



# **ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

Μάθημα: Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες

Ονοματεπώνυμο: Ειρήνη Δόντη

Α.Μ.: 03119839

Εργαστηριακή Άσκηση

5<sup>ο</sup> Εξάμηνο

Αθήνα

2021 - 2022

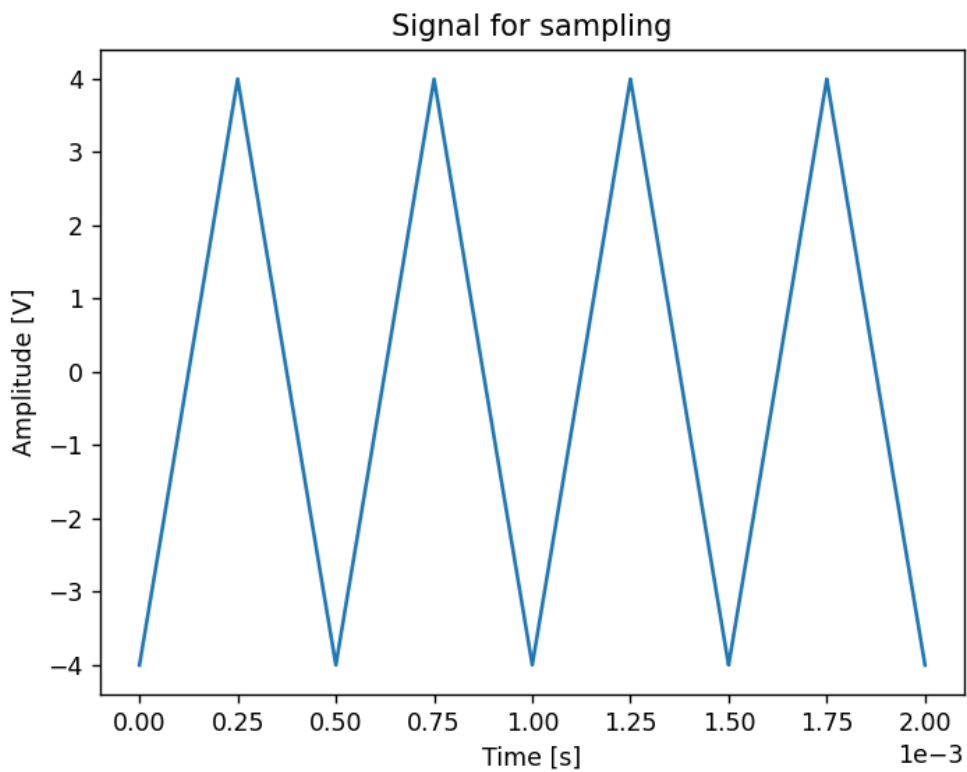
## Περιεχόμενα

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 1 <sup>ο</sup> Ερώτημα ..... | 1  |
| 2 <sup>ο</sup> Ερώτημα ..... | 14 |
| 3 <sup>ο</sup> Ερώτημα ..... | 17 |
| 4 <sup>ο</sup> Ερώτημα ..... | 22 |
| 5 <sup>ο</sup> Ερώτημα ..... | 31 |

## 1<sup>ο</sup> Ερώτημα

Θεωρούμε τριγωνική περιοδική παλμοσειρά  $y(t)$  με πλάτος  $A = 4 \text{ V}$  και συχνότητας  $f_m = 2 \text{ kHz}$  ( $8 + 3 + 9 = 20$ ,  $2 + 0 = 2$ ). Στην προσομοίωση, απεικονίσαμε την τριγωνική περιοδική συνάρτηση με την εντολή:

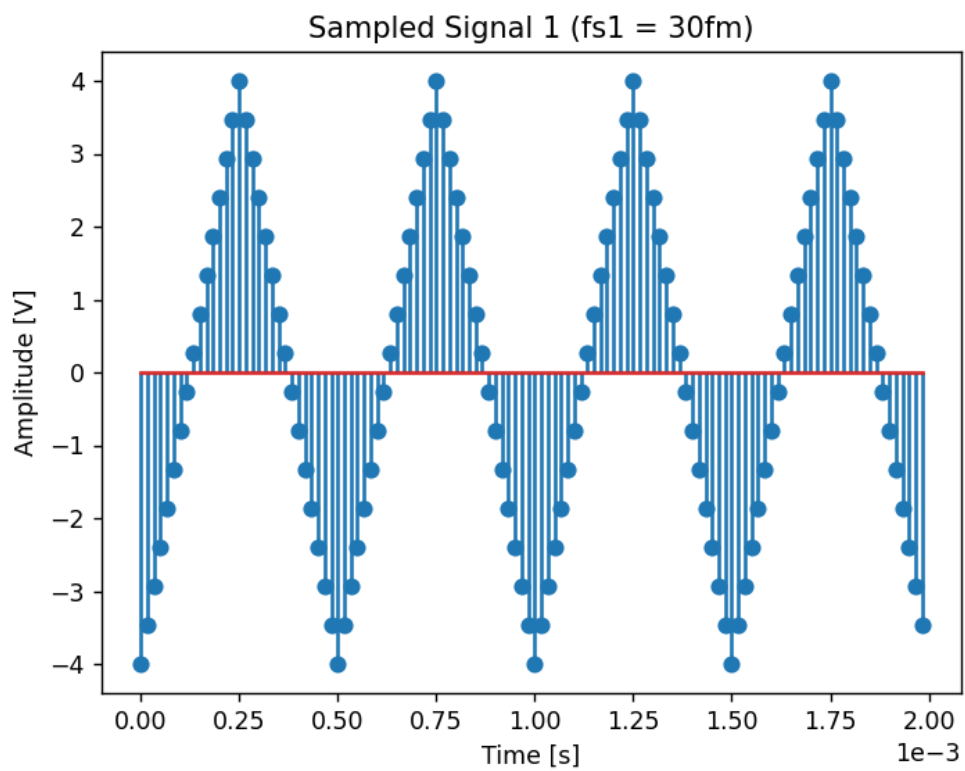
$y = A * \text{scipy.sawtooth}(2 * \text{numpy.pi} * f_m * t, 0.5)$ . Οπότε, τρέχοντας τον αλγόριθμο, λαμβάνουμε την παρακάτω γραφική παράσταση:



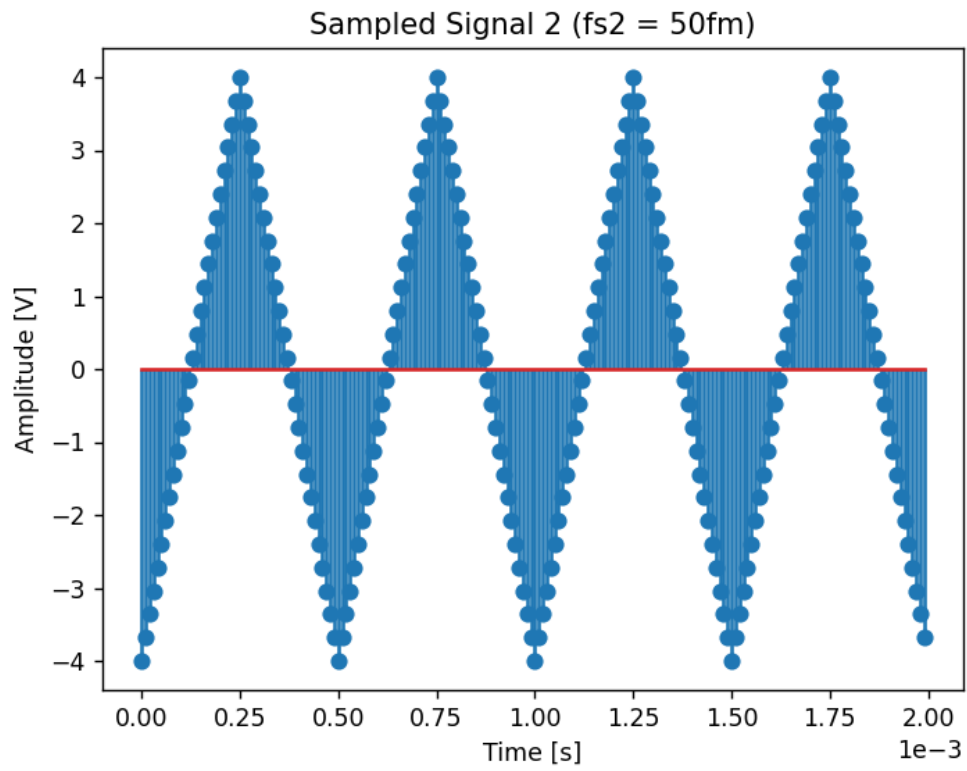
α΄

Χρησιμοποιούμε την εντολή `matplotlib.stem(t,y)` για να κάνουμε τη δειγματοληψία στις διάφορες συχνότητες.

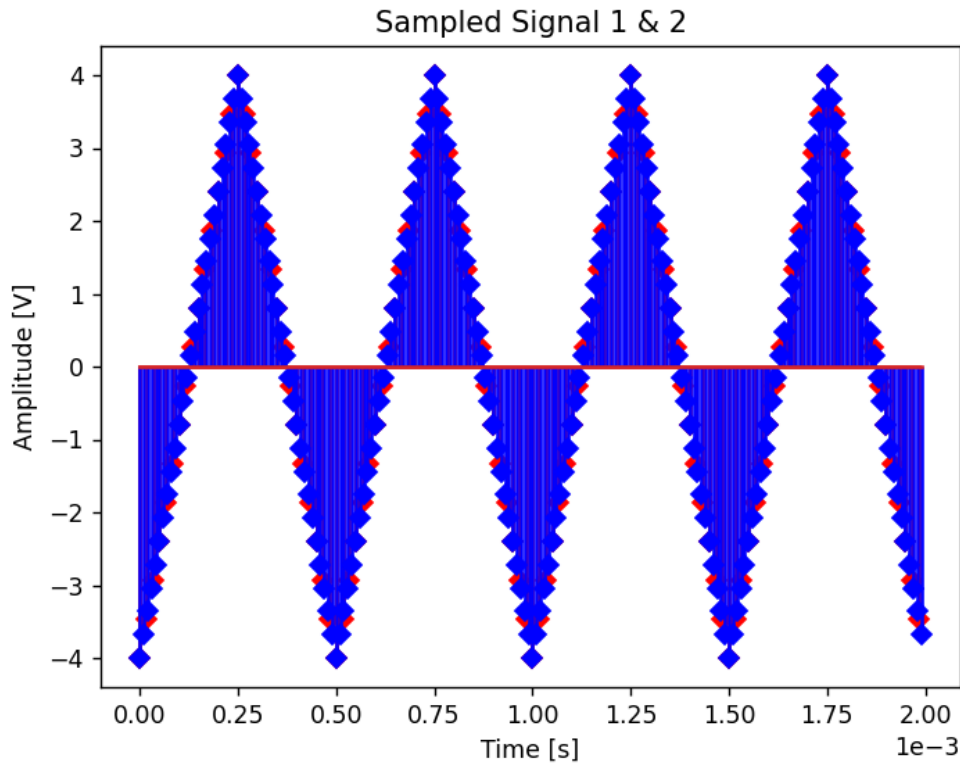
- (i) Για δειγματοληψία με συχνότητα  $fs1 = 30 \text{ fm}$ , τα δείγματα απεικονίζονται στην παρακάτω γραφική παράσταση.



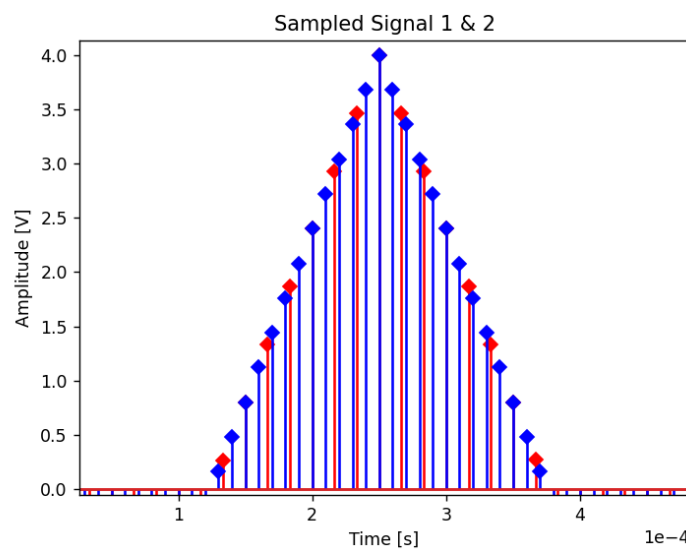
- (ii) Για δειγματοληψία με συχνότητα  $fs2 = 50 \cdot fm$ , τα δείγματα απεικονίζονται στην παρακάτω γραφική παράσταση.



- (iii) Για δειγματοληψία με συχνότητες  $fs1 = 30 \text{ fm}$  και  $fs2 = 50 \text{ fm}$ , τα δείγματα απεικονίζονται, σε κοινό διάγραμμα, στην παρακάτω γραφική παράσταση.



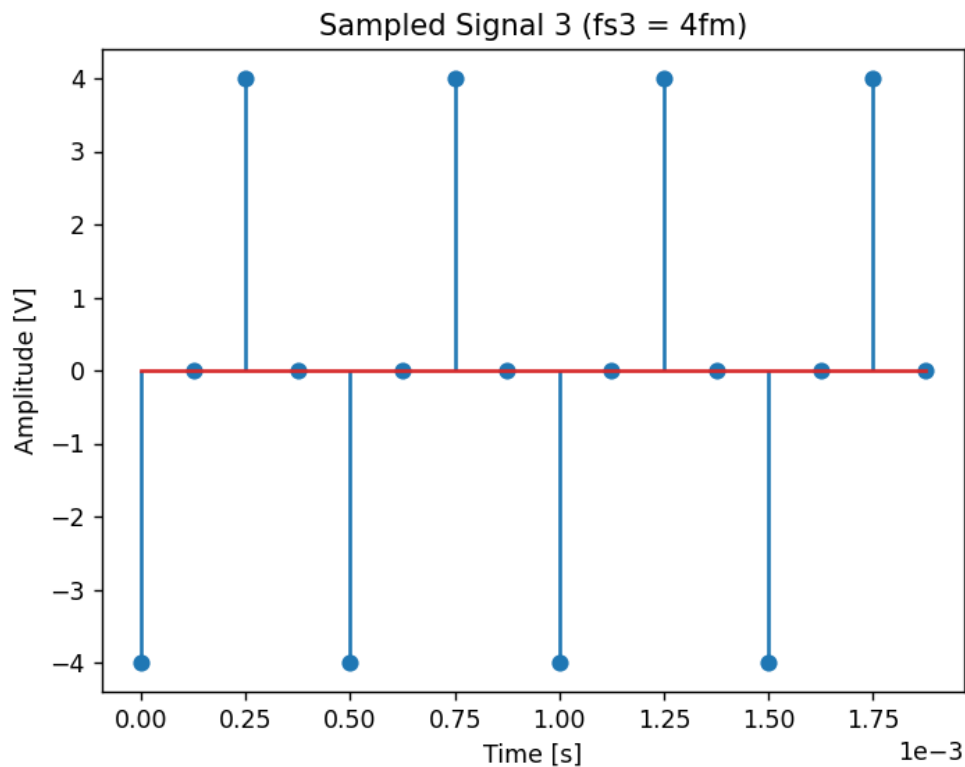
Τα δείγματα με συχνότητα δειγματοληψίας  $fs1$  απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα, ενώ δείγματα με συχνότητα δειγματοληψίας  $fs2$  απεικονίζονται με μπλε χρώμα.



Μεγεθύνουμε τη γραφική, για να παρατηρήσουμε ότι τα δείγματα δεν ταυτίζονται, αλλά βρίσκονται σε πολύ κοντινές θέσεις.

β’

Δειγματοληπτούμε, όμοια με πριν, το σήμα με  $f_s = 4 \cdot f_m$ . Τα δείγματα απεικονίζονται στην παρακάτω γραφική παράσταση.



Παρατηρούμε ότι δεν είναι δυνατή η ακριβής ανακατασκευή του δειγματοληπτούμενου σήματος, καθώς η παραπάνω γραφική έχει υποστεί αλλοίωση (aliasing effect).

Υπολογίζουμε την ελάχιστη θεωρητική  $f_s$  ώστε να είναι δυνατή η ακριβής ανακατασκευή του σήματος. Γνωρίζουμε, από το Θεώρημα Δειγματοληψίας Nyquist - Shannon ότι η συχνότητα δειγματοληψίας η οποία δεν εισάγει αλλοιώσεις είναι  $f_s \geq 2W$ , όπου το  $W$  είναι το εύρος ζώνης του εκάστοτε σήματος δειγματοληψίας.

Σε θεωρητική προσέγγιση, ο μετασχηματισμός Fourier της τριγωνικής συνάρτησης είναι η συνάρτηση  $A \cdot \text{sinc}^2(f)$ .

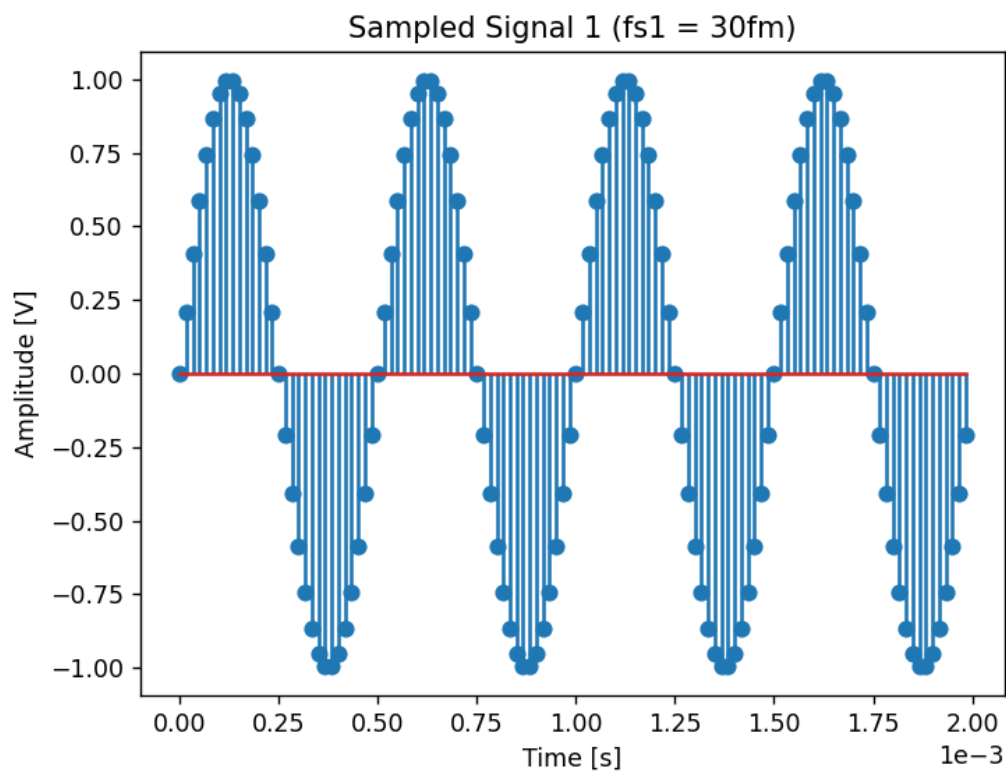
$\gamma'$

- (i) Επαναλαμβάνουμε τα υποερωτήματα  $\alpha'$  και  $\beta'$  για το σήμα  $z(t) = A \cdot \sin(2\pi f_m t)$  πλάτους  $A = 1\text{ V}$  και συχνότητας  $f_m\text{ kHz}$ .

$\alpha'$

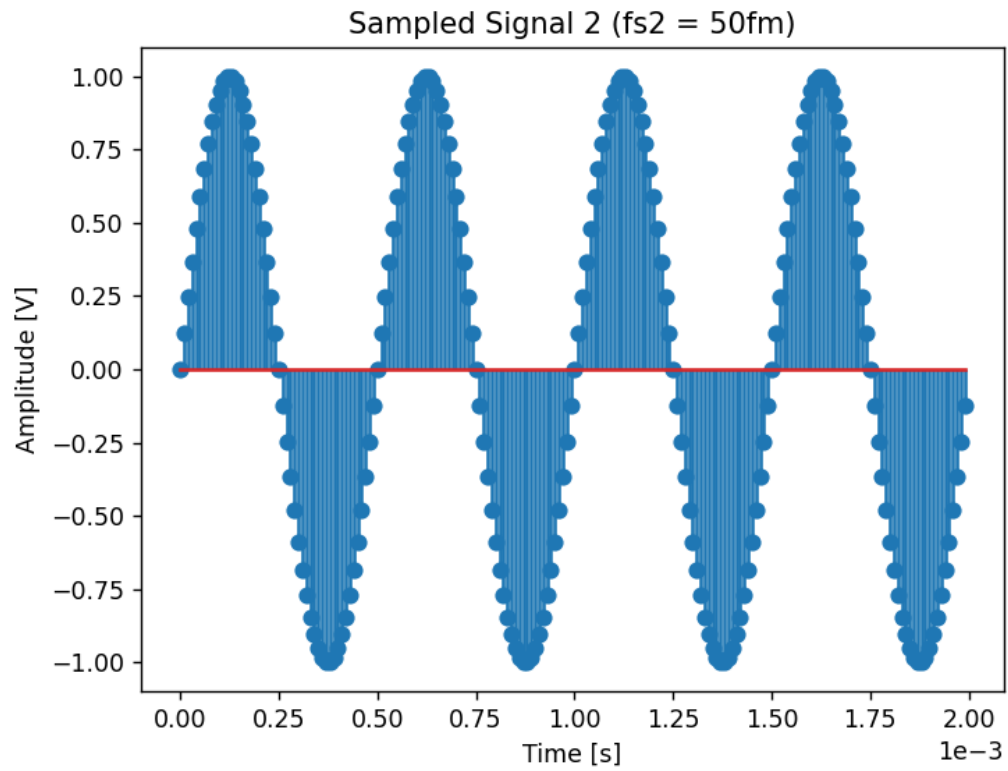
Χρησιμοποιούμε την εντολή `matplotlib.stem(t, y)` για να κάνουμε τη δειγματοληψία στις διάφορες συχνότητες.

- (i) Για δειγματοληψία με συχνότητα  $fs1 = 30 \cdot f_m$ , τα δείγματα απεικονίζονται στην παρακάτω γραφική παράσταση.

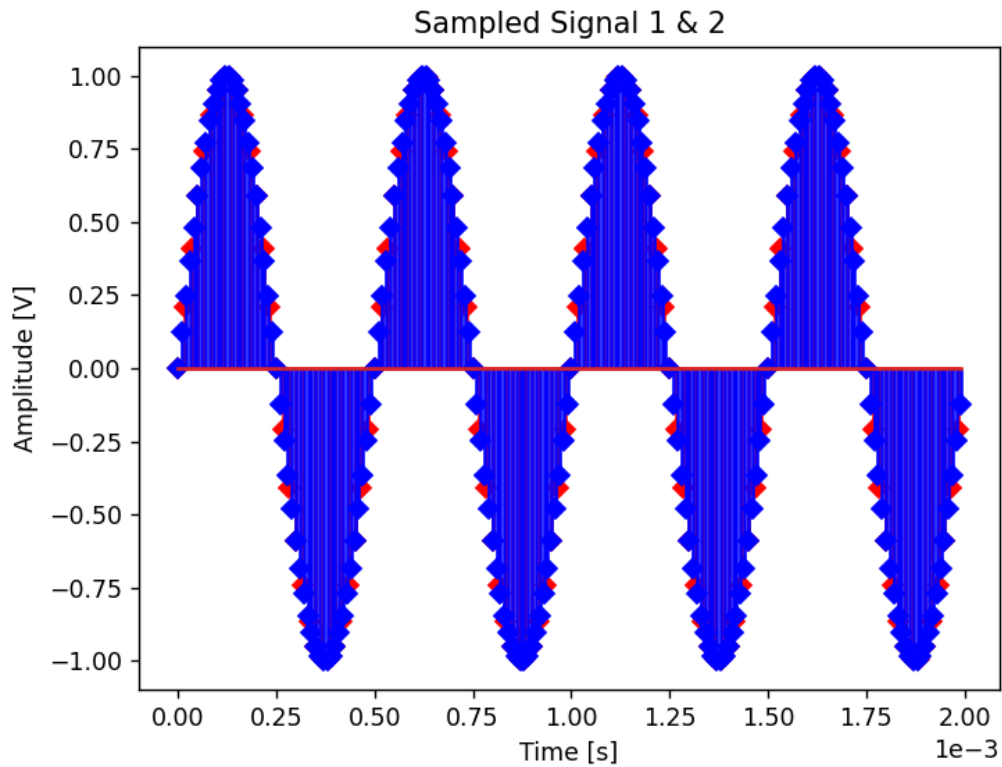




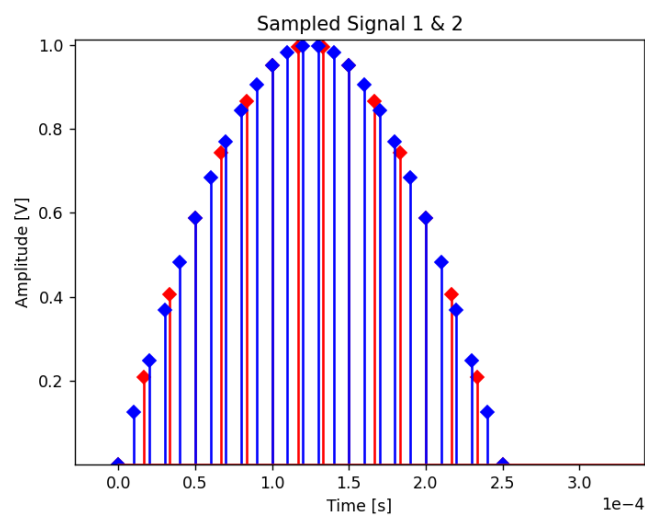
- (ii) Για δειγματοληψία με συχνότητα  $f_{s2} = 50 \cdot f_m$ , τα δείγματα απεικονίζονται στην παρακάτω γραφική παράσταση.



- (iii) Για δειγματοληψία με συχνότητες  $fs1 = 30 \cdot fm$  και  $fs2 = 50 \cdot fm$ , τα δείγματα απεικονίζονται, σε κοινό διάγραμμα, στην παρακάτω γραφική παράσταση.



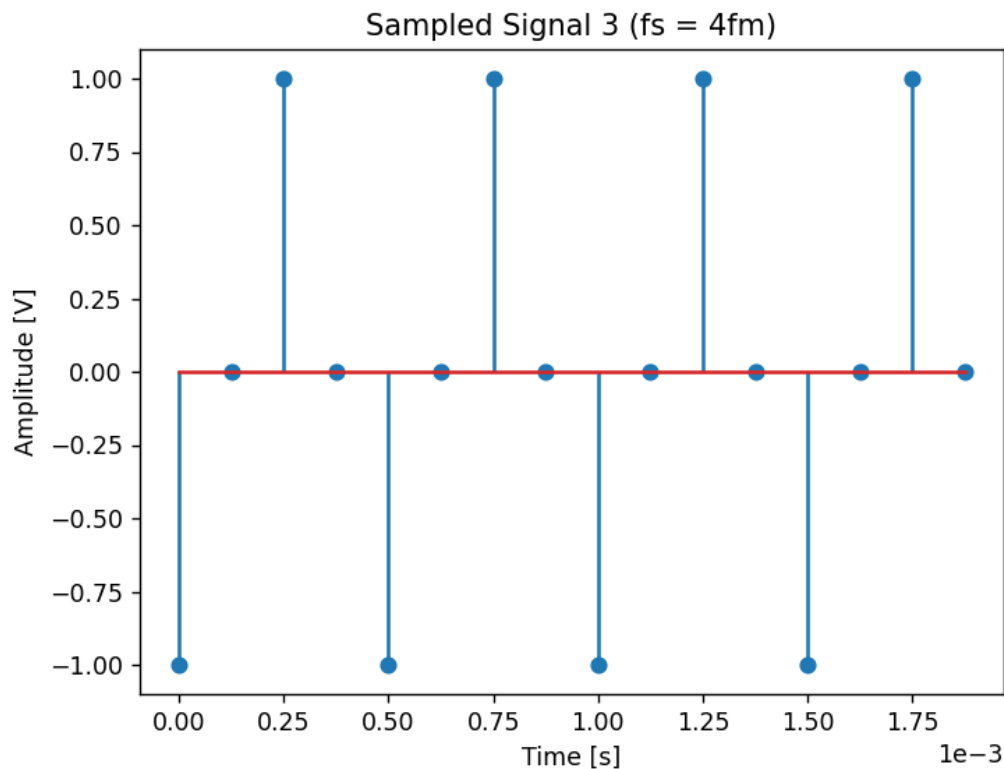
Τα δείγματα με συχνότητα  $fs1$  απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα, ενώ δείγματα με συχνότητα  $fs2$  απεικονίζονται με μπλε χρώμα.



Μεγεθύνουμε τη γραφική, για να παρατηρήσουμε ότι τα δείγματα δεν ταυτίζονται, αλλά βρίσκονται σε πολύ κοντινές θέσεις.

β’

Δειγματοληπτούμε, όμοια με πριν, το σήμα με  $f_s = 4f_m$ . Τα δείγματα απεικονίζονται στην παρακάτω γραφική παράσταση.



Παρατηρούμε ότι δεν είναι δυνατή η ακριβής ανακατασκευή του δειγματοληπτούμενου σήματος, καθώς η παραπάνω γραφική έχει υποστεί αλλοίωση (aliasing effect).

Υπολογίζουμε την ελάχιστη θεωρητική  $f_s$  ώστε να είναι δυνατή η ακριβής ανακατασκευή του σήματος. Γνωρίζουμε, από το Θεώρημα Δειγματοληψίας Nyquist - Shannon ότι η συχνότητα δειγματοληψίας η οποία δεν εισάγει αλλοιώσεις είναι  $f_s \geq 2W$ , όπου το  $W$  είναι το εύρος ζώνης του εκάστοτε σήματος δειγματοληψίας.

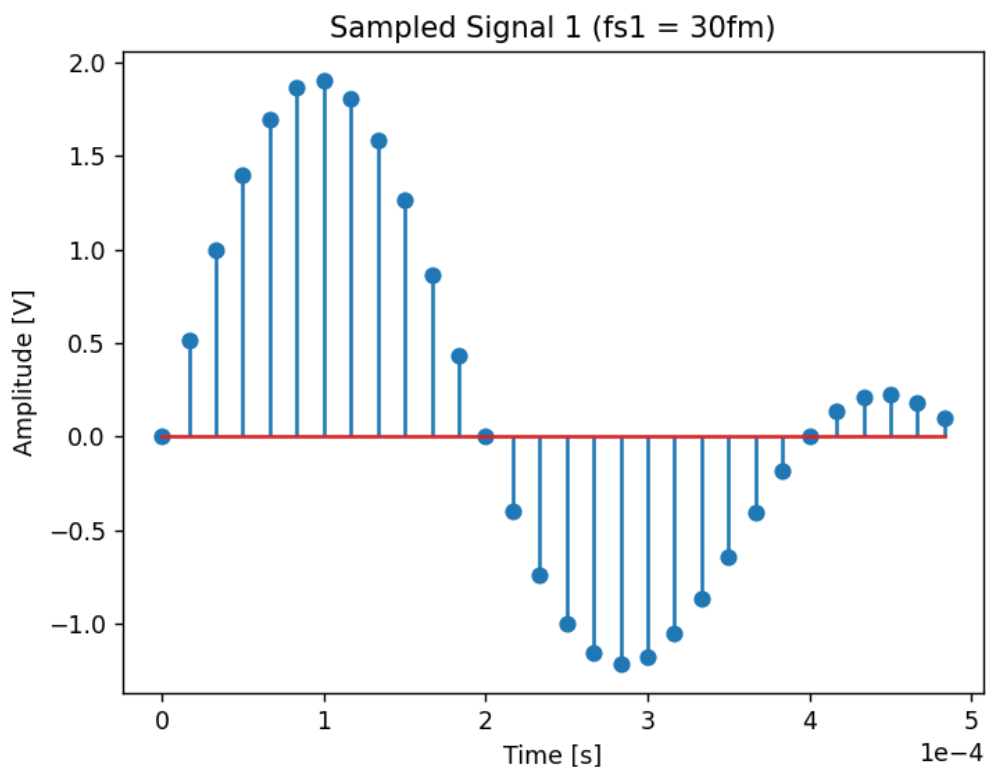
Σε θεωρητική προσέγγιση, ο μετασχηματισμός Fourier της ημιτονοειδούς συνάρτησης είναι η συνάρτηση  $\frac{A}{2}i[\delta(f + f_m) - \delta(f - f_m)]$ .

- (ii) Επαναλαμβάνουμε τα υποερωτήματα α' και β' για το σήμα  $q(t) = A \sin(2\pi f_m t) + A \sin(2\pi(f_m + L)t)$  πλάτους  $A = 1\text{ V}$  και  $L = 1\text{ kHz}$ . Το σήμα που προκύπτει (απεικονισμένο σε μία περίοδο) είναι, ουσιαστικά, μία ημιτονοειδής συνάρτηση της οποίας το μέγιστο πλάτος φθίνει καθώς αυξάνεται ο χρόνος (όπως στις αποσβενήμενες ταλαντώσεις).

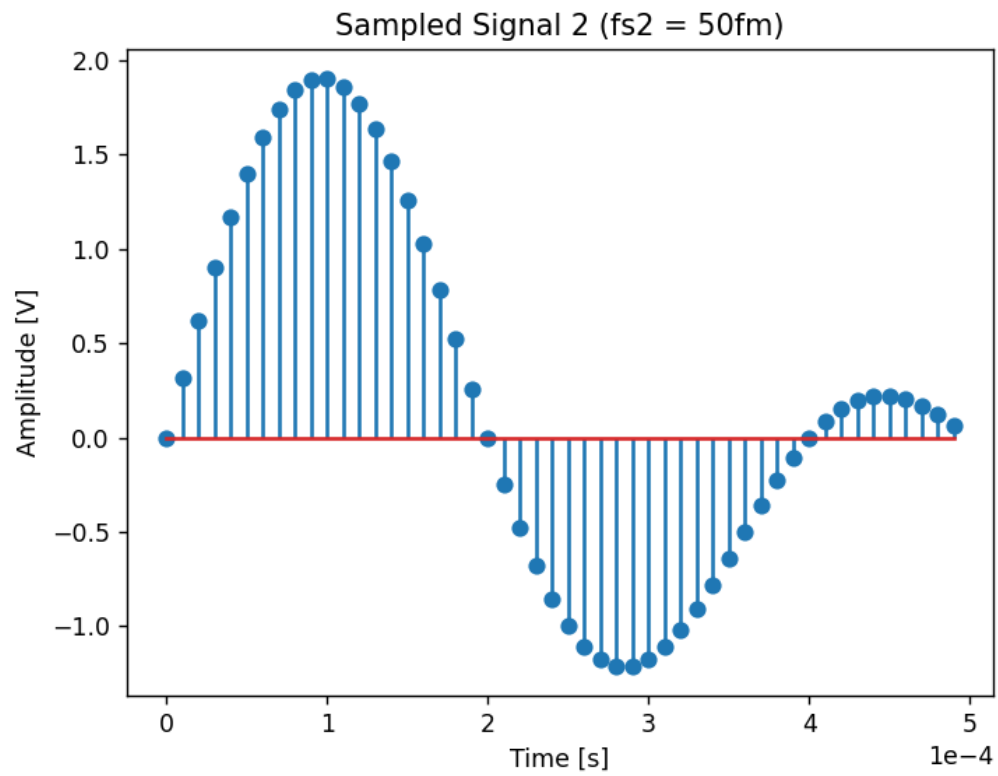
α'

Χρησιμοποιούμε την εντολή `matplotlib.stem(t, y)` για να κάνουμε τη δειγματοληψία στις διάφορες συχνότητες.

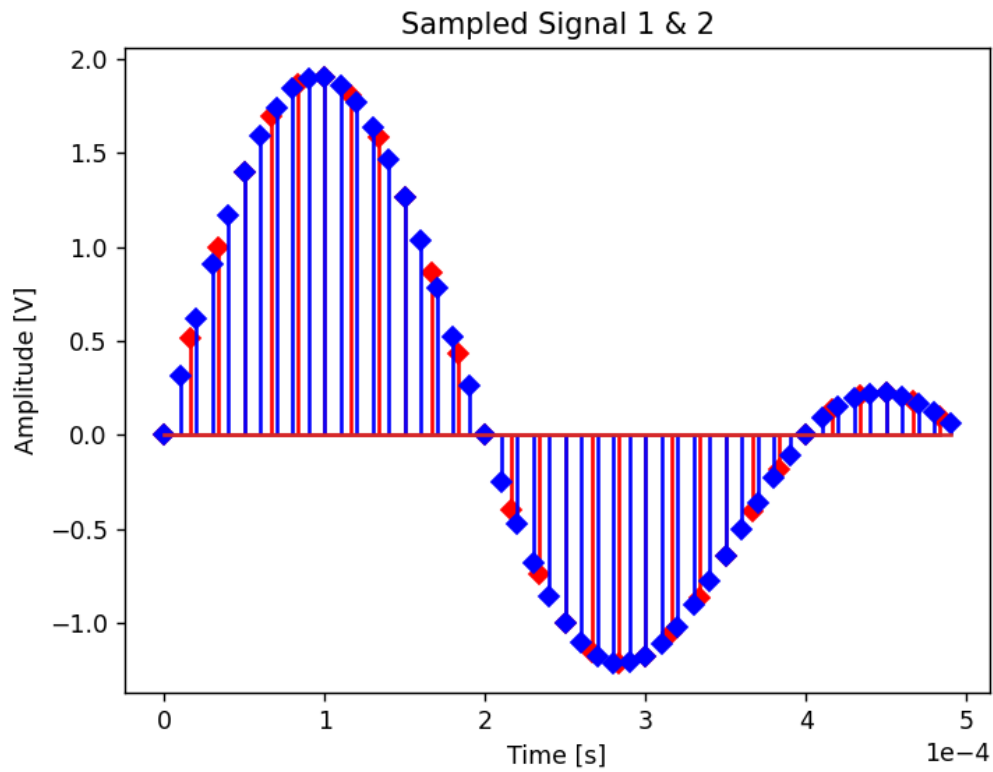
- (i) Για δειγματοληψία με συχνότητα  $fs1 = 30 \cdot f_m$ , τα δείγματα απεικονίζονται στην παρακάτω γραφική παράσταση.



- (ii) Για δειγματοληψία με συχνότητα  $fs2 = 50 \text{ fm}$ , τα δείγματα απεικονίζονται στην παρακάτω γραφική παράσταση.



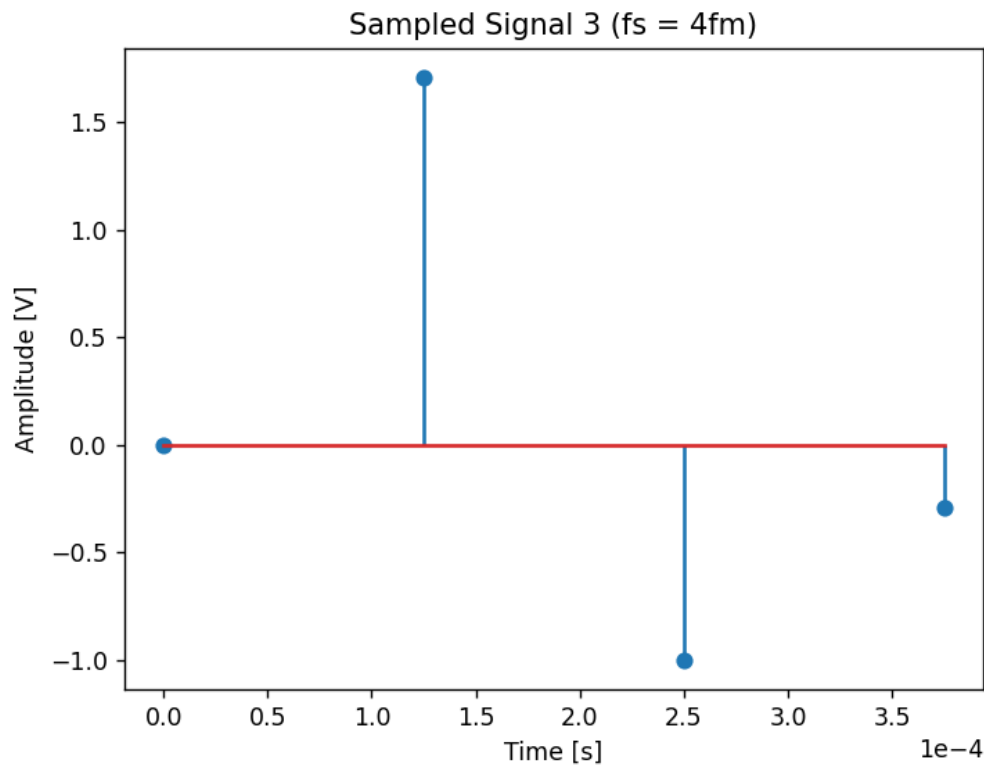
- (iii) Για δειγματοληψία με συχνότητες  $f_{s1} = 30 \text{ fm}$  και  $f_{s2} = 50 \text{ fm}$ , τα δείγματα απεικονίζονται, σε κοινό διάγραμμα, στην παρακάτω γραφική παράσταση.



Τα δείγματα με συχνότητα  $f_{s1}$  απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα, ενώ δείγματα με συχνότητα  $f_{s2}$  απεικονίζονται με μπλε χρώμα.

β’

Δειγματοληπτούμε, όμοια με πριν, το σήμα με  $f_s = 4 \cdot f_m$ . Τα δείγματα απεικονίζονται στην παρακάτω γραφική παράσταση.



Παρατηρούμε ότι το σήμα έχει υποστεί, επίσης, αλλοίωση για τη συγκεκριμένη συχνότητα δειγματοληψίας.

Υπολογίζουμε την ελάχιστη θεωρητική  $f_s$  ώστε να είναι δυνατή η ακριβής ανακατασκευή του σήματος. Γνωρίζουμε, από το Θεώρημα Δειγματοληψίας Nyquist - Shannon ότι η συχνότητα δειγματοληψίας η οποία δεν εισάγει αλλοιώσεις είναι  $f_s \geq 2W$ , όπου το  $W$  είναι το εύρος ζώνης του εκάστοτε σήματος δειγματοληψίας.

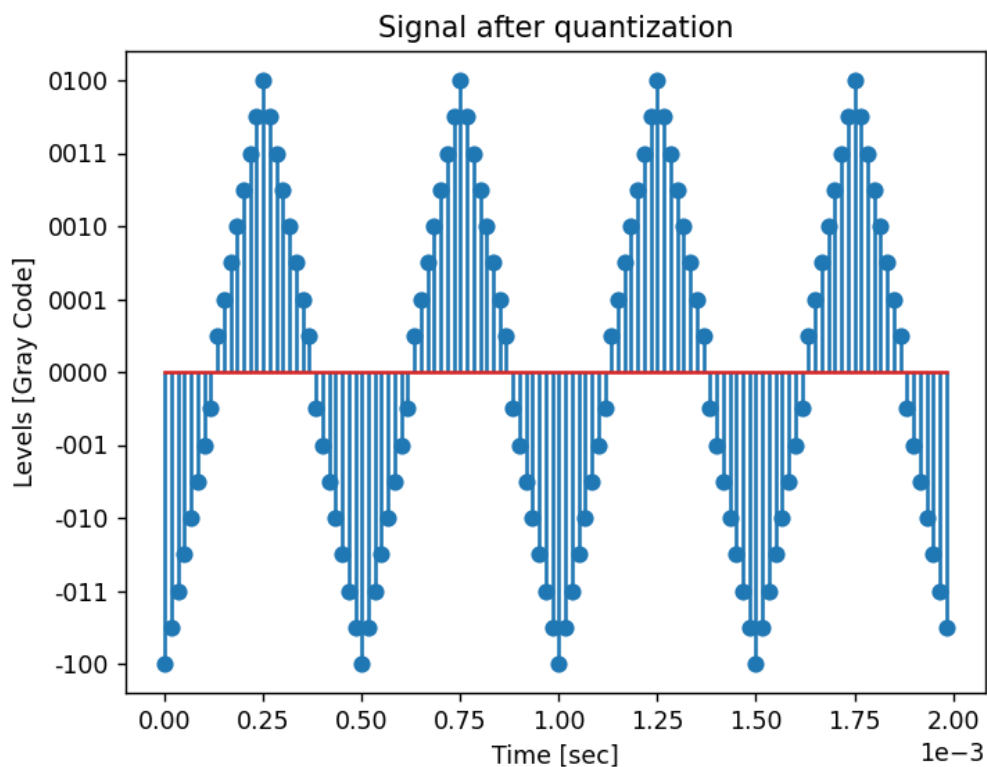
Σε θεωρητική προσέγγιση, ο μετασχηματισμός Fourier της ημιτονοειδούς συνάρτησης είναι η συνάρτηση  $\frac{A}{2}i[\delta(f + f_m) - \delta(f - f_m) + \delta(f + f_m + L) - \delta(f - f_m - L)]$ .

## 2<sup>ο</sup> Ερώτημα

α’

Θεωρούμε ως είσοδο σε ομοιόμορφο κβαντιστή το σήμα  $y(t)$  από το 1<sup>ο</sup> ερώτημα μετά από δειγματοληψία συχνότητας  $f_s1 = 30 \cdot f_m$ . Θα εκτελέσουμε κβάντιση με 4 bit γιατί η συχνότητα  $f_m = 2 \text{ kHz}$  είναι άρτια.

Απεικονίζουμε το διάγραμμα της εξόδου του ομοιόμορφου κβαντιστή. Στον κατακόρυφο άξονα, θα απεικονίζονται τα επίπεδα κβαντισμού ως δυαδικό 4<sup>ov</sup> bit . Οπότε, λαμβάνουμε το παρακάτω διάγραμμα με κατακόρυφο άξονα δυαδικούς αριθμούς και με οριζόντιο άξονα τον χρόνο :





β’

Την τυπική απόκλιση κάθε μεγέθους την υπολογίζουμε με την βοήθεια της συνάρτησης `statistics.stdev()`. Το σφάλμα το υπολογίζουμε με τον τύπο `error = numpy.abs(σήμα δειγματοληψίας fs1 – κβαντισμένο σήμα)`.

- (i) Υπολογίζουμε την τυπική απόκλιση του σφάλματος κβάντισης για τα πρώτα 10 δείγματα.

```
The standard deviation for the first 10 samples is: 0.08381343184731607
```

- (ii) Υπολογίζουμε την τυπική απόκλιση του σφάλματος κβάντισης για τα πρώτα 20 δείγματα.

```
The standard deviation for the first 20 samples is: 0.07342896475844578
```

- (iii) Υπολογίζουμε το SNR κβάντισης για τις περιπτώσεις (i), (ii) και τη θεωρητική τιμή:

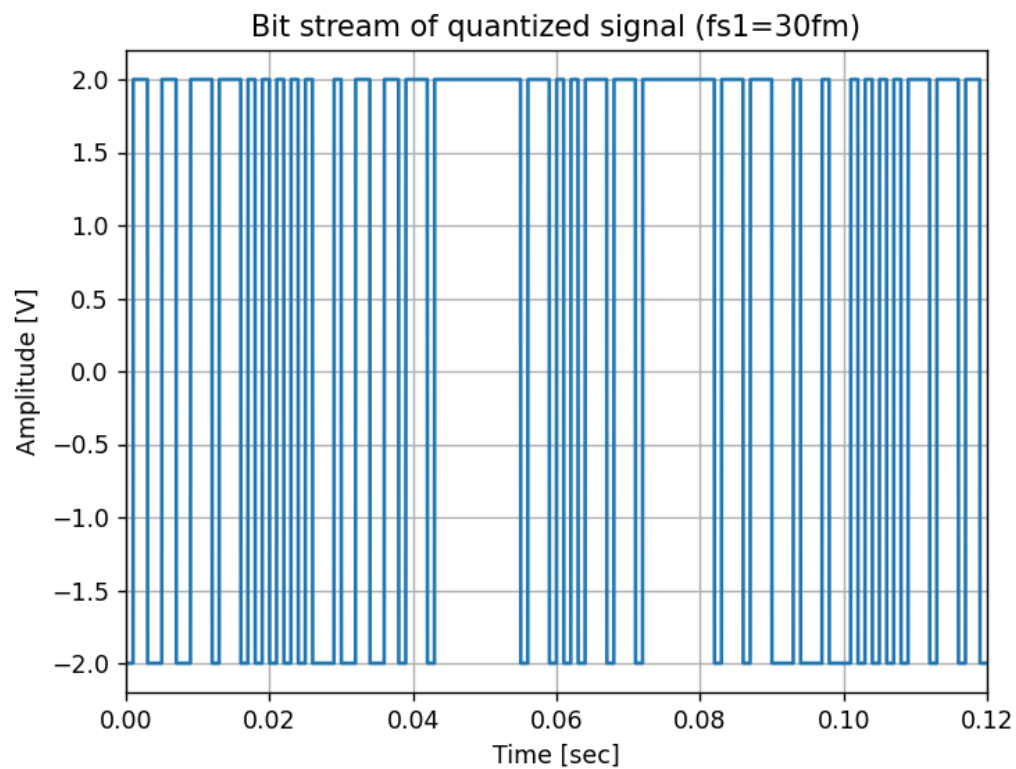
```
SNR for 10 samples : 765.9753954305789
SNR for 20 samples : 997.9464931308751
SNR for theoretical : 258.27555555555546
```

Οι πρώτες δύο τιμές SNR κβάντισης, για 10 και 20 δείγματα, διαφέρουν, σε μικρό βαθμό, μεταξύ τους.

Παρατηρούμε ότι η θεωρητική τιμή του SNR κβάντισης διαφέρει από τις τιμές των δύο πρώτων περιπτώσεων. Αυτό συμβαίνει επειδή, στις δύο πρώτες περιπτώσεις η τυπική απόκλιση του σφάλματος κβάντισης υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη μόνο ένα μέρος δειγμάτων (10 και 20 δείγματα αντιστοίχως) και όχι ολόκληρο το σήμα. Συνεπώς, η τυπικές αποκλίσεις `Var1` και `Var2` διαφέρουν από τη θεωρητική τιμή της τυπικής απόκλισης σφάλματος και κατ’επέκταση τα SNR των 10 και 20 δειγμάτων διαφέρουν επίσης από τη θεωρητική τιμή του SNR κβάντισης.

$\gamma'$ 

Μετά τη κβάντιση, παρουσιάζουμε σε διάγραμμα για μία περίοδο την αντίστοιχη ροή μετάδοσης από bits θωρώντας κωδικοποίηση γραμμής POLAR RZ με διάρκεια bit 2msec. Το πλάτος είναι ίσο με  $A = 2 \text{ V}$ .



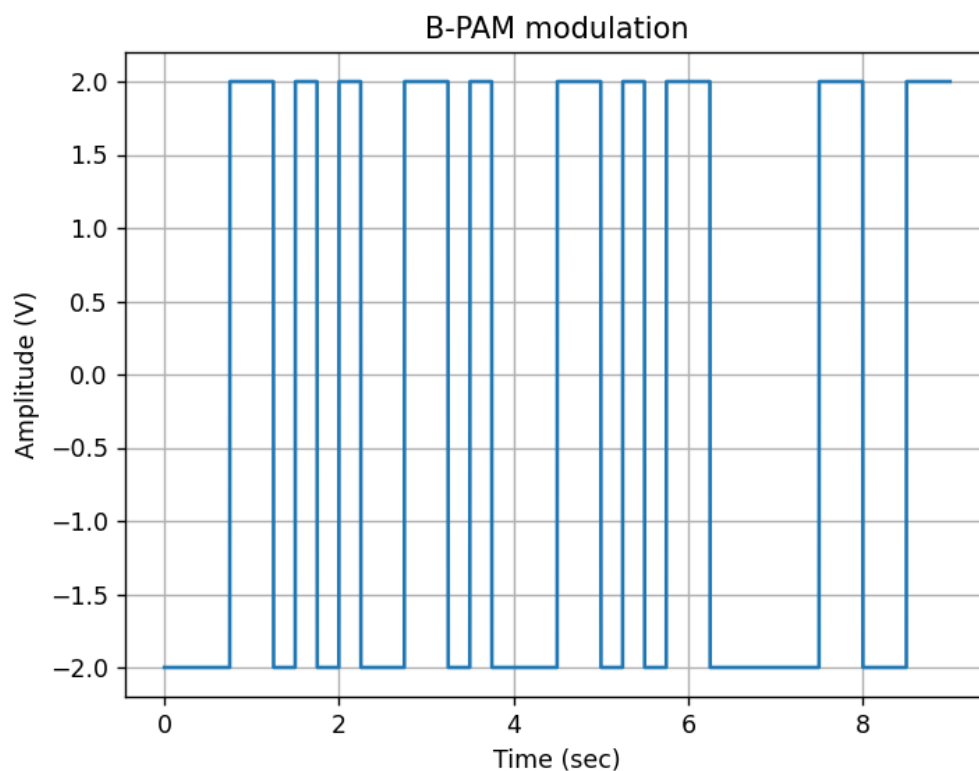
### 3<sup>ο</sup> Ερώτημα

Παράγουμε μία τυχαία ακολουθία 36 ψηφίων με ίση πιθανότητα εμφάνισης τιμών 0 η 1, σύμφωνα με την εντολή `numpy.random.randint()`. Θεωρούμε διάρκεια ψηφίου ως  $T_b = 0.25$  sec. Τη δεδομένη στιγμή που εκτελέσαμε το πρόγραμμα, δημιουργήθηκε η παρακάτω ζητούμενη ακολουθία:

```
[0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 1 0 1 0 0 0 1 1 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1]
```

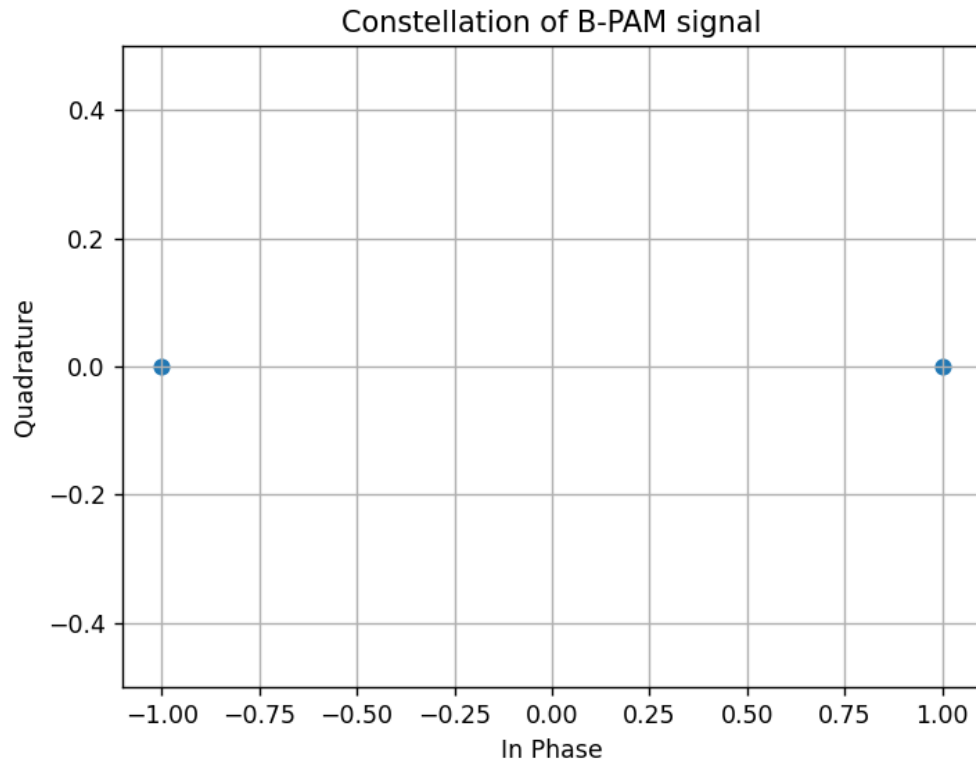
β’

Η παραπάνω ακολουθία διαμορφώνεται κατά B-PAM με πλάτος  $A = 2$  Volts. Οπότε, το προκύπτον σήμα παρουσιάζεται παρακάτω:



$\gamma'$

Δημιουργούμε το διάγραμμα αστερισμού για το παραπάνω διαμορφωμένο σήμα B-PAM.

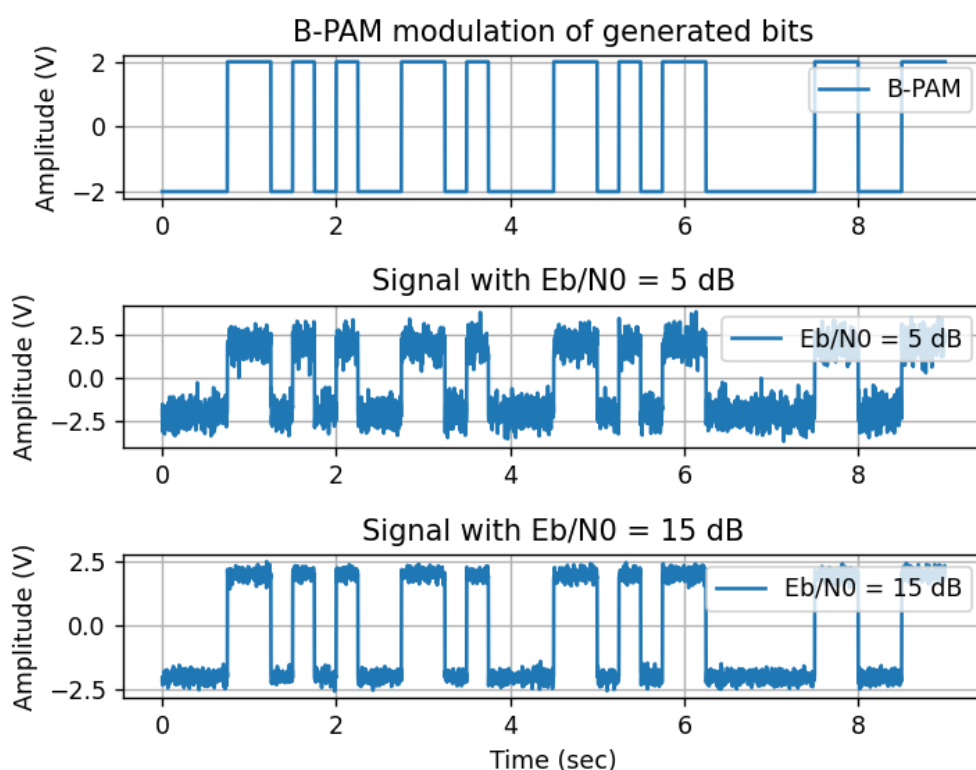


Τα δύο σημεία που βρίσκονται στο παραπάνω διάγραμμα, αναπαριστούν τις τιμές 0 και 1 που αποκωδικοποιεί ο δέκτης ως τις εξής: Η επιλογή του δυαδικού 1 αντιστοιχεί στην τιμή  $\sqrt{A^2 * T_b} = \sqrt{2^2 * 0,25} = 1$ , ενώ η επιλογή του δυαδικού 0 αντιστοιχεί στην τιμή  $-\sqrt{A^2 * T_b} = -\sqrt{2^2 * 0,25} = -1$ .

δ’

Παράγουμε θόρυβο AWGN, με τη βοήθεια μίας τυχαίας μιγαδικής μεταβλητής, και το προσθέτουμε στο σήμα B-PAM το οποίο δημιουργήσαμε στο υποερώτημα β’.

Παράγουμε δύο τιμές θορύβου με  $E_b/N_0 = 5$  dB και 15 dB. Δημιουργούμε, με χρήση subplot, τα τρία διαγράμματα. Το πρώτο διάγραμμα είναι εκείνο του ερωτήματος β’, ενώ τα άλλα δύο είναι σήματα με θόρυβο  $E_b/N_0 = 5$  dB και 15 dB αντίστοιχα.



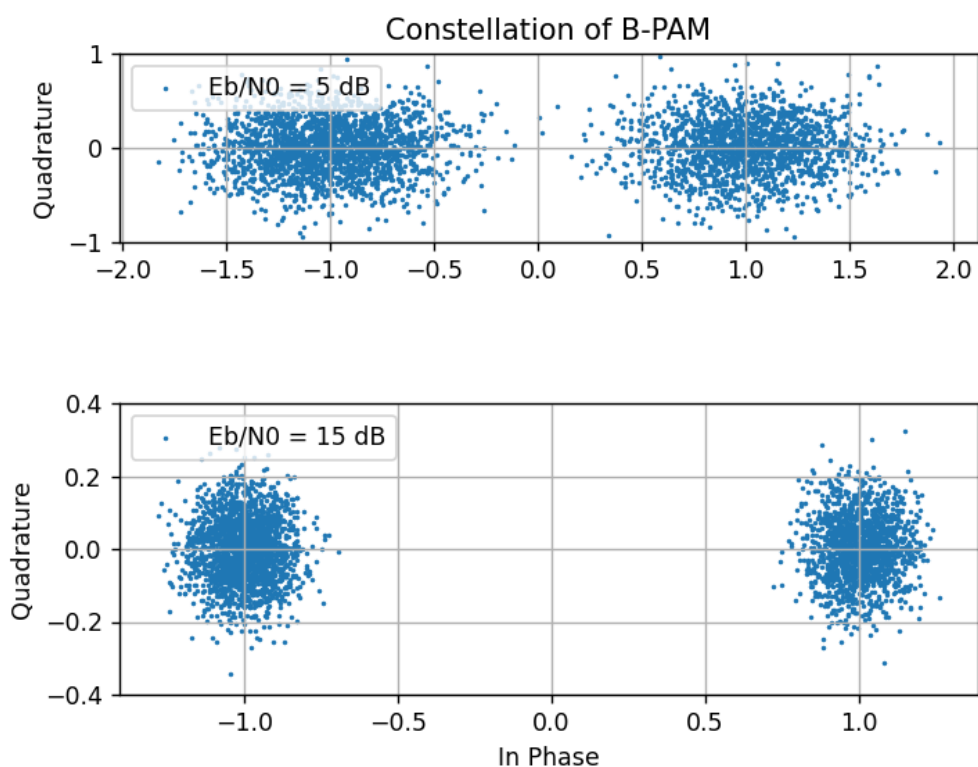
Παρατηρούμε ότι με μικρότερο λόγο  $E_b/N_0$ , παράγεται μεγαλύτερη ένταση θορύβου. Οπότε, μπορεί να παραμορφωθεί η παραγόμενη διαμόρφωση και συνεπώς να υπάρξει σφάλμα στην αποκωδικοποίηση του ψηφίου.

Για  $E_b/N_0 = 5$  dB, τα πλάτη των διαμορφωμένων ψηφίων πλησιάζουν κοντά στο 0 και συνεπώς υπάρχει μεγαλύτερο ποσοστό εσφαλμένου ψηφίου.

Για  $E_b/N_0 = 15$  dB, τα πλάτη των διαμορφωμένων ψηφίων βρίσκονται κοντά στις τιμές της αρχικής γραφικής και συνεπώς υπάρχει μικρότερο ποσοστό εσφαλμένου ψηφίου που τείνει στο μηδέν.

ε΄

Δημιουργούμε τα διαγράμματα αστερισμών για τα σήματα που προέκυψαν στο προηγούμενο ερώτημα με τη βοήθεια μιγαδικής τυχαίας μεταβλητής για τη συνιστώσα του θορύβου.

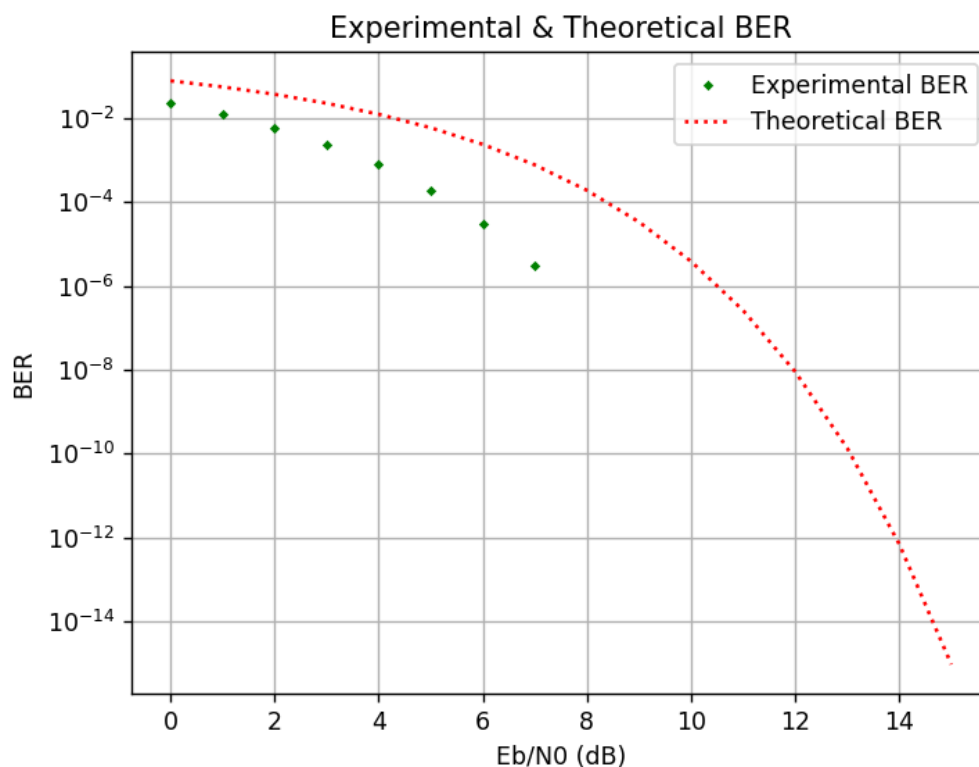


Για  $E_b/N_0 = 5 \text{ dB}$ , τα παραγόμενα σημεία έχουν μεγαλύτερη διασπορά γύρω από τα σημεία  $\pm\sqrt{A^2 * T_b} = \pm\sqrt{2^2 * 0,25} = \pm 1$  σε σχέση με εκείνα του διαγράμματος αστερισμού με  $E_b/N_0 = 15 \text{ dB}$ . Αποτέλεσμα αυτού είναι να περνούν το threshold (κατώφλι) απόφασης ο οποίος είναι ο  $\gamma_y$ .

ζ'

Παράγουμε ικανοποιητικό αριθμό τυχαίων bits ( $10^6$ ) και θόρυβο AWGN και δημιουργούμε την παρακάτω γραφική. Παρουσιάζεται, λοιπόν, τα εσφαλμένα ψηφία, σε λογαριθμική κλίμακα, συναρτήσει του λόγου  $E_b/N_0$ . Η πράσινη καμπύλη αναπαριστά την πειραματική προσέγγιση της καμπύλης, ενώ η κόκκινη γραφική, παρουσιάζει τη θεωρητική καμπύλη για διαμόρφωση B-PAM. Η θεωρητική καμπύλη για διαμόρφωση B-PAM προκύπτει από τον εξής τύπο:

$$P[\text{error}] = Q\left(\sqrt{2\left(\frac{E_b}{N_0}\right)}\right) \text{ με } Q = \frac{1}{2\pi} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) dy$$



Παρατηρούμε ότι η πειραματική γραφική αποκλίνει, σε μικρό βαθμό, από εκείνη της θεωρητικής γραφικής.

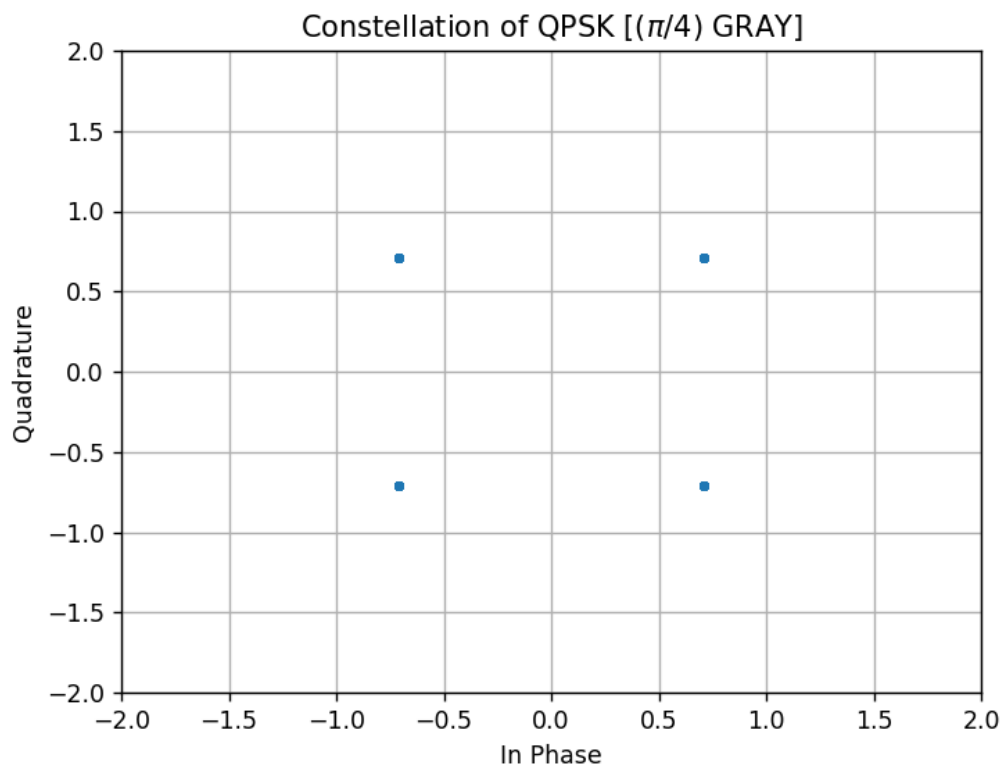
Επίσης, από το παραπάνω διάγραμμα, φαίνεται ότι όσο ο λόγος  $E_b/N_0$  αυξάνεται, τόσο η πιθανότητα εσφαλμένου ψηφίου για τη διαμόρφωση B-PAM μειώνεται ραγδαία.

#### 4<sup>ο</sup> Ερώτημα

Διαμορφώνουμε την ακολουθία 36 ψηφίων του 3<sup>ου</sup> ερωτήματος κατά QPSK με σύμβολα πλάτους A (Volts) όμοια με το προηγούμενο ερώτημα.

α’

Παρουσιάζουμε το διάγραμμα αστερισμού που προκύπτει θεωρώντας απεικόνιση με κωδικοποίηση  $(\pi/4)$  GRAY. Στη διαμόρφωση QPSK χρησιμοποιούνται 4 σύμβολα τα οποία αντιστοιχίζονται ως εξής:  $s_1 \rightarrow 00$ ,  $s_2 \rightarrow 01$ ,  $s_3 \rightarrow 11$  και  $s_4 \rightarrow 10$ . Στο διάγραμμα αστερισμού κάθε σημείο απέχει από το 0 απόσταση ίση με  $\sqrt{E_{bit}} = \sqrt{A^2 * T_b} = 1$  και η γωνία του από τον άξονα x είναι  $\theta = n * \pi/2 + \pi/4$ ,  $n = 0, 1, 2, 3$ .

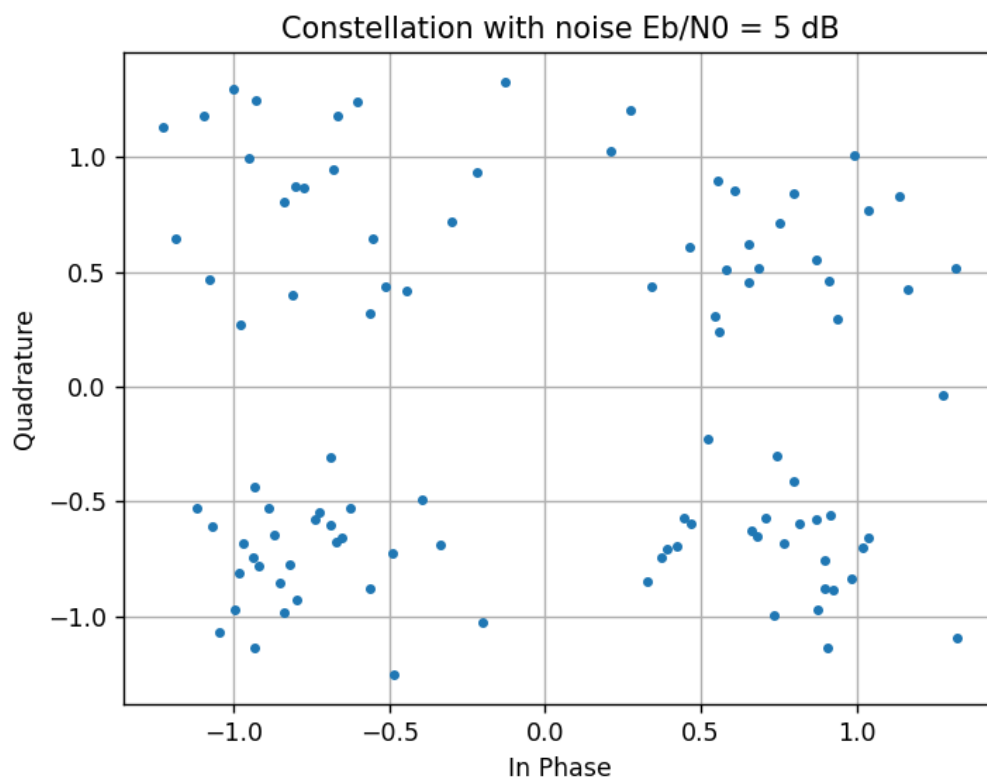




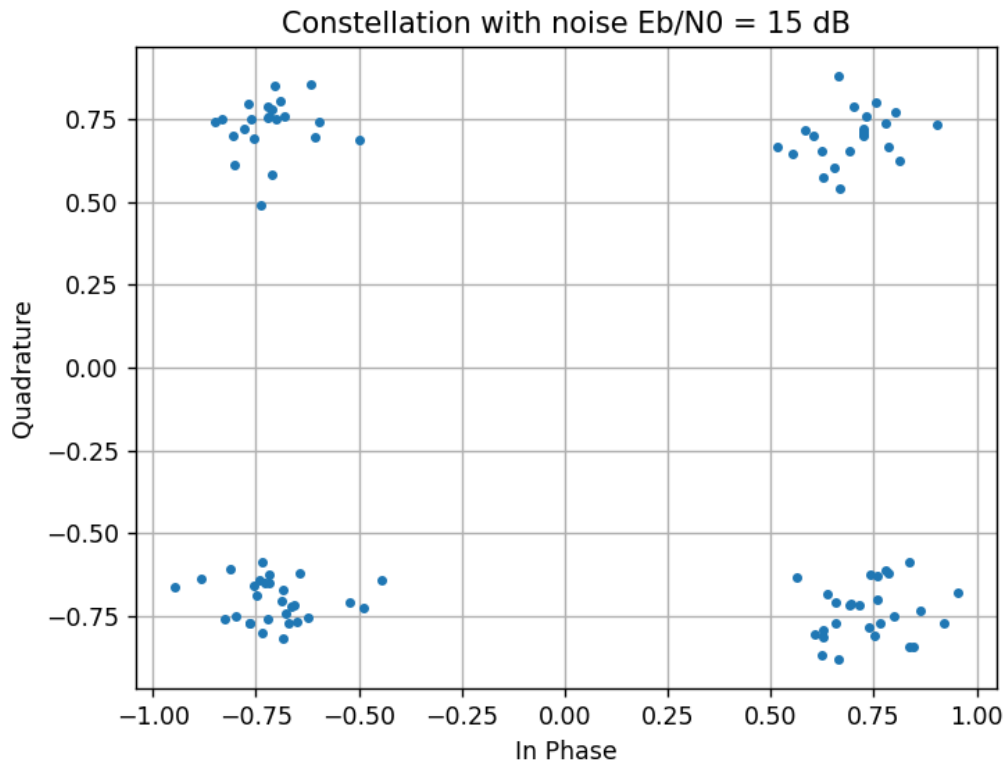
β'

Παράγουμε θόρυβο AWGN με τον ίδιο τρόπο όπως στο ερώτημα 3γ' σύμφωνα με τη σημείωση 2.

Παρακάτω απεικονίζεται το διάγραμμα αστερισμού που προκύπτει για την τιμή λόγου  $E_b/N_0 = 5$  dB.



Παρακάτω απεικονίζεται το διάγραμμα αστερισμού που προκύπτει για την τιμή λόγου  $E_b/N_0 = 15$  dB.

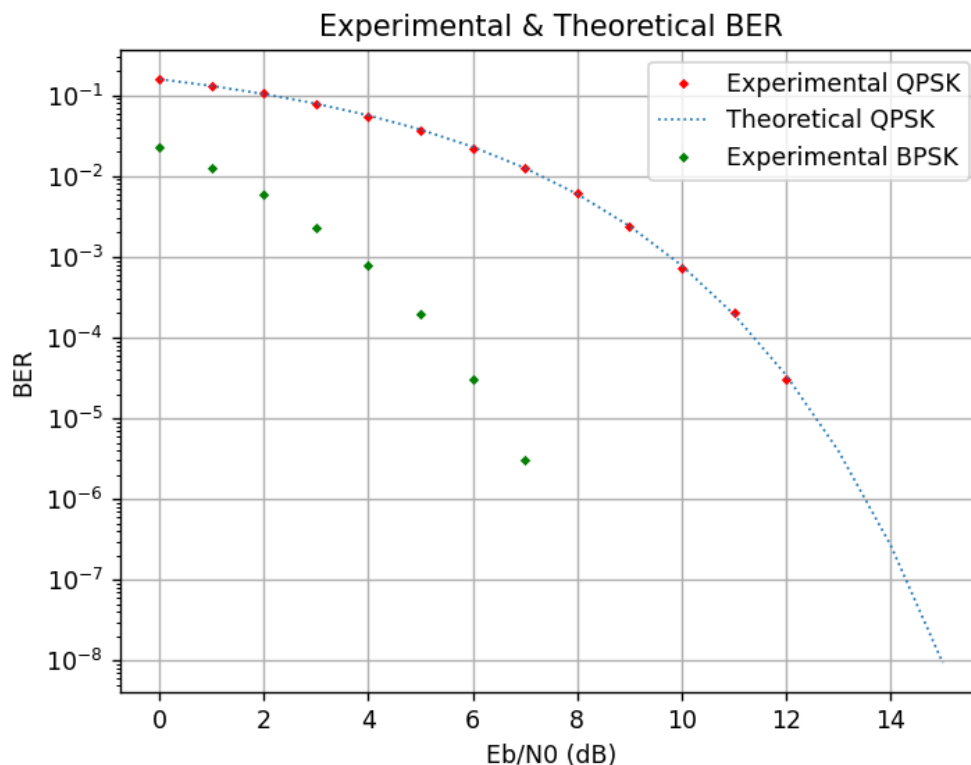


Στην πρώτη περίπτωση, δηλαδή με θόρυβο λόγου  $E_b/N_0 = 5$  dB, παρατηρούμε ότι ο θόρυβος παρουσιάζει μεγαλύτερη διασπορά στο διάγραμμα, με αποτέλεσμα να υπάρχει υψηλή πιθανότητα να υπάρξει λάθος κατά την αποκωδικοποίηση στον δέκτη. Ο λόγος είναι ότι ο δέκτης δεν θα είναι σε θέση να διακρίνει το σύμβολο που έστειλε ο πομπός. Αντίθετα, στη δεύτερη, δηλαδή με θόρυβο λόγου  $E_b/N_0 = 15$  dB, παρατηρούμε ότι ο θόρυβος παρουσιάζει μικρότερη διασπορά στο διάγραμμα, με αποτέλεσμα να υπάρξει λιγότερη πιθανότητα λάθους κατά την αποκωδικοποίηση στον δέκτη, γιατί τα σημεία βρίσκονται αρκετά κοντά το ένα στο άλλο.

$\gamma'$

Παράγουμε ικανοποιητικό αριθμό τυχαίων bits ( $10^5$ ) για κάθε ακέραια τιμή  $E_b/N_0$  από 1-15 dB.

Παρακάτω, απεικονίζεται η πιθανότητα εσφαλμένου ψηφίου, σε λογαριθμική κλίμακα, συναρτήσει του λόγου  $E_b/N_0$  σε dB.



Τα πράσινα σημεία αναπαριστούν την πειραματική προσέγγιση της καμπύλης σε BPSK, ενώ τα κόκκινα σημεία, παρουσιάζουν τη θεωρητική καμπύλη για διαμόρφωση QPSK. Η θεωρητική καμπύλη για διαμόρφωση QPSK, η οποία παρουσιάζεται με τη μπλε καμπύλη, προκύπτει από τον εξής τύπο:

$$P[\text{error}] = Q\left(\sqrt{2 \left(\frac{E_b}{N_0}\right)}\right) \text{ με } Q = \frac{1}{2\pi} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) dy$$

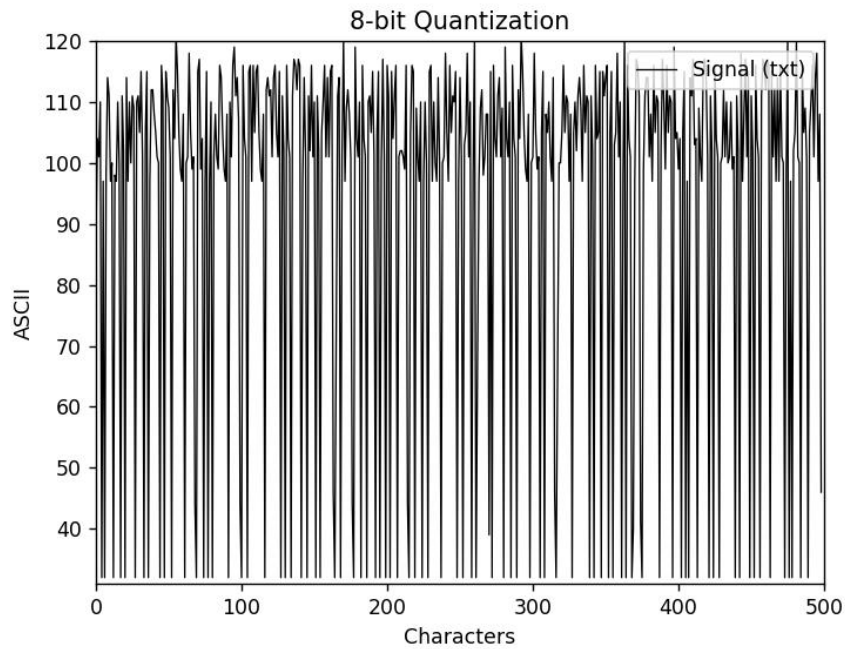
Παρατηρούμε ότι οι θεωρητικές με τις πειραματικές τιμές της διαμόρφωσης QPSK δεν αποκλίνουν μεταξύ τους. Παρατηρούμε ότι οι θεωρητικές με τις πειραματικές τιμές της διαμόρφωσης QPSK αποκλίνουν, σε μικρό βαθμό, μεταξύ τους καθώς αυξάνεται ο λόγος  $E_b/N_0$ . Για ίδιες τιμές του λόγου  $E_b/N_0$  οι τιμές BER της διαμόρφωσης BPSK είναι μικρότερες από εκείνες της QPSK. Οπότε, η απόδοση της BPSK είναι μεγαλύτερη. Αυτό αποδεικνύεται με το γεγονός ότι στη διαμόρφωση QPSK τα 4 σύμβολα απαιτούν περισσότερες αποφάσεις (4 αποφάσεις) από εκείνα της διαμόρφωσης BPSK η οποία χρησιμοποιεί 2 σύμβολα, οπότε χρειάζεται λιγότερες αποφάσεις από την QPSK. Οπότε, στη διαμόρφωση QPSK υπάρχουν περισσότερα λάθη κατά την αποκωδικοποίηση σε σχέση με τη διαμόρφωση BPSK.

δ'

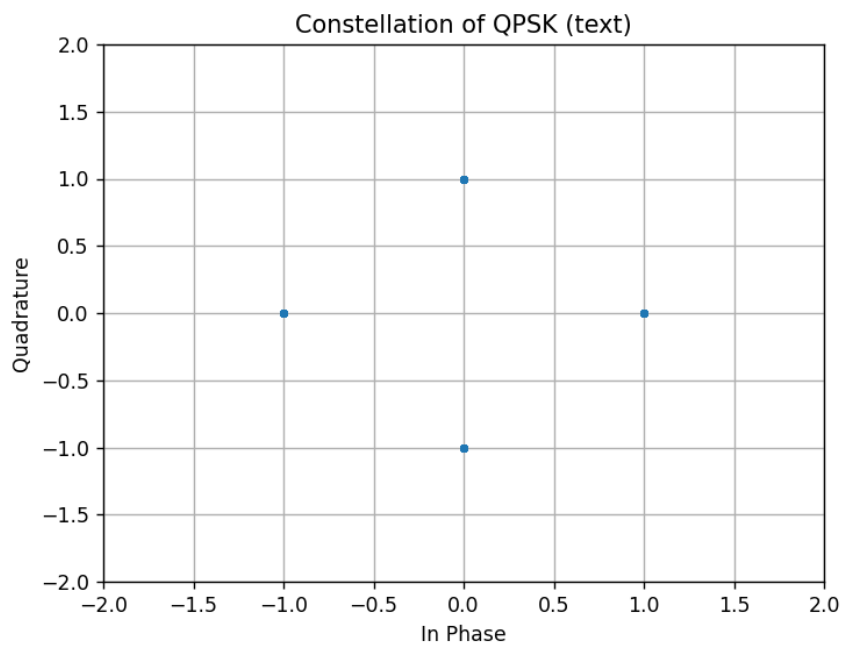
Χρησιμοποιούμε το αρχείο `rice_even.txt`, διότι το άθροισμα των τριών τελευταίων ψηφίων του αριθμού μητρώου είναι ο άρτιος αριθμός 2.

- (i) Διαβάζουμε το αρχείο κειμένου και μετατρέπουμε την κωδικοσειρά ASCII σε binary με χρήση της συνάρτησης `ord()`, οποία επιστρέφει τον αριθμό που αντιστοιχεί σε κάθε γράμμα και τον μετατρέπουμε στον αντίστοιχο δυαδικό μέσω της βιβλιοθήκης `binascii`.

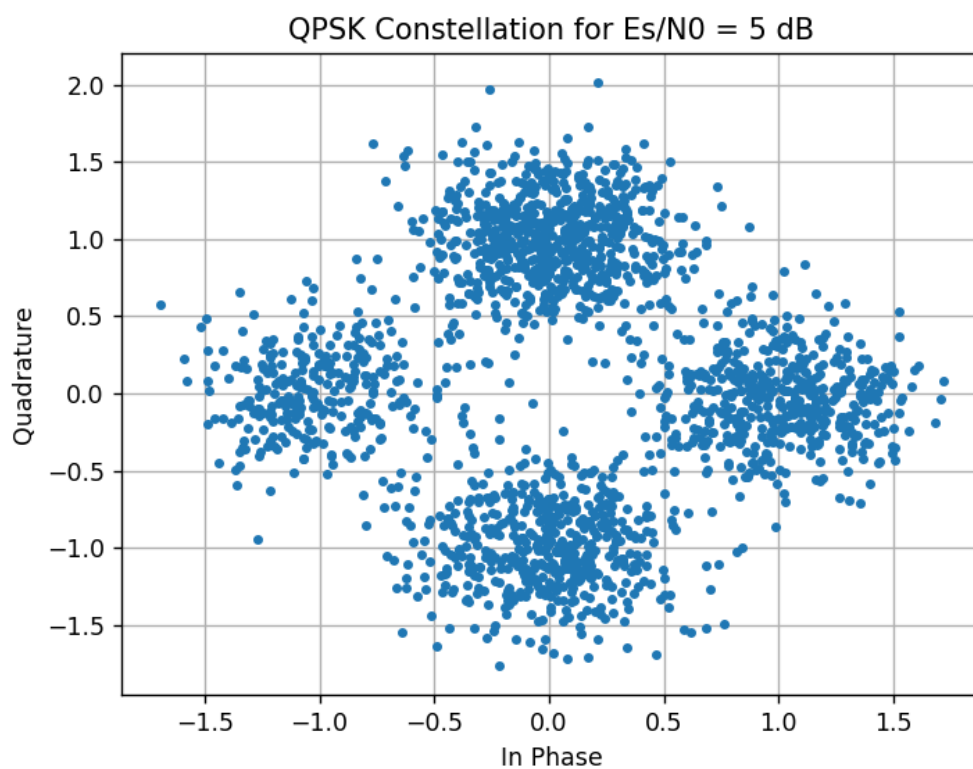
- (ii) Κβαντίζουμε το σήμα χρησιμοποιώντας ομοιόμορφο κβαντιστή 8 ψηφίων. Παρακάτω, απεικονίζεται το διάγραμμα του σήματος που προκύπτει.



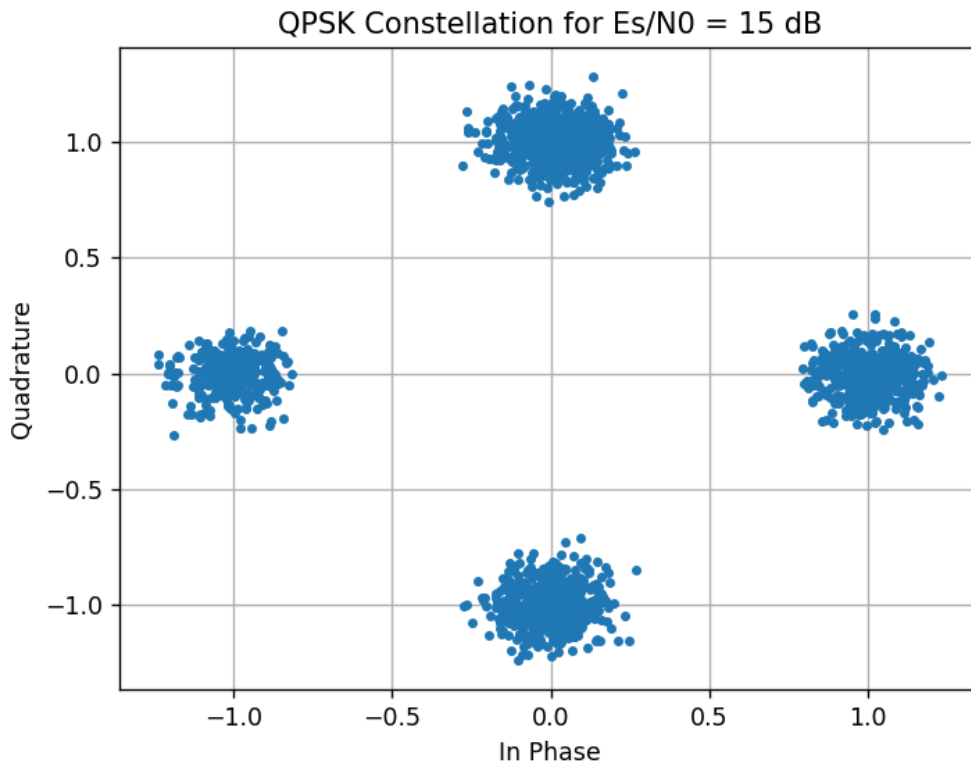
- (iii) Διαμορφώνουμε το κβαντισμένο σήμα, χρησιμοποιώντας διαμόρφωση QPSK θεωρώντας απεικόνιση με κωδικοποίηση GRAY. Παρακάτω, απεικονίζεται το διάγραμμα του σήματος που προκύπτει.



- (iv) Παράγουμε θόρυβο AWGN, με τη βοήθεια μίας τυχαίας μιγαδικής μεταβλητής, και το προσθέτουμε στο σήμα QPSK. Παράγουμε δύο τιμές θορύβου με  $E_b/N_0 = 5$  dB και 15 dB.
- (v) Αποδιαμορφώνουμε και δημιουργούμε τα διαγράμματα αστερισμού για τις δύο τιμές λόγου θορύβου.
- Παρακάτω, απεικονίζεται το διάγραμμα αστερισμού για θόρυβο  $E_b/N_0 = 5$  dB.



Παρακάτω, απεικονίζεται το διάγραμμα αστερισμού για θόρυβο  $E_b/N_0 = 15$  dB.



- (vi) Χρησιμοποιώντας τους ίδιους τύπους με το ερώτημα 4γ', υπολογίζουμε την πειραματική και θεωρητική τιμή του BER για τους λόγους  $E_b/N_0 = 5$  dB και 15 dB.

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι τιμές που τυπώνονται από την εκτέλεση του προγράμματος.

```
Experimental BER (Noise 5 dB) : 0.00501002004008016
Theoretical BER (Noise 5 dB) : 0.03767898814746344
Experimental BER (Noise 15 dB) : 0.0
Theoretical BER (Noise 15 dB) : 9.361039990685089e-09
```

Παρατηρούμε ότι και στις δύο περιπτώσεις λόγω θορύβου  $E_b/N_0 = 5$  dB και 15 dB η θεωρητική τιμή BER είναι μεγαλύτερη από την τιμή που προέκυψε από την πειραματική προσέγγιση.

- (vii) Αποδιαμορφώνουμε τα σήματα στο υποερώτημα (v) και ανακατασκευάζουμε το αρχείο κειμένου για τις δύο περιπτώσεις  $E_s/N_0$ . Δημιουργούμε δύο αρχεία κειμένου `rice_even_export5dB.txt` και `rice_even_export15dB.txt` τα οποία περιλαμβάνουμε στο φάκελο υποβολής.

Παρατηρούμε ότι το κείμενο που έχει ανακατασκευαστεί από σήμα με θόρυβο  $E_s/N_0 = 5$  dB παρουσιάζει διαφορές σε σχέση με το αρχικά δοσμένο κείμενο.

Συγκεκριμένα, προκύπτει το εξής κείμενο:

When a broad band of random noise is applied to some physical device, such as an electrical network, the statistical properties of the output are often of interest. For example, when the noise is due to shot effect, its mean and standard deviations are given by Campbell's theorem when the physical device is linear. Additional information of this sort is given by the (auto) correlation function which is a rough measure of the dependence of values of the output separated by a fixed time interval.

Αντίθετα, το κείμενο που έχει ανακατασκευαστεί από σήμα με θόρυβο  $E_s/N_0 = 15$  dB δεν παρουσιάζει διαφορές σε σχέση με το αρχικά δοσμένο κείμενο.

Συγκεκριμένα, προκύπτει το εξής κείμενο:

When a broad band of random noise is applied to some physical device, such as an electrical network, the statistical properties of the output are often of interest. For example, when the noise is due to shot effect, its mean and standard deviations are given by Campbell's theorem when the physical device is linear. Additional information of this sort is given by the (auto) correlation function which is a rough measure of the dependence of values of the output separated by a fixed time interval.

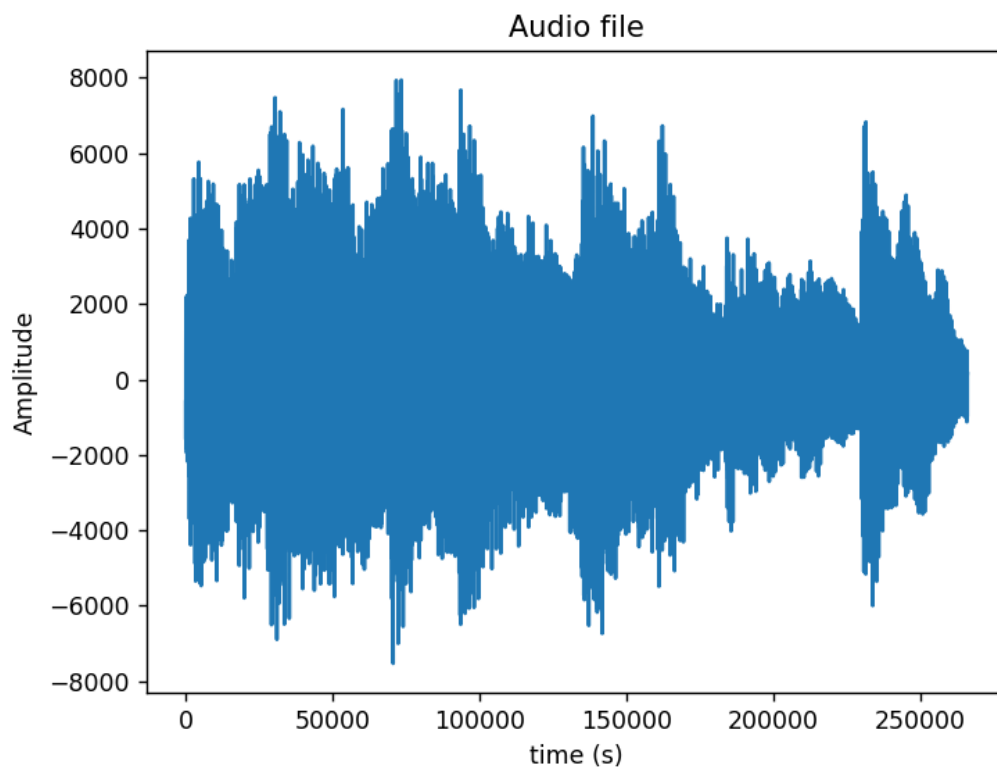


## 5<sup>ο</sup> Ερώτημα

Το άθροισμα των τελευταίων ψηφίων του Αριθμού Μητρώου είναι  $8 + 3 + 9 = 20$  άρτιος, οπότε χρησιμοποιούμε το αρχείο `soundfile2_lab2.wav`.

α’

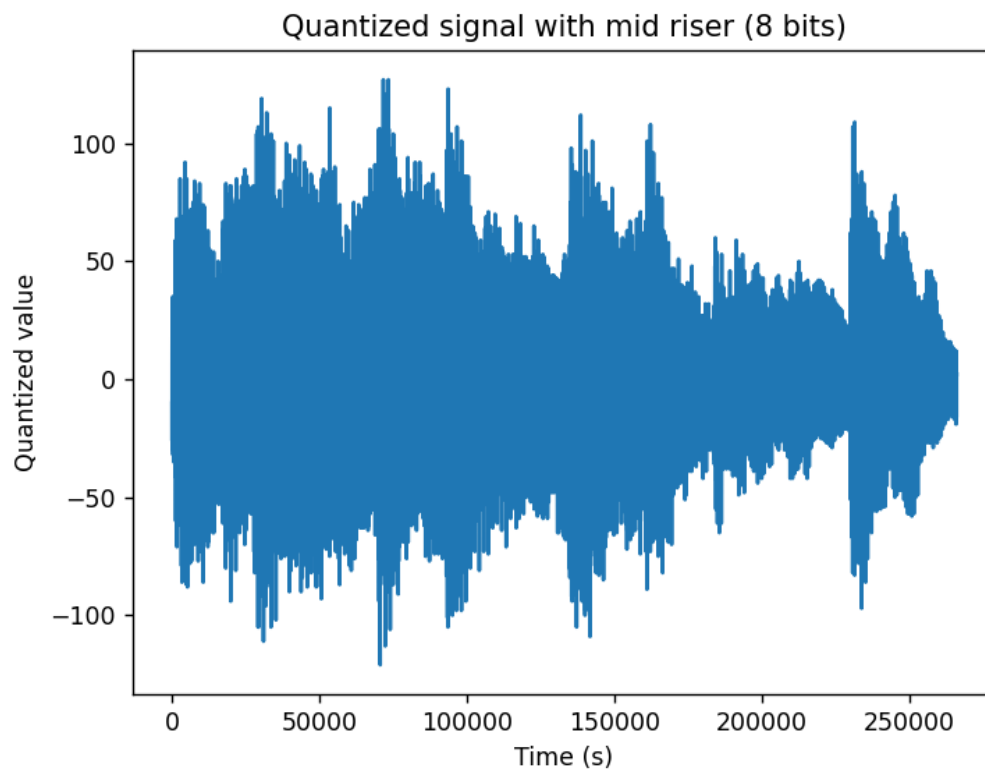
Διαβάζουμε το αρχείο με την εντολή `wavfile.read()` και απεικονίζουμε σε διάγραμμα την κυματομορφή του σήματος που αναπαριστά το αρχείο. Οπότε, το διάγραμμα φαίνεται παρακάτω:



β'

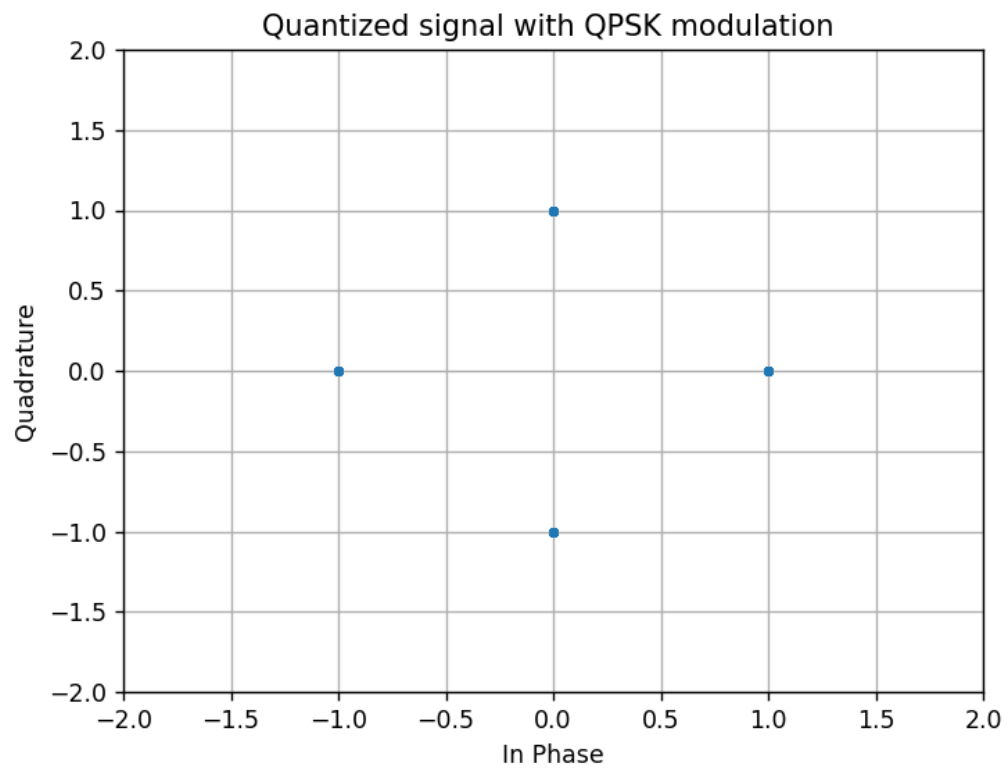
Κβαντίζουμε το σήμα χρησιμοποιώντας ομοιόμορφο κβαντιστή 8 ψηφίων.

Παρακάτω, παρουσιάζεται το προκύπτον σήμα σε διάγραμμα:



$\gamma'$

Διαμορφώνουμε το κβαντισμένο σήμα χρησιμοποιώντας διαμόρφωση QPSK με κωδικοποίηση Gray:



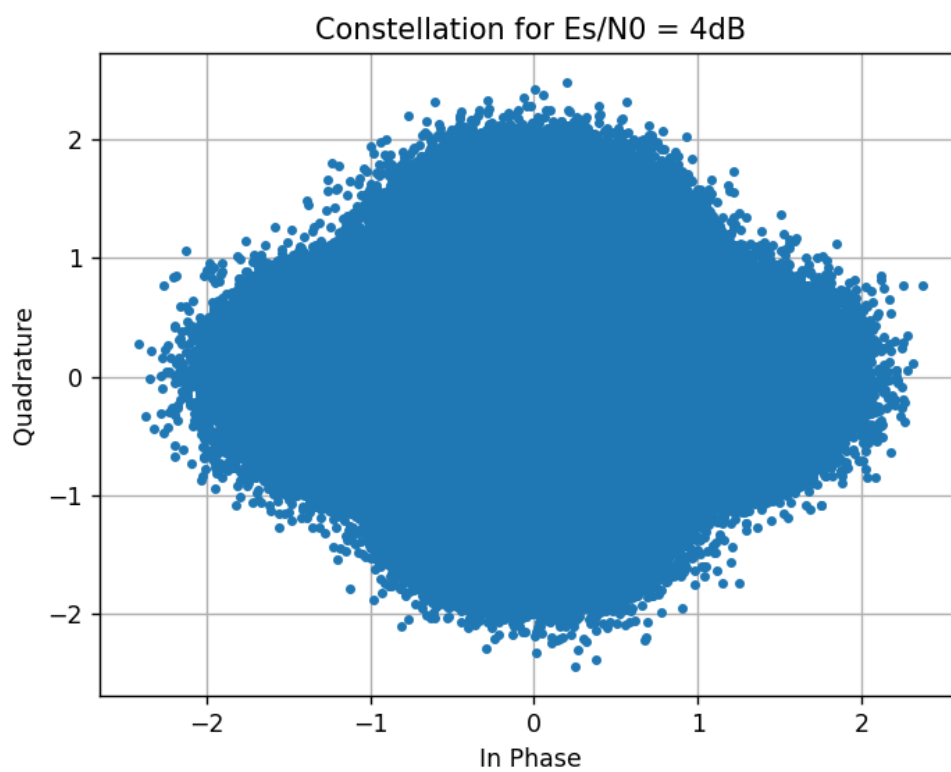
δ'

Παράγουμε θόρυβο AWGN, όπως σε προηγούμενα ερωτήματα, και τον προσθέτουμε στο σήμα QPSK για τιμές:

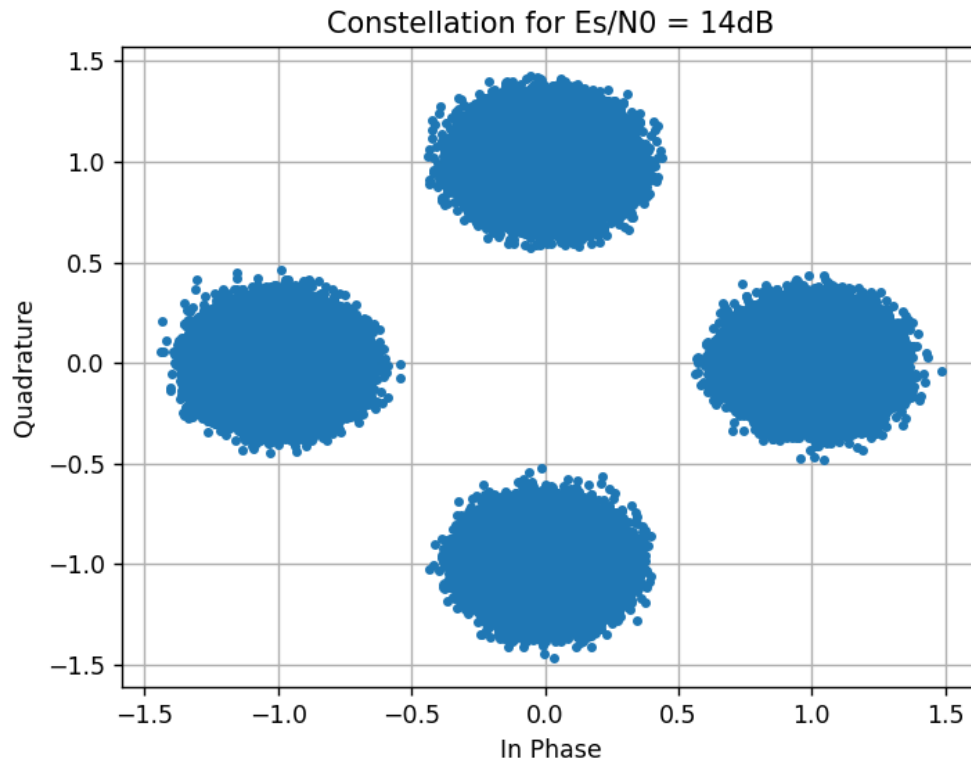
$$\frac{E_s}{N_0} = 4 \text{ dB και } \frac{E_s}{N_0} = 14 \text{ dB}$$

ε'

Αποδιαμορφώνουμε το σήμα του παραπάνω ερωτήματος και παρουσιάζουμε το διάγραμμα των αστερισμών για το σήμα με θόρυβο  $\frac{E_s}{N_0} = 4 \text{ dB}$ .



Αποδιαμορφώνουμε το σήμα του παραπάνω ερωτήματος και παρουσιάζουμε το διάγραμμα των αστερισμών για το σήμα με θόρυβο  $\frac{E_s}{N_0} = 14 \text{ dB}$ .



στ’

Υπολογίζουμε την πιθανότητα εσφαλμένου ψηφίου BER για την πρώτη περίπτωση σήματος με θόρυβο  $\frac{E_s}{N_0} = 4 \text{ dB}$ .

The experimental BER for SNR=4dB is equal to : 0.012516833307001903

Θεωρητικός υπολογισμός της πιθανότητας εσφαλμένου ψηφίου BER για την πρώτη περίπτωση σήματος με θόρυβο  $\frac{E_s}{N_0} = 4 \text{ dB}$ .

The theoretical BER for SNR=4dB is equal to : 0.05649530174936163

Υπολογίζουμε την πιθανότητα εσφαλμένου ψηφίου BER για την δεύτερη περίπτωση σήματος με θόρυβο  $\frac{E_s}{N_0} = 14$  dB.

```
The experimental BER for SNR=14dB is equal to : 0.0012451004732134125
```

Θεωρητικός υπολογισμός της πιθανότητας εσφαλμένου ψηφίου BER για την δεύτερη περίπτωση σήματος με θόρυβο  $\frac{E_s}{N_0} = 14$  dB.

```
The theoretical BER for SNR=14dB is equal to : 2.695148117366714e-07
```

Παρατηρούμε ότι για  $\frac{E_s}{N_0} = 4$  dB η θεωρητική τιμή BER είναι μεγαλύτερη από την πειραματική, ενώ για  $\frac{E_s}{N_0} = 14$  dB ισχύει το αντίθετο.

ζ'

Ανακατασκευάζουμε το σήμα του διαμορφωμένου ήχου για την πρώτη περίπτωση σήματος με θόρυβο  $\frac{E_s}{N_0} = 4$  dB. Ανακατασκευάζουμε το σήμα του διαμορφωμένου ήχου και για τη δεύτερη περίπτωση σήματος με θόρυβο  $\frac{E_s}{N_0} = 14$  dB.

Ακούγοντας τα δύο αρχεία ήχου που προκύπτουν, παρατηρούμε διαφορά στην ποιότητα ήχου. Στην περίπτωση σήματος με θόρυβο  $\frac{E_s}{N_0} = 4$  dB παρατηρούμε ότι υπονομεύεται η ποιότητα του ήχου περισσότερο σε σχέση με το σήμα θορύβου  $\frac{E_s}{N_0} = 14$  dB. Γενικά, και στα δύο αρχεία υπάρχουν παράσιτα τα οποία υπονομεύουν την ποιότητα του παραγόμενου ήχου, εξαιτίας της αποκωδικοποίησης. Επίσης, ένας άλλος λόγος που υπονομεύεται η ποιότητα του ήχου είναι το γεγονός ότι η αποκωδικοποίηση γίνεται σε unsigned 8-bits, η οποία προσθέτει επιπλέον θόρυβο στην έξοδο.