

ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ Ι Ακ. Έτος 2022-23

Κουράκου Σοφία 03120869

Εργαστηριακή Άσκηση 4 Φίλτρα Nyquist

Μέρος 1: Παραγωγή σήματος με φίλτρα Nyquist – Διαγράμματα χρόνου και συχνότητας

- Κωδικοποίηση Gray

Φτιάχνουμε δυαδικό διάνυσμα x και το κωδικοποιώ κατά Gray σε 8-ASK σύμβολα με $\text{step}=2$. Δημιουργούμε το διάνυσμα mapping το οποίο είναι : $\text{mapping} = [7 \ 5 \ 1 \ 3 \ -7 \ -5 \ -1 \ -3]$

Στη συνέχεια, τα bits προς αποστολή του x ομαδοποιούνται ανά $k=3$ σε διάνυσμα $y1$, το κάθε ένα αντιστοιχίζεται σε ένα από τα πλάτη του διανύσματος mapping .

```
%Παραγωγή σήματος με φίλτρα Nyquist
%Διαγράμματα χρόνου και συχνότητας
L=8; step=2; k=log2(L); nsamp=32; Nsymb=10000;
EbNo=24;

% Διάνυσμα τυχαίων bits
x=randi([0,1],1,Nsymb*k);
% Κωδικοποίηση Gray
mapping=[step/2; -step/2];
if(k>1)
    for j=2:k
        mapping=[mapping+2^(j-1)*step/2; ...
            -mapping-2^(j-1)*step/2];
    end
end;
xsym=bi2de(reshape(x,k,length(x)/k).','left-msb');
y1=[];
for i=1:length(xsym)
    y1=[y1 mapping(xsym(i)+1)];
end
```

- Ορίζουμε τις παραμέτρους από την εκφώνηση και τελικά, το σήμα $r\text{Nyquist}$ (root raised cosine). Γίνεται υπερ-δειγματοληψία στο y και μέσω συνέλιξης παράγεται το σήμα στην έξοδο του δέκτη. Περικόπτουμε τις ουρές του σήματος εξόδου (y_{rx}).

```

% Σήμα Εκπομπής
% Υπερδειγμάτωση και εφαρμογή φίλτρου rNyquist
y=upsample(y1,nsamp);
ytx = conv(y,rNyquist);

% Σήμα Λήψης
% Φιλτράρισμα σήματος με φίλτρο τετρ. ρίζας ανυψ. συνημ.
yrx=conv(ynoisy,rNyquist);
yrx= yrx(filterorder+1:end-filterorder); %καθυστέρηση οπότε περικοπή
yr= downsample(yrx,nsamp); % Υποδειγμάτωση

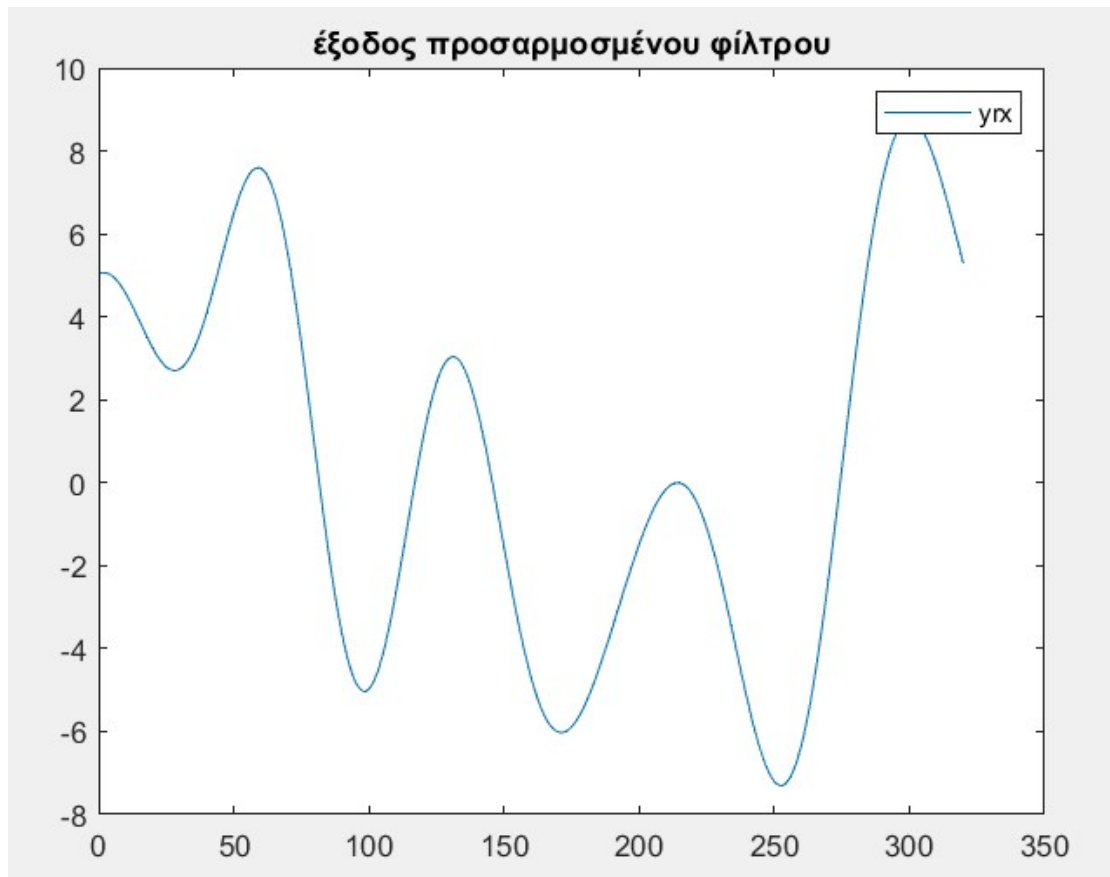
```

- Αναπαράσταση πρώτων 10 περιόδων του σήματος εξόδου του προσαρμοσμένου φίλτρου (yrx)

```

% Γραφικές Παραστάσεις
figure(1); plot(yrx(1:10*nsamp)); title('έξοδος προσαρμοσμένου φίλτρου'); legend('yrx');

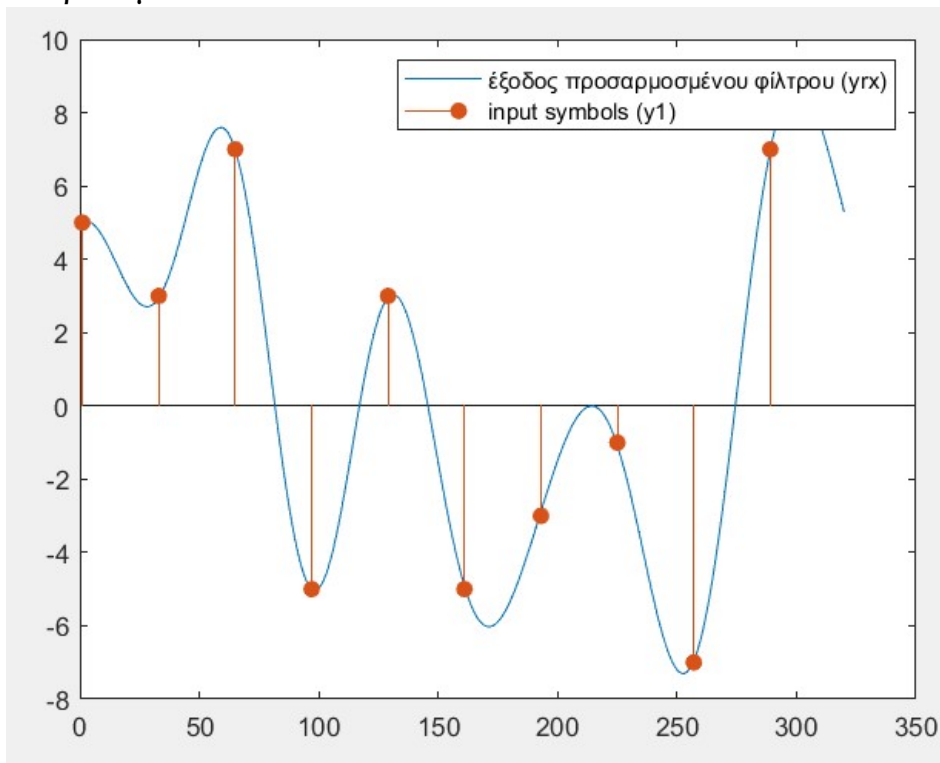
```



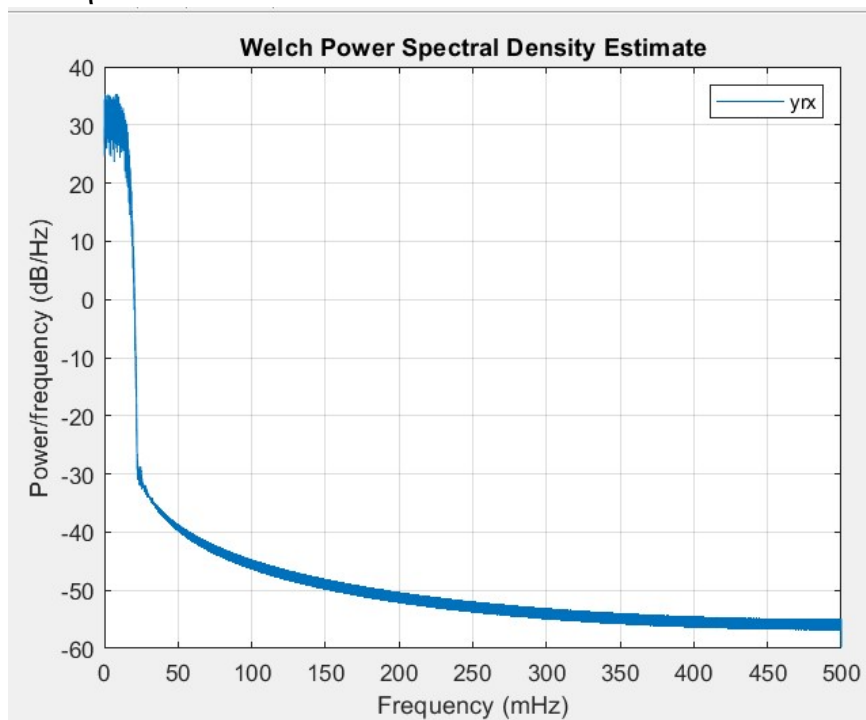
- b. Με την εντολή stem στο τμήμα αυτό, υπερθέτονται τα αντίστοιχα δείγματα του σήματος εισόδου στο πλέγμα περιόδου T

```
figure(2); plot(yrx(1:10*nsamp)); hold on;
stem([1:nsamp:nsamp*10],y1(1:10),'filled'); hold off;
legend('έξοδος προσαρμοσμένου φίλτρου (yrx)', 'input symbols (y1)');
```

Παίρνουμε:



- c. Με την εντολή `pwelch`, σχεδιάζεται το φάσμα του σήματος στο δέκτη



- Παρατηρώ ότι το φάσμα του σήματος προσεγγίζει διάγραμμα ιδανικού βαθυπερατού φίλτρου. Το εύρος ζώνης είναι περίπου 25mHz και ο παράγοντας rolloff $\alpha=0.4$ είναι σχετικά μικρός με αποτέλεσμα να αποκόπτει ιδανικά στη συχνότητα αποκοπής που επιθυμούμε. Συνεπώς, το εύρος ζώνης είναι $(1+\alpha)/2T$ και άρα το φίλτρο Nyquist προσεγγίζει το ιδανικό βαθυπερατό όσο το α μικραίνει.

- Ο ρόλος του διανύσματος mapping

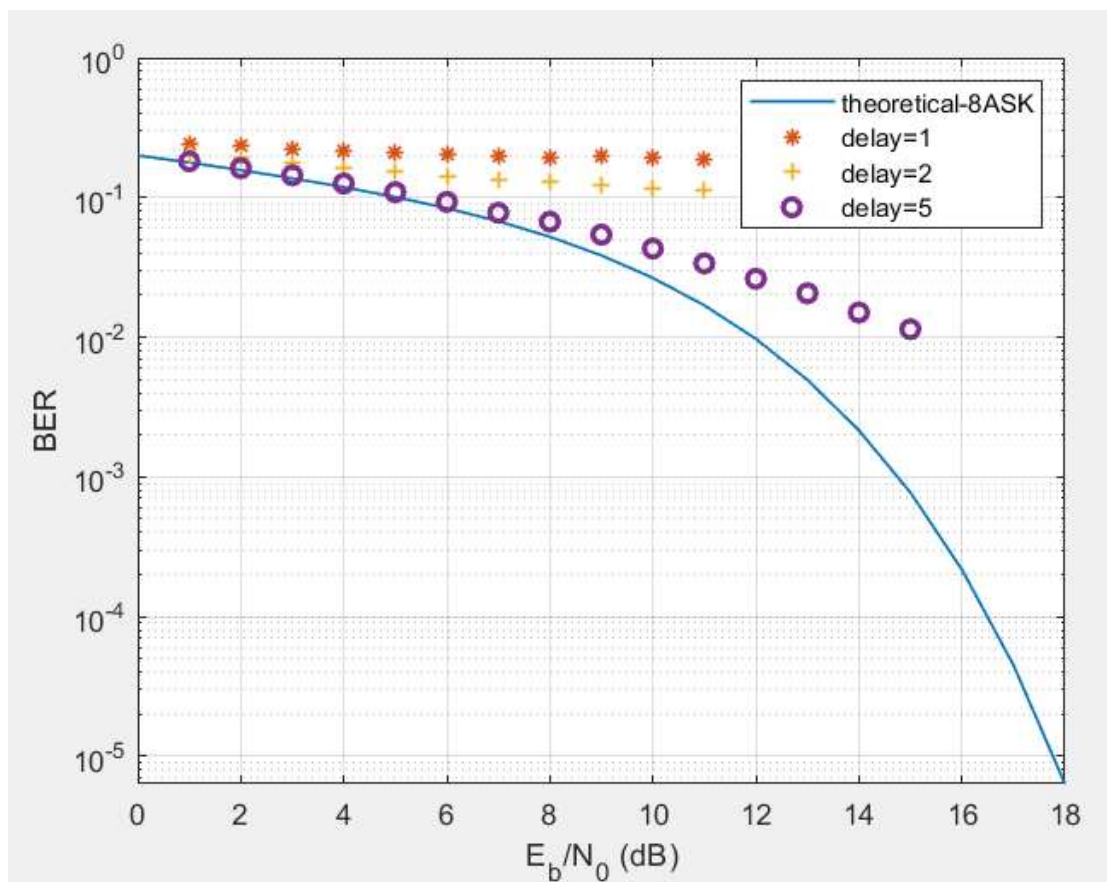
Το διάνυσμα mapping το φτιάχνουμε, σε κωδικοποίηση Gray, προκειμένου να αντιστοιχίσουμε τα bits (0 και 1) της ακολουθίας του διανύσματος x , ανά $k=3$ σε ένα σύμβολο (πλάτος). Περιέχει $L=8$ τιμές και υλοποιείται με επαναληπτικό τρόπο. Συγκεκριμένα στην κωδικοποίηση Gray δυο διαδοχικές τιμές διαφέρουν κατά 1 bit οπότε το mapping καλείται να αναδιατάξει τα πλάτη στη σειρά του κώδικα gray.

Στον κώδικα αυτού του ερωτήματος, με σκοπό την κωδικοποίηση του σήματος φτιάχνουμε αρχικά το σήμα το οποίο για κάθε $k=3$ bits του x έχει την αντίστοιχη τιμή (x_{sym}). Έπειτα, με το mapping φτιάχνεται το y_1 που λειτουργεί σαν 'χώρος' αποθήκευσης των κωδικοποιημένων τιμών που αντιστοιχεί στην κάθε τιμή x_{sym} .

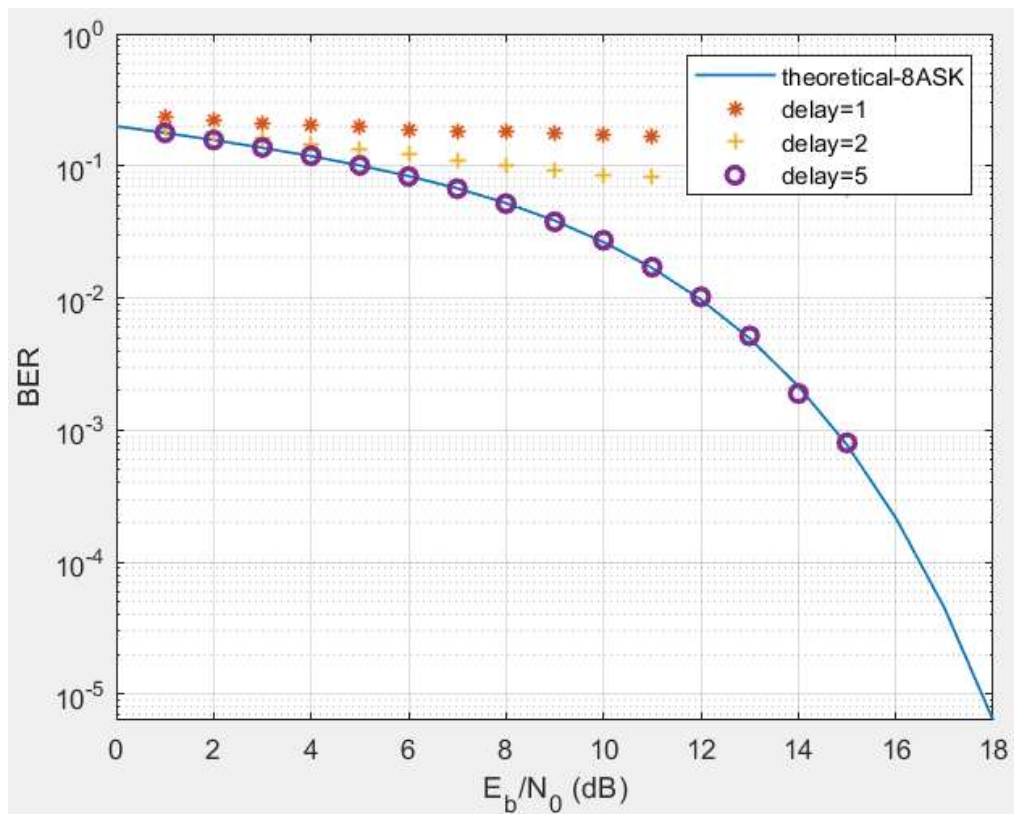
Μέρος 2: Υπολογισμός επίδοσης BER vs E_b/N_0 Μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων: τάξη φίλτρου Nyquist και roll-off

Βάση του κώδικα του παραδείγματος 4.2 φτιάχνουμε τον κώδικα της συνάρτησης `ask_Nyq_filter_2`. Επίσης, βάση της `ask_ber_func` του εργαστηρίου 3, φτιάχνουμε την αντίστοιχη `ask_Nyquist_ber_func`, και με το `bertool` υπολογίζουμε τα ζητούμενα.

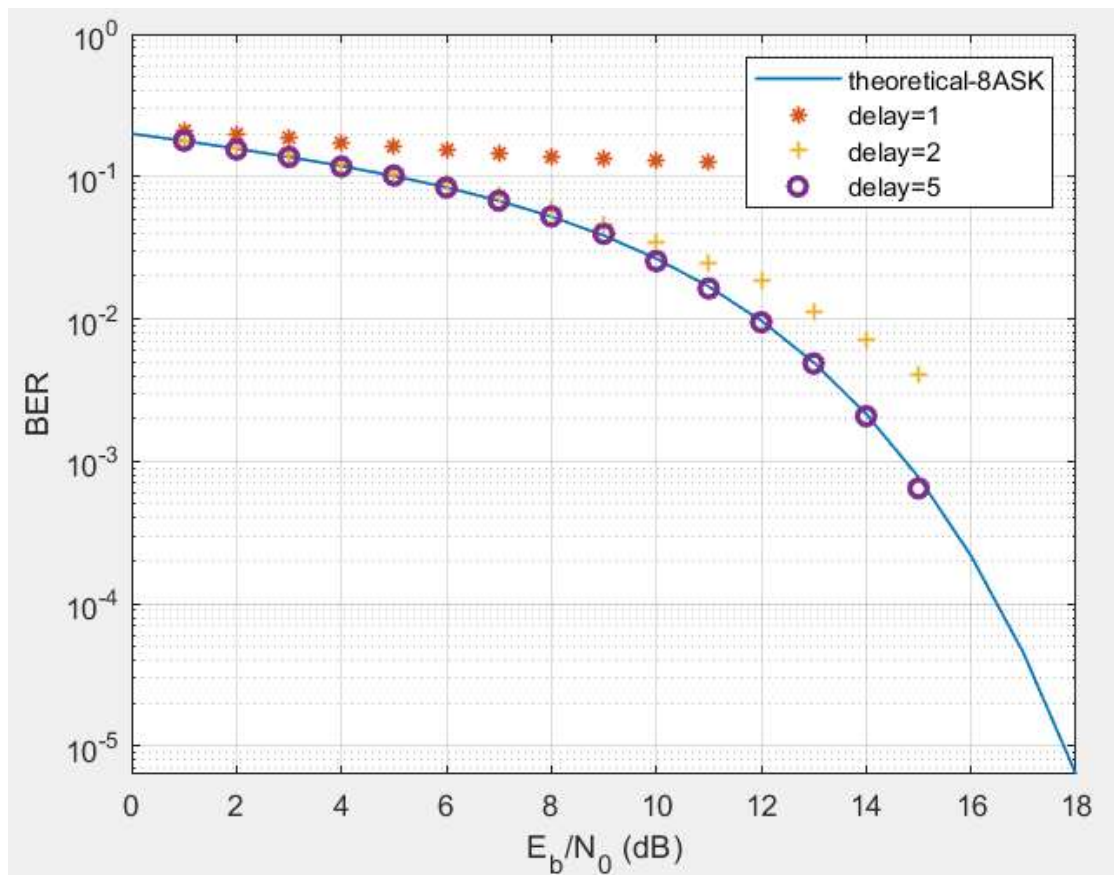
I. roll-off=0.1



II. roll-off=0.2



III. roll-off=0.4

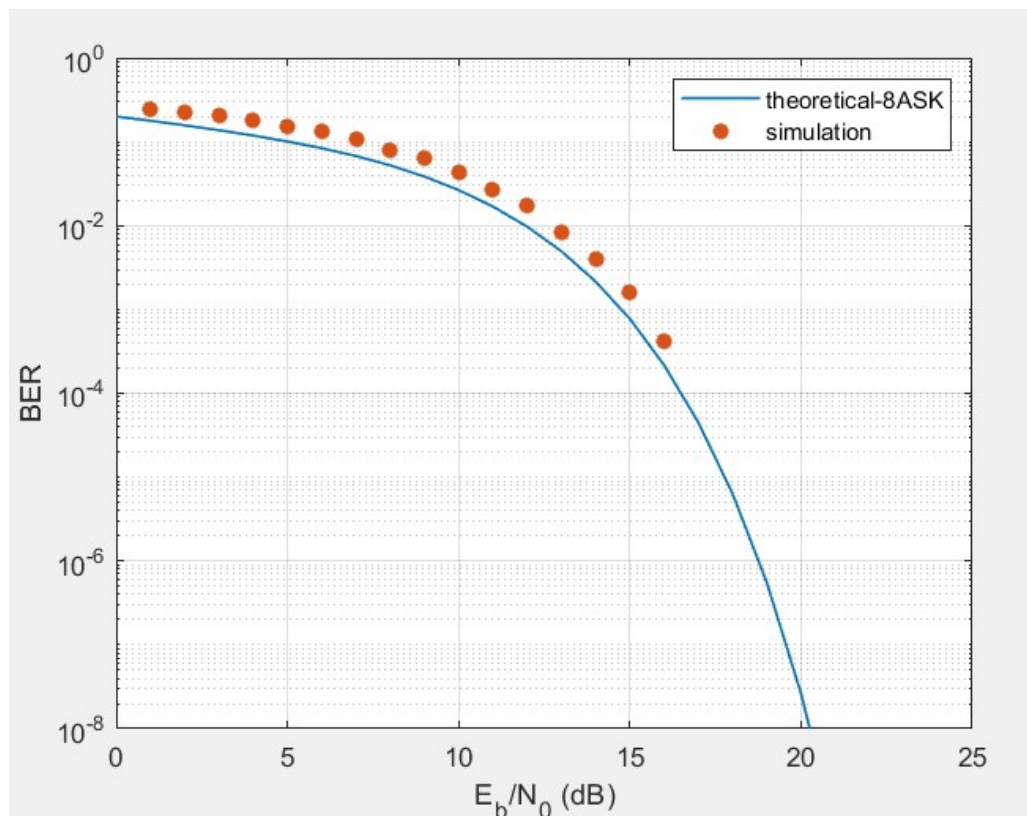


- Παρατηρώ ότι για συγκεκριμένο roll-off, όσο αυξάνεται η τάξη του φίλτρου, δηλαδή το delay, τόσο πιο καλά προσεγγίζει η προσομοίωση την θεωρητική επιθυμητή καμπύλη 8ASK. Αυτό συμβαίνει γιατί αυξάνοντας την τάξη του φίλτρου αυξάνεται το μήκος και η καθυστέρηση που εισάγει, και άρα τα λάθη μειώνονται.
- Επίσης, παρατηρώ ότι όσο το roll-off αυξάνεται τόσο πιο εύκολα προσεγγίζεται η θεωρητική καμπύλη 8ASK ακόμα και σε μικρότερες τιμές τάξης φίλτρου (delay). Όμως η αύξηση του roll-off factor εγκυμονεί κινδύνους καθώς αυτό αφορά φίλτρα στα οποία τα εκπεμπόμενα σύμβολα παρουσιάζουν μια μορφή επικάλυψης το ένα με το άλλο, και έτσι κάνουν πολύ δύσκολη την αναγνώρισή τους.

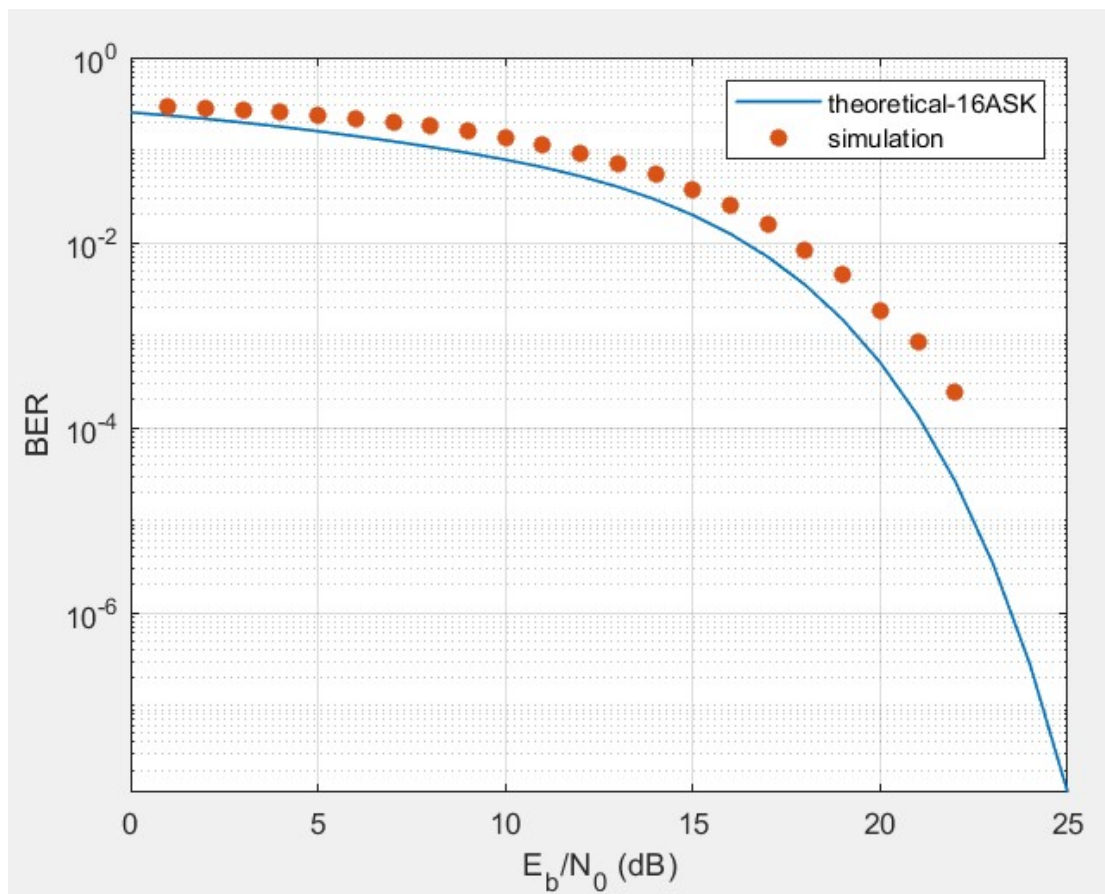
Μέρος 3: Επίδραση του τρόπου κωδικοποίησης: Gray ή άλλη

Αντί της κωδικοποίησης Gray, βάζουμε mapping=-(L-1):step:(L-1)

Για 8-ASK :



Για 16-ASK :



- Μέσα από τα διαγράμματα, βλέπουμε ότι μέσω διαφορετικής κωδικοποίησης αντί της Gray, όσο αυξάνεται ο αριθμός των bits ανά σύμβολο, τα λάθη είναι περισσότερα. Ισχύει ότι με την κωδικοποίηση Gray τα γειτονικά σύμβολα απέχουν κατά 1 bit. Όμως με άλλες κωδικοποιήσεις μπορεί να απέχουν παραπάνω με αποτέλεσμα, αν το κύκλωμα απόφασης του δέκτη λάβει λάθος απόφαση, τα λανθασμένα bits θα είναι περισσότερα.

Μέρος 4: Υπολογισμός παραμέτρων συστήματος

Έχουμε ότι ο ρυθμός μετάδοσης είναι $R=4 \text{ Mbps} = 4 \times 10^6 \text{ bps}$ και $W=1 \text{ MHz} = 1 \times 10^6 \text{ Hz}$. Από αυτά τα δεδομένα βρίσκουμε :

- Τον ρυθμό μετάδοσης συμβόλων (Baud Rate)

$$\frac{R}{\log_2 L} = \frac{1}{T} \Rightarrow \frac{1}{T} = \frac{4 \cdot 10^6}{3} = 1.33 \text{ Msymbols/s Baud Rate}$$

$$\Rightarrow T = 0.75 \cdot 10^{-6} \text{ sec} = 0.75 \mu\text{sec}$$

- Το roll-off factor

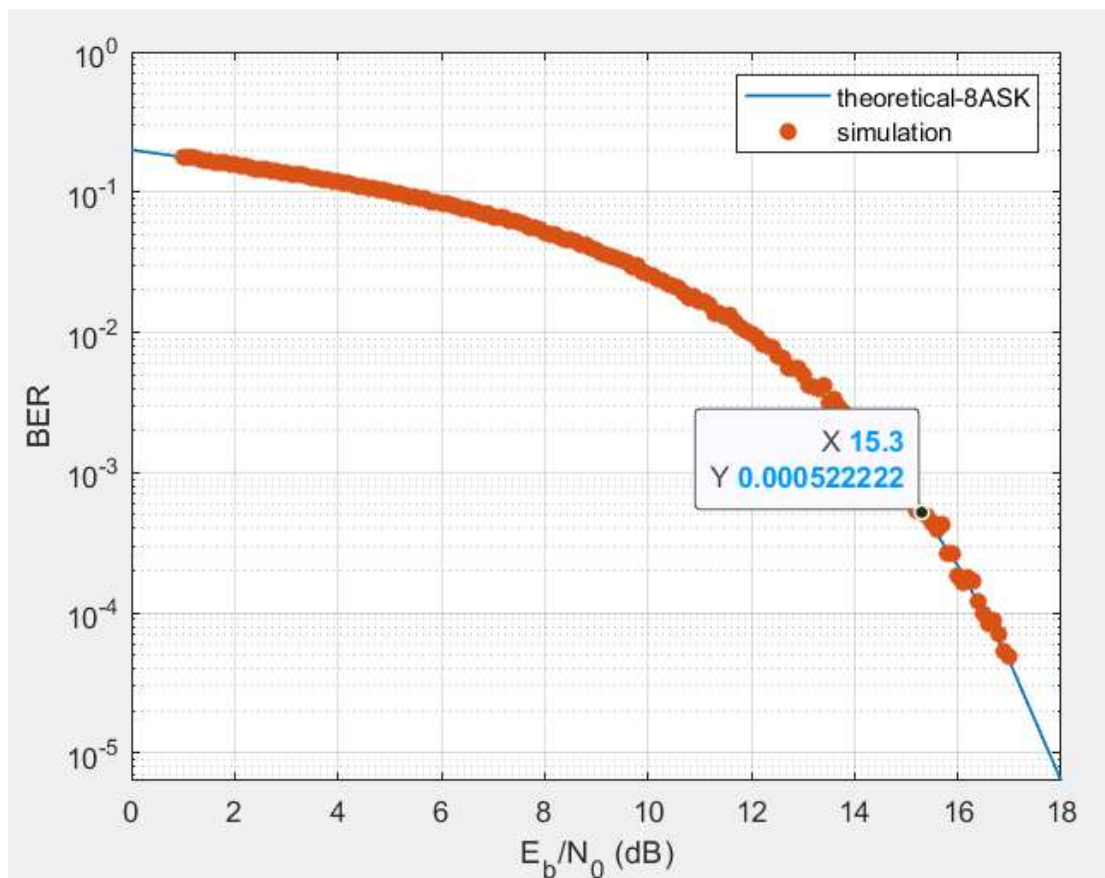
$$W = \frac{1}{2T}(1+\alpha) \Rightarrow \alpha = 2WT - 1 \Rightarrow \alpha = 0.5 ,$$

το οποίο είναι δεκτό καθώς ισχύει $0 < \alpha < 1$.

Από τα δεδομένα μας έχουμε ότι ανεκτό BER = 2Kbps = $2 \cdot 10^3$ bps , έτσι υπολογίζουμε :

$$\text{BER} = \frac{\text{ανεκτό BER}}{R} = \frac{2 \cdot 10^3}{4 \cdot 10^6} = 0.5 \cdot 10^{-3} = 0.0005$$

Τρέχουμε το bertool για $\alpha=0.5$ και delay=8 και έχουμε :



Επομένως, ο σηματοθορυβικός λόγος που μας ενδιαφέρει στο σύστημα είναι περίπου στα 15.3 db και άνω. Από τα δεδομένα έχουμε ότι $N_0=100 \text{ picowatt/Hz} = 100 \cdot 10^{-9} \text{ watt/Hz}$

$\frac{E_b}{N_0} = 10^{\frac{15.3}{10}} \Rightarrow E_b = 100 \cdot 10^{-9} \cdot 10^{\frac{15.3}{10}} \Rightarrow E_b \approx 3.388 \cdot 10^{-6} \text{ Joule}$ η ενέργεια των bit.

Τελικά , για να επαληθευθούν οι προδιαγραφές εύρους ζώνης και BER θέλουμε:

- ✓ $T = 0.75 \cdot 10^{-6} \text{ sec} = 0.75 \mu\text{sec}$
- ✓ $\alpha=0.5$
- ✓ $E_b/N_0 \geq 15.3$ ($\Rightarrow E_b \approx 3.388 \cdot 10^{-6} \text{ Joule}$)
- ✓ $\text{BER}=0.0005$