

**Πολυτεχνείο Κρήτης**

**Σχολή ΗΜΜΥ**

**Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα Ι**

Παράδοση 3<sup>ης</sup> εργασίας

Ημερομηνία Παράδοσης: 12 Ιουνίου 2023

Μονάδες 130/1000

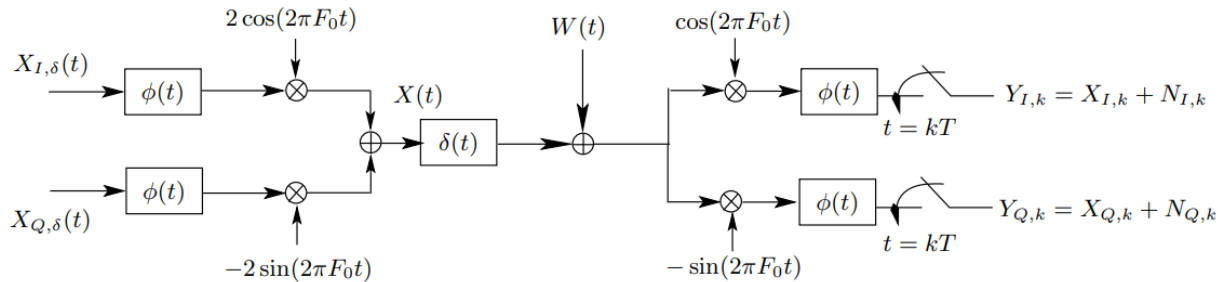
**Ομάδα 121**

|         | Φοιτητής 1   | Φοιτητής 2 |
|---------|--------------|------------|
| Επώνυμο | Αγγελόπουλος | Χούλης     |
| Όνομα   | Δημήτριος    | Χαράλαμπος |
| A.M.    | 2020030038   | 2020030023 |

Ώρες ενασχόλησης :

MATLAB (8-10 ώρες) – Αναφορά (3-4 ώρες)

Σε αυτήν την άσκηση, θα προσομοιώσουμε το ακόλουθο τηλεπικοινωνιακό σύστημα χρησιμοποιώντας διαμόρφωση 16-PSK.



### Μέρος 1°

1.

Αρχικά, δημιουργούμε μια τυχαία ακολουθία 400 bits.

2.

Στην συνέχεια υλοποιήσαμε την συνάρτηση bits\_to\_PSK\_16 η οποία αντιστοιχίζει την ακολουθία των bits σε σύμβολα όπως ορίζονται από την μέθοδο διαμόρφωσης, με βάση την κωδικοποίηση Gray. (Ο κώδικας της συνάρτησης παρατίθεται στο συμπιεσμένο αρχείο)

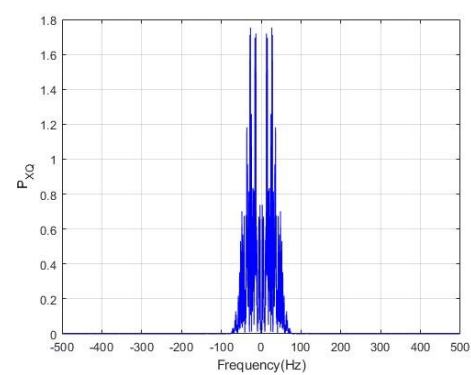
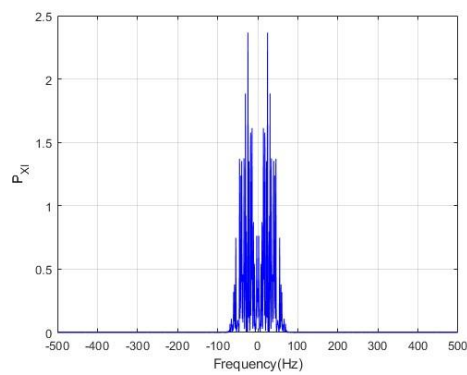
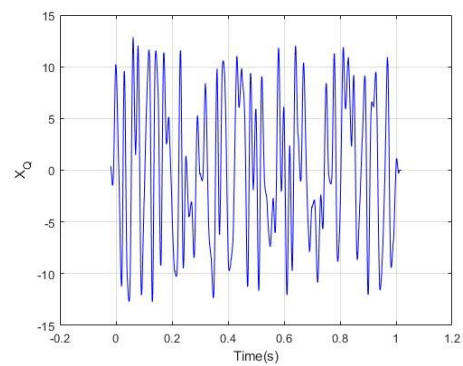
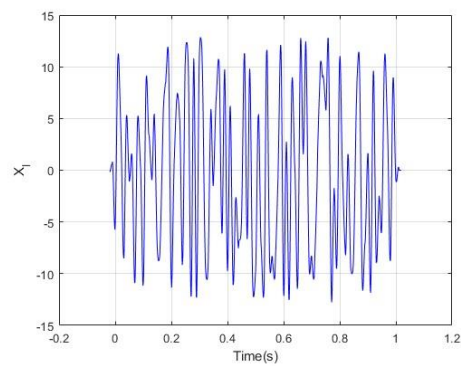
3.

Επιστρέφουμε τα στοιχεία του διανύσματος

$$\underline{X}_n = \begin{bmatrix} X_{I,n} \\ X_{Q,n} \end{bmatrix}$$

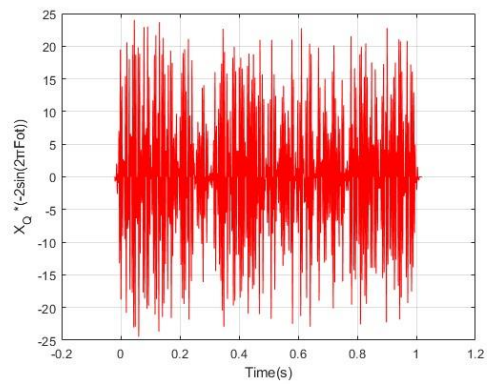
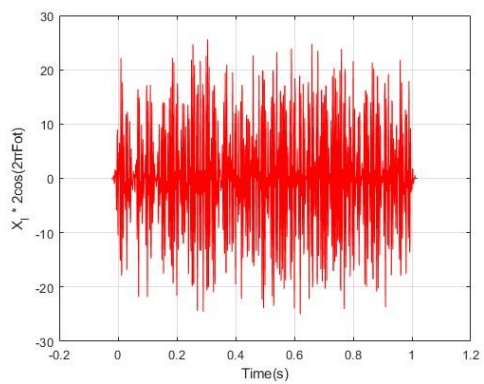
Όπου το πρώτο αντιστοιχεί στο πραγματικό μέρος του συμβόλου, δηλαδή το συνημίτονο ενώ το δεύτερο στο φανταστικό, δηλαδή το ημίτονο.

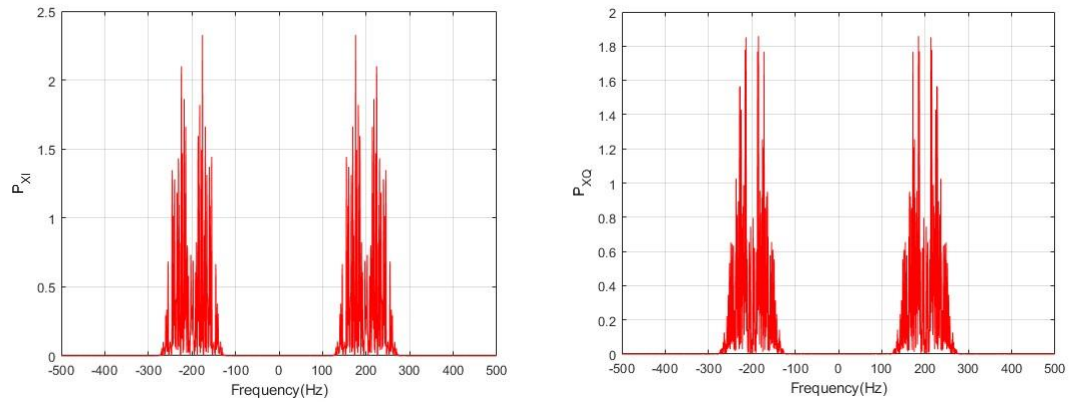
Κάνουμε `upsample` κατά `over` το σήμα μας και στην συνέχεια το περνάμε κατά αντιστοιχία από SRRC φίλτρα μορφοποίησης. Κάνουμε `Plot` τα  $X_{I,n}$ ,  $X_{Q,n}$  και τα περιοδογράμματα τους.



#### 4.

Πολλαπλασιάζουμε τις κυματομορφές εξόδου των φίλτρων με τους φορείς συχνότητας 200 Hz που φαίνονται στο σχήμα της πρώτης σελίδας και προκύπτουν οι παρακάτω κυματομορφές-περιοδογράμματα.

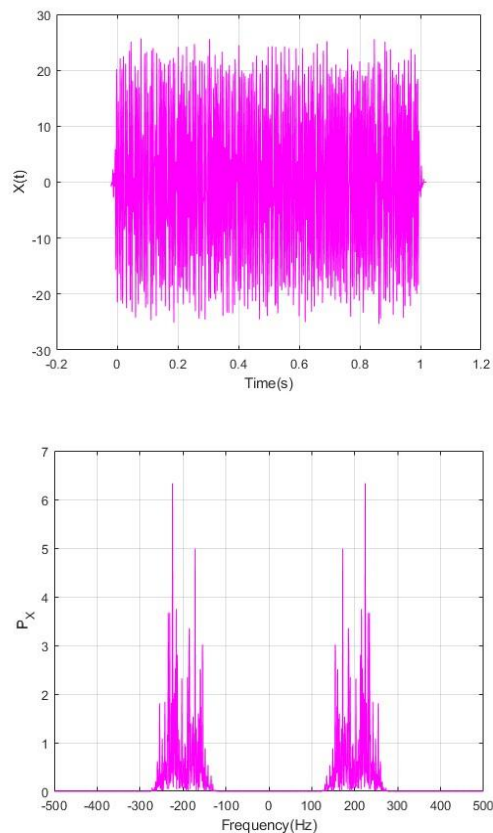




Ο πολλαπλασιασμός στο πεδίο του χρόνου είναι συνέλιξη στο πεδίο των συχνοτήτων. Οι φορείς έχουν μετασχηματισμό Fourier που αποτελείται από δύο Dirac συναρτήσεις η μία στα 200 Hz ενώ η άλλη στα -200 Hz.

## 5.

Σχηματίζουμε την είσοδο του καναλιού αθροίζοντας τα  $X_I, X_Q$  πολλαπλασιασμένα με τους αντίστοιχους φορείς.



6.

Υποθέτουμε ότι το κανάλι είναι ιδανικό.

7.

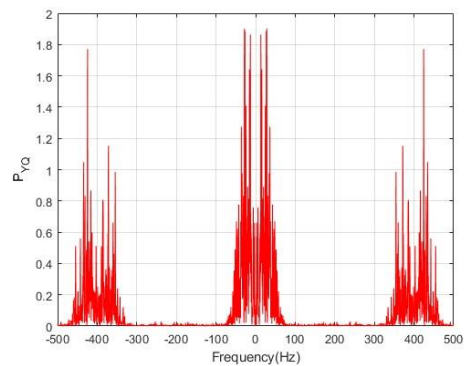
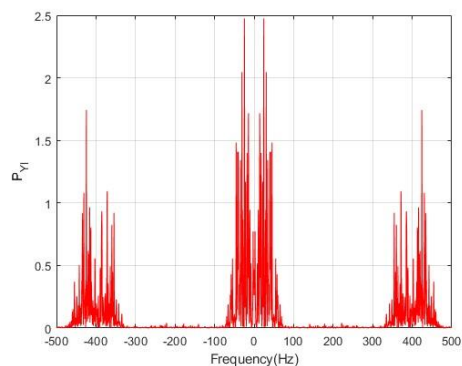
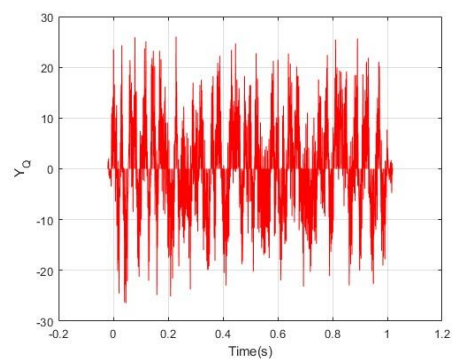
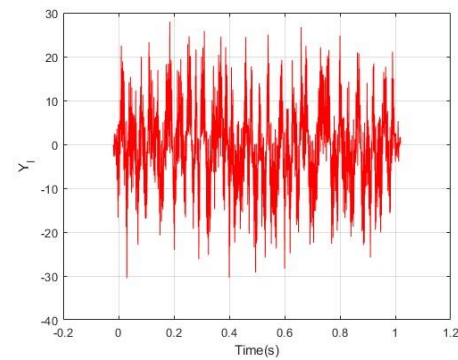
Στην έξοδο του καναλιού προσθέτουμε Gaussian θόρυβο με μέση τιμή 0 και διασπορά

$$\sigma_w^2 = \frac{1}{T_s 10^{\frac{SNR_{dB}}{10}}}$$

Στην συγκεκριμένη περίπτωση διαλέγουμε  $SNR_{dB} = 20$ .

8.

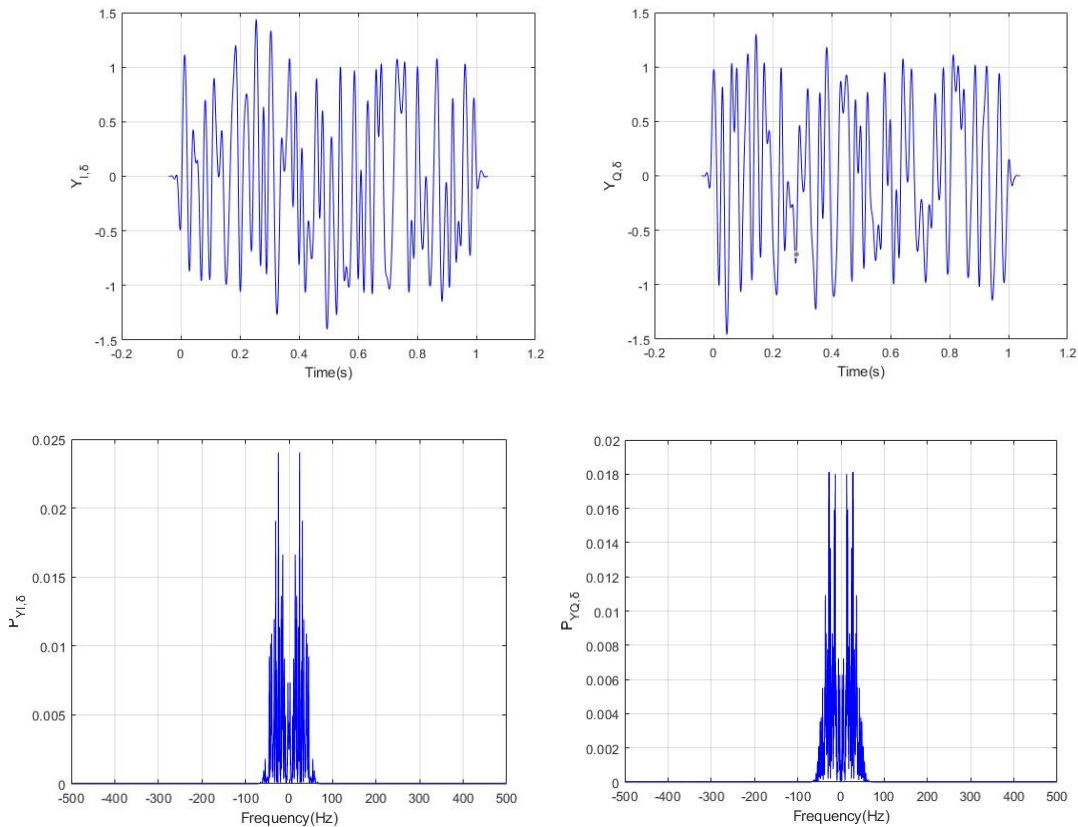
Παίρνουμε την ενθόρυβη κυματομορφή  $Y(t) = X(t) + W(t)$  και την πολλαπλασιάζουμε με τους αντίστοιχους φορείς του σχήματος.



Η πληροφορία που λαμβάνουμε είναι αυτή των κυματομορφών  $X_I$ ,  $X_Q$  πριν από την εφαρμογή των φορέων. Ωστόσο, λόγω της ύπαρξης λευκού θορύβου  $W(t)$  παρατηρούμε ατέλειες τόσο στις κυματομορφές (ασυνέχειες, απότομες αλλαγές),όσο και στα περιοδογράμματα ισχύς σε υψηλές συχνότητες.

## 9.

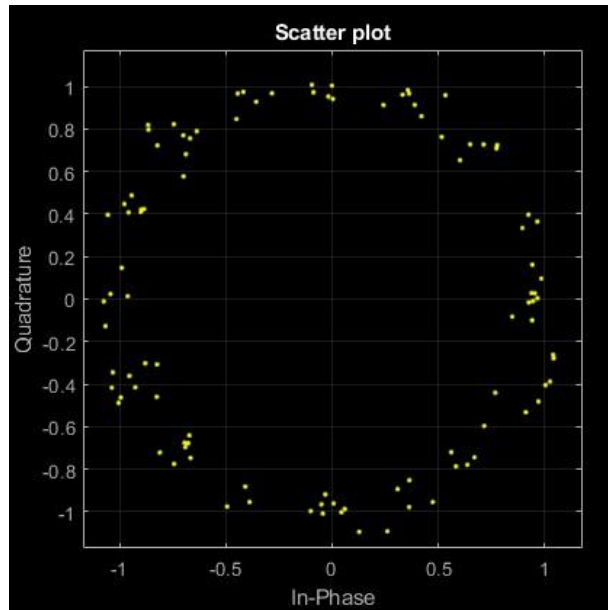
Περνάμε τις κυματομορφές από SRRC φίλτρα και παίρνουμε



Εξαιτίας των εφαρμοσμένων φίλτρων μειώθηκε η επίδραση του θορύβου στην έξοδο.

#### 10.

Δειγματολειπούμε την έξοδο  $Y(t)$  έτσι ώστε να πάρουμε 100 ενθόρυβα δισδιάστατα σύμβολα και στην συνέχεια τα τυπώνουμε στο μιγαδικό επίπεδο χρησιμοποιώντας την συνάρτηση `scatterplot`.



#### 11.

Σε αυτό το ερώτημα θα υλοποιήσουμε την συνάρτηση `detect_PSK_16` χρησιμοποιώντας τον κανόνα `nearest neighbor` για να εκτιμήσουμε την είσοδο συμβόλων αλλά και την ακολουθία από bits χρησιμοποιώντας την αντίστροφη απεικόνιση Gray.

#### 12-13.

Υλοποιούμε τις συναρτήσεις ώστε να υπολογίζουμε το πλήθος των σφαλμάτων για κάθε εκτίμηση.

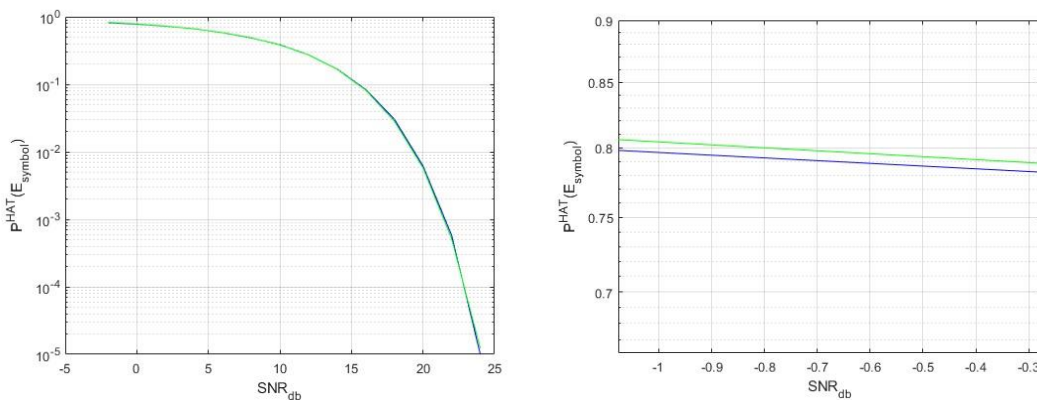
## Μέρος 2°

1.

Για τα διάφορα SNRdb θα εκτιμήσουμε την πιθανότητα σφάλματος των bits και των συμβόλων.  
(Ο κώδικας παρατίθεται στο συμπιεσμένο αρχείο)

2.

Σχεδιάσαμε σε semilogy την πειραματική πιθανότητα σφάλματος (blue) συμβόλου καθώς και το έξυπνο άνω φράγμα του σφάλματος (green).



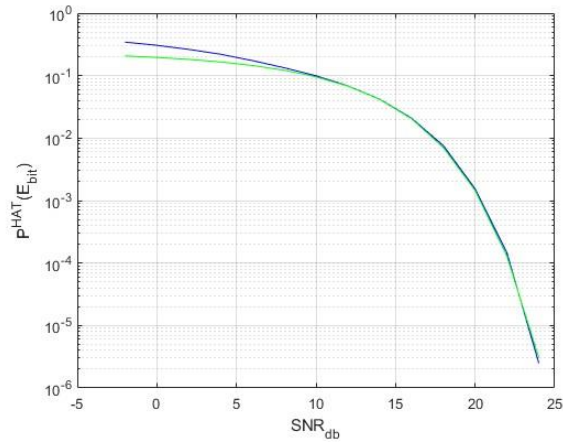
Από τα παραπάνω είναι εμφανές πως σε χαμηλά SNR υπάρχει ορατή, αλλά μικρή, διαφορά ανάμεσα στις δύο καμπύλες εφόσον αυξάνεται η διασπορά, άρα και η πιθανότητα σφάλματος υπόθεσης συμβόλου.

Ωστόσο, για μεγάλο εύρος SNR, το άνω φράγμα αποτελεί μία πολύ καλή προσέγγιση της πιθανότητας σφάλματος. Όσο αυξάνεται το SNR μειώνεται η διασπορά επομένως υπάρχει μικρότερη πιθανότητα σφάλματος υπόθεσης συμβόλου.



3.

Σχεδιάσαμε σε semilogy την πειραματική πιθανότητα σφάλματος bit καθώς και το έξυπνο κάτω φράγμα του σφάλματος.



Αντίστοιχα με το 2. παρατηρούμε ακόμα μεγαλύτερη απόκλιση στα χαμηλά SNR για αντίστοιχους λόγους.