

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:

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

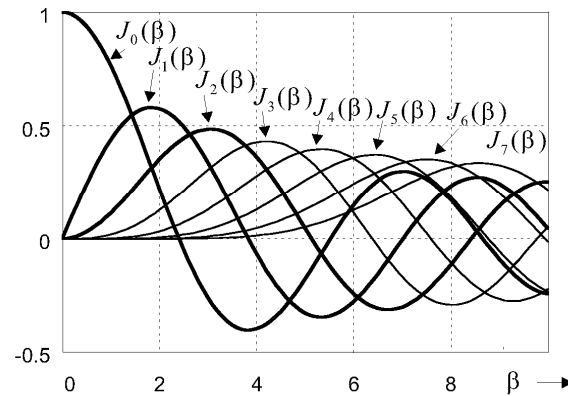
Frekvenčno modулiran signal je v tem primeru mogoče izraziti z vsoto množice harmonskih komponent s frekvencami $\omega = \omega_0 \pm n \omega_m$

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

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

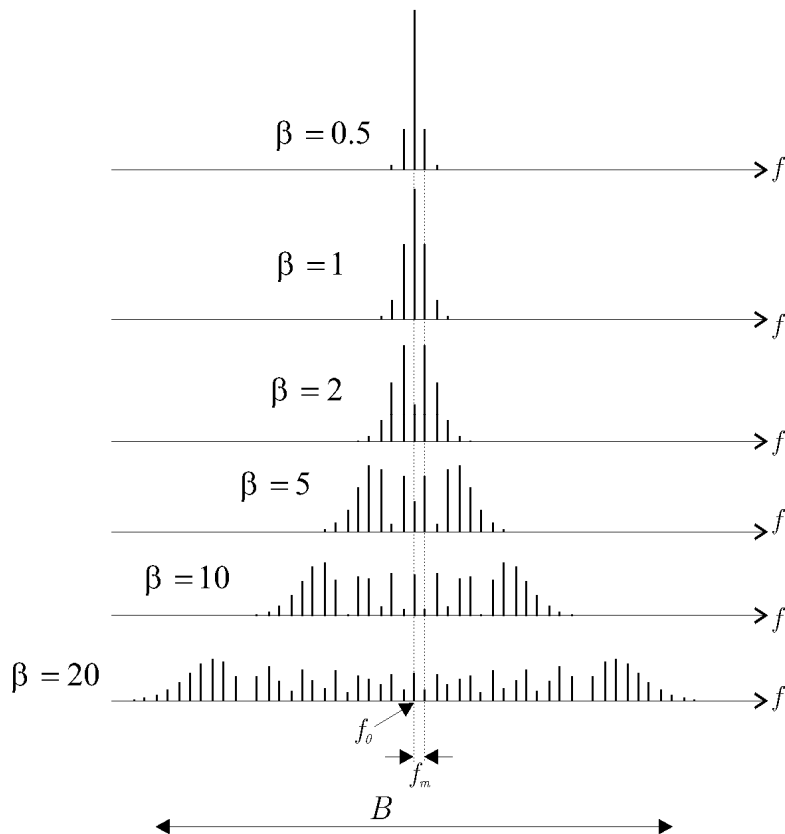
$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m}$$

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



Besselove funkcije

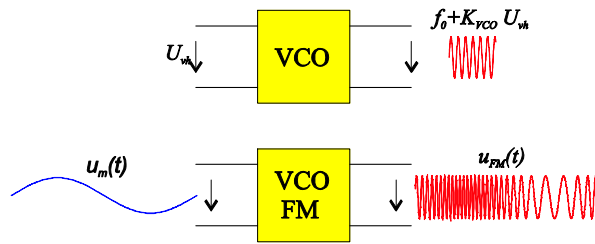
Širina spektra FM signala je odvisna od vrednosti modulacijskega indeksa:



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.



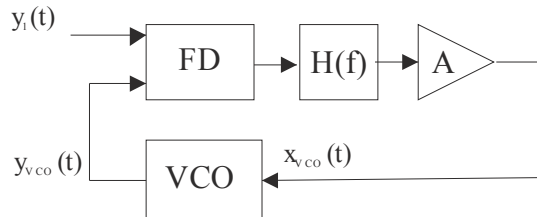
VCO = frekvenčni modulator

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

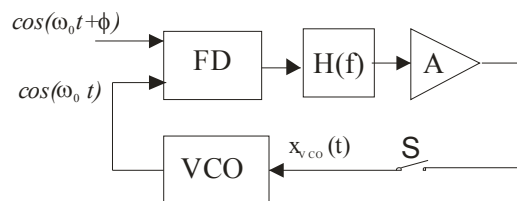
$$f_{VCO} = f_0 + K_{VCO} \cdot U_{vh}$$

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

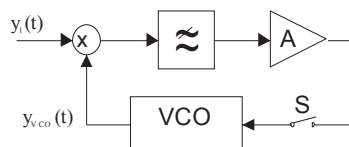
Fazno ujeta zanka PLL je povratni sistem, ki vsebuje poleg krmiljenega oscilatorja še fazni detektor, sito in ojačevalnik:



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 $\Delta\omega$.

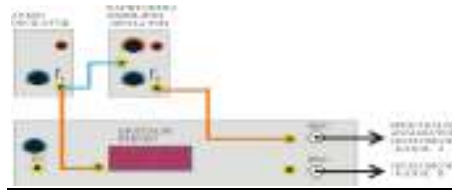
Če na vhodu PLL počasi spreminjamo frekvenco f_I , bo zaradi povratne zanke tudi frekvenca VCO v določenem omejenem območju sledila frekvenci vhodnega signala. To območje imenujemo **sledilno območje** PLL.

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!

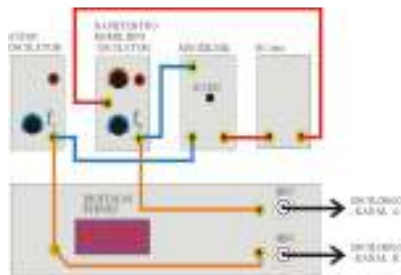
1. Sestavljanje naprav z moduli TIMS

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



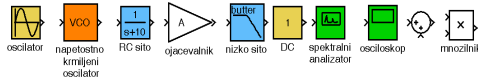
4. Uporabite module VCO, množilnik, in nizko sito.
5. Frekvenco prosto tekočega oscilatorja nastavite na 10kHz. Nastavite ustrezno ojačanje v zanki tako, da se vzpostavi sinhronizacija za frekvence vhodnega signala od 8kHz do 12kHz.
6. Izmerite sledilno območje in lovilno območje fazno ujete zanke!
7.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

FM oddajnik in FM sprejemnik

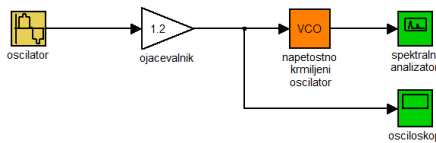
8. Z dvema sistemi TIMS sestavite FM oddajnik in FM sprejemnik in preverite brezžični prenos testnega signala in glasbe:
 - frekvenco nosilca v oddajniku nastavite na 100kHz,
 - frekvenčna deviacija naj bo največ 10kHz
 - uporabite testni modulacijski signal s frekvenco 500Hz
 - modulirani signal vodite 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.

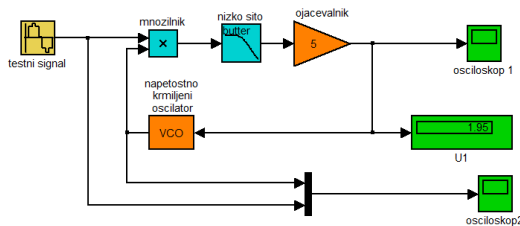


a. Sestavite frekvenčni modulator z VCO:



- 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!

