

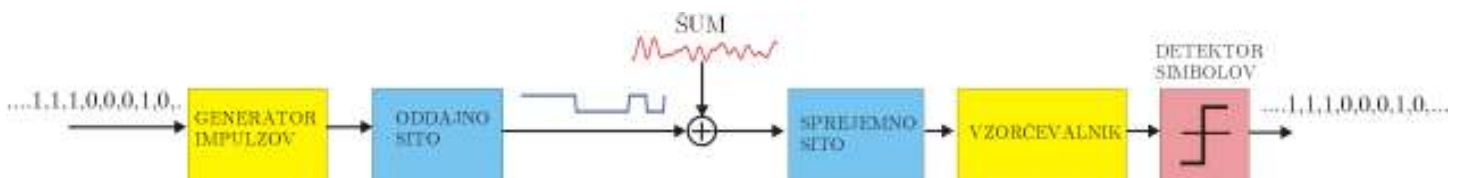
Digitalni prenos signalov v osnovnem pasu

Digitalne komunikacije

Binarni PAM

Glavne značilnosti modela prenosnega sistema PAM-2 so:

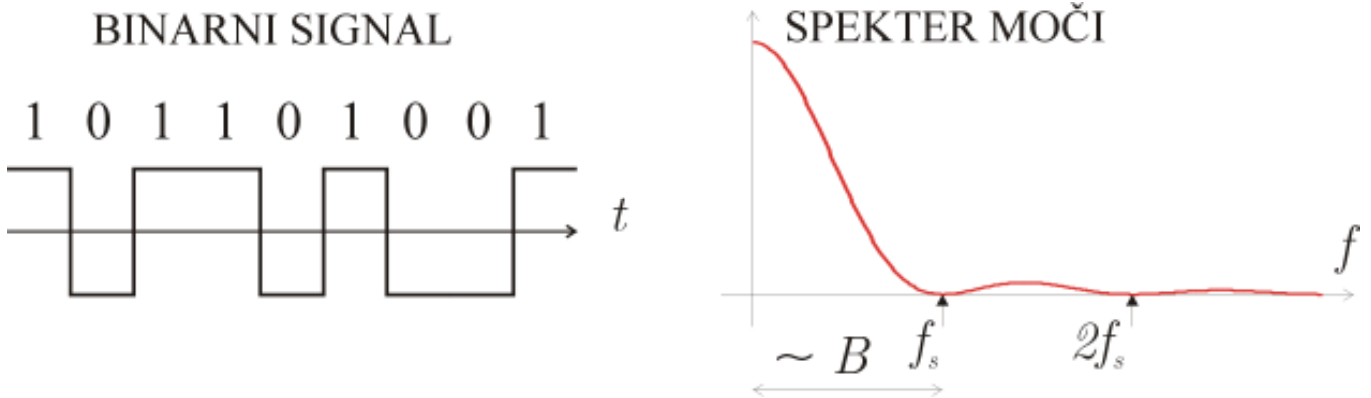
- oddajnik je enobitni D/A pretvornik,
- detektor je preprosti enobitni A/D pretvornik (komparator)
- na kanalu se prišteva beli Gaussov šum.



- Kvaliteto digitalne zveze določa pogostost napak pri prenosu.
- BER (bit-error-rate) je relativni delež napačno prenesenih bitov.
- Na kvaliteto zveze vplivata intersimbolna interferenca in šum.
- S sprejemnim sitom uravnavamo velikost ISI in šuma v sprejemniku.
- Za dani primer oddajnega sita in kanala je optimalno sprejemno sito povprečevalnik .

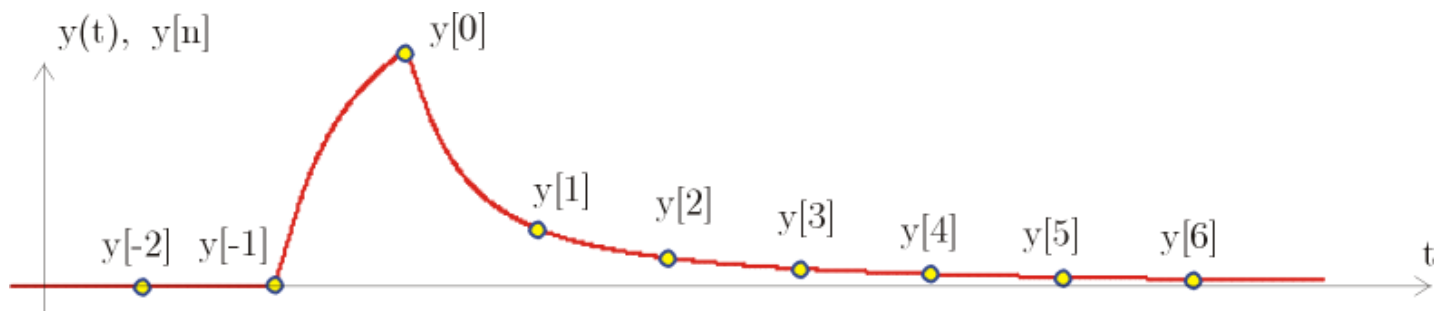
Spekter binarnega signala

- Za prenos potrebujemo frekvenčni pas v katerem se nahaja večji del moči signala. V pasu do simbolne frekvence f_s se pri pravokotnih impulzih nahaja več kot 90% moči:



- V sprejemniku uporabimo nizko sto z mejno frekvenco fzg:
 - Če omejimo spekter signala, začne naraščati ISI.
 - Moč šuma linearno narašča z mejno frekvenco sita v sprejemniku.

Mera za intersimbolno interferenco



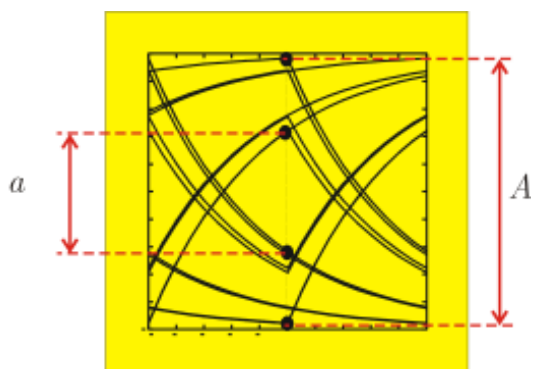
- Velikost intersimbolne interference izražamo z maksimalno vrednostjo ISI:

$$ISI = \frac{\sum_{n \neq 0} |y(t_0 + nT)|}{|y(t_0)|}$$

- Zaradi intresimbolne interference se poveča občutljivost na šum. Če je $ISI > 1$ nastopajo napake tudi če ni šuma na kanalu.

Merjenje ISI

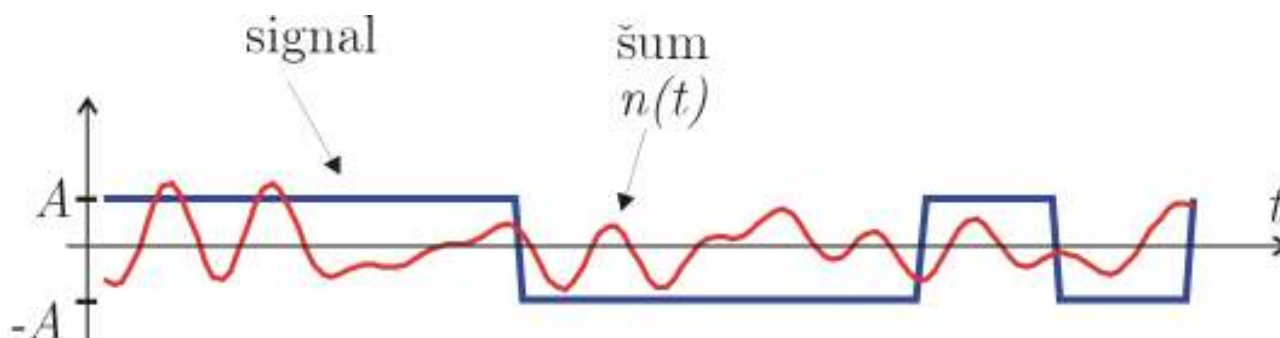
- Maksimalno vrednost ISI lahko ugotovimo z meritvijo očesnega diagrama. **Očesni diagram** izmerimo z osciloskopom. Osciloskop nam pokaže očesni diagram, če pri meritvi podatkovnega signala pošljemo časovno bazo s taktom simbolne frekvence.
- Zaradi persistence ekrana vidimo naenkrat množico zaporedij signalnih oblik, ki pa so vse sinhronizirane na fazo simbolne frekvence. Rezultat je periodični vzorec, ki spominja na oko:



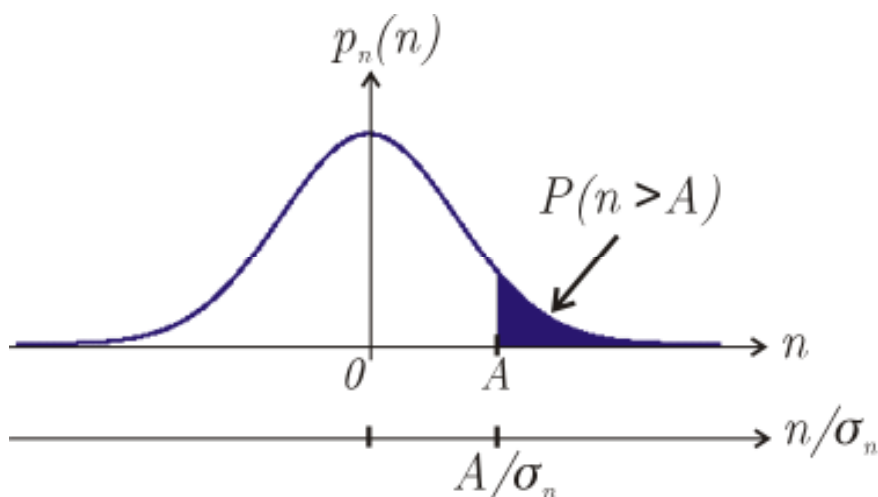
$$ISI = \frac{A - a}{A + a}$$

- Pri majhni intersimbolni interferenci je oko odprto: razlika med a in A je majhna. Če je interferenca velika npr. $ISI=1$ postane oko popolnoma zaprto!

Vpliv šuma na verjetnost napake P_e



- Napaka nastopi, če je šum večji od signala. Če ima šum Gaussovo porazdelitev verjetnosti amplitude, lahko verjetnost dogodka $P(n > A)$ izračunamo:



A/σ_n	$P(n > A)$
1	0.16
2	0.023
3	0.0013
4	0.000032
5	0.00000029

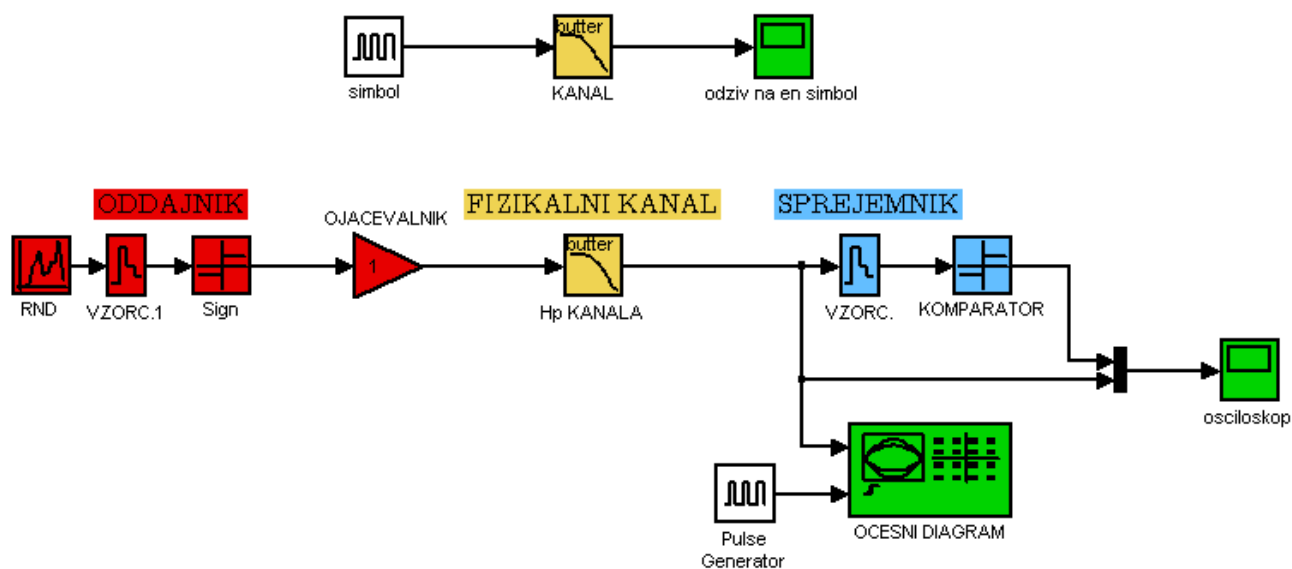
Eksperimentalne naloge:

- Ugotovite vpliv intersimbolne interference in šuma na kvaliteto binarnega prenosa signalov.
- Velikost intersimbolne interference ocenite na osnovi meritve odprtine binarnega očesa pred vzorčevalnikom v sprejemniku. Ugotovite kako narašča ISI, če pri prenosu pravokotnih impulzov uporabimo nizko sito v sprejemniku !
- Za primer, če je na kanalu beli šum ugotovite, kako je kvaliteta zveze odvisna od pasovne širine nizkega sita v sprejemniku.
- Naloge rešite z eksperimenti:
 - A) na simulatorju z elementi knjižnice SIMULINK in
 - B) z vezji TIMS

Naloga A - Simulink

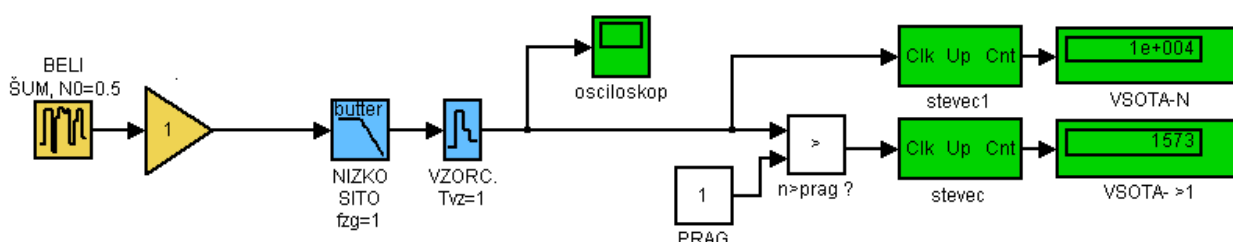
Disperzija impulzov in intersimbolna interferenca (ISI)

- Ocenite velikost intersimbolne interference pri prenosu pravokotnih impulzov!
- za model kanala izberemo najprej nizko sito prvega reda z mejno frekvenco $f_{zg} = f_s$, $f_{zg} = 0.3 f_s$ in $f_{zg} = 0.15 f_s$
 - na osnovi opazovanja odprtine očesa določite potek $ISI(f_{zg})$ za primer, če je kanal "ostro" nizko sito (izberite Butterworthovo sito 6. reda) !



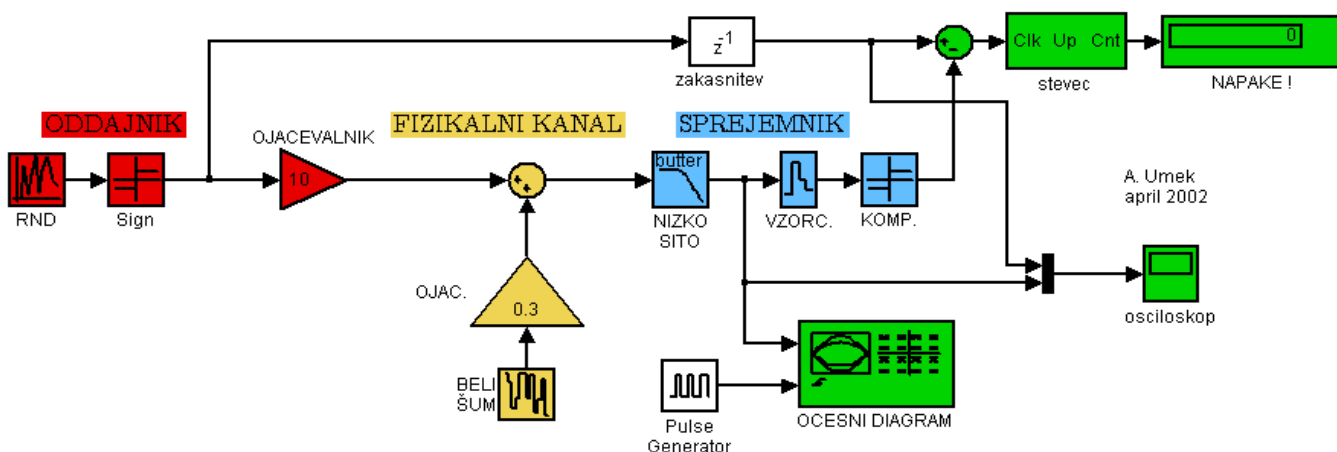
Vpliv šuma na število napak

- Preverite lastnosti šumnega izvora:
 - nastavite gostoto šuma N_0 tako, da bo efektivna vrednost šuma v frekvenčnem pasu $(-f_{zg}, f_{zg})$ enaka 1: $n_{eff}^2 = 2 f_{zg} N_0$
 - izmerite število dogodkov ko šum preseže izbrani pragovni vrednosti $n(k T_{vz}) > 1$, in $n(k T_{vz}) > 2$.
- Preverite učinek filtriranja šuma:
 - ugotovite relativne frekvence dogodka $n(k T_{vz}) > 1.4$ pri polovični mejni frekvenci sita f_{zg} !



PAM oddajnik in sprejemnik v Simulinku

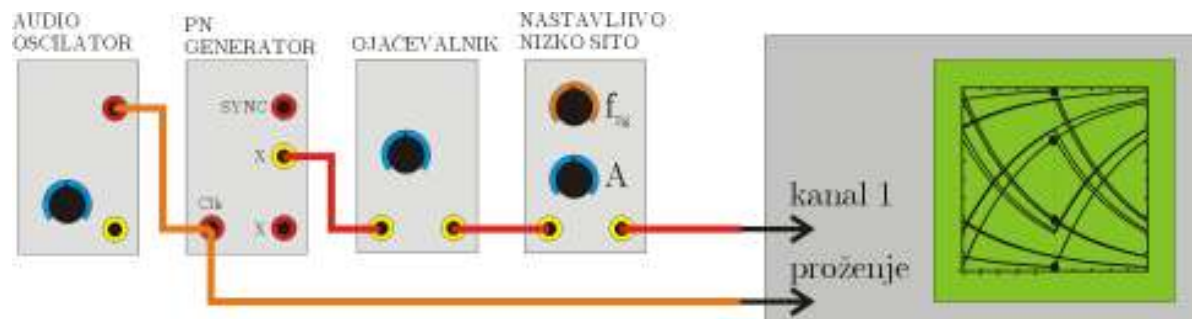
- z elementi knjižnice sestavite PAM oddajnik in sprejemnik !
- nastavite parametre:
 - amplituda signala $V=1$, simbolna hitrost $f_s=1$
 - efektivna vrednost šuma v frekvenčnem pasu $(0, f_s)$
 $n_{eff}=(1, 1/2, 1/3)$
 - mejna frekvenca nizkega sita v sprejemniku: $f_{zg}=(2f_{sr}, f_{sr}, 0.5 f_{sr})$
- rezultate vpišite v tabelo $BER(f_{zg}, n_{ef})$:



Naloga B - TIMS

Očesni diagram

- sestavite PAM-2 oddajnik in nastavite parametre:
 - simbolna hitrost $f_s=2000$ baud
 - amplituda signala $X=2V$
 - mejna frekvenca nizkega sira $f_{zg}=(4000\text{Hz}, 2000\text{Hz}, 1000\text{Hz}, 500\text{Hz} \dots)$
- izmerite očesni diagram za različne nastavitve f_{zg} in izračunajte $ISI!$



Opišite potek ISI(fzg) !

PAM z moduli TIMS

- sestavite PAM-2 oddajnik in sprejemnik in nastavite parametre:
 - simbolna hitrost f_s
 - amplituda signala X
 - gostota moči šumnega izvora N_0
 - mejna frekvenca nizkega sita v sprejemniku f_{zg}
- preverite časovni potek in spekter signala v vseh točkah !
- izmerite pogostost napak BER za različne nastavitve N_0 in f_{zg} !
- rezultate vpišite v tabelo !

