



# Digitalni prenos signalov v osnovnem pasu

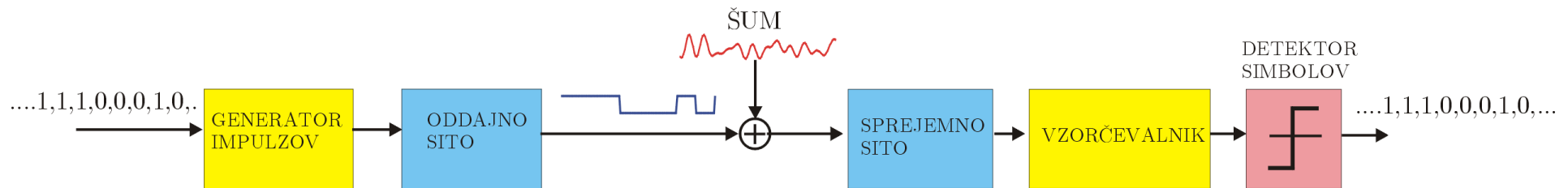
---

Digitalne komunikacije II  
- 3. sklop laboratorijskih vaj

# Binarni PAM

Glavne značilnosti modela prenosnega sistema PAM-2 so:

- oddajnik je enobitni D/A pretvornik
- detektor je preprosti enobitni A/D pretvornik
- na kanalu se prišteva beli Gaussov šum



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



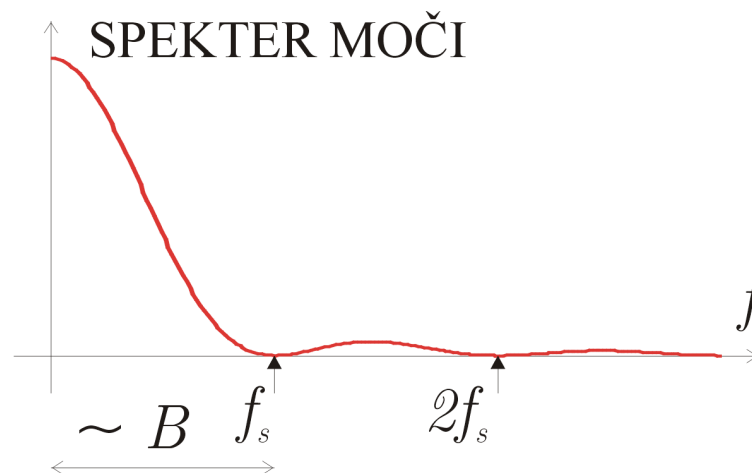
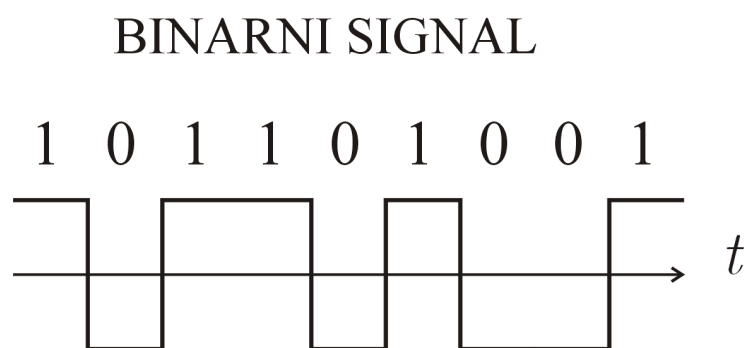
## NALOGE:

---

- Preverite vpliv šuma in intresimbolne interference na kvaliteto binarnega prenosa signalov.
- Velikost intresimbolne 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 TMS

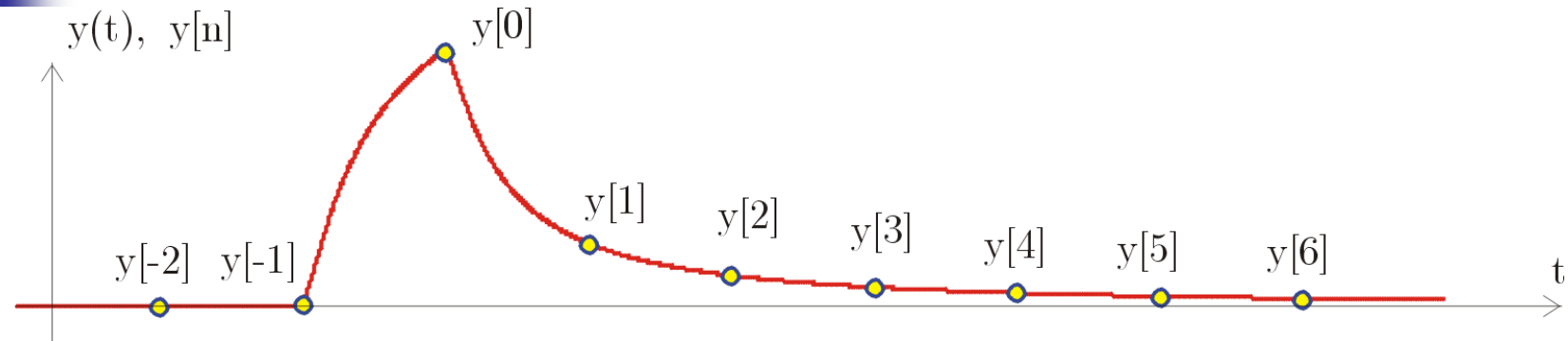
# Spekter binarnega signala

- 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:



- Če omejimo frekvenčni pas na kanalu ali v sprejemniku, začne ISI naraščati.
- Na kanalu z dodanim šumom se moč šuma v sprejemniku zmanjša, če omejimo frekvenčni pas v sprejemnem situ.

## Mera za intersimbolno interferenco



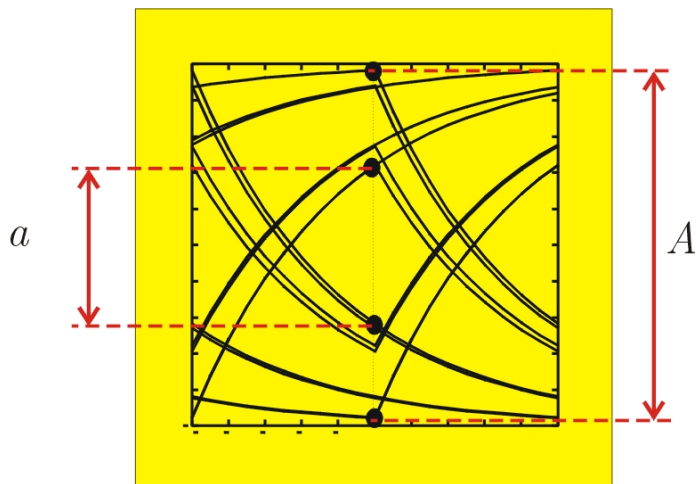
- Velikost intersimbolne interference izražamo z maksimalno vrednostjo ISI:

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

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

## ISI in diagram odprtine očesa

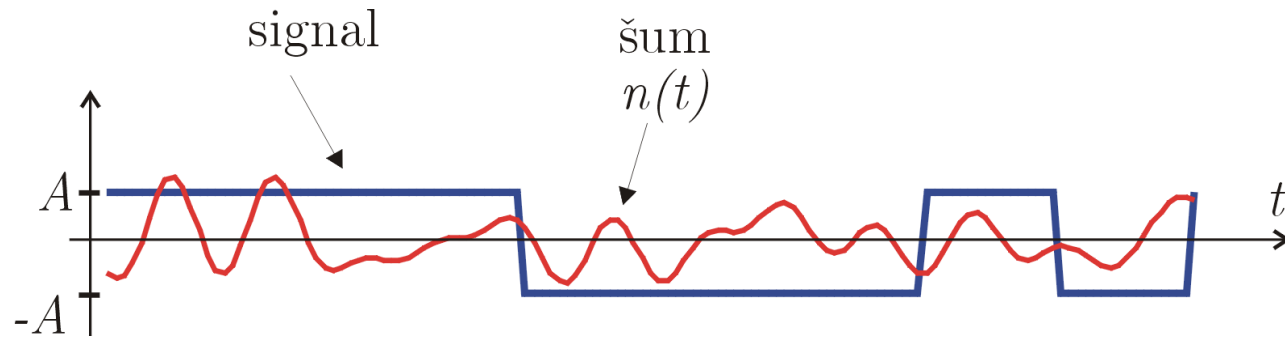
- Maksimalno vrednost  $ISI$  lahko ugotovimo z meritvijo očesnega diagrama. Očesni diagram izmerimo z osciloskopom. Osciloskop nam pokaže očesni diagram, če pri meritvi podatkovnega signala prožimo časovno bazo s taktom simbolne frekvence.
- Zaradi persistence ekrana vidimo naenkrat množico zaporedij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



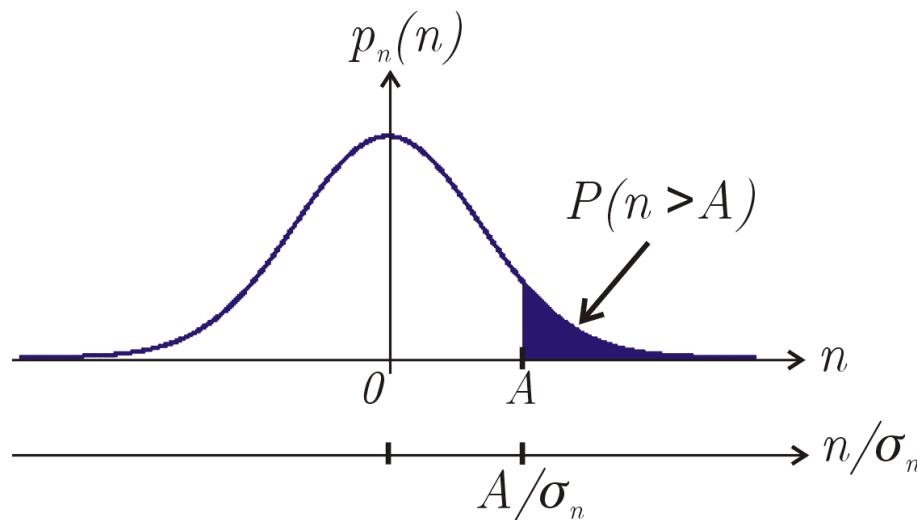
$$ISI = \frac{A - a}{A + a}$$

- Pri majhni intersymbolni 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 $P_e$



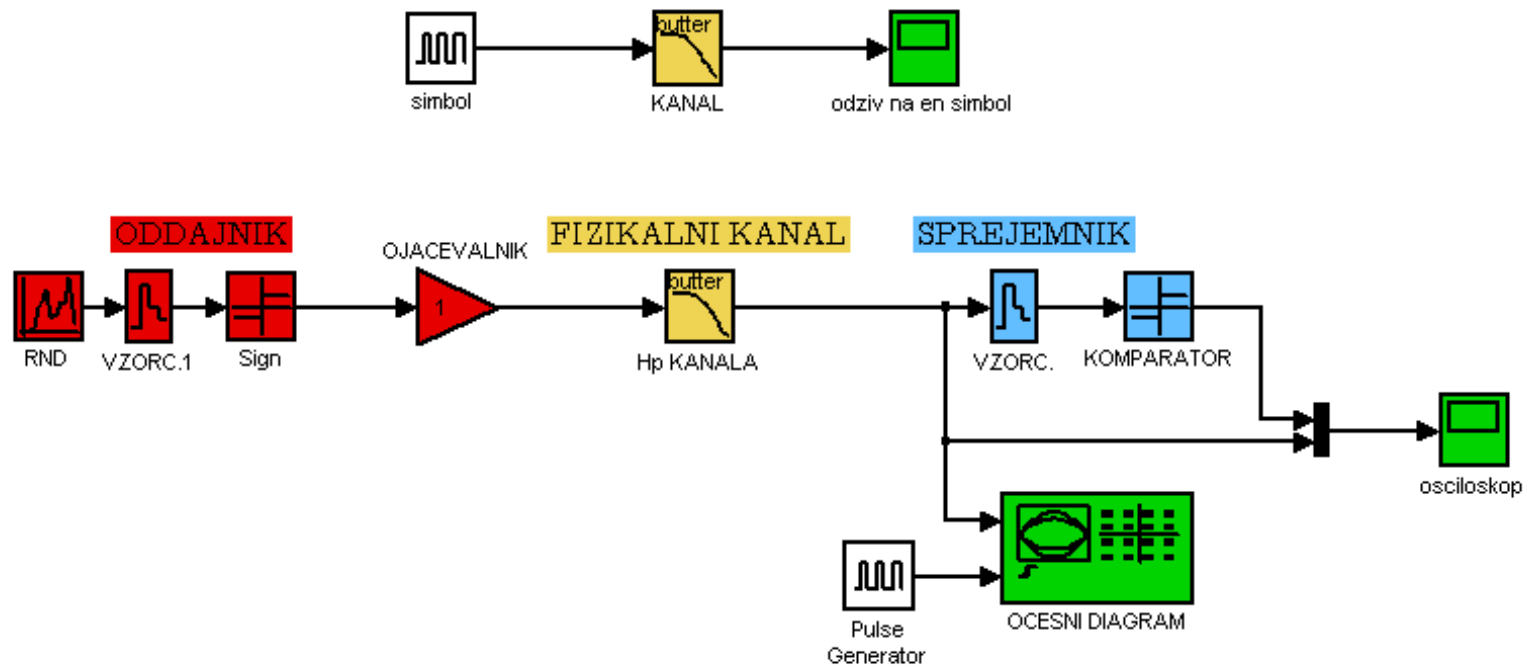
- Napaka nastopi, če je šum večji od signala. Če ima šum Gaussovo porazdelitev verjetnosti amplitude, lahko verjetnost dogodka  $P(n > A)$  izračunamo:



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

## S-1) Disperzija impulzov in ISI

- Ocenite velikost intersimbolne interference pri prenosu pravokotnih impulzov!
  - za model kanala izberemo najprej nizko sito prvega reda z mejno frekvenco  $f_{zg}=f_s$  in preverite rezultate modeliranja s teoretičnim modelom !
  - na osnovi opazovanja odprtine očesa določite potek ISI(fzg) za primer, če je kanal "ostro" nizko sito (izberite visok red Butterworthovega sita) !



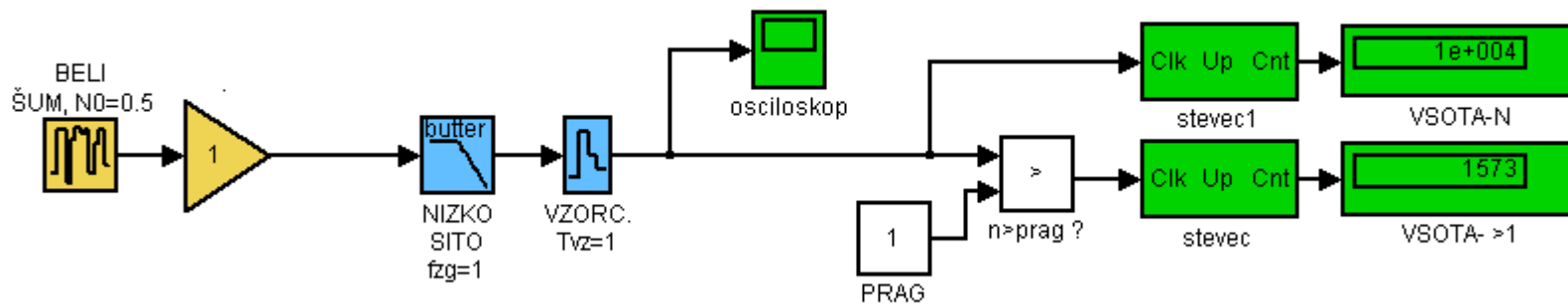


## S-2) Vpliv šuma na število napak

Preverite lastnosti šumnega izvora:

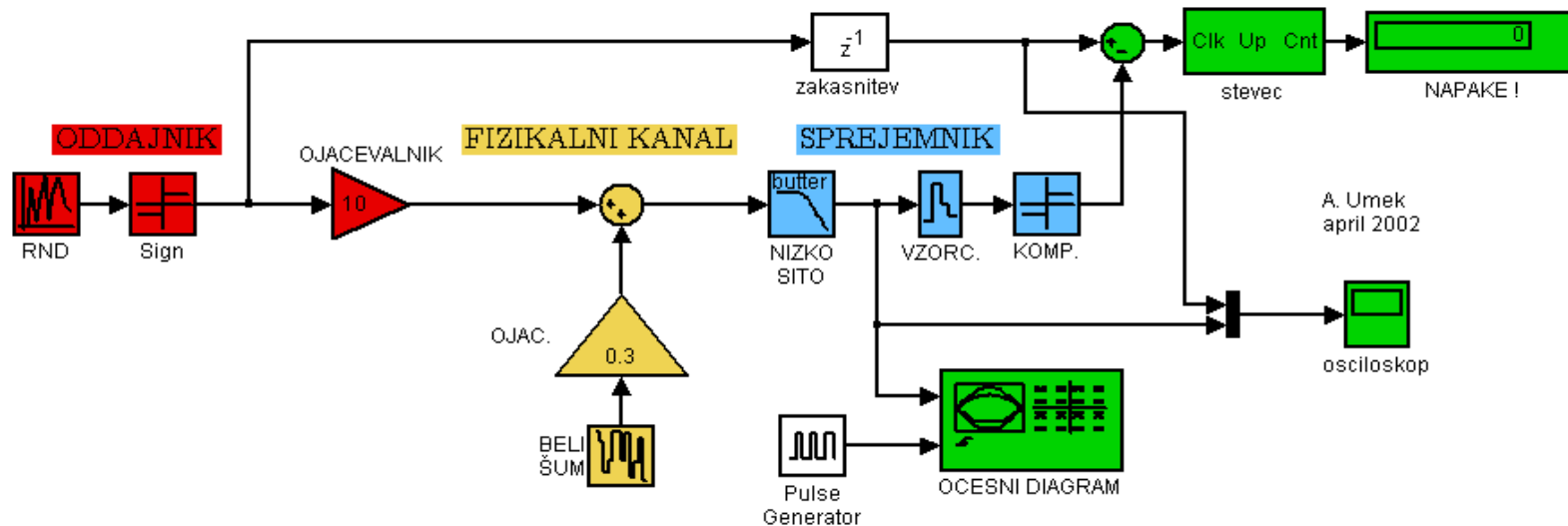
- nastavite gostoto šuma  $N_0$  tako, da bo efektivna vrednost šuma v frekvenčnem pasu  $(-f_{zg}, f_{zg})$  enaka 1 !  $n_{eff} = 2 f_{zg} N_0$
- izmerite relativno frekvenco dogodka  $n(k T_{vz}) > 1, 2, 3..$
- postopek ponovite pri polovični mejni frekvenci sita  $f_{zg}$  !

Preverite rezultate modeliranja s teoretičnim modelom !



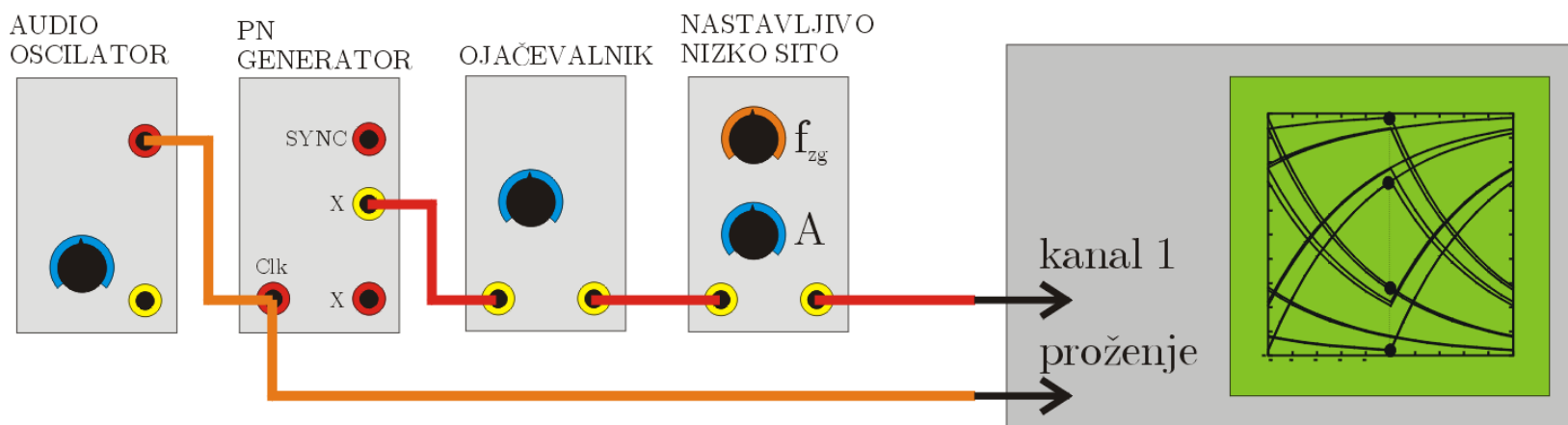
## S-3) PAM oddajnik in sprejemnik v Simulinku

- 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:  $f_{zg}=(2f_s, f_s, 0.5 f_s)$
- rezultate vpišite v tabelo  $BER(f_{zg}, n_{ef})$



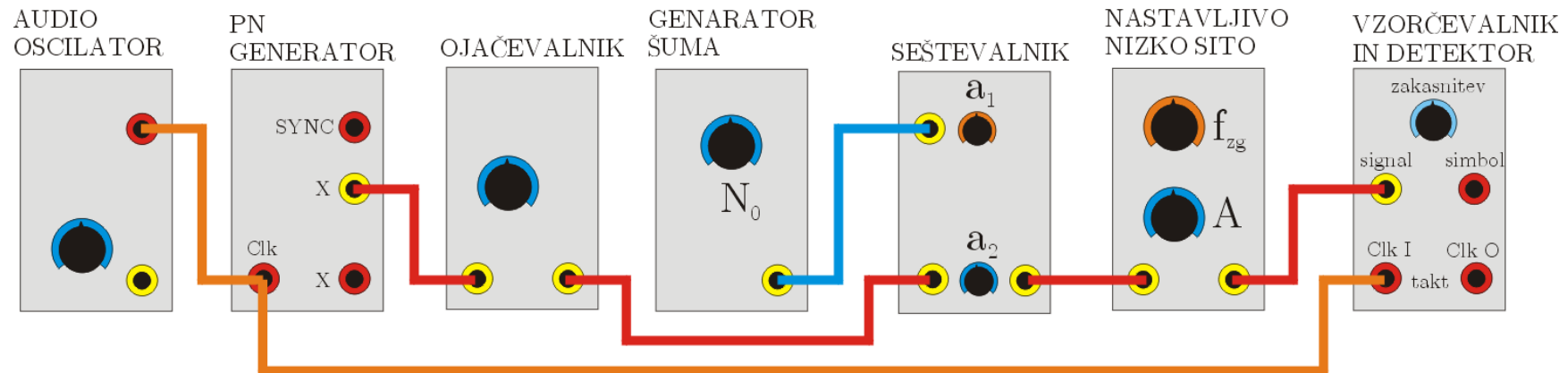
## T-1) Očesni diagram

- 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 !



## T-2) 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  $f_{zg}$  !



## T-3) Linijske kode

- V prenosni sistem na sliki vključite še linijski kodirnik v oddajniku in linijski dekodirnik v sprejemniku.
- Izmerite in skicirajte potek spektra na izhodu oddajnika, če uporabimo različne linijske kode:
  - bipolarno (**NRZ**)
  - bifazno (**BiΦ**) ali Manchester,
  - **AMI** (Alternate Mark Inversion)
  - **Duo-Binary** (PR 1+D)
  - **Dicode** (PR 1-D)
- Preverite katere kode so občutljive za primer, če kanal ne prenaša enosmerne komponente !

