



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Digital Broadcasting and Broadband Technologies (Master Studies)
Erasmus+ Project No. 561688-EPP-1-2015-1-XK-EPPKA2-CBHE-JP

This project has been founded with support from the European Commission
This publication[communication] reflects the views only of the author, and
the Commision cannot be held responsible for any use which may be made of
the information contained therein.

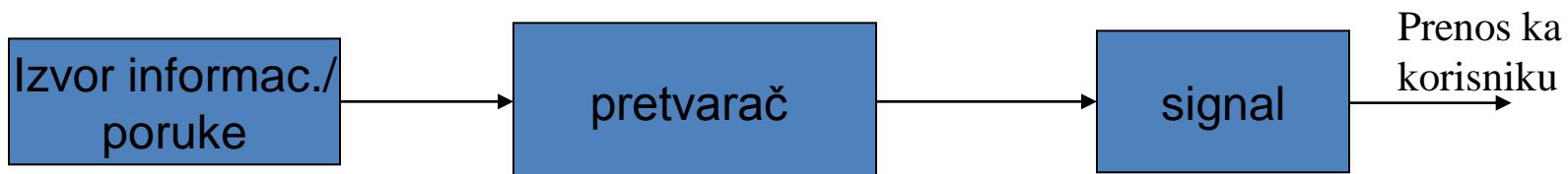
DBBT

**Digital Broadcasting &
Broadband Technologies**

OSNOVE TELEKOMUNIKACIONIH SISTEMA

Informacija – poruka – signal

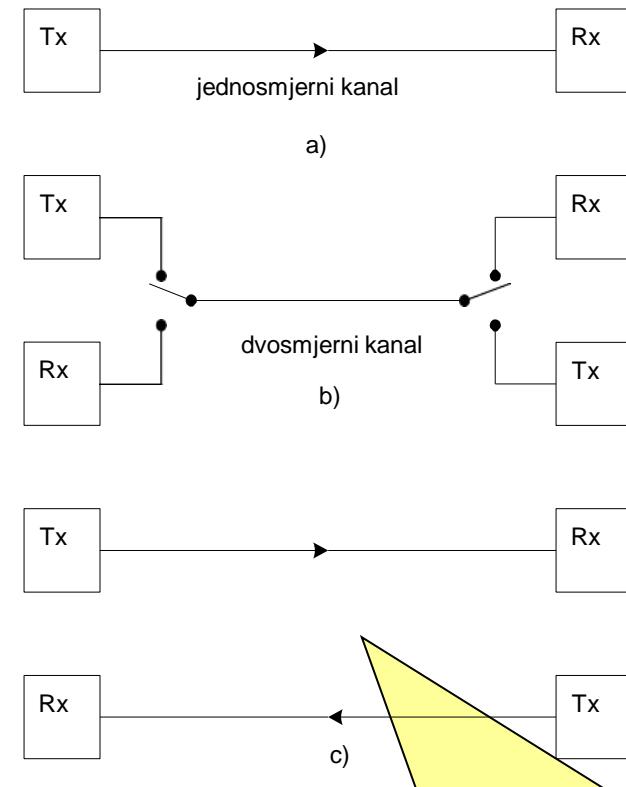
- **Informacija** = sadržaj koji na mjestu prijema treba proizvesti određeno dejstvo (govorno, zvučno, vizuelno,...).
- **Poruka** = fizička predstava informacije koju generiše izvor informacija. U opštem slučaju, poruke mogu biti u **električnom ili neelektričnom obliku**. Poruke su fizički procesi promjenjivi u vremenu i mogu imati veliki broj različitih formi: govor, muzika, tekst, podaci, mirna slika, pokretna slika (video), multimedija.
- Da bi se poruke prenijele kroz TK sistem, neophodno ih je prethodno transformisati u odgovarajući **električni** ili **elektromagnetni signal**, odnosno transformisati ih u oblik koji je pogodan za prenos linijom veze. Prenos poruke obavlja se uspostavljanjem korespondencije između poruke i nekog od parametara **signala**.
- **Signal** = **električni ili elektromagnetni reprezent poruke**.



Načini komunikacije - prema smjeru prenosa poruka

- **simpleksni** (*simplex*) - prenos se vrši samo u jednom smjeru; jedna stanica je predajnik, a druga prijemnik – npr. TV difuzija.
- **polu-dupleksni** (*semi-duplex*) – naizmjeničan prenos u oba smjera: obje stanice mogu vršiti predaju/prijem po istom kanalu, ali ne istovremeno (kada je jedna stanica predajnik - druga je prijemnik i obratno) – npr. walkie-talkie.
- **dupleksni** (*duplex*) – istovremeni prenos u oba smjera: obje stanice mogu istovremeno vršiti predaju koristeći posebne kanale (po jedan za svaki smjer prenosa) – npr. telefonija.

Načini prenosa signala: a) simpleks; b) polu-dupleks; c) potpuni-dupleks

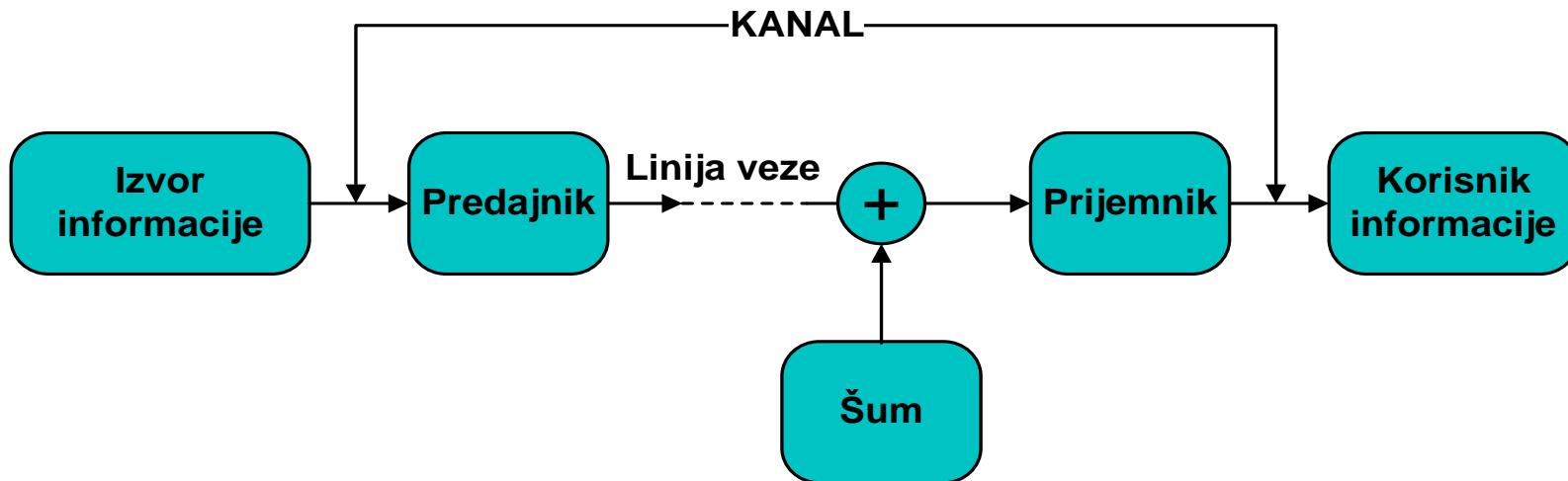


Par (dva) kanala između krajnjih tačaka koji se koriste za dvosmjerni prenos naziva se *kolo* (circuit).

Načini komunikacije – prema načinu povezivanja korisnika

- **Difuzno emitovanje** (broadcast) - samo jedna strana može emitovati informacije dok ostali učesnici primaju (jednosmjerni prenos signala od predajnika ka svim prijemnicima)
- **Tačka – tačka** (*point to point*) – bilo koja dva učesnika mogu međusobno komunicirati nezavisno od drugih učesnika
- **Tačka – više tačaka** (*point-to-multipoint*) - npr. video-konferencijsko emitovanje; svaki od učesnika može generisati informaciju, a svi ostali primaju informaciju.

Opšti model telekomunikacionog sistema



- **Izvor** informacija generiše poruke (govor, tekst, podaci, muzika, slika) koje treba prenijeti do korisnika informacije.
- **Predajnik** ima zadatak da izabranu poruku pretvori u signal podesan za prenos po liniji veze (npr. mikrofon u telefoniji koji vrši konverziju promjenljivog zvučnog pritiska u električnu struju).
- **Linija veze** predstavlja sredinu kroz koju se signal prenosi od predajnika do prijemnika (fizički vod ili slobodan prostor kroz koji se prostiru radio-talasi, snop svetlosti i dr.). To može biti jednostavna linija veze ili kompleksna mreža koja spaja izvor i odredište. Predstavlja dio sistema u kojem se javljaju različite smetnje u prenosu poruka – slabljenje, izobličenja, šumovi, interferencija.
- **Prijemnik** obavlja inverznu operaciju u odnosu na predajnik - pretvara primljeni električni signal u oblik pogodan za prijem.

Koncept vremenskog domena

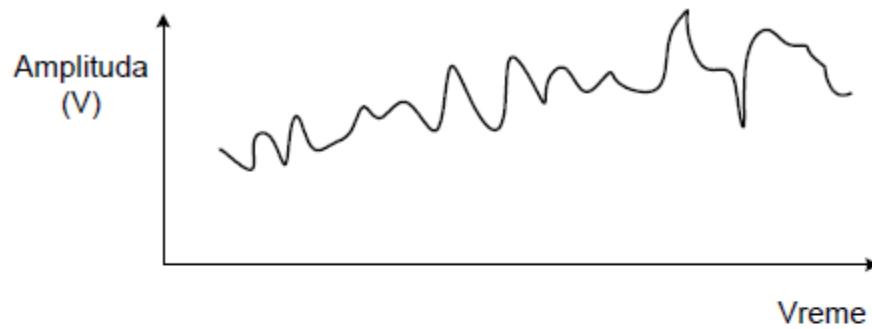
U funkciji vremena, elektromagnetni signal može biti kontinualni ili diskretni. Kod kontinualnog signala se vrijednost signala "glatko" mijenja sa vremenom. Drugim riječima, ne postoje prekidi ili diskontinuiteti signala.

Signal $s(t)$ je kontinualan (neprekidan) ako:

$$\lim_{t \rightarrow a} s(t) = s(a)$$

za sve vrijednosti a .

Diskretni signal je onaj kod kojeg je za određeni vremenski period amplituda signala konstantna, a zatim se mijenja na drugi konstantni nivo. Na slici 1 prikazana su oba tipa signala. Kontinualni signal može predstavljati govor, a diskretnom obično odgovara prezentacija binarnih jedinica i nula u digitalnim elektronskim sistemima (npr. prenos podataka).



a) kontinualni



b) diskretni

Sl. 1: Kontinualni i diskretni signali

Koncept frekvencijskog domena

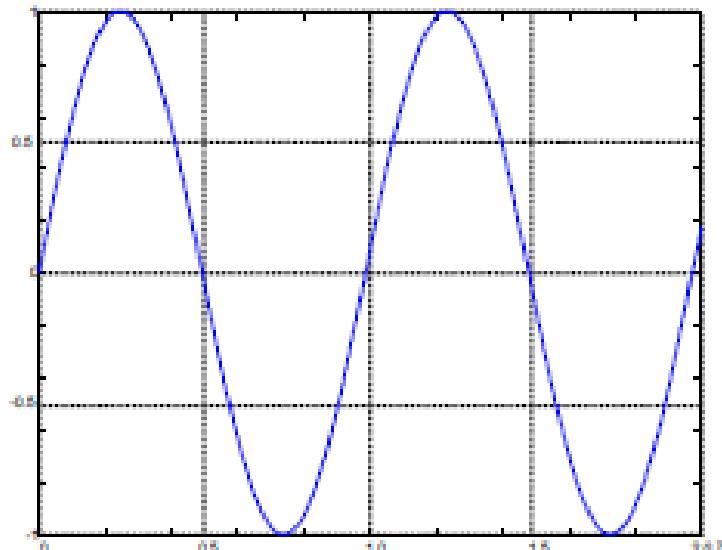
U suštini, elektromagnetni signal se sastoji od većeg broja komponenata čija je frekvencija različita.

Na primjer, signal :

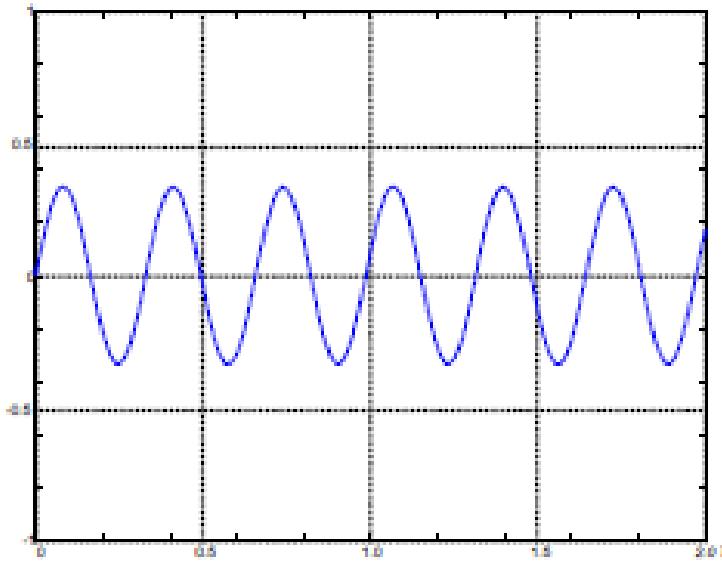
$$s(t) = \sin(2\pi f_1 t) + \frac{1}{3} \sin(2\pi(3f_1)t)$$

Komponente ovog signala su sinusni talasni oblici frekvencije f_1 i $3f_1$ (slika 2).

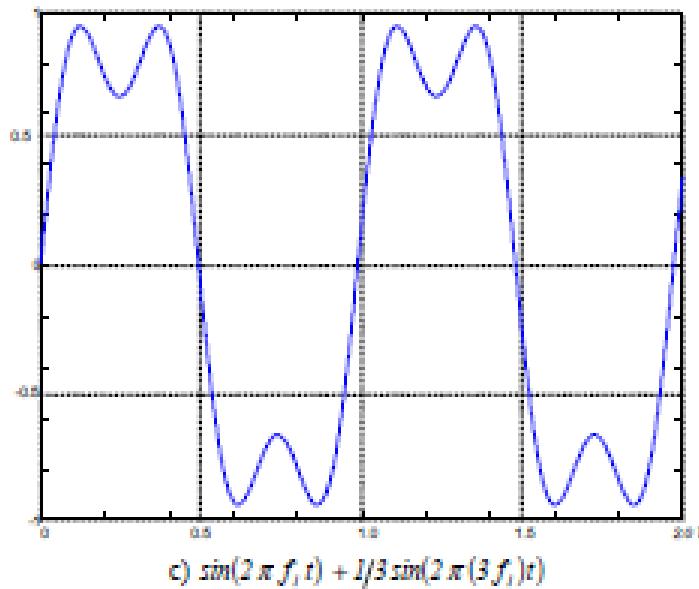
1. Druga frekvencija ($3f_1$) je cijelobrojni umnožak prve. Kada su sve frekv. komponente signala cijelobrojni umnošci jedne frekvencije, tu frekvenciju nazivamo **osnovnom frekvencijom (osnovni harmonik)**;
2. Period ukupnog signala jednak je periodu osnovne frekvencije. Period komponente $2\pi f_1$ je $T=1/f_1$, a period $s(t)$ je takođe T (slika 2.c).



a) $\sin(2\pi f_i t)$



b) $1/3 \sin(2\pi (3f_i)t)$



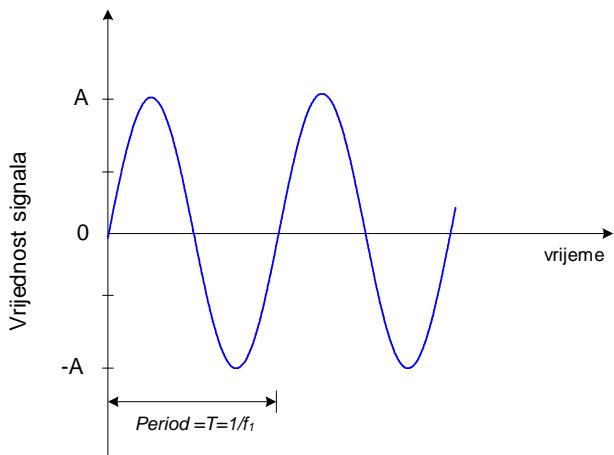
Sl.2. Sabiranje komponenata različitih frekvencija

Propusni opseg

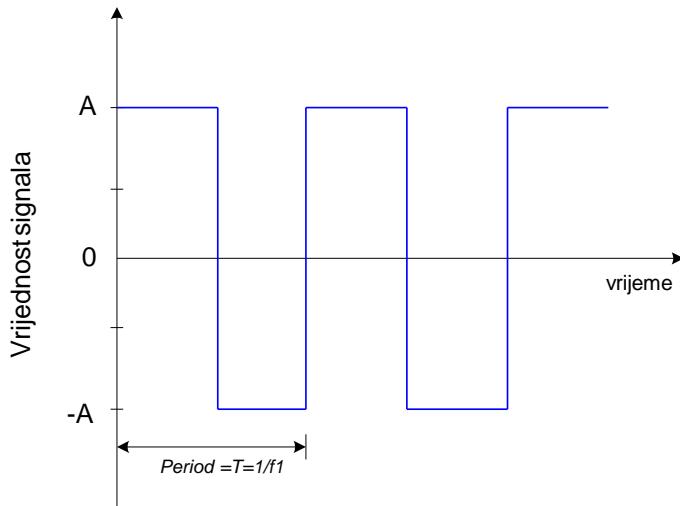
Spektar signala predstavlja opseg frekvencija koje taj spektar sadrži. Za signal sa slike 2.c) spektar signala se nalazi između f_1 i $3f_1$. **Apsolutni propusni opseg** (*absolute bandwidth*) signala je onaj koji odgovara širini spektra. U slučaju na sl. 2.c), propusni opseg je $2f_1$. Kod najvećeg broja signala propusni opseg je beskonačan. Ipak **najveći dio energije signala** sadržan je u relativno uskom frekvencijskom opsegu. Ovaj opseg je poznat kao **efektivni propusni opseg** (*effective bandwidth*) ili skraćeno **propusni opseg**.

Termin "najveći" u kontekstu energije signala je proizvoljan. Suština je u sljedećem: i pored toga što zadati talasni oblik može sadržati frekvencije u širem frekv. opsegu, prenosni medijum je taj koji ograničava brzinu kojom se prenose podaci.

Da bi objasnili ove relacije, analiziraćemo talasni oblik prikazan na sl.3.



a) sinusni talasni oblik



b) pravougaoni talasni oblik

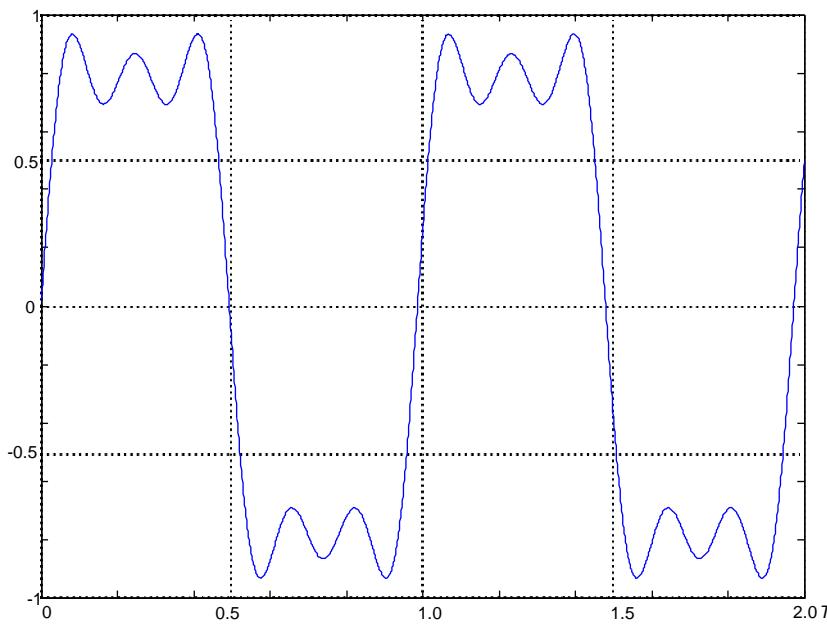
Slika 3. Periodični signali

Usvojimo da pozitivni impuls predstavlja binarnu 1, a negativni impuls odgovara binarnoj 0. U tom slučaju, talasni oblik na sl.3. predstavlja binarni niz 1010.... Trajanje svakog impulsa je $1/2f_1$, a to znači da je **brzina prenosa podataka** $2f_1$ bita u sekundi (**bps** - bits per second). Sada se postavlja pitanje: *Koje su frekvencijske komponente ovog signala?* Da bi odgovorili na ovo pitanje posmatrajmo ponovo sliku 2. Sabiranjem sinusnih talasnih oblika čije su frekvencije f_1 i $3f_1$ dobijamo talasni oblik koji je sličan pravougaonom obliku. Ako se proces sabiranja (dodavanja) sinusnih talasnih oblika nastavi, dodavanjem oblika čija je frekvencija $5f_1$ dobiće se rezultantni signal prikazan na slici 4a), a zatim dodavanjem i komponente čija je frekvencija $7f_1$ talasni oblik sa slike 4.b).

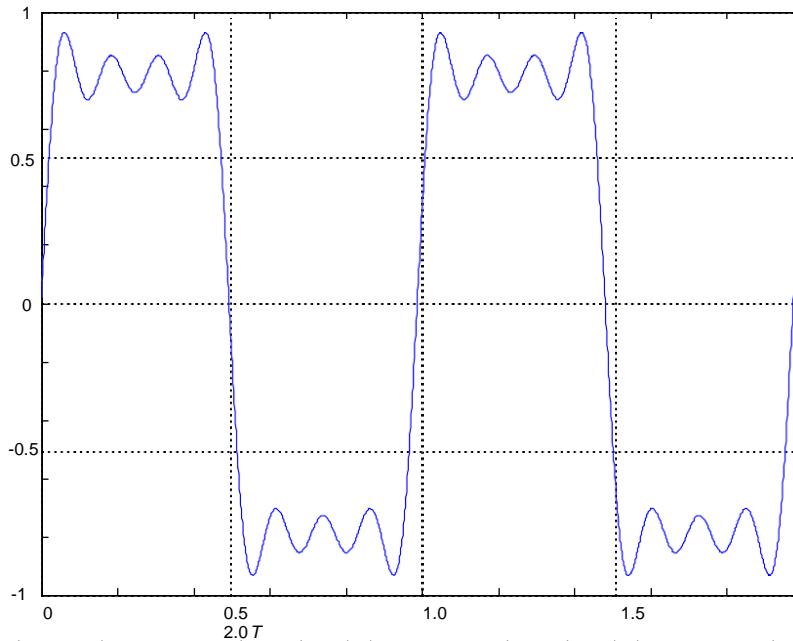
Frekvencijske komponente pravougaonog talasnog oblika možemo izraziti kao:

$$s(t) = A * \sum_{\substack{k \text{ neparno} \\ k=1}}^{\infty} \frac{1}{k} \sin(2\pi kf_1 t)$$

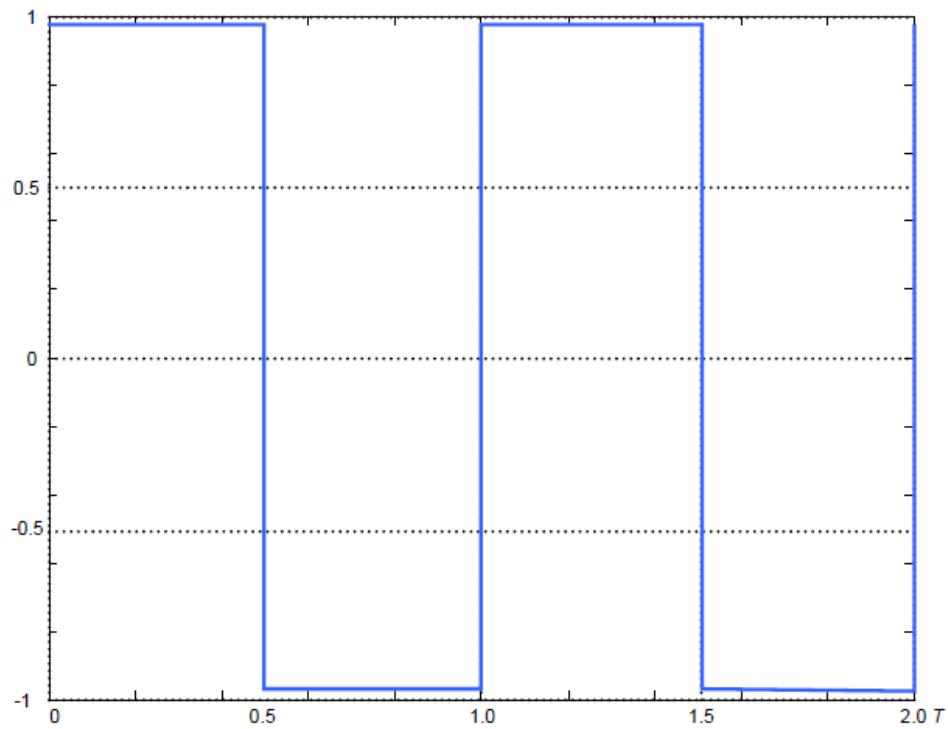
Ovaj talasni oblik ima beskonačan broj frekv. komponenti, a shodno tome i neograničeni propusni opseg. Ipak, amplituda k -te frekv. komponente, kf_1 , je samo $1/k$, tako da najveći dio energije talasnog oblika nosi prvih nekoliko frekv. komponenata. *Šta će se desiti ako se propusni opseg ograniči na prve tri frekv. komponente?* Odgovor na ovo pitanje je ilustrovan na sl.4.a). Kao što se uočava, rezultantni talasni oblik veoma je blizak originalnom.



a) $\sin(2\pi f_1 t) + 1/3 \sin(2\pi (3f_1)t) + 1/5 \sin(2\pi (5f_1)t)$



b) $\sin(2\pi f_1 t) + 1/3 \sin(2\pi (3f_1)t) + 1/5 \sin(2\pi (5f_1)t) + 1/7 \sin(2\pi (7f_1)t)$



$$\text{c)} \sum l/k \sin(2\pi k f_1) t$$

Sl.4. Frekvencijske komponente pravougaonog talasnog oblika ($T=1/f_1$)

Pretpostavimo sada da želimo koristiti digitalni prenosni sistem za prenos signala čiji je propusni opseg 4 MHz . Pokušajmo prenijeti naizmjeničnu sekvencu logičkih jedinica i nula (1010...) talasnim oblikom koji odgovara onom prikazanom na slici 4.c). *Koju brzinu prenosa podataka možemo ostvariti u ovom slučaju?* Pokušajmo prvo da aproksimiramo pravougaoni talasni oblik talasnim oblikom prikazanim na slici 4.a).

I pored toga što ovaj talasni oblik predstavlja "izobličeni" talasni oblik pravougaonih impulsa, on je blizak praougaonom talasnog obliku i predajnik bi trebao biti u stanju da jasno odredi šta je logička 1, a šta logička 0. Sada, ako usvojimo da je $f_1 = 1 \text{ MHz}$ propusni opseg signala će biti:

$$s(t) = \sin((2\pi * 10^6)t) + 1/3 \sin((2\pi * 3 * 10^6)t) + 1/5 \sin((2\pi * 5 * 10^6)t)$$

pri čemu $(5 * 10^6) - 10^6 = 4 \text{ MHz}$. Naglasimo da je za $f = 1 \text{ MHz}$ period osnovne frekvencije $T = 10^{-6} = 1 \mu\text{s}$. Shodno prethodnom, ako tretiramo ovaj talasni oblik kao niz logičkih 0 i 1, jedan bit se javlja (trajanja je) na svakih $0.5 \mu\text{s}$, tako da je brzina prenosa podataka $2 * 10^6 = 2 \text{ Mbps}$. Zaključak: *Sa propusnim opsegom od 4 MHz, moguće je postići brzinu prenosa podataka od 2 Mbps*

Pretpostavimo da imamo na raspolaganju propusni opseg od 8 MHz i posmatrajmo ponovo sliku 4.a), ali sa $f_1 = 2 \text{ MHz}$. Koristeći istu analizu kao u prethodnom slučaju, za propusni opseg signala imaćemo $5 * 2 * 10^6 - 2 * 10^6 = 8 \text{ MHz}$.

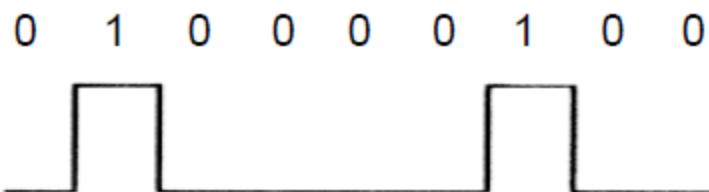
Međutim, u ovom slučaju $kT = 1/f = 0.5 \mu s$. Kao rezultat, jedan bit se prenosi (javlja se) na svakih $0.25 \mu s$ što rezultuje bitskom brzinom prenosa od $4 Mbps$. To znači da se *dupliranjem propusnog opsega udvostručava i potencijalna brzina prenosa podataka*.

Prepostavimo da je talasni oblik sa slike 2.c) adekvatan za aproksimaciju pravougaonog talasnog oblika. To ukazuje da je razlika između pozitivnog i negativnog impulsa sa slike 2.c) dovoljna da se ovaj talasni oblik može uspješno koristiti za predstavljanje sekvence jedinica i nula. Neka je sada $f_I = 1 MHz$. Analizirajući kao i u prethodnim slučajevima, za propusni opseg signala sa slike 2.c) imamo $3 * 2 * 10^6 - 2 * 10^6 = 4 MHz$. U ovom slučaju imamo da je $kT = 1/f_I = 0.5 \mu s$. Kao rezultat, jedan bit se javlja (prenosi se) na svakih $0.25 \mu s$, što odgovara brzini prenosa od $4 Mbps$. To znači da zadati propusni opseg može, u zavisnosti od zahtjeva prijemnika, podržati različite brzine prenosa podataka.

Na osnovu prethodne diskusije moguće je donijeti sljedeće opšte zaključke:

- 1) U opštem slučaju, talasni oblik digitalnih signala ima neograničeni propusni opseg. Kada se ovaj talasni oblik prenosi kroz medijum, priroda medijuma će ograničiti propusni opseg signala koji se može prenijeti. Takođe, za zadati medijum, što je veći propusni opseg signala koji se prenosi, to je veća i cijena realizacije. Zbog ovoga, ekonomski i praktični razlozi su ti koji diktiraju da se **digitalna informacija aproksimira signalom ograničenog propusnog opsega**.
- 2) Ograničenje propusnog opsega dovodi do pojave **izobličenja**. Kada je signal izobličen, teže ga je na prijemnoj strani interpretirati (obnoviti). Što je uži propusni opseg, to su izobličenja veća, a samim tim je veća i potencijalna greška (vjerovatnoća) pri odlučivanju u prijemniku.
- 3) Na slici 5 je prikazan uticaj propusnog opsega na digitalni signal. Za propusni opseg od 1700 do $2500 Hz$, oblik signala je povoljan. U opštem slučaju, ako je brzina prenosa digitalnog signala $W [bps]$, tada se veoma dobra predstava signala može postići sa propusnim opsegom od $2*W [Hz]$. U principu, što je brzina prenosa signala veća, veći je i njegov efektivni propusni opseg.
- 4) Prepostavimo da je propusni opseg centriran oko neke frekvencije koju ćemo nazvati **centralna frekvencija (center frequency)**. U tom slučaju, što je centralna frekvencija viša, to je i potencijalni propusni opseg širi, a veća je i brzina prenosa podataka. Na primjer, ako je signal centriran oko $2 MHz$, tada je maksimalni propusni opseg $4 MHz$.

Impulsi pre prenosa
Bit rate: 2000bps



Impulsi posle prenosa

Širina propusnog opsega
500 Hz



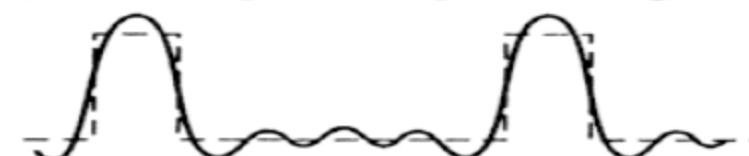
Širina propusnog opsega
900 Hz



Širina propusnog opsega
1300 Hz



Širina propusnog opsega
1700 Hz



Širina propusnog opsega
2500 Hz



Širina propusnog opsega
4000 Hz



Sl. 5. Uticaj propusnog opsega na oblik digitalnog signala

Definisanje nivoa snage, napona i struje

Decibel i Neper

Decibel – logaritamska jedinica koja se koristi da izrazi relativni odnos dvije istorodne veličine.

Koriste se za izražavanje pojačanja G (slabljenja L) sistema i nivoa signala (apsolutnih i relativnih)

$$N[dB] = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$



gdje je:

$N[dB]$ – razlika nivoa snaga signala u decibelima,

P_1 - snaga signala na ulazu sistema,

P_2 - snaga signala na izlazu sistema,

Npr. : $P_2 = P_1 \quad 10 \log (P_2/P_1) = 10 \log 1 = 0 \text{ dB.}$

$$P_2 = 2P_1 \quad 10 \log (P_2/P_1) = 10 \log 2 = 3 \text{ dB.}$$

$$P_2 = 3P_1 \quad 10 \log (P_2/P_1) = 10 \log 3 \approx 4.7 \text{ dB.}$$

$$P_2 = 10P_1 \quad 10 \log (P_2/P_1) = 10 \log 10 = 10 \text{ dB.}$$

$$P_2 = 10^n P_1 \quad 10 \log (P_2/P_1) = 10 \log 10^n = n \times 10 \text{ dB}$$

Decibel i Neper

$$N[dB] = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$



Ako je $N>0$ ($P_2>P_1$) tada se N naziva **pojačanje** (G), a ako je $N<0$ tada se to naziva slabljenje sistema (L).

Slabljenje (L) se uobičajeno definiše kao odnos snage signala na ulazu (P_1) i izlazu (P_2) iz sistema i tada je njegova vrijednost pozitivna ($L>0$).

$$L = 10 \log \frac{P_1}{P_2} [dB]$$

$$1N = 8.68dB \quad \text{i} \quad 1dB = 0.115N$$

Relativni nivoi signala



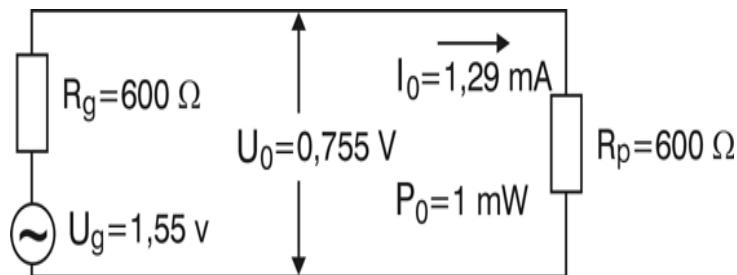
$$n_{ur} = 20 \log \frac{U_2}{U_1} (\text{dB}) \quad n_{ur} = \ln \frac{U_2}{U_1} (N)$$

$$n_{ir} = 20 \log \frac{I_2}{I_1} (\text{dB}) \quad n_{ir} = \ln \frac{I_2}{I_1} (N)$$

$$n_{pr} = 10 \log \frac{P_2}{P_1} (\text{dB}) \quad n_{pr} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_2}{P_1} (N)$$

Apsolutni nivoi signala

Apsolutni nivo predstavlja logaritamsku vrijednost odnosa dvije električne veličine, ali je taj odnos dat kao količnik posmatrane električne veličine (U , I , P) u nekoj tački sistema u odnosu na referentnu električnu veličinu (U_0 , I_0 , P_0). Za određivanje referentnih električnih veličina koristi se model električnog telefonskog kola, prikazanog na slici, koje predstavlja mikrofon (kao naponski generator) napona $U_g = 1.55 \text{ V}$, sa unutrašnjom otpornošću $R_g = 600\Omega$, dok otpor potrošača $R_p = 600\Omega$ odgovara ulaznoj otpornosti vazdušnog voda.



Model kola za definisanje apsolutnih nivoa signala

Napon na potrošaču je $U_0=0.755\text{V}$. Struja kroz potrošač iznosi $I_0=1.29 \text{ mA}$. U tom kolu, snaga koju mikrofon predaje potrošaču, odnosno liniji veze, iznosi $P_0=1\text{mW}$. U odnosu na ove veličine definišu se absolutni nivoi signala.

Apsolutni nivoi signala

$$n_u = 20 \log \frac{U}{U_0} = 20 \log \frac{U}{0.755V} \text{ (} dB \text{)}$$

$$n_u = \ln \frac{U}{U_0} = \ln \frac{U}{0.755V} \text{ (} N \text{)}$$

$$n_i = 20 \log \frac{I}{I_0} = 20 \log \frac{I}{1.29mA} \text{ (} dBm \text{)}$$

$$n_u = \ln \frac{I}{I_0} = \ln \frac{I}{1.29(mA)} \text{ (} Nm \text{)}$$

$$n_p = 10 \log \frac{P}{P_0} = 10 \log \frac{P}{1mW} \text{ (} dBm \text{)}$$

$$n_p = \ln \frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \ln \frac{P}{1mW} \text{ (} Nm \text{)}$$

Apsolutni nivoi signala

- U nekim telekomunikacionim sistemima se uzimaju i drugačije referentne električne veličine. Na primjer, u radio-komunikacionim sistemima, **nivo snage** se često izražava u odnosu na referentni predajnik snage 1kW, tj. kao:

$$n_p = 10 \log \frac{P}{P_0} = 10 \log \frac{P}{1kW} \text{ (} dBkW \text{)}$$

- Apsolutni **nivo električnog polja** definiše se uobičajeno u odnosu na vrijednost od $1\mu V$, kao:

$$n_E = 20 \log \frac{E}{E_0} = 20 \log \frac{E}{1\mu V/m} \text{ (} dB\mu \text{)}$$

- U televizijskoj tehnici se absolutni **nivo napona** definiše na sljedeći način:

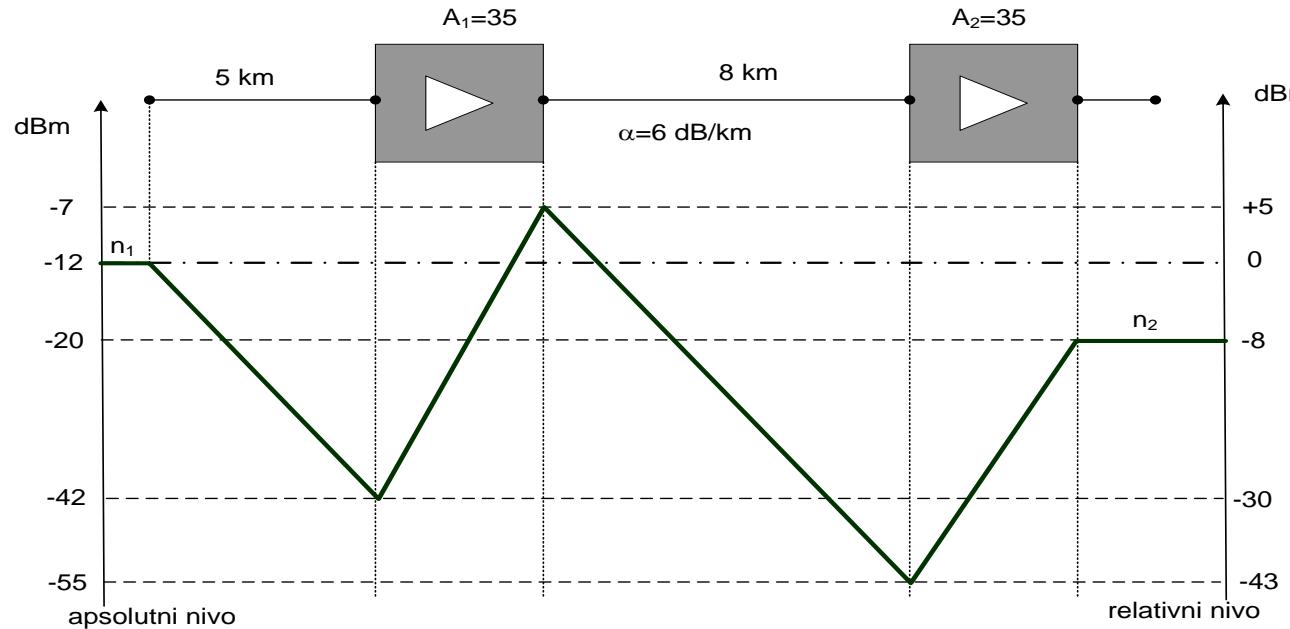
$$n_u = 20 \log \frac{U}{U_0} = 20 \log \frac{U}{1V} \text{ (} dBV \text{)}$$

Relacija između relativnih i absolutnih nivoa signala

- *Relativni nivo signala između dvije tačke jednak je razlici absolutnih nivoa u tim tačkama:*

$$\kappa_{pr} = 10 \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \log \frac{P_2}{P_0} - 10 \log \frac{P_1}{P_0} = 10 \log \frac{P_2}{ImW} - 10 \log \frac{P_1}{ImW} = \kappa_{p2} - \kappa_{p1}$$

Primjer računanja nivoa signala



Dijagram promjene nivoa signala na liniji veze

Izlazni apsolutni nivo signala n_2 se dobija kao algebarski zbir ulaznog nivoa, slabljenja na trasi (α) i ukupnog pojačanja pojačavača (G) :

$$n_2 - n_1 = \alpha \times 5_{(\text{km})} + A_1 - \alpha \times 8_{(\text{km})} + A_2 = -12 \text{ dBm} - 30 \text{ dB} + 35 \text{ dB} - 48 \text{ dB} + 35 \text{ dB} = -20 \text{ dBm}$$

Relativni nivo signala je $n_{r2} = -8 \text{ dB}$, što znači da je signal pri prenosu oslabio za 8 dB . Isto se dobija i pri proračunu razlike apsolutnih nivoa:

$$n_p = n_2 - n_1 = -12 \text{ dBm} - (-20 \text{ dBm}) = 8 \text{ dB}$$



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Digital Broadcasting and Broadband Technologies (Master Studies)
Erasmus+ Project No. 561688-EPP-1-2015-1-XK-EPPKA2-CBHE-JP

This project has been founded with support from the European Commission
This publication[communication] reflects the views only of the author, and
the Commision cannot be held responsible for any use which may be made of
the information contained therein.

DBBT

**Digital Broadcasting &
Broadband Technologies**