

Navodila za vaje pri predmetu Prenosni sistemi

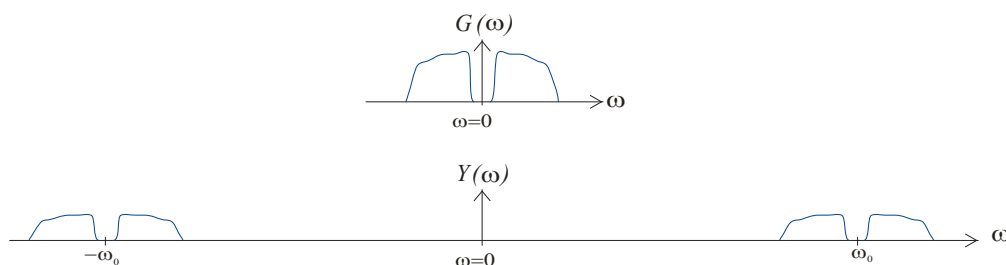
1. AMPLITUDNA MODULACIJA

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 frekvenco. Pri amplitudni modulaciji **AM** je amplituda nosilca sorazmerna vhodnemu modulacijskemu signalu $g(t)$:

$$y(t) = g(t) \cdot \cos(\omega_0 t)$$

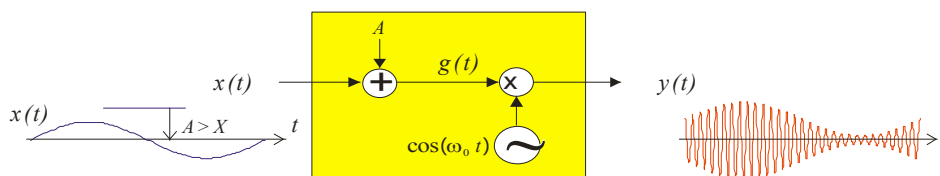
Ločimo več vrst amplitudno moduliranih signalov, ki se razlikujejo v spektru in v postopkih modulacije in demodulacije: dvobočno amplitudno modulirani signal s poudarjenim nosilcem v spektru (AM-DSB-LC), dvobočno amplitudno modulirani signal brez nosilca v spektru (AM-DSB-SC) in enobočno amplitudno modulirani 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 dodaja enosmerna komponenta, kar zagotovi konstantno polariteto signala $g(t)$ pred množenjem z nosilcem:

$$y(t) = g(t) \cdot \cos(\omega_0 t) = x(t) \cdot \cos(\omega_0 t) + A \cdot \cos(\omega_0 t)$$



Ker se faza nosilca po množenju s signalom $g(t)$ ne spreminja, lahko modulacijski signal razberemo direktno iz ovojnice moduliranega signala. **Stopnja modulacije m** je definirana kot razmerje med maksimalno vrednostjo vhodnega signala X in dodano enosmerno komponento A :

$$m = \frac{X}{A}$$

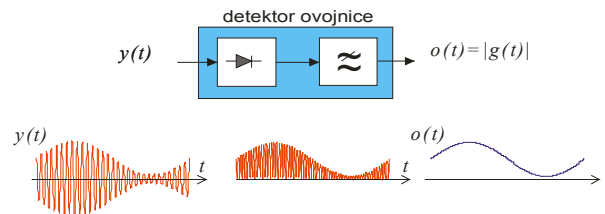
Normirani vhodni signal ima maksimalno vrednost 1:

$$x_1(t) = \frac{1}{X} \cdot x(t)$$

Amplitudno modulirani signal s poudarjenim nosilcem lahko izrazimo s stopnjo modulacije in z normiranim vhodnim signalom $x_1(t)$:

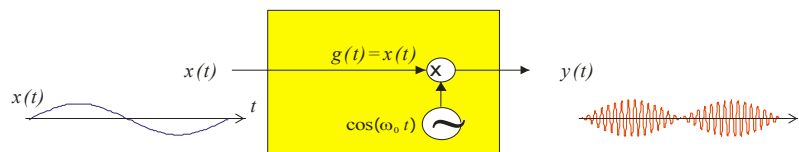
$$y(t) = A \cdot (1 + m \cdot x_1(t)) \cdot \cos(\omega_0 t)$$

Detektor ovojnice sestavljata usmernik in nizko sito:



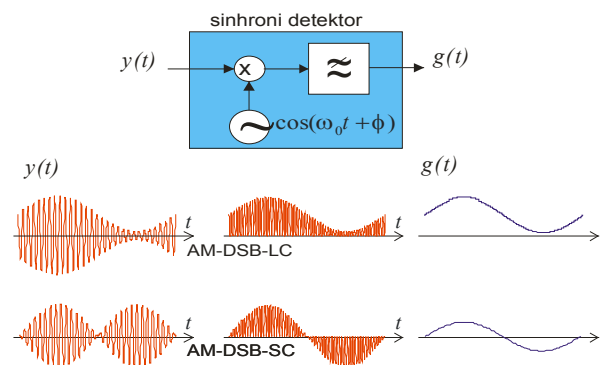
Detektor ovojnice zaznava absolutno vrednost signala $g(t)$. Ovojnica vsebuje vso informacijo o signalu $g(t)$ le v primeru, če pri modulaciji z dodajanja enosmerne komponente zadostimo pogoju $g(t) > 0$ ali $g(t) < 0$.

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 moduliranega signala ($0^0, 180^0$).



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**. Po množenju AM signala s pomožnim nosilcem dobimo dve komponenti v spektru: signal $g(t)$ in amplitudno modulirani signal z dvojno frekvenco nosilca:

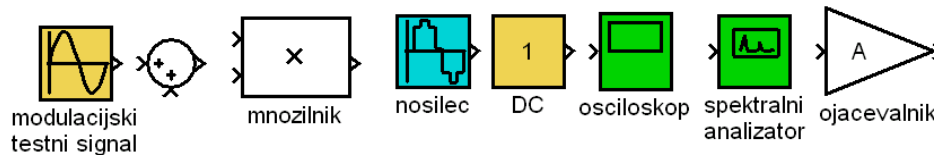
$$y(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \phi) = g(t) \cdot \cos(\omega_0 t) \cdot \cos(\omega_0 t + \phi) = \frac{1}{2} \cdot g(t) \cdot \cos(\phi) + \frac{1}{2} \cdot g(t) \cdot \cos(2 \cdot \omega_0 t + \phi)$$

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.

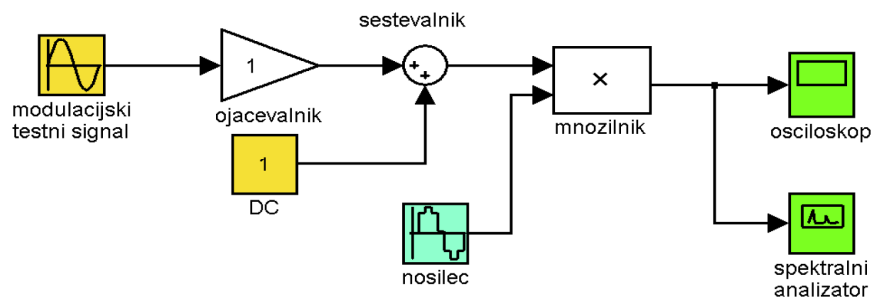
EKSPERIMENTI:

A. 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:



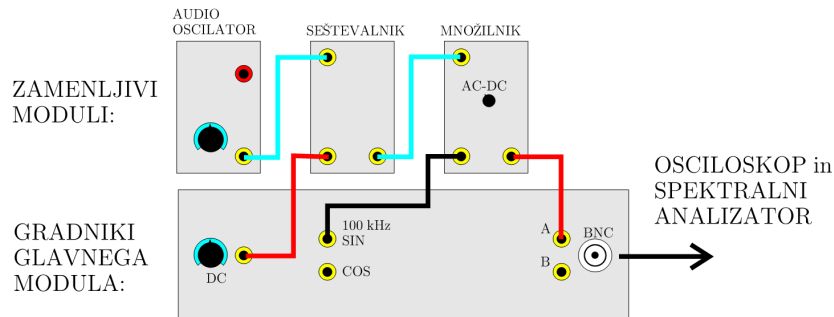
NALOGE:

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!

B. 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 1000Hz, modul: **audio oscilator**
 - nosilec ima frekvenco 10kHz, modul: **VCO**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 modulatorju preko faznega sukalnika. Preverite vpliv zasuca faze na amplitudo demoduliranega signala!
5. Obe skupini na modulih TIMS skupaj sestavita par AM oddajnik in AM sprejemnik:
 - Radijsko komunikacijo vzpostavite preko para anten.
 - Skupina na levi strani sestavlja oddajnik. Za nosilec uporabite 100kHz signal, vir je na panelu TIMS. Za testni signal uporabite audio oscilator s frekvenco 1kHz. Generirajte AM-DSB-LC signal s stopnjo modulacije 100% !
 - Skupina na desni strani sestavlja sprejemnik. Uporabite antenski sprejemni ojačevalnik. Sprejeti signal demodulirajte z detektorjem ovojnice.

2. 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:

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

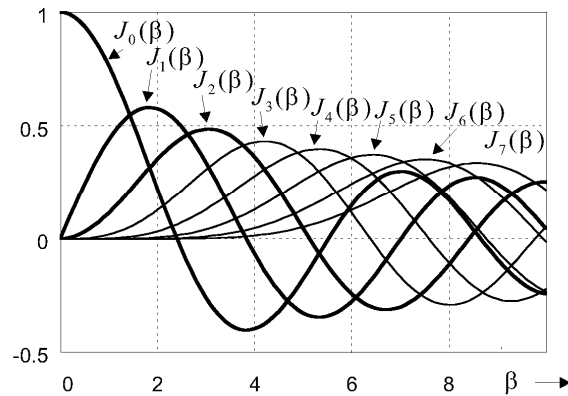
Frekvenčno modулiran signal je v tem primeru mogoče izraziti z vsoto množice harmonskih komponent s frekvencami $\omega = \omega_0 \pm n \omega_m$

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

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

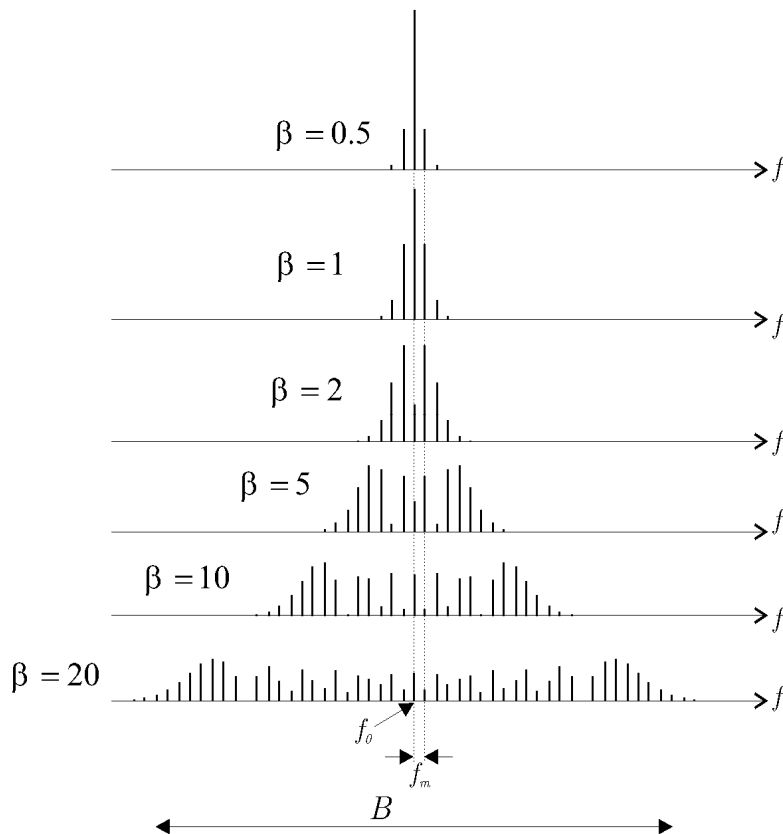
$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m}$$

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



Besselove funkcije

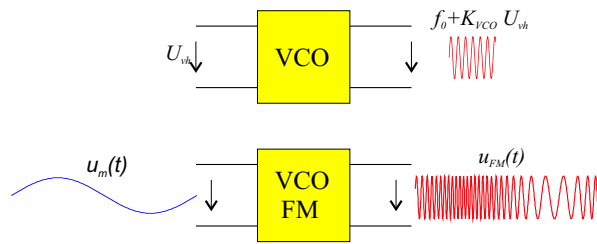
Širina spektra FM signala je odvisna od vrednosti modulatorskega indeksa:



Amplitudni spekter FM signala za različne modulatorske indekse

Pri podani frekvenci modulatorskega signala lahko izbiramo veliko ali pa majhno frekvenčno deviacijo Δf in s tem posredno velik ali pa majhen modulatorski 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.



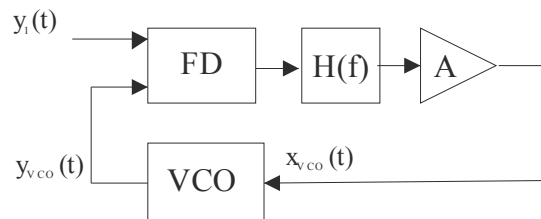
VCO = frekvenčni modulator

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

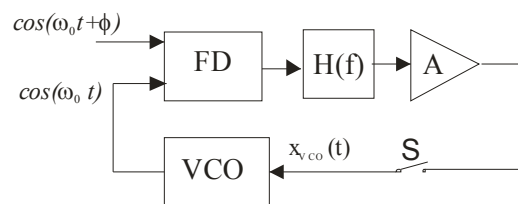
$$f_{VCO} = f_0 + K_{VCO} \cdot U_{vh}$$

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

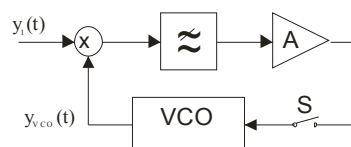
Fazno ujeta zanka PLL je povratni sistem, ki vsebuje poleg krmiljenega oscilatorja še fazni detektor, sito in ojačevalnik:



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**.

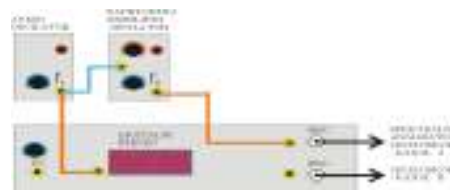
Zunaj območja sledenja signal VCO ni sinhroniziran z vhodnim signalom. Če frekvenco vhodnega signala dovolj približamo frekvenci prosto tekočega VCO, se bo zopet vzpostavila sinhronizacija. Poskus lahko ponovimo iz obeh strani proti frekvenci f_0 . Mejni frekvenci, pri katerih se zanka zopet ujame določata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

EKSPERIMENTI:

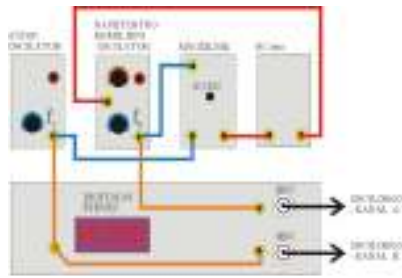
A. Sestavljanje naprav z moduli TIMS

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



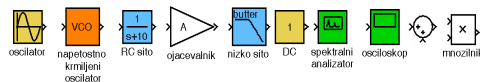
4. Uporabite module VCO, množilnik, in nizko sito.
5. Frekvenco prosto tekočega oscilatorja nastavite na 5 kHz. Nastavite ustrezno ojačanje v zanki tako, da se vzpostavi sinhronizacija za frekvence vhodnega signala od 3 kHz do 7 kHz.
6. Izmerite sledilno območje in lovilno območje fazno ujete zanke!
7. Fazno razliko med signali na vhodu množilnika izmerite na osciloskopu !

FM oddajnik in FM sprejemnik

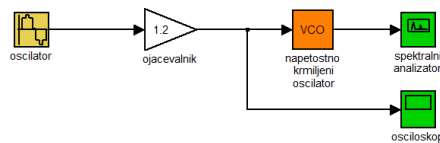
8. Z dvema sistemi TMS sestavite FM oddajnik in FM sprejemnik in preverite brezžični prenos testnega signala:
 - a. frekvenco nosilca v oddajniku nastavite na 100kHz,
 - b. frekvenčna deviacija naj bo največ 10kHz
 - c. uporabite testni modulatorski signal s frekvenco 500Hz
 - d. modulirani signal vodite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

B. 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.

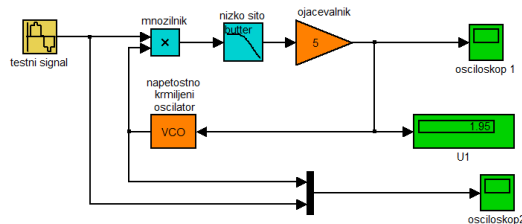


- a. Sestavite frekvenčni modulator z VCO:



- Frekvenca modulacijskega 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 modulacijske 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 modulacijskim signalom!

