ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ Ι Ακ. Έτος 2022-23

Κουράκου Σοφία 03120869

Εργαστηριακή Άσκηση 3
Προσαρμοσμένα φίλτρα και L-ASK

<u>Μέρος 1</u>: Διερεύνηση του κώδικα εξομοίωσης

(α) Προκειμένου να τροποποιήσουμε τον κώδικα της ask_errors.m ώστε τα L στοιχεία του διανύσματος x στην εντολή 14 να λαμβάνουν τιμές από το σύνολο {±d/2, ±3d/2, ±5d/2... }, με d=5, αρχικά θα χρειαστούμε μια καινούρια μεταβλητή d στο function, δηλαδή :

```
1   function errors=ask_errors_n(k,d,M,nsamp,EbNo)
```

Στη συνέχεια θα αλλάξουμε την εντολή 14, πολλαπλασιάζουμε με d/2 ώστε τα L στοιχεία του διανύσματος x να λαμβάνουν τιμές από το σύνολο {±d/2, ±3d/2, ±5d/2... } όπως φαίνεται ακολούθως :

```
14    x=(2*floor(L*rand(1,M))-L+1)*d/2;
```

Για την ισχύ έχουμε $E_1(L^2-1)/3$ με $E_1= (d/2)^2$, επομένως προκύπτει η ακόλουθη εντολή για τον θεωρητικό υπολογισμό της ισχύος και για την επαλήθευσή της, θα εμφανίσουμε τα δύο τελευταία στο command window για να τα συγκρίνουμε :

```
15    Px=((d^2)/4)*(L^2-1)/3;        % θεωρητική ισχύς σήματος
16    Px_verify=sum(x.^2)/length(x);% μετρούμενη ισχύς σήματος (για επαλήθευση)
17    display(Px);  display(Px_verify);
```

Τέλος, θα αλλάξουμε την εντολή 24, δηλαδή το διάνυσμα A, όπου και αυτό όπως και το x θα πολλαπλασιαστεί με d/2, και θα χρησιμοποιηθεί η εντολή hist(x, A) για τον υπολογισμό και την προβολή του ιστογράμματος με στοιχεία του x :

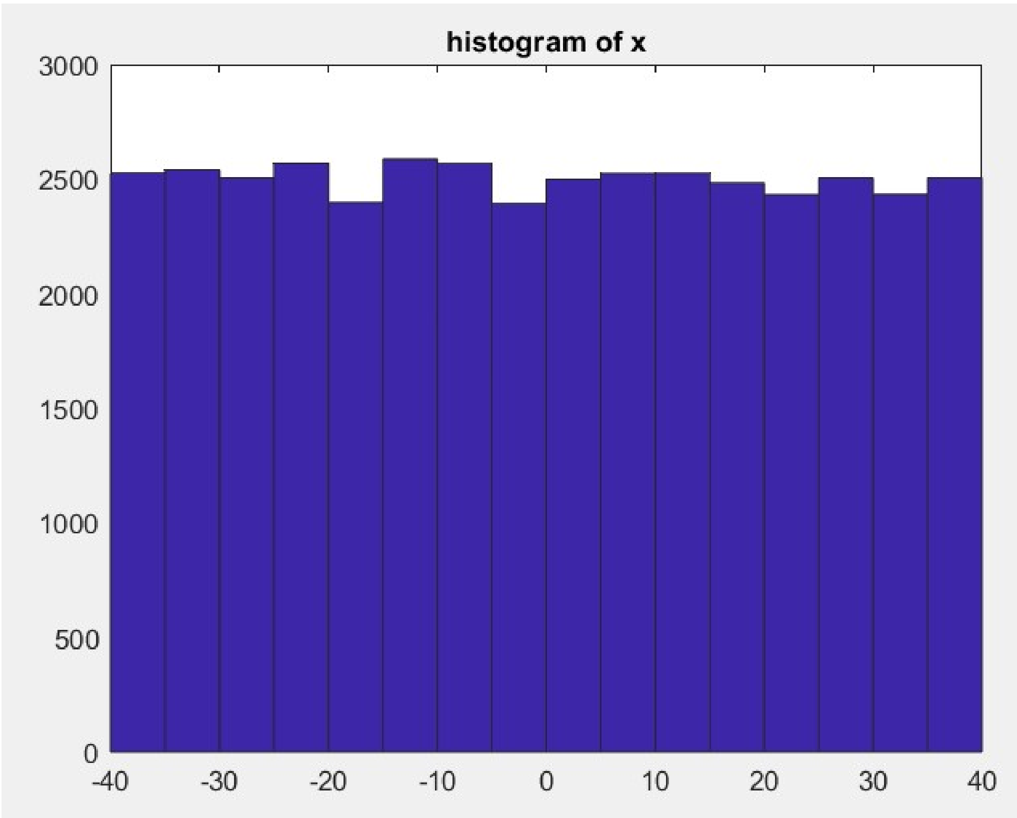
```
24    A=(d/2)*([-L+1:2:L-1]);
```

```
26    hist(x,A); title ('histogram of x');
```

Τρέχω την ask_errors_n.m με :

- k= mod(20869,2)+3 = 1+3= 4
- d=5
- Nsymb = 40000
- nsamp= 20
- EbNo= 12

Και προκύπτει το εξής διάγραμμα

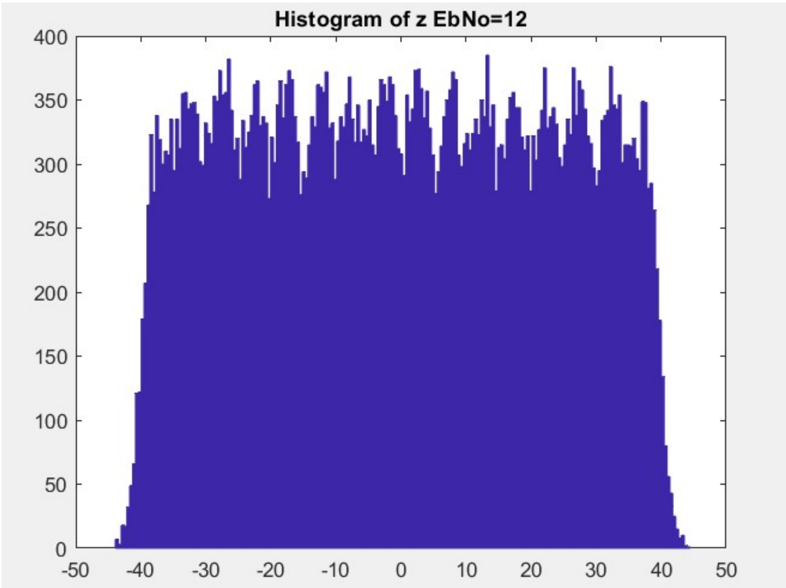


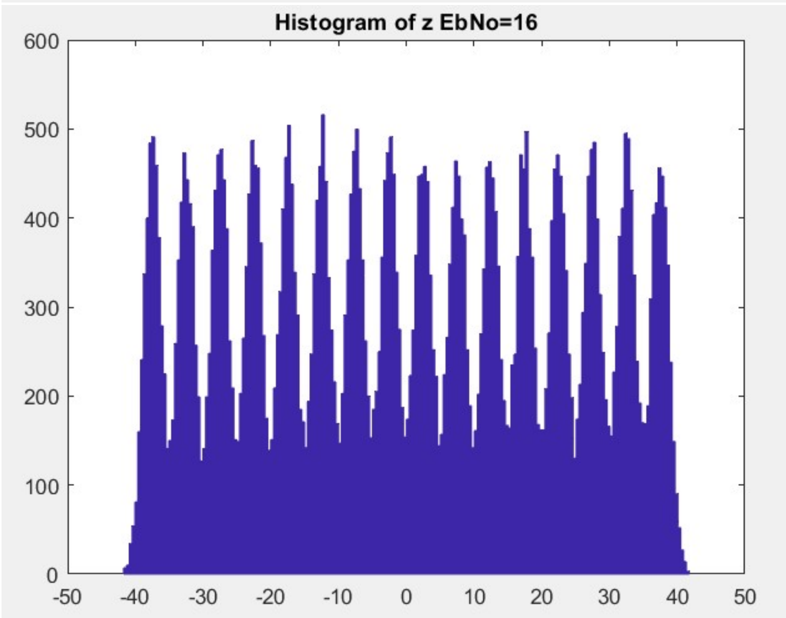
Τα δείγματα κατανέμονται ομοιόμορφα στα σημεία
{±2.5, ±7.5, ±12.5 ... }

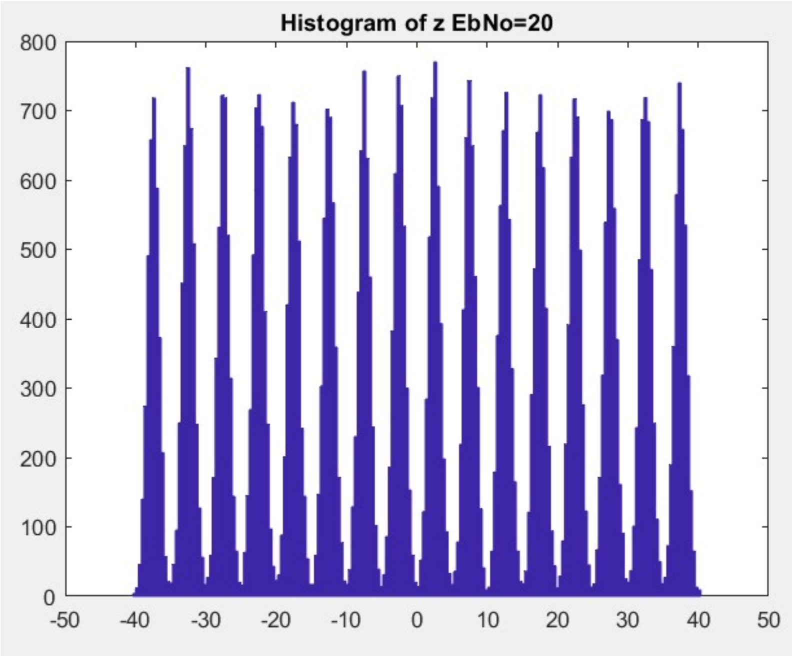
```
Command Window

Px =

  531.2500


Px_verify =

  531.6600
```

Ο υπολογισμός ήταν σωστός.

(β) Έχουμε : k=4 M=60000 nsamp=20
Προσθέτω στην ask_errors_n.m την εντολή hist(z,200); και τα αποτελέσματα για τις τιμές του EbNo = 12, 16, 20 είναι τα ακόλουθα :







Παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται ο σηματοθορυβικός λόγος Eb/No τόσο στο ιστόγραμμα γίνονται πιο ξεκάθαρα τα πλάτη των σημείων που συγκεντρώνονται οι τιμές του z. Έτσι, γίνεται ευκολότερη η λήψης απόφασης σχετικά με το ποια τιμή στάλθηκε και το σφάλμα μειώνεται. Ως απόρροια της αύξησης του EbNo, αυξάνεται και το SNR με αποτέλεσμα ο θόρυβος να επηρεάζει όλο και λιγότερο την εκπομπή του κάθε συμβόλου και ο δέκτης να αναγνωρίζει πιο καθαρά ποιο σύμβολο του έχει σταλεί.

(γ) Αρχικά, ορίσαμε το y με την εντολή y=rectpulse(x,nsamp); που δημιουργεί ορθογωνικό παλμό με πλάτη x και nsamp σημεία ανά σύμβολο. Προσθέτοντας τον θόρυβο στο y προκύπτει το θορυβώδες διάνυσμα ynoisy μήκους 1x800000 double. Για να εμβαθύνουμε σε κάθε σύμβολο ξεχωριστά `21 y=reshape(ynoisy,nsamp,length(ynoisy)/nsamp);`

χρησιμοποιούμε την εντολή reshape η οποία αναδιατάσσει και δημιουργεί πίνακα με διαστάσεις length(ynoisy)/nsamp x nsamp με τις διαστάσεις του y να γίνονται 20x40000 double.

Με την εντολή `z=matched*y/nsamp;` δημιουργείται προσαρμοσμένο (matched) φίλτρο με κρουστική απόκριση ορθογωνικό παλμό nsamp, για την συσχέτιση του με το y. Η μεταβλητή matched έχει διαστάσεις 1x20 double και προκύπτει το διάνυσμα z 1x40000 double.

(δ) Έχουμε ότι το διάνυσμα z είναι η έξοδος του προσαρμοσμένου φίλτρου και το A περιέχει τις τιμές των συμβόλων.

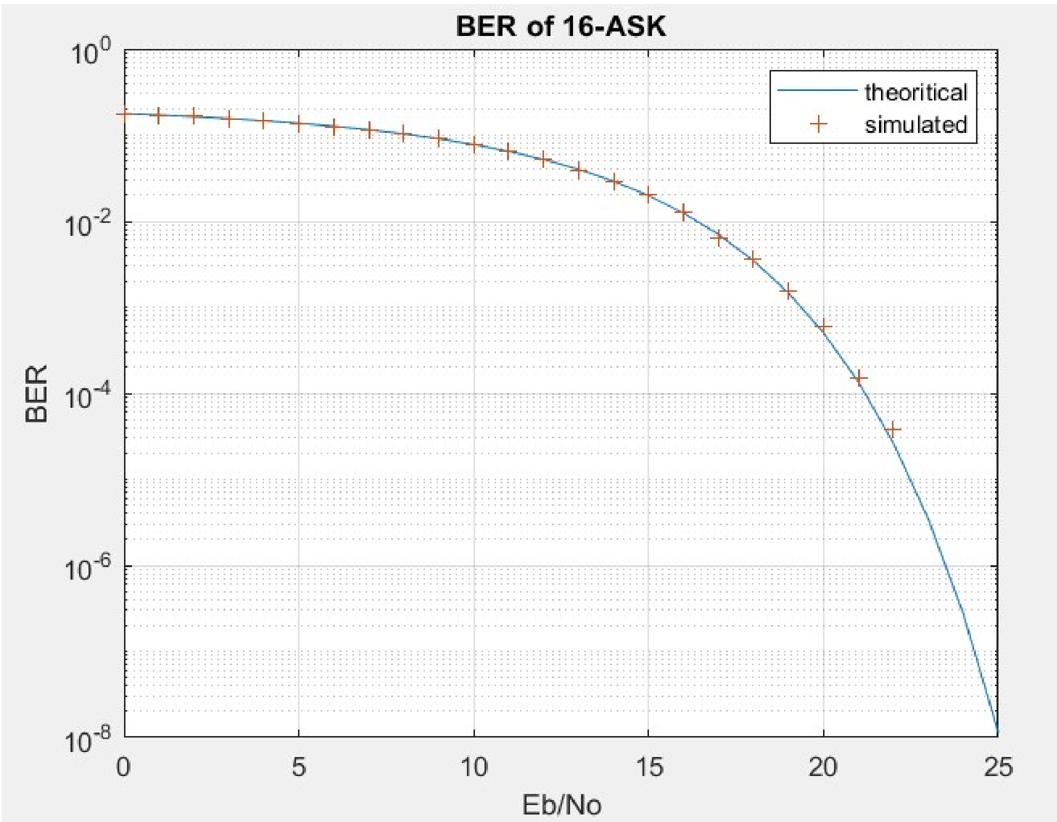
Μέσω του βρόχου

```
for i=1:length(z)
    [m,j]=min(abs(A-z(i)));
    z(i)=A(j);
end
```

συγκρίνονται τα σύμβολα που έχει λάβει ο δέκτης στον πίνακα z με κάθε τιμή του A. Η πιο κοντινή τιμή μαζί με την θέση που βρέθηκε αποθηκεύονται στο `[m,j]` στον πίνακα z για να ληφθεί η απόφαση ποια τιμή του x στάλθηκε.

<u>Μέρος 2</u>: Καμπύλες επίδοσης (BER συναρτήσει του σηματοθορυβικού λόγου)

(α) Σχεδιάζουμε την καμπύλη BER για $L=2^4=16$ (16-ASK) συναρτήσει του Eb/No με χρήση της σχέσης (3.33) των σημειώσεων και την προσέγγιση BER≈Pe/log2L και με κλήση της συνάρτησης ask_errors() θα σχεδιαστούν τα διακριτά σημεία που προκύπτουν πειραματικά. Ο κώδικας είναι το αρχείο lab3_20869_2a.m.



Παρατηρείται ότι για μεγάλες τιμές του Eb/No, υπάρχουν αποκλίσεις στις τιμές των θεωρητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων στις καμπύλες του παραπάνω διαγράμματος. Όταν η τιμή του Eb/No είναι αρκετά μεγάλη, η ισχύς θορύβου είναι πιο μικρή σχετικά με το σήμα. Οι διαφορές επομένως οφείλονται στο πεπερασμένο δείγμα, καθώς αν θέλουμε πιο ακριβή αποτελέσματα χρειαζόμαστε ένα αρκετά ευρύ δείγμα.

<u>Τιμές BER για Eb/No={10,15,20}db.</u>

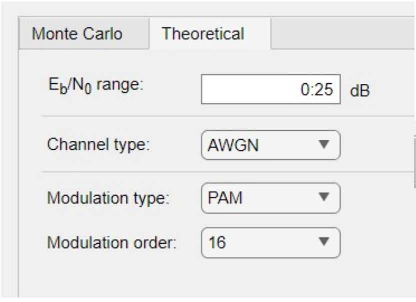
Command Window

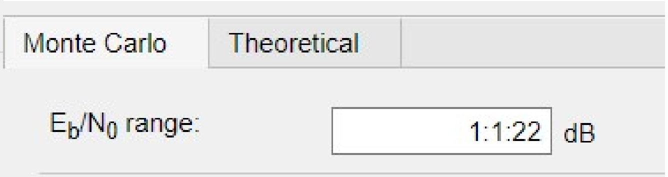
```
BER(10)=
    0.0778

BER(15)=
    0.0198

BER(20)=
   5.0531e-04
```

<u>lab3_20869_2a.m</u>

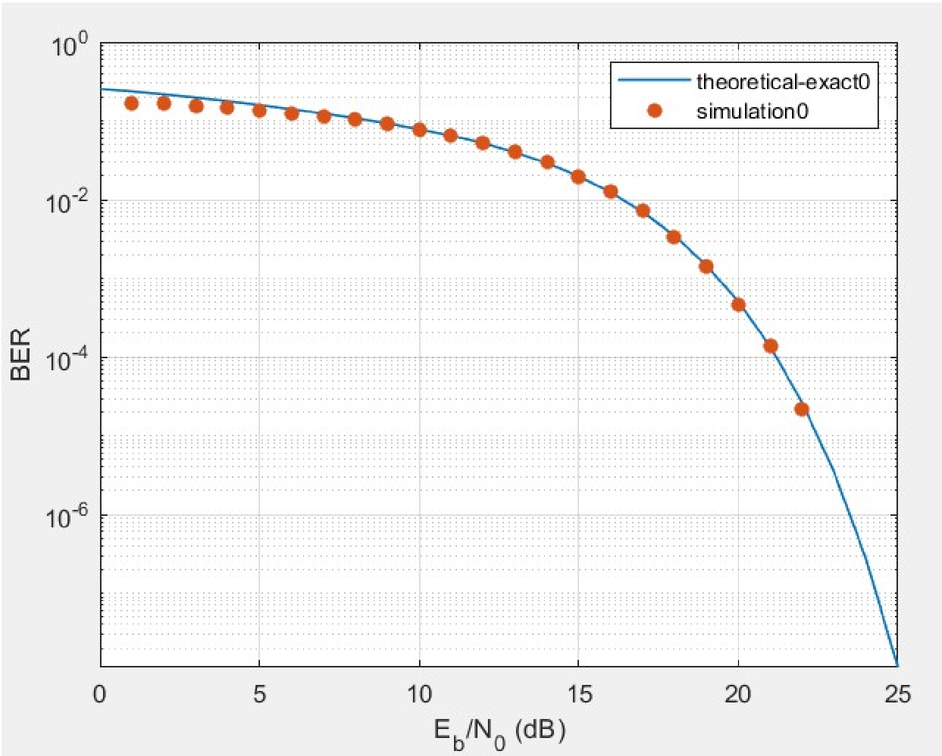
```
k=mod(20869,2)+3; nsamp=20; d=5; M=20000;
L=2^k;
% theoritical BER
EbNo=0:25;
Pe=((L-1)/L)*erfc(sqrt((10.^(EbNo/10)).*(3*log2(L))/(L^2-1))); %υπολογίζω το Pe
ber=Pe/log2(L); %υπολογίζω το BER
figure();
semilogy(EbNo,ber);
grid on;
title("BER of 16-ASK");
xlabel("Eb/No"); ylabel("BER");
hold on;
% simulation
BER=zeros(1,25);
for n=0:25
    BER(n+1)=ask_errors(k,M,nsamp,n)/M/log2(L);
end
plot(0:25, BER, '+');
legend("theoritical","simulated");
% οι τιμές της καμπύλης για EbNo=10,15,20
disp('BER(10)='); disp(ber(EbNo==10)); disp('BER(15)='); disp(ber(EbNo==15));
disp('BER(20)='); disp(ber(EbNo==20));
```

(β) Χρησιμοποιώντας το bertool σύμφωνα με τις ρυθμίσεις :





Και καλώντας την συνάρτηση ask_ber_func , προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα :



Το οποίο ταυτίζεται με αυτό που σχεδιάστηκε στο ερώτημα α.

<u>Μέρος 3ο</u>:Υλοποίηση με συνέλιξη - Χρήση άλλων παλμών

(α) Ο τροποποιημένος κώδικας παράγει τα ίδια αποτελέσματα όπως φαίνεται ακολούθως :

```
>> ask_errors(4,40000,20,12)

ans =

        8355
```

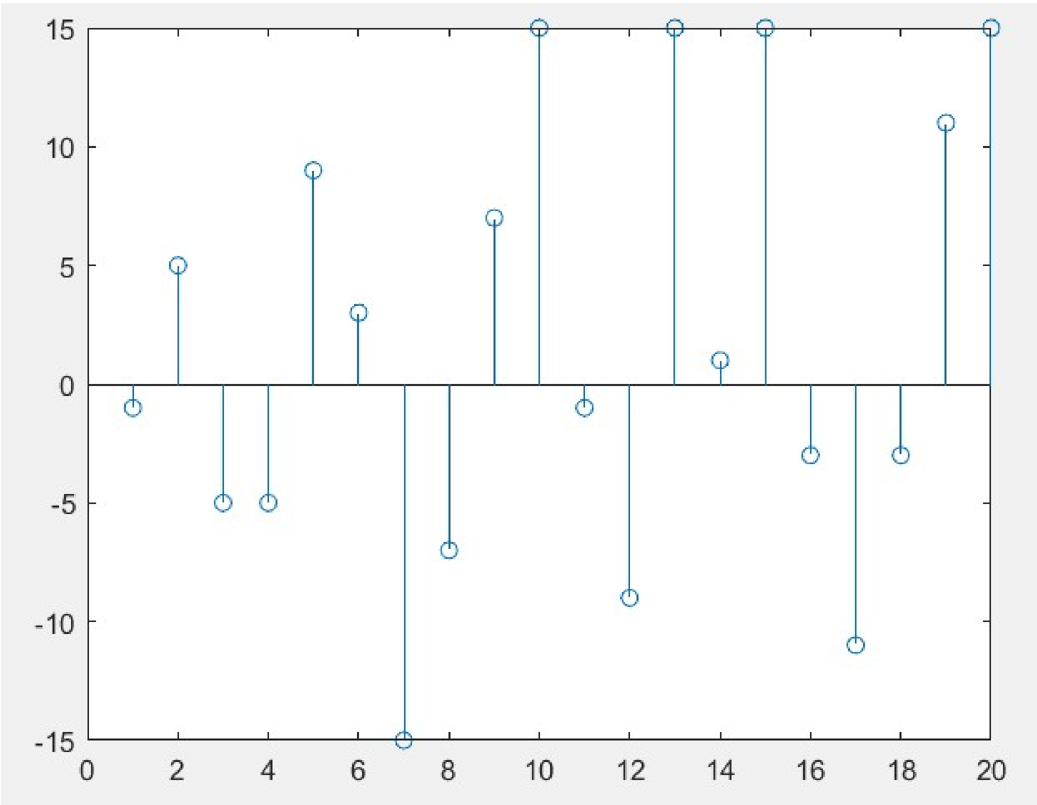
```
>> ask_errors(3,40000,20,16)

ans =

        8267
```

```
>> ask_errors_3(4,40000,20,12)

ans =

        8352
```

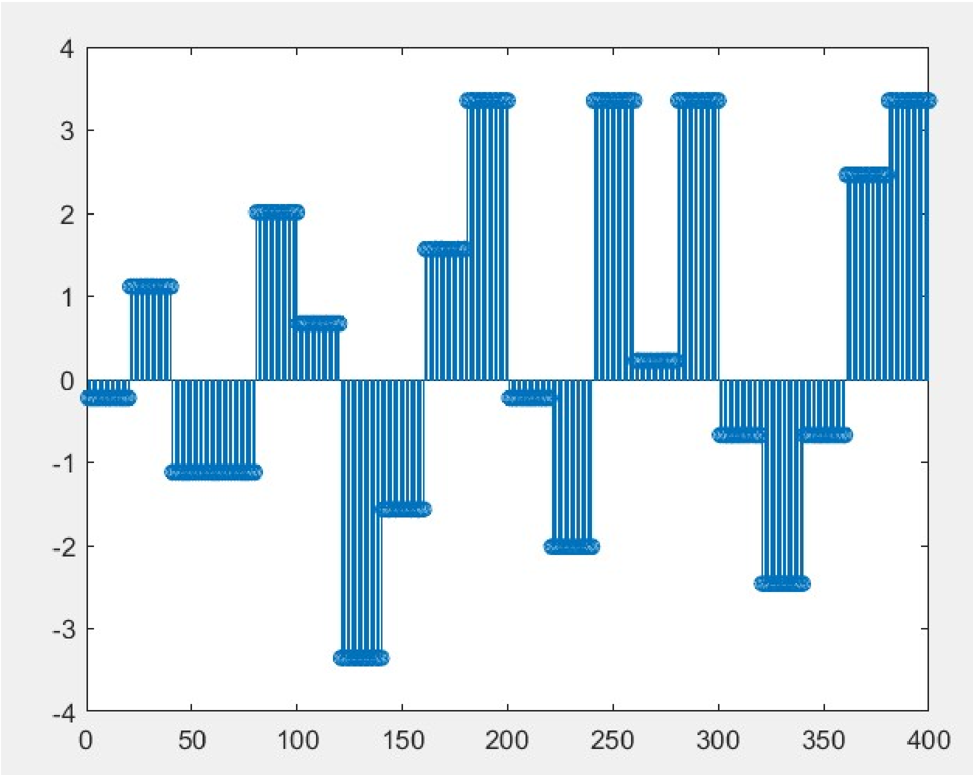
```
>> ask_errors_3(3,40000,20,16)

ans =

        8262
```

(β)

figure; stem(x(1:20));

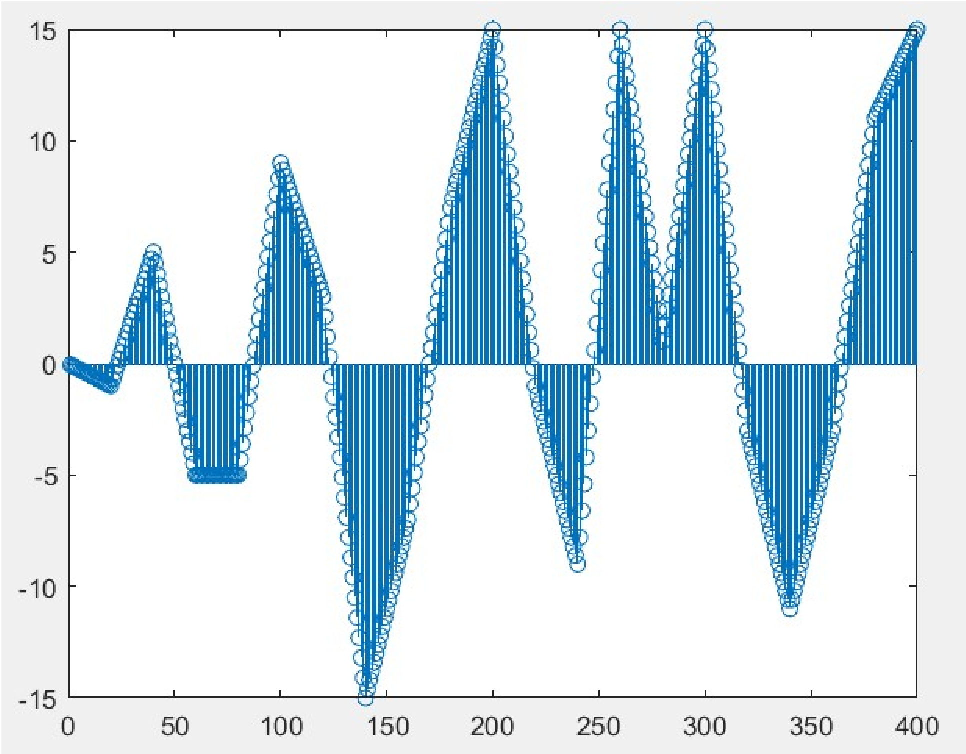


```
figure; stem(y(1:20*nsamp));
```



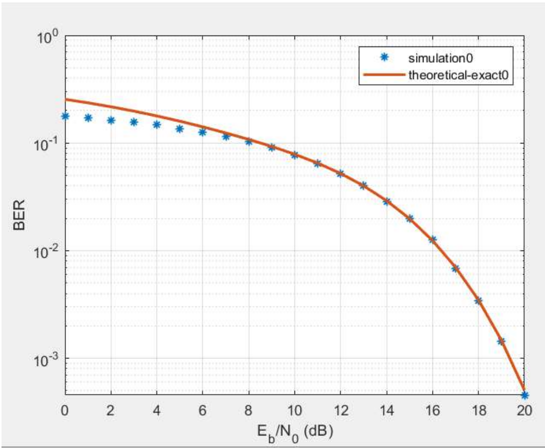
Το σχήμα δείχνει μια γραφική παράσταση του y ως προς το χρόνο. Με την εντολή upsample παραγεμίζουμε με nsamp-1 μηδενικά ανάμεσα από τα δείγματα του x, στη συνέχεια γίνεται συνέλιξη των κρουστικών παλμών του upsampled y με τον ορθογωνικό παλμό h και τέλος περικόπτεται η ουρά της συνέλιξης. Το διάγραμμα δείχνει ένα σταθερό πλάτος για κάθε τιμή του x, το οποίο είναι αναμενόμενο δεδομένης της προσπάθειας να ληφθεί ένας τετραγωνικός παλμός.

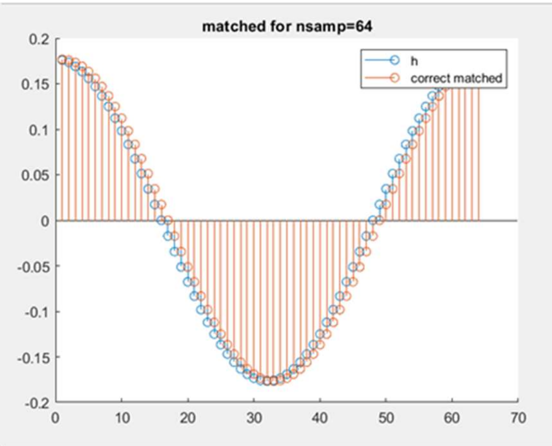
```
figure; stem(yrx(1:20*nsamp));
```



Στο τελευταίο σχήμα απεικονίζονται οι πρώτες 20 τιμές nsamp του σήματος yrx σε διακριτό χρόνο. Θεωρώντας μηδενικό θόρυβο, περνάμε το y από το προσαρμοσμένο φίλτρο, όπου το y είναι τετραγωνικός παλμός όμοια με το h. Η συνέλιξη ορθογωνίου με ορθογώνιο δίνει τριγωνικό παλμό, το οποίο αποδίδεται στο σχήμα. Το σχήμα αυτό δείχνει την τιμή του παλμού που μεταδίδεται σε κάθε χρονική στιγμή.

(γ)

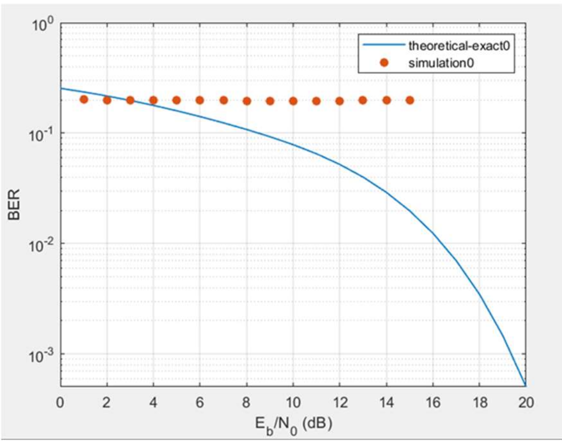


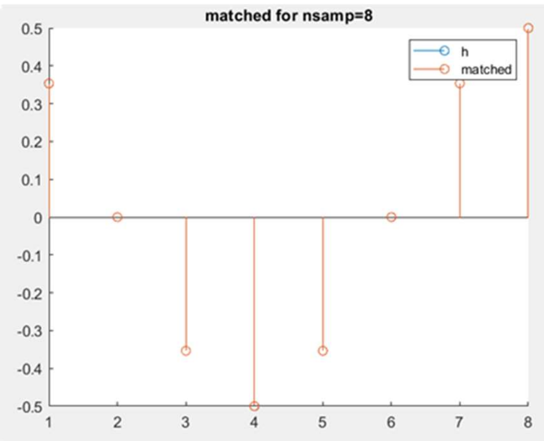


Η συνάρτηση h μπορεί να αποτελέσει συνημίτονο σήμα αντί για τετραγωνικό χωρίς να επηρεάσει τα πειραματικά αποτελέσματα του 16-ASK.

Όταν χρησιμοποιούμε την εντολή <u>*matched=h;*</u> Παίρνουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα για τις διάφορες τιμές του nsamp= 8,16,32,64

- nsamp=8

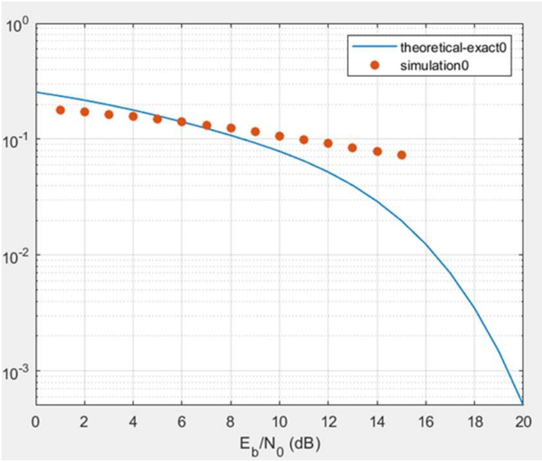


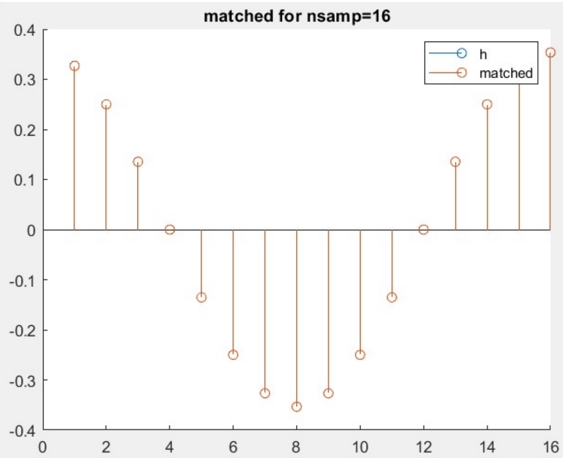



```
ans =

        15755
```

Παρατηρώ ότι το αποτέλεσμα των λαθών είναι αρκετά μεγάλο

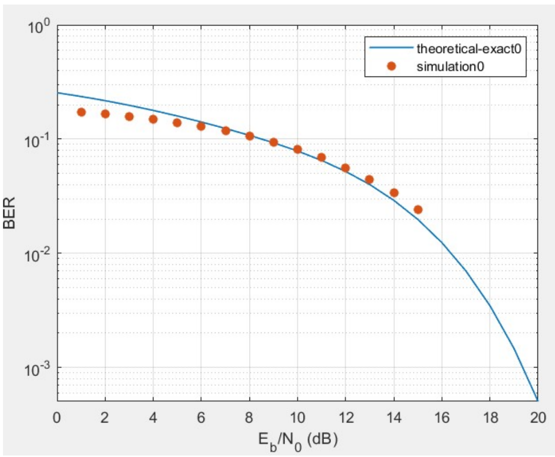
- nsamp=16

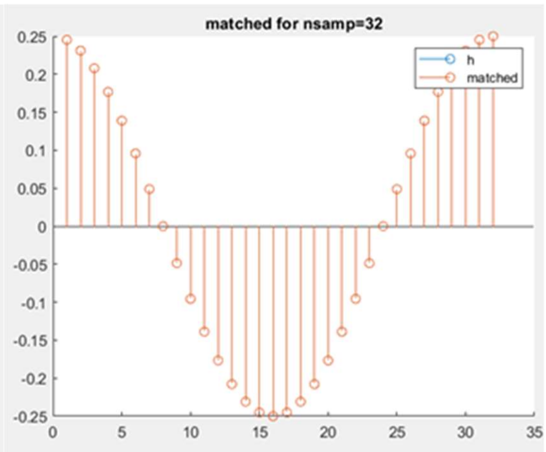





```
>> ask_errors_3g

ans =

        7395
```

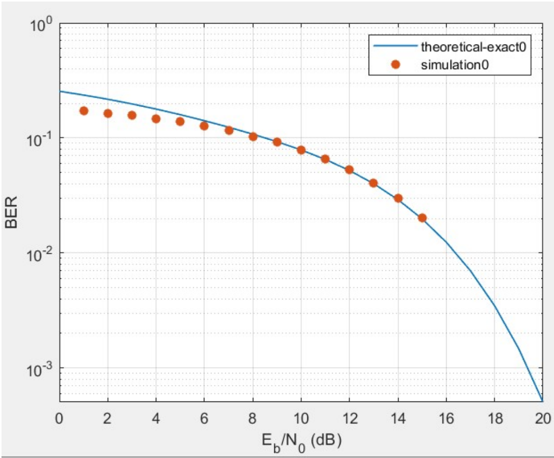
- nsamp=32

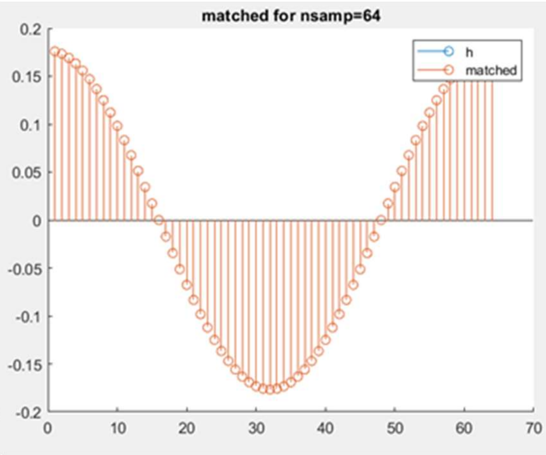





```
>> ask_errors_3g

ans =

        4503
```

- nsamp = 64

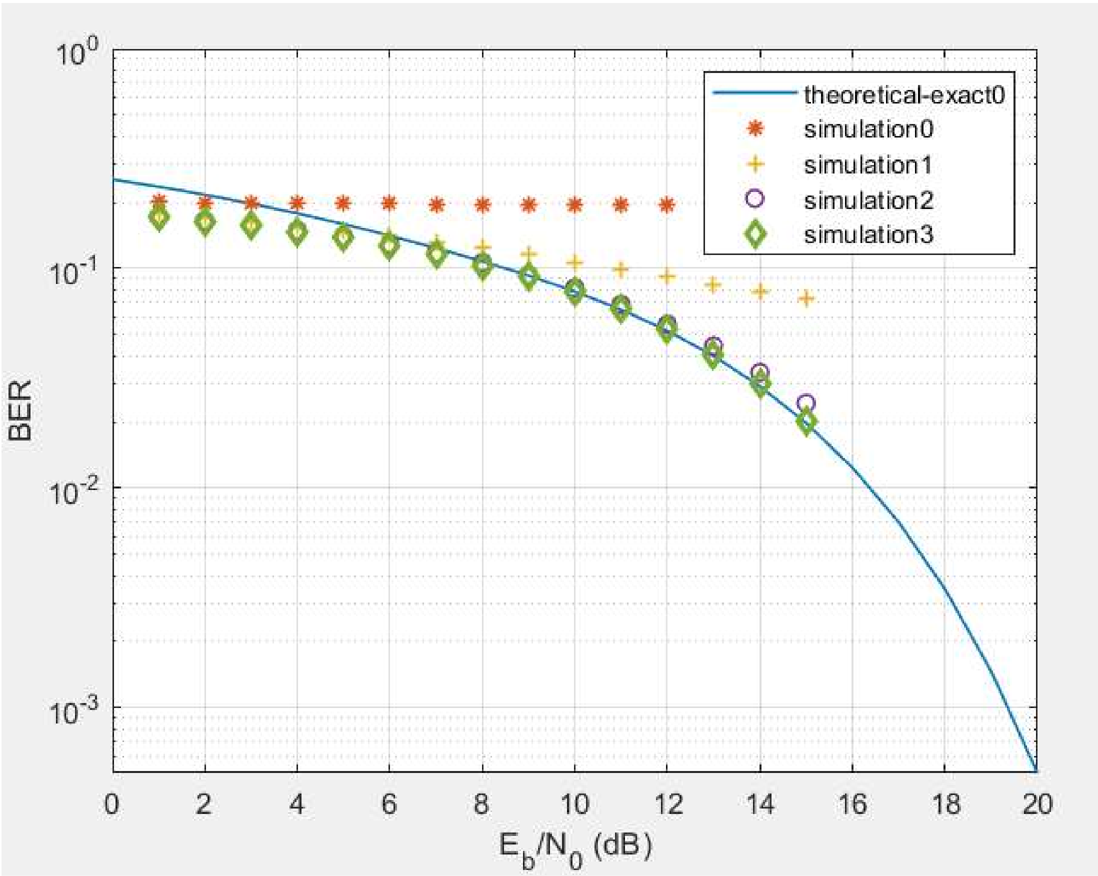





```
Command Window
>> ask_errors_3g

ans =

        4127
```

➢ Παρατηρώ ότι σε μικρές τιμές nsamp (για 8 και 16) τα λάθη στην αναγνώριση των συμβόλων αυξάνονται και τα συνημίτονα δεν απεικονίζονται σωστά. Δηλαδή, δεν υπάρχει συμμετρία στην απεικόνιση των συνημίτονων και δεν είναι ευδιάκριτα τα εκάστοτε μέγιστα και ελάχιστα καθώς η τάξη του φίλτρου είναι μικρή και δεν γίνεται η αντιστροφή στο matched. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο τετραγωνικός παλμός ανταποκρίνεται καλύτερα.
Όσο η τιμή των δειγμάτων αυξάνεται (32, 64) το συνημίτονο είναι ευδιάκριτο και το σύστημα μπορεί να λάβει μια πιο σωστή απόφαση για επιλογή συμβόλου.

➢ <u>Συνολικά με bertool για όλα τα nsamp</u>



Simulation0 : nsamp=8

Simulation1 : nsamp=16

Simulation2 : nsamp=32

Simulation3 : nsamp=64