

Projekat iz predmeta Telekomunikacije 2 (13E033T2)

Oblast I, tema broj 2

“Modelovanje i analiza sistema prenosa primenom kvadrature  
modulacije”

Radile:

Emilija Lalković 2020/0518

Jovana Marić 2020/0144

## Kod:

```
1 close all; clear; clc;
2
3 %Definisanje frekvencije odabiranja i duzine vremenske ose, tj. broja odbiraka Ns
4 Fs = 384000;
5 fm = 750;
6 Ns = (Fs * 128)/fm;
7 t = (0:1/Fs:(Ns - 1)/Fs);
8 Nfft=[1024 2048 4096];
9 Bpou = 3000;
10 snr=[5 10 15 20 25];
11
12 %frekvencijski spektar
13 f_2pi=(0:Fs/Nfft(2):Fs-Fs/Nfft(2)); %prikaz od 0 do 2pi
14 f_pi=(-Fs/2:Fs/Nfft(2):Fs/2-Fs/Nfft(2)); %prikaz od -pi do pi
15
16 %generisanje grane u fazi (u odbircima)
17 Ui_t = cos(2*pi*750*t) + 0.6*cos(2*pi*1500*t) + 0.3*cos(2*pi*2250*t) + 0.1*cos(2*pi*3000*t);
18 figure(1),subplot(2,1,1), stem(t, Ui_t); title('grana u fazi'); ylim([-5 5]);xlabel('t [us]');ylabel('ui(t)');
19
20
21 %generisanje grane u kvadraturi (u odbircima)
22 Uq_t = 4*cos(2*pi*2000*t);
23 subplot(2,1,2), stem(t, Uq_t); title('grana u kvadraturi');ylim([-5 5]);xlabel('t [us]');ylabel('uq(t)');
24
25 proracun_i_prikaz_spektra_i_SGSS(Nfft(2),Fs, Ui_t,Uq_t, 'ulazni signali');
26 %mnozenje lokalnim nosiocem, modulacija
27 f0=Fs/4;
28 Ui_mod = Ui_t.*cos(2*pi*f0*t);
29 Uq_mod = Uq_t.*sin(2*pi*f0*t);
30 Uiq = Ui_mod - Uq_mod; %modulisani signal
31
32 proracun_i_prikaz_spektra_i_SGSS(Nfft(2),Fs, Ui_mod,Uq_mod, 'modulisani signali');
33
34 %dodavanje aditivnog belog gausovog suma
35 Uiq_sum = awgn(Uiq, snr(4)-10*log10(Fs/Bpou));
36
37 %projektovanje filtra PO
38 h_po_x1=fir1(50,[f0 f0+3100]/(Fs)); %filter PO sirine spektra signala 8
39 h_po_x2=fir1(50,[f0-1600 f0+4600]/(Fs)); %filter PO duplo veci sirine od sirine spektra signala 28
40 [H_po_x1,w_po_x1]=freqz(h_po_x1,1);
41 [H_po_x2,w_po_x2]=freqz(h_po_x2,1);
42 h_po=[h_po_x1 h_po_x2];
43
44 %projektovanje NF filtra
45 h_nf=fir1(50,3100/Fs);
46 [H_nf,w_nf]=freqz(h_nf,1);
47
48 %filtriranje signala propusnikom opsega
49 Uiq_po=filter(h_po(1),1, Uiq_sum);
50
51 %idealna demodulacija
52 Ii_t = Uiq_po*2.* cos(2*pi*f0*t);
53 Iq_t = Uiq_po*2.* sin(2*pi*f0*t);
54 proracun_i_prikaz_spektra_i_SGSS(Nfft(2),Fs, Ii_t,Iq_t, 'idealna demodulacija');
55 Ii_nf=filter(h_nf,1,Ii_t);
56 Iq_nf=filter(h_nf,1,Iq_t);
57 proracun_i_prikaz_spektra_i_SGSS(Nfft(2),Fs,Ii_nf,Iq_nf, 'idealna demodulacija posle NF filtra');
58
59 %demodulacija sa faznom greskom; menjati indeks phase_error kako bi se simulacija izvrila za razlicite vrednosti fazne greske
60 phase_error = [pi/18 pi/4 pi/2];
61 Ii_t = Uiq_po*2.* cos(2*pi*f0*t + phase_error(2));
62 Iq_t = Uiq_po*2.* sin(2*pi*f0*t + phase_error(2));
63 proracun_i_prikaz_spektra_i_SGSS(Nfft(2),Fs, Ii_t,Iq_t, 'demodulacija sa faznom greskom');
64 Ii_nf=filter(h_nf,1,Ii_t);
65 Iq_nf=filter(h_nf,1,Iq_t);
66 proracun_i_prikaz_spektra_i_SGSS(Nfft(2),Fs,Ii_nf,Iq_nf, 'modulacija sa faznom greskom posle NF filtra');
67
68 %demodulacija sa frekvencijskom greskom; menjati indeks frequency_error kako bi se simulacija izvrila za razlicite vrednosti frekvencijske greske
69 frequency_error = [-0.5 0.5]*1000;
70 Ii_t = Uiq_po*2.* cos(2*pi*(f0+frequency_error(1))*t);
71 Iq_t = Uiq_po*2.* sin(2*pi*(f0+frequency_error(1))*t);
72 proracun_i_prikaz_spektra_i_SGSS(Nfft(2),Fs, Ii_t,Iq_t, 'demodulacija sa frekvencijskom greskom');
73 Ii_nf=filter(h_nf,1,Ii_t);
74 Iq_nf=filter(h_nf,1,Iq_t);
75 proracun_i_prikaz_spektra_i_SGSS(Nfft(2),Fs,Ii_nf,Iq_nf, 'demodulacija sa frekvencijskom greskom posle NF filtra');
```

```

1 function proracun_i_prikaz_spektra_i_SGSS(Nfft,Fs,Ui_t,Uq_t, recenica)
2
3 f_fja=(0:F_s/Nfft:F_s-F_s/Nfft); %f osa
4 figure,
5 subplot(2,1,1), stem( f_fja, abs(fft(Ui_t,Nfft))); title('grana u fazi ', recenica); xlim([0 F_s]);xlabel('f [Hz]');
6 subplot(2,1,2), stem( f_fja, abs(fft(Uq_t,Nfft))); title('grana u kvadraturi', recenica); xlim([0 F_s]);xlabel('f [Hz]');
7 sgtitle('frekvencijski spektar');
8
9 Ui_f = zeros((65536/Nfft), Nfft);
10 Uq_f = zeros((65536/Nfft), Nfft);
11 Ui_f(1, :) = abs(fft(Ui_t(1:Nfft),Nfft));
12 Uq_f(1, :) = abs(fft(Uq_t(1:Nfft),Nfft));
13 for br =2:(65536/Nfft)
14     Ui_f(br,:) = abs(fft(Ui_t((br-1)*Nfft:br*Nfft),Nfft));
15     Uq_f(br,:) = abs(fft(Uq_t((br-1)*Nfft:br*Nfft),Nfft));
16 end
17 %proracun SGSS signala
18 Ui_zbir_2 = sum((Ui_f.^2)./(F_s*Nfft));
19 Uq_zbir_2 = sum((Uq_f.^2)./(F_s*Nfft));
20 %SGSS po formuli sa postavke zadatka
21 Ui_usrednjeno_2 = Ui_zbir_2./(65536/Nfft);
22 Uq_usrednjeno_2 = Uq_zbir_2./(65536/Nfft);
23
24 %prikaz SGSS
25 figure,
26 subplot(2,1,1), stem( f_fja, Ui_usrednjeno_2); title('grana u fazi usrednjena', recenica); xlim([0 F_s]);xlabel('f [Hz]');ylabel('sgss');
27 subplot(2,1,2), stem( f_fja, Uq_usrednjeno_2); title('grana u kvadraturi usrednjena', recenica); xlim([0 F_s]);xlabel('f [Hz]');ylabel('sgss');
28 sgtitle('SGSS');
29
30 end

```

## Objašnjenje koda:

```

%Definisiranje frekvencije odabiranja i duzine vremenske ose, tj. broja odbiraka Ns
Fs =384000;
fm = 750;
Ns = (Fs * 128)/fm;
t = (0:1/Fs:(Ns - 1)/Fs);
Nfft=[1024 2048 4096];
Bpou = 3000;
snr=[5 10 15 20 25];

%frekvencijski spektar
f_2pi=(0:F_s/Nfft(2):F_s-F_s/Nfft(2)); %prikaz od 0 do 2pi
f_pi=(-F_s/2:F_s/Nfft(2):F_s/2-F_s/Nfft(2)); %prikaz od -pi do pi

```

Maksimalna učestanost signala iznosi 3000Hz (jedna komponenta signala grane u fazi). Frekvenciju odabiranja biramo tako da bude 128 puta veća od maksimalne, tkd.  $F_s = 3000 \cdot 128 = 384000 \text{ Hz}$ . Učestanost odabiranja je veća od one po teoremi odabiranja da bismo simulirali kvazi-kontinualni signal.

Najduža perioda ima najmanju frekvenciju (750 Hz, pa je perioda  $4/3 \text{ ms}$ ). Vreme trajanja simulacije je najduža perioda pomnožena sa 128. I broj odbiraka tj. dužina diskretnog niza je frekvencija odabiranja pomnožena trajanjem simulacije (65536 odbiraka).

Širina propusnog opsega odgovara najvećoj frekvenciji tj 3000Hz.

U zadatku se traži da menjamo različite vrednosti snr, Nfft, fazne greške, frekvencijske greške kod neidealne sinhronizacije i propusnika opsega. Napravile smo nizove sa svim mogućim vrednostima ovih veličina, tako da u kodu treba menjati indeks ako želimo druge vrednosti parametara.

Koristile smo frekvencijsku osu koja prikazuje učestanosti od 0 do  $F_s$ .

```
%generisanje grane u fazi (u odbircima)
Ui_t= cos(2*pi*750*t) + 0.6*cos(2*pi*1500*t) + 0.3*cos(2*pi*2250*t) + 0.1*cos(2*pi*3000*t);
figure(1),subplot(2,1,1), stem(t, Ui_t); title('grana u fazi'); ylim([-5 5]);xlabel('t [μs]');ylabel('ui(t)');

%generisanje grane u kvadraturi (u odbircima)
Uq_t = 4*cos(2*pi*2000*t);
subplot(2,1,2), stem(t, Uq_t); title('grana u kvadraturi');ylim([-5 5]);xlabel('t [μs]');ylabel('uq(t)');

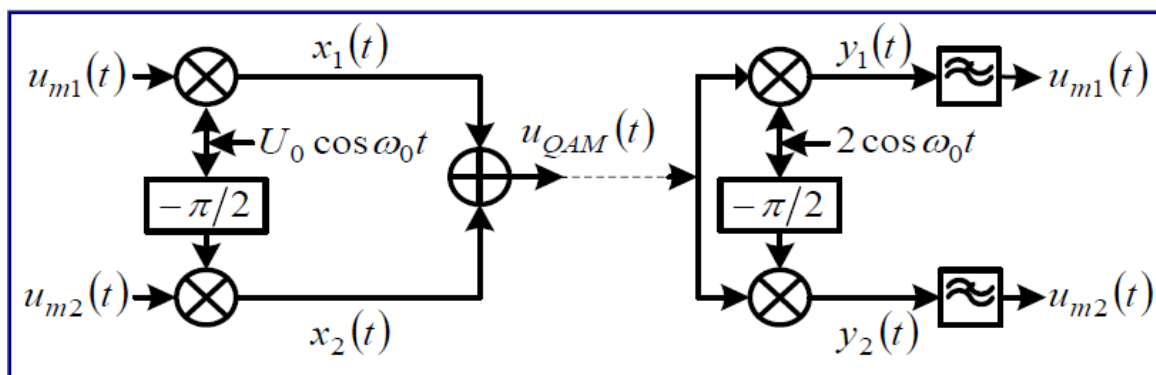
proracun_i_prikaz_spektra_i_SGSS(Nfft(2),Fs, Ui_t,Uq_t, 'ulazni signali');
```

Generisale smo diskretne signale grane u fazi i kvadraturi dužine 65536. odabirani su frekvencijom odabiranja 384000Hz.

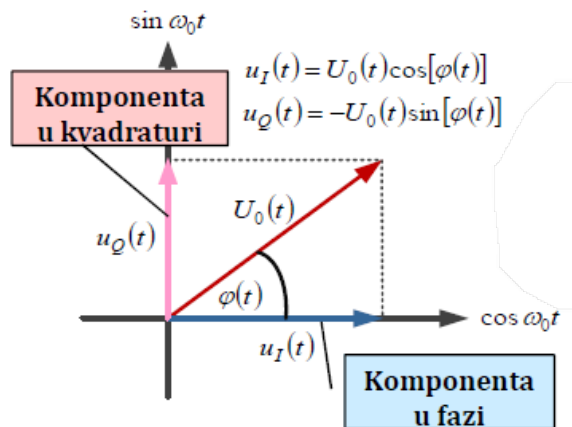
```
%množenje lokalnim nosiocem, modulacija
f0=Fs/4;
Ui_mod = Ui_t.*cos(2*pi*f0*t);
Uq_mod = Uq_t.*sin(2*pi*f0*t);
Uiq = Ui_mod - Uq_mod; %modulisani signal

proracun_i_prikaz_spektra_i_SGSS(Nfft(2),Fs, Ui_mod,Uq_mod, 'modulisani signali');
```

Sledeći korak je modulacija prema šemi:



Učestanost nosioca je  $f_0 = F_s/4$ . Signal grane u fazi množimo sa kosinusom na učestanosti nosioca, a signal grane u kvadraturi množimo fazno pomeranim kosinusom na učestanosti za  $\pi/2$ , tj. sinusom. Ove dve komponente se sabiraju i dobijamo modulisani signal.



%dodavanje aditivnog belog gausovog suma  
 Uiq\_sum = awgn(Uiq, snr(1)-10\*log10(Fs/Bpou));

Na modulirani signal dodajemo aditivni beli gausov šum. Odnos signal šum zadajemo menjanjem indeksa.

```
%projektovanje filtra P0
h_po_x1=fir1(50,[f0 f0+3100]/(Fs)); %filtrar P0 sirine spektra signala B
h_po_x2=fir1(50,[f0-1600 f0+4600]/(Fs)); %filtrar P0 duplo vece sirine od sirine spektra signala 2B
[H_po_x1,w_po_x1]=freqz(h_po_x1,1);
[H_po_x2,w_po_x2]=freqz(h_po_x2,1);
h_po=[h_po_x1 h_po_x2];

%projektovanje NF filtra
h_nf=fir1(50,3100/Fs);
[H_nf,w_nf]=freqz(h_nf,1);

%filtriranje signala propusnikom opsega
Uiq_po=filter(h_po(1),1, Uiq_sum);
```

Projektovali smo oba filtra Hemingovom prozorskom funkcijom. Red oba filtra je 50. pre demodulacije signal se filtrira propusnikom opsega, širina propusnog opsega se bira menjanjem indeksa.

```
%idealna demodulacija
Ii_t = Uiq_po*2.* cos(2*pi*f0*t);
Iq_t = Uiq_po*2.* sin(2*pi*f0*t);
proracun_i_prikaz_spektra_i_SSGS(Nfft(2),Fs, Ii_t,Iq_t, 'idealna demodulacija');
Ii_nf=filter(h_nf,1,Ii_t);
Iq_nf=filter(h_nf,1,Iq_t);
proracun_i_prikaz_spektra_i_SSGS(Nfft(2),Fs,Ii_nf,Iq_nf, 'idealna demodulacija posle NF filtra');
```

Demodulacija se obavlja množenjem sa dvostrukom kosinusnom komponentom na učestanosti lokalnog nosioca. I zatim se signal u grani filtrira NF filtrom da bi se uklonile komponente na učestanosti  $2f_0$ .



$$y_2(t) = [u_{m1}(t)\cos\omega_0 t + u_{m2}(t)\sin\omega_0 t] \times 2\sin\omega_0 t = u_{m1}(t) \times 2\cos\omega_0 t \times \sin\omega_0 t + u_{m2}(t) \times 2\sin^2(\omega_0 t)$$

$$y_2(t) = u_{m1}(t) \times [\sin 0 + \sin(2\omega_0 t)] + u_{m2}(t) \times [\cos 0 - \cos(2\omega_0 t)]$$

$$\langle y_2(t) \rangle_{LPF} = \langle u_{m2}(t) \times [1 - \cos(2\omega_0 t)] + u_{m1}(t) \times \sin(2\omega_0 t) \rangle_{LPF} = u_{m2}(t)$$

Ako se učestanost nosioca i učestanost lokalnog nosioca poklapaju i nema fazne greške reč je o idealnoj demodulaciji.

```
%demodulacija sa faznom greskom; menjati indeks phase_error kako bi se simulacija izvršila za razlicite vrednosti fazne greske
phase_error = [pi/18 pi/4 pi/2];
Ii_t = Uiq_po*2.* cos(2*pi*f0*t + phase_error(2));
Iq_t = Uiq_po*2.* sin(2*pi*f0*t + phase_error(2));
proracun_i_prikaz_spektra_i_SSGS(Nfft(2),Fs, Ii_t,Iq_t, 'demodulacija sa faznom greskom');
Ii_nf=filter(h_nf,1,Ii_t);
Iq_nf=filter(h_nf,1,Iq_t);
proracun_i_prikaz_spektra_i_SSGS(Nfft(2),Fs,Ii_nf,Iq_nf,'modulacija sa faznom greskom posle NF filtra');
```

Kod demodulacije sa faznom greškom nosilac na predaji i lokalni nosilac na prijemu nemaju istu fazu. Reč je o neidealnoj sinhronizaciji. Frekvencije nosioca su iste.

```
%demodulacija sa frekvencijskom greskom ;menjati indeks frequency_error kako bi se simulacija izvršila za razlicite vrednosti frekvencijske greske
frequency_error = [-0.5 0.5]*1000;
Ii_t = Uiq_po*2.* cos(2*pi*(f0+frequency_error(1))*t);
Iq_t = Uiq_po*2.* sin(2*pi*(f0+frequency_error(1))*t);
proracun_i_prikaz_spektra_i_SSGS(Nfft(2),Fs, Ii_t,Iq_t,'demodulacija sa frekvencijskom greskom');
Ii_nf=filter(h_nf,1,Ii_t);
Iq_nf=filter(h_nf,1,Iq_t);
proracun_i_prikaz_spektra_i_SSGS(Nfft(2),Fs,Ii_nf,Iq_nf,'demodulacija sa frekvencijskom greskom posle NF filtra');
```

Kod demodulacije sa frekvencijskom greškom nosilac na predaji i lokalni nosilac na prijemu nemaju iste frekvencije. Reč je o neidealnoj sinhronizaciji. Faze nosioca su iste.

```
function proracun_i_prikaz_spektra_i_SSGS(Nfft,Fs,Ui_t,Uq_t, recenica)

f_fja=(0:Ffs/Nfft:Ffs-Fs/Nfft); %f osa
figure,
subplot(2,1,1), stem( f_fja, abs(fft(Ui_t,Nfft))); title('grana u fazi ', recenica); xlim([0 Ffs]);xlabel('f [Hz]');
subplot(2,1,2), stem( f_fja, abs(fft(Uq_t,Nfft))); title('grana u kvadraturi', recenica); xlim([0 Ffs]);xlabel('f [Hz]');
sgtitle('frekvencijski spektar');

Ui_f = zeros((65536/Nfft), Nfft);
Uq_f = zeros((65536/Nfft), Nfft);
Ui_f(1, :) = abs(fft(Ui_t(1:Nfft),Nfft));
Uq_f(1, :) = abs(fft(Uq_t(1:Nfft),Nfft));
for br =2:(65536/Nfft)
    Ui_f(br,:) = abs(fft(Ui_t((br-1)*Nfft:br*Nfft),Nfft));
    Uq_f(br,:) = abs(fft(Uq_t((br-1)*Nfft:br*Nfft),Nfft));
end
%proracun SSGS signala
Ui_zbir_2 = sum((Ui_f.^2)./(Fs*Nfft));
Uq_zbir_2 = sum((Uq_f.^2)./(Fs*Nfft));
%SSGS po formuli sa postavke zadatka
Ui_usrednjeno_2 = Ui_zbir_2./(65536/Nfft);
Uq_usrednjeno_2 = Uq_zbir_2./(65536/Nfft);
|
%prikaz SSGS
figure,
subplot(2,1,1), stem( f_fja, Ui_usrednjeno_2); title('grana u fazi usrednjena', recenica); xlim([0 Ffs]);xlabel('f [Hz]');ylabel('sgss');
subplot(2,1,2), stem( f_fja, Uq_usrednjeno_2); title('grana u kvadraturi usrednjena', recenica); xlim([0 Ffs]);xlabel('f [Hz]');ylabel('sgss');
sgtitle('SSGS');

end
```

Pošto se procena spektra i SGSS traže više puta odlučile smo da napišemo funkciju koja prima Nfft (dužina podniza za koji se računa DFT), frekvencija odabiranja i signal u fazi i kvadraturi.

Prvo napravimo matricu dimenzija (broj segmenata x Nfft) ispunjenu nulama. U prvu vrstu upišemo prvih Nfft odbiraka našeg signala. U for petlji ispunimo ostale sedmente kojih ima 65536/Nfft.

Za procenu SGSS koristimo promenljivu U\_zbir\_2 u kojoj pre nego što sumiramo sve kolone moramo da koristimo sledeću formulu za svaki segment.

$$\frac{1}{F_s \times N_{fft}} \times |fft(x_{segment}, N_{fft})|^2$$

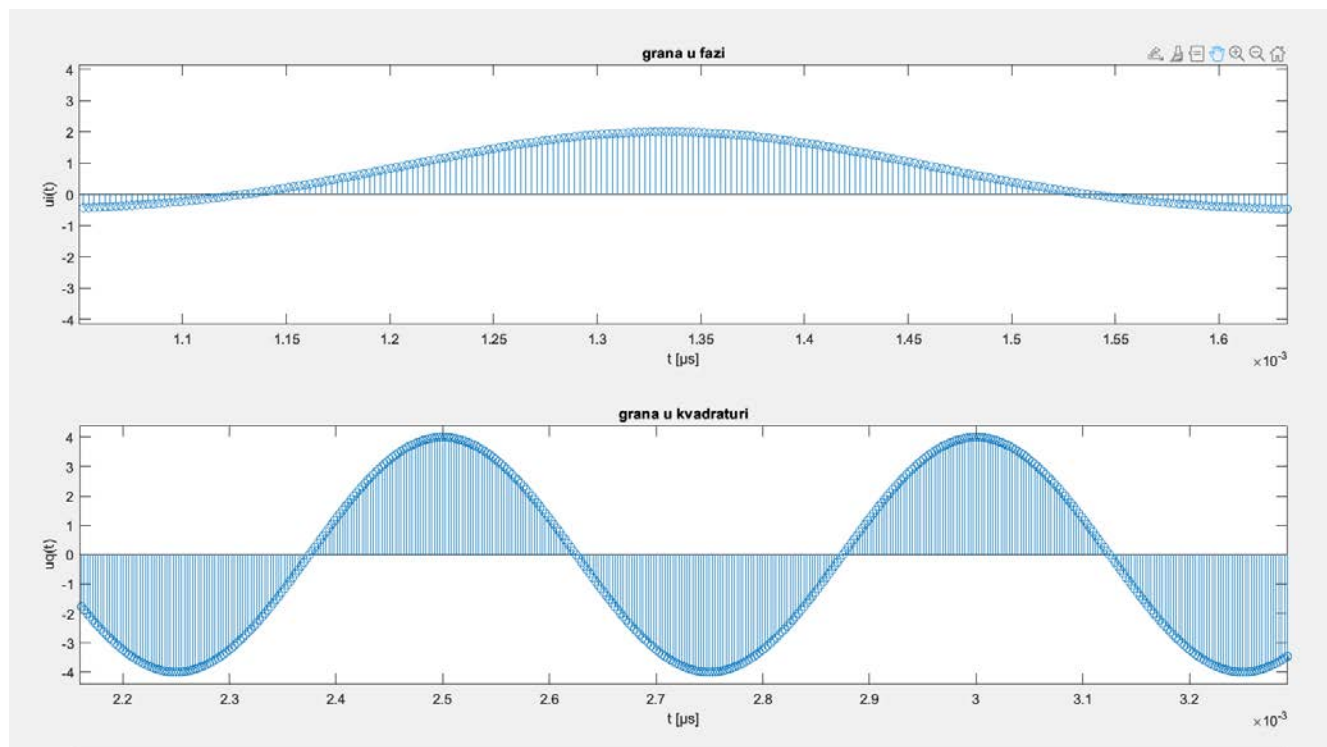
Dobijene rezultate je potrebno usrednjiti, delimo svaki element sa brojem segmenata.

Spektar računamo tako što primenimo DFT na nizove u Nfft tačaka.

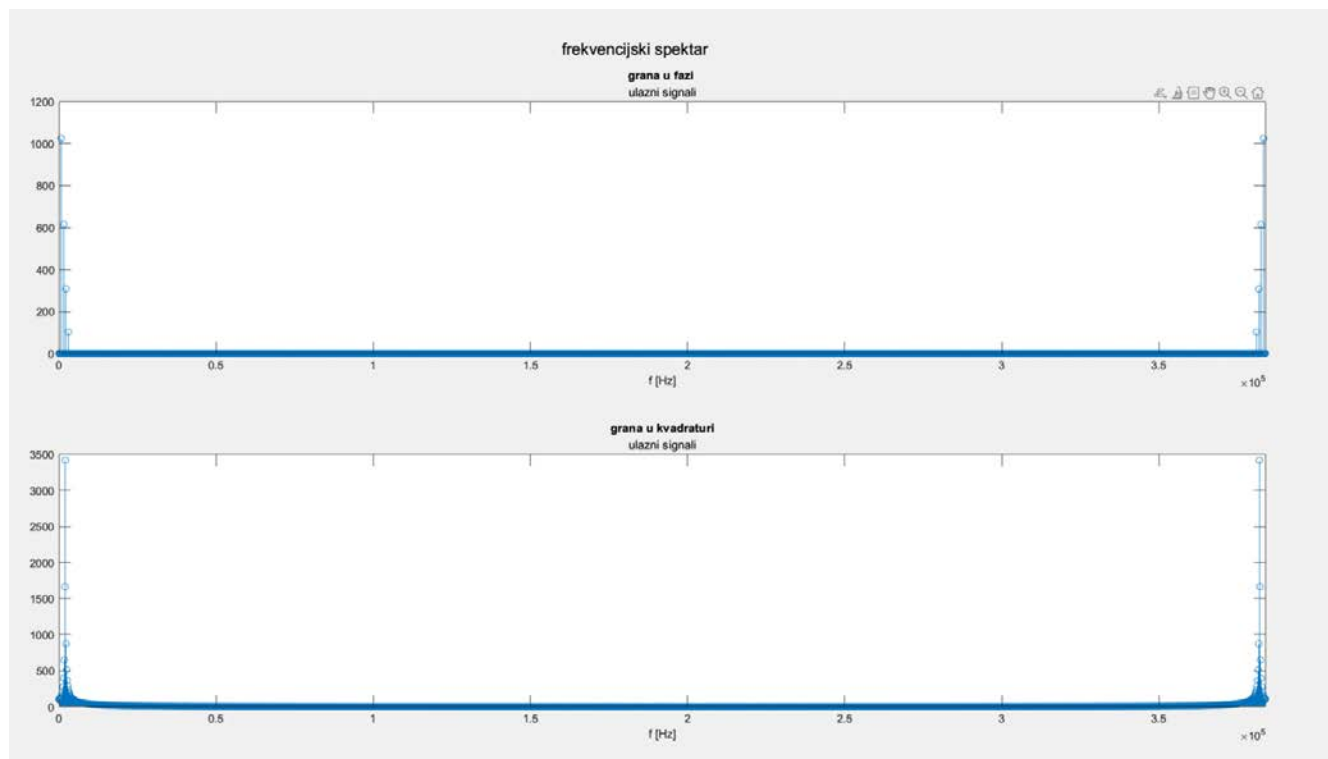
Na kraju je dat prikaz spektra i SGSS signala.

### Značajni primeri:

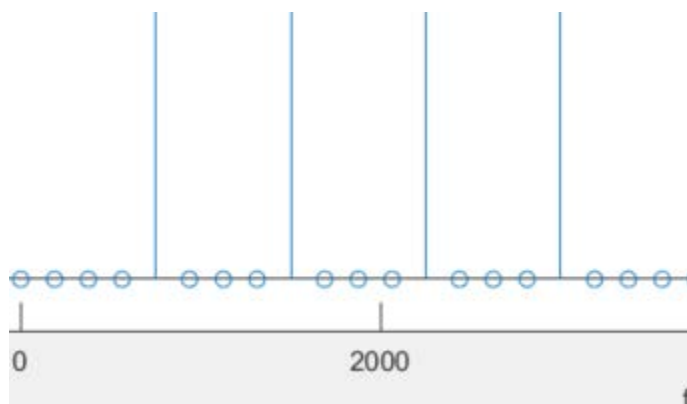
Ovako izgleda vremenski oblik ulaznih signala. Pokretanjem koda u MATLAB-u vidi se da simulacija traje oko  $0.17\ \mu\text{s}$ . U grani u kvadraturi je prostoperiodičan signal, a u grani u fazi složenoperiodičan.



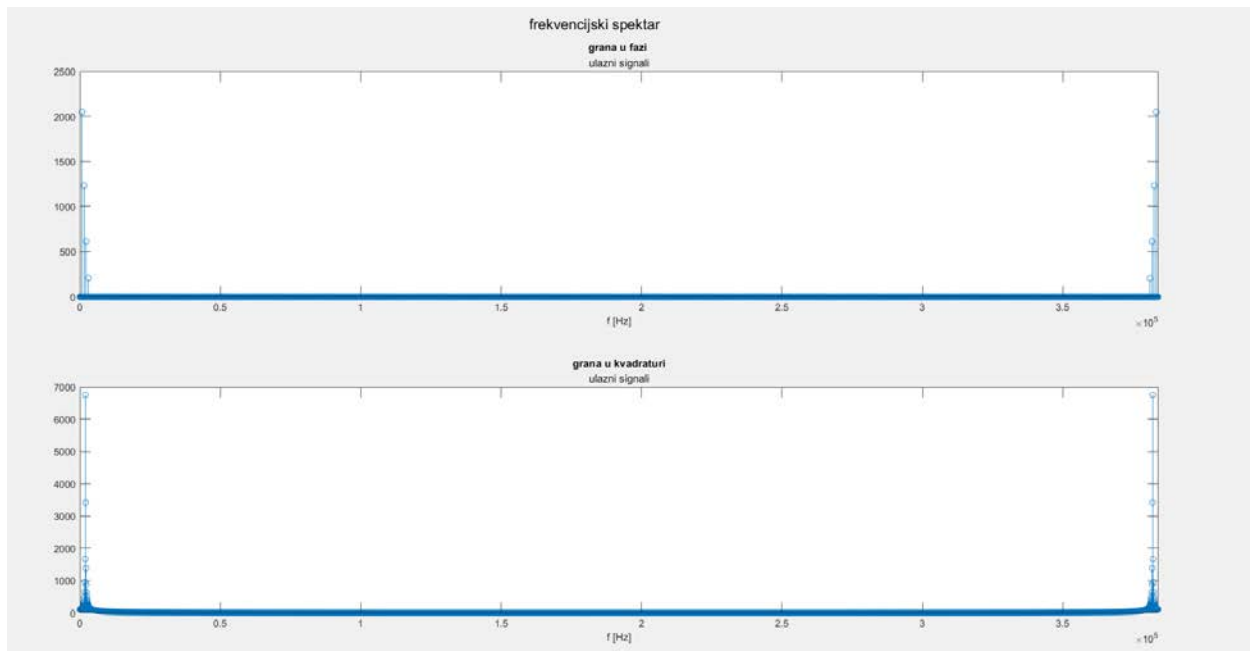




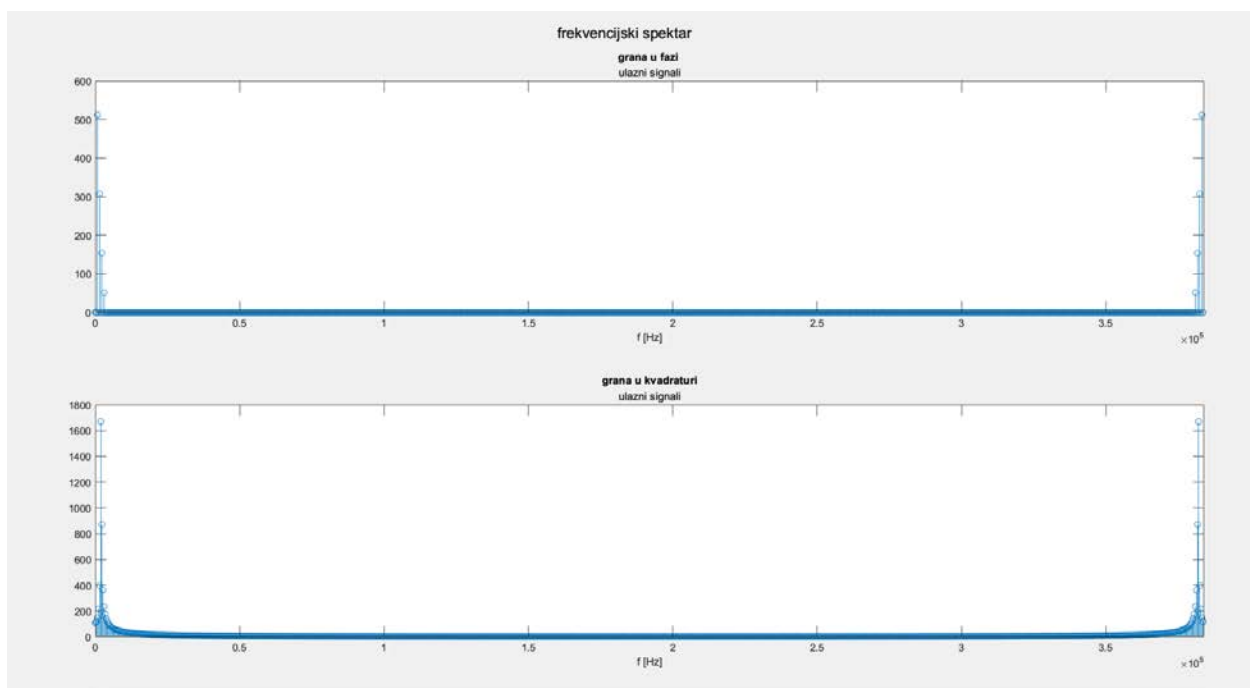
Ovako izgleda spektar za sve primere gde se DFT radi u 2048 tačaka. U grani u kvadraturi dolazi do curenja spektra. U grani u fazi se vide 4 komponente na učestanostima 750, 1500, 2250, 3000Hz, zumiraćemo. Odnosi amplituda ostaju isti 1:0.6:0.3:0.1 , a maksimalna amplituda će odgovarati  $N_{fft}/2$ .



Spektar za sve signale gde je  $N_{fft} = 4096$ .

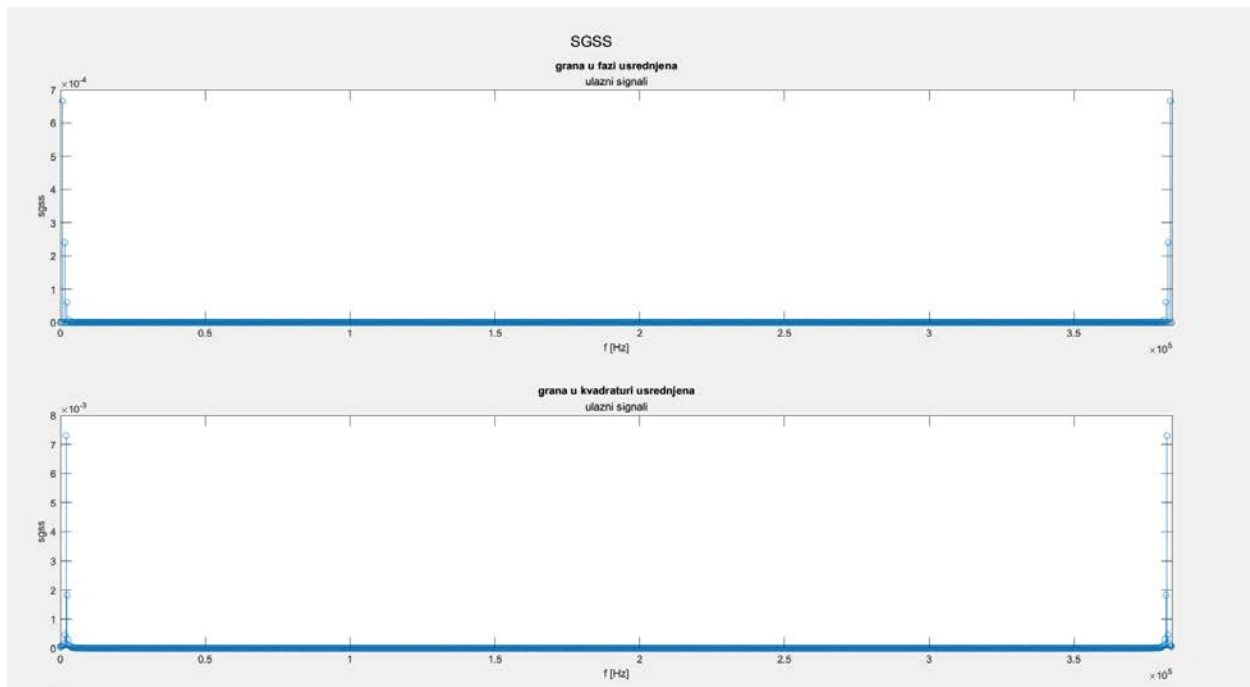


Spektar za signale gde je Nfft 1024.



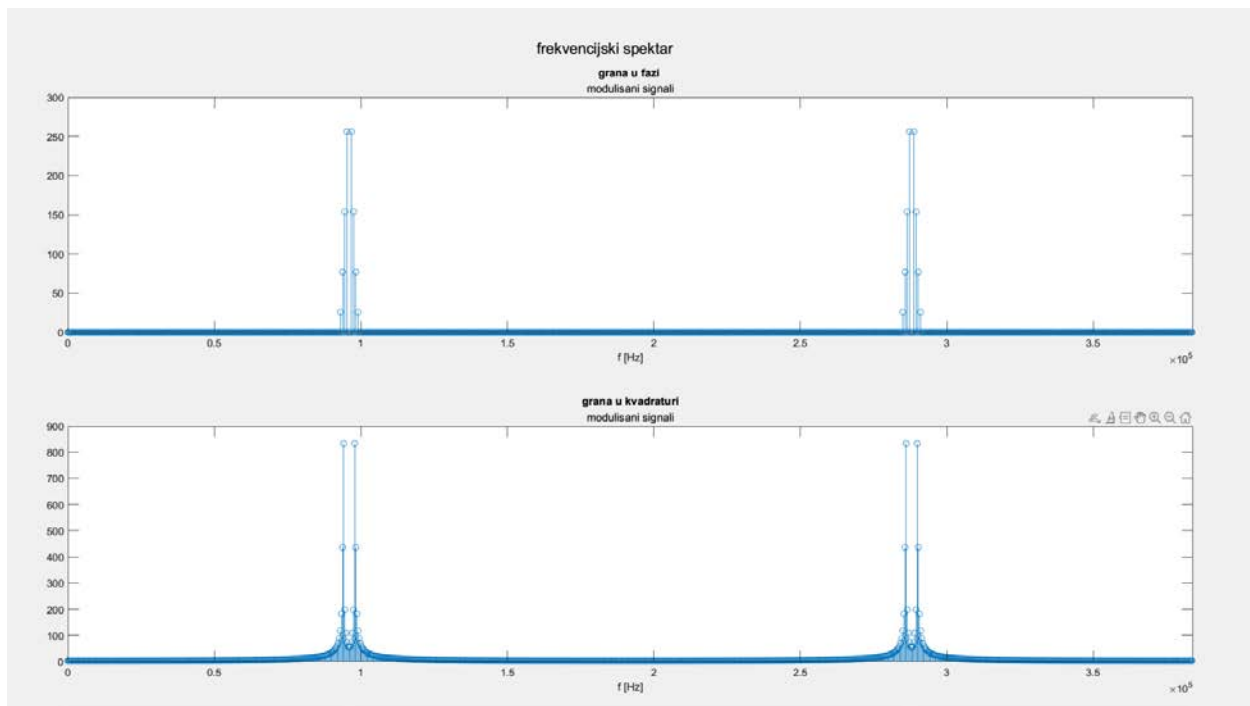
U sva 3 slučaja dolazi do curenja u grani u kvadraturi i vidi se da je max amplituda  $Nfft/2$ .

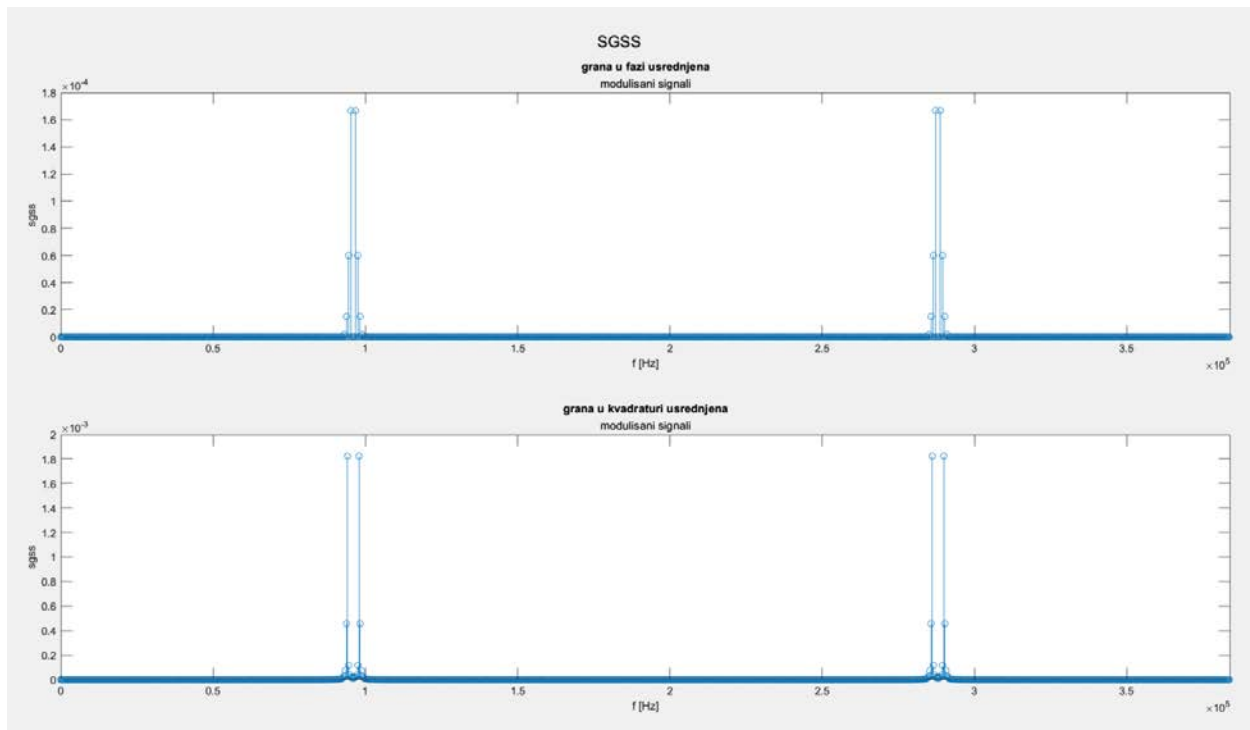
SGSS kada je Nfft 1024.



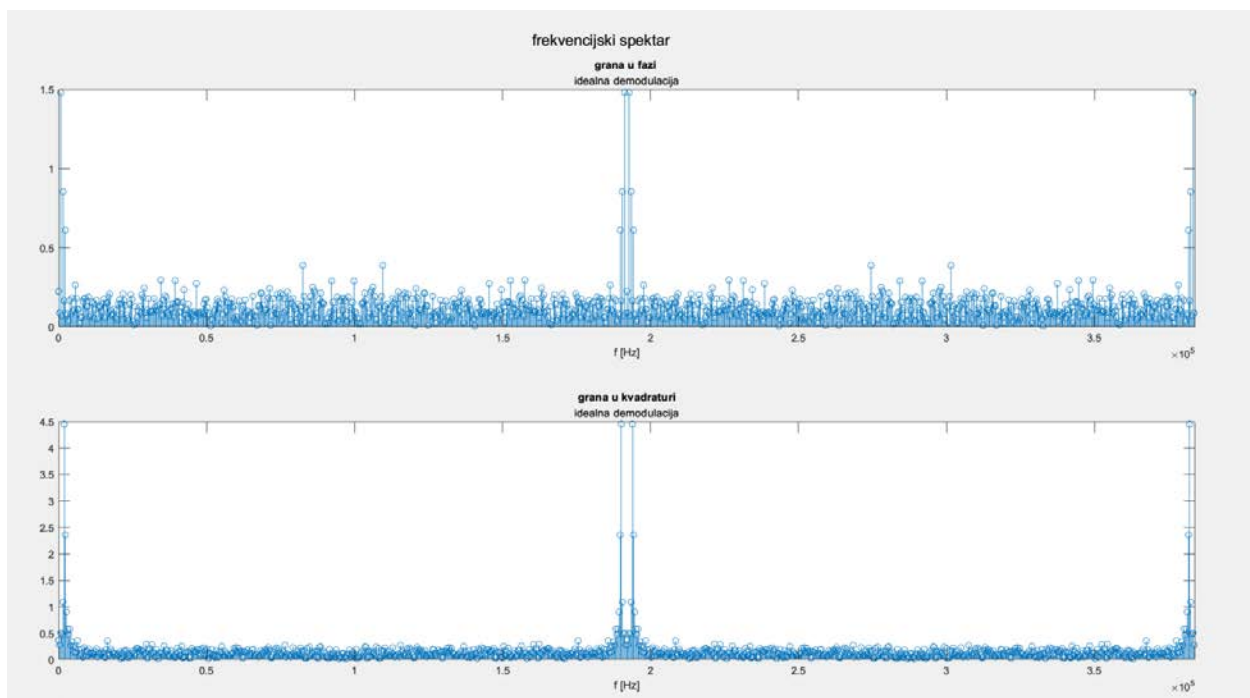
Gledamo primer  $N_{fft}=1024$ ,  $snr=20$ , idealna sinhronizacija, propusni opseg je jednak širini spektra.

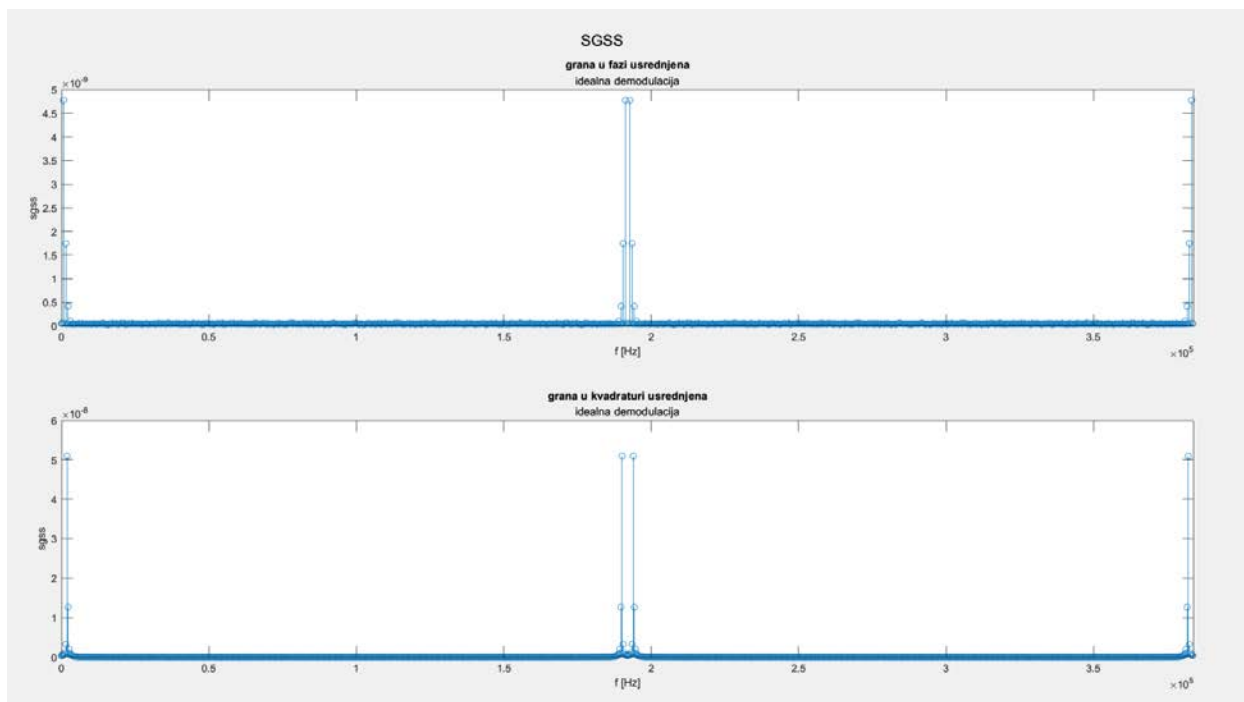
Posle modulacije vidi se da su komponente translirane u spektru za  $f_0=96000\text{Hz}$ .



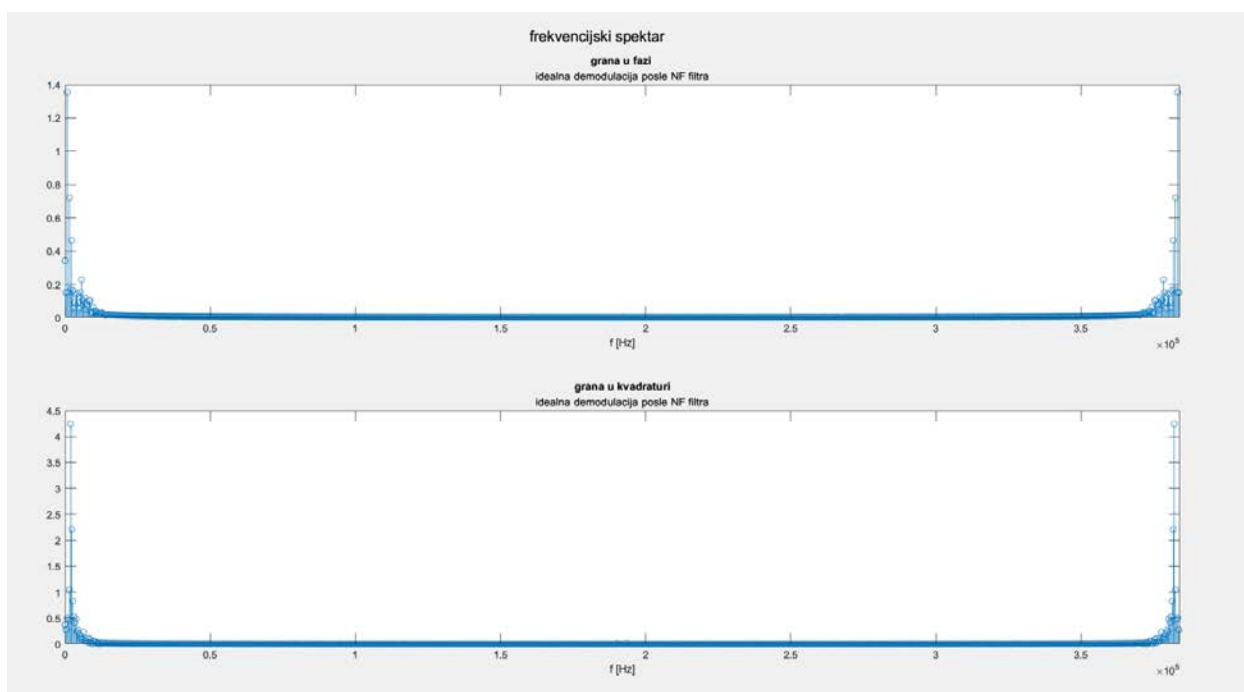


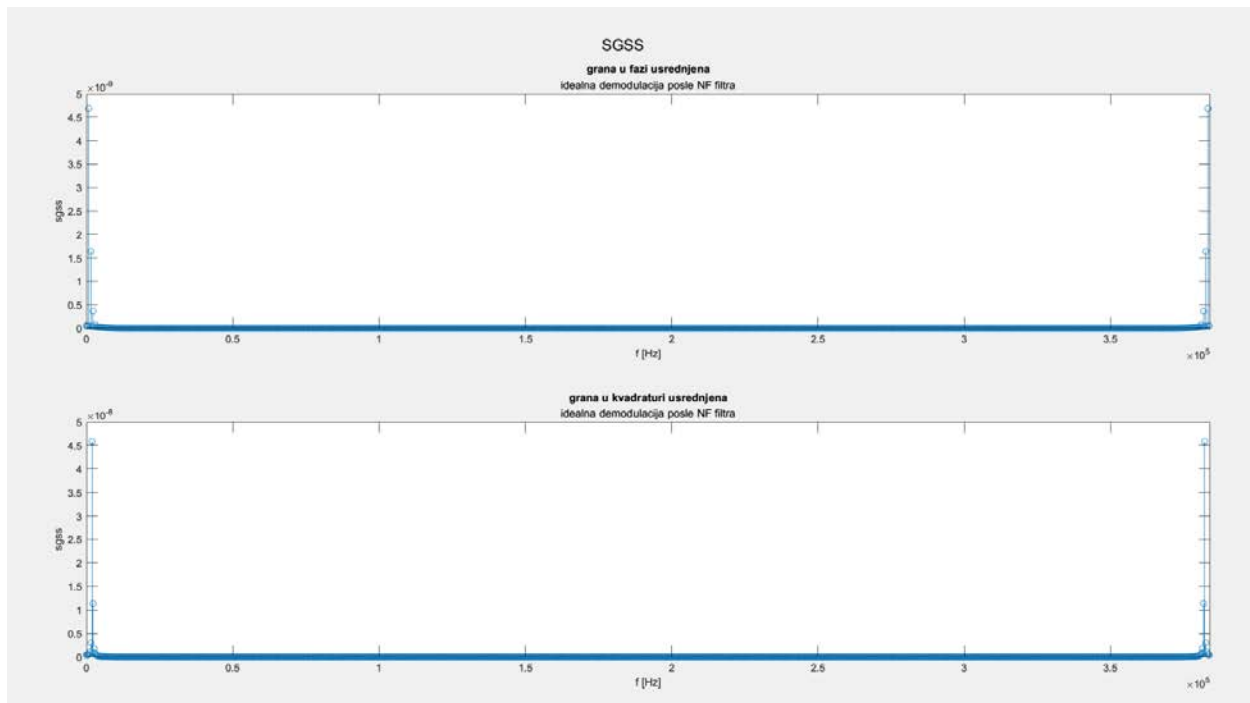
Posle idealne demodulacije vidi se da je ostao šum. Komponente su translirane u spektru za  $-f_0$  (prvobitni signal) i  $f_0$  (treba da odstranimo ove komponente NF filtrom).



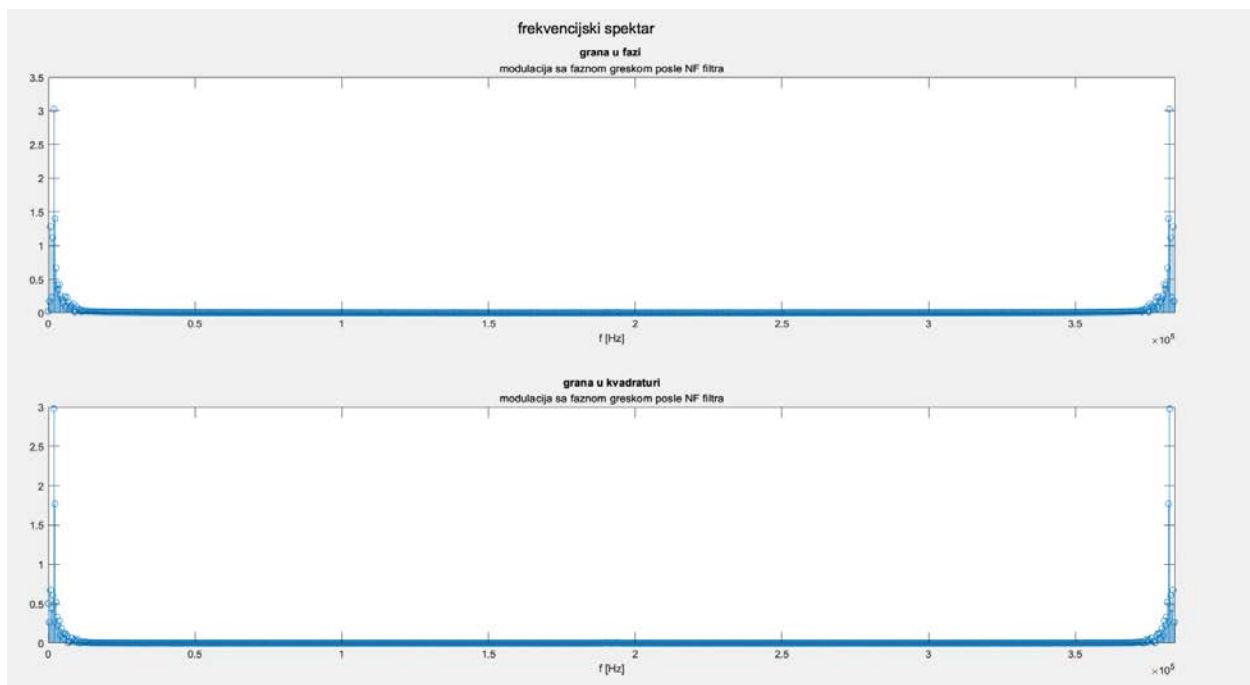


NF filtrom uklanjamo komponente na dvostrukoj učestanosti nosioca i smanjujemo šum.

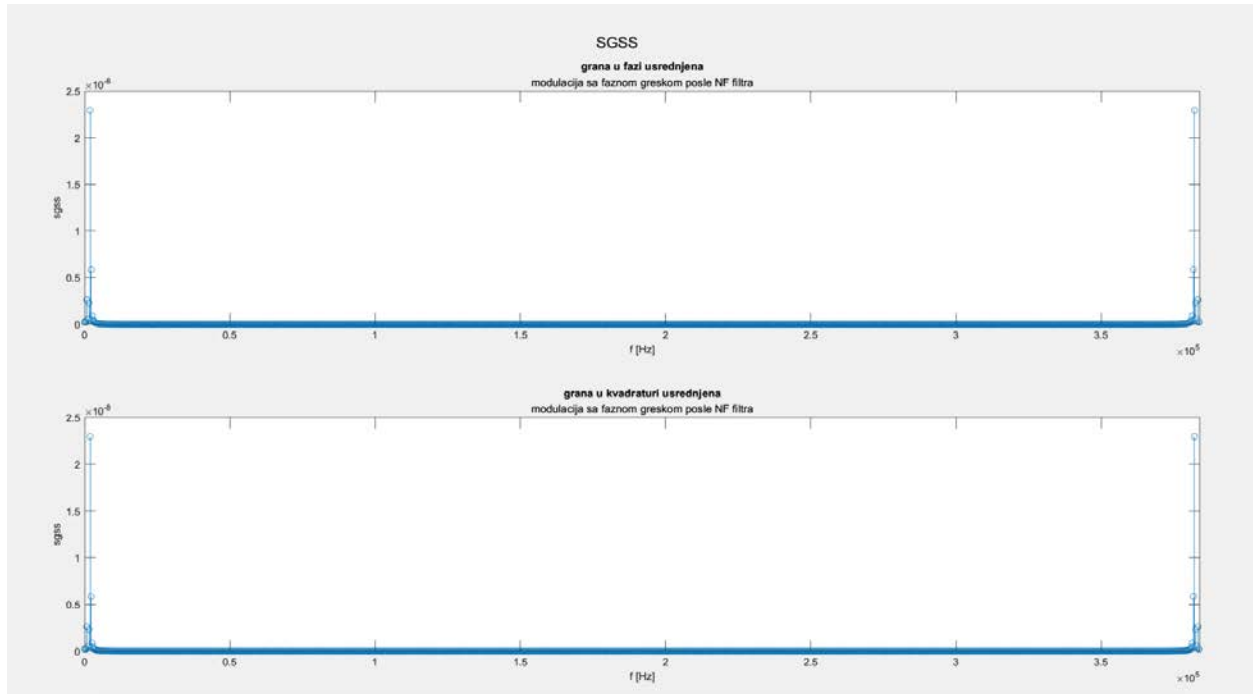




Gledamo primer  $N_{fft}=1024$ ,  $snr=20$ , neidealna sinhronizacija, propusni opseg je jednak 2x širini spektra, fazna greška= $\pi/4$  posle NF filtra.







Signal nakon množača i izlaznih **NF** filtara u gornjoj i donjoj grani prijemnika u opštem slučaju neidealne sinhronizacije faze lokalno generisanog nosioca, određeni su izrazima,

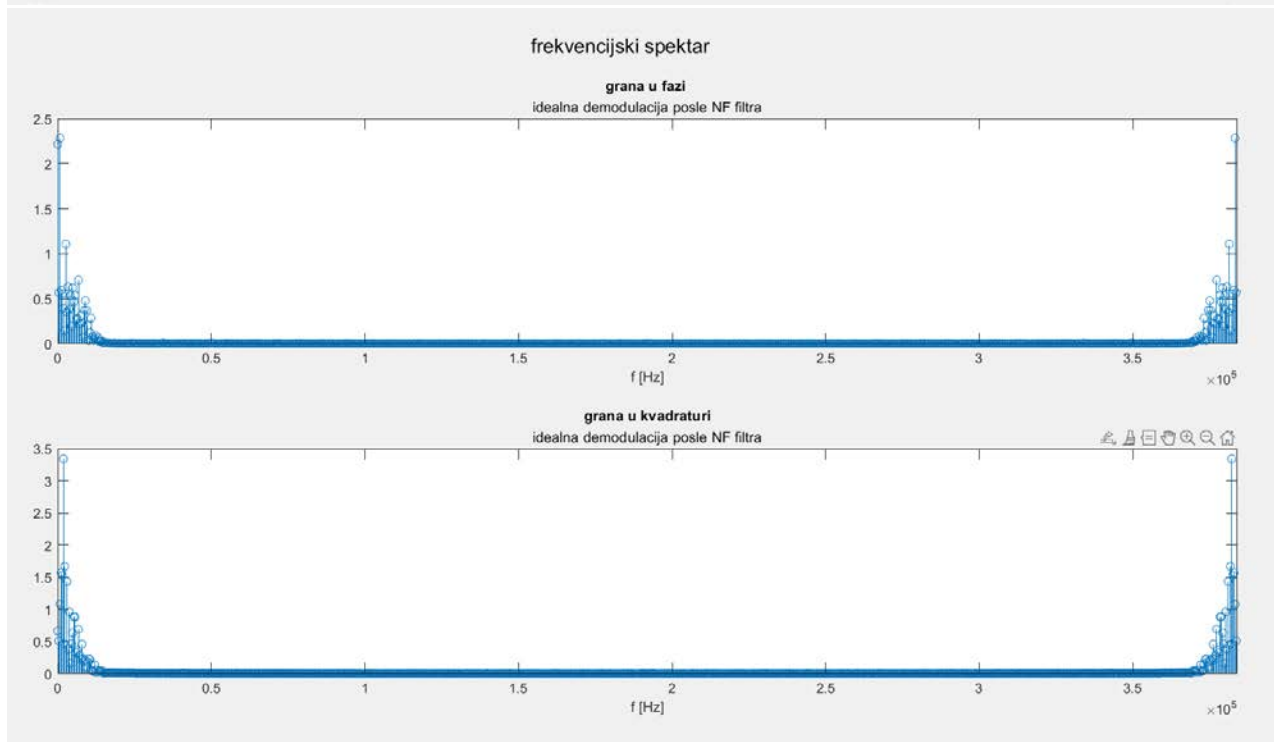
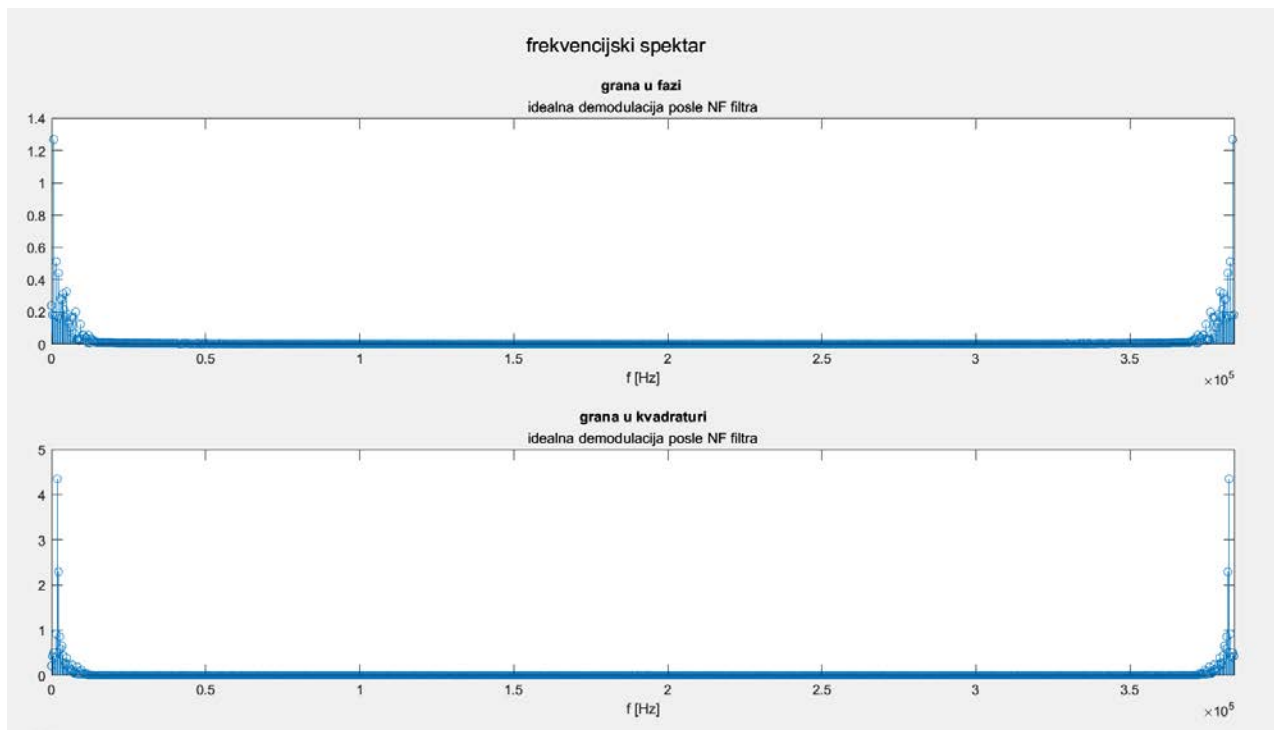
$$y_1(t) = u_{DSB,Rx}(t) \cdot 2\cos(\omega_0 t + \varphi_0) = 2U_{DSB,Rx} \times m(t)\cos(\omega_0 t)\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

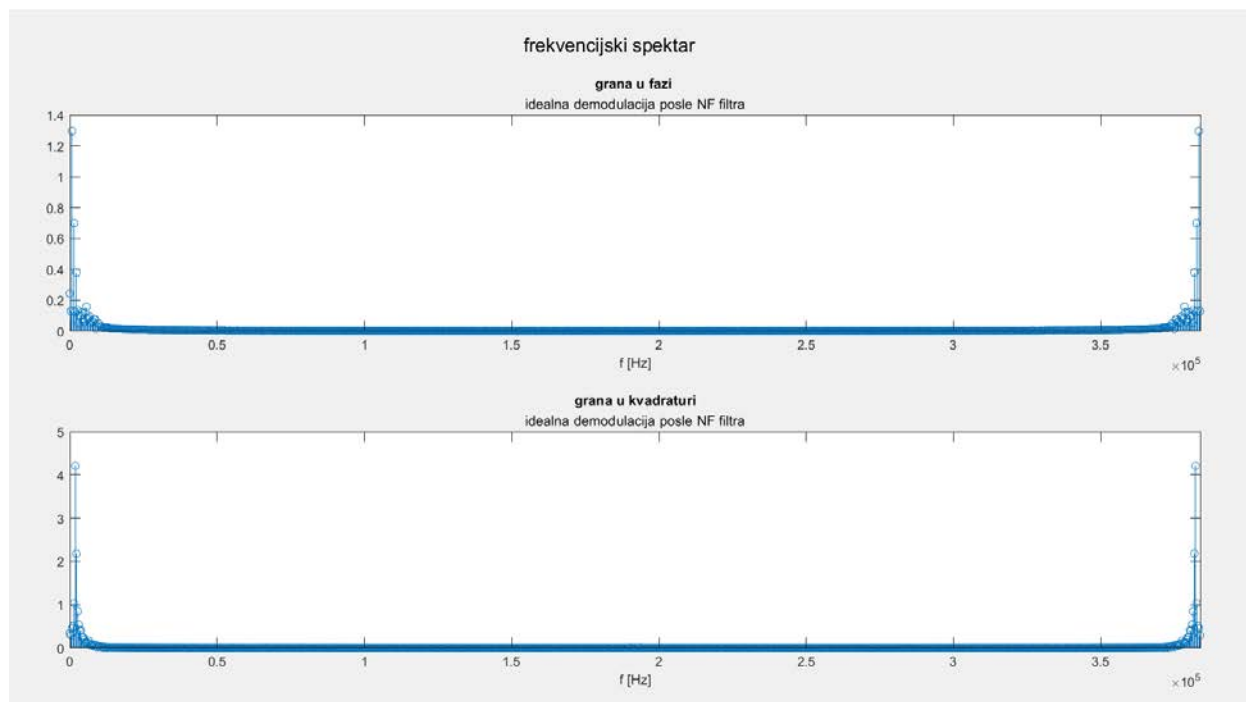
$$y_1(t) = U_{DSB,Rx}m(t)[\cos(\varphi_0) + \cos(2\omega_0 t + \varphi_0)]$$

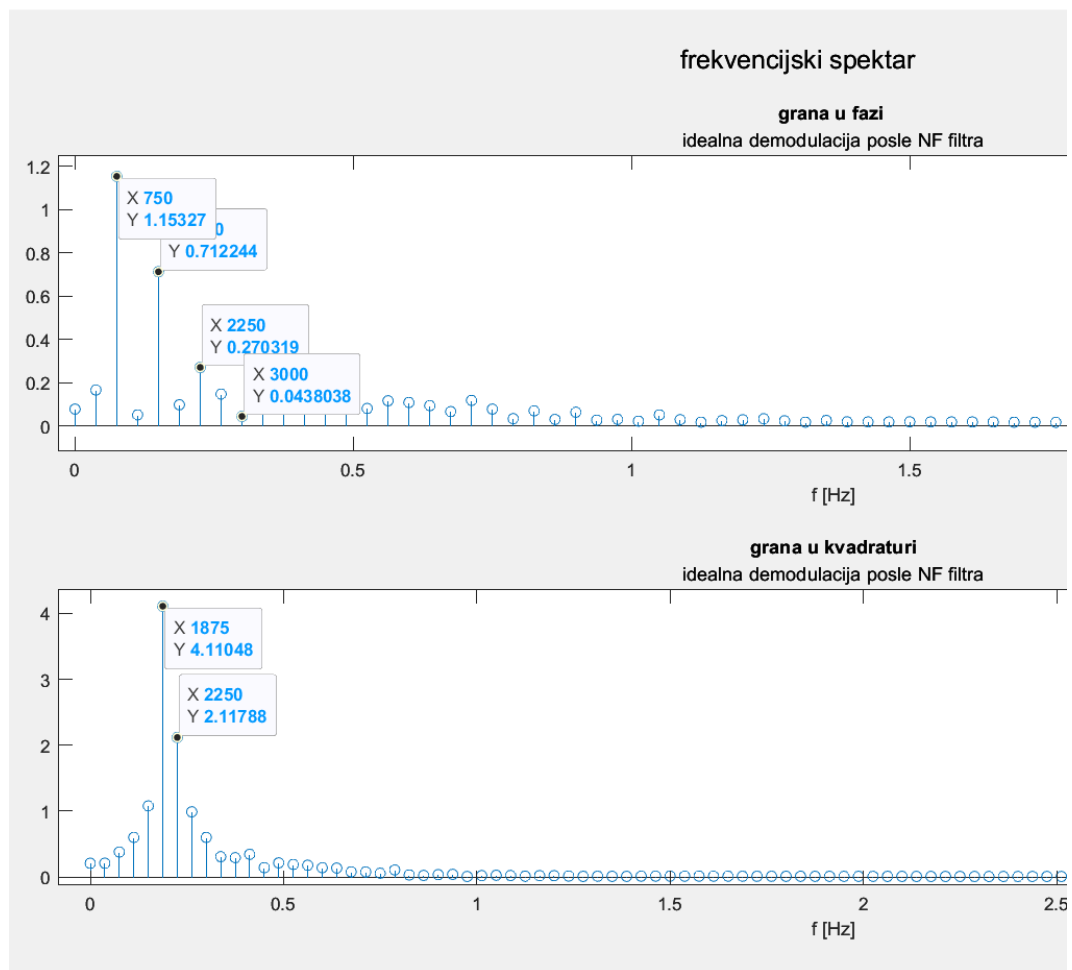
$$y_{1,NF}(t) = U_{DSB,Rx}m(t)\cos(\varphi_0)$$

Izlazni signal će biti pomnožen kosinusom odnosno sinusom fazne greške.

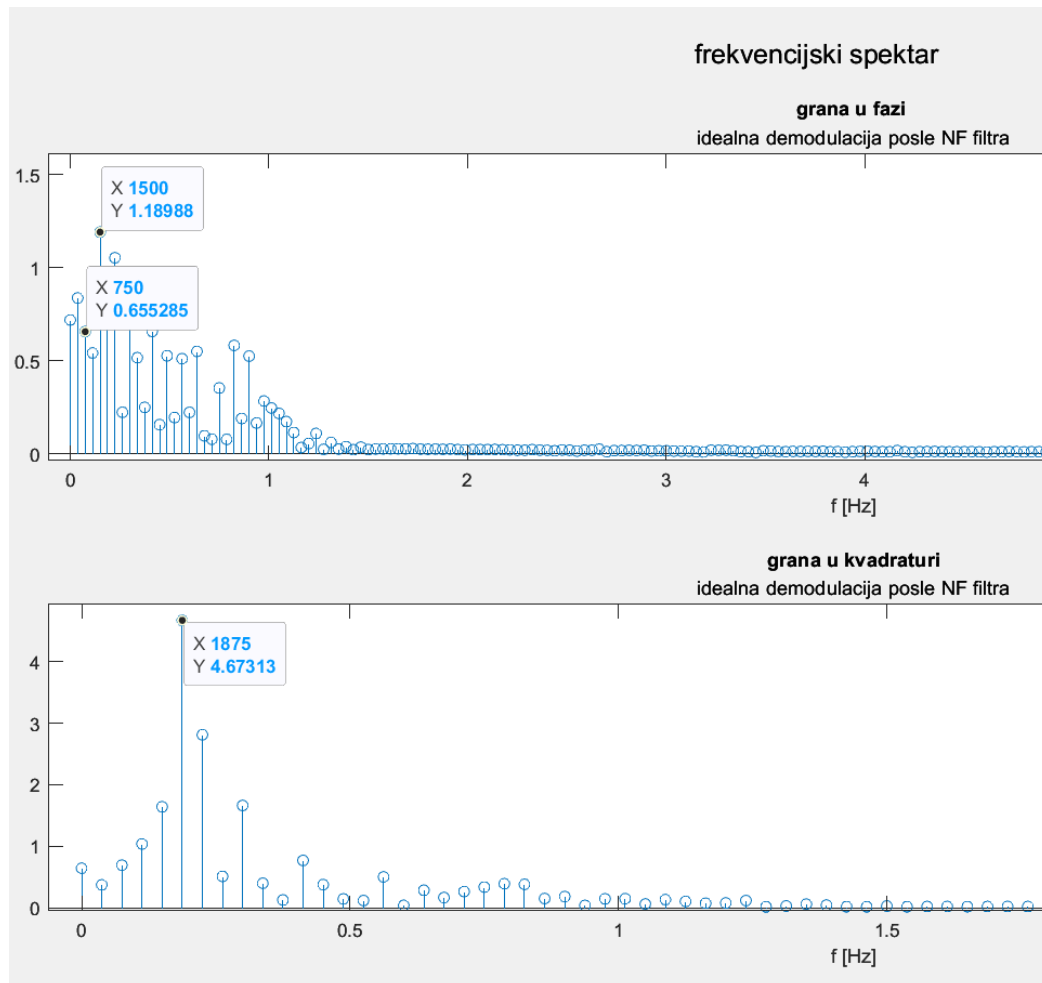
Posmatrajmo sada uticaj šuma na rezultate. Kako bismo najlakše uočili uticaj samog šuma posmatraćemo rezultate dobijene za idealnu sinhronizaciju faze i frekvencije lokalno generisanog nosioca na prijemu, za različite vrednosti SNR (5dB, 15dB, 25dB).







Slika 1 Demodulisani signali sa SNR 25dB uvećano

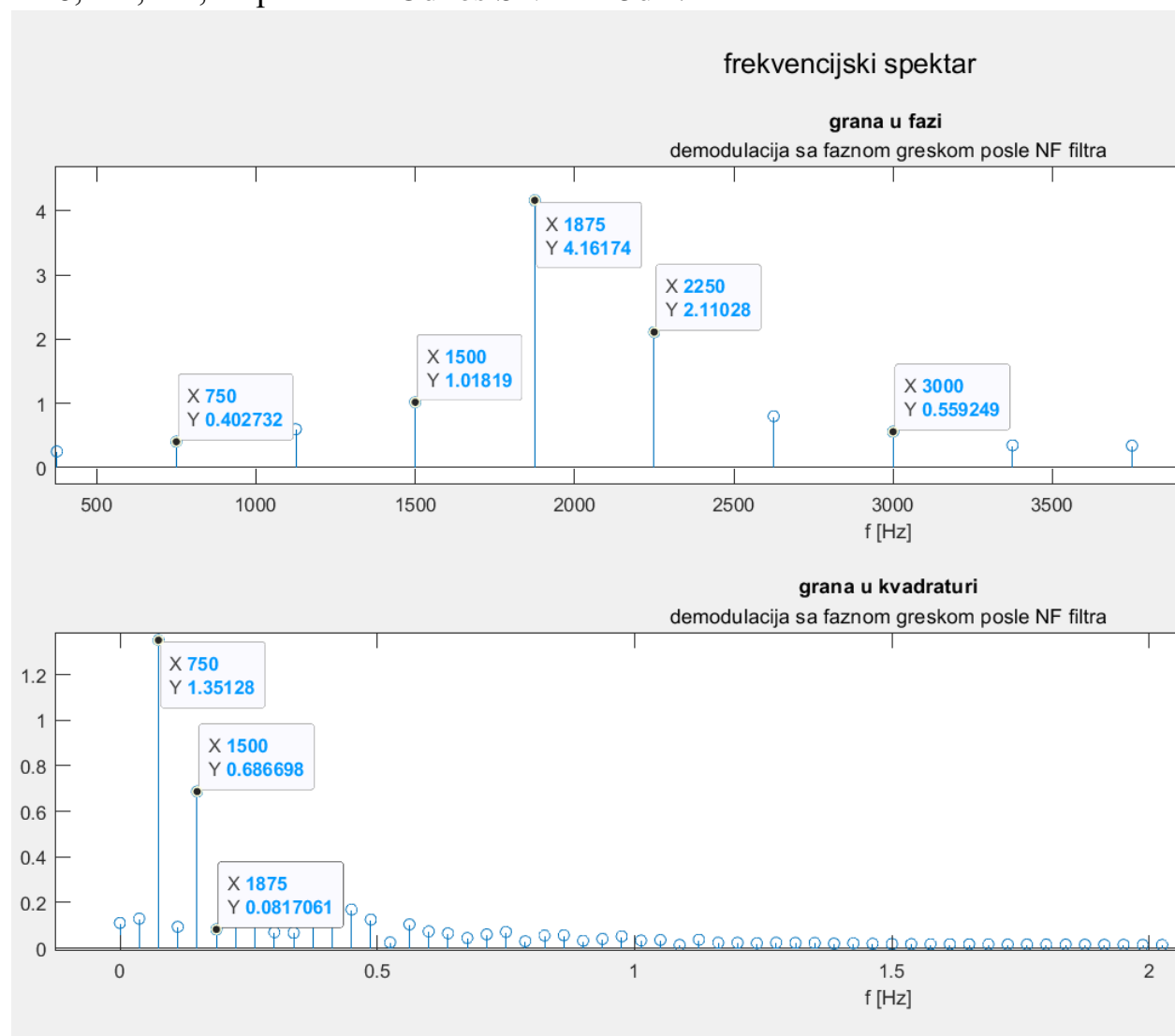


Slika 2 Demodulisani signali sa SNR 5dB uvećano

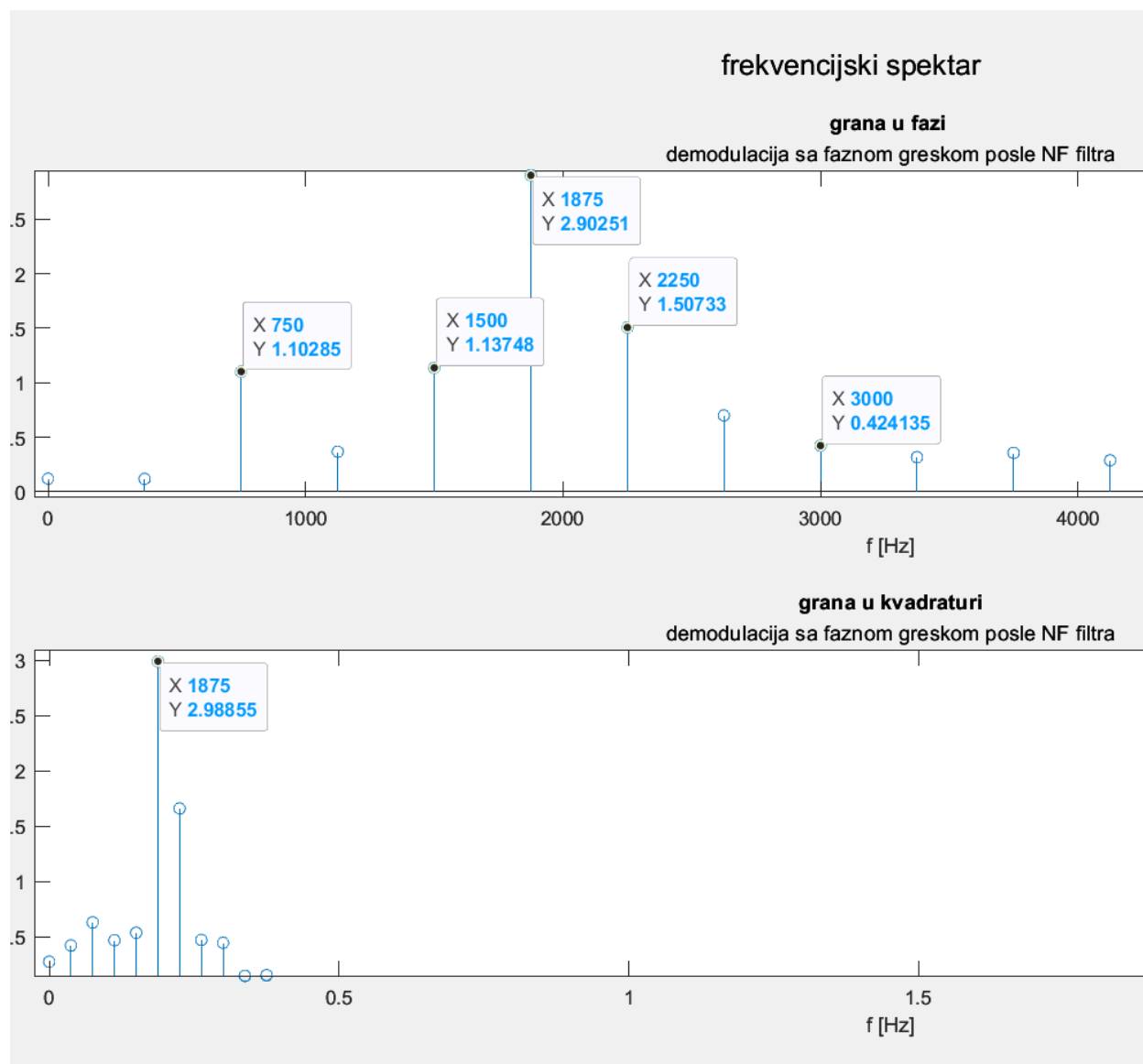
Kao što se može videti za najveću vrednost SNR imamo najmanje odstupanje od originalnih amplituda, i dodatne komponente koje se javljaju usled šuma su veoma malih amplituda, dok za najmanju vrednost SNR imamo drugačiju sliku. Iako su odnosi amplituda približno isti, vrednosti amplituda se razlikuju od originalnih, i ima komponenti kojih nema u originalnom spektru, pri čemu su njihove amplitude približne vrednostima amplituda originalnog spektra.

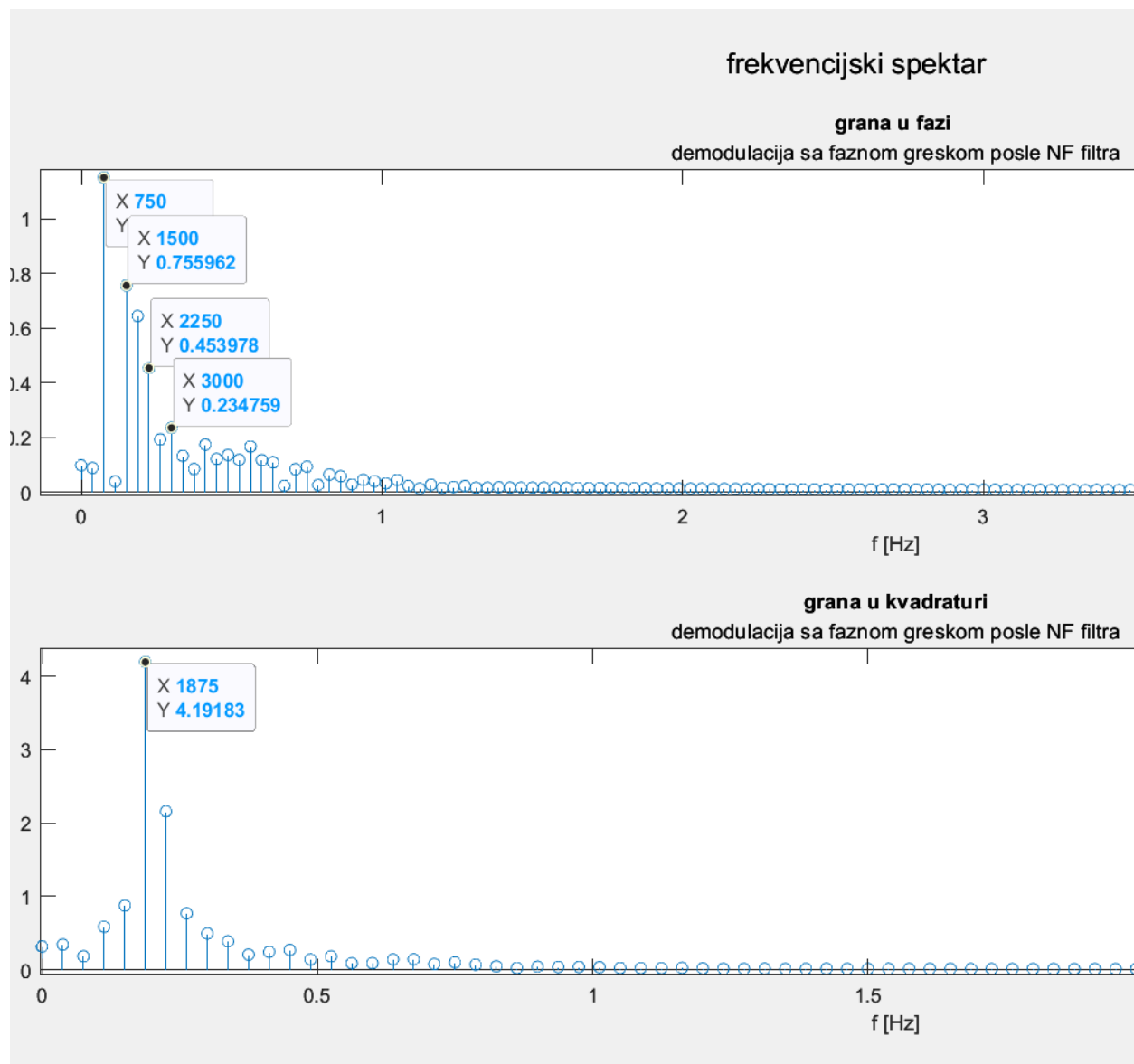
Teorijski želimo da dobijemo identične komponente kao na predaji, međutim, nije moguće odstraniti uticaj ABGŠ u potpunosti, samo je moguće menjati odnos SNR tako da dobijemo rezultat najbliži teorijskom, što se vidi iz priloženog.

Sada ćemo posmatrati uticaj fazne greške na rezultate demodulacije, za greške  $\pi/18$ ,  $\pi/4$ ,  $\pi/2$ , respektivno. Odnos SNR = 25dB.









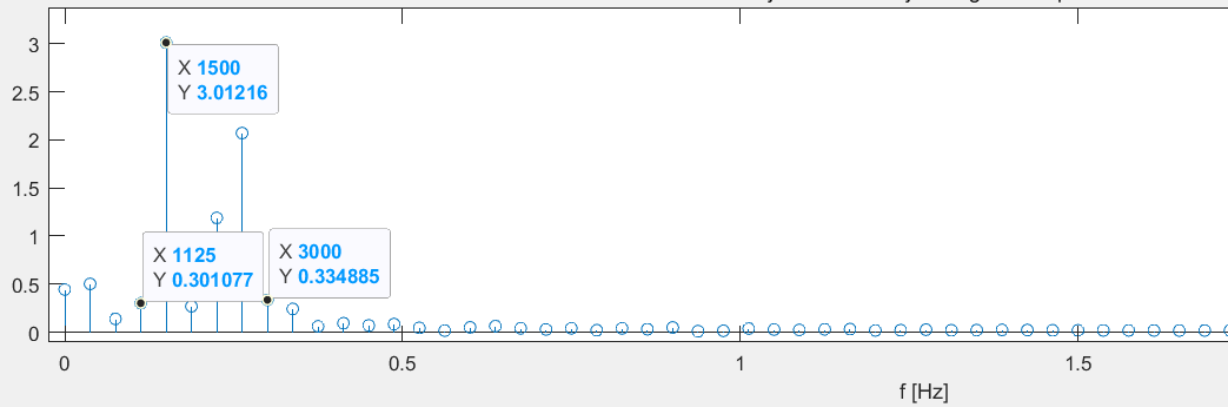
Rezultat koji je očekivan je isti signal kao prilikom idealne sinhronizacije faze pomnožen sa kosinusom, odnosno sinusom fazne greške. Međutim, sa slika se vidi da nismo dobili takve komponente, i pritom imamo komponente na učestanostima na kojima ih nije bilo teorijski sa znatno većim amplitudama nego što imaju originalne komponente.

I za kraj, posmatrajmo uticaj frekvencijske greške na rezultate, za greške  $-0.5\text{kHz}$  i  $+0.5\text{kHz}$ . Odnos SNR je i dalje 25dB.

## frekvencijski spektar

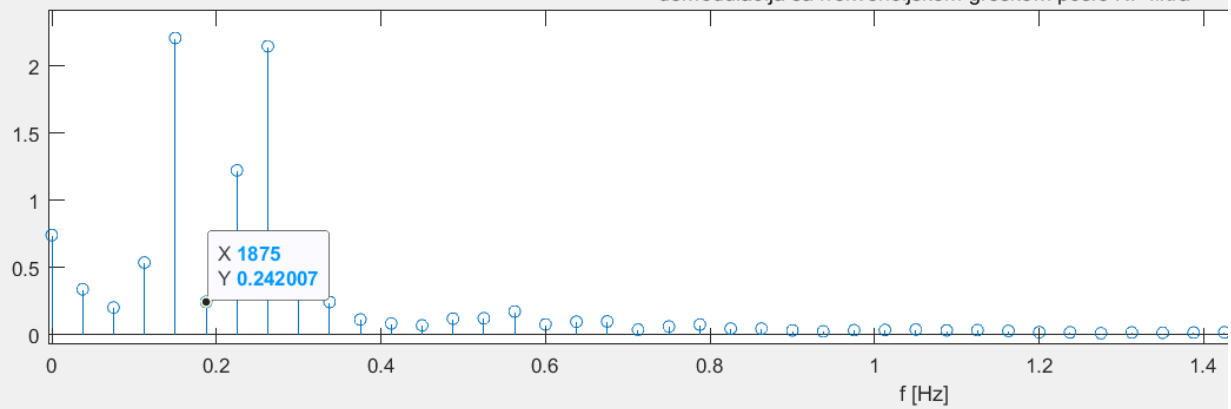
### grana u fazi

demodulacija sa frekvencijskom greskom posle NF filtra



### grana u kvadraturi

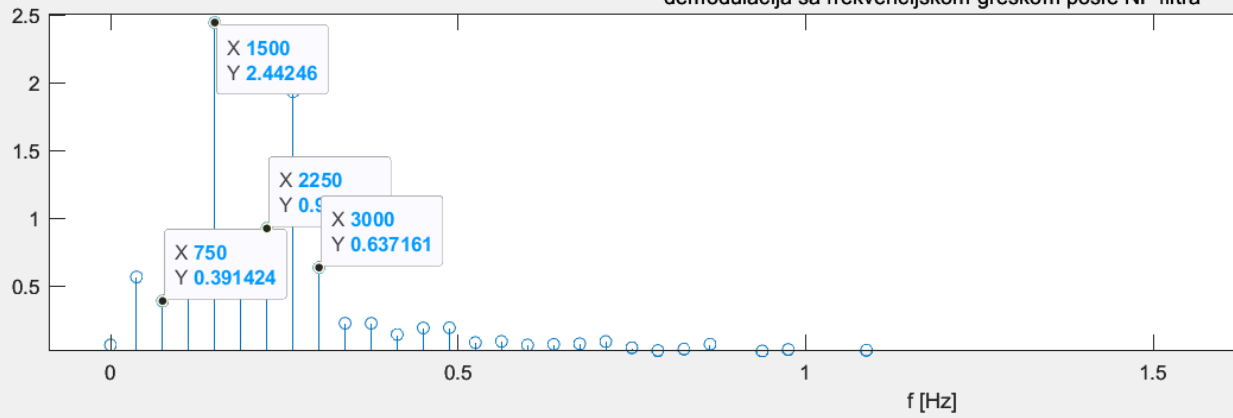
demodulacija sa frekvencijskom greskom posle NF filtra



## frekvencijski spektar

### grana u fazi

demodulacija sa frekvencijskom greskom posle NF filtra



### grana u kvadraturi

demodulacija sa frekvencijskom greskom posle NF filtra

