

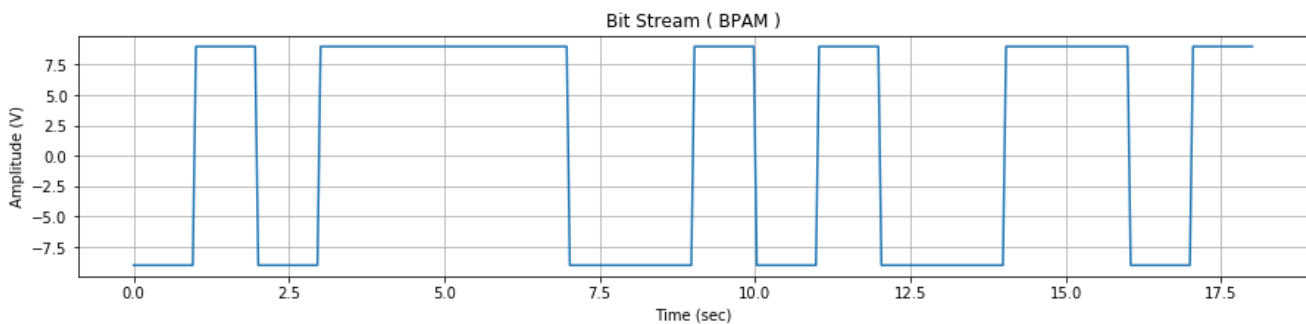
**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο**  
**Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών**  
**Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες – 5<sup>ο</sup> Εξάμηνο 2017-2018**  
**Αναφορά 2<sup>ης</sup> Εργαστηριακής Άσκησης - Τμήμα Γ/Ομάδα 21**  
**Κλεάνθης Αβραμίδης – 03115117**

- Εισαγωγικά:

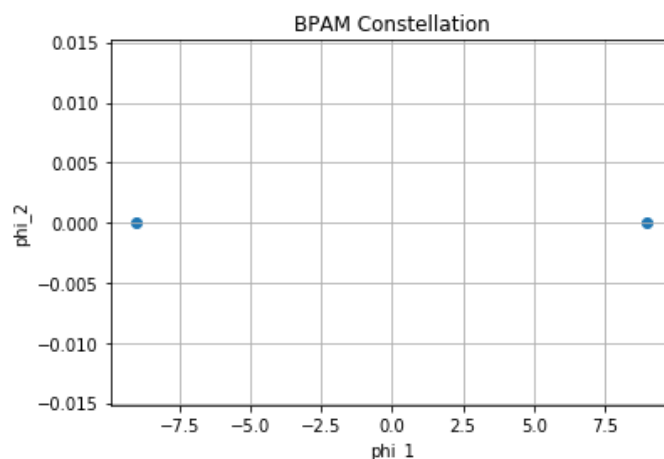
Η υλοποίηση της άσκησης πραγματοποιήθηκε μαζί με τον συνάδελφο Γεώργιο Κανελλόπουλο. Το υποβληθέν zip file περιέχει 2 αρχεία πηγαίου κώδικα Python (ένα για κάθε ID) που δίνουν τα ζητούμενα διαγράμματα χωρίς εξωτερική παρέμβαση. Η εκτέλεση κάθε μέρους της άσκησης γίνεται ξεχωριστά ενώ, για να μην έχουν διαφορές τα διαγράμματά μας αποφασίσαμε να επιλέξουμε μια συγκεκριμένη τυχαία ακολουθία από bits για να δουλέψουμε, παραθέτοντας βέβαια και τον κώδικα παραγωγής τυχαίων bitstreams. Περιλαμβάνονται ακόμη 2 pdf files με τις αναφορές μας.

- 1<sup>ο</sup> Ερώτημα

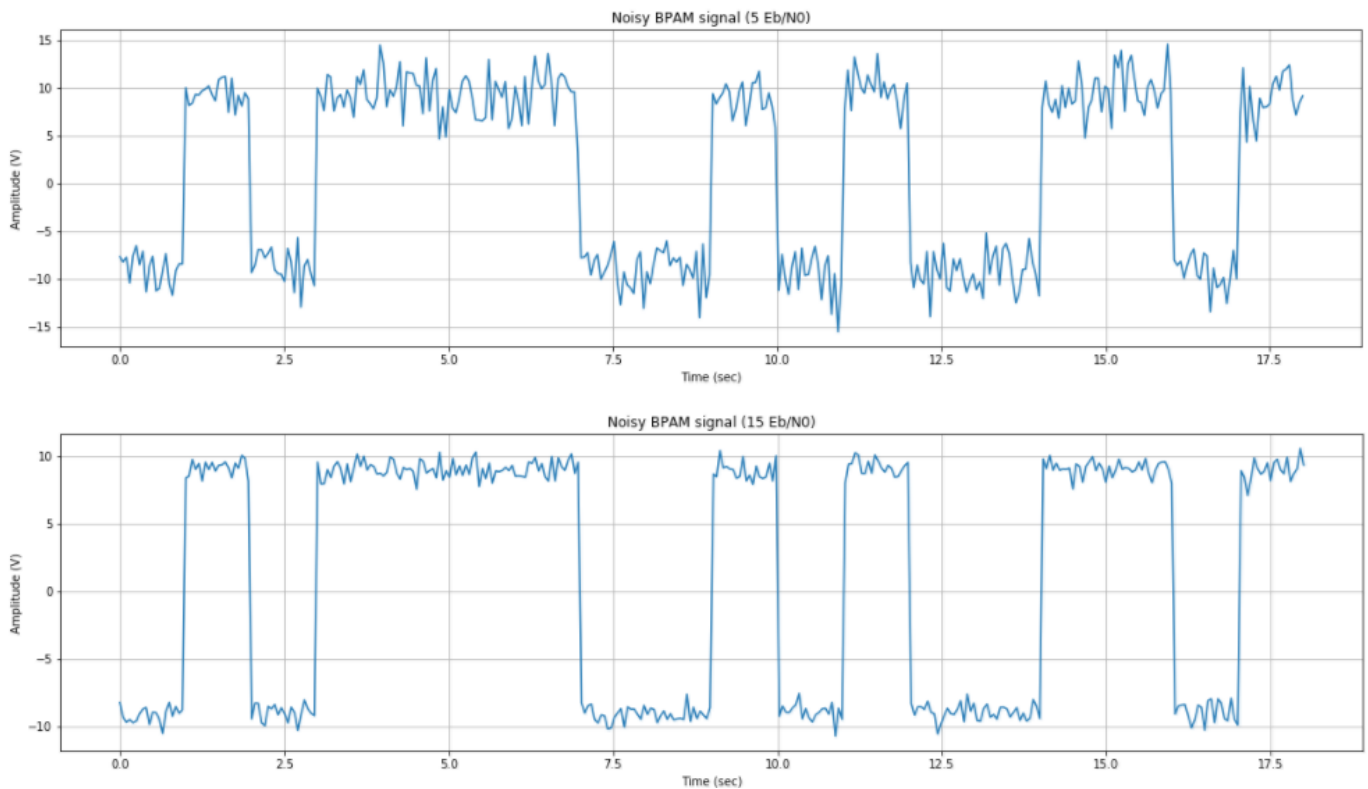
Το τυχαίο bitstream που χρησιμοποιήθηκε είναι το 101111011001000110 και το πλάτος A που προκύπτει από το ID είναι 9 volts. Κάθε bit έχει διάρκεια 1 sec. Η διαμόρφωση κατά BPAM ( $\alpha$ ):



Για τη γεωμετρική αναπαράσταση του σήματος αξιοποιούμε τη μέθοδο Gram-Schmidt. Έτσι είναι δυνατή η αναπαράσταση ενός σήματος ως γραμμικός συνδυασμός 2 ορθοκανονικών βάσεων και ενός διαμορφωμένου συμβόλου ως μιγαδικό σημείο, που απέχει από την αρχή των αξόνων απόσταση ίση με τη ρίζα της ενέργειάς του. Το διάγραμμα αστερισμού του παραπάνω σήματος ( $\beta$ ):

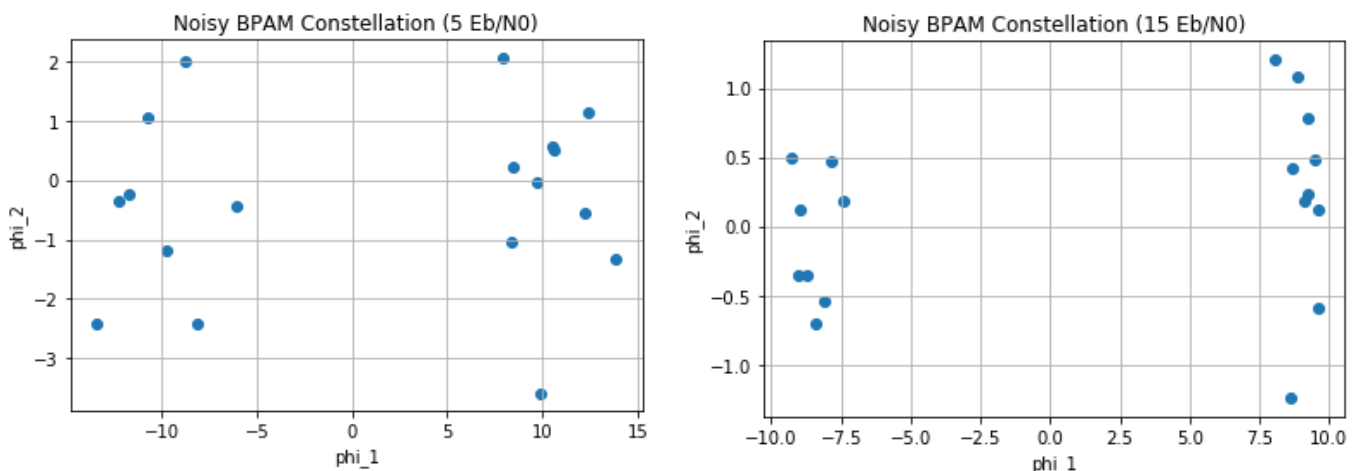


Δειγματοληπτούμε το σήμα με αρκετά δείγματα ανά bit προκειμένου να του προσθέσουμε AWGN θόρυβο με ένα ρεαλιστικότερο τρόπο. Τα 2 «θορυβώδη» σήματα που προκύπτουν από την εφαρμογή AWGN με τις παραμέτρους της εκφώνησης για αντίστοιχες τιμές  $E_b/N_0$  5 και 15 dB ( $\gamma$ ):



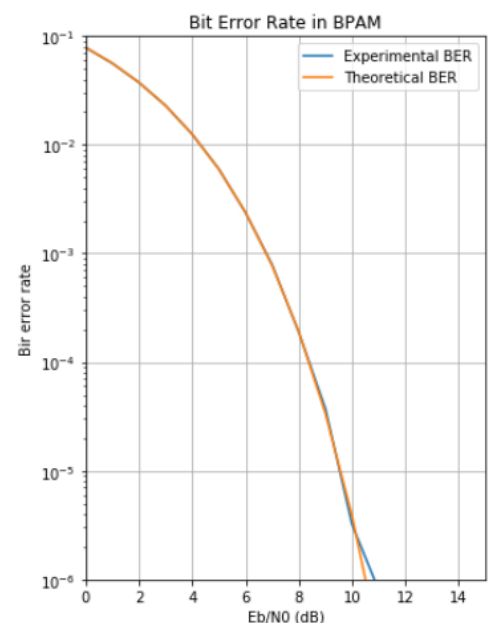
Παρατηρούμε πως για υψηλότερο σηματοθορυβικό λόγο η επίδραση της ισχύος του θορύβου είναι περιορισμένη, γεγονός που επιβεβαιώνεται θεωρητικά.

Τα διαγράμματα αστερισμών των 2 παραπάνω σημάτων με ανάλογο με πριν τρόπο (δ):



Παράγουμε 5.000.000 τυχαία bits, διαμορφωμένα κατά BPAM και προσθέτουμε AWGN όπως και πριν με  $E_b/N_0$  από 0 ως 15 dB. Αναπαράγουμε το αρχικό bitstream εξετάζοντας το πρόσημο κάθε σημείου (1 για θετικό πλάτος, 0 για αρνητικό). Το διάγραμμα πιθανότητας εσφαλμένου ψηφίου που προκύπτει σε κοινή απεικόνιση με τη θεωρητική πρόβλεψη  $Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$  είναι το εξής (ε):

Παρατηρούμε πως το πειραματικό αποτέλεσμα σχεδόν ταυτίζεται με τη θεωρητική πρόβλεψη.

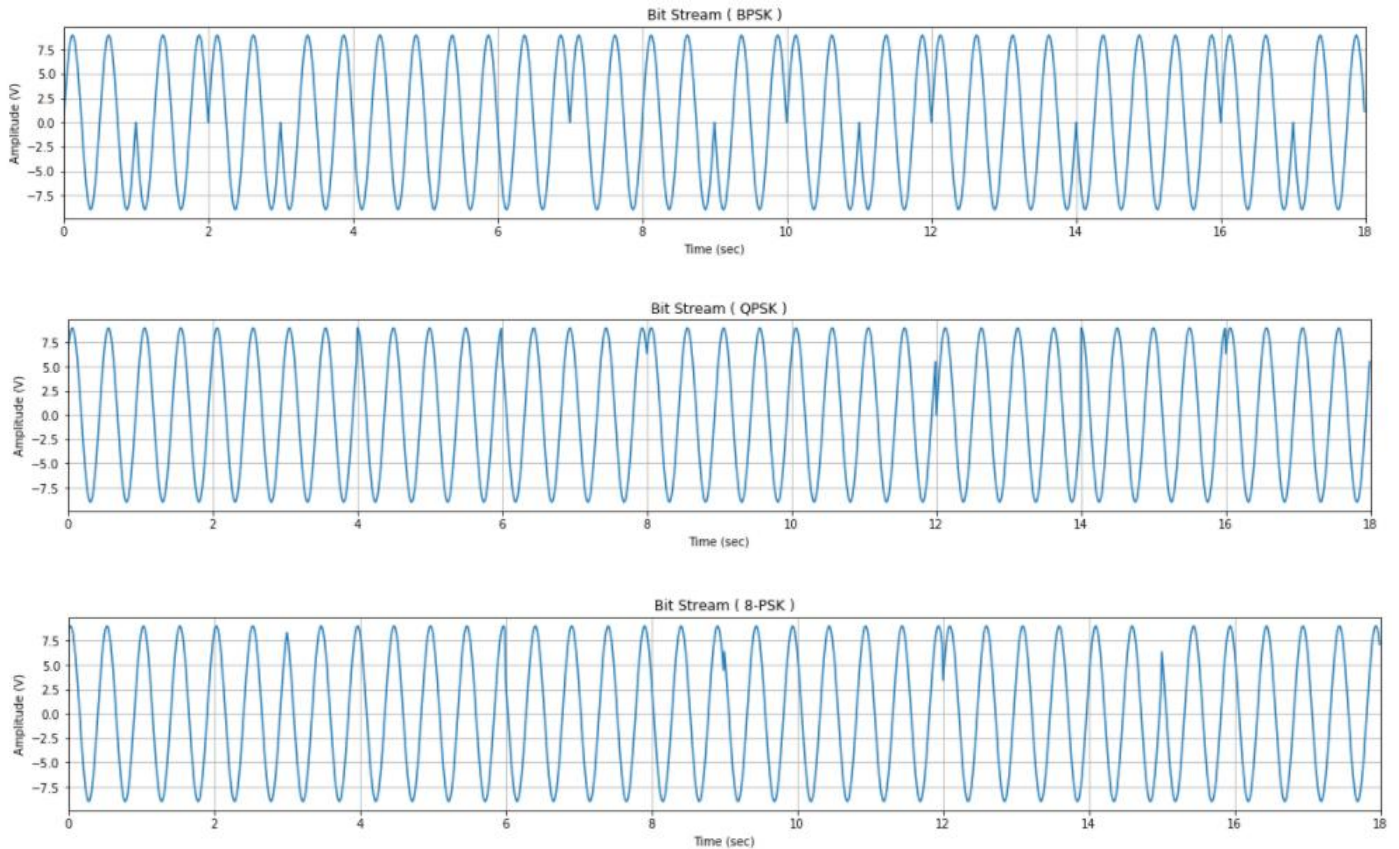


- 2<sup>ο</sup> Ερώτημα

Έχουμε φέρουσα συχνότητα ίση με 2 Hz. Οι ακολουθίες συμβόλων είναι οι εξής (α):

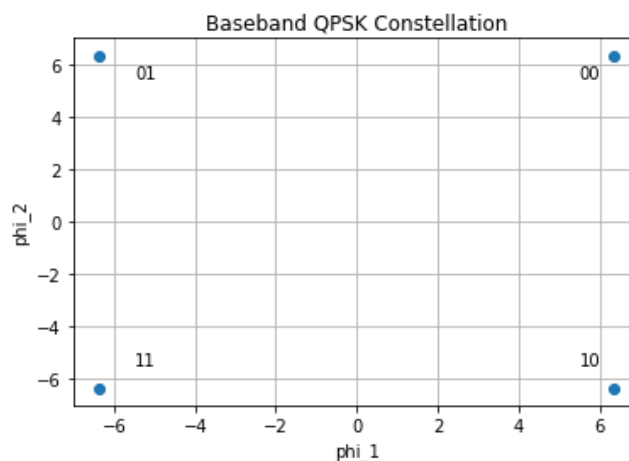
- BPSK: 1 0 1 1 1 1 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 0
- QPSK: 10 11 11 01 10 01 00 01 10
- 8-PSK: 101 111 011 001 000 110

Στο μοντέλο PSK, κάθε σύμβολο αντιστοιχεί σε μια μοναδική μεταβολή φάσης ενός αρμονικού φέροντος [Κωδικοποίηση Grey]. Οι κυματομορφές που προκύπτουν για μεγέθη συμβόλων 2, 4 και 8 είναι οι εξής (β):

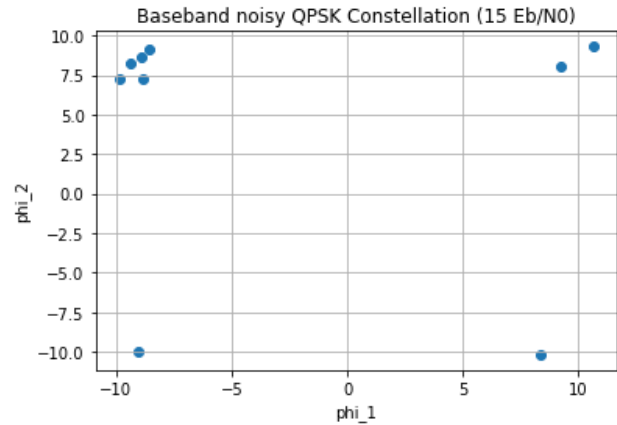
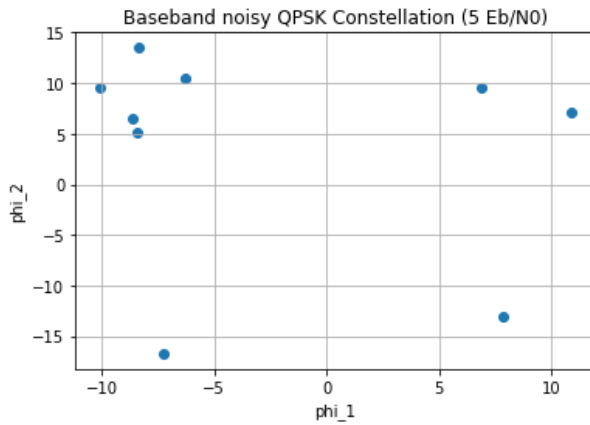


- 3<sup>ο</sup> Ερώτημα

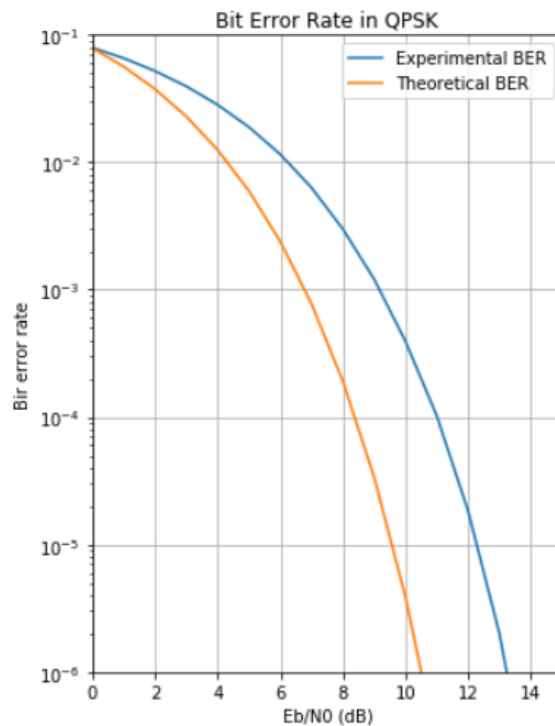
Διαμορφώνουμε την αρχική ακολουθία των 18 bits κατά QPSK στην βασική ζώνη. Η ακολουθία διαμορφώνεται αρχικά κατά BPAM όπως και χωρίζεται σε δύο συνιστώσες: την συμφασική που περιέχει τα πρώτα bits κάθε συμβόλου και την ορθογωνική που περιέχει τα υπόλοιπα. Η συμφασική συνιστώσα διαμορφώνεται από ένα συνημίτονο, ενώ η ορθογωνική από ένα ημίτονο. Εφαρμόζοντας την μέθοδο Gram – Schmidt προκύπτει το διάγραμμα αστερισμού (α):



Προσθέτουμε θόρυβο στο σήμα όπως πριν. Τα διαγράμματα αστερισμών που προκύπτουν για 5 και 15 dB ( $\beta$ ):



Παράγουμε πάλι 5.000.000 τυχαία bits και τα διαμορφώνουμε κατά QPSK όπως περιγράφηκε παραπάνω. Προσθέτουμε θόρυβο και κατόπιν αποφασίζουμε ποιο σύμβολο αναπαριστούν όπως και στο πρώτο ερώτημα, ξεχωριστά για τη συμφασική και την ορθογωνική συνιστώσα. Το διάγραμμα πιθανότητας λάθους για την QPSK σε κοινή απεικόνιση με τη θεωρητική πρόβλεψη  $Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$  για BPSK και QPSK είναι το εξής ( $\gamma$ ):



Παρατηρούμε, όπως είναι φυσικό πως πειραματικά έχουμε κάποια επιπλέον λανθασμένα ψηφία, γεγονός που εξηγεί την «ολίσθηση προς τα πάνω» της πειραματικής καμπύλης BER.