ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ,
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Διαδραστικές ασκήσεις Ψηφιακών Επικοινωνιών στη γλώσσα Python

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΦΡΑΓΚΟΥΛΟΠΟΥΛΟΥ ΛΑΜΠΡΟΥ

Επιβλέπων

Μήτρου Νικόλαος

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούνιος 2025

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ,
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Διαδραστικές ασκήσεις Ψηφιακών Επικοινωνιών στη γλώσσα Python

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΦΡΑΓΚΟΥΛΟΠΟΥΛΟΥ ΛΑΜΠΡΟΥ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 26 Ιουνίου 2025

.....	.....	.....
Μήτρου Νικόλαος	Σύκας Ευστάθιος	Ρουσσάκη Ιωάννα
Καθηγητής ΕΜΠ	Καθηγητής ΕΜΠ	Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούνιος 2025

.....
Φραγκουλόπουλος Ν. Λάμπρος
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών ΕΜΠ

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως θέμα την ανάπτυξη διαδραστικών ασκήσεων συστημάτων ψηφιακών επικοινωνιών σε γλώσσα Python, αναδεικνύοντας σημαντικές θεωρητικές και πρακτικές πτυχές του αντικειμένου. Για την πληρότητα της παρουσίασης και την κατανόηση των ασκήσεων, περιλαμβάνει σύντομη θεωρία από το τεύχος Σημειώσεων του μαθήματος «Ψηφιακές Επικοινωνίες», ξεκινώντας με μια εισαγωγή στον ρόλο της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος στις τηλεπικοινωνίες, στην εξομοίωση αναλογικών διαμορφώσεων και στις βασικές αρχές της βέλτιστης ψηφιακής αναγνώρισης μέσω προσαρμοσμένων φίλτρων.

Στη συνέχεια, αναλύονται τα φασματικά χαρακτηριστικά των ψηφιακών κυματομορφών και η μορφοποίησή τους με φίλτρα Nyquist, τα οποία διασφαλίζουν την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών μεταξύ συμβόλων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην παρουσίαση των διαμορφώσεων L-ASK, QAM και PSK, οι οποίες είναι ευρέως διαδεδομένες σε σύγχρονα συστήματα επικοινωνιών, όπως και στις διαμορφώσεις FSK και MSK.

Στο πλαίσιο του μαθήματος των «Ψηφιακών Επικοινωνιών Ι», οι εργαστηριακές ασκήσεις που αρχικά είχαν γραφτεί σε MATLAB μετατράπηκαν σε Python, προσφέροντας μεγαλύτερη ευελιξία και διαδραστικότητα. Η χρήση του Jupyter Book για τη δημιουργία μιας διαδραστικής ιστοσελίδας ενισχύει την εμπειρία μάθησης, επιτρέποντας στους φοιτητές να εξερευνήσουν τις έννοιες μέσα από πρακτικές εφαρμογές και διαδραστικά παραδείγματα.

Η εργασία αυτή, από κοινού με την εργασία [1], αποτελούν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στην παρουσίαση συστημάτων ψηφιακών επικοινωνιών, συνδυάζοντας θεωρητική ανάλυση με σύγχρονα εργαλεία προγραμματισμού και εκπαιδευτικές πλατφόρμες.

Λέξεις-Κλειδιά: Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος, Ανάλυση Φάσματος, Τηλεπικοινωνίες, Ψηφιακή Διαμόρφωση, L-ASK, QAM, PSK, FSK, MSK, Προσαρμοσμένα Φίλτρα, Φίλτρα Nyquist, Απόδοση Διαύλου, OFDM, Jupyter Book, Python, διαδραστική εξομοίωση.

Abstract

The present thesis focuses on the development of interactive exercises in digital communication systems using the Python programming language, highlighting key theoretical and practical aspects of the subject. To ensure completeness of the presentation and facilitate understanding of the exercises, a concise theoretical overview is provided based on the lecture notes of the course "Digital Communications". It begins with an introduction to the role of digital signal processing in telecommunications, the simulation of analog modulations, and the fundamental principles of optimal digital detection through matched filters.

Subsequently, the spectral characteristics of digital waveforms and their shaping using Nyquist filters are analyzed, which ensure the minimization of intersymbol interference. Particular emphasis is placed on the presentation of L-ASK, QAM, and PSK modulations, which are widely used in modern communication systems, as well as on FSK and MSK modulations.

As part of the course "Digital Communications I", laboratory exercises that were originally written in MATLAB were converted to Python, offering greater flexibility and interactivity. The use of Jupyter Book to create an interactive web-based platform enhances the learning experience, enabling students to explore concepts through practical applications and interactive examples.

This thesis, together with the work [1], constitutes a comprehensive approach to the presentation of digital communication systems, combining theoretical analysis with modern programming tools and educational platforms.

Keywords: Digital Signal Processing, Spectrum Analysis, Telecommunications, Digital Modulation, L-ASK, QAM, PSK, FSK, MSK, Matched Filters, Nyquist Filters, Channel Performance, OFDM, Jupyter Book, Python, interactive simulations.

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες προς τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Νικόλαο Μήτρου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου τη διπλωματική αυτή εργασία. Μέσω αυτής, μου δόθηκε η ευκαιρία να εμβαθύνω σε ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον και χρήσιμο αντικείμενο, όπως είναι η διαδραστική ανάπτυξη των ασκήσεων της Ψηφιακής Επικοινωνίας σε γλώσσα Python. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον ίδιο αλλά και την κ. Κωνσταντία Σακκά για τη συνεχή υποστήριξη και καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Η διπλωματική αυτή εργασία αποτελεί το επιστέγασμα των προπτυχιακών μου σπουδών στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Στο τέλος αυτής της πορείας, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά τη μητέρα μου, Δήμητρα, η οποία απεβίωσε κατά το πρώτο έτος των σπουδών μου, καθώς και τον πατέρα μου, Νικόλαο, και τον αδελφό μου, Ιωάννη, για την αδιάκοπη στήριξή τους σε όλα τα χρόνια της ακαδημαϊκής μου πορείας.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς όλους τους φίλους που γνώρισα κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων. Μαζί τους μοιραστήκαμε δύσκολες στιγμές, απαιτητικές εργασίες και εξεταστικές περιόδους, και δημιουργήσαμε αξέχαστες αναμνήσεις που θα με συνοδεύουν σε όλη μου τη ζωή. Σας ευχαριστώ όλους από καρδιάς.

Οργάνωση του τόμου

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι οργανωμένη σε έξι κύρια κεφάλαια, τα οποία καλύπτουν θεωρητικές και πρακτικές πτυχές της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος και των εφαρμογών της στις τηλεπικοινωνίες.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εισαγωγή της εργασίας, όπου καθορίζονται ο σκοπός και η συνολική της δομή. Παράλληλα, αναλύονται η σημασία της διαδραστικής εκπαίδευσης και η χρήση της γλώσσας Python για την υλοποίηση προσομοιώσεων. Το δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει την επισκόπηση της βιβλιογραφίας, με έμφαση στις βασικές αρχές της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος, όπως είναι η δειγματοληψία, οι τεχνικές διαμόρφωσης σημάτων (QAM, PSK, FSK, MSK), και η χρήση προσαρμοσμένων φίλτρων και φίλτρων Nyquist για τη βελτιστοποίηση των συστημάτων επικοινωνίας. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την ανάπτυξη των διαδραστικών ασκήσεων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη μετάβαση από το MATLAB στην Python και στη χρήση του Jupyter Book για τη δημιουργία μιας διαδραστικής εκπαιδευτικής πλατφόρμας. Το τέταρτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην ανάλυση των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών ασκήσεων, παρουσιάζοντας τις επιδόσεις των συστημάτων ψηφιακής επικοινωνίας που προσομοιώθηκαν με βάση διαφορετικές παραμέτρους, όπως ο σηματοθορυβικός λόγος (SNR) και η πιθανότητα λάθους (BER). Στο πέμπτο κεφάλαιο συνοψίζονται τα κύρια αποτελέσματα της εργασίας, επισημαίνοντας τις καινοτομίες που προκύπτουν από τη χρήση της Python και του Jupyter Book για την εκπαίδευση στις ψηφιακές επικοινωνίες, και εξετάζονται πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις της εργασίας, όπως η βελτιστοποίηση των αλγορίθμων που χρησιμοποιήθηκαν και η επέκταση της πλατφόρμας με επιπλέον διαδραστικές δυνατότητες. Το έκτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τη βιβλιογραφία και τις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της εργασίας.

Στο Παράρτημα της διπλωματικής εργασίας παρατίθενται αναλυτικές πληροφορίες και τεχνικές λεπτομέρειες για την υλοποίηση των διαδραστικών ασκήσεων και των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν. Περιλαμβάνεται ένας πλήρης οδηγός εγκατάστασης του λογισμικού Python και των απαραίτητων βιβλιοθηκών, όπως οι NumPy, SciPy, και Matplotlib, καθώς και οδηγίες για τη χρήση του Jupyter Book. Επίσης, παρέχονται αναλυτικές τεκμηριώσεις των κωδίκων που αναπτύχθηκαν στις εργαστηριακές ασκήσεις, μαζί με οδηγίες για την εκτέλεσή τους, προκειμένου οι φοιτητές να μπορούν να επαναλάβουν τα πειράματα και να αξιοποιήσουν την πλατφόρμα για περαιτέρω μελέτη και πειραματισμό.

Πίνακας Περιεχομένων

Κατάλογος Σχημάτων

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Σκοπός της Εργασίας

Η ψηφιακή μάθηση και η διαδραστική εκπαίδευση έχουν αναδειχθεί ως εξαιρετικά αποτελεσματικές μέθοδοι στην κατανόηση σύνθετων επιστημονικών αντικειμένων, όπως είναι οι ψηφιακές επικοινωνίες. Η παρούσα διπλωματική εργασία αξιοποιεί αυτές τις καινοτόμες μεθόδους για να διευκολύνει τη διδασκαλία και την κατανόηση των βασικών αρχών των ψηφιακών επικοινωνιών, προσφέροντας μια διαδραστική πλατφόρμα προσομοίωσης συστημάτων μετάδοσης. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στη χρήση ανοικτού λογισμικού, που παρέχει στους φοιτητές τη δυνατότητα πειραματισμού και ανάλυσης της απόδοσης των συστημάτων σε πραγματικό χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο, η θεωρητική γνώση ενισχύεται από την πρακτική εφαρμογή και τις παρατηρήσεις, προσφέροντας ένα ολοκληρωμένο μαθησιακό περιβάλλον που αναπαράγει τις συνθήκες ενός πραγματικού εργαστηρίου ψηφιακών επικοινωνιών.

Η γλώσσα προγραμματισμού Python, που χρησιμοποιείται για την υλοποίηση της διαδραστικής πλατφόρμας αυτής της εργασίας, αποτελεί έναν σημαντικό πυλώνα στην προσπάθεια διευκόλυνσης της διαδικασίας μάθησης. Η Python έχει καθιερωθεί ως μία από τις πιο δημοφιλείς και ευέλικτες γλώσσες προγραμματισμού, λόγω της απλότητας, της εκτεταμένης βιβλιοθήκης εργαλείων και της ικανότητάς της να υποστηρίζει πολυδιάστατες εφαρμογές, όπως είναι η επεξεργασία δεδομένων, οι μαθηματικοί υπολογισμοί και η ανάπτυξη διαδραστικών γραφικών περιβαλλόντων.

Η Python, με τη διευρυμένη χρήση βιβλιοθηκών όπως των NumPy, SciPy, Matplotlib και άλλων, επιτρέπει την εύκολη και αποτελεσματική υλοποίηση προσομοιώσεων συστημάτων ψηφιακής επικοινωνίας, ενισχύοντας τη διαδραστικότητα και τη δυνατότητα πειραματισμού. Αυτές οι βιβλιοθήκες καθιστούν δυνατή την εκτέλεση σύνθετων μαθηματικών πράξεων και αναλύσεων, όπως της διαμόρφωσης και αποκωδικοποίησης σημάτων, της δημιουργίας και απεικόνισης διαγραμμάτων και της ανάλυσης της απόδοσης των συστημάτων, μέσα από ένα περιβάλλον απλό στη χρήση, αλλά ταυτόχρονα εξαιρετικά ισχυρό σε δυνατότητες.

1.2 Δομή της Εργασίας

Η δομή της εργασίας βασίζεται σε μια συντονισμένη χρήση θεωρητικών αναλύσεων και πρακτικών εφαρμογών που επιλέχθηκαν για να παρέχουν μια πλήρη εικόνα του θέματος, συγκεκριμένα της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος και των εφαρμογών της στις τηλεπικοινωνίες. Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν, όπως οι γλώσσες προγραμματισμού Python και MATLAB, συνδέονται άμεσα με τους στόχους της εργασίας, οι οποίοι περιλαμβάνουν τη θεωρητική κατανόηση και την πρακτική υλοποίηση διαδραστικών ασκήσεων.

Η επιλογή της Python, συγκεκριμένα με βιβλιοθήκες όπως τις NumPy, SciPy και Matplotlib, ενισχύει την πρακτική πτυχή της εργασίας, διευκολύνοντας την προσομοίωση των συστημάτων ψηφιακής επικοινωνίας. Οι ασκήσεις προσαρμόστηκαν από το αρχικό περιβάλλον MATLAB στην Python για μεγαλύτερη ευελιξία και αλληλεπίδραση, δημιουργώντας ένα περιβάλλον πιο προσβάσιμο για τους φοιτητές και ενισχύοντας τη μάθηση μέσω πρακτικών παραδειγμάτων και πραγματικών εφαρμογών.

Η δομή της εργασίας αντανακλά αυτή τη σύνδεση θεωρίας και πράξης. Τα αρχικά κεφάλαια εστιάζονται στη θεωρητική ανάλυση των βασικών αρχών της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος και των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, ενώ τα μεσαία κεφάλαια επικεντρώνονται στην παρουσίαση και στην ανάλυση των εργαστηριακών ασκήσεων. Κάθε κεφάλαιο ακολουθεί μια συγκεκριμένη δομή, η οποία ξεκινά με θεωρητικά πλαίσια και συνεχίζει με την εφαρμογή αυτών των θεωριών στην πράξη μέσω της υλοποίησης προσομοιώσεων και πειραματικών δεδομένων.

Συνεπώς, η τελική δομή της εργασίας αποτελεί μια συνεκτική σύνδεση μεταξύ θεωρητικών εννοιών και πρακτικών εργαλείων, ενσωματώνοντας τις καλύτερες πρακτικές από τα δύο πεδία για να παραχθεί ένα εκπαιδευτικό και επιστημονικά τεκμηριωμένο αποτέλεσμα.

Κεφάλαιο 2

Σύνοψη του εργαστηριακού μέρους του μαθήματος ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

2.1 Περιγραφή του μαθήματος [2]

- Εισαγωγή - Η ψηφιακή επεξεργασία σήματος στις τηλεπικοινωνίες – εξομοίωση αναλογικών διαμορφώσεων
- Βέλτιστη ψηφιακή αναγνώριση - Προσαρμοσμένα φίλτρα
- Φασματικά χαρακτηριστικά ψηφιακών κυματομορφών - Μορφοποίηση με φίλτρα Nyquist
- Ψηφιακή Διαμόρφωση QAM και PSK
- Ψηφιακή διαμόρφωση FSK και MSK
- Απόδοση διαύλου – θεωρητικά όρια και πρακτικές προσεγγίσεις
- Ειδικά θέματα και παραδείγματα σύγχρονων συστημάτων ψηφιακής επικοινωνίας [Διαμορφώσεις DMT και OFDM. Συστήματα μετάδοσης DSL και Ψηφιακής Τηλεόρασης DVB-T]

2.1.1 Lab Exercise 1: Εισαγωγή στα Συστήματα Ψηφιακής Μετάδοσης

2.1.1.1 Σκοπός της πειραματικής άσκησης

Ο σκοπός του πρώτου συνόλου ασκήσεων είναι η εξοικείωση με το προγραμματιστικό περιβάλλον της Python και της Matlab, καθώς και η εισαγωγή στις μεθόδους αναπαράστασης και επεξεργασίας τηλεπικοινωνιακών σημάτων σε αυτές τις συγκεκριμένες γλώσσες προγραμματισμού.

2.1.1.2 Επισκόπηση Θεωρίας [3]

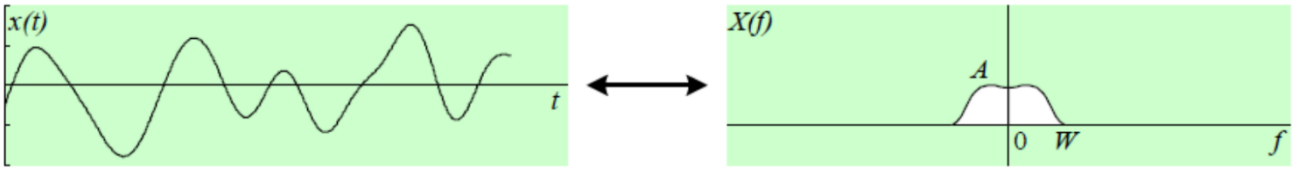
Δειγματοληψία και Ψηφιοποίηση

Η δειγματοληψία είναι η διαδικασία με την οποία λαμβάνονται διακριτές τιμές από ένα σήμα συνεχούς χρόνου σε τακτά χρονικά διαστήματα. Σύμφωνα με το θεώρημα της δειγματοληψίας του Nyquist-Shannon, η συχνότητα δειγματοληψίας πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια από την ανώτερη συχνότητα του σήματος ($f_s \geq 2W$) για να αποφευχθεί το φαινόμενο της αναδίπλωσης του φάσματος (aliasing). Αν η συχνότητα δειγματοληψίας είναι χαμηλότερη από αυτό το όριο, τότε εμφανίζονται φασματικά είδωλα που καθιστούν αδύνατη την πλήρη αποκατάσταση του αρχικού σήματος από τα δειγματοληπτημένα δεδομένα.

Μετασχηματισμός Fourier

Ο μετασχηματισμός Fourier είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την ανάλυση των σημάτων στο πεδίο της συχνότητας. Ο μετασχηματισμός Fourier συνεχούς χρόνου (CTFT) αναλύει ένα σήμα συνεχούς χρόνου σε συχνότητες, επιτρέποντας την εξαγωγή πληροφοριών για το φάσμα του σήματος (βλ. Σχήμα 1). Στην περίπτωση διακριτών σημάτων που προκύπτουν από τη δειγματοληψία, χρησιμοποιείται ο μετασχηματισμός Fourier διακριτού χρόνου (DTFT), ο οποίος προσδιορίζει το φάσμα των δειγμάτων στο πεδίο της συχνότητας (βλ. Σχήμα 2).

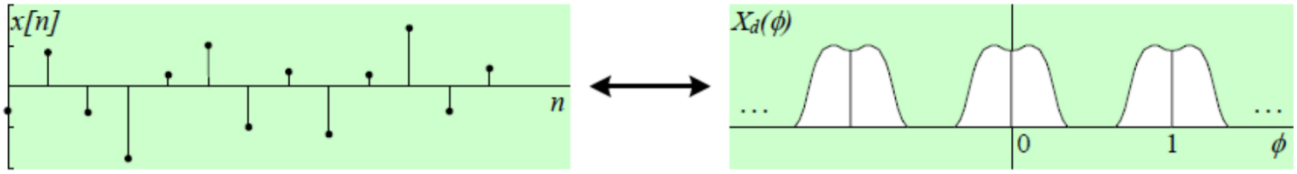
$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi f t} dt$$



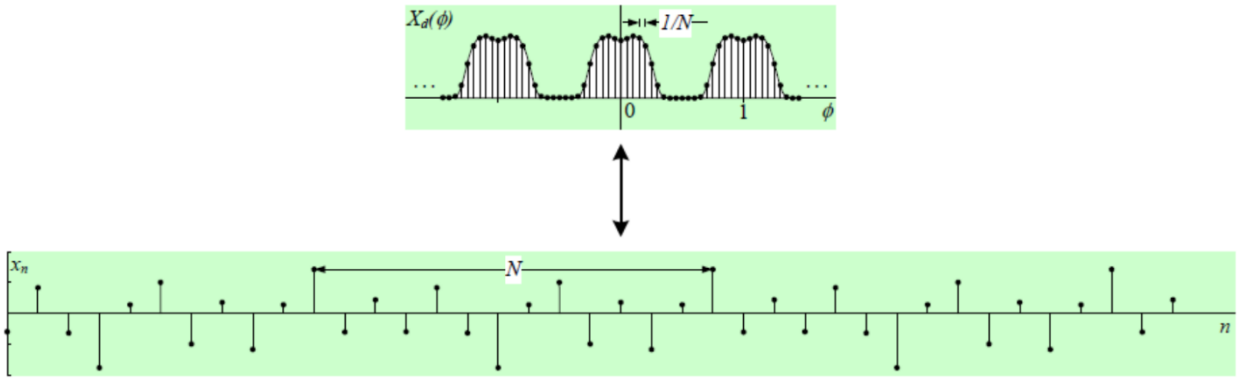
Σχήμα 1: Δειγματοληψία - Ψηφιοποίηση (Μετασχηματισμός Fourier)

Για πρακτικούς λόγους, ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier (DFT) είναι αυτός που εφαρμόζεται για την ανάλυση σημάτων πεπερασμένου μήκους. Ο DFT εκτελεί τον ίδιο υπολογισμό όπως ο DTFT, αλλά σε ένα περιορισμένο σύνολο δειγμάτων, παρέχοντας την ανάλυση συχνοτήτων σε έναν πεπερασμένο και συγκεκριμένο αριθμό σημείων.

$$X_d(\phi) \triangleq \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \exp(-j2\pi n\phi)$$



Σχήμα 2: Δειγματοληψία - Ψηφιοποίηση (Κρουστικές)



Σχήμα 3: Δειγματοληψία - Ψηφιοποίηση (Πεπερασμένη σειρά xn)

Ενέργεια και Ισχύς Σήματος

Η ενέργεια και η ισχύς ενός σήματος μπορούν να προσδιοριστούν μέσω της φασματικής ανάλυσης. Η ενέργεια του σήματος είναι το ολοκλήρωμα του τετραγώνου του σήματος στο πεδίο του χρόνου, ενώ η ισχύς ενός περιοδικού σήματος είναι η μέση ενέργεια ανά περίοδο. Στην περίπτωση σημάτων διακριτού χρόνου, η ενέργεια υπολογίζεται ως το άθροισμα των τετραγώνων των δειγμάτων του σήματος.

$$E_X = \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) d\,t = \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2 d\,f$$

$$P_X = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x^2(t) d\,t = \int_{-\infty}^{\infty} S_X(f) d\,f$$

Μια σημαντική μέθοδος εκτίμησης της ισχύος ενός σήματος είναι η χρήση του περιοδογράμματος, το οποίο βασίζεται στον μετασχηματισμό Fourier του σήματος και παρέχει μια εκτίμηση της πυκνότητας φάσματος ισχύος (PSD). Το περιοδόγραμμα επιτρέπει την ανάλυση της κατανομής της ισχύος του σήματος στις διάφορες συχνότητες και αποτελεί βασικό εργαλείο για τη φασματική ανάλυση σημάτων.

$$P_{xx}(f) \triangleq \frac{|X_d(f/f_s)|^2}{f_s L}$$

Σφάλματα και Αναδίπλωση (Aliasing)

Όπως προαναφέρθηκε, εάν η δειγματοληψία ενός σήματος πραγματοποιηθεί με συχνότητα μικρότερη από τη συχνότητα Nyquist, το αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση φασματικών ειδώλων και η απώλεια της ακρίβειας στην ανακατασκευή του σήματος. Το

φαινόμενο αυτό ονομάζεται αναδίπλωση (aliasing) και αποτελεί μια από τις κύριες προκλήσεις στη δειγματοληψία αναλογικών σημάτων. Το σφάλμα αναδίπλωσης προκαλεί παραμορφώσεις που δεν μπορούν να διορθωθούν, καθιστώντας αναγκαία τη χρήση φίλτρων για την αποφυγή του.

Εφαρμογή στην Πράξη

Στο πλαίσιο της εργαστηριακής άσκησης, οι παραπάνω θεωρητικές έννοιες εφαρμόζονται για την ανάλυση ενός ημιτονοειδούς σήματος, τη δειγματοληψία του, την εκτέλεση του διακριτού μετασχηματισμού Fourier και την εξαγωγή του περιοδογράμματος του σήματος. Ο υπολογισμός της ισχύος και η φασματική ανάλυση παρέχουν μια ολοκληρωμένη κατανόηση της συμπεριφοράς του σήματος και των χαρακτηριστικών του στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας.

2.1.2 Lab Exercise 2: Ψηφιακά Φίλτρα

2.1.2.1 Σκοπός της πειραματικής άσκησης

Σκοπός της δεύτερης σειράς ασκήσεων είναι η εξοικείωση με τις συναρτήσεις σχεδιασμού φίλτρων πεπερασμένης κρουστικής απόκρισης (FIR) και την υλοποίησή τους σε Python. Προτού ξεκινήσετε την άσκηση θα πρέπει να μελετήσετε με προσοχή το Κεφάλαιο 1 και, ειδικότερα, την παράγραφο 1.3 του τεύχους του μαθήματος.

2.1.2.2 Επισκόπηση Θεωρίας [4]

Ψηφιακά Φίλτρα

Τα ψηφιακά φίλτρα FIR είναι ένας τύπος φίλτρων που χρησιμοποιούνται ευρέως στην επεξεργασία ψηφιακών σημάτων λόγω της διασφαλισμένης ευστάθειάς τους και της αποφυγής της παραμόρφωσης φάσης [σε αντίθεση με τα φίλτρα άπειρης κρουστικής απόκρισης (IIR), τα FIR φίλτρα δεν περιέχουν αναδράσεις, κάτι που εξασφαλίζει ότι η έξοδος ενός FIR φίλτρου εξαρτάται μόνο από έναν πεπερασμένο αριθμό δειγμάτων του εισερχόμενου σήματος].

Το FIR φίλτρο ορίζεται από μια ακολουθία συντελεστών, η οποία αντιστοιχεί στην κρουστική απόκριση του φίλτρου. Η κρουστική απόκριση υπολογίζεται ως ο αντίστροφος μετασχηματισμός Fourier της ιδανικής απόκρισης συχνότητας. Στην πράξη, η ακριβής εφαρμογή της κρουστικής απόκρισης περιορίζεται σε έναν πεπερασμένο αριθμό δειγμάτων, οδηγώντας σε σφάλματα στις άκρες του φάσματος, τα οποία όμως μπορούν να μειωθούν με τη χρήση κατάλληλων παραθύρων.

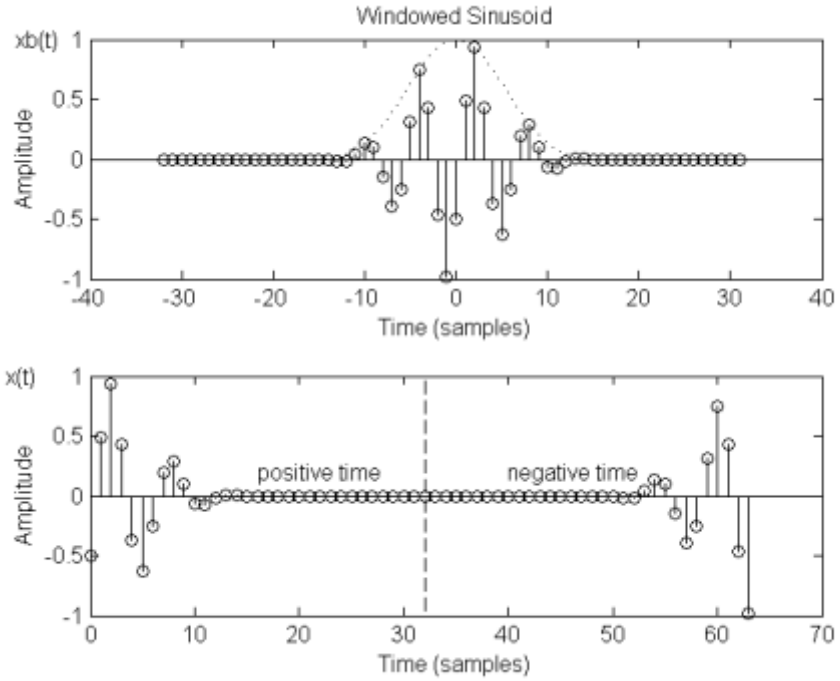
Σχεδιασμός Φίλτρων

Στην άσκηση, εξετάζονται δύο βασικές μέθοδοι σχεδιασμού FIR φίλτρων:

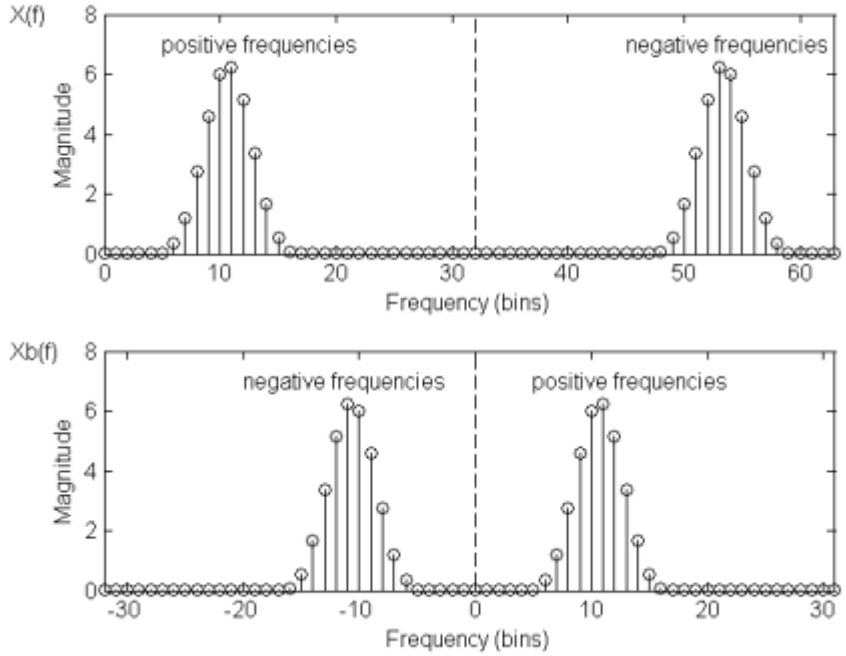
1. Μέθοδος των Παραθύρων: Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί διαφορετικά παράθυρα (π.χ. παράθυρο Hamming ή Kaiser) για τον περιορισμό της κρουστικής απόκρισης. Το αποτέλεσμα αυτής της μεθόδου είναι η μείωση των πλευρικών λοβών, οι οποίοι προκύπτουν από την περικοπή της κρουστικής απόκρισης.
2. Μέθοδος Parks-McClellan: Πρόκειται για μια πιο εξειδικευμένη μέθοδο σχεδιασμού, η οποία χρησιμοποιεί την τεχνική των ισοϋψών κυματώσεων. Με την τεχνική αυτή επιτυγχάνεται ένας βέλτιστος σχεδιασμός του φίλτρου, με έμφαση στη βελτιστοποίηση της απόκρισης συχνότητας στις ζώνες διέλευσης και αποκοπής.

Μετασχηματισμοί Fourier και Ανάλυση Συχνότητας

Η κατανόηση των μετασχηματισμών Fourier είναι κρίσιμη για την ανάλυση σημάτων. Ο μετασχηματισμός Fourier ενός σήματος επιτρέπει την ανάλυσή του στο πεδίο της συχνότητας, αποκαλύπτοντας τις συχνότητες που συνθέτουν το σήμα. Στην άσκηση, χρησιμοποιούνται οι συναρτήσεις fft και ifft για τον υπολογισμό του μετασχηματισμού Fourier και του αντίστροφου μετασχηματισμού αντίστοιχα. Η αναπαράσταση ενός σήματος στο πεδίο της συχνότητας είναι κρίσιμη για την ανάλυση της απόκρισης των φίλτρων και για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο το φίλτρο επηρεάζει τα συχνιακά χαρακτηριστικά του σήματος.



Σχήμα 4: Αμφίπλευρη και μονόπλευρη αναπαράσταση ενός ημιτονοειδούς σήματος που έχει πολλαπλασιαστεί με παράθυρο Blackman



Σχήμα 5: Αμφίπλευρη και μονόπλευρη αναπαράσταση του μετασχηματισμού Fourier του ημιτονοειδούς σήματος

Σφάλματα και Ιδιομορφίες στις Αναπαραστάσεις Συχνοτήτων

Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής των μετασχηματισμών Fourier, προκύπτουν ιδιομορφίες όπως η αμφίπλευρη και η μονόπλευρη αναπαράσταση των συχνοτήτων, όπου οι αρνητικές συχνότητες αναπαρίστανται στο άνω μισό του φάσματος. Η χρήση συναρτήσεων όπως των fftshift και ifftshift επιτρέπει την κυκλική μετατόπιση των συχνοτήτων ώστε να κεντραριστούν στο μηδέν, κάτι που διευκολύνει την ερμηνεία της φασματικής ανάλυσης.

Εφαρμογές Φίλτρων και Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Η άσκηση ολοκληρώνεται με την εφαρμογή των σχεδιασμένων φίλτρων σε πραγματικά σήματα, όπως στο σήμα sonar, το οποίο χρησιμοποιείται για να επιδειχθούν οι διαφορές μεταξύ των φίλτρων. Η σύγκριση των διαφορετικών παραθύρων και μεθόδων σχεδιασμού γίνεται με βάση την απόκριση συχνότητας του φίλτρου και την επίδρασή τους στο φάσμα ισχύος του φιλτραρισμένου σήματος. Ο φασματικός αναλυτής Welch χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της πυκνότητας φάσματος ισχύος, προσφέροντας μια συνολική εικόνα της φασματικής κατανομής της ισχύος του σήματος μετά την εφαρμογή των φίλτρων.

2.1.3 Lab Exercise 3: Προσαρμοσμένα Φίλτρα και Διαμόρφωση L-ASK

2.1.3.1 Σκοπός της πειραματικής άσκησης

Ο σκοπός της τρίτης εργαστηριακής άσκησης είναι η μελέτη των προσαρμοσμένων φίλτρων και της πολυεπίπεδης διαμόρφωσης L-ASK (Amplitude Shift Keying), μέσω της υλοποίησης και εξομοίωσης της διαδικασίας μετάδοσης και ανίχνευσης σημάτων στον δέκτη. Ειδικότερα, εστιάζεται στην ανάλυση της επίδοσης των φίλτρων προσαρμογής σε θορυβώδη περιβάλλοντα, καθώς και στη διερεύνηση της πιθανότητας λάθους κατά τη μετάδοση συμβόλων, συνεισφέροντας στην κατανόηση βασικών αρχών των ψηφιακών επικοινωνιών και της αξιολόγησης των επικοινωνιακών συστημάτων με όρους σηματοθορυβικού λόγου (SNR) και Bit Error Rate (BER).

2.1.3.2 Επισκόπηση Θεωρίας [5]

Προσαρμοσμένα Φίλτρα

Τα προσαρμοσμένα φίλτρα (matched filters) είναι ειδικοί τύποι ψηφιακών φίλτρων που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση γνωστών σημάτων τα οποία μεταδίδονται σε θορυβώδες περιβάλλον. Το προσαρμοσμένο φίλτρο είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιεί τον λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR) στη στιγμή δειγματοληψίας του σήματος, επιτρέποντας την καλύτερη ανίχνευση των συμβόλων που μεταδίδονται μέσω του θορυβώδους καναλιού.

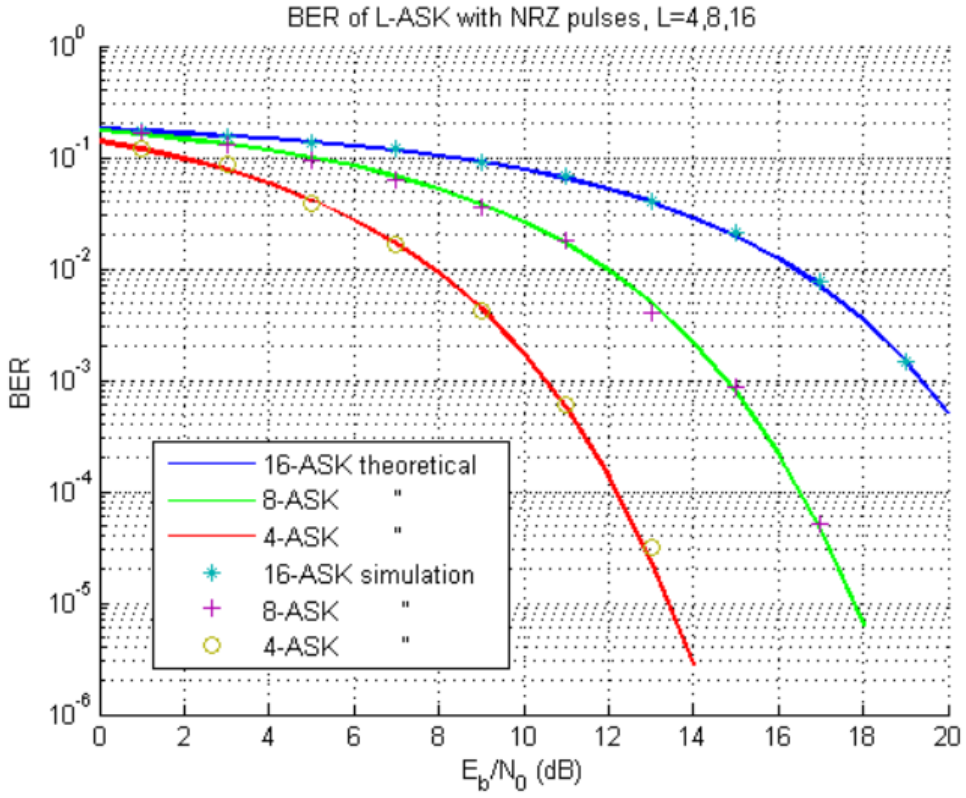
Στη συγκεκριμένη άσκηση, το προσαρμοσμένο φίλτρο εφαρμόζεται σε μια ακολουθία υπερδειγματοληπτημένων σημάτων, όπου μετά την επεξεργασία, η έξοδος του φίλτρου χρησιμοποιείται για τη λήψη των συμβόλων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της συνέλιξης του σήματος με το προσαρμοσμένο φίλτρο, το οποίο ουσιαστικά αντιστρέφει τη χρονική σειρά του αρχικού παλμού του σήματος.

Διαμόρφωση L-ASK

Η πολυεπίπεδη ψηφιακή διαμόρφωση πλάτους, L-ASK (Amplitude Shift Keying), είναι μια τεχνική διαμόρφωσης όπου τα δεδομένα κωδικοποιούνται σε διαφορετικά επίπεδα πλάτους του φέροντος σήματος. Κάθε επίπεδο πλάτους αντιστοιχεί σε ένα σύμβολο δεδομένων, και επομένως η διαμόρφωση ASK επιτρέπει την κωδικοποίηση πολλαπλών bits σε κάθε σύμβολο. Στην άσκηση, η L-ASK εφαρμόζεται για την ανάλυση της επίδοσης του συστήματος σε διαφορετικές τιμές του σηματοθορυβικού λόγου (SNR), και η πιθανότητα λάθους (BER) υπολογίζεται για διαφορετικά επίπεδα ισχύος θορύβου.

Η άσκηση περιλαμβάνει την εξομοίωση της μετάδοσης και ανίχνευσης σημάτων σε διάφορα επίπεδα ισχύος θορύβου. Ο ρόλος του προσαρμοσμένου φίλτρου είναι να

φιλτράρει το θορυβώδες σήμα, διευκολύνοντας τη σωστή λήψη των συμβόλων. Στη συνέχεια, η διαδικασία ανίχνευσης ελαχιστοποιεί τη διαφορά μεταξύ του λαμβανόμενου σήματος και των προεπιλεγμένων επιπέδων πλάτους, λαμβάνοντας απόφαση για το πιο κοντινό επίπεδο και καταμετρώντας τα σφάλματα στη λήψη.



Σχήμα 6: BER συναρτήσει του σηματοθορυβικού λόγου

Σηματοθορυβικός Λόγος (SNR) και Bit Error Rate (BER)

Η επίδοση των ψηφιακών επικοινωνιακών συστημάτων αξιολογείται συχνά με βάση την πιθανότητα λάθους ή τον ρυθμό λαθών (Bit Error Rate - BER) κατά τη μετάδοση, ως συνάρτηση του σηματοθορυβικού λόγου (SNR). Η εξομοίωση σε αυτή την άσκηση περιλαμβάνει τον υπολογισμό της BER για διαφορετικές τιμές του SNR και την οπτική απεικόνιση της σχέσης μεταξύ τους μέσω καμπυλών απόδοσης (βλ. Σχήμα 7).

Συγκεκριμένα, η πιθανότητα λάθους σε συστήματα διαμόρφωσης ASK εξαρτάται από τον αριθμό των επιπέδων (L) και τον σηματοθορυβικό λόγο. Καθώς αυξάνεται το L, αυξάνεται και η πολυπλοκότητα της ανίχνευσης, κάτι που οδηγεί σε αύξηση της πιθανότητας λάθους σε θορυβώδη περιβάλλοντα, εκτός εάν ο SNR είναι επαρκώς υψηλός.

2.1.4 Lab Exercise 4: Σηματοδότηση Nyquist και Διαμόρφωση L-ASK

2.1.4.1 Σκοπός της πειραματικής άσκησης

Ο σκοπός της τέταρτης εργαστηριακής άσκησης είναι η διερεύνηση της απόδοσης και της εφαρμογής των φίλτρων Nyquist σε συστήματα ψηφιακής επικοινωνίας. Μέσα από την προσομοίωση και ανάλυση διαμορφώσεων, όπως η 8-ASK, οι φοιτητές καλούνται να κατανοήσουν τις βασικές αρχές της σηματοδοσίας Nyquist, την επίδραση του roll-off στα φίλτρα, και την επίδοση του συστήματος σε όρους Bit Error Rate (BER) συναρτήσει του λόγου Eb/No. Η άσκηση περιλαμβάνει την πρακτική υλοποίηση φίλτρων Nyquist και την ανάλυση της απόδοσής τους μέσω γραφικών απεικονίσεων, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη κατανόηση των θεωρητικών και πρακτικών πτυχών της σηματοδοσίας Nyquist.

2.1.4.2 Επισκόπηση Θεωρίας [6]

Σηματοδοσία Nyquist

Η σηματοδοσία Nyquist αποτελεί μία μέθοδο με την οποία μπορούμε να εξασφαλίσουμε ότι τα διαδοχικά σύμβολα που μεταδίδονται δεν παρεμβάλλονται μεταξύ τους, μειώνοντας την πιθανότητα σφαλμάτων κατά την ανίχνευση των συμβόλων στον δέκτη. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης των φίλτρων Nyquist, τα οποία έχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που εξασφαλίζουν ότι το σήμα λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του μόνο στη διάρκεια της περιόδου συμβόλων και μηδενίζεται στα υπόλοιπα σημεία.

Μια βασική παράμετρος στα φίλτρα Nyquist είναι ο συντελεστής εξάπλωσης (roll-off, α), ο οποίος καθορίζει το εύρος του φάσματος συχνοτήτων του φίλτρου. Μικρότερες τιμές του α μειώνουν το εύρος ζώνης, αλλά οδηγούν σε μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στον σχεδιασμό του φίλτρου και στην ευαισθησία σε σφάλματα, ενώ μεγαλύτερες τιμές του α διευκολύνουν τη σταθερότητα του συστήματος με την επέκταση του φάσματος συχνοτήτων.

Διαμόρφωση L-ASK

Η διαμόρφωση L-ASK είναι μια τεχνική όπου τα δεδομένα κωδικοποιούνται σε επίπεδα πλάτους του σήματος. Σε κάθε σύμβολο αντιστοιχεί ένα συγκεκριμένο επίπεδο πλάτους, επιτρέποντας έτσι την αποστολή πολλαπλών bits ανά σύμβολο. Για παράδειγμα, στη διαμόρφωση 8-ASK, έχουμε οκτώ επίπεδα πλάτους και επομένως τρία bits μπορούν να μεταδοθούν σε κάθε σύμβολο. Η κωδικοποίηση Gray χρησιμοποιείται συχνά για να ελαχιστοποιήσει τα σφάλματα, εξασφαλίζοντας ότι η μετάβαση από το ένα επίπεδο πλάτους στο επόμενο αντιστοιχεί σε αλλαγή ενός μόνο bit.

Επίδραση του Roll-off στα Φίλτρα

Το roll-off των φίλτρων Nyquist επηρεάζει σημαντικά την απόδοση του συστήματος. Όσο μικρότερο είναι το roll-off, τόσο πιο απότομα είναι τα όρια του φάσματος συχνοτήτων, κάτι που μειώνει το εύρος ζώνης που καταλαμβάνει το σήμα. Ωστόσο, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στην κατασκευή του φίλτρου. Αντίθετα, ένα μεγαλύτερο roll-off εξασφαλίζει πιο ήπια μετάβαση στις συχνότητες, αλλά καταλαμβάνει μεγαλύτερο εύρος ζώνης.

$$W = \frac{1}{2T}(1 + \alpha)$$

Απόδοση Συστήματος και BER

Η απόδοση του συστήματος αξιολογείται μέσω της πιθανότητας λάθους κατά τη μετάδοση, δηλαδή του Bit Error Rate (BER). Το BER σχετίζεται άμεσα με τον σηματοθορυβικό λόγο Eb/No και καθορίζει την ποιότητα της επικοινωνίας. Καθώς αυξάνεται το Eb/No, μειώνεται η πιθανότητα λάθους, βελτιώνοντας την απόδοση του συστήματος.

Στην άσκηση, καλούνται οι σπουδαστές να υπολογίσουν και να αναλύσουν την καμπύλη BER σε συνάρτηση με το Eb/No για διαφορετικές παραμέτρους του φίλτρου, όπως ο συντελεστής roll-off και η τάξη του φίλτρου. Οι διαφορετικές τιμές roll-off επιτρέπουν την κατανόηση της επίδρασης του εύρους ζώνης και της πολυπλοκότητας στην απόδοση του συστήματος.

Εφαρμογή της Σηματοδοσίας Nyquist στην Πράξη

Η σηματοδοσία Nyquist, σε συνδυασμό με τη διαμόρφωση L-ASK, χρησιμοποιείται ευρέως σε συστήματα ψηφιακών επικοινωνιών που απαιτούν υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, διατηρώντας παράλληλα ένα αποδεκτό επίπεδο σφαλμάτων. Στην πράξη, η σηματοδοσία αυτή επιτρέπει την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης χωρίς να απαιτείται υπερβολικό εύρος ζώνης, κάτι που την καθιστά ιδανική για εφαρμογές όπως είναι η ψηφιακή τηλεόραση, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και τα δορυφορικά συστήματα επικοινωνίας.

2.1.5 Lab Exercise 5: Διαμόρφωση QAM και PSK

2.1.5.1 Σκοπός της πειραματικής άσκησης

Ο σκοπός της πέμπτης εργαστηριακής άσκησης είναι η μελέτη και ανάλυση των συστημάτων διαμόρφωσης QAM και PSK, καθώς και η διερεύνηση της απόδοσής τους σε

διαφορετικές συνθήκες σηματοθορυβικού λόγου (Eb/No). Οι φοιτητές καλούνται να σχεδιάσουν σηματικούς αστερισμούς, να προσομοιώσουν πομπούς και δέκτες για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου roll-off και να αναλύσουν την επίδοση των συστημάτων μέσω της καμπύλης Bit Error Rate (BER). Η άσκηση στοχεύει στην κατανόηση των παραμέτρων που επηρεάζουν την απόδοση των συστημάτων διαμόρφωσης και την επίτευξη του βέλτιστου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων.

2.1.5.2 Επισκόπηση Θεωρίας [6]

Διαμόρφωση QAM

Η QAM είναι μια διαμόρφωση όπου τόσο το πλάτος όσο και η φάση του φέροντος σήματος τροποποιούνται ταυτόχρονα για να κωδικοποιηθούν τα δεδομένα. Αυτό επιτρέπει τη μετάδοση μεγάλου αριθμού bits ανά σύμβολο, με τη χρήση ενός σηματικού αστερισμού, όπου κάθε σημείο αντιστοιχεί σε έναν συνδυασμό φάσης και πλάτους.

Στο πλαίσιο της άσκησης, οι φοιτητές καλούνται να μελετήσουν τη διαμόρφωση 64-QAM, η οποία χρησιμοποιεί 64 διαφορετικά σημεία σε σηματικό αστερισμό ορθογωνικού πλέγματος για να κωδικοποιήσει έξι bits ανά σύμβολο. Επιπλέον, η κωδικοποίηση Gray εφαρμόζεται για να μειωθεί η πιθανότητα λάθους, εξασφαλίζοντας ότι γειτονικά σημεία του αστερισμού διαφέρουν μόνο κατά ένα bit.

Η QAM προσφέρει υψηλότερη απόδοση φάσματος σε σχέση με άλλες διαμορφώσεις, καθώς αξιοποιεί δύο ορθογώνιες συνιστώσες σήματος (in-phase και quadrature) και επιτρέπει τη μετάδοση μεγαλύτερου όγκου δεδομένων για συγκεκριμένο εύρος ζώνης και μέγιστη ισχύ σήματος. Ωστόσο είναι περισσότερο ευαίσθητη σε αλλοιώσεις πλάτους, π.χ. λόγω μη γραμμικής λειτουργίας των ενισχυτών.

Διαμόρφωση PSK

Η PSK είναι μια διαμόρφωση όπου η πληροφορία κωδικοποιείται αποκλειστικά στη φάση του φέροντος σήματος, ενώ το πλάτος παραμένει σταθερό. Η απλούστερη μορφή είναι η BPSK (Binary PSK), όπου η φάση του σήματος λαμβάνει δύο τιμές, αντιστοιχώντας σε δύο διαφορετικά bits. Για μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης, χρησιμοποιείται η QPSK (Quadrature PSK) ή άλλες υψηλότερης τάξης παραλλαγές της PSK, όπου πολλαπλά bits κωδικοποιούνται σε περισσότερες φάσεις.

Η PSK, σε σύγκριση με την QAM, είναι πιο ανθεκτική στις διαταραχές πλάτους, καθώς η πληροφορία εξαρτάται μόνο από τη φάση του σήματος. Ωστόσο, η αποδοτικότητά της σε όρους εύρους ζώνης και σηματοθορυβικής σχέσης είναι μικρότερη από την QAM, καθώς απαιτεί μεγαλύτερη ισχύ σήματος για την επίτευξη του ίδιου BER.

Σηματικοί Αστερισμοί και Κωδικοποίηση Gray

Η σημασία των σηματικών αστερισμών είναι καθοριστική για την κατανόηση των συστημάτων διαμόρφωσης QAM και PSK. Οι αστερισμοί αντιπροσωπεύουν τα πιθανά σημεία που μπορεί να λάβει το σήμα κατά τη μετάδοση, με κάθε σημείο να αντιστοιχεί σε έναν συγκεκριμένο συνδυασμό bits. Η κωδικοποίηση Gray εξασφαλίζει ότι γειτονικά σημεία διαφέρουν μόνο κατά ένα bit, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα σφάλματος όταν το σήμα επηρεάζεται από θόρυβο ή παρεμβολές.

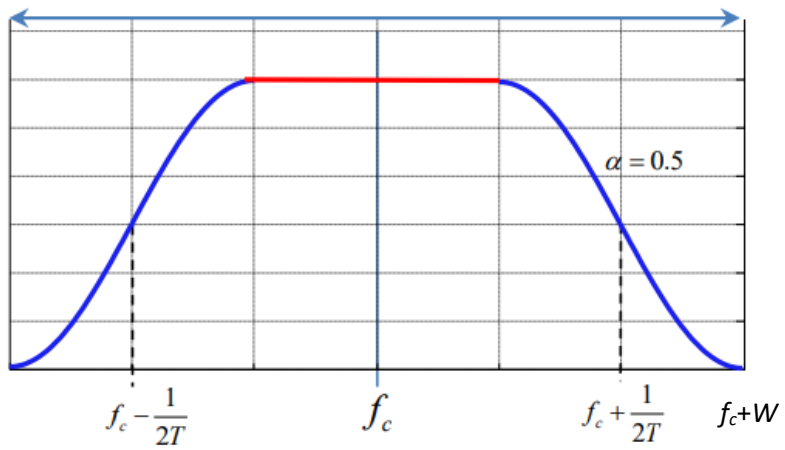
Σηματοθορυβικός Λόγος (Eb/No) και Bit Error Rate (BER)

Η καμπύλη BER σε συνάρτηση με το Eb/No είναι ένα βασικό εργαλείο για την αξιολόγηση της απόδοσης των συστημάτων διαμόρφωσης. Καθώς αυξάνεται το Eb/No, μειώνεται η πιθανότητα λάθους, οδηγώντας σε πιο αξιόπιστη μετάδοση των δεδομένων. Η άσκηση επικεντρώνεται στη μελέτη των καμπυλών αυτών τόσο για την QAM όσο και για την PSK, δίνοντας έμφαση στις διαφορές που παρουσιάζουν ανάλογα με τις συνθήκες του καναλιού και τις παραμέτρους διαμόρφωσης.

Ρυθμός Μετάδοσης και Αποδοτικότητα Εύρους Ζώνης

Ο ρυθμός μετάδοσης καθορίζεται από τον αριθμό των bits που μπορούν να μεταδοθούν ανά σύμβολο και τον ρυθμό εκπομπής συμβόλων (Baud Rate). Συστήματα με μεγαλύτερους σηματικούς αστερισμούς, όπως η 64-QAM, μπορούν να μεταδώσουν περισσότερα bits ανά σύμβολο, αυξάνοντας τον συνολικό ρυθμό μετάδοσης. Ωστόσο, αυτό απαιτεί υψηλότερο Eb/No για να επιτευχθεί χαμηλό BER.

$$log_2 M \geq \frac{R}{W}(1+\alpha), 0 < a \leq 1$$



Σχήμα 7: Φάσμα φίλτρου με εύρος ζώνης W γύρω από τη συχνότητα φέροντος fc

Επίσης, η χρήση του φίλτρου Nyquist με κατάλληλο roll-off factor επηρεάζει το απαιτούμενο εύρος ζώνης του συστήματος. Το roll-off factor καθορίζει πόσο γρήγορα μειώνεται το φάσμα του σήματος και παίζει κρίσιμο ρόλο στη βελτιστοποίηση του εύρους ζώνης.

2.1.6 Lab Exercise 6: Διαμόρφωση FSK και MSK

2.1.6.1 Σκοπός της πειραματικής άσκησης

Ο σκοπός αυτής της εργαστηριακής άσκησης είναι η ανάλυση και σύγκριση των τεχνικών διαμόρφωσης FSK (Frequency Shift Keying) και MSK (Minimum Shift Keying), μέσω προσομοιώσεων και θεωρητικών υπολογισμών. Η άσκηση επικεντρώνεται στην εξέταση της απόδοσης των συστημάτων αυτών, κυρίως σε όρους Bit Error Rate (BER) και εύρους ζώνης, τόσο για σύμφωνη όσο και για ασύμφωνη αποδιαμόρφωση. Επιπλέον, οι φοιτητές καλούνται να συγκρίνουν το MSK με το ισοδύναμο σύστημα QPSK, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη κατανόηση της επίδρασης της διαμόρφωσης στην απόδοση των επικοινωνιακών συστημάτων.

2.1.6.2 Επισκόπηση Θεωρίας [7]

Διαμόρφωση FSK (Frequency Shift Keying)

Η FSK είναι μια μέθοδος διαμόρφωσης όπου η πληροφορία κωδικοποιείται μέσω της αλλαγής της συχνότητας του φέροντος σήματος. Για παράδειγμα, στο δυαδικό FSK (2-FSK), δύο διαφορετικές συχνότητες αντιστοιχούν σε δύο λογικές καταστάσεις (0 και 1). Συστήματα FSK υψηλότερης τάξης, όπως το 16-FSK ή το 32-FSK, χρησιμοποιούν πολλαπλές συχνότητες για να κωδικοποιήσουν περισσότερα bits ανά σύμβολο.

Η απόδοση της διαμόρφωσης FSK εξαρτάται από τον τρόπο αποδιαμόρφωσης. Υπάρχουν δύο κύριες μέθοδοι:

1. Σύμφωνη αποδιαμόρφωση (coherent detection), όπου ο δέκτης έχει πληροφορίες σχετικά με τη φάση του φέροντος σήματος, εξασφαλίζοντας πιο αξιόπιστη αποδιαμόρφωση, αλλά απαιτεί μεγαλύτερη πολυπλοκότητα.
2. Ασύμφωνη αποδιαμόρφωση (non-coherent detection), όπου ο δέκτης δεν χρησιμοποιεί πληροφορίες για τη φάση του σήματος, κάτι που καθιστά το σύστημα πιο απλό, αλλά με αυξημένη πιθανότητα λάθους (BER) και μεγαλύτερο εύρος ζώνης.

Η FSK είναι ανθεκτική στον θόρυβο και στις παρεμβολές, καθιστώντας την ιδιαίτερα χρήσιμη σε εφαρμογές όπως ασύρματα δίκτυα και συστήματα ραδιοεπικοινωνιών.

Διαμόρφωση MSK (Minimum Shift Keying)

Η MSK είναι μια ειδική περίπτωση της σύμφωνης B-FSK με την ελάχιστη δυνατή απόσταση μεταξύ των συχνοτήτων, εξασφαλίζοντας ότι οι φάσεις των διαδοχικών συμβόλων είναι συνεχείς. Αυτό σημαίνει ότι το σήμα MSK χαρακτηρίζεται από μικρότερη διασπορά του φάσματος σε σύγκριση με την τυπική FSK, επιτρέποντας αποδοτικότερη χρήση του εύρους ζώνης.

Το MSK έχει χαρακτηριστεί ως μια από τις πλέον αποδοτικές διαμορφώσεις σε όρους εύρους ζώνης, ενώ η συνεχής φάση του σήματος οδηγεί σε χαμηλότερη πιθανότητα σφάλματος σε σύγκριση με άλλες διαμορφώσεις. Επιπλέον, η MSK έχει παρόμοια απόδοση με την QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), κάτι που την καθιστά ισοδύναμη επιλογή για πολλές εφαρμογές επικοινωνίας.

Σύγκριση MSK και QPSK

Η QPSK είναι μια διαμόρφωση όπου τα δεδομένα κωδικοποιούνται σε τέσσερις διαφορετικές φάσεις, με δύο bits ανά σύμβολο. Το MSK, παρόλο που είναι μια συνεχής φασική διαμόρφωση, έχει παρόμοια φασματική απόδοση με την QPSK και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη ίδιων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων.

Η σύγκριση μεταξύ MSK και QPSK περιλαμβάνει την ανάλυση του Bit Error Rate (BER) για διαφορετικές τιμές του Eb/No, καθώς και την αποδοτικότητα του εύρους ζώνης. Το MSK, λόγω της συνεχούς φάσης, εμφανίζει καλύτερη απόδοση σε θορυβώδη περιβάλλοντα.

Εύρος Ζώνης και Bit Error Rate (BER)

Η απόδοση των συστημάτων FSK και MSK αξιολογείται μέσω της καμπύλης BER σε συνάρτηση με το Eb/No. Καθώς αυξάνεται το Eb/No, μειώνεται η πιθανότητα σφάλματος, βελτιώνοντας την απόδοση του συστήματος. Η σύμφωνη αποδιαμόρφωση προσφέρει χαμηλότερα ποσοστά λάθους σε σχέση με την ασύμφωνη, ειδικά σε υψηλές τιμές Eb/No. Ωστόσο, η ασύμφωνη αποδιαμόρφωση είναι πιο απλή και ενδείκνυται για συστήματα όπου η απλότητα του δέκτη είναι κρίσιμη.

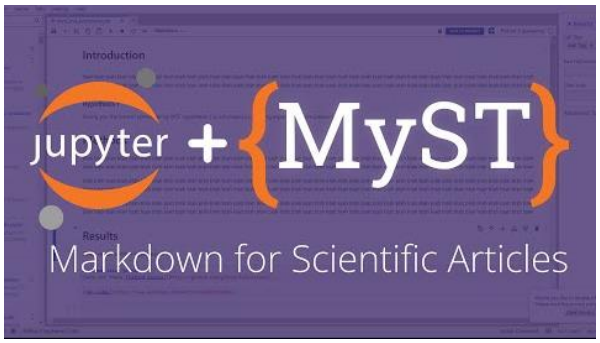
Επιπλέον, το εύρος ζώνης που απαιτείται για τη μετάδοση ενός σήματος εξαρτάται από τη διαμόρφωση και τον ρυθμό μετάδοσης. Η ασύμφωνη FSK απαιτεί το διπλάσιο εύρος ζώνης για τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης. Το MSK είναι πιο αποδοτικό σε όρους εύρους ζώνης σε σύγκριση με άλλες διαμορφώσεις FSK, γεγονός που το καθιστά προτιμητέα επιλογή σε περιβάλλοντα όπου το διαθέσιμο εύρος ζώνης είναι περιορισμένο.

2.2 Εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν

Η διερεύνηση και τα κριτήρια επιλογής των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν στη διπλωματική εργασία βασίστηκαν στην αντίστοιχη εργασία [1], όπου έγινε μια εκτενής ανάλυση διάφορων λογισμικών και βιβλιοθηκών που θα μπορούσαν να συμβάλουν στην επίτευξη των στόχων της μελέτης. Τα εργαλεία που τελικά επιλέξαμε για την υλοποίηση των επιμέρους τμημάτων της εργασίας ήταν τα εξής:

I. Το Jupyter Book είναι μια πλατφόρμα που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία διαδραστικών, πλήρως τεκμηριωμένων επιστημονικών βιβλίων. Είναι σχεδιασμένο να υποστηρίζει κώδικα, διαγράμματα, εξισώσεις και διαδραστικά στοιχεία, και συνδυάζει την ευκολία των Jupyter Notebooks με τη δομή και την επαγγελματική παρουσίαση ενός βιβλίου. Σε αυτή την εργασία, το Jupyter Book χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη διαδραστικού υλικού, επιτρέποντας στους αναγνώστες να εκτελούν κώδικα, να αλλάζουν παραμέτρους, και να αλληλεπιδρούν με τα μαθηματικά μοντέλα απευθείας μέσα από την πλατφόρμα, διευκολύνοντας την κατανόηση της θεωρίας και των αποτελεσμάτων.

II. Το MyST Markdown (Markedly Structured Text) είναι μια επεκτάσιμη μορφή Markdown που αναπτύχθηκε για χρήση σε τεχνικά και ακαδημαϊκά περιβάλλοντα, όπως στα Jupyter Notebooks και στο Jupyter Book. Αποτελεί μια προσαρμοσμένη μορφή της γλώσσας Markdown, η οποία προσφέρει επιπλέον δυνατότητες για τη συγγραφή πιο δομημένου και πλούσιου περιεχομένου σε κείμενα, μαθηματικά σύμβολα και διαδραστικά στοιχεία.

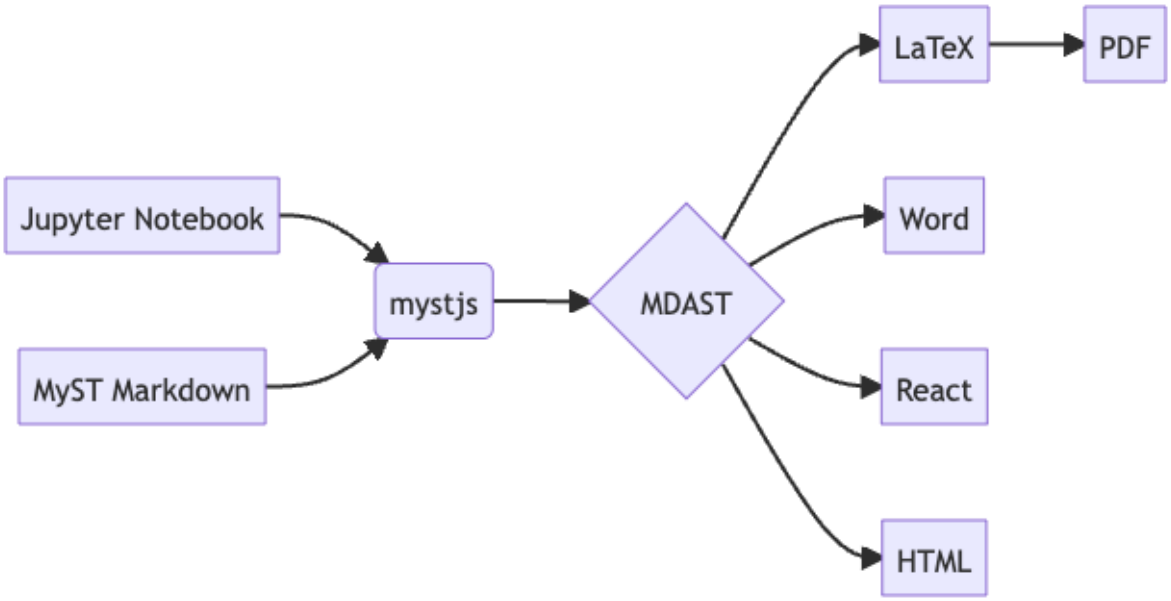


Κύρια Χαρακτηριστικά του MyST Markdown:

1. Υποστήριξη Jupyter Notebooks: Το MyST Markdown χρησιμοποιείται ευρέως στα Jupyter Book και Jupyter Notebooks. Επιτρέπει την ενσωμάτωση εκτελέσιμου κώδικα και εξόδου από Jupyter Notebooks απευθείας μέσα σε κείμενα Markdown.

2. Επέκταση του παραδοσιακού Markdown: Παρέχει επιπλέον λειτουργίες πέρα από τις βασικές δυνατότητες του Markdown, όπως:

- Πλαίσια περιεχομένου (directives): Επιτρέπουν τη δημιουργία ειδικών στοιχείων, όπως προειδοποιήσεις, συμβουλές, κουτιά κειμένου, κ.λπ.
- Ρυθμίσεις κειμένου (roles): Ενσωματωμένες λειτουργίες για σύνθετα κείμενα ή μαθηματικά σύμβολα.
- Σύνθεση μαθηματικών: Υποστήριξη για LaTeX και MathJax για τη γραφή μαθηματικών εξισώσεων.



3. Προχωρημένα χαρακτηριστικά τεκμηρίωσης: Χρησιμοποιείται για τη συγγραφή τεχνικών εγγράφων και βιβλίων με δομή που περιλαμβάνει υποκεφάλαια, πίνακες, αναφορές, κώδικα, και διαγράμματα.
4. Διαλειτουργικότητα με reStructuredText και Sphinx: Το MyST Markdown είναι σχεδιασμένο ώστε να υποστηρίζει λειτουργίες που συναντάμε στο Sphinx, ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία τεκμηρίωσης σε Python projects. Αυτό σημαίνει ότι μπορείς να μετατρέπεις αρχεία .ipynb και .md σε HTML, PDF, ή άλλες μορφές χρησιμοποιώντας Sphinx.

III. Οι βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία παρέχουν εξαιρετικές δυνατότητες για την επεξεργασία δεδομένων, την προσομοίωση αλγορίθμων και την οπτικοποίηση αποτελεσμάτων. Εδώ θα αναλύσουμε περαιτέρω τις δυνατότητες αυτών των εργαλείων:

NumPy

Η NumPy είναι μια από τις πιο δημοφιλείς βιβλιοθήκες στην επιστημονική κοινότητα της Python. Παρέχει εργαλεία για αποδοτική διαχείριση μεγάλων πολυδιάστατων πινάκων (arrays) και συναρτήσεις που διευκολύνουν

μαθηματικούς υπολογισμούς υψηλής απόδοσης. Έχει βελτιστοποιηθεί για ταχύτατες πράξεις, όπως είναι ο πολλαπλασιασμός πινάκων και οι πράξεις σε διανύσματα, γεγονός που την καθιστά ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν έντονη αριθμητική υπολογιστική ικανότητα, όπως οι αλγόριθμοι επεξεργασίας σημάτων που χρησιμοποιούνται στην εργασία.

SciPy

Η SciPy επεκτείνει τη λειτουργικότητα της NumPy με πρόσθετες δυνατότητες για την ανάλυση επιστημονικών δεδομένων και την επίλυση προβλημάτων σε διάφορους τομείς, όπως γραμμική άλγεβρα, βελτιστοποίηση, ολοκληρώματα, και στατιστική. Στην εργασία, χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την επίλυση γραμμικών συστημάτων εξισώσεων και για τον μετασχηματισμό Fourier, που αποτελεί κρίσιμο εργαλείο για την ανάλυση σημάτων στις τηλεπικοινωνίες.

Matplotlib

Η Matplotlib επιτρέπει τη δημιουργία διαγραμμάτων και γραφημάτων για την οπτικοποίηση των δεδομένων και των αποτελεσμάτων. Με τη χρήση της, μπορούμε να απεικονίσουμε πειραματικά δεδομένα, καμπύλες προσαρμογής και αποτελέσματα προσομοιώσεων με πολύ ευέλικτο και προσαρμοσμένο τρόπο. Αυτή η βιβλιοθήκη παρέχει μεγάλη ποικιλία τύπων γραφημάτων, από απλές γραμμές και διαγράμματα μέχρι τριδιάστατες απεικονίσεις.

IPython

Το IPython είναι ένα διαδραστικό περιβάλλον ανάπτυξης κώδικα, το οποίο επιτρέπει την άμεση εκτέλεση εντολών Python. Μέσα από αυτό το περιβάλλον, οι χρήστες μπορούν να εκτελούν εντολές βήμα προς βήμα, να παρακολουθούν τα αποτελέσματα και να κάνουν γρήγορες διορθώσεις. Αυτό βοηθά σημαντικά στην ανάπτυξη αλγορίθμων και στην πειραματική διερεύνηση, καθώς προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία και ανατροφοδότηση από τα παραδοσιακά περιβάλλοντα ανάπτυξης.

Η βιβλιοθήκη Ipywidgets προσθέτει διαδραστικά στοιχεία στα Jupyter notebooks, όπως sliders, κουμπιά και πεδία κειμένου, τα οποία επιτρέπουν στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με τους αλγορίθμους σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η δυνατότητα διευκολύνει τη διαδικασία κατανόησης των μοντέλων και της συμπεριφοράς τους, δίνοντας τη δυνατότητα παραμετροποίησης των αλγορίθμων μέσω διαδραστικών widgets, χωρίς την ανάγκη να τροποποιείται ο κώδικας κάθε φορά.

Requests

Η βιβλιοθήκη Requests χρησιμοποιείται για την αποστολή αιτημάτων HTTP, επιτρέποντας την εύκολη και αποδοτική επικοινωνία με εξωτερικές διαδικτυακές υπηρεσίες και API. Αυτό είναι σημαντικό σε περιπτώσεις που χρειαζόμαστε δεδομένα από απομακρυσμένες πηγές ή θέλουμε να ενσωματώσουμε δεδομένα τρίτων στη μελέτη μας, όπως για παράδειγμα στην ανάλυση πραγματικών δεδομένων τηλεπικοινωνιών.

Scikit-commpy

Η Scikit-commpy είναι μια βιβλιοθήκη ειδικά σχεδιασμένη για την προσομοίωση και την ανάλυση συστημάτων επικοινωνίας. Περιέχει διάφορους αλγορίθμους για τη μετάδοση και λήψη σημάτων, όπως διαμορφώσεις (modulations), φίλτρα, καθώς και εργαλεία για την εκτίμηση του Bit Error Rate (BER). Η χρήση της σε αυτή την εργασία ήταν απαραίτητη για την προσομοίωση διάφορων μεθόδων διαμόρφωσης σημάτων και για την αξιολόγηση της ποιότητας μετάδοσης, κάτι που αποτελεί βασικό κομμάτι της ανάλυσης.

Thebe

Το Thebe επιτρέπει την ενσωμάτωση κώδικα και διαδραστικών λειτουργιών σε ιστοσελίδες μέσω Jupyter kernels, δίνοντας τη δυνατότητα στους χρήστες να εκτελούν κώδικα απευθείας από τον browser τους. Αυτή η δυνατότητα καθιστά το περιβάλλον πιο διαδραστικό και προσφέρει τη δυνατότητα στους αναγνώστες της εργασίας να πειραματιστούν με τους αλγορίθμους και τα δεδομένα σε

πραγματικό χρόνο, χωρίς να χρειάζεται να εγκαταστήσουν τα απαραίτητα εργαλεία στον υπολογιστή τους.

SciPy Signal Processing (scipy.signal)

Η βιβλιοθήκη scipy.signal είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την επεξεργασία και την ανάλυση σημάτων, παρέχοντας ένα σύνολο συναρτήσεων για την εφαρμογή φίλτρων, τη συνέλιξη, την αποδιαμόρφωση και την ανάλυση συχνοτήτων. Αποτελεί ένα από τα πιο χρήσιμα υποσύνολα της βιβλιοθήκης SciPy και χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορους τομείς της επιστήμης και της μηχανικής, όπως στις τηλεπικοινωνίες, στην επεξεργασία εικόνας, στις βιοϊατρικές εφαρμογές και στην ανάλυση συστημάτων ελέγχου.

Δυνατότητες

- *Φιλτράρισμα σημάτων*: Η scipy.signal παρέχει συναρτήσεις για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή ψηφιακών φίλτρων. Αυτά τα φίλτρα περιλαμβάνουν FIR (Finite Impulse Response) και IIR (Infinite Impulse Response) φίλτρα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων συχνοτήτων ή τη βελτίωση συγκεκριμένων στοιχείων του σήματος. Η συνάρτηση firwin, για παράδειγμα, χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό φίλτρων FIR.
- *Συνέλιξη (Convolution):* Το εργαλείο αυτό είναι κρίσιμο για την ανάλυση και την επεξεργασία σημάτων. Η συνάρτηση convolve εφαρμόζει τη διαδικασία της συνέλιξης, η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική στη γραμμική ανάλυση συστημάτων και στη σχεδίαση φίλτρων.
- *Ανάλυση Συχνοτήτων:* Χρησιμοποιώντας μεθόδους όπως τη συνάρτηση welch, η scipy.signal μπορεί να υπολογίσει την πυκνότητα φάσματος ισχύος (Power Spectral Density - PSD) ενός σήματος, η οποία είναι απαραίτητη για την ανάλυση των συχνοτήτων που υπάρχουν σε ένα σήμα. Αυτή η δυνατότητα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε εφαρμογές όπως στη φασματική ανάλυση σημάτων.
- *Ψηφιακή Διαμόρφωση και Αποδιαμόρφωση:* Η scipy.signal περιλαμβάνει εργαλεία για την επεξεργασία σημάτων με μεθόδους διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης, τα οποία χρησιμοποιούνται συχνά σε τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές.
- *Πολυ-ρυθμική Επεξεργασία Σήματος:* Με τη χρήση της συνάρτησης upfirdn, η βιβλιοθήκη επιτρέπει την εφαρμογή πολυ-ρυθμικής επεξεργασίας σημάτων (multirate signal processing). Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται για την αλλαγή της συχνότητας δειγματοληψίας, κάτι που είναι κρίσιμο σε συστήματα επεξεργασίας τηλεπικοινωνιακών σημάτων και ψηφιακών συστημάτων ήχου.

- *Σχεδίαση και Προσομοίωση Φίλτρων:* Οι συναρτήσεις όπως remez και firwin2 επιτρέπουν τον σχεδιασμό φίλτρων βέλτιστης μορφής, ενώ η συνάρτηση freqz παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης της απόκρισης συχνότητας ενός φίλτρου. Οι μέθοδοι αυτές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για τον σχεδιασμό φίλτρων που απαιτούν αυστηρές προδιαγραφές σε εφαρμογές όπως στη μετάδοση σημάτων.

Math

Η βιβλιοθήκη **math** της Python είναι μια από τις βασικότερες βιβλιοθήκες που παρέχουν εργαλεία για την εκτέλεση μαθηματικών υπολογισμών. Πρόκειται για μια εξαιρετικά αποδοτική και απαραίτητη βιβλιοθήκη σε επιστημονικούς και αριθμητικούς υπολογισμούς, καθώς περιλαμβάνει πλήθος βασικών αλλά και εξειδικευμένων μαθηματικών συναρτήσεων που συναντώνται συχνά σε διάφορους κλάδους της μηχανικής, της φυσικής και των υπολογιστικών επιστημών.

IO

Η βιβλιοθήκη io της Python παρέχει εργαλεία για την εισαγωγή και την εξαγωγή δεδομένων (input/output) σε μορφή ροών (streams), προσφέροντας έναν ευέλικτο και ενοποιημένο τρόπο διαχείρισης δεδομένων από και προς αρχεία, μνήμη και άλλες πηγές. Οι ροές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διαβάσουν ή να γράψουν δεδομένα σε μορφή κειμένου ή δυαδικών δεδομένων, ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής. Η βιβλιοθήκη io είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη διαχείριση αρχείων μεγάλου όγκου, την επικοινωνία δικτυακών εφαρμογών, καθώς και για την αποτελεσματική επεξεργασία δεδομένων σε συστήματα υψηλής απόδοσης.

Time

Η βιβλιοθήκη **time** της Python προσφέρει μια ποικιλία συναρτήσεων που σχετίζονται με την παρακολούθηση, τη μέτρηση και τον χειρισμό του χρόνου. Οι δυνατότητες της βιβλιοθήκης καλύπτουν πολλές ανάγκες, όπως τη μέτρηση χρονικών διαστημάτων, την αναμονή (sleep) συγκεκριμένων χρονικών περιόδων και τη μετατροπή χρονοσφραγίδων (timestamps) σε διάφορες μορφές. Η βιβλιοθήκη αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε εφαρμογές που απαιτούν συγχρονισμό, χρονόμετρα ή τον υπολογισμό της απόδοσης και της διάρκειας εκτέλεσης διεργασιών.

Warnings

Η βιβλιοθήκη **warnings** της Python παρέχει εργαλεία για την καταγραφή, τη διαχείριση και την προσαρμογή των προειδοποιήσεων (warnings) που παράγονται

κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος. Σε αντίθεση με τα σφάλματα, οι προειδοποιήσεις δεν τερματίζουν το πρόγραμμα, αλλά ενημερώνουν τον προγραμματιστή για πιθανά ζητήματα, όπως για τη χρήση αποσυρμένων συναρτήσεων, ανεπιθύμητες τιμές παραμέτρων ή άλλες καταστάσεις που δεν είναι κρίσιμες για την εκτέλεση αλλά μπορεί να οδηγήσουν σε προβλήματα στο μέλλον.

Η warnings είναι χρήσιμη για τον εντοπισμό και τη διόρθωση πιθανών προβλημάτων στον κώδικα χωρίς να διακόπτεται η λειτουργία της εφαρμογής, καθώς και για την προσαρμογή της συμπεριφοράς της εφαρμογής όταν αντιμετωπίζει συγκεκριμένα προειδοποιητικά μηνύματα.

Με τη συνδυαστική χρήση αυτών των εργαλείων, η εργασία απέκτησε διαδραστικό χαρακτήρα, καθιστώντας τα δεδομένα και τις αναλύσεις προσιτά και εύκολα κατανοητά, ενώ παράλληλα παρέχει τη δυνατότητα στους χρήστες να επαναλάβουν πειράματα και να τροποποιήσουν παραμέτρους, κάτι που ενισχύει την εκπαιδευτική της αξία.

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία, Σχεδίαση και Υλοποίηση διαδραστικών στοιχείων

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, αρχικά, παρουσιάζεται η συνολική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την ολοκληρωμένη ανάπτυξη της διαδικτυακής διαδραστικής εφαρμογής. Στη συνέχεια, παρατίθενται τα τμήματα κώδικα που ενσωματώνουν διαδραστικές λειτουργίες, οι οποίες συνιστούν τη βάση για την ολοκλήρωση του έργου.

3.2 Μέθοδος υλοποίησης του συνολικού project

Η παρούσα εργασία περιγράφει αναλυτικά τα πρώτα στάδια υλοποίησης της διαδικτυακής εφαρμογής, η οποία αναπτύχθηκε σε συνεργασία με τον Αραβαντινό-Καρλάτο Σωτήρη. Ειδικότερα, στο παρόν τεύχος παρατίθεται η ανάλυση των βημάτων 10 - 18, τα οποία αποτελούν τη συνέχεια και την ολοκλήρωση της συνολικής εργασίας. Για περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με τα αρχικά βήματα και το στήσιμο του έργου, ο αναγνώστης παραπέμπεται στην αντίστοιχη εργασία [1].

1. Αναζήτηση, δοκιμή και τελική επιλογή των κατάλληλων εργαλείων για την ολοκλήρωση του project.
2. Δημιουργία αποθετηρίου στο GitHub για τη διαχείριση των αρχείων του έργου.
3. Κατασκευή βασικών τμημάτων κώδικα python γύρω από τη θεωρία και τις εργαστηριακές ασκήσεις του μαθήματος «Ψηφιακές Επικοινωνίες Ι», με διαδραστικές δυνατότητες. (Βάση μας ο κώδικας matlab του μαθήματος)
4. Ανάπτυξη και διαμόρφωση του Jupyter Book ως εργαλείου παρουσίασης και εκτέλεσης του εκπαιδευτικού υλικού.
5. Τροποποίηση του αρχείου config.yml για την ενσωμάτωση της επιλογής binder, επιτρέποντας την εκτέλεση κώδικα σε πραγματικό χρόνο μέσω ενός εξωτερικού kernel.
6. Δημιουργία του αρχείου requirements.txt, περιλαμβάνοντας όλες τις απαιτούμενες βιβλιοθήκες Python για την εξασφάλιση της λειτουργικότητας του kernel μέσω του MyBinder.
7. Εκτέλεση των κατάλληλων εντολών μέσω του Jupyter Book για τη δημιουργία των αρχείων της ιστοσελίδας.
8. Χρήση του GitHub Pages για την ανάπτυξη και τη φιλοξενία της διαδικτυακής εφαρμογής.
9. Εκτέλεση των κατάλληλων εντολών μέσω του Jupyter Book για τη δημοσίευση της ιστοσελίδας στο GitHub Page που δημιουργήσαμε.

10. Αναδιάρθρωση της δομής του Jupyter Book μέσω αλλαγών στο αρχείο toc.yml, ώστε να ευθυγραμμίζεται με τη διάρθρωση των εργαστηριακών ασκήσεων του μαθήματος «Ψηφιακές Επικοινωνίες Ι».
11. Μετάφραση του περιεχομένου των εργαστηριακών ασκήσεων στα αγγλικά.
12. Ενσωμάτωση του μεταφρασμένου περιεχομένου στα Jupyter Notebooks που δημιουργήθηκαν. Ένα για κάθε άσκηση.
13. Εντοπισμός των σημείων που απαιτούν διαδραστικότητα και ενσωμάτωση από τον υπάρχοντα κώδικα, ή και εκ νέου σχεδιασμός, αντίστοιχων λειτουργιών.
14. Μετατροπή του υπάρχοντος βοηθητικού κώδικα από MATLAB σε Python, με χρήση των βιβλιοθηκών ψηφιακής επικοινωνίας και γραφικής απεικόνισης δεδομένων. (Με τη βοήθεια των τμημάτων κώδικα από το βήμα 3)
15. Προσθήκη διαδραστικών λειτουργιών στον κώδικα Python μέσω των κατάλληλων βιβλιοθηκών. (Με τη βοήθεια των κομματιών κώδικα από το βήμα 3)
16. Ανανέωση του αρχείου requirements.txt, ώστε να περιλαμβάνει τις τελικές βιβλιοθήκες python που χρησιμοποιήθηκαν.
17. Εκτέλεση των κατάλληλων εντολών μέσω του Jupyter Book για τη δημιουργία των αρχείων της ιστοσελίδας.

3.3 Τα πρώτα βήματα για το στήσιμο της σελίδας

Η διάρθρωση της δομής του Jupyter Book έγινε προκειμένου να ευθυγραμμιστεί με τις διατάξεις των εργαστηριακών ασκήσεων του μαθήματος «Ψηφιακές Επικοινωνίες Ι». Η δομή αυτή είναι ουσιώδης για την οργάνωση της διδακτικής ύλης και την εύκολη πρόσβαση στις ασκήσεις, επιτρέποντας στους φοιτητές να ακολουθήσουν μια λογική ροή μάθησης. Στο πλαίσιο της αναβάθμισης της εκπαιδευτικής διαδικασίας, προχωρήσαμε στη μετάφραση του περιεχομένου των εργαστηριακών ασκήσεων από τα ελληνικά στα αγγλικά, με στόχο τη διευκόλυνση της πρόσβασης διεθνών φοιτητών και ερευνητών. Το μεταφρασμένο υλικό έχει ενσωματωθεί στα Jupyter Notebooks που αναπτύχθηκαν για κάθε άσκηση

Η μετατροπή του κώδικα από MATLAB σε Python βασίστηκε στη χρήση βιβλιοθηκών για την ψηφιακή επεξεργασία σήματος και την οπτικοποίηση δεδομένων. Η αλλαγή αυτή διασφάλισε ευελιξία και ευκολότερη πρόσβαση στις λειτουργίες, καθώς η Python είναι πιο δημοφιλής και προσφέρει καλύτερες διαδραστικές δυνατότητες μέσω εργαλείων όπως του Matplotlib.

3.4 Διαδραστικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν

Κατά την ενσωμάτωση του περιεχομένου, εντοπίσαμε σημεία στα οποία η διαδραστικότητα κρίνεται απαραίτητη, ώστε να βελτιωθούν η κατανόηση των εννοιών και η ενεργός συμμετοχή των χρηστών. Τα σημεία αυτά αποτελούν σημαντικούς κόμβους για την περαιτέρω ανάπτυξη των δυνατοτήτων των notebooks, με σκοπό την ενσωμάτωση διαδραστικών στοιχείων, όπως widgets, διαδραστικές γραφικές παραστάσεις και δυναμικά διαγράμματα. Αυτή η διαδικασία στοχεύει στη δημιουργία ενός πιο ελκυστικού και αποτελεσματικού μαθησιακού περιβάλλοντος.

3.4.1 Καρτέλες (Tabs)

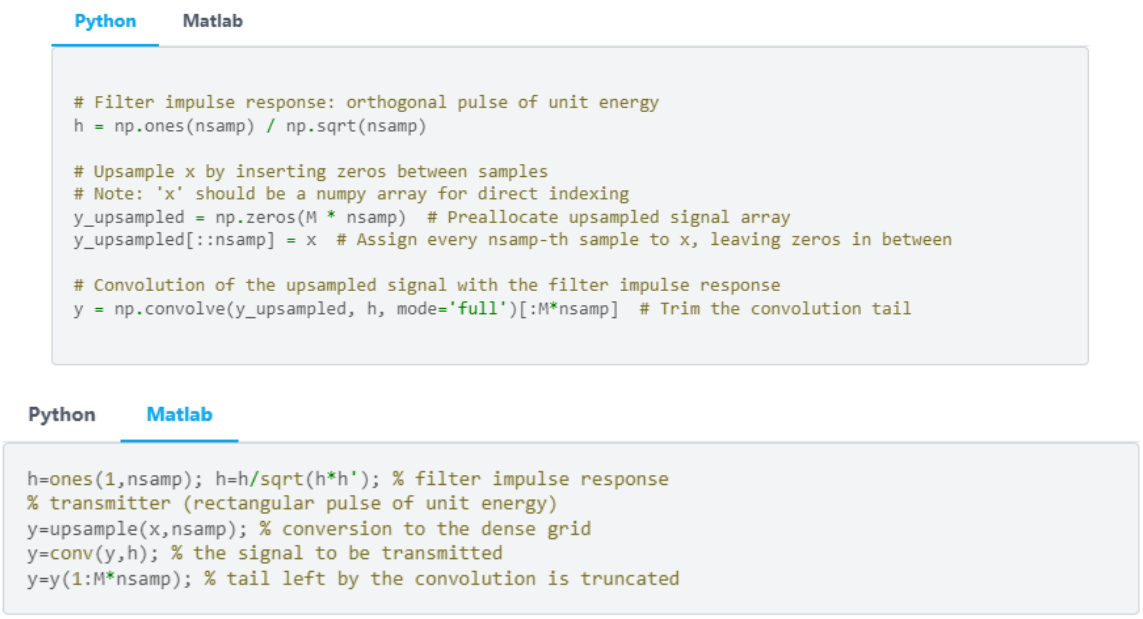
Στη σύγχρονη εκπαίδευση και τεχνολογική τεκμηρίωση, η χρήση διαδραστικών εργαλείων αποτελεί κεντρικό άξονα για τη διευκόλυνση της κατανόησης και την ενίσχυση της αφομοίωσης της γνώσης. Ένα από τα πιο αποτελεσματικά διαδραστικά στοιχεία είναι η δομή των καρτελών (tabs), η οποία προσφέρει ευελιξία και δυνατότητα δυναμικής παρουσίασης περιεχομένου. Οι καρτέλες επιτρέπουν τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων και πληροφορίας μέσα σε περιορισμένο χώρο, χωρίς να επιβαρύνεται η εμπειρία του χρήστη με την πλοήγηση ανάμεσα σε διαφορετικές σελίδες ή ενότητες.

Η διαδραστικότητα των καρτελών έγκειται κυρίως στη δυνατότητά τους να προσφέρουν ταχύτατη εναλλαγή μεταξύ διάφορων τμημάτων περιεχομένου. Αυτή η εναλλαγή διευκολύνει την παράλληλη μελέτη και σύγκριση διαφορετικών προσεγγίσεων, π.χ. μεθοδολογιών, αλγορίθμων ή γλωσσών προγραμματισμού, κάνοντας την πληροφορία άμεσα διαθέσιμη χωρίς να απαιτείται αναζήτηση σε διαφορετικά έγγραφα ή πλατφόρμες. Η ενσωμάτωση καρτελών σε μια εκπαιδευτική ή τεχνική πλατφόρμα μπορεί να αυξήσει δραστικά την αλληλεπίδραση του χρήστη με το περιεχόμενο, καθώς δίνει τη δυνατότητα να διαλέγει και να εξετάζει μόνο το τμήμα που τον ενδιαφέρει εκείνη τη στιγμή, παραμερίζοντας άσχετες πληροφορίες.

Σχήμα 8: 1ο Παράδειγμα Καρτελών (Tabs)

Σε ένα επιστημονικό πλαίσιο, η χρήση καρτελών επιτρέπει την προβολή διαφορετικών σεναρίων ή υλοποιήσεων του ίδιου προβλήματος, με την ίδια βάση δεδομένων ή αλγορίθμου, σε διαφορετικές καρτέλες. Αυτή η δυνατότητα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν εξετάζονται αλληλένδετες προσεγγίσεις, επιτρέποντας στον αναγνώστη να παρακολουθήσει την πορεία της ανάλυσης με διακριτό αλλά παράλληλο τρόπο. Για παράδειγμα, σε μια επιστημονική εφαρμογή σχετική με την επεξεργασία ψηφιακών σημάτων, η χρήση καρτελών μπορεί να επιτρέψει την προβολή της μαθηματικής ανάλυσης ενός φίλτρου σε μία καρτέλα, ενώ μια άλλη καρτέλα μπορεί να παρουσιάζει τον αλγόριθμο σε κώδικα Python, και μια τρίτη να συγκρίνει την υλοποίηση του ίδιου φίλτρου σε MATLAB.

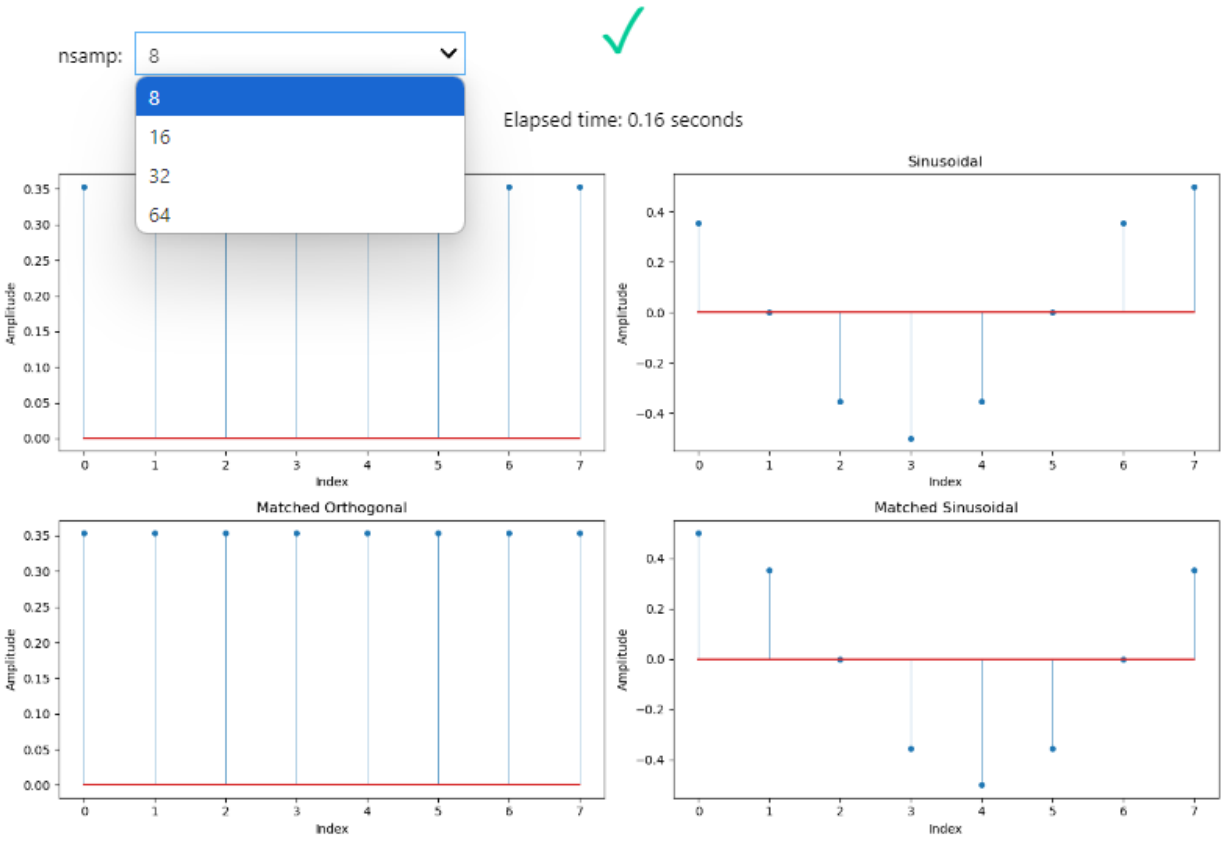
Η χρήση καρτελών ενισχύει τη διαδραστικότητα και προωθεί την εμπλοκή του χρήστη με το περιεχόμενο, καθώς μπορεί να επιλέξει το τμήμα που του ταιριάζει περισσότερο. Σε τεχνικά έγγραφα, αυτό το είδος οργάνωσης παρέχει μια καθαρή και λειτουργική δομή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διεπιστημονική μάθηση ή την εκπαιδευτική ανάλυση διαφορετικών τεχνολογιών, ενθαρρύνοντας την αναλυτική σκέψη και την κριτική σύγκριση των δεδομένων.



Σχήμα 9: 2ο Παράδειγμα Καρτελών (Tabs)

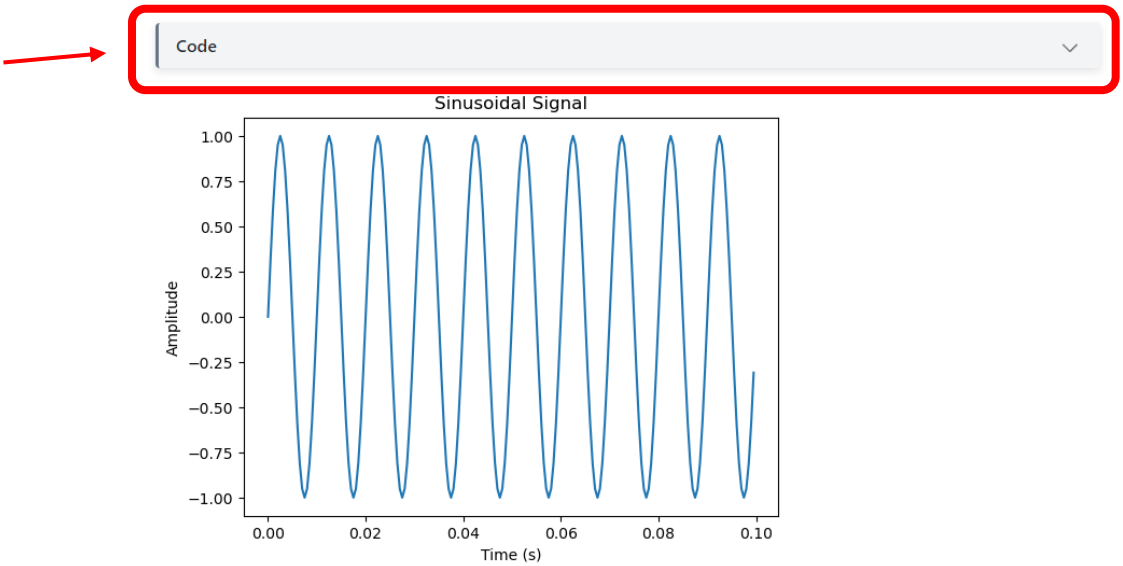
3.4.2 Αναπτυσσόμενα μενού (Dropdown menus)

Η χρήση διαδραστικών στοιχείων σε τεχνικά και επιστημονικά κείμενα αποτελεί μια στρατηγική που ενισχύει την εμπειρία του αναγνώστη, διευκολύνοντας την κατανόηση και την οργάνωση μεγάλου όγκου πληροφοριών. Ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία που χρησιμοποιείται για αυτόν τον σκοπό είναι το dropdown, το οποίο επιτρέπει την απόκρυψη και την εμφάνιση πληροφοριών με τρόπο που διατηρεί τη δομή του κειμένου καθαρή και ευανάγνωστη. Συγκεκριμένα, το dropdown επιτρέπει την προσωρινή απόκρυψη μεγάλων τμημάτων κώδικα, περιγραφών ή τεχνικών αναλύσεων, και την εμφάνισή τους μόνο όταν ο αναγνώστης επιλέξει να τα επεκτείνει. Αυτή η δυνατότητα συμβάλλει στη μείωση της οπτικής επιβάρυνσης του κειμένου και επιτρέπει την παρουσίαση πληροφοριών σε ένα οργανωμένο και δομημένο πλαίσιο.



Σχήμα 10: 1ο Παράδειγμα Αναπτυσσόμενου μενού (dropdown)

Το dropdown εργαλείο είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό όταν το κείμενο περιέχει μεγάλα τμήματα κώδικα ή εκτενείς επεξηγηματικές παραγράφους που, αν εμφανίζονταν πλήρως εξαρχής, θα μπορούσαν να δυσχεράνουν την ανάγνωση του υπόλοιπου περιεχομένου. Η ευελιξία που παρέχει είναι ιδανική για τεχνικά έγγραφα και εκπαιδευτικά υλικά, όπου η παρουσία μεγάλου όγκου δεδομένων είναι συχνή. Οι αναγνώστες έχουν την ευχέρεια να επικεντρώνονται μόνο στα τμήματα που τους ενδιαφέρουν άμεσα, ενώ η δυνατότητα να επεκτείνουν το dropdown όποτε το επιθυμούν προσφέρει μια αίσθηση ελέγχου και διάδρασης με το κείμενο.



Σχήμα 11: 2ο Παράδειγμα Αναπτυσσόμενου μενού (dropdown)

Ο συνδυασμός του Dropdown με τις Καρτέλες (Tabs)

Η ενσωμάτωση του dropdown με τις καρτέλες (tabs) αποτελεί έναν ακόμη πιο προηγμένο τρόπο παρουσίασης περιεχομένου, ιδανικό για περιπτώσεις όπου χρειάζεται να συγκριθούν διαφορετικές προσεγγίσεις, τεχνολογίες ή γλώσσες προγραμματισμού σε ένα ενιαίο περιβάλλον. Οι καρτέλες επιτρέπουν τη διαχωρισμένη παρουσίαση περιεχομένου, όπως διαφορετικές γλώσσες κώδικα, ενώ το dropdown συμπυκνώνει τον συνολικό όγκο του κειμένου, δίνοντας την επιλογή στον αναγνώστη να επεκτείνει μόνο το μέρος που τον ενδιαφέρει.

Για παράδειγμα, σε ένα τεχνικό κείμενο που παρουσιάζει την υλοποίηση ενός αλγορίθμου τόσο σε Python όσο και σε MATLAB, η χρήση καρτελών εντός του dropdown προσφέρει τη δυνατότητα επιλογής μεταξύ των δύο γλωσσών χωρίς να εμφανίζεται ολόκληρος ο κώδικας εξαρχής. Αυτή η οργάνωση βοηθά στην αποφυγή υπερφόρτωσης πληροφοριών, προσφέροντας παράλληλα ευελιξία στην ανάγνωση. Οι καρτέλες εντός του dropdown διευκολύνουν τη γρήγορη εναλλαγή μεταξύ των γλωσσών και των υλοποιήσεων, προσφέροντας μια διαδραστική εμπειρία που προωθεί τη διεπιστημονική μάθηση και τη σύγκριση διαφορετικών προσεγγίσεων.

Συνολικά, ο συνδυασμός dropdown και tabs δημιουργεί ένα εξαιρετικά ευέλικτο, πολυδιάστατο εργαλείο που ενισχύει τη διάδραση, την οργάνωση και την αποτελεσματικότητα στην παρουσίαση τεχνικού υλικού, καθιστώντας το κατάλληλο τόσο για εκπαιδευτικά όσο και για επιστημονικά έγγραφα.

Code

Python Matlab

```python
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# ============================================================================
# 2.1 Create a Sinusoidal Signal
# ============================================================================
Fs = 2000                   # Sampling frequency in Hz
Ts = 1 / Fs                 # Sampling period in seconds
T = 0.1                     # Signal duration in seconds
t = np.arange(0, T, Ts)     # Time vector for signal
A = 1                       # Signal amplitude
x = A * np.sin(2 * np.pi * 100 * t)  # Generate sinusoidal signal
L = len(x)                  # Length of the signal

# Plot the sinusoidal signal in time domain
plt.figure()
plt.plot(t, x)
plt.title('Sinusoidal Signal')
plt.xlabel('Time (s)')
plt.ylabel('Amplitude')
plt.show(block=False)
plt.pause(1)  # Pause to view the plot, press any key in the console to continue
```

Σχήμα 12: Παράδειγμα συνδυασμού καρτελών και αναπτυσσόμενου μενού

3.4.3 Πεδίο τιμών (Value box)

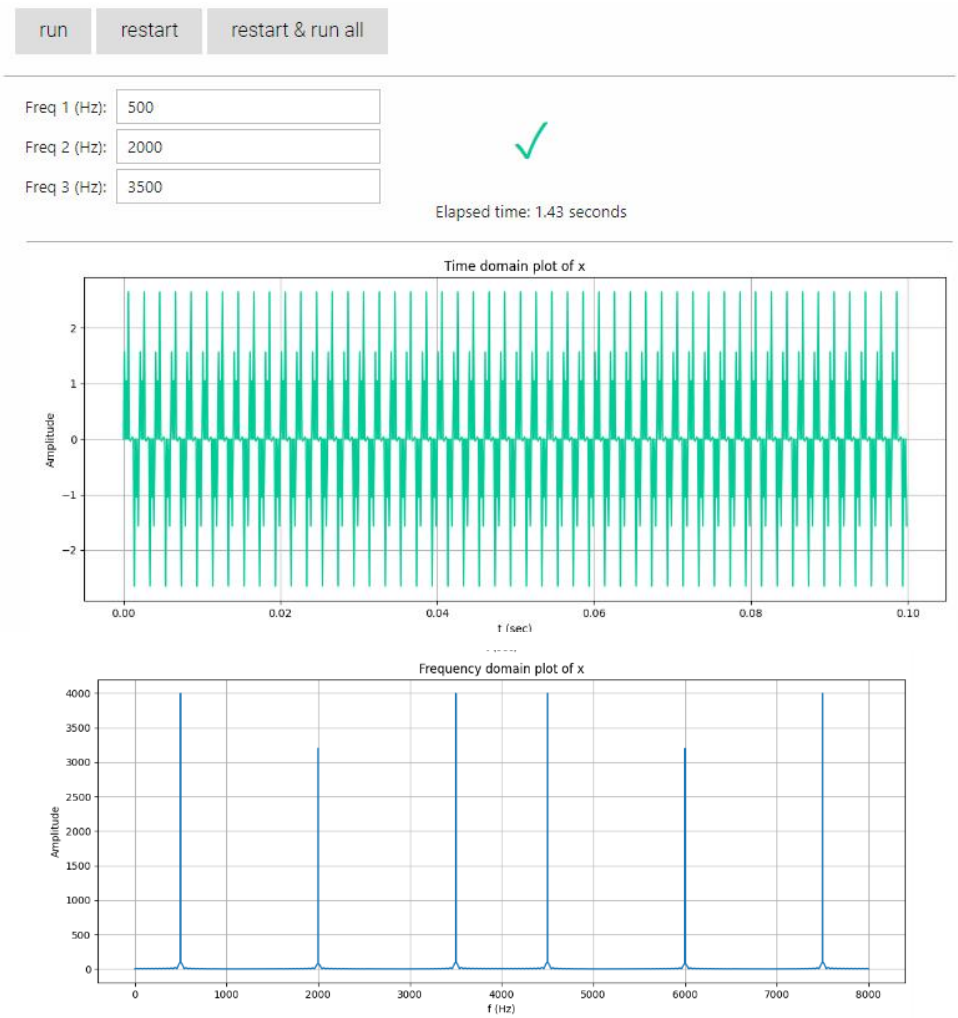
Η χρήση διαδραστικών στοιχείων σε ένα επιστημονικό ή εκπαιδευτικό περιβάλλον αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία για την κατανόηση σύνθετων εννοιών, ιδίως όταν πρόκειται για αναλυτικά μαθήματα που εμπλέκουν μαθηματική επεξεργασία και ανάλυση σημάτων. Τα value boxes, που λειτουργούν ως πεδία εισαγωγής τιμών, αποτελούν ένα ευέλικτο και ισχυρό εργαλείο για τη δημιουργία διαδραστικών εφαρμογών, προσφέροντας στους χρήστες τη δυνατότητα να εισάγουν τιμές και να βλέπουν άμεσα τις αλλαγές στα αποτελέσματα.

Σε ένα εργαστηριακό περιβάλλον όπως αυτό του μαθήματος «Ψηφιακών Επικοινωνιών Ι», τα value boxes επιτρέπουν την εισαγωγή μεταβλητών όπως συχνότητες σημάτων ή τιμές συχνότητας δειγματοληψίας, προσφέροντας μια προσαρμοσμένη εμπειρία για κάθε χρήστη. Κάθε αλλαγή στις τιμές που εισάγονται μέσω των value boxes ανανεώνει δυναμικά την αναπαράσταση του σήματος και τα σχετικά γραφήματα, χωρίς να απαιτείται η χειροκίνητη επεξεργασία του κώδικα ή η επανεκκίνηση της διαδικασίας. Η διαδραστικότητα αυτή επιτρέπει στους φοιτητές και στους ερευνητές να εξετάσουν γρήγορα και αποτελεσματικά διαφορετικά σενάρια και παραμέτρους, διευκολύνοντας τη βαθύτερη κατανόηση των εννοιών που σχετίζονται με την ψηφιακή επεξεργασία σημάτων.

Σχήμα 13: 1ο Παράδειγμα πεδίου τιμών

Η Δυναμική Ενημέρωση με Value Boxes

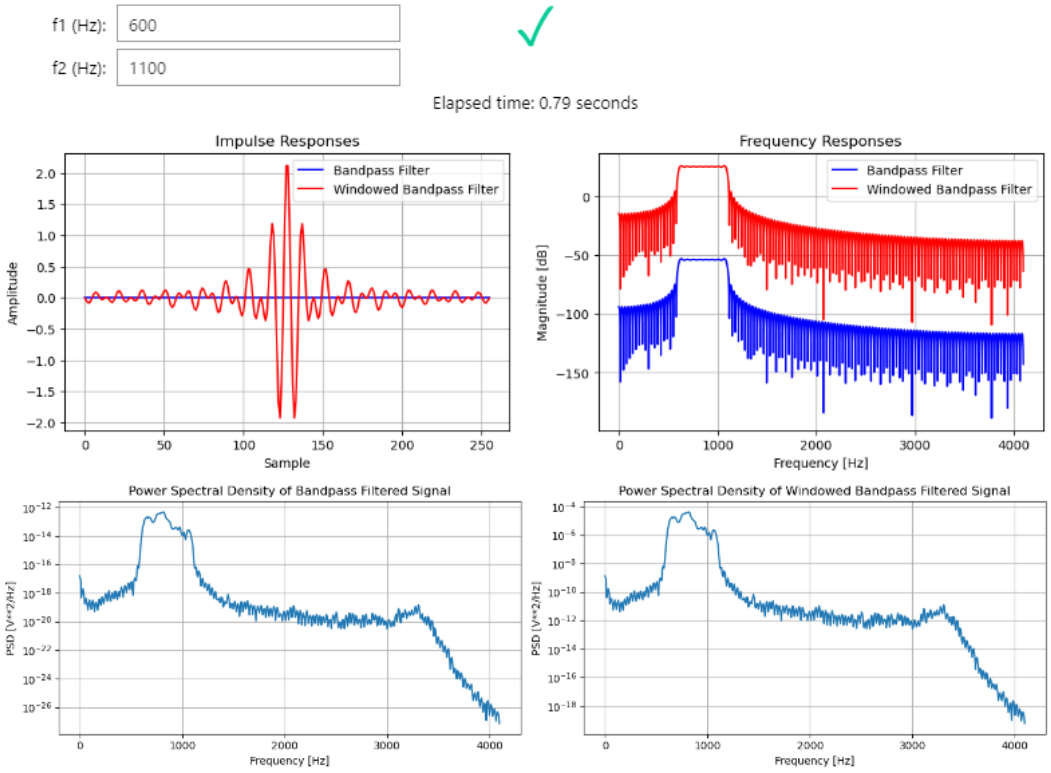
Η δυναμική ενημέρωση μέσω value boxes βασίζεται στην αλληλεπίδραση του χρήστη με την εφαρμογή, δίνοντας τη δυνατότητα άμεσης τροποποίησης των τιμών των μεταβλητών και επανασχεδιασμού των γραφημάτων σε πραγματικό χρόνο. Αυτό επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση κώδικα που συνδέει τα value boxes με τις αντίστοιχες παραμέτρους του σήματος, όπως οι συχνότητες. Σε ένα παράδειγμα όπου η ανάλυση αφορά ένα μείγμα διακριτών ημιτόνων, οι φοιτητές μπορούν να εισάγουν τιμές συχνοτήτων μέσω των text boxes, τα οποία είναι κωδικοποιημένα με ονόματα όπως freq1, freq2 και freq3 για την αντιστοίχιση με τις συχνότητες του σήματος. Αυτή η αλληλεπίδραση επιτρέπει την άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων με διαφορετικές τιμές και την παρακολούθηση του τρόπου με τον οποίο επηρεάζεται το σήμα σε πραγματικό χρόνο.



Σχήμα 14: 2ο Παράδειγμα πεδίου κειμένου

Επιστημονική Τεκμηρίωση και Εκπαιδευτική Αξία

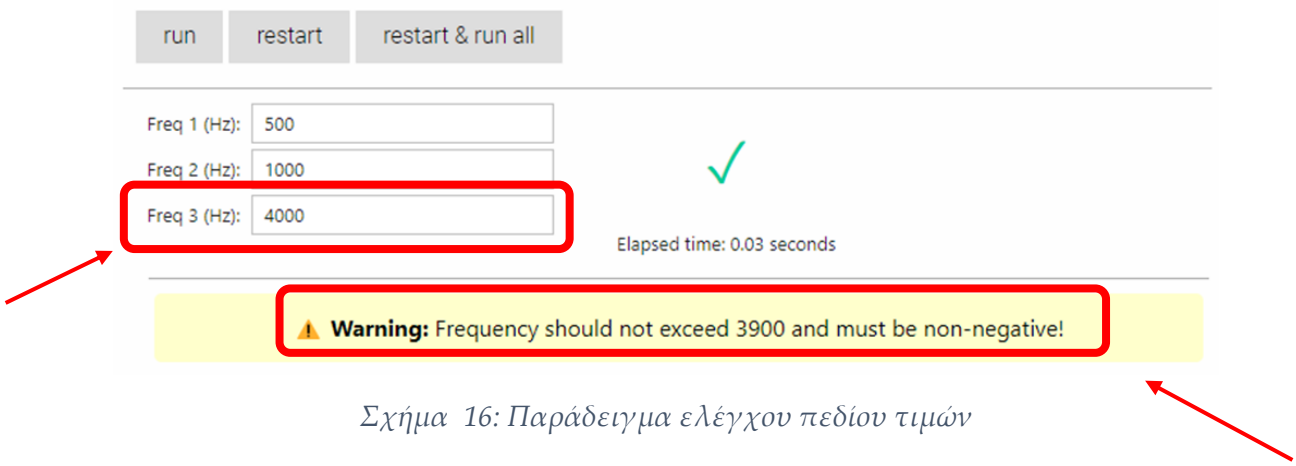
Η ενσωμάτωση value boxes σε εργαστηριακές εφαρμογές προσφέρει ουσιαστικά πλεονεκτήματα σε επιστημονικές και εκπαιδευτικές δραστηριότητες. Από επιστημονική άποψη, η δυνατότητα άμεσης ενημέρωσης των τιμών των παραμέτρων χωρίς την ανάγκη επανεκκίνησης του κώδικα βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της ανάλυσης και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων. Οι χρήστες μπορούν να δοκιμάσουν πολλές διαφορετικές παραμέτρους γρήγορα, ενθαρρύνοντας την ανάλυση σε βάθος. Στην εκπαιδευτική διαδικασία, αυτό το εργαλείο προσφέρει ένα πιο ευέλικτο και φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον μάθησης, όπου οι φοιτητές μπορούν να πειραματιστούν και να κατανοήσουν καλύτερα τις συνέπειες των αλλαγών στις παραμέτρους των σημάτων.



Σχήμα 15: 3ο Παράδειγμα πεδίου κειμένου

Συνολικά, η χρήση των value boxes ενισχύει τη διαδραστικότητα και την ευελιξία στην εκπαιδευτική και επιστημονική ανάλυση, παρέχοντας ένα εργαλείο που επιτρέπει την άμεση αλληλεπίδραση του χρήστη με το περιεχόμενο και τη δημιουργία δυναμικών γραφημάτων με βάση τις προτιμήσεις και τις ανάγκες του χρήστη.

Ο κώδικας ελέγχει αν οι τιμές των συχνοτήτων υπερβαίνουν το επιτρεπτό όριο (3900 Hz) ή αν είναι αρνητικές. Σε περίπτωση μη έγκυρης τιμής, εμφανίζεται προειδοποιητικό μήνυμα και η οπτικοποίηση διακόπτεται, προστατεύοντας το σύστημα από σφάλματα ή μη ρεαλιστικές εισόδους.



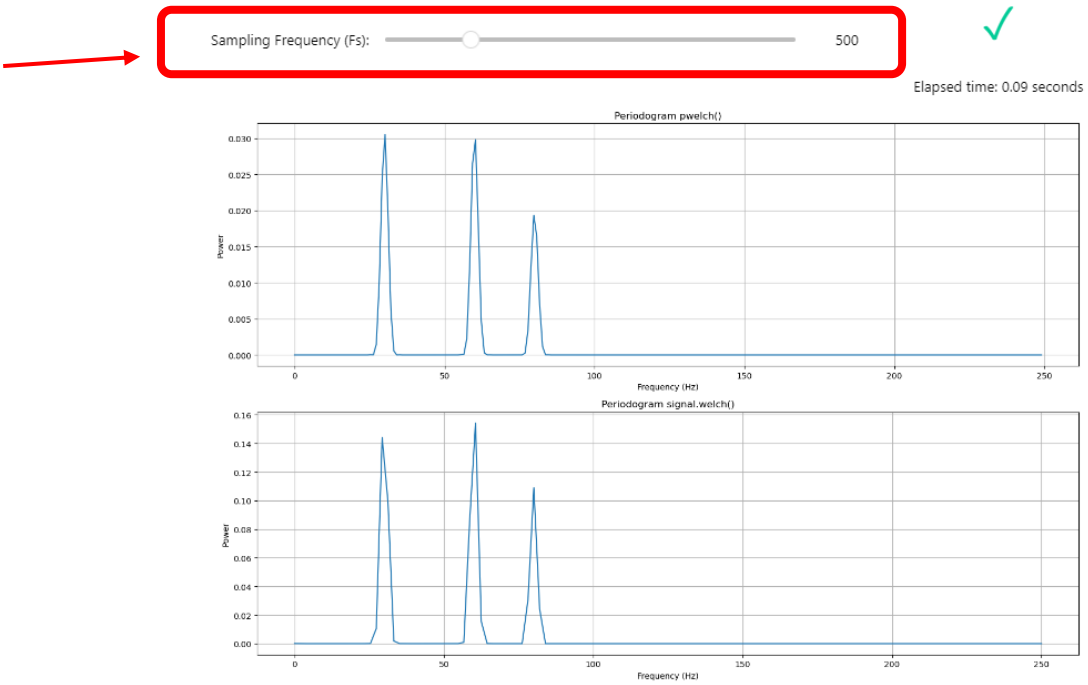
Σχήμα 16: Παράδειγμα ελέγχου πεδίου τιμών

3.4.4 Ολισθητής (Slider)

Οι sliders (ολισθητές) αποτελούν ένα από τα πιο διαδραστικά και εύχρηστα εργαλεία σε εκπαιδευτικά και επιστημονικά περιβάλλοντα, καθώς επιτρέπουν στους χρήστες να προσαρμόζουν δυναμικά τις τιμές των παραμέτρων στον συνεχή άξονα τιμών και να παρατηρούν άμεσα τις αλλαγές στα αποτελέσματα. Η χρήση των sliders προσφέρει έναν ευέλικτο και διαισθητικό τρόπο χειρισμού σύνθετων παραμέτρων, όπως είναι η συχνότητα, το πλάτος ή η φάση των σημάτων, σε πραγματικό χρόνο, χωρίς να απαιτείται η άμεση εισαγωγή αριθμητικών τιμών ή η επαναφορά του κώδικα.

Διαδραστικότητα μέσω Sliders

Η διαδραστικότητα που προσφέρουν οι sliders ενισχύει σημαντικά την εμπειρία του χρήστη, καθώς επιτρέπει την προσαρμογή τιμών με τρόπο συνεχή και άμεσο. Η δυνατότητα να αλλάζουν οι τιμές των παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο και να ενημερώνεται αυτόματα το αντίστοιχο διάγραμμα ή το αποτέλεσμα βοηθά τους χρήστες να αποκτήσουν μια διαισθητική κατανόηση των σχέσεων μεταξύ των παραμέτρων. Στα μαθήματα ψηφιακών επικοινωνιών και επεξεργασίας σημάτων, για παράδειγμα, οι sliders μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη ρύθμιση παραμέτρων όπως είναι η συχνότητα δειγματοληψίας, το πλάτος ή η συχνότητα ενός σήματος, επιτρέποντας τη δυναμική αναπαράσταση του σήματος και των σχετικών γραφημάτων.

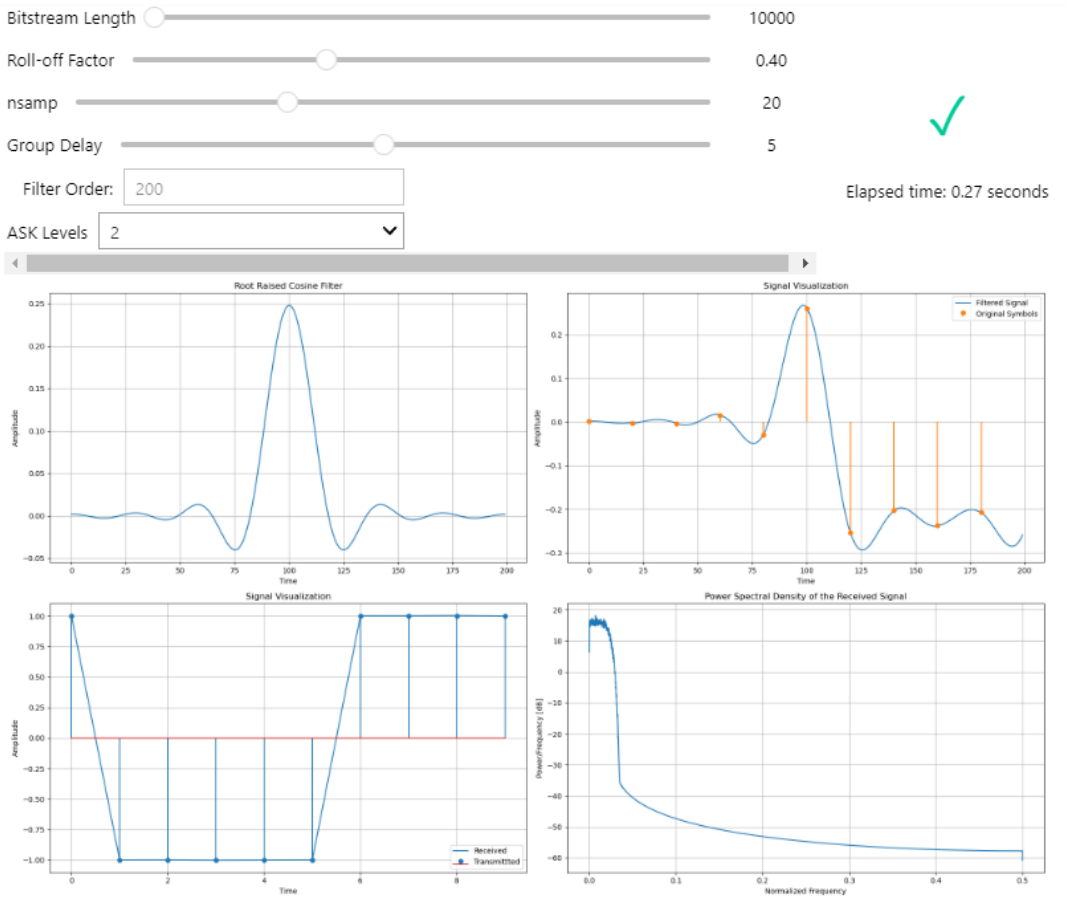


Σχήμα 17: 1ο Παράδειγμα ολισθητή

Οι sliders διασφαλίζουν ότι ο χρήστης μπορεί να δοκιμάσει πολλές διαφορετικές παραμέτρους γρήγορα και αποτελεσματικά, χωρίς την ανάγκη για επαναλαμβανόμενη χειροκίνητη εισαγωγή δεδομένων ή ανανέωση του κώδικα. Αυτό αυξάνει την παραγωγικότητα και την αμεσότητα στην ανάλυση των αποτελεσμάτων, ενώ παράλληλα ενθαρρύνει τον πειραματισμό και τη σύγκριση διαφορετικών σεναρίων.

Δυναμική Ενημέρωση και Οπτικοποίηση

Σε επιστημονικά πλαίσια, οι sliders μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δυναμική ενημέρωση και οπτικοποίηση των δεδομένων. Η συνεχής μεταβολή των τιμών μιας μεταβλητής επιτρέπει την παρατήρηση της επίδρασης αυτής της μεταβολής στα αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο, γεγονός που βοηθά στην κατανόηση των μαθηματικών σχέσεων και των λειτουργιών των σημάτων. Για παράδειγμα, σε ένα εργαστηριακό περιβάλλον όπου αναλύεται ένα ημιτονοειδές σήμα, οι sliders επιτρέπουν τη συνεχή αλλαγή της συχνότητας και την άμεση οπτικοποίηση της επίδρασης αυτής στο σήμα.



Σχήμα 18: 2ο Παράδειγμα ολισθητή

Οι sliders που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες παραμέτρους, όπως είναι η συχνότητα ή το πλάτος, επιτρέπουν την άμεση παρακολούθηση του τρόπου με τον οποίο οι

μεταβολές αυτών των παραμέτρων αλλάζουν το σήμα ή τα γραφήματα που το συνοδεύουν. Αυτή η προσέγγιση καθιστά τον χρήστη πιο ενεργό στην ανάλυση, διευκολύνοντας τη σύγκριση και την κατανόηση σύνθετων σχέσεων.

Επιστημονική και Εκπαιδευτική Αξία

Η ενσωμάτωση sliders σε εκπαιδευτικά και επιστημονικά εργαλεία ενισχύει την εμπειρία μάθησης και ανάλυσης, παρέχοντας έναν πρακτικό και διαδραστικό τρόπο πειραματισμού με παραμέτρους. Στην επιστημονική τεκμηρίωση, οι sliders μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρουσίαση ευέλικτων παραδειγμάτων, όπου ο αναγνώστης μπορεί να ρυθμίσει τις παραμέτρους για να κατανοήσει καλύτερα τις μεταβλητές και τα δεδομένα. Σε εκπαιδευτικό επίπεδο, οι sliders προσφέρουν μια ενεργή μορφή μάθησης, όπου οι φοιτητές μπορούν να εξετάσουν τις συνέπειες των αλλαγών σε παραμέτρους χωρίς να απαιτείται η κατανόηση όλων των λεπτομερειών του κώδικα.

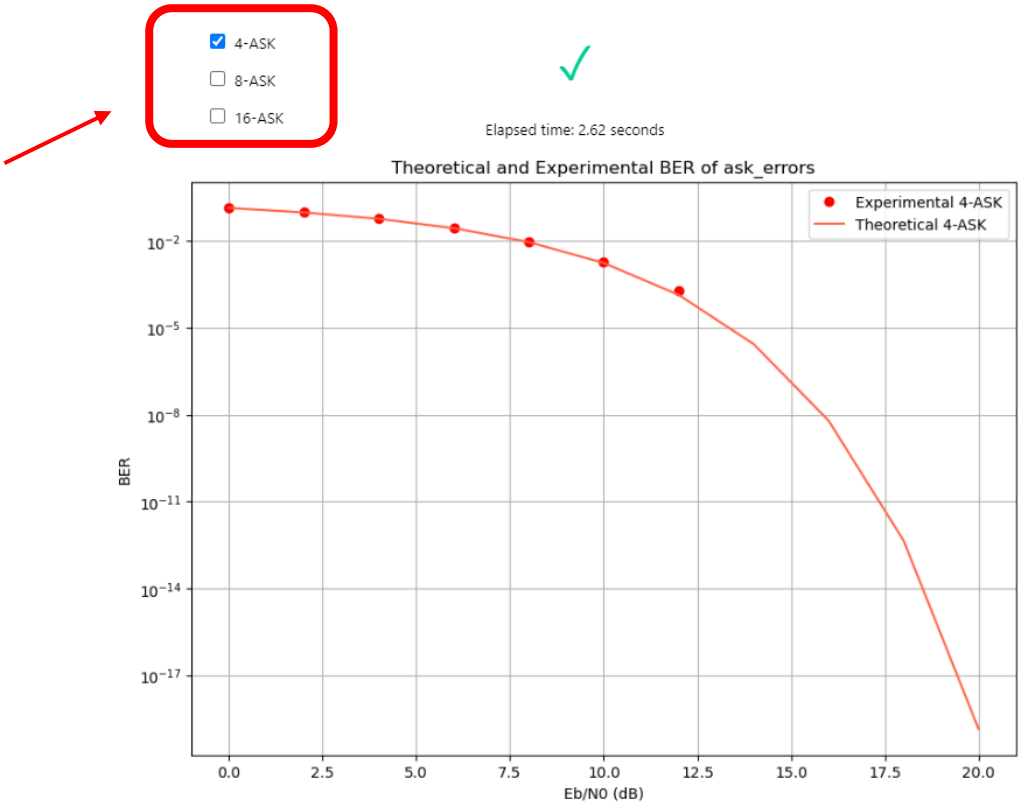
Συνολικά, οι sliders αποτελούν ένα ισχυρό εργαλείο για την αλληλεπίδραση του χρήστη με το περιεχόμενο, προσφέροντας δυνατότητες για πιο αποτελεσματική ανάλυση και κατανόηση σύνθετων επιστημονικών εννοιών και σχέσεων.

3.4.5 Πλαίσια επιλογών (Checkboxes)

Τα checkboxes αποτελούν ένα εξαιρετικά χρήσιμο και διαδραστικό εργαλείο σε εκπαιδευτικά και επιστημονικά περιβάλλοντα, ειδικά σε περιπτώσεις όπου ο χρήστης καλείται να επιλέξει μεταξύ πολλαπλών επιλογών ή να ενεργοποιήσει/απενεργοποιήσει συγκεκριμένες λειτουργίες. Το πλεονέκτημα των checkboxes έγκειται στην απλότητά τους, καθώς παρέχουν έναν άμεσο και οπτικά κατανοητό τρόπο για την ενεργοποίηση ή την απόρριψη μιας επιλογής χωρίς την ανάγκη εισαγωγής κειμένου ή πιο περίπλοκων αλληλεπιδράσεων.

Διαδραστικότητα μέσω Checkboxes

Η διαδραστικότητα των checkboxes βασίζεται στη δυνατότητα που παρέχουν στον χρήστη να επιλέξει ποια χαρακτηριστικά ή δεδομένα επιθυμεί να ενεργοποιήσει. Για παράδειγμα, σε ένα περιβάλλον ανάλυσης σημάτων, τα checkboxes μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιλογή συγκεκριμένων φίλτρων ή γραφημάτων που θέλει να ενεργοποιήσει ο χρήστης. Κάθε επιλογή που γίνεται μέσω ενός checkbox ενημερώνει άμεσα το περιεχόμενο που παρουσιάζεται ή επεξεργάζεται στην εφαρμογή, χωρίς να απαιτείται η επανεκκίνηση της διαδικασίας.

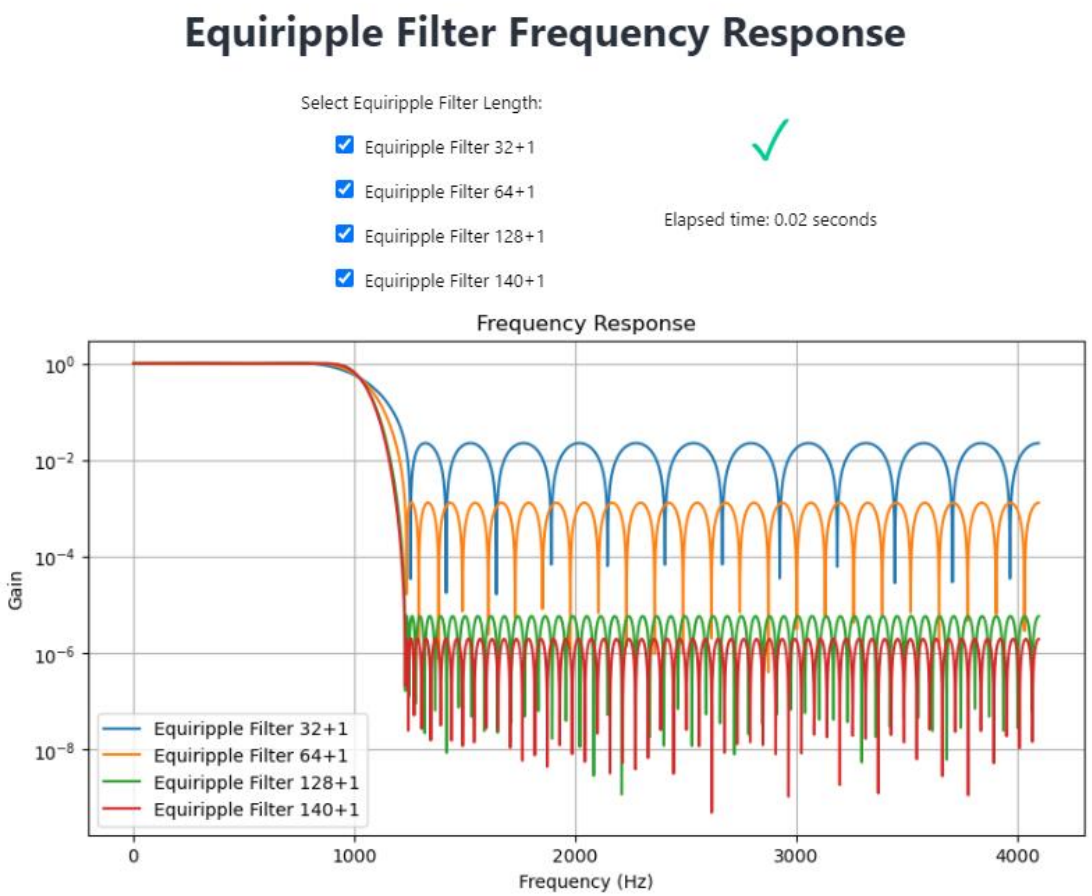


Σχήμα 19: 1ο Παράδειγμα πλαισίου επιλογής

Σε πρακτικό επίπεδο, αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να εμφανίσει ή να αποκρύψει συγκεκριμένα γραφήματα, να ενεργοποιήσει πρόσθετες λειτουργίες ή να περιλάβει διαφορετικές παραμέτρους στην ανάλυσή του. Αυτή η διαδραστικότητα επιτρέπει μια πιο ευέλικτη και προσαρμόσιμη εμπειρία, καθώς το περιεχόμενο προσαρμόζεται στις ανάγκες και στις προτιμήσεις του χρήστη.

Εφαρμογές Checkboxes σε Επιστημονικά Πλαίσια

Στην επιστημονική τεκμηρίωση, τα checkboxes χρησιμοποιούνται συχνά για να διευκολύνουν τη διαχείριση σύνθετων σεναρίων και δεδομένων. Ένα παράδειγμα αυτής της χρήσης είναι η παρουσίαση διαφορετικών σεναρίων σε ένα τεχνικό ή επιστημονικό έγγραφο, όπου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ποια δεδομένα ή ποιους υπολογισμούς θα συμπεριλάβει. Για παράδειγμα, σε ένα εργαλείο ανάλυσης σημάτων, τα checkboxes μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιλογή μεταξύ διάφορων τύπων φασματικών αναλύσεων ή για την εμφάνιση διαφορετικών σημάτων ταυτόχρονα. Η άμεση αλληλεπίδραση που προσφέρουν επιτρέπει την ταχύτατη σύγκριση διαφορετικών επιλογών και την προσαρμογή της ανάλυσης ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη.



Σχήμα 20: 2ο Παράδειγμα πλαισίου επιλογών

Από εκπαιδευτικής άποψης, τα checkboxes είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά καθώς επιτρέπουν στους φοιτητές να πειραματιστούν με διαφορετικά χαρακτηριστικά ή παραμέτρους χωρίς να επηρεάζουν το συνολικό σύστημα ή να αναγκάζονται να επαναφέρουν δεδομένα. Για παράδειγμα, σε ένα μάθημα που ασχολείται με την ανάλυση σημάτων, ο φοιτητής μπορεί να επιλέξει μέσω των checkboxes ποια φίλτρα θα εφαρμόσει ή ποια χαρακτηριστικά του σήματος θέλει να αναλύσει, ενώ η εφαρμογή ενημερώνει αυτόματα τα αντίστοιχα γραφήματα και αποτελέσματα.

Ευελιξία και Διαδραστική Ανάλυση

Η ευελιξία που προσφέρουν τα checkboxes είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται να γίνει ανάλυση πολλαπλών παραμέτρων ή να εφαρμοστούν διαφορετικές τεχνικές σε μια ακολουθία σημάτων. Ο χρήστης μπορεί να ελέγξει εύκολα ποιες λειτουργίες θα ενεργοποιηθούν και ποιες θα παραλειφθούν, προσαρμόζοντας τη διεργασία σύμφωνα με τις ανάγκες του χωρίς περιττές αλληλεπιδράσεις. Η χρήση τους ενθαρρύνει μια πιο ενεργή προσέγγιση στην ανάλυση δεδομένων και στην πειραματική διεργασία, καθώς ο χρήστης μπορεί να εξερευνήσει ελεύθερα διαφορετικές επιλογές.

Επιστημονική και Εκπαιδευτική Αξία

Η χρήση checkboxes προσθέτει σημαντική αξία τόσο στην επιστημονική τεκμηρίωση όσο και στην εκπαιδευτική διαδικασία. Σε επιστημονικά έγγραφα, οι checkboxes μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρουσίαση πολύπλοκων σεναρίων, δίνοντας στους αναγνώστες τη δυνατότητα να επιλέξουν ποιες παραμέτρους ή ποια σενάρια θα εξετάσουν. Στην εκπαιδευτική διαδικασία, προσφέρουν ένα διαδραστικό εργαλείο που ενισχύει την αφομοίωση και την κατανόηση σύνθετων εννοιών, επιτρέποντας στους φοιτητές να ενεργοποιήσουν διαφορετικές λειτουργίες με απλό και κατανοητό τρόπο.

Συνολικά, τα checkboxes αποτελούν ένα ισχυρό διαδραστικό εργαλείο που διευκολύνει την επιλογή, την ανάλυση και τη σύγκριση δεδομένων ή λειτουργιών, προσφέροντας στον χρήστη μια πιο ευέλικτη και προσαρμοσμένη εμπειρία στην επιστημονική και εκπαιδευτική ανάλυση.

3.4.6 Loading Animation - Χρονομετρητής (Timer)

Στη σύγχρονη ανάπτυξη λογισμικού, ιδιαίτερα σε εφαρμογές επιστημονικής οπτικοποίησης και υπολογιστικής, η εμπειρία του χρήστη παίζει καθοριστικό ρόλο. Η ενσωμάτωση διαδραστικών στοιχείων, όπως του loading animation και του χρονομετρητή, βελτιώνει σημαντικά τη διαδραστικότητα της εφαρμογής, καθιστώντας τη λειτουργία πιο κατανοητή και φιλική προς τον χρήστη.

Loading Animation

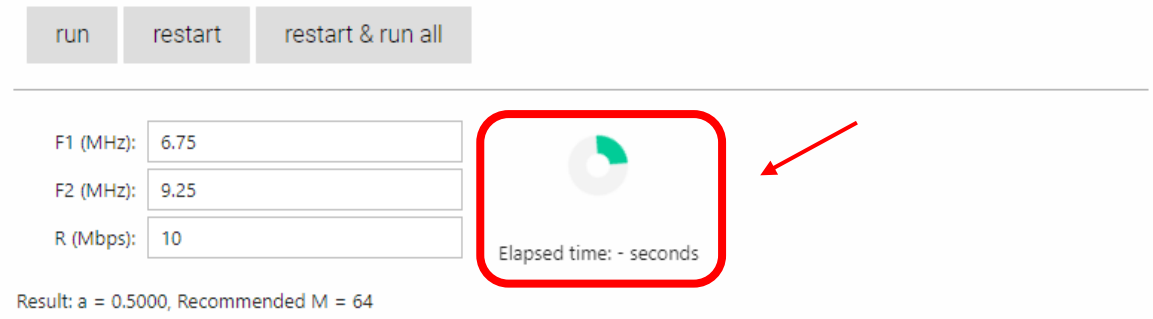
Το loading animation που χρησιμοποιήθηκε στην εφαρμογή παρέχει οπτική ανατροφοδότηση στον χρήστη, υποδεικνύοντας ότι το σύστημα επεξεργάζεται δεδομένα και εκτελεί υπολογισμούς στο παρασκήνιο. Η απουσία οπτικής ένδειξης κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης μπορεί να προκαλέσει σύγχυση ή αβεβαιότητα σχετικά με την κατάσταση της διαδικασίας. Με την προσθήκη αυτού του οπτικού στοιχείου, ο χρήστης γνωρίζει ότι η διαδικασία βρίσκεται σε εξέλιξη, βελτιώνοντας έτσι την εμπειρία αλληλεπίδρασης.

Το animation αποτελείται από ένα κυκλικό στοιχείο που περιστρέφεται συνεχώς, προσομοιώνοντας μια διαδικασία επεξεργασίας. Το στοιχείο αυτό υλοποιήθηκε με τη χρήση CSS, όπου η περιστροφή επιτυγχάνεται με την εντολή @keyframes spin, η οποία ανανεώνει την περιστροφή του στοιχείου σε διαρκή βάση. Το χρώμα και η μορφή της κίνησης επιλέχθηκαν προσεκτικά για να δημιουργούν ένα αισθητικά ευχάριστο και ταυτόχρονα απλό animation, που δεν αποσπά την προσοχή από τον βασικό στόχο της εφαρμογής.

Ο χρονομετρητής (timer) σε ένα διαδραστικό περιβάλλον αποτελεί ένα κρίσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση και τη μέτρηση του χρόνου εκτέλεσης διεργασιών ή λειτουργιών. Σε τεχνικά και επιστημονικά πλαίσια, όπως αυτά που αφορούν την ανάλυση σημάτων ή την επεξεργασία δεδομένων, η χρήση ενός timer μπορεί να παρέχει πολύτιμη πληροφόρηση για την απόδοση των αλγορίθμων, την ταχύτητα υπολογισμών, καθώς και τη βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη, παρέχοντάς του άμεση ενημέρωση για τη διάρκεια κάθε διαδικασίας.

Διαδραστικότητα μέσω Timer

Ο timer προσφέρει διαδραστικότητα, παρέχοντας στον χρήστη συνεχείς ενημερώσεις σχετικά με τον χρόνο που έχει παρέλθει κατά την εκτέλεση μιας διεργασίας. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε εφαρμογές όπου οι υπολογισμοί μπορεί να διαρκέσουν αρκετά, όπως η γρήγορη αντιστροφή Fourier (IFFT) ή η παραγωγή μεγάλων συνόλων δεδομένων για την αναπαράσταση γραφημάτων. Η δυνατότητα του χρήστη να παρακολουθεί τον χρόνο εκτέλεσης σε πραγματικό χρόνο ενισχύει την αίσθηση ελέγχου και την κατανόηση της επίδρασης των παραμέτρων στη διάρκεια της διαδικασίας.



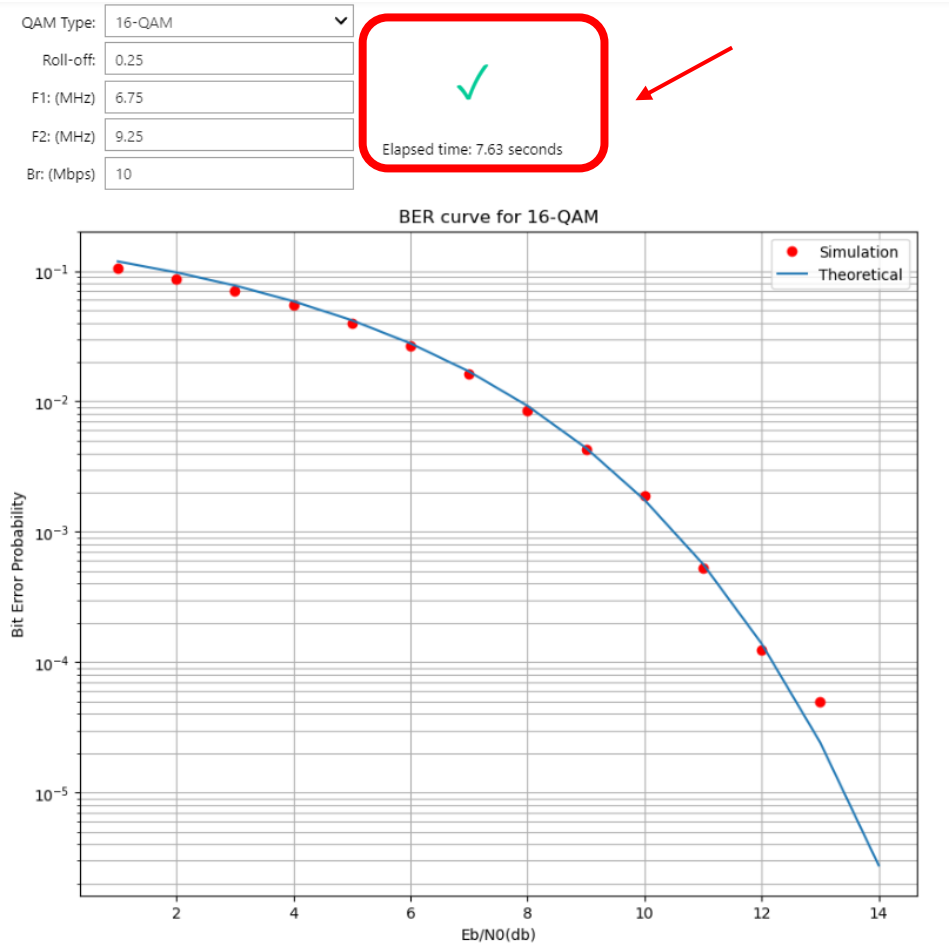
Σχήμα 21: 1ο Παράδειγμα χρονομετρητή

Στο παράδειγμα της ανάλυσης σημάτων, ο timer μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετρήσει τον χρόνο που απαιτείται για την κατασκευή και την οπτικοποίηση γραφημάτων, τη φασματική ανάλυση μέσω FFT, καθώς και τη δημιουργία τυχαίου θορύβου. Η εμφάνιση του χρονικού διαστήματος σε πραγματικό χρόνο βοηθά τους χρήστες να εκτιμήσουν πόσο αποδοτικά τρέχει ο αλγόριθμος για τα δεδομένα που έχουν επιλέξει, δίνοντάς τους επίσης τη δυνατότητα να πειραματιστούν με την απόδοση του συστήματος.

Επιστημονική Αξία του Timer

Σε επιστημονικά περιβάλλοντα, η δυνατότητα μέτρησης χρόνου είναι εξαιρετικά σημαντική για την αξιολόγηση της απόδοσης αλγορίθμων και συστημάτων. Ο χρόνος εκτέλεσης ενός αλγορίθμου αποτελεί ένα από τα βασικά μέτρα της απόδοσής του, και η χρήση ενός timer επιτρέπει τον εντοπισμό σημείων βελτιστοποίησης ή την αξιολόγηση των επιδόσεων σε διαφορετικά σενάρια. Για παράδειγμα, όταν ένας χρήστης μεταβάλει

τις παραμέτρους ενός αλγορίθμου, μπορεί να παρατηρήσει πώς αλλάζει ο χρόνος εκτέλεσης και να αναπροσαρμόσει τις επιλογές του ώστε να επιτύχει καλύτερα αποτελέσματα.



Σχήμα 22: 2ο Παράδειγμα χρονομετρητή

Στα εκπαιδευτικά πλαίσια, η ενσωμάτωση ενός timer βοηθά τους φοιτητές να κατανοήσουν πώς η πολυπλοκότητα ενός αλγορίθμου ή η ποσότητα δεδομένων που χρησιμοποιείται μπορεί να επηρεάσει τον χρόνο εκτέλεσης. Οι φοιτητές μπορούν να παρακολουθήσουν άμεσα την επίδραση των αλλαγών στις παραμέτρους τους και να κατανοήσουν την έννοια της αποδοτικότητας υπολογισμών.

Διαδραστική Βελτίωση της Εμπειρίας Χρήστη

Η προσθήκη ενός timer προσφέρει στους χρήστες ένα επίπεδο διάδρασης που ενισχύει την εμπειρία τους κατά τη χρήση μιας εφαρμογής. Παρέχοντας πληροφορίες για τον χρόνο εκτέλεσης των λειτουργιών, ο χρήστης μπορεί να παρακολουθήσει τη διαδικασία σε πραγματικό χρόνο, χωρίς να χρειάζεται να υπολογίζει εκ νέου ή να βασίζεται σε μη ορατούς μηχανισμούς για να εκτιμήσει τον χρόνο που απαιτείται για την εκτέλεση ενός υπολογισμού.

Επιπλέον, ο timer μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο για τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος, παρέχοντας στον χρήστη τη δυνατότητα να εντοπίζει αργούς υπολογισμούς ή διαδικασίες που απαιτούν περισσότερη βελτιστοποίηση. Η άμεση πληροφόρηση για τον χρόνο που απομένει σε μια διαδικασία ή τον συνολικό χρόνο εκτέλεσης μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση της απόδοσης της εφαρμογής και στη λήψη αποφάσεων για μελλοντικές βελτιώσεις.

Ενδεικτικό παράδειγμα κώδικα υλοποίησης Animation loader – Timer:

```
# Loading animation
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey */
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue */
                                   border-radius: 50%;
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite;'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }
        100% { transform: rotate(360deg); }
    }
    </style>
    """
done = """
        <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center;
height: 80px;'>
            <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>
        </div>
        """
loader_html1 = widgets.HTML(
  value=loading
)
timer_html1 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"
)
```

Συμπέρασμα

Ο timer είναι ένα εξαιρετικά χρήσιμο και διαδραστικό εργαλείο για την επιστημονική και εκπαιδευτική τεκμηρίωση. Προσφέρει τη δυνατότητα μέτρησης του χρόνου εκτέλεσης σε πραγματικό χρόνο, συμβάλλοντας στη βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη και στην ανάλυση της απόδοσης των αλγορίθμων. Στα επιστημονικά και τεχνικά πεδία, η παρακολούθηση του χρόνου είναι καίρια για την αξιολόγηση των υπολογιστικών

επιδόσεων και την κατανόηση της αποδοτικότητας των μεθόδων, ενώ σε εκπαιδευτικά πλαίσια προσφέρει σημαντικές γνώσεις στους φοιτητές για τον τρόπο λειτουργίας των αλγορίθμων.

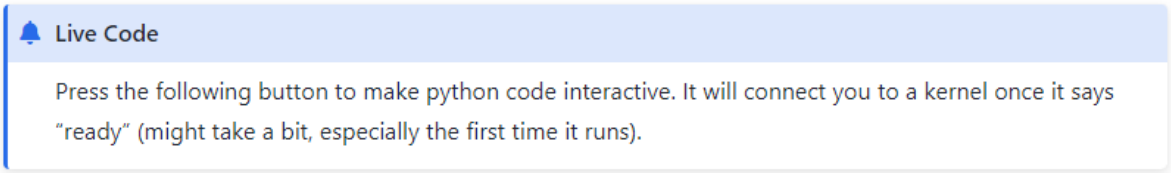
3.4.7 MyST Markdown

Το MyST Markdown (Markedly Structured Text) είναι μια επέκταση του τυπικού Markdown, σχεδιασμένη ειδικά για τη δημιουργία τεχνικής τεκμηρίωσης και εκπαιδευτικού υλικού μέσα σε πλατφόρμες όπως στο Jupyter Book. Παρέχει πρόσθετες λειτουργίες, όπως τη δυνατότητα δημιουργίας διαδραστικών στοιχείων, την ενσωμάτωση κώδικα και εξισώσεων, καθώς και την εύκολη διαχείριση υποσημειώσεων, παραπομπών και άλλων χαρακτηριστικών που δεν υποστηρίζονται στο κλασικό Markdown.

Εκπαιδευτικά Πλεονεκτήματα του MyST Markdown

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του MyST Markdown είναι η ικανότητά του να συνδυάζει τη δύναμη της τεκμηρίωσης με τη διαδραστικότητα του Jupyter Book. Αυτό έχει σημαντικό αντίκτυπο στη διαδικασία μάθησης και κατανόησης, επιτρέποντας στους χρήστες τα ακόλουθα:

- Να ενσωματώνουν Κώδικα και Εκτελέσιμα Παραδείγματα: Το MyST Markdown υποστηρίζει την ενσωμάτωση κώδικα Python και άλλων γλωσσών προγραμματισμού απευθείας στο κείμενο. Αυτό επιτρέπει στους μαθητές να εκτελούν παραδείγματα κώδικα σε πραγματικό χρόνο και να πειραματίζονται με τις παραμέτρους τους, ενισχύοντας έτσι τη διαδραστικότητα και τη hands-on προσέγγιση στη μάθηση.
- Εξισώσεις και Μαθηματικά Σύμβολα: Χρησιμοποιώντας το LaTeX και το MathJax, το MyST Markdown επιτρέπει την ενσωμάτωση σύνθετων μαθηματικών εξισώσεων, κάτι που είναι κρίσιμο για εκπαιδευτικά βιβλία σε επιστημονικά και τεχνικά πεδία. Οι εξισώσεις μπορούν να απεικονιστούν απευθείας μέσα στο κείμενο ή να αναφέρονται σε μπλοκ, κάνοντας τη θεωρητική ανάλυση πιο κατανοητή.

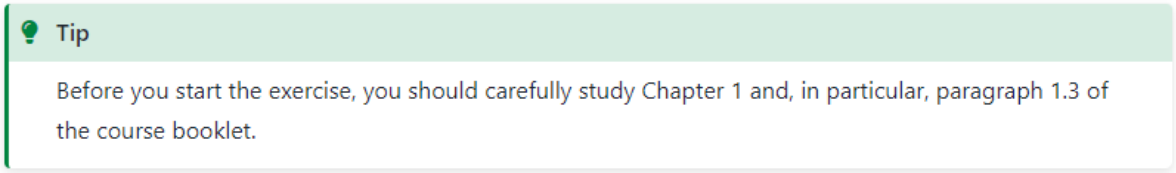


Σχήμα 23: Information box markdown

- Διαδραστικά Widgets: Το MyST Markdown μπορεί να ενσωματώσει διαδραστικά widgets μέσω βιβλιοθηκών όπως τα ipywidgets, προσφέροντας στους χρήστες τη δυνατότητα να αλληλεπιδρούν με τα δεδομένα. Οι χρήστες μπορούν να αλλάζουν τιμές και να βλέπουν πώς αυτές οι αλλαγές επηρεάζουν τα αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο, κάτι που βοηθάει ιδιαίτερα στην κατανόηση πολύπλοκων εννοιών.
- Προηγμένη Τεκμηρίωση: Το MyST Markdown επιτρέπει τη δημιουργία καλά δομημένων τεχνικών κειμένων, με δυνατότητες όπως αυτόματη δημιουργία πινάκων περιεχομένων, σημειώσεων, παραπομπών και σχολίων. Αυτό διευκολύνει τόσο τους εκπαιδευτικούς να δημιουργούν σαφή και οργανωμένα μαθήματα όσο και τους μαθητές/φοιτητές να ακολουθούν την ύλη με ευκολία.
- Συνδέσεις με Jupyter Notebooks: Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του MyST είναι η δυνατότητα να ενσωματώνει και να μετατρέπει Jupyter Notebooks σε τεχνικά έγγραφα. Έτσι, οι χρήστες μπορούν να μετατρέπουν τα notebooks τους σε καλά δομημένα βιβλία ή σε άλλα εκπαιδευτικά μέσα, ενώ ταυτόχρονα διατηρούνται όλες οι δυνατότητες εκτέλεσης του κώδικα και της διαδραστικότητας.

Επίδραση στην Κατανόηση και στη Μάθηση

Η χρήση του MyST Markdown στο Jupyter Book προσφέρει έναν διαδραστικό τρόπο διδασκαλίας και μάθησης, ιδιαίτερα στα τεχνικά και επιστημονικά πεδία, όπου ο κώδικας, οι εξισώσεις και τα δεδομένα είναι βασικά εργαλεία κατανόησης. Μέσα από αυτήν τη διαδραστικότητα, οι χρήστες δεν αρκούνται σε παθητική ανάγνωση αλλά συμμετέχουν ενεργά στη διαδικασία, κατανοώντας βαθύτερα τις έννοιες και τις εφαρμογές τους.



Σχήμα 24: Tip box markdown

Η δυνατότητα να δοκιμάζουν αμέσως τις θεωρίες τους, να αλληλεπιδρούν με τα δεδομένα και να βλέπουν σε πραγματικό χρόνο τα αποτελέσματα αυξάνει την αυτονομία τους και ενισχύει την αφομοίωση της γνώσης. Αυτός ο τρόπος μάθησης όχι μόνο επιταχύνει την κατανόηση, αλλά ενθαρρύνει τη δημιουργική σκέψη και την επίλυση προβλημάτων.

Συμπεράσματα

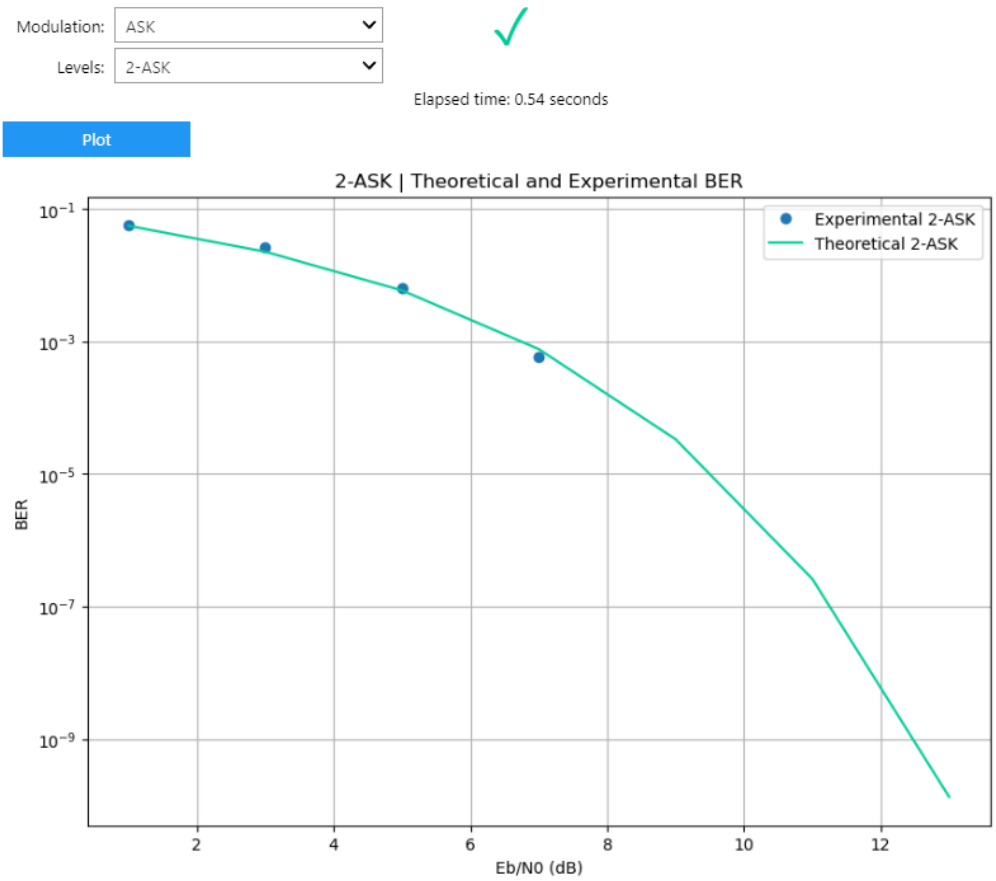
Το MyST Markdown, με τη χρήση του στο Jupyter Book, αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για τη διαδραστική μάθηση και κατανόηση. Η δυνατότητα ενσωμάτωσης εκτελέσιμου κώδικα, μαθηματικών συμβόλων και διαδραστικών στοιχείων καθιστά τη διαδικασία μάθησης πιο δυναμική και ευέλικτη, ενώ η τεχνική τεκμηρίωση ενισχύεται από τις προηγμένες δυνατότητές του για δημιουργία καλά δομημένων εκπαιδευτικών υλικών.

3.5 Bit Error Rate Tool

Το εργαλείο Bit Error Rate (BER) Tool που αναπτύξαμε, αποτελεί ένα πολύτιμο και διαδραστικό εκπαιδευτικό εργαλείο για την ανάλυση και την κατανόηση των ψηφιακών επικοινωνιών. Προσφέρει στους χρήστες τη δυνατότητα να μελετήσουν την απόδοση διαφορετικών διαμορφώσεων ψηφιακού σήματος, όπως PSK (Phase Shift Keying), ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying), MSK (Minimum Shift Keying) και QAM (Quadrature Amplitude Modulation), εστιάζοντας στην απόδοση κάθε τεχνικής σε όρους BER (Bit Error Rate).

Βασικά Χαρακτηριστικά του Εργαλείου

Το εργαλείο αυτό προσφέρει στους χρήστες τη δυνατότητα να επιλέξουν μεταξύ των προαναφερθεισών τεχνικών διαμόρφωσης, καθώς και να προσαρμόσουν παραμέτρους όπως την τάξη διαμόρφωσης (π.χ. 2-ASK, 4-PSK, 16-QAM). Καθώς ο χρήστης προσαρμόζει τις παραμέτρους, το εργαλείο παράγει τόσο θεωρητικές καμπύλες BER όσο και πειραματικά αποτελέσματα, επιτρέποντας τη σύγκριση της θεωρίας με την πρακτική.



Σχήμα 25: Bit Error Rate Tool

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το γράφημα 2-ASK δείχνει την αντιπαράθεση της θεωρητικής καμπύλης BER με τα πειραματικά δεδομένα, επιτρέποντας στον χρήστη να δει πώς επηρεάζεται η απόδοση της διαμόρφωσης με βάση το Eb/N0 (Energy per Bit to Noise Power Spectral Density Ratio). Αυτή η σύγκριση βοηθά στην κατανόηση της απόδοσης των διαμορφώσεων σε πραγματικά σενάρια, που μπορεί να αποκλίνουν από τα θεωρητικά αποτελέσματα λόγω παρεμβολών, θορύβου, ή άλλων παραγόντων.

Εκπαιδευτική Ευκολία και Διαδραστικότητα

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του εργαλείου είναι η διαδραστικότητα που προσφέρει. Ο χρήστης μπορεί εύκολα να πειραματιστεί με διαφορετικές παραμέτρους διαμόρφωσης και να δει σε πραγματικό χρόνο τα αποτελέσματα. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά το εργαλείο ιδανικό για εκπαιδευτικούς σκοπούς, καθώς οι μαθητές ή οι φοιτητές μπορούν να πειραματιστούν και να δουν άμεσα την επίδραση που έχουν διαφορετικές τεχνικές διαμόρφωσης στο BER. Μέσω της προσαρμογής του Eb/N0 και της παρατήρησης των καμπυλών, οι χρήστες αποκτούν βιωματική κατανόηση του πώς διαφορετικοί παράγοντες επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος επικοινωνίας.

Βοήθεια στην Κατανόηση των Ψηφιακών Επικοινωνιών

Η ικανότητα του εργαλείου να συνδυάζει θεωρητικά και πειραματικά αποτελέσματα είναι ένας εξαιρετικός τρόπος για να διευκολύνει την κατανόηση των θεμελιωδών αρχών των ψηφιακών επικοινωνιών. Παρέχοντας άμεση οπτική ανατροφοδότηση για την απόδοση κάθε διαμόρφωσης, το εργαλείο επιτρέπει στους χρήστες να εξετάσουν τις βασικές αρχές χωρίς την ανάγκη για εξειδικευμένη γνώση προγραμματισμού ή πολύπλοκων μαθηματικών υπολογισμών. Επιπλέον, η σύγκριση των αποτελεσμάτων σε διαφορετικές συνθήκες βοηθάει να γίνει κατανοητό το πώς ο θόρυβος και άλλοι παράγοντες επηρεάζουν την ποιότητα του σήματος και την αξιοπιστία των επικοινωνιών.

Συμπέρασμα

Το εργαλείο Bit Error Rate Tool αποτελεί μια εξαιρετική εκπαιδευτική πλατφόρμα, ειδικά για την κατανόηση της απόδοσης διαφορετικών διαμορφώσεων σήματος και τη σχέση τους με τον ρυθμό σφαλμάτων bit (BER). Μέσω της διαδραστικής και άμεσης οπτικοποίησης, οι χρήστες μπορούν να αποκτήσουν μια ολοκληρωμένη εικόνα για τις τεχνικές διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες ψηφιακές επικοινωνίες, καθιστώντας το ένα πολύτιμο εργαλείο για φοιτητές, ερευνητές και επαγγελματίες στον τομέα.

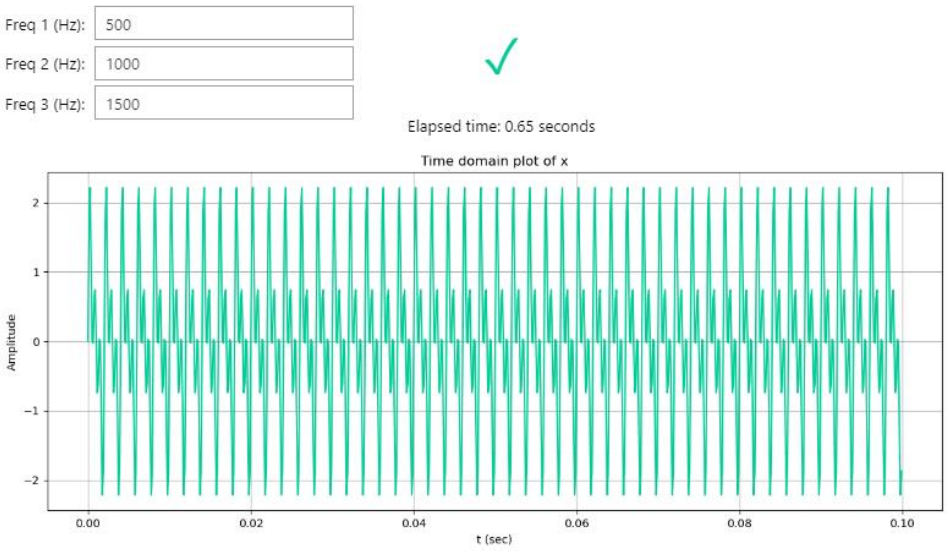
Κεφάλαιο 4

Αποτελέσματα

4.1 Lab Exercise 1: Εισαγωγή στα Συστήματα Ψηφιακής Μετάδοσης

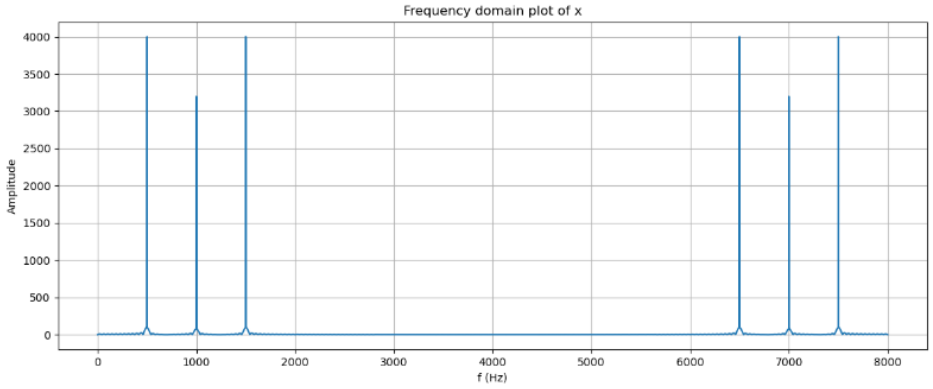
4.1.1 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Οι προσομοιώσεις που παρουσιάζονται καλύπτουν διαφορετικές καταστάσεις σήματος, με ποικίλες συχνότητες και επίπεδα θορύβου. Σε κάθε προσομοίωση παρατηρείται η ανάλυση του σήματος τόσο στον χρόνο όσο και στη συχνότητα, αναδεικνύοντας τις κύριες συχνότητες που εισήχθησαν, καθώς και την επίδραση της δειγματοληψίας και του προστιθέμενου θορύβου.



Σχήμα 26: Αναπαράσταση σήματος με είσοδο τριών συχνοτήτων

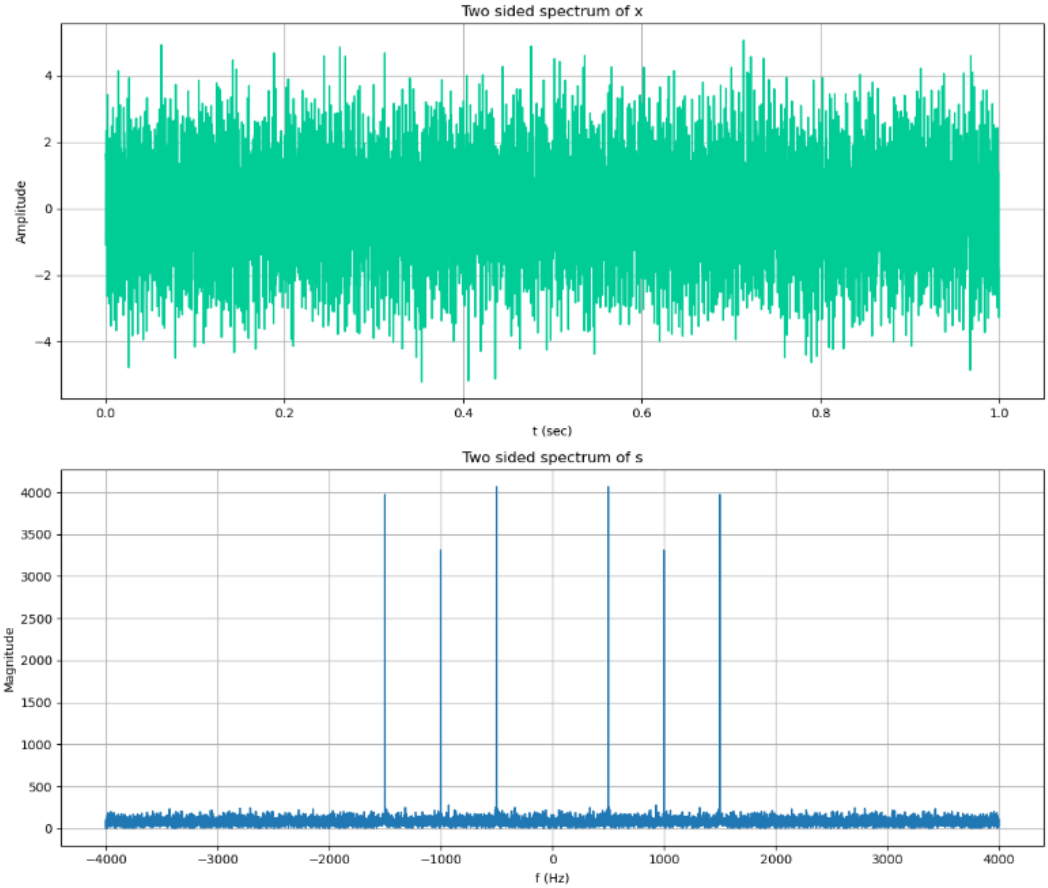
Στις περιπτώσεις όπου δεν προστέθηκε θόρυβος, οι συχνότητες των σημάτων είναι απόλυτα διακριτές και το φάσμα παρουσιάζει σαφείς κορυφές στις αντίστοιχες συχνότητες. Όταν ο θόρυβος προστίθεται (εσκεμμένα στην τελευταία περίπτωση), οι κορυφές των συχνοτήτων είναι μεν ακόμα ανιχνεύσιμες, αλλά επηρεάζονται από την παρουσία θορύβου, που οδηγεί σε χαμηλότερη διακριτότητα.



Σχήμα 27: Αναπαράσταση φάσματος σήματος

4.1.2 Ανάλυση Επιδόσεων

Οι προσομοιώσεις αποδεικνύουν τη δυνατότητα ανίχνευσης και ανάλυσης συχνοτήτων με ακρίβεια υπό διαφορετικές συνθήκες. Στις περιπτώσεις χωρίς θόρυβο, οι συχνότητες είναι απόλυτα ευκρινείς, με άριστη απόδοση της ανάλυσης φάσματος, καθώς οι συχνότητες εισόδου αντικατοπτρίζονται άμεσα στο φάσμα. Επιπλέον, ο χρόνος εκτέλεσης σε κάθε προσομοίωση δείχνει ότι οι μέθοδοι είναι αρκετά αποδοτικές και μπορούν να παράγουν αποτελέσματα σε μικρό χρονικό διάστημα, ακόμα και σε περιβάλλοντα όπου προστίθεται θόρυβος.



Σχήμα 28: Αναπαράσταση σήματος και φάσματος αυτού με προσθήκη θορύβου

Η προσθήκη θορύβου αυξάνει την πολυπλοκότητα της ανάλυσης, καθώς επηρεάζει την καθαρότητα του σήματος. Ωστόσο, ακόμα και υπό αυτές τις συνθήκες, το σήμα παραμένει ανιχνεύσιμο, κάτι που αποδεικνύει την ικανότητα της προσομοίωσης να αντεπεξέρχεται σε ρεαλιστικά σενάρια ψηφιακής μετάδοσης.

4.1.3 Αδυναμίες και Προκλήσεις

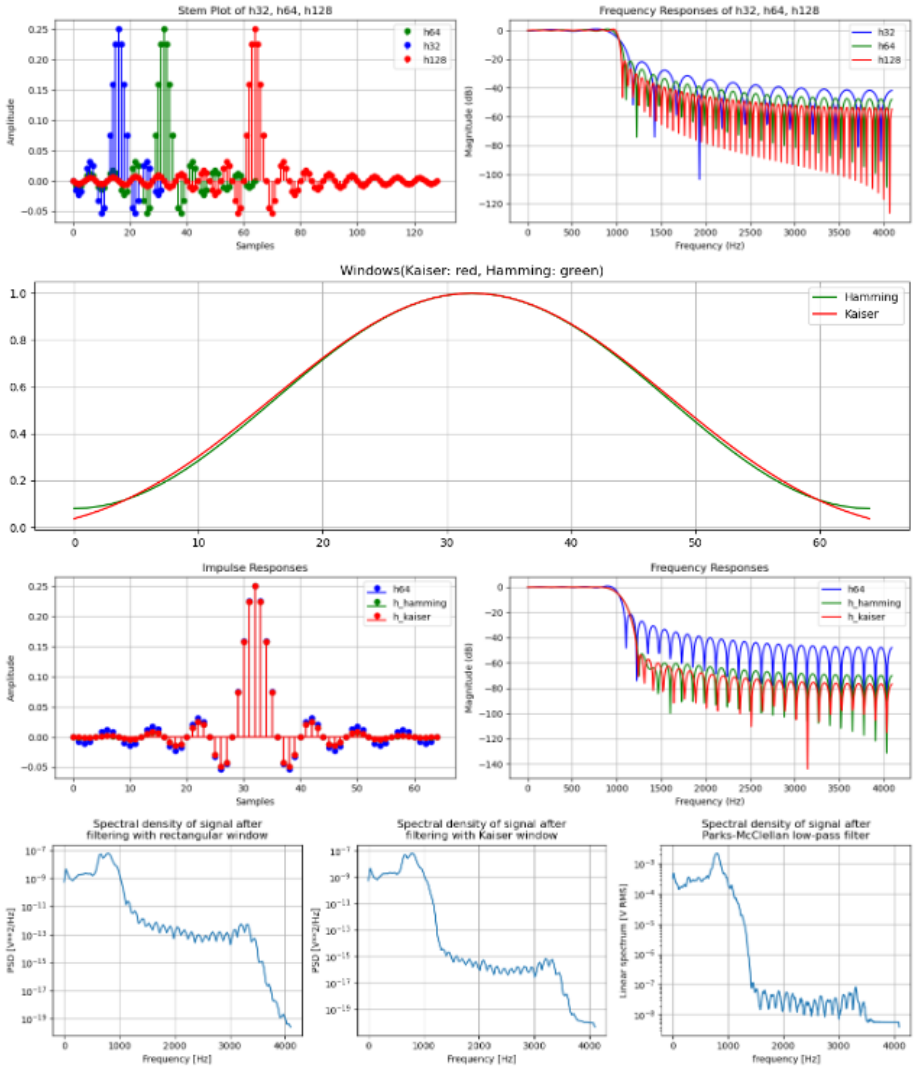
Επιπλέον, οι περιορισμοί στη συχνότητα δειγματοληψίας είναι εμφανείς, καθώς οι συχνότητες δεν μπορούν να υπερβούν ένα συγκεκριμένο όριο (π.χ. 500 Hz στις συγκεκριμένες προσομοιώσεις). Αυτός ο περιορισμός υπαγορεύεται από τον κανόνα Nyquist, και η υπέρβασή του θα οδηγούσε σε αναδίπλωση συχνοτήτων (aliasing), καθιστώντας την ανάλυση ανακριβή.

Εν κατακλείδι, οι προσομοιώσεις αυτές προσφέρουν μια εξαιρετική βάση για την κατανόηση της συμπεριφοράς των σημάτων στον χρόνο και στη συχνότητα, καθώς και στην επίδραση του θορύβου και της δειγματοληψίας στην ανάλυση του σήματος.

4.2 Lab Exercise 2: Ψηφιακά Φίλτρα

4.2.1 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

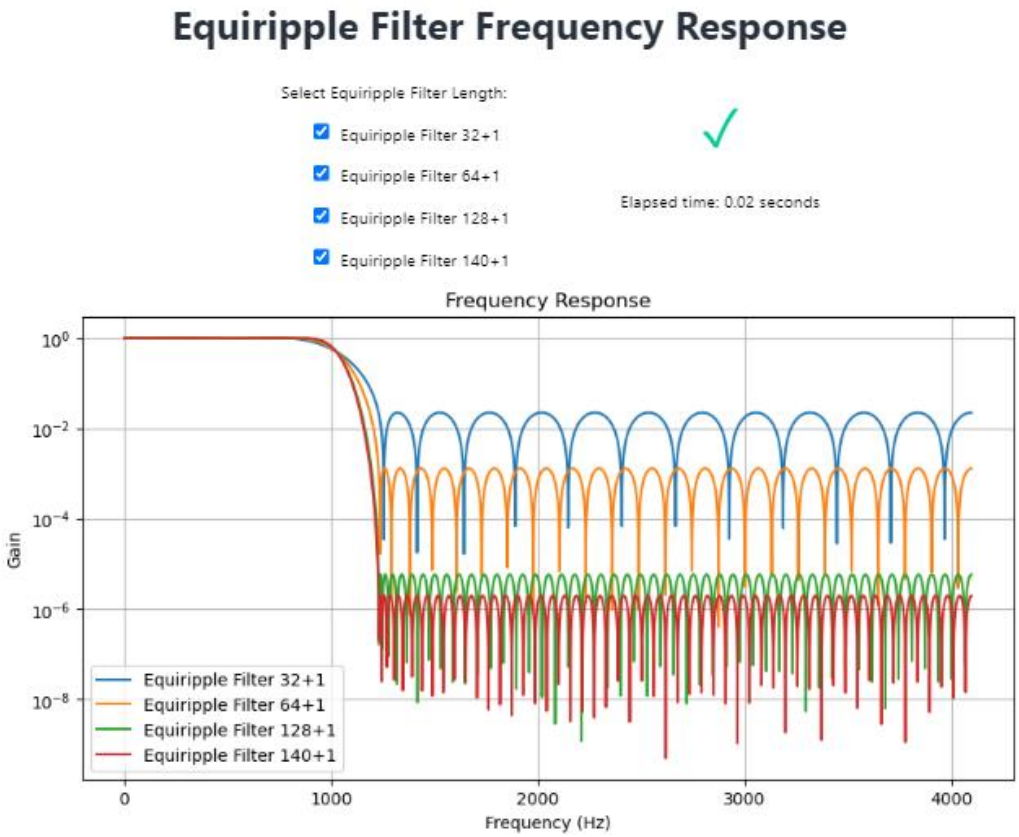
Στην παρούσα μελέτη, αναλύθηκαν τα αποτελέσματα προσομοιώσεων που αφορούν την εφαρμογή και την αξιολόγηση φίλτρων ψηφιακών σημάτων. Οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν για να εξεταστεί η απόκριση των φίλτρων σε διάφορες συνθήκες και να αξιολογηθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων σε σχέση με τα θεωρητικά αναμενόμενα. Τα διαγράμματα που παρουσιάζονται περιλαμβάνουν την απόκριση παλμού και συχνότητας, τη φασματική πυκνότητα ισχύος, καθώς και τη συγκριτική ανάλυση φίλτρων με διαφορετικά παράθυρα και διαφορετικά μήκη.



Σχήμα 29: Ψηφιακά Φίλτρα

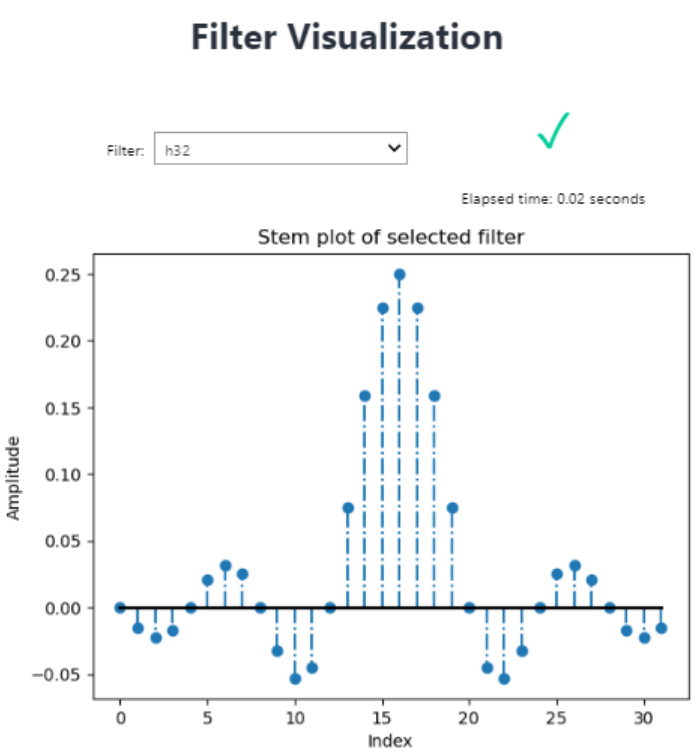
4.2.2 Ανάλυση Επιδόσεων

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων δείχνουν μια σαφή ταύτιση με τις θεωρητικές προσδοκίες σε μεγάλο βαθμό. Συγκεκριμένα, η απόκριση των φίλτρων bandpass τόσο στον χρονικό όσο και στον συχνοτικό τομέα είναι εξαιρετικά κοντά σε ό,τι αναμένεται θεωρητικά. Η αποκοπή των ανεπιθύμητων συχνοτήτων πραγματοποιείται με ακρίβεια, και η περιοχή διέλευσης παρουσιάζει ελάχιστες αποκλίσεις, οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες για τις περισσότερες εφαρμογές ψηφιακής μετάδοσης.

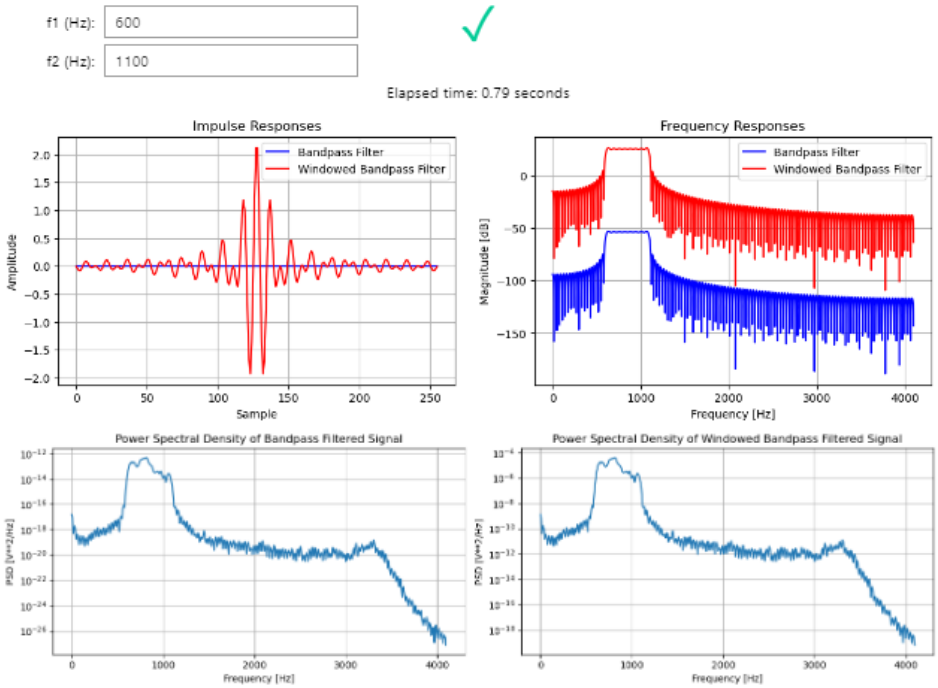


Σχήμα 30: Απόκριση συχνότητας Equiripple φίλτρου

Η απόκριση των equiripple φίλτρων, όπως φαίνεται από τις προσομοιώσεις, ανταποκρίνεται επίσης στις θεωρητικές προβλέψεις, με τα φίλτρα μεγαλύτερου μήκους να προσφέρουν καλύτερη απόδοση στη ζώνη αποκοπής και να μειώνουν τις ταλαντώσεις στη ζώνη διέλευσης. Οι ταλαντώσεις που παρατηρούνται είναι εντός των αναμενόμενων ορίων για φίλτρα αυτού του τύπου. Επιπλέον, τα φίλτρα με παράθυρο Kaiser παρουσιάζουν μικρότερες αποκλίσεις στη φασματική πυκνότητα ισχύος, γεγονός που συμφωνεί με τη θεωρία ότι αυτό το παράθυρο προσφέρει καλύτερη απόδοση αποκοπής σε σύγκριση με το παράθυρο Hamming.



Σχήμα 31: Οπτικοποίηση Φίλτρου



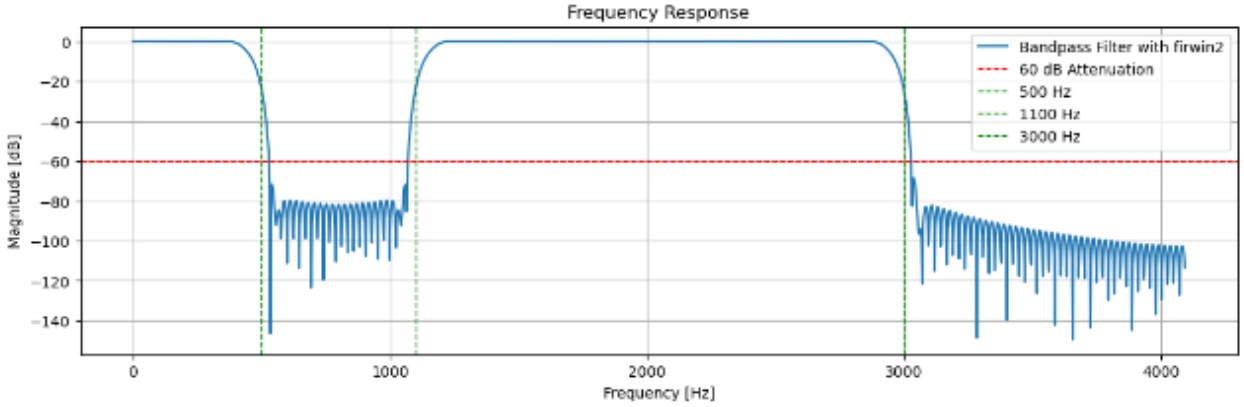
Σχήμα 32: Παράδειγμα ζωνοπερατού φίλτρου

Ο χρόνος εκτέλεσης των προσομοιώσεων είναι εξαιρετικά σύντομος, επιτρέποντας γρήγορη επεξεργασία και παραγωγή αποτελεσμάτων. Αυτό υποδηλώνει ότι τα

χρησιμοποιούμενα φίλτρα είναι ιδιαίτερα αποδοτικά για χρήση σε πραγματικό χρόνο ή σε συνθήκες όπου απαιτείται γρήγορη επεξεργασία ψηφιακών σημάτων.

4.2.3 Αδυναμίες και Προκλήσεις

Δεν παρατηρούνται αξιοσημείωτες αδυναμίες στην προσομοίωση αυτή. Η μικρή απόκλιση σε πολύ χαμηλές τιμές Eb/N0 οφείλεται σε τυχαίο θόρυβο και είναι αναμενόμενη.

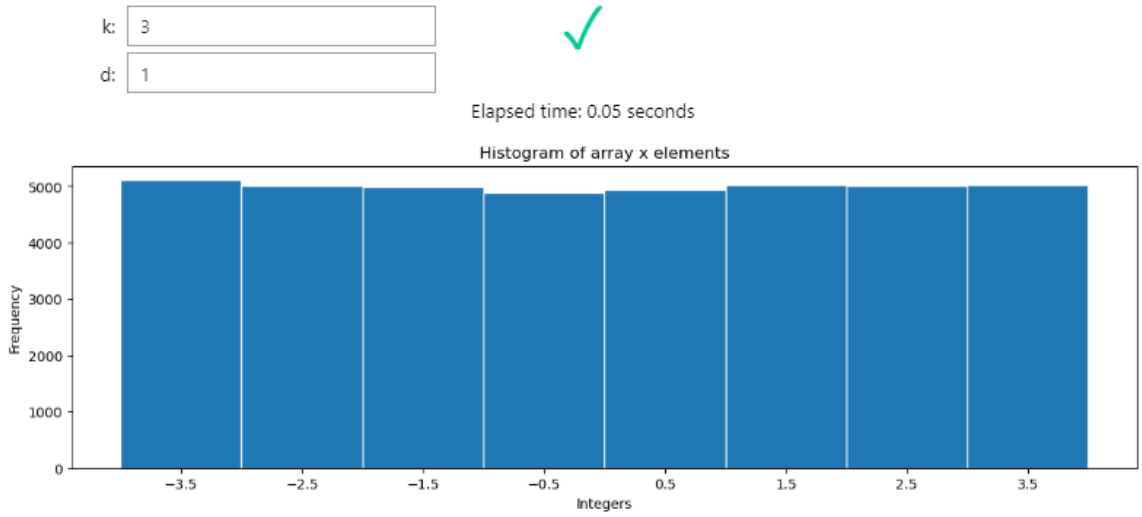


Σχήμα 33: Παράδειγμα φίλτρου με 2 ζώνες διέλευσης

4.3 Lab Exercise 3: Προσαρμοσμένα Φίλτρα και Διαμόρφωση L-ASK

4.3.1 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Τα διαγράμματα που παρουσιάζονται αφορούν την απόδοση των συστημάτων 4-ASK σε συνθήκες με προσθήκη θορύβου, όπου μελετάται η ο ρυθμός σφαλμάτων bit (BER) σε σχέση με την ενέργεια ανά bit προς το φάσμα θορύβου (Eb/No). Η θεωρητική καμπύλη BER συγκρίνεται με την πειραματική, ενώ επιπλέον προσομοιώσεις περιλαμβάνουν τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση διαμορφώσεων και φίλτρων ψηφιακών σημάτων. Οι πίνακες με τα ορθογώνια και ημιτονοειδή σήματα, όπως και η σύγκριση των BER σε διαφορετικές συνθήκες Eb/No, παρέχουν κρίσιμα δεδομένα για την ανάλυση της απόδοσης των συστημάτων.

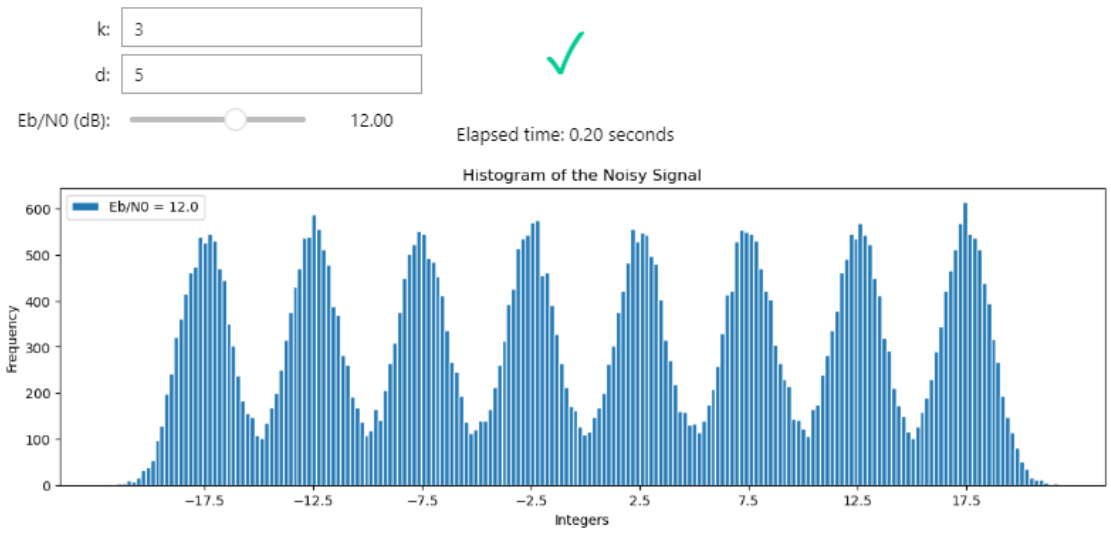


Σχήμα 34: Ιστόγραμμα πίνακα x στοιχείων

4.3.2 Ανάλυση Επιδόσεων

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων είναι σε πολύ καλή συμφωνία με τις θεωρητικές προβλέψεις. Η καμπύλη του πειραματικού BER πλησιάζει πολύ τη θεωρητική καμπύλη, ιδιαίτερα στις χαμηλότερες τιμές του Eb/No. Όσο το Eb/No αυξάνεται, οι αποκλίσεις μειώνονται περαιτέρω, επιβεβαιώνοντας ότι το σύστημα λειτουργεί σωστά σε συνθήκες αυξημένης ποιότητας σήματος. Οι μικρές αποκλίσεις που παρατηρούνται είναι αναμενόμενες λόγω του περιορισμένου αριθμού εκπεμπόμενων συμβόλων ή επαναλήψεων του πειράματος.

Η ορθογωνική και ημιτονοειδής απεικόνιση των σημάτων και οι αντίστοιχες προσομοιώσεις δείχνουν πως οι συνθήκες διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης είναι σωστές. Η δομή των σημάτων όπως φαίνεται στα διαγράμματα παραπέμπει σε κλασικά αποτελέσματα που συναντώνται στη θεωρία της ψηφιακής διαμόρφωσης. Οι διαφορές μεταξύ των διαφορετικών τιμών Eb/No που παρατηρούνται στα διαγράμματα BER είναι απόλυτα ευθυγραμμισμένες με τις θεωρητικές προβλέψεις, αποδεικνύοντας την ορθότητα της προσομοίωσης.

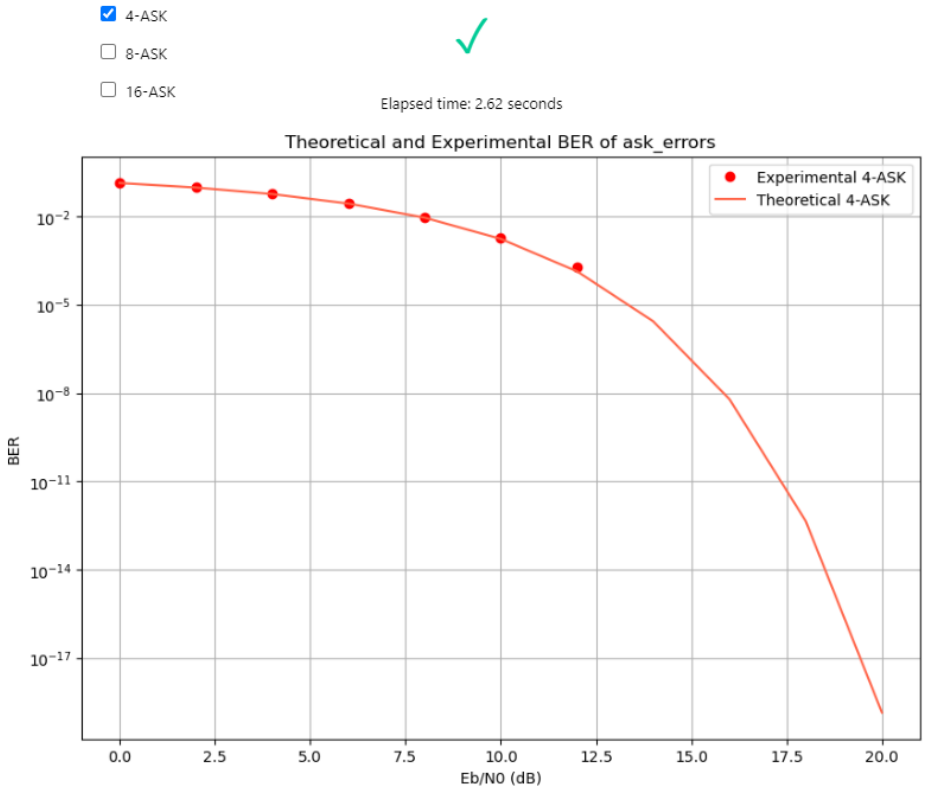


Σχήμα 35: Ιστόγραμμα σήματος με θόρυβο

Η απόδοση των προσομοιώσεων ως προς τον χρόνο εκτέλεσης αποτελεί επίσης ένα σημαντικό στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Στα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν, ο χρόνος εκτέλεσης των προσομοιώσεων κυμαίνεται από 0.05 έως 2.62 δευτερόλεπτα, ανάλογα με την πολυπλοκότητα της κάθε περίπτωσης. Οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν με 60.000 σύμβολα ανά σενάριο, αντιστοιχώντας σε bitstream μήκους $60.000 \times k$ bits, όπου k είναι ο αριθμός των bits ανά σύμβολο και σχετίζεται άμεσα με το σχήμα διαμόρφωσης (π.χ. k=2 για 4-ASK, k=3 για 8-ASK). Το εύρος των χρόνων εκτέλεσης θεωρείται ικανοποιητικό για την εξομοίωση ψηφιακών συστημάτων διαμόρφωσης, ενώ υποδεικνύει ότι οι υλοποιημένοι αλγόριθμοι είναι κατάλληλοι για χρήση σε πραγματικού χρόνου πειραματικά περιβάλλοντα.

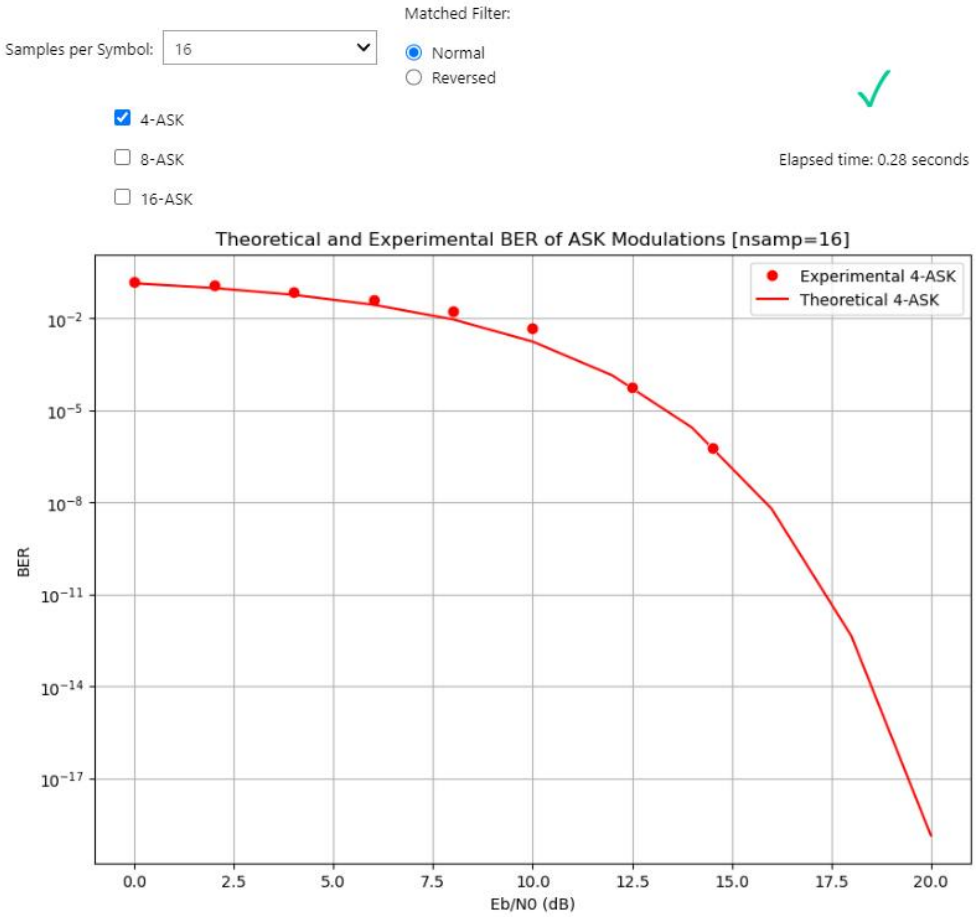
Ο μικρός χρόνος εκτέλεσης, ιδιαίτερα για τις προσομοιώσεις μικρότερης πολυπλοκότητας (π.χ. χωρίς θόρυβο ή με λιγότερα δείγματα), δείχνει την αποδοτική υλοποίηση των αλγορίθμων και την καλή διαχείριση των υπολογιστικών πόρων. Για παράδειγμα, προσομοιώσεις όπως οι απεικονίσεις με το nsamp=8 ολοκληρώνονται σε λιγότερο από 0.2 δευτερόλεπτα, γεγονός που υποδεικνύει ότι οι υλοποιημένοι αλγόριθμοι είναι κατάλληλοι για ταχεία ανάλυση σε εργαστηριακό περιβάλλον.

Ωστόσο, σε περιπτώσεις όπου προστίθεται θόρυβος ή αυξάνεται ο αριθμός των δειγμάτων ή συμβόλων (για να εκτιμήσουμε μικρές πιθανότητες λάθους), ο χρόνος εκτέλεσης αυξάνεται, όπως φαίνεται σε προσομοιώσεις με χρόνο 2.62 δευτερόλεπτα. Παρόλο που ο χρόνος αυτός εξακολουθεί να είναι αποδεκτός, η αύξηση αυτή μπορεί να αποδοθεί στην ανάγκη εκτενέστερων υπολογισμών για την προσομοίωση θορύβου και για την ακριβέστερη ανάλυση του ρυθμού σφαλμάτων (BER).



Σχήμα 36: BER L - ASK διαμόρφωσης

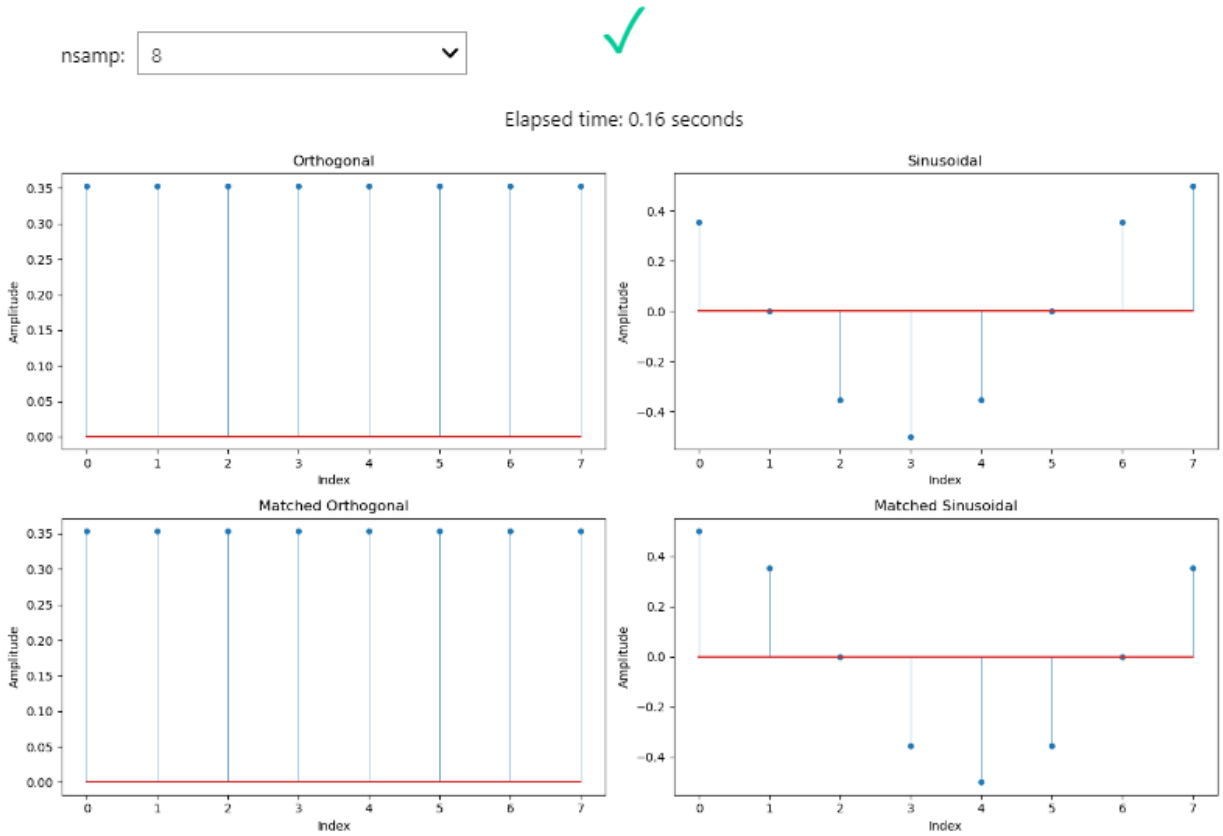
Συνολικά, η απόδοση των προσομοιώσεων ως προς τον χρόνο εκτέλεσης είναι πολύ καλή και επιτρέπει γρήγορες και αποδοτικές προσομοιώσεις, ακόμα και σε περιβάλλοντα με αυξημένες απαιτήσεις υπολογιστικής ισχύος. Αυτό καθιστά τις προσομοιώσεις κατάλληλες για εργαστηριακές εφαρμογές και μελλοντική ενσωμάτωση σε πραγματικά συστήματα.



Σχήμα 37: BER L - ASK διαμόρφωσης με/χωρίς αναστροφή πίνακα

4.3.3 Αδυναμίες και Προκλήσεις

Παρότι οι προσομοιώσεις είναι σε μεγάλο βαθμό ακριβείς, υπάρχουν μερικές αδυναμίες και προκλήσεις που μπορούν να αναφερθούν. Πρώτον, οι αποκλίσεις μεταξύ πειραματικών και θεωρητικών τιμών BER στις χαμηλές τιμές Eb/No είναι ελαφρώς αυξημένες. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην τυχαία φύση του θορύβου και στις παραδοχές που γίνονται στην προσομοίωση. Μια περαιτέρω προσέγγιση θα ήταν η αύξηση του αριθμού δειγμάτων για να μειωθούν οι στατιστικές αποκλίσεις και να προσεγγιστεί καλύτερα η θεωρητική καμπύλη.



Σχήμα 38: Αναπαράσταση ορθογωνικού και ημιτονοειδούς παλμού με nsamp σημεία

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων επιβεβαιώνουν τη θεωρητική απόδοση των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης που χρησιμοποιούν διαμόρφωση ASK, με μικρές αποκλίσεις που μπορούν να αποδοθούν στις συνθήκες θορύβου και στον ανεπαρκή αριθμό επαναλήψεων για μικρές πιθανότητες λάθους (rare events).

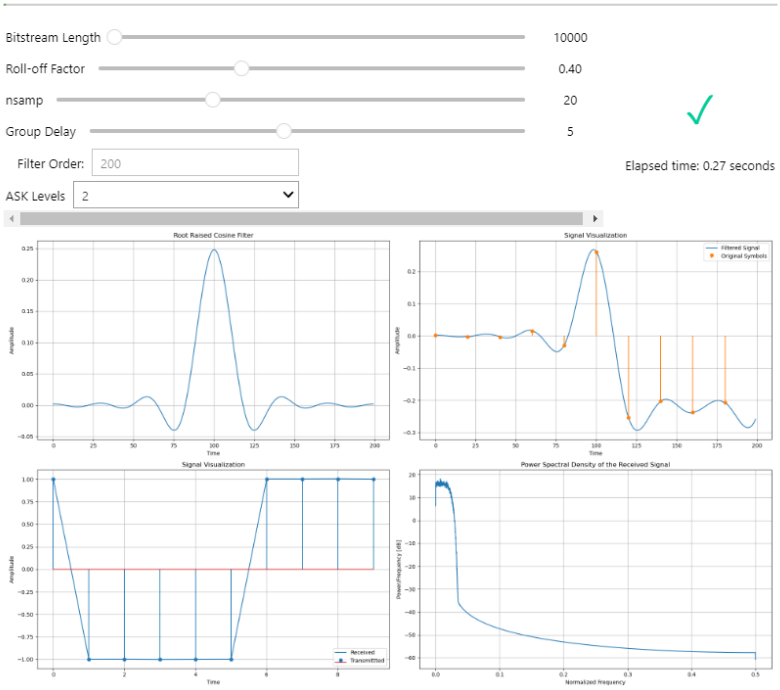
4.4 Lab Exercise 4: Σηματοδοσία Nyquist και Διαμόρφωση L-ASK

4.4.1 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Τα διαγράμματα παρουσιάζουν ικανοποιητική συμφωνία με τις θεωρητικές προβλέψεις σχετικά με την επίδοση των διαφορετικών κωδικοποιήσεων (Gray και Natural) σε συνάρτηση με τον λόγο Eb/No. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι η κωδικοποίηση Gray οδηγεί σε μικρότερο ρυθμό σφαλμάτων (BER) σε σχέση με την κωδικοποίηση Natural, κάτι που συμφωνεί με τη θεωρία. Η απόδοση της προσομοίωσης με Gray είναι

πιο κοντά στις θεωρητικές καμπύλες, γεγονός που καταδεικνύει τη χρησιμότητά της στη μείωση του ρυθμού σφαλμάτων.

Η προσομοίωση με Natural κωδικοποίηση εμφανίζει αισθητά υψηλότερο ρυθμό σφαλμάτων (BER), επίσης σε συμφωνία με τη θεωρία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με Natural κωδικοποίηση ένα σφάλμα σύμβολου μπορεί να προκαλέσει πολλαπλά σφάλματα bit, σε αντίθεση με την Gray, στην οποία κάθε γειτονικό σύμβολο διαφέρει μόνο κατά ένα bit. Τα παραπάνω αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τη σημασία της επιλογής κατάλληλης κωδικοποίησης για την ελαχιστοποίηση των λαθών σε συστήματα ψηφιακών επικοινωνιών.



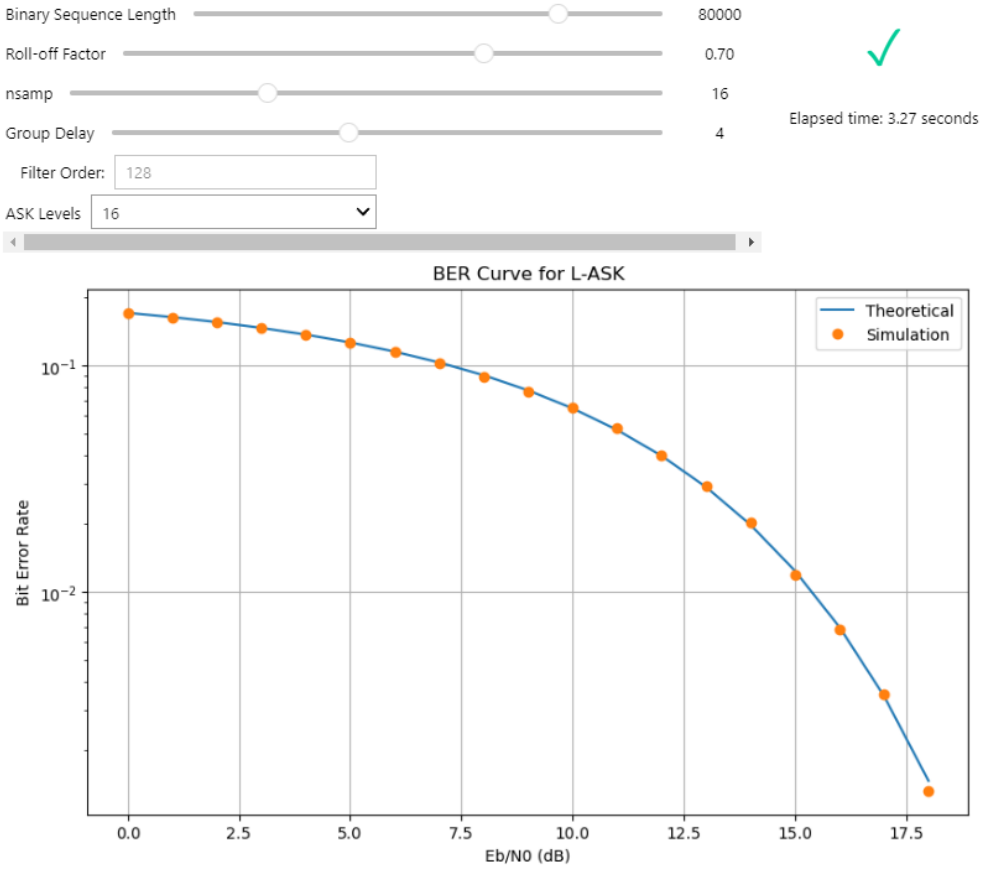
Σχήμα 39: Δημιουργία σήματος με Nyquist φίλτρα (Χρονική και φασματική αναπαράσταση)

Συνολικά, η αξιοπιστία των προσομοιώσεων είναι πολύ υψηλή, με την Gray κωδικοποίηση να παρουσιάζει σχεδόν τέλεια συμφωνία με τις θεωρητικές καμπύλες, ενώ η Natural έχει προβλέψιμες αποκλίσεις.

4.4.2 Ανάλυση Επιδόσεων

Οι χρόνοι που εμφανίζονται στα στιγμιότυπα (3.27 δευτερόλεπτα στο δεύτερο διάγραμμα και 8.13 δευτερόλεπτα στο πρώτο) δείχνουν ότι η ταχύτητα προσομοίωσης είναι αρκετά ικανοποιητική για τον όγκο δεδομένων που επεξεργάζεται. Τα διαγράμματα δημιουργούνται σε πραγματικό χρόνο, με τις τιμές να ενημερώνονται άμεσα καθώς αλλάζουν οι παράμετροι, όπως το μήκος της ακολουθίας και οι ρυθμίσεις

διαμόρφωσης. Αυτή η απόκριση θεωρείται επαρκώς γρήγορη για εφαρμογές εργαστηριακού επιπέδου και ανάλυσης συστημάτων επικοινωνίας.



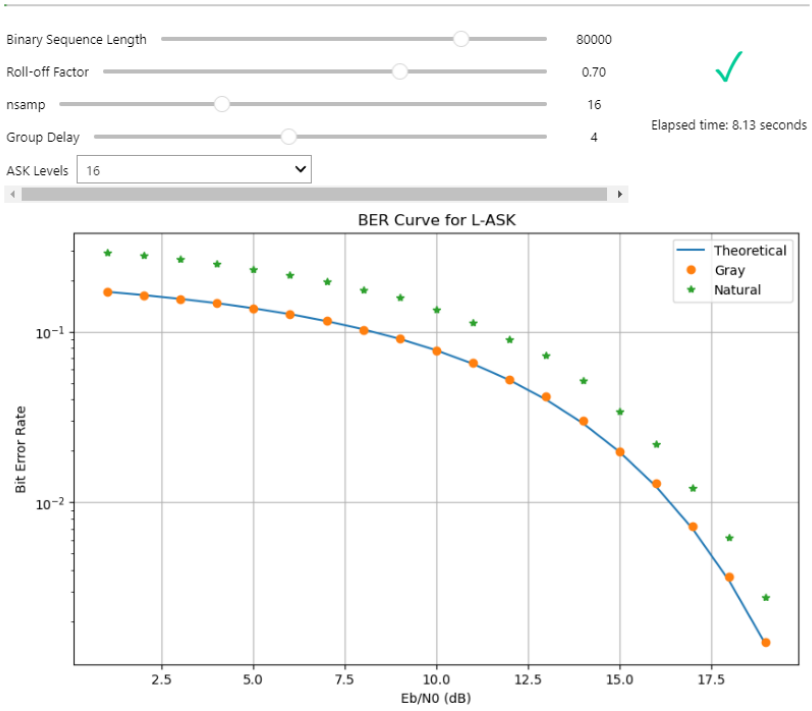
Σχήμα 40: BER L - ASK διαμόρφωση

Σε υψηλότερες τιμές για παραμέτρους όπως το μήκος του bitstream ή το πλήθος δειγμάτων ανά σύμβολο, μπορεί να εμφανιστεί ελαφριά επιβράδυνση στον χρόνο απόκρισης, αλλά αυτό είναι αναμενόμενο λόγω της αυξημένης υπολογιστικής πολυπλοκότητας. Συνολικά, η ταχύτητα προσομοίωσης θεωρείται πολύ ικανοποιητική για ακαδημαϊκή και ερευνητική χρήση.

4.4.3 Αδυναμίες και Προκλήσεις

Ο χρόνος της προσομοίωσης ορισμένων διαγραμμάτων είναι σημαντικά μεγαλύτερος σε σύγκριση με προηγούμενες προσομοιώσεις. Αυτό οφείλεται πιθανότατα στην αυξημένη πολυπλοκότητα των παραμέτρων της προσομοίωσης, όπως είναι το μεγάλο μήκος της δυαδικής ακολουθίας (Binary Sequence Length) και ο αριθμός των δειγμάτων ανά σύμβολο (nsamp). Το μέγεθος των δεδομένων προς επεξεργασία αυξάνεται σημαντικά, καθώς και οι υπολογιστικές απαιτήσεις της προσομοίωσης για την απεικόνιση των τριών διαφορετικών καμπυλών (Theoretical, Gray και Natural).

Η χρονική διάρκεια των 25.09 δευτερολέπτων είναι αναμενόμενη και αποδεκτή για μια τόσο λεπτομερή προσομοίωση, ειδικά με την εισαγωγή περισσότερων μεταβλητών και το γεγονός ότι υπολογίζεται η απόδοση για διαφορετικές μορφές κωδικοποίησης. Ωστόσο, υπάρχουν περιθώρια βελτιστοποίησης, ενδεχομένως μέσω βελτίωσης του αλγορίθμου ή της χρήσης πιο αποδοτικών τεχνικών για τον περιορισμό της υπολογιστικής πολυπλοκότητας. Η συνολική επίδοση της προσομοίωσης και η ταχύτητα απόκρισης αξιολογούνται ως πολύ ικανοποιητικές για το εύρος των δεδομένων και των παραμέτρων που επεξεργάζονται. Η αδυναμία της Natural κωδικοποίησης είναι σαφής και αναμενόμενη, αναδεικνύοντας έτσι την ανωτερότητα της Gray κωδικοποίησης στη μείωση των σφαλμάτων.

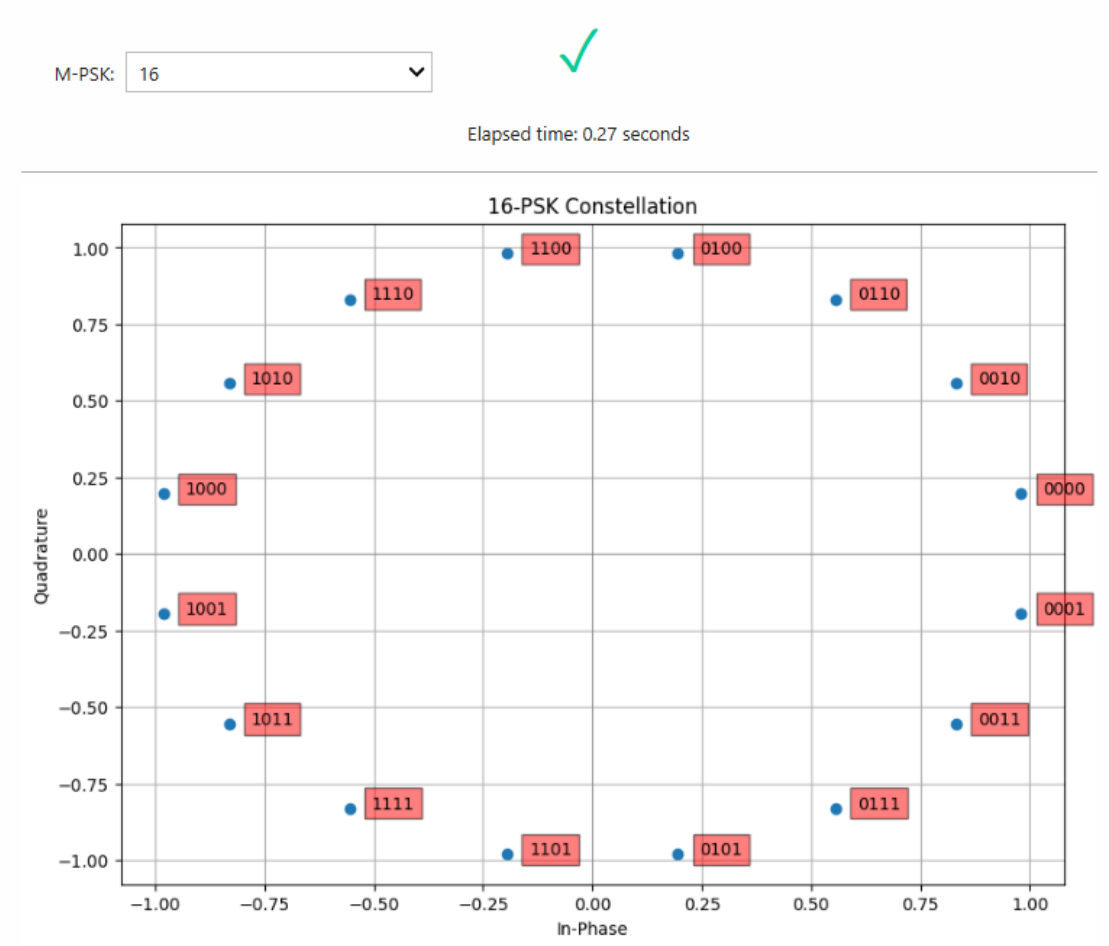


Σχήμα 41: BER L – ASK (με Gray vs Natural Coding)

4.5 Lab Exercise 5: Διαμόρφωση QAM και PSK

4.5.1 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Η παρούσα ανάλυση αφορά την απόδοση συστημάτων ψηφιακής διαμόρφωσης, όπως είναι οι 4-PSK (QPSK), 16-QAM, 16-PSK και 64-QAM, με έμφαση στη σύγκριση των προσομοιωμένων καμπυλών Ρυθμού Σφαλμάτων Bit (BER) με τις αντίστοιχες θεωρητικές καμπύλες. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων αποτυπώνουν τη συνολική απόδοση κάθε συστήματος και εξετάζουν την ταχύτητα με την οποία παράγονται τα διαγράμματα, καθώς και πιθανές αδυναμίες στην προσομοίωση.

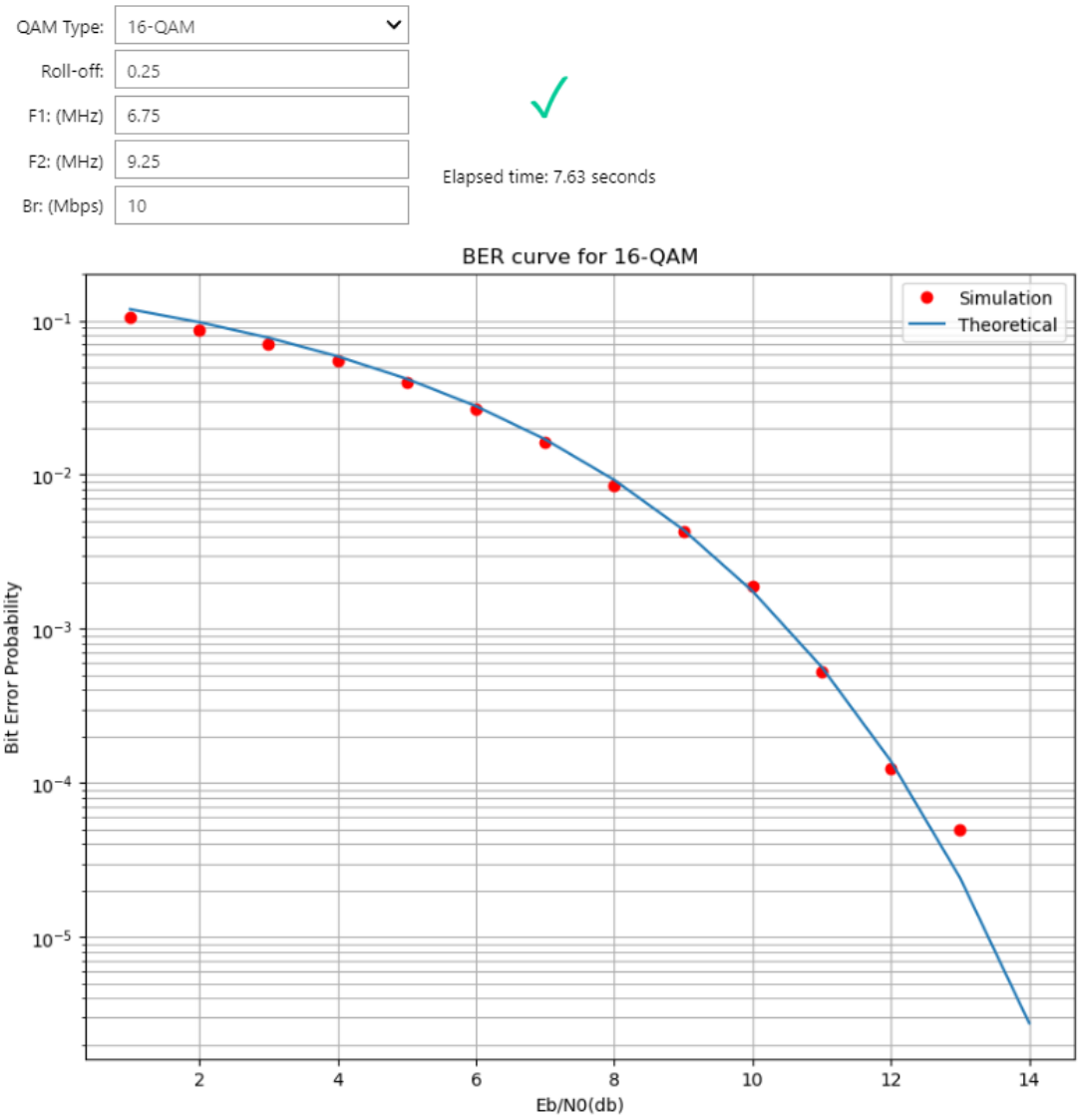


Σχήμα 42: Αστερισμός MxM QAM

4.5.2 Ανάλυση Επιδόσεων

Η απεικόνιση του αστερισμού (constellation diagram) για το σχήμα διαμόρφωσης 16-PSK είναι ιδιαίτερα ευκρινής και ακριβής. Τα σύμβολα τοποθετούνται συμμετρικά στον χώρο in-phase και quadrature, όπως απαιτείται από τη διαμόρφωση PSK. Ο χρόνος απόκρισης είναι μόλις 0.15 δευτερόλεπτα, αποδεικνύοντας την ταχύτητα της διαδικασίας.

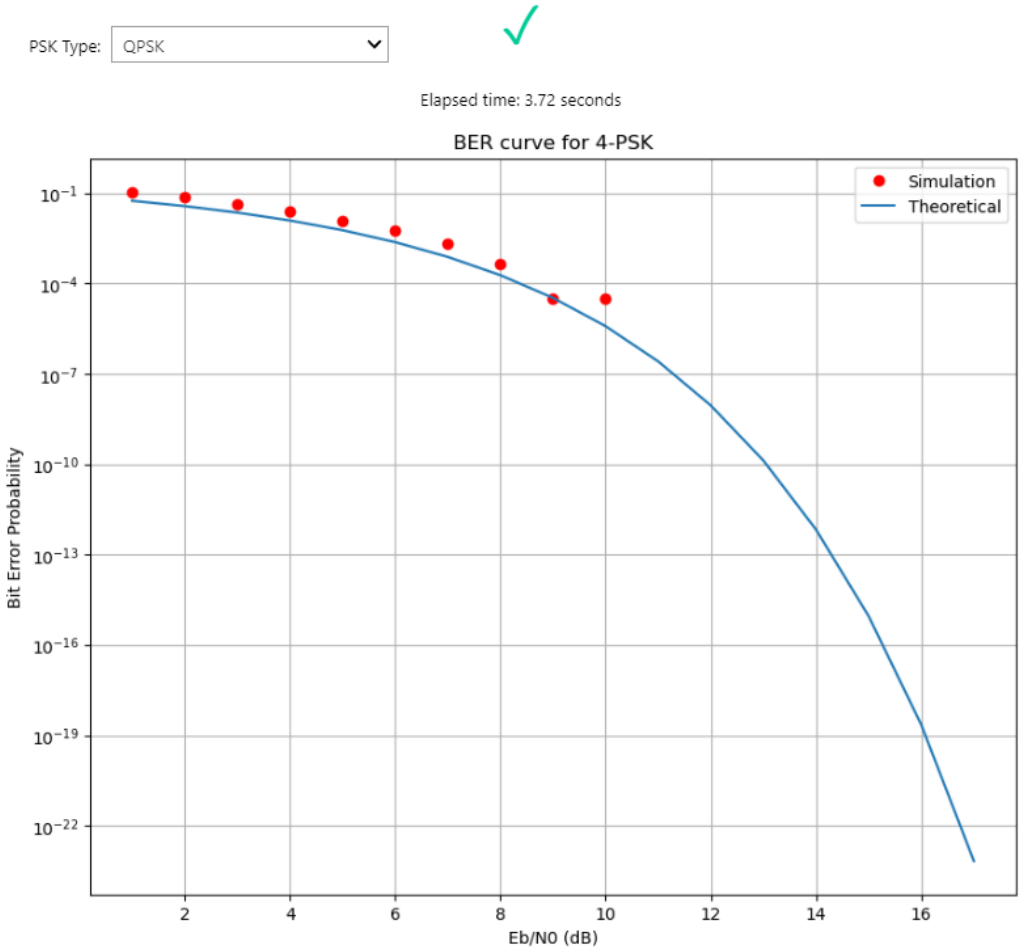
Η αναπαράσταση του αστερισμού για το σχήμα 8x8 QAM (64-QAM) παρουσιάζει την πλήρη και σωστή τοποθέτηση των συμβόλων στο σύστημα in-phase και quadrature. Η απεικόνιση είναι καθαρή, και οι θέσεις των συμβόλων διαχωρίζονται με σαφήνεια, δείχνοντας την ακρίβεια της διαμόρφωσης. Ο χρόνος απεικόνισης, στα 0.47 δευτερόλεπτα, είναι γρήγορος, καθιστώντας το σύστημα κατάλληλο για εργαστηριακές μετρήσεις και ανάλυση.



Σχήμα 43: BER QAM

Η προσομοίωση για το σχήμα διαμόρφωσης 16-QAM εμφανίζει πολύ καλή αντιστοιχία με τη θεωρητική καμπύλη. Ο ρυθμός σφαλμάτων για το 16-QAM ακολουθεί τη θεωρία σε όλο το εύρος του Eb/N0, με ελάχιστες αποκλίσεις που δεν επηρεάζουν τη συνολική αξιοπιστία του μοντέλου. Ο χρόνος προσομοίωσης, αν και μεγαλύτερος από την περίπτωση της QPSK, είναι 7.63 δευτερόλεπτα, παραμένοντας εντός των επιθυμητών ορίων.

Η σύγκριση μεταξύ της θεωρητικής καμπύλης και της προσομοίωσης για την 4-PSK διαμόρφωση (QPSK) δείχνει μια **άριστη αντιστοιχία**. Οι προσομοιωμένες τιμές για τον ρυθμό σφαλμάτων bit (BER) βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση από τη θεωρητική καμπύλη, κάτι που αποδεικνύει την **ακρίβεια της προσομοίωσης** σε όλες τις τιμές του λόγου Eb/N0. Ο χρόνος προσομοίωσης είναι μόλις **3.72 δευτερόλεπτα**, καθιστώντας τη διαδικασία εξαιρετικά **αποτελεσματική**.



Σχήμα 44: BER M - PSK

4.5.3 Αδυναμίες και Προκλήσεις

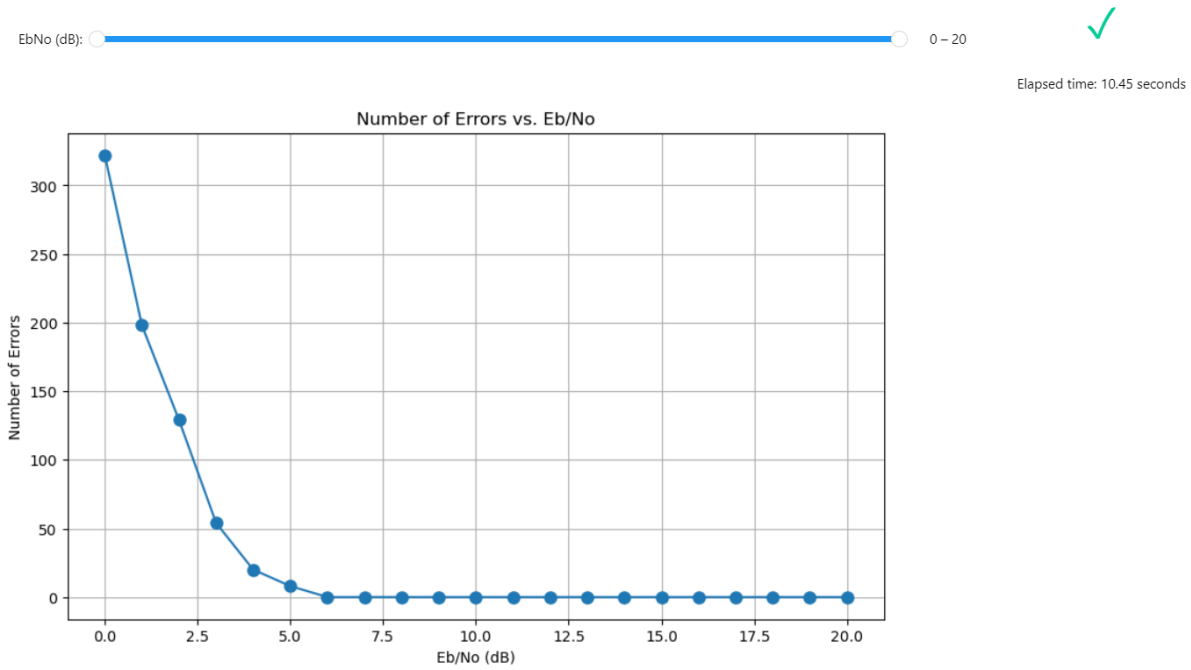
Δεν παρατηρούνται αξιοσημείωτες αδυναμίες στην προσομοίωση αυτή. Η μικρή απόκλιση σε πολύ χαμηλές τιμές Eb/N0 οφείλεται σε τυχαίο θόρυβο και είναι αναμενόμενη.

4.6 Lab Exercise 6: Διαμόρφωση FSK και MSK

4.6.1 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Τα αποτελέσματα που απεικονίζονται στα διαγράμματα υποδεικνύουν συνολικά μια επιτυχημένη προσέγγιση στην ανάλυση της απόδοσης διαφορετικών διαμορφώσεων και τεχνικών. Οι προσομοιώσεις καλύπτουν μια ευρεία γκάμα συστημάτων διαμόρφωσης

(όπως MSK και FSK, τόσο σύμφωνη όσο και ασύμφωνη), και οι μετρήσεις του ποσοστού σφαλμάτων bit (BER) και της φασματικής πυκνότητας ισχύος (PSD) είναι αρκετά κοντά στις θεωρητικές προσδοκίες.

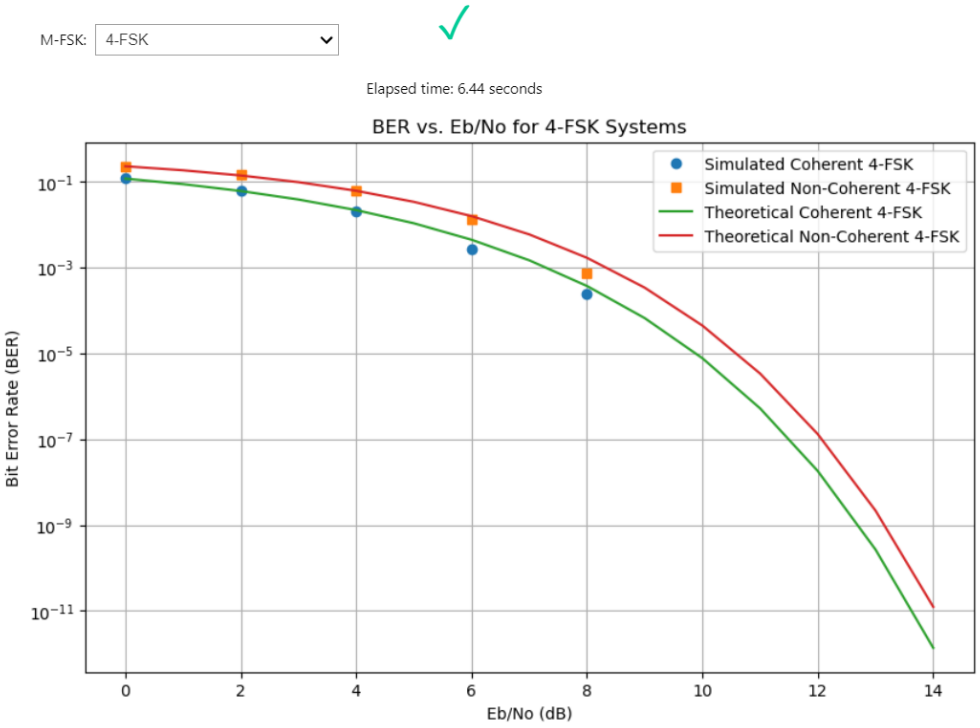


Σχήμα 45: Αριθμός λαθών

Οι καμπύλες BER στα περισσότερα διαγράμματα ακολουθούν την αναμενόμενη θεωρητική πορεία. Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται σε ορισμένα διαστήματα, κυρίως στις χαμηλές τιμές BER, μπορούν να αποδοθούν στον θόρυβο σε συνδυασμό με τον μη επαρκή αριθμό επαναλήψεων σε αυτή τη ζώνη πιθανοτήτων (rare events). Παρά τις μικρές αυτές αποκλίσεις, η συνολική συμφωνία των προσομοιώσεων με τα θεωρητικά μοντέλα είναι εξαιρετική, ειδικά σε χαμηλότερες τιμές BER όπου η προσομοίωση παρουσιάζει σχεδόν ταυτοποίηση με τις θεωρητικές καμπύλες.

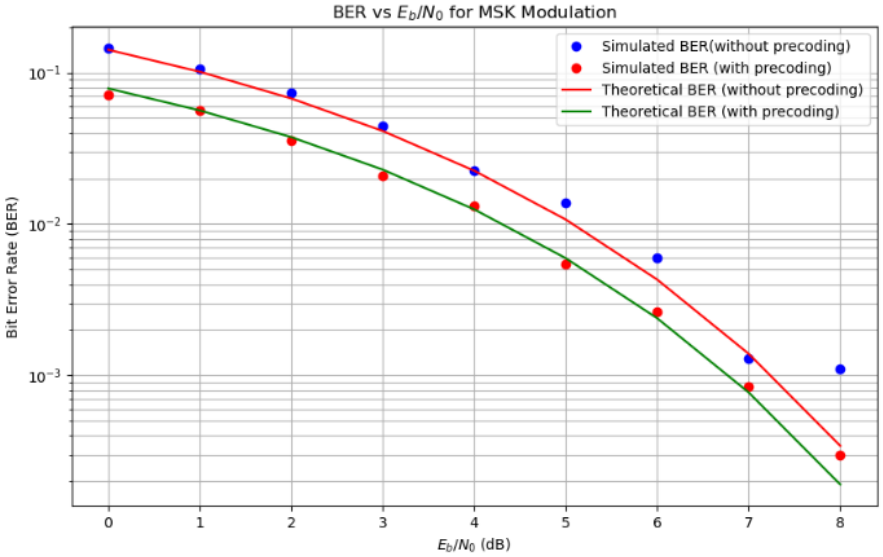
4.6.2 Ανάλυση Επιδόσεων

Ο χρόνος εκτέλεσης των προσομοιώσεων, όπως φαίνεται από τα στιγμιότυπα οθόνης, κυμαίνεται σε λογικά επίπεδα, επιτρέποντας την ολοκλήρωση των δοκιμών χωρίς μεγάλες καθυστερήσεις. Τα διαγράμματα που παρουσιάζουν PSD για τη σύμφωνη και ασύμφωνη διαμόρφωση FSK δείχνουν σαφείς διαφορές στη φασματική αποδοτικότητα, επιβεβαιώνοντας τη θεωρία. Τα αποτελέσματα αποτυπώνουν με ακρίβεια τη διαφορά στη συμπεριφορά των διαμορφώσεων αυτών, όπως αναμένεται από την ανάλυση των συχνοτήτων τους.



Σχήμα 46: BER M - FSK

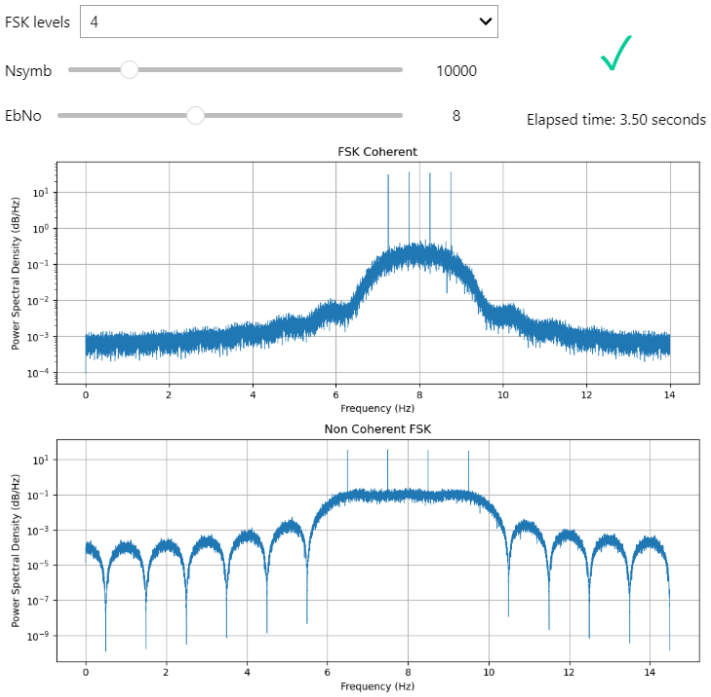
Συνολικά, τα διαγράμματα παρέχουν μια σαφή και ακριβή εικόνα της απόδοσης των διάφορων συστημάτων διαμόρφωσης σε σχέση με τον θόρυβο και τη φασματική απόδοση. Οι προσομοιώσεις, παρά τις μικρές αποκλίσεις, επιβεβαιώνουν τις θεωρητικές προβλέψεις και είναι επαρκώς αξιόπιστες. Ο χρόνος εκτέλεσης είναι μικρός και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων ενισχύουν τα συμπεράσματα σχετικά με την απόδοση αυτών των συστημάτων, προσφέροντας χρήσιμες πληροφορίες για τη βελτιστοποίηση των τεχνικών διαμόρφωσης.



Σχήμα 47: BER MSK

4.6.3 Αδυναμίες και Προκλήσεις

Παρά τη συνολική επιτυχία, θα μπορούσαν να υπάρξουν περαιτέρω βελτιώσεις στις προσομοιώσεις για τις χαμηλές τιμές BER, όπου παρατηρούνται μικρές αποκλίσεις. Αυτό, όπως αναφέρθηκε, οφείλεται στον θόρυβο σε συνδυασμό με τον ανεπαρκή αριθμό επαναλήψεων για μικρές πιθανότητες λάθους. Οι αδυναμίες αυτές, ωστόσο, δεν επηρεάζουν σημαντικά την εγκυρότητα των συμπερασμάτων. Επιπλέον, οι προσομοιώσεις παρουσιάζουν ικανοποιητική σταθερότητα, ακόμη και για πιο περίπλοκες διαμορφώσεις όπως το MSK με precoding.



Σχήμα 48: Φασματική πυκνότητα ισχύος

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις

5.1 Βασικά Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα της εργασίας επιβεβαιώνουν την αποτελεσματικότητα της προσομοίωσης και της διαδραστικότητας στις ασκήσεις Ψηφιακών Επικοινωνιών.

Ακρίβεια Προσομοιώσεων: Τα προσομοιωμένα διαγράμματα BER (Bit Error Rate) που παράχθηκαν για τις διαμορφώσεις MSK και FSK παρουσιάζουν υψηλή συμφωνία με τις θεωρητικές καμπύλες, ιδιαίτερα για υψηλές τιμές του Eb/N0. Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται σε χαμηλότερες τιμές Eb/N0 είναι μικρές και αναμενόμενες λόγω του θορύβου και των περιορισμών της προσομοίωσης.

Ευέλικτη Προσαρμογή Παραμέτρων: Η χρήση διαδραστικών οργάνων (όπως ολισθητήρων) επιτρέπει στους χρήστες να τροποποιούν παραμέτρους, όπως το πλήθος των συμβόλων (Nsymb), τα επίπεδα FSK, και το Eb/N0, και να παρατηρούν άμεσα την επίδραση αυτών των παραμέτρων στην απόδοση του συστήματος. Αυτό προσφέρει στους φοιτητές μια πιο άμεση κατανόηση των θεωρητικών εννοιών μέσω της πρακτικής εφαρμογής.

Οπτικοποίηση και Ανάλυση Φασματικής Πυκνότητας: Τα διαγράμματα φασματικής πυκνότητας ισχύος (PSD) που προκύπτουν από την προσομοίωση FSK αποδεικνύουν σαφείς διαφορές μεταξύ της συνεκτικής και μη συνεκτικής διαμόρφωσης, προσφέροντας μια πρακτική απεικόνιση των θεωρητικών εννοιών σχετικά με την απόδοση του συστήματος και τη φασματική αποδοτικότητα.

5.2 Συμπεράσματα

Η εργασία επιτυγχάνει τον στόχο της δημιουργίας μιας διαδραστικής πλατφόρμας εκπαίδευσης στις Ψηφιακές Επικοινωνίες. Μέσα από την αντικατάσταση των εργαστηριακών ασκήσεων από Python, παρέχεται ένα πιο ευέλικτο και προσαρμόσιμο περιβάλλον μάθησης, που επιτρέπει στους φοιτητές να αλληλεπιδρούν με τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και να εξερευνούν τις επιδόσεις των συστημάτων τηλεπικοινωνιών.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι προσομοιώσεις προσφέρουν ακριβή μοντέλα, τα οποία συμφωνούν με τις θεωρητικές αναλύσεις, ενώ η διαδραστική φύση της πλατφόρμας ενισχύει την κατανόηση των φοιτητών. Οι φοιτητές μπορούν να πειραματιστούν με διαφορετικά σενάρια, να παρακολουθήσουν την επίδραση του θορύβου και άλλων παραμέτρων στην απόδοση και να εμβαθύνουν στην κατανόηση της θεωρίας μέσα από την πρακτική εφαρμογή της.

5.3 Ενσωμάτωση Προηγμένων Εννοιών

Η επέκταση της ιστοσελίδας με υλικό από το μάθημα «Ψηφιακές Επικοινωνίες ΙΙ» αποτελεί φυσική εξέλιξη για την πλατφόρμα, καθώς προσφέρει στους φοιτητές πρόσβαση σε πιο προχωρημένες γνώσεις στον τομέα των τηλεπικοινωνιών. Το μάθημα αυτό καλύπτει θεμελιώδεις έννοιες όπως τα προχωρημένα συστήματα διαμόρφωσης (π.χ. QAM, OFDM), Γραμμικούς Τμηματικούς Κώδικες (Linear block codes), Κυκλικούς κώδικες, Κωδικοποίηση Reed-Solomon, Συνελικτική κωδικοποίηση. Η παροχή σημειώσεων και υλικού μέσω της πλατφόρμας μπορεί να προσφέρει στους φοιτητές μια διαδραστική και ολοκληρωμένη εκπαιδευτική εμπειρία, ενισχύοντας την κατανόηση αυτών των θεμάτων.

5.4 Ανάπτυξη Νέων Διαδραστικών Στοιχείων με προηγμένες διαδραστικές δυνατότητες

Η μελλοντική ανάπτυξη της πλατφόρμας μπορεί να περιλαμβάνει την ενσωμάτωση πιο εξελιγμένων διαδραστικών εργαλείων. Για παράδειγμα, η χρήση διαδραστικών διαγραμμάτων και τριδιάστατων αναπαραστάσεων μπορεί να επιτρέψει στους φοιτητές να πειραματιστούν με διάφορες παραμέτρους συστημάτων επικοινωνίας, όπως την ισχύ σήματος, το εύρος ζώνης και τη διάδοση των σημάτων. Οι φοιτητές θα μπορούσαν να εκτελούν προσομοιώσεις, παρακολουθώντας σε πραγματικό χρόνο πώς επηρεάζονται τα συστήματα επικοινωνίας από τις αλλαγές σε παραμέτρους όπως στο σήμα θορύβου και στην απόσταση μετάδοσης.

Για την υλοποίηση των διαδραστικών αυτών δυνατοτήτων, μπορούν να αξιοποιηθούν βιβλιοθήκες όπως οι **Plotly** και **Bokeh**, οι οποίες επιτρέπουν τη δημιουργία διαδραστικών γραφικών απεικονίσεων. Οι βιβλιοθήκες αυτές παρέχουν την ευελιξία για τη δημιουργία γραφημάτων που επιτρέπουν την άμεση αλληλεπίδραση των χρηστών με τα δεδομένα, γεγονός που μπορεί να προσφέρει στους φοιτητές μια πιο οπτική και πρακτική κατανόηση των τηλεπικοινωνιακών εννοιών.

Η προσθήκη σημειώσεων και ασκήσεων από το μάθημα «Ψηφιακές Επικοινωνίες ΙΙ», σε συνδυασμό με την ανάπτυξη νέων διαδραστικών στοιχείων, αποτελεί σημαντική μελλοντική βελτίωση της πλατφόρμας. Η ενσωμάτωση αυτών των χαρακτηριστικών όχι μόνο θα ενισχύσει την εκπαιδευτική εμπειρία των φοιτητών, αλλά και θα τους επιτρέψει να εφαρμόσουν τις θεωρητικές τους γνώσεις σε πρακτικές και διαδραστικές εφαρμογές, προετοιμάζοντάς τους καλύτερα για την επαγγελματική τους πορεία στον τομέα των τηλεπικοινωνιών.

Πηγές

[1] Σ. Αραβαντινού Καρλάτου, *Διαδραστική προσομοίωση Ψηφιακών Επικοινωνιών με ελεύθερο λογισμικό*, προς υποβολή.

[2] Μήτρου, Ν. (2015). *Ψηφιακές Επικοινωνίες* [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. https://dx.doi.org/10.57713/kallipos-454

[3] Μήτρου, Ν. (2015). *Η Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος στις Τηλεπικοινωνίες* [Κεφάλαιο]. Στο Μήτρου, Ν. 2015. Στο *Ψηφιακές Επικοινωνίες* [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. https://repository.kallipos.gr/handle/11419/6045

[4] Μήτρου, Ν. (2015). *Εξομοίωση – Ψηφιακή Υλοποίηση Αναλογικών Διαμορφώσεων* [Κεφάλαιο]. Στο Μήτρου, Ν. 2015. Στο *Ψηφιακές Επικοινωνίες* [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. https://repository.kallipos.gr/handle/11419/6046

[5] Μήτρου, Ν. (2015). *Βέλτιστη ψηφιακή αναγνώριση – Προσαρμοσμένα φίλτρα* [Κεφάλαιο]. Στο Μήτρου, Ν. 2015. *Ψηφιακές Επικοινωνίες* [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. https://hdl.handle.net/11419/6047

[6] Μήτρου, Ν. (2015). *Φασματικά χαρακτηριστικά ψηφιακών κυματομορφών – Μορφοποίηση με φίλτρα Nyquist* [Κεφάλαιο]. Στο Μήτρου, Ν. 2015. *Ψηφιακές Επικοινωνίες* [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. https://hdl.handle.net/11419/6048

[7] Μήτρου, Ν. (2015). *Ψηφιακή Διαμόρφωση QAM και PSK* [Κεφάλαιο]. Στο Μήτρου, Ν. 2015. *Ψηφιακές Επικοινωνίες* [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. https://hdl.handle.net/11419/6049

[8] Μήτρου, Ν. (2015). *Ψηφιακή διαμόρφωση FSK και MSK* [Κεφάλαιο]. Στο Μήτρου, Ν. 2015. *Ψηφιακές Επικοινωνίες* [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. https://hdl.handle.net/11419/6050

[9] Εργαστηριακή άσκηση 1 Εξοικείωση με το MATLAB - Σήματα Διακριτού χρόνου, https://helios.ntua.gr/pluginfile.php/23213/mod_resource/content/10/DC-Lab1-2024.pdf

[10] Εργαστηριακή Άσκηση 2 Σχεδιασμός/υλοποίηση ψηφιακών φίλτρων FIR με το MATLAB, https://helios.ntua.gr/pluginfile.php/23215/mod_resource/content/12/DC-Lab2-2024.pdf

[11] Εργαστηριακή Άσκηση 3 Προσαρμοσμένα φίλτρα και L-ASK, https://helios.ntua.gr/pluginfile.php/23217/mod_resource/content/12/DC-Lab3-2023-24.pdf

[12] Εργαστηριακή Άσκηση 4 Σηματοδοσία Nyquist, https://helios.ntua.gr/pluginfile.php/23219/mod_resource/content/8/DC-Lab4-Nyquist_signaliing-ASK-2024.pdf

13] Εργαστηριακή Άσκηση 5 QAM-PSK, https://helios.ntua.gr/pluginfile.php/23221/mod_resource/content/8/DC-Lab5-QAM-PSK.pdf

[14] Εργαστηριακή Άσκηση 6 FSK-MSK, https://helios.ntua.gr/pluginfile.php/23227/mod_resource/content/9/DC-Lab6-FSK_MSK.pdf

[15] Επίσημη τεκμηρίωση του IPyWidgets, https://ipywidgets.readthedocs.io/en/stable/

[16] Widgets Gallery στην Επίσημη Τεκμηρίωση, https://ipywidgets.readthedocs.io/en/latest/examples/Widget%20List.html

[17] Python libraries, https://docs.python.org/3/library/index.html

[18] The Executable Book Project. (n.d.), https://myst-parser.readthedocs.io/

[19] The Executable Book Project. (n.d.). Jupyter Book, https://jupyterbook.org/

[20] Georg Brandl, et al. (n.d.). Sphinx Documentation, https://www.sphinx-doc.org/

[21] The Executable Book Project. (n.d.). Thebe: Turn static documents into live code, https://thebe.readthedocs.io/

Παράρτημα Ι

Πλήρης Οδηγός Εγκατάστασης

Η δημιουργία και δημοσίευση ενός Jupyter Book είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για τη συγγραφή και διανομή διαδραστικών βιβλίων που περιλαμβάνουν κείμενο και εκτελέσιμο κώδικα. Σε αυτόν τον οδηγό, περιγράφονται:

- η διαδικασία εγκατάστασης της Python
- η εγκατάσταση των απαραίτητων βιβλιοθηκών Python με Conda
- η εγκατάσταση της βιβλιοθήκης Jupyter Book
- η δημιουργία ενός Jupyter Book
- η δημοσίευσή του μέσω GitHub.

Εγκατάσταση της Python στον Υπολογιστή

Αρχικά, απαιτείται η εγκατάσταση της Python. Ακολουθήστε τα παρακάτω βήματα:

1. Κατεβάστε το εκτελέσιμο αρχείο της Python από την επίσημη ιστοσελίδα: https://www.python.org/downloads/
2. Ακολουθήστε τον οδηγό εγκατάστασης και κατά την εγκατάσταση, βεβαιωθείτε ότι έχετε επιλέξει την επιλογή "Add Python to PATH".
3. Ολοκληρώστε την εγκατάσταση ακολουθώντας τις οδηγίες.

Μετά την εγκατάσταση, ανοίξτε ένα τερματικό (Command Prompt ή PowerShell) και επιβεβαιώστε την επιτυχημένη εγκατάσταση με την εντολή:

```
python --version
```

Εγκατάσταση των βιβλιοθηκών python με Conda

Η χρήση του Conda, ενός διαχειριστή πακέτων και περιβαλλόντων για Python, διευκολύνει την εγκατάσταση των απαραίτητων βιβλιοθηκών για την ανάπτυξη της εφαρμογής μέσω του Jupyter Book. Ακολουθήστε τις παρακάτω εντολές για να εγκαταστήσετε τις βιβλιοθήκες μέσω Conda:

1. Κατεβάστε το Conda από την επίσημη ιστοσελίδα:

   https://www.anaconda.com/download/success

2. Ακολουθήστε τον οδηγό εγκατάστασης.
3. Δημιουργία περιβάλλοντος Conda:

   ```
   conda create --name myenv python=3.9
   ```

   ```
   conda activate myenv
   ```

4. Εγκατάσταση του **Jupyter Notebook**:

   ```
   conda install -c conda-forge notebook
   ```

5. Εγκατάσταση βιβλιοθηκών για επιστημονικούς υπολογισμούς:

   ```
   conda install -c anaconda numpy
   ```

   ```
   conda install -c anaconda scipy
   ```

   ```
   conda install veeresht::scikit-commpy
   ```

6. Εγκατάσταση βιβλιοθηκών για γραφήματα:

   ```
   conda install -c conda-forge matplotlib
   ```

7. Εγκατάσταση του **IPython** & **IPyWidgets** για διαδραστικές εφαρμογές:

   ```
   conda install anaconda::ipython
   ```

   ```
   conda install anaconda::ipywidgets
   ```

8. Requests

   ```
   conda install anaconda::requests
   ```

Εγκατάσταση Jupyter Book

Για τη δημιουργία του Jupyter Book, πρέπει πρώτα να εγκαταστήσουμε το πακέτο του:

```
pip install -U jupyter-book
```

Δημιουργία Jupyter Book

Η παρακάτω ενότητα περιλαμβάνει τις εντολές δημιουργίας, κατασκευής και προβολής ενός Jupyter Book.

1. Εντολή δημιουργίας νέου Jupyter Book:

   ```
   jupyter-book create mybook
   ```

2. Εντολές κατασκευής και προβολής του Jupyter Book:

   I. Εντολή κατασκευής του Jupyter Book:

   ```
   jupyter-book build mybook/
   ```

   II. Για την προβολή του βιβλίου τοπικά, μεταβείτε στον φάκελο *_build/html* και ανοίξτε το αρχείο *index.html*.

   III. Εναλλακτικά, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τον παρακάτω server για την προβολή του βιβλίου:

   ```
   python -m http.server --directory mybook/_build/html
   ```

Ανέβασμα στο GitHub και Δημοσίευση στο Διαδίκτυο

Για να ανεβάσετε το βιβλίο στο GitHub και να το δημοσιεύσετε, ακολουθήστε τα παρακάτω βήματα:

1. Δημιουργία GitHub Repository:

   I. Συνδεθείτε στον λογαριασμό σας στο GitHub και δημιουργήστε ένα νέο repository.

   II. Κατεβάστε το Git από την επίσημη ιστοσελίδα:

   https://git-scm.com/downloads

   III. Ακολουθήστε τον οδηγό εγκατάστασης.

   IV. Ακολούθως, στο τερματικό του τοπικού σας συστήματος, από κάποιο φάκελο της επιλογής σας:

   ```
   git init
   ```

   ```
   git add
   ```

```
git commit -m "Initial
```

```
git remote add origin <URL_του_Repository>
```

```
git push -u origin master
```

2. Ακολουθήστε τον επίσημο οδηγό δημιουργίας GitHub Pages:

   https://docs.github.com/en/pages/quickstart#creating-your-website

3. Εντολή δημοσίευσης του Jupyter Book

   ```
   jupyter-book publish gh-pages mybook/ --repository <URL_του_Repository>
   ```

   Η εντολή αυτή θα δημιουργήσει ένα branch gh-pages και θα δημοσιεύσει το βιβλίο στο Διαδίκτυο μέσω της υπηρεσίας GitHub Pages.

4. Διανομή του Βιβλίου:

   Μετά τη δημοσίευση, το βιβλίο θα είναι διαθέσιμο στη διεύθυνση https://<όνομα_χρήστη>.github.io/<repository_name>.

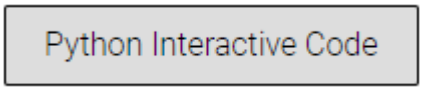
Παράρτημα ΙΙ

Οδηγός χρήσης του Jupyter Book με το Thebe

Αυτός ο οδηγός περιγράφει τη χρήση διαδραστικού κώδικα σε ένα Jupyter Book που χρησιμοποιεί το Thebe για εκτέλεση κώδικα. Ακολουθήστε τα παρακάτω βήματα για να εξασφαλίσετε ομαλή λειτουργία του διαδραστικού περιβάλλοντος.

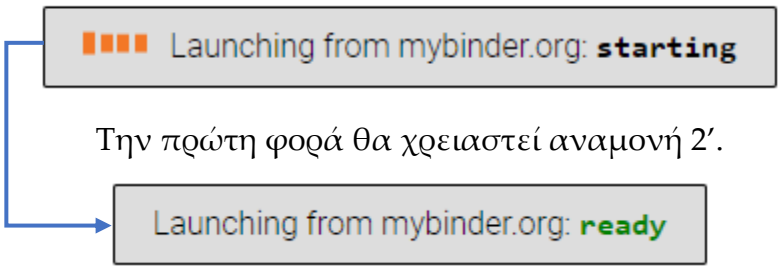
Εκκίνηση Διαδραστικού Κώδικα

- Αρχικά, πατήστε το κουμπί Interactive Code στην κορυφή της σελίδας.



Σχήμα 1: Κουμπί Interactive code

- Περιμένετε όσο η διαδικασία δείχνει μηνύματα όπως starting, fetching, launching, building κ.ά.). Όταν το σύστημα εμφανίσει ότι είναι Ready, η σελίδα είναι έτοιμη για εκτέλεση διαδραστικού κώδικα.



Σχήμα 2: Αναμονή για έτοιμο kernel

- Αν δείτε ότι η διαδικασία καθυστερεί για περισσότερο από 5 λεπτά χωρίς να προχωρεί στα επόμενα βήματα, ή αν κάνει fail, δοκιμάστε να κάνετε refresh (ανανέωση) στη σελίδα και επαναλάβετε τα παραπάνω βήματα.

Επανεκκίνηση και Εκτέλεση Όλων

- Αν θέλετε να επανεκκινήσετε όλο το σύστημα και να εκτελέσετε όλους τους κώδικες εκ νέου, πατήστε το κουμπί Restart and Run All.

Αυτή η λειτουργία θα τρέξει όλους τους κώδικες από την αρχή, καθαρίζοντας προηγούμενες εκτελέσεις.

Με αυτά τα βήματα, το Jupyter Book σας θα λειτουργεί διαδραστικά, επιτρέποντας την εκτέλεση και την ανάλυση των εργαστηριακών ασκήσεων.

Documentation: Basic Elements of a Jupyter Book

Δομή του Jupyter Book

Ένα Jupyter Book αποτελείται από μια συλλογή αρχείων που οργανώνονται σε μια συγκεκριμένη δομή για να δημιουργηθεί το τελικό βιβλίο.

Βασικά Στοιχεία:

- **_config.yml:** Το αρχείο ρυθμίσεων του Jupyter Book. Περιέχει παραμέτρους για το πώς θα δημιουργηθεί και θα εμφανιστεί το βιβλίο, όπως τον τίτλο, το λογότυπο, τις επεκτάσεις και άλλες παραμέτρους διαμόρφωσης.
- **_toc.yml:** Το αρχείο Table of Contents (Πίνακας Περιεχομένων), το οποίο καθορίζει την ιεραρχία των κεφαλαίων και των ενοτήτων στο βιβλίο σας.
- **Αρχεία περιεχομένου:** Αυτά είναι τα αρχεία σε μορφή Markdown (.md) ή Jupyter Notebooks (.ipynb) που αποτελούν το περιεχόμενο του βιβλίου.

Αρχεία Περιεχομένου

- **Markdown** (.md) (Markdown - Documentation, n.d.):

  Αρχεία απλού κειμένου που χρησιμοποιούν συντακτική σήμανση για τη μορφοποίηση περιεχομένου, επιτρέποντας την εύκολη δημιουργία δομημένων εγγράφων με μορφές όπως τίτλους, λίστες, συνδέσμους και εικόνες.

- **MyST Markdown** (.md) (Myst Markdown - Documentation, n.d.):

  Μια επέκταση του Markdown που προσθέτει επιπλέον λειτουργίες, όπως την υποστήριξη για μαθηματικά σύμβολα με LaTeX, διαδραστικά στοιχεία και τη δυνατότητα ενσωμάτωσης δομών κώδικα και παραπομπών, καθιστώντας το ιδανικό για τη δημιουργία τεχνικών και επιστημονικών εγγράφων.

- **Jupyter Notebooks** (.ipynb) (Jupyter Notebooks Files - Documentation, n.d.):

  Τα Jupyter Notebooks μπορούν να περιλαμβάνουν κείμενο, κώδικα και αποτελέσματα, όλα ενσωματωμένα σε ένα έγγραφο. Αυτά τα αρχεία επιτρέπουν τη διαδραστικότητα, καθώς ο αναγνώστης μπορεί να εκτελεί τα μπλοκ κώδικα κατά την ανάγνωση του βιβλίου.

Ρυθμίσεις του Jupyter Book

_config.yml (Jupyter Book - Configuration File, n.d.):

Το **_config.yml** καθορίζει τη γενική διαμόρφωση του βιβλίου. Παρακάτω παρατίθενται όλες οι ρυθμίσεις που μπορεί να περιλαμβάνει το αρχείο μαζί με μία σύντομη εξήγηση για καθεμία:

```yaml
#######################################################################################
# A default configuration that will be loaded for all jupyter books
# Users are expected to override these values in their own `_config.yml` file.
# This is also the "master list" of all allowed keys and values.
#######################################################################################

# Book settings

# The title of the book. Will be placed in the left navbar.
title: My Jupyter Book

# The author of the book
author: The Jupyter Book community

# Copyright year to be placed in the footer
copyright: "2023"

# A path to the book logo
logo: ""

# Patterns to skip when building the book. Can be glob-style (e.g. "*skip.ipynb")
exclude_patterns: [_build, Thumbs.db, .DS_Store, "**.ipynb_checkpoints"]

# Auto-exclude files not in the table of contents (toc)
only_build_toc_files: false

#######################################################################################
# Execution settings

# Whether to execute notebooks at build time. Must be one of ("auto", "force",
"cache", "off")
execute:
  execute_notebooks: auto

# A path to the Jupyter cache that will be used to store execution artifacts
  cache: ""

# A list of patterns to skip in execution (e.g. notebooks that take too long to
execute)
```

```yaml
  exclude_patterns: []

# The maximum time (in seconds) each notebook cell is allowed to run
  timeout: 30

# If true, then a temporary directory will be used as the working directory (cwd)
  run_in_temp: false

# If false, execution stops when a code cell raises an error; otherwise, all cells
run
  allow_errors: false

# Defines how to handle stderr output ('show', 'remove', 'remove-warn', 'warn',
etc.)
  stderr_output: show

#############################################################################################
# Parse and render settings

# MyST extensions to enable (list of extensions)
parse:
  myst_enable_extensions:
    # Enables colon fences for better block delimitation
    - colon_fence
    # Enables the use of LaTeX-style math expressions
    - dollarmath
    # Converts bare links into proper hyperlinks
    - linkify
    # Allows using text substitution in markdown
    - substitution
    # Adds checklists to the Markdown files
    - tasklist

# URI schemes that will be recognized as external URLs in Markdown links
  myst_url_schemes: [mailto, http, https]

# Allows display math ($$) within inline contexts
  myst_dmath_double_inline: true

#############################################################################################
# HTML-specific settings

# Path to a favicon image for the website
html:
  favicon: ""

# Whether to add an "edit this page" button to pages
  use_edit_page_button: false
```

```yaml
# Whether to add a repository link button
  use_repository_button: false

# Whether to add an "open an issue" button
  use_issues_button: false

# Continuous numbering across parts and chapters in the table of contents
  use_multitoc_numbering: true

# A custom message that will appear at the bottom of the footer
  extra_footer: ""

# Whether to include the home page in the left Navigation Bar
  home_page_in_navbar: true

# The base URL for the book, used for creating image previews and social links
  baseurl: ""

# Analytics settings for the website (Google Analytics, Plausible Analytics, etc.)
  analytics:
    plausible_analytics_domain: ""
    plausible_analytics_url: "https://plausible.io/js/script.js"
    google_analytics_id: ""

# Enable comments on the site (via Hypothesis or Utterances)
  comments:
    hypothesis: false
    utterances: false

# A banner announcement at the top of the site
  announcement: ""

################################################################################
# LaTeX-specific settings

# The LaTeX engine to use for PDF builds ('pdflatex', 'xelatex', etc.)
latex:
  latex_engine: pdflatex

# Whether to use the sphinx-jupyterbook-latex for PDF builds
  use_jupyterbook_latex: true

################################################################################
# Launch button settings

# The interface for interactive links ("classic", "jupyterlab")
launch_buttons:
```

```
  notebook_interface: classic

# The URL of the BinderHub (for executing code in the cloud)
  binderhub_url: ""

# The URL of the JupyterHub (for interactive computing)
  jupyterhub_url: ""

# Whether to add a Thebe button to pages (for interactive code cells)
  thebe: false

# The URL of Google Colab for cloud execution
  colab_url: ""

# The URL of Deepnote for interactive notebooks
  deepnote_url: ""

#######################################################################################
# Repository settings

# The URL to your book's repository
repository:
  url: https://github.com/executablebooks/jupyter-book

# The path to your book's folder, relative to the repository root
  path_to_book: ""

# The branch of the repository to use when creating links
  branch: master

#######################################################################################
# Advanced and power-user settings

# Additional Sphinx extensions to load (in addition to defaults)
sphinx:
  extra_extensions: []

# Local Sphinx extensions to load (defined by "name: path")
  local_extensions: []

# Whether to overwrite or recursively update the Sphinx configuration
  recursive_update: false

# Key-value pairs to directly override Sphinx configuration options
  config: {}
```

_toc.yml (Jupyter Book - Table of Contents, n.d.):

Το αρχείο **_toc.yml** οργανώνει το περιεχόμενο του βιβλίου σε κεφάλαια και υποκεφάλαια. Παρακάτω παρατίθεται η τελική δομή της εφαρμογής:

```yaml
# Table of contents
# Learn more at https://jupyterbook.org/customize/toc.html

format: jb-book
root: intro
parts:
- caption: About
  chapters:
  - file: digital_communications_intro
- caption: Lab Exercises
  chapters:
  - file: content/Digcom_Lab1
  - file: content/Digcom_Lab2
  - file: content/Digcom_Lab3
  - file: content/Digcom_Lab4
  - file: content/Digcom_Lab5
  - file: content/Digcom_Lab6
- caption: Bit Error Rate Tool
  chapters:
  - file: content/Digcom_Lab_BerTool
```

Σχήμα 3: _toc.yml

Αυτό το αρχείο καθορίζει τη σειρά με την οποία τα αρχεία Markdown και Jupyter Notebooks θα εμφανιστούν στο βιβλίο.

Διαδραστικότητα με το Thebe

Μια από τις πιο ισχυρές λειτουργίες του Jupyter Book είναι η χρήση του Thebe για την ενσωμάτωση διαδραστικού κώδικα απευθείας στην ιστοσελίδα. Με αυτόν τον τρόπο, οι χρήστες μπορούν να εκτελούν τα παραδείγματα κώδικα σε πραγματικό χρόνο χωρίς να χρειάζεται να κατεβάσουν τα αρχεία.

- **_config.yml**

  Για να ενεργοποιήσετε το Thebe, πρέπει να προσθέσετε τις παρακάτω ρυθμίσεις στο αρχείο _config.yml:

```
launch_buttons:
        thebe: true
```

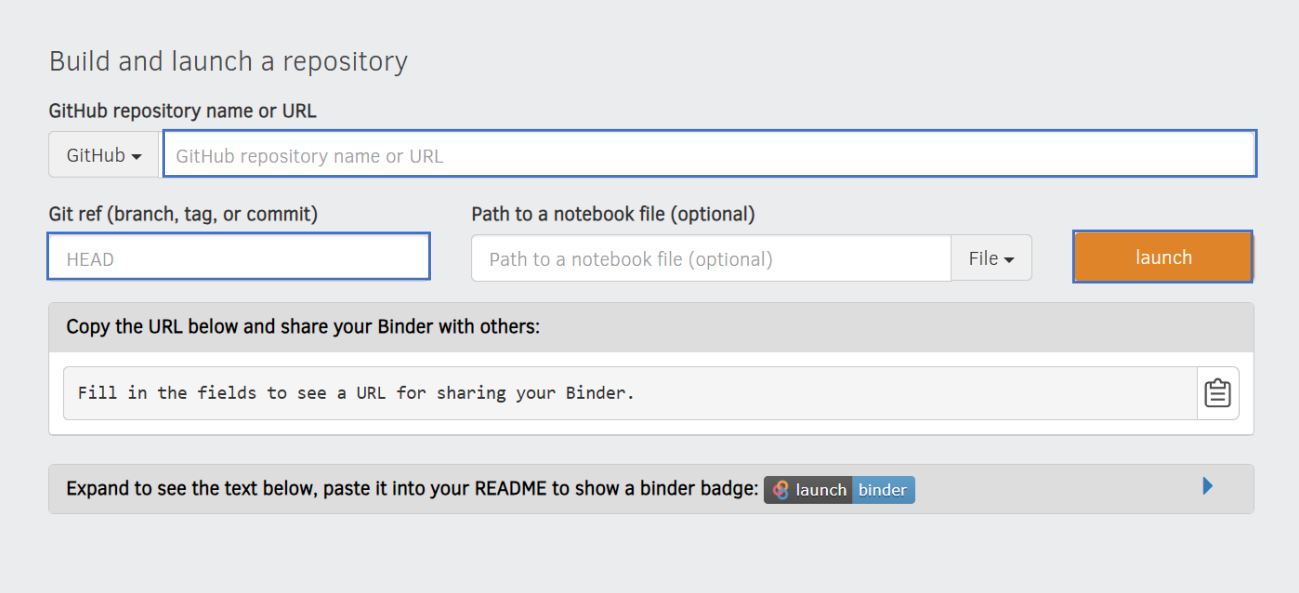
- **requirements.txt**

  Αφού ενεργοποιηθεί η επιλογή `thebe: true` στο αρχείο "_config.yml", θα πρέπει να δημιουργηθεί ένας online kernel στο https://mybinder.org/ . Για να επιτευχθεί αυτό, είναι απαραίτητο να υπάρχει στον πιο εξωτερικό φάκελο του GitHub repository το αρχείο "requirements.txt", το οποίο θα περιλαμβάνει όλες τις βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν. Αυτό επιτρέπει στο Binder να εκτελέσει σωστά τον κώδικα μέσω του Thebe, διασφαλίζοντας ότι οι απαραίτητες εξαρτήσεις θα εγκατασταθούν αυτόματα. Παρακάτω παρατίθεται το περιεχόμενο του "requirements.txt" της εφαρμογής:

```
numpy==1.24.3
scipy==1.10.1
matplotlib
ipython
ipywidgets==7.7.2
requests
scikit-commpy
```

- **Binder**

  Αφού συμπληρωθεί το αρχείο "**requirements.txt",** μεταβαίνουμε στην ιστοσελίδα https://mybinder.org/ . Εκεί, συμπληρώνουμε τα απαιτούμενα πεδία για το GitHub repository και πατάμε το κουμπί "**launch"**.:



Μετά από μια σύντομη αναμονή, το σύστημα θα δημιουργήσει τον online kernel, ο οποίος θα είναι έτοιμος για χρήση, επιτρέποντας την εκτέλεση του κώδικα μέσω του Thebe.

Documentation of Lab Exercises

Lab Exercise 1: Εισαγωγή στα Συστήματα Ψηφιακής Μετάδοσης

Δημιουργία Θορυβώδους Σήματος και Ανάλυση Φασματικής Πυκνότητας Ισχύος

```
# Loading animation HTML code
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey */
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue */
                                   border-radius: 50%;
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite;'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }
        100% { transform: rotate(360deg); }
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
done = """
        <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center;
height: 80px;'>
            <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>
        </div>
        """

# Create an HTML widget to display the loading animation
loader_html2 = widgets.HTML(
  value=loading
)

# Create an HTML widget to display the elapsed time
```

```
timer_html2 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"
)

# Output widget where plots will be displayed
plot_output2 = widgets.Output()

# Function to calculate the next highest power of 2
def nextpow2(i):
    """
    Calculate the next power of 2 greater than or equal to the integer i.

    Parameters:
    i (int): Input integer.

    Returns:
    int: Next power of 2 greater than or equal to i.
    """
    n = 1
    while n < i:
        n *= 2
    return n

# Function to update plots with input frequencies
def update_plots2(freq1, freq2, freq3):
    """
    Update the plots based on the provided frequencies.

    Parameters:
    freq1 (int): Frequency of the first sine wave (Hz).
    freq2 (int): Frequency of the second sine wave (Hz).
    freq3 (int): Frequency of the third sine wave (Hz).
    """
    # Start timer and show loading animation
    loader_html2.value = loading
    start_time = time.time()

    # Sampling parameters
    Fs = 8000                    # Sampling frequency (Hz)
    Ts = 1/Fs                    # Sampling period (seconds)
    L = 8000                     # Length of signal (number of samples)
    T = L * Ts                   # Total duration of signal (seconds)
    t = np.arange(0, L) * Ts     # Time vector from 0 to T-Ts (inclusive)

    # Create the composite signal using the three input frequencies
    new_x = np.sin(2*np.pi*freq1*t) + 0.8*np.sin(2*np.pi*freq2*t) +
np.sin(2*np.pi*freq3*t)
```

```
    # Generate random noise
    rand_n = np.random.randn(len(new_x))  # Random noise with same length as new_x

    # Check if any of the input frequencies are out of bounds
    if any(freq < 0 for freq in [freq1, freq2, freq3]) or any(freq > 3900 for freq
in [freq1, freq2, freq3]):
        # If invalid frequency, clear the output and display a warning message
        with plot_output2:
            plot_output2.clear_output(wait=True)
            warning_html2 = widgets.HTML(
                value="<div style='color: black; background-color: #ffffcc; padding:
10px; border-radius: 5px; font-size: 16px; text-align: center;'>"
                      "<b>⚠ Warning:</b> Frequency should not exceed 3900 and must
be non-negative!</div>",
                placeholder='',
                description='',
            )
            display(warning_html2)
            # Update the timer and loader to indicate completion
            elapsed_time = time.time() - start_time
            timer_html2.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
            loader_html2.value = done
    else:
        # If frequencies are valid, proceed to update the plots
        with plot_output2:
            plot_output2.clear_output(wait=True)
            # Plotting setup: create a figure with 4 subplots
            fig, axs = plt.subplots(4, 1, figsize=(12, 20))

            # Time domain plot of random noise rand_n
            axs[0].plot(t, rand_n, color='#00CC96')
            axs[0].set_title('Time domain plot of n')
            axs[0].set_xlabel('t (sec)')
            axs[0].set_ylabel('Amplitude')
            axs[0].grid(True)

            # Compute FFT parameters
            N = nextpow2(L)            # Length of Fourier transform (next power of
2)
            Fo = Fs / N                # Frequency resolution
            f = np.arange(0, N) * Fo   # Frequency vector
            f_shifted = f - Fs/2       # Shifted frequency vector for centered
spectrum

            # Compute the FFT of the noise signal
            rand_N = np.fft.fft(rand_n, N)           # Compute DFT for N points
            rand_N = np.fft.fftshift(rand_N)         # Shift zero frequency
component to center
```

```
            power_n = np.multiply(rand_N, np.conj(rand_N)) / N / L  # Compute power
spectral density

            # Frequency domain plot of the noise power spectrum
            axs[1].plot(f_shifted, power_n.real, color='#1F77B4')
            axs[1].set_title('Frequency domain plot of n')
            axs[1].set_xlabel('f (Hz)')
            axs[1].set_ylabel('Amplitude')
            axs[1].grid(True)

            # Create the noisy signal by adding noise to the composite signal
            s = new_x + rand_n

            # Time domain plot of the noisy signal s
            axs[2].plot(t, s, color='#00CC96')
            axs[2].set_title('Time domain plot of s')
            axs[2].set_xlabel('t (sec)')
            axs[2].set_ylabel('Amplitude')
            axs[2].grid(True)

            # Compute the FFT of the noisy signal s
            S = np.fft.fft(s, N)
            S = np.fft.fftshift(S)

            # Frequency domain plot of the noisy signal s
            axs[3].plot(f_shifted, np.abs(S), color='#1F77B4')
            axs[3].set_title('Frequency domain plot of s')
            axs[3].set_xlabel('f (Hz)')
            axs[3].set_ylabel('Magnitude')
            axs[3].grid(True)

            # Adjust layout to prevent overlap
            plt.tight_layout()
            plt.show()

            # Update the timer and loader to indicate completion
            elapsed_time = time.time() - start_time
            timer_html2.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
            loader_html2.value = done

# Create three IntText widgets for input frequencies
freq1_input2 = widgets.IntText(value=500, description='Freq 1 (Hz):',
continuous_update=False)
freq2_input2 = widgets.IntText(value=1000, description='Freq 2 (Hz):',
continuous_update=False)
freq3_input2 = widgets.IntText(value=1500, description='Freq 3 (Hz):',
continuous_update=False)
```

```
# Group the frequency inputs together in a vertical box
inputs_box = widgets.VBox([freq1_input2, freq2_input2, freq3_input2])

# Group the loader and timer together (they will appear next to each other
horizontally)
loader_timer_box = widgets.VBox([loader_html2, timer_html2],
layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 40px'))

# Place the inputs and the loader/timer horizontally next to each other
ui = widgets.HBox([inputs_box, loader_timer_box])

# Create an interactive output that updates plots when input frequencies change
out = widgets.interactive_output(update_plots2, {
    'freq1': freq1_input2,
    'freq2': freq2_input2,
    'freq3': freq3_input2
})

# Display the UI and the plot output
display(ui, plot_output2)
```

Πολλαπλασιασμός Σημάτων και Ανάλυση στο Πεδίο Χρόνου και Συχνότητας

```
# Loading animation HTML code
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey */
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue */
                                   border-radius: 50%;
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite;'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }
        100% { transform: rotate(360deg); }
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
```

```
done = """
        <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center;
height: 80px;'>
            <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>
        </div>
        """

# Create an HTML widget to display the loading animation
loader_html3 = widgets.HTML(
  value=loading
)

# Create an HTML widget to display the elapsed time
timer_html3 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"
)

# Output widget where plots or warnings will be displayed
plot_output3 = widgets.Output()

# Function to calculate the next highest power of 2 greater than or equal to i
def nextpow2(i):
    """
    Calculate the next power of 2 greater than or equal to the given integer.

    Parameters:
    i (int): Input integer.

    Returns:
    int: Next power of 2 greater than or equal to i.
    """
    n = 1
    while n < i:
        n *= 2
    return n

# Function to update plots based on the input frequencies
def update_plots3(freq1, freq2, freq3):
    """
    Update the plots with the given input frequencies.

    Parameters:
    freq1 (int): Frequency of the first sine wave (Hz).
    freq2 (int): Frequency of the second sine wave (Hz).
    freq3 (int): Frequency of the third sine wave (Hz).
    """
    # Start the timer and show the loading animation
    loader_html3.value = loading
```

```
    start_time = time.time()

    # Check if any of the input frequencies are negative or exceed 500 Hz
    if any(freq < 0 for freq in [freq1, freq2, freq3]) or any(freq > 500 for freq in
[freq1, freq2, freq3]):
        # If invalid frequencies, display a warning message
        with plot_output3:
            plot_output3.clear_output(wait=True)
            warning_html3 = widgets.HTML(
                value="<div style='color: black; background-color: #ffffcc; padding:
10px; border-radius: 5px; font-size: 16px; text-align: center;'>"
                      "<b>⚠ Warning:</b> Frequency should not exceed 500 and must
be non-negative!</div>",
                placeholder='',
                description='',
            )
            display(warning_html3)
            # Update the elapsed time and loader to indicate completion
            elapsed_time = time.time() - start_time
            timer_html3.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
            loader_html3.value = done
    else:
        # Proceed with the plot if all frequencies are within the limit
        with plot_output3:
            plot_output3.clear_output(wait=True)  # Clear any existing plots or
warnings
            Fc = 1500  # Carrier frequency in Hz
            Fs = 8000  # Sampling frequency in Hz
            Ts = 1 / Fs  # Sampling period in seconds
            L = int(Fs)  # Length of signal (number of samples), for a 1-second
signal
            t = np.linspace(0, 1, L, endpoint=False)  # Time vector from 0 to 1
second

            # Create the composite signal s as a sum of three sine waves
            s = np.sin(2 * np.pi * freq1 * t) + 0.8 * np.sin(2 * np.pi * freq2 * t)
+ np.sin(2 * np.pi * freq3 * t)
            # Create the carrier signal z at frequency Fc
            z = np.sin(2 * np.pi * Fc * t)
            # Modulate the signal s using the carrier z (Amplitude Modulation)
            y = s * z

            # Plotting the modulated signal in time domain
            fig, axs = plt.subplots(2, 1, figsize=(12, 10))

            # Plot the modulated signal y in the time domain
            axs[0].plot(t, y, color='#00CC96')
            axs[0].set_title('Time domain plot of modulated signal y')
```

```
            axs[0].set_xlabel('Time (sec)')
            axs[0].set_ylabel('Amplitude')
            axs[0].set_xlim(0, 0.2)  # Zoom into the first 0.2 seconds for clarity
            axs[0].set_ylim(-2, 2)   # Set the y-axis limits
            axs[0].grid(True)

            # Fourier Transform to obtain the frequency domain representation
            N = nextpow2(L)  # Number of points for FFT, next power of 2 from L
            Y = np.fft.fft(y, N)  # Compute the FFT of the modulated signal
            Y = np.fft.fftshift(Y)  # Shift the zero frequency component to the
center
            f = np.linspace(-Fs/2, Fs/2, N)  # Frequency vector for plotting

            # Plot the magnitude of the Fourier Transform
            axs[1].plot(f, np.abs(Y), color='#1F77B4')
            axs[1].set_title('Frequency domain plot of modulated signal y')
            axs[1].set_xlabel('Frequency (Hz)')
            axs[1].set_ylabel('Magnitude')
            axs[1].grid(True)

            # Adjust layout and display the plots
            plt.tight_layout()
            plt.show()

            # Update the elapsed time and loader to indicate completion
            elapsed_time = time.time() - start_time
            timer_html3.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
            loader_html3.value = done

# Create a label to show a warning above the text boxes
warning_label = widgets.Label(value="Make sure the frequencies do not exceed 500
Hz")

# Create IntText widgets for frequency input, with default values and no continuous
update
freq1_input3 = widgets.IntText(value=100, description='Freq 1 (Hz):',
continuous_update=False)
freq2_input3 = widgets.IntText(value=200, description='Freq 2 (Hz):',
continuous_update=False)
freq3_input3 = widgets.IntText(value=300, description='Freq 3 (Hz):',
continuous_update=False)

# Group the frequency inputs and the warning label together in a vertical box
inputs_box = widgets.VBox([freq1_input3, freq2_input3, freq3_input3, warning_label])

# Group the loader and timer together in a vertical box, with some left margin
loader_timer_box = widgets.VBox([loader_html3, timer_html3],
layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 40px'))
```

```
# Place the inputs and the loader/timer horizontally next to each other
ui = widgets.HBox([inputs_box, loader_timer_box])

# Create an interactive output that updates when the frequency inputs change
widgets.interactive_output(update_plots3, {'freq1': freq1_input3, 'freq2':
freq2_input3, 'freq3': freq3_input3})

# Display the UI and the plot output widget
display(ui, plot_output3)
```

Φασματική Ανάλυση Σήματος με Τμηματοποιημένη FFT και Σύγκριση με τη Μέθοδο Welch

```
# Loading animation HTML code
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey */
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue */
                                   border-radius: 50%;
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite;'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }
        100% { transform: rotate(360deg); }
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
done = """
        <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center;
height: 80px;'>
            <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>
        </div>
        """

# Create an HTML widget to display the loading animation
loader_html4 = widgets.HTML(
  value=loading
```

```
)

# Create an HTML widget to display the elapsed time
timer_html4 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"
)

# Function to calculate the next highest power of 2
def nextpow2(i):
    """
    Calculate the next power of 2 greater than or equal to the given integer.

    Parameters:
    i (int): Input integer.

    Returns:
    int: Next power of 2 greater than or equal to i.
    """
    n = 1
    while n < i:
        n *= 2
    return n

# Custom implementation of the Welch's method for power spectral density estimation
def pwelch(x, Fs):
    """
    Estimate power spectral density using a custom implementation of Welch's method.

    Parameters:
    x (array_like): Input signal.
    Fs (float): Sampling frequency.

    Returns:
    tuple: Frequencies and corresponding power spectral density estimates.
    """
    Ts = 1 / Fs                     # Sampling period
    L = np.size(x) + 1              # Length of the signal
    T = L * Ts                      # Total duration
    N = 2^nextpow2(L)               # FFT length (next power of 2)
    Fo = Fs / N                     # Frequency resolution
    f = np.arange(0, N) * Fo        # Frequency vector

    # Determine window size for segmenting the signal
    window_size = nextpow2(np.size(x)/8)
    if (window_size < 256):
        window_size = 256
    windows = np.size(x) // (window_size // 2) - 1  # Number of overlapping windows
```

```
    # Create an indexer for overlapping windows
    indexer = np.arange(window_size)[None, :] + (window_size // 2) *
np.arange(windows)[:, None]
    windowed_x = x[indexer]  # Segment the signal into overlapping windows

    avg_pwr = 0  # Initialize average power
    for window in windowed_x:
        window = window * np.hanning(np.size(window))  # Apply Hanning window
        L = np.size(window) + 1
        T = L * Ts
        N = 2^nextpow2(L)              # FFT length (next power of 2)
        Fo = Fs / N
        f = np.arange(0, N) * Fo
        window_fft = np.fft.fft(window, N)  # Compute FFT
        power = np.multiply(window_fft, np.conj(window_fft)) / N / L  # Compute
power spectral density
        avg_pwr = avg_pwr + power  # Accumulate power over all windows
    avg_pwr = avg_pwr / windows  # Average the power spectral density

    return f[np.arange(0, N // 2)], avg_pwr[np.arange(0, N // 2)]  # Return one-
sided spectrum

# Function to update plots based on slider value
def update_plots3(Fs):
    """
    Update the plots based on the sampling frequency slider value.

    Parameters:
    Fs (int): Sampling frequency (Hz).
    """
    # Start timer and show loading animation
    loader_html4.value = loading
    start_time = time.time()

    L = 1000  # Length of the signal
    T = 1 / Fs  # Sampling period
    t1 = np.arange(0, L) * T  # Time vector

    # Recompute signal x with new sampling frequency
    last_x = np.sin(2 * np.pi * 30 * t1) + 0.8 * np.sin(2 * np.pi * 80 * (t1 - 2)) +
np.sin(2 * np.pi * 60 * t1)

    # Compute power spectral density using custom pwelch function
    f1, Pxx1 = pwelch(last_x, Fs)

    # Compute power spectral density using SciPy's signal.welch function
    f2, Pxx2 = signal.welch(last_x, fs=Fs)
```

```
    # Create plots to compare the two methods
    fig, axs = plt.subplots(2, 1, figsize=(15, 10))

    # Plot custom pwelch result
    axs[0].plot(f1, Pxx1)
    axs[0].set(xlabel='Frequency (Hz)', ylabel='Power', title='Periodogram
pwelch()')
    axs[0].grid()

    # Plot signal.welch result
    axs[1].plot(f2, Pxx2)
    axs[1].set(xlabel='Frequency (Hz)', ylabel='Power', title='Periodogram
signal.welch()')
    axs[1].grid()

    # Adjust layout to prevent overlap
    plt.tight_layout()
    # Show elapsed time
    elapsed_time = time.time() - start_time
    timer_html4.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
    loader_html4.value = done

# Create slider widget for sampling frequency Fs
Fs_slider = widgets.IntSlider(
    value=500,
    min=100,
    max=2000,
    step=100,
    description='Sampling Frequency (Fs):',
    layout=Layout(width='auto', flex='1 1 auto'),
    style={'description_width': 'initial'},
    continuous_update=False
)

# Display the sliders and output
vbox_layout = Layout(display='flex', flex_flow='column', align_items='center')

# Group the frequency inputs together in a horizontal box
inputs_box = widgets.HBox([Fs_slider], layout=Layout(flex='1 1 auto', width='auto'))

# Group the loader and timer together in a vertical box (they will appear next to
each other horizontally)
loader_timer_box = widgets.VBox([loader_html4, timer_html4],
layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto'))

# Arrange the inputs and the loader/timer horizontally
ui = widgets.HBox([inputs_box, loader_timer_box], layout=Layout(display='flex',
justify_content='center', width='100%', align_items='center'))
```

```
# Create an interactive output that updates when the slider value changes
out = widgets.interactive_output(update_plots3, {'Fs': Fs_slider})

# Display the UI and the output
display(ui, out)
```

Lab Exercise 2: Ψηφιακά Φίλτρα

Τροποποίηση Κώδικα με Χρήση ifftshift/fftshift για Βελτιστοποίηση Φασματικής Ανάλυσης

```
# Loading animation HTML code for visual feedback during processing
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey */
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue */
                                   border-radius: 50%;
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite;'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }
        100% { transform: rotate(360deg); }
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
done = """
        <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center;
height: 80px;'>
            <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>
        </div>
        """

# Create HTML widgets to display the loading animation and elapsed time
loader_html1 = widgets.HTML(
  value=loading
)
timer_html1 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"
)

# Replace the URL with the URL of the raw content (sima.txt file)
url = "https://raw.githubusercontent.com/ntua-el17840/Interactive-Digital-
Communications/main/test-book/_static/sima.txt"
response = requests.get(url)
```

```
# Read the data from the text file, converting each line to a float, and store in
array 's'
s = np.array([float(line) for line in response.text.splitlines()])

# Set the sampling frequency
Fs = 8192

# Compute the Power Spectral Density (PSD) of the signal 's' using Welch's method
f, Pxx = scipy.signal.welch(s, Fs)

# Number of frequency bins for FFT, set to the sampling frequency
N = Fs

# Create a frequency domain filter 'H' with ones in the passband and zeros in the
stopband
H = np.concatenate((np.ones(N//8), np.zeros(N//4), np.ones(N//8)))

# Compute the impulse response 'h' by taking the inverse FFT of 'H' and keep the
real part
h = np.fft.ifft(H, n=N).real

# Shift the impulse response to center it (align zero time to the center)
h = np.fft.fftshift(h)

# Extract different lengths of the impulse response for various filters
h32 = h[N//2-16:N//2+17]   # Filter with 33 coefficients
h64 = h[N//2-32:N//2+33]   # Filter with 65 coefficients
h128 = h[N//2-64:N//2+65]  # Filter with 129 coefficients

# Alternatively, ensure 'H' is correctly defined and calculated as before
# Create the frequency domain filter 'H' using horizontal stacking of arrays
H = np.hstack((np.ones(int(Fs/8)), np.zeros(int(Fs - Fs/4)), np.ones(int(Fs/8))))

# Compute the impulse response 'h' and take the real part
h = np.real(np.fft.ifft(H))

# Find the middle index of the impulse response
middle = int(len(h) / 2)

# Shift the impulse response to center it by rearranging the halves
h = np.hstack((h[middle:], h[:middle]))

# Extract various impulse responses of different lengths centered around the middle
index
h32 = h[middle-16:middle+16]
h64 = h[middle-32:middle+32]
h128 = h[middle-64:middle+64]
h140 = h[middle-70:middle+70]
```

```
h256 = h[middle-128:middle+128]

# Create a dictionary to store different filter variants for easy access
h_variants = {
    'h32': h[middle-16:middle+16],
    'h64': h[middle-32:middle+32],
    'h128': h[middle-64:middle+64],
    'h140': h[middle-70:middle+70],
    'h256': h[middle-128:middle+128],
}

# Create an output widget to display plots
output2 = widgets.Output()
output2.layout = Layout(width='auto', margin='0 auto')

# Function to generate and display the stem plot for the selected filter
def plot_stem(h_key):
    # Start the timer
    start_time = time.time()

    with output2:
        loader_html1.value = loading  # Show loading animation
        clear_output(wait=True)       # Clear any previous output in the widget
        h_data = h_variants[h_key]    # Get the impulse response data for the
selected filter
        x_values = np.arange(len(h_data))  # Create an array of indices for plotting
        plt.close('all')              # Close any existing figures to prevent
overlaps
        fig, ax = plt.subplots()      # Create a new figure and axes
        # Generate a stem plot of the impulse response
        markerline, stemlines, baseline = ax.stem(x_values, h_data, '-.')
        # Customize the baseline appearance
        plt.setp(baseline, 'color', 'k', 'linewidth', 2)
        # Set plot titles and labels
        plt.title('Stem plot of selected filter')
        plt.xlabel('Index')
        plt.ylabel('Amplitude')

        # Update the elapsed time and loader to indicate completion
        elapsed_time = time.time() - start_time
        timer_html1.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
        loader_html1.value = done

        # Display the plot
        plt.show()

# HTML Label for the visualization section
html_label = widgets.HTML(
```

```
    value="<h2 style='font-weight: bold; font-size: 30px; text-align:
center;'>Filter Visualization</h2>"
)

# Setup the dropdown widget for selecting different filters
dropdown = widgets.Dropdown(
    options=list(h_variants.keys()),  # Options are the keys from h_variants
dictionary
    value='h32',                      # Default selected value
    description='Filter:'
)

# Function that updates the plot when the dropdown selection changes
def update_plot(change):
    plot_stem(change['new'])  # Call plot_stem with the new selection

# Observe the dropdown for changes and call update_plot when it changes
dropdown.observe(update_plot, names='value')

# Layout settings for aligning items vertically and horizontally
vbox_layout = Layout(
    display='flex',
    flex_flow='column',
    align_items='center',
    justify_content='space-between'
)

# Group the loader and timer together (they will appear next to each other
horizontally)
loader_timer_box = widgets.VBox(
    [loader_html1, timer_html1],
    layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 40px')
)

# Arrange the dropdown and loader/timer horizontally
ui = widgets.HBox(
    [dropdown, loader_timer_box],
    layout=Layout(align_items='center', justify_content='center')
)

# Group the HTML label, UI components, and output widget in a vertical box layout
vbox_final = widgets.VBox([html_label, ui, output2])

# Display the final VBox containing all components
display(vbox_final)

# Initial call to display the plot using the default value from the dropdown
plot_stem(dropdown.value)
```

```
# Loading animation HTML code for visual feedback during processing
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey */
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue */
                                   border-radius: 50%;
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite;'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }
        100% { transform: rotate(360deg); }
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
done = """
        <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center;
height: 80px;'>
            <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>
        </div>
        """

# Create HTML widgets to display the loading animation and elapsed time
loader_html2 = widgets.HTML(
  value=loading
)
timer_html2 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"
)

# Compute frequency responses for various filters
freq32, resp32 = signal.freqz(h32)
freq64, resp64 = signal.freqz(h64)
freq128, resp128 = signal.freqz(h128)
freq140, resp160 = signal.freqz(h140)
freq256, resp256 = signal.freqz(h256)
```

```
# Create a dictionary to map filter names to their corresponding variables
filter_dict = {
    'h32': h32,
    'h64': h64,
    'h128': h128,
    'h140': h140,
    'h256': h256
}

# Function to apply window and compute frequency responses
def compute_filtered_freq_responses(window_type='Rectangular'):
    """
    Compute the frequency responses of filters with the specified window type.

    Parameters:
    window_type (str): Type of window to apply ('Rectangular', 'Hamming', or
'Kaiser').

    Returns:
    freqs (dict): Dictionary of frequency arrays for each filter.
    resps (dict): Dictionary of frequency responses for each filter.
    """
    freqs, resps = {}, {}
    for filt_size in [32, 64, 128, 140, 256]:
        filt_name = f'h{filt_size}'  # Construct filter name as a string
        filt = filter_dict[filt_name]  # Access the filter array from the dictionary

        # Apply the specified window to the filter coefficients
        if window_type == 'Hamming':
            filt = filt * np.hamming(filt_size)
        elif window_type == 'Kaiser':
            beta = 14  # Beta value for Kaiser window, adjust as needed
            filt = filt * np.kaiser(filt_size, beta)

        # Compute the frequency response of the windowed filter
        freqs[filt_name], resps[filt_name] = signal.freqz(filt)
    return freqs, resps

# Initial computation with Rectangular (no window)
freqs, resps = compute_filtered_freq_responses()

# Create an output widget to display plots
output3 = widgets.Output()
output3.layout = Layout(width='auto', margin='0 auto')

def update_plot1(change=None):
    """
```

```
    Update the plot based on the selected window type and filters.

    Parameters:
    change: Optional parameter for observe callbacks (not used here).
    """
    # Start timer
    start_time = time.time()

    # Get the selected window type from the dropdown
    window_type = window_type_dropdown.value
    # Compute frequency responses with the selected window
    freqs, resps = compute_filtered_freq_responses(window_type)

    with output3:
        loader_html2.value = loading  # Display loading animation
        clear_output(wait=True)       # Clear previous output
        plt.figure(figsize=(10, 5))
        # Loop through each filter and plot if the corresponding checkbox is checked
        for filt in ['h32', 'h64', 'h128', 'h140', 'h256']:
            if checkboxes1[filt].value:
                w, h = freqs[filt], resps[filt]
                plt.plot(0.5 * Fs * w / np.pi, 20 * np.log10(np.abs(h)), label=filt)
        plt.title(f'Frequency Response with {window_type} Window')
        plt.xlabel('Frequency (Hz)')
        plt.ylabel('Magnitude (dB)')
        plt.xscale('linear')
        plt.grid(True)
        plt.legend()

        # Show elapsed time
        elapsed_time = time.time() - start_time
        timer_html2.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
        loader_html2.value = done  # Display completion checkmark

        plt.show()

# Create checkboxes for each filter
checkboxes1 = {f'h{size}': widgets.Checkbox(value=True, description=f'h{size}') for
size in [32, 64, 128, 140, 256]}
# Observe changes in the checkboxes to update the plot
for cb in checkboxes1.values():
    cb.observe(update_plot1, names='value')

# Dropdown for selecting the window type
window_type_dropdown = widgets.Dropdown(
    options=['Rectangular', 'Hamming', 'Kaiser'],
    value='Rectangular',
    description='Window Type:',
```

```
    style={'description_width': 'initial'}
)
# Observe changes in the dropdown to update the plot
window_type_dropdown.observe(update_plot1, names='value')

# HTML Label for the visualization
html_label = widgets.HTML(
    value="<h2 style='font-weight: bold; font-size: 30px; text-align:
center;'>Filter Frequency Response Visualization</h2>"
)

# VBox layout to align items
vbox_layout = Layout(align_items='center', justify_content='center')
vbox_checkboxes = widgets.VBox(list(checkboxes1.values()) + [window_type_dropdown],
layout=vbox_layout)

# Group the loader and timer together (they will appear next to each other
horizontally)
loader_timer_box = widgets.VBox(
    [loader_html2, timer_html2],
    layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto')
)

# Combine the checkboxes and loader/timer in a horizontal box
vbox_loader = widgets.HBox([vbox_checkboxes, loader_timer_box])

# Combine everything into a final VBox with the layout
vbox_final = widgets.VBox([html_label, vbox_loader, output3], layout=vbox_layout)

# Display the final layout
display(vbox_final)

# Initial plot update to show default visualization
update_plot1()
```

Σχεδιασμός Φίλτρου Parks-McClellan και Σύγκριση Αποκρίσεων Συχνότητας για Διάφορα Μήκη

```
# Loading animation HTML code for visual feedback during processing
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey */
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue */
```

```
                                    border-radius: 50%;
                                    width: 40px;
                                    height: 40px;
                                    animation: spin 2s linear infinite;'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }
        100% { transform: rotate(360deg); }
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
done = """
        <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center;
height: 80px;'>
            <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>
        </div>
        """

# Create HTML widgets to display the loading animation and elapsed time
loader_html3 = widgets.HTML(
  value=loading
)
timer_html3 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"
)

# Define a dictionary 'filters' containing equiripple filters of various lengths
filters = {
    'Equiripple Filter 32+1': scipy.signal.remez(33, [0, 0.1*Fs, 0.15*Fs, 0.5*Fs],
[1, 0], Hz=Fs),
    'Equiripple Filter 64+1': scipy.signal.remez(65, [0, 0.1*Fs, 0.15*Fs, 0.5*Fs],
[1, 0], Hz=Fs),
    'Equiripple Filter 128+1': scipy.signal.remez(129, [0, 0.1*Fs, 0.15*Fs, 0.5*Fs],
[1, 0], Hz=Fs),
    'Equiripple Filter 140+1': scipy.signal.remez(141, [0, 0.1*Fs, 0.15*Fs, 0.5*Fs],
[1, 0], Hz=Fs)
}

# Create an output widget to display the plot
output_plot2 = widgets.Output()
output_plot2.layout = Layout(width='auto', margin='0 auto')

# Function to update the plot based on selected filters
def update_plot2(change=None):
    """
```

```
    Update the frequency response plot based on the selected filters.

    Parameters:
    change (dict): Dictionary containing information about the change event.
    """
    # Start timer
    start_time = time.time()
    # Get the list of selected filters from the checkboxes
    selected_filters = [cb.description for cb in checkboxes2 if cb.value]
    with output_plot2:
        loader_html3.value = loading  # Display loading animation
        clear_output(wait=True)       # Clear previous output
        plt.figure(figsize=(10, 5))
        # Loop through each selected filter and plot its frequency response
        for filter_name in selected_filters:
            filter_coeffs = filters[filter_name]  # Get the filter coefficients
            # Compute the frequency response
            w, h = signal.freqz(filter_coeffs, worN=8000)
            # Plot the magnitude of the frequency response on a semilogarithmic
scale
            plt.semilogy(w * Fs / (2 * np.pi), np.abs(h), label=filter_name)
        plt.title('Frequency Response')
        plt.xlabel('Frequency (Hz)')
        plt.ylabel('Gain')
        plt.legend()
        plt.grid(True)

        # Show elapsed time
        elapsed_time = time.time() - start_time
        timer_html3.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
        loader_html3.value = done  # Display completion checkmark

        plt.show()

# Create checkboxes for each filter to allow user selection
checkboxes2 = [widgets.Checkbox(value=True, description=name) for name in
filters.keys()]
# Observe changes in the checkboxes to update the plot when selections change
for cb in checkboxes2:
    cb.observe(update_plot2, names='value')

# HTML Label for the visualization
html_label = widgets.HTML(
    value="<h2 style='font-weight: bold; font-size: 30px; text-align:
center;'>Equiripple Filter Frequency Response</h2>"
)

# VBox layout to align items vertically and center them
```

```
vbox_layout = Layout(align_items='center', justify_content='center')

# Create a vertical box containing the label and checkboxes
vbox_checkboxes = widgets.VBox(
    [widgets.Label('Select Equiripple Filter Length:')] + checkboxes2,
    layout=vbox_layout
)

# Group the loader and timer widgets vertically
loader_timer_box = widgets.VBox(
    [loader_html3, timer_html3],
    layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto')
)

# Arrange the checkboxes and loader/timer horizontally
vbox_loader = widgets.HBox([vbox_checkboxes, loader_timer_box])

# Combine the HTML label, controls, and output plot into a final vertical box
vbox_final = widgets.VBox([html_label, vbox_loader, output_plot2],
layout=vbox_layout)

# Display the final layout
display(vbox_final)

# Initial plot update to show default visualization
update_plot2()
```

Σύγκριση Αποκρίσεων Συχνότητας Φίλτρου Parks-McClellan με Διαφορετικές Οριακές Συχνότητες

```
# Loading animation HTML code for visual feedback during processing
# This HTML code creates a spinning loader animation to indicate that processing is
ongoing
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey */
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Green */
                                   border-radius: 50%;
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite;'></div>
    </div>
    <style>
```

```
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }  /* Starting point of the animation */
        100% { transform: rotate(360deg); }  /* Ending point after one full rotation
*/
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
# This code shows a green checkmark indicating that processing has finished
done = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>  <!-- Unicode
checkmark symbol -->
    </div>
    """

# Create HTML widgets to display the loading animation and elapsed time
loader_html4 = widgets.HTML(
    value=loading  # Initially display the loading animation
)
timer_html4 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"  # Placeholder for elapsed time
)

# Define a dictionary 'filters3' containing equiripple filters of various lengths
# Each filter is designed using the Parks-McClellan algorithm (remez function)
filters3 = {
    'Equiripple Filter 32+1': scipy.signal.remez(
        33,                         # Filter length (number of taps)
        [0, 0.11 * Fs, 0.12 * Fs, 0.5 * Fs],  # Band edges in Hz
        [1, 0],                     # Desired amplitudes in each band (1 in passband,
0 in stopband)
        Hz=Fs                       # Sampling frequency
    ),
    'Equiripple Filter 64+1': scipy.signal.remez(
        65,
        [0, 0.11 * Fs, 0.12 * Fs, 0.5 * Fs],
        [1, 0],
        Hz=Fs
    ),
    'Equiripple Filter 128+1': scipy.signal.remez(
        129,
        [0, 0.11 * Fs, 0.12 * Fs, 0.5 * Fs],
        [1, 0],
        Hz=Fs
    ),
```

```
    'Equiripple Filter 140+1': scipy.signal.remez(
        141,
        [0, 0.11 * Fs, 0.12 * Fs, 0.5 * Fs],
        [1, 0],
        Hz=Fs
    ),
    'Equiripple Filter 256+1': scipy.signal.remez(
        257,
        [0, 0.11 * Fs, 0.12 * Fs, 0.5 * Fs],
        [1, 0],
        Hz=Fs
    )
}

# Create an output widget to display the plot
output_plot3 = widgets.Output()

# Function to update the plot based on selected filters
def update_plot3(change=None):
    """
    Update the frequency response plot based on the selected filters.

    Parameters:
    change (dict): Dictionary containing information about the change event.
    """
    # Start the timer and show the loading animation
    start_time = time.time()
    selected_filters = [cb.description for cb in checkboxes3 if cb.value]  # Get
names of selected filters
    with output_plot3:
        loader_html4.value = loading  # Display the loading animation
        clear_output(wait=True)       # Clear previous outputs
        plt.figure(figsize=(10, 5))   # Create a new figure for plotting
        # Loop through each selected filter and plot its frequency response
        for filter_name in selected_filters:
            filter_coeffs = filters3[filter_name]  # Retrieve filter coefficients
from the dictionary
            # Compute the frequency response of the filter
            w, h = signal.freqz(filter_coeffs, worN=8000)
            # Plot the magnitude response (gain) in decibels
            plt.semilogy(w * Fs / (2 * np.pi), np.abs(h), label=filter_name)
        plt.title('Frequency Response')       # Set the plot title
        plt.xlabel('Frequency (Hz)')          # Label the x-axis
        plt.ylabel('Gain')                    # Label the y-axis
        plt.legend()                          # Display a legend
        plt.grid(True)                        # Add grid lines to the plot

        # Update the elapsed time and loader to indicate completion
```

```
        elapsed_time = time.time() - start_time                # Calculate elapsed
time
        timer_html4.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"  # Update
timer display
        loader_html4.value = done                              # Display the
completion checkmark

        plt.show()  # Display the plot

# Create checkboxes for each filter to allow user selection
checkboxes3 = [widgets.Checkbox(value=True, description=name) for name in
filters3.keys()]
# Set up observers to call 'update_plot3' when the value of a checkbox changes
for cb in checkboxes3:
    cb.observe(update_plot3, names='value')

# HTML Label for the visualization section
html_label3 = widgets.HTML(
    value="<h2 style='font-weight: bold; font-size: 30px; text-align:
center;'>Equiripple Filter Frequency Response</h2>"
)

# VBox layout to align items vertically and center them
vbox_layout3 = Layout(
    display='flex',
    flex_flow='column',        # Arrange items in a column (vertical layout)
    align_items='center',      # Center items horizontally
    justify_content='space-between'  # Distribute space evenly
)

# Create a vertical box containing the label and checkboxes
vbox_checkboxes3 = widgets.VBox(
    [widgets.Label('Select Equiripple Filter Length:')] + checkboxes3,  # Add a
label and the checkboxes
    layout=vbox_layout3
)

# Group the loader and timer widgets vertically
loader_timer_box = widgets.VBox(
    [loader_html4, timer_html4],
    layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto')  # Add left margin and
auto width
)

# Arrange the checkboxes and loader/timer horizontally
vbox_loader = widgets.HBox(
    [vbox_checkboxes3, loader_timer_box]
)
```

```
# Combine the HTML label, controls, and output plot into a final vertical box
vbox_final3 = widgets.VBox(
    [html_label3, vbox_loader, output_plot3],  # Add the label, controls, and output
to the VBox
    layout=vbox_layout3
)

# Display the final layout in the notebook
display(vbox_final3)

# Initial plot update to show default visualization
update_plot3()
```

Φασματική Ανάλυση και Φιλτράρισμα Σήματος με Φίλτρα Parks-McClellan για Διαφορετικές Οριακές Συχνότητες

```
# Loading animation HTML code for visual feedback during processing
# This HTML code creates a spinning loader animation to indicate that processing is
ongoing
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey */
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue */
                                   border-radius: 50%;
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite;'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }  /* Starting point of the rotation */
        100% { transform: rotate(360deg); }  /* Ending point after one full rotation
*/
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
# This code shows a green checkmark indicating that processing has finished
done = """
```

```
        <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center;
height: 80px;'>
            <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>  <!--
Unicode checkmark symbol -->
        </div>
        """

# Create HTML widgets to display the loading animation and elapsed time
# These widgets will be updated during processing to provide user feedback
loader_html6 = widgets.HTML(
  value=loading  # Initially display the loading animation
)
timer_html6 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"  # Placeholder for elapsed time
)

# Sampling frequency
Fs = 8192  # Sampling frequency in Hz

# Signal duration
t = np.arange(0, 1.0, 1/Fs)  # Time vector from 0 to 1 second with step size 1/Fs

# Re-define the signal with new frequencies
# The signal 's_new' is a sum of four sinusoids at different frequencies
s_new = np.sin(2*np.pi*400*t) + np.sin(2*np.pi*950*t) + np.sin(2*np.pi*1500*t) +
np.sin(2*np.pi*3000*t)

# Re-define the filters with different lengths
# We define a dictionary 'filters5' containing different equiripple filters
# Each filter is designed using the Parks-McClellan algorithm (remez function)
filters5 = {
    'Equiripple Filter 32+1 Q3': signal.remez(
        33,                          # Filter length (number of taps)
        [0, 0.1*Fs, 0.15*Fs, 0.5*Fs], # Band edges in Hz for Question 3
        [1, 0],                      # Desired amplitudes in each band (1 in
passband, 0 in stopband)
        Hz=Fs                        # Sampling frequency
    ),
    'Equiripple Filter 32+1 Q4': signal.remez(
        33,
        [0, 0.11*Fs, 0.12*Fs, 0.5*Fs], # Band edges in Hz for Question 4
        [1, 0],
        Hz=Fs
    ),
    'Equiripple Filter 64+1 Q3': signal.remez(
        65,
        [0, 0.1*Fs, 0.15*Fs, 0.5*Fs],
        [1, 0],
```

```
        Hz=Fs
    ),
    'Equiripple Filter 64+1 Q4': signal.remez(
        65,
        [0, 0.11*Fs, 0.12*Fs, 0.5*Fs],
        [1, 0],
        Hz=Fs
    ),
    'Equiripple Filter 128+1 Q3': signal.remez(
        129,
        [0, 0.1*Fs, 0.15*Fs, 0.5*Fs],
        [1, 0],
        Hz=Fs
    ),
    'Equiripple Filter 128+1 Q4': signal.remez(
        129,
        [0, 0.11*Fs, 0.12*Fs, 0.5*Fs],
        [1, 0],
        Hz=Fs
    ),
    'Equiripple Filter 140+1 Q3': signal.remez(
        141,
        [0, 0.1*Fs, 0.15*Fs, 0.5*Fs],
        [1, 0],
        Hz=Fs
    ),
    'Equiripple Filter 140+1 Q4': signal.remez(
        141,
        [0, 0.11*Fs, 0.12*Fs, 0.5*Fs],
        [1, 0],
        Hz=Fs
    ),
}

# Create checkboxes for each filter
# Users can select which filters to include in the plot
checkboxes5 = [widgets.Checkbox(value=True, description=name) for name in
filters5.keys()]

# Create an output widget to display the plot
output_plot5 = widgets.Output()

# Function to update the plot based on selected filters
def update_plot5(dummy=None):
    with output_plot5:
        # Start timer and show the loading animation
        loader_html6.value = loading
        start_time = time.time()
```

```
        # Clear the current plot output
        output_plot5.clear_output(wait=True)
        # Start a new plot
        plt.figure(figsize=(14, 4))
        # Add original signal PSD (Power Spectral Density)
        f, Pxx_den_original = signal.welch(s_new, Fs, nperseg=1024)
        plt.semilogy(f, Pxx_den_original, label='Original Signal')
        # Plot PSD for each selected filter
        for cb in checkboxes5:
            if cb.value:  # Only plot if the checkbox is checked
                filter_name = cb.description
                filter_coeffs = filters5[filter_name]
                # Apply the filter to the signal
                filtered_signal = signal.lfilter(filter_coeffs, 1.0, s_new)
                # Compute the PSD of the filtered signal
                f, Pxx_den_filtered = signal.welch(filtered_signal, Fs,
nperseg=1024)
                plt.semilogy(f, Pxx_den_filtered, label=filter_name)
        # Formatting the plot
        plt.title('Power Spectral Density')
        plt.xlabel('Frequency (Hz)')
        plt.ylabel('Power/Frequency (dB/Hz)')
        plt.legend()
        plt.grid(which='both', axis='both')

        # Update the elapsed time and loader to indicate completion
        elapsed_time = time.time() - start_time
        timer_html6.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
        loader_html6.value = done

        plt.show()

# Attach the update_plot function to the checkboxes
# Whenever a checkbox value changes, the plot will update
for cb in checkboxes5:
    cb.observe(update_plot5, names='value')

# Initial call to update the plot with the default selections
update_plot5()

# HTML Label for enhanced UI
html_label = widgets.HTML(
    value="""
    <h2 style='font-weight: bold; font-size: 30px; text-align: center; margin: 20px
0 0 0;'>Power Spectral Density</h2>
    <h4 style='font-weight: bold; font-size: 16px; text-align: center; margin: 0 0
20px 0;'>(using Parks-McClellan filters)</h4>
    """
```

```
)

# Group the loader and timer together (they will appear next to each other
horizontally)
loader_timer_box = widgets.VBox(
    [loader_html6, timer_html6],
    layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto')
)

# Create a vertical box to hold the checkboxes
vbox_checkboxes5 = widgets.VBox(checkboxes5)

# Arrange the checkboxes and loader/timer horizontally
ui = widgets.HBox(
    [vbox_checkboxes5, loader_timer_box],
    layout=Layout(justify_content='center', align_items='center')
)

# Combine the HTML label, controls, and output plot into a final vertical box
out = widgets.VBox([html_label, ui, output_plot5])

# Display the checkboxes and the plot
display(out)
```

Σχεδιασμός Ζωνοπερατού Φίλτρου και Εφαρμογή του σε Σήμα μέσω Δύο Μεθόδων

```
# Loading animation HTML code for visual feedback during processing
# This HTML code creates a spinning loader animation to indicate that processing is
ongoing
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey border
*/
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue border
on top */
                                   border-radius: 50%;             /* Circular
shape */
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite; /* Spinning
animation */'></div>
    </div>
```

```
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }     /* Starting position */
        100% { transform: rotate(360deg); } /* Full rotation */
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
# This code shows a green checkmark indicating that processing has finished
done = """
        <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center;
height: 80px;'>
            <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>  <!--
Unicode checkmark symbol -->
        </div>
        """

# Create HTML widgets to display the loading animation and elapsed time
loader_html7 = widgets.HTML(
  value=loading  # Initially display the loading animation
)
timer_html7 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"  # Placeholder for the elapsed time display
)

# Define your input widgets for the frequencies f1 and f2
f1_input = widgets.IntText(
    value=600,                      # Default value for f1 in Hz
    description='f1 (Hz):',         # Label for the widget
    continuous_update=False         # Update only when the user finishes typing
)
f2_input = widgets.IntText(
    value=1100,                     # Default value for f2 in Hz
    description='f2 (Hz):',         # Label for the widget
    continuous_update=False         # Update only when the user finishes typing
)

# Define the output area for the plots
plot_output2 = widgets.Output()

# Define the function to process the signal when the frequencies change
def process_signal(change):
    """
    This function processes the signal using the specified frequencies f1 and f2.
    It designs a bandpass filter, applies it to the signal, and plots the results.
    """
    # Start the timer and show the loading animation
```

```
    loader_html7.value = loading
    start_time = time.time()

    # Retrieve the current values of f1 and f2 from the input widgets
    f1, f2 = f1_input.value, f2_input.value

    # Check if the frequencies are within acceptable limits (0 to 4000 Hz)
    if any(freq < 0 for freq in [f1, f2]) or any(freq > 4000 for freq in [f1, f2]):
        # Clear the output and display a warning message if frequencies are out of
bounds
        with plot_output2:
            plot_output2.clear_output(wait=True)
            warning_html1 = widgets.HTML(
                value="<div style='color: black; background-color: #ffffcc; padding:
10px; border-radius: 5px; font-size: 16px; text-align: center;'>"
                      "<b>⚠ Warning:</b> Frequency should not exceed 4000 and must
be non-negative!</div>",
                placeholder='',
                description='',
            )
            display(warning_html1)
            # Update the elapsed time and show completion
            elapsed_time = time.time() - start_time
            timer_html7.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
            loader_html7.value = done
    else:
        # Proceed with the processing and plotting if frequencies are valid
        with plot_output2:
            plot_output2.clear_output(wait=True)  # Clear previous output
            plt.close('all')  # Close existing figures to prevent memory leaks

            # Load the signal data from the specified URL
            url = "https://raw.githubusercontent.com/ntua-el17840/Interactive-
Digital-Communications/main/test-book/_static/sima.txt"
            response = requests.get(url)

            # Convert the response text into a NumPy array of floats
            s = np.array([float(line) for line in response.text.splitlines()])

            Fs = 8192  # Sampling frequency in Hz

            # Calculate parameters for the bandpass filter design
            f2m1 = f2 - f1          # Bandwidth of the filter
            f2p1 = (f2 + f1) / 2    # Center frequency of the filter
            N = 256                 # Number of filter coefficients (taps)
            Ts = 1 / Fs             # Sampling interval
            # Time vector centered around zero for symmetric filter
            t = np.arange(-(N - 1), N, 2) * Ts / 2
```

```
            # Design the bandpass filter using the sinc function and cosine
modulation
            hbp = 2 / Fs * np.cos(2 * np.pi * f2p1 * t) * np.sinc(f2m1 * t)
            # Apply a Kaiser window to the filter coefficients to reduce side lobes
            hbpw = hbp * kaiser_atten(len(hbp), 5)

            # Compute frequency responses of the filters
            w, h = freqz(hbp, worN=8000)        # Frequency response of the basic
bandpass filter
            w_w, h_w = freqz(hbpw, worN=8000)   # Frequency response of the windowed
bandpass filter
            fs = Fs  # Sampling frequency for plotting

            # Create a figure with a 1x2 subplot layout for impulse and frequency
responses
            fig, axs = plt.subplots(1, 2, figsize=(14, 4))

            # Plot the impulse responses on the first subplot
            axs[0].plot(hbp, label='Bandpass Filter', color='b')
            axs[0].plot(hbpw, label='Windowed Bandpass Filter', color='r')
            axs[0].set_title('Impulse Responses')
            axs[0].set_xlabel('Sample Index')
            axs[0].set_ylabel('Amplitude')
            axs[0].legend()
            axs[0].grid(True)

            # Plot the frequency responses on the second subplot
            axs[1].plot(w / np.pi * (fs / 2), 20 * np.log10(abs(h)), label='Bandpass
Filter', color='b')
            axs[1].plot(w_w / np.pi * (fs / 2), 20 * np.log10(abs(h_w)),
label='Windowed Bandpass Filter', color='r')
            axs[1].set_title('Frequency Responses')
            axs[1].set_xlabel('Frequency [Hz]')
            axs[1].set_ylabel('Magnitude [dB]')
            axs[1].legend()
            axs[1].grid(True)

            # Convolve the original signal with the filter coefficients to apply the
filters
            sima_bp = convolve(s, hbp, mode='same')    # Output of basic bandpass
filter
            sima_bpw = convolve(s, hbpw, mode='same')  # Output of windowed bandpass
filter

            # Create another figure with a 1x2 subplot layout for PSD plots
            fig, axs = plt.subplots(1, 2, figsize=(14, 4))
```

```
            # Plot the Power Spectral Density (PSD) of the basic bandpass filtered
signal
            f, Pxx = welch(sima_bp, Fs, nperseg=1024)
            axs[0].semilogy(f, Pxx)
            axs[0].set_title('PSD of Bandpass Filtered Signal')
            axs[0].set_xlabel('Frequency [Hz]')
            axs[0].set_ylabel('PSD [V**2/Hz]')
            axs[0].grid(True)

            # Plot the PSD of the windowed bandpass filtered signal
            f, Pxx = welch(sima_bpw, Fs, nperseg=1024)
            axs[1].semilogy(f, Pxx)
            axs[1].set_title('PSD of Windowed Bandpass Filtered Signal')
            axs[1].set_xlabel('Frequency [Hz]')
            axs[1].set_ylabel('PSD [V**2/Hz]')
            axs[1].grid(True)

            plt.tight_layout()  # Adjust the layout to prevent overlap

            # Update the elapsed time and show the completion checkmark
            elapsed_time = time.time() - start_time
            timer_html7.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
            loader_html7.value = done

            plt.show()

# Attach the event handler to the frequency input widgets
# The 'process_signal' function will be called whenever the value changes
f1_input.observe(process_signal, names='value')
f2_input.observe(process_signal, names='value')

# Arrange the input widgets in a vertical box
input_ui = widgets.VBox([f1_input, f2_input])

# Group the loader and timer widgets vertically
loader_timer_box = widgets.VBox(
    [loader_html7, timer_html7],
    layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto')
)

# Arrange the input widgets and loader/timer horizontally
ui = widgets.HBox(
    [input_ui, loader_timer_box],
    layout=Layout(align_items='center')
)

# Display the UI components and the plot output area
display(ui, plot_output2)
```

```
# Call 'process_signal' initially to display the plots with default values
process_signal(None)
```

Σχεδιασμός Ζωνοπερατού Φίλτρου Parks-McClellan με Απόσβεση 60 dB και Εφαρμογή σε Σήμα Πολλαπλών Συχνοτήτων

```
Fs = 8192  # Sampling frequency in Hz
f1, f2 = 600, 1100  # Passband frequencies in Hz
delta_f = 50  # Transition band width to ensure desired attenuation

# Define the frequency bands for the filter
# The structure is [0, f_stop1, f_pass1, f_pass2, f_stop2, Fs/2]
bands = [0, f1 - delta_f, f1, f2, f2 + delta_f, 0.5 * Fs]

# Desired gain values in the bands: 0 for stopbands and 1 for passbands
desired = [0, 1, 0]

# Define the weights for each band to emphasize attenuation in the stopbands
weights = [100, 1, 100]

# Estimate the number of taps (filter order). May need adjustment for optimization.
numtaps = 400

# Design the FIR filter using the remez function (Parks-McClellan algorithm)
filter_taps = remez(numtaps, bands, desired, weight=weights, fs=Fs)

# Calculate the frequency response of the filter
w, h = freqz(filter_taps, worN=8000, fs=Fs)

# Display the frequency response
plt.figure(figsize=(14, 4))
plt.plot(w, 20 * np.log10(abs(h)), label="Bandpass Filter")
plt.title('Frequency Response')
plt.xlabel('Frequency [Hz]')
plt.ylabel('Magnitude [dB]')
plt.grid(True)
plt.axhline(-60, color='red', linestyle='--', label="60 dB Attenuation",
linewidth=1)
plt.legend()
plt.show()
```

Σχεδιασμός και Υλοποίηση Φίλτρου με Δύο Ζώνες Διέλευσης: (0 Hz, 500 Hz) και (1100 Hz, 3000 Hz)

```
Fs = 8192  # Sampling frequency in Hz

# Define our target frequency response.
# We want to create a bandpass filter that passes frequencies between 0-500 Hz and
1100-3000 Hz.
# 'target_freqs' specifies the frequency band edges.
target_freqs = [0, 400, 500, 1100, 1200, 2900, 3000, Fs / 2]

# 'target_response' specifies the desired gain at each frequency in 'target_freqs'.
# A value of 1 indicates the passband, and 0 indicates the stopband.
target_response = [1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0]

# Define the number of taps (filter order + 1) for the FIR filter.
# Increasing 'numtaps' can improve the filter's frequency response but also
increases computation.
numtaps = 350  # Adjust the filter order as needed

# Design the FIR filter using the firwin2 function.
# 'firwin2' creates a linear-phase FIR filter with the specified frequency response.
filter_taps = firwin2(numtaps, target_freqs, target_response, fs=Fs)

# Calculate the frequency response of the filter using 'freqz'.
# 'w' contains the frequencies at which the response is computed.
# 'h' contains the complex frequency response.
w, h = freqz(filter_taps, worN=2000, fs=Fs)

# Display the frequency response of the filter.
plt.figure(figsize=(14, 4))
plt.plot(w, 20 * np.log10(abs(h)), label="Bandpass Filter with firwin2")
plt.title('Frequency Response')
plt.xlabel('Frequency [Hz]')
plt.ylabel('Magnitude [dB]')
plt.grid(True)

# Add a horizontal line at -60 dB to indicate the 60 dB attenuation level.
plt.axhline(-60, color='red', linestyle='--', label="60 dB Attenuation", linewidth=1)

# Add vertical lines to mark the critical frequencies (band edges).
plt.axvline(500, color='green', linestyle='--', label="500 Hz", linewidth=1)
plt.axvline(1100, color='green', linestyle='--', label="1100 Hz", linewidth=1)
plt.axvline(3000, color='green', linestyle='--', label="3000 Hz", linewidth=1)

plt.legend()
plt.show()
```

Τροποποίηση Κώδικα για Τυχαία Δειγματοληψία από Κατανεμημένες Τιμές και Επαλήθευση Ομοιόμορφης Κατανομής

```
# Loading animation HTML code for visual feedback during processing
# This HTML code creates a spinning loader animation to indicate that processing is
ongoing
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey border
*/
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue border
on top */
                                   border-radius: 50%;             /* Circular
shape */
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite; /* Spinning
animation */'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }     /* Start rotation at 0 degrees */
        100% { transform: rotate(360deg); } /* Full rotation (360 degrees) */
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
# This code shows a green checkmark indicating that processing has finished
done = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>  <!-- Unicode
checkmark symbol -->
    </div>
    """
```

```
# Create HTML widgets to display the loading animation and elapsed time
loader_html1 = widgets.HTML(
  value=loading  # Initially display the loading animation
)
timer_html1 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"  # Placeholder for the elapsed time display
)

def generate_histogram(k, d):
    """
    This function generates a histogram based on user-specified parameters 'k' and
'd'.

    Parameters:
    - k (int): Determines the number of quantization levels L = 2^k.
    - d (float): The distance between quantization levels.

    The function performs the following steps:
    1. Generates M random samples uniformly distributed over the quantization
levels.
    2. Calculates the appropriate bins for the histogram based on 'L' and 'd'.
    3. Plots the histogram showing the frequency of each quantized value.
    4. Displays a loading animation while processing and shows the elapsed time
after completion.
    """

    # Start the timer and show the loading animation
    loader_html1.value = loading
    start_time = time.time()

    M = 40000       # Number of random samples to generate
    L = 2 ** k      # Calculate L as 2 raised to the power of k, determining the
number of levels

    # Generate M random samples uniformly distributed over the quantization levels
    # The quantization levels are centered around zero and spaced by 'd'
    # x will contain values like -L*d/2 + d/2, -L*d/2 + 3d/2, ..., L*d/2 - d/2
    x = (2 * np.floor(L * np.random.rand(M)) - L + 1) * d / 2

    # Define the bins for the histogram
    bins = np.arange(-L*d/2, L*d/2 + d, d)      # Bin edges from -L*d/2 to L*d/2
with step size 'd'
    A = np.arange(-L*d/2 + d/2, L*d/2, d)       # Positions for x-ticks at the
center of each bin

    # Create a figure and axis for the histogram
    fig, ax = plt.subplots(1, 1, figsize=(14, 4))
    # Plot the histogram of x with specified bins and visual style
```

```
    ax.hist(x, bins=bins, edgecolor='white', color='#1F77B4')
    ax.set_xticks(A)                    # Set the x-ticks to the centers of the bins
    ax.set_xlabel("Integers")           # Label for the x-axis
    ax.set_ylabel("Frequency")          # Label for the y-axis
    ax.set_title("Histogram of array x elements")  # Title of the plot

    # Calculate and display the elapsed time
    elapsed_time = time.time() - start_time
    timer_html1.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
    loader_html1.value = done           # Replace the loading animation with the
completion checkmark

    plt.show()                          # Display the plot

# UI Components for user input
k_input = widgets.IntText(
    value=3,                        # Default value for k
    description='k:',               # Label for the input widget
    continuous_update=False         # Update only when the user presses Enter or
moves away from the field
)
d_input = widgets.FloatText(
    value=1,                        # Default value for d
    description='d:',               # Label for the input widget
    continuous_update=False         # Update only when the user presses Enter or
moves away from the field
)

inputs = widgets.VBox([k_input, d_input])  # Arrange the input widgets vertically

# Group the loader and timer together; they will appear next to each other horizontally
loader_timer_box = widgets.VBox(
    [loader_html1, timer_html1],
    layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto')  # Add left margin and
auto width
)

# Arrange the input widgets and loader/timer horizontally
ui = widgets.HBox(
    [inputs, loader_timer_box],
    layout=Layout(align_items='center')  # Center the items vertically
)

# Create an interactive output that updates when 'k' or 'd' changes
out = widgets.interactive_output(generate_histogram, {'k': k_input, 'd': d_input})

# Display the UI components and the output area
display(ui, out)
```

Ανάλυση Ιστογραμμάτων για Διαφορετικές Τιμές EbNo και Ερμηνεία Διαφορών

```
# Loading animation HTML code for visual feedback during processing
# This HTML code creates a spinning loader animation to indicate that processing is
ongoing
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey border
*/
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue border
on top */
                                   border-radius: 50%;             /* Circular
shape */
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite; /* Spinning
animation */'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }     # Start rotation at 0 degrees
        100% { transform: rotate(360deg); } # Full rotation (360 degrees)
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
# This code shows a green checkmark indicating that processing has finished
done = """
        <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center;
height: 80px;'>
            <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>  <!--
Unicode checkmark symbol -->
        </div>
        """

# Create HTML widgets to display the loading animation and elapsed time
loader_html2 = widgets.HTML(
  value=loading  # Initially display the loading animation
)
timer_html2 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"  # Placeholder for the elapsed time display
```

```
)

def generate_histogram(k, EbN0_db, d):
    """
    This function generates a histogram of a noisy signal after passing through a
matched filter.

    Parameters:
    - k (int): Number of bits per symbol (determines the modulation order L = 2^k)
    - EbN0_db (float): Energy per bit to noise power spectral density ratio in
decibels
    - d (float): Minimum distance between signal constellation points

    The function performs the following steps:
    1. Generates random symbols according to the specified modulation order.
    2. Adds white Gaussian noise to the upsampled signal based on the specified
Eb/N0.
    3. Passes the noisy signal through a matched filter.
    4. Plots the histogram of the matched filter output.
    """
    # Start timer and show the loading animation
    loader_html2.value = loading
    start_time = time.time()

    M = 60000    # Number of symbols to simulate
    nsamp = 16   # Oversampling factor (number of samples per symbol)

    L = 2 ** k   # Modulation order (number of signal levels)
    # Calculate SNR in dB based on Eb/N0 and oversampling factor
    SNR_db = EbN0_db - 10 * np.log10(nsamp / (2 * k))
    SNR = 10 ** (SNR_db * 0.1)  # Convert SNR from dB to linear scale

    # Generate random symbols from the constellation points
    x = (2 * np.floor(L * np.random.rand(M)) - L + 1) * d / 2
    # Calculate theoretical power of the signal
    Px = (d ** 2 / 4) * (L ** 2 - 1) / 3
    # Measure the actual power of the generated symbols
    Measured_x = np.sum(x ** 2) / len(x)

    # Upsample the signal by repeating each symbol nsamp times
    y = np.repeat(x, nsamp)

    # Generate white Gaussian noise with calculated variance based on SNR
    noise = np.random.normal(0, np.sqrt(Measured_x / SNR), len(y))
    y_noisy = y + noise  # Add noise to the upsampled signal

    # Reshape the noisy signal into a matrix where each row corresponds to one
symbol
```

```
    y_reshaped = np.reshape(y_noisy, (M, nsamp))
    matched = np.ones((nsamp, 1))  # Matched filter coefficients (all ones)

    # Apply the matched filter to each symbol by matrix multiplication
    z = np.matmul(y_reshaped, matched) / nsamp  # Average over nsamp samples

    # Define the positions for x-ticks based on the constellation points
    A = np.arange(-(L - 1) * d / 2, L * d / 2, d)  # Correct range for ticks

    # Plot the histogram of the matched filter output
    fig, ax = plt.subplots(1, 1, figsize=(14, 4))
    ax.hist(z, bins=200, edgecolor='white', color='#1F77B4')
    ax.set_xticks(A)
    ax.set_xlabel("Integers")
    ax.set_ylabel("Frequency")
    ax.legend(["Eb/N0 = " + str(EbN0_db)])
    ax.set_title('Histogram of the Noisy Signal')

    # Calculate and display the elapsed time
    elapsed_time = time.time() - start_time
    timer_html2.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
    loader_html2.value = done  # Replace the loading animation with the completion
checkmark

    plt.show()  # Display the plot

# UI Components for user input
k_input = widgets.IntText(
    value=3,                        # Default value for k
    description='k:',               # Label for the input widget
    continuous_update=False         # Update only when the user presses Enter or
moves away from the field
)
d_input = widgets.IntText(
    value=5,                        # Default value for d
    description='d:',               # Label for the input widget
    continuous_update=False         # Update only when the user presses Enter or
moves away from the field
)
EbN0_db_slider = widgets.FloatSlider(
    value=12,                       # Default value for Eb/N0 in dB
    min=0,
    max=20,
    step=0.1,
    description='Eb/N0 (dB):',      # Label for the slider
    continuous_update=False         # Update only when the user releases the slider
)
```

```
# Arrange the input widgets vertically
inputs = widgets.VBox([k_input, d_input, EbN0_db_slider])

# Group the loader and timer together; they will appear next to each other
horizontally
loader_timer_box = widgets.VBox(
    [loader_html2, timer_html2],
    layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto')  # Add left margin and
auto width
)

# Arrange the inputs and loader/timer horizontally
ui = widgets.HBox(
    [inputs, loader_timer_box],
    layout=Layout(align_items='center')  # Center the items vertically
)

# Create an interactive output that updates when any input changes
out = widgets.interactive_output(
    generate_histogram,
    {'k': k_input, 'd': d_input, 'EbN0_db': EbN0_db_slider}
)

# Display the UI components and the output area
display(ui, out)
```

Υπολογισμός και Σύγκριση BER μέσω Εξίσωσης και BERTOOL στο MATLAB

```
# Loading animation HTML code for visual feedback during processing
# This HTML code creates a spinning loader animation to indicate that processing is
ongoing

loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey border
*/
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue border
on top */
                                   border-radius: 50%;             /* Circular
shape */
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
```

```
                                    animation: spin 2s linear infinite; /* Spinning
animation */'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }     /* Start rotation at 0 degrees */
        100% { transform: rotate(360deg); } /* Full rotation (360 degrees) */
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
# This code shows a green checkmark indicating that processing has finished

done = """
        <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center;
height: 80px;'>
            <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>  <!--
Unicode checkmark symbol -->
        </div>
        """

# Create HTML widgets to display the loading animation and elapsed time
loader_html3 = widgets.HTML(
  value=loading  # Initially display the loading animation
)
timer_html3 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"  # Placeholder for the elapsed time display
)

def ask_errors(k, M, nsamp, EbN0_db):
    """
    This function simulates an ASK (Amplitude Shift Keying) communication system and
calculates the number of errors.

    Parameters:
    - k (int): Number of bits per symbol (determines the modulation order L = 2^k)
    - M (int): Number of symbols to simulate
    - nsamp (int): Number of samples per symbol (oversampling factor)
    - EbN0_db (float): Energy per bit to noise power spectral density ratio in
decibels

    The function performs the following steps:
    1. Generates random symbols according to the specified modulation order.
    2. Modulates the symbols using ASK modulation.
    3. Adds white Gaussian noise to the upsampled signal based on the specified
Eb/N0.
    4. Passes the noisy signal through a matched filter.
```

```
    5. Demodulates the signal and counts the number of symbol errors.

    Returns:
    - errors (int): The number of symbol errors detected.
    """
    # Calculate the modulation order
    L = 2 ** k

    # Adjust SNR based on the oversampling factor and bits per symbol
    SNR_db = EbN0_db - 10 * np.log10(nsamp / (2 * k))
    SNR = 10 ** (SNR_db * 0.1)  # Convert SNR from dB to linear scale

    # Generate random symbols from the constellation points
    x = 2 * np.floor(L * np.random.rand(M)) - L + 1  # Symbols from -L+1 to L-1,
step 2

    # Calculate theoretical power of the signal
    P_x = (L ** 2 - 1) / 3

    # Measure the actual power of the generated symbols
    Measured_x = np.sum(x ** 2) / len(x)

    # Upsample the signal by repeating each symbol nsamp times
    y = []
    for i in range(len(x)):
        y.extend([x[i]] * nsamp)
    y = np.array(y)

    # Generate white Gaussian noise with calculated variance based on SNR
    noise = np.random.normal(0, np.sqrt(Measured_x / SNR), len(y))
    y_noisy = y + noise  # Add noise to the upsampled signal

    # Reshape the noisy signal into a matrix where each row corresponds to one
symbol
    y = np.reshape(y_noisy, (M, nsamp))

    # Define the matched filter (simple averaging filter)
    matched = np.ones((nsamp, 1))

    # Apply the matched filter to each symbol by matrix multiplication
    z = np.matmul(y, matched) / nsamp  # Average over nsamp samples

    # Possible symbol levels in the modulation scheme
    l = np.arange(-L + 1, L, 2)  # Symbol levels from -L+1 to L-1, step 2

    # Flatten z to 1D array
    z = z[:, 0]
```

```
    errors = 0  # Initialize error counter

    # Demodulate and count errors
    for i in range(len(z)):
        differences = np.abs(l - z[i])  # Compute differences to all possible symbol
levels
        m = np.min(differences)         # Find the minimum difference
        index = np.where(differences == m)[0][0]  # Get the index of the closest
symbol
        z[i] = l[index]                 # Assign the closest symbol

        if x[i] != z[i]:                # Compare with transmitted symbol
            errors += 1                 # Increment error counter if symbols differ

    return errors  # Return the total number of errors

# Update Eb/N0 dB range to go up to 20 dB
M = 10000                  # Number of symbols to simulate
nsamp = 16                 # Oversampling factor
EbN0_db = np.arange(0, 21, 2)  # Eb/N0 values from 0 to 20 dB in steps of 2 dB
EbN0 = 10 ** (EbN0_db / 10)    # Convert Eb/N0 from dB to linear scale

# Define the checkboxes for each modulation level
checkbox_4qam = Checkbox(value=True, description='4-ASK')   # 4-level ASK modulation
checkbox_8qam = Checkbox(value=False, description='8-ASK')  # 8-level ASK modulation
checkbox_16qam = Checkbox(value=False, description='16-ASK')# 16-level ASK
modulation

# Create an output widget to display the plot
plot_output = Output()

def plot_selected_modulations(change):
    """
    This function plots the theoretical and experimental Bit Error Rate (BER) curves
    for selected ASK modulation schemes based on the checkboxes.

    Parameters:
    - change: An event handler parameter (not used in the function body)

    The function performs the following steps:
    1. Iterates over the selected modulation schemes.
    2. For each scheme, computes the experimental BER using the ask_errors function.
    3. Computes the theoretical BER for comparison.
    4. Plots both BER curves on a semilog plot.
    """
    # Start timer
    start_time = time.time()
```

```
    with plot_output:
        loader_html3.value = loading  # Display the loading animation
        plot_output.clear_output(wait=True)  # Clear previous output

        plt.figure(figsize=(10, 7))
        # Define colors for each modulation scheme
        colors = {'4-ASK': ('red', 'tomato'), '8-ASK': ('green', 'limegreen'), '16-
ASK': ('blue', 'dodgerblue')}

        # Iterate over modulation schemes and corresponding checkboxes
        for k, checkbox in zip([2, 3, 4], [checkbox_4qam, checkbox_8qam,
checkbox_16qam]):
            if checkbox.value:
                L = 2 ** k  # Modulation order
                modulation_name = f'{L}-ASK'

                # Compute experimental BER by simulating errors at different Eb/N0
values
                ber = [ask_errors(k, M, nsamp, db) / (M * k) for db in EbN0_db]
                plt.semilogy(EbN0_db, ber, 'o', label=f'Experimental
{modulation_name}', color=colors[modulation_name][0])

                # Compute theoretical BER for comparison
                ber_theoretical = (((L - 1) / L) * erfc(np.sqrt(EbN0 * (3 * k) / (L
** 2 - 1)))) / k
                plt.semilogy(EbN0_db, ber_theoretical, linestyle='-',
label=f'Theoretical {modulation_name}', color=colors[modulation_name][1])

        plt.grid(True, which='both')  # Add grid lines
        plt.xlabel("Eb/N0 (dB)")       # Label for x-axis
        plt.ylabel("BER")              # Label for y-axis
        plt.legend()                   # Display legend
        plt.title('Theoretical and Experimental BER of ASK Modulations')  # Plot
title

        # Calculate and display the elapsed time
        elapsed_time = time.time() - start_time
        timer_html3.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
        loader_html3.value = done  # Replace the loading animation with the
completion checkmark

        plt.show()

# Attach the update_plot function to the 'value' property of each checkbox
checkbox_4qam.observe(plot_selected_modulations, names='value')
checkbox_8qam.observe(plot_selected_modulations, names='value')
checkbox_16qam.observe(plot_selected_modulations, names='value')
```

```
# Arrange the checkboxes vertically
inputs = widgets.VBox([checkbox_4qam, checkbox_8qam, checkbox_16qam])

# Group the loader and timer together; they will appear next to each other
horizontally
loader_timer_box = widgets.VBox(
    [loader_html3, timer_html3],
    layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto')
)

# Arrange the inputs and loader/timer horizontally
ui = widgets.HBox(
    [inputs, loader_timer_box],
    layout=Layout(align_items='center')  # Center the items vertically
)

# Setup the display layout
display(ui, plot_output)

# Display the initial plot
plot_selected_modulations(None)
```

Τροποποίηση και Επαλήθευση Κώδικα Συστήματος Διαμόρφωσης με Χρήση Φίλτρου και Προσθήκη Θορύβου

```
# Loading animation HTML code for visual feedback during processing
# This HTML code creates a spinning loader animation to indicate that processing is
ongoing

loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey border
*/
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue border
on top */
                                   border-radius: 50%;             /* Circular
shape */
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite; /* Spinning
animation */'></div>
    </div>
```

```
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }     /* Start rotation at 0 degrees */
        100% { transform: rotate(360deg); } /* Full rotation (360 degrees) */
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
# This code shows a green checkmark indicating that processing has finished

done = """
        <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center;
height: 80px;'>
            <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>  <!--
Unicode checkmark symbol -->
        </div>
        """

# Create HTML widgets to display the loading animation and elapsed time
loader_html4 = widgets.HTML(
  value=loading  # Initially display the loading animation
)
timer_html4 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"  # Placeholder for the elapsed time display
)

def ask_errors_new(k, M, nsamp, EbN0_db):
    """
    This function simulates an ASK (Amplitude Shift Keying) communication system
with pulse shaping
    and matched filtering, and calculates the number of symbol errors.

    Parameters:
    - k (int): Number of bits per symbol (determines the modulation order L = 2^k)
    - M (int): Number of symbols to simulate
    - nsamp (int): Number of samples per symbol (oversampling factor)
    - EbN0_db (float): Energy per bit to noise power spectral density ratio in
decibels

    The function performs the following steps:
    1. Generates random symbols according to the specified modulation order.
    2. Applies pulse shaping using an orthogonal pulse of unit energy.
    3. Upsamples the signal by inserting zeros between symbols.
    4. Convolves the upsampled signal with the pulse shaping filter.
    5. Adds white Gaussian noise to the signal based on the specified Eb/N0.
    6. Passes the noisy signal through a matched filter.
    7. Samples the matched filter output at the symbol rate.
```

```
    8. Demodulates the signal by finding the closest symbol level.
    9. Counts the number of symbol errors by comparing transmitted and received
symbols.

    Returns:
    - errors (int): The number of symbol errors detected.
    """
    # Constants and signal generation
    L = 2 ** k  # Modulation order (number of signal levels)
    # Adjust SNR based on the oversampling factor and bits per symbol
    SNR_db = EbN0_db - 10 * np.log10(nsamp / (2 * k))
    # Generate random symbols from the constellation points
    x = 2 * np.floor(L * np.random.rand(M)) - L + 1  # Symbols from -L+1 to L-1,
step 2

    # Filter impulse response: orthogonal pulse of unit energy
    h = np.ones(nsamp) / np.sqrt(nsamp)  # Pulse shaping filter

    # Upsample x by inserting zeros between symbols
    y_upsampled = np.zeros(M * nsamp)  # Initialize upsampled signal array
    y_upsampled[::nsamp] = x  # Insert symbols every nsamp samples

    # Convolution with the filter impulse response (pulse shaping)
    y = np.convolve(y_upsampled, h, mode='full')[:M * nsamp]  # Truncate to original
length

    # Add AWGN (Additive White Gaussian Noise)
    signal_power = np.mean(y ** 2)  # Calculate signal power
    SNR_linear = 10 ** (SNR_db / 10)  # Convert SNR from dB to linear scale
    noise_power = signal_power / SNR_linear  # Calculate noise power
    # Generate white Gaussian noise
    noise = np.random.normal(0, np.sqrt(noise_power), y.shape)
    y_noisy = y + noise  # Add noise to the signal

    # Matched filter (matched to the pulse shaping filter)
    matched = h[::-1]  # Time-reversed version of h
    yrx = np.convolve(y_noisy, matched, mode='full')  # Convolve received signal
with matched filter

    # Sampling at the end of each symbol period
    z = yrx[nsamp - 1::nsamp][:M]  # Sample every nsamp samples, starting at nsamp -
1

    # Decision making (Demodulation)
    l = np.arange(-L + 1, L, 2)  # Possible symbol levels
    z_decoded = np.zeros(M, dtype=int)  # Initialize decoded symbols array
    for i in range(M):
        # Find the closest symbol level to the received sample
```

```
        index = np.argmin(np.abs(l - z[i]))
        z_decoded[i] = l[index]

    # Count symbol errors by comparing transmitted and received symbols
    errors = np.sum(x != z_decoded)

    return errors

# Simulation parameters
M = 10000  # Number of symbols to simulate
EbN0_db = np.arange(0, 21, 2)  # Eb/N0 values from 0 to 20 dB in steps of 2 dB

# Initialize the widgets
checkbox_4qam1 = Checkbox(value=True, description='4-ASK')   # Checkbox for 4-level
ASK modulation
checkbox_8qam1 = Checkbox(value=False, description='8-ASK')  # Checkbox for 8-level
ASK modulation
checkbox_16qam1 = Checkbox(value=False, description='16-ASK')# Checkbox for 16-level
ASK modulation
nsamp_dropdown1 = Dropdown(
    options=[4, 8, 16, 32, 64],  # Options for samples per symbol
    value=16,  # Default value
    description='Samples per Symbol:',  # Label for the dropdown
    style={'description_width': 'initial'}
)

# Create an output widget to display the plot
plot_output1 = Output()

def plot_selected_modulations1(change):
    """
    This function plots the theoretical and experimental Bit Error Rate (BER) curves
    for selected ASK modulation schemes with pulse shaping, based on the user-
selected
    number of samples per symbol.

    Parameters:
    - change: An event handler parameter (not used in the function body)

    The function performs the following steps:
    1. Retrieves the selected samples per symbol (nsamp) from the dropdown.
    2. Iterates over the selected modulation schemes.
    3. For each scheme, computes the experimental BER using the ask_errors_new
function.
    4. Computes the theoretical BER for comparison.
    5. Plots both BER curves on a semilog plot.
    """
    # Start timer and show the loading animation
```

```
    loader_html4.value = loading
    start_time = time.time()

    with plot_output1:
        plot_output1.clear_output(wait=True)  # Clear previous output
        nsamp = nsamp_dropdown1.value  # Get the selected value from the dropdown
        plt.figure(figsize=(10, 7))

        # Define colors for each modulation level
        colors = {
            '4-ASK': 'red',
            '8-ASK': 'green',
            '16-ASK': 'blue'
        }

        # Iterate over modulation schemes and corresponding checkboxes
        for k, checkbox, color in zip([2, 3, 4], [checkbox_4qam1, checkbox_8qam1,
checkbox_16qam1], colors.values()):
            if checkbox.value:
                L = 2 ** k  # Modulation order
                modulation_name = f'{L}-ASK'
                ber = np.zeros(len(EbN0_db))  # Initialize BER array
                for index, eb_n0 in enumerate(EbN0_db):
                    # Simulate experimental BER
                    errors = ask_errors_new(k, M, nsamp, eb_n0)
                    ber[index] = errors / (M * np.log2(L))  # Calculate BER

                # Plot experimental BER
                plt.semilogy(EbN0_db, ber, 'o', label=f'Experimental
{modulation_name}', color=color)

                # Theoretical BER for comparison
                EbN0_linear = 10 ** (EbN0_db / 10)  # Convert Eb/N0 from dB to
linear scale
                ber_theoretical = (((L - 1) / L) * erfc(np.sqrt(EbN0_linear * (3 *
np.log2(L)) / (L ** 2 - 1)))) / k
                plt.semilogy(EbN0_db, ber_theoretical, linestyle='-',
label=f'Theoretical {modulation_name}', color=color)

        plt.grid(True, which='both')  # Add grid lines
        plt.xlabel("Eb/N0 (dB)")       # Label for x-axis
        plt.ylabel("BER")              # Label for y-axis
        plt.title(f'Theoretical and Experimental BER of modified ask_errors
[nsamp={nsamp}]')  # Plot title
        plt.legend()                   # Display legend

        # Calculate and display the elapsed time
        elapsed_time = time.time() - start_time
```

```
        timer_html4.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
        loader_html4.value = done  # Replace the loading animation with the
completion checkmark

        plt.show()

# Attach the update function to observe changes in checkboxes and dropdown
checkbox_4qam1.observe(plot_selected_modulations1, names='value')
checkbox_8qam1.observe(plot_selected_modulations1, names='value')
checkbox_16qam1.observe(plot_selected_modulations1, names='value')
nsamp_dropdown1.observe(plot_selected_modulations1, names='value')

# Arrange the input widgets vertically
inputs = widgets.VBox([nsamp_dropdown1, checkbox_4qam1, checkbox_8qam1,
checkbox_16qam1])

# Group the loader and timer together; they will appear next to each other
horizontally
loader_timer_box = widgets.VBox(
    [loader_html4, timer_html4],
    layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto')
)

# Arrange the inputs and loader/timer horizontally
ui = widgets.HBox(
    [inputs, loader_timer_box],
    layout=Layout(align_items='center')  # Center the items vertically
)

# Display the widgets and the output container
display(ui, plot_output1)

# Call the function initially to display the plot
plot_selected_modulations1(None)
```

Σχεδίαση Τμημάτων Σημάτων Διαμόρφωσης Χωρίς Θόρυβο και Ανάλυση Αποτελεσμάτων

```
def ask_errors_modified(k, M, nsamp, add_noise=False):
    """
    This function simulates a digital communication system with optional noise
addition.

    Parameters:
```

```
    - k (int): Number of bits per symbol (determines the modulation order L = 2^k)
    - M (int): Number of symbols to simulate
    - nsamp (int): Number of samples per symbol (oversampling factor)
    - add_noise (bool): If True, adds Additive White Gaussian Noise (AWGN) to the
signal

    Returns:
    - x[:20] (ndarray): First 20 transmitted symbols
    - y[:20*nsamp] (ndarray): First 20*nsamp samples of the transmitted signal after
pulse shaping
    - yrx[:20*nsamp] (ndarray): First 20*nsamp samples of the received signal after
matched filtering
    """
    L = 2 ** k  # Modulation order (number of signal levels)

    # Generate random symbols from the constellation points
    # Symbols range from -L+1 to L-1 with a step of 2
    x = 2 * np.floor(L * np.random.rand(M)) - L + 1

    # Create the filter impulse response (pulse shaping filter)
    # Here, we use a rectangular pulse of duration 'nsamp' with unit energy
    h = np.ones(nsamp) / np.sqrt(nsamp)

    # Sender side: upsample and then convolve (filter) the signal
    # 'upfirdn' performs upsampling, FIR filtering, and downsampling
    y = upfirdn(h, x, up=nsamp)  # Upsample by 'nsamp' and filter with 'h'
    y = y[:M * nsamp]  # Truncate to desired length in case convolution extends the
signal

    # Optionally add noise to the transmitted signal
    y_noisy = y
    if add_noise:
        SNR_db = 10  # Example SNR value in dB; adjust as necessary
        SNR_linear = 10 ** (SNR_db / 10)  # Convert SNR from dB to linear scale
        P_x = np.mean(y ** 2)  # Calculate signal power
        noise_variance = P_x / SNR_linear  # Calculate noise variance based on SNR
        # Generate white Gaussian noise
        noise = np.random.normal(0, np.sqrt(noise_variance), len(y))
        y_noisy = y + noise  # Add noise to the transmitted signal

    # Receiver side: matched filtering
    matched = h[::-1]  # Matched filter is the time-reversed version of 'h'
    yrx = convolve(y_noisy, matched, mode='full')  # Convolve received signal with
matched filter
    yrx = yrx[:M * nsamp]  # Truncate to desired length

    # Returning slices for visualization (first 20 symbols and corresponding
samples)
```

```
    return x[:20], y[:20 * nsamp], yrx[:20 * nsamp]


import matplotlib.pyplot as plt

k = 3          # Number of bits per symbol (e.g., k=3 for 8-ASK)
M = 100        # Total number of symbols to simulate
nsamp = 16     # Number of samples per symbol (oversampling factor)

# Get the signal parts for visualization
x_part, y_part, yrx_part = ask_errors_modified(k, M, nsamp, add_noise=False)

# Create a figure and a set of subplots to display the signals
fig, axs = plt.subplots(1, 3, figsize=(14, 5))

# Plot the transmitted symbols x[1:20]
markerline, stemlines, baseline = axs[0].stem(x_part)
plt.setp(stemlines, 'linewidth', 0.5)    # Set the stem lines' width
plt.setp(markerline, 'markersize', 4)    # Set the marker size
axs[0].set_title('x[1:20] (Transmitted Symbols)')
axs[0].set_xlabel('Symbol Index')
axs[0].set_ylabel('Amplitude')

# Plot the transmitted signal after pulse shaping y[1:20*nsamp]
markerline, stemlines, baseline = axs[1].stem(y_part)
plt.setp(stemlines, 'linewidth', 0.5)
plt.setp(markerline, 'markersize', 4)
axs[1].set_title('y[1:20*nsamp] (Transmitted Signal)')
axs[1].set_xlabel('Sample Index')
axs[1].set_ylabel('Amplitude')

# Plot the received signal after matched filtering yrx[1:20*nsamp]
markerline, stemlines, baseline = axs[2].stem(yrx_part)
plt.setp(stemlines, 'linewidth', 0.5)
plt.setp(markerline, 'markersize', 4)
axs[2].set_title('yrx[1:20*nsamp] (Received Signal)')
axs[2].set_xlabel('Sample Index')
axs[2].set_ylabel('Amplitude')

# Adjust layout to prevent overlap
plt.tight_layout()

# Show the plot
plt.show()
```

```
# Loading animation HTML code for visual feedback during processing
# This HTML code creates a spinning loader animation to indicate that processing is
ongoing

loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey */
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue */
                                   border-radius: 50%;
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite;'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }     /* Start rotation at 0 degrees */
        100% { transform: rotate(360deg); } /* Full rotation (360 degrees) */
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
# This code shows a green checkmark indicating that processing has finished

done = """
        <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center;
height: 80px;'>
            <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>  <!--
Unicode checkmark symbol -->
        </div>
        """

# Create HTML widgets to display the loading animation and elapsed time
loader_html5 = widgets.HTML(
  value=loading  # Initially display the loading animation
)
timer_html5 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"  # Placeholder for the elapsed time display
)
```

```python
def ask_errors_sin_wrong(k, M, nsamp, EbN0_db, matched_filter_type='Normal'):
    """
    This function simulates an ASK communication system using a cosine-shaped pulse
    and calculates the number of symbol errors.

    Parameters:
    - k (int): Number of bits per symbol (determines the modulation order L = 2^k)
    - M (int): Number of symbols to simulate
    - nsamp (int): Number of samples per symbol (oversampling factor)
    - EbN0_db (float): Energy per bit to noise power spectral density ratio in
decibels
    - matched_filter_type (str): Type of matched filter to use ('Normal' or
'Reversed')

    The function performs the following steps:
    1. Generates random symbols according to the specified modulation order.
    2. Uses a cosine-shaped pulse for pulse shaping.
    3. Upsamples the signal and filters it with the pulse shape.
    4. Adds white Gaussian noise to the signal based on the specified Eb/N0.
    5. Passes the noisy signal through a matched filter.
    6. Samples the matched filter output at the symbol rate.
    7. Demodulates the signal by finding the closest symbol level.
    8. Counts the number of symbol errors.

    Returns:
    - errors (int): The number of symbol errors detected.
    """

    # Modulation order
    L = 2 ** k

    # Adjust SNR based on the oversampling factor and bits per symbol
    SNR_db = EbN0_db - 10 * np.log10(nsamp / (2 * k))
    SNR_linear = 10 ** (SNR_db / 10)  # Convert SNR from dB to linear scale

    # Generate random symbols from the constellation points
    x = 2 * np.floor(L * np.random.rand(M)) - L + 1  # Symbols from -L+1 to L-1,
step 2

    # Create the pulse shaping filter using a cosine function
    # The pulse h is a cosine-shaped pulse over 'nsamp' samples
    h = np.cos(2 * np.pi * np.arange(1, nsamp + 1) / nsamp)
    h = h / np.sqrt(np.sum(h ** 2))  # Normalize the pulse to have unit energy

    # Sender side: upsample and then convolve (filter) the signal
    y = upfirdn(h, x, up=nsamp)  # Upsample by 'nsamp' and filter with 'h'
    y = y[:M * nsamp]  # Truncate to desired length
```

```
    # Calculate signal power for noise calculation
    P_x = np.mean(y ** 2)
    noise_variance = P_x / SNR_linear  # Noise variance based on SNR

    # Generate white Gaussian noise
    noise = np.random.normal(0, np.sqrt(noise_variance), len(y))
    y_noisy = y + noise  # Add noise to the transmitted signal

    # Receiver side: matched filtering
    # Use either the normal pulse or its time-reversed version based on
'matched_filter_type'
    matched = h[::-1] if matched_filter_type == 'Reversed' else h
    yrx = np.convolve(y_noisy, matched, mode='full')

    # Sampling at the symbol rate (every 'nsamp' samples)
    z = yrx[nsamp - 1:M * nsamp:nsamp]

    # Decision making (Demodulation)
    levels = np.arange(-L + 1, L, 2)  # Possible symbol levels
    # For each sample, find the closest symbol level
    z_decided = levels[np.abs(levels[:, None] - z).argmin(axis=0)]

    # Count symbol errors
    errors = np.count_nonzero(x != z_decided)

    return errors

# Create a RadioButtons widget for selecting the matched filter type
matched_radio = RadioButtons(
    options=['Normal', 'Reversed'],  # Options for matched filter type
    value='Normal',  # Default value
    description='Matched Filter:',
    disabled=False
)

# Simulation parameters
M = 10000  # Number of symbols to simulate
EbN0_db = np.arange(0, 21, 2)  # Eb/N0 values from 0 to 20 dB in steps of 2 dB

# Initialize checkboxes for selecting modulation schemes
checkbox_4ask = Checkbox(value=True, description='4-ASK')   # Checkbox for 4-level
ASK modulation
checkbox_8ask = Checkbox(value=False, description='8-ASK')  # Checkbox for 8-level
ASK modulation
checkbox_16ask = Checkbox(value=False, description='16-ASK')# Checkbox for 16-level
ASK modulation

# Dropdown widget for selecting samples per symbol
```

```
nsamp_dropdown = Dropdown(
    options=[4, 8, 16, 32, 64],  # Options for samples per symbol
    value=16,  # Default value
    description='Samples per Symbol:',
    style={'description_width': 'initial'}
)

# Create an output widget to display the plot
plot_output = Output()

def plot_selected_modulations(change):
    """
    This function plots the theoretical and experimental Bit Error Rate (BER) curves
    for selected ASK modulation schemes using a cosine-shaped pulse, based on user-
selected
    parameters such as samples per symbol and matched filter type.

    Parameters:
    - change: An event handler parameter (not used in the function body)

    The function performs the following steps:
    1. Retrieves the selected parameters from the widgets.
    2. Iterates over the selected modulation schemes.
    3. For each scheme, computes the experimental BER using 'ask_errors_sin_wrong'.
    4. Computes the theoretical BER for comparison.
    5. Plots both BER curves on a semilog plot.
    """

    # Start timer and show the loading animation
    start_time = time.time()
    loader_html5.value = loading

    with plot_output:
        plot_output.clear_output(wait=True)  # Clear previous output
        nsamp = nsamp_dropdown.value  # Get the selected samples per symbol
        matched_filter_type = matched_radio.value  # Get the selected matched filter
type

        plt.figure(figsize=(10, 7))
        colors = {'4-ASK': 'red', '8-ASK': 'green', '16-ASK': 'blue'}

        # Iterate over modulation schemes and corresponding checkboxes
        for k, checkbox, color in zip(
            [2, 3, 4],  # k values for 4-ASK, 8-ASK, 16-ASK
            [checkbox_4ask, checkbox_8ask, checkbox_16ask],
            colors.values()
        ):
            if checkbox.value:
```

```
                L = 2 ** k  # Modulation order
                modulation_name = f'{L}-ASK'
                ber = np.zeros(len(EbN0_db))  # Initialize BER array

                # Simulate experimental BER for each Eb/N0 value
                for index, eb_n0 in enumerate(EbN0_db):
                    errors = ask_errors_sin_wrong(k, M, nsamp, eb_n0,
matched_filter_type)
                    ber[index] = errors / (M * np.log2(L))  # Calculate BER

                # Plot experimental BER
                plt.semilogy(EbN0_db, ber, 'o', label=f'Experimental
{modulation_name}', color=color)

                # Theoretical BER for comparison
                EbN0_linear = 10 ** (EbN0_db / 10)  # Convert Eb/N0 from dB to
linear scale
                ber_theoretical = (((L - 1) / L) * erfc(
                    np.sqrt(EbN0_linear * (3 * np.log2(L)) / (L ** 2 - 1))
                )) / k

                plt.semilogy(EbN0_db, ber_theoretical, linestyle='-',
label=f'Theoretical {modulation_name}', color=color)

        plt.grid(True, which='both')  # Add grid lines
        plt.xlabel("Eb/N0 (dB)")       # Label for x-axis
        plt.ylabel("BER")              # Label for y-axis
        plt.title(f'Theoretical and Experimental BER of ASK Modulations
[nsamp={nsamp}]')
        plt.legend()                   # Display legend

        # Calculate and display the elapsed time
        elapsed_time = time.time() - start_time
        timer_html5.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
        loader_html5.value = done  # Replace the loading animation with the
completion checkmark

        plt.show()

# Attach the update function to observe changes in checkboxes, dropdown, and radio
buttons
checkbox_4ask.observe(plot_selected_modulations, names='value')
checkbox_8ask.observe(plot_selected_modulations, names='value')
checkbox_16ask.observe(plot_selected_modulations, names='value')
nsamp_dropdown.observe(plot_selected_modulations, names='value')
matched_radio.observe(plot_selected_modulations, names='value')

# Arrange the widgets for user input
```

```
inputs1 = widgets.HBox([nsamp_dropdown])  # Samples per symbol dropdown
inputs2 = widgets.HBox([matched_radio], layout=Layout(margin="0 0 0 20px"))  #
Matched filter radio buttons
inputs12 = widgets.HBox([inputs1, inputs2], layout=Layout(align_items='center'))  #
Combine inputs
inputs3 = widgets.VBox([checkbox_4ask, checkbox_8ask, checkbox_16ask])  # Modulation
scheme checkboxes

inputs = widgets.VBox([inputs12, inputs3])  # All input widgets

# Group the loader and timer together
loader_timer_box = widgets.VBox([loader_html5, timer_html5])

# Arrange the inputs and loader/timer horizontally
ui = widgets.HBox([inputs, loader_timer_box], layout=Layout(align_items='center'))

# Display the widgets and the output container
display(ui, plot_output)

# Call the function initially to display the plot
plot_selected_modulations(None)
```

Σχεδίαση Ορθογωνικού και Ημιτονικού Παλμού για Διάφορες Τιμές nsamp

```
# Loading animation HTML code for visual feedback during processing
# This HTML code creates a spinning loader animation to indicate that processing is
ongoing
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey border
*/
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue border
on top */
                                   border-radius: 50%;             /* Circular
shape */
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite; /* Spinning
animation */'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
```

```
        0% { transform: rotate(0deg); }     /* Start rotation at 0 degrees */
        100% { transform: rotate(360deg); } /* Full rotation (360 degrees) */
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
# This code shows a green checkmark indicating that processing has finished
done = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>  <!-- Unicode
checkmark symbol -->
    </div>
    """

# Create HTML widgets to display the loading animation and elapsed time
loader_html6 = widgets.HTML(
    value=loading  # Initially display the loading animation
)
timer_html6 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"  # Placeholder for the elapsed time display
)

# Create an output widget to display the plot
output = widgets.Output()

# Define a function to plot the filters when the nsamp value changes
def plot_filters(change):
    """
    This function plots the orthogonal and sinusoidal pulse shaping filters,
    as well as their matched filters. It updates the plots based on the selected
    number of samples per symbol (nsamp).

    Parameters:
    - change: An event handler parameter (not used in the function body)
    """
    # Start timer and show the loading animation
    start_time = time.time()
    nsamp = nsamp_input.value  # Get the selected nsamp value from the dropdown

    with output:
        loader_html6.value = loading  # Display the loading animation
        output.clear_output(wait=True)  # Clear previous output

        # Define the orthogonal pulse shaping filter
        # It is a rectangular pulse of duration 'nsamp' with unit energy
        orthogonal = np.ones(nsamp) / np.sqrt(nsamp)
```

```
        # Define the sinusoidal pulse shaping filter
        # It is a cosine function over 'nsamp' samples, normalized to unit energy
        sinusoidal = np.cos(2 * np.pi * np.arange(1, nsamp + 1) / nsamp)
        sinusoidal = sinusoidal / np.sqrt(np.sum(sinusoidal ** 2))  # Normalize to
unit energy

        # Define the matched filters (time-reversed versions)
        matched_orthogonal = orthogonal[::-1]  # Time-reversed orthogonal filter
        matched_sinusoidal = sinusoidal[::-1]  # Time-reversed sinusoidal filter

        # Create subplots to display the filters
        fig, axs = plt.subplots(2, 2, figsize=(14, 8))

        # Plot the orthogonal filter
        markerline, stemlines, baseline = axs[0, 0].stem(orthogonal)
        plt.setp(stemlines, 'linewidth', 0.5)  # Adjust line width
        plt.setp(markerline, 'markersize', 4)  # Adjust marker size
        axs[0, 0].set_title('Orthogonal Pulse Shaping Filter')
        axs[0, 0].set_xlabel('Sample Index')
        axs[0, 0].set_ylabel('Amplitude')

        # Plot the sinusoidal filter
        markerline, stemlines, baseline = axs[0, 1].stem(sinusoidal)
        plt.setp(stemlines, 'linewidth', 0.5)
        plt.setp(markerline, 'markersize', 4)
        axs[0, 1].set_title('Sinusoidal Pulse Shaping Filter')
        axs[0, 1].set_xlabel('Sample Index')
        axs[0, 1].set_ylabel('Amplitude')

        # Plot the matched orthogonal filter
        markerline, stemlines, baseline = axs[1, 0].stem(matched_orthogonal)
        plt.setp(stemlines, 'linewidth', 0.5)
        plt.setp(markerline, 'markersize', 4)
        axs[1, 0].set_title('Matched Orthogonal Filter')
        axs[1, 0].set_xlabel('Sample Index')
        axs[1, 0].set_ylabel('Amplitude')

        # Plot the matched sinusoidal filter
        markerline, stemlines, baseline = axs[1, 1].stem(matched_sinusoidal)
        plt.setp(stemlines, 'linewidth', 0.5)
        plt.setp(markerline, 'markersize', 4)
        axs[1, 1].set_title('Matched Sinusoidal Filter')
        axs[1, 1].set_xlabel('Sample Index')
        axs[1, 1].set_ylabel('Amplitude')

        plt.tight_layout()  # Adjust layout to prevent overlap
```

```
        # Calculate and display the elapsed time
        elapsed_time = time.time() - start_time
        timer_html6.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
        loader_html6.value = done  # Replace loading animation with completion
checkmark

        plt.show()  # Display the plots

# Widget UI component: Dropdown for selecting nsamp
nsamp_input = widgets.Dropdown(
    options=[8, 16, 32, 64],  # Possible values for nsamp
    value=8,  # Default value
    description='nsamp:',  # Label for the dropdown
)

# Attach the plot_filters function to the nsamp_input widget
nsamp_input.observe(plot_filters, names='value')

# Arrange the input widget vertically
inputs = widgets.VBox([nsamp_input])

# Group the loader and timer together with a margin
loader_timer_box = widgets.VBox(
    [loader_html6, timer_html6],
    layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto')
)

# Arrange the UI components horizontally
ui = widgets.HBox(
    [inputs, loader_timer_box],
    layout=Layout(align_items='center')  # Center alignment
)

# Combine the UI and output area
out = widgets.VBox([ui, output])

# Display the user interface
display(out)

# Initial call to plot the filters with default nsamp value
plot_filters(None)
```

Lab Exercise 4: Σηματοδότηση Nyquist και Διαμόρφωση L-ASK

Παραγωγή Σήματος 8-ASK με Κωδικοποίηση Gray και Φίλτρα Nyquist: Ανάλυση Σήματος και Φάσματος

```
# The function grayCode accepts a number n and returns an array g containing
# the Gray coding for numbers with n bits.
# This is done by recursively calling the function gray_code_recurse
def grayCode(n):
    def gray_code_recurse (g,n):
        k=len(g)
        if n<=0:
            return
        else:
            for i in range (k-1,-1,-1):
                char='1'+g[i]
                g.append(char)
            for i in range (k-1,-1,-1):
                g[i]='0'+g[i]

            gray_code_recurse (g,n-1)

    g=['0','1']
    gray_code_recurse(g,n-1)
    return g


# The function naturalBinaryCoding accepts a number n and returns an array
# with binary numbers with n bits (or equivalently up to the number 2**n, which
results
# by left shifting 1 by n bits)
def naturalBinaryCoding(n):
    binary_levels = []
    for i in range(1 << n):
        binary_levels.append('{:0{}b}'.format(i, n))
    return binary_levels


# The function generateRandomBits generates n_bits random binary digits
def generateRandomBits(n_bits):
    bitstream = []
```

```
    for i in range(n_bits):
        random_bit = random.randint(0, 1)
        bitstream.append(random_bit)
    return bitstream


# The function createLevels divides the range [-A, A] into L-1 equal intervals,
# so that it always contains the endpoints of the range
def createLevels(A, L):
    y = []
    step = (A - (-A)) / (L - 1)
    for i in range(L):
        y.append(-A + i * step)
    return y


# The function createSymbols takes an array with bits as an argument and
# groups neighboring digits into symbols with length k
def createSymbols(k, bitstream):
    n_bits = len(bitstream)
    symbols = []
    for i in range(0, n_bits - k + 1, k):
        symbol = ""
        for j in range(k):
            symbol += str(bitstream[i+j])
        symbols.append(symbol)
    return symbols


# The function rootRaisedCosine creates a root raised cosine pulse
# with a roll-off coefficient and order determined by the sampling rate (nsample)
# and the delay it will introduce (delay)
def rootRaisedCosine(nsamp, roll_off, delay):
    F0 = 0.5 / nsamp
    Fd = 1
    Fs = Fd * nsamp
    Td = 1 / Fd
    Ts = 1 / Fs
    F1 = F0 * (1 - roll_off)
    F2 = F0 * (1 + roll_off)
    filter_order = 2 * nsamp * delay

    t = np.arange(0, filter_order, Td)
    h = []
    for i in range(len(t)):
        t_shifted = t[i] - filter_order / 2
        if t_shifted == 0:
            h.append(np.sqrt(2 * F0) *(1 + roll_off * ((4 / np.pi) - 1)))
```

```
        elif t_shifted == 1 / 8 / roll_off / F0 or t_shifted == - 1 / 8 / roll_off /
F0 :
            h.append((roll_off * np.sqrt(F0)) * ((1 + 2 / np.pi) * np.sin(np.pi / 4
/ roll_off) + (1 - 2 / np.pi) * np.cos(np.pi / 4 / roll_off)))
        else:
            factor1 = np.sqrt(2 * F0) / (1 - 64 * roll_off* roll_off * F0 * F0 *
t_shifted * t_shifted)
            factor2 = np.sin(2 * np.pi * F1 * t_shifted) / (2 * np.pi * F0 *
t_shifted)
            factor3 = (4 * roll_off / np.pi) * np.cos(2 * np.pi * F2 * t_shifted)
            h.append(factor1 * (factor2 + factor3))

    return t,h


# The function upSample increases the number of samples of a signal signal by adding
nsamp-1
# zeros after each sample of the signal
def upSample(signal, nsamp):
    upSampled = []
    for i in range(len(signal) * nsamp):
        if i % nsamp == 0:
            upSampled.append(signal[i // nsamp])
        else:
            upSampled.append(0)
    return upSampled


# The function downSample reduces the sampling frequency of a signal signal by a
factor of nsamp
# by keeping only the samples that are multiples of nsamp (0, nsamp, 2*nsamp, ...)
def downSample(signal, nsamp):
    downSampled = []
    for i in range(0, len(signal), nsamp):
        downSampled.append(signal[i])

    return downSampled


# Adds white Gaussian noise with mean value μ (mu) and variance σ^2 (sigma)
def generateAWGN(signal, mu, sigma):
    noise = sigma * np.random.randn(len(signal)) + mu
    return noise


# Loading animation HTML code for visual feedback during processing
# This HTML code creates a spinning loader animation to indicate that processing is
ongoing
loading = """
```

```
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey border
*/
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue border
on top */
                                   border-radius: 50%;             /* Circular
shape */
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite; /* Spinning
animation */'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }     /* Start rotation at 0 degrees */
        100% { transform: rotate(360deg); } /* Full rotation (360 degrees) */
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
# This code shows a green checkmark indicating that processing has finished
done = """
        <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center;
height: 80px;'>
            <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>
        </div>
        """

# Create HTML widgets to display the loading animation and elapsed time
loader_html1 = widgets.HTML(
  value=loading  # Initially display the loading animation
)
timer_html1 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"  # Placeholder for the elapsed time display
)

# Declare global variables for filter and parameters
global filt, g_delay, g_nsamp

def interactive_signal_processing1(n_bits, L, roll_off, nsamp, delay):
    """
    This function performs interactive signal processing for an L-ASK modulation
scheme.
    It generates random bits, maps them to symbols using Gray encoding, applies
pulse shaping
```

```
    with a root raised cosine filter, and visualizes the signals at different
stages.

    Parameters:
    - n_bits (int): Length of the binary bitstream.
    - L (int): Number of amplitude levels in ASK modulation (e.g., 2, 4, 8, 16).
    - roll_off (float): Roll-off factor for the root raised cosine filter.
    - nsamp (int): Number of samples per symbol (oversampling factor).
    - delay (int): Group delay of the filter.

    The function updates global variables for the filter, delay, and nsamp.
    It also displays four plots:
    1. Root Raised Cosine Filter response.
    2. Filtered signal with original symbols overlaid.
    3. Transmitted and received signals for comparison.
    4. Power Spectral Density of the received signal.
    """

    # Start timer and display loading animation
    loader_html1.value = loading
    start_time = time.time()

    # Update global variables for use outside the function
    global filt, g_delay, g_nsamp
    g_delay = delay
    g_nsamp = nsamp

    # Generate a random bitstream of length n_bits
    bitstream = generateRandomBits(n_bits)

    # Calculate the amplitude (A) and bits per symbol (k)
    A = L - 1
    k = int(log2(L))

    # Create the amplitude levels for the modulation
    y_levels = createLevels(A, L)

    # Map bits to symbols based on bits per symbol (k)
    symbols = createSymbols(k, bitstream)

    # Generate Gray encoding for symbol mapping
    gray_encoding = grayCode(k)

    # Map the symbols to amplitude levels using Gray encoding
    x_gray = [y_levels[gray_encoding.index(symbol)] for symbol in symbols]

    # Generate the root raised cosine filter
    t_filter, filt = rootRaisedCosine(nsamp, roll_off, delay)
```

```
    # Upsample the signal by inserting zeros between samples
    y = upSample(x_gray, nsamp)

    # Convolve the upsampled signal with the filter (transmit filtering)
    y_transmitted = scipy.signal.convolve(y, filt)

    # Convolve the transmitted signal with the filter again (receive filtering)
    y_received = scipy.signal.convolve(y_transmitted, filt)

    # Downsample the received signal to symbol rate
    y_final = downSample(y_received, nsamp)
    y_final = y_final[2 * delay: len(y_final) - 2 * delay]  # Adjust for filter
delay

    # Create a figure object with specified size
    fig = plt.figure(figsize=(20, 12))

    # First subplot - Root Raised Cosine Filter response
    ax1 = fig.add_subplot(2, 2, 1)
    ax1.plot(t_filter, filt)
    ax1.set_title('Root Raised Cosine Filter')
    ax1.set_xlabel('Time')
    ax1.set_ylabel('Amplitude')
    ax1.grid(True)

    # Second subplot - Filtered signal with original symbols overlaid
    ax2 = fig.add_subplot(2, 2, 2)
    t_continuous = np.arange(0, len(y_transmitted[:10*nsamp]))  # Time vector for
continuous signal
    ax2.plot(t_continuous, y_transmitted[:10*nsamp], label='Filtered Signal')

    # Generate stem positions for original symbols
    t_symbols = np.arange(0, 10*nsamp, nsamp)  # Stem positions every nsamp samples
    y_stems = y_transmitted[t_symbols]  # Corresponding y-values at stem positions

    # Overlay stem plot for original symbols
    ax2.stem(t_symbols, y_stems, linefmt='C1-', markerfmt='C1o', basefmt=" ",
label='Original Symbols')
    ax2.set_title('Signal Visualization')
    ax2.set_xlabel('Time')
    ax2.set_ylabel('Amplitude')
    ax2.legend()
    ax2.grid(True)

    # Third subplot - Transmitted and received signals comparison
    ax3 = fig.add_subplot(2, 2, 3)
    t = np.arange(0, len(y[:10]))
```

```
    ax3.plot(t, y_final[:10], label='Received')
    ax3.stem(t, x_gray[:10], label='Transmitted', linefmt='C1-', markerfmt='C1o',
basefmt=" ")
    ax3.set_title('Signal Visualization')
    ax3.set_xlabel('Time')
    ax3.set_ylabel('Amplitude')
    ax3.legend()
    ax3.grid(True)

    # Fourth subplot - Power Spectral Density of the Received Signal
    ax4 = fig.add_subplot(2, 2, 4)
    f, Pxx_den = scipy.signal.welch(y_received, window='hamming', nperseg=8192)
    Pxx_den = 10 * np.log10(Pxx_den)  # Convert to dB scale
    ax4.plot(f, Pxx_den)
    ax4.set_title('Power Spectral Density of the Received Signal')
    ax4.set_xlabel('Normalized Frequency')
    ax4.set_ylabel('Power/Frequency [dB]')
    ax4.grid(True)

    plt.tight_layout()  # Adjust the layout to prevent overlap
    plt.show()

    # Display elapsed time and update loading animation
    elapsed_time = time.time() - start_time
    timer_html1.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
    loader_html1.value = done

# Widget setup for interactive parameters
n_bits_slider1 = IntSlider(
    min=10000, max=100000, step=10000, value=10000,
    description='Bitstream Length', style={'description_width': 'initial'},
    layout=Layout(width='100%'), continuous_update=False
)
roll_off_slider1 = FloatSlider(
    min=0.1, max=1.0, step=0.1, value=0.4,
    description='Roll-off Factor', style={'description_width': 'initial'},
    layout=Layout(width='100%'), continuous_update=False
)
L_dropdown1 = Dropdown(
    options=[2**i for i in range(1, 6)], value=2,
    description='ASK Levels', style={'description_width': 'initial'},
    continuous_update=False
)
nsamp_slider1 = IntSlider(
    min=10, max=40, step=1, value=20,
    description='nsamp', style={'description_width': 'initial'},
    layout=Layout(width='100%'), continuous_update=False
)
```

```
delay_slider1 = IntSlider(
    min=1, max=10, step=1, value=5,
    description='Group Delay', style={'description_width': 'initial'},
    layout=Layout(width='100%'), continuous_update=False
)

# Create the interactive output for the function
out = widgets.interactive_output(
    interactive_signal_processing1,
    {'n_bits': n_bits_slider1,
     'L': L_dropdown1,
     'roll_off': roll_off_slider1,
     'nsamp': nsamp_slider1,
     'delay': delay_slider1}
)

# Function to update filter order when sliders change
def update_filter_order1(*args):
    filter_order1 = 2 * nsamp_slider1.value * delay_slider1.value
    filter_order_display1.value = filter_order1

# Observers to trigger filter order update on slider value changes
nsamp_slider1.observe(update_filter_order1, 'value')
delay_slider1.observe(update_filter_order1, 'value')

# Display the filter order with an IntText widget
filter_order_display1 = widgets.IntText(
    value=2 * nsamp_slider1.value * delay_slider1.value,
    description='Filter Order:',
    disabled=True
)

# Arrange the input widgets in a VBox layout
inputs = widgets.VBox([
    n_bits_slider1, roll_off_slider1, nsamp_slider1,
    delay_slider1, filter_order_display1, L_dropdown1
])

# Group the loader and timer together (they will appear next to each other
horizontally)
loader_timer_box = widgets.VBox(
    [loader_html1, timer_html1],
    layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto')
)

# Arrange the UI with HBox and layout options
ui = widgets.HBox(
    [inputs, loader_timer_box],
```

```
    layout=widgets.Layout(align_items='center', flex_flow='row nowrap')
)
inputs.layout.flex = '1 1 auto'  # Flex-grow, flex-shrink, flex-basis for input
widgets
loader_timer_box.layout.flex = '0 1 auto'  # No flex-grow for loader/timer box

# Display the UI components and the interactive output
clear_output(wait=True)  # Clear the previous output to refresh
display(ui, out)
```

Μελέτη Επίδοσης BER για 8-ASK: Επίδραση Τάξης Φίλτρου Nyquist και Roll-Off

---

```
# Loading animation HTML code for visual feedback during processing
# This HTML code creates a spinning loader animation to indicate that processing is
ongoing
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey */
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue */
                                   border-radius: 50%;
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite;'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }     /* Start rotation at 0 degrees */
        100% { transform: rotate(360deg); } /* Full rotation (360 degrees) */
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
# This code shows a green checkmark indicating that processing has finished
done = """
        <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center;
height: 80px;'>
            <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>
        </div>
        """

# Create HTML widgets to display the loading animation and elapsed time
```

```
loader_html2 = widgets.HTML(
  value=loading  # Initially display the loading animation
)
timer_html2 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"  # Placeholder for the elapsed time display
)

def interactive_signal_processing2(n_bits=80000, roll_off=0.7, nsamp=16, delay=4,
L=16):
    """
    This function simulates an L-ASK communication system with pulse shaping and
additive white Gaussian noise (AWGN).
    It calculates and plots both theoretical and simulated Bit Error Rate (BER)
curves.

    Parameters:
    - n_bits (int): Length of the binary bitstream.
    - roll_off (float): Roll-off factor for the root raised cosine filter.
    - nsamp (int): Number of samples per symbol (oversampling factor).
    - delay (int): Group delay of the filter.
    - L (int): Number of amplitude levels in ASK modulation (e.g., 2, 4, 8, 16).

    The function performs the following steps:
    1. Generates random bits and maps them to symbols using Gray encoding.
    2. Applies pulse shaping with a root raised cosine filter.
    3. Simulates transmission over an AWGN channel for various Eb/N0 values.
    4. Calculates the theoretical and simulated BER.
    5. Plots the BER curves.
    """

    # Start timer and display loading animation
    loader_html2.value = loading
    start_time = time.time()

    # Generate a random bitstream of length n_bits
    bitstream = generateRandomBits(n_bits)

    # Calculate the amplitude (A) and bits per symbol (k)
    A = L - 1
    k = int(log2(L))

    # Create the amplitude levels for the modulation
    y_levels = createLevels(A, L)

    # Map bits to symbols based on bits per symbol (k)
    symbols = createSymbols(k, bitstream)

    # Generate Gray encoding for symbol mapping
```

```
    gray_encoding = grayCode(k)

    # Map the symbols to amplitude levels using Gray encoding
    x_gray = [y_levels[gray_encoding.index(symbol)] for symbol in symbols]

    # Generate the root raised cosine filter
    t_filter, filt = rootRaisedCosine(nsamp, roll_off, delay)

    # Upsample the signal by inserting zeros between samples
    y = upSample(x_gray, nsamp)

    # Convolve the upsampled signal with the filter (transmit filtering)
    y_transmitted = scipy.signal.convolve(y, filt)

    # Initialize lists to store BER values
    berTheoretical = []
    berSimulation = []
    EbN0_max = 20  # Maximum Eb/N0 value in dB

    # Loop over a range of Eb/N0 values to simulate different noise levels
    for EbN0_db in range(1, EbN0_max):
        # Convert Eb/N0 from dB to linear scale
        EbN0 = 10 ** (EbN0_db / 10)
        # Adjust SNR based on oversampling factor and bits per symbol
        SNR_db = EbN0_db - 10 * np.log10(nsamp / 2 / k)
        SNR = 10 ** (SNR_db / 10)

        # Calculate the power of the transmitted signal and noise power
        P = np.mean(y_transmitted ** 2)
        Pn = P / SNR

        # Generate AWGN noise
        noise = np.random.normal(0, sqrt(Pn), len(y_transmitted))
        y_noisy = y_transmitted + noise  # Add noise to the transmitted signal

        # Convolve the noisy signal with the filter (receive filtering)
        z_received = scipy.signal.convolve(y_noisy, filt)

        # Downsample the received signal to symbol rate
        z_final = downSample(z_received, nsamp)
        z_final = z_final[2 * delay : len(z_final) - 2 * delay]  # Adjust for filter
delay

        # Initialize error counter
        errors = 0
        # Symbol decision based on minimum distance
        for i in range(len(z_final)):
            differences = np.abs(y_levels - z_final[i])
```

```
            index = np.argmin(differences)
            if y_levels[index] != x_gray[i]:
                errors += 1

        # Calculate simulated BER
        berSimulation.append(errors / n_bits)

        # Calculate theoretical BER for L-ASK modulation
        Pe = (L - 1) / L * erfc(sqrt(3 * k / (L**2 - 1) * EbN0))
        berTheoretical.append(Pe / k)

    # Plotting the BER curves
    plt.figure(figsize=(10, 6))
    plt.semilogy(berTheoretical, label='Theoretical')
    plt.semilogy(berSimulation, 'o', label='Simulation')
    plt.xlabel('Eb/N0 (dB)')
    plt.ylabel('Bit Error Rate')
    plt.title('BER Curve for L-ASK')
    plt.legend()
    plt.grid(True)

    # Display elapsed time and update loading animation
    elapsed_time = time.time() - start_time
    timer_html2.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
    loader_html2.value = done

    plt.show()

# Creating sliders and dropdowns for interactive parameters
n_bits_slider2 = IntSlider(
    min=10000, max=100000, step=10000, value=80000,
    description='Binary Sequence Length', style={'description_width': 'initial'},
    layout=Layout(width='100%'), continuous_update=False
)
roll_off_slider2 = FloatSlider(
    min=0.1, max=1.0, step=0.1, value=0.7,
    description='Roll-off Factor', style={'description_width': 'initial'},
    layout=Layout(width='100%'), continuous_update=False
)
nsamp_slider2 = IntSlider(
    min=8, max=32, step=1, value=16,
    description='nsamp', style={'description_width': 'initial'},
    layout=Layout(width='100%'), continuous_update=False
)
delay_slider2 = IntSlider(
    min=1, max=8, step=1, value=4,
    description='Group Delay', style={'description_width': 'initial'},
    layout=Layout(width='100%'), continuous_update=False
```

```
)
L_dropdown2 = Dropdown(
    options=[2**i for i in range(1, 6)], value=16,
    description='ASK Levels', style={'description_width': 'initial'},
    continuous_update=False
)

# Create the interactive output for the function
out = widgets.interactive_output(
    interactive_signal_processing2,
    {'n_bits': n_bits_slider2,
     'roll_off': roll_off_slider2,
     'nsamp': nsamp_slider2,
     'delay': delay_slider2,
     'L': L_dropdown2}
)

# Display filter order with an IntText widget
filter_order_display2 = widgets.IntText(
    value=2 * nsamp_slider2.value * delay_slider2.value,
    description='Filter Order:',
    disabled=True
)

# Function to update filter order dynamically when sliders change
def update_filter_order2(*args):
    filter_order2 = 2 * nsamp_slider2.value * delay_slider2.value
    filter_order_display2.value = filter_order2

# Attach observers to sliders to update filter order when values change
nsamp_slider2.observe(update_filter_order2, 'value')
delay_slider2.observe(update_filter_order2, 'value')

# Group the input widgets into a VBox
input_widgets = widgets.VBox([
    n_bits_slider2, roll_off_slider2, nsamp_slider2,
    delay_slider2, filter_order_display2, L_dropdown2
], layout=widgets.Layout(flex='1 1 auto', width='auto'))

# Group the loader and timer together
loader_timer_box = widgets.VBox(
    [loader_html2, timer_html2],
    layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto')
)

# Combine input widgets and loader/timer into a horizontal layout (HBox)
ui = widgets.HBox(
    [input_widgets, loader_timer_box],
```

```
    layout=widgets.Layout(align_items='center')
)

# Display the UI components and the interactive output
clear_output(wait=True)  # Clear the previous output
display(ui, out)
```

Σύγκριση Καμπυλών BER-Eb/No για 16-ASK και 8-ASK με Μη Gray Κωδικοποίηση

```
# Loading animation HTML code for visual feedback during processing
# This HTML code creates a spinning loader animation to indicate that processing is
ongoing
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey */
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue */
                                   border-radius: 50%;
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite;'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }     /* Start rotation at 0 degrees */
        100% { transform: rotate(360deg); } /* Full rotation (360 degrees) */
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
# This code shows a green checkmark indicating that processing has finished
done = """
        <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center;
height: 80px;'>
            <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>
        </div>
        """

# Create HTML widgets to display the loading animation and elapsed time
loader_html3 = widgets.HTML(
  value=loading  # Initially display the loading animation
)
```

```
timer_html3 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"  # Placeholder for the elapsed time display
)


def interactive_signal_processing_with_natural(n_bits=80000, roll_off=0.7, nsamp=16,
delay=4, L=16):
    """
    This function simulates an L-ASK communication system using both Gray and
Natural encoding schemes.
    It calculates and compares the Bit Error Rate (BER) for both encoding methods
over an AWGN channel.

    Parameters:
    - n_bits (int): Length of the binary bitstream.
    - roll_off (float): Roll-off factor for the root raised cosine filter.
    - nsamp (int): Number of samples per symbol (oversampling factor).
    - delay (int): Group delay of the filter.
    - L (int): Number of amplitude levels in ASK modulation (e.g., 2, 4, 8, 16).

    The function performs the following steps:
    1. Generates random bits and maps them to symbols using both Gray and Natural
encoding.
    2. Applies pulse shaping with a root raised cosine filter.
    3. Simulates transmission over an AWGN channel for various Eb/N0 values.
    4. Calculates the BER for both encoding schemes.
    5. Plots the BER curves for comparison.
    """

    # Start timer
    loader_html3.value = loading
    start_time = time.time()

    # Common setup
    bitstream = generateRandomBits(n_bits)
    A = L - 1
    k = int(log2(L))
    y_levels = createLevels(A, L)
    symbols = createSymbols(k, bitstream)

    # Gray encoding setup
    gray_encoding = grayCode(k)
    x_gray = [y_levels[gray_encoding.index(symbol)] for symbol in symbols]

    # Natural encoding setup
    natural_encoding = naturalBinaryCoding(k)
    x_natural = [y_levels[natural_encoding.index(symbol)] for symbol in symbols]

    # Root raised cosine filter (common for both Gray and Natural)
```

```
    t_filter, filt = rootRaisedCosine(nsamp, roll_off, delay)

    # Transmission simulation for Gray encoding
    y_gray = upSample(x_gray, nsamp)
    y_transmitted_gray = scipy.signal.convolve(y_gray, filt)

    # Transmission simulation for Natural encoding
    y_natural = upSample(x_natural, nsamp)
    y_transmitted_natural = scipy.signal.convolve(y_natural, filt)

    # Calculate BER for Gray encoding
    berTheoretical = []
    berSimulation_gray = []
    berSimulation_natural = [] # For natural encoding
    EbN0_max = 20

    for EbN0_db in range(1, EbN0_max):
        # Convert Eb/N0 from dB to linear scale
        EbN0 = 10 ** (EbN0_db * 0.1)
        SNR_db = EbN0_db - 10*np.log10(nsamp/2/k)
        SNR = 10 ** (SNR_db * 0.1)

        # Calculate the power of the transmitted signal and the noise power to
achieve the desired SNR
        P = sum(y_transmitted_gray * y_transmitted_gray) / len(y_transmitted_gray)
        P_db = 10 * np.log10(P)
        Pn_db = P_db - SNR_db
        Pn = 10 ** (Pn_db * 0.1)

        # Add noise (common for both Gray and Natural)
        mu = 0
        sigma = np.sqrt(Pn)
        noise = generateAWGN(y_transmitted_gray, mu, sigma)
        y_noisy_gray = y_transmitted_gray + noise
        y_noisy_natural = y_transmitted_natural + noise

        # Receiver simulation for Gray encoding
        z_received_gray = scipy.signal.convolve(y_noisy_gray, filt)
        z_final_gray = downSample(z_received_gray, nsamp)
        z_final_gray = z_final_gray[2 * delay : len(z_final_gray) - 2 * delay]

        # Receiver simulation for Natural encoding (Code 1)
        z_received_natural = scipy.signal.convolve(y_noisy_natural, filt)
        z_final_natural = downSample(z_received_natural, nsamp)
        z_final_natural = z_final_natural[2 * delay : len(z_final_natural) - 2 *
delay]

        # Error calculation for Gray encoding
```

```
        # Decision for the level corresponding to the symbol received for Gray
encoding
        for i in range(len(z_final_gray)):
            # Array with the differences of the signal from the levels
            differences = np.abs(y_levels - z_final_gray[i])
            m = min(differences) # Find the minimum distance
            [index], = np.where(differences == m)
            z_final_gray[i] = y_levels[index]

        # We assume that each error in Gray encoding results in one incorrect bit
        error = 0
        for i in range(len(z_final_gray)):
            if x_gray[i] != z_final_gray[i]:
                error += 1

        # BER calculation = number of errors / number of bits
        berSimulation_gray.append(error/n_bits)

        # Error calculation for Natural encoding
        # Decision for the level corresponding to the symbol received
        for i in range(len(z_final_natural)):
            differences = np.abs(y_levels - z_final_natural[i])
            m = min(differences)
            [index], = np.where(differences == m)
            z_final_natural[i] = y_levels[index]

        # The final_symbols contains the bits that were decided to be received
        final_symbols = []
        for i in range(len(z_final_natural)):
            # Mapping each decided level to its binary encoding
            index = y_levels.index(z_final_natural[i])
            final_symbols.append(natural_encoding[index])

        # For each incorrect symbol, we need to check how many bits were wrong,
        # as the encoding of neighboring levels no longer differs by only one bit
        error = 0
        for i in range(len(z_final_natural)):
            # If a symbol is wrong, check how many digits were received incorrectly
            if x_natural[i] != z_final_natural[i]:
                for j in range(len(symbols[i])):
                    if symbols[i][j] != final_symbols[i][j]:
                        error += 1

        berSimulation_natural.append(error/n_bits)
        # Theoretical BER calculation (common for both Gray and Natural)
        Pe = (L - 1) / L * erfc(sqrt(3 * k / (L**2 - 1) * EbN0))
        berTheoretical.append(Pe / k)
```

```
    # Plotting the BER for both Gray and Natural encoding
    plt.figure(figsize=(10, 6))
    plt.semilogy(range(1, EbN0_max), berTheoretical, label='Theoretical')
    plt.semilogy(range(1, EbN0_max), berSimulation_gray, 'o', label='Gray')
    plt.semilogy(range(1, EbN0_max), berSimulation_natural, '*', label='Natural')
    plt.xlabel('Eb/N0 (dB)')
    plt.ylabel('Bit Error Rate')
    plt.title('BER Curve for L-ASK')
    plt.legend()
    plt.grid(True)

    # Show elapsed time
    elapsed_time = time.time() - start_time
    timer_html3.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
    loader_html3.value = done

    plt.show()


# Creating sliders and dropdown
n_bits_slider1 = IntSlider(min=10000, max=100000, step=10000, value=80000,
description='Binary Sequence Length', style={'description_width': 'initial'},
layout=Layout(width='100%'), continuous_update=False)
roll_off_slider1 = FloatSlider(min=0.1, max=1.0, step=0.1, value=0.7,
description='Roll-off Factor', style={'description_width': 'initial'},
layout=Layout(width='100%'), continuous_update=False)
nsamp_slider1 = IntSlider(min=8, max=32, step=1, value=16, description='nsamp',
style={'description_width': 'initial'}, layout=Layout(width='100%'),
continuous_update=False)
delay_slider1 = IntSlider(min=1, max=8, step=1, value=4, description='Group Delay',
style={'description_width': 'initial'}, layout=Layout(width='100%'),
continuous_update=False)
L_dropdown1 = Dropdown(options=[2**i for i in range(1, 6)], value=16,
description='ASK Levels', style={'description_width': 'initial'},
continuous_update=False)

# Create a VBox for the input widgets (similar to the first code snippet)
input_widgets = widgets.VBox([n_bits_slider1, roll_off_slider1, nsamp_slider1,
delay_slider1, L_dropdown1], layout=widgets.Layout(flex='1 1 auto', width='auto'))

# Group the loader and timer together (they will appear next to each other
horizontally)
loader_timer_box = widgets.VBox([loader_html3, timer_html3],
layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto'))

# Combine input widgets and loader/timer box into an HBox with aligned items
ui = widgets.HBox([input_widgets, loader_timer_box],
layout=widgets.Layout(align_items='center'))
```

```
# Create the interactive output for the interactive_signal_processing_with_natural
function
out = widgets.interactive_output(interactive_signal_processing_with_natural,
                                 {'n_bits': n_bits_slider1,
                                  'roll_off': roll_off_slider1,
                                  'nsamp': nsamp_slider1,
                                  'delay': delay_slider1,
                                  'L': L_dropdown1})

# Display the UI and output
clear_output(wait=True)  # Clear the previous output
display(ui, out)
```

Σχεδίαση Σηματικού Αστερισμού 64-QAM με Κωδικοποίηση Gray

```
# Loading animation HTML code for visual feedback during processing
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey border
*/
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue border
*/
                                   border-radius: 50%;             /* Circular
shape */
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite; /* Spinning
animation */'>
        </div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }     /* Start rotation */
        100% { transform: rotate(360deg); } /* End rotation */
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
done = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>  <!-- Checkmark
symbol -->
    </div>
    """

# Create HTML widgets to display the loading animation and elapsed time
loader_html1 = widgets.HTML(value=loading)  # Initially show loading animation
timer_html1 = widgets.HTML(value="Elapsed time: - seconds")  # Placeholder for
elapsed time

def generate_qam_constellation(L):
```

```
    """
    Generate the QAM constellation points for a square L x L QAM.

    Parameters:
    - L: Number of points along one axis (e.g., L=4 for 16-QAM)

    Returns:
    - mapping: 1D numpy array of complex numbers representing constellation points
    """
    M = L * L                   # Total number of constellation points
    l = int(np.log2(L))         # Number of bits per axis

    # Generate equally spaced points along the real and imaginary axes
    x = np.arange(-(L - 1), L, 2)
    y = np.arange(-(L - 1), L, 2)

    # Create a grid of points (constellation)
    xv, yv = np.meshgrid(x, y)
    mapping = xv + 1j * yv      # Combine real and imaginary parts
    mapping = mapping.flatten()  # Flatten to 1D array

    return mapping

def plot_qam_constellation(L):
    """
    Plot the QAM constellation for a given L.

    Parameters:
    - L: Number of points along one axis (e.g., L=4 for 16-QAM)
    """
    # Start timer and display loading animation
    loader_html1.value = loading
    start_time = time.time()

    mapping = generate_qam_constellation(L)
    M = L * L
    l = int(np.log2(L))

    # Plot the constellation points
    plt.figure(figsize=(10, 7))
    plt.scatter(mapping.real, mapping.imag)

    if L < 16:  # Include labels for smaller constellations
        # Generate binary labels for each point
        labels = [bin(i)[2:].zfill(2 * l) for i in range(M)]
        dx, dy = -0.5, 0.3  # Offset for labels
        for i in range(len(labels)):
            plt.text(mapping[i].real + dx, mapping[i].imag + dy, labels[i],
```

```
                    bbox=dict(facecolor='red', alpha=0.5))

    plt.grid(True)
    plt.xlim(-L, L)
    plt.ylim(-L, L)
    plt.title(f"{L}x{L} QAM Constellation")
    plt.xlabel("In-phase")
    plt.ylabel("Quadrature")
    plt.show()

    # Update elapsed time and loading animation
    elapsed_time = time.time() - start_time
    timer_html1.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
    loader_html1.value = done

# Create a dropdown widget to select the value of L
L_dropdown = Dropdown(options=[2, 4, 8, 16, 32, 64], value=8, description='L-QAM:',
continuous_update=False)

# Group the loader and timer widgets vertically
loader_timer_box = widgets.VBox([loader_html1, timer_html1],
layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto'))

# Create an interactive plot that updates when L changes
interactive_plot = interact(plot_qam_constellation, L=L_dropdown)

# Arrange input widgets and output
input_widgets = VBox([L_dropdown], layout=Layout(width='auto'))
plot_output = interactive_plot.widget.children[-1]  # The output plot widget

# Combine input widgets and loader/timer into a horizontal box
inputs_and_loader = HBox([input_widgets, loader_timer_box],
layout=Layout(align_items='center'))

# Create a vertical box to hold the entire UI
ui = VBox([inputs_and_loader, plot_output])

# Clear previous output and display the UI
clear_output(wait=True)
display(ui)
```

Σχεδίαση Σηματικού Αστερισμού PSK

```
# Loading animation HTML code for visual feedback during processing
loading = """
```

```
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey border
*/
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue border
*/
                                   border-radius: 50%;             /* Circular
shape */
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite; /* Spinning
animation */'>
        </div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }     /* Start rotation */
        100% { transform: rotate(360deg); } /* End rotation */
    }
    </style>
    """

# HTML code to display a checkmark when loading is complete
done = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>  <!-- Checkmark
symbol -->
    </div>
    """

# Create HTML widgets to display the loading animation and elapsed time
loader_html2 = widgets.HTML(value=loading)
timer_html2 = widgets.HTML(value="Elapsed time: - seconds")

def generate_psk_constellation(M):
    """
    Generate the PSK constellation points for M-PSK modulation.

    Parameters:
    - M: Modulation order (e.g., M=8 for 8-PSK)

    Returns:
    - mapping: Numpy array of complex numbers representing constellation points
    """
    k = int(np.log2(M))  # Number of bits per symbol
    ph1 = np.pi / 4      # Initial phase
```

```
    # Initialize theta with initial phase values
    theta = np.array([ph1, -ph1, np.pi - ph1, -np.pi + ph1])
    mapping = np.exp(1j * theta)  # Initial constellation points

    # Generate PSK constellation for higher-order M
    if k > 2:
        for j in range(3, k + 1):
            theta = theta / 2
            mapping = np.exp(1j * theta)
            mapping = np.concatenate((mapping, -np.conjugate(mapping)))  # Mirror
across origin
            theta = np.angle(mapping)  # Update theta

    return mapping

def plot_psk_constellation(M):
    """
    Plot the PSK constellation for a given M.

    Parameters:
    - M: Modulation order (e.g., M=8 for 8-PSK)
    """
    # Start timer and display loading animation
    loader_html2.value = loading
    start_time = time.time()

    constellation = generate_psk_constellation(M)
    k = int(np.log2(M))

    # Plot the constellation points
    plt.figure(figsize=(10, 7))
    plt.scatter(np.real(constellation), np.imag(constellation))
    plt.grid(True)
    plt.title(f'{M}-PSK Constellation')
    plt.xlabel('In-Phase')
    plt.ylabel('Quadrature')
    plt.axhline(0, color='gray', linewidth=0.5)  # Horizontal axis
    plt.axvline(0, color='gray', linewidth=0.5)  # Vertical axis

    # Label each point with its binary representation
    for m in range(len(constellation)):
        plt.text(np.real(constellation[m]) + 0.05, np.imag(constellation[m]),
                 format(m, '0{}b'.format(k)),
                 bbox=dict(facecolor='red', alpha=0.5))
    plt.show()

    # Update elapsed time and loading animation
    elapsed_time = time.time() - start_time
```

```
    timer_html2.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
    loader_html2.value = done

# Create a dropdown widget to select the value of M
M_dropdown = widgets.Dropdown(options=[4, 8, 16, 32, 64], value=16, description='M-
PSK:')

# Group the loader and timer widgets vertically
loader_timer_box = widgets.VBox([loader_html2, timer_html2],
layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto'))

# Create an interactive plot that updates when M changes
interactive_plot = interact(plot_psk_constellation, M=M_dropdown)

# Arrange input widgets and output
input_widgets = VBox([M_dropdown], layout=Layout(width='auto'))
plot_output = interactive_plot.widget.children[-1]

# Combine input widgets and loader/timer into a horizontal box
inputs_and_loader = HBox([input_widgets, loader_timer_box],
layout=Layout(align_items='center'))

# Create a vertical box to hold the entire UI
ui = VBox([inputs_and_loader, plot_output])

# Clear previous output and display the UI
clear_output(wait=True)
display(ui)
```

Επιλογή και Εξομοίωση Συστήματος M-QAM για Ρυθμό 10 Mbps σε Ζωνοπερατό Δίαυλο 6.75-9.25 MHz

```
# HTML loading animation and completion checkmark
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey border
*/
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue border
*/
                                   border-radius: 50%;             /* Circular
shape */
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
```

```
                                    animation: spin 2s linear infinite; /* Spinning
animation */'>
        </div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }     /* Start rotation */
        100% { transform: rotate(360deg); } /* End rotation */
    }
    </style>
    """

done = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>  <!-- Checkmark
symbol -->
    </div>
    """

# Create HTML widgets to display the loading animation and elapsed time
loader_html3 = widgets.HTML(value=loading)
timer_html3 = widgets.HTML(value="Elapsed time: - seconds")

# Function to calculate roll-off factor and recommend the best M
def calculate_rolloff(f1, f2, R):
    """
    Calculate the roll-off factor and recommend the best modulation order M.

    Parameters:
    - f1: Lower frequency in MHz
    - f2: Upper frequency in MHz
    - R: Data rate in Mbps

    Returns:
    - best_a: Calculated roll-off factor
    - best_M: Recommended modulation order M
    """
    W = (f2 - f1) * 1e6  # Bandwidth in Hz
    R = R * 1e6          # Data rate in bps
    possible_Ms = [4, 16, 64, 256, 1024, 4096, 16384]  # Possible M values
    best_M = None
    best_a = None
    for M in possible_Ms:
        a = np.log2(M) * W / R - 1
        if 0 < a < 1:
            best_M = M
            best_a = a
```

```
            break
    return best_a, best_M

# Input widgets for frequencies and data rate
f1_input = widgets.FloatText(description='F1 (MHz):', value=6.75)
f2_input = widgets.FloatText(description='F2 (MHz):', value=9.25)
R_input = widgets.FloatText(description='R (Mbps):', value=12)

# Function to update and display the result
def update_result(f1, f2, R):
    # Start timer and display loading animation
    loader_html3.value = loading
    start_time = time.time()

    a, M = calculate_rolloff(f1, f2, R)

    # Update elapsed time and loading animation
    elapsed_time = time.time() - start_time
    timer_html3.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
    loader_html3.value = done

    # Display the result
    if M is not None:
        result_html.value = f"Result: α = {a:.4f}, Recommended M = {M}"
    else:
        result_html.value = "No suitable M found within the given constraints."

# Widget to display the result
result_html = widgets.HTML(value="Result: α = 0.2500, Recommended M = 64")

# Group the loader and timer widgets vertically
loader_timer_box = widgets.VBox([loader_html3, timer_html3],
layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto'))

# Arrange input widgets
input_widgets = widgets.VBox([f1_input, f2_input, R_input],
layout=widgets.Layout(width='auto'))

# Combine inputs and loader/timer into a horizontal box
ui = widgets.HBox([input_widgets, loader_timer_box],
layout=widgets.Layout(align_items='center'))

# Create interactive output
out = widgets.interactive_output(update_result, {'f1': f1_input, 'f2': f2_input,
'R': R_input})

# Clear previous output and display the UI
clear_output(wait=True)
```

```
display(ui, result_html)



# Loading animation and completion checkmark HTML code
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey */
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue */
                                   border-radius: 50%;
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite;'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }
        100% { transform: rotate(360deg); }
    }
    </style>
    """

done = """
        <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center;
height: 80px;'>
            <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>
        </div>
        """

# Create HTML widgets for loading animation and elapsed time
loader_html4 = widgets.HTML(
  value=loading
)
timer_html4 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"
)

# HTML widget for displaying warnings
warning_html = widgets.HTML(
    value=""
)

def rootRaisedCosine(nsamp, roll_off, delay):
    """
    Generate a root raised cosine filter.

    Parameters:
```

```
    - nsamp: Number of samples per symbol
    - roll_off: Roll-off factor
    - delay: Filter delay in symbol periods

    Returns:
    - h: Filter coefficients
    """
    # Calculate necessary frequencies and times
    F0 = 0.5 / nsamp
    Br = 1
    Fs = Br * nsamp
    Td = 1 / Br
    Ts = 1 / Fs
    F1 = F0 * (1 - roll_off)
    F2 = F0 * (1 + roll_off)
    filter_order = 2 * nsamp * delay

    t = np.arange(0, filter_order, Td)
    h = []
    for i in range(len(t)):
        t_shifted = t[i] - filter_order / 2
        if t_shifted == 0:
            h.append(np.sqrt(2 * F0) *(1 + roll_off * ((4 / np.pi) - 1)))
        elif t_shifted == 1 / 8 / roll_off / F0 or t_shifted == - 1 / 8 / roll_off /
F0 :
            h.append((roll_off * np.sqrt(F0)) * ((1 + 2 / np.pi) * np.sin(np.pi / 4
/ roll_off) + (1 - 2 / np.pi) * np.cos(np.pi / 4 / roll_off)))
        else:
            factor1 = np.sqrt(2 * F0) / (1 - 64 * roll_off * roll_off * F0 * F0 *
t_shifted * t_shifted)
            factor2 = np.sin(2 * np.pi * F1 * t_shifted) / (2 * np.pi * F0 *
t_shifted)
            factor3 = (4 * roll_off / np.pi) * np.cos(2 * np.pi * F2 * t_shifted)
            h.append(factor1 * (factor2 + factor3))

    return h

def ber_qam(EbNo, M, roll_off, F1, F2, Br):
    """
    Calculate the Bit Error Rate (BER) for QAM modulation.

    Parameters:
    - EbNo: Energy per bit to noise power spectral density ratio in dB
    - M: Modulation order
    - roll_off: Roll-off factor
    - F1: Lower frequency in MHz
    - F2: Upper frequency in MHz
    - Br: Bit rate in Mbps
```

```
    Returns:
    - BER: Bit Error Rate
    """
    # Convert units from MHz and Mbps to Hz and bps
    F1 = F1 * 1e6
    F2 = F2 * 1e6
    Br = Br * 1e6
    W = F2 - F1         # Bandwidth in Hz
    fc = F1 + W / 2     # Carrier frequency
    nsamp = int(np.ceil(2 * F2 / Br)) +7  # Number of samples per symbol

    a = 0.25    # Roll-off factor
    L = int(np.sqrt(M))
    l = np.log2(L)
    k = 2 * l
    Nsymb = 10000
    SNR = EbNo - 10 * np.log10(nsamp / k / 2)  # σε db
    core = [1+1j, 1-1j, -1+1j, -1-1j]
    mapping = core[:]
    if l > 1:
        for j in range(1, int(l)):
            mapping = list(map(lambda x: x + j * 2 * core[0], mapping))
            conj_arr = np.conj(mapping)
            mapping = mapping + conj_arr.tolist()
            conj_arr = -np.conj(mapping)
            mapping = mapping + conj_arr.tolist()

    # Generate random sequence
    x = np.floor(2 * np.random.rand(int(k * Nsymb), 1))
    x_temp = np.reshape(x, (int(len(x) / (k)), int(k)))
    xsym = []

    # Split the list into sublists and put the contents of each sublist
    # into a string so that with the int() command it is converted from binary to
decimal
    for i in range(len(x_temp)):
        my_str = ''
        y = x_temp[i]
        for j in range(int(np.log2(M))):
            my_str = my_str + str(int(y[j]))
        a = int(my_str, 2)
        xsym = xsym + [a]

    y = []
    for n in range(len(xsym)):
        y = y + [mapping[xsym[n]]]
```

```
    # Generate shaping filter
    delay = 10
    filtorder = delay * nsamp * 2
    shaping_filter = rootRaisedCosine(nsamp, roll_off, delay)

    # Transmit signal
    ytx = upfirdn([1], y, nsamp)  # upsample
    ytx = np.convolve(ytx, shaping_filter)
    m = np.arange(1, len(ytx) + 1)
    s = np.real(np.multiply(ytx, np.exp(1j * 2 * np.pi * fc * m / nsamp)))

    s_matrix = np.matrix(s)  # transpose
    s_matrix = s_matrix.getH()
    s_list = s_matrix.tolist()
    Ps = 10 * np.log10(np.matmul(s, s_list) / len(s))  # Power of complex signal in
dB
    Pn = Ps - SNR

    n = np.sqrt(10**(Pn / 10)) * np.random.randn(1, len(ytx))
    snoisy = s + n

    # receiver
    yrx = 2 * np.multiply(snoisy, np.exp(-1j * 2 * np.pi * fc * m / nsamp))
    yrx = yrx[0, :]
    yrx = np.convolve(yrx, shaping_filter)
    yrx = yrx[::nsamp]  # downsample

    yrx = yrx[2 * delay + 0:len(yrx) - 2 * delay]

    yi = yrx.copy()
    yq = np.imag(yi)
    yi = np.real(yi)

    xrx = []
    q = np.arange(-L + 1, L, 2)

    for n in range(len(yrx)):
        differences = np.abs(q - yi[n])  # Array with the differences of the signal
from the levels
        m = min(differences)
        [index], = np.where(differences == m)
        yi[n] = q[index]
        differences = np.abs(q - yq[n])  # Array with the differences of the signal
from the levels
        m = min(differences)
        [index], = np.where(differences == m)
        yq[n] = q[index]
    error = 0
```

```
    for i in range(len(yrx)):
        if y[i] != yi[i] + yq[i] * 1j:
            error += 1
    return error / len(x)

def plot_ber_qam(M, roll_off, F1, F2, Br):
    """
    Plot the BER curve for QAM modulation.

    Parameters:
    - M: Modulation order
    - roll_off: Roll-off factor
    - F1: Lower frequency in MHz
    - F2: Upper frequency in MHz
    - Br: Bit rate in Mbps
    """
    # Validate input frequencies
    if F1 >= F2:
        warning_html.value = "<div style='color: red; font-size: 16px;'>Warning: F1
should be less than F2.</div>"
        return

    warning_html.value = ""  # Clear any previous warnings

    # Start the timer
    loader_html4.value = loading
    start_time = time.time()

    ber_exp = []
    ber_th = []
    L = int(np.sqrt(M))
    for i in range(1, 15):
        ber_exp.append(ber_qam(i, M, roll_off, F1, F2, Br))
        ber_th.append(((L - 1) /(L*np.log2(L)) * scipy.special.erfc(np.sqrt(3 *
np.log2(L) / (L * L - 1) * 10**(i/10)))))

    plt.figure(figsize=(10, 8))
    plt.semilogy(range(1, 15), ber_th)  # Plot theoretical BER as a line
    plt.semilogy(range(1, 15), ber_exp, 'o')  # Plot experimental BER as points
    plt.legend(['Theoretical', 'Simulation'])
    plt.xlabel('Eb/N0(db)')
    plt.ylabel('Bit Error Probability')
    plt.title(f'BER curve for {M}-QAM')
    plt.grid(which='both')
    plt.show()

    # Stop the timer and update the timer HTML
    elapsed_time = time.time() - start_time
```

```
    timer_html4.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
    # Update the loading animation to done
    loader_html4.value = done

# Define QAM options
qam_options = {'4-QAM': 4, '16-QAM': 16, '64-QAM': 64}
qam_selector = widgets.Dropdown(options=qam_options, value=16, description='QAM
Type:')

# Define additional input boxes for roll-off, F1, F2, and Br
roll_off_input = widgets.FloatText(value=0.25, description='Roll-off:')
F1_input = widgets.FloatText(value=6.75, description='F1: (MHz)')
F2_input = widgets.FloatText(value=9.25, description='F2: (MHz)')
Br_input = widgets.FloatText(value=10, description='Br: (Mbps)')

# Group the loader and timer together (they will appear next to each other
horizontally)
loader_timer_box = widgets.VBox([loader_html4, timer_html4],
layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto'))

# Create a VBox for the input widgets (similar to the first code snippet)
input_widgets = widgets.VBox([qam_selector, roll_off_input, F1_input, F2_input,
Br_input, warning_html], layout=widgets.Layout(width='auto'))

# Create an HBox to combine inputs and loader timer box, with the same layout style
ui = widgets.HBox([input_widgets, loader_timer_box],
layout=widgets.Layout(align_items='center'))

# Create the interactive output for the plot_ber_qam function
out = widgets.interactive_output(plot_ber_qam, {'M': qam_selector, 'roll_off':
roll_off_input, 'F1': F1_input, 'F2': F2_input, 'Br': Br_input})

# Display the UI and output
clear_output(wait=True)  # Clear the previous output
display(ui, out)
```

Μείωση Τάξης Συστήματος QAM για Βελτίωση Πιθανότητας Σφάλματος Bit και Ανάλυση Ρυθμού Μετάδοσης

```
# Loading animation and done checkmark HTML code
# These HTML snippets are used to display a loading spinner and a completion
checkmark in the UI.
```

```
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey border
*/
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Greenish-
blue border on top */
                                   border-radius: 50%;             /* Make it a
circle */
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite; /* Spin
animation */'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }     /* Start at 0 degrees */
        100% { transform: rotate(360deg); } /* Rotate full circle */
    }
    </style>
    """

done = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>  <!-- Unicode
checkmark -->
    </div>
    """

# Create HTML widgets for the loading animation and timer display
loader_html5 = widgets.HTML(value=loading)
timer_html5 = widgets.HTML(value="Elapsed time: - seconds")

def rtrapezium(nsamp, rolloff, delay):
    """
    Generate a root-raised cosine (RRC) filter using the trapezium method.

    Parameters:
    - nsamp (int): Number of samples per symbol (oversampling factor)
    - rolloff (float): Roll-off factor (0 < rolloff <= 1)
    - delay (int): Filter delay in symbol periods

    Returns:
    - rrc (numpy array): Filter coefficients
    """
    T = 1  # Symbol period
    t = np.arange(-delay*T, (delay*T) + 1/nsamp, 1/nsamp)  # Time vector
```

```
    rrc = np.zeros_like(t)  # Initialize filter coefficients

    # Calculate filter coefficients
    for i, ti in enumerate(t):
        if ti == 0.0:
            rrc[i] = 1.0 - rolloff + 4 * rolloff / np.pi
        elif abs(ti) == T / (4 * rolloff):
            rrc[i] = (rolloff / np.sqrt(2)) * (((1 + 2/np.pi) * np.sin(np.pi / (4 *
rolloff))) +
                                               ((1 - 2/np.pi) * np.cos(np.pi / (4 *
rolloff))))
        else:
            numerator = (np.sin(np.pi * ti * (1 - rolloff) / T) +
                         4 * rolloff * ti * np.cos(np.pi * ti * (1 + rolloff) / T) /
T)
            denominator = (np.pi * ti * (1 - (4 * rolloff * ti / T) ** 2))
            rrc[i] = numerator / denominator

    # Normalize filter coefficients
    rrc = rrc / np.sqrt(np.sum(rrc**2))
    return rrc

def run_simulation(f1, f2, qam_type):
    """
    Simulate the transmission and reception of a QAM signal and plot the power
spectral density.

    Parameters:
    - f1 (float): Lower cutoff frequency in MHz
    - f2 (float): Upper cutoff frequency in MHz
    - qam_type (int): Modulation order (e.g., 16 for 16-QAM)
    """
    # Start the timer and display loading animation
    loader_html5.value = loading
    start_time = time.time()

    # Parameters
    k = int(np.log2(qam_type))   # Bits per symbol
    M = 2**k                     # Modulation order
    Nsymb = 30000                # Number of symbols
    pulse_type = 1               # Pulse shaping filter type (1 for RRC)
    nsamp = 32                   # Oversampling factor
    fc = (f1 + f2) / 2           # Carrier frequency (MHz)
    bandwidth = f2 - f1          # Signal bandwidth (MHz)
    rolloff = bandwidth / (2 * fc)  # Roll-off factor
    EbNo = 10                    # Energy per bit to noise power spectral density
ratio in dB
    SNR = EbNo - 10 * np.log10(nsamp / k / 2)  # Signal-to-noise ratio per sample
```

```
    # Phase and mapping initialization
    ph1 = np.pi / 4
    theta = np.array([ph1, -ph1, np.pi - ph1, -np.pi + ph1])
    mapping = np.exp(1j * theta)

    if k > 2:
        # Generate PSK constellation for higher-order modulation
        for j in range(3, k + 1):
            theta = theta / 2
            mapping = np.exp(1j * theta)
            mapping = np.concatenate([mapping, -np.conj(mapping)])
            theta = np.angle(mapping)

    # Transmitter
    x = np.random.randint(0, 2, k * Nsymb)  # Random binary sequence
    xsym = x.reshape(-1, k)
    xsym = xsym.dot(2**np.arange(xsym.shape[-1])[::-1])  # Convert bits to decimal
symbols
    y = mapping[xsym]  # Map symbols to constellation points

    # Shaping filter definition
    if pulse_type == 1:  # Nyquist pulse shaping with RRC filter
        delay = 8  # Group delay in symbol periods
        shaping_filter = rtrapezium(nsamp, rolloff, delay)
    else:  # Rectangular pulse
        delay = 0.5
        shaping_filter = np.ones(nsamp) / np.sqrt(nsamp)  # Normalize filter

    # Transmitted signal
    ytx = upfirdn([1], y, nsamp)  # Upsample the signal
    ytx = convolve(ytx, shaping_filter, mode='same')  # Apply shaping filter

    # Quadrature modulation
    m = np.arange(len(ytx))
    s = np.real(ytx * np.exp(1j * 2 * np.pi * fc * m / nsamp))  # Modulate to
carrier frequency

    # Adding white Gaussian noise
    Ps = 10 * np.log10(np.mean(s**2))  # Signal power in dB
    Pn = Ps - SNR                      # Noise power in dB
    n = np.sqrt(10**(Pn / 10)) * np.random.randn(len(ytx))  # Generate noise
    snoisy = s + n  # Noisy bandpass signal

    # Receiver
    yrx = 2 * snoisy * np.exp(-1j * 2 * np.pi * fc * m / nsamp)  # Demodulate
    yrx = convolve(yrx, shaping_filter, mode='same')             # Apply matched
filter
```

```
    # Spectrum plot of received signal
    f, Pxx_den = welch(np.real(s), fs=nsamp, nperseg=1024)
    Pxx_den = 10 * np.log10(Pxx_den)  # Convert power spectral density to dB
    plt.figure(figsize=(10, 8))
    plt.plot(f, Pxx_den, 'r')
    plt.title('Welch Power Spectral Density Estimate')
    plt.xlabel('Frequency (Hz)')
    plt.ylabel('Power Spectral Density (dB/Hz)')
    plt.xlim(0, max(f1, f2) + 5)
    plt.grid()
    plt.show()

    # Stop the timer and update the loading animation
    elapsed_time = time.time() - start_time
    timer_html5.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
    loader_html5.value = done

# Widgets for input parameters
f1_widget = widgets.FloatText(value=6.75, description='f1 (MHz):')
f2_widget = widgets.FloatText(value=9.25, description='f2 (MHz):')
qam_widget = widgets.Dropdown(options=[4, 16, 64], value=16, description='QAM
Type:')

# Create the interactive output for the run_simulation function
out = widgets.interactive_output(run_simulation, {'f1': f1_widget, 'f2': f2_widget,
'qam_type': qam_widget})

# Group the loader and timer together vertically
loader_timer_box = widgets.VBox([loader_html5, timer_html5],
layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto'))

# Arrange input widgets in a vertical box
input_widgets = widgets.VBox([qam_widget, f1_widget, f2_widget],
layout=widgets.Layout(width='auto'))

# Combine input widgets and loader/timer into a horizontal box
ui = widgets.HBox([input_widgets, loader_timer_box],
layout=widgets.Layout(align_items='center'))

# Display the UI and output
display(ui, out)
```

Αύξηση Ρυθμού Μετάδοσης με Μείωση του Roll-Off του Φίλτρου Nyquist κατά 50%

```
# Loading animation and done checkmark HTML code
# These HTML snippets are used to display a loading spinner and a completion
checkmark in the UI.

loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey border
*/
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Greenish-
blue border on top */
                                   border-radius: 50%;             /* Make it a
circle */
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite; /* Spin
animation */'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }     /* Start at 0 degrees */
        100% { transform: rotate(360deg); } /* Rotate full circle */
    }
    </style>
    """

done = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>  <!-- Unicode
checkmark -->
    </div>
    """

loader_html6 = widgets.HTML(value=loading)
timer_html6 = widgets.HTML(value="Elapsed time: - seconds")

# Function to calculate the maximum achievable transmission rate R' and the
percentage increase
def calculate_R_and_percentage_increase(M, a, R):
    """
```

```
    Calculate the maximum achievable rate R' and the percentage increase over the
current rate R.

    Parameters:
    - M (float): Modulation order
    - a (float): Roll-off factor
    - R (float): Current data rate in Mbps

    Returns:
    - R_prime_mbps (float): Maximum achievable rate in Mbps
    - percentage_increase (float): Percentage increase over the current rate
    """
    W = 2.5 * 1e6  # Fixed bandwidth in Hz
    log2M = np.log2(M)
    R_prime = (log2M * W) / (1 + a)  # Maximum achievable rate in bps
    R_prime_mbps = R_prime / 1e6     # Convert to Mbps
    percentage_increase = ((R_prime_mbps - R) / R) * 100  # Percentage increase
    return R_prime_mbps, percentage_increase

# Input widgets for R, M, and a
R_input = widgets.FloatText(description='R (Mbps):', value=8.0)
M_input = widgets.FloatText(description='M:', value=16)
a_input = widgets.FloatText(description='α (Roll-off):', value=0.125)

# Output widget for displaying results
output_vals = widgets.Output()

# Function to update the result when any input changes
def update_result(change=None):
    # Start the timer and display loading animation
    loader_html6.value = loading
    start_time = time.time()

    with output_vals:
        output_vals.clear_output()
        R = R_input.value
        M = M_input.value
        a = a_input.value
        R_prime_mbps, percentage_increase = calculate_R_and_percentage_increase(M,
a, R)
        print(f"Maximum Achievable Rate (R') = {R_prime_mbps:.3f} Mbps")
        print(f"Percentage Increase = {percentage_increase:.2f}%")

        # Stop the timer and update the loading animation
        elapsed_time = time.time() - start_time
        timer_html6.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
        loader_html6.value = done
```

```
# Attach observers to input widgets to trigger result update
R_input.observe(update_result, names='value')
M_input.observe(update_result, names='value')
a_input.observe(update_result, names='value')

# Group the loader and timer together vertically
loader_timer_box = widgets.VBox([loader_html6, timer_html6],
layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto'))

# Arrange input widgets in a vertical box
input_widgets = VBox([R_input, M_input, a_input], layout=Layout(width='auto'))

# Combine input widgets and loader/timer into a horizontal box
inputs_and_loader = HBox([input_widgets, loader_timer_box],
layout=Layout(align_items='center'))

# Create a vertical box that includes both inputs and output
ui = VBox([inputs_and_loader, output_vals])

# Clear previous output and display the UI
clear_output(wait=True)
display(ui)

# Initial calculation to display results
update_result()
```

Σύγκριση Συστήματος PSK και QAM ως προς BER και Εύρος Ζώνης με Κωδικοποίηση Gray

```
# HTML for loading animation and completion checkmark
# These HTML snippets are used to display a loading spinner and a completion
checkmark in the UI.

loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey border
*/
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Greenish-
blue border on top */
                                   border-radius: 50%;             /* Make it a
circle */
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
```

```
                                    animation: spin 2s linear infinite; /* Spin
animation */'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }     /* Start at 0 degrees */
        100% { transform: rotate(360deg); } /* Rotate full circle */
    }
    </style>
    """

done = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>  <!-- Unicode
checkmark -->
    </div>
    """

loader_html7 = widgets.HTML(value=loading)
timer_html7 = widgets.HTML(value="Elapsed time: - seconds")

# Define the root raised cosine filter function
def rootRaisedCosine1(nsamp, roll_off, delay):
    """
    Generate a root raised cosine (RRC) filter.

    Parameters:
    - nsamp (int): Number of samples per symbol
    - roll_off (float): Roll-off factor
    - delay (int): Filter delay in symbol periods

    Returns:
    - h (numpy array): Filter coefficients
    """
    t = np.arange(-delay, delay + 1 / nsamp, 1 / nsamp)
    h = np.zeros(len(t))
    for i in range(len(t)):
        if t[i] == 0.0:
            h[i] = 1.0 - roll_off + 4 * roll_off / np.pi
        elif roll_off != 0 and t[i] == 1 / (4 * roll_off):
            h[i] = roll_off / np.sqrt(2) * ((1 + 2 / np.pi) * np.sin(np.pi / (4 *
roll_off)) + (1 - 2 / np.pi) * np.cos(np.pi / (4 * roll_off)))
        elif roll_off != 0 and t[i] == -1 / (4 * roll_off):
            h[i] = roll_off / np.sqrt(2) * ((1 + 2 / np.pi) * np.sin(np.pi / (4 *
roll_off)) + (1 - 2 / np.pi) * np.cos(np.pi / (4 * roll_off)))
        else:
```

```
            h[i] = (np.sin(np.pi * t[i] * (1 - roll_off)) + 4 * roll_off * t[i] *
np.cos(np.pi * t[i] * (1 + roll_off))) / (np.pi * t[i] * (1 - (4 * roll_off * t[i])
** 2))
    return h

# Define the BER computation functions for PSK modulation
def compute_ber_psk(EbNo_dB, M1):
    """
    Compute the theoretical Bit Error Rate (BER) for M-PSK modulation.

    Parameters:
    - EbNo_dB (float): Eb/N0 ratio in dB
    - M1 (int): Modulation order (e.g., 2 for BPSK, 4 for QPSK)

    Returns:
    - BER (float): Bit Error Rate
    """
    EbNo_linear = 10**(EbNo_dB / 10)
    if M1 == 2: # BPSK
        return 0.5 * scipy.special.erfc(np.sqrt(EbNo_linear))
    else:       # M-PSK
        k = np.log2(M1)
        return (1/4*k) * scipy.special.erfc(np.sqrt(EbNo_linear * k) * np.sin(np.pi
/ M1))

def ber_psk_simulation(EbNo_dB, M1):
    """
    Simulate the Bit Error Rate (BER) for M-PSK modulation over an AWGN channel.

    Parameters:
    - EbNo_dB (float): Eb/N0 ratio in dB
    - M1 (int): Modulation order

    Returns:
    - ber (float): Bit Error Rate from simulation
    """
    Nsymb = 30000   # Number of symbols
    nsamp = 16      # Samples per symbol
    fc = 4          # Carrier frequency
    rolloff = 0.25
    delay = 10
    SNR_dB = EbNo_dB - 10 * np.log10(nsamp / np.log2(M1))
    shaping_filter = rootRaisedCosine1(nsamp, rolloff, delay)
    filtorder = delay * nsamp * 2

    # Generate random symbol sequence
    bits1 = np.random.randint(0, M1, Nsymb)
```

```
    # Map symbols to PSK constellation points
    symbols = np.exp(1j * (2 * np.pi * bits1 / M1))

    # Upsample and filter the signal
    ytx1 = upfirdn([1], symbols, nsamp)
    ytx1 = np.convolve(ytx1, shaping_filter, mode='same')
    m1 = np.arange(len(ytx1))
    s1 = np.real(ytx1 * np.exp(1j * 2 * np.pi * fc * m1 / nsamp))

    # Calculate signal and noise power
    Ps = np.mean(np.abs(s1)**2)
    SNR_linear = 10**(SNR_dB / 10)
    Pn = Ps / SNR_linear

    # Generate AWGN noise
    noise = np.sqrt(Pn / 4) * (np.random.randn(len(s1)) + 1j *
np.random.randn(len(s1)))
    snoisy = s1 + noise

    # Receiver
    yrx1 = snoisy * np.exp(-1j * 2 * np.pi * fc * m1 / nsamp)
    yrx1 = np.convolve(yrx1, shaping_filter, mode='same')
    yrx1 = yrx1[::nsamp]

    # Demodulate symbols
    detected_bits1 = np.angle(yrx1) * M1 / (2 * np.pi)
    detected_bits1 = np.round(detected_bits1) % M1

    # Calculate BER
    bit_errors1 = np.sum(bits1 != detected_bits1)
    ber1 = bit_errors1 / len(bits1)
    return ber1

def plot_ber_psk(M):
    """
    Plot the BER curve for M-PSK modulation.

    Parameters:
    - M (int): Modulation order (e.g., 2 for BPSK, 4 for QPSK)
    """
    # Start the timer and display loading animation
    loader_html7.value = loading
    start_time = time.time()

    ber_exp = []  # Experimental BER
    ber_th = []   # Theoretical BER
    for i in range(1, 18):
        ber_exp.append(ber_psk_simulation(i, M))
```

```
        ber_th.append(compute_ber_psk(i, M))

    # Plot BER curves
    plt.figure(figsize=(10, 8))
    plt.semilogy(range(1, 18), ber_th)  # Plot theoretical BER as a line
    plt.semilogy(range(1, 18), ber_exp, 'o')  # Plot experimental BER as points
    plt.legend(['Theoretical', 'Simulation'])
    plt.xlabel('Eb/N0 (dB)')
    plt.ylabel('Bit Error Probability')
    plt.title(f'BER curve for {M}-PSK')
    plt.grid(which='both')
    plt.show()

    # Stop the timer and update the timer HTML
    elapsed_time = time.time() - start_time
    timer_html7.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
    # Update the loading animation to done
    loader_html7.value = done

# Define PSK options for the dropdown menu
psk_options = {'BPSK': 2, 'QPSK': 4, '8-PSK': 8}
psk_selector = widgets.Dropdown(options=psk_options, value=4, description='PSK
Type:')

# Group the loader and timer together (they will appear next to each other
horizontally)
loader_timer_box = widgets.VBox([loader_html7, timer_html7],
layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto'))

# Create a VBox for the input widgets (similar to the first code snippet)
input_widgets = widgets.VBox([psk_selector], layout=widgets.Layout(width='auto'))

# Create an HBox to combine inputs and loader timer box, with the same layout style
ui = widgets.HBox([input_widgets, loader_timer_box],
layout=widgets.Layout(align_items='center'))

# Create the interactive output for the plot_ber_psk function
out = widgets.interactive_output(plot_ber_psk, {'M': psk_selector})

# Display the UI and output
clear_output(wait=True)  # Clear the previous output
display(ui, out)
```

Εκτέλεση Κώδικα 6.1 για M=16 και Επιβεβαίωση Αριθμού Λαθών για Διαφορετικές Τιμές Eb/No

```
# Loading animation and completion checkmark HTML code for visual feedback
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey border
*/
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue border
on top */
                                   border-radius: 50%;             /* Circular
shape */
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite; /* Spinning
animation */'>
        </div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }     /* Start rotation */
        100% { transform: rotate(360deg); } /* End rotation */
    }
    </style>
    """
done = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>  <!-- Checkmark
symbol -->
    </div>
    """

# Create HTML widgets to display the loading animation and elapsed time
loader_html1 = widgets.HTML(value=loading)
timer_html1 = widgets.HTML(value="Elapsed time: - seconds")

# Parameters for FSK modulation
bps = 4           # Bits per symbol (4 bits per symbol for 16-FSK)
Nsymb = 1000      # Number of symbols to simulate
ns = 80           # Number of samples per symbol (oversampling factor)
```

```
# Derived parameters
M = 2 ** bps      # Number of different symbols (M-ary FSK)
BR = 1            # Baud Rate (symbols per second)
fc = 2 * M * BR   # Carrier frequency for FSK modulation

# Further derived parameters
nb = bps * Nsymb  # Total number of bits to simulate
T = 1 / BR        # Symbol duration
Ts = T / ns       # Sampling period (time between samples)

# Generate M frequencies for coherent FSK modulation
f = fc + (BR / 2) * (np.arange(1, M + 1) - (M + 1) / 2)

# Calculate the maximum frequency used
fmax = np.max(f)

# Recalculate 'ns' to ensure the sampling frequency 'Fs' satisfies the Nyquist
criterion
Fs = 2 * fmax                    # Sampling frequency must be greater than twice the
max frequency
ns = int(np.ceil(Fs / BR)) + 10  # Adjust 'ns' accordingly and add some margin

# Recalculate the sampling period with the new 'ns'
Ts = T / ns

# Generate random input data bits
y = np.random.randint(0, 2, nb)   # Random bits (0 or 1)
x = y.reshape((Nsymb, bps))       # Reshape bits into symbols (each symbol has 'bps'
bits)

# Time vectors for symbol intervals and oversampling
t = np.arange(0, len(x) * T, T)   # Time vector on the symbol grid
tks = np.arange(0, T, Ts)         # Time vector for oversampling within one symbol
period

# Generate FSK signal
s = []                            # Initialize signal list
A = np.sqrt(2 / T / ns)           # Amplitude to normalize power
for k in range(len(x)):
    # Convert bits to symbol index
    symbol_bits = ''.join(map(str, x[k]))
    symbol_index = int(symbol_bits, 2)
    fk = f[symbol_index]          # Select frequency for the symbol
    tk = (k * T) + tks            # Time vector for the current symbol
    s.append(np.sin(2 * np.pi * fk * tk))  # Generate sine wave for the symbol
s = np.concatenate(s)             # Concatenate all symbol signals
```

```
def calculate_errors(EbNo_range):
    """
    Calculate the number of errors over a range of Eb/No values.

    Parameters:
    - EbNo_range: Tuple containing the start and end Eb/No values in dB
    """
    # Start timer and display loading animation
    loader_html1.value = loading
    start_time = time.time()

    clear_output(wait=True)  # Clear previous output
    EbNo_values = list(range(EbNo_range[0], EbNo_range[1] + 1))  # List of Eb/No
values
    errors_list = []  # List to store the number of errors at each Eb/No

    for EbNo in EbNo_values:
        # Calculate Signal-to-Noise Ratio (SNR) in dB
        SNR = EbNo + 10 * np.log10(bps) - 10 * np.log10(ns / 2)

        # Add AWGN noise to the FSK signal
        noisy_signal = awgn(s, SNR)

        # FSK receiver implementation
        xr = []  # List to store received symbols
        for k in range(len(noisy_signal) // ns):
            tk = (k * T) + tks                        # Time vector for the current
symbol
            sk = noisy_signal[k * ns:(k + 1) * ns]  # Extract the symbol from the
noisy signal
            smi = []                                  # List to store correlation
values
            for fi in f:
                si = np.sin(2 * np.pi * fi * tk)    # Reference sine wave for
frequency 'fi'
                smi.append(np.sum(sk * si))         # Correlate received signal with
reference
            j = np.argmax(smi)                        # Find the index with the
maximum correlation
            # Convert index to bits and append to received symbols
            xr.append([int(bit) for bit in bin(j)[2:].zfill(bps)])
        xr = np.array(xr).reshape((Nsymb, bps))     # Reshape received symbols

        # Count the number of bit errors
        errors = np.sum(x != xr)
        errors_list.append(errors)

    # Plot the number of errors versus Eb/No
```

```
    plt.figure(figsize=(10, 6))
    plt.plot(EbNo_values, errors_list, marker='o', linestyle='-', markersize=8)
    plt.xlabel('Eb/No (dB)')
    plt.ylabel('Number of Errors')
    plt.title('Number of Errors vs. Eb/No')
    plt.grid(True)
    plt.show()

    # Display elapsed time and completion checkmark
    elapsed_time = time.time() - start_time
    timer_html1.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
    loader_html1.value = done

# Create a range slider widget for Eb/No values
EbNo_slider = IntRangeSlider(
    value=[0, 20],          # Default range from 0 to 20 dB
    min=0,                  # Minimum value
    max=20,                 # Maximum value
    step=1,                 # Step size
    description='EbNo (dB):',
    continuous_update=False,
    layout=Layout(width='99%')
)

# Group the loader and timer widgets
loader_timer_box = widgets.VBox(
    [loader_html1, timer_html1],
    layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto')
)

# Create a VBox for input widgets
input_widgets = widgets.VBox(
    [EbNo_slider],
    layout=widgets.Layout(flex='1 1 auto', width='auto')
)

# Combine input widgets and loader/timer into an HBox
ui = widgets.HBox(
    [input_widgets, loader_timer_box],
    layout=widgets.Layout(align_items='center')
)

# Create the interactive output
out = widgets.interactive_output(calculate_errors, {'EbNo_range': EbNo_slider})

# Display the UI and output
clear_output(wait=True)  # Clear previous output
display(ui, out)
```

```
# Loading animation and completion checkmark HTML code
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey border
*/
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue border
on top */
                                   border-radius: 50%;             /* Circular
shape */
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite; /* Spinning
animation */'>
        </div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }     /* Start rotation */
        100% { transform: rotate(360deg); } /* End rotation */
    }
    </style>
    """
done = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>  <!-- Checkmark
symbol -->
    </div>
    """
loader_html2 = widgets.HTML(value=loading)
timer_html2 = widgets.HTML(value="Elapsed time: - seconds")

def fsk_errors(bps, Nsymb, ns, EbNo):
    """
    Simulate coherent FSK and calculate the number of bit errors.

    Parameters:
    - bps: Bits per symbol
    - Nsymb: Number of symbols
    - ns: Samples per symbol
```

```
- EbNo: Energy per bit to noise power spectral density ratio in dB

Returns:
- errors: Number of bit errors
"""
# Input parameters
M = 2 ** bps              # Modulation order
BR = 1                    # Baud Rate
fc = 2 * M * BR           # Carrier frequency

# Derived parameters
nb = bps * Nsymb          # Total number of bits
T = 1 / BR                # Symbol duration
Ts = T / ns               # Sampling period

# Generate frequencies for coherent FSK
f = fc + (BR / 2) * (np.arange(1, M + 1) - (M + 1) / 2)

# Calculate the maximum frequency and adjust 'ns' accordingly
fmax = np.max(f)
Fs = 2 * fmax
ns = int(np.ceil(Fs / BR)) + 10
Ts = T / ns

# Calculate SNR in dB
SNR = EbNo + 10 * np.log10(bps) - 10 * np.log10(ns / 2)

# Generate random input bits
y = np.random.randint(0, 2, nb)
x = y.reshape((Nsymb, bps))

# Time vectors
t = np.arange(0, len(x) * T, T)
tks = np.arange(0, T, Ts)

# Generate FSK signal
s = []
A = np.sqrt(2 / T / ns)
for k in range(len(x)):
    symbol_bits = ''.join(map(str, x[k]))
    symbol_index = int(symbol_bits, 2)
    fk = f[symbol_index]
    tk = (k * T) + tks
    s.append(np.sin(2 * np.pi * fk * tk))
s = np.concatenate(s)

# Add AWGN noise to the signal
s = awgn(s, SNR)
```

```
    # FSK receiver
    xr = []
    for k in range(len(s) // ns):
        tk = (k * T) + tks
        sk = s[k * ns:(k + 1) * ns]
        smi = []
        for fi in f:
            si = np.sin(2 * np.pi * fi * tk)
            smi.append(np.sum(sk * si))
        j = np.argmax(smi)
        xr.append([int(bit) for bit in bin(j)[2:].zfill(bps)])
    xr = np.array(xr).reshape((Nsymb, bps))

    # Count errors
    errors = np.sum(x != xr)
    return errors

def fsk_errors_non_coh(bps, Nsymb, ns, EbNo):
    """
    Simulate non-coherent FSK and calculate the number of bit errors.

    Parameters:
    - bps: Bits per symbol
    - Nsymb: Number of symbols
    - ns: Samples per symbol
    - EbNo: Energy per bit to noise power spectral density ratio in dB

    Returns:
    - errors: Number of bit errors
    """
    M = 2 ** bps            # Modulation order
    BR = 1                  # Baud Rate
    fc = 2 * M * BR         # Carrier frequency

    # Derived parameters
    nb = bps * Nsymb
    T = 1 / BR
    Ts = T / ns

    # Generate frequencies for non-coherent FSK
    f = fc + BR * (np.arange(1, M + 1) - (M + 1) / 2)

    # Adjust 'ns' based on maximum frequency
    fmax = np.max(f)
    Fs = 2 * fmax
    ns = int(np.ceil(Fs / BR)) + 10
    Ts = T / ns
```

```
    # Calculate SNR in dB
    SNR = EbNo + 10 * np.log10(bps) - 10 * np.log10(ns / 2)

    # Generate random input bits
    y = np.random.randint(0, 2, nb)
    x = y.reshape((-1, bps))
    t = np.arange(0, len(x) * T, T)
    tks = np.arange(0, T, Ts)

    # Generate FSK signal
    s = []
    A = np.sqrt(2 / T / ns)
    for k in range(len(x)):
        symbol_bits = ''.join(map(str, x[k]))
        symbol_index = int(symbol_bits, 2)
        fk = f[symbol_index]
        tk = (k * T) + tks
        s = np.concatenate((s, np.sin(2 * np.pi * fk * tk)))

    # Add AWGN noise
    s = awgn(s, SNR)

    # Non-coherent FSK receiver
    xr = []
    for k in range(len(s) // ns):
        tk = (k * T) + tks
        sk = s[k * ns:(k + 1) * ns]
        sm = []
        for i in range(M):
            si = np.sin(2 * np.pi * f[i] * tk)
            sq = np.cos(2 * np.pi * f[i] * tk)
            smi = np.sum(sk * si)
            smq = np.sum(sk * sq)
            sm.append(np.sqrt(smi ** 2 + smq ** 2))
        j = np.argmax(sm)
        xr.extend([int(bit) for bit in bin(j)[2:].zfill(bps)])
    xr = np.array(xr)

    # Reshape and count errors
    x_reshaped = x.reshape(-1)
    xr_reshaped = xr[:len(x_reshaped)]
    errors = np.sum(x_reshaped != xr_reshaped)
    return errors

def simulate_ber(bps, Nsymb, ns, EbNo_values, coherent=True):
    """
    Simulate Bit Error Rate (BER) over a range of Eb/No values.
```

```
    Parameters:
    - bps: Bits per symbol
    - Nsymb: Number of symbols
    - ns: Samples per symbol
    - EbNo_values: List of Eb/No values in dB
    - coherent: Boolean indicating coherent or non-coherent detection

    Returns:
    - ber: List of BER values corresponding to Eb/No values
    """
    ber = []
    for EbNo in EbNo_values:
        if coherent:
            errors = fsk_errors(bps, Nsymb, ns, EbNo)
        else:
            errors = fsk_errors_non_coh(bps, Nsymb, ns, EbNo)
        ber.append(errors / (Nsymb * bps))
    return ber


# Define the BER values directly inside the functions
def theoretical_ber_coh(EbNo, M):
    """
    Return theoretical BER values for coherent FSK.

    Parameters:
    - EbNo: Array of Eb/No values in linear scale
    - M: Modulation order

    Returns:
    - BER: Array of BER values
    """
    if M == 2:
        return np.array([0.15866, 0.13093, 0.10403, 0.078896, 0.056495,
    0.037679, 0.023007, 0.012587, 0.0060044, 0.0024133,
    0.0007827, 0.00019399, 3.4303e-05, 3.9692e-06, 2.6951e-07])
    elif M == 4:
        return np.array([0.11814, 0.087789, 0.060786, 0.038512, 0.021824,
    0.010751, 0.0044428, 0.0014733, 0.00037102, 6.6229e-05,
    7.6892e-06, 5.2118e-07, 1.7997e-08, 2.6653e-10, 1.362e-12])
    elif M == 8:
        return np.array([0.10227, 0.067834, 0.041318, 0.022024, 0.0099156,
    0.0036087, 0.0010058, 0.00020086, 2.6486e-05, 2.0836e-06,
    8.6119e-08, 1.5924e-09, 1.074e-11, 2.0391e-14, 7.8524e-18])
    elif M == 16:
        return np.array([0.089859, 0.055663, 0.029957, 0.013469, 0.004819,
    0.001293, 0.00024205, 2.897e-05, 1.9921e-06, 6.8928e-08,
    1.0145e-09, 5.1257e-12, 6.7629e-15, 1.6453e-18, 4.6157e-23])
```

```
    elif M == 32:
        return np.array([0.082719, 0.047105, 0.022469, 0.0085348, 0.0024266,
    0.00047917, 6.0083e-05, 4.2975e-06, 1.5388e-07, 2.3425e-09,
    1.2294e-11, 1.6992e-14, 4.3826e-18, 1.3266e-22, 2.1688e-28])
    else:
        raise ValueError("Unsupported value of M for coherent case")


def theoretical_ber_non_coh(EbNo, M):
    """
    Return theoretical BER values for non-coherent FSK.

    Parameters:
    - EbNo: Array of Eb/No values in linear scale
    - M: Modulation order

    Returns:
    - BER: Array of BER values
    """
    if M == 2:
        return np.array([0.30327, 0.26644, 0.22637, 0.18438, 0.1424, 0.10287,
    0.068311, 0.0408, 0.021324, 0.0094212, 0.003369,
    0.0009231, 0.00018089, 2.3244e-05, 1.7558e-06])
    elif M == 4:
        return np.array([0.22934, 0.18475, 0.13987, 0.097719, 0.061557,
    0.033946, 0.01579, 0.0059139, 0.0016837, 0.00033939,
    4.4371e-05, 3.3753e-06, 1.3045e-07, 2.1593e-09, 1.233e-11])
    elif M == 8:
        return np.array([0.19472, 0.14559, 0.099187, 0.059806, 0.030757,
    0.012878, 0.0041438, 0.00095467, 0.00014449, 1.2945e-05,
    6.0428e-07, 1.2541e-08, 9.4638e-11, 2.0092e-13, 8.6607e-17])
    elif M == 16:
        return np.array([0.17469, 0.12169, 0.074737, 0.038861, 0.01625,
    0.005127, 0.0011288, 0.00015786, 1.2538e-05, 4.943e-07,
    8.2001e-09, 4.6432e-11, 6.8517e-14, 1.8682e-17, 6.0826e-22])
    elif M == 32:
        return np.array([0.16103, 0.10471, 0.058014, 0.025984, 0.0088058,
    0.0020817, 0.00031127, 2.6219e-05, 1.0859e-06, 1.8789e-08,
    1.1086e-10, 1.7154e-13, 4.9582e-17, 1.737e-21, 4.2722e-27])
    else:
        raise ValueError("Unsupported value of M for non-coherent case")


def update_plot(bps):
    """
    Update the BER plot based on the selected bits per symbol.

    Parameters:
    - bps: Bits per symbol
```

```
    """
    # Start timer and display loading animation
    loader_html2.value = loading
    start_time = time.time()

    Nsymb = 2000             # Number of symbols
    ns = 100                 # Samples per symbol
    EbNo_dB_sim = np.arange(0, 10, 2)    # Eb/No values for simulation
    EbNo_dB_theory = np.arange(0, 15, 1) # Eb/No values for theoretical curves

    EbNo_sim = 10 ** (EbNo_dB_sim / 10)        # Convert dB to linear scale
    EbNo_theory = 10 ** (EbNo_dB_theory / 10)
    M = 2 ** bps                                # Modulation order

    # Simulate BER for coherent and non-coherent detection
    ber_coh_sim = simulate_ber(bps, Nsymb, ns, EbNo_dB_sim, coherent=True)
    ber_non_coh_sim = simulate_ber(bps, Nsymb, ns, EbNo_dB_sim, coherent=False)

    # Get theoretical BER values
    ber_coh_theory = theoretical_ber_coh(EbNo_theory, M)
    ber_non_coh_theory = theoretical_ber_non_coh(EbNo_theory, M)

    # Plot BER curves
    plt.figure(figsize=(10, 6))
    plt.semilogy(EbNo_dB_sim, ber_coh_sim, 'o', label=f'Simulated Coherent {M}-FSK')
    plt.semilogy(EbNo_dB_sim, ber_non_coh_sim, 's', label=f'Simulated Non-Coherent
{M}-FSK')
    plt.semilogy(EbNo_dB_theory, ber_coh_theory, label=f'Theoretical Coherent {M}-
FSK')
    plt.semilogy(EbNo_dB_theory, ber_non_coh_theory, label=f'Theoretical Non-
Coherent {M}-FSK')

    plt.title(f'{M}-FSK System')
    plt.xlabel('Eb/No (dB)')
    plt.ylabel('Bit Error Rate (BER)')
    plt.grid(True, which='both')
    plt.legend()
    plt.show()

    # Display elapsed time and completion checkmark
    elapsed_time = time.time() - start_time
    timer_html2.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
    loader_html2.value = done

# Dropdown widget for selecting bits per symbol
bps_dropdown = Dropdown(
    options=[('2-FSK', 1), ('4-FSK', 2), ('8-FSK', 3), ('16-FSK', 4), ('32-FSK',
5)],
```

```
    value=2,
    description='M-FSK:',
    style={'description_width': 'initial'},
    continuous_update=False
)

# Group the loader and timer widgets
loader_timer_box = widgets.VBox(
    [loader_html2, timer_html2],
    layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto')
)

# Input widgets container
input_widgets = widgets.VBox([bps_dropdown])

# Combine input widgets and loader/timer into an HBox
ui = widgets.HBox(
    [input_widgets, loader_timer_box],
    layout=widgets.Layout(align_items='center')
)

# Create interactive output
out = widgets.interactive_output(update_plot, {'bps': bps_dropdown})

# Display UI and output
clear_output(wait=True)
display(ui, out)
```

Σχεδίαση Φάσματος Ζωνοπερατού Σήματος για Σύστημα 32-FSK

```
# Loading animation and completion checkmark HTML code
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey border
*/
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue border
on top */
                                   border-radius: 50%;             /* Circular
shape */
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
```

```
                                    animation: spin 2s linear infinite; /* Spinning
animation */'>
        </div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }     /* Start rotation */
        100% { transform: rotate(360deg); } /* End rotation */
    }
    </style>
    """
done = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
        <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>  <!-- Checkmark
symbol -->
    </div>
    """
loader_html3 = widgets.HTML(value=loading)
timer_html3 = widgets.HTML(value="Elapsed time: - seconds")

def update_plot(fsklvl, Nsymb, EbNo):
    """
    Plot the power spectral density for coherent and non-coherent FSK.

    Parameters:
    - fsklvl: FSK levels (e.g., 2, 4, 8, etc.)
    - Nsymb: Number of symbols
    - EbNo: Energy per bit to noise power spectral density ratio in dB
    """
    # Start timer and display loading animation
    loader_html3.value = loading
    start_time = time.time()

    clear_output(wait=True)

    bps = int(math.log2(fsklvl))  # Bits per symbol
    M = 2 ** bps                  # Modulation order
    BR = 1                        # Baud Rate
    T = 1 / BR                    # Symbol duration
    fc = 2 * M * BR               # Carrier frequency
    ns = 80                       # Samples per symbol
    nb = bps * Nsymb              # Total number of bits
    f = fc + (BR / 2) * (np.arange(1, M + 1) - (M + 1) / 2)  # Frequencies for
coherent FSK

    # Adjust 'ns' based on maximum frequency
    fmax = np.max(f)
```

```
    Fs = 2 * fmax
    ns = int(np.ceil(Fs / BR)) + 10
    Ts = T / ns

    # Calculate SNR in dB
    SNR = EbNo + 10 * np.log10(bps) - 10 * np.log10(ns / 2)

    # Generate random input bits
    y = np.random.randint(0, 2, nb)
    x = y.reshape((len(y) // bps, bps))

    # Time vectors
    t = np.arange(0, len(x) * T, T)
    tks = np.arange(0, T, Ts)

    # Generate coherent FSK signal
    s = []
    A = np.sqrt(2 / T / ns)
    for k in range(len(x)):
        symbol_bits = ''.join(map(str, x[k]))
        symbol_index = int(symbol_bits, 2)
        fk = f[symbol_index]
        tk = (k * T) + tks
        s.append(np.sin(2 * np.pi * fk * tk))
    s_coherent = np.concatenate(s)

    # Compute power spectral density
    frequencies_coherent, Pxx_coherent = welch(s_coherent, fs=ns * BR,
nperseg=50000, noverlap=25000)

    # Parameters for non-coherent FSK
    ns = 90
    Ts = T / ns
    f = fc + BR * (np.arange(1, M + 1) - (M + 1) / 2)  # Frequencies for non-
coherent FSK
    fmax = np.max(f)
    Fs = 2 * fmax
    ns = int(np.ceil(Fs / BR)) + 10
    Ts = T / ns

    # Generate non-coherent FSK signal
    s = []
    for k in range(len(x)):
        symbol_bits = ''.join(map(str, x[k]))
        symbol_index = int(symbol_bits, 2)
        fk = f[symbol_index]
        tk = (k * T) + tks
        s.append(np.sin(2 * np.pi * fk * tk))
```

```
    s_non_coherent = np.concatenate(s)

    # Compute power spectral density
    frequencies_non_coherent, Pxx_non_coherent = welch(s_non_coherent, fs=ns * BR,
nperseg=50000)

    # Plot PSDs
    fig, axs = plt.subplots(2, 1, figsize=(10, 8))

    axs[0].semilogy(frequencies_coherent, Pxx_coherent, linewidth=0.5)
    axs[0].set_title("Coherent FSK")
    axs[0].set_xlabel("Frequency (Hz)")
    axs[0].set_ylabel("Power Spectral Density (dB/Hz)")
    axs[0].grid(True)

    axs[1].semilogy(frequencies_non_coherent, Pxx_non_coherent, linewidth=0.5)
    axs[1].set_title("Non-Coherent FSK")
    axs[1].set_xlabel("Frequency (Hz)")
    axs[1].set_ylabel("Power Spectral Density (dB/Hz)")
    axs[1].grid(True)

    plt.tight_layout()
    plt.show()

    # Display elapsed time and completion checkmark
    elapsed_time = time.time() - start_time
    timer_html3.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
    loader_html3.value = done

# Widgets for user input
fsklvl_dropdown = Dropdown(
    options=[2, 4, 8, 16, 32],
    value=4,
    description='FSK Levels:',
    style={'description_width': 'initial'},
    layout=Layout(flex='1 1 auto', width='auto'),
    continuous_update=False
)
Nsymb_slider = IntSlider(
    value=10000,
    min=1000,
    max=50000,
    step=1000,
    description='Number of Symbols:',
    style={'description_width': 'initial'},
    layout=Layout(flex='1 1 auto', width='auto'),
    continuous_update=False
)
```

```
EbNo_slider = IntSlider(
    value=8,
    min=0,
    max=20,
    step=1,
    description='Eb/No (dB):',
    style={'description_width': 'initial'},
    layout=Layout(flex='1 1 auto', width='auto'),
    continuous_update=False
)

# Group the loader and timer widgets
loader_timer_box = widgets.VBox(
    [loader_html3, timer_html3],
    layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto')
)

# Input widgets container
input_widgets = widgets.VBox(
    [fsklvl_dropdown, Nsymb_slider, EbNo_slider],
    layout=widgets.Layout(flex='1 1 auto', width='auto')
)

# Combine input widgets and loader/timer into an HBox
ui = widgets.HBox(
    [input_widgets, loader_timer_box],
    layout=widgets.Layout(align_items='center')
)

# Create interactive output
out = widgets.interactive_output(update_plot, {'fsklvl': fsklvl_dropdown, 'Nsymb':
Nsymb_slider, 'EbNo': EbNo_slider})

# Display UI and output
clear_output(wait=True)
display(ui, out)
```

Εξομοίωση Συστήματος MSK σε Ζωνοπερατό Δίαυλο με 2 Mbps και Υπολογισμός BER για Eb/No=10 dB

```
# Loading animation and completion checkmark HTML code
loading = """
    <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center; height:
80px;'>
```

```
        <div class='loader' style='border: 12px solid #f3f3f3; /* Light grey */
                                   border-top: 12px solid #01cc97; /* Blue */
                                   border-radius: 50%;
                                   width: 40px;
                                   height: 40px;
                                   animation: spin 2s linear infinite;'></div>
    </div>
    <style>
    @keyframes spin {
        0% { transform: rotate(0deg); }
        100% { transform: rotate(360deg); }
    }
    </style>
    """
done = """
        <div style='display: flex; justify-content: center; align-items: center;
height: 80px;'>
            <div style='font-size: 40px; color: #01cc97;'>&#10003;</div>
        </div>
        """
loader_html4 = widgets.HTML(
  value=loading
)
timer_html4 = widgets.HTML(
    value="Elapsed time: - seconds"
)


# Function that simulates Additive White Gaussian Noise (AWGN)
def awgn(signal, SNR):
    """
    Additive White Gaussian Noise (AWGN) channel simulation.

    Parameters:
    - signal: Input signal
    - SNR: Signal-to-Noise Ratio in dB

    Returns:
    - noisy_signal: Signal with added AWGN noise
    """
    snr_linear = 10 ** (SNR / 10)
    signal_power = np.mean(signal ** 2)
    noise_power = signal_power / snr_linear
    noise = np.sqrt(noise_power) * np.random.normal(size=signal.shape)
    return signal + noise


# MSK error function
def msk_errors(Nbits, nsamp, EbNo):
```

```
    """
    Simulate MSK modulation and calculate BER without precoding.

    Parameters:
    - Nbits: Number of bits
    - nsamp: Oversampling factor
    - EbNo: Energy per bit to noise power spectral density ratio in dB

    Returns:
    - BER: Bit Error Rate
    """
    n = Nbits              # Number of data bits
    R = 2000000            # Bit rate (2 Mbps)
    fc = 8000000           # Carrier frequency (8 MHz)
    ns = nsamp             # Oversampling factor
    T = 1 / R              # Bit duration
    Ts = T / ns            # Sampling interval
    fss = 1 / Ts           # Sampling frequency

    # Calculate SNR in dB
    SNR = EbNo - 10 * np.log10(ns/2)  # in dB

    # Generate random input bits (-1 or 1)
    y = np.concatenate(([1], np.sign(np.random.rand(n - 1) - 0.5)))  # random
numbers, -1 or 1
    x = y

    # Generate NRZ polar pulse train samples
    g = np.ones(ns)
    xx = upfirdn(g, x, up=ns)  # NRZ polar pulse train samples

    # Time vector
    ts = np.arange(0, len(xx) * Ts, Ts)  # of length ns*(n+1)

    # MSK Transmitter
    xs = xx
    theta = np.cumsum(xs) * np.pi / 2 / ns
    xs_i = np.cos(theta)    # in-phase component
    xs_q = np.sin(theta)    # quadrature component

    # Ensure that xs_i and xs_q are the same length as the time grid `ts`
    if len(xs_i) > len(ts):
        xs_i = xs_i[:len(ts)]
        xs_q = xs_q[:len(ts)]
    elif len(ts) > len(xs_i):
        ts = ts[:len(xs_i)]

    # Modulation
```

```
s = xs_i * np.cos(2 * np.pi * fc * ts) - xs_q * np.sin(2 * np.pi * fc * ts)

# Addition of noise
s = awgn(s, SNR)

## MSK RECEIVER
xs_i = s * np.cos(2 * np.pi * fc * ts)
xs_q = -s * np.sin(2 * np.pi * fc * ts)

# LP (Parks-McClellan) filter
f1 = 0.75*(fss/2)/ns
f2 = 4*f1
order = 8 * ns
fpts = [0, f1, f2, fss/2]
mag = [1, 1, 0, 0]
wt = [1, 1]
b = firwin2(order+1, fpts, mag, fs=fss)
a = 1

len_xs_i = len(xs_i)
dummy = np.concatenate((xs_i, np.zeros(order)))
dummy1 = lfilter(b, a, dummy)
delay = order // 2
xs_i = dummy1[delay:delay + len_xs_i]
xs_i = np.concatenate((xs_i, np.ones(nsamp-1)))

dummy = np.concatenate((xs_q, np.zeros(order)))
dummy1 = lfilter(b, a, dummy)
xs_q = dummy1[delay:delay + len_xs_i]

bi = 1
xr_1 = 1
xr = np.zeros(n)
for k in range(0, n, 2):
    li = np.arange((k+1) * ns, min((k + 3) * ns-1, len(xs_i)))
    lq = np.arange(k * ns, min((k + 2) * ns-1, len(xs_q)))
    xi = xs_i[li]
    xq = xs_q[lq]
    gmi = np.cos(np.pi / 2 / T * Ts * li)  # matched-filter pulse
    gmq = -gmi  # =sin(pi/2/T*Ts*lq);
    bi_1 = bi
    bi = np.sign(np.sum(xi * gmi))
    bq = np.sign(np.sum(xq * gmq))
    xr[k] = bi_1 * bq
    xr[k+1] = bi * bq
    xr_1 = xr[k + 1]

xr = xr.reshape(-1)
```

```
    err = np.not_equal(x, xr)
    errors = np.sum(err)
    return errors / Nbits


# MSK error function with precoding
def msk_errors_precoding(Nbits, nsamp, EbNo):
    """
    Simulate MSK modulation and calculate BER with precoding.

    Parameters:
    - Nbits: Number of bits
    - nsamp: Oversampling factor
    - EbNo: Energy per bit to noise power spectral density ratio in dB

    Returns:
    - BER: Bit Error Rate
    """
    n = Nbits
    R = 2000000
    fc = 8000000
    ns = nsamp
    T = 1 / R
    Ts = T / ns
    fss = 1 / Ts

    # Calculate SNR
    SNR = EbNo - 10 * np.log10(ns/2)  # in dB

    # Generate random input bits and apply precoding
    y = np.concatenate(([1], np.sign(np.random.rand(n - 1) - 0.5)))  # random
numbers, -1 or 1
    x = y
    x[0] = 1
    for i in range(1, len(y)):
        x[i] = y[i] * x[i-1]  # Apply precoding rule

    # Generate NRZ polar pulse train samples
    g = np.ones(ns)
    xx = upfirdn(g, x, up=ns)  # NRZ polar pulse train samples

    # Time grid
    ts = np.arange(0, len(xx) * Ts, Ts)  # of length ns*(n+1)

    ## MSK TRANSMITTER
    xs = xx
    theta = np.cumsum(xs) * np.pi / 2 / ns
    xs_i = np.cos(theta)  # in-phase component
    xs_q = np.sin(theta)  # quadrature component
```

```
# Ensure that xs_i and xs_q are the same length as the time grid ts
if len(xs_i) > len(ts):
    xs_i = xs_i[:len(ts)]
    xs_q = xs_q[:len(ts)]
elif len(ts) > len(xs_i):
    ts = ts[:len(xs_i)]

# Modulation
s = xs_i * np.cos(2 * np.pi * fc * ts) - xs_q * np.sin(2 * np.pi * fc * ts)

# Addition of noise
s = awgn(s, SNR)

## MSK RECEIVER
xs_i = s * np.cos(2 * np.pi * fc * ts)
xs_q = -s * np.sin(2 * np.pi * fc * ts)

# LP (Parks-McClellan) filter
f1 = 0.75*(fss/2)/ns
f2 = 4*f1
order = 8 * ns
fpts = [0, f1, f2, fss/2]
mag = [1, 1, 0, 0]
wt = [1, 1]
b = firwin2(order+1, fpts, mag, fs=fss)
a = 1

len_xs_i = len(xs_i)
dummy = np.concatenate((xs_i, np.zeros(order)))
dummy1 = lfilter(b, a, dummy)
delay = order // 2
xs_i = dummy1[delay:delay + len_xs_i]
xs_i = np.concatenate((xs_i, np.ones(nsamp-1)))

dummy = np.concatenate((xs_q, np.zeros(order)))
dummy1 = lfilter(b, a, dummy)
xs_q = dummy1[delay:delay + len_xs_i]

# Updated MSK decoding for precoded bits with recursive logic
bi = 1
xr_1 = 1  # Initialize previous decoded bit (xr_1)
xr = np.zeros(n)  # Array to store decoded bits

for k in range(0, n, 2):
    li = np.arange((k+1) * ns, min((k + 3) * ns-1, len(xs_i)))
    lq = np.arange(k * ns, min((k + 2) * ns-1, len(xs_q)))
    xi = xs_i[li]
```

```
            xq = xs_q[lq]

            # Matched filter output (to match MSK modulation characteristics)
            gmi = np.cos(np.pi / 2 / T * Ts * li)  # In-phase matched filter pulse
            gmq = -gmi  # Quadrature matched-filter pulse (sin is negative of cosine)

            # Save previous in-phase matched filter output
            bi_1 = bi

            # Decode in-phase (I) and quadrature (Q) components
            bi = np.sign(np.sum(xi * gmi))
            bq = np.sign(np.sum(xq * gmq))

            # Apply recursive decoding rule for precoded MSK
            xr[k] = bi_1 * bq  # Decode the k-th bit
            xr[k+1] = bi * bq  # Decode the (k+1)-th bit

            # Update the previously decoded bit (xr_1)
            xr_1 = xr[k+1]

    xr = xr.reshape(-1)
    err = np.not_equal(y, xr)
    errors = np.sum(err)
    return 0.5*errors / Nbits

# Function to simulate BER and plot
def update_msk_plot(nsamp):
    """
    Update the BER plot for MSK modulation with and without precoding.

    Parameters:
    - nsamp: Oversampling factor
    """
    # Start timer and display loading animation
    if loader_html4.value != loading:
        loader_html4.value = loading  # Set loading indicator only if not already
set
    start_time = time.time()

    EbNo_range = np.arange(0, 9, 1)  # EbNo from 0 to 10 dB
    Nbits = 10000  # Increase number of bits to reduce variance

    simulated_BER = []
    simulated_BER_precoding = []
    theoretical_BER = []
    theoretical_BER_precoded = []

    for EbNo in EbNo_range:
```

```
        # Simulate both with and without precoding
        sim_BER = msk_errors(Nbits, nsamp, EbNo)
        sim_BER_precoded = msk_errors_precoding(Nbits, nsamp, EbNo)

        # Theoretical BER without precoding
        theoretical_BER_value = 0.9 * erfc(np.sqrt(10**(EbNo / 10)))
        # Theoretical BER with precoding
        theoretical_BER_precoded_value = erfc(np.sqrt(10**(EbNo / 10))) / 2

        simulated_BER.append(sim_BER)
        simulated_BER_precoding.append(sim_BER_precoded)
        theoretical_BER.append(theoretical_BER_value)
        theoretical_BER_precoded.append(theoretical_BER_precoded_value)

    # Plot results
    plt.figure(figsize=(10, 6))
    plt.semilogy(EbNo_range, simulated_BER, 'o', label='Simulated BER (without
precoding)')
    plt.semilogy(EbNo_range, simulated_BER_precoding, 's', label='Simulated BER
(with precoding)')
    plt.semilogy(EbNo_range, theoretical_BER, label='Theoretical BER (without
precoding)')
    plt.semilogy(EbNo_range, theoretical_BER_precoded, label='Theoretical BER (with
precoding)')
    plt.xlabel('$E_b/N_0$ (dB)')
    plt.ylabel('Bit Error Rate (BER)')
    plt.title('MSK Modulation (with and without precoding)')
    plt.legend()
    plt.grid(True, which='both')
    plt.show()

    # Update timer and loading indicator
    elapsed_time = time.time() - start_time
    timer_html4.value = f"Elapsed time: {elapsed_time:.2f} seconds"
    loader_html4.value = done


# Interactive UI components
nsamp_slider = widgets.IntSlider(
    value=32,
    min=16,
    max=128,
    step=16,
    description='Oversampling Factor:',
    layout=Layout(width='auto', flex='1 1 auto'),
    style={'description_width': 'initial'},
    continuous_update=False
)
```

```
# Group the loader and timer together (they will appear next to each other
horizontally)
loader_timer_box = widgets.VBox([loader_html4, timer_html4],
layout=widgets.Layout(margin='0 0 0 20px', width='auto'))

# Create a VBox for the input widgets (similar to the first refactored code)
input_widgets = widgets.VBox([nsamp_slider], layout=widgets.Layout(flex='1 1 auto',
width='auto'))

# Create an HBox to combine inputs and loader timer box, with the same layout style
ui = widgets.HBox([input_widgets, loader_timer_box],
layout=widgets.Layout(align_items='center'))

# Create the interactive output for the update_msk_plot function
out = widgets.interactive_output(update_msk_plot, {'nsamp': nsamp_slider})

# Display the UI and output
clear_output(wait=True)  # Clear the previous output
display(ui, out)
```