



National Technical University of Athens

School of Electrical and Computer Engineering

Εργαστηριακή Άσκηση

Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΛΥΜΠΕΡΑΚΗΣ (03118881)

January 17, 2021

1^ο Ερώτημα

Αρχικά, με βάσει τον Αριθμό Μητρώου θα υπολογισθούν οι παράμετροι του σήματος. Επομένως, έχουμε ότι $f_m = 8 \text{ kHz}$ & $AM = 1$.

Οπότε, το σήμα γίνεται :

$$\begin{aligned} y(t) &= A \cos(2\pi f_m t) \cos[2\pi(AM + 2)f_m t] = \\ &= \cos(2\pi * 8 * t) \cos(2\pi * 3 * 8 * t) = \\ &= \cos(16\pi * t) \cos(48\pi * t) = \\ &= \frac{1}{2} \{ \cos(32\pi * t) + \cos(64\pi * t) \} V \end{aligned}$$

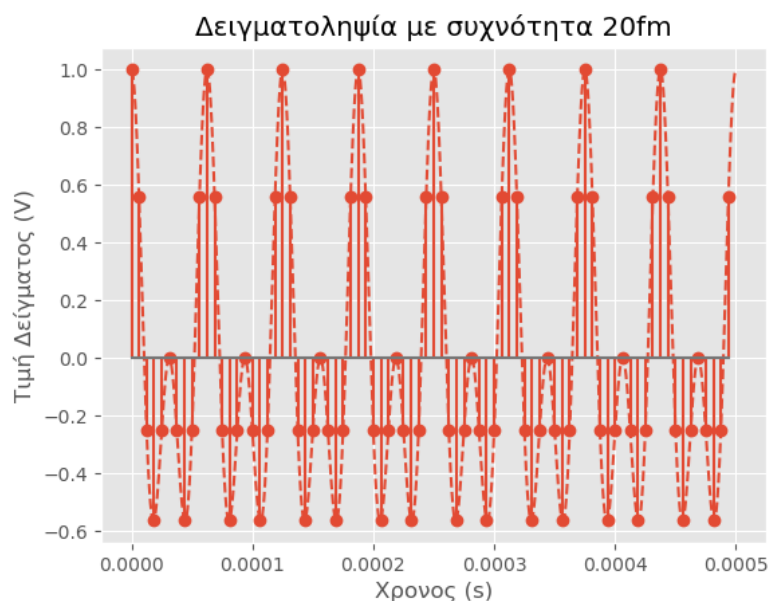
Το σήμα είναι περιοδικό με περίοδο $T = 0.0625 \text{ ms}$ άρα $f = 16 \text{ KHz} = 2f_m$.

α')

Στο πρώτο στάδιο θα πραγματοποιηθεί η δειγματοληψία του σήματος $y(t)$ με τις συχνότητες $f_{s1} = 20f_m = 160 \text{ kHz}$ και $f_{s2} = 100f_m = 800 \text{ kHz}$.

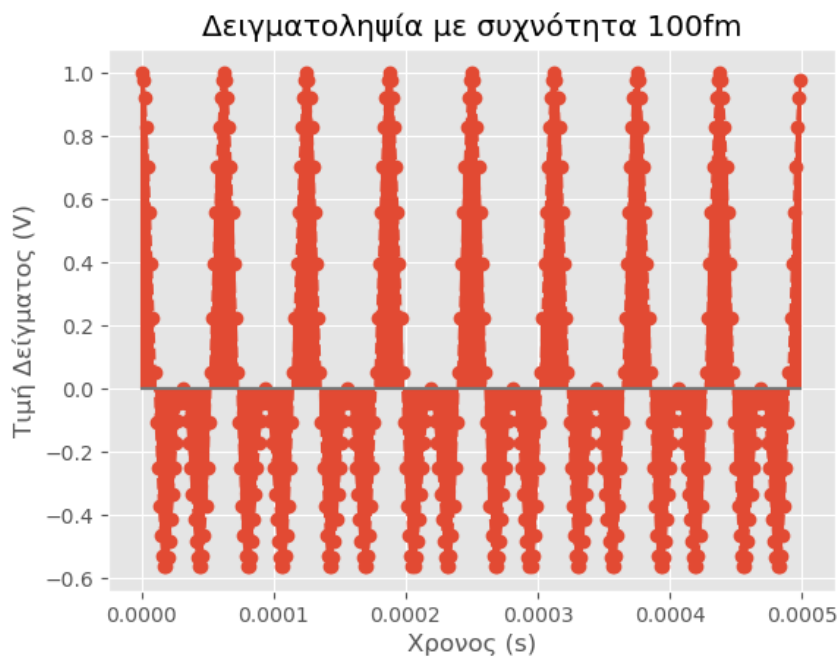
(i)

Επομένως, για την πρώτη συχνότητα δειγματοληψίας έχουμε την απόκτηση των κάτωθι δειγμάτων.



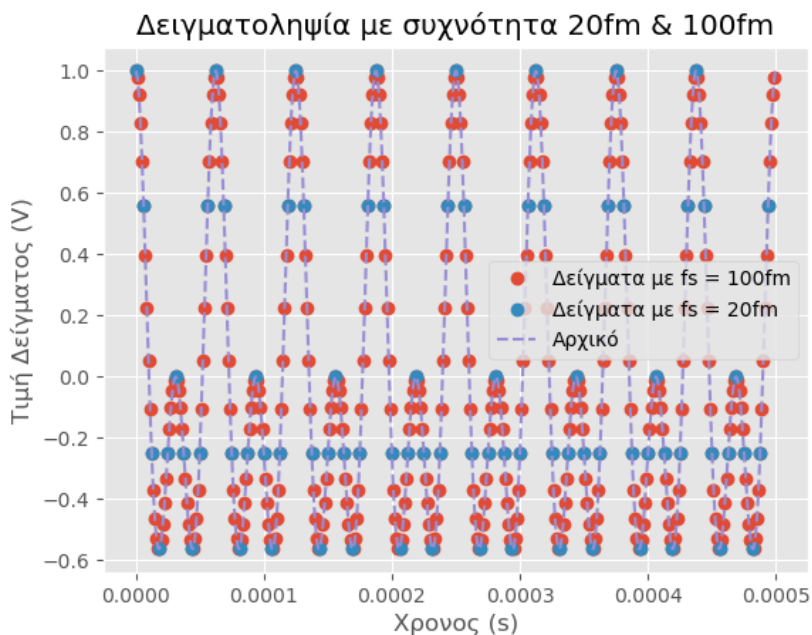
(ii)

Ενώ για τη δεύτερη συχνότητα δειγματοληψίας συλλέγουμε τα ακόλουθα δείγματα



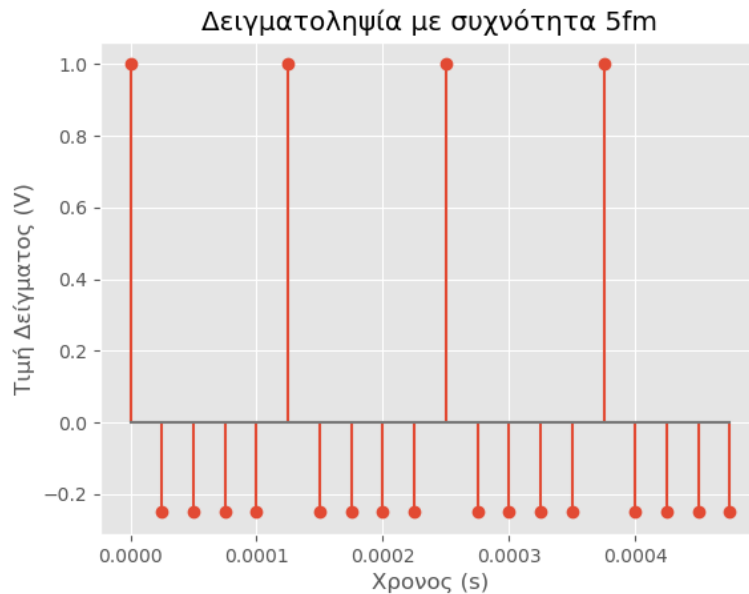
(iii)

Οπότε , αν συνδυάσουμε τα παραχθείσα δείγματα από τις 2 δειγματοληψίες σε ένα κοινό διάγραμμα τότε προκύπτει το ακόλουθο αποτέλεσμα (με διακεκομμένες απεικονίζεται το σήμα συνεχούς χρόνου).



β')

Στην περίπτωση τώρα που δειγματοληπτήσουμε με συχνότητα $f_s = 5f_m$ τα ακόλουθα δείγματα είναι τα εξής



Παρατηρούμε αρχικά το πλήθος των δειγμάτων μειωμένο όπως είναι και αναμενόμενο φυσικά καθώς επίσης και ότι παίρνουν συνολικά μόνο δύο διακριτές τιμές όλα τα δείγματα.

Η μέγιστη συχνότητα του σήματος $y(t)$ στο φάσμα του είναι $f_{max} = 32 \text{ KHz}$ ενώ η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας ισούται με $f_{sample,min} = 2 * f_{max} = 64 \text{ KHz}$. Οπότε στην περίπτωση αυτή **ΔΕΝ** μπορούμε από τα δείγματα να ανασύρουμε το αρχικό σήμα.

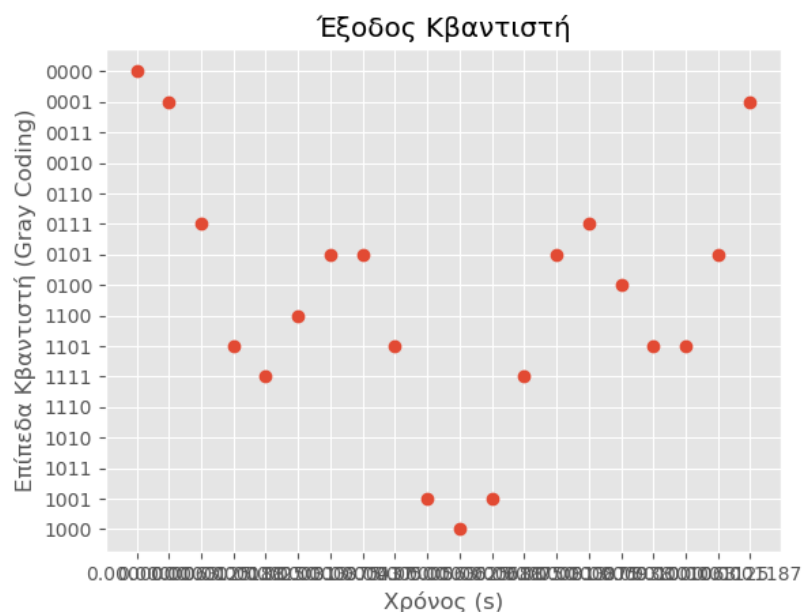
2^ο Ερώτημα

Στο ερώτημα αυτό περνάμε στο επόμενο στάδιο της επεξεργασίας του σήματος μας που είναι η κβαντοποίηση. Πιο συγκεκριμένα τα δείγματα που προέκυψαν κατά τη δειγματοληψία με συχνότητα $f_s = 20f_m$ περνάνε ως είσοδο στον κβαντιστή **Mid Riser**.

Να τονισθεί ότι η κβάντιση θα γίνει με **4 bits**.

α')

Αρχικά, παρατίθεται η έξοδος του κβαντιστή στην οποία βλέπουμε το επίπεδο κβάντισης στο οποίο έχει αντιστοιχηθεί κάθε δείγμα. Η κωδικοποίηση έχει γίνει σε κώδικα Gray θέτοντας ως την αρχή της κωδικοποίησης το μικρότερο αρνητικό επίπεδο.



Όπου M, V επίσης RV η οποίες αντιπροσωπεύουν την τιμή της εισόδου και της εξόδου του συστήματος κβάντισης αντίστοιχα.

Για τον υπολογισμό της **τυπικής απόκλισης (standard deviation)** σε πειραματικό επίπεδο έγινε χρήση των παρακάτω σχέσεων.

$$\sigma_Q^2 = \frac{1}{n-1} * \sum_{1 \leq i \leq n} (q_i - \mu_q)^2$$

$$\text{Άρα, } \sigma_Q = \sqrt{\sigma_Q^2}$$

Με $\mu_q = \frac{1}{n} * \sum_{1 \leq i \leq n} q_i$ και n το πλήθος των δειγμάτων.

Ενώ για το **SNR** γνωρίζουμε από τη θεωρία ότι

$$SNR_q = \frac{P}{\sigma_Q^2}$$

Όπου, το P αντιπροσωπεύει τη μέση ισχύς του σήματος, η οποία επειδή είναι περιοδικό το σήμα θα ισούται με

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T y(t)^2 dt$$

Ενώ, η θεωρητική αποτίμηση της διασποράς ισούται με

$$\sigma_Q^2 = \frac{1}{3} y_{max}^2 2^{-2R}$$

Με $y_{max} = 1$ την μέγιστη τιμή του σήματος και $R = 4$ το οποίο είναι ο αριθμός των bits /sample.

(i)

Με βάσει τα πρώτα 10 δείγματα υπολογίστηκε ότι η τυπική απόκλιση του σφάλματος είναι ίση με

$$\sigma_Q (n=10) = 0.05339$$

(ii)

Με βάσει τώρα τα πρώτα 20 δείγματα υπολογίστηκε ότι η τυπική απόκλιση του σφάλματος είναι ίση με

$$\sigma_Q (n=20) = 0.05353$$

(iii)

Τέλος, το SNR προκύπτει για τα δύο διαφορετικά σύνολα δειγμάτων ίσο με

$$SNR_q (n = 10) = 40 \text{ dB}$$

$$SNR_q (n = 20) = 56 \text{ dB}$$

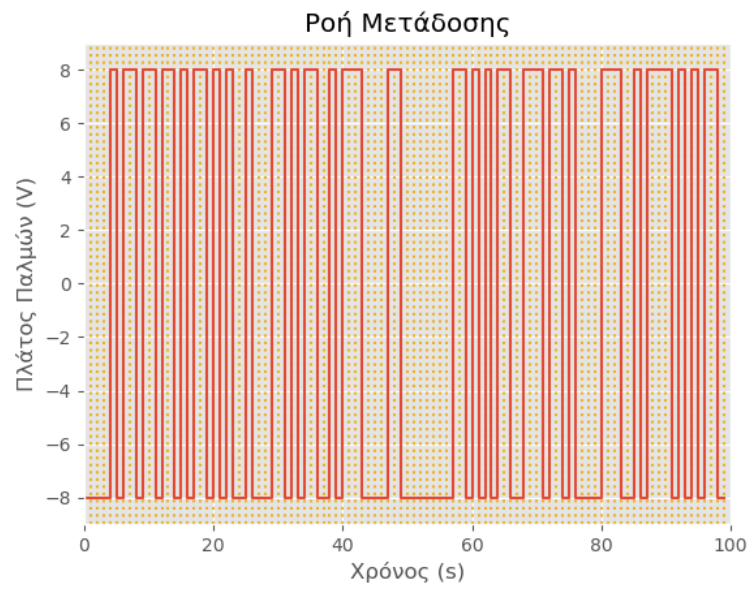
Αντίθετα, η θεωρητική τιμή του είναι ίση με

$$theoretical_SNR_q = 10 * \log(0.25 * 3 * 2^8) \text{ dB} = 52.57 \text{ dB}$$

Παρατηρείται μια απόκλιση μεταξύ των τιμών τόσο των θεωρητικών όσο και των μετρήσεων. Ειδικότερα, το πρόβλημα έγγυται στον πεπερασμένο αριθμό δειγμάτων.

γ')

Θεωρώντας κωδικοποίηση γραμμής **Polar NRZ** και ταχύτητα $1 \text{ bit}/\text{msec}$ έχουμε την ακόλουθη ροή μετάδοσης πληροφορίας. Όπου, το μηδέν αναπαρίσταται με έναν παλμό πλάτους -8 V και το ένα με έναν παλμό $+8 \text{ V}$.



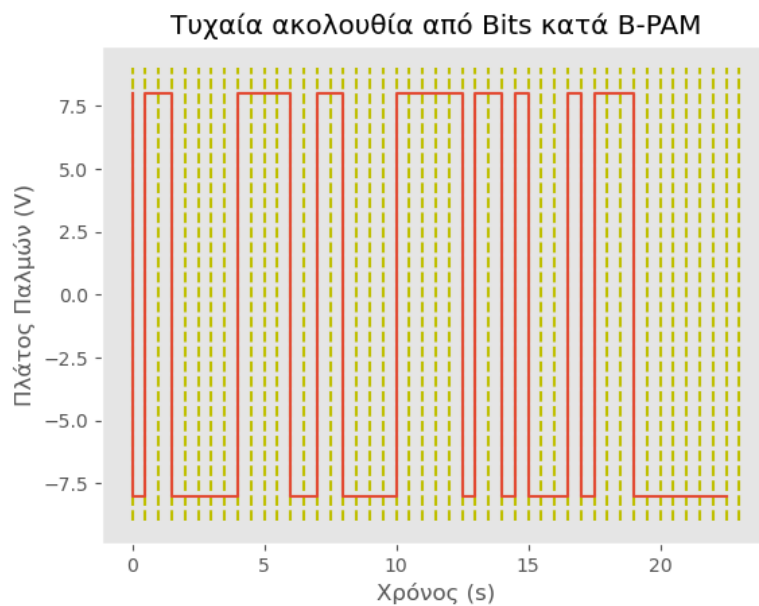
3^ο Ερώτημα

Στο παρών ερώτημα επικεντρωνόμαστε στην διαμόρφωση **B – PAM** .

Σε πρώτη φάση παράγονται με ίση πιθανότητα **46 bits** με διάρκεια $T_b = 0.5 \text{ sec}$ το καθένα.

α')

Αρχικά παρουσιάζεται η τυχαία παραχθείσα ακολουθία από **0 , 1** . Το πλάτος των τετραγώνων είναι ίσο με $A = 8 \text{ V}$.



β')

Πριν προβούμε στο διάγραμμα αστερισμού πρέπει να τονιστεί ότι για τα δύο bits χρησιμοποιούνται τα δύο ακόλουθα σήματα ώστε να μεταδοθούν .

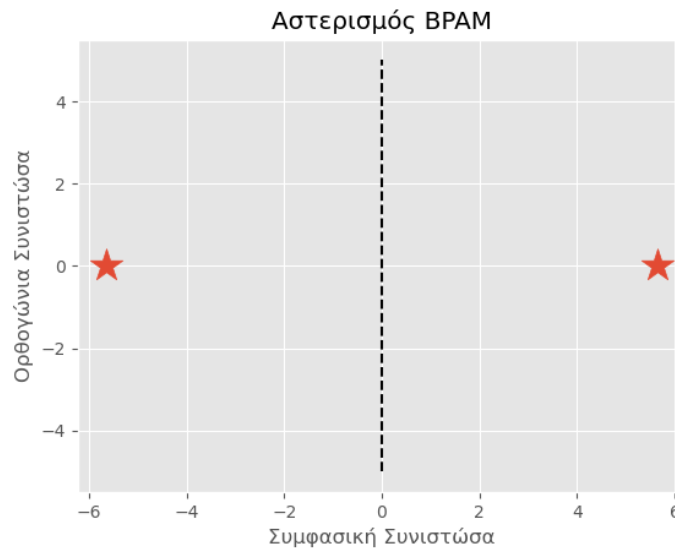
$$1 \text{ bit} \rightarrow s_1(t) = +A \text{ για } 0 \leq t \leq T_b$$

$$0 \text{ bit} \rightarrow s_1(t) = -A \text{ για } 0 \leq t \leq T_b$$

Επιπλέον, με βάσει την θεωρία της γεωμετρικής αναπαράστασης των σημάτων προκύπτει εύκολα ότι χρειάζεται μόνο μια βάση για την αναπαράσταση τους η οποία είναι η

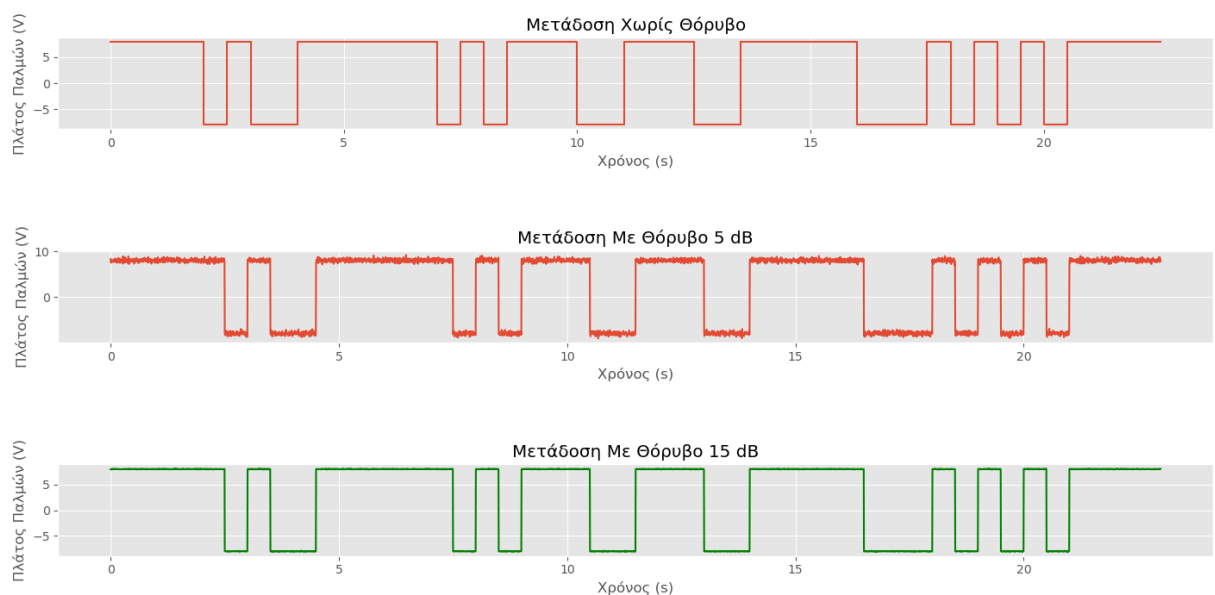
$$\varphi_1 = \frac{1}{\sqrt{T_b}} \quad 0 \leq t \leq T_b, \quad \varphi_2 = 0$$

Οπότε, ο αστερισμός είναι ο ακόλουθος



γ')

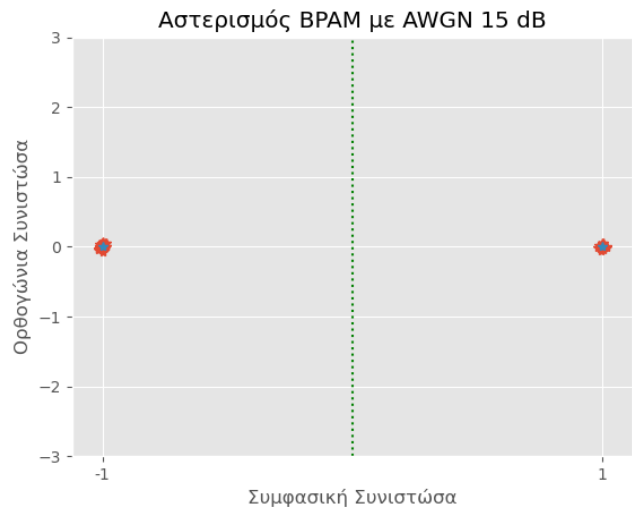
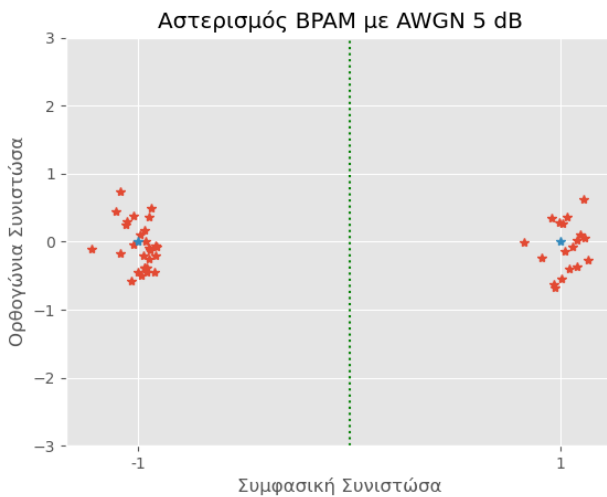
Τώρα ,στην παραχθείσα ακολουθία προσθέτετε λευκός προσθετικός γκαουσιανός θόρυβος για τιμές $E_b/N = 10$ και 15 dB . Επομένως έχουμε τα εξής αποτελέσματα μετά την παρέμβαση του θορύβου (παρατίθεται στο τέλος και η ακολουθία με μηδενικό θόρυβο). Πιο συγκεκριμένα , βλέπουμε αρχικά το σήμα απουσία θορύβου ,το σήμα θόρυβο 5 dB και τέλος το σήμα με θόρυβο 15 dB . Αξίζει να σημειωθεί πως αναμέναμε το σήμα με όσο υψηλότερο SNR τόσο καλύτερης ποιότητας να είναι . Πράγματι αυτό το θεωρητικό αποτέλεσμα επιβεβαιώνεται πειραματικά. Οπότε αναμένονται και λιγότερα λάθη κατά την αποδιαμόρφωση των σημάτων στην πλευρά του δέκτη.



δ')

Στα τελευταία δύο ερωτήματα υποθέτουμε διδιάστατο μιγαδικό προσθετικό γκαουσιανό θόρυβο. Δηλαδή, $Z = X + jY$ με $X, Y \sim \mathcal{N}(0, 1)$, ανεξάρτητες που ακολουθούν κανονική κατανομή.

Επομένως, τα δύο διαγράμματα αστερισμού για τα παραπάνω σήματα είναι τα παρακάτω



Παρατηρούμε ότι τα δείγματα που αποκτά ο δέκτης συσπειρώνονται γύρω από τα σημεία ± 1 όσο μεγαλύτερο είναι το SNR , πράγμα αναμενόμενο. Επομένως και ο δέκτης είναι πιο σίγουρο κατά την αποδιαμόρφωση ότι δεν έκανε λάθος.

ε')

Όταν ο δέκτης λαμβάνει ένα *bit* το οποίο ανήκει στο αριστερό μιγαδικό επίπεδο τότε θεωρεί ότι έλαβε "0" ενώ όταν είναι στο δεξιό "1".

Κλείνοντας το Ερώτημα 3, θα εξεταστεί η θεωρητική με την πειραματική σχέση που αποδίδουν την πιθανότητα εσφαλμένου ψηφίου.

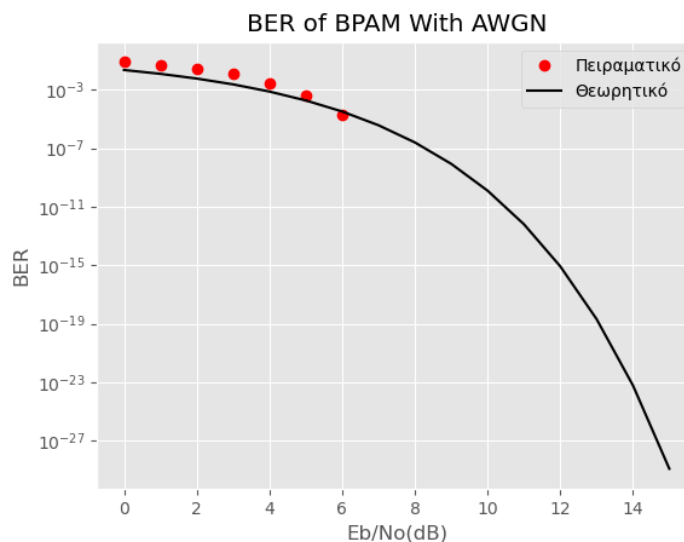
Σε πρώτη φάση, παρατίθεται ο θεωρητικός τύπος που υπολογίζει την απαιτούμενη πιθανότητα ο οποίος είναι ο

$$P[\text{Bit Error}] = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \text{ όπου } Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{\lambda^2}{2}\right) d\lambda$$

Για την πειραματική μέτρηση παράγονται 1,000,000 *Bits* στα οποία εισάγεται θόρυβο που κυμαίνεται στο εύρος 0 – 15 *dB* με βήμα 1*dB*. Έπειτα, κάθε δείγμα μαζί με τον θόρυβο που του αναλογεί φθάνει στον δέκτη ο οποίος ανάλογα σε ποιο ημιεπίπεδο ανήκει το μεταφράζει σε μηδέν ή ένα. Τέλος, με σύγκριση του σήματος που έστειλε ο πομπός σε σχέση με το σήμα που διαθέτει ο δέκτης υπολογίζονται τα παραχθείσα σφάλματα και τα οποία διαιρούμενα με το ολικό πλήθος των δειγμάτων αποδίδουν την πιθανότητα λάθος.

Πριν προβούμε σε πράξεις, αναμένουμε ότι η συνάρτηση πιθανότητας εσφαλμένου ψηφίου θα φθίνει καθώς αυξάνει το *SNR*.

Επομένως, η γραφική που παρουσιάζει θεωρητική/πειραματική είναι η κάτωθι



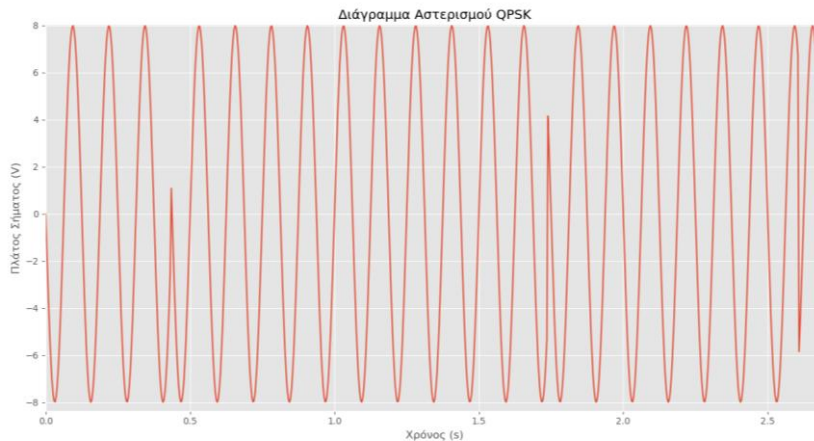
Πράγματι, στο παρακάτω διάγραμμα αποτυπώνεται η θεωρητική τιμή της πιθανότητας και οι πειραματικές τιμές. Βλέπουμε ότι δεν είναι ακριβής η ταύτιση των τιμών το οποίο είναι λογικό επειδή το πλήθος των *bits* είναι πεπερασμένο και όχι άπειρο ωστόσο επειδή ο αριθμός των δειγμάτων είναι ικανοποιητική η σύγκλιση των τιμών. Για πληρότητα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα οι τιμές του θεωρητικού τύπου και της πειραματικής διαδικασίας ώστε να γίνει πιο εμφανής η απόσταση των τιμών.

SNR (dB)	BER (Θεωρητικό)	BER(Πειραματικό)
0	<i>0.079477</i>	<i>2.27501319e-02</i>
1	<i>0.052135</i>	<i>1.24150134e-02</i>
2	<i>0.028076</i>	<i>5.90366587e-03</i>
3	<i>0.011612</i>	<i>2.36347685e-03</i>
4	<i>0.002856</i>	<i>7.62755217e-04</i>
5	<i>0.000393</i>	<i>1.87872191e-04</i>
6	<i>2e-05</i>	<i>3.29636510e-05</i>
7	<i>0</i>	<i>3.77713219e-06</i>
8	<i>0</i>	<i>2.53330772e-07</i>
9	<i>0</i>	<i>8.66367213e-09</i>
10	<i>0</i>	<i>1.26981429e-10</i>
11	<i>0</i>	<i>6.40855100e-13</i>
12	<i>0</i>	<i>8.45421688e-16</i>
13	<i>0</i>	<i>2.06049231e-19</i>
14	<i>0</i>	<i>5.99365805e-24</i>
15	<i>0</i>	<i>1.20037588e-29</i>

4^ο Ερώτημα

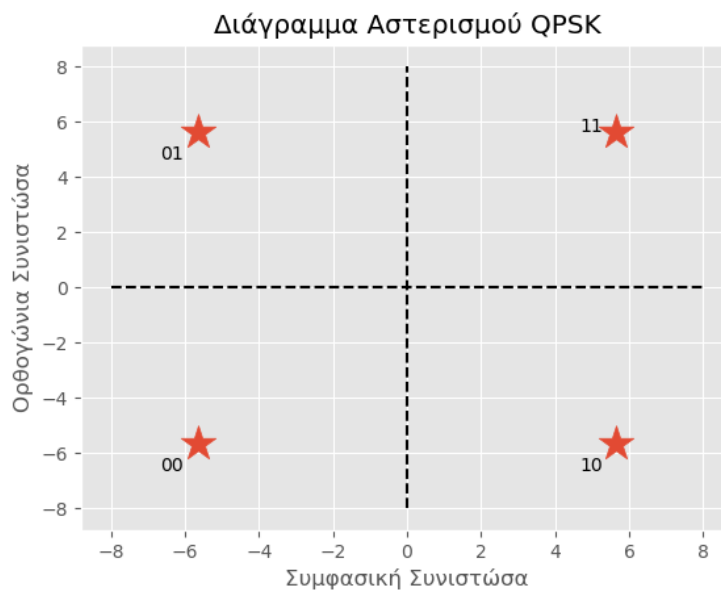
Στο ερώτημα 4 επικεντρωνόμαστε στη διαμόρφωση QPSK. Σε πρώτη φάση παράγουμε 46 bits με τυχαίο τρόπο.

Αρχικά, προβάλετε ενδεικτικά ένα τμήμα του διαμορφωμένου σήματος



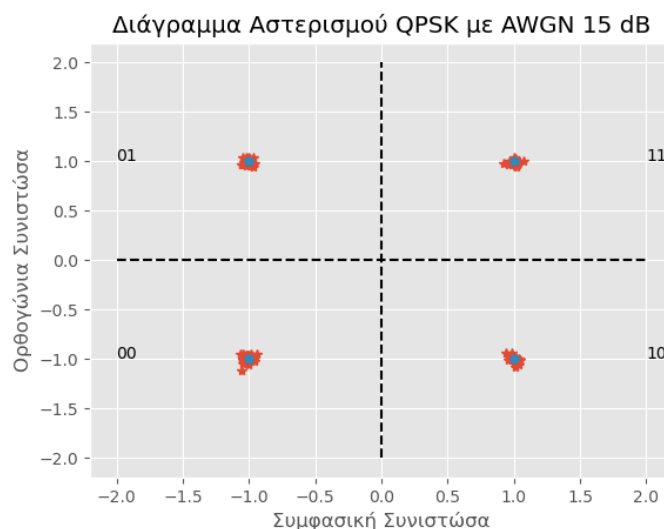
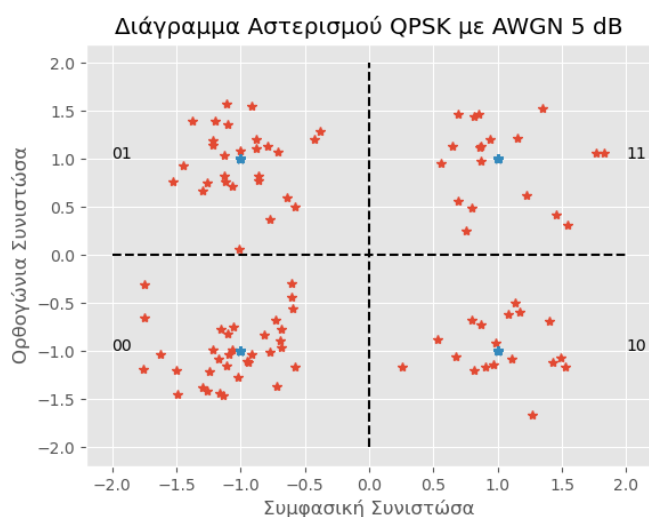
α')

Αρχικά, παρουσιάζεται το διάγραμμα αστερισμού με κωδικοποίηση $\left(\frac{\pi}{4}\right)$ Gray



β')

Έπειτα, παράγουμε *AWGN* για τιμές 5 , 15 *dB* και παρουσιάζονται στα κάτωθι σχήματα τα διαγράμματα αστερισμού.



Παρατηρούμε ξανά ότι για μικρό SNR η διασπορά των σημείων είναι μεγαλύτερη κάνοντας έτσι την πιθανότητα λάθους επίσης μεγαλύτερη.

γ')

Στο τρέχων σημείο θα παραχθούν 1,000,000 *bits* στα οποία θα προστεθεί θόρυβος .Η διαδικασία θα επαναληφθεί για *SNR*: 0 → 15 *dB* και θα αναπαραστήσουμε τόσο τις θεωρητικές τιμές όσο και τις πειραματικές.

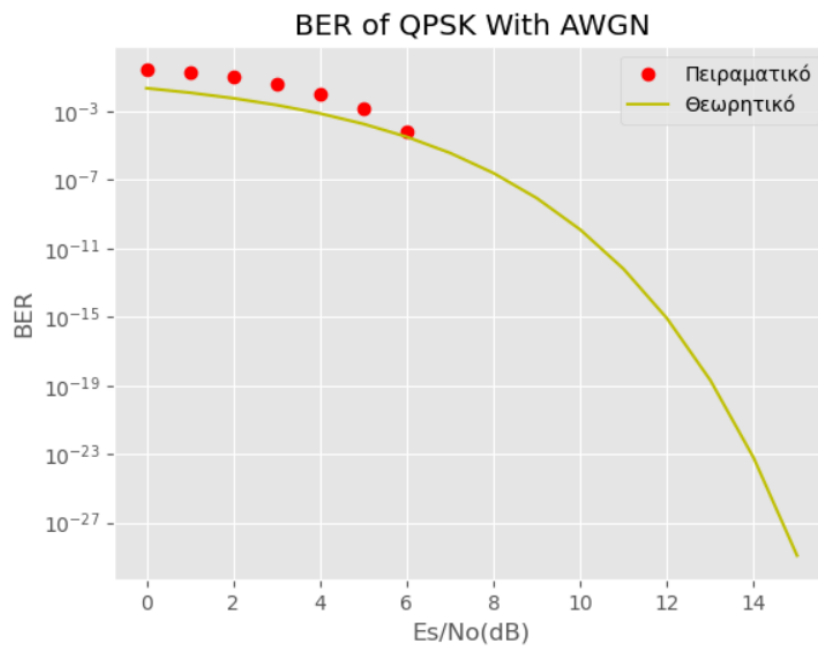
Ο δέκτης ανάλογα με το τεταρτημόριο που ανήκει το δείγμα του το αντιστοιχεί και σε ένα ζευγάρι δύο Bits. Επομένως, με τον τρόπο αυτό αποδιαμορφώνει το δοθέν σήμα και είναι εφικτό με σύγκριση των σημάτων πομπού και δέκτη να υπολογίσουμε τα λάθη που έγιναν. Πιο συγκεκριμένα, η αποδιαμόρφωση πραγματοποιείται με βάση τον κάτωθι πίνακα

Τεταρτημόριο	Απεικόνιση
1 ^ο	11
2 ^ο	01
3 ^ο	00
4 ^ο	10

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο θεωρητικός τύπος που υπολογίζει την ζητούμενη πιθανότητα δίνεται από τον κάτωθι τύπο

$$P[\text{Bit Error}] = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \text{ όπου } Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{\lambda^2}{2}\right) d\lambda$$

Επομένως έχουμε το εξής διάγραμμα,



Για λόγους πληρότητας παρουσιάζεται ο κάτωθι πίνακας που αποτυπώνει ότι παρουσιάζεται στο πιο πριν διάγραμμα.

SNR (dB)	BER (Θεωρητικό)	BER(Πειραματικό)
0	0.25874	2.27501319e-02
1	0.173211	1.24150134e-02
2	0.096534	5.90366587e-03
3	0.039901	2.36347685e-03
4	0.010432	7.62755217e-04
5	0.001356	1.87872191e-04
6	5.1e-05	3.29636510e-05
7	0	3.77713219e-06
8	0	2.53330772e-07
9	0	8.66367213e-09
10	0	1.26981429e-10
11	0	6.40855100e-13
12	0	8.45421688e-16
13	0	2.06049231e-19
14	0	5.99365805e-24
15	0	1.20037588e-29

Παρατηρούμε ότι η απόσταση των τιμών μεταξύ τους είναι αρκετά ικανοποιητική καθώς επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι η έλλειψη πειραματικών τιμών από το διάγραμμα οφείλεται στο γεγονός ότι η τιμή μηδέν δεν απεικονίζεται στην λογαριθμική κλίμακα.

δ')

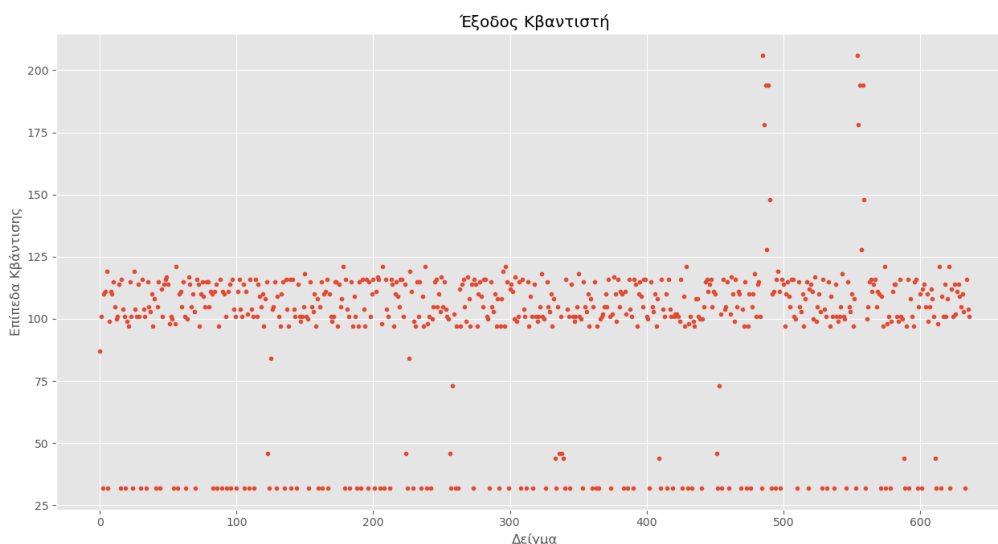
Στα επόμενα ερωτήματα επεξεργαζόμαστε ένα αρχείο κειμένου επαναλαμβάνοντας παρόμοια επεξεργασία σήματος (**shannon_even.txt**).

(i)

Αρχικά, θα μετατρέψουμε το κείμενο από κώδικα *ASCII* σε δυαδική μορφή με τη βοήθεια συναρτήσεων από τη βιβλιοθήκη *binascii*.

(ii)

Στο επόμενο βήμα περνάμε τα bits μέσα από έναν ομοιόμορφο κβαντιστή 8 ψηφίων. Άρα, η έξοδος του κβαντιστή είναι η κάτωθι



(iii)

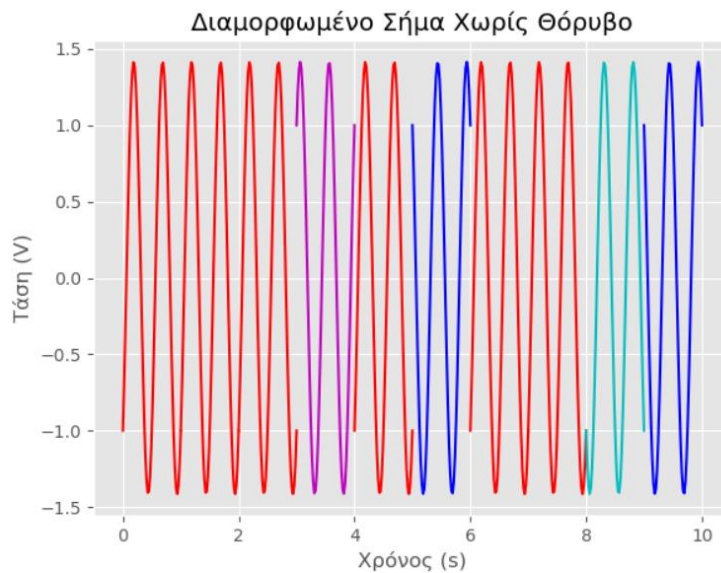
Τώρα είμαστε στη θέση να διαμορφώσουμε το σήμα μας με διαμόρφωση **QPSK** έτσι ώστε να το μεταφέρουμε στο δέκτη. Για την κωδικοποίηση επιλέγεται ξανά η κωδικοποίηση **Gray**.

Ειδικότερα, η διαμόρφωση πραγματοποιείται με βάση το εξής σχήμα

$$s(t) = \sqrt{2}V\sin(2\pi f_c t - \theta(t))$$

$$\mu\epsilon \theta(t) = \begin{cases} \frac{\pi}{4} \text{ όταν } a_I = +1 \text{ και } a_Q = +1 \text{ (bits 11)} \\ -\frac{\pi}{4} \text{ όταν } a_I = +1 \text{ και } a_Q = -1 \text{ (bits 10)} \\ \frac{3\pi}{4} \text{ όταν } a_I = -1 \text{ και } a_Q = +1 \text{ (bits 01)} \\ -\frac{3\pi}{4} \text{ όταν } a_I = -1 \text{ και } a_Q = -1 \text{ (bits 00)} \end{cases}$$

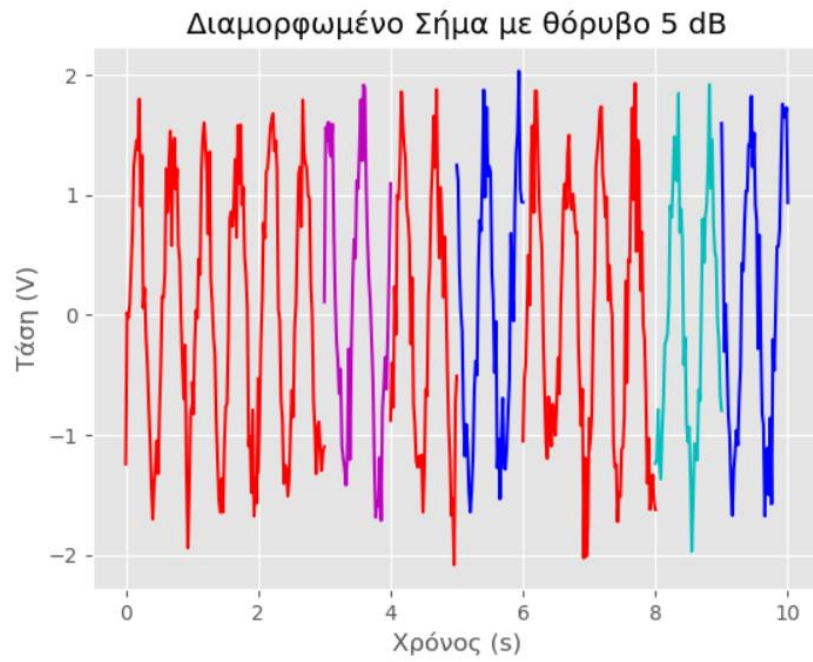
Επομένως, ο πομπός αποστέλλει το παρακάτω ηλεκτρικό σήμα.



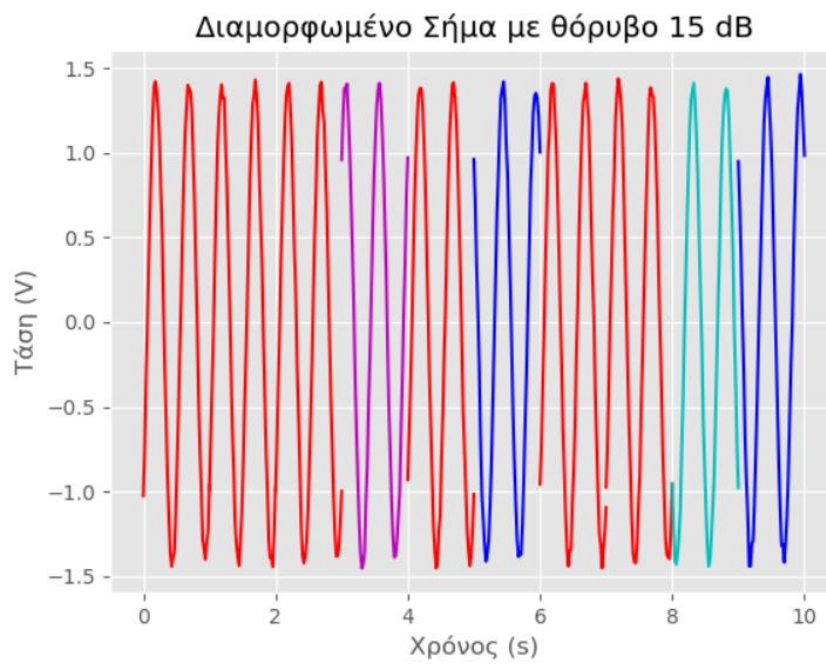
(iv)

Τώρα ο δέκτης λαμβάνει το σήμα αλλά με την προσθήκη θορύβου λόγω του καναλιού. Επομένως,

Για 5 dB ο δέκτης λαμβάνει το εξής σήμα



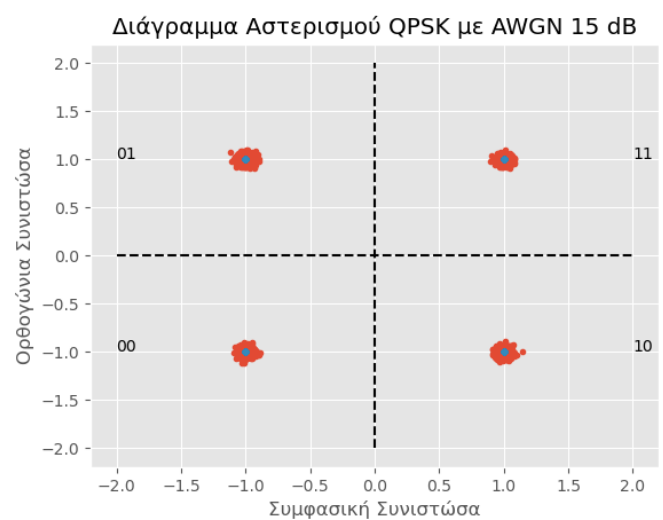
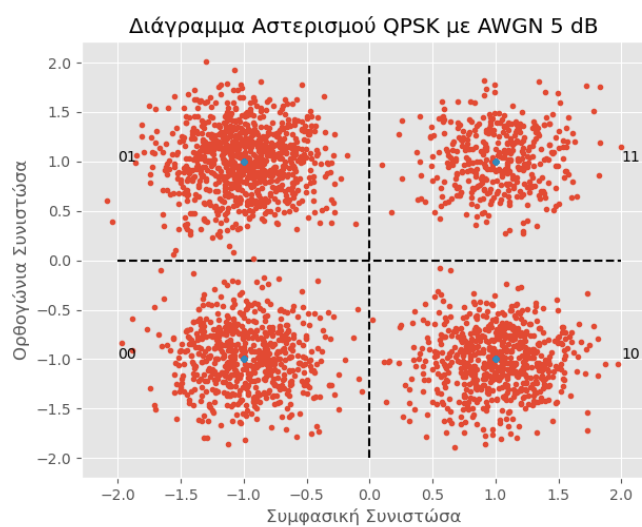
Ενώ για 15 dB



(v)

Τώρα ο δέκτης είναι στο σημείο να αποδιαμορφώσει το σήμα του και επομένως ανάλογα με το τεταρτημόριο στο οποίο εντοπίζεται το bit λαμβάνει και την ανάλογη τιμή. Ειδικότερα, η αποδιαμόρφωση λαμβάνει χώρα σύμφωνα με την παρακάτω αντιστοίχιση .

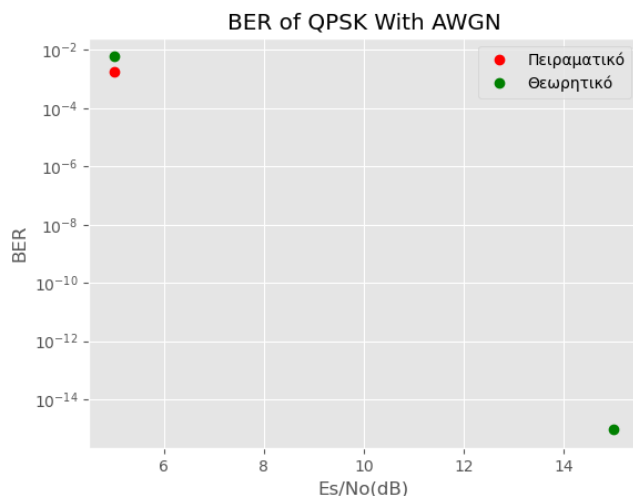
Επομένως , προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα αστερισμών για τις δύο τιμές του σηματοθορυβικού λόγου.



(vi)

Έπειτα , θα επαναλάβουμε την ίδια διαδικασία ώστε να υπολογιστεί τόσο η πειραματική όσο και η θεωρητική τιμή της πιθανότητας εσφαλμένου ψηφίου . Ωστόσο , τώρα επικεντρωνόμαστε μόνο σε δύο τιμές , δηλαδή για $SNR = 5, 15 \text{ dB}$.

Οπότε, προκύπτει η ακόλουθη γραφική



Ξανά παρουσιάζουμε και σε πίνακα τις τιμές που παρουσιάζονται στην πιο πάνω γραφική

SNR (dB)	BER (Θεωρητικό)	BER(Πειραματικό)
5	0.0059538671477786615	9.12395736262809e-16
15	0.001466275659824047	0.0

(vii)

Τέλος, ήρθε η ώρα ο δέκτης να «διαβάσει» το μήνυμα που του έστειλε ο πομπός. Επομένως, αφού έχει γίνει η αποδιαμόρφωση μετατρέπουμε τις λέξεις από bits σε ASCII μορφή.

Κλείνοντας, παρουσιάζονται 3 κείμενα. Το πρώτο είναι το αυθεντικό, το δεύτερο και το τρίτο αντιστοιχούν στα λαμβανόμενα από το δέκτη κείμενα με παρουσία προσθετικού θορύβου 5, 15 dB. Οι διαφορές με το πρωτότυπο έχουν υπογραμμιστεί με κόκκινο χρώμα ώστε να αναδειχθούν καλύτερα τα λάθη που έγιναν κατά την αποδιαμόρφωση.

1° Κείμενο (Πρωτότυπο):

We now consider the case where the signal is perturbed by noise during transmission or at one or the other of the terminals. This means that the received signal is not necessarily the same as that sent out by the transmitter. Two cases may be distinguished. If a particular transmitted signal always produces the same received signal, i.e., the received signal is a definite function of the transmitted signal, then the effect may be called distortion. If this function has an inverse -- no two transmitted signals producing the same received signal -- distortion may be corrected, at least in principle, by merely performing the inverse functional operation on the received signal.

2° Κείμενο (Αποδιαμορφωμένο σήμα με θόρυβο 5 dB):

We now consider the case where the signal is perturbed by noise during transmission or at one or the other of the terminals. This means that the received signal is not necessarily the same as that sent out by the transmitter. Two cases may be distinguished. If a particular transmitted signal always produces the same received signal, i.e., the received signal is a definite function of the transmitted signal, then the effect may be called distortion. If this function has an inverse -- no two transmitted signals producing the same received signal -- distortion may be corrected, at least in principle, by merely performing the inverse functional operation on the received signal.

3° Κείμενο (Αποδιαμορφωμένο σήμα με θόρυβο 15 dB):

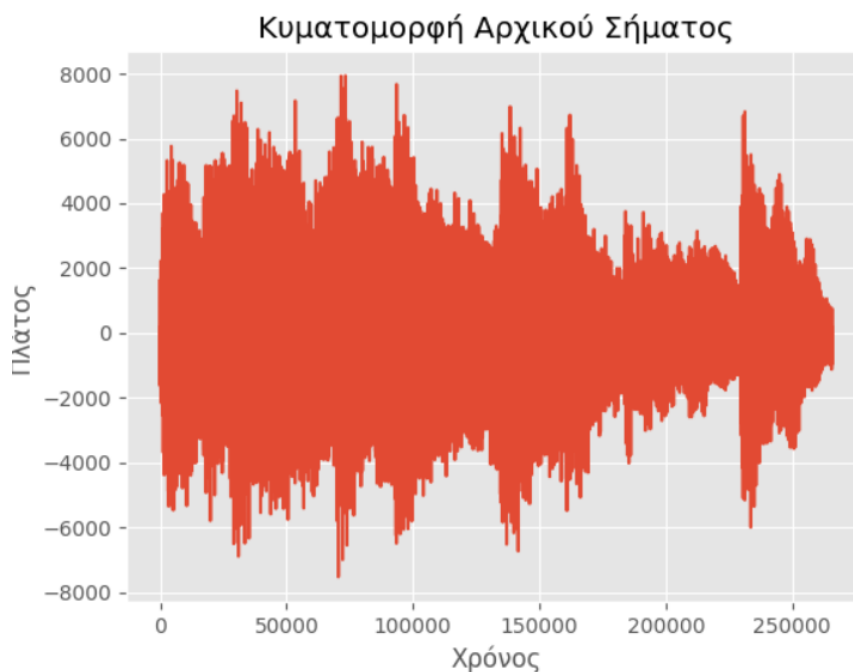
We now consider the case where the signal is perturbed by noise during transmission or at one or the other of the terminals. This means that the received signal is not necessarily the same as that sent out by the transmitter. Two cases may be distinguished. If a particular transmitted signal always produces the same received signal, i.e., the received signal is a definite function of the transmitted signal, then the effect may be called distortion. If this function has an inverse -- no two transmitted signals producing the same received signal -- distortion may be corrected, at least in principle, by merely performing the inverse functional operation on the received signal.

5^ο Ερώτημα

Στο τελευταίο ερώτημα θα ασχοληθούμε με την διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση ενός ηχητικού σήματος το οποίο θα υποβληθεί σε επεξεργασία ανάλογη του προηγούμενου ερωτήματος.

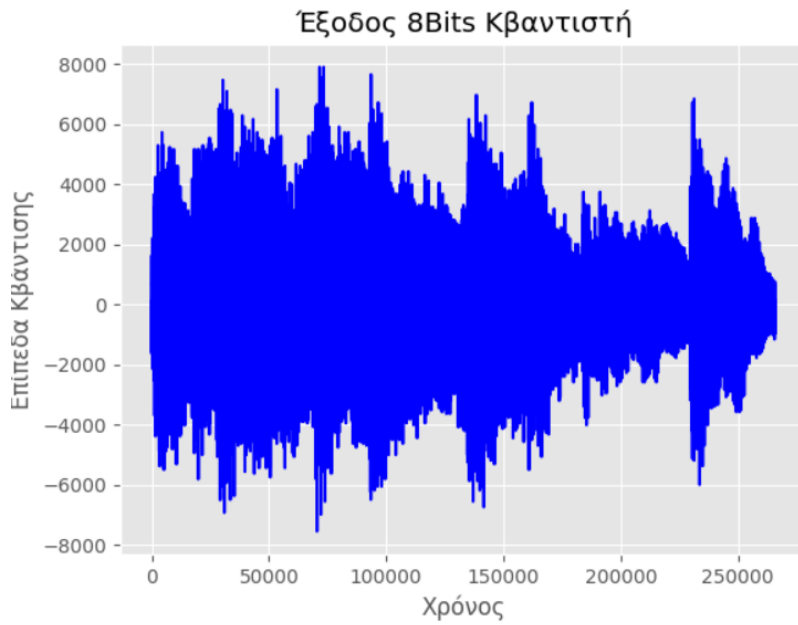
α')

Ξεκινάμε με την ανάγνωση του ακουστικού αρχείου και η κυματομορφή του σήματος είναι η κάτωθι



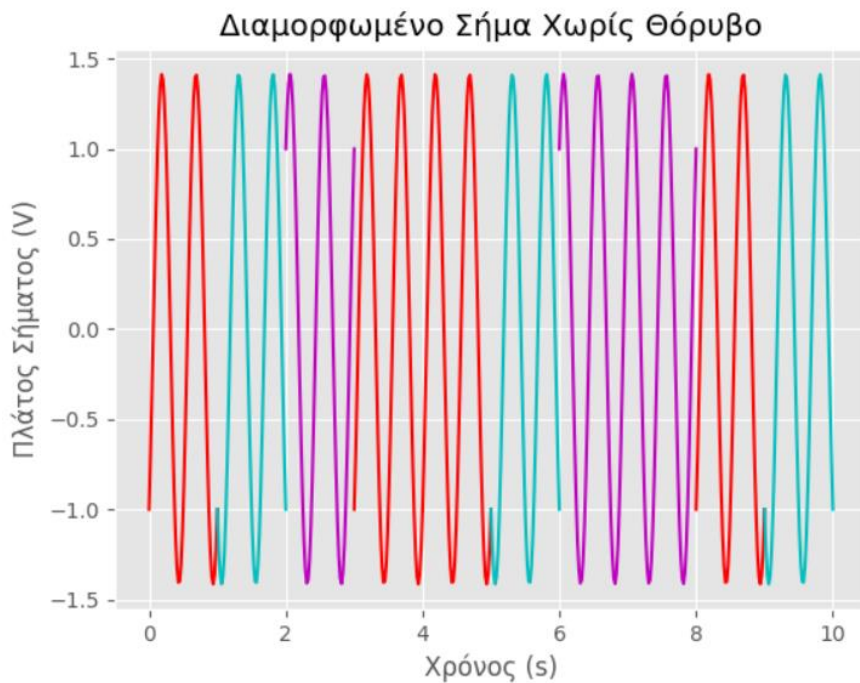
β')

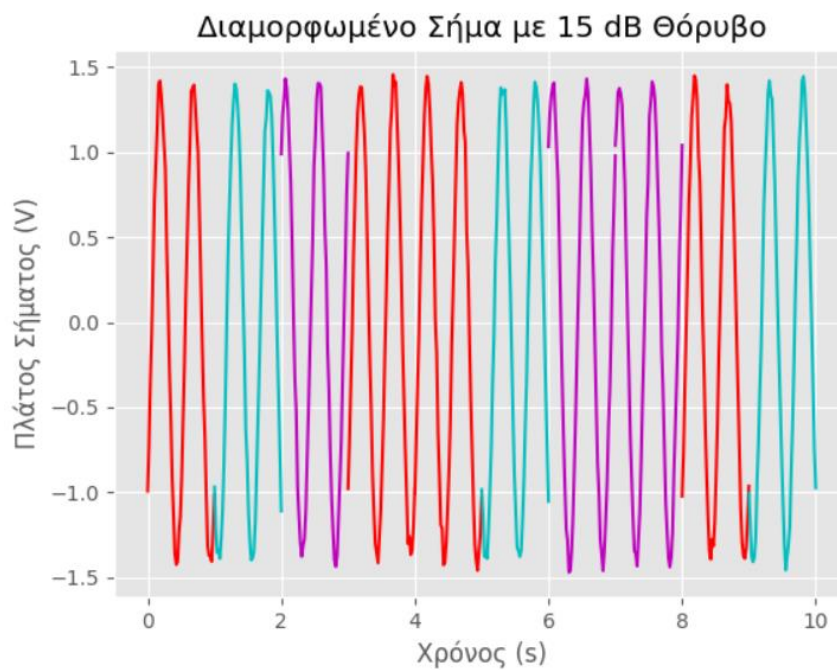
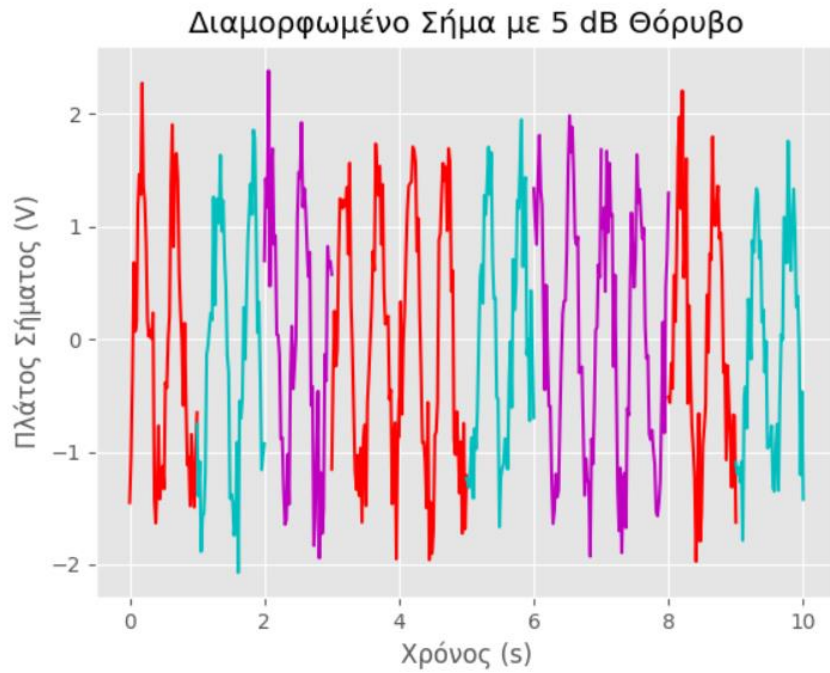
Συνεχίζουμε την επεξεργασία στο επόμενο στάδιο που είναι είσοδος των δειγμάτων στον 8bits ομοιόμορφο κβαντιστή και προκύπτει το παρακάτω σήμα



γ')

Τώρα είμαστε έτοιμοι να διαμορφώσουμε κατά QPSK το παρακάτω σήμα υποθέτοντας ότι το σύμβολα έχουν πλάτος 1 Volt . Ξανά η ανάλυση λαμβάνει χώρα με βάσει την συνοπτική θεωρία που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο ερώτημα.





δ')

Αφού έχουμε διαμορφώσει το σήμα είμαστε στο σημείο που το στέλνουμε μέσω του θορυβώδους καναλιού στο δέκτη. Πιο συγκεκριμένα, επικεντρωνόμαστε σε δύο τιμές θορύβου, για **4** και **14 dB**.

Ο θεωρητικός τύπος είναι ο

$$P[\text{Bit Error}] = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \text{ όπου η } Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{\lambda^2}{2}\right) d\lambda$$

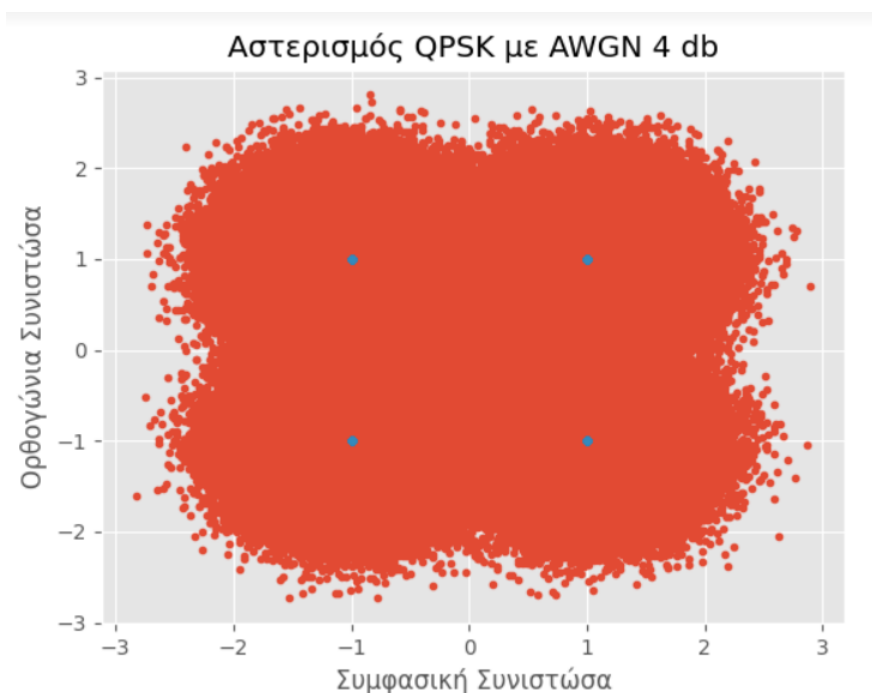
Ενώ για τις πειραματικές τιμές ακολουθούμε τα ίδια βήματα της σύγκρισης των τιμών πομπού και δέκτη.

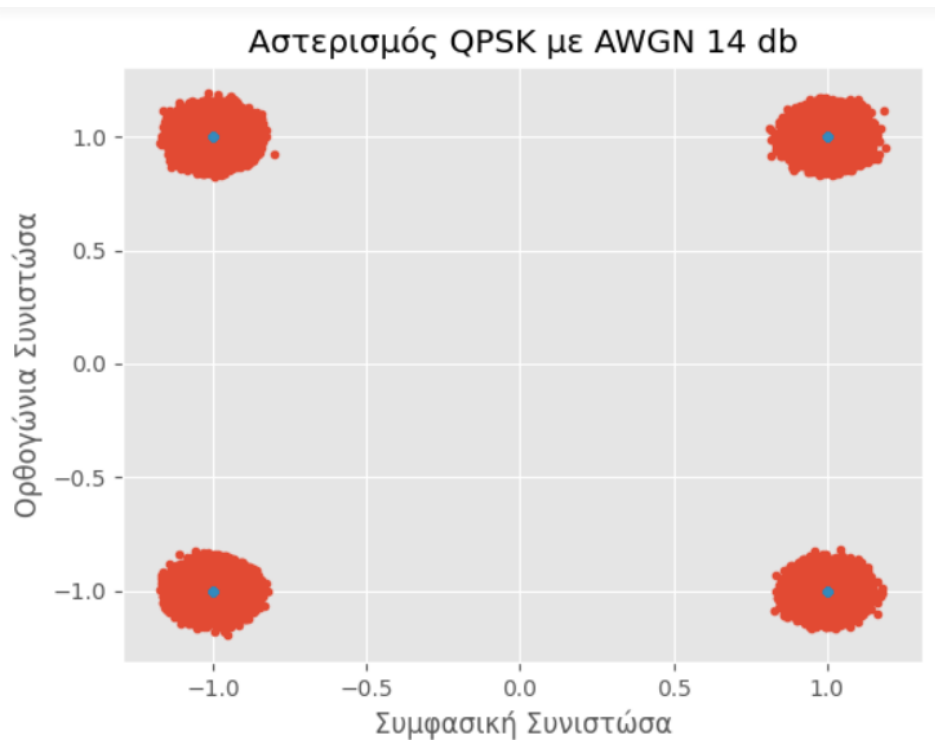
Επομένως, στο δέκτη φτάνει το παρακάτω σήμα.

ε')

Επομένως, ο δέκτης τώρα αποδιαμορφώνει το σήμα που του έστειλε ο πομπός με την ίδια λογική με παραπάνω ανάλογα με το τεταρτημόριο που ανήκει το δείγμα.

Όσον αφορά το διάγραμμα αστερισμού έχουμε το κάτωθι δύο διαγράμματα που παρατηρούμε την επίδραση του θορύβου κατά την αποστολή στο δέκτη. Αξίζει να σημειωθεί ότι τώρα διαισθητικά αναμένουμε καλύτερη αντιμετώπιση στην πλευρά του δέκτη με λιγότερα λάθη.

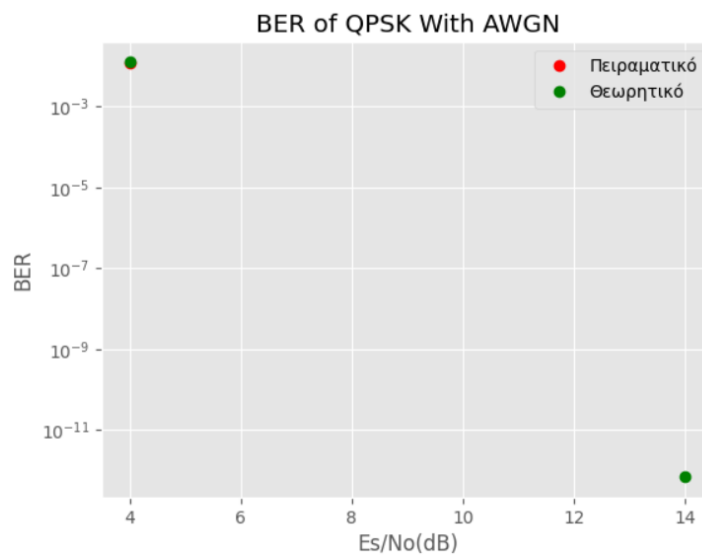




στ')

Οπότε, τώρα είμαστε έτοιμη να αξιολογήσουμε την απόδοση του δέκτη μετρώντας τα λάθη που έκανε για τις δύο περιπτώσεις θορύβου **4 , 14 dB**.

Άρα , αποκτάμε το κάτωθι διάγραμμα



Και πάλι για λόγους πληρότητας παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας.

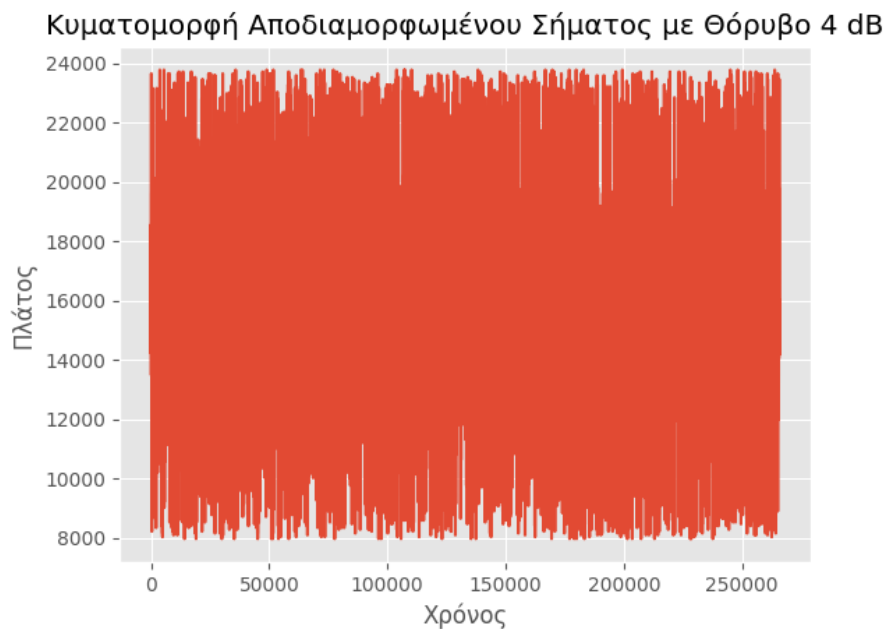
SNR (dB)	BER (Θεωρητικό)	BER(Πειραματικό)
4	0.01203158	0.0125008
14	0.0	6.810189e-13

ζ')

Αφού τελείωσε και η αποδιαμόρφωση είμαστε έτοιμοι να εκτελέσουμε την αντίστροφη διαδικασία που διέπραξε ο πομπός για την αποστολή του σήματος ώστε να ακούσουμε τη ακουστικό αρχείο .

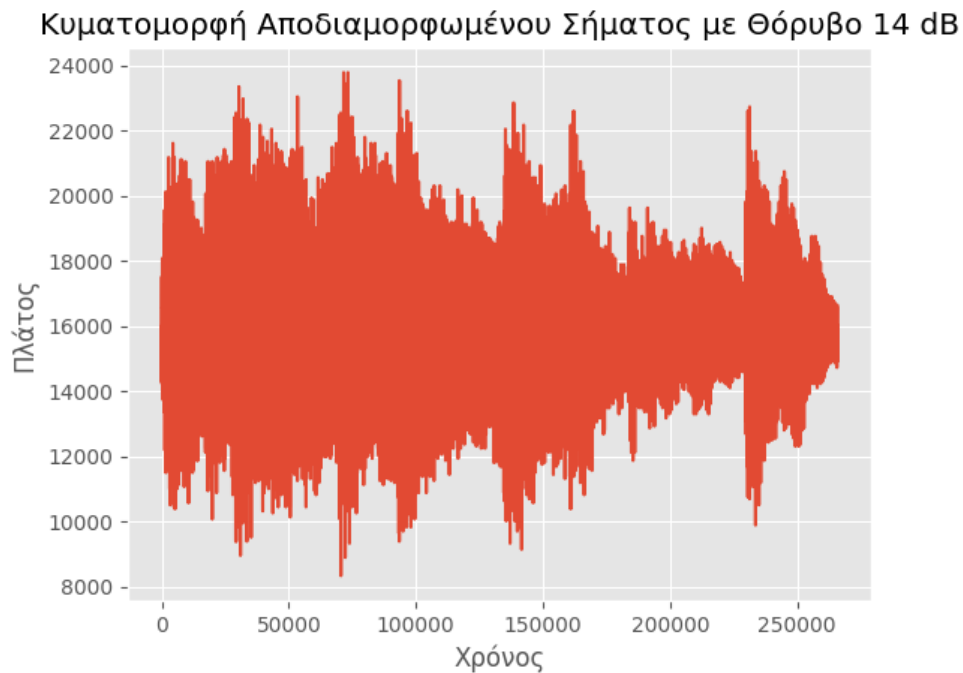
Επομένως ,

Αρχείο Ήχου (4 dB):



Το ηχητικό αρχείο έχει εμφανή τα σημάδια της επίδρασης του θορύβου τα οποία του έχουν προσδώσει μια σημαντική υποβάθμιση στην ποιότητα του κάνοντας το δύσκολο στην κατανόηση . Το αποτελέσματα ήταν αναμενόμενα τόσο αρχικά από την χαμηλή τιμή του SNR όσο και από τον πίνακα με τις πειραματικές τιμές της πιθανότητας εσφαλμένου ψηφίου.

Αρχείο Ήχου (14 dB):



Το δεύτερο ηχητικό αρχείο είναι μακράν πιο ποιοτικό και ευκρινές σε σχέση με το πρώτο πράγμα που του επιβεβαιώνει η τιμή του SNR και ο αριθμός των σφαλμάτων που έλαβαν χώρα κατά την αποδιαμόρφωση.

Αξίζει να τονιστεί ότι δεν είναι μόνα τα σφάλματα κατά την αποδιαμόρφωση (όσο μεγαλύτερο SNR τόσο καλύτερη ποιότητα) που υπονομεύουν την ποιότητα του ακουστικού αρχείου αλλά και η κβάντιση η οποία εισάγει μέσα σφάλμα κατά τη διαδικασία που δοθέντος ενός δείγματος το εξισώνει με την τιμή που επιπέδου που είναι πιο κοντά στο δείγμα (ομοιόμορφος κβαντιστής).