

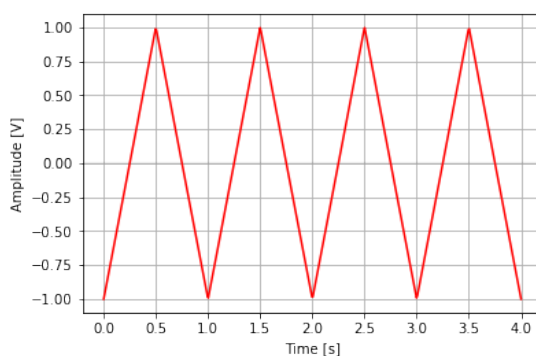


## Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες

Εργαστηριακή Άσκηση, Ακαδ. Έτος 2021-22

### 1<sup>ο</sup> Ερώτημα

Έστω τριγωνική περιοδική παλμοσειρά  $y(t)$  πλάτους  $A = 4$  V και συχνότητας  $f_m$  σε kHz. Η συχνότητα  $f_m$  προκύπτει ως το άθροισμα των τριών τελευταίων ψηφίων του Αριθμού Μητρώου κάθε σπουδαστή. Αν το άθροισμα υπερβαίνει το 9 τότε η άθροιση των ψηφίων συνεχίζεται ωσότου προκύψει μονοψήφιος αριθμός. Στο Σχήμα 1 απεικονίζεται ενδεικτικά ένα παράδειγμα τριγωνικής περιοδικής παλμοσειράς πλάτους  $A = 1$  V και συχνότητας 1 Hz.



Σχήμα 1: Παράδειγμα τριγωνικής περιοδικής παλμοσειράς

α' Το παραπάνω σήμα να δειγματοληπτηθεί με δύο διαφορετικές συχνότητες, αρχικά με  $f_{s1} = 30f_m$  και κατόπιν με  $f_{s2} = 50f_m$ . Να παρουσιαστούν οι τρεις παρακάτω γραφικές παραστάσεις:

- Τα δείγματα μετά τη δειγματοληψία με συχνότητα  $f_{s1}$ .
- Τα δείγματα μετά τη δειγματοληψία με συχνότητα  $f_{s2}$ .
- Τα δείγματα από τα ερωτήματα (i) και (ii) σε κοινό διάγραμμα.

β' Τι παρατηρείτε αν το σήμα δειγματοληπτηθεί με  $f_s = 4f_m$ ; Με ποιον τρόπο θα βρίσκατε την ελάχιστη θεωρητική  $f_s$  ώστε να είναι δυνατή η ακριβής ανακατασκευή του σήματος υπό συζήτηση; Προσεγγίστε το θεωρητικά και αριθμητικά.

γ' Έστω ημίτονο  $z(t) = A\sin(2\pi f_m t)$  πλάτους  $A = 1$  V και συχνότητας  $f_m$  σε kHz. Η συχνότητα  $f_m$  προκύπτει ως το άθροισμα των τριών τελευταίων ψηφίων του Αριθμού Μητρώου κάθε σπουδαστή. Αν το άθροισμα υπερβαίνει το 9 τότε η άθροιση των ψηφίων συνεχίζεται ωσότου προκύψει μονοψήφιος αριθμός.

- Να επαναλάβετε τα υποερωτήματα α' και β' για το σήμα  $z(t)$ .
- Να επαναλάβετε τα υποερωτήματα α' και β' για το σήμα  $q(t) = z(t) + A\sin(2\pi(f_m + \Lambda)t)$ , όπου  $A = 1$  V και  $\Lambda = 1$  kHz. Τι είναι το σήμα που προκύπτει; Εξηγήστε σύντομα.

Σημείωση: Στα διαγράμματα ο οριζόντιος άξονας να εκφράζει χρόνο (sec) και τα δείγματα να μην ενώνονται μεταξύ τους. Στα διαγράμματα των ερωτημάτων α' και γ' (i) να παρουσιάζονται τέσσερις (4) περίοδοι ενώ στο γ' (ii) μία (1) περίοδος.

## 2<sup>ο</sup> Ερώτημα

Θεωρούμε ως είσοδο σε ομοιόμορφο κβαντιστή (mid riser) το σήμα  $y(t)$  του 1<sup>ου</sup> ερωτήματος μετά από δειγματοληψία συχνότητας  $f_{s1} = 30f_m$ . Αν η συχνότητα  $f_m$  είναι άρτια (βάσει του Αριθμού Μητρώου) να γίνει κβάντιση με 4 bits, διαφορετικά (αν είναι περιττή) να γίνει κβάντιση με 5 bits.

α' Να απεικονίσετε σε διάγραμμα την έξοδο του κβαντιστή. Στον κατακόρυφο άξονα θα απεικονίζονται τα επίπεδα κβαντισμού (όχι ως δεκαδικός αριθμός αλλά ως δυαδικός, έχοντας κάνει κωδικοποίηση Gray) και στον οριζόντιο άξονα ο χρόνος (σε sec).

β' Υπολογίστε την τυπική απόκλιση του σφάλματος κβάντισης

(i) για τα 10 πρώτα δείγματα

(ii) για τα 20 πρώτα δείγματα

(iii) Να υπολογίσετε το SNR κβάντισης για τις περιπτώσεις (i) και (ii) καθώς και τη θεωρητική του τιμή και εξηγήστε τυχόν διαφορές στις προκύπτουσες τιμές.

γ' Μετά την κβάντιση παρουσιάστε σε διάγραμμα για μια περίοδο την αντίστοιχη ροή μετάδοσης από bits (bit stream) θεωρώντας κωδικοποίηση γραμμής POLAR RZ με διάρκεια bit 2 msec. Το πλάτος να είναι αριθμητικά ίσο με τη συχνότητα του ημιτόνου σε Volts (π.χ. για συχνότητα 1 kHz, το πλάτος είναι 1 V).

## 3<sup>ο</sup> Ερώτημα

Να παραχθεί τυχαία ακολουθία 36 ψηφίων (bits) με ίση πιθανότητα εμφάνισης τιμών 0 ή 1. Για τα παρακάτω θεωρήστε ότι η διάρκεια ψηφίου είναι  $T_b = 0.25$  sec.

α' Να διαμορφώσετε την ακολουθία ψηφίων κατά BPSK, QPSK και 8-PSK. Θεωρήστε φέρουσα συχνότητα  $f_c$  ίση με 1 Hz αν το άθροισμα των ψηφίων του Αριθμού Μητρώου σας είναι άρτιος αριθμός ή 2 Hz αν είναι περιττός αριθμός, πλάτος  $A$  1 Volt και απεικόνιση (mapping) με κωδικοποίηση Gray.

(i) Να γράψετε την προκύπτουσα ακολουθία συμβόλων για κάθε σχήμα διαμόρφωσης.

(ii) Να παρουσιάσετε την αντίστοιχη κυματομορφή μετάδοσης για κάθε σχήμα διαμόρφωσης (τρία επιμέρους διαγράμματα).

β' Διαμορφώστε την παραχθείσα ακολουθία bits κατά B-PAM πλάτους  $A$  (Volts) και παρουσιάστε το προκύπτον σήμα. Το πλάτος  $A$  προκύπτει ως το άθροισμα των τριών τελευταίων ψηφίων του Αριθμού Μητρώου κάθε σπουδαστή ξεχωριστά. Αν το άθροισμα υπερβαίνει το 9 τότε η άθροιση των ψηφίων συνεχίζεται οσότου προκύψει μονοψήφιος αριθμός.

γ' Παρουσιάστε το διάγραμμα αστερισμού του παραπάνω σήματος B-PAM.

δ' Να παραχθεί θόρυβος AWGN και να προστεθεί στο σήμα B-PAM που έχετε δημιουργήσει στο υποερώτημα β', για δύο τιμές  $E_b/N_0$ , 5 και 15 dB αντίστοιχα. Παρουσιάστε τα σήματα που προκύπτουν σε διαφορετικά διαγράμματα (τρία διαγράμματα μαζί με αυτό του β'). Συγκρίνετέ τα και σχολιάστε τις διαφορές που παρατηρείτε.

ε' Παρουσιάστε τα διαγράμματα αστερισμών για τα σήματα που προέκυψαν στο υποερώτημα δ'.

ς' Παράγοντας ικανοποιητικό αριθμό τυχαίων bits και θόρυβο AWGN κατάλληλης ισχύος να υπολογίσετε και να παρουσιάσετε σε διάγραμμα την πιθανότητα εσφαλμένου ψηφίου (BER) συναρτήσει του  $E_b/N_0$ , για τιμές από 0-15 dB με βήμα 1 dB. Να συγκρίνετε το προκύπτον πειραματικό διάγραμμα με το αντίστοιχο θεωρητικό.

Σημείωση 1: Στα διαγράμματα των υποερωτημάτων α', β' και δ' ο οριζόντιος άξονας να εκφράζει χρόνο (sec).

Σημείωση 2: Ο θόρυβος προσομοιώνεται ως μιγαδική τυχαία μεταβλητή  $Z = X + jY$ , όπου οι πραγματικές τυχαίες μεταβλητές  $X$  και  $Y$  είναι ανεξάρτητες και καθεμία εξ' αυτών ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή 0 και τυπική απόκλιση τέτοια ώστε η μονόπλευρη φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου να είναι  $N_0/2$ .

Σημείωση 3: Στο υποερώτημα δ' χρησιμοποιήστε μόνο το πραγματικό μέρος του θορύβου. Στο υποερώτημα ε' να χρησιμοποιηθεί η μιγαδική τυχαία μεταβλητή του θορύβου.

## 4<sup>ο</sup> Ερώτημα

Να διαμορφώσετε την ακολουθία ψηφίων (36 bits) του 3ου ερωτήματος κατά QPSK με σύμβολα πλάτους A (Volts) (ομοίως με το 3ο ερώτημα). Η QPSK να θεωρηθεί στη βασική ζώνη και όχι πάνω σε φέρον.

- α' Παρουσιάστε το διάγραμμα αστερισμού που προκύπτει θεωρώντας απεικόνιση με κωδικοποίηση  $(\pi/4)$  Gray. Σημειώστε στο διάγραμμα τα αντίστοιχα σύμβολα.
- β' Παράξτε θόρυβο AWGN όπως στο ερώτημα 3γ' (βλ. Σημείωση 2) και παρουσιάστε το διάγραμμα αστερισμού που προκύπτει για δύο τιμές  $E_b/N_0$ , 5 και 15 dB αντίστοιχα.
- γ' Παράγοντας ικανοποιητικό αριθμό τυχαίων bits και θόρυβο AWGN κατάλληλης ισχύος να υπολογίσετε και να παρουσιάσετε σε διάγραμμα την πιθανότητα εσφαλμένου ψηφίου (BER) συναρτήσει του  $E_b/N_0$ , για τιμές από 0-15 dB με βήμα 1 dB. Να συγκρίνετε το προκύπτον πειραματικό διάγραμμα με το αντίστοιχο θεωρητικό. Να συγκρίνετε και να σχολιάσετε την επίδοση της QPSK με ένα αντίστοιχο σύστημα BPSK.
- δ' Στα πλαίσια αυτού του υποερωτήματος θα χρησιμοποιηθεί αρχείο κειμένου (αποσπάσματα από το άρθρο "Mathematical analysis of random noise" του S. O. Rice το οποίο δημοσιεύτηκε στο περιοδικό *The Bell System Technical Journal* τον Ιούλιο του 1944. Αν το άθροισμα των τριών τελευταίων ψηφίων του Αριθμού Μητρώου κάθε σπουδαστή (ξεχωριστά) είναι περιττός αριθμός να χρησιμοποιηθεί το αρχείο `rice_odd.txt`, διαφορετικά (αν είναι άρτιος αριθμός) να χρησιμοποιηθεί το `rice_even.txt`. Τα αρχεία είναι διαθέσιμα στη σελίδα του μαθήματος στο [helios.ntua.gr](http://helios.ntua.gr).
  - (i) Διαβάστε το αρχείο κειμένου μετατρέποντας την κωδικοσειρά ASCII σε binary (bits). Για διευκόλυνσή σας, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε εντολές από τη βιβλιοθήκη `binascii` της Python.
  - (ii) Κβαντίστε το σήμα χρησιμοποιώντας ομοιόμορφο κβαντιστή 8 ψηφίων (bits) και παρουσιάστε σε διάγραμμα το προκύπτον σήμα. Για την κβάντιση μπορείτε να χρησιμοποιήσετε κομμάτια κώδικα και από το 2ο ερώτημα, εφόσον τα τροποποιήσετε κατάλληλα.
  - (iii) Να διαμορφώσετε το κβαντισμένο σήμα χρησιμοποιώντας διαμόρφωση QPSK θεωρώντας απεικόνιση (mapping) με κωδικοποίηση Gray και σύμβολα πλάτους 1 Volt.
  - (iv) Παράξτε θόρυβο AWGN και προσθέστε τον στο σήμα QPSK που έχετε δημιουργήσει για δύο τιμές  $E_s/N_0$ , 5 και 15 dB αντίστοιχα.
  - (v) Να αποδιαμορφώσετε και να παρουσιάσετε τα διαγράμματα αστερισμών για τα σήματα που προέκυψαν στο υποερώτημα (iv).
  - (vi) Να υπολογίσετε την πιθανότητα εσφαλμένου ψηφίου BER για τις δύο περιπτώσεις  $E_s/N_0$  που παράξατε και να τη συγκρίνετε με τη θεωρητική.
  - (vii) Έχοντας αποδιαμορφώσει τα σήματα στο υποερώτημα (v), να ανακατασκευάσετε το αρχείο κειμένου για τις δύο περιπτώσεις  $E_s/N_0$ . Τα ανακατασκευασμένα αρχεία κειμένου θα πρέπει να συμπεριληφθούν στην υποβολή της εργασίας. Παρατηρήστε τυχόν διαφορές (σφάλματα) σε σχέση με το αρχικό κείμενο.

## 5<sup>ο</sup> Ερώτημα

Στα πλαίσια του ερωτήματος θα χρησιμοποιηθεί αρχείο ήχου τύπου .wav signed 16-bit PCM Mono 44100 Hz. Αν το άθροισμα των τριών τελευταίων ψηφίων του Αριθμού Μητρώου κάθε σπουδαστή (ξεχωριστά) είναι περιττός αριθμός να χρησιμοποιηθεί το αρχείο `soundfile1_lab2.wav`, αλλιώς (αν είναι άρτιος αριθμός) να χρησιμοποιηθεί το `soundfile2_lab2.wav`. Τα αρχεία είναι διαθέσιμα στη σελίδα του μαθήματος στο [helios.ntua.gr](http://helios.ntua.gr).

- α' «Διαβάστε» το αρχείο .wav και παρουσιάστε σε διάγραμμα την κυματομορφή του σήματος που αναπαριστά. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε εντολές από τη βιβλιοθήκη `wavfile` του `scipy.io` της Python.
- β' Κβαντίστε το σήμα χρησιμοποιώντας ομοιόμορφο κβαντιστή 8 ψηφίων (bits) και παρουσιάστε σε διάγραμμα το προκύπτον σήμα. Για την κβάντιση μπορείτε να χρησιμοποιήσετε κομμάτια κώδικα και από το 2ο ερώτημα, εφόσον τα τροποποιήσετε κατάλληλα.
- γ' Να διαμορφώσετε το κβαντισμένο σήμα χρησιμοποιώντας διαμόρφωση QPSK θεωρώντας απεικόνιση (mapping) με κωδικοποίηση Gray και σύμβολα πλάτους 1 Volt.

- δ' Παράξτε θόρυβο AWGN και προσθέστε τον στο σήμα QPSK που έχετε δημιουργήσει για δύο τιμές  $E_s/N_0$ , 4 και 14 dB αντίστοιχα.
- ε' Να αποδιαμορφώσετε και να παρουσιάσετε τα διαγράμματα αστερισμών για τα σήματα που προέκυψαν στο υποερώτημα δ'.
- ς' Να υπολογίσετε την πιθανότητα εσφαλμένου ψηφίου BER για τις δύο περιπτώσεις  $E_s/N_0$  που παράξατε και να τη συγκρίνετε με τη θεωρητική.
- ζ' Έχοντας αποδιαμορφώσει τα σήματα στο υποερώτημα ε', να ανακατασκευάσετε το σήμα ήχου για τις δύο περιπτώσεις  $E_s/N_0$  και να το ακούσετε. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε εντολές από τη βιβλιοθήκη `wavfile` του `scipy.io` της Python. Τα ανακατασκευασμένα σήματα ήχου να είναι σε μορφή `.wav unsigned 8-bit PCM Mono 44100 Hz` και να συμπεριληφθούν στην υποβολή της εργασίας. Παρατηρήστε τη διαφορά στην ποιότητα του ήχου. Εκτός από τα σφάλματα κατά την αποδιαμόρφωση, τι άλλο έχει υπονομεύσει την ποιότητα του ήχου στη διαδικασία που ακολουθήσατε·

**Καταληκτική ημερομηνία υποβολής: Παρασκευή 21 Ιανουαρίου 2022 μέσω του [helios.ntua.gr](mailto:helios.ntua.gr). Προσοχή: μετά την υποβολή δεν υπάρχει δυνατότητα αλλαγής ή διαγραφής της εργασίας σας!**

## Γενικές Οδηγίες

- 1 Όλες οι ζητούμενες γραφικές παραστάσεις θα πρέπει να συνοδεύονται από τίτλο, υπόμνημα και αντίστοιχες λεζάντες στους άξονες.
- 2 Η εργασία θα υποβληθεί ανεβάζοντας ένα αρχείο `.zip` ανά ομάδα 2 ατόμων το οποίο θα πρέπει να περιλαμβάνει: α) Τον ενιαίο πηγαίο κώδικα που θα υλοποιεί όλα τα ερωτήματα (πρέπει να είναι ευανάγνωστος και με σχόλια) και θα παράγει τα ζητούμενα διαγράμματα (χωρίς εξωτερική παρέμβαση). Το αρχείο θα είναι είτε σε Python (`.py`) είτε σε MATLAB/Octave (`.m`) β) Δύο `.pdf/.doc` αρχεία κειμένου (ένα για κάθε Αριθμό Μητρώου) που θα απαντούν στα ερωτήματα διεξοδικά και θα περιλαμβάνουν όλα τα διαγράμματα.
- 3 Ο κώδικας θα πρέπει να αναπαράγει ΠΙΣΤΑ τα διαγράμματα που έχουν ενσωματωθεί στα υποβληθέντα `.pdf/.doc` αρχεία, διαφορετικά η εργασία δε θα λαμβάνεται υπόψη.