



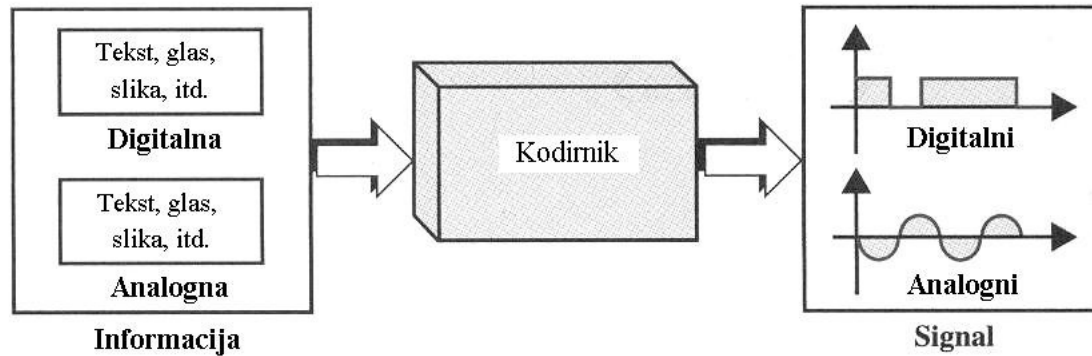
Signali



Glavna naloga fizičnega nivoja je gibanje **informacij** v obliki **signalov** po **prenosnem mediju**.

- ✓ Informacija je lahko *zvok, slika, numerični podatki, znaki*, ali kakršnokoli sporočilo, ki je čitljivo in ima pomen za uporabnika, ki mu je namenjeno.
- ✓ V splošnem informacija uporabna za neko aplikacijo ni v obliki, ki jo lahko posredujemo s pomočjo prenosnega medija.
 - Informacijo pretvorimo v signal, ki pove sprejemni enoti kako naj rekonstruira to isto informacijo.
- ✓ V splošnem tudi signali niso v obliki, ki jo prenosni medij sprejme in jih je potrebno preoblikovati.

Transformacija informacije v signale



Analogna in digitalna oblika informacije

Informacija je lahko *analogna* ali *digitalna*.

- ✓ Analogna informacija je *zvezna*.
- ✓ Digitalna informacija je *diskretna*.



a. Analogna ura

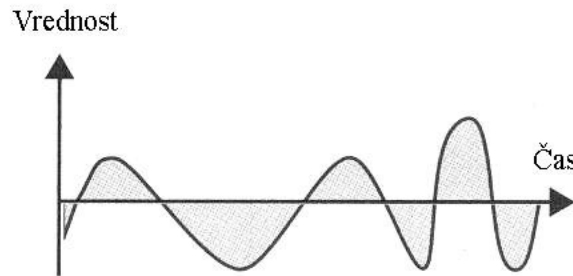


b. Digitalna ura

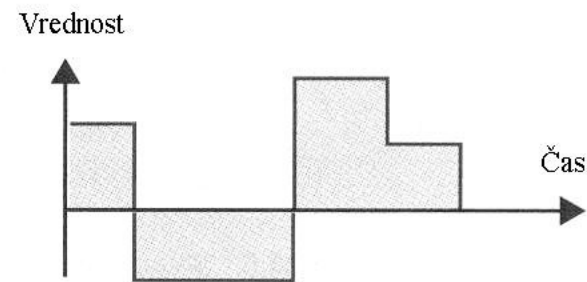
Analogna in digitalna oblika signala

Signali, ki predstavljajo informacijo so lahko analogni ali digitalni.

- ✓ *Analogni signali* lahko imajo katerokoli vrednost področja.
- ✓ *Digitalni signali* lahko imajo samo omejeno število vrednosti.



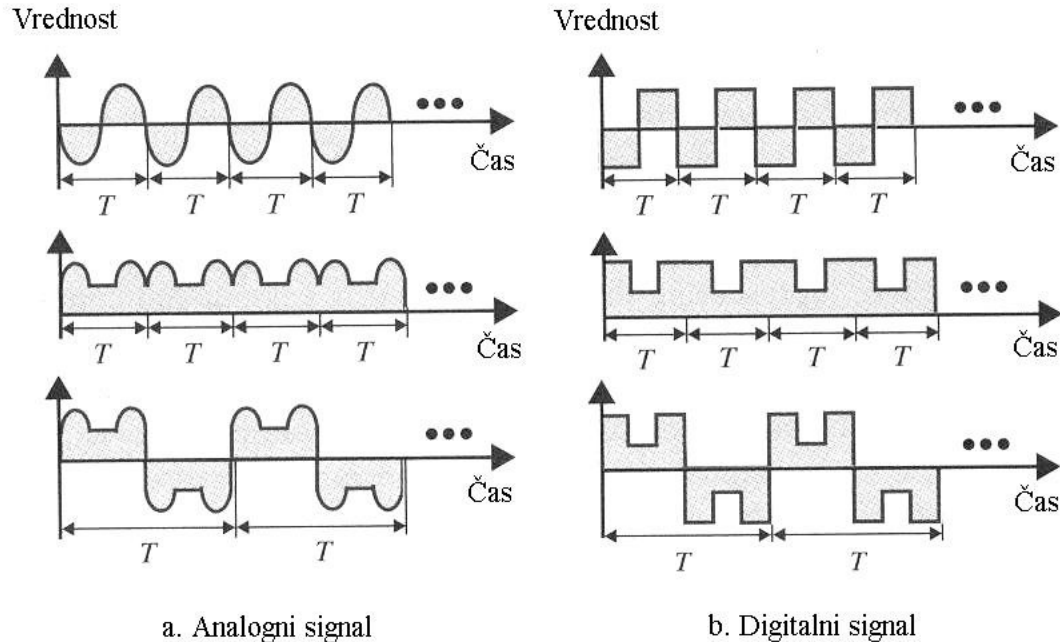
a. Analogni signal



b. Digitalni signal

Periodični signali

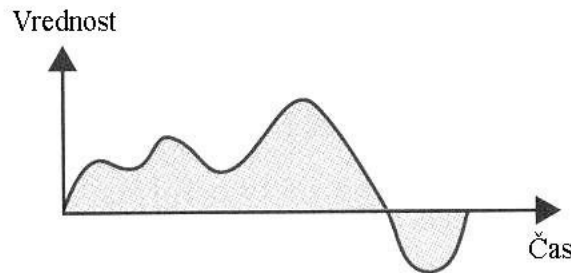
Periodični signal sestoji iz neprestano ponavljajočega vzorca.



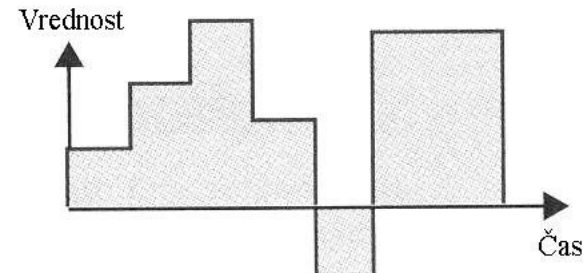
Neperiodični signali

Neperiodični signal se neprestano spreminja ne da bi izkazoval vzorec ali cikel, ki se časovno ponavlja.

Vsak neperiodični signal je možno razstaviti v neskončno število periodičnih signalov.



a. Analogni signal



b. Digitalni signal



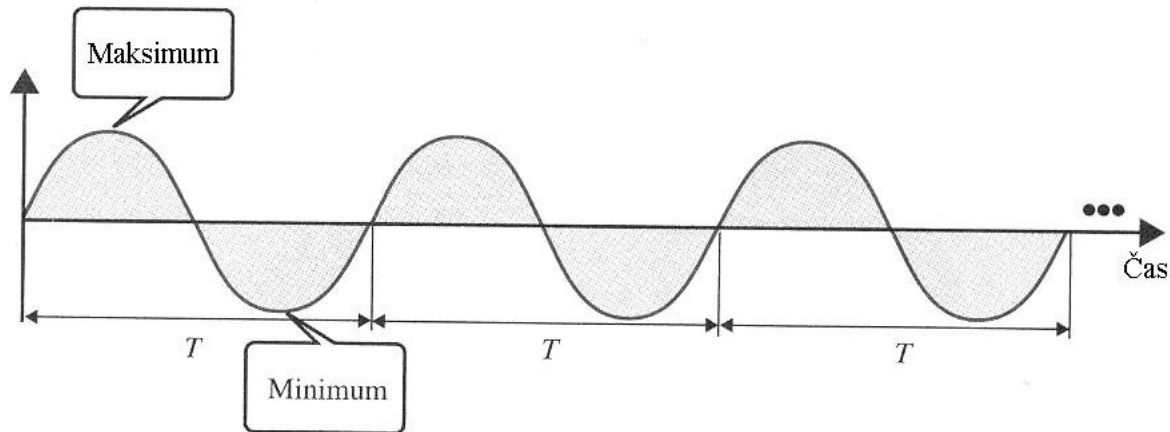
Analogni signali

Analogne signale lahko klasificiramo v *preproste* in *kompleksne*.

- ✓ Preprost analogni signal (ali sinusni signal) ni možno razstaviti v preprostejše signale.
- ✓ Kompleksni analogni signal sestavlja množica sinusnih signalov.

Preprosti analogni signali

- *Sinusno valovanje* je najbolj osnovna oblika periodičnega analognega signala.
- Sinusno valovanje je v celoti opisano s tremi karakteristikami: *amplituda*, *perioda* ali *frekvenca* in *faza*.





Preprosti analogni signali

Amplituda

- ✓ *Amplituda* se nanaša na velikost signala.
 - Enota za amplitudo je odvisna od tipa signala (Volt, Amper, Watt).

Perioda in frekvenca

- ✓ *Perioda* (T) je količina časa v katerem signal opravi celoten cikel.
 - Enote za merjenje periode so:
s (sekunda), ms, μ s, ns in ps ($\text{ps}=10^{-12}$ s).
- ✓ *Frekvenca* (f) je število ciklov v eni sekundi.
 - Enote za merjenje frekvence so:
Hz (Hertz), kHz, Mhz, GHz in THz ($\text{THz}= 10^{12}$ Hz).

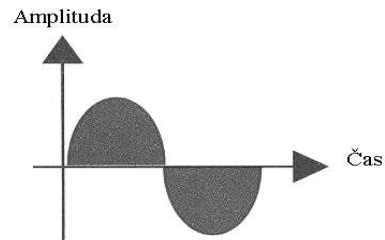
$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

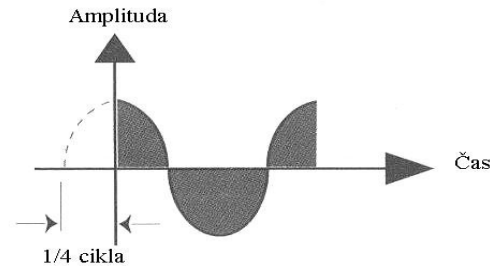
Preprosti analogni signali

Faza

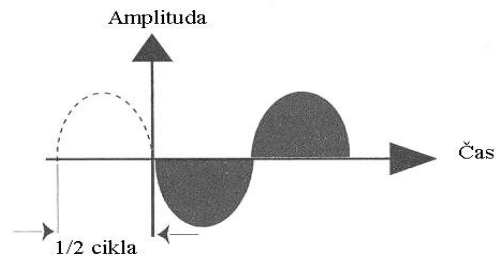
- ✓ *Faza* podaja pozicijo valovanja glede na čas nič.
 - Faza je merjena v stopinjah ali radianih (360 stopinj je 2π radianov).



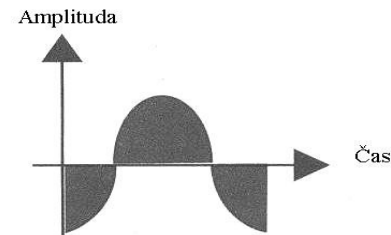
a. 0 stopinj



b. 90 stopinj



c. 180 stopinj



d. 270 stopinj



Preprosti analogni signali

Matematični opis sinusnega signala

$x(t)$ je potek signala s časom t

A je maksimalna amplituda signala

f je število ciklov v sekundi

Φ definira fazo signala

$$x(t) = A \times \sin(2 \pi ft + \phi)$$



Preprosti analogni signali

Vaje

- ✓ Sinusno valovanje ima frekvenco 8KHz. Kakšna je njegova perioda?

$$T = 1/f = 1/8000 = 0.000125 \text{ s} = 125 \mu\text{s}$$

- ✓ Sinusno valovanje zaključi cikel v 25 μs . Kakšna je frekvenca ?

$$f = 1/T = 1/25 \times 10^{-6} = 40000 \text{ Hz} = 40 \text{ KHz}$$

- ✓ Električna napetost v hiši je dober primer osnovnega sinusnega valovanja. Maksimalna amplituda je 220 voltov in frekvenca 50 Hz. Napiši matematično enačbo nihanja.

$$2\pi f = 2 \times 3.14 \times 50 = 314 \text{ radianov/sek}$$

$$x(t) = A \sin(2\pi ft + \Phi) = 220 \sin(314t + \Phi)$$



Preprosti analogni signali

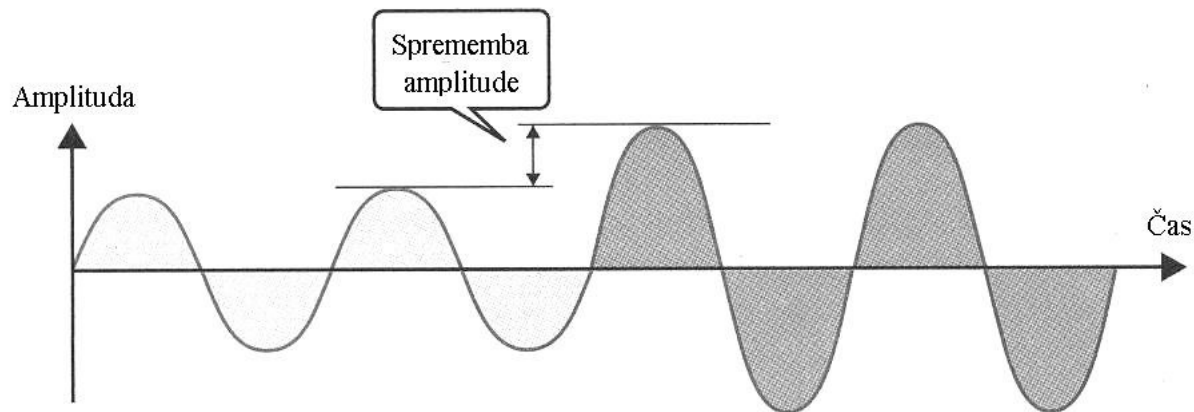
Sprememba karakteristik signala:

- ✓ Amplitude
- ✓ Frekvence
- ✓ Faze

Elektronska sprememba karakteristik je osnova telekomunikacij.

Preprosti analogni signali

Sprememba amplitude

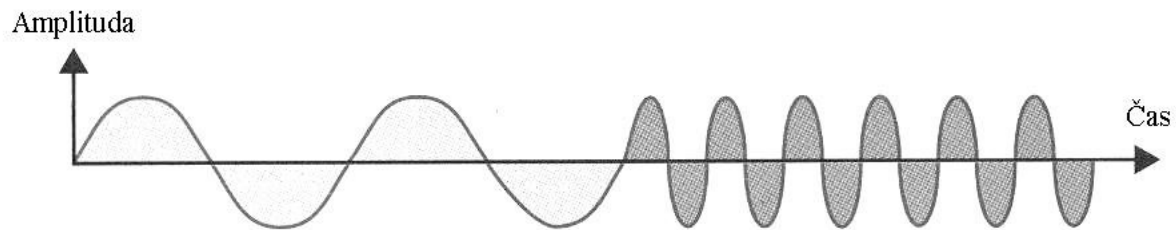




Preprosti analogni signali

Sprememba frekvence

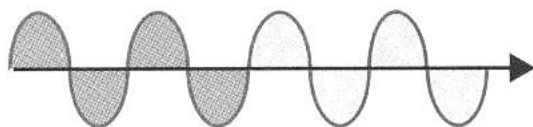
Frekvenca je hitrost spremembe signala glede na čas.



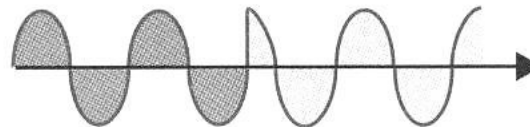


Preprosti analogni signali

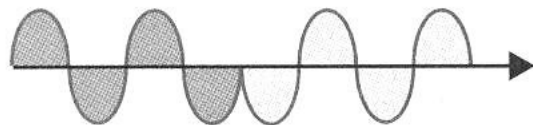
Sprememba faze



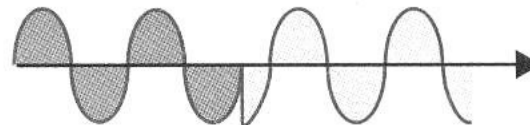
a. Ni spremembe faze



b. Sprememba faze za 90 stopinj



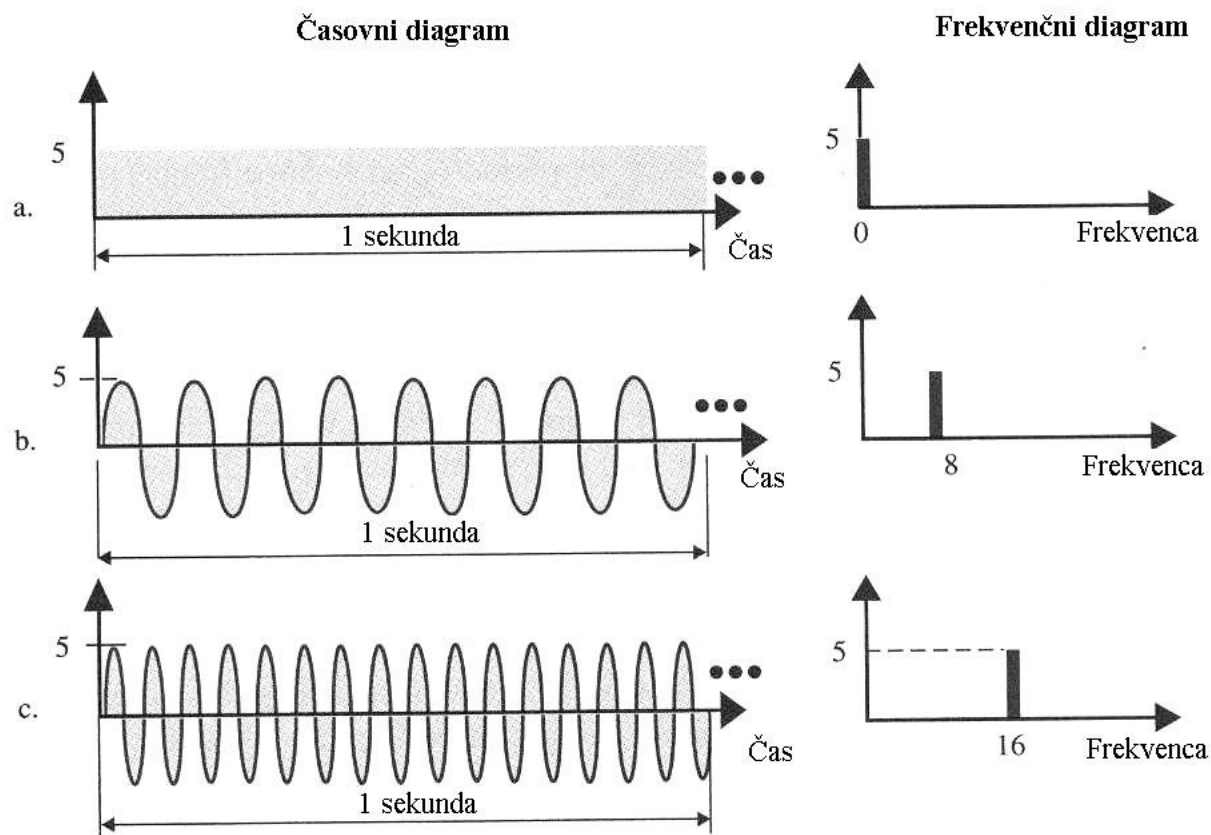
c. Sprememba faze za 180 stopinj



d. Sprememba faze za 270 stopinj

Preprosti analogni signali

Časovna in frekvenčna predstavitev signala.



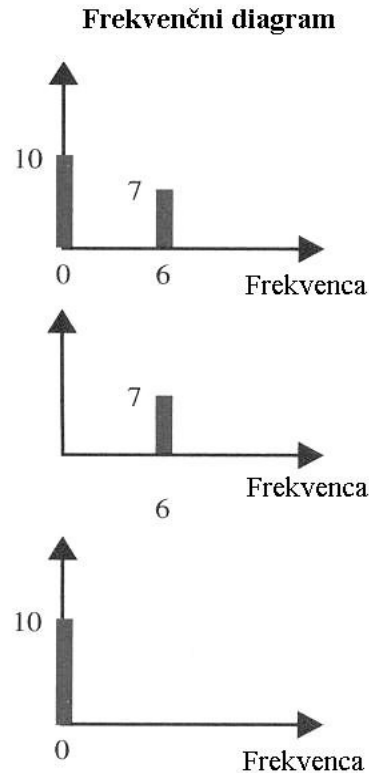
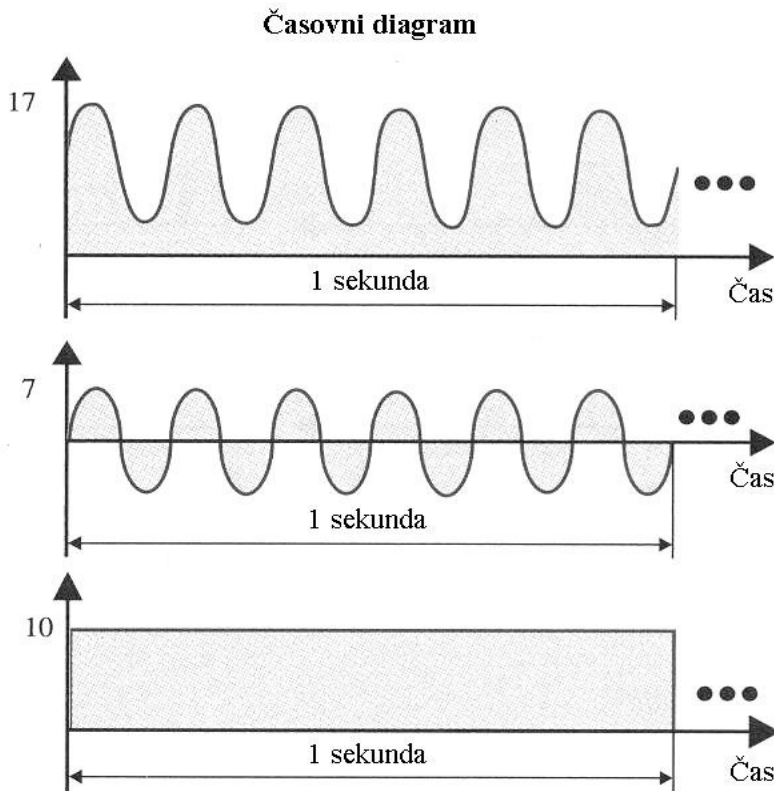


Kompleksni signali

- Dokler so vse nepravilnosti signala konsistentne, cikel za ciklom, je signal še zmeraj periodičen in se mora dati opisati na enak način kot sinusno valovanje.
- Vsak periodični signal, ne glede na njegovo kompleksnost, je možno razstaviti na nabor sinusnih valov in vsak ima merljivo amplitudo, frekvenco in fazo.
- Razstavljanje sestavljenega signala na njegove komponente se izvrši s Furierjevo analizo.

Kompleksni signali

Signal z enosmerno komponento.



$$y(t) = x_1(t) + x_2(t) = 10 + 7 \sin(12\pi t)$$

$$x_2(t) = 7 \sin(2\pi 6t) = 7 \sin(12\pi t)$$

$$x_1(t) = 10$$



Kompleksni signali

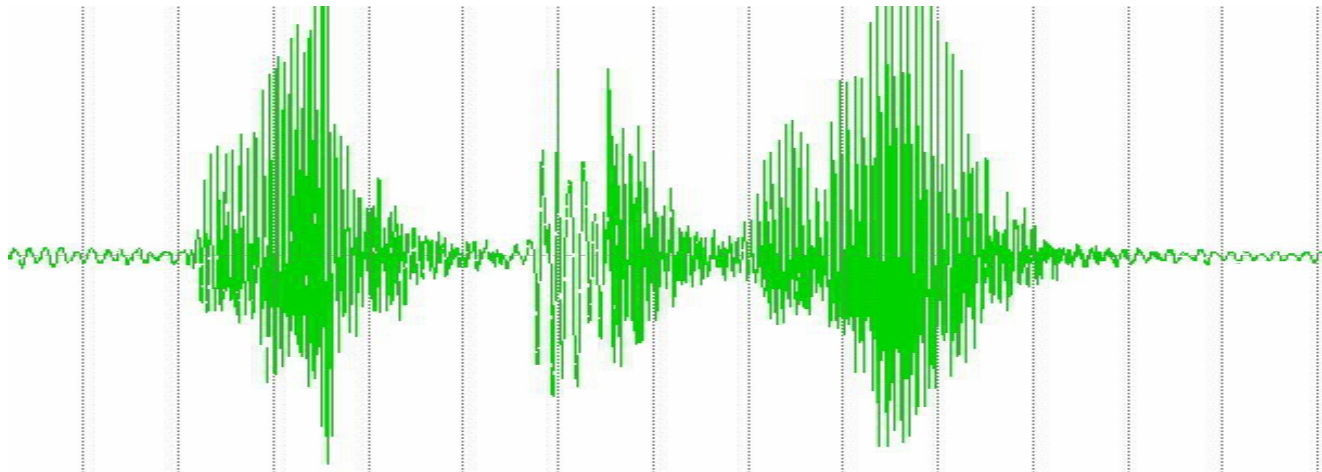
Splošen matematični zapis poljubnega signala

$$x(t) = A_0 + A_1 \sin(2\pi f_1 t + \Phi_1) + A_2 \sin(2\pi f_2 t + \Phi_2) + \dots + A_m \sin(2\pi f_m t + \Phi_m)$$



Kompleksni signali

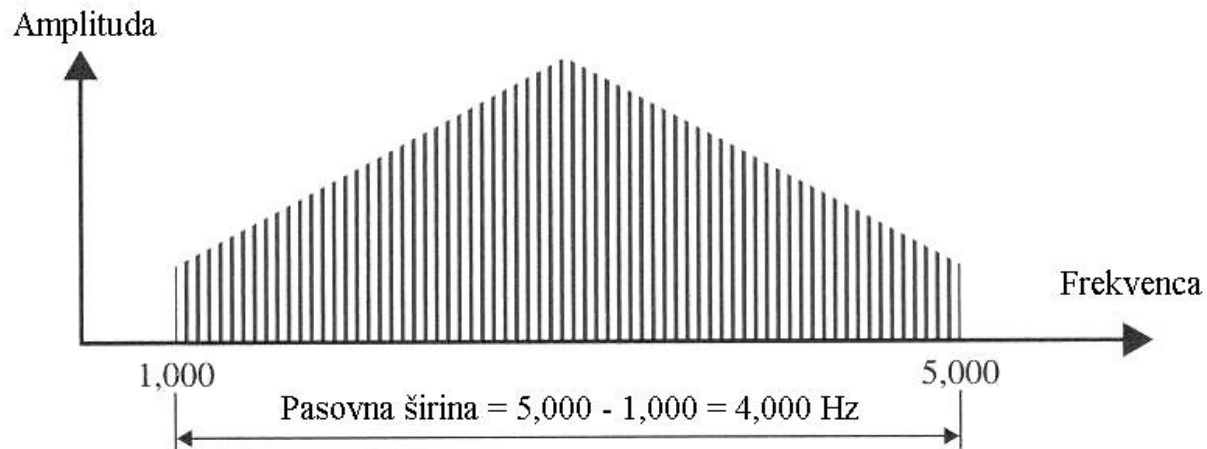
- Primer signala “Lep pozdrav”



Kompleksni signali

Frekvenčni spekter in pasovna širina

- ✓ *Frekvenčni spekter* signala je nabor vseh frekvenc komponent
- ✓ *Pasovna širina* signala je širina frekvenčnega spektra





Kompleksni signali

Vaje

- Periodični signal smo razstavili na pet sinusnih komponent z frekvenco 100, 300, 500, 700 in 900 Hz. Kakšna je pasovna širina?

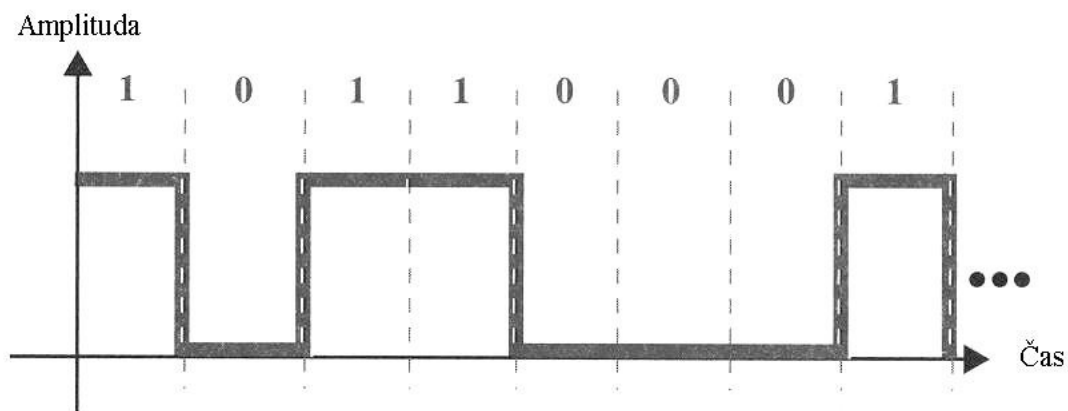
$$BW = f_h - f_l = 900 - 100 = 800\text{Hz}$$

- Signal ima pasovno širino 20KHz. Najvišja frekvenca je 60KHz. Kakšna je najnižja frekvenca?

$$BW = f_h - f_l \Rightarrow 20 = 60 - f_1 \Rightarrow f_1 = 60 - 20 = 40\text{KHz}$$

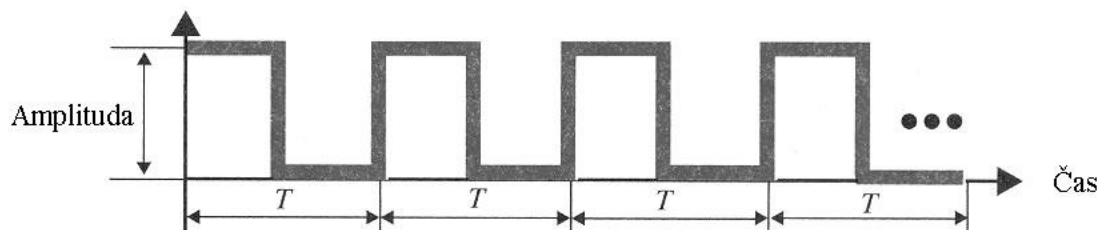
Digitalni signali

Podatki so lahko predstavljeni tudi z digitalnimi signali.

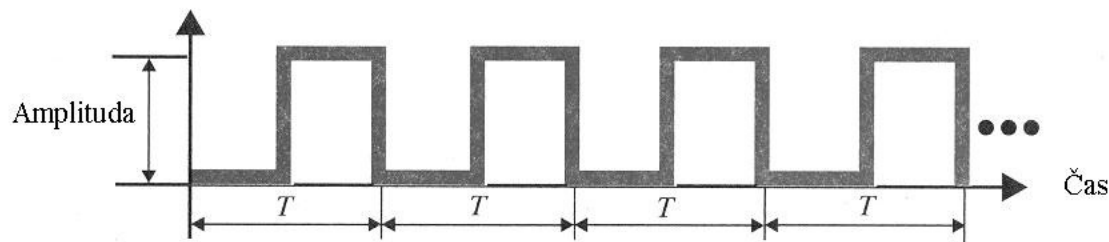


Digitalni signali

Amplituda, perioda in faza



a. Ni pomika faze

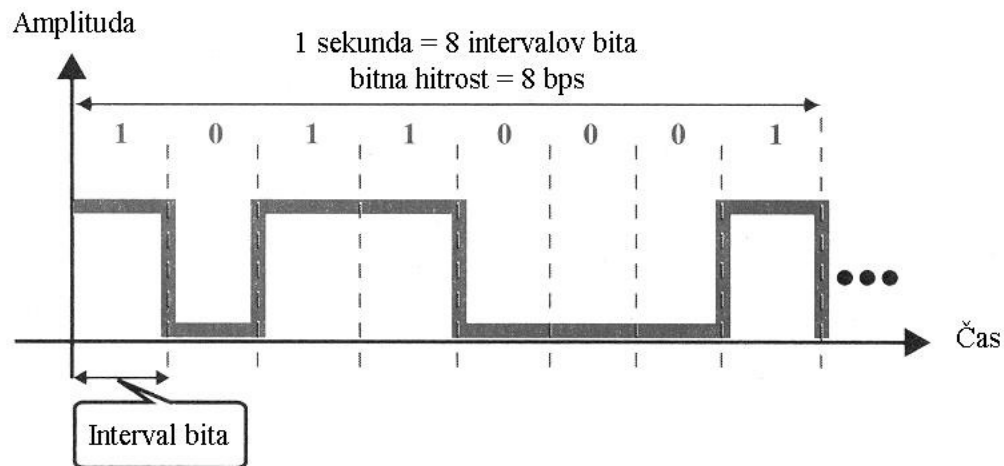


b. Pomik faze za 180 stopinj

Digitalni signali

Bitni interval in bitna hitrost

- ✓ *Bitni interval* (τ) – čas potreben za pošiljanje enega bita.
- ✓ *Bitna hitrost* (R) – število bitnih intervalov na sekundo; enota **bps** (bits per second).





Digitalni signali

Vaje

- Oddajnik pošlje 1000 bitov v eni sekundi. Izrazi bitno hitrost in bitni interval.

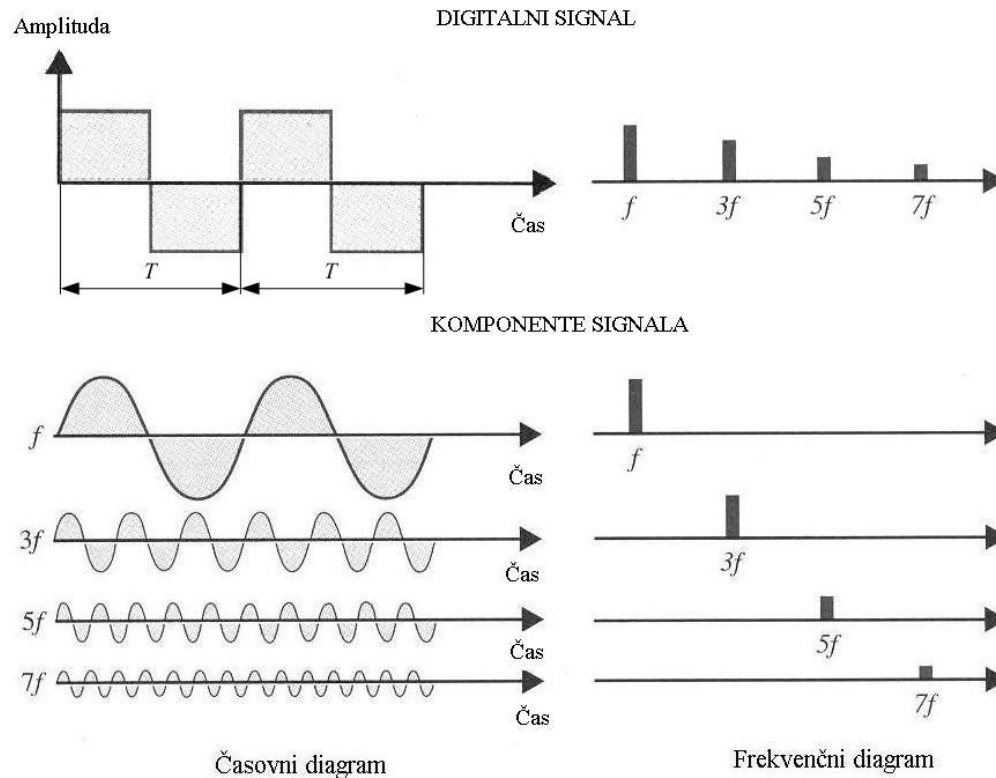
$$R = 1000 \text{ bps}$$

$$\tau = 1/R = 0.001 \text{ sek}$$

Digitalni signali

Dekompozicija digitalnega signala

- ✓ Digitalni signal lahko razstavimo na neskončno število sinusnih valovanj imenovana *harmonična valovanja*.



$$(A_1 = A, f_1 = f)$$

$$(A_2 = A/3, f_2 = 3f)$$

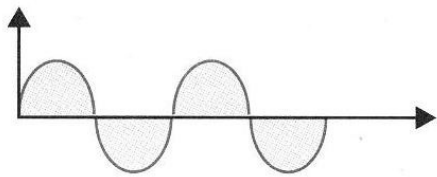
$$(A_3 = A/5, f_3 = 5f)$$

$$(A_4 = A/7, f_4 = 7f)$$

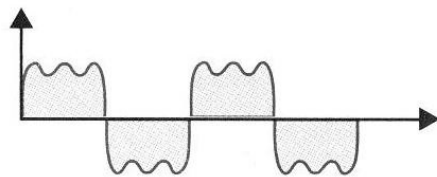
Digitalni signali

- Za sprejem natančne kopije digitalnega signala, morajo biti vse frekvenčne komponente skrbno poslane preko prenosnega medija.
 - ✓ Če katere komponente niso prišle skozi prenosni medij, je signal na sprejemniku *popačen* (ni enak poslanemu).

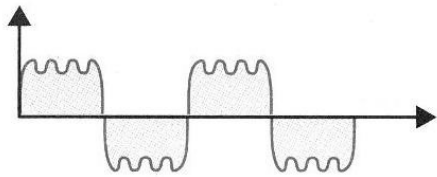
$$x(t) = A \sin(2 \pi f t) + \frac{A}{3} \sin(6 \pi f t) + \frac{A}{5} \sin(10 \pi f t) + \frac{A}{7} \sin(14 \pi f t) + \dots$$



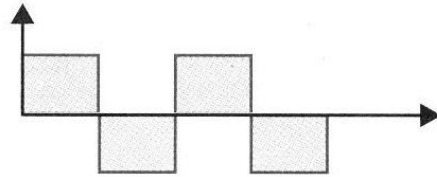
Osnovna harmonska frekvenca



Osnovna, tretja in peta harmonska frekvenca



Osnovna, tretja, peta in sedma harmonska frekvenca



Neskončno harmonskih frekvenc

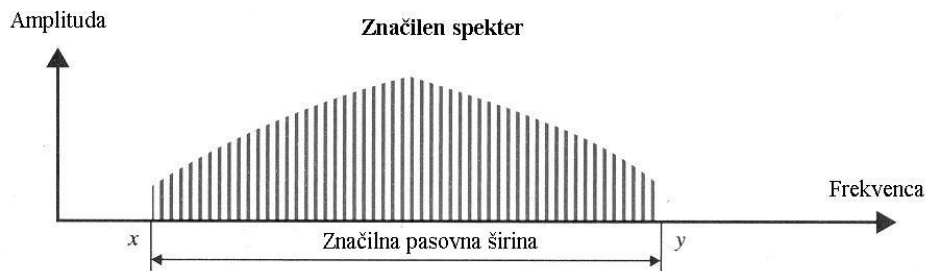
Dekompozicija digitalnega signala

- ✓ Digitalni signal lahko razstavimo na neskončno število sinusnih valovanj imenovana *harmonična valovanja*.
 - Pri pošiljanju digitalnega signala po prenosnem mediju, pošiljamo neskončno število osnovnih signalov.
- ✓ Za sprejem natančne kopije digitalnega signala, morajo biti vse frekvenčne komponente skrbno poslane preko prenosnega medija.
 - Če katere komponente niso prišle skozi prenosni medij, je signal na sprejemniku *popačen* (ni enak poslanemu).
- ✓ Na sprejemniku še vedno dobimo digitalni signal s sprejemljivo natančnostjo, če pošljemo samo komponente, ki so pomembne.
 - Ta del neskončnega spektra imenujemo *značilen spekter* in pasovno širino *značilna pasovna širina*.

Digitalni signali

Na sprejemniku še vedno dobimo digitalni signal s sprejemljivo natančnostjo, če pošljemo samo komponente, ki so pomembne.

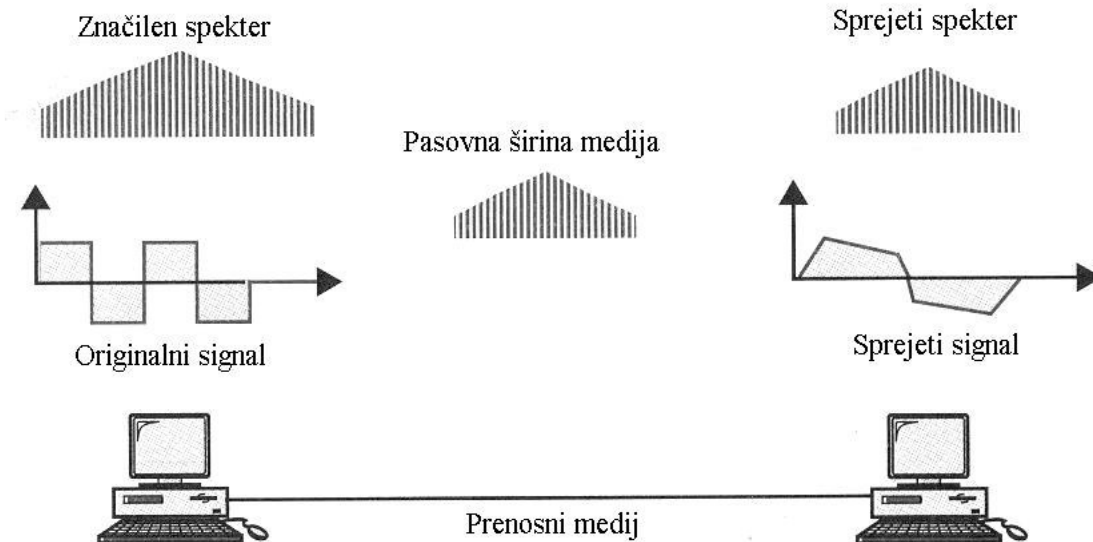
- ✓ Ta del neskončnega spektra imenujemo *značilen spekter* in pasovno širino *značilna pasovna širina*.



Digitalni signali

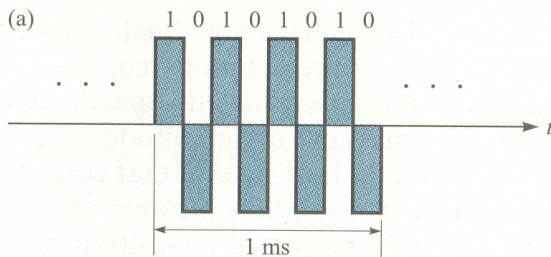
Pasovna širina medija in značilna pasovna širina

- ✓ Prenosni medij ima omejeno pasovno širino, kar pomeni, da lahko prenaša samo omejeno področje frekvenc.

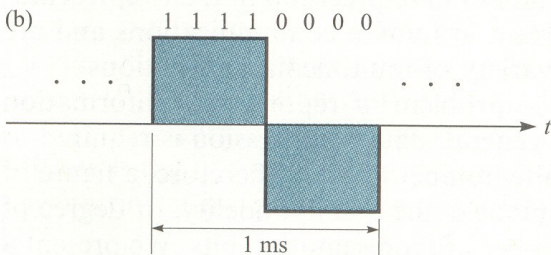
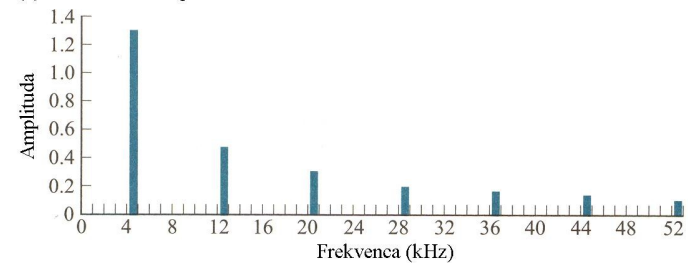


Uporaba analognih signalov za pošiljanje digitalnih podatkov

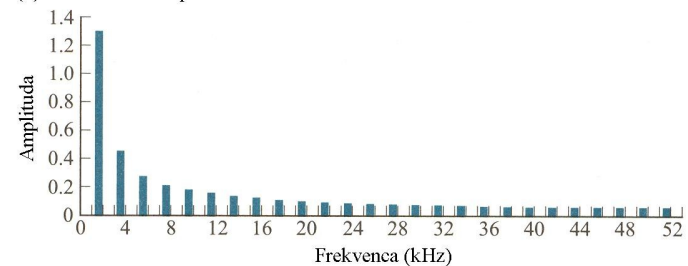
Pri pošiljanju digitalne informacije je oblika signala odvisna od digitalnega vzorca



(a) Frekvenčne komponente za 10101010



(b) Frekvenčne komponente za 11110000

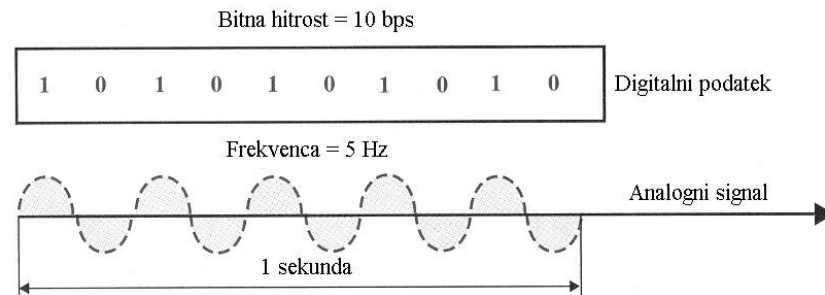


Digitalni signali

Vaje

Kakšna pasovna širina je potrebna za pošiljanje podatkov s hitrostjo 10 bps z uporabo analognih signalov? Predpostavi, da je vsak element signala en bit.

- ✓ Vsako kombinacijo bitov 1 in 0 lahko smatramo za en cikel. Potem imamo pet ciklov na sekundo.
- ✓ Če pošljemo dva bita na vsako periodo analognega signala, je potrebna pasovna širina 5 Hz.
- ✓ Če vsaka perioda uporabi x Hz pasovno širino, je potrebna pasovna širina 5 krat x .



Vaje

Faks skenira črno beli dokument v polje točk, ki so izražene z bitom 1 ali 0. Izračunaj koliko časa bi trajal prenos dokumenta na papirju A4 (8.5 x 11 inch) pri resoluciji 200 x 100 točk/inch. Prenos poteka z modemom, ki ima hitrost 28.8 Kbps.

- ✓ Št. točk: $8.5 \times 11 \times 200 \times 100 = 1870000$
- ✓ Čas prenosa: $t = \text{št.bitov}/R = 65 \text{ sek}$