



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΗΜΜΥ**

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ**

Ακαδημαϊκό έτος 2019-2020

2<sup>η</sup> Εργαστηριακή Άσκηση

Πεγαιώτη Νάταλυ  
el17707

## 1<sup>ο</sup> Ερώτημα

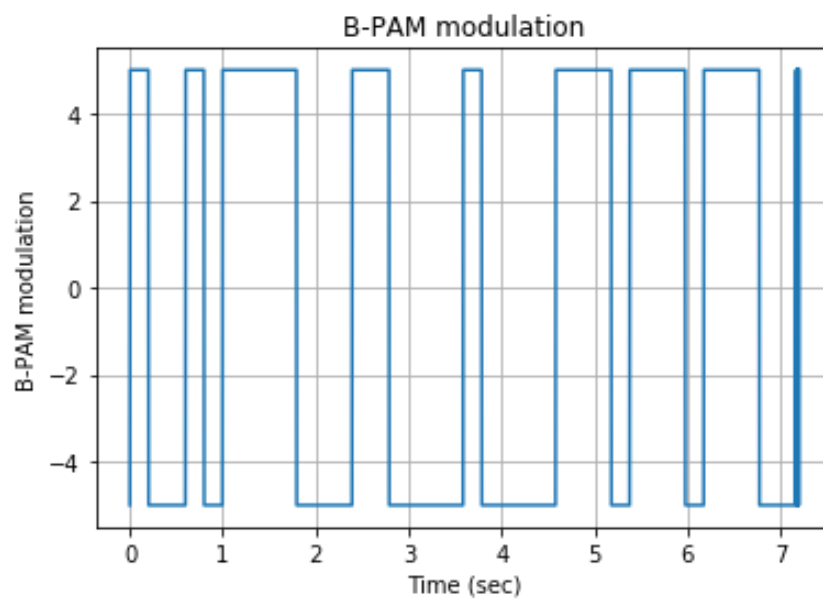
Αριθμός Μητρώου: el17707

$$7 + 0 + 7 = 14$$

$$\Rightarrow A = 1 + 4 = 5 \text{ kHz}$$

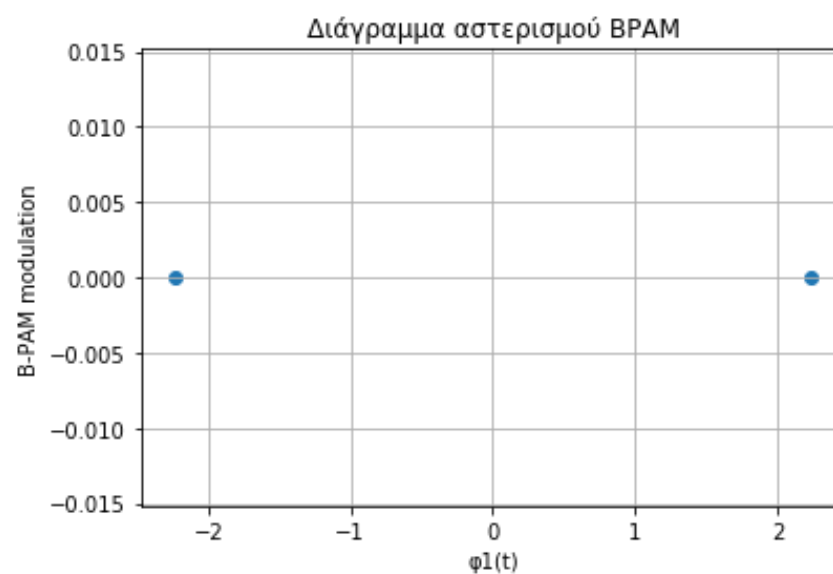
Παράγεται τυχαία ακολουθία 36 ψηφίων (bits) με ίση πιθανότητα εμφάνισης τιμών 0 ή 1. Η διάρκεια ψηφίου είναι  $T_b = 0.2 \text{ sec}$ .

α) Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται το προκύπτον σήμα



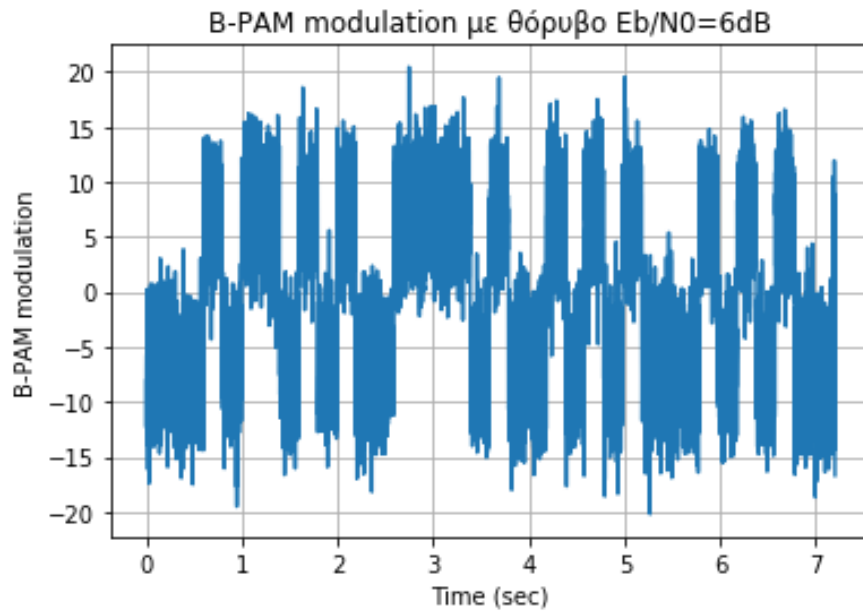
[0, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 1]

β) Το διάγραμμα αστερισμού του B-PAM σήματος είναι το ακόλουθο

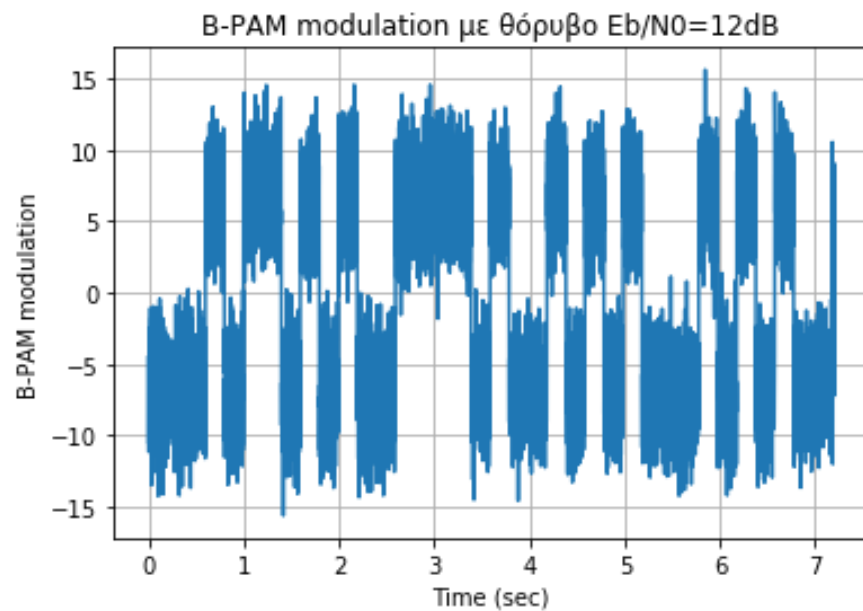


γ) Πραγματοποιείται η δημιουργία του θορύβου AWGN, οποίος προστίθεται στο σήμα B-PAM.

Για  $\frac{E_b}{N_0} = 6 \text{ dB}$ :



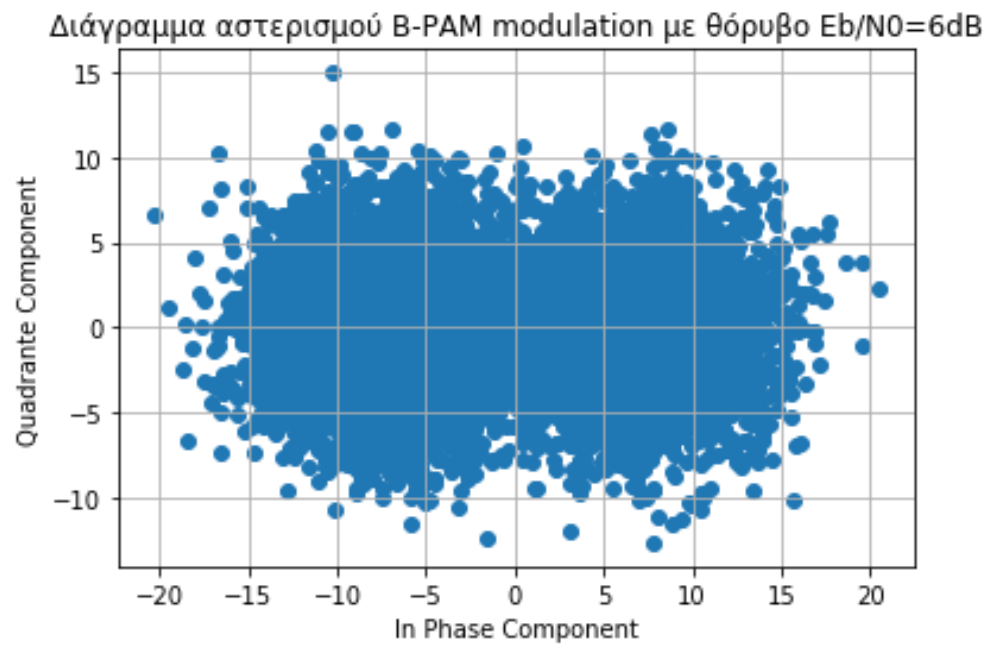
Για  $\frac{E_b}{N_0} = 12 \text{ dB}$ :



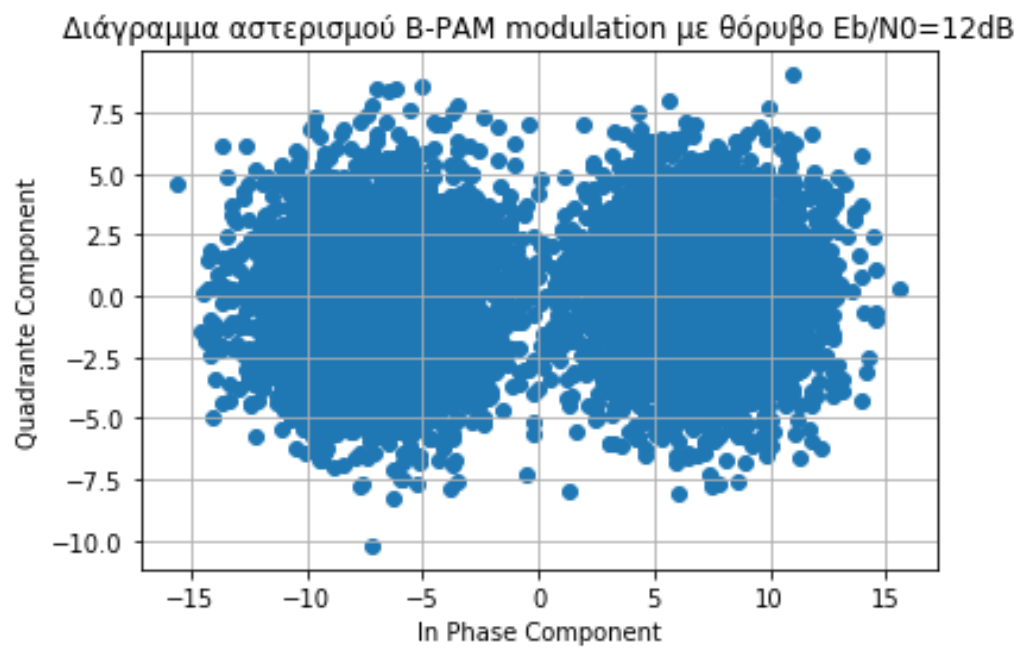
Συγκρίνοντας τα τρία διαγράμματα παρατηρούμε ότι όσο μικρότερο είναι το  $\text{SNR} = \frac{E_b}{N_0}$  υπάρχουν μεγαλύτερα σφάλματα.

δ)

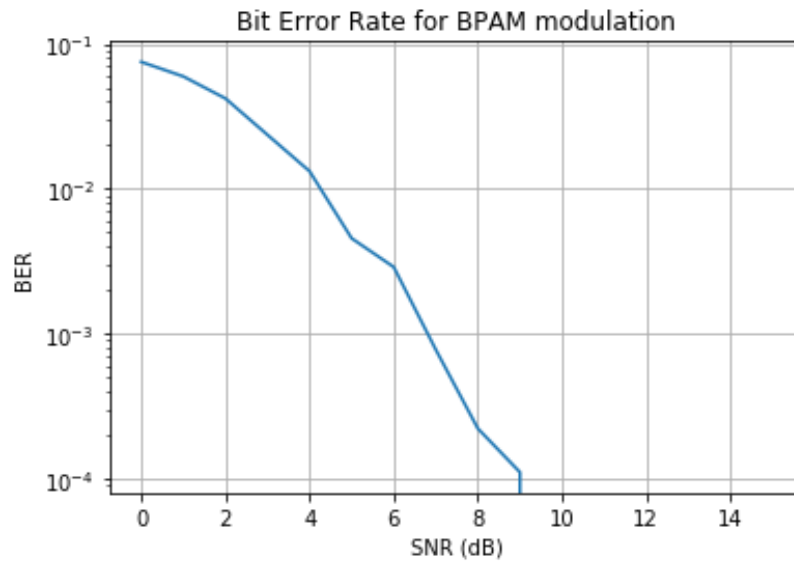
Για  $\frac{E_b}{N_0} = 6 \text{ dB}$ :



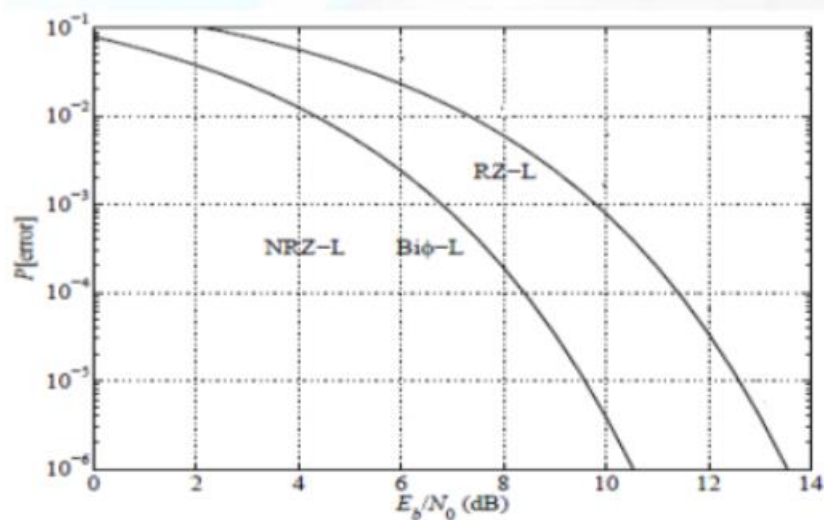
Για  $\frac{E_b}{N_0} = 12 \text{ dB}$ :



ε) Παράγοντας θόρυβο για διάφορες τιμές του λόγου και με λογαριθμικούς άξονας προκύπτει η ακόλουθη καμπύλη (με τον γ άξονα να είναι λογαριθμικός):



Το αντίστοιχο θεωρητικό διάγραμμα είναι το εξής:



Παρατηρούμε ότι η πειραματική καμπύλη είναι αρκετά ακριβής για τις τιμές κάτω από τα 8dB. Για μεγαλύτερες τιμές δεν προκύπτουν σφάλματα και αυτό πρέπει να οφείλεται στο μικρό αριθμό δειγμάτων που χρησιμοποιούνται. Με χρήση περισσότερων bits θα βλέπαμε την καμπύλη να συνεχίζει σε τιμές όπως η θεωρητική.

Κατά την κωδικοποίηση, θεωρήσαμε ως σφάλμα την περίπτωση όπου η πραγματική και η μεταδιδόμενη τιμή πληροφορίας είχαν διαφορετικό πρόσημο, και κατ' επέκταση ξεπερνούν το κατώφλι.

## 2<sup>ο</sup> Ερώτημα

Διαμορφώνουμε την ακολουθία ψηφίων (36 bits) του 1ου ερωτήματος κατά BPSK, QPSK και 8-PSK. Θεωρούμε φέρουσα συχνότητα  $f_c$  ίση με 3 Hz αφού το άθροισμα των ψηφίων του Αριθμού Μητρώου είναι περιττός αριθμός, πλάτος A (Volts) ομοίως με το 1ο ερώτημα και απεικόνιση (mapping) με κωδικοποίηση Gray.

α) Η προκύπτουσα ακολουθία συμβόλων είναι για:

i. BPSK

[0, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 1]

ii. QPSK

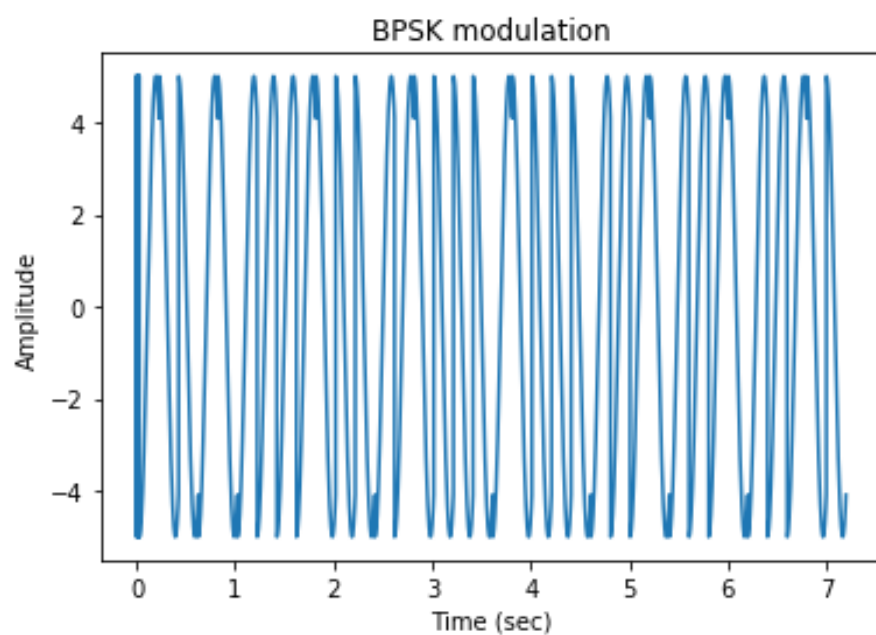
['00', '11', '10', '11', '10', '11', '10', '00', '01', '00', '00', '11', '00', '01', '11', '10', '10', '01']

iii. 8-PSK

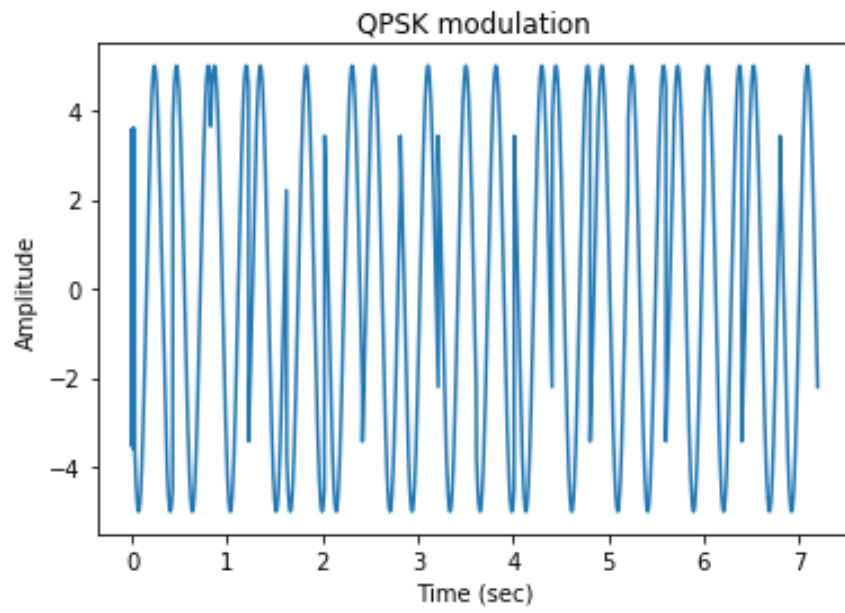
['011', '011', '001', '110', '111', '100', '001', '000', '000', '111', '101', '001']

β) Η αντίστοιχη κυματομορφή μετάδοσης είναι η ακόλουθη:

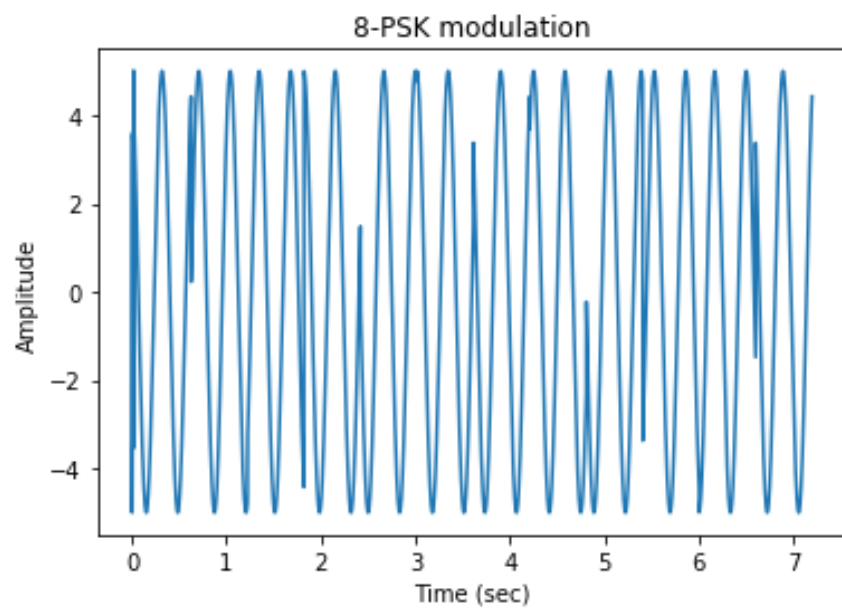
i. BPSK



ii. QPSK



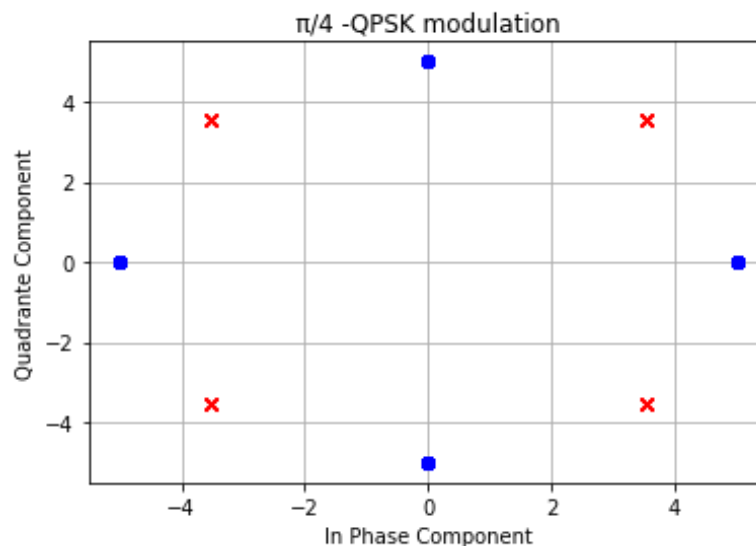
iii.



### 3<sup>ο</sup> Ερώτημα

Διαμορφώνουμε την ακολουθία ψηφίων (36 bits) του 1ου ερωτήματος κατά QPSK με σύμβολα πλάτους A (Volts) (ομοίως με το 1ο ερώτημα). Η QPSK να θεωρείται στη βασική ζώνη και όχι πάνω σε φέρον.

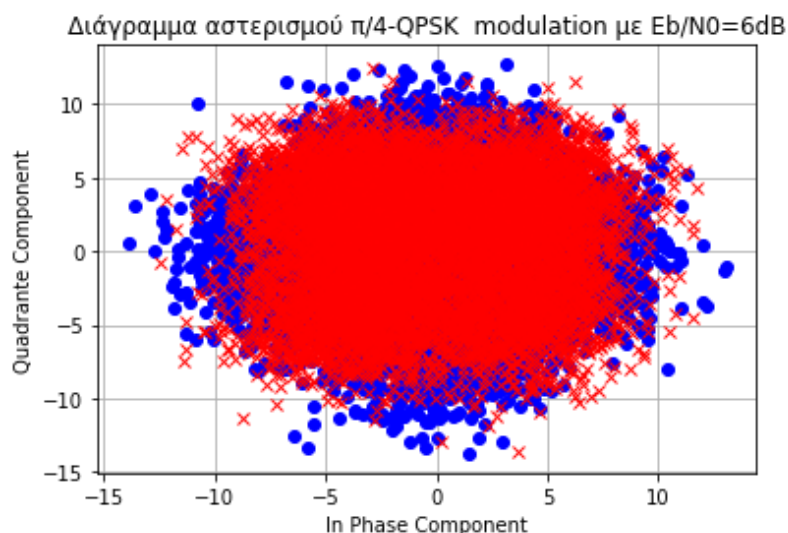
α) Θεωρώντας απεικόνιση  $\pi/4$  Gray προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα αστερισμού



Κατά την  $\pi/4$  QPSK διαμόρφωση, ο δέκτης δέχεται δεδομένα μεταξύ δυο διαφορετικών διαγραμμάτων. Τα κατώφλια του διαγράμματος ξεκινούν από την αρχή των αξόνων και περνούν από το κάθε κόκκινο 'x'. Κάθε μπλε κύκλος που εμπεριέχεται στο κατώφλι αντιστοιχεί σε οποιοδήποτε σημείο εμπίσει σε αυτό κατά τη μετάδοση. Τα κόκκινα 'x' έχουν κατώφλια τους άξονες.

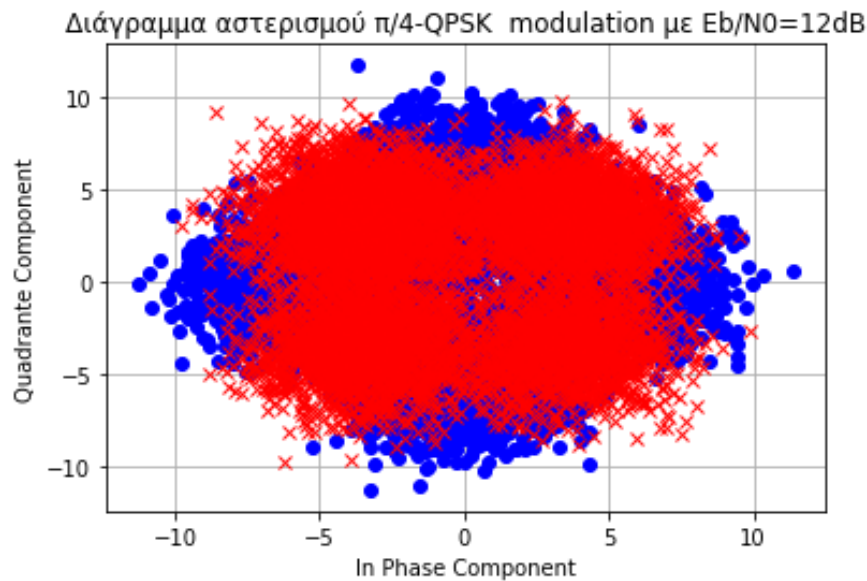
β) Προσθέτουμε θόρυβο στο σήμα, δηλαδή στις 2 συνιστώσες της  $\pi/4$ QPSK διαμόρφωσης και λαμβάνουμε τα παρακάτω διαγράμματα αστερισμού:

Για  $\frac{E_b}{N_0} = 6 \text{ dB}$ :

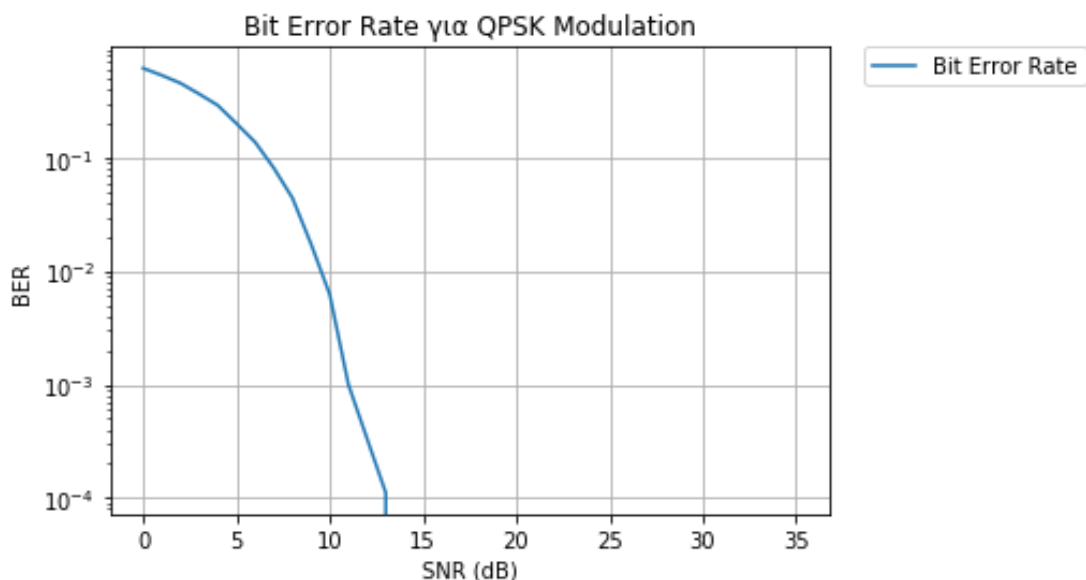




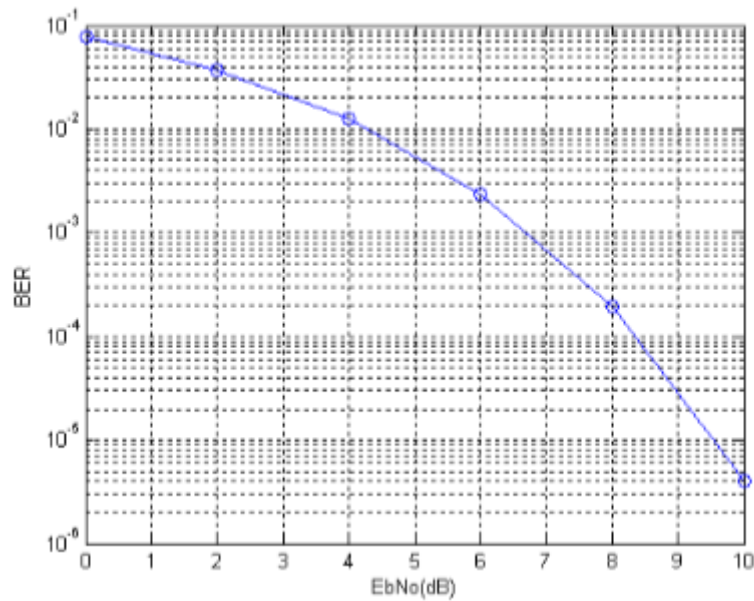
Για  $\frac{E_b}{N_0} = 12 \text{ dB}$ :



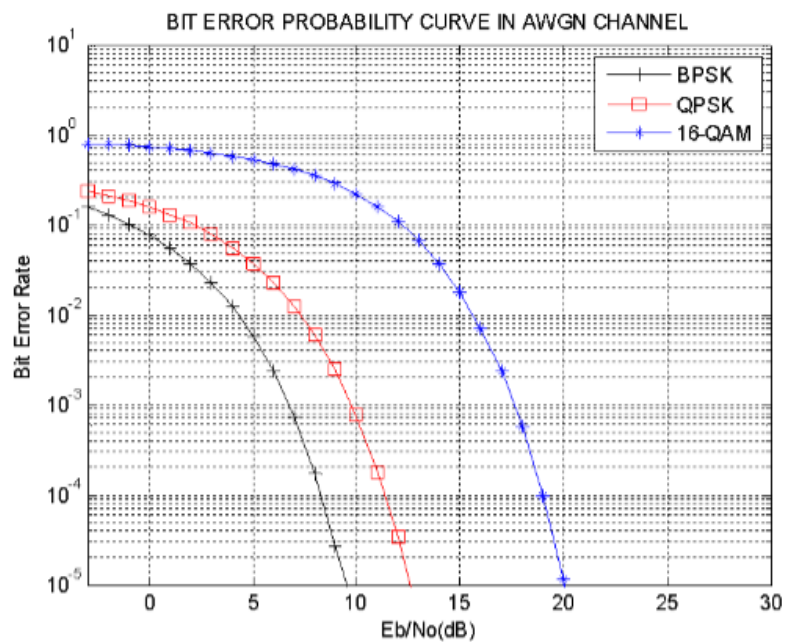
γ) Παράγοντας ικανοποιητικό αριθμό τυχαίων bits και θόρυβο AWGN κατάλληλης ισχύος υπολογίζουμε και παρουσιάζουμε σε διάγραμμα την πιθανότητα εσφαλμένου ψηφίου (BER) συναρτήσει του  $E_b/N_0$ , για τιμές από 0-15 dB με βήμα 1 dB.



Συγκρίνοντας το προκύπτον πειραματικό διάγραμμα με το αντίστοιχο θεωρητικό, το οποίο ακολουθεί, παρατηρούμε ότι υπάρχει απόκλιση, η οποία ίσως οφείλεται στον αριθμό των στοιχείων του διανύσματος που έχουμε ή στο ότι η θεώρηση του λάθους που επιλέχθηκε να μην είναι η πλέον ακριβής.



Όσον αφορά την επίδοση της QPSK με ένα αντίστοιχο σύστημα BPSK, μελετάμε το πιο κάτω διάγραμμα:



Παρατηρούμε ότι η πιθανότητα λάθους της BPSK είναι μικρότερη από την αντίστοιχη της QPSK. Αυτό είναι λογικό, καθώς η BPSK αφήνει μεγαλύτερα περιθώρια λάθους για τις διάφορες τιμές των πιθανών σημάτων, καθότι υπάρχουν μόνο 2 περιοχές απόφασης. Αντιθέτως, στην QPSK υπάρχουν 4 περιοχές απόφασης και έτσι η προσθήκη θορύβου είναι πιθανό να στείλει το σημείο σε κάποια από τις 3 λανθασμένες περιοχές αντί για την σωστή. Ως φυσικό ακόλουθο η πιθανότητα λάθους αυξάνεται.

δ) i. Διαβάζουμε το αρχείο κειμένου clarke\_relays\_odd.txt, αφού το άθροισμα του αριθμού μητρώου είναι περιττός και μετατρέπουμε την κωδικοσειρά ASCII σε binary (bits), όπως φαίνεται ακολούθως.

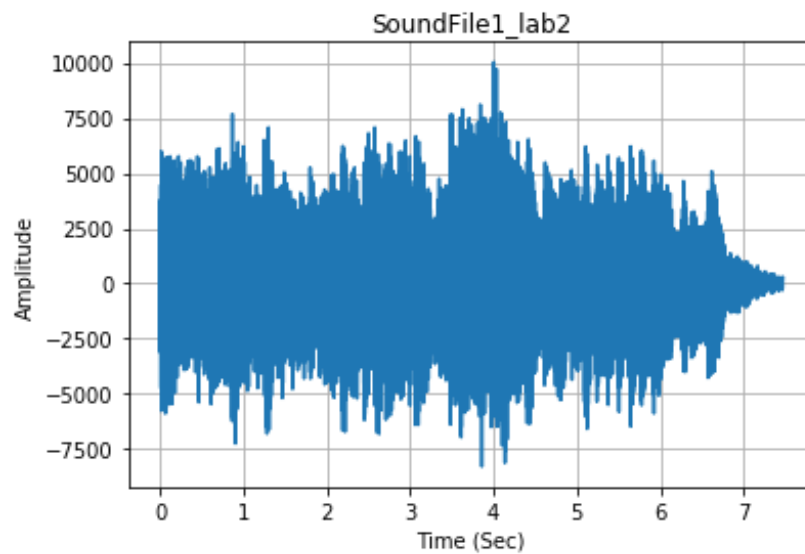
```
01000001 00100000 01110011 01101001 01101110 01100111 01101100 01100101 00100000
01110011 01110100 01100001 01110100 01101001 01101111 01101110 00100000 01100011
01101111 01110101 01101100 01100100 00100000 01101111 01101110 01101100 01111001
00100000 01110000 01110010 01101111 01110110 01101001 01100100 01100101 00100000
01100011 01101111 01110110 01100101 01110010 01100001 01100111 01100101 00100000
01110100 01101111 00100000 01101000 01100001 01101100 01100110 00100000 01110100
01101000 01100101 00100000 01100111 01101100 01101111 01100010 01100101 00101100
00100000 01100001 01101110 01100100 00100000 01100110 01101111 01110010 00100000
01100001 00100000 01110111 01101111 01110010 01101100 01100100 00100000 01110011
01100101 01110010 01110110 01101001 01100011 01100101 00100000 01110100 01101000
01110010 01100101 01100101 00100000 01110111 01101111 01110101 01101100 01100100
00100000 01100010 01100101 00100000 01110010 01100101 01110001 01110101 01101001
01110010 01100101 01100100 00101100 00100000 01110100 01101000 01101111 01110101
01100111 01101000 00100000 01101101 01101111 01110010 01100101 00100000 01100011
01101111 01110101 01101100 01100100 00100000 01100010 01100101 00100000 01110010
01100101 01100001 01100100 01101001 01101100 01111001 00100000 01110101 01110100
01101001 01101100 01101001 01110011 01100101 01100100 00101110 00100000 01010100
01101000 01100101 00100000 01110011 01110100 01100001 01110100 01101001 01101111
01101110 01110011 00100000 01110111 01101111 01110101 01101100 01100100 00100000
01100010 01100101 00100000 01100001 01110010 01110010 01100001 01101110 01100111
01100101 01100100 00100000 01100001 01110000 01110000 01110010 01101111 01111000
01101001 01101101 01100001 01110100 01100101 01101100 01111001 00100000 01100101
01110001 01110101 01101001 01100100 01101001 01110011 01110100 01100001 01101110
01110100 01101100 01111001 00100000 01100001 01110010 01101111 01110101 01101110
01100100 00100000 01110100 01101000 01100101 00100000 01100101 01100001 01110010
01110100 01101000 00101110 00100000 01010100 01101000 01100101 00100000 01110011
01110100 01100001 01110100 01101001 01101111 01101110 01110011 00100000 01101001
01101110 00100000 01110100 01101000 01100101 00100000 01100011 01101000 01100001
01101001 01101110 00100000 01110111 01101111 01110101 01101100 01100100 00100000
01100010 01100101 00100000 01101100 01101001 01101110 01101011 01100101 01100100
00100000 01100010 01111001 00100000 01110010 01100001 01100100 01101001 01101111
00100000 01101111 01110010 00100000 01101111 01110000 01110100 01101001 01100011
01100001 01101100 00100000 01100010 01100101 01100001 01101101 01110011 00101100
00100000 01100001 01101110 01100100 00100000 01110100 01101000 01110101 01110011
00100000 01100001 01101110 01111001 00100000 01100011 01101111 01101110 01100011
01100101 01101001 01110110 01100001 01100010 01101100 01100101 00100000 01100010
01100101 01100001 01101101 00100000 01101111 01110010 00100000 01100010 01110010
01101111 01100001 01100100 01100011 01100001 01110011 01110100 00100000 01110011
01100101 01110010 01110110 01101001 01100011 01100101 00100000 01100011 01101111
01110101 01101100 01100100 00100000 01100010 01100101 00100000 01110000 01110010
01101111 01110110 01101001 01100100 01100101 01100100 00101110 00100000 01010100
01101000 01100101 00100000 01110100 01100101 01100011 01101000 01101110 01101001
01100011 01100001 01101100 00100000 01110000 01110010 01101111 01100010 01101100
```

01100101 01101101 01110011 00100000 01101001 01101110 01110110 01101111 01101100  
01110110 01100101 01100100 00100000 01101001 01101110 00100000 01110100 01101000  
01100101 00100000 01100100 01100101 01110011 01101001 01100111 01101110 00100000  
01101111 01100110 00100000 01110011 01110101 01100011 01101000 00100000 01110011  
01110100 01100001 01110100 01101001 01101111 01101110 01110011 00100000 01100001  
01110010 01100101 00100000 01100101 01111000 01110100 01110010 01100101 01101101  
01100101 01101100 01111001 00100000 01101001 01101110 01110100 01100101 01110010  
01100101 01110011 01110100 01101001 01101110 01100111 00101100 00100000 01100010  
01110101 01110100 00100000 01101111 01101110 01101100 01111001 00100000 01100001  
00100000 01100110 01100101 01110111 00100000 01100011 01100001 01101110 00100000  
01100010 01100101 00100000 01100111 01101111 01101110 01100101 00100000 01101001  
01101110 01110100 01101111 00100000 01101000 01100101 01110010 01100101 00101110  
00100000 01000010 01100001 01110100 01110100 01100101 01110010 01101001 01100101  
01110011 00100000 01101111 01100110 00100000 01110000 01100001 01110010 01100001  
01100010 01101111 01101100 01101001 01100011 00100000 01110010 01100101 01100110  
01101100 01100101 01100011 01110100 01101111 01110010 01110011 00100000 01110111  
01101111 01110101 01101100 01100100 00100000 01100010 01100101 00100000 01110000  
01110010 01101111 01110110 01101001 01100100 01100101 01100100 00101100 00100000  
01101111 01100110 00100000 01100001 01110000 01100101 01110010 01110100 01110101  
01110010 01100101 01110011 00100000 01100100 01100101 01110000 01100101 01101110  
01100100 01101001 01101110 01100111 00100000 01101111 01101110 00100000 01110100  
01101000 01100101 00100000 01100110 01110010 01100101 01110001 01110101 01100101  
01101110 01100011 01101001 01100101 01110011 00100000 01100101 01101101 01110000  
01101100 01101111 01111001 01100101 01100100 00101110

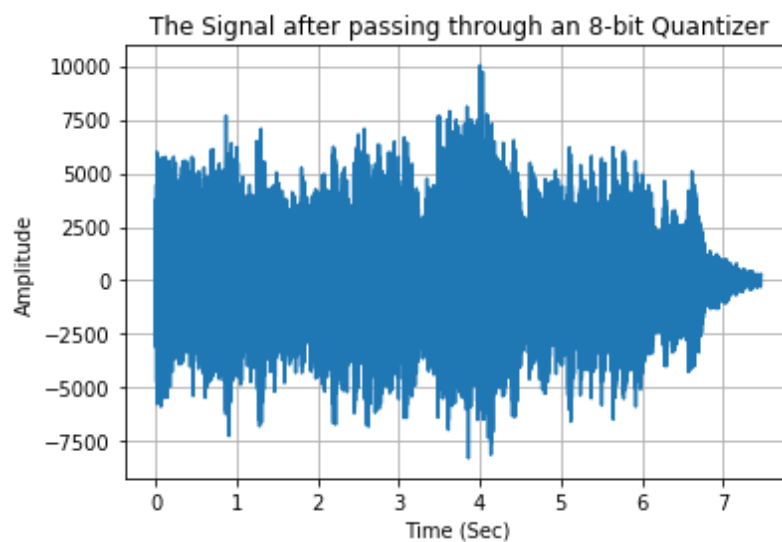
#### 4<sup>ο</sup> Ερώτημα

α) Αφού το άθροισμα των τριών τελευταίων ψηφίων του αριθμού μητρώου είναι περιττός αριθμός διαβάζουμε το αρχείο soundfile1\_lab2.wav. (αρχείο ήχου τύπου .wav signed 16-bit PCM Mono 44100 Hz), το οποίο είναι διαθέσιμο στη σελίδα του μαθήματος στο mycourses.ntua.gr.

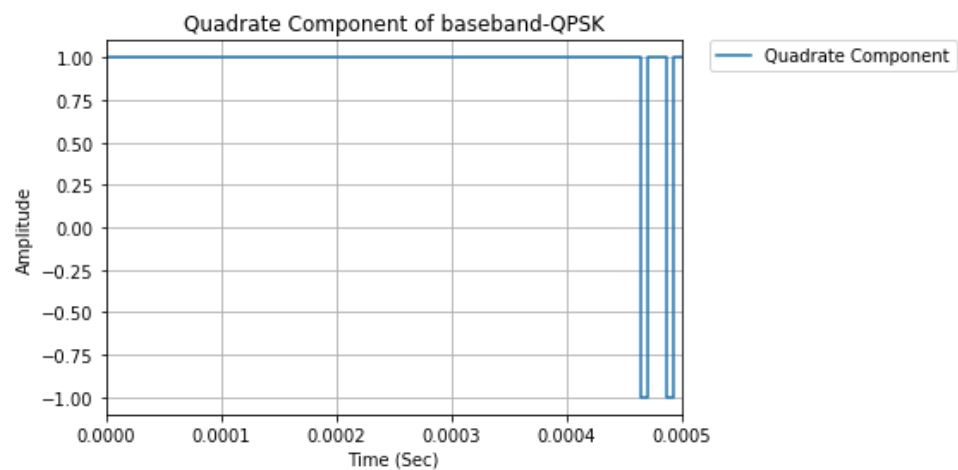
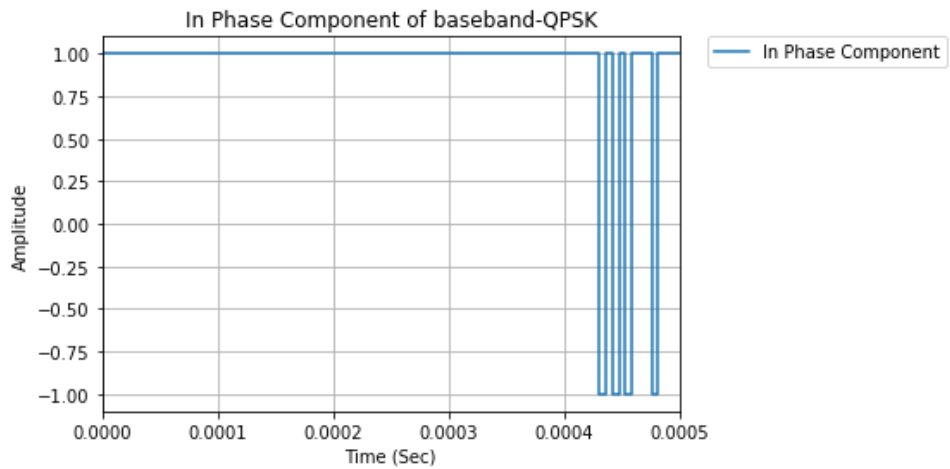
Η κυματομορφή του σήματος που αναπαριστά παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα:



β) Κβαντίζουμε το σήμα χρησιμοποιώντας ομοιόμορφο κβαντιστή 8 ψηφίων (bits) και το διάγραμμα που προκύπτει είναι το εξής:



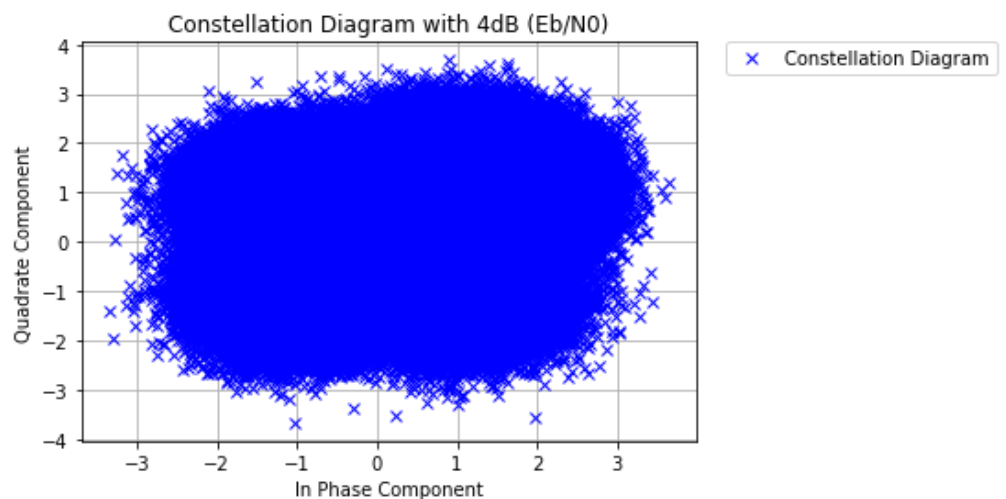
γ) Διαμορφώνουμε το κβαντισμένο σήμα χρησιμοποιώντας διαμόρφωση QPSK θεωρώντας απεικόνιση (mapping) με κωδικοποίηση Gray και σύμβολα πλάτους 1 Volt.



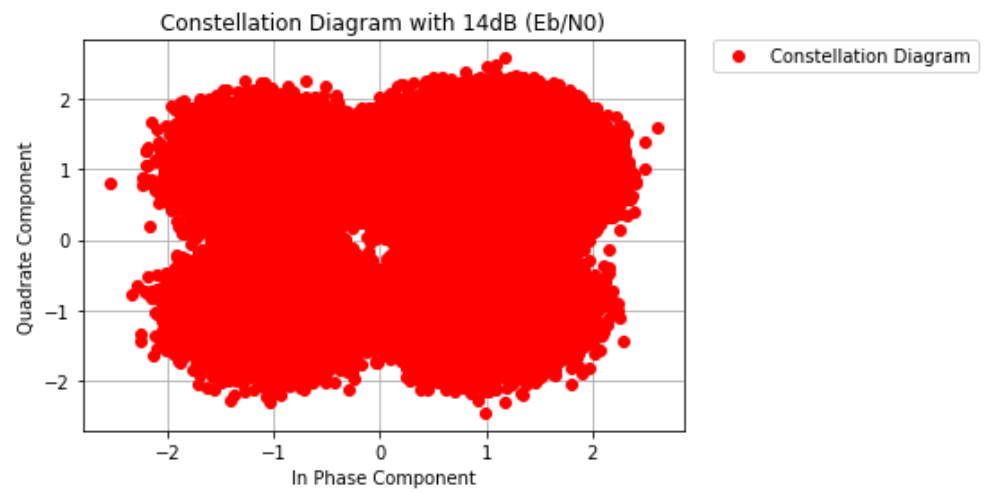
δ) Παράγουμε θόρυβο AWGN και τον προσθέτουμε στο σήμα QPSK που έχουμε δημιουργήσει για δύο τιμές  $E_s/N_0$ , 4 και 14 dB αντίστοιχα.

ε) Τα διαγράμματα αστερισμών για τα σήματα που προέκυψαν στο υποερώτημα δ'

Για  $\frac{E_b}{N_0} = 4 \text{ dB}$ :



Για  $\frac{E_b}{N_0} = 14 \text{ dB}$ :



στ) Η πιθανότητα εσφαλμένου ψηφίου BER για τις δύο περιπτώσεις είναι:

Για  $\frac{E_b}{N_0} = 4 \text{ dB}$ : 0.8361805696800065

Για  $\frac{E_b}{N_0} = 12 \text{ dB}$ : 0.8232704841642559