

Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες

Εργαστηριακή άσκηση

Έτος : 2020 - 2021

5^ο εξάμηνο

Ομάδα : A18

Ονοματεπώνυμο : Νίκος Μπέλλος

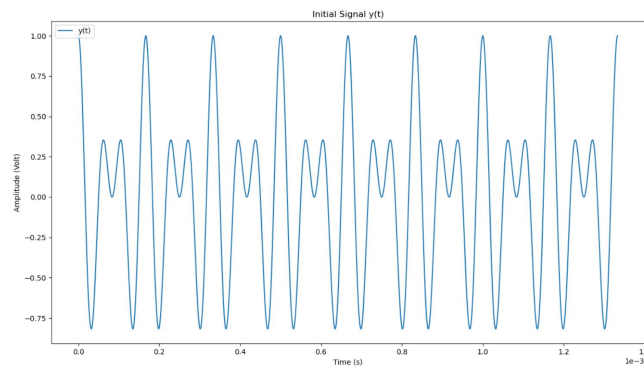
AM : el18183

1ο Ερώτημα	2
Αρχικό σήμα $y(t)$ και παράμετροι	2
1α'. Δειγματοληψία ($f_{s1}=20\text{fm}$ και $f_{s2} = 100\text{fm}$)	2
1β'. Δειγματοληψία ($f_s=5\text{fm}=15\text{kHz}$)	4
2ο Ερώτημα	5
Παράμετροι	5
2α'. Κβάντιση δειγματοληπτημένου σήματος (mid riser)	5
2β'. Τυπική απόκλιση σφάλματος κβάντισης	6
2γ'. Bit stream (with POLAR NRZ encoding)	7
3ο Ερώτημα	8
Παράμετροι	8
3α'. Διαμόρφωση ακολουθίας κατά B-PAM	8
3β'. Διάγραμμα αστερισμού για σήμα	8
3γ'. AWGN θόρυβος για $\text{SNR}=5\text{dB}$ και $\text{SNR}=15\text{dB}$	9
3δ'. Διαγράμματα αστερισμών για σήμα με θόρυβο AWGN	10
3ε'. Διάγραμμα πιθανότητας εσφαλμένου ψηφίου (BER) για B-PAM	10
4ο Ερώτημα	11
Παράμετροι	11
4α'. Διάγραμμα αστερισμού για κωδικοποίηση $(\pi/4)$ Gray - QPSK	11
4β'. Διάγραμμα αστερισμού για θόρυβο AWGN με $\text{SNR} = 5$ & 15	12
4γ'. Διάγραμμα πιθανότητας εσφαλμένου συμβόλου για QPSK	13
4δ'. Αποστολή - λήψη αρχείου κειμένου	13
(i) Μετατροπή του ASCII σε bits (binary)	13
(ii) Κβάντιση σήματος με 8 bits	14
(iii) Απεικόνιση του σήματος διαμορφωμένο κατά QPSK	14
(iv) Θόρυβος AWGN για $\text{SNR} = 5\text{dB}$ & 15dB	15
(v) Διαγράμματα αστερισμών για $\text{SNR} = 5\text{dB}$ & 15dB	15
(vi) Bit error rate (BER) για $\text{SNR} = 5\text{dB}$ & 15dB	16
(vii) Ανακατασκευή του αρχείου κειμένου	16
5ο Ερώτημα	16
Παράμετροι	16
5α'. Αναπαράσταση του σήματος ήχου	16
5β'. Κβάντιση σήματος με 8 bits	17
5γ'. Απεικόνιση του σήματος διαμορφωμένο κατά QPSK	18
5δ'. Θόρυβος AWGN για $\text{SNR} = 4\text{dB}$ & 14dB	18
5ε'. Διαγράμματα αστερισμών για $\text{SNR} = 4\text{dB}$ & 14dB	18
5στ'. Bit error rate (BER) για $\text{SNR} = 4\text{dB}$ & 14dB	19
5ζ'. Ανακατασκευή του αρχείου κειμένου	19

1^ο Ερώτημα

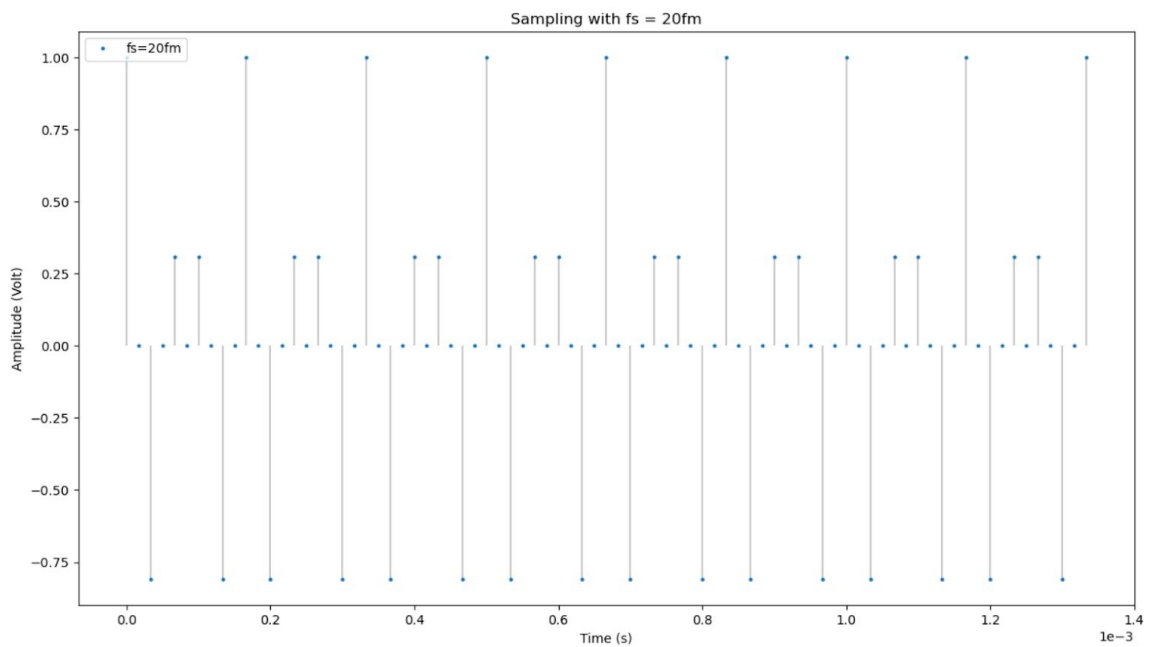
Αρχικό σήμα $y(t)$ και παράμετροι

- ☐ $y(t) = A \cos(2f_m t) \cos[2(AM + 2)f_m t]$
- ☐ $A = 1 \text{ V}$
- ☐ $AM = 3$
- ☐ $f_m = 3 \text{ kHz}$ (γιατί $1+8+3=12 \rightarrow 1+2=3$)

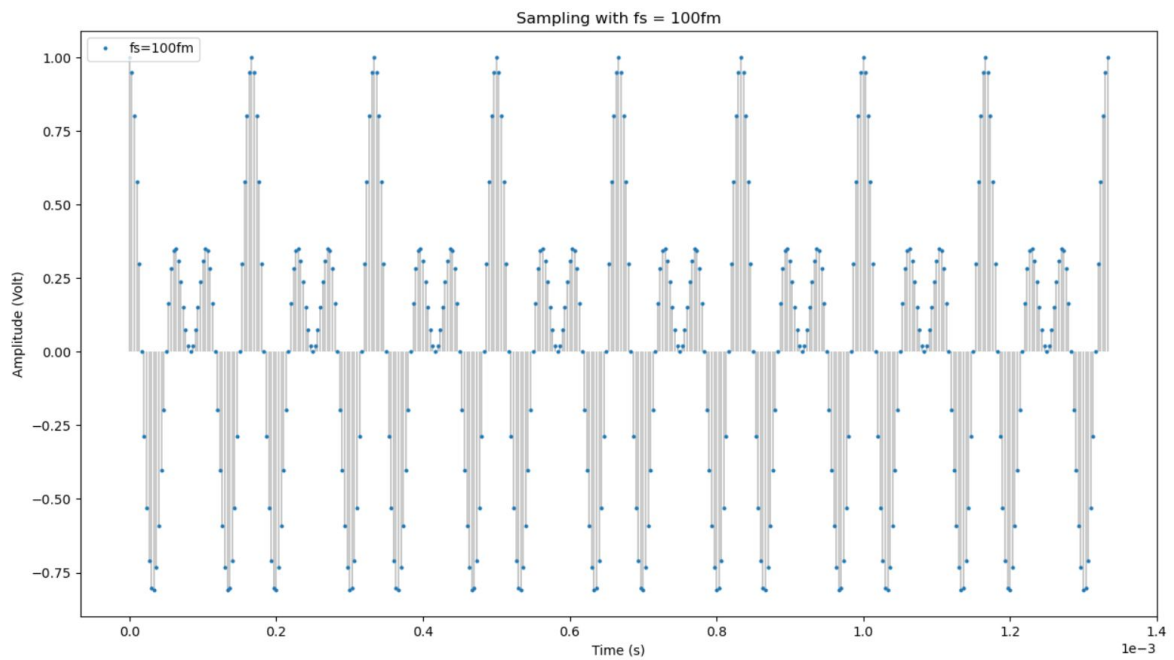


1^α. Δειγματοληψία ($f_{s1}=20f_m$ και $f_{s2} = 100f_m$)

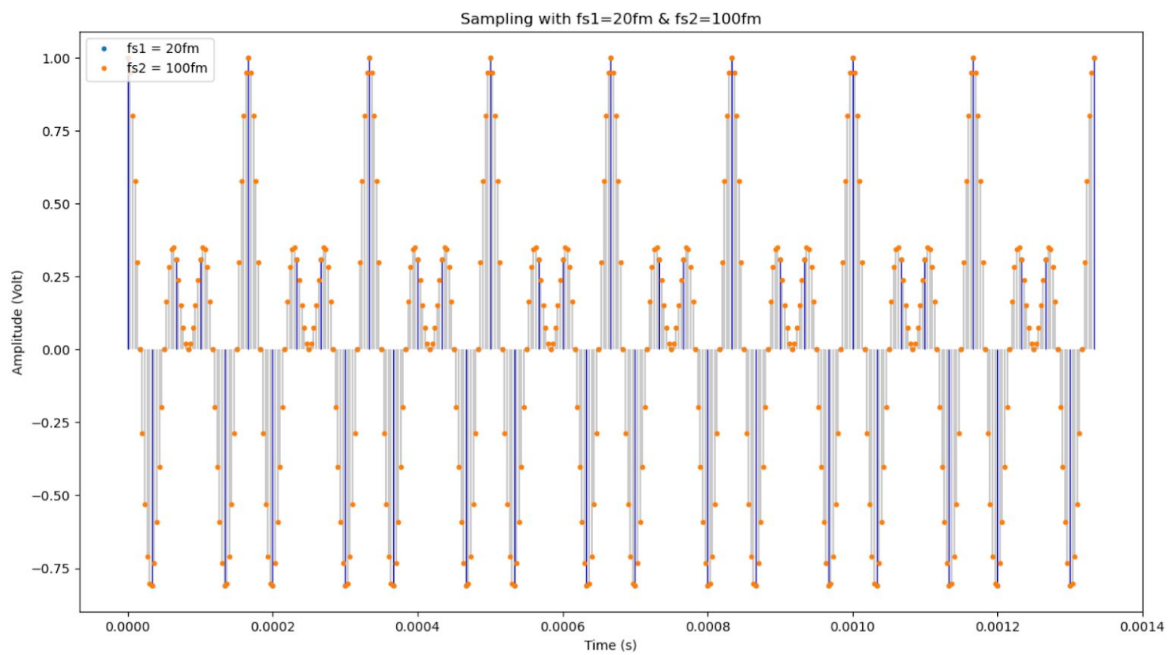
(i) Τα δείγματα μετά τη δειγματοληψία με συχνότητα $f_{s1}=20f_m=60\text{kHz}$



(ii) Τα δείγματα μετά τη δειγματοληψία με συχνότητα $f_{s2}=100f_m=300\text{kHz}$

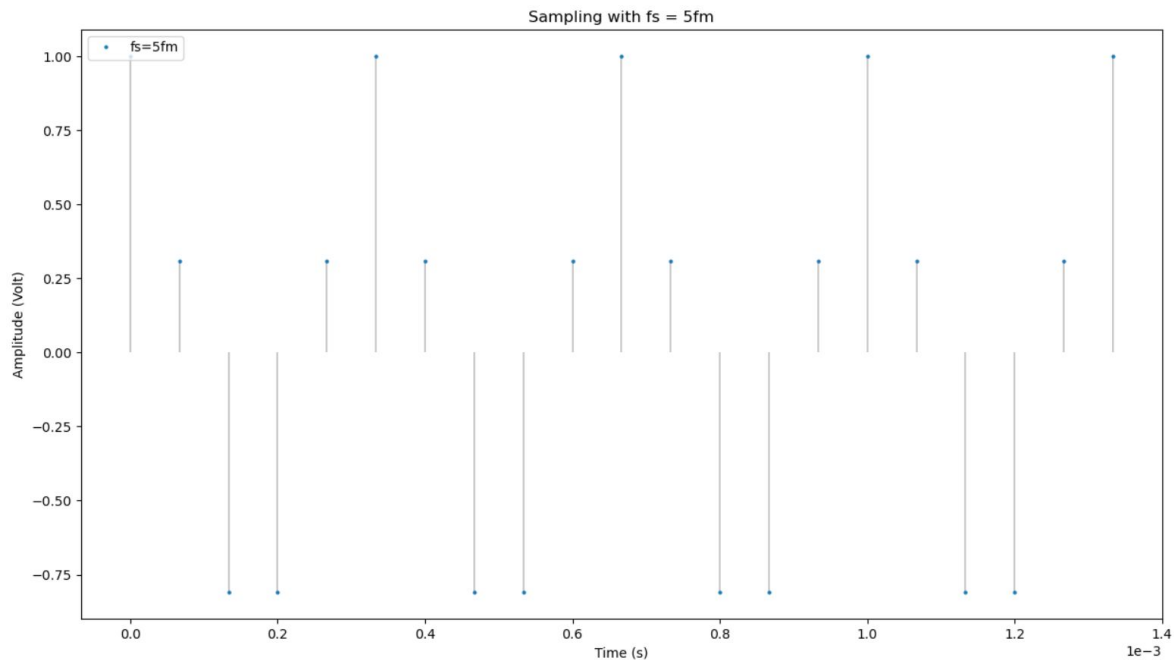


(iii) Τα δείγματα από τα ερωτήματα (i) και (ii) σε κοινό διάγραμμα.



1β'. Δειγματοληψία ($f_s=5f_m=15\text{kHz}$)

*Παρατίθεται το διάγραμμα δειγματοληψίας του αρχικού σήματος με $f_s = 5f_m$:

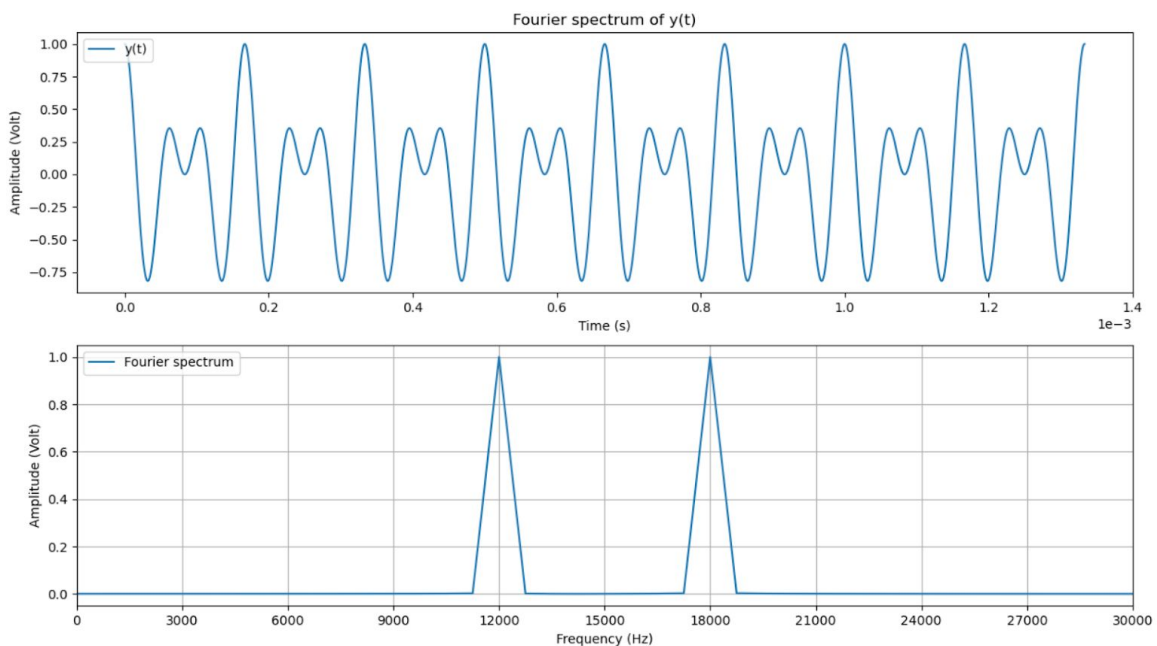


Αρχικά κοιτώντας και μόνο το διάγραμμα τα σημεία της δειγματοληψίας φαίνονται λίγα ώστε να μπορούμε να πάρουμε μία ιδέα για το πως ήταν το αρχικό σήμα και να το ανακατασκευάσουμε.

Ειδικότερα, από το θεώρημα δειγματοληψίας Nyquist-Shannon γνωρίζουμε ότι η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας (fs) ισούται με το διπλάσιο της μεγαλύτερης συχνότητας του φάσματος του σήματος.

Δηλαδή $\mathbf{fs} \geq 2W$, όπου W το πλάτος του φάσματος.

*Παρακάτω παρατίθεται το φάσμα Fourier του σήματος $y(t)$ (θεμελιώδης συχνότητα 3kHz)



Από το fourier spectrum καταλαβαίνουμε ότι το αρχικό σήμα εξαρτάται από δύο συχνότητες, τα 12 kHz ($4 \cdot 3\text{kHz}$) και τα 18kHz ($6 \cdot 3\text{kHz}$), δηλαδή από τη 4η και την 6η αρμονική αντίστοιχα. Καταλαβαίνουμε έτσι και ότι το αρχικό σήμα είναι ισοδύναμο του : $y'(t) = \cos(2\pi \cdot 4 \cdot f_m \cdot t) + \cos(2\pi \cdot 6 \cdot f_m \cdot t)$.

Επομένως αφού $W=6 \cdot 3\text{kHz}$, για να μπορεί να γίνει ακριβής ανακατασκευή του σήματος θα πρέπει η ελάχιστη θεωρητική συχνότητα δειγματοληψίας να είναι :

$$f_s = 2 \cdot W = 2 \cdot 6 \cdot 3\text{kHz} = 12 f_m$$

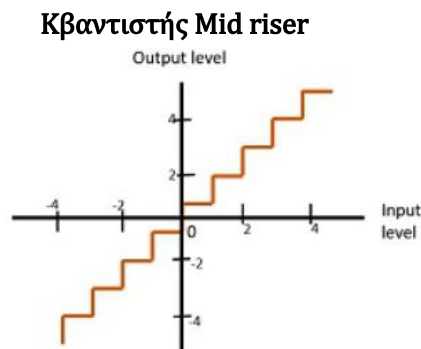
2^ο Ερώτημα

Παράμετροι

- ☐ Sampling frequency : $f_{s1} = 20f_m$
- ☐ Bits = 5
- ☐ Bit stream amplitude : 3 V (γιατί $f_m = 3\text{kHz}$)

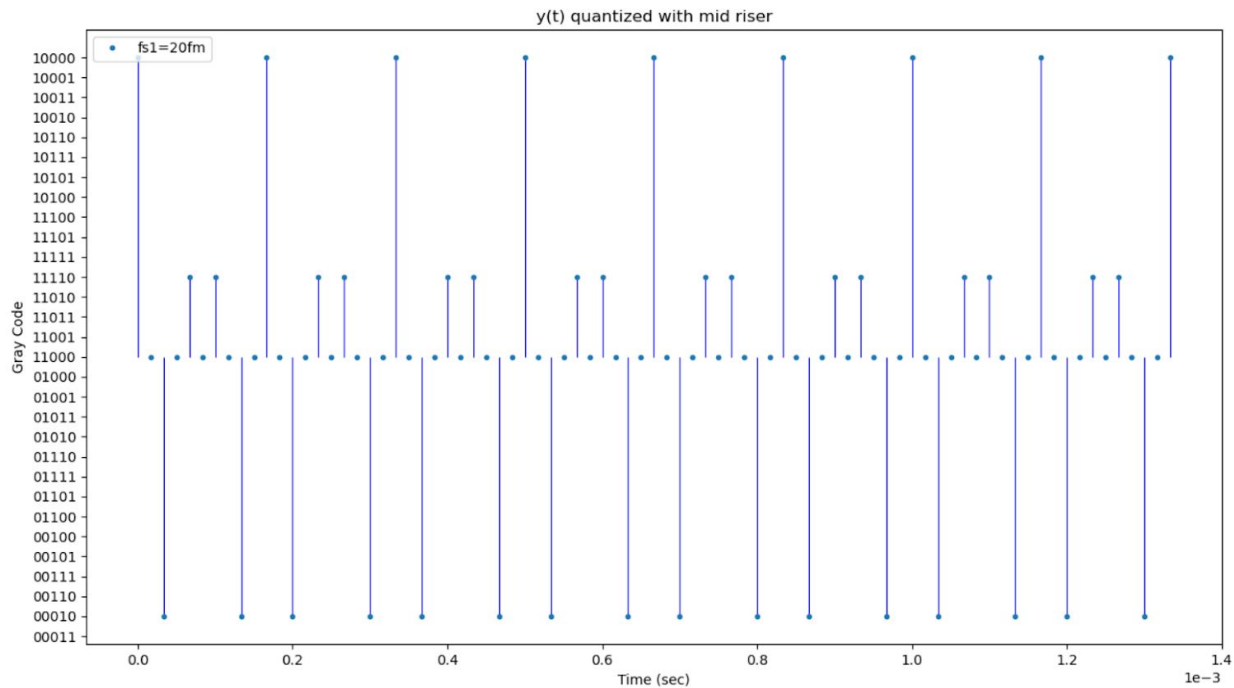
2α'. Κβάντιση δειγματοληπτημένου σήματος (mid riser)

- Αριθμός επιπέδων $L = 2^{\text{bits}} = 2^5 = 32$
- $m_{\text{max}} = 1$ (πλάτος κβαντισμένου σήματος)
- Μέγεθος βήματος $= 2 \cdot m_{\text{max}} / L$



Αφού έχουμε δειγματοληπτήσει το αρχικό σήμα με συχνότητα $20f_m$ θέλουμε να αντιστοιχήσουμε το κάθε σημείο του σήματος με μία στάθμη (δηλαδή με έναν αριθμό από το 0 ως το 31) ώστε να μπορούμε να το αναπαραστήσουμε με δυαδικό κώδικα. Για αυτό χρησιμοποιούμε το κβαντιστή mid riser και κάθε στάθμη την αντιστοιχίζουμε σε ένα δυαδικό αριθμό ο οποίος προκύπτει μέσω της κωδικοποίησης gray.

*Παρατίθεται το διάγραμμα του κβαντισμένου σήματος με κβαντιστή mid riser και κωδικοποίηση Gray



2β'. Τυπική απόκλιση σφάλματος κβάντισης

Το σφάλμα κβάντισης υπολογίζεται από τη διαφορά μεταξύ των σημάτων εισόδου και εξόδου του κβαντιστή. Μαθηματικά αυτό εκφράζεται ως $q = m - v$, όπου q η απόκλιση σφάλματος, m το δειγματοληπτημένο σήμα και v το κβαντισμένο σήμα.

Στη προκειμένη περίπτωση για να υπολογίσουμε το Variance για κάθε περίπτωση υπολογίζουμε την απόκλιση q για κάθε σημείο και μετά υπολογίζουμε το μέσο όρο των τετραγώνων των q .

$$\text{Δηλαδή για 10 σημεία έχουμε } \text{var}_{10} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} q_i^2$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτουν :

(i) Variance for first 10 values : $\text{var}_{10} = 5.915 \cdot 10^{-4}$

10 samples : 0.000591503820522538

(ii) Variance for first 20 values : $\text{var}_{20} = 5.915 \cdot 10^{-4}$

20 samples : 0.0005915038205225317

(iii) SNR κβάντισης

Το SNR (Signal to quantization Noise Ratio) για ένα σήμα ορίζεται ως :

$$\text{SNR} = P / \sigma^2$$

, όπου P είναι η μέση ισχύς του σήματος (δηλαδή ο μέσος όρος των τετραγώνων των τιμών του σήματος)

και σ^2 το variance (δηλαδή το σφάλμα κβάντισης).

Για $P = 0.249$ προκύπτουν :

- SNR κβάντισης για 10 σημεία : SNR_10 = 422.6515

SNR for 10 samples : 422.6515388846491

- SNR κβάντισης για 20 σημεία : SNR_20 = 422.6515

SNR for 20 samples : 422.6515388846536

- Θεωρητική τιμή SNR κβάντισης : 768.0

SNR for theoretical : 768.0

*Για τον υπολογισμό της θεωρητικής τιμής SNR κβάντισης έπρεπε να υπολογίσουμε πρώτα τη θεωρητική τυπική απόκλιση σφάλματος κβάντισης για 5 bits η οποία ορίζεται από το τύπο :

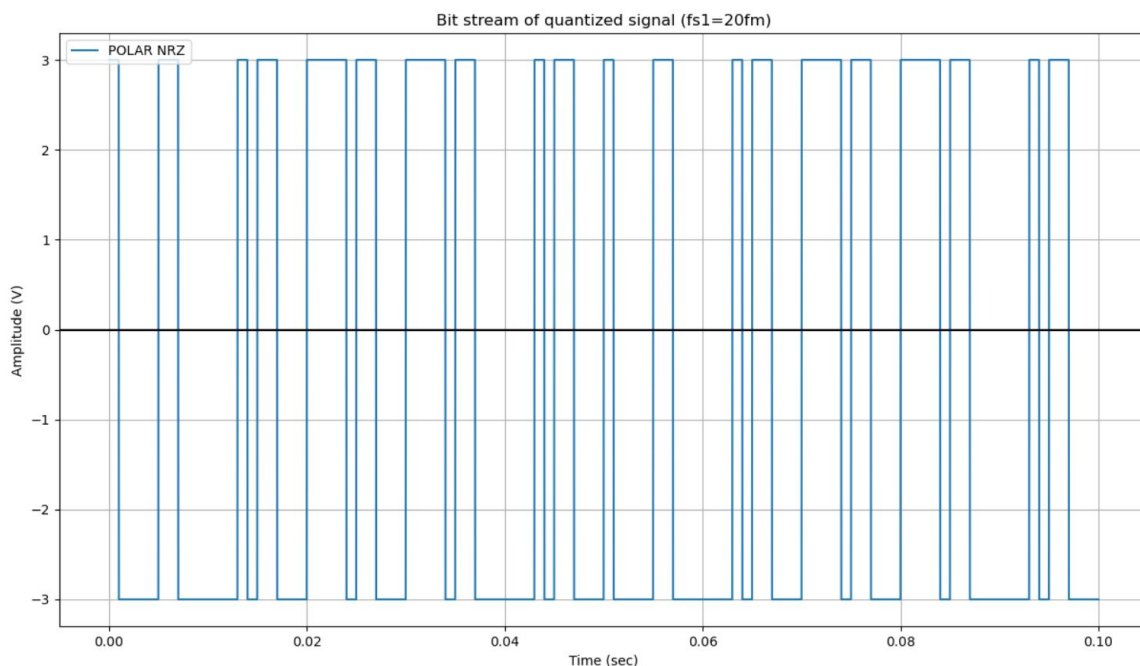
$$\sigma_Q^2 = \frac{1}{3} * m_{\max}^2 * 2^{-2 \cdot \text{bits}} = 3.2552 * 10^{-4}$$

Σχολιασμός :

Για τις πρώτες δύο τιμές SNR είναι αναμενόμενο να ταυτίζονται τα αποτελέσματα διότι το SNR των 10 σημείων αφορά τη μισή περίοδο του σήματος, ενώ το SNR των 20 σημείων αφορά ολόκληρη τη περίοδο και καθώς το σήμα επαναλαμβάνεται κάθε μισή περίοδο τα σημεία της υπόλοιπης μισής περιόδου θα έχουν τις ίδιες αποκλίσεις σφάλματος κβάντισης με τη πρώτη (και άρα την ίδια μέση τιμή). Η θεωρητική τιμή της απόκλισης σφάλματος είναι μικρότερη από τις αντίστοιχες για 10 και 20 δείγματα καθώς προκύπτει λαμβάνοντας υπόψην όλο το σήμα εισόδου. Επομένως, αν αυξήσουμε τη συχνότητα δειγματοληψίας περιμένουμε το variance και το SNR να πλησιάσει τη θεωρητική τιμή.

2γ'. Bit stream (with POLAR NRZ encoding)

*Παρατίθεται το διάγραμμα ροής μετάδοσης των bits που προκύπτουν από τη κωδικοποίηση Gray των δειγμάτων για μία περίοδο (Κωδικοποίηση POLAR NRZ 1->3V, 0->-3V, διάρκεια bit : 1ms, συνολικά bits : 5*20=100bits)



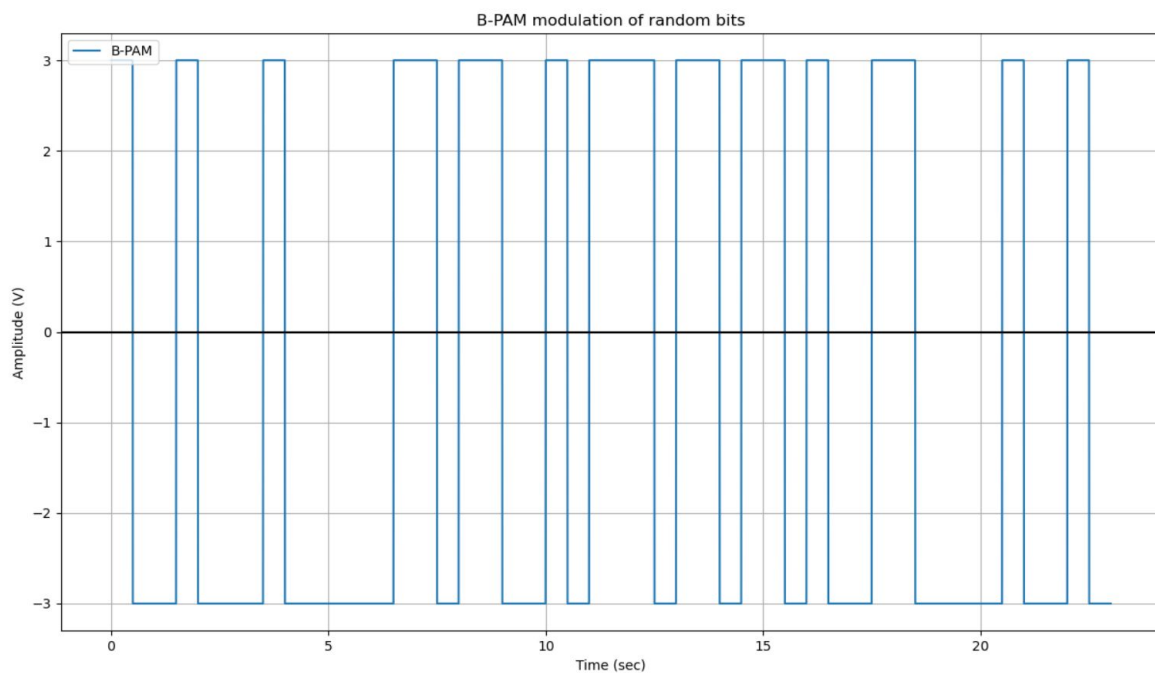
3^α Ερώτημα

Παράμετροι

- ☐ Number of random bits : 46
- ☐ Bit duration (T_b) = 0.5 sec
- ☐ Type of modulation : B-PAM
- ☐ Bit stream amplitude (A) : 3 V (γιατί $f_m = 3\text{kHz}$)

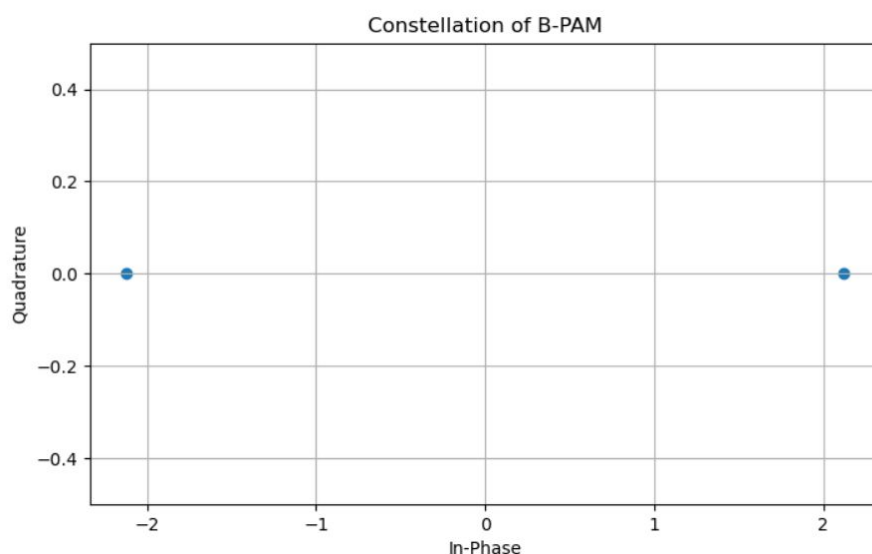
3α'. Διαμόρφωση ακολουθίας κατά B-PAM

*Παρατίθεται το το διάγραμμα που προκύπτει από την ακολουθία των 46 bits διαμορφωμένη κατά B-PAM (POLAR NRZ)

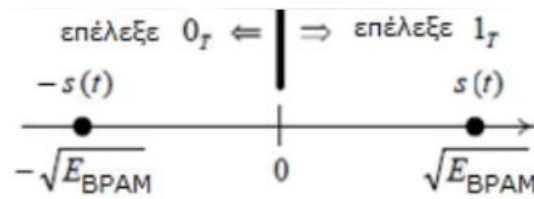


3β'. Διάγραμμα αστερισμού για σήμα

*Παρατίθεται το το διάγραμμα αστερισμού του παραπάνω σήματος διαμορφωμένο κατά B-PAM



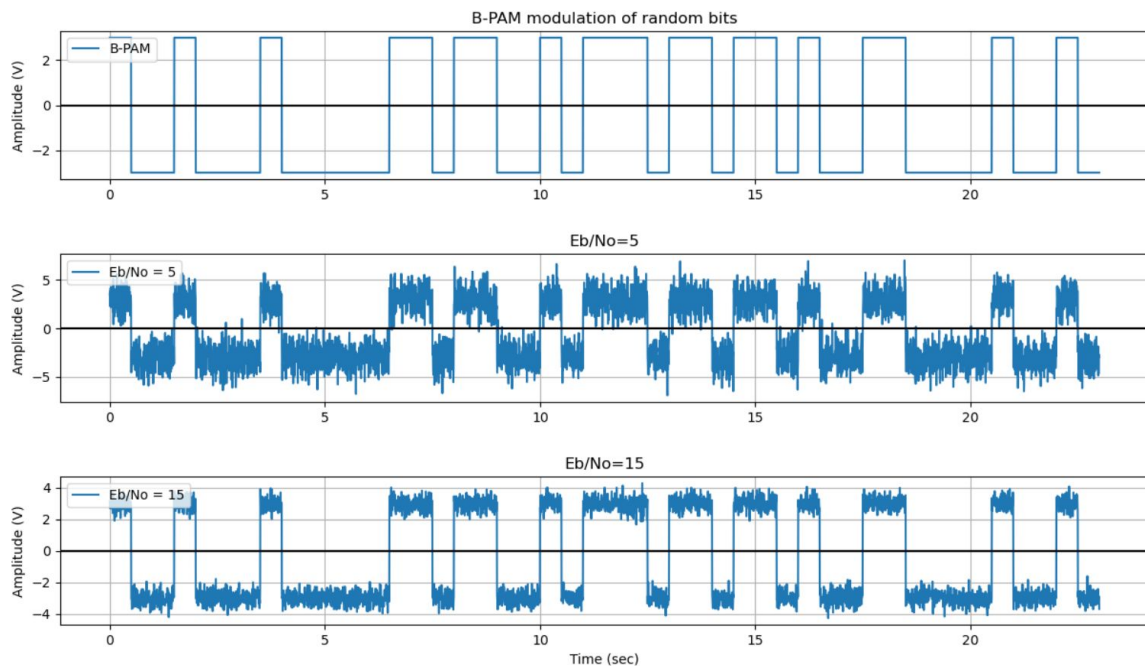
Σκονάκι



Τα δύο σημεία που βλέπουμε στο πρώτο διάγραμμα αντιπροσωπεύουν τις τιμές 0 και 1 τις οποίες καλείται να αποκωδικοποιήσει ο δέκτης. Το κάθε σημείο απέχει από το 0 (το οποίο αποτελεί και το κατώφλι για τη λήψη απόφασης) απόσταση ίση με $\pm \sqrt{E_{bit}}$, όπου $E_{bit} = A^2 T_b = 9 \cdot 0.5 = 4.5 \Rightarrow \sqrt{E_{bit}} = 2.12$

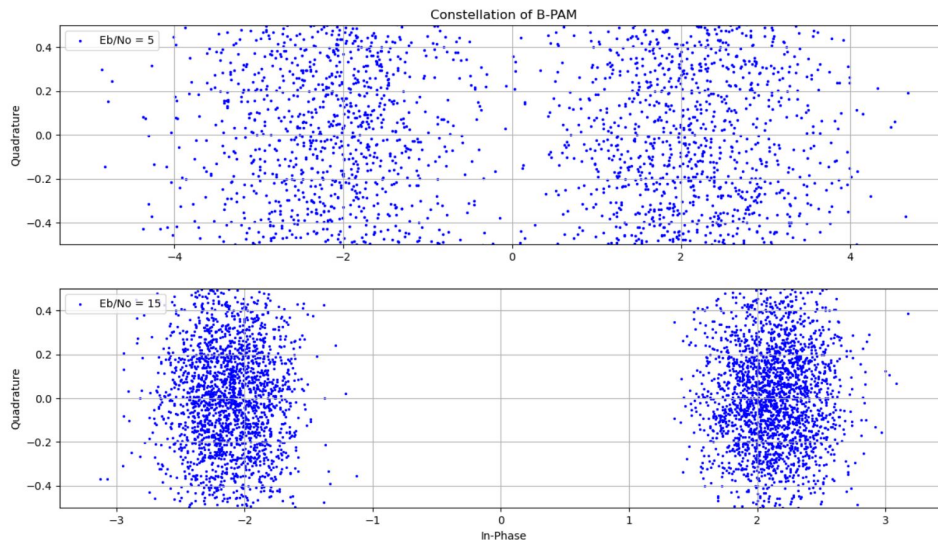
3γ'.AWGN θόρυβος για SNR=5dB και SNR=15dB

Έχοντας παράξει το κατάλληλο θόρυβο για το αντίστοιχο SNR ως μία μιγαδική τυχαία μεταβλητή προσθέτουμε στο σήμα B-PAM το πραγματικό μέρος του θορύβου αυτού και έτσι προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα.



Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε πως όσο μικρότερος είναι ο λόγος SNR τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του θορύβου και επομένως είναι πιά πιθανό το πλάτος του παλμού να περάσει από την αντίθετη μεριά του μηδενός και να υπάρξει εσφαλμένη αποκωδικοποίηση του ψηφίου. Για SNR=5 τα πλάτη των ψηφίων πλησιάζουν πολύ κοντά στο 0, όπου και περιμένουμε να υπάρχει κάποιο ποσοστό εσφαλμένου ψηφίου, ενώ για SNR=15 φαίνεται το αντίστοιχο ποσοστό να είναι πρακτικά 0, καθώς ο θόρυβος δεν επηρεάζει σε τόσο μεγάλο βαθμό το πλάτος του παλμού.

3δ'. Διαγράμματα αστερισμών για σήμα με θόρυβο AWGN



Για τα συγκεκριμένα διαγράμματα χρησιμοποιήθηκε η μιγαδική τυχαία μεταβλητή του θορύβου. Στον οριζόντιο άξονα βρίσκεται η πραγματική, ενώ στο κατακόρυφο η μιγαδική συνιστώσα του θορύβου. Στη περίπτωση που ο λόγος SNR είναι μικρότερος βλέπουμε ότι τα σημεία έχουν μεγαλύτερη διασπορά από τα σημεία $\pm \sqrt{E_{bit}}$ με αποτέλεσμα να είναι περισσότερα αυτά που θα περάσουν το κατώφλι απόφασης που είναι η κάθετη ευθεία στ 0. Αντίθετα, για το μεγαλύτερο SNR τα σημεία δεν φαίνεται να αποκλίνουν τόσο από τα σημεία πόλους ($\pm \sqrt{E_{bit}}$).

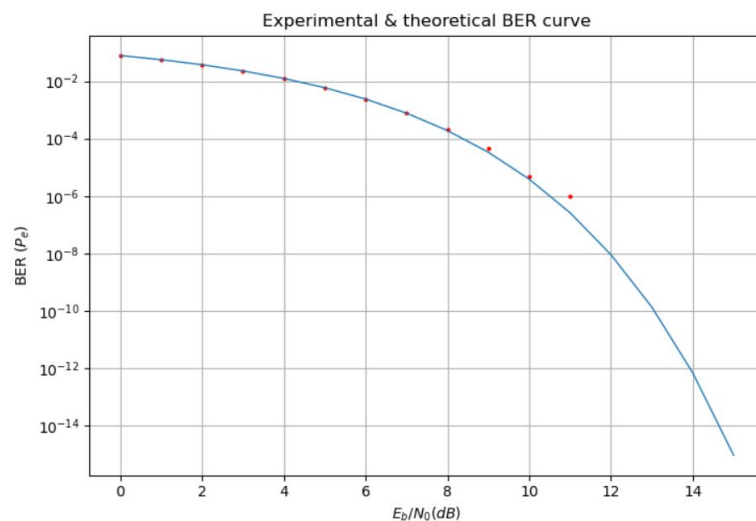
3ε'. Διάγραμμα πιθανότητας εσφαλμένου ψηφίου (BER) για B-PAM

Έχοντας παράξει 10^6 τυχαία bits για κάθε ακέραια τιμή SNR από το 1 μέχρι το 15 παρουσιάζεται το παρακάτω διάγραμμα στο οποίο αναπαρίσταται η πιθανότητα εσφαλμένου ψηφίου (δηλαδή πόσα είναι τα εσφαλμένα bits στα 10^6) συναρτήσει του λόγου SNR σε λογαριθμική κλίμακα. Τα σημεία αναπαριστούν τα πειραματικά αποτελέσματα ενώ η καμπύλη τη θεωρητική τιμή (για διαμόρφωση B-PAM) η οποία προκύπτει από το παρακάτω τύπο (για $SNR > 11$ η πειραματική τιμή είναι 0 και δεν εμφανίζονται σημεία):

$$P[\text{error}]_{\text{BPAM}} = Q(\sqrt{2E_b / N_o})$$

$$* \text{όπου } Q = \frac{1}{2\pi} \int_x^\infty \exp(-\frac{u^2}{2}) du$$

και E_b / N_o ο λόγος SNR που μας δίνεται



4^ο Ερώτημα

Παράμετροι

- ☐ Number of random bits : 46
- ☐ Type of modulation : QPSK
- ☐ $\sqrt{E_{bit}} = 2.12$
- ☐ Αρχείο κειμένου : shannon_odd.txt

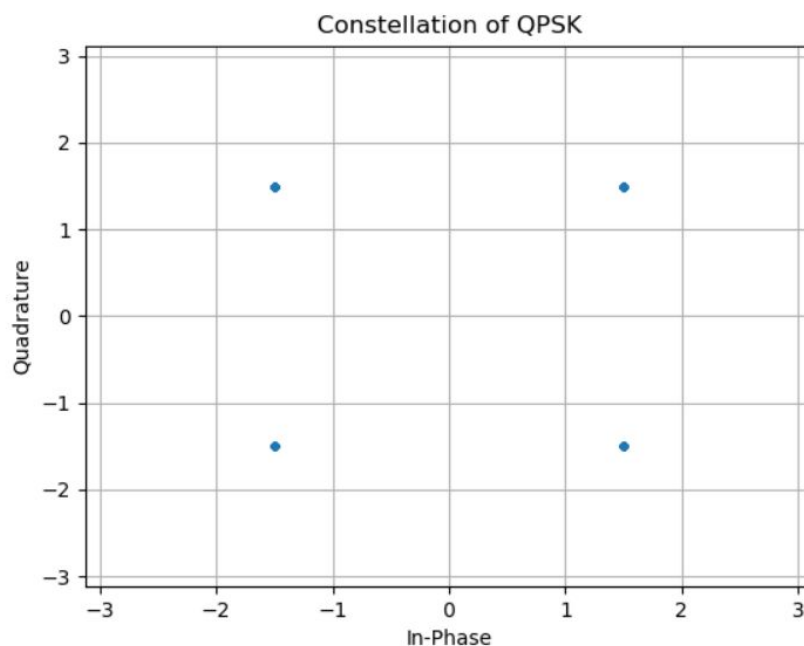
4α'. Διάγραμμα αστερισμού για κωδικοποίηση (π/4) Gray - QPSK

Στη διαμόρφωση κατά QPSK χρησιμοποιούνται 4 σύμβολα (s1, s2, s3, s4) καθένα από τα οποία αναπαριστάται από 2 bits. Στο παρακάτω πίνακα φαίνεται η αντιστοιχία :

s1	00
s2	01
s3	11
s4	10

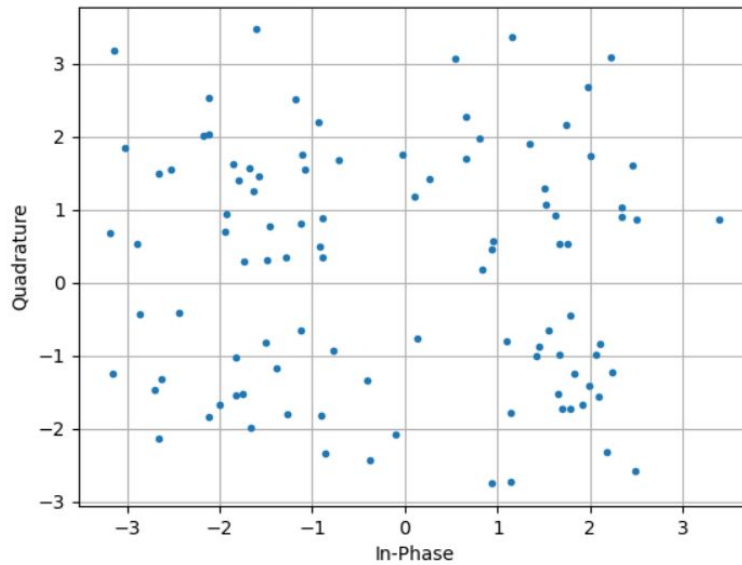
Κάθε σύμβολο αντιστοιχίζεται στον αστερισμό σαν ένα σημείο που απέχει από το 0 απόσταση ίση με $\sqrt{E_{bit}}$ και η γωνία του από τον άξονα x είναι $\pi/4$ λόγω της κωδικοποίησης κατά **(π/4) Gray**. Αντίστοιχα σε πολικές συντεταγμένες για κάθε σημείο s_i ισχύει $r = \sqrt{E_{bit}}$ και $\theta = n\pi/2 + \pi/4$, $n \in [0,3]$

*Παρατίθεται το διάγραμμα αστερισμού

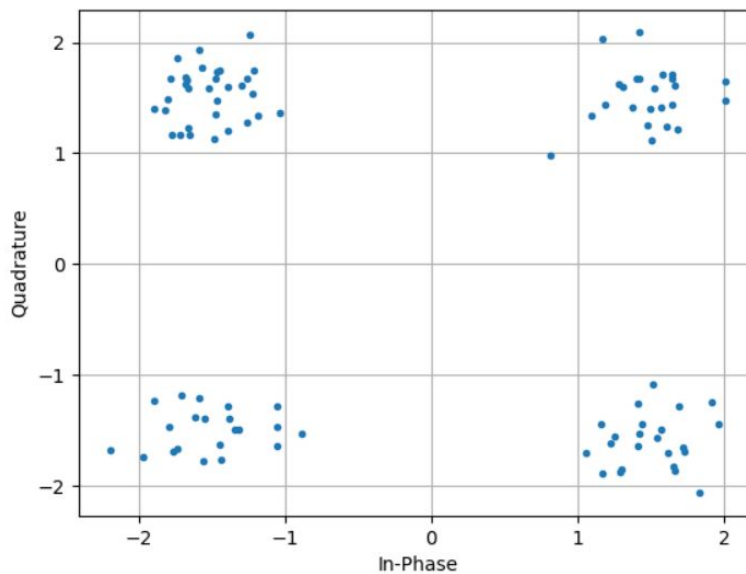


4β'. Διάγραμμα αστερισμού για θόρυβο AWGN με SNR = 5 & 15

*Παρατίθεται το διάγραμμα αστερισμού για θόρυβο με λόγο $E_b / N_0 = 5$



*Παρατίθεται το διάγραμμα αστερισμού για θόρυβο με λόγο $E_b / N_0 = 15$



Παρατηρήσεις :

Στο πρώτο διάγραμμα όπου ο θόρυβος έχει μεγαλύτερη ένταση δεν μπορούμε να διακρίνουμε με ευκολία ότι υπάρχουν 4 διακριτές περιοχές με αποτέλεσμα ο δέκτης να δυσκολευτεί να διακρίνει ποιο είναι το σύμβολο που έστειλε ο πομπός. Σε αντίθεση, στο δεύτερο διάγραμμα φαίνεται καθαρά, ακόμα και με το θόρυβο, ποιο είναι το σύμβολο που στάλθηκε.

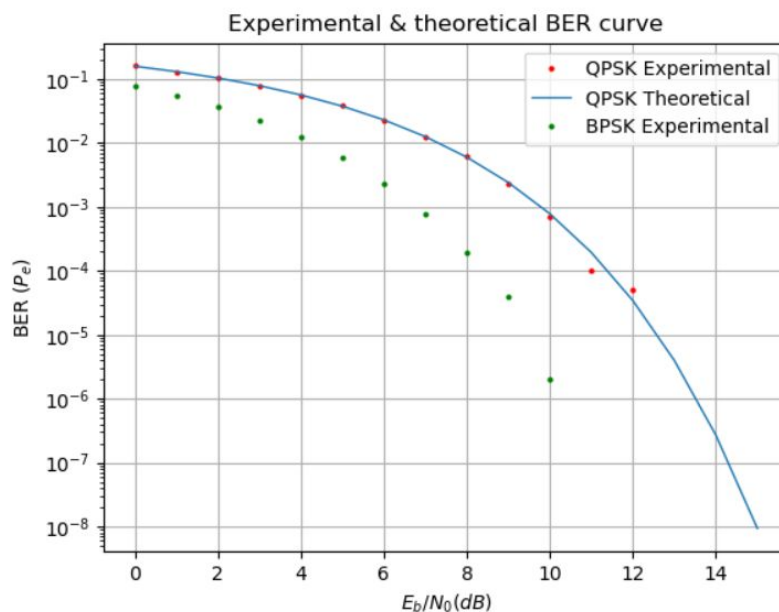
4γ'. Διάγραμμα πιθανότητας εσφαλμένου συμβόλου για QPSK

Έχοντας παράξει 10^5 τυχαία bits για κάθε ακέραια τιμή SNR από το 1 μέχρι το 15 παρουσιάζεται το παρακάτω διάγραμμα στο οποίο αναπαρίσταται η πιθανότητα εσφαλμένου ψηφίου (δηλαδή πόσα είναι τα εσφαλμένα bits στα 10^5) συναρτήσει του λόγου SNR σε λογαριθμική κλίμακα. Τα σημεία αναπαριστούν τα πειραματικά αποτελέσματα ενώ η καμπύλη τη θεωρητική τιμή (για διαμόρφωση QPSK) η οποία προκύπτει από το παρακάτω τύπο :

$$P[\text{error}]_{\text{QPSK}} = Q(\sqrt{E_s / N_o})$$

$$* \text{όπου } Q = \frac{1}{2\pi} \int_x^\infty \exp(-\frac{u^2}{2}) du$$

και E_b / N_o ο λόγος SNR που μας δίνεται



Οι θεωρητικές με τις πειραματικές ταυτίζονται για τις πρώτες 12 τιμές του άξονα x, με εξαίρεση τις μεγαλύτερες τιμές SNR όπου η πειραματική τιμή είναι πρακτικά ίση με 0. Με πράσινο παρουσιάζονται τα αντίστοιχα σημεία για τη διαμόρφωση BPSK. Παρατηρούμε ότι για τις ίδιες τιμές E_b/N_o (dB) οι τιμές BER της διαμόρφωσης BPSK είναι μικρότερες από αυτές της QPSK (μπορούμε να το εκφράσουμε και ως ότι η πράσινη καμπύλη πλησιάζει πιο γρήγορα το 0 από ότι η κόκκινη). Επομένως, καταλαβαίνουμε πως η απόδοση της BPSK είναι καλύτερη. Αυτό, μπορούμε να το δικαιολογήσουμε καθώς στη QPSK τα 4 σύμβολα κατέχουν το καθένα μικρότερο χώρο στο διάγραμμα αστερισμού και υπάρχουν 4 κατώφλια απόφασης (διαχωριστικές γραμμές), ενώ στο BPSK υπάρχει μόνο 1. Άρα όταν υπάρχουν 4 σημεία αντί των 2 περιμένουμε να υπάρχουν και περισσότερα λάθη κατά την αποκωδικοποίηση.

4δ'. Αποστολή - λήψη αρχείου κειμένου

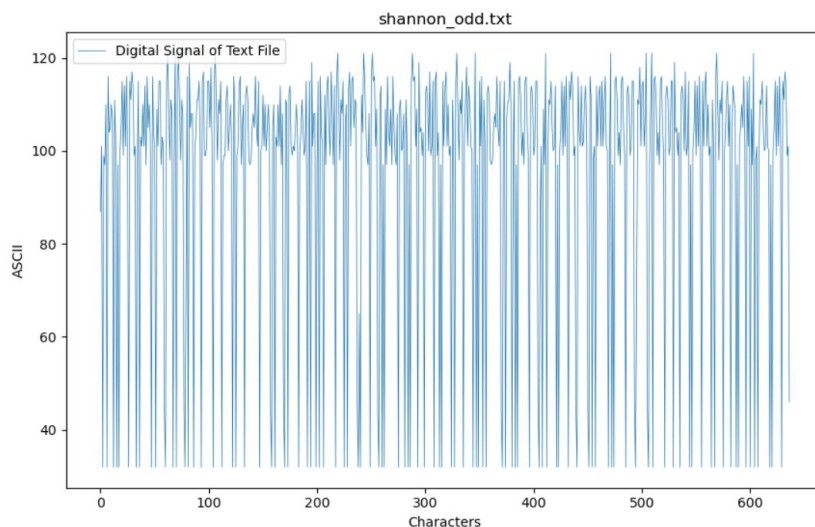
(i) Μετατροπή του ASCII σε bits (binary)

Μέσω της μεθόδου `ord()` στη python παίρνουμε το αντίστοιχο ακέραιο που αντιστοιχεί στο κάθε γράμμα και αυτόν τον μετατρέπουμε στον αντίστοιχο δυαδικό μέσω της `binascii` παίρνοντας σαν αποτέλεσμα το παρακάτω binary string :

[illegible]

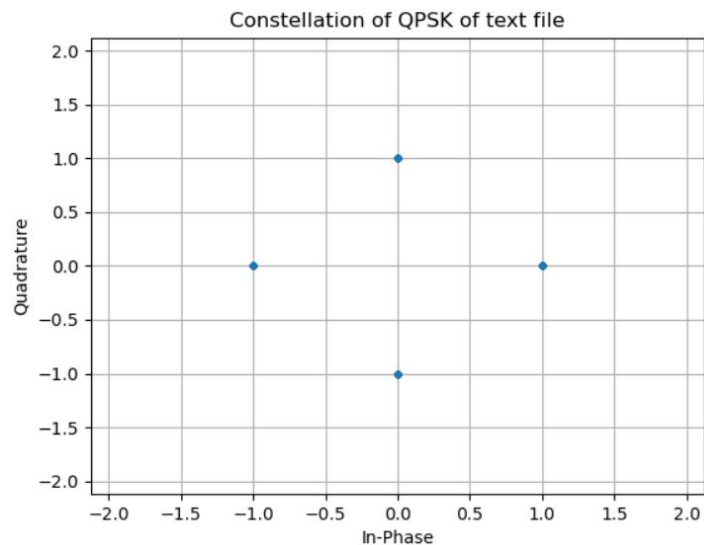
(ii) Κβάντιση σήματος με 8 bits

*Παρατίθεται το διάγραμμα που προκύπτει από τη κβάντιση του σήματος κειμένου.



(iii) Απεικόνιση του σήματος διαμορφωμένο κατά QPSK

*Παρατίθεται το διάγραμμα αστερισμού του σήματος με κωδικοποίηση Gray και σύμβολα πλάτους 1 Volt

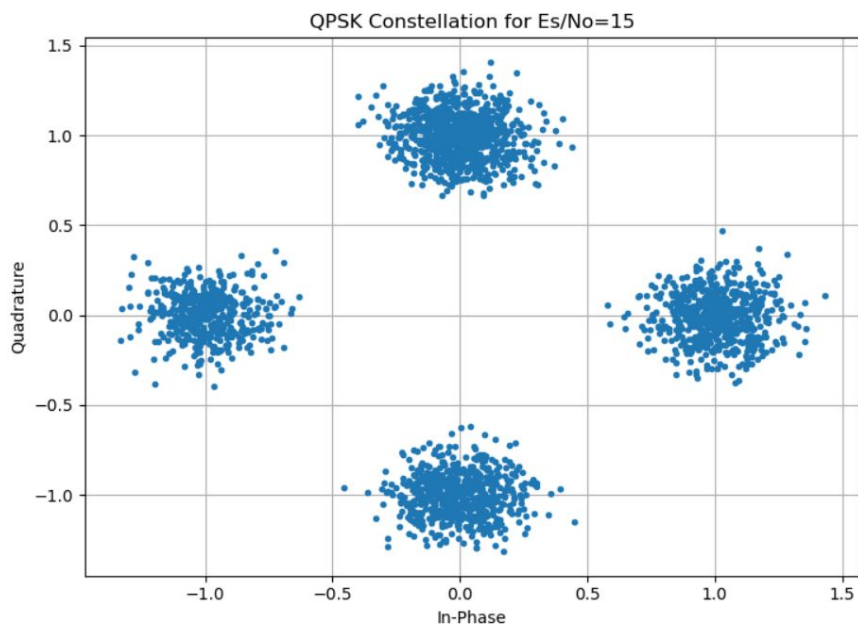
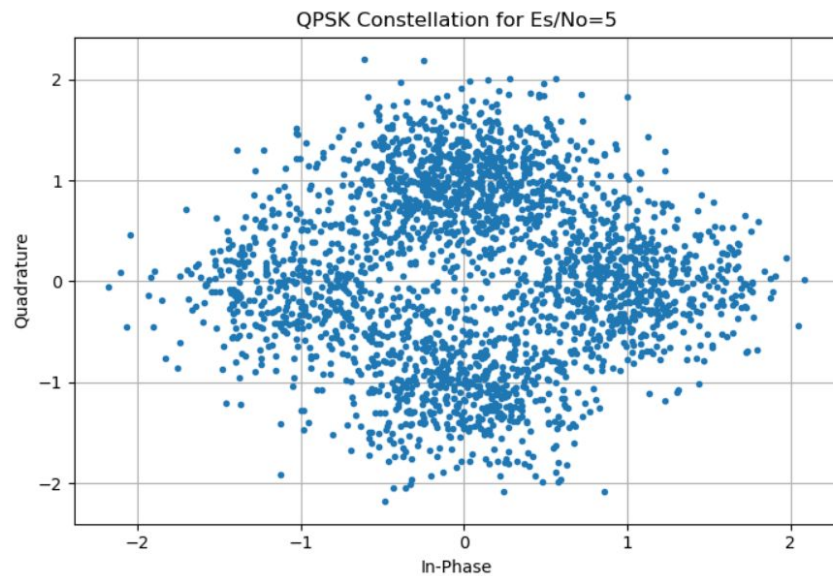


(iv) Θόρυβος AWGN για SNR = 5dB & 15dB

Παράγουμε μιγαδική τυχαία μεταβλητή (θόρυβος) με την αντίστοιχη διασπορά για τιμές $E_b/N_0 = 5\text{dB}$ και 15dB αφού γραμμικοποιήσουμε πρώτα τους αντίστοιχους λόγους και τη προσθέτουμε στο υπάρχων σήμα.. Ο αντίστοιχος κώδικας βρίσκεται στη main.py στις γραμμές 531-541.

(v) Διαγράμματα αστερισμών για SNR = 5dB & 15dB

*Παρατίθενται τα διαγράμματα αστερισμών για τους λόγους $E_b/N_0 = 5\text{dB}$ και 15dB αντίστοιχα και κωδικοποίηση (0) Gray



(vi) Bit error rate (BER) για SNR = 5dB & 15dB

Ακολουθώντας τη ίδια πρακτική και χρησιμοποιώντας τους ίδιους τύπους με το ερώτημα 4γ' βρίσκουμε τη πρακτική και τη θεωρητική τιμή του BER (bit error rate) για $E_b/N_0 = 5\text{dB}$ και 15dB

Για $E_b/N_0 = 5\text{dB}$:

- BER πειραματικό : 0.0376767
- BER θεωρητικό : 0.0376789

Για $E_b/N_0 = 15\text{dB}$:

- BER πειραματικό : 0.0
- BER θεωρητικό : 0.0

```
Experimental BER for text file (SNR=5dB) : 0.03767660910518053
Theoretical BER for text file (SNR=5dB) : 0.03767898814746344
Experimental BER for text file (SNR=15dB) : 0.0
Theoretical BER for text file (SNR=15dB) : 9.361039990685089e-09
```

(vii) Ανακατασκευή του αρχείου κειμένου

Έχοντας αποδιαμορφώσει από προηγούμενο ερώτημα το σήμα στο οποίο υπάρχει ο αντίστοιχος θόρυβος παράγονται δύο αρχεία κειμένου (shannon_odd_export_5dB.txt και shannon_odd_export_15dB.txt) τα οποία είναι αποθηκευμένα στον φάκελο "Text & Sound files - Νίκος Μπέλλος". Στο κείμενο με το μικρότερο λόγο σήματος προς θόρυβο παρατηρούμε σημαντικές αλλοιώσεις στις λέξεις ενώ στη δεύτερη περίπτωση το κείμενο δεν έχει κανένα λάθος καθώς η πιθανότητα λανθασμένου συμβόλου είναι πρακτικά 0.

Ενδεικτικό κείμενο για $E_b/N_0 = 5\text{dB}$

We can thjnk of ` dhöcreTe s/urce as gEn%r`pyn' tie
essaee, {ymbil bx cymboi. Èt will ahooöe suCcessmve :

Ενδεικτικό κείμενο για $E_b/N_0 = 15\text{dB}$

We can think of a discrete source as generating the

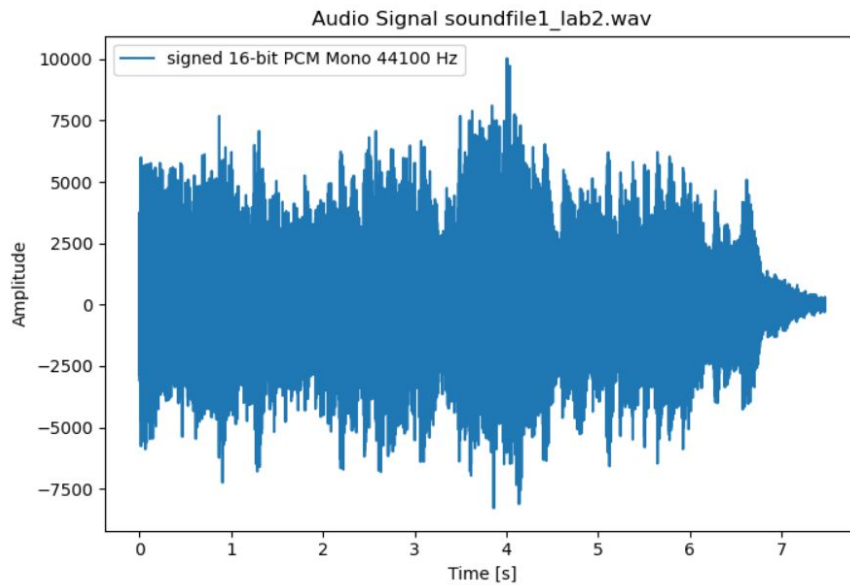
5^ο Ερώτημα

Παράμετροι

- ☐ Type of modulation : QPSK
- ☐ Τύπος αρχείου εισόδου : signed 16-bit PCM Mono 44100 Hz
- ☐ Τύπος αρχείου εξόδου : unsigned 8-bit PCM Mono 44100 Hz
- ☐ Αρχείο ήχου : soundfile1_lab2.wav

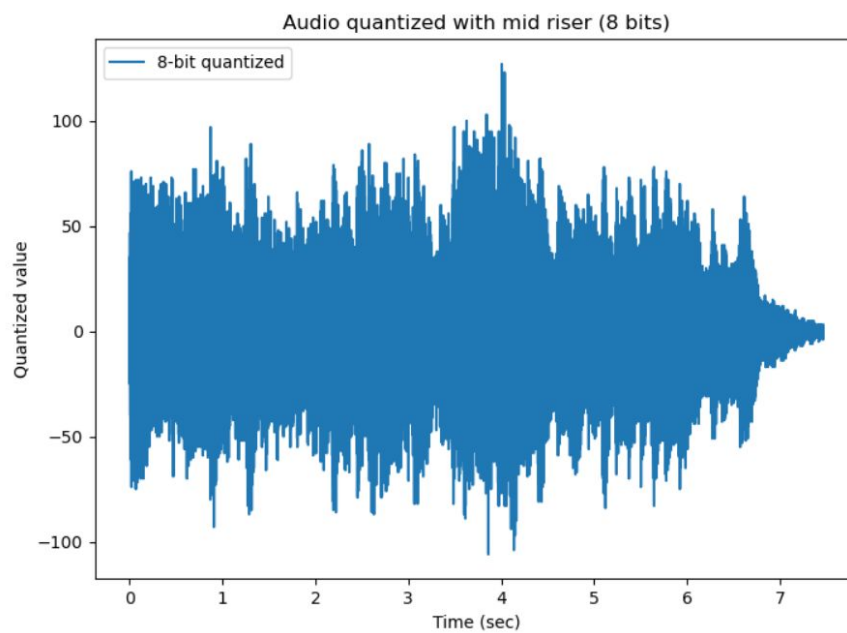
5α'. Αναπαράσταση του σήματος ήχου

*Παρατίθεται το διάγραμμα της κυματομορφής του σήματος ήχου



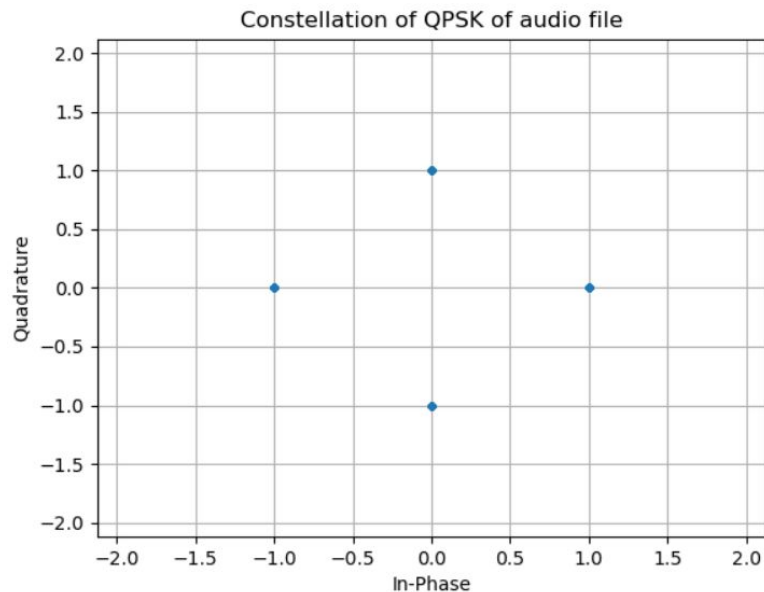
5β'.Κβάντιση σήματος με 8 bits

*Παρατίθεται το διάγραμμα της κυματομορφής του σήματος ήχου κβαντισμένο σε ομοιόμορφο κβαντιστή mid-riser 8 ψηφίων



5γ'. Απεικόνιση του σήματος διαμορφωμένο κατά QPSK

*Παρατίθεται το διάγραμμα αστερισμού του σήματος με κωδικοποίηση Gray και σύμβολα πλάτους 1 Volt

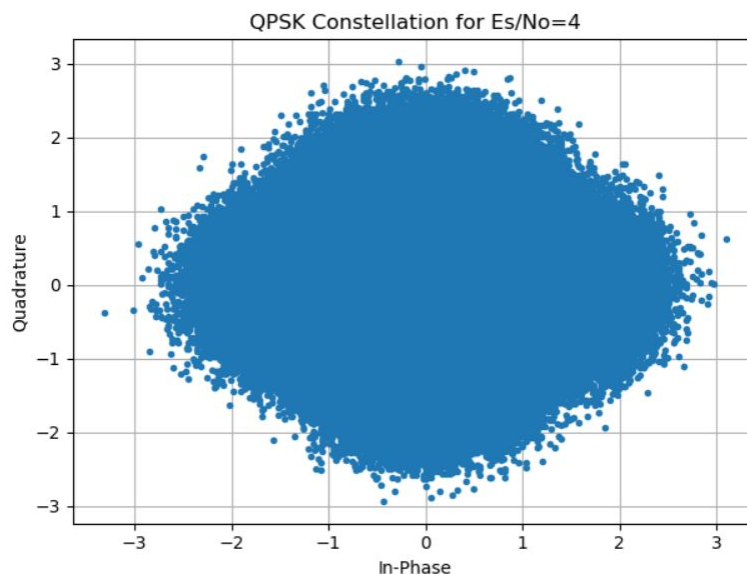


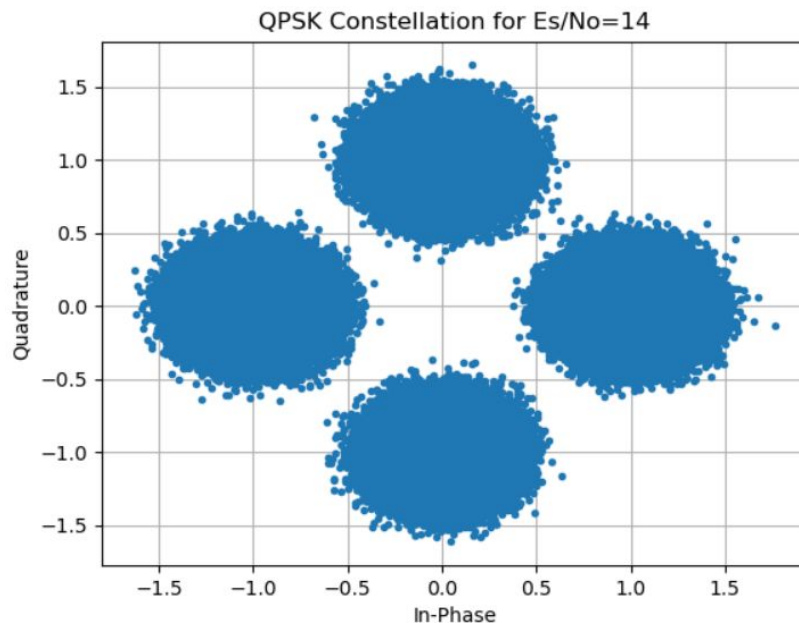
5δ'. Θόρυβος AWGN για SNR = 4dB & 14dB

Παράγουμε μιγαδική τυχαία μεταβλητή (θόρυβος) με την αντίστοιχη διασπορά για τιμές $E_b/N_0 = 4\text{dB}$ και 14dB αφού γραμμικοποιήσουμε πρώτα τους αντίστοιχους λόγους και τη προσθέτουμε στο υπάρχων σήμα. Ο αντίστοιχος κώδικας βρίσκεται στη main.py στις γραμμές 719-730.

5ε'. Διαγράμματα αστερισμών για SNR = 4dB & 14dB

*Παρατίθενται τα διαγράμματα αστερισμών για τους λόγους $E_b/N_0 = 4\text{dB}$ και 14dB αντίστοιχα και κωδικοποίηση (0) Gray





5στ'. Bit error rate (BER) για SNR = 4dB & 14dB

Ακολουθώντας τη ίδια πρακτική και χρησιμοποιώντας τους ίδιους τύπους με τα ερωτήματα 4γ' και 4δ'(vi) βρίσκουμε τη πρακτική και τη θεωρητική τιμή του BER (bit error rate) για $E_b/N_o = 4\text{dB}$ και 14dB

Για $E_b/N_o = 4\text{dB}$:

- BER πειραματικό : 0.0564291
- BER θεωρητικό : 0.0564953

```
Experimental BER for audio file (SNR=4dB) : 0.056429163390637284
Theoretical BER for audio file (SNR=4dB) : 0.05649530174936163
Experimental BER for audio file (SNR=14dB) : 0.0
Theoretical BER for audio file (SNR=14dB) : 2.695148117366714e-07
```

Για $E_b/N_o = 14\text{dB}$:

- BER πειραματικό : 0.0
- BER θεωρητικό : 0.0

5ζ'. Ανακατασκευή του αρχείου κειμένου

Έχοντας ανακατασκευάσει το σήμα ήχου για τους δύο λόγους του θορύβου $E_b/N_o = 4\text{dB}$ και 14dB παράγονται τα αντίστοιχα αρχεία ήχου .wav (soundfile1_export_4dB.wav και soundfile1_export_14dB.wav) τα οποία βρίσκονται στον φάκελο "Text & Sound files - Νίκος Μπέλλος". Για να γίνει καλύτερα κατανοητή η συμβολή αποκλειστικά του θορύβου έχουν παραχθεί τα αντίστοιχα αρχεία ήχου και για signed 16-bit PCM Mono 44100 Hz τα οποία βρίσκονται στον ίδιο φάκελο με ονόματα soundfile1_export_4dB-16bit.wav και soundfile1_export_14dB-16bit.wav . Σε αυτά παρατηρείται ξεκάθαρη διαφορά μεταξύ εκείνου με το μικρότερο SNR, όπου ο λευκός θόρυβος υπονομεύει τη ποιότητα του σήματος, και του μεγαλύτερου όπου το αρχείο ακούγεται ίδιο με το αρχικό χωρίς κάποια ιδιαίτερη αλλοίωση. Ωστόσο, ένας σημαντικός παράγοντας είναι και η αποκωδικοποίηση σε unsigned 8-bits στην έξοδο (έναντι του signed 16-bits), την οποία δεν μπορούμε να αγνοήσουμε καθώς προσθέτει αρκετό επιπλέον θόρυβο και αλλοιώνει σημαντικά τη ποιότητα του ήχου.

****DISCLAIMERS****

Για να λειτουργήσει σωστά το πρόγραμμα πρέπει να είναι στον ίδιο φάκελο με τον φάκελο samples. Επίσης, όλες οι γραφικές παραστάσεις και τα αρχεία που παράγονται και για τα δύο άτομα έχουν αποθηκευτεί στους αντίστοιχους φακέλους (Text & Sound files | Φωτογραφίες)