



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ

Информатика и системы управления

КАФЕДРА

Проектирования и технологии производства ЭА

ОТЧЕТ

По семинару №2

по курсу Киберфизические системы

Студент

Фан К.

(Подпись, дата)

(И.О.Фамилия)

Руководитель задания

Леонидов В. В.

(Подпись, дата)

(И.О.Фамилия)

Москва, 2023

Задание 1: Реализация ДПФ в среде MATLAB

```
clear, clc, close all;

fs = 10000;
ts = 0 : 1/fs : 0.01-1/fs;
N = length(ts);

x = 2*sin(2*pi*500*ts) + sin(2*pi*4000*ts+3*pi/4) + sin(2*pi*2000*ts);

plot(x, '-bo'), grid on, title('Source signal')

% X = fft(x);
X = zeros(N,1);
for m = 1:N
    for n = 1:N
        X(m) = X(m) + x(n) * (cos(2*pi*(n-1)*(m-1)/N) - 1i*sin(2*pi*(n-1)*(m-1)/N));
    end
end

figure;
subplot(3, 2, 1)
stem(real(X)), grid on, title('Real part X')

subplot(3, 2, 2)
stem(imag(X)), grid on, title('Imag part X')

subplot(3, 2, 3)
stem(abs(X)), grid on, title('Amplitude')

Xm = 2*abs(X)/N;
subplot(3, 2, 4)
stem(Xm), grid on, title('Normalized amplitude')

f = (0:N-1)*fs/N;
subplot(3, 2, 5)
stem(f,Xm), grid on, title('Normalized ampl and freq')

phi = angle(X)*180/pi;
subplot(3,2,6);
stem(f, phi), grid on, title('Phase response')
```

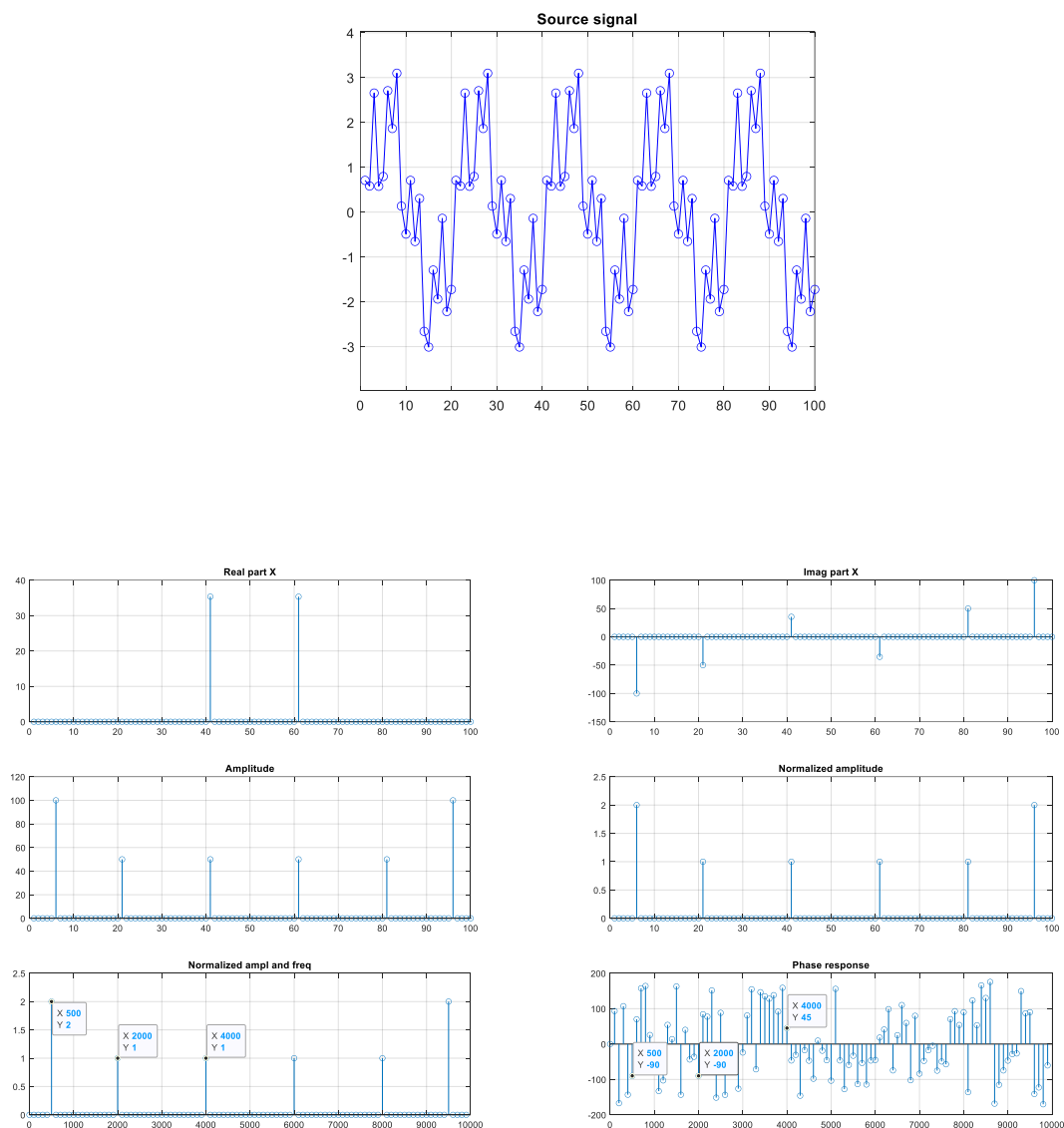


Рисунок 1: Реализация ДПФ

Вывод:

В ходе проведения исследования на исходный сигнал, который состоит из 3-х составляющих синусоидальных колебаний было применено ДПФ. При реализации ДПФ полученные результаты совпадают с частотой, амплитудой и фазой составляющих колебаний (показаны на рисунке 1).

Задание 2: Реализация спектра функции Дирака в среде MATLAB

```
clear, clc, close all;

fs = 8000;
ts = 0 : 1/fs : 0.001-1/fs;
N = length(ts);

x = zeros(N,1);
x(1) = 1;

X = fft(x);

subplot(3, 2, 1)
stem(x), grid on, title('Dirac function')

subplot(3, 2, 2)
stem(real(X)), grid on, title('Real part X')

subplot(3, 2, 3)
stem(imag(X)), grid on, title('Imag part X')

subplot(3, 2, 4)
stem(abs(X)), grid on, title('Amplitude')

Xm = 2*abs(X)/N;

f = (0:N-1)*fs/N;
subplot(3, 2, 5)
stem(f,Xm), grid on, title('Normalized ampl and freq')

phi = angle(X)*180/pi;
subplot(3,2,6);
stem(f, phi), grid on, title('Phase response')
```

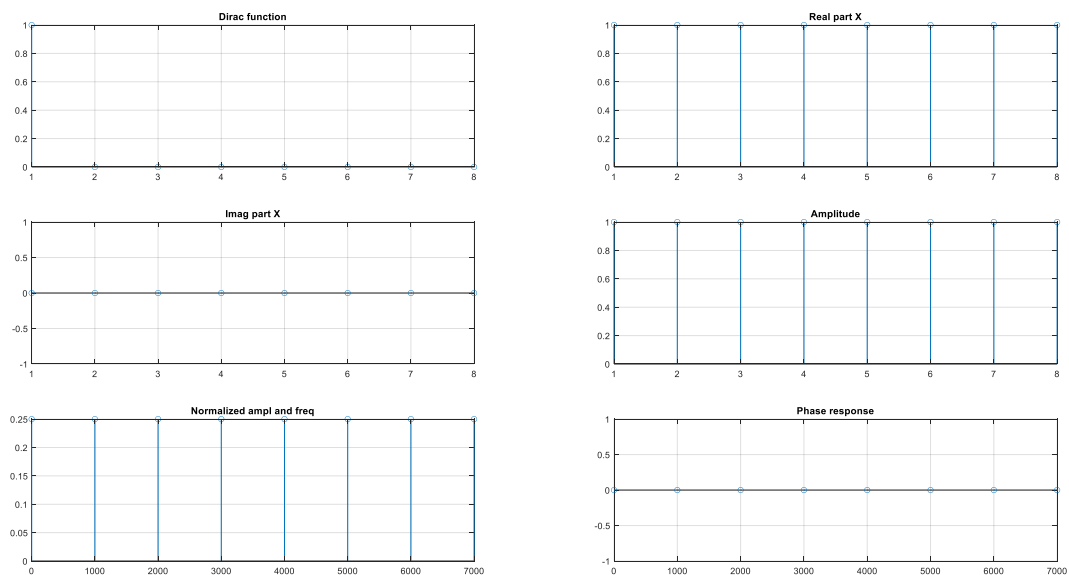


Рисунок 2: Спектр функции Дирака

- Теоретический расчет:

Функция Дирака: $\delta(n) = \begin{cases} 1, & \text{если } n = 0 \\ 0, & \text{если } n \neq 0 \end{cases}$

ДПФ: $X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} \delta(n) e^{-j2\pi nm/N} = \delta(n) e^{-j2\pi nm/N} \big|_{n=0} = 1 \cdot e^0 = 1$

Амплитуда ДПФ: $X_{\text{mag}}[m]=1$

Нормированная амплитуда ДПФ: $A[m] = 2 X_{\text{mag}}[m]/N=2.1/8=0.25$

Вывод:

В ходе проведения исследования на спектр функции Дирака было применено ДПФ. При реализации ДПФ полученные результаты совпадают с теоретическим расчетом.

Задание 3: Реализация наложения окна в среде MATLAB

```
clear, clc, close all;

fs = 32000;
ts = 0:1/fs:0.005-1/fs;
N= length(ts);

subplot(2,2,1);

x1 = sin(2*pi*8000*ts)+0.075*sin(2*pi*9900*ts);
X1 = abs(fft(x1));
stem(X1), grid on, title ('DFT Signal 1');

subplot(2,2,3);

x2 = sin(2*pi*8500*ts)+0.075*sin(2*pi*9900*ts);
X2 = abs(fft(x2));
stem(X2), grid on, title ('DFT Signal 2');

subplot(2,2,2);
h = hanning(N)';
x1w = x1.*h;
X1w = abs(fft(x1w));
stem(X1w), grid on, title ('DFT Signal 1 with Hanning window');

subplot(2,2,4);
x2w = x2.*h;
X2w = abs(fft(x2w));
stem(X2w), grid on, title ('DFT Signal 2 with Hanning window');
```

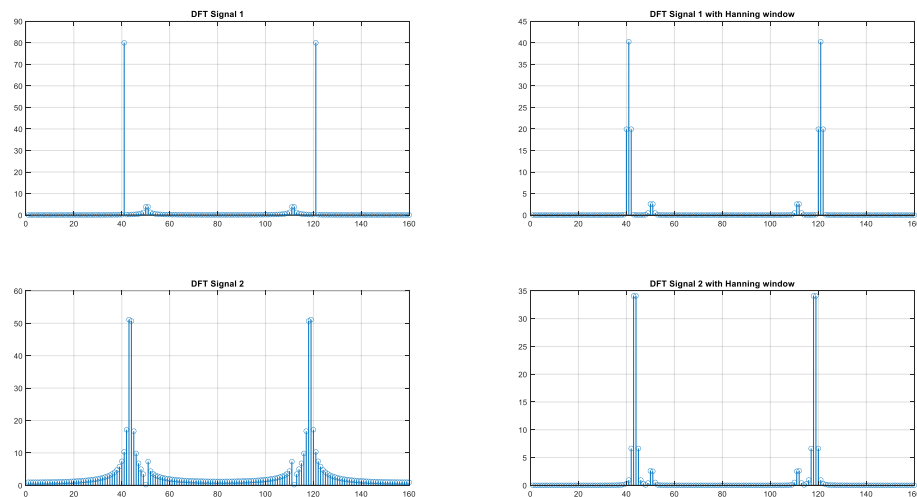


Рисунок 3: Наложение окна Хэннинга

Вывод:

Окна помогают выявлять помехи возле основного сигнала при использовании ДПФ. После наложения окна Хэннинга уменьшается эффект утечки.

Задание 4: Добавление периодов в среде MATLAB

```
clear, close all;

fs = 200;
ts = 0: 1/fs: 1-1/fs;

x1 = sin(2*pi*4*ts);
x2 = [x1 x1];
x3 = [x1 x1 x1];

N = length(x3);

X1 = fft(x1, N);
X2 = fft(x2, N);
X3 = fft(x3, N);

subplot(3,2,1)
plot(x1), xlim([0 N]), grid on, title('4 periods');
subplot(3,2,2)
stem(abs(X1)), xlim([0 (N/2)]), grid on, title('DFT 4 periods');

subplot(3,2,3)
plot(x2), xlim([0 N]), grid on, title('8 periods');
subplot(3,2,4)
stem(abs(X2)), xlim([0 (N/2)]), grid on, title('DFT 8 periods');

subplot(3,2,5)
plot(x3), xlim([0 N]), grid on, title('12 periods');
subplot(3,2,6)
stem(abs(X3)), xlim([0 (N/2)]), grid on, title('DFT 12 periods');
```

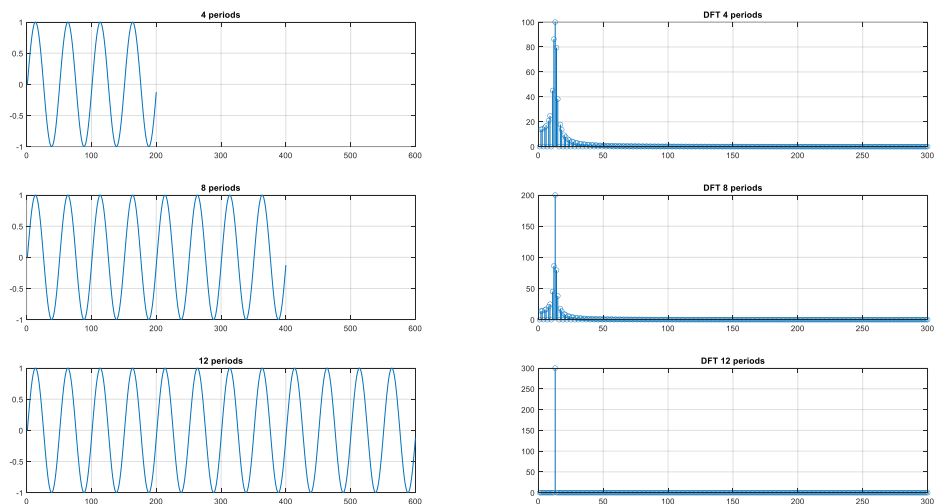


Рисунок 4: Добавление периодов

Вывод:

Добавление периодов в ДПФ позволяет увеличить разрешение спектра частот сигнала. Это позволяет получить более точный результат ДПФ.

Задание 5: Дополнение нулями в среде MATLAB

```
clear, clc, close all;

fs = 50;
ts = 0: 1/fs: 0.4-1/fs;

x = sin(2*pi*5*ts)+ sin(2*pi*15*ts);

N1= length(ts);
N2=128;
N3=256;

X1 = abs(fft(x,N1));
X2 = abs(fft(x,N2));
X3 = abs(fft(x,N3));

F1 = (0 : N1-1)*fs/N1;
F2 = (0 : N2-1)*fs/N2;
F3 = (0 : N3-1)*fs/N3;

subplot(3,1,1)
stem(F1,X1),title('N = 20')
grid on

subplot(3,1,2)
stem(F2,X2),title('N = 128')
grid on

subplot(3,1,3)
stem(F3,X3),title('N = 256')
grid on
```

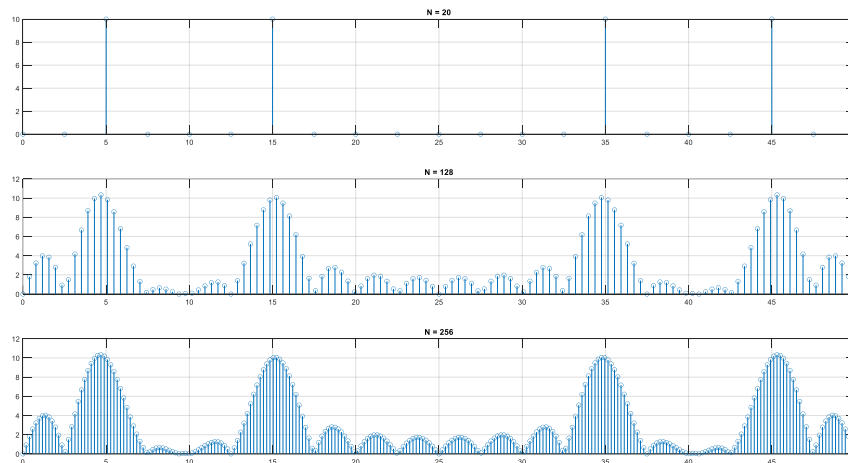


Рисунок 5: Дополнение нулями

Вывод:

Добавление нулями в конец сигнала перед применением ДПФ позволяет увеличить разрешение частотного спектра, что в свою очередь даст более точные результаты при применении ДПФ.

Задание 6: ДПФ с усреднением результатов в среде MATLAB

```
clear, clc, close all;

fs = 130;
Ns = 30;
ts = 0 : 1/fs : Ns*10-1/fs;
N = length(ts);

f1 = 19;
f2 = 50;

x = 0.4*sin(2*pi*f2*ts) + 0.5*sin(2*pi*(f1-0.1)*ts) + ...
    0.6*sin(2*pi*f1*ts) + 0.5*sin(2*pi*(f1+0.1)*ts) + ...
    0.4*sin(2*pi*f1*2*ts) + 0.5*sin(2*pi*f1*3*ts) + ...
    4*randn(size(ts)) + pinknoise(N);

N1 = round(length(ts)/Ns);
x1 = x(1:N1);

F = (0 : N1-1)*fs/N1;
X = abs(fft(x1))*2/N1;

figure;
subplot(2,2,1);
plot(x1); grid on;
title('Input signal');

subplot(2,2,2);
plot(F,X); grid on;
title('DFT Input signal');

h = hanning(N1)';
xw = x1.*h;

subplot(2,2,3);
plot(xw); grid on;
title('Input signal with hanning window');

Xw = abs(fft(xw))*2/N1;

subplot(2,2,4);
plot(F,Xw); grid on;
title('DFT signal with hanning window');

Nseg = 1000;
Xsum = zeros(1,Nseg);
for i = 1 : N/Nseg
    xtmp = x( (i-1)*Nseg+1 : (i-1)*Nseg+Nseg ).* hanning(Nseg)';
    Xsum = Xsum + abs(fft(xtmp))*2/Nseg;
end
Xsum = Xsum/(N/Nseg);
fsum = (0 : Nseg-1)*fs/Nseg;
figure;
plot(fsum(1:Nseg/2),Xsum(1:Nseg/2)); grid on;
title('Averaged DFT');
```

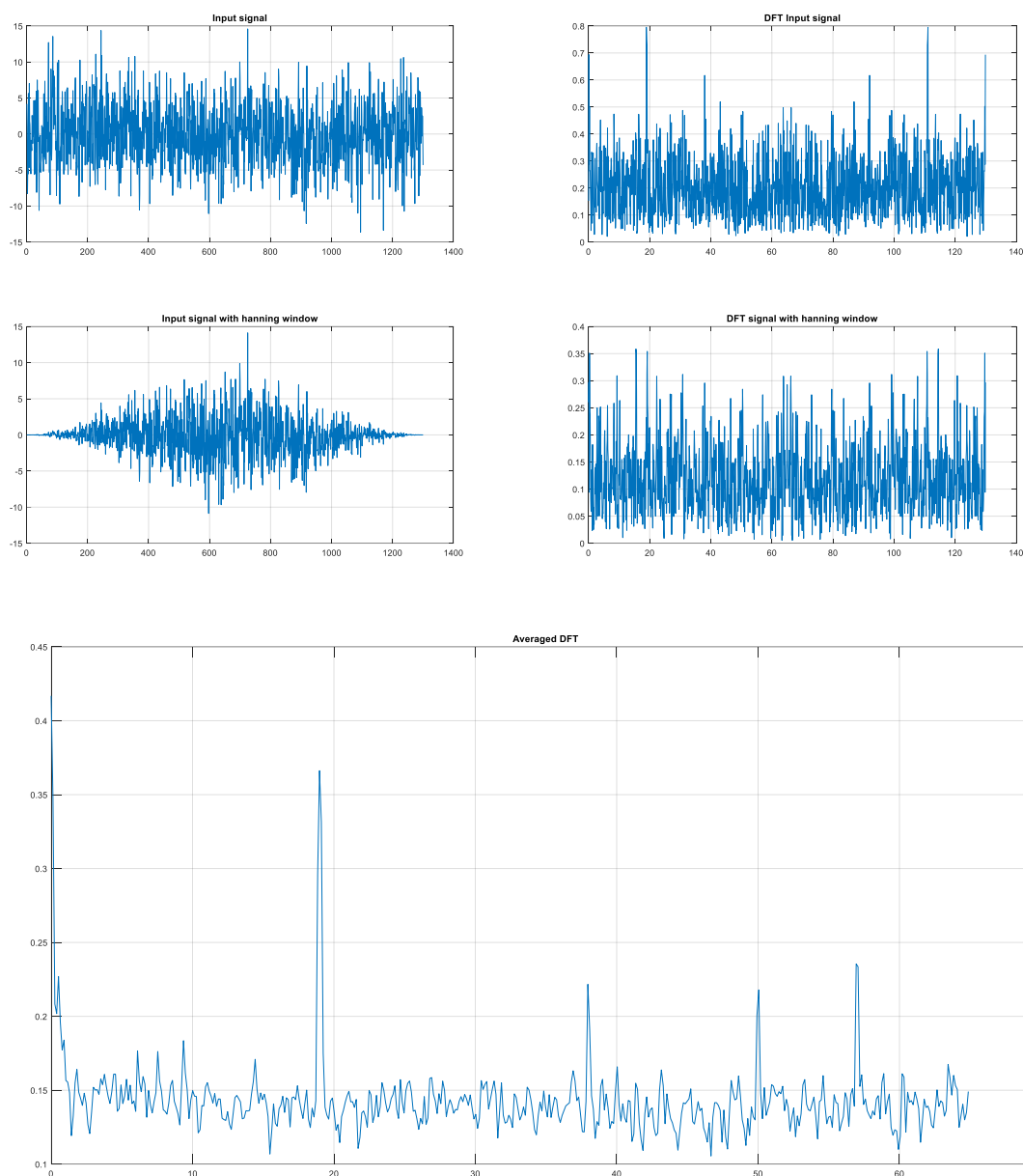


Рисунок 6: ДПФ с усреднением результата

Вывод:

При использовании ДПФ с усреднением результатов можно улучшить результаты ДПФ с минимальным уровнем шума при наличии входного сигнала с множеством частотных компонент и различными видами шумов.

Задание 7: Частотно-временное ДПФ в среде MATLAB

```
clear, clc, close all;

fs = 200;

f1=30;
f2=40;
f3=50;

t1 = 0 : 1/fs : 1-1/fs;
t2 = 1 : 1/fs : 2-1/fs;
t3 = 2 : 1/fs : 3-1/fs;

x1 = sin(2*pi*f1*t1);
x2 = sin(2*pi*f2*t2);
x3 = sin(2*pi*f3*t3);

ts = [t1 t2 t3];
x = [x1 x2 x3];
N = length(ts);

X = 2*abs(fft(x))/N;
f = (0:N-1)*fs/N;

subplot(2,1,1);
plot(x), grid on, title("Input signal");
subplot(2,1,2);
plot(f,X), grid on, title("DFT signal");

figure;
subplot(1,2,1);
[WX,freq] = wft(x,fs,'f0',0.05);
srf = surf(ts, freq, abs(WX));
set(srf, 'LineStyle', 'none');
title("Window Scale 0.05")
xlabel('Time'); ylabel('Frequency'); zlabel('Amplitude');
subplot(1,2,2);
[WX,freq] = wft(x,fs,'f0',0.25);
srf = surf(ts, freq, abs(WX));
set(srf, 'LineStyle', 'none');
title("Window Scale 0.25");
xlabel('Time'); ylabel('Frequency'); zlabel('Amplitude');
```

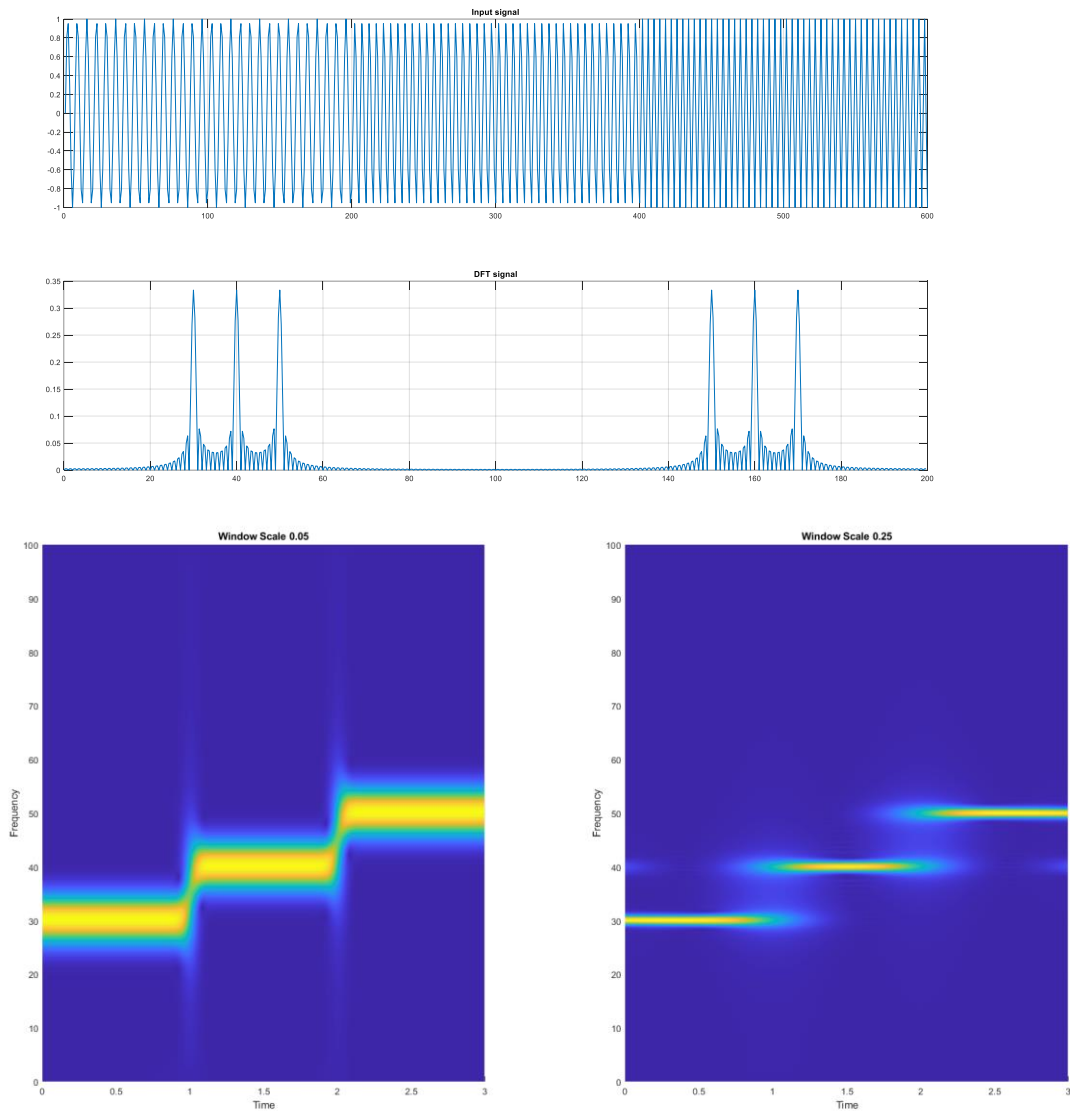


Рисунок 7: Частотно-временное ДПФ

Вывод:

В силу принципа частотно-временной неопределённости Гейзенберга, хорошая разрешающая способность по времени подразумевает небольшое окно времени, которому соответствует плохая частотная разрешающая способность, и наоборот.