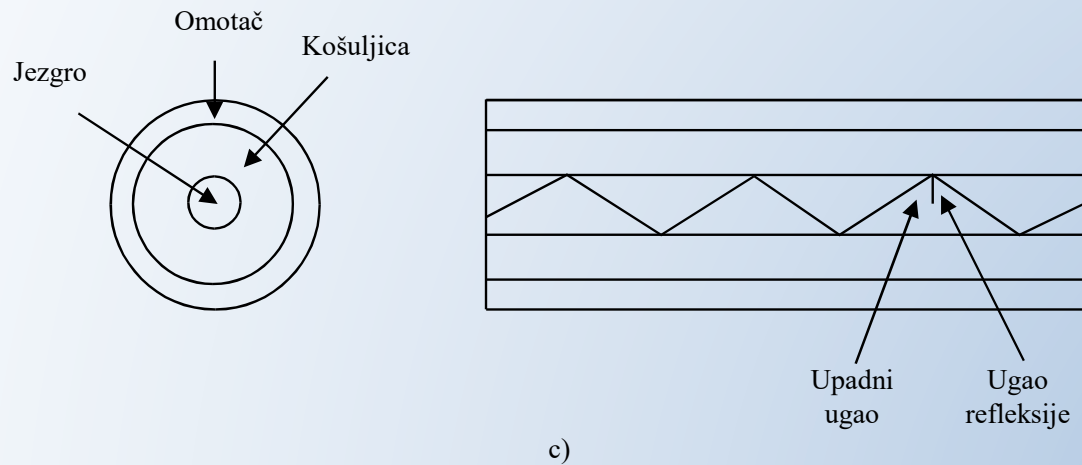
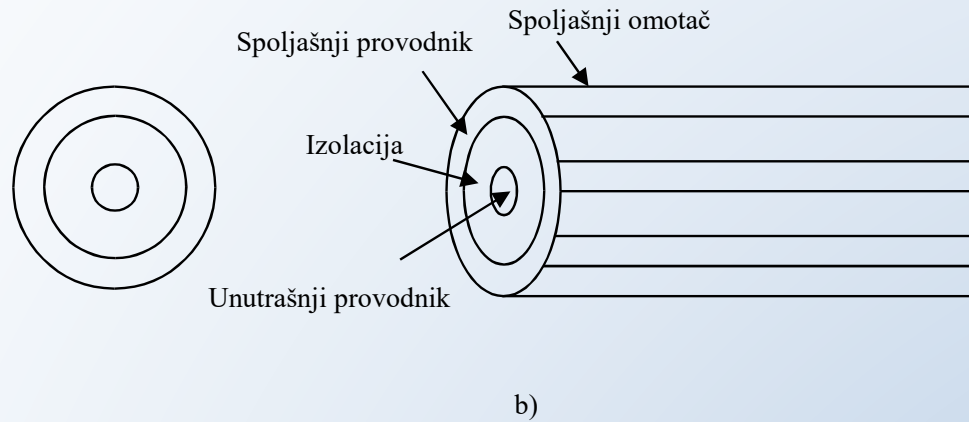
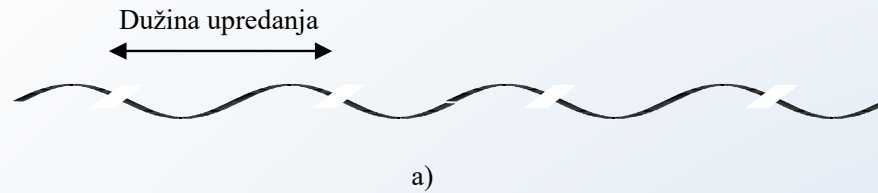
- vođene (guided), odnosno fiksne i
- nevođene (non-guided), odnosno bežične.

Elektromagnetni talasi su vođeni kroz medij od čvrstog materijala, kao što je bakarna parica, koaksijalni kabal ili optičko vlakno .

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



Raspodjela telekomunikacionih frekvencija unutar elektromagnetnog spektra



Vođeni prenosni putevi

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

Bakarni kablovi

Bakarni kablovi predstavljaju najstariji i najčešće korišćeni prenosni medijum. Njegovi glavni nedostaci su veliko slabljenje i osjetljivost na električne smetnje. Slabljenje u bakarnom kablju raste sa frekvencijom približno prema sledećoj formuli:

$$A_{dB} = k\sqrt{f} \text{ dB}$$

gdje je A_{dB} slabljenje u decibelima, f je frekvencija, a k je konstanta specifična za svaki kabal. Brzina prostiranja signala u bakarnom kablju je približno 200.000 km/sec. Tri glavna tipa bakarnih kablova su: upredena parica, UTP, koaksijalni kabal.

Upredena parica - Sastoji se od dvije izolovane bakarne žice koje su obično debljine 0,4 do 0,6 mm ili oko 1 mm debljine ako je uključena izolacija. Ove dvije žice su upletene zajedno da bi se smanjile spoljašnje električne smetnje i smetnje od jednog para do drugog u istom kablju. Upredeni par je simetričan i razlika u naponu između ove dvije žice sadrži signal koji se prenosi. Upredena parica se lako instalira, zahtijeva malo prostora i ne košta mnogo. Ranije su se koristile u telekomunikacionim mrežama u pretplatničkim linijama (last mile), za digitalni prenos od 2 Mb/s sa rastojanjem do 2 km između repetitora, u DSL (Digital Subscriber Line) vezama do nekoliko megabita u sekundi, i u prenosu podataka na mala rastojanja sa brzinama do 100 Mb/s u LAN-ovima.

UTP (*Unshielded twisted pair*) kabal je mrežni kabal koji se koristi za prenos različitih signala (danas:podataka). Na početku je to bio jednožičani kabal (upredena parica) koji se koristio u mrežama za prenos telefonskog signala. Nakon toga se koristio za najrazličitije namjene, pa i danas predstavlja značajan dio infrastrukture u svijetu.

Razvijali su se na sledeći način:

- Kategorija 3. UTP kablovi, i odgovarajući konektori, koji podržavaju brzinu prenosa od 16Mb/s za rastojanja do 100m.
- Kategorija 5. UTP kablovi i konektori, koji podržavaju brzinu prenosa od 100Mb/s za rastojanja do 100m.
- Kategorija 5e. UTP kablovi i konektori, koji podržavaju brzinu prenosa do 1Gb/s za rastojanja do 100m, sa mogućnošću podrške brzina do 10Gb/s na manjim rastojanjima.
- Kategorija 6. UTP kablovi i konektori, koji podržavaju brzinu prenosa do 10Gb/s za rastojanja do 100m.
- Kategorija 6e. U svemu slični sa kategorijom 6, sa poboljšanjima u vidu nestajanja šuma prilikom rada, kao i u pogledu značajne stabilizacije signala.

Koaksijalni kabal - U koaksijalnom kablju, kruta bakarna žica čini jezgro, koje je okruženo izolacionim materijalom. Izolator je obložen cilindričnim provodnikom, a spoljni provodnik je prekriven zaštitnim plastičnim omotačem. Implementacija koaksijalnog kabla daje dobru kombinaciju velikog propusnog opsega i odlične otpornosti na šum i smetnje.

Koaksijalni kablovi su korišćeni u LAN mrežama (originalni 10 Mb/s Ethernet), u antenskim sistemima za emitovanje radija i TV-a, kao i u analognim i digitalnim telekomunikacionim sistemima velikog kapaciteta, pa čak i u podmorskim sistemima starije generacije.

Optičko vlakno

Optičko vlakno je najsavremeniji fiksni medijum za prenos. Omogućava širok propusni opseg, malo slabljenje i izuzetno visoku otpornost na spoljašnje električne smetnje. Optičke veze se koriste globalno kao glavni medijumi za prenos na velike udaljenosti, tako da se koaksijalni kablovi visokog kapaciteta postepeno zamjenjuju upravo optičkim vlaknima.

Optičko vlakno ima centralno jezgro (prečnika oko 8 ili 60 μm) od veoma čistog stakla okruženo spoljnim slojem manje gustog stakla. Princip prenosa zasnovan je na činjenici da je indeks prelamanja jezgra uvijek veći od indeksa prelamanja omotača, tako da se svjetlosni zrak lomi od površine između ovih materijala nazad do jezgra i širi se u jezgru od kraja do kraja.

Indeks prelamanja (n) neke sredine je odnos brzine prostiranja svjetlosti u slobodnom prostoru ($c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$) i u toj sredini (v):

$$n=c/v$$

Optička vlakna se danas koriste za sve vrste mreža, uključujući i „last mile” pristupne mreže (FTTH-Fiber To The Home), kao i za povezivanje na velika rastojanja sa velikim kapacitetom i brzinom prenosa.

Optička vlakna imaju brojne prednosti u odnosu na druge fiksne prenosne puteve:

- Veća brzina prenosa. Svjetlost se optičkim vlaknom prostire brzinom oko 300 miliona metara u sekundi.
- Povećan kapacitet prenosa. Protoci preko 40Gb/s se mogu realizovati optičkim vlaknima, dok za upredene parice gornja granica iznosi 10Gb/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).
- Nema problema preslušavanja i refleksije, prisutnih kod upredenih parica i koaksijalnih kablova.
- Manje slabljenje. Slabljenje raste sa rastojanjem sporije nego u slučaju prenosa ostalim medijumima, čime se omogućava postavljanje ripitera na većim razmacima.
- Optička vlakna su pogodna za upotrebu u širokom temperaturnom opsegu, otpornija su na koroziju i vlagu.
- Troškovi održavanja su manji nego za električne kablove. Takođe je i srednje vrijeme između otkaza znatno duže.

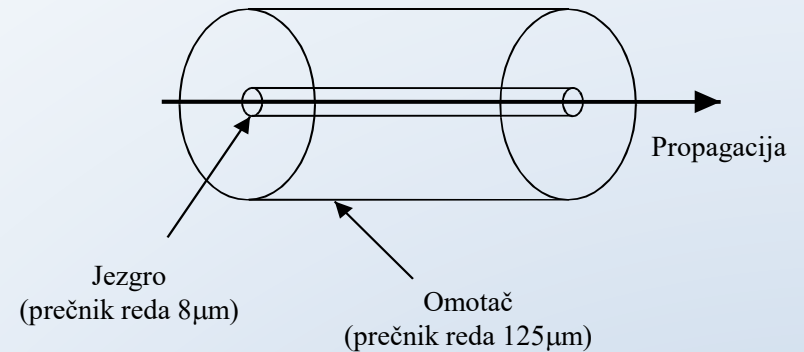
Jedan nedostatak optičkih vlakana je što ih je teže instalirati od bakarnih kablova. Instalacija i održavanje, na primjer, popravka polomljenog vlakna, zahtjevaju posebnu opremu i dobro obučeno osoblje.

U odnosu na način prostiranja svjetlosti duž vlakna, razlikuju se:

- monomodna i
- multimodna vlakna.

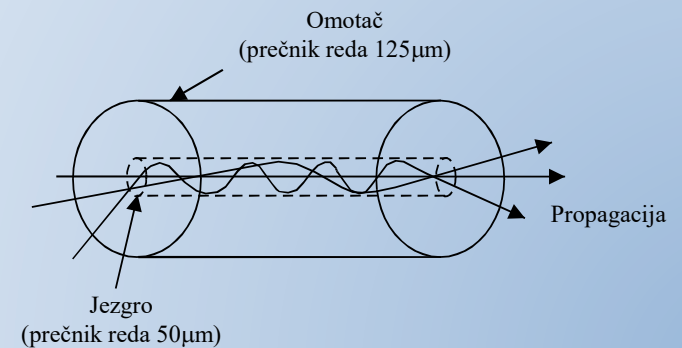
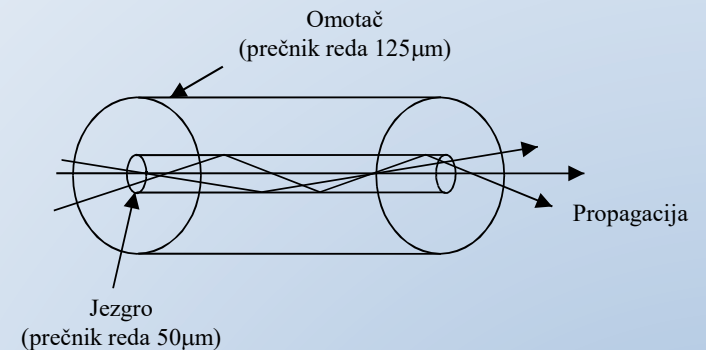
Kod monomodnih vlakana postoji samo jedna putanja prostiranja svjetlosti duž jezgra.

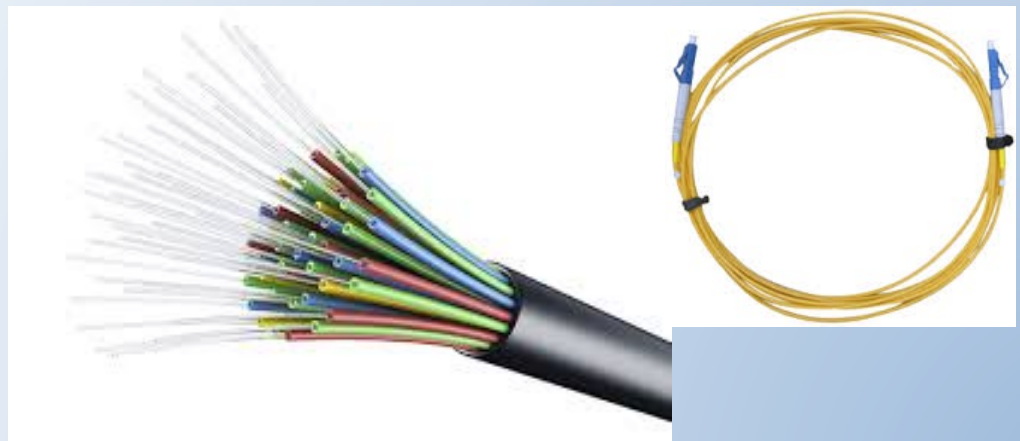
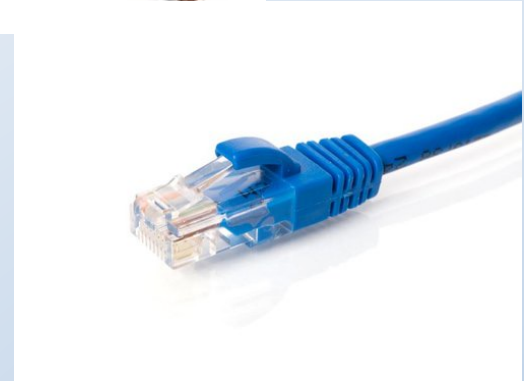
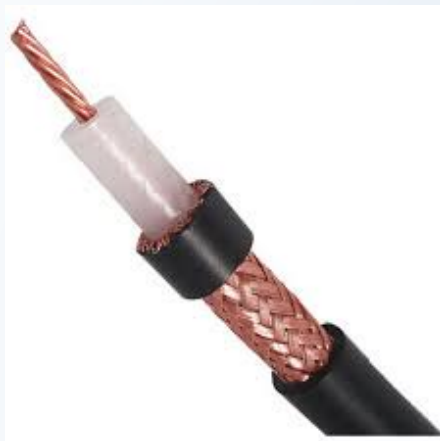
Za smanjivanje broja refleksija od ivice jezgra, potrebno je da jezgro bude što je moguće manje (reda 8mm), što stvara probleme u proizvodnji.



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**. Multimodna vlakna se mogu realizovati kao:

- dvoslojna i
- gradijentna





Bežični prenosni putevi

Najvažnija prednost bežičnog prenosa u odnosu na fiksni prenos je u tome što se ne zahtijeva postojanje fizičke linije veze. Bežični sistemi se brzo ugrađuju i troškovi su mnogo manji. Međutim, važan faktor koji ograničava upotrebu bežičnog prenosa je činjenica da frekvencije predstavljaju ograničeni resurs.

Kod bežičnih veza, predaja i prijem signala se ostvaruju pomoću antena, koje predstavljaju konvertore električnih signala u elektromagnetno zračenje (predajna antena) i obrnuto (prijemna antena).

Dva tipa konfiguracije za bežični prenos:

- direkcioni i
- omnidirekcioni.

Bežični prenosni putevi:

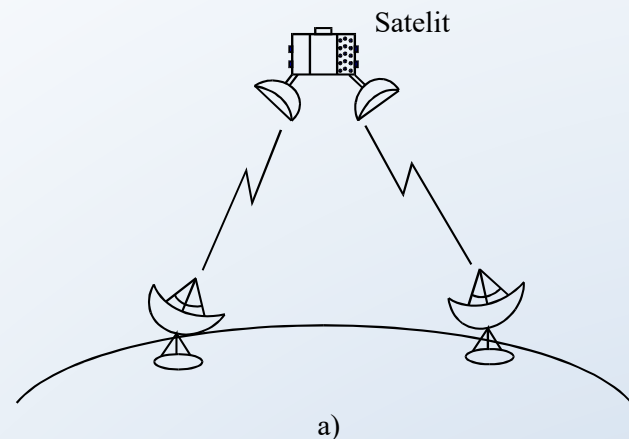
- **Zemaljske radio veze:** u VHF opsegu (30MHz -300MHz), UHF opsegu (300MHz-3GHz), sa budućim mobilnim celularnim sistemima u SHF i EHF opsezima.
- **Mikrotalasne veze:** 2-40 GHz. Ključni elementi, potrebni za uspostavljanje mikrotalasnih veza, su parabolične antene prečnika od 0,4 do 2,6m. Uspostavljanje veze podrazumijeva postojanje linije direktne vidljivosti između predajne i prijemne antene. U tim uslovima maksimalno rastojanje između antena je moguće odrediti relacijom:

$$d = 7.14\sqrt{Kh}$$

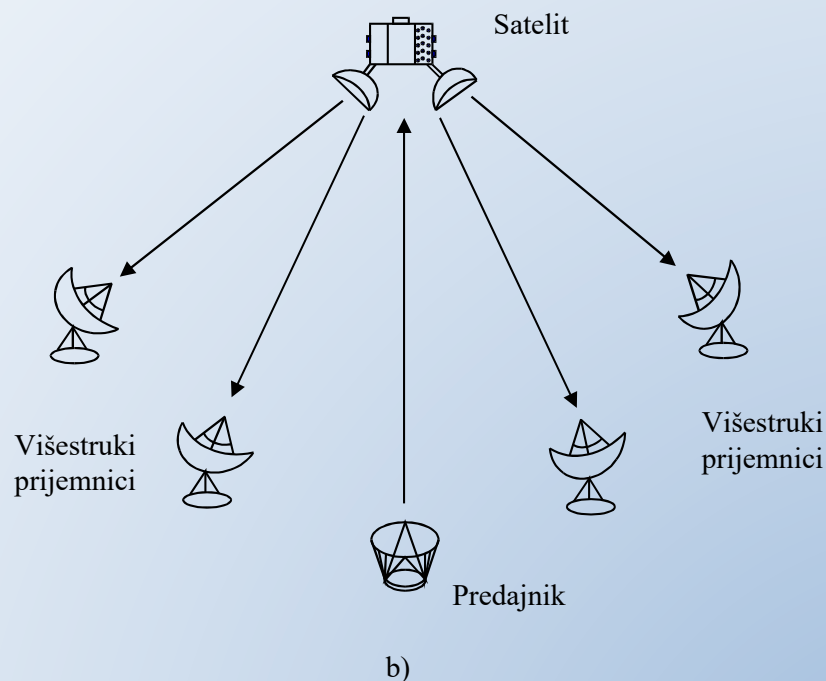
gdje je d rastojanje između antena u kilometrima, h je visina antene, i K je faktor prilagođenja u slučaju da talas prati zakrivljenost Zemljine površine (obično se uzima $K=4/3$).

- **Radio difuzija:** Za ovu vrstu prenosnih puteva koristi se opseg od 30 MHz do 1GHz. S obzirom da je riječ o tehnici zasnovanoj na radio prenosu po liniji direktne vidljivosti, važi uslov kao i kod mikrotalasa o maksimalnom mogućem rastojanju.
- **Satelitske mikrotalasne veze:** Komunikacioni satelit je mikrotalasna relejna stanica (transponder - prijemnik sa automatskom predajom odgovora), koja funkcioniše na učestanostima od 1 do 30GHz.

Zemaljska stanica emituje signal prema satelitu u jednom frekvencijskom opsegu, a satelit ga regeneriše i emituje signal nazad u drugom frekvencijskom opsegu.



Da bi komunikacioni satelit efikasno funkcionisao, generalno je potrebno da ostane stacionaran u odnosu na poziciju prema Zemlji. U protivnom dolazilo bi do gubljenja linije direktne vidljivosti od zemaljskih stanica. Da bi se postigla ta stacionarnost, satelit mora imati period rotacije jednak periodu Zemljine rotacije.



*Konfiguracije za satelitske komunikacije:
Komunikacija između dva korisnika preko satelita
(point to point); b) Proslijeđivanje signala od
predajnika prema većem broju prijemnika*

PRENOS ANALOGNIH SIGNALA

Prenos analognih signala:

- U osnovnom opsegu učestanosti
- Nakon izvršene obrade u predajniku

Obrada analognih signala ostvaruje se u predajniku na način što se jednom pomoćnom periodičnom determinističkom signalu modifikuju osnovni parametri, tako da on postane nosilac originalnog signala, a samim tim i prenošene poruke.

Postupak kojim se modifikuju parametri periodičnog signala u funkciji karakterističnih veličina izvornog signala, naziva se **modulacija**.

Cilj u postupku modulacije je da se signal obradi tako da bude podesan za prenos, odnosno da se njegove karakteristike prilagode karakteristikama transmisionog puta.

Signal koji je originalni nosilac poruke naziva se **modulišući signal**, pomoćni periodični signal se naziva **nosilac**, a modulišućim signalom modifikovani nosilac naziva se modulisani signal.

Na mjestu prijema primljeni modulisani signal mora da se podvrgne novoj obradi. Neminovan je inverzan proces: iz modulisanog signala treba “izvući” originalan signal koji nosi poruku. Takav postupak obrade modulisanog signala u prijemnici naziva se **demodulacija**, a na prijemu dobijeni originalan signal **demodulisani (detektovani) signal**.

Modulacija i demodulacija predstavljaju dva nerazdvojiva postupka u prenosu signala. Prvi je vezan za predajnik, a drugi za prijemnik. Sklop kojim se obavlja modulacija naziva se **modulator**, a sklop u kome se obavlja demodulacija **demodulator**. U opštem modelu komunikacionog sistema, modulator je sastavni dio kanalnog koda, a demodulator kanalnog dekodera. Zajedničkim imenom, obično se modulator i demodulator nazivaju: **modem**.

Obrada signala ima veliki značaj. Neke mogućnosti koje pruža modulacija su:

- Radio prenos poruka
- Frekvencijski multipleksni ili višekanalni sistemi prenosa.
- Veća zaštita prenošenog signala od uticaja smetnji u vidu šumova.
- Specijalnim postupcima modulacije signali se mogu zabilježiti i uskladištiti, što ima poseban značaj za njihovu reprodukciju u bilo kom vremenskom trenutku.

Postoje različiti načini za modulisanje nosilaca koji se mogu klasifikovati u nekoliko grupa. Podjela se može izvršiti prema talasnom obliku modulisanog signala:

- 1) postupci u kojima je modulisani signal kontinualan,
- 2) one u kojima se kao rezultat modulacije dobija signal impulsnog talasnog oblika (naredni semestar).

Kod postupaka u kojima se dobija kontinualan modulirani signal kao nosilac se koristi signal sinusoidalnog talasnog oblika. On ima tri karakteristična parametra: amplitudu, učestanost i fazu.

Na svaki od ovih parametara se može posebno uticati, tako što se izabrani parametar mijenja direktno srazmjerno modulišućem signalu.

U skladu sa tim razlikuje se:

- a) **Amplitudska modulacija (AM)** - amplituda nosioca postaje direktno proporcionalna modulišućem signalu;
- b) **Frekvencijska modulacija (FM)** - učestanost nosioca postaje direktno proporcionalna modulišućem signalu;
- c) **Fazna modulacija (FM)** - faza nosioca postaje direktno proporcionalna modulišućem signalu.

Poslednja dva modulaciona postupka se nazivaju zajedničkim imenom **ugaona modulacija (UM)**.