



**Εθνικό Μετσόβιο
Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων
Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών**

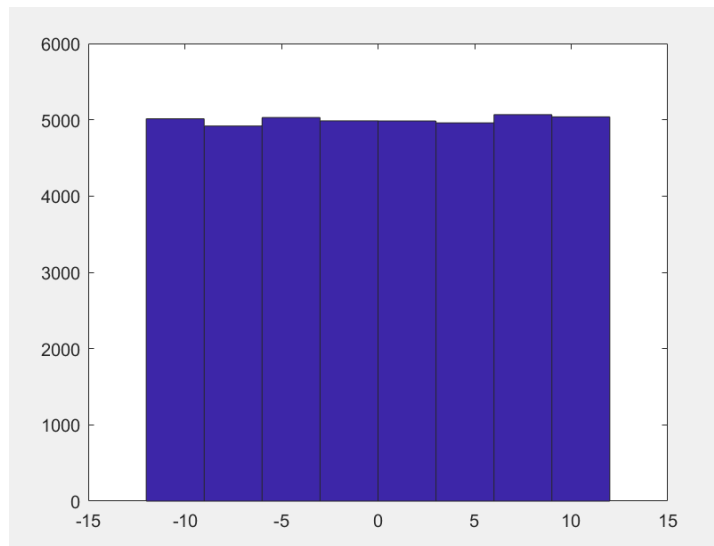
**Ψηφιακές Επικοινωνίες Ι
Εργαστηριακή Άσκηση 3**

Ελευθερία Αρκαδοπούλου

el19442

Μέρος 1^ο: Διερεύνηση του κώδικα εξομοίωσης

- α) Τροποποιούμε τον κώδικα, ώστε τα L στοιχεία του διανύσματος να λαμβάνουν τιμές στο σύνολο $\{\pm d/2, \pm 3d/2, \pm 5d/2 \dots\}$. Θέτουμε $d=3$, $k=3$. Το ιστόγραμμα έχει ως εξής:

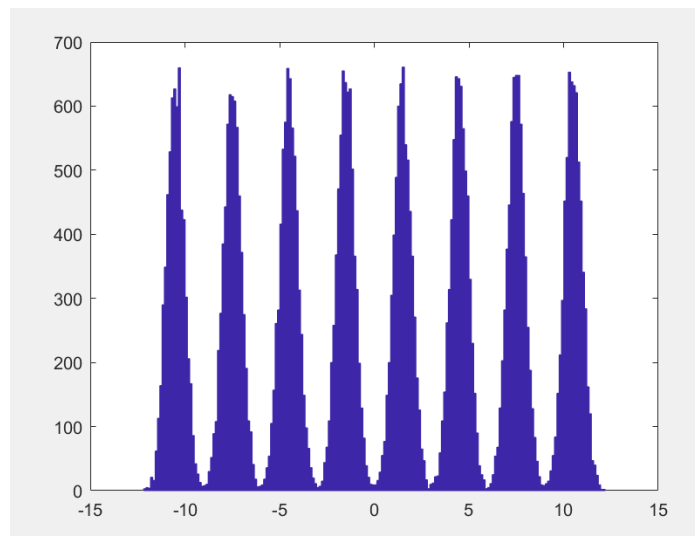


Άρα, τα στοιχεία του x ακολουθούν πράγματι ομοιόμορφη κατανομή.

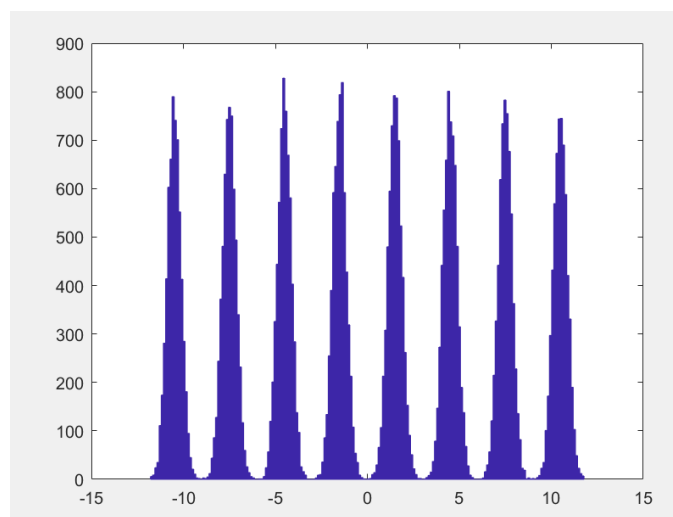
Ο κώδικας:

```
function errors=ask_errors(k,Nsymb,nsamp,EbNo, d)
% k = mod(19442,2) + 3 = 0+3 = 3
d=3;
k=3;
Nsymb=40000;
L=2^k;
SNR=EbNo-10*log10(nsamp/2/k);
x=d/2*(2*floor(L*rand(1,Nsymb))-L+1);
Px=(L^2-1)/3;
sum(x.^2)/length(x);
y=rectpulse(x,nsamp);
n=wgn(1,length(y),10*log10(Px)-SNR);
ynoisyy=y+n;
y=reshape(ynoisyy,nsamp,length(ynoisyy)/nsamp);
matched=ones(1,nsamp);
z=matched*y/nsamp;
A=[(-L+1)*d/2:d:(L-1)*d/2];
%disp(A);
figure(1)
hist(x,A);
pause
for i=1:length(z)
    [m,j]=min(abs(A-z(i)));
    z(i)=A(j);
end
err=not(x==z);
errors=sum(err);
end
```

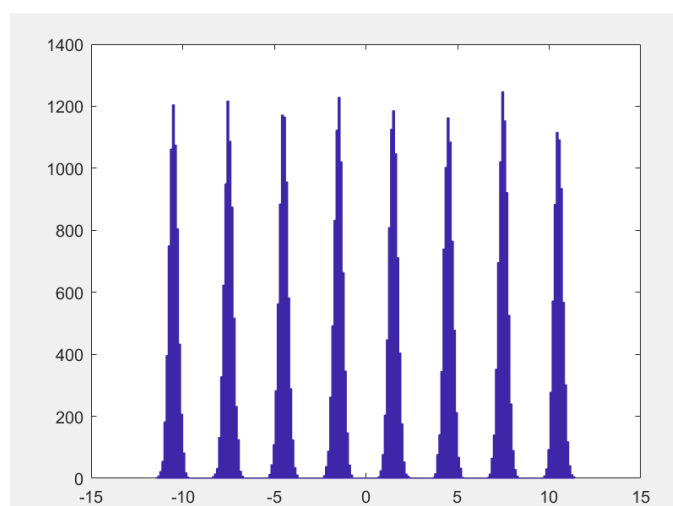
b) Θέτουμε $k=3$, $M=50000$, $nsamp=16$. Για $E_bN_0=12$, το ζητούμενο ιστόγραμμα:



$E_bN_0=14$:



$E_bN_0=18$:



Παρατηρούμε ότι, όσο μεγαλώνει ο λόγος E_b/N_0 το ιστόγραμμα αραιώνει, οι στάθμες (διάκριση μεταξύ των πλατών) γίνονται πιο ξεκάθαρες και οι επικαλύψεις μειώνονται. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι μειώνεται και ο αριθμός των σφαλμάτων.

- c) Η εντολή 20 `[y=reshape(ynoisy, nsamp, length(ynoisy)/nsamp)]` αποθηκεύει στο `y` τις τιμές του `ynoisy` και ορίζει το μέγεθος του `y` σε `nsamp X length(ynoisy)/nsamp`.

Η εντολή 22 `[z=matched*y/nsamp]` δίνει τη συσχέτιση του `y` με το προσαρμοσμένο φίλτρο.

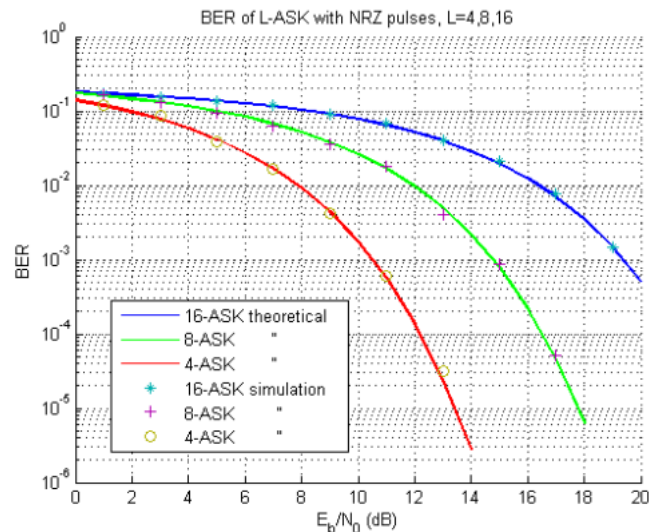
Η μεταβλητή `y` είναι πίνακας διαστάσεων `16x50000`.

Η μεταβλητή `z` είναι πίνακας διαστάσεων `1x50000`.

Η μεταβλητή `matched` είναι διάνυσμα διάστασης 16.

- d) Ο βρόχος 24-27 κάνει αντιστοίχιση των τιμών του `z` με το πιο πιθανό σύμβολο στο οποίο αντιστοιχούν. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε τιμή του `z` (δηλαδή για κάθε στοιχείο που λαμβάνουμε) υπολογίζει την μικρότερη απόσταση μεταξύ αυτού και κάθε στοιχείου του πίνακα με τα πλάτη συμβόλων. Έτσι, βρίσκει το κοντινότερο σύμβολο στη συγκεκριμένη τιμή του `z` και κάνει την αντιστοίχιση, σύμφωνα με την πιο πιθανή περίπτωση.

Μέρος 2^ο: Καμπύλες επίδοσης (BER συναρτήσει του σηματοθορυβικού λόγου)



Από την καμπύλη 8-ASK (πράσινο), οι τιμές BER για $E_b/N_0 = \{9, 11, 13, 15\}$ dB είναι $\{3 \cdot 10^{-2}, 2 \cdot 10^{-2}, 4 \cdot 10^{-3}, 8 \cdot 10^{-4}\}$ αντίστοιχα.

- α) Γράφουμε κύριο πρόγραμμα το οποίο σχεδιάζει την καμπύλη με χρήση της σχέσης (3.33) $P_e = \frac{L-1}{L} * \text{erfc}\left(\sqrt{3 \log_2 L * \frac{E_b}{(L^2-1) * N_0}}\right)$, υπολογίζοντας με αυτόν τον τρόπο το θεωρητικό BER, και καλεί τη συνάρτηση ask_errors για υπολογισμό των διακριτών σημείων. Σημειώνεται ότι στο πρόγραμμα καλείται η αρχική συνάρτηση ask_errors (ask_errors1) όπως αυτή δίνεται από την εκφώνηση της άσκησης (επισυνάπτεται και αυτή στον συμπιεσμένο φάκελο) και όχι η τροποποιημένη εκδοχή.

```
clear all;
close all;
clc;

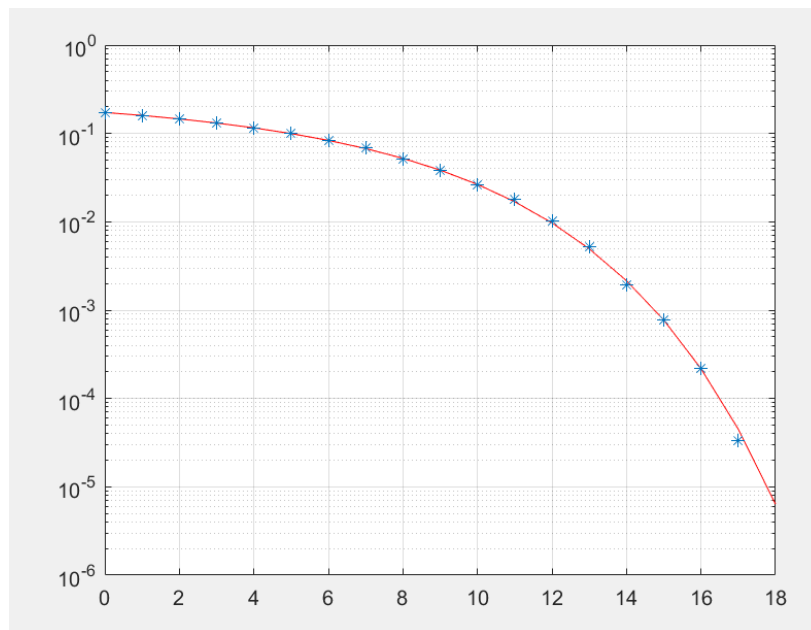
k=3;
L=2^k;
EbNoNum=0:18;
EbNo=10.^(EbNoNum/10); %se dB
Pe=(L-1)/L*erfc(sqrt(3*log2(L)/(L^2-1)*EbNo)); %sxesi 3.33
BER=Pe/k;

for i=1:length(EbNoNum)
    errors(i)=ask_errors1(k,20000,16,EbNoNum(i));
end

Pe_new=errors/20000;
BER_new=Pe_new/k;

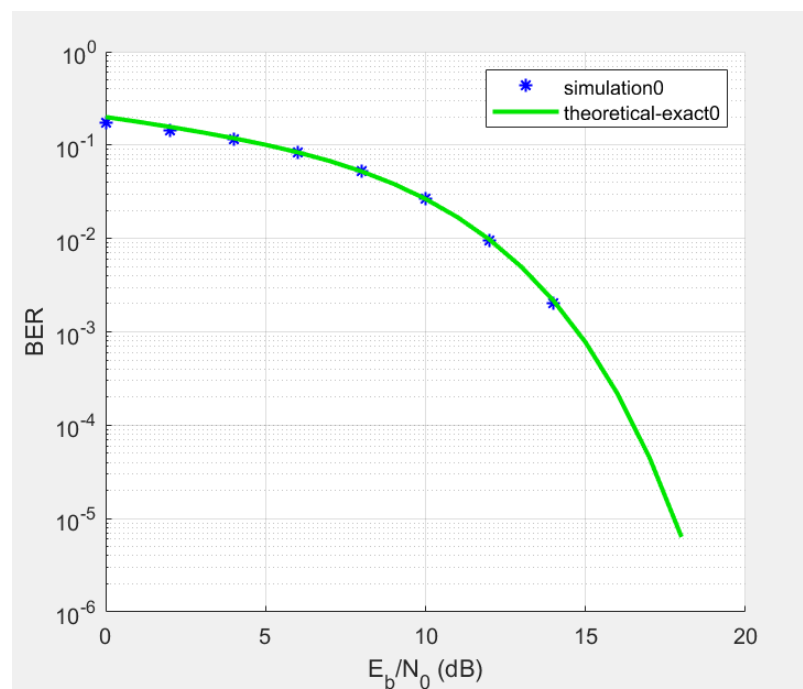
figure(1);
semilogy(EbNoNum,BER,'r',EbNoNum,BER_new,'*')
axis([0 18 10^(-6) 10^0]);
grid on;
```

Η καμπύλη:



Παρατηρούμε ότι τα διακριτά σημεία πέφτουν πάνω στην θεωρητική καμπύλη (με μικρή απόκλιση), γεγονός που επιβεβαιώνει τους θεωρητικούς υπολογισμούς μας.

b) Σχεδιάζουμε την καμπύλη, αυτή τη φορά με χρήση του bertool:



Παρατηρούμε ότι η καμπύλη παραμένει η ίδια, γεγονός που επιβεβαιώνει τους θεωρητικούς μας υπολογισμούς και την ορθή λειτουργία του προγράμματός μας.

Σημειώνεται ότι για τη χρήση του bertool δημιουργήθηκε ξεχωριστό αρχείο ask_ber_func με τις κατάλληλες τιμές μεταβλητών, το οποίο και επισυνάπτεται στον συμπιεσμένο φάκελο.

Μέρος 3^ο: Υλοποίηση με συνέλιξη – Χρήση άλλων παλμών

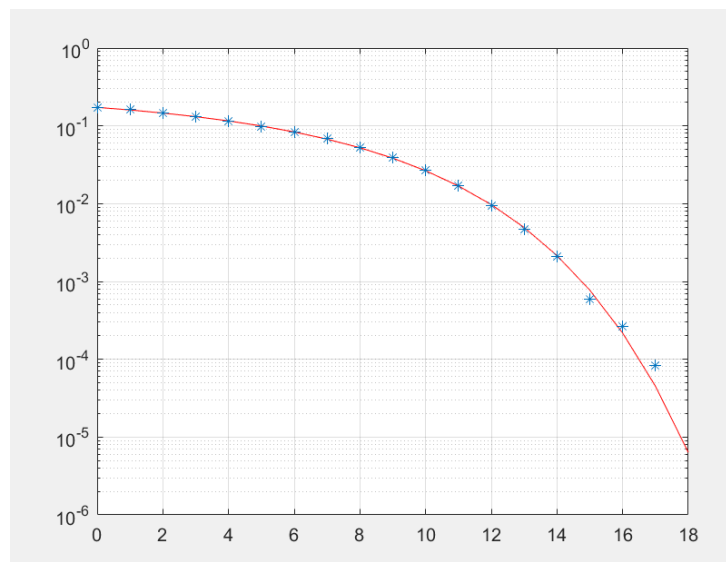
- a) Στο πρόγραμμα του ερωτήματος 2α, αντικαθιστούμε το ask_errors1 με το lab3_3_19442, προκειμένου να επαληθεύσουμε αν με τις αλλαγές στον κώδικα του ask_errors παράγουμε τα ίδια αποτελέσματα, μέσω του σχεδιασμού της καμπύλης. Ο κώδικας:

```
function errors=ask_errors(k,Nsymb,nsamp,EbNo)
L=2^k;
SNR=EbNo-10*log10(nsamp/2/k);
x=2*floor(L*rand(1,Nsymb))-L+1;
Px=(L^2-1)/3;
sum(x.^2)/length(x);
h=ones(1,nsamp);
h=h/sqrt(h*h'); % κρουστική απόκριση φίλτρου πομπού (ορθογωνικός παλμός μοναδιαίας ενέργειας)
y=upsample(x,nsamp); % μετατροπή στο πυκνό πλέγμα
y=conv(y,h); % το προς εκπομπή σήμα
y=y(1:Nsymb*nsamp); % περικόπτεται η ουρά που αφήνει η συνέλιξη
ynoisyy=awgn(y,SNR,'measured'); % θορυβώδες σήμα

for i=1:nsamp
    matched(i)=h(end-i+1);
end

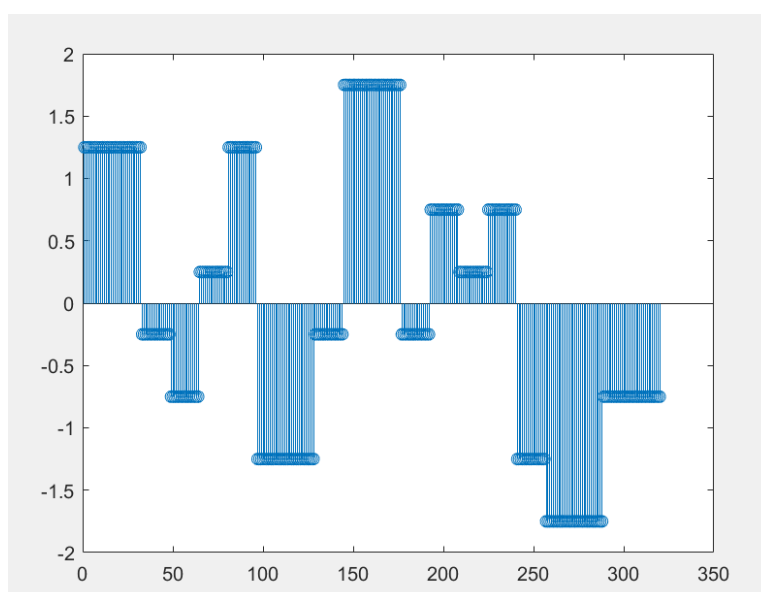
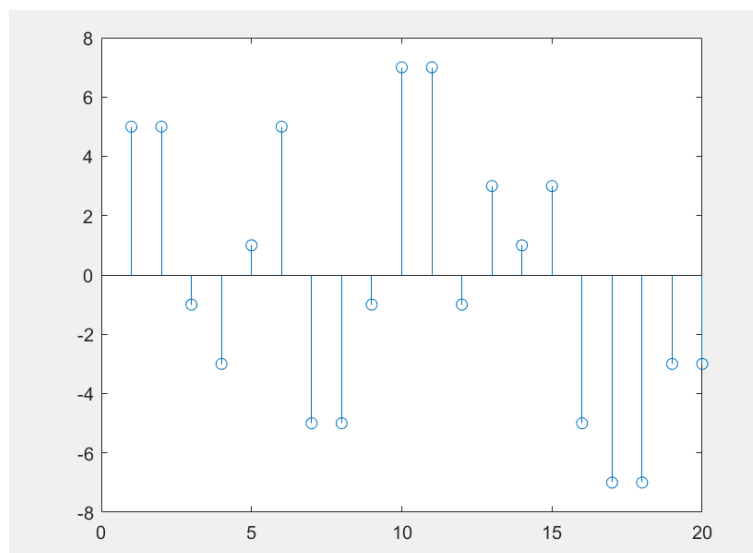
yrx=conv(ynoisyy,matched);
z = yrx(nsamp:nsamp:Nsymb*nsamp);
A=[-L+1:2:L-1];
figure; stem(x(1:20));
figure; stem(y(1:20*nsamp));
figure; stem(yrx(1:20*nsamp));
for i=1:length(z)
    [m,j]=min(abs(A-z(i)));
    z(i)=A(j);
end
err=not(x==z);
errors=sum(err);
end
```

Η καμπύλη που παράγεται έχει ως εξής:

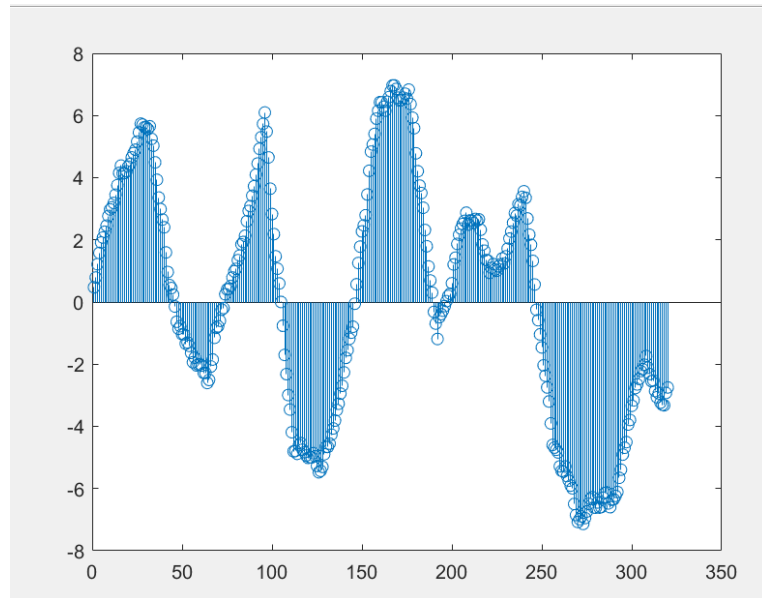


Άρα, επιβεβαιώνουμε ότι τα αποτελέσματα είναι ίδια.

b) Μετά τις αλλαγές στον κώδικα του προγράμματος, τα αποτελέσματα που παράγονται έχουν ως εξής:

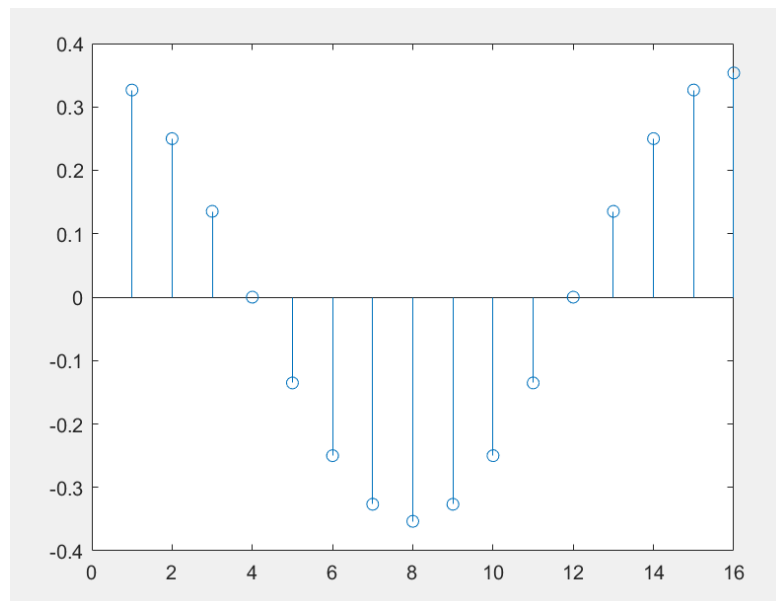


Το δεύτερο διάγραμμα απεικονίζει τις $20 \cdot n_{\text{samp}} = 20 \cdot 16 = 320$ πρώτες τιμές του προς εκπομπή σήματος y . Παρατηρούμε ότι το πλάτος των παλμών είναι σταθερό, γεγονός που εξηγείται από το ότι το σήμα αποτελεί συνέλιξη των x , h (τετραγωνικός παλμός).

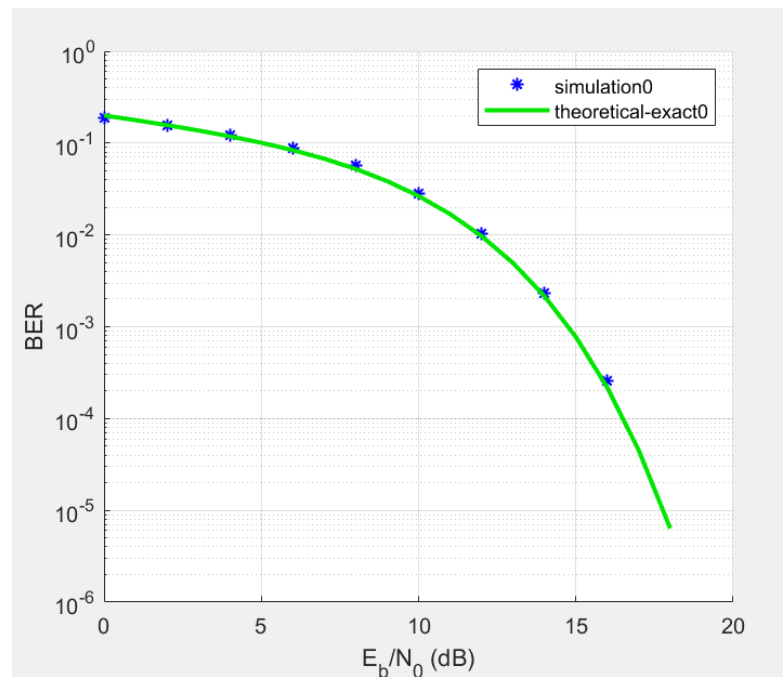


Το τρίτο διάγραμμα απεικονίζει τις 320 πρώτες τιμές του y_{rx} , της συνέλιξης δηλαδή του y με το προσαρμοσμένο φίλτρο.

- c) Αντικαθιστούμε τον τετραγωνικό παλμό h με $h = \cos(2\pi \cdot (1:nsamp)/nsamp)$; $h = h/\sqrt{h \cdot h'}$; Χρησιμοποιούμε $nsamp=16$. Ο ημιτονικός παλμός:

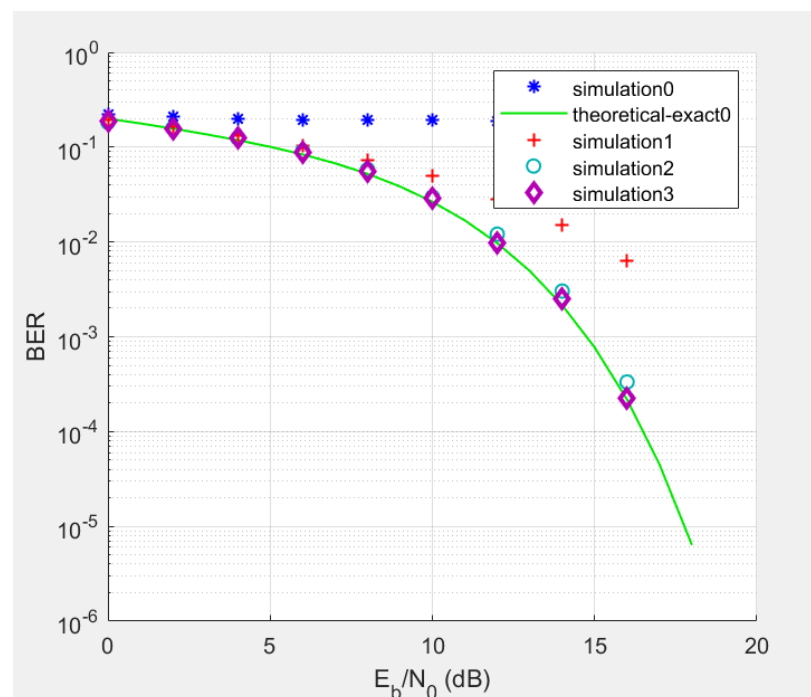


Με χρήση του bertool, η καμπύλη:



Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει διαφορά ανάμεσα στη νέα καμπύλη και με αυτήν που είχαμε με τετραγωνικό παλμό h .

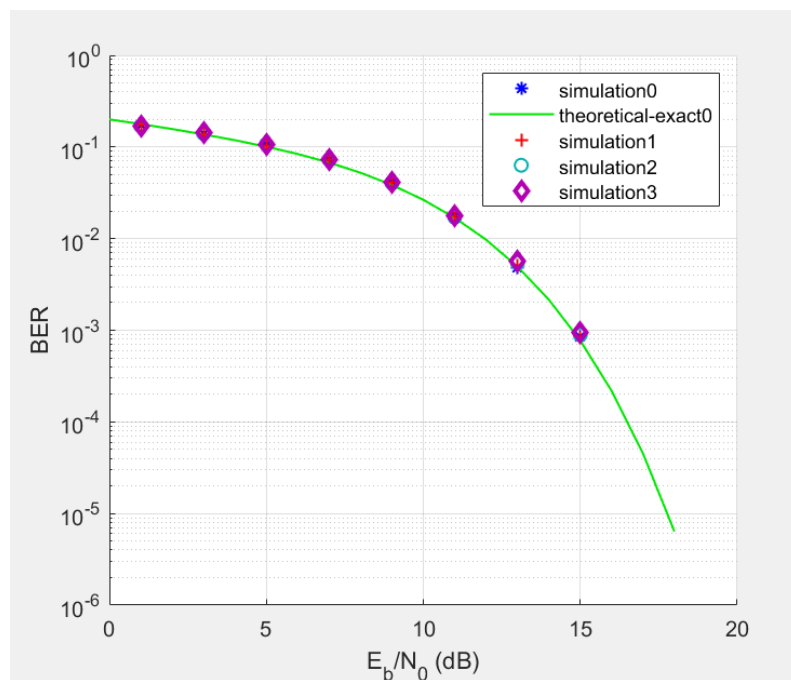
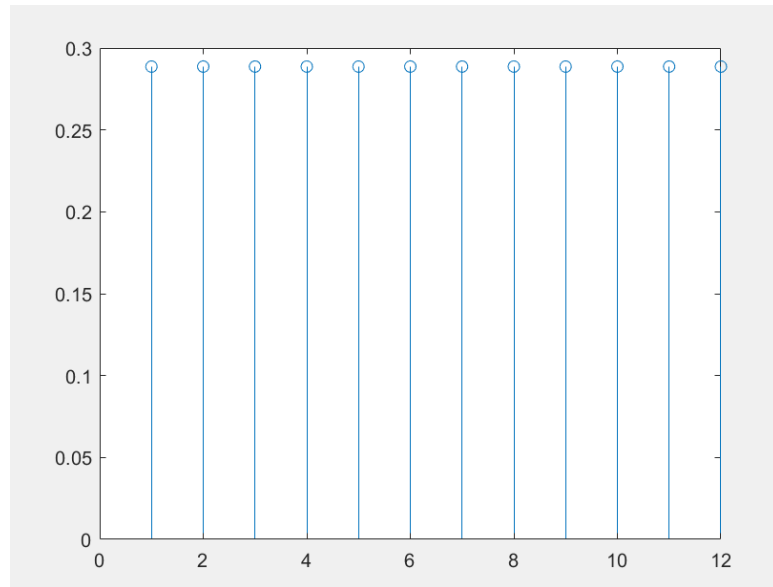
Με επαναφορά της $matched=h$, έχουμε τα εξής αποτελέσματα (με συνεχόμενες προσομοιώσεις αντίστοιχα για $nsamp=8,16,32,64$):



Παρατηρούμε ότι για τον ημιτονικό παλμό, ο αριθμός των δειγμάτων παίζει ρόλο. Πιο συγκεκριμένα, για μικρό αριθμό δειγμάτων η καμπύλη σημείων αποκλίνει κατά πολύ από την θεωρητική, ενώ όσο αυξάνεται ο αριθμός οι καμπύλες που προκύπτουν τείνουν να ταυτιστούν με αυτή. Αυτό το

αποδίδουμε στο γεγονός ότι για μικρό αριθμό δειγμάτων ο παλμός δεν είναι πλήρως συμμετρικός, και άρα δεν γίνεται σωστά η συνέλιξη με το σήμα.

Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για τετραγωνικό παλμό η:



Παρατηρούμε ότι, σε αντίθεση με τον ημιτονικό παλμό, η διαφορά στο nsamp (8, 16, 32, 64 αντίστοιχα) δεν παίζει ρόλο στην καμπύλη που προκύπτει από τα σημεία, καθώς όλες οι προκύπτουσες καμπύλες ταυτίζονται (με τις μικρές αναμενόμενες αποκλίσεις) με τη θεωρητική.