

ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ Ι

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 4

Φίλιππος Μαρντιροσιάν
ΑΜ: el20034

Άσκηση 1

Ορίζουμε τις παραμέτρους της προσομοίωσης:
 $k = 3$, $N_{\text{symb}} = 3333$, $n_{\text{samp}} = 32$, $\text{step} = 2$

Θέλουμε να δημιουργήσουμε ένα σύστημα διαμόρφωσης 8-ASK, μέσω του οποίου θα διαμορφώνεται η ακολουθία των παραγόμενων ψηφίων που ομαδοποιούνται σε σύμβολα, μέσω ενός φίλτρου της οικογένειας Nyquist (root raised cosine).

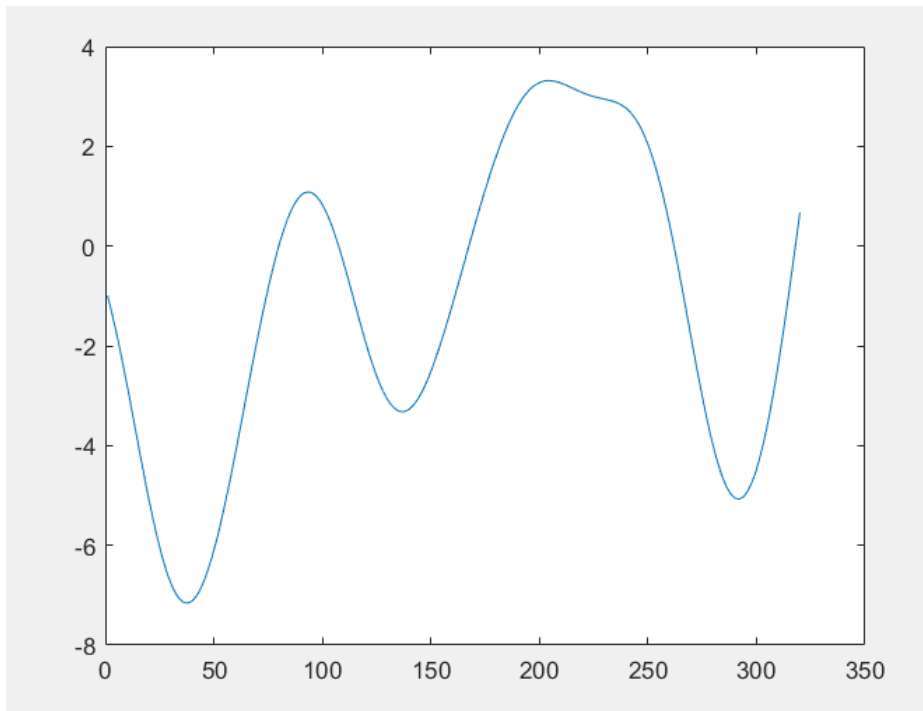
Μέσω της εντολής `x=round(rand(1,k*Nsymb))`; δημιουργούμε μια τυχαία δυαδική ακολουθία 10.000 ψηφίων (bits). Έπειτα, τα ψηφία αυτά ομαδοποιούνται ανά $k=3$ και δημιουργούνται σύμβολα, τα οποία αντιστοιχίζονται μέσω της κωδικοποίησης Gray και του διανύσματος «mapping» στο αντίστοιχο πλάτος, με το οποίο εκπέμπονται. Τα πλάτη αυτά απέχουν μεταξύ τους κατά $\text{step} = 2$.

Δηλαδή είναι τα: $[-7, -5, -3, -1, 1, 3, 5, 7]$

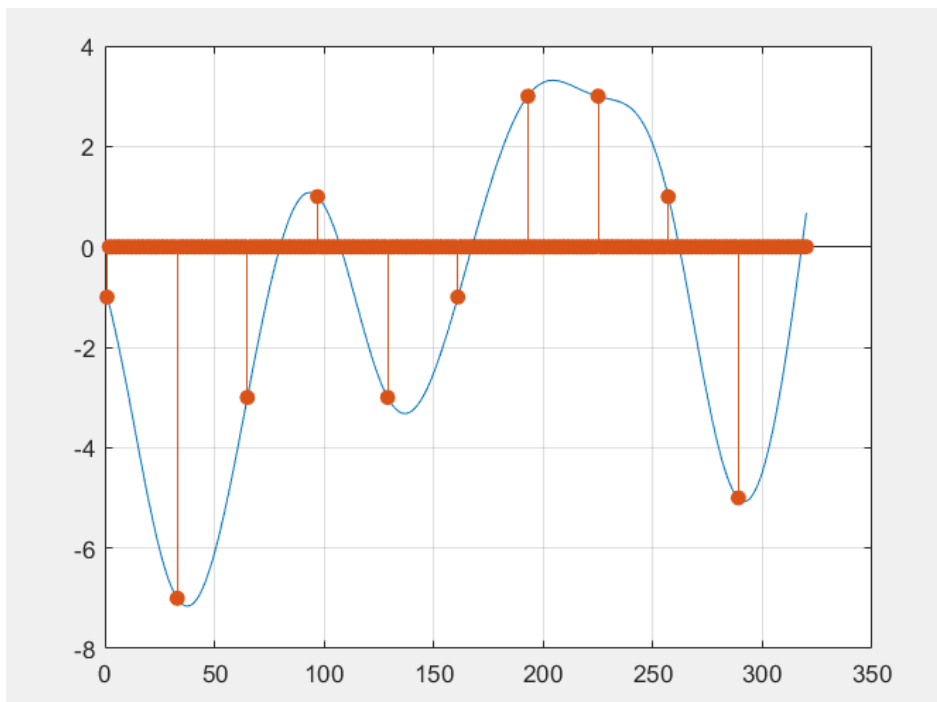
Στη συνέχεια, ορίζονται οι παράμετροι του φίλτρου Nyquist:

```
delay = 8; % Group delay
filtorder = nsamp*delay*2; % τάξη φίλτρου 256
rolloff = 0.4; % Συντελεστής πτώσης -- rolloff factor
```

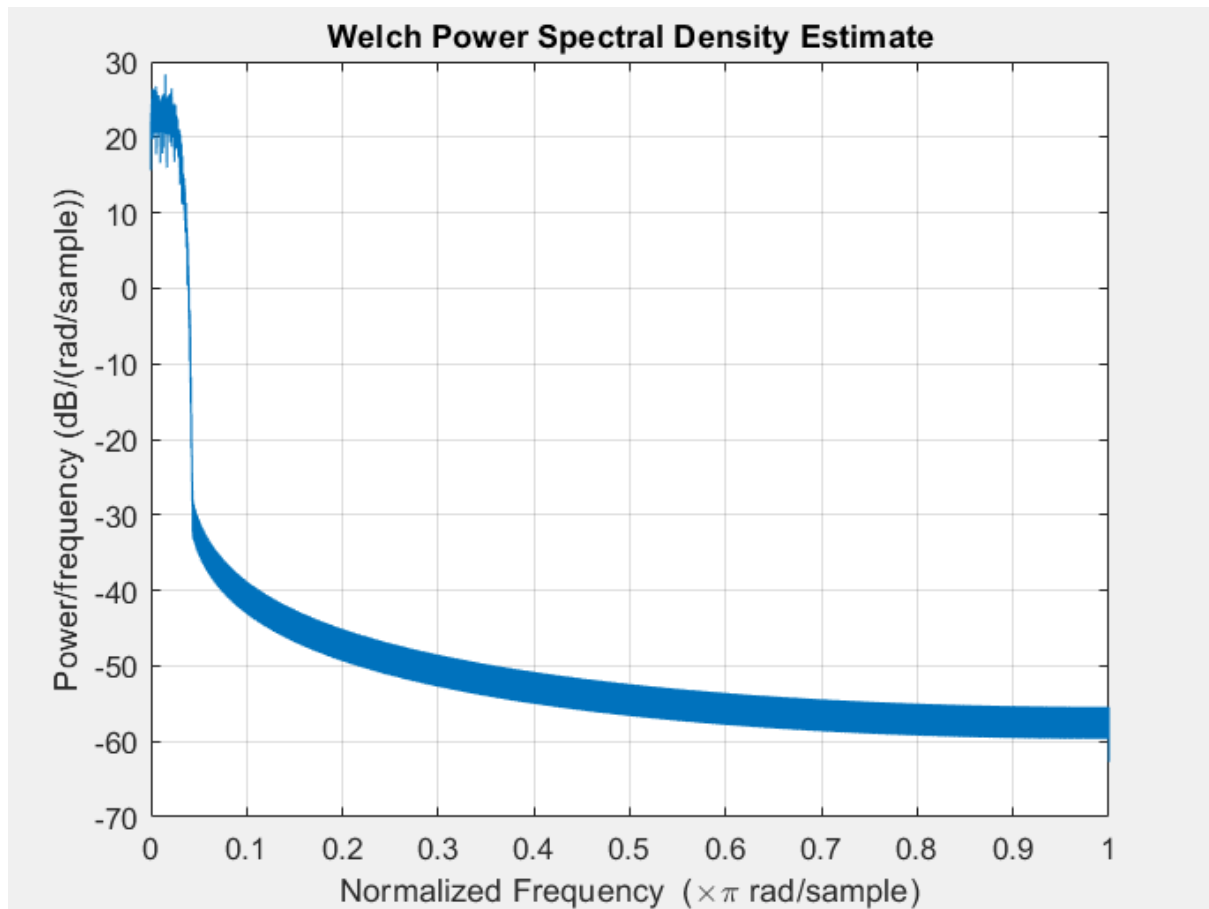
Πραγματοποιούμε υπερδειγματοληψία της ακολουθίας πλατών x κατά $n_{\text{samp}}=32$, φιλτράρεται με το φίλτρο Nyquist (root raised cosine) και υποδειγματοληπτείται κατά $n_{\text{samp}}=32$. Στη συνέχεια, περικόπτονται οι ουρές του σήματος που προκύπτουν λόγω της καθυστέρησης που εισάγει το φίλτρο και έχουμε την παρακάτω γραφική παράσταση τμήματος του σήματος y διάρκειας $10 \cdot T$:



Υπερθέτουμε κατά T την προηγούμενη γραφική παράσταση μέσω της συνάρτησης `stem` κι έχουμε τα αντίστοιχα δείγματα του σήματος εισόδου.



Μέσω της `pwelch()`, παίρνουμε το φάσμα του σήματος στο δέκτη:



Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την άσκηση 1:

```
1 - clear all; close all; clc;
2 - k=3; Nsymb=3333; nsamp=32;
3 - L=2^k;
4 - x=round(rand(1,k*Nsymb)); % παραγωγή τυχαίας δυαδικής ακολουθίας
5 - step=2; % ο αριθμός των πλατών και το βήμα μεταξύ τους k=log(L);
6 - mapping=[step/2; -step/2];
7 - if(k>1)
8 -     for j=2:k
9 -         mapping=[mapping+2^(j-1)*step/2; ...
10 -             -mapping-2^(j-1)*step/2];
11 -     end
12 - end
13 - xsym=bi2de(reshape(x,k,length(x)/k).','left-msb');
14 - x=[];
15 - for i=1:length(xsym)
16 -     x=[x mapping(xsym(i)+1)];
17 - end
18 - % Ορισμός παραμέτρων φίλτρου
19 - nsamp=32;
20 - delay = 8; % Group delay (# of input symbols)>5 για καλύτερα αποτελέσματα
21 - filtorder = delay*nsamp*2; % τάξη φίλτρου
22 - rolloff = 0.4; % Συντελεστής πτώσης -- rolloff factor 0.1 ή 0.9
23 - % κρουστική απόκριση φίλτρου τετρ. ρίζας ανυψ. συνημιτόνου
24 - rNyquist= rcosine(1,nsamp,'fir/sqrt',rolloff,delay);
25 - % -----
26 - % Για φίλτρο γραμμικής πτώσης να χρησιμοποιηθεί η επόμενη εντολή
27 - % (με την rtrapezium του Κώδικα 4.1 στο current directory)
28 - % Πρέπει delay>5 για καλά αποτελέσματα στην αναγνώριση.
29 - % rNyquist=rtrapezium(nsamp,rolloff,delay);
30 - % -----
31 - %% ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΟ ΣΗΜΑ
32 - % Υπερδειγμάτιση και εφαρμογή φίλτρου rNyquist
33 - y=upsample(x,nsamp);
34 - ytx = conv(y,rNyquist);
35 - %% Λαμβανόμενο σήμα: ytx (χωρίς παραμόρφωση)
36 - % Φιλτράρισμα σήματος με φίλτρο τετρ. ρίζας ανυψ. συνημ.
37 - yrxf=conv(ytx,rNyquist);
38 - % -----
39 - yrx = downsample(yrxf,nsamp);
40 - yrx=yrxf(2*delay*nsamp+1:end-2*delay*nsamp); %Περίκοπή-λόγω καθυστέρησης
41 - % Σχεδίαση yrx και υπέρθεση x?
42 - figure(1)
43 - plot(yrx(1:10*nsamp)); %Για να σχεδιάσουμε το σήμα σε 10T
44 - hold;
45 - stem(y(1:10*nsamp),'filled');%Για να υπερθέσουμε σε T=nsamp
46 - grid;
47 - figure(2)
48 - pwelch(yrx);
```

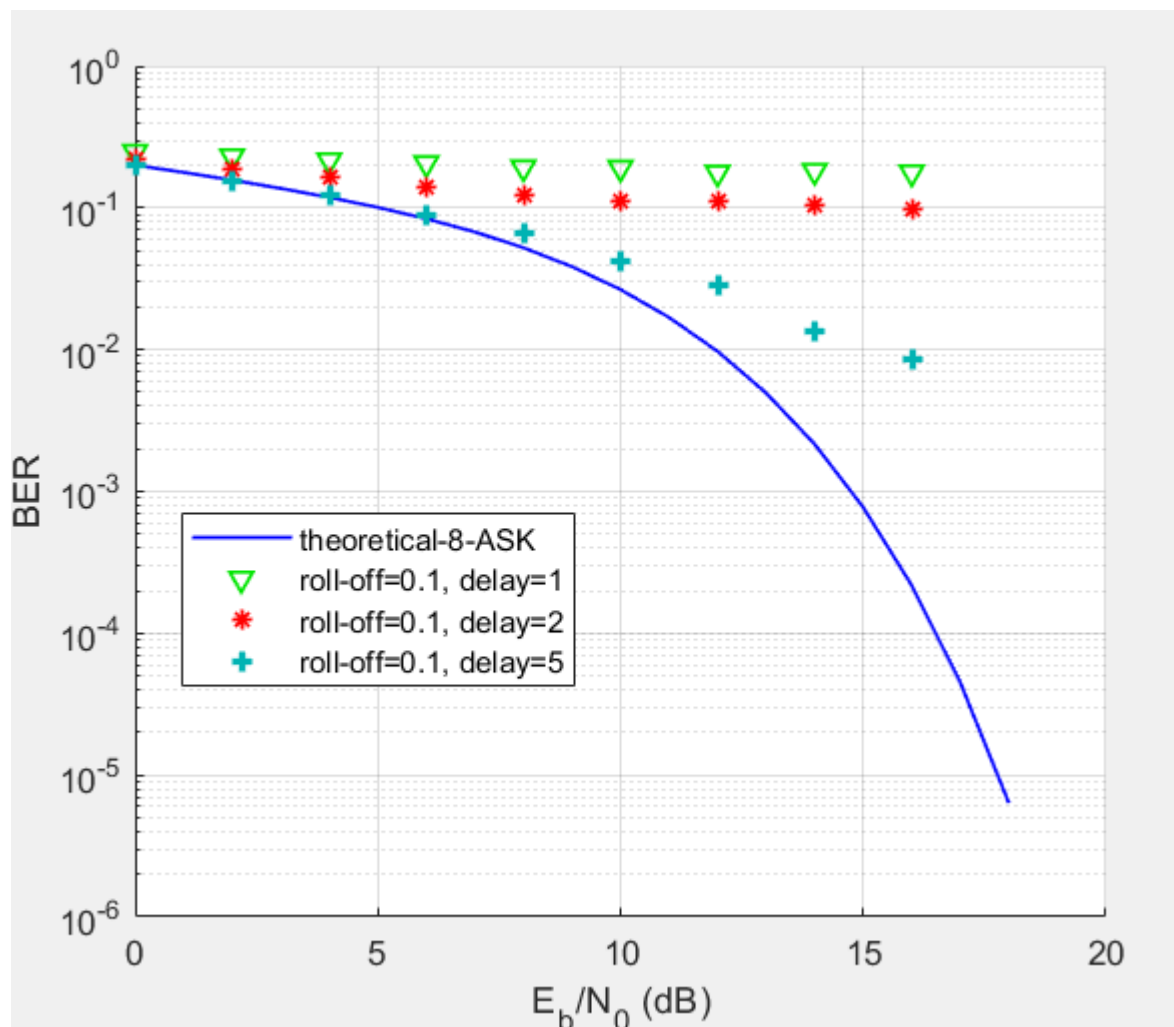
Άσκηση 2

Μελετάμε τις αλλαγές στις παραμέτρους του φίλτρου μέσω του εργαλείου προσομοίωσης του MATLAB bertool και συγκρίνουμε τα αποτελέσματα του προγράμματος προσομοίωσης “ask_Nyq_filter.m” σε σχέση με τη θεωρητική προσέγγιση. Συγκεκριμένα ελέγχουμε τις εξής παραμέτρους:

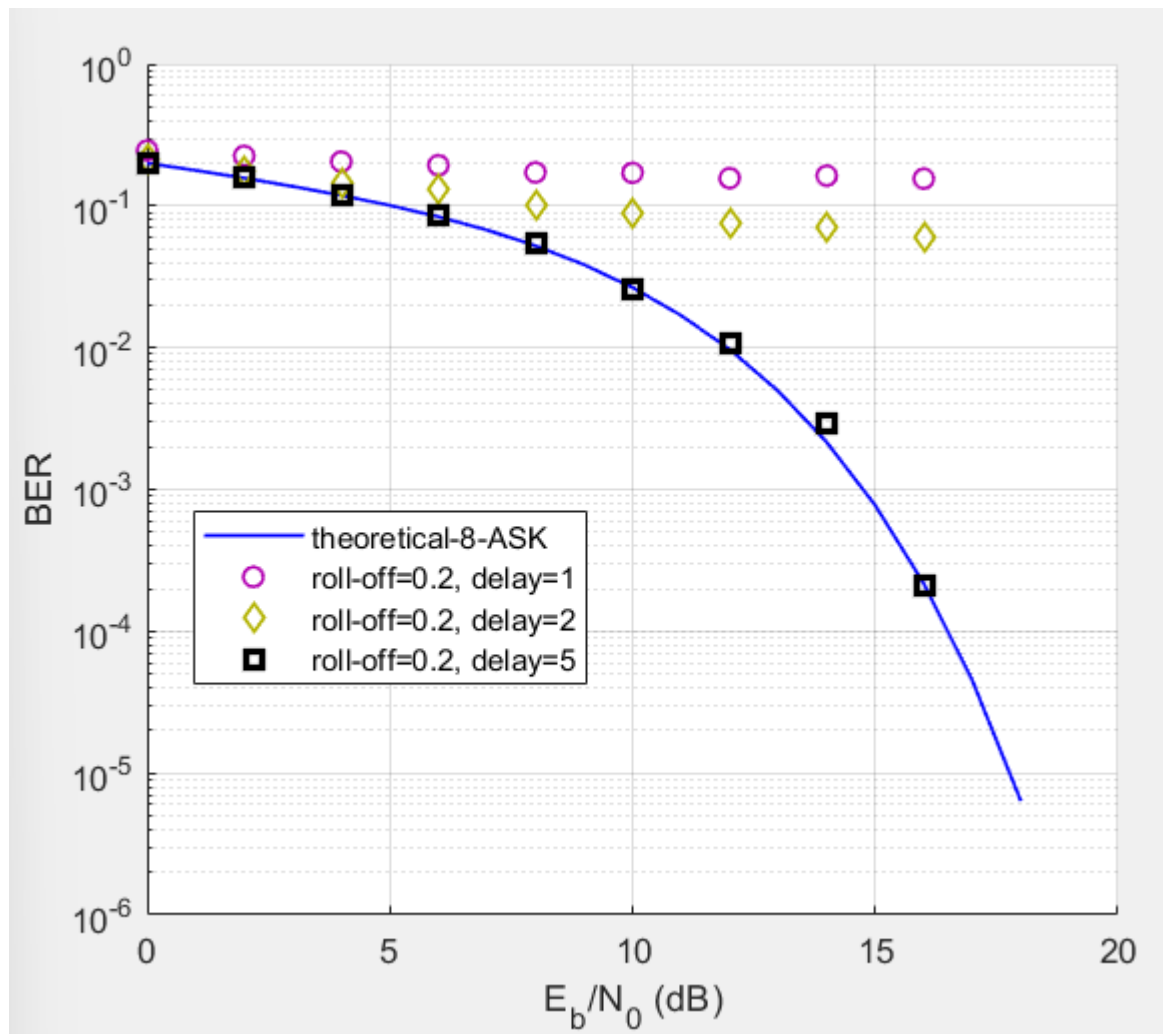
roll-off = 0.1 , 0,2 , 0,4

delay = 1 , 2 , 5

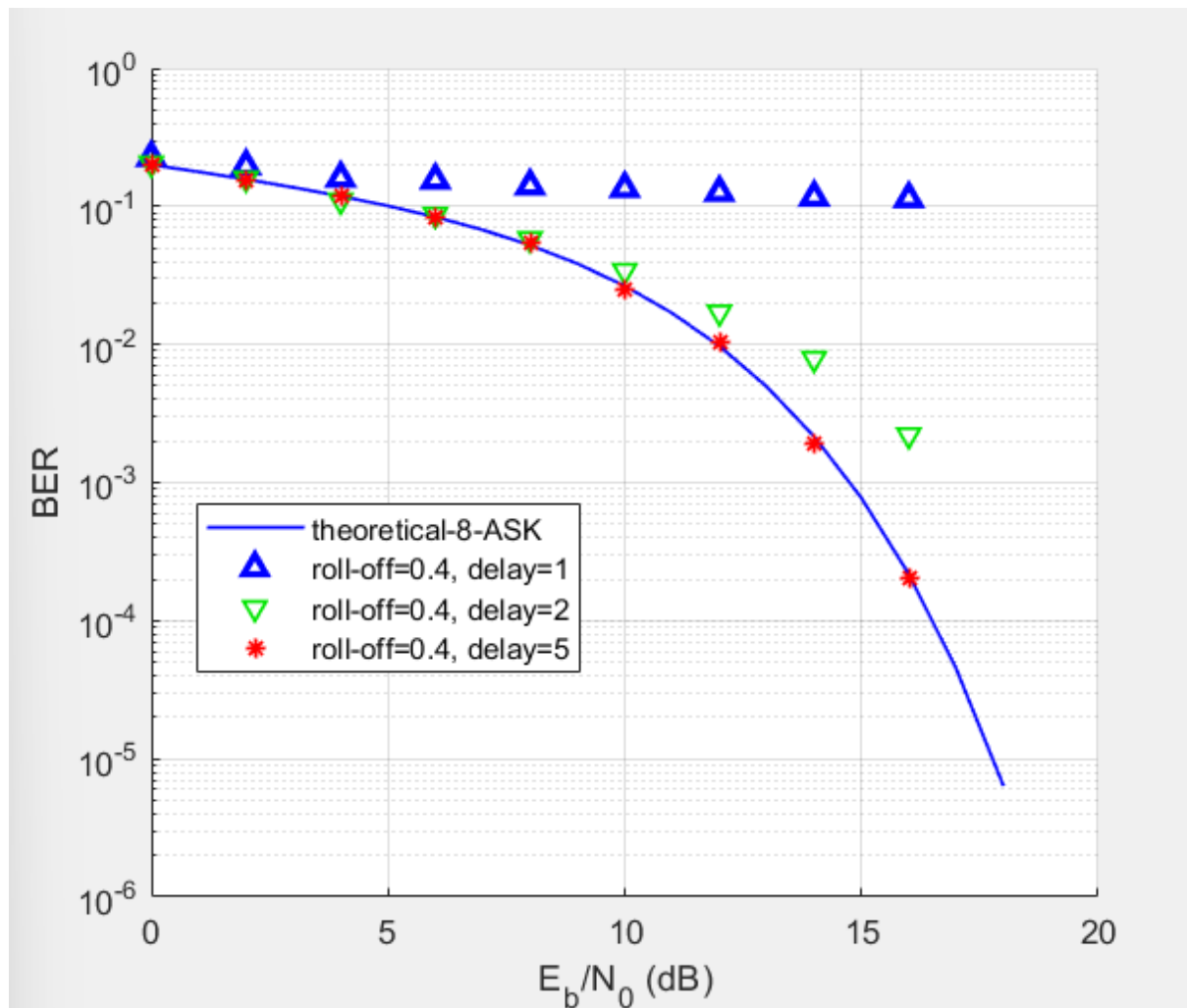
(σχήμα για το ερώτημα 2.1)



(σχήμα για το ερώτημα 2.11)



(σχήμα για το ερώτημα 2.III)



Από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις παρατηρούμε ότι όσο αυξάνουμε την τάξη του φίλτρου, που σχετίζεται με την αύξηση της καθυστέρησης που εισάγει, τόσο περισσότερο προσεγγίζει την θεωρητική καμπύλη.

Επίσης, αυξάνοντας τον συντελεστή πτώσης (roll-off factor) πετυχαίνουμε καλύτερη προσέγγιση με φίλτρο χαμηλότερης τάξης. Ενώ για μικρό roll-off factor χρειάζεται φίλτρο που να εισάγει μεγάλη καθυστέρηση και συνεπώς να είναι μεγαλύτερης τάξης.

Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής πτώσης τόσο περισσότερο το φίλτρο παρουσιάζει την ιδανική συμπεριφορά ενός βαθυπερατού φίλτρου, όμως τόσο υψηλότεροι είναι οι πλευρικοί λοβοί του, οπότε δημιουργείται μιας κάποιας μορφής επικάλυψης μεταξύ των εκπεμπόμενων συμβόλων με σκοπό να αυξάνεται το BER.

Ο κώδικας για την συνάρτηση ask_Nyq_filter:

```
1 function errors=ask_Nyq_filter(k,Nsymb,nsamp,EbNo)
2 % Η συνάρτηση αυτή εξομοιώνει την παραγωγή και αποκωδικοποίηση
3 % θορυβώδους ακολουθίας L-ASK και μετρά τα λαθεμένα σύμβολα,
4 % με μορφοποίηση παλμών μέσω φίλτρου τετρ. ρίζας Nyquist.
5 %%% ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ %%%
6 % k είναι ο αριθμός των bits ανά σύμβολο, έτσι  $L=2^k$ 
7 % Nsymb είναι το μήκος της εξομοιούμενης ακολουθίας συμβόλων L-ASK
8 % nsamp είναι ο συντελεστής υπερδειγμάτισης, δηλ. #samples/Td
9 % EbNo είναι ο ανηγμένος σηματοθορυβικός λόγος, Eb/No, σε db
10 L=2^k;
11 SNR=EbNo-10*log10(nsamp/2/k); % SNR ανά δείγμα σήματος
12 % Κωδικοποίηση Gray σύμφωνα με την εκφώνηση
13 step=2; % το βήμα μεταξύ των πλατιών
14 x=randi(2,1,k*Nsymb)-1;
15 mapping=[step/2; -step/2];
16 if(k>1)
17     for j=2:k
18         mapping=[mapping+2^(j-1)*step/2; ...
19                 -mapping-2^(j-1)*step/2];
20         %mapping=-(L-1):step:(L-1);
21     end
22 end
23 xsym=bi2de(reshape(x,k,length(x)/k).','left-msb');
24 y=[];
25 for i=1:length(xsym)
26     y=[y mapping(xsym(i)+1)];
27 end
28 %% Ορισμός παραμέτρων φίλτρου
29 %delay = 1;% Group delay
30 %delay=2;
```



```

31 - delay=5;
32 - filtorder = delay*nsamp*2; % τάξη φίλτρου
33 %rolloff = 0.1;% rolloff factor
34 %rolloff=0.2;
35 - |rolloff=0.4;
36 %rolloff=0.5; %Για το 4ο ερώτημα
37
38 % κρουστική απόκριση φίλτρου τετρ. ρίζας ανυψ. συνημιτόνου
39 - rNyquist= rcosine(1,nsamp,'fir/sqrt',rolloff,delay);
40 % -----
41 % Για φίλτρο γραμμικής πτώσης να χρησιμοποιηθεί η επόμενη εντολή
42 % (με την rttrapezium του Κώδικα 4.1 στο current directory)
43 % Πρέπει delay>5 για καλά αποτελέσματα στην αναγνώριση.
44 % rNyquist=rttrapezium(nsamp,rolloff,delay);
45 % -----
46 %% ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΟ ΣΗΜΑ
47 % Υπερδειγμάτιση και εφαρμογή φίλτρου rNyquist
48 - y=upsample(y,nsamp);
49 - ytx = conv(y,rNyquist);
50 - ynoisy=awgn(ytx,SNR,'measured'); % θορυβώδες σήμα
51 % -----
52 %% ΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟ ΣΗΜΑ
53 % Φιλτράρισμα σήματος με φίλτρο τετρ. ρίζας ανυψ. συνημ.
54 - yrx=conv(ynoisy,rNyquist);
55 - yrx = downsample(yrx,nsamp); % Υποδειγμάτιση
56 - yrx = yrx(2*delay+1:end-2*delay); % περικοπή, λόγω καθυστέρησης
57 % Ανιχνευτής ελάχιστης απόστασης L πλατών
58 %l=[-L+1:step:L-1];
59 - Xr=[];

60 - □ for i=1:length(yrx)
61 -     [m,j]=min(abs(mapping-yrx(i)));
62 -     xr=de2bi(j-1,k,'left-msb');
63 -     Xr=[Xr xr];
64 - end
65 -     err=not(x==Xr);
66 - errors=sum(err);

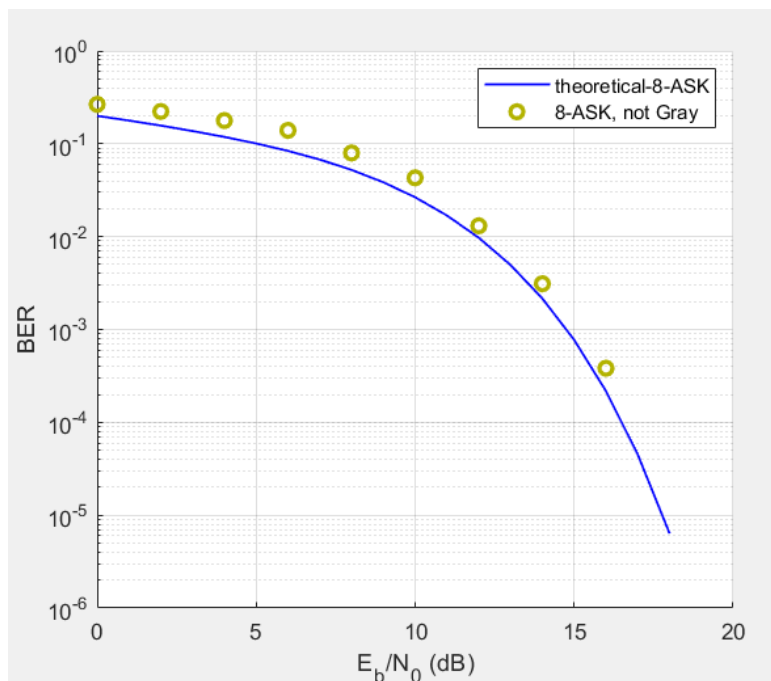
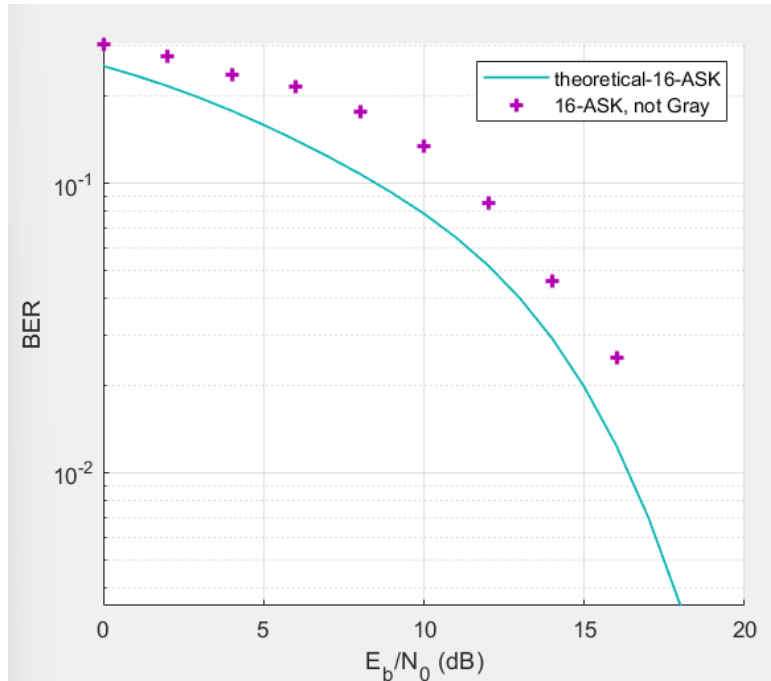
```

Για το bertool χρησιμοποίησαμε τον παρακάτω κώδικα για την προσομοίωση:

```
1 function [ber,numBits] = ask_ber_func(EbNo, maxNumErrs, maxNumBits)
2 % Import Java class for BERTool.
3 import com.mathworks.toolbox.comm.BERTool;
4 % Initialize variables related to exit criteria.
5 totErr = 0; % Number of errors observed
6 numBits = 0; % Number of bits processed
7 % A. --- Set up parameters. ---
8 % --- INSERT YOUR CODE HERE.
9 k=3; % number of bits per symbol
10 Nsymb=2000; % number of symbols in each run
11 nsamp=32; % oversampling,i.e. number of samples per T
12 %EbNo=12;
13 % Simulate until number of errors exceeds maxNumErrs
14 % or number of bits processed exceeds maxNumBits.
15 while((totErr < maxNumErrs) && (numBits < maxNumBits))
16 % Check if the user clicked the Stop button of BERTool.
17 if (BERTool.getSimulationStop)
18 break;
19 end
20 % B. --- INSERT YOUR CODE HERE.
21 errors=ask_Nyq_filter(k,Nsymb,nsamp,EbNo);
22 % Assume Gray coding: 1 symbol error ==> 1 bit error
23 totErr=totErr+errors;
24 numBits=numBits + k*Nsymb;
25 end % End of loop
26 % Compute the BER
27 ber = totErr/numBits;
```

Άσκηση 3

Αντικαθιστώντας το κομμάτι του κώδικα της κωδικοποίησης Gray με κωδικοποίηση άλλου τύπου «**mapping=-(L-1):step:(L-1)**» έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι χρησιμοποιώντας διαφορετική κωδικοποίηση, συμπεραίνουμε ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των bits ανά σύμβολο, τόσο χειροτερεύει ο ρυθμός λανθασμένων ψηφίων BER. Αυτό συμβαίνει διότι με την κωδικοποίηση Gray τα γειτονικά σύμβολα διαφέρουν κατά 1 bit, ενώ με διαφορετική

κωδικοποίηση τα γειτονικά σύμβολα μπορεί να διαφέρουν κατά μεγαλύτερο αριθμό bits. Αυτό σημαίνει ότι όταν το κύκλωμα απόφασης του δέκτη κάνει λάθος πρόβλεψη για την εκπομπή ενός συμβόλου, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερο αριθμό λανθασμένων bits, άρα και σε χειροτέρευση του BER, σε σχέση με την κωδικοποίηση Gray.

Άσκηση 4

Έχουμε τα εξής δεδομένα:

$k=3$, $L=8$, $W=1$ MHz, $N_0=100$ picowatt/Hz, $R = 4$ Mbps , $BER = 2$ kbps.

Μπορούμε να υπολογίσουμε τα μεγέθη α και T ως εξής:

$$T = \frac{\log_2 L}{R} = \frac{\log_2 8}{4 \cdot 10^6} = \frac{3}{4} \mu sec$$

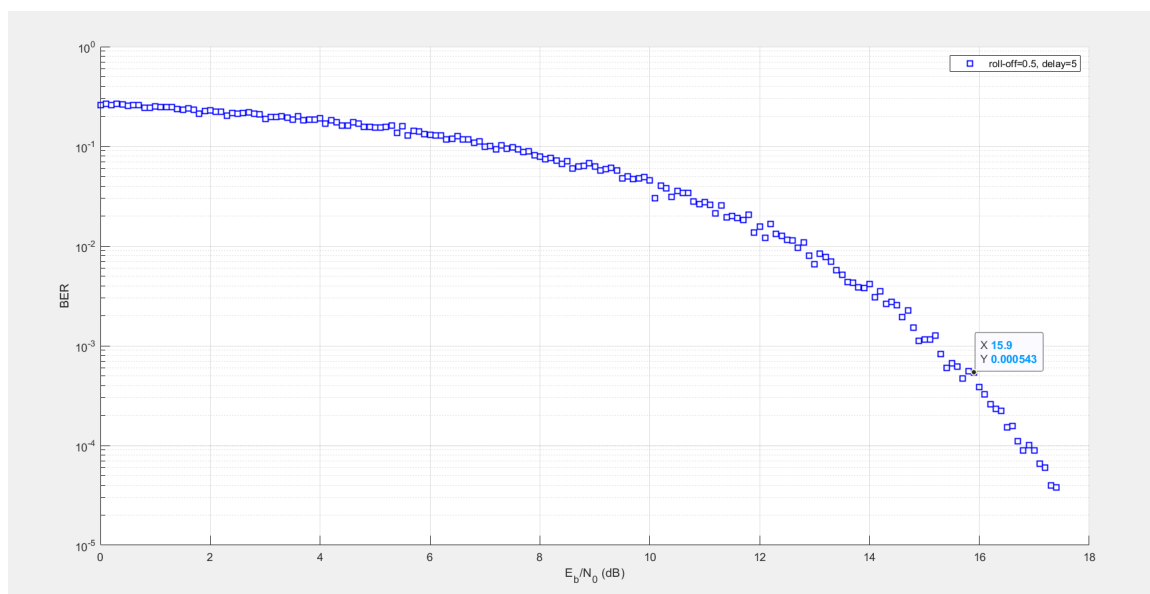
$$\alpha = 2 * W * T - 1 = 2 * 10^6 * \frac{3}{4} * 10^{-6} - 1 = 0.5$$

Είναι γνωστό από τη θεωρία ότι ο συντελεστής πτώσης παίρνει τιμές:

$0 < \alpha < 1$, οπότε η παραπάνω τιμή για το α είναι αποδεκτή και έτσι επαληθεύεται η απαίτηση για το εύρος βασικής ζώνης.

Για την παρούσα εφαρμογή ισχύει:

$$BER = \frac{2 \cdot 10^3}{4 \cdot 10^6} = 0.0005$$



Από το παραπάνω διάγραμμα της προσομοίωσης “ask_Nyq_filter” με παραμέτρους $\alpha=0.5$ και $\text{delay}=5$ παρατηρούμε ότι η συγκεκριμένη τιμή για το BER επιτυγχάνεται για $E_b/N_0 \approx 15.9 \text{ dB}$.

Από τα δεδομένα που προέκυψαν παρατηρούμε ότι το σύστημα διαμόρφωσης με τις αρχικές προδιαγραφές είναι υλοποιήσιμο για $E_b/N_0 \geq 15.9 \text{ dB}$. Κατά τη διαδικασία της εκπομπής πρέπει να επιτευχθεί ενίσχυση τέτοια ώστε να μας εξασφαλίζει το BER της προδιαγραφής.