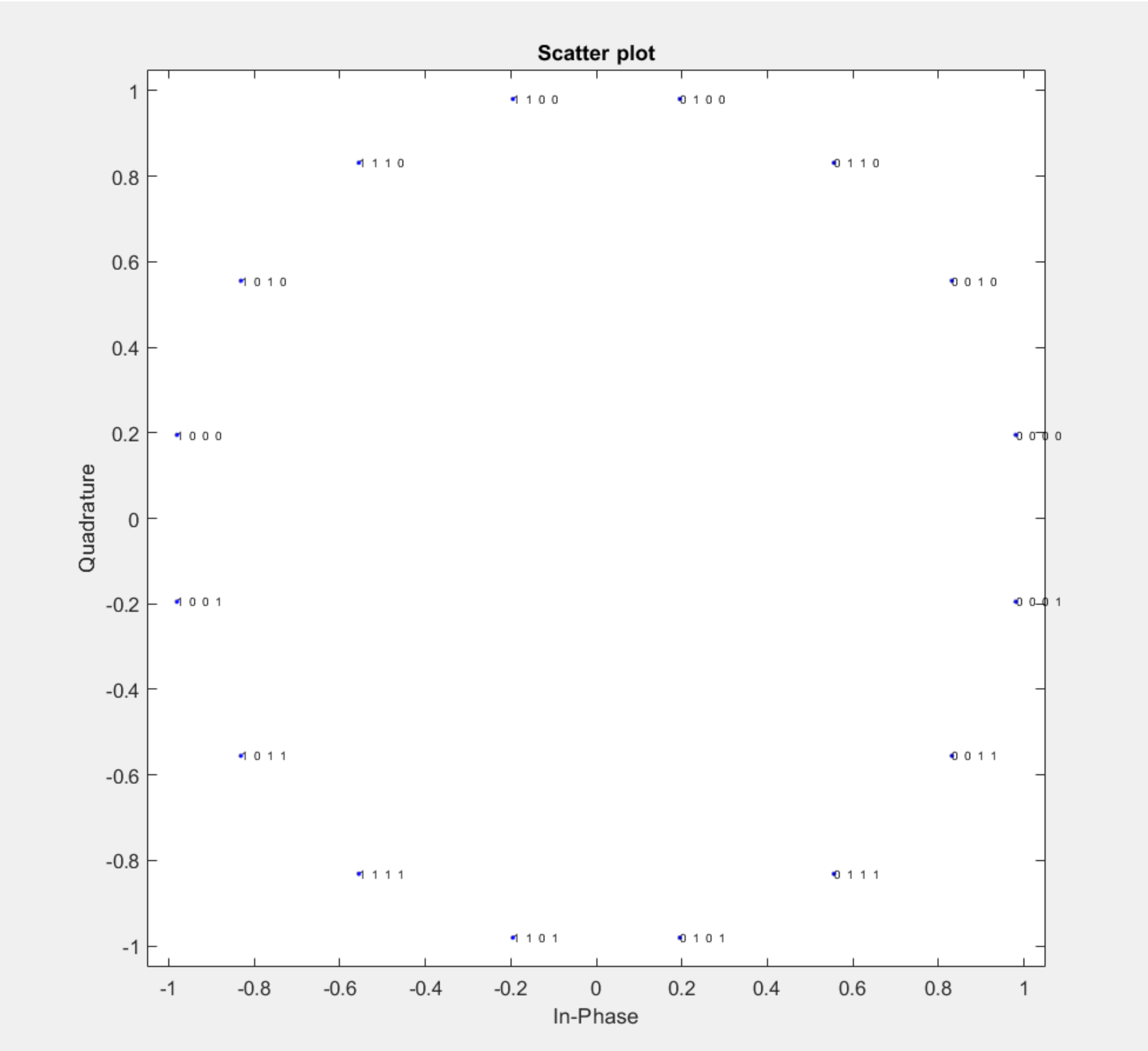
<u>Ψηφιακές Επικοινωνίες Ι – Αναφορά 5^{ης} Εργ. Άσκησης</u>

Ζευγολατάκος Παναγιώτης

AM: 03117804

Μέρος 1ο:



Παρατίθεται ο κώδικας Matlab που χρησιμοποιήθηκε:

```
clear all;
close all;
clc;

% k is the number of bits per symbol
% mapping is the vector of psk points, in the gray-coding order
% i.e. mapping(1)<->00...00, mapping(2)<->00...01,
% mapping(3)<->00...10, ..
% For 16-PSK, set k=4;
```

```
k=4;
ph1=pi/4;
theta=[ph1; -ph1; pi-ph1; -pi+ph1];
mapping=exp(1j*theta); % τετριμμένη κωδικοποίηση, M=4
if(k>2)
 for j=3:k
  theta=theta/2; % υποδιπλασιασμός των γωνιών
  temp_theta=pi-theta;
   for i=1:2^(j-1)
      if (temp_theta(i)>pi) % αν η γωνία είναι μεγαλύτερη από π
          temp_theta(i)=temp_theta(i)-2*pi;
          % -2π, ώστε η abs να είναι < π
      end
   end
  theta=[theta; temp_theta]; % συμμετρικές γωνίες
  mapping=exp(1j*theta);
 end
end

scatterplot(mapping);
hold on;

for i=1:2^k
    text(cos(theta(i)),sin(theta(i)),num2str(de2bi(i-1,k,'left-
msb')),'FontSize', 6);
end
```

<u>Μέρος 2ο:</u>

Έχουμε πως:

R = 12Mbps

W = 9 – 6 = 3MHz → f_c = 7.5MHz

$k = \log_2 M \geq \frac{R}{W}(1+\alpha) = 4(1+\alpha)$

Εφόσον $0 < \alpha \leq 1$ ισχύει πως:

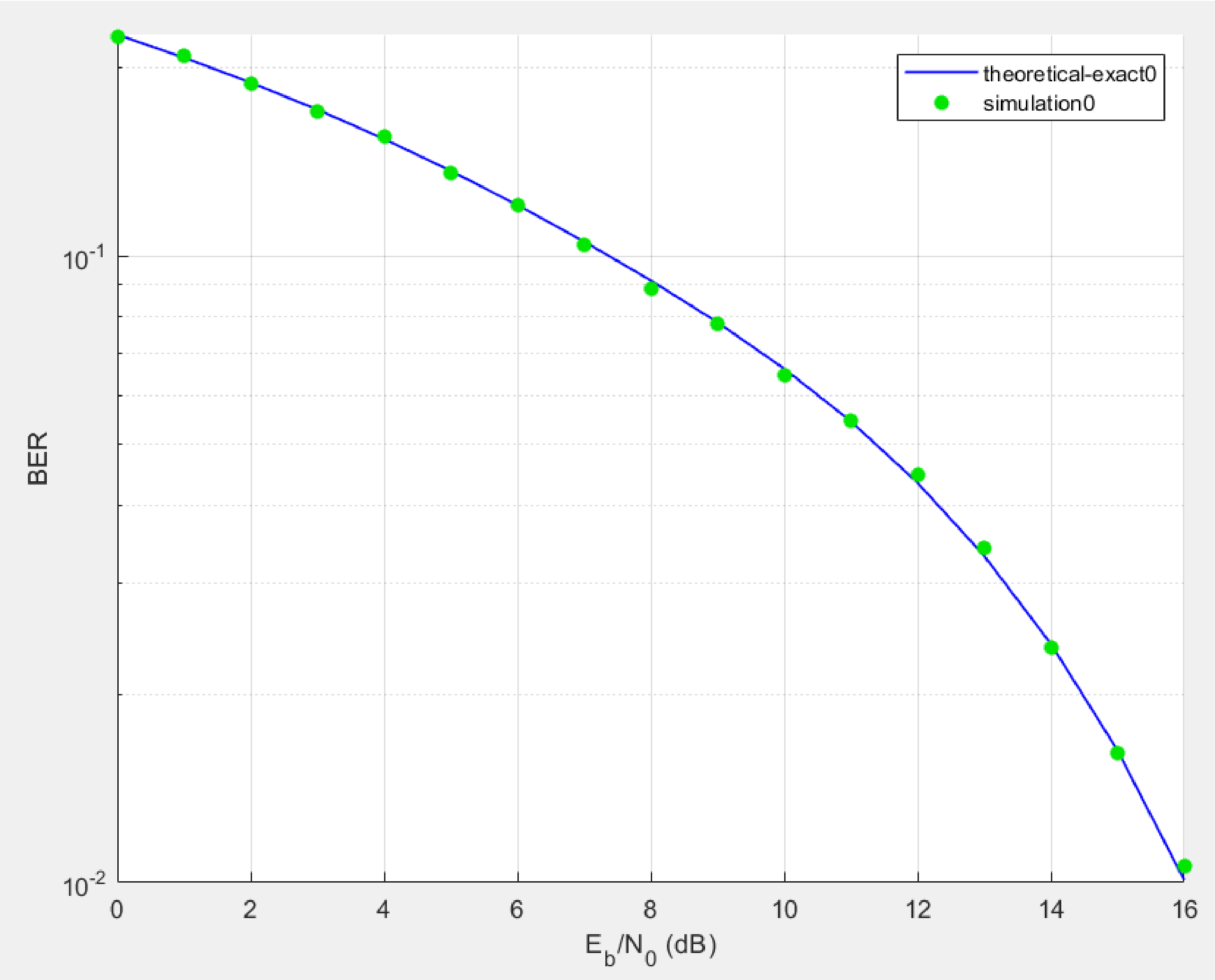
$k_{min} = 5$, $M_{min} = 32$, $\frac{1}{T} = \frac{R}{k} = 2.4 \cdot 10^6$

Από τον τύπο: $W = \frac{1}{T}(1+\alpha)$ παίρνουμε πως $\alpha = 0.25$

Για τη συχνότητα δειγματοληψίας έχουμε πως $F_s = \frac{nsamp}{T}$

Επίσης ισχύει πως: $F_s \geq 2R = 19.2$Mbps → nsamp ≥ 8

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω, παίρνουμε την παρακάτω γραφική παράσταση (θεωρητική και πειραματική σχεδίαση της καμπύλης P_b ←→Eb/No):



Παρατίθεται ο κώδικας Matlab που χρησιμοποιήθηκε:

```
function [ber,numBits] = lab5_ber_func(EbNo, maxNumErrs,
maxNumBits)
% Import Java class for BERTool.
import com.mathworks.toolbox.comm.BERTool;
%  Initialize variables related to exit criteria.
totErr  = 0; % Number of errors observed
numBits = 0; % Number of bits processed

% ?. --- Set up parameters. ---
% --- INSERT YOUR CODE HERE.
k=4;          % number of bits per symbol
Nsymb=10000; % number of symbols in each run
nsamp=8;    % oversampling,i.e. number of samples per T

ph1=pi/4;
theta=[ph1; -ph1; pi-ph1; -pi+ph1];
mapping=exp(1j*theta); % τετριμμένη κωδικοποίηση, M=4
if(k>2)
 for j=3:k
  theta=theta/2; % υποδιπλασιασμός των γωνιών
  temp_theta=pi-theta;
   for i=1:2^(j-1)
      if (temp_theta(i)>pi) % αν η γωνία είναι μεγαλύτερη από π
```

```
            temp_theta(i)=temp_theta(i)-2*pi;
            % -2π, ώστε η abs να είναι < π
        end
     end
   theta=[theta; temp_theta]; % συμμετρικές γωνίες
   mapping=exp(1j*theta);
  end
end
%  Simulate until number of errors exceeds maxNumErrs
% or number of bits processed exceeds maxNumBits.

while((totErr < maxNumErrs) && (numBits < maxNumBits))
    % Check if the user clicked the Stop button of BERTool.
    if (BERTool.getSimulationStop)
        break;
    end
    % ?. --- INSERT YOUR CODE HERE.
    errors=lab5_2_17804(k,mapping,Nsymb,nsamp,EbNo);
    % Assume Gray coding: 1 symbol error ==> 1 bit error
    totErr=totErr+errors;
    numBits=numBits + k*Nsymb;
end    % End of loop
% Compute the BER
ber = totErr/numBits;
```

```
function errors=lab5_2_17804(k,mapping,Nsymb,nsamp,EbNo)

%EbNo=15;

fc=7.5*10^6;
W=3*10^6;
rolloff=0.25;
T=(1+rolloff)/W;
Fs=nsamp/T;
group_delay=8;
filtorder=2*group_delay*nsamp;
L=2^k;
SNR=EbNo-10*log10(nsamp/k/2);

x=floor(2*rand(k*Nsymb,1)); % τυχαία δυαδική ακολουθία

xsym=bi2de(reshape(x,k,length(x)/k).','left-msb');
y1=[];
for i=1:length(xsym)
    y1=[y1; mapping(xsym(i)+1)];
end

% Πομπός
rNyquist= rcosine(1,nsamp,'fir/sqrt',rolloff,group_delay);
y=upsample(y1,nsamp); % υπερδειγμάτιση
ytx = conv(y,rNyquist); % εφαρμογή φίλτρου Nyquist
m=(1:length(ytx))';
s=real(ytx.*exp(1j*2*pi*fc*m/Fs));
```

```
%pwelch(s,[],[],[],Fs);

snoisy=awgn(s,SNR,'measured'); % εφαρμογή θορύβου

% Δέκτης
yrx=2*snoisy.*exp(-1j*2*pi*fc*m/Fs);
yrx=conv(yrx,rNyquist); % εφαρμογή φίλτρου Nyquist
yrx = downsample(yrx,nsamp); % υποδειγμάτιση
yrx = yrx(filtorder/nsamp+1:end-filtorder/nsamp);


xr=[];
for i=1:length(yrx)
    [m,j]=min(abs(mapping-yrx(i)));
    xr=[xr; de2bi(j-1,k,'left-msb')'];
end
errors=sum(not(x==xr));
end
```

<u>Μέρος 3ο:</u>

(Ο κώδικας που χρησιμοποιείται εδώ είναι ο παραπάνω κώδικας, μόνο για τη συγκεκριμένη περίπτωση EbNo=15, με τη μόνη αλλαγή → k=4)

Χρησιμοποιούμε PSK μικρότερης τάξης, άρα k=4 και παίρνουμε τα αποτελέσματα:

errors 18

Με:

x 40000x1 double

Από τα 40000 σύμβολα που στέλνουμε, τα 18 παρουσιάζουν σφάλμα, επομένως η πιθανότητα εσφαλμένου ψηφίου είναι ίση με $\frac{18}{40000} = 0.00045 < 0.001$ (ζητούμενο).

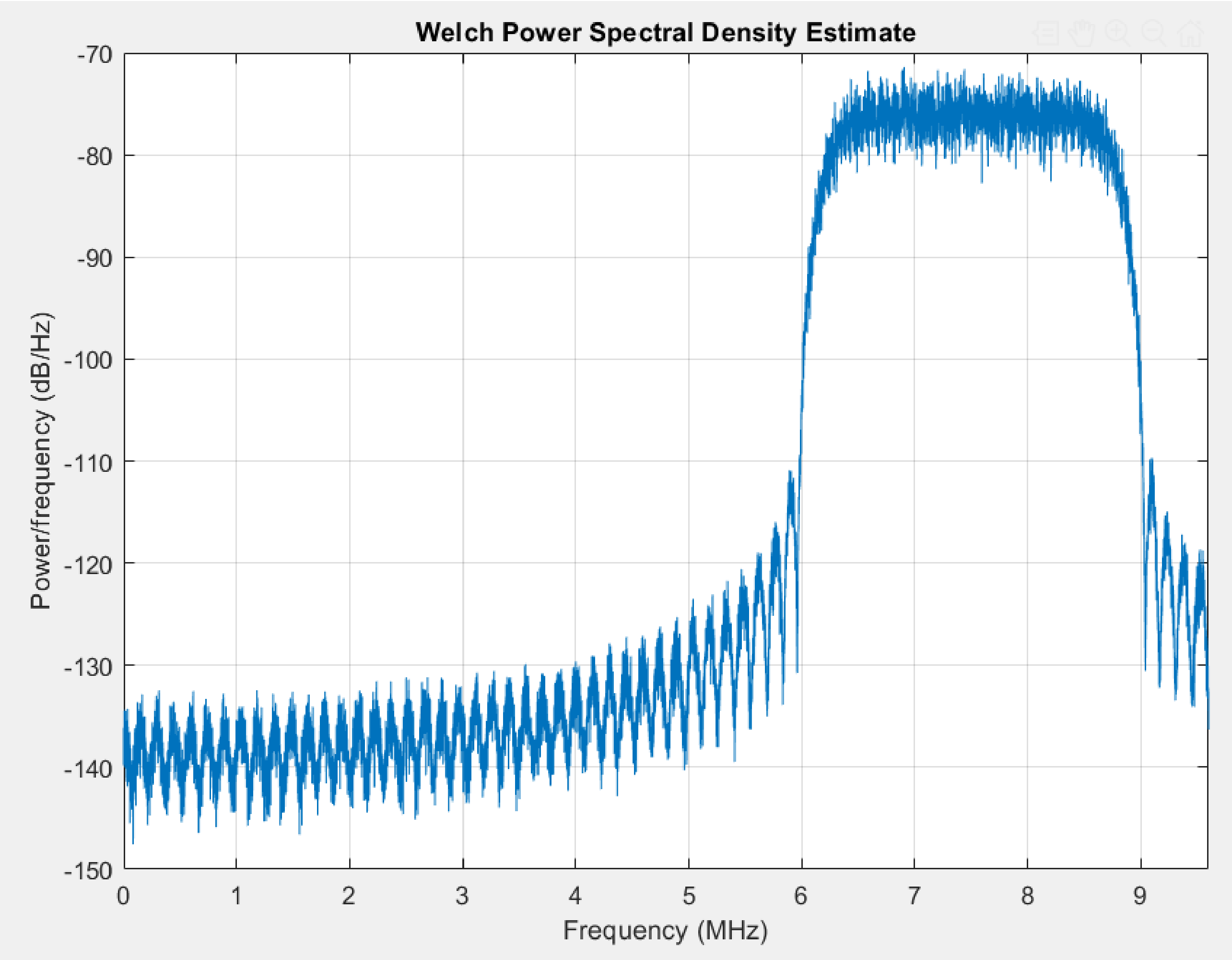
Ισχύει πως: $R \leq \frac{W \log_2 M}{1+\alpha} = 9.6$MHz

Άρα ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης είναι R=9.6MHz.

Χρησιμοποιούμε την εντολή:

```
pwelch(s,[],[],[],Fs);
```

Προκειμένου να δούμε την ισχύ του σήματος s, πριν προστεθεί ο AWGN. Παρατηρούμε πως δεν υπάρχουν διαφοροποιήσεις σε σχέση με το προηγούμενο ερώτημα που είχαμε M = 32· το εύρος ζώνης παραμένει 6-9MHz με κεντρική συχνότητα f_c = 7.5MHz:



Μέρος 4ο:

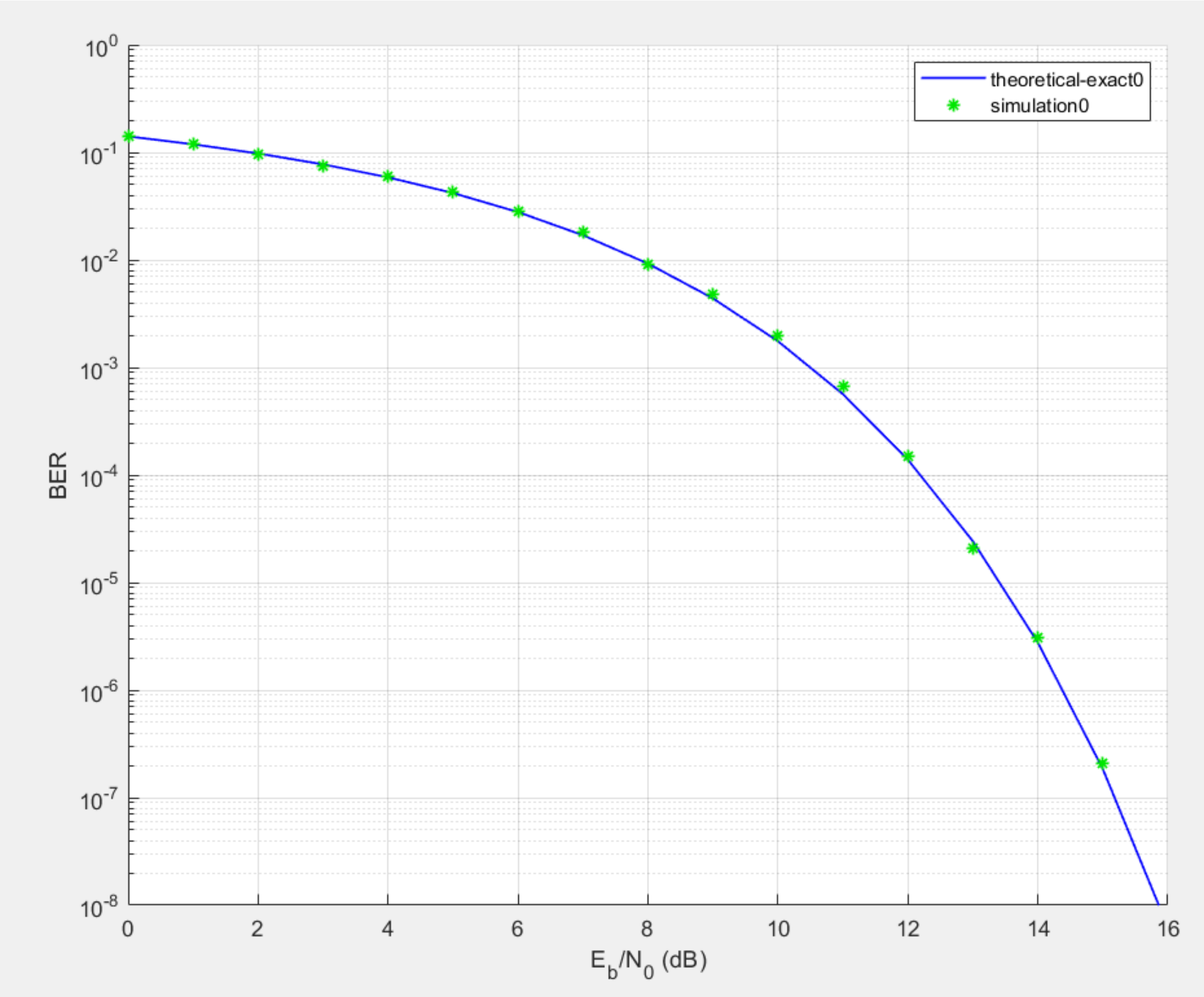
Ισχύει πως:

$$R \leq \frac{W \log_2 M}{1+\alpha} = \frac{3 \cdot 4}{1+(0.25-\frac{0.25}{3})} = \frac{12}{1.1667} = 10.286\text{Mbps}$$

Επομένως, ο ρυθμός μετάδοσης μπορεί να αυξηθεί κατά 0.686MHz για roll-off μειωμένο κατά $\frac{1}{3}$.

<u>Μέρος 5ο:</u>

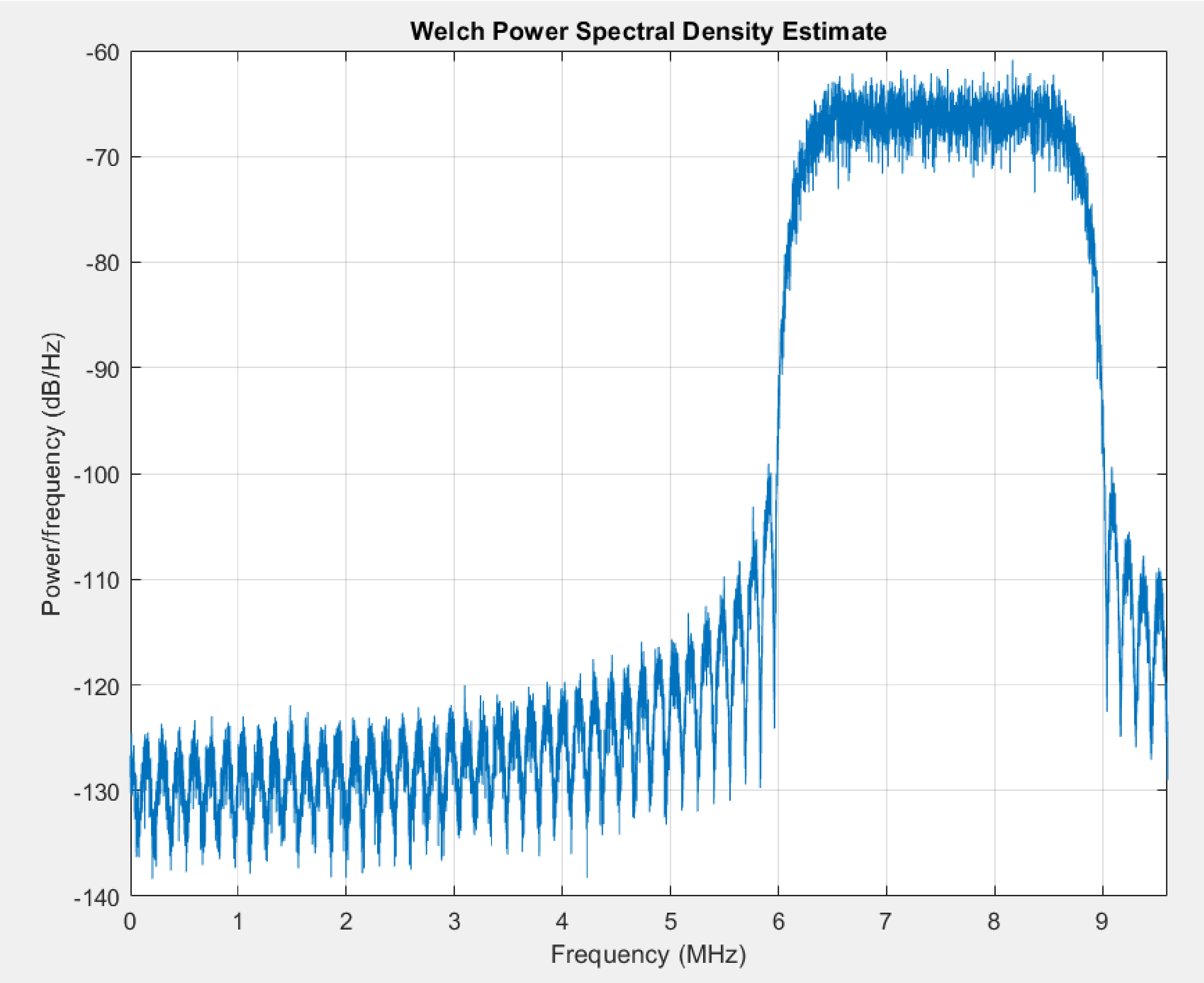
Εξομοιώνουμε 16-QAM (θεωρητική και πειραματική καμπύλη):



Παρατηρούμε πως για ίδιες τιμές σηματοθορυβικού λόγου, η πιθανότητα εσφαλμένου ψηφίου είναι μικρότερη από αυτή του συστήματος 16-PSK (μπορούμε αν επιθυμούμε να ελέγξουμε/συγκρίνουμε τις τιμές μέσα από το bertool).

Παρατηρούμε στο παρακάτω διάγραμμα το φάσμα που δημιουργείται με τη χρήση της εντολής:

```
pwelch(s,[],[],[],Fs);
```



Το οποίο είναι ίδιο με το εύρος ζώνης του συστήματος 16-PSK, εφόσον το δημιουργήσαμε με τις ίδιες μεταβλητές (κώδικας του αρχείου lab5_2_17804 στο ερώτημα 2). Η μόνη διαφορά με το ερώτημα 2 (και κατ' επέκταση το ερώτημα 3), ουσιαστικά, ήταν το mapping στη συνάρτηση που καλούμε με το bertool. Παρατίθεται ο κώδικας Matlab που χρησιμοποιήθηκε για τη συνάρτηση αυτή:

```
function [ber,numBits] = lab5_5_ber_func(EbNo, maxNumErrs,
maxNumBits)
% Import Java class for BERTool.
import com.mathworks.toolbox.comm.BERTool;
%  Initialize variables related to exit criteria.
totErr  = 0; % Number of errors observed
numBits = 0; % Number of bits processed

% ?. --- Set up parameters. ---
% --- INSERT YOUR CODE HERE.
k=4;        % number of bits per symbol
Nsymb=10000; % number of symbols in each run
nsamp=8;    % oversampling,i.e. number of samples per T

l=2;
core=[1+1i;1-1i;-1+1i;-1-1i];
mapping=core;
```

```
if(l>1)
 for j=1:l-1
 mapping=mapping+j*2*core(1);
 mapping=[mapping;conj(mapping)];
 mapping=[mapping;-conj(mapping)];
 end
end
%  Simulate until number of errors exceeds maxNumErrs
% or number of bits processed exceeds maxNumBits.

while((totErr < maxNumErrs) && (numBits < maxNumBits))
    % Check if the user clicked the Stop button of BERTool.
    if (BERTool.getSimulationStop)
        break;
    end
    % ?. --- INSERT YOUR CODE HERE.
    errors=lab5_2_17804(k,mapping,Nsymb,nsamp,EbNo);
    % Assume Gray coding: 1 symbol error ==> 1 bit error
    totErr=totErr+errors;
    numBits=numBits + k*Nsymb;
end    % End of loop
% Compute the BER
ber = totErr/numBits;
```