

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

2η Εργαστηριακή Άσκηση

Όνομα: Αλέξανδρος

Επώνυμο: Βερέμης

Αριθμός Μητρώου: 03115063

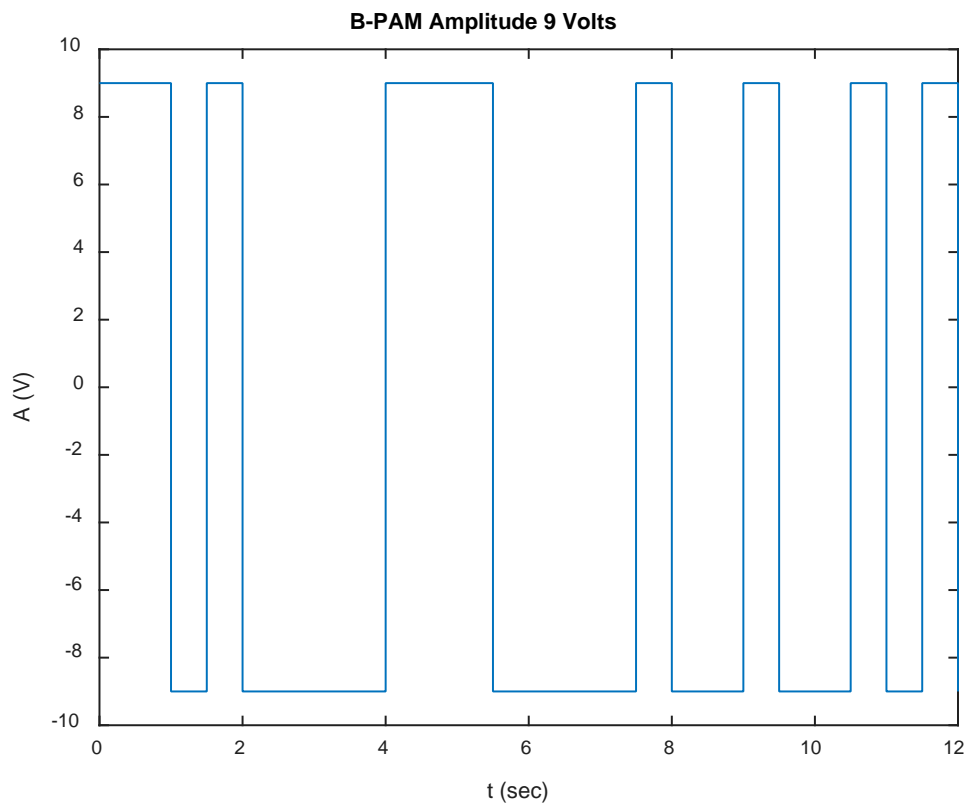
Για τα αρχεία του κώδικα matlab :

- Στο αρχείο **code\_1o\_erotima.m** περιέχεται ο κώδικας για το 1<sup>ο</sup> ερώτημα
- Στο αρχείο **code\_2o\_3o\_abc.m** περιέχεται ο κώδικας για το 2<sup>ο</sup> ερώτημα και για τα υποερωτήματα α,β,γ του 3<sup>ου</sup> ερωτήματος.
- Στο αρχείο **code\_3o\_d.m** περιέχεται ο κώδικας για το υποερώτημα δ του 3<sup>ου</sup> ερωτήματος.
- Στο αρχείο **code\_4o\_erotima.m** περιέχεται ο κώδικας για το 4<sup>ο</sup> ερώτημα

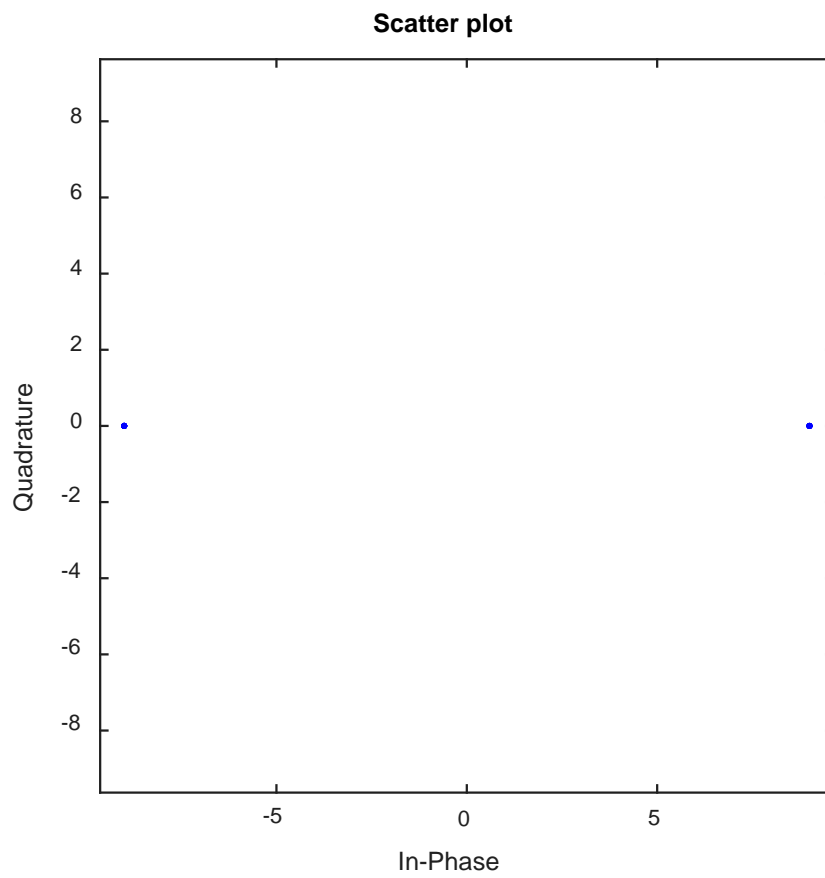
### 1ο Ερώτημα

Σ αυτό το ερώτημα θα ασχοληθούμε με διαμόρφωση B-PAM, διάγραμμα αστερισμού B-PAM, θόρυβο  $awgn$  και Bit Error Rate πάνω σε μία τυχαία ακολουθία ψηφίων 0 ή 1 που δημιουργήσαμε.

A) το πλάτος A είναι 9 Volts γιατί ο Α.Μ μου τελειώνει σε 063  $\rightarrow 0+6+3=9$ .  
Η παραχθείσα ακολουθία bits κατά B-PAM πλάτους A :

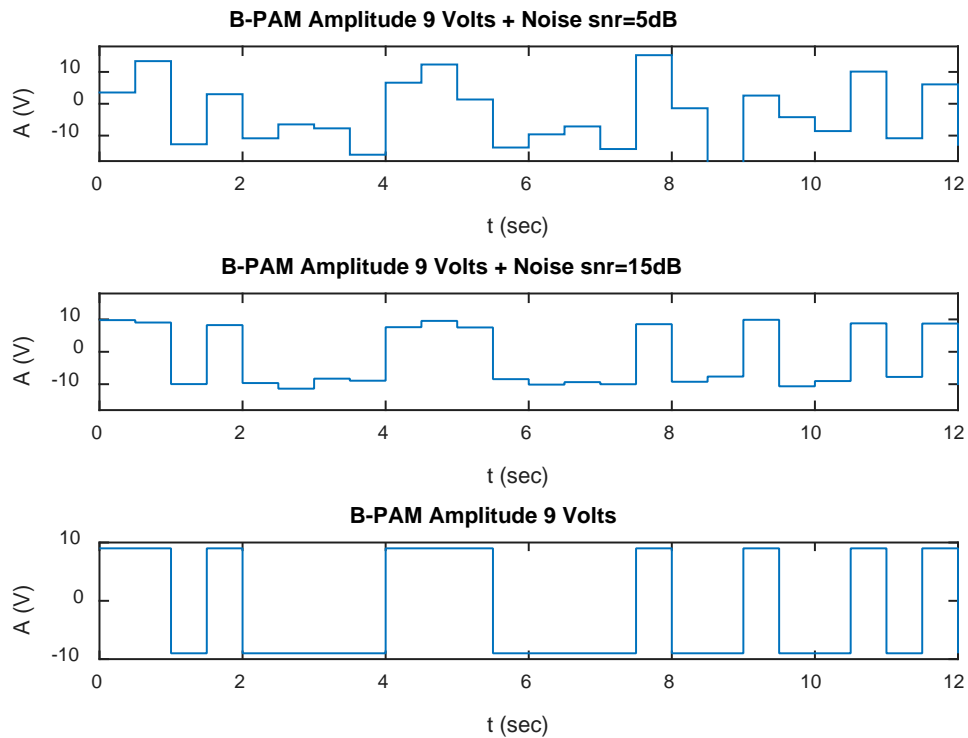


β) Το διάγραμμα αστερισμού του παραπάνω σήματος B-PAM.



Αφού είναι 2-PAM θα έχει 2 σημεία συγκέντρωσης των τιμών στο  $(-9,0)$  και στο  $(9,0)$ .

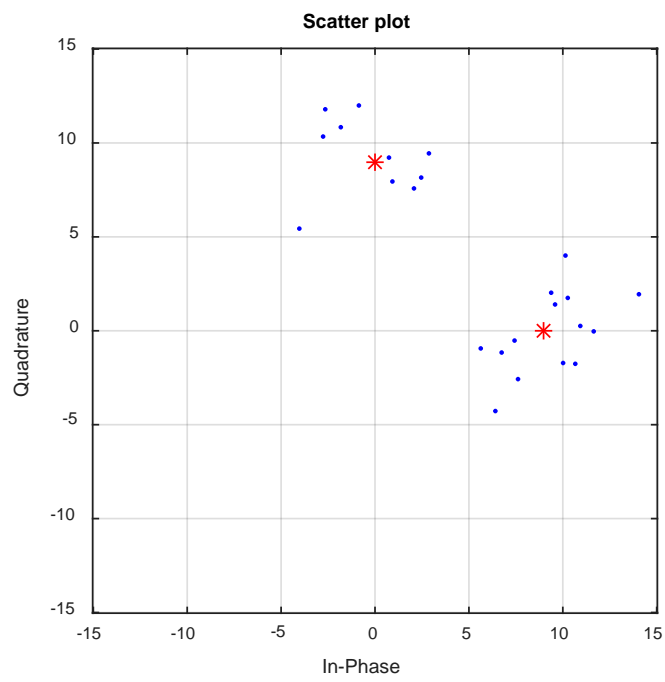
Γ) τα 2 διαφορετικά σήματα που προκύπτουν λόγω θορύβου  $awgn$  και το ένα χωρίς θόρυβο:



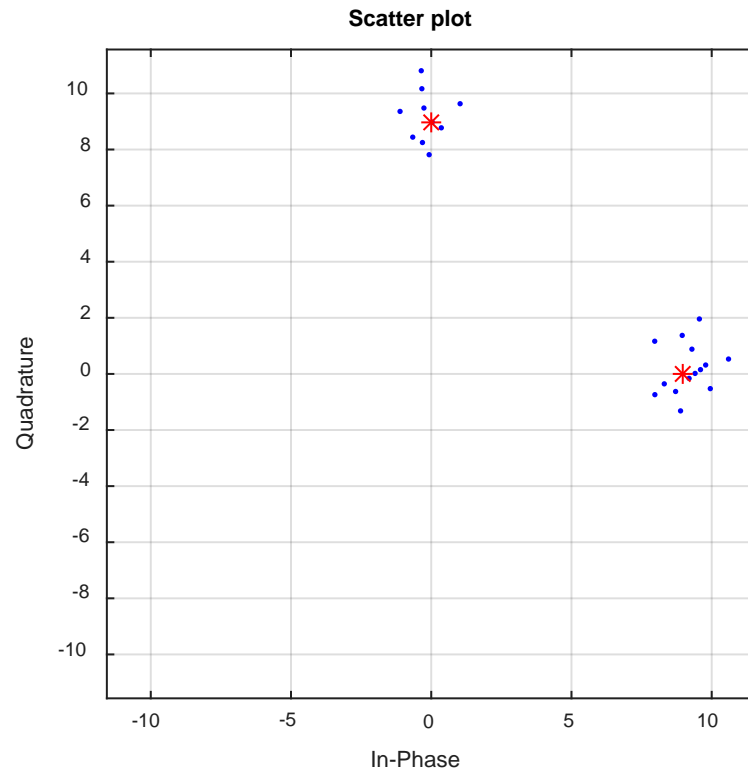
Παρατηρούμε ότι όταν  $snr=5dB$  οι διαφορές με το αρχικό σήμα είναι μεγαλύτερες, ενώ όταν  $snr=15dB$  υπάρχουν και πάλι αποκλίσεις από το αρχικό σήμα, ωστόσο δεν είναι τόσο ακραίες όσο των  $5dB$ . Στη 2<sup>η</sup> περίπτωση παρατηρούμε ότι η βασική μορφή του σήματος δεν έχει επηρεαστεί, ενώ στην 1<sup>η</sup>, ο θόρυβος είναι αρκετός και έχει αλλάξει αρκετά το σήμα. Άρα, επιβεβαιώνεται το θεωρητικό συμπέρασμα ότι όσο αυξάνεται ο  $snr$  μειώνεται η παραμόρφωση.

Δ) Τα διαγράμματα αστερισμών για τα σήματα που προέκυψαν στο υποερώτημα γ):

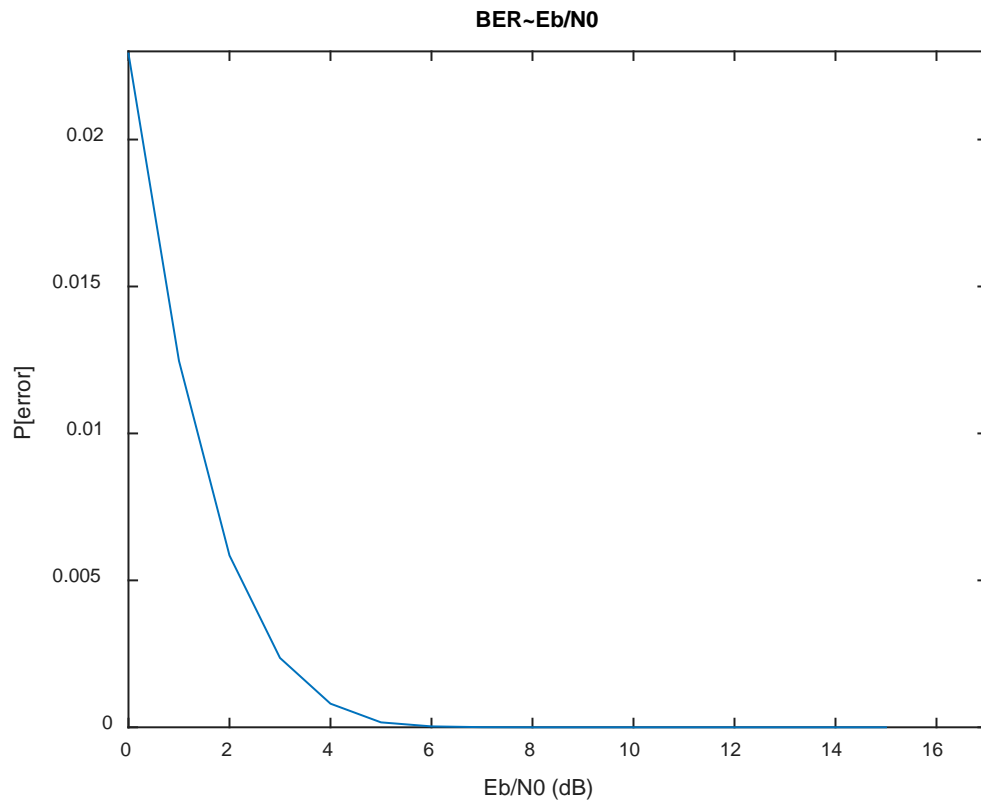
Όταν  $\text{Snr}=5\text{dB}$ :



Όταν  $\text{snr}=15\text{dB}$ :



Ε) παράξαμε 1000000 bits για να έχουμε ασφαλή αποτελέσματα και παραθέτουμε το διάγραμμα της πιθανότητας εσφαλμένου ψηφίου (BER) συναρτήσει του  $E_b/N_0$  :



Παρατηρούμε ότι και πάλι μηδενίζεται η BER ,ωστόσο μηδενίζεται αρκετά νωρίτερα από το θεωρητικά αναμενόμενο. Αυτό ίσως να οφείλεται σε υπολογιστικά σφάλματα ακρίβειας του matlab. Επίσης , μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι αυτή η καμπύλη έχει τα κοίλα προς τα μέσα σε αντίθεση με τη θεωρητική καμπύλη που έχει τα κοίλα προς τα έξω. Ακόμη τα σφάλματα φαίνεται να είναι 4 φορές λιγότερα σε σχέση με τα θεωρητικά ,καθώς 0.025 είναι το σημείο που ξεκινάει η καμπύλη ενώ στο θεωρητικό διάγραμμα ξεκινάει από το 0.1

## 2<sup>ο</sup> ερώτημα

Σ αυτό το ερώτημα θα ασχοληθούμε με διαμόρφωση κατά BPSK, QPSK, 8-PSK της ίδιας τυχαίας ακολουθίας 24 bits. Το πλάτος και πάλι είναι 9 Volts όπως στο 1<sup>ο</sup> ερώτημα, ενώ αφού το πλάτος είναι περιττός αριθμός ,η  $F_c$  θα είναι 2 Hz.

Α) Η προκύπτουσα ακολουθία συμβόλων για κάθε σχήμα διαμόρφωσης.

για BPSK:

```
>> code3
symbols_bpsk =
Columns 1 through 21
    180    180     0     0    180     0     0     0    180     0    180    180    180     0     0    180    180     0    180    180     0
Columns 22 through 24
    180     0     0
```

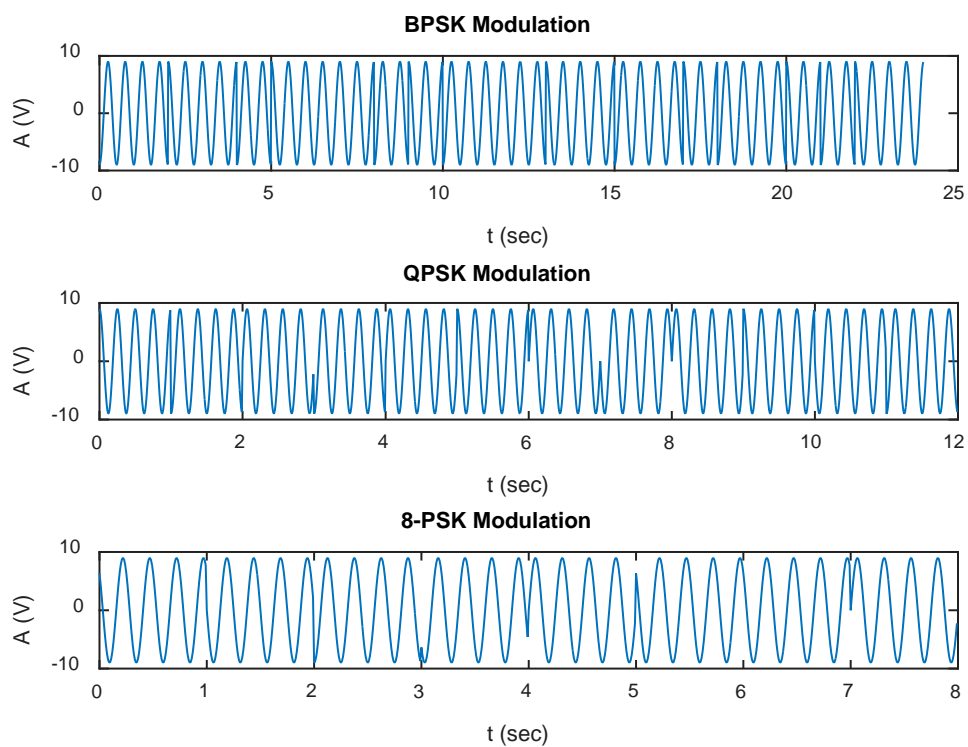
Για QPSK:

```
symbols_qpsk =
    225     45    135     45    135    225    135    315    135    225    315     45
```

Για 8-PSK:

```
symbols_8psk =
    45    270    180    315     90     45     45     90
```

Β) Η κυματομορφή μετάδοσης για κάθε σχήμα διαμόρφωσης

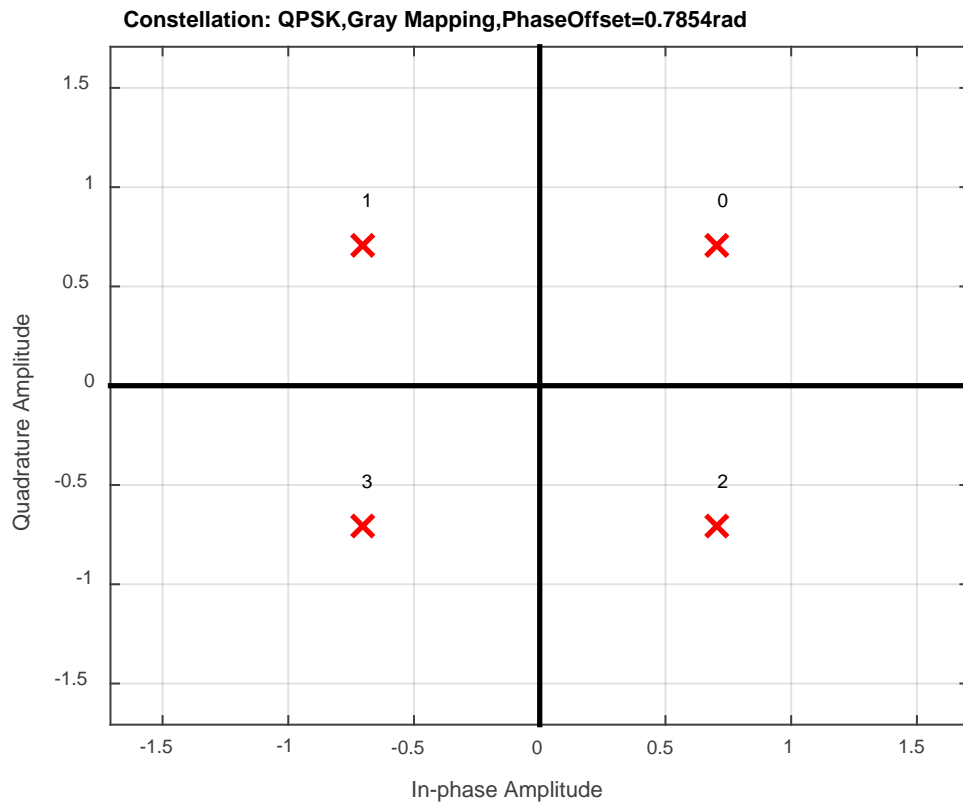


βλέπουμε ότι τα δείγματα αραιώνουν προχωρώντας σε κλίμακα διαμόρφωσης.

### 3<sup>ο</sup> ερώτημα

Σ αυτό το ερώτημα θα ασχοληθούμε με διαμόρφωση κατά QPSK της ίδιας τυχαίας ακολουθίας 24 bits ,διαγράμματα αστερισμών, θόρυβο  $awgn$ , διάγραμμα BER συναρτήσει του  $E_b/N_0$  , διαμόρφωση , αποδιαμόρφωση και ανακατασκευή ενός αρχείου κειμένου με ύπαρξη θορύβου  $awgn$  .

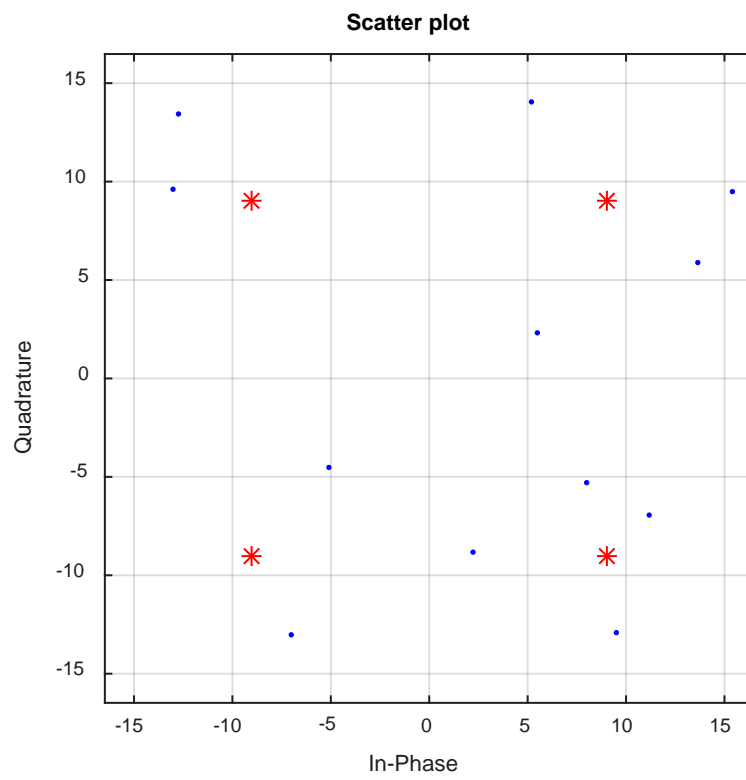
A) Το διάγραμμα αστερισμού που προκύπτει θεωρώντας απεικόνιση με κωδικοποίηση  $(\pi/4)$  Gray.



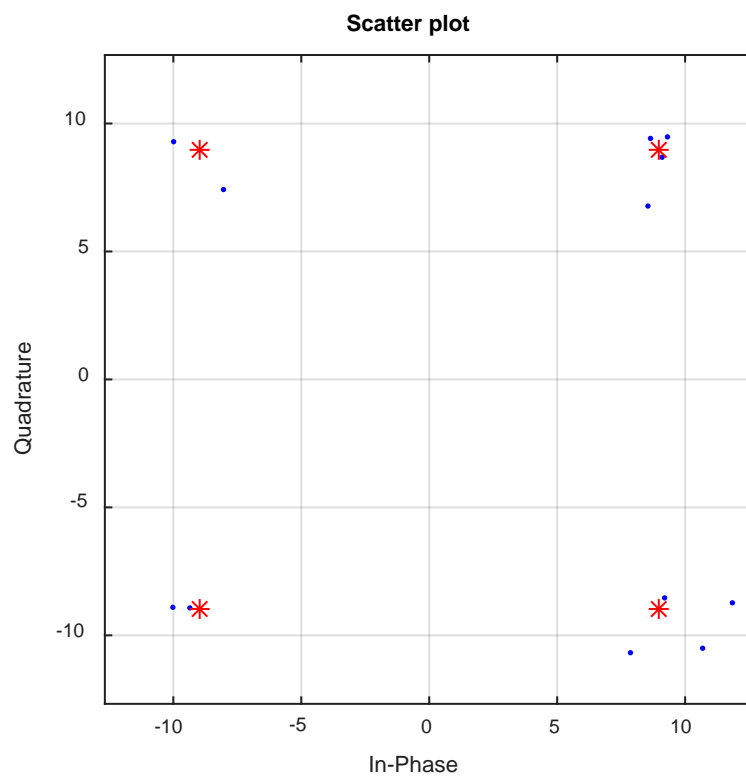
B) το διάγραμμα αστερισμού που προκύπτει για δύο τιμές  $E_b/N_0$ , 5 και 15dB .



Αρα για  $\text{snr}=8\text{dB}$ :



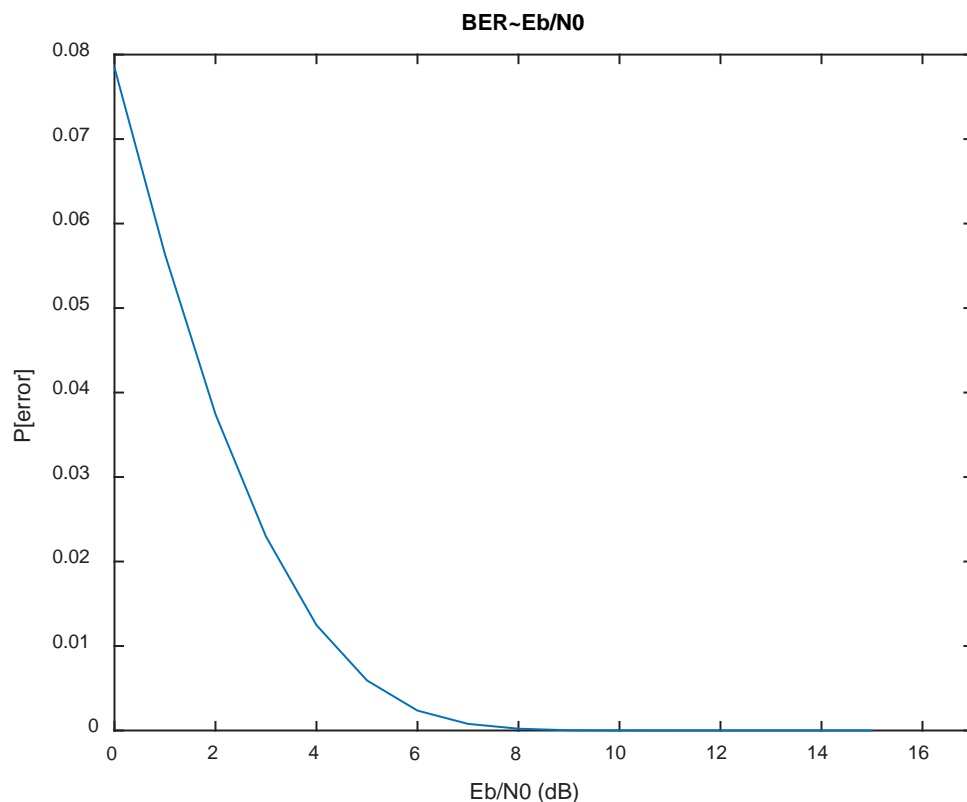
για  $\text{snr}=18\text{ dB}$ :



Παρατηρούμε ότι πιο κοντά στους αστερισμούς, όπως αναμέναμε, βρίσκονται οι τιμές με θόρυβο  $\text{snr} = 18\text{dB}$ , ενώ με  $\text{snr} = 8\text{dB}$  υπάρχει αρκετή απόσταση από τους αστερισμούς.

Υ) παράξαμε 1000000 bits για να έχουμε ασφαλή αποτελέσματα και παραθέτουμε το διάγραμμα της πιθανότητας εσφαλμένου ψηφίου (BER) συναρτήσει του  $E_b/N_0$  :

(για διαμόρφωση QPSK):



Παρατηρούμε ότι μοιάζει αρκετά με το θεωρητικό διάγραμμα. Όμως και πάλι τα κοίλα είναι προς τα μέσα. Επομένως, έχει διαφορετική μορφή η καμπύλη. Ακόμη βλέπουμε ότι μηδενίζεται νωρίτερα από το  $10^{\circ}$  στοιχείο, όπως αναμέναμε θεωρητικά, η πιθανότητα BER, δηλαδή στο  $8^{\circ}$  στοιχείο. Τέλος, παρατηρούμε ότι η επίδοση QPSK είναι καλύτερη της BPSK γιατί η καμπύλη ξεκινάει από το 0.08 περίπου και όχι το 0.10 και επιπλέον μηδενίζεται και νωρίτερα του  $10^{\text{ου}}$  στοιχείου. Συνεπώς, έχουμε μικρότερο BER, για κάθε στοιχείο  $E_b/N_0$ , το οποίο κιάλας μηδενίζεται νωρίτερα από το αντίστοιχο της BPSK. Αυτό περιμέναμε ότι θα συναντούσαμε αφού η διαμόρφωση κατά QPSK είναι θεωρητικά ανώτερη από την BPSK. Έχει μεγαλύτερη ακρίβεια, ωστόσο απαιτεί και περισσότερη

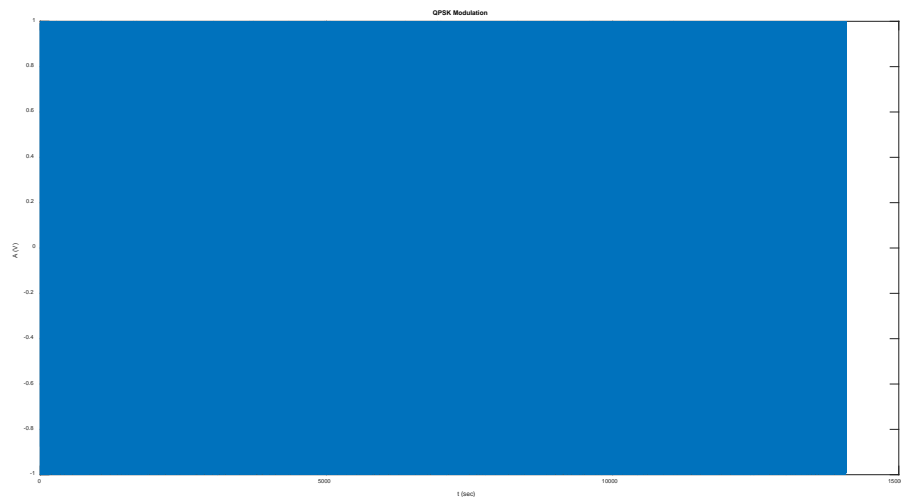
μνήμη. Ο λόγος για τη μεγαλύτερη ακρίβεια είναι διότι λαμβάνει υπόψιν περισσότερα σύμβολα ανά στοιχείο (4) , ενώ η BPSK μόνο 2.

Δ) Το άθροισμα των τριών τελευταίων ψηφίων του Αριθμού Μητρώου μου είναι περιττός , οπότε θα χρησιμοποιηθεί το αρχείο christmas\_carol\_odd.txt

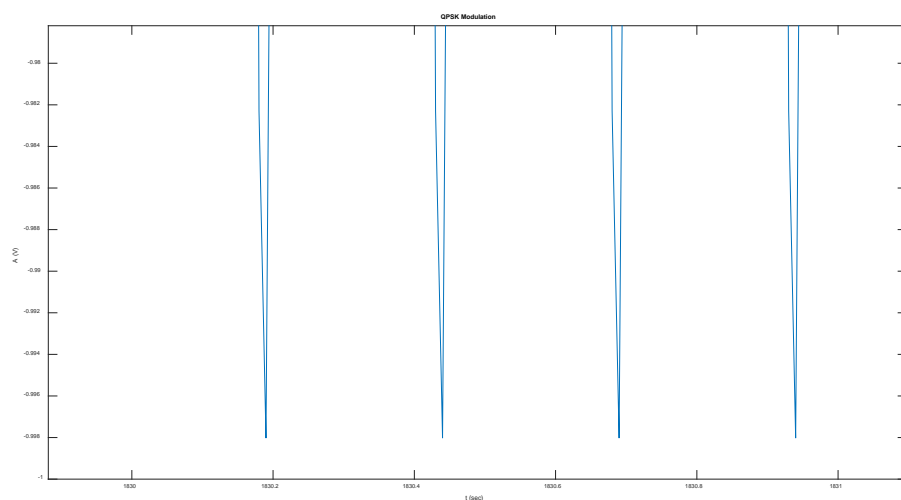
i) διαβάζουμε το αρχείο με τις εξής εντολές:

```
A=fopen('C:\Users\Alex3\Desktop\ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ\christmas_carol_odd.txt','r');  
binV=fscanf(A,'%c');  
fclose(A);
```

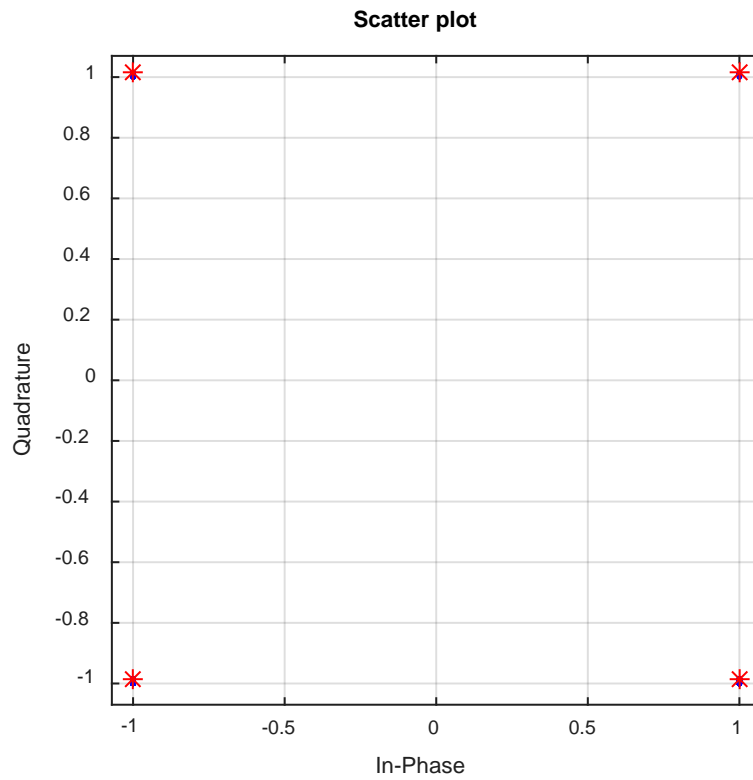
iii) διαμορφώνουμε το αρχικό σήμα binary που διαβάσαμε κατά QPSK:  
Η αρχική εικόνα που θα συναντήσουμε είναι αυτή διότι υπάρχουν πολλά bits που πρέπει να διαμορφωθούν(28160 bits):



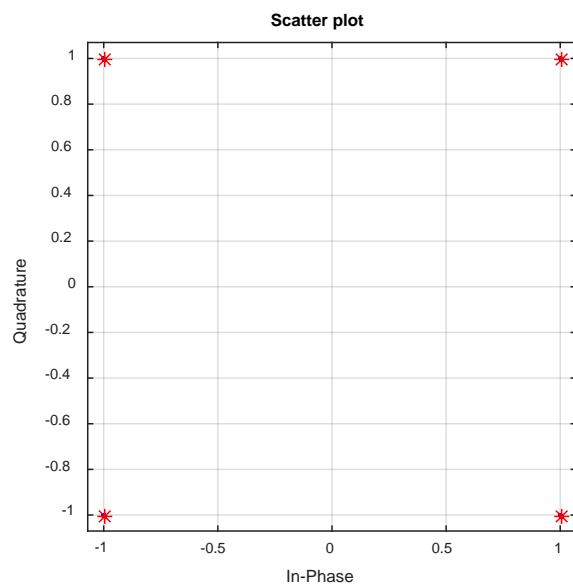
ενώ με αρκετή μεγέθυνση θα δούμε αυτό:



ν) Αφού αποδιαμορφώσουμε τα σήματα ,θα δείξουμε τα διαγράμματα αστερισμών για τα σήματα που προέκυψαν στο υποερώτημα (iv). για  $E_b/N_0=5$  dB:



για  $E_b/N_0=15$  dB:



Βλέπουμε ότι ο θόρυβος που προσθέσαμε δεν επηρεάζει τη θέση των bits ώστε να αποκτήσουν απόσταση από τους αστερισμούς. Αυτό που επηρεάζει είναι πως κάποια bits που ήταν 1 ή 0 τα κάνει 2 ή 3 ,δηλαδή τα μετακινεί σε άλλον αστερισμό. Βλέπουμε ότι τα bits των σημάτων μαζί με το θόρυβο βρίσκονται ακριβώς επάνω στους αστερισμούς.

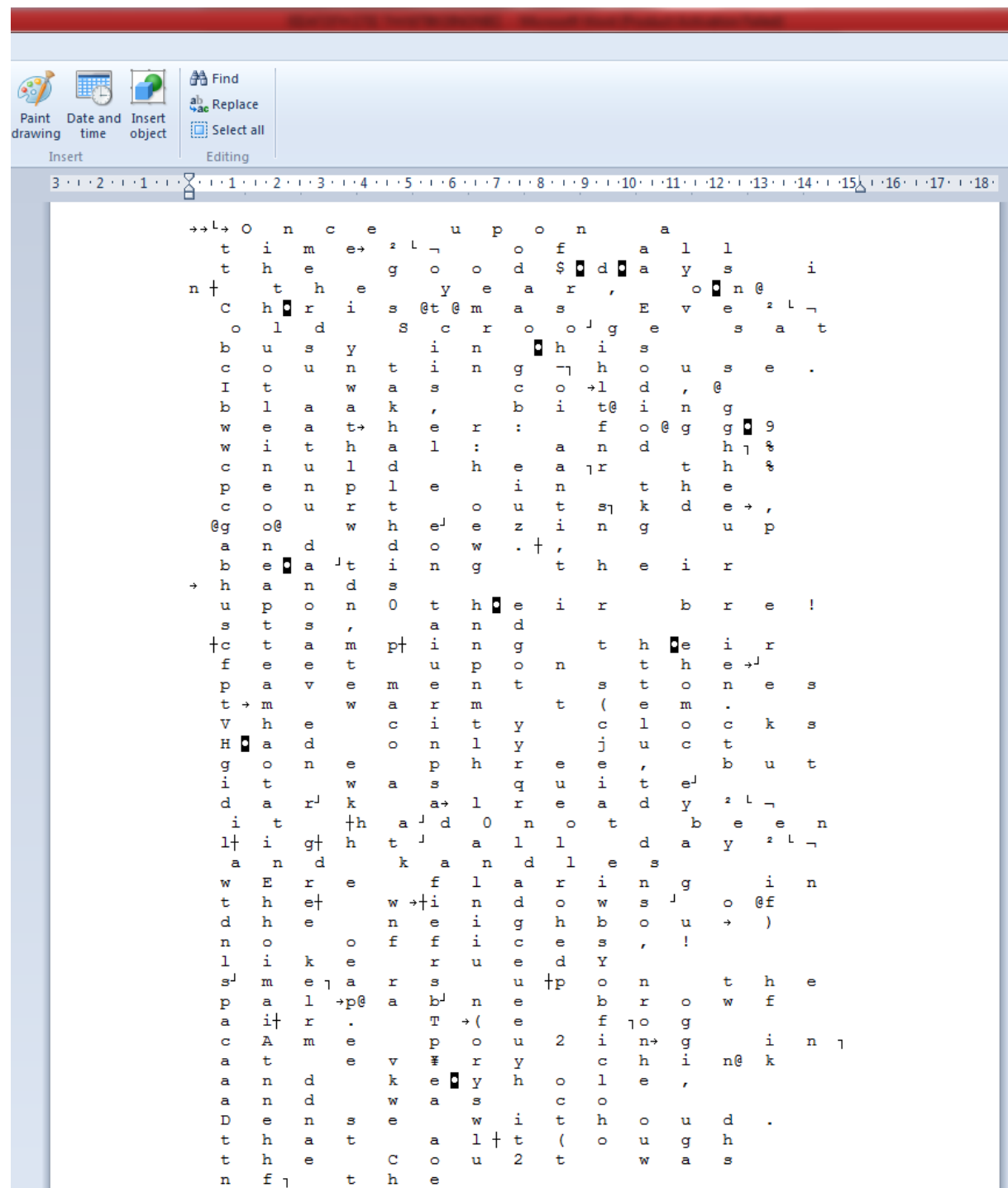
vi) Υπολογίζουμε την πιθανότητα εσφαλμένου ψηφίου BER για τις δύο περιπτώσεις  $E_b/N_0$  και τη συγκρίνουμε με τη θεωρητική:

```
>> code4  
  
ber5 =  
  
    0.0117  
  
ber15 =  
  
    0.0059
```

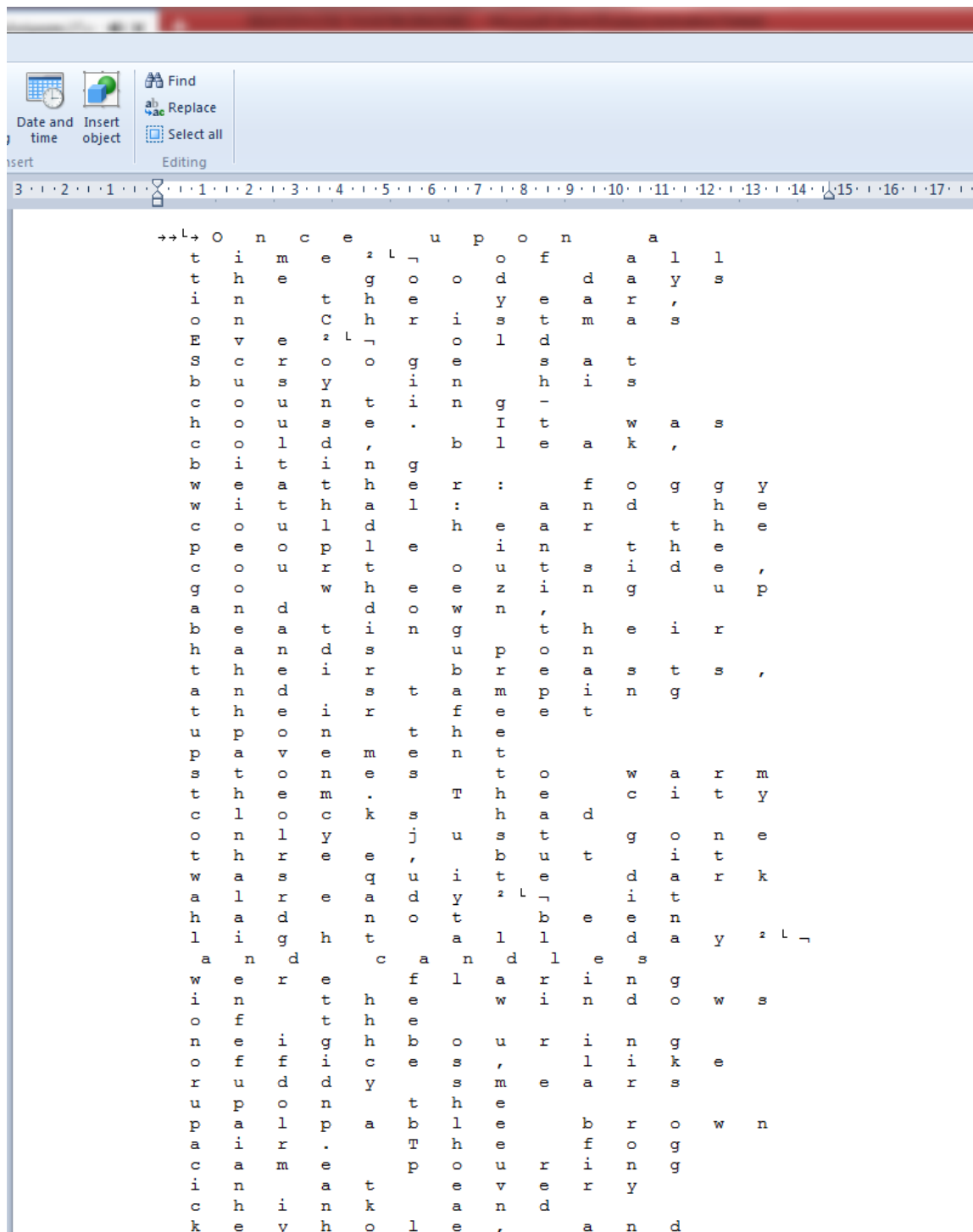
Βλέπουμε ότι για τα 5dB η πιθανότητα είναι περίπου ίση με τη θεωρητική, ίσως ελαφρώς μεγαλύτερη , ενώ για τα 15 dB η πιθανότητα αναμέναμε να είναι μηδενική και κάτι τέτοιο δε συμβαίνει. Επίσης , δεν περιμέναμε για τα 15 dB η πιθανότητα να είναι η μισή των 5 dB ωστόσο κάτι τέτοιο συμβαίνει εδώ. Ο λόγος αυτού του σφάλματος μπορεί να αποδοθεί σε υπολογιστικά σφάλματα του matlab και στον μικρό αριθμό bits του κειμένου που δεν μπορεί να μας οδηγήσει σε ασφαλή συμπεράσματα .

vii)Μετά την αποδιαμόρφωση να ανακατασκευάσουμε τα αρχικά κείμενα. Τα ανακατασκευασμένα αρχεία κειμένου συμπεριλαμβάνονται στον υποβληθέντα φάκελο της εργασίας.

για Eb/No=5 dB: newtext5.txt



για  $E_b/N_0=15$  dB: newtext15.txt



Βλέπω ότι κάθε γράμμα με το επομενό του έχει κενό. Στην αρχή υπάρχουν κάποιοι απρόσμενοι χαρακτήρες ,όπως επίσης και ανάμεσα στις λέξεις. Φαίνεται ότι έχει θόρυβο αλλά το κείμενο δεν έχει χαθεί. Είναι λίγο επηρεασμένο σαφώς, αλλά το αρχικό κείμενο παραμένει και βγάζει νόημα με λίγη προσπάθεια . Τέλος, παρατηρούμε ότι οι απρόσμενοι χαρακτήρες είναι πολύ περισσότεροι για

$E_b/N_0=5$  dB από ότι για  $E_b/N_0=15$  dB, όπως και περιμέναμε. Αυτό συμβαίνει διότι ο θόρυβος είναι πιο έντονος και προσθέτει μη αναμενόμενους- απροσδιόριστους χαρακτήρες.

#### 4<sup>ο</sup> ερώτημα

Σ' αυτό το ερώτημα θα ασχοληθούμε με διαμόρφωση , αποδιαμόρφωση κατά QPSK και ανακατασκευή ενός αρχείου ήχου με ύπαρξη θορύβου `awgn` , κβαντισμό του σήματος ήχου, υπολογισμό BER συναρτήσει του  $E_b/N_0$  , διαγράμματα αστερισμών .

A) Επειδή ο Αριθμός Μητρώου μου λήγει σε 063 θα χρησιμοποιήσω το αρχείο ήχου: `soundfile1_lab2.wav`.

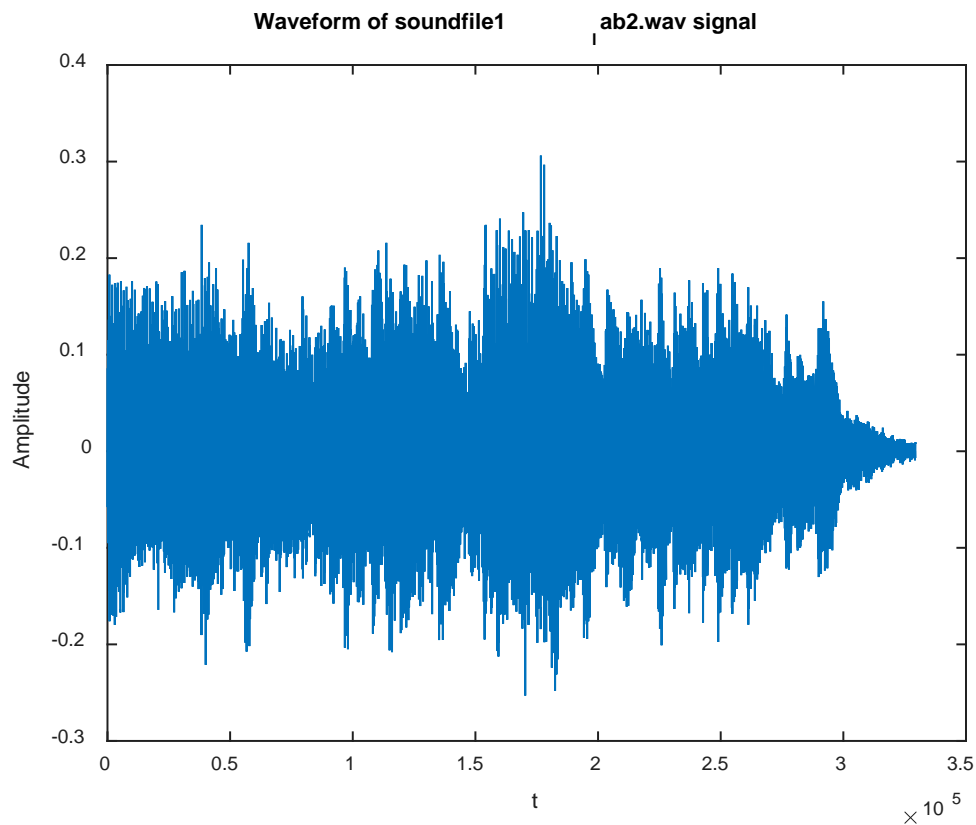
Διαβάζουμε το αρχείο ήχου :

```
Fs=44100;
```

```
[y,Fs] =
```

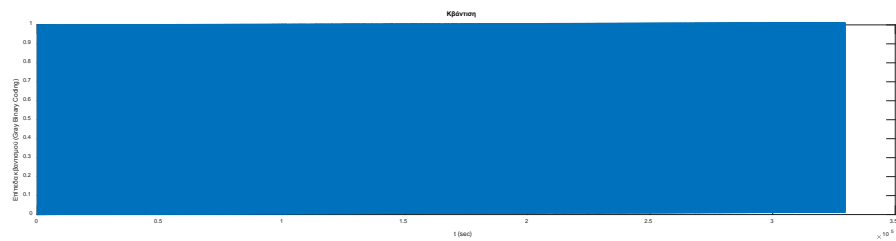
```
audioread('C:\Users\Alex3\Desktop\ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ\soundfile1_lab2.wav');
```

και παρουσιάζουμε το διάγραμμα:

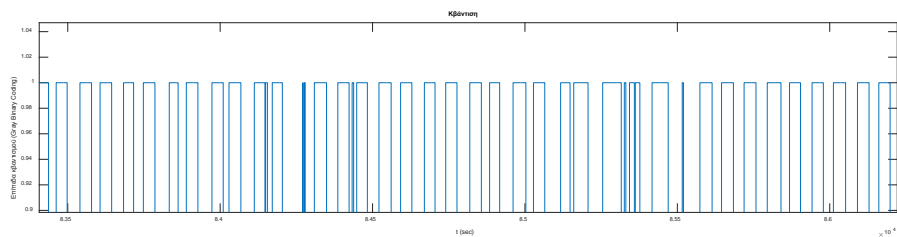




β) Κβαντίζουμε το σήμα με κβαντιστή 8bits και παίρνουμε σε διάγραμμα:



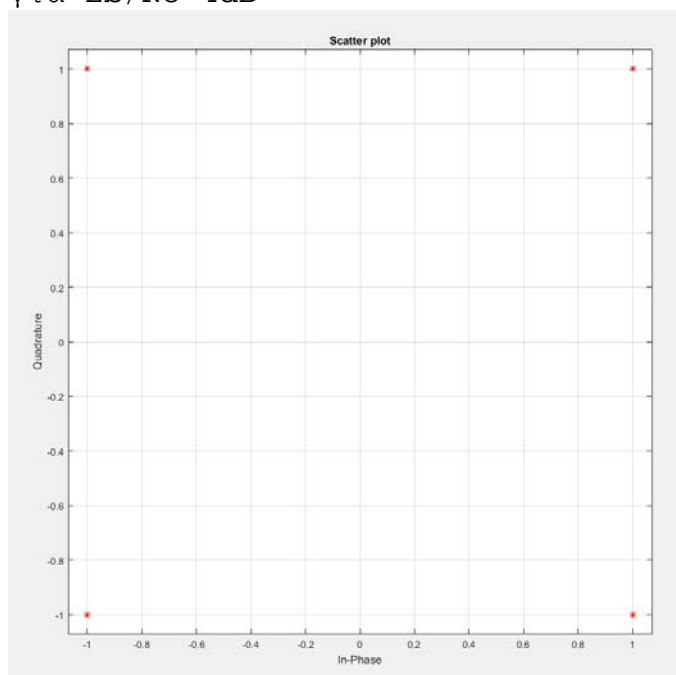
το οποίο με μεγέθυνση θα μας δώσει αυτό:



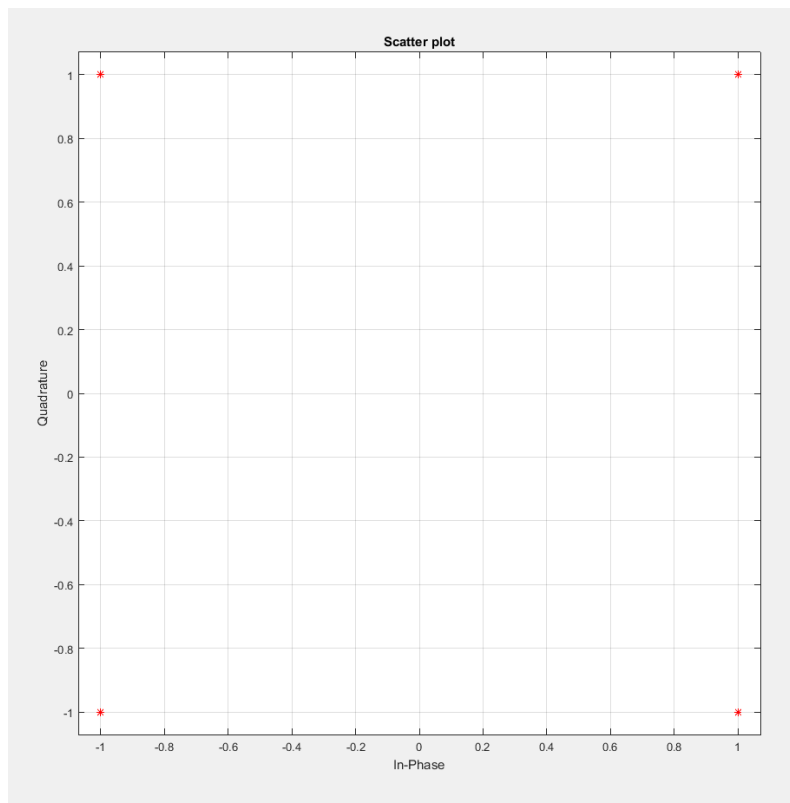
Γ) διαμορφώσαμε κατά QPSK το κβαντισμένο σήμα και παίρνουμε το αποτέλεσμα στον πίνακα: `symbols_qpsk`

Ε) αποδιαμορφώνουμε και παρουσιάζουμε τα διαγράμματα των αστερισμών:

για  $E_b/N_0=4\text{dB}$ :



για  $E_b/N_0=4\text{dB}$ :



Βλέπουμε και πάλι όπως και πριν ότι τα bits βρίσκονται ακριβώς πάνω στους αστερισμούς και οι όποιες αστοχίες έχουν ως αποτέλεσμα κάποια bits 0 ή 1 να γίνονται 2 ή 3.

Πριν το ζ)

Υπολογίζουμε την πιθανότητα εσφαλμένου ψηφίου BER για τις δύο περιπτώσεις  $E_b/N_0$  και τη συγκρίνουμε με τη θεωρητική:

```
>> code5  
  
ber4 =  
  
    0.0253  
|  
  
ber14 =  
  
    0.0127
```

Βλέπουμε ότι για τα 4dB η πιθανότητα είναι αρκετά μεγαλύτερη από τη θεωρητική (περίπου 1,5 φορά μεγαλύτερη) . Ενώ για τα 14 dB ,όπως και πριν, η πιθανότητα αναμέναμε να είναι μηδενική και κάτι τέτοιο δε συμβαίνει. Επίσης ,

δεν περιμέναμε για τα 14 dB η πιθανότητα να είναι η μισή των 4 dB ωστόσο κάτι τέτοιο συμβαίνει εδώ. Ο λόγος αυτού του σφάλματος μπορεί να αποδοθεί σε υπολογιστικά σφάλματα του matlab και στον μικρό αριθμό bits του αρχείου ήχου που δεν μπορεί να μας οδηγήσει σε ασφαλή συμπεράσματα .

Z) Αφου αποδιαμορφώσαμε τα σήματα , τα ανακατασκευάζουμε με διαφορετικό (μικρότερο ) Bits per Sample αυτή τη φορά και τα ακούμε. Τα αρχεία ήχου που προκύπτουν έχουν όνομα: newaudio4.wav και newaudio14.wav για τα 4 dB και τα 14 dB αντίστοιχα. Υπάρχει χαώδης διαφορά στην ποιότητα σε σχέση με το αρχικό σήμα. Προφανώς των 14dB είναι πιο κοντά στο αρχικό σήμα όπως αναμέναμε. Ακούγεται ξεκάθαρα ο θόρυβος,δεν είναι τόσο καθαρά όσο το αρχικό μας σήμα. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι έχει «χιόνια» ο ήχος. Στων 4dB ακούγεται πιο μακρινός ο ήχος και πιο έντονος ο θόρυβος. Για αυτό, εκτός όλων των άλλων ,ευθύνεται η υποβάθμιση κατά πολύ της ποιότητας που πράξαμε, μειώνοντας από 16-bits per sample σε 8-bits per sample. Η ποιότητα έπεσε διότι όσο μειώνουμε τα bits per sample τόσο μειώνεται και η πληροφορία που αποθηκεύεται σε κάθε sample και επομένως χάνεται η ακρίβεια που είχαμε αρχικά με τα περισσότερα bits. Ωστόσο κερδίζουμε σε μνήμη, αφού τα νέα αρχεία ήχου είναι πιο ελαφριά από άποψη αποθηκευτικού χώρου που χρειάζονται σε σχέση με το αρχικό.