



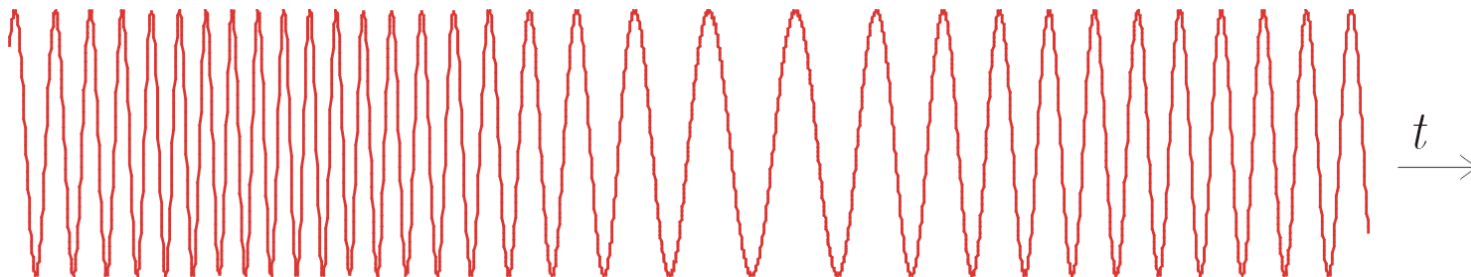
FREKVENČNA MODULACIJA

Digitalne komunikacije II
- 2. sklop vaj

Uvod: Frekvenčna modulacija

- Trenutna frekvenca FM signala je sorazmerna amplitudi modulatorskega signala
- Amplituda FM signala se ne spreminja !

$$U_{FM}(t) = U_0 \cos\left(2\pi f_0 t + 2\pi \Delta f \int_0^t m(\tau) d\tau\right)$$





Analiza spektra FM signala (1/2)

$$U_{FM}(t) = U_0 \cos\left(2\pi f_0 t + 2\pi \Delta f \int_0^t m(\tau) d\tau\right)$$

Enofrekvenčni
testni signal:

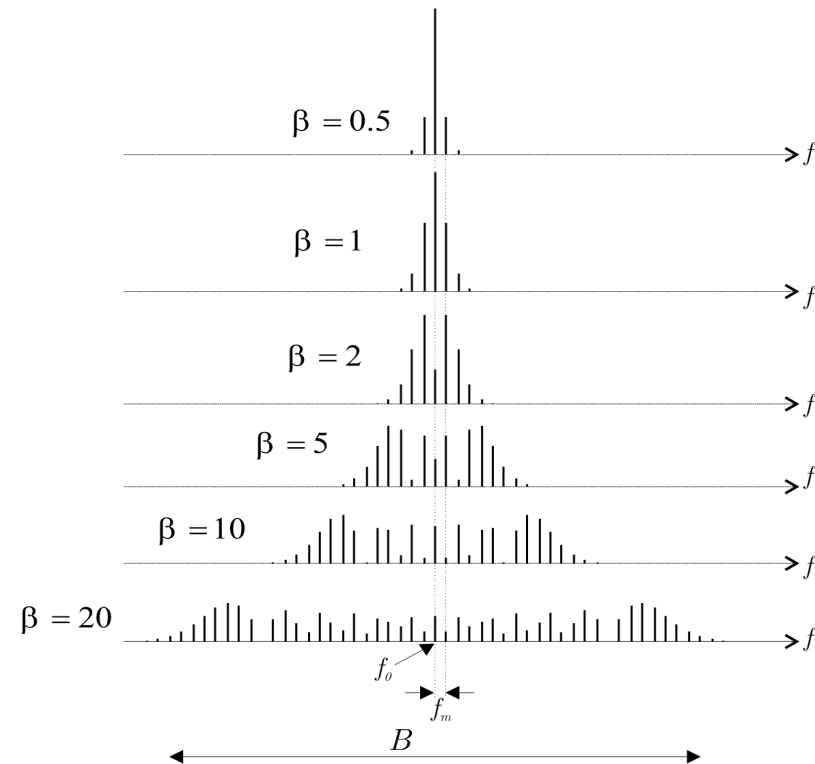
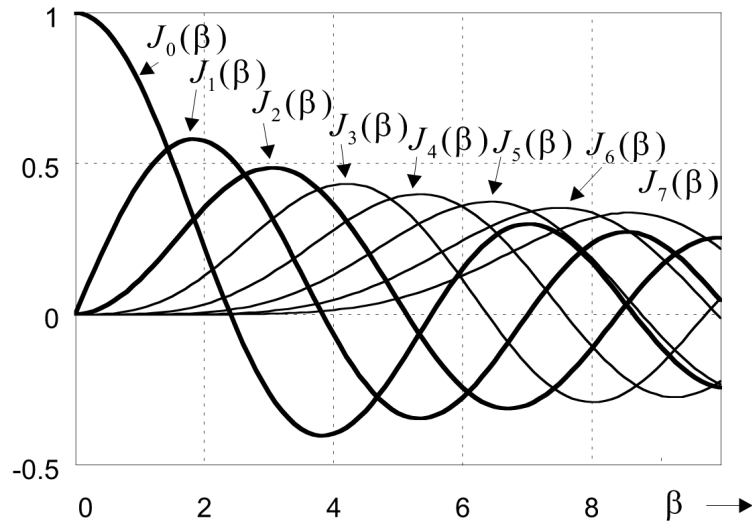
$$\begin{aligned} u_m(t) &= U_m \cos \omega_m t \\ m(t) &= \cos \omega_m t \\ \int m(t) dt &= \frac{\sin \omega_m t}{\omega_m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{FM}(t) &= U_0 \cos(\omega_0 t + \beta \sin \omega_m t) \\ \beta &= \frac{\Delta\omega}{\omega_m}. \end{aligned}$$

β =modulacijski indeks

Spekter FM signala (2/2)

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

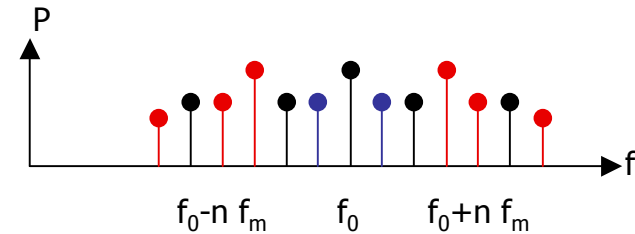
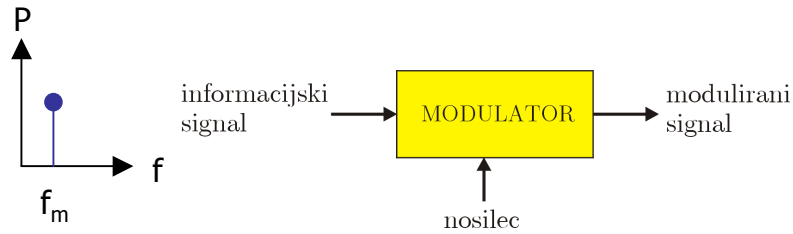


Približna ocena pasovne širine:

$$B \approx 2(f_m + \beta f_m)$$

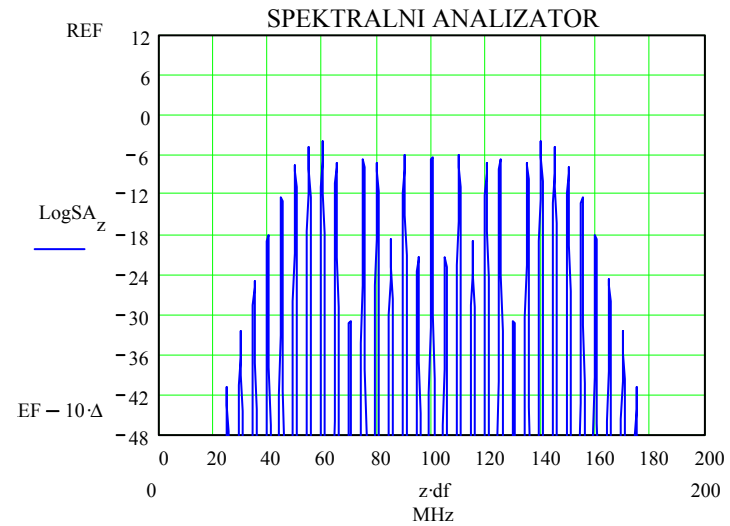
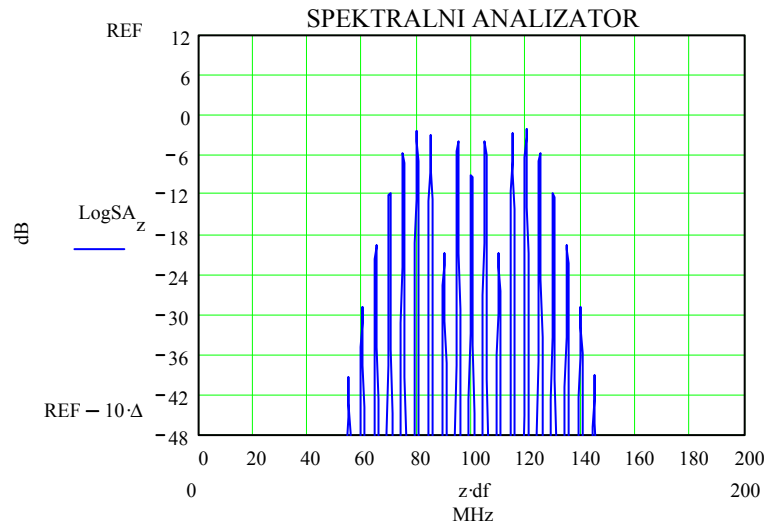
Spekter FM

■ širokopasovni FM:



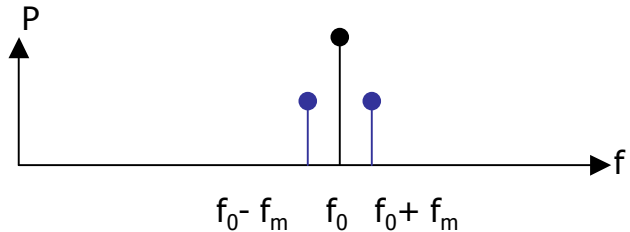
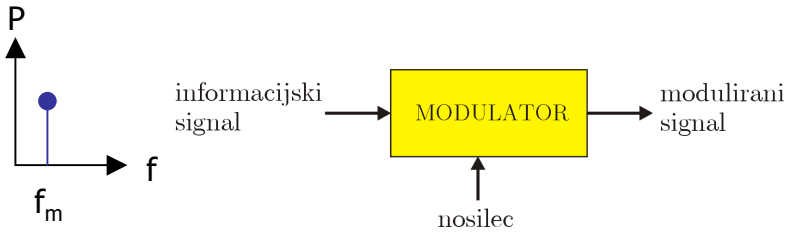
Zgled 1: $f_m=5$, $\beta=5$, $f_0=100$

Zgled 2: $f_m=5$, $\beta=10$, $f_0=100$



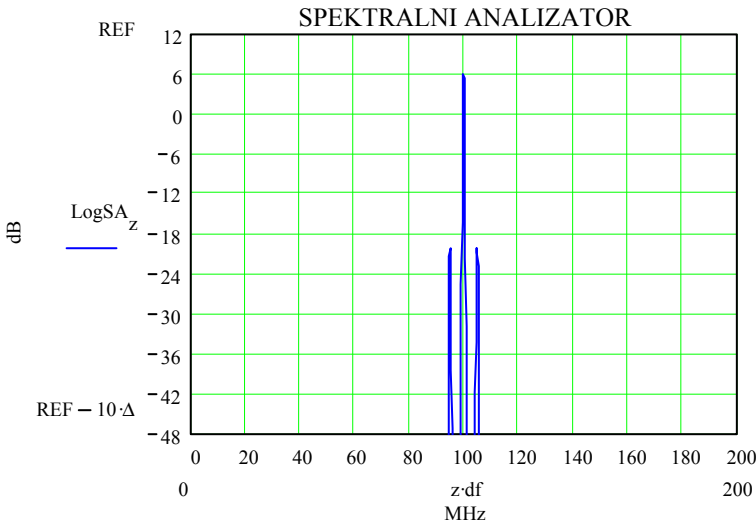
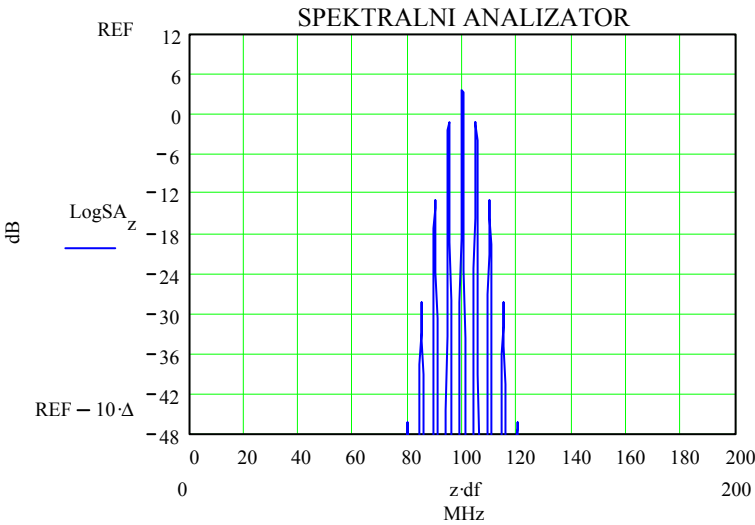
Spekter FM

■ ozkopasovni FM :



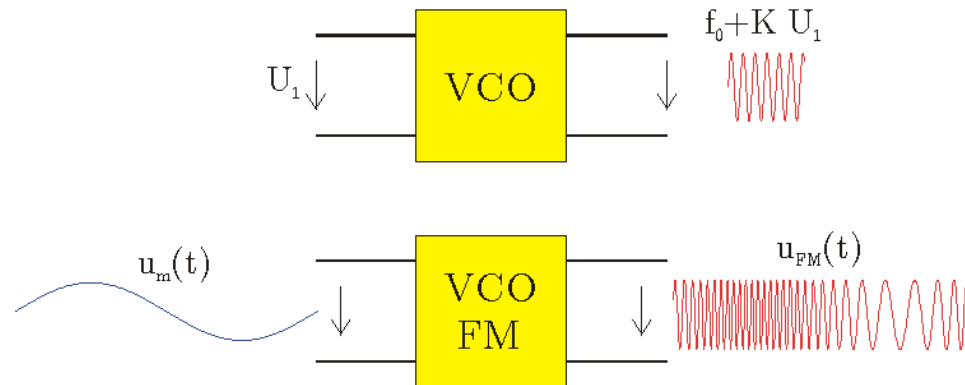
Zgled 1: $f_m=5$, $\beta=1$, $f_0=100$

Zgled 2: $f_m=5$, $\beta=0.1$, $f_0=100$



Frekvenčni modulator

- napetostno krmiljeni oscilator **VCO** je frekvenčni modulator:

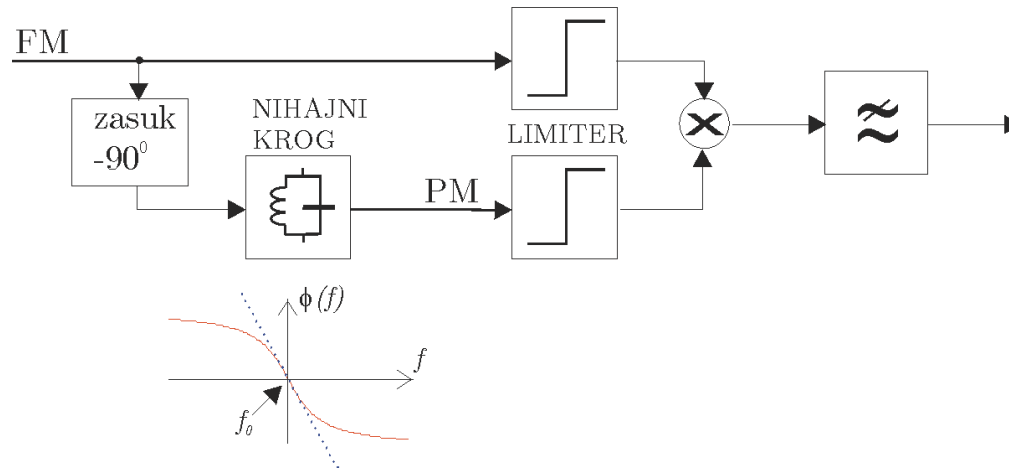


- povezava med FM in PM:

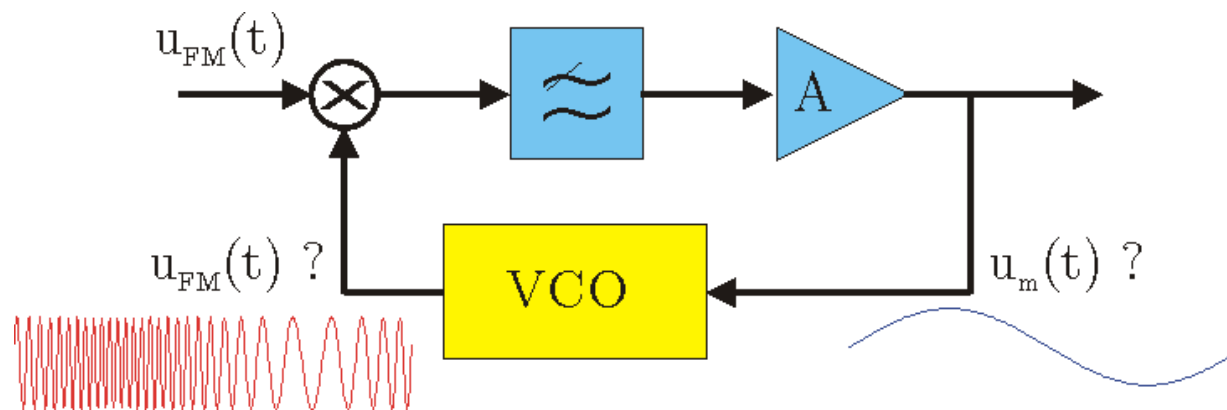


Frekvenčni demodulator

- demodulator s faznim detektorjem na osnovi FM- \rightarrow FM+PM :



- demodulator s fazno ujeto zanko **PLL**:





Naloge:

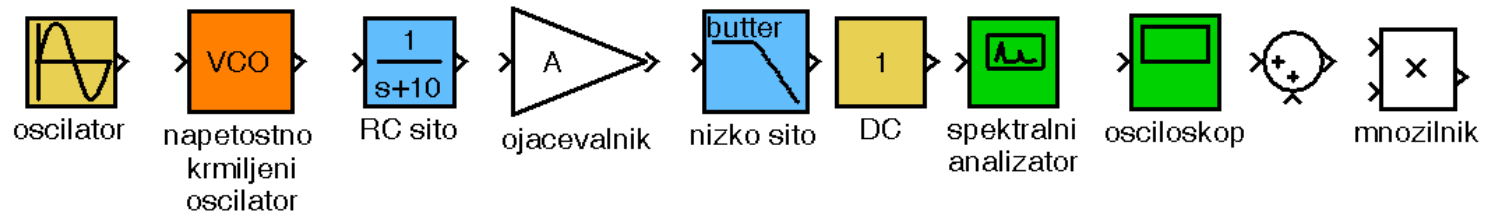
- **A) V Simulinku** z elementi knjižnice sestavite in preverite delovanje modulatorja in demodulatorja FM signala !
- **B) Z moduli TIMS**
 - sestavite in preverite delovanje FM modulatorja (VCO)
 - sestavite fazno ujeto zanko (PLL)
 - z dvema sistemi TIMS sestavite par FM oddajnik - FM sprejemnik in preverite brezžični prenos testnega signala in glasbe.

Dodatna naloga:

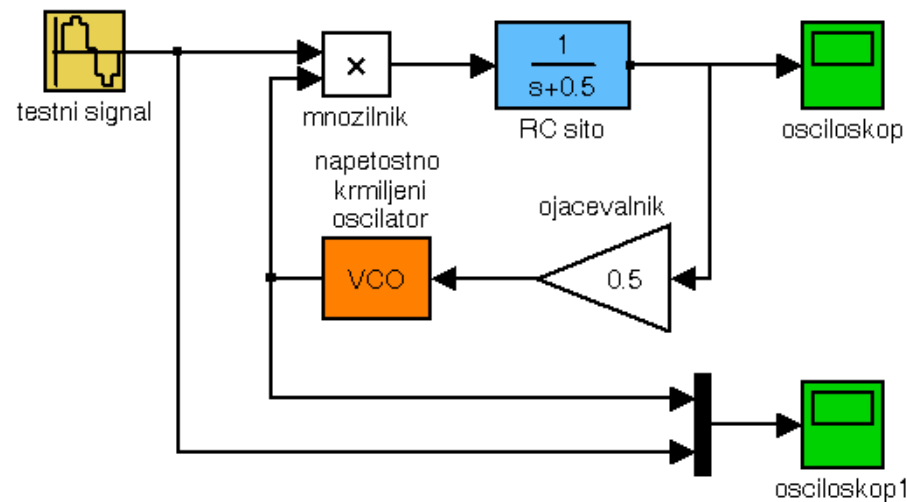
- **C)** Generirajte in izmerite FM signal s podatki: $f_0=100\text{MHz}$, $f_m=10\text{kHz}$, $\beta=10$. Uporabite RF generator HP8656 in spektralni analizator.

A) modulator in demodulator v Simulinku

- z elementi knjižnice sestavite frekvenčni modulator z VCO in frekvenčni demodulator s fazno ujeto zanko!



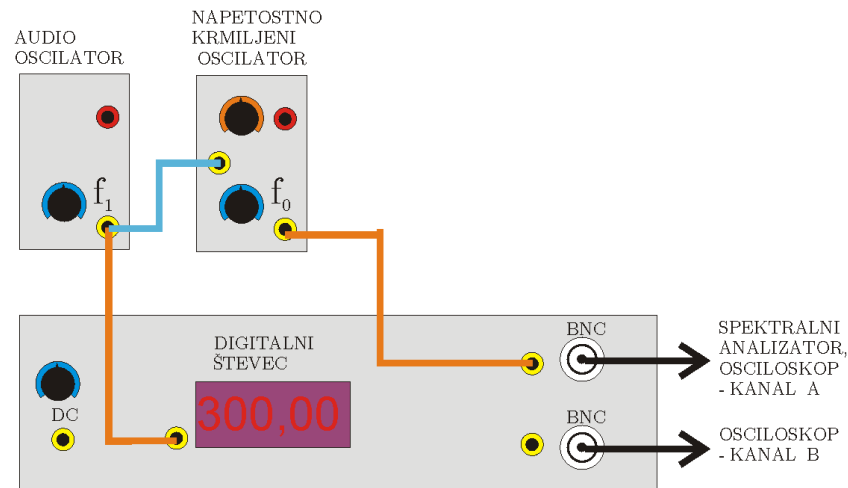
- zgled: PLL z elementi knjižnice v Simulinku:





B1) FM z moduli TIMS

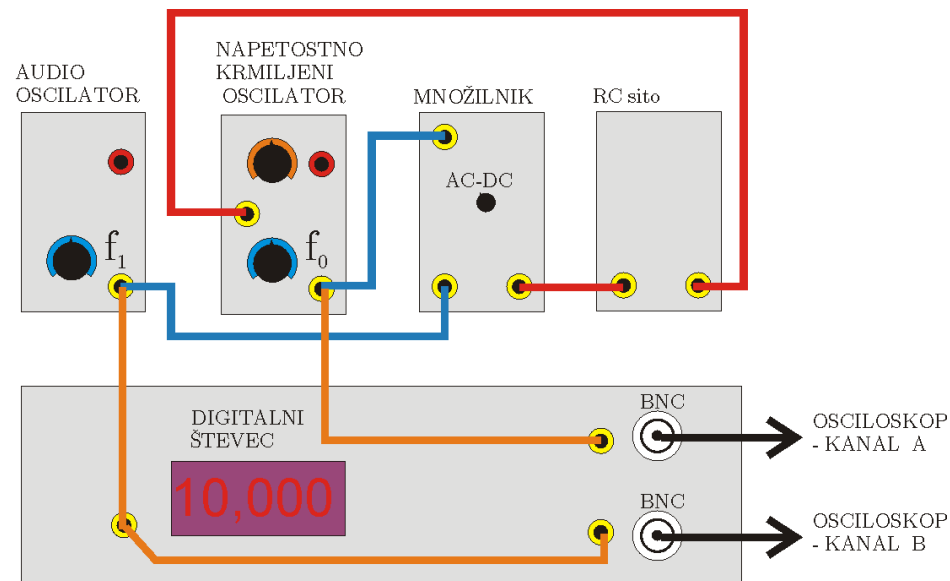
- Izmerite lastnosti napetostno krmiljenega oscilatorja (VCO).
- Z napetostno krmiljenim oscilatorjem generirajte FM signal. Nastavite parametre FM signala:
 - frekvenca nosilca $f_0=10\text{kHz}$,
 - frekvenca testnega modulatorskega signala $f_m=300\text{Hz}$,
 - modulacijski indeks $\beta=1$, $\beta=5$, $\beta=10$

Izmerite spekter FM signala in preverite ujemanje rezultatov z izračunanim potekom !



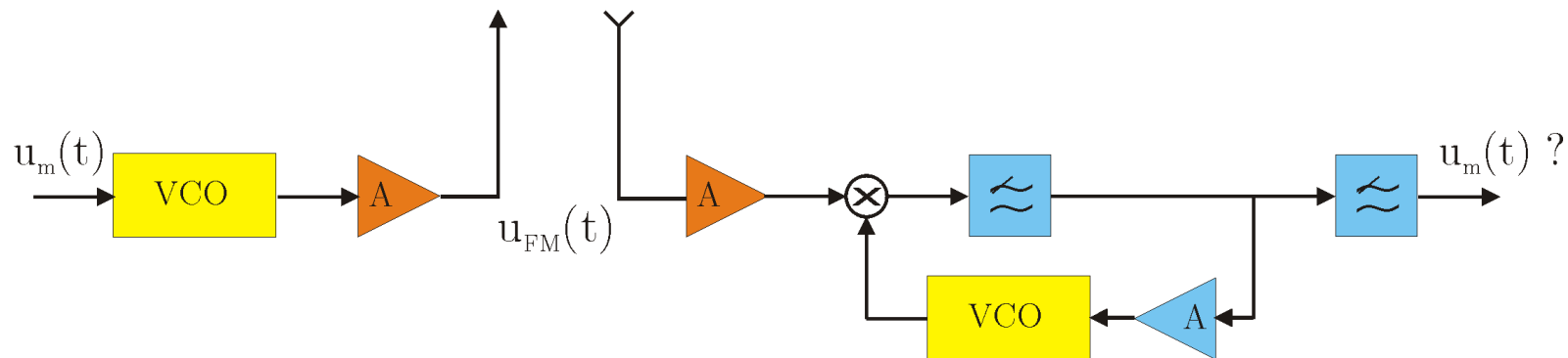
B2) PLL z moduli TIMS

- Izmerite sledilno območje in lovilno območje fazno ujete zanke:
 - sledilno območje (lock range) 
 - lovilno območje (capture range) 
- Fazno razliko med signali na vhodu množilnika izmerite na osciloskopu !



B3) Oddajnik in sprejemnik z moduli TIMS

- Z dvema sistemi TIMS sestavite par FM oddajnik in FM sprejemnik, in preverite brezžični prenos testnega signala in glasbe!
- Nastavite parametre FM signala na oddajniku:
 - frekvenca nosilca $f_0=100$ kHz ,
 - frekvenčna deviacija $\Delta f=10$ kHz,
 - frekvenca testnega modulacijskega signala $f_m=1000$ Hz,
- V sprejemniku sestavite FM demodulator s fazno ujeto zanko. Frekvenco prostotekočega oscilatorja nastavite na $f_0=100$ kHz.



C) Uporaba RF generatorja

- Na RF generatorju HP8656 nastavite:
 - amplitudo signala $U = -20\text{dBV}$,
 - frekvenco nosilca $f_0 = 100\text{MHz}$,
 - frekvenčni koleb $\Delta f = 100\text{kHz}$,
 - na modulacijski vhod priključite NF generator s frekvenco signala $f_m = 10\text{kHz}$
- Izmerite časovni potek in spekter FM signala:

