

I. AMPLITUDNA MODULACIJA

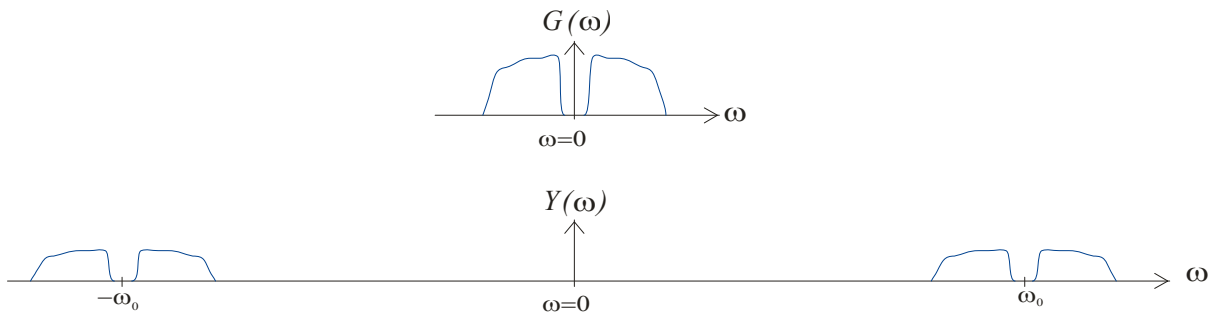
Modulacija je postopek pri katerem z vhodnim modulacijskim signalom spreminjamo parametre pomožnega harmoničnega signala $A \cos(\omega t + \phi)$, ki ga imenujemo nosilec. Moduliramo lahko amplitudo, fazo ali pa frekvenco. Pri amplitudni modulaciji **AM** je trenutna amplituda nosilca sorazmerna modulacijskemu signalu $x(t)$.

Ločimo več vrst amplitudno moduliranih signalov, ki se razlikujejo v spektru in v postopkih modulacije in demodulacije.

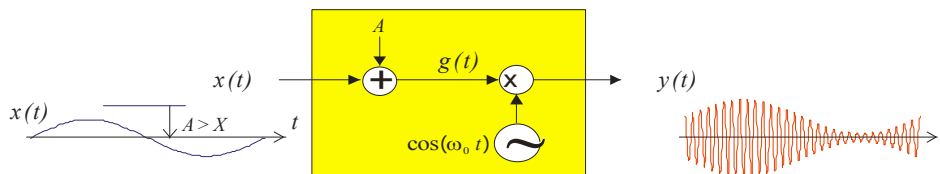
- dvobočno amplitudno modulirani signal s poudarjenim nosilcem v spektru (AM-DSB-LC),
- dvobočno amplitudno modulirani signal brez nosilca v spektru (AM-DSB-SC),
- enobočno amplitudno modulirani signal (AM-SSB).

Spekter dvobočno moduliranega AM signala sestavljata dve premaknjeni komponenti spektra nizkofrekvenčnega signala $g(t)$:

$$Y(\omega) = \frac{1}{2} \cdot G(\omega + \omega_0) + \frac{1}{2} \cdot G(\omega - \omega_0)$$

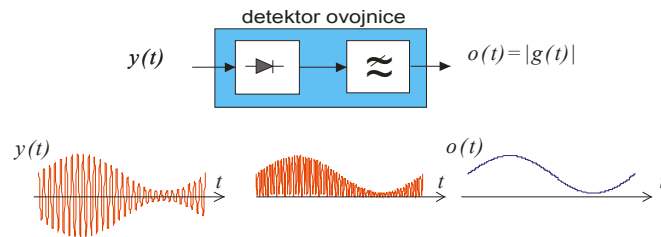


Amplitudni modulator AM-DSB-LC: modulacijskemu signalu se doda enosmerna komponenta, kar zagotovi konstantno polariteto signala $g(t)$ pred množenjem z nosilcem:



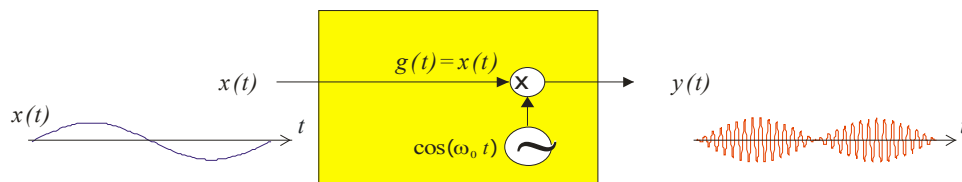
Ker se faza nosilca po množenju s signalom $g(t)$ ne spreminja, lahko modulacijski signal razberemo kar iz ovojnice moduliranega signala.

Najbolj preprost demodulator AM-DSB-LC signala je **detektor ovojnice**, ki ga sestavljata usmernik in nizko sito:

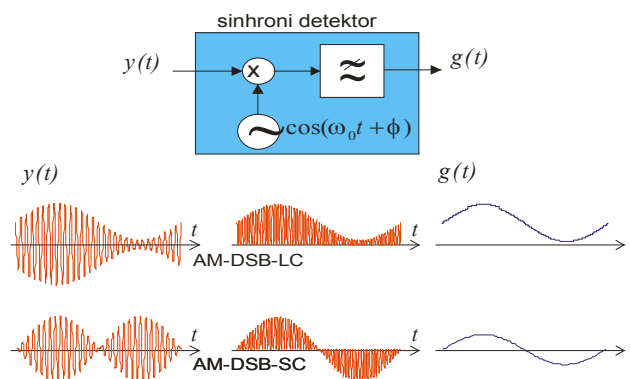


Detektor ovojnice zaznava absolutno vrednost signala $g(t)$. Ovojnica vsebuje vso informacijo o signalu $g(t)$ le v primeru, če pri modulaciji z dodajanja enosmerne komponente zadostimo pogoju $g(t) > 0$ ali $g(t) < 0$.

Amplitudni modulator AM-DSB-SC sestavljata generator harmoničnega signala in množilnik. Modulacijski signal $x(t)$ direktno množimo z nosilcem. Ker se polariteta modulacijskega signala spreminja (+/-), se spreminjala tudi faza nosilca (0, 180). Iz ovojnice moduliranega signala ne moremo razločiti faze nosilca: $o(t) = |g(t)|$. Detektor ovojnice zato ni primeren za demodulacijo AM-DSB-SC signala.

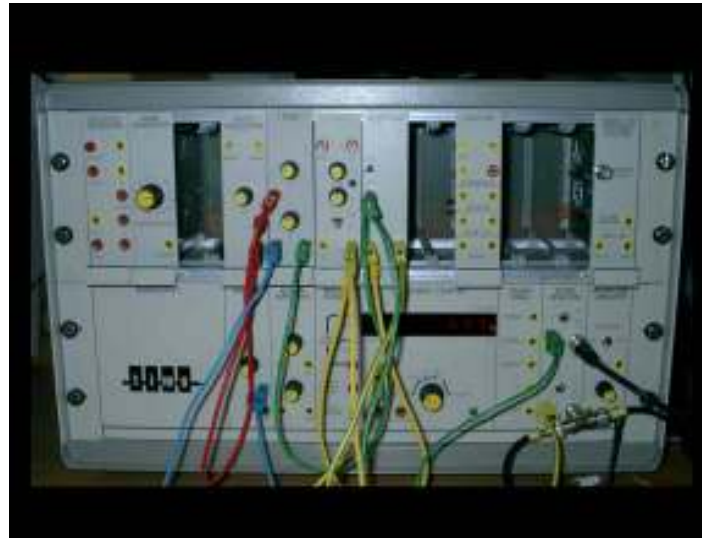


Za demodulacijo **AM-DSB-SC** signala potrebujemo **sinhroni detektor**:

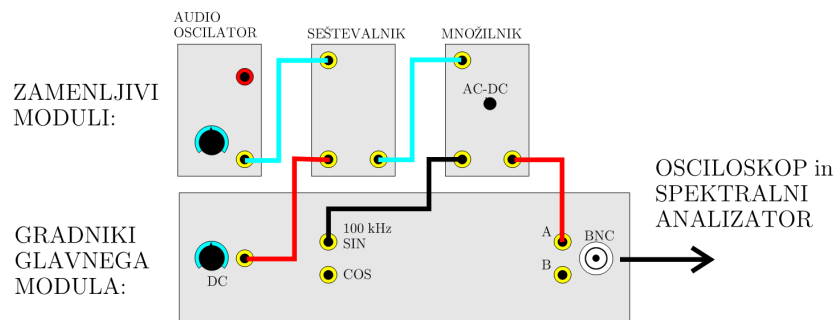


V sinhronem detektorju AM signal ponovno množimo s pomožnim signalom, ki mora biti po frekvenci in fazi enak nosilcu = **koherenten**. Signal na izhodu nizkega sita je sorazmeren modulacijskemu signalu $g(t)$. Demodulator je primeren tudi za detekcijo AM-DSB-LC signala, vendar je zaradi potrebe po koherentnem izvoru tehnično bolj zahteven od detektorja ovojnice.

1. Sestavljanje naprav z moduli TIMS



Zgled : AM-DSB-LC modulator z moduli TIMS

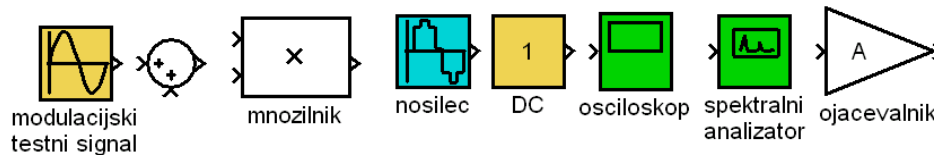


NALOGE:

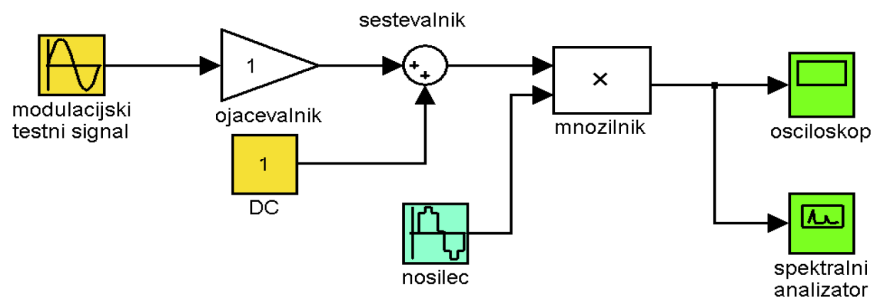
1. Z moduli TIMS sestavite in preverite delovanje modulatorja AM-DSB-LC in AM-DSB-SC signala:
 - testni modulacijski signal ima frekvenco 500Hz,
 - nosilec ima frekvenco 10kHz.Narišite vezalni načrt. Izmerite časovni potek in spektre signalov v vseh točkah!
2. Nastavite različne stopnje modulacije: $m=0.5$ in $m=1$. Skicirajte časovni potek AM signala in potek spektra AM signala!
3. Sestavite demodulator z detektorjem ovojnice. Na vhod modulatorja pripeljite obe vrsti AM signala in preverite delovanje v vseh točkah povezav.
4. Sestavite demodulator s sinhronim detektorjem. Pomožni signal nosilca vodite iz generatorja nosilca v modulatorji preko faznega sukalnika. Preverite vpliv zasuka faze na amplitudo demoduliranega signala!
5. Obe skupini na moduli TIMS skupaj sestavita par AM oddajnik in AM sprejemnik. Radijsko komunikacijo vzpostavite preko para anten!

2. Modeliranje postopkov modulacije in demodulacije v Simulinku

Uporabite osnovne gradnike knjižnice v Simulinku, ki omogočajo modeliranje postopkov amplitudne modulacije in amplitudne demodulacije:



Zgled: AM-DSB-LC modulator v Simulinku:



NALOGE:

1. V Simulinku sestavite in preverite delovanje modulatorja AM-DSB-LC in AM-DSB-SC signala:
 - testni modulacijski signal ima frekvenco 1Hz,
 - nosilec ima frekvenco 10Hz.
 - stopnja modulacije: $m=0.75$.
2. Preverite časovne poteke in spektre signalov v vseh točkah povezav.
3. Sestavite demodulator z detektorjem ovojnice. Na vhod modulatorja pripeljite obe vrsti AM signala in preverite delovanje v vseh točkah povezav.
4. Sestavite demodulator s sinhronim detektorjem. Pomožni signal generirajte z različnim faznim zasukom in preverite vpliv na amplitudo demoduliranega signala!

I. FREKVENČNA MODULACIJA

Pri frekvenčni modулaciji **FM** je trenutna frekvenca nosilca sorazmerna vhodnemu modулacijskemu signalu. **Trenutna frekvenca** se spreminja okrog centralne frekvence nosilca f_0 , maksimalni odmik frekvence imenujemo **frekvenčna deviacija** Δf :

$$f(t) = f_0 + \frac{\Delta f}{X} \cdot x(t) = f_0 + \Delta f \cdot x_1(t)$$

Trenutna faza frekvenčno modулiranega signala ni več preprosto produkt frekvence in časa, pač pa integral frekvence po času:

$$\phi(t) = \int_0^t \omega(\tau) d\tau = \omega_0 \cdot t + \Delta\omega \cdot \int_0^t x_1(\tau) d\tau$$

Frekvenčno modулirani signal $y_{FM}(t)$ ni linearna funkcija vhodnega signala $x(t)$:

$$y_{FM}(t) = A \cdot \cos(\omega_0 t + \Delta\omega \cdot \int_0^t x_1(\tau) d\tau)$$

Za poseben primer harmoničnega modулacijskega signala $x_1(t) = \cos(\omega_m t)$, se izraz za časovni potek malo poenostavi:

$$y_{FM}(t) = A \cdot \cos(\omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\omega_m} \cdot \sin(\omega_m t))$$

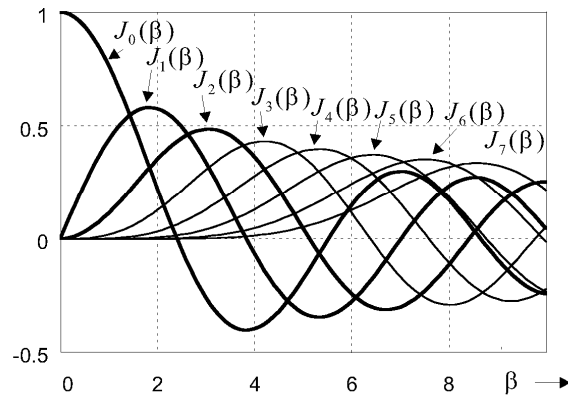
Frekvenčno modулiran signal je v tem primeru mogoče izraziti z vsoto množice harmonskih komponent s frekvencami $\omega = \omega_0 \pm n \omega_m$

$$y_{FM}(t) = A \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta) \cdot \cos((\omega_0 + n \cdot \omega_m)t)$$

Razmerje med frekvenčno deviacijo in frekvenco testnega modулacijskega signala imenujemo **modулacijski indeks** β :

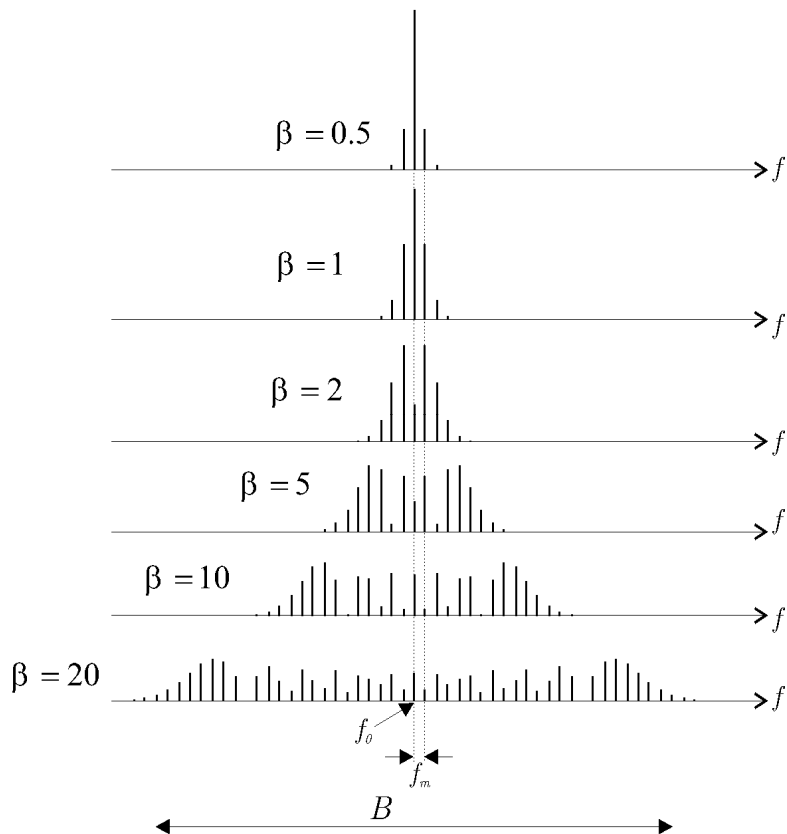
$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m}$$

Vrednost modificirane Besselove funkcije $J_n(\beta)$ določa amplitudo spektralne komponente s frekvenco $\omega = \omega_0 + n \omega_m$.



Besselove funkcije

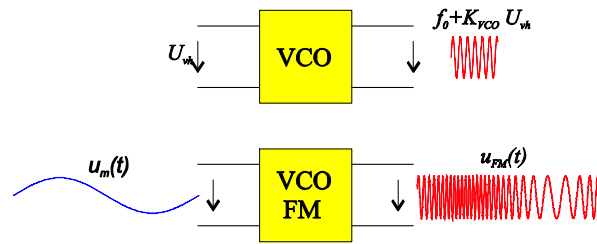
Širina spektra FM signala je odvisna od vrednosti modulacijskega indeksa:



Amplitudni spekter FM signala za različne modulacijske indekse

Pri podani frekvenci modulacijskega signala lahko izbiramo veliko ali pa majhno frekvenčno deviacijo Δf in s tem posredno velik ali pa majhen modulacijski indeks β . V tem smislu ločimo širokopasovno FM in ozkopasovno FM. Pri zelo ozkopasovnem FM je širina spektra B približno $2f_m$, širokopasovni FM signal ima širino spektra B približno $2\Delta f = 2\beta f_m$.

Frekvenčni modulator je lahko realiziran na več načinov kot krmiljeni oscilator. V analognih elektronskih vezjih uporabljamo napetostno krmiljeni oscilator VCO, v digitalni tehniki pa je ekvivalentni modul numerično krmiljeni oscilator NCO.



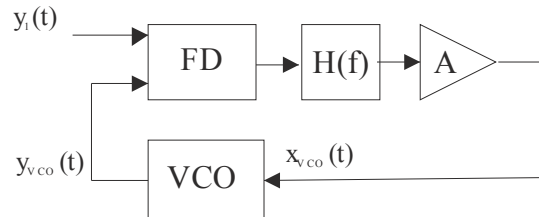
VCO = frekvenčni modulator

Napetostno krmiljeni oscilator generira harmonični signal s konstantno amplitudo, frekvenca pa je linearno odvisna od vhodne napetosti:

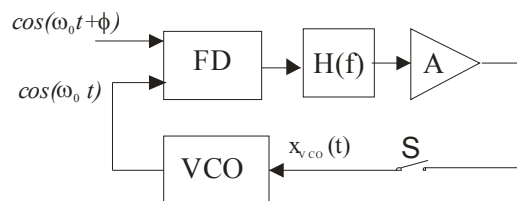
$$f_{VCO} = f_0 + K_{VCO} \cdot U_{vh}$$

Občutljivost na spremembo napetosti določa konstanta K_{VCO} , parameter f_0 pa je frekvenca prosto tekočega oscilatorja pri vhodni napetosti $U_{vh}=0$.

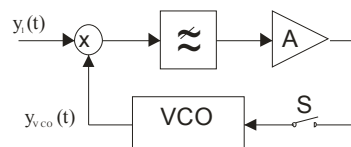
Fazno ujeta zanka PLL je povratni sistem, ki vsebuje poleg krmiljenega oscilatorja še fazni detektor, sito in ojačevalnik:



Po produktu dveh harmoničnih signalov z enako frekvenco in fazno razliko ϕ , je signal na stikalu pred vhodom VCO sorazmeren fazni razliki ϕ :



Preprost **nelinearni fazni detektor** sestavljata množilnik in nizko sito:



Po produktu dveh harmoničnih signalov z enako frekvenco in fazno razliko ϕ , je signal na stikalu pred vhodom VCO sorazmeren kosinusu fazne razlike: $A \cos(\phi)$.

Po preklopu stikala napetost na vhodu VCO povzroči spremembo frekvence, kar vodi k zmanjšanju fazne razlike. Ob sklenitvi zanke nastopi prehodni pojav, oblika impulza na vhodu VCO pa je odvisna od ojačenja v zanki in od frekvenčne karakteristike sita. Po preteku prehodnega pojava je napetost na vhodu VCO enaka 0 kot pred preklopom stikala. Pri večjem ojačenju v zanki ima impulzni odziv na vhodu VCO večjo amplitudo, vendar krajše trajanje.

Podobno lahko ugotovimo za primer, če je signal na vhodu z višjo ali z nižjo frekvenco:

$$\omega_1 = \omega_0 + \Delta\omega$$

V tem primeru se mora izhodni signal VCO uskladiti z vhodnim signalom $y_I(t)$ tudi po frekvenci. Po preteku prehodnega pojava bo zato na vhodu VCO konstantna napetost ΔU , ki bo povzročila na izhodu VCO ustrezen frekvenčni premik za $\Delta\omega$.

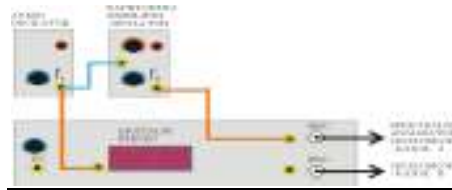
Če na vhodu PLL počasi spreminjamo frekvenco f_I , bo zaradi povratne zanke tudi frekvenca VCO v določenem omejenem območju sledila frekvenci vhodnega signala. To območje imenujemo **sledilno območje** PLL.

Zunaj območja sledenja signal VCO ni sinhroniziran z vhodnim signalom. Če frekvenco vhodnega signala dovolj približamo frekvenci prosto tekočega VCO, se bo zopet vzpostavila sinhronizacija. Poskus lahko ponovimo iz obeh strani proti frekvenci f_0 . Mejni frekvenci, pri katerih se zanka zopet ujame določata **lovilno območje** zanke.

Fazno ujeto zanko lahko uporabimo za **demodulacijo** FM signala. Če VCO v zanki po frekvenci sledi vhodnemu signalu, bo na vhodu VCO enak nizkofrekvenčni signal kot na vhodu FM modulatorja!

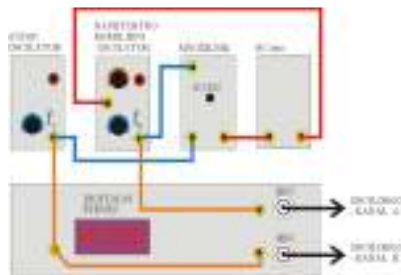
1. Sestavljanje naprav z moduli TIMS

Sestavite frekvenčni modulator FM:



1. Izmerite lastnosti napetostno krmiljenega oscilatorja (VCO).
2. Z napetostno krmiljenim oscilatorjem generirajte FM signal. Nastavite parametre FM signala:
 - frekvenca nosilca $f_0=10\text{kHz}$,
 - frekvenca testnega modulacijskega signala $f_m=300\text{Hz}$,
 - modulacijski indeks $\beta=1$, $\beta=2.4$ in $\beta=10$.
3. Izmerite spekter FM signala in preverite ujemanje rezultatov z izračunanim potekom !

Sestavite fazno ujeta zanko - PLL



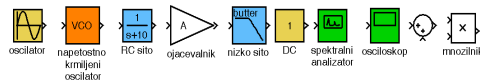
4. Uporabite module VCO, množilnik, in nizko sito.
5. Frekvenco prosto tekočega oscilatorja nastavite na 10kHz. Nastavite ustrezno ojačanje v zanki tako, da se vzpostavi sinhronizacija za frekvence vhodnega signala od 8kHz do 12kHz.
6. Izmerite sledilno območje in lovilno območje fazno ujete zanke!
7. Fazno razliko med signali na vhodu množilnika izmerite na osciloskopu !

FM oddajnik in FM sprejemnik

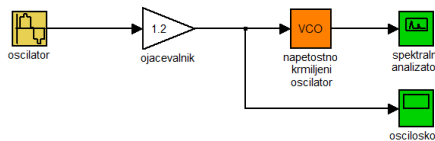
8. Z dvema sistemi TIMS sestavite FM oddajnik in FM sprejemnik in preverite brezžični prenos testnega signala in glasbe:
 - frekvenco nosilca v oddajniku nastavite na 100kHz,
 - frekvenčna deviacija naj bo največ 10kHz
 - uporabite testni modulacijski signal s frekvenco 500Hz
 - modulirani signal vodite preko ojačevalnika na oddajno anteno
 - sprejemno anteno priključite na antenski ojačevalnik
 - sestavite fazno ujeto zanko, frekvenco prosto tekočega oscilatorja nastavite na 100kHz
 - na vhod PLL priključite FM signal iz antenskega ojačevalnika in preverite potek demoduliranega signala na vhodu VCO!

2. Modeliranje postopkov frekvenčne modulacije in demodulacije v Simulinku:

Z elementi knjižnice sestavite najprej frekvenčni modulator z VCO, nato fazno ujeto zanko PLL. Fazno ujeto zanko uporabite za demodulacijo FM signala. Uporabite osnovne gradnike iz knjižnice Simulink.

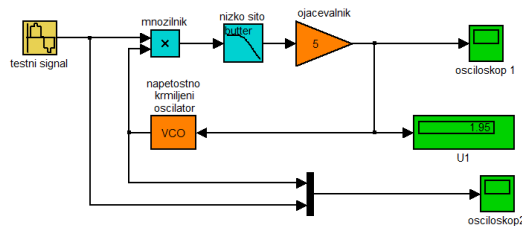


a. Sestavite frekvenčni modulator z VCO:

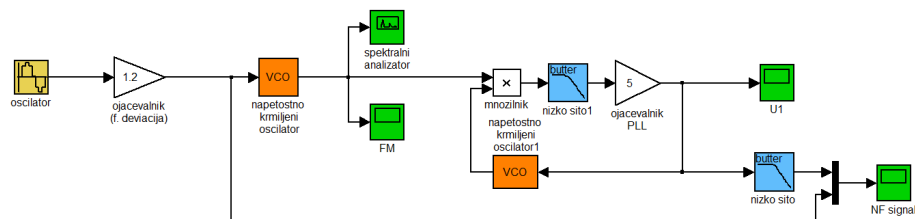


- Frekvenca modulatorskega signala naj bo $f_m=0.5\text{Hz}$. Frekvenco nosilca nastavite na $f_0=10\text{Hz}$, frekvenčna deviacija na bo $\Delta f=1.2\text{Hz}$. Izmerite spekter FM signala!
- Nastavite modulatorske indekse $\beta=1, 3.8, 5.1, 5.5$ in skicirajte potek spektra signala!

b. Sestavite fazno ujeto zanko (PLL):



- Frekvenco prosto tekočega oscilatorja nastavite na $f_{VCO}=10\text{Hz}$. Frekvenco testnega signala na vhodu nastavite najprej na $f_i = f_{VCO}$ in preverite potek signala na vhodu VCO za različna ojačenja v zanki!
 - Frekvenco testnega signala na vhodu nastavite malo višje in malo nižje od f_{VCO} in preverite potek signala na vhodu VCO za različna ojačenja v zanki! Če se zanka ne ujame, ustrezno spremenite ojačenje! Izmerite območje frekvenc v katerem VCO sledi vhodu (ang. Lock Range).
- c. Fazno ujeto zanko uporabite za demodulacijo FM signala:
- Primerjajte demodulirani signala z modulatorskim signalom!



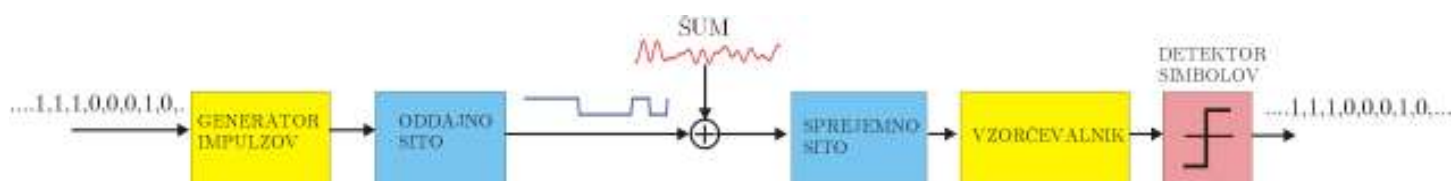
Digitalni prenos signalov v osnovnem pasu

Digitalne komunikacije

Binarni PAM

Glavne značilnosti modela prenosnega sistema PAM-2 so:

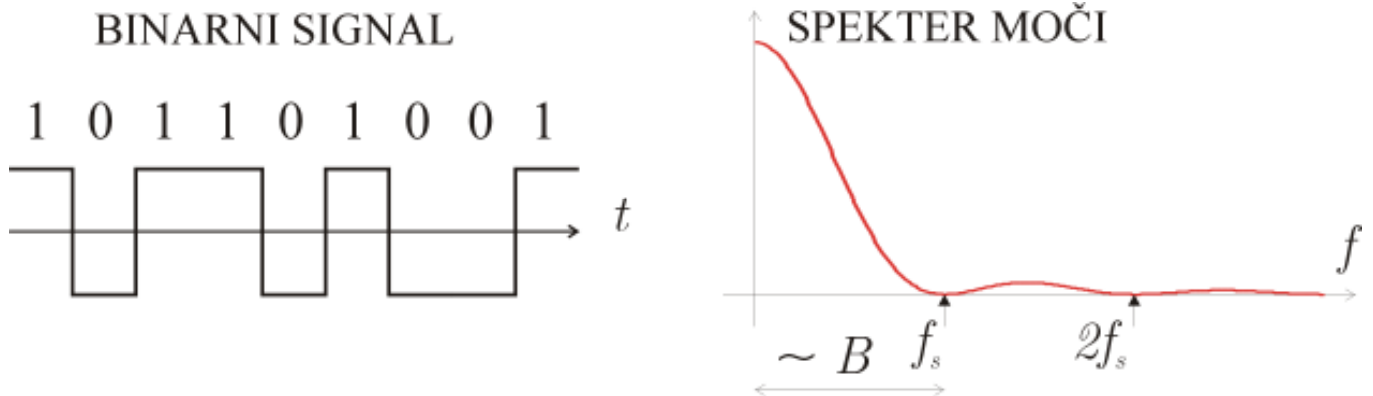
- oddajnik je enobitni D/A pretvornik,
- detektor je preprosti enobitni A/D pretvornik (komparator)
- na kanalu se prišteva beli Gaussov šum.



- 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 .

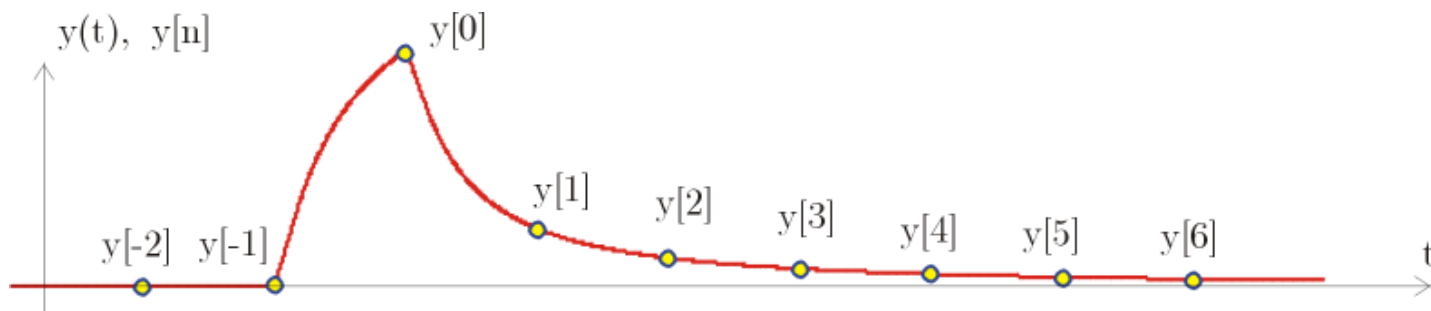
Spekter binarnega signala

- 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



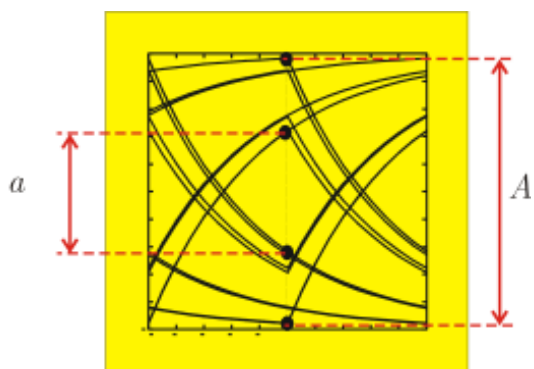
- Velikost intersimbolne interference izražamo z maksimalno vrednostjo ISI:

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

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

Merjenje ISI

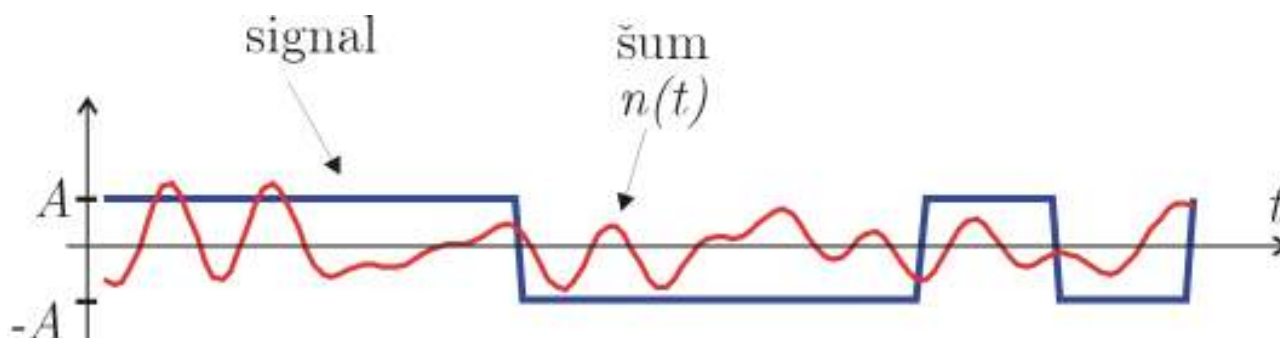
- Maksimalno vrednost ISI lahko ugotovimo z meritvijo očesnega diagrama. **Očesni diagram** izmerimo z osciloskopom. Osciloskop nam pokaže očesni diagram, če pri meritvi podatkovnega signala pošljemo časovno bazo s taktom simbolne frekvence.
- Zaradi persistence ekrana vidimo naenkrat množico zaporedij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



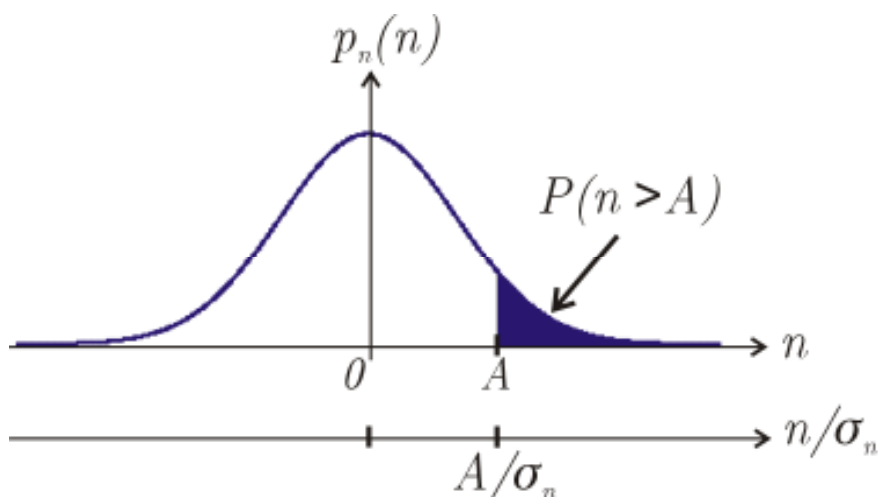
$$ISI = \frac{A - a}{A + a}$$

- 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

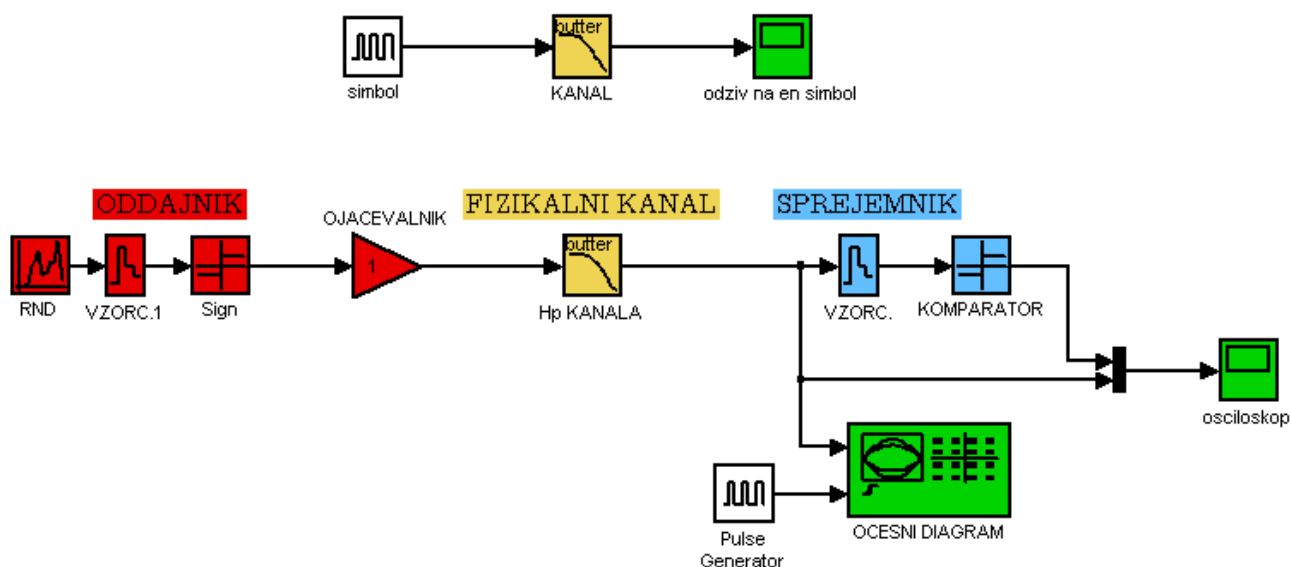
Eksperimentalne naloge:

- 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

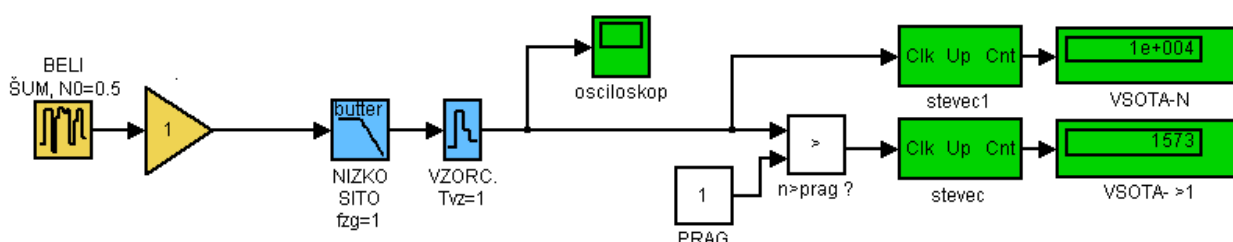
Disperzija impulzov in intersimbolna interferenca (ISI)

- 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) !



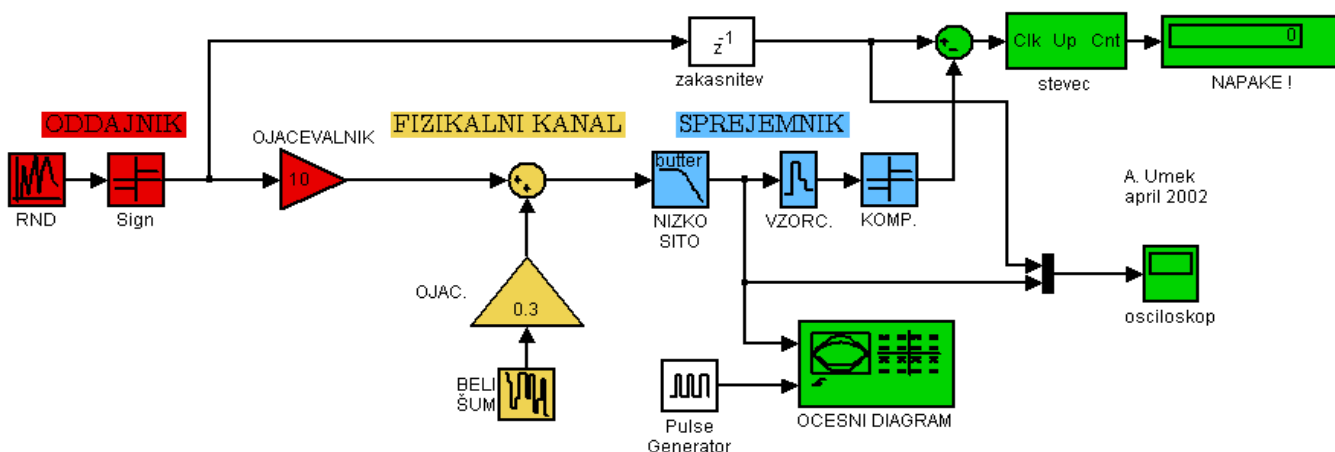
Vpliv šuma na število napak

- 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

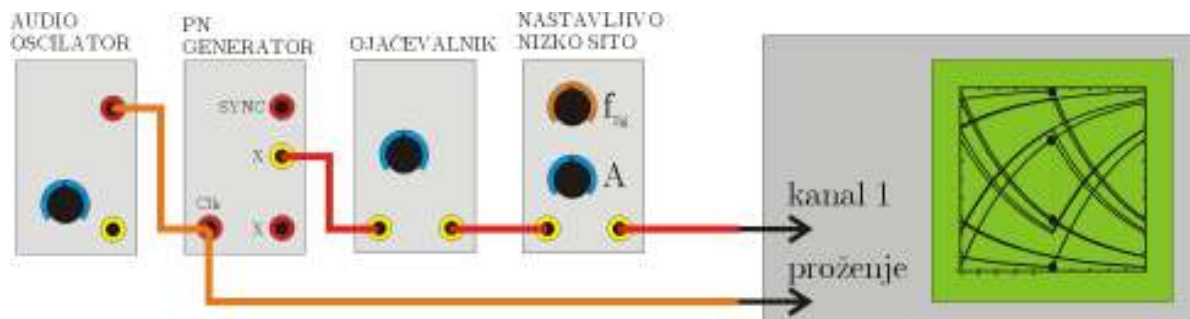
- z elementi knjižnice sestavite PAM oddajnik in sprejemnik !
- nastavite parametre:
 - amplituda signala $V=1$, simbolna hitrost $f_s=1$
 - efektivna vrednost šuma v frekvenčnem pasu $(0, f_s)$
 $n_{eff}=(1, 1/2, 1/3)$
 - mejna frekvenca nizkega sita v sprejemniku: $f_{zg}=(2f_{sr}, f_{sr}, 0.5 f_{sr})$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



Naloga B - TIMS

Očesni diagram

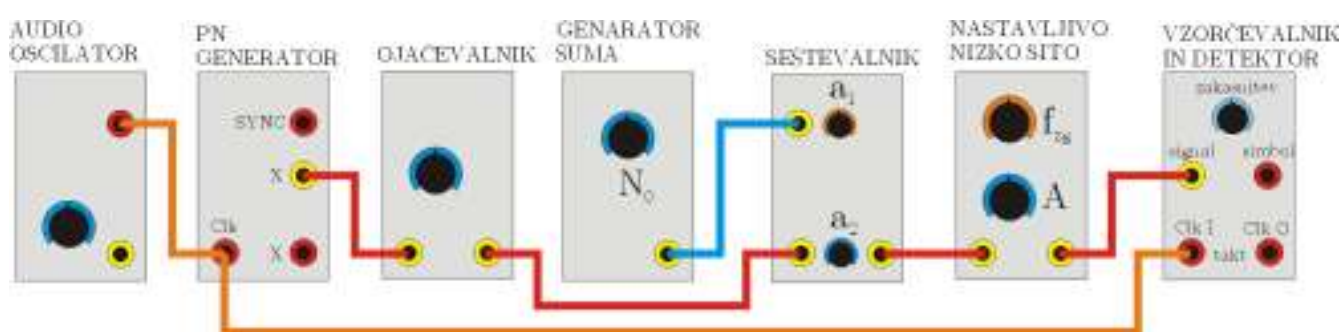
- sestavite PAM-2 oddajnik in nastavite parametre:
 - simbolna hitrost $f_s=2000$ baud
 - amplituda signala $X=2V$
 - mejna frekvenca nizkega sira $f_{zg}=(4000\text{Hz}, 2000\text{Hz}, 1000\text{Hz}, 500\text{Hz} \dots)$
- izmerite očesni diagram za različne nastavitve f_{zg} in izračunajte ISI !



Opišite potek ISI(f_{zg}) !

PAM z moduli TIMS

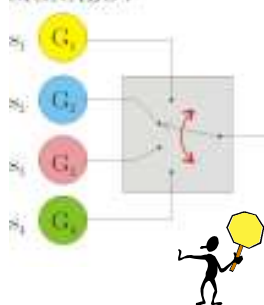
- sestavite PAM-2 oddajnik in sprejemnik in nastavite parametre:
 - simbolna hitrost f_s
 - amplituda signala X
 - gostota moči šumnega izvora N_0
 - mejna frekvenca nizkega sita v sprejemniku f_{zg}
- preverite časovni potek in spekter signala v vseh točkah !
- izmerite pogostost napak BER za različne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



Digitalne modulacije

- Vsak simbol (znak) je električni signal z omejenim časom trajanja
- Izberemo M harmoničnih signalov, ki se razlikujejo po amplitudi, fazi ali frekvenci: **ASK, PSK, FSK**.

GENERATORJI SIGNALOV

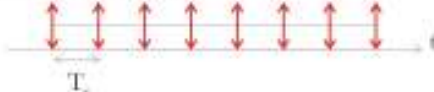


NIZ SIMBOLOV: ... $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8, s_9, s_{10}$

SIGNALI:



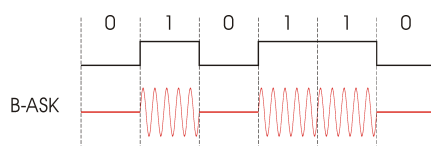
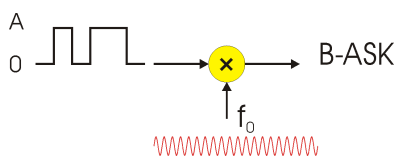
PREKLOP STIKALA:



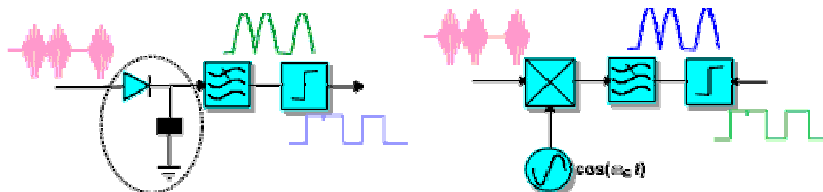
1

Amplitudna modulacija **ASK**

- Binarni ASK modulator:



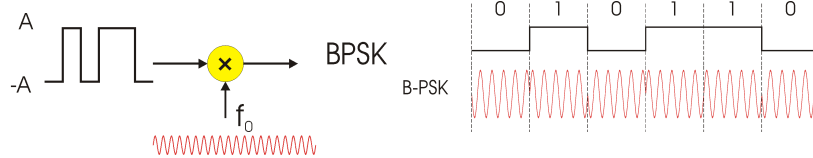
- ASK demodulator: detektor ovojnice in koherentni detektor



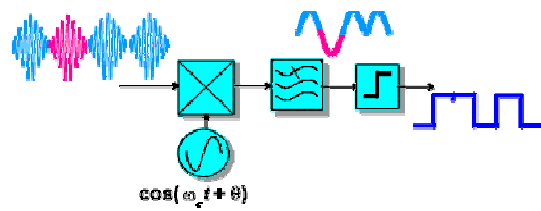
2

Fazna modulacija PSK

- Binarni PSK modulator:



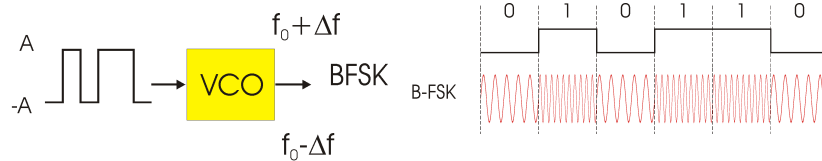
- PSK demodulator: koherentni detektor



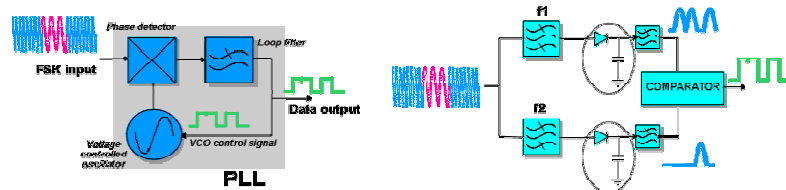
3

Frekvenčna modulacija FSK

- Binarni FSK modulator:



- FSK demodulator:
 - PLL demodulator (levo),
 - nekoherentni detektor dveh ASK signalov (desno)



4

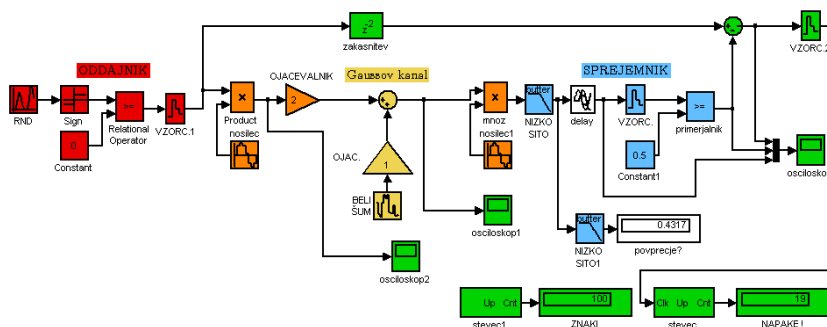
NALOGE:

- Preverite delovanje prenosnih sistemov, ki uporabljajo binarne modulacije BASK, BPSK in BFSK !
- Za primer, če je na kanalu beli šum ugotovite, kako je kvaliteta zveze odvisna od razmerja moči signala in moči šuma: $BER(SNR)=?$
- Naloge rešite z eksperimenti v Simulinku in na TIMSU:
 - A) Na simulatorju z elementi knjižnice SIMULINK sestavite oddajnik in sprejemnik za:
 - binarni ASK, PSK, FSK
 - B) Z vezji TIMS sestavite oddajnik in sprejemnik in preverite delovanje za:
 - binarni ASK, PSK, FSK

5

S-1) ASK

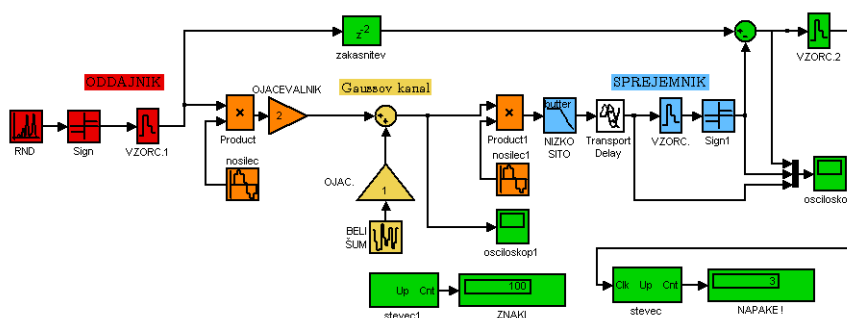
- Izmerite število napak na kanalu z belim Gaussovimi šumom.
 - gostoto šuma nastavite tako, da je efektivna vrednost v pasu $2f_s$ enaka 1.
 - v sprejemniku izberite nizko sito z mejno frekvenco $f_{zg}=f_s=1$
 - signal vzorčite v točkah, kjer je oko najbolj odprto !
 - nastavite prag detektorja znakov v sprejemniku!
 - Izmerite potek $BER(SNR)$ za različne amplitude signala : $A=1, 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8$



6

S-2) PSK

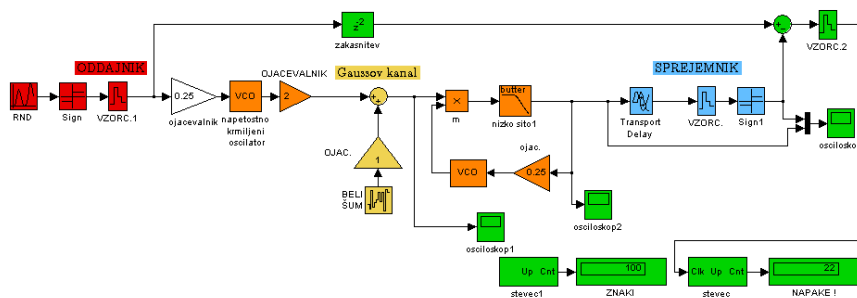
- Izmerite število napak na kanalu z belim Gaussovimi šumom.
 - gostoto šuma nastavite tako, da je efektivna vrednost v pasu $2f_s$ enaka 1.
 - v sprejemniku izberite nizko sito z mejno frekvenco $f_{zg}=f_s=1$
 - signal vzorčite v točkah, kjer je oko najbolj odprto!
 - Izmerite potek BER(SNR) za različne amplitude signala :
 $A=1, 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8$



7

S-3) FSK

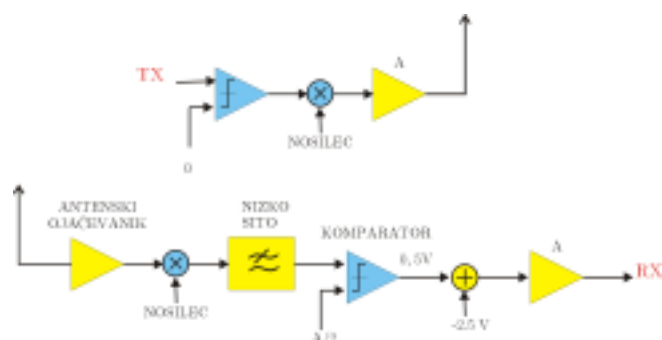
- Izmerite število napak na kanalu z belim Gaussovimi šumom.
 - gostoto šuma nastavite tako, da je efektivna vrednost v pasu $2f_s$ enaka 1.
 - v sprejemniku izberite nizko sito z mejno frekvenco $f_{zg}=f_s=1$
 - signal vzorčite v točkah, kjer je oko najbolj odprto !
 - Izmerite potek BER(SNR) za različne amplitude signala :
 $A=1, 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8$



8

T-1) ASK

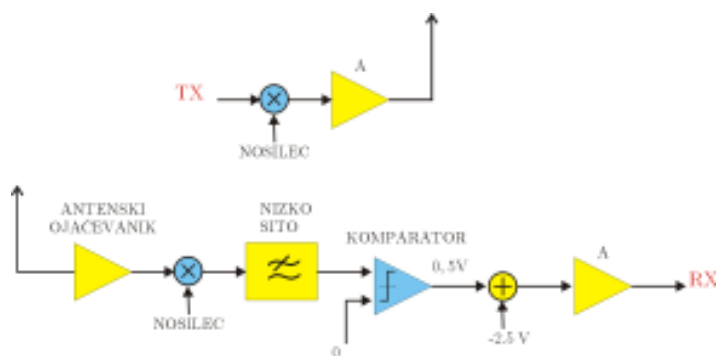
- sestavite B-ASK oddajnik in sprejemnik, in nastavite parametre:
 - znakovna frekvenca $f_s=1\text{kHz}$
 - frekvenca nosilca: $f_0=100\text{kHz}$,
 - amplituda signala na oddajniku: $X=5V$,
 - mejno frekvenco nizkega sita v sprejemniku nastavite na f_s



9

T-2) PSK

- sestavite BPSK oddajnik in sprejemnik, in nastavite parametre:
 - znakovna frekvenca $f_s=1\text{kHz}$
 - frekvenca nosilca: $f_0=100\text{kHz}$,
 - mejno frekvenco nizkega sita v sprejemniku nastavite na f_s
 - amplituda signala na oddajniku: $X=5V$,



10

T-3) FSK

- sestavite B-FSK oddajnik in sprejemnik, in nastavite parametre:
 - znakovna frekvenca $f_s=1\text{kHz}$
 - frekvenci FSK modulatorja: $f_1=95\text{kHz}$, $f_2=105\text{kHz}$
 - mejno frekvenco nizkega sira v sprejemniku nastavite na f_s
 - amplituda signala na oddajniku: $X=5V$,

