

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΣΕΡΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**Ανάπτυξη και υλοποίηση εκπαιδευτικού λογισμικού σε
περιβάλλον MATLAB για το γνωστικό αντικείμενο των
εργαστηριακών ασκήσεων του μαθήματος
«ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ 1»**

**Πτυχιακή Εργασία του
Κωνσταντίνου Κουτρούλη**

Επιβλέπων: Κ. Θ. Λιοτόπουλος, καθηγητής

ΣΕΡΡΕΣ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2007

Υπεύθυνη Δήλωση: *Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην πτυχιακή εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση των δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από μένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Πληροφορικής & Επικοινωνιών του Τ.Ε.Ι Σερρών.*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος των ψηφιακών τηλεπικοινωνιών είναι η αποστολή ενός μηνύματος από ένα σημείο σε ένα άλλο, καθώς και η επιβεβαίωση πλήρους, ορθής και κατανοητής λήψης του από τον εξουσιοδοτημένο παραλήπτη. Τα τηλεπικοινωνιακά σήματα τα διακρίνουμε σε αναλογικά και ψηφιακά, με τα ψηφιακά να έχουν πλεονεκτήματα σε σχέση με τα αναλογικά καθώς έχουν μεγαλύτερους ρυθμούς πληροφορίας, καλύτερη ποιότητα σήματος, δυνατότητα παροχής πληθώρας υπηρεσιών, μεγαλύτερη δυνατότητα και ευκολία επεξεργασίας. Για την μελέτη ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος χρησιμοποιούμε τρεις τεχνικές, την χρήση αναλυτικών εξισώσεων, τις ημι-αναλυτικές μεθόδους και τις τεχνικές προσομοίωσης. Στην εργασία θα χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα του Matlab, το οποίο είναι μια γλώσσα προγραμματισμού η οποία έχει ενσωματωμένη μια σειρά βιβλιοθηκών, και πιο συγκεκριμένα θα χρησιμοποιήσουμε το Simulink που περιλαμβάνεται στο λογισμικό πακέτο του Matlab. Το Simulink προσφέρει τη δυνατότητα εποπτικής αναπαράστασης των συστημάτων σε μορφή μπλοκ διαγραμμάτων.

Στην πρώτη άσκηση θα μελετήσουμε το περιβάλλον προσομοίωσης του Matlab Simulink, μαθαίνοντας τις βασικές αρχές λειτουργίας του προγράμματος. Στην δεύτερη άσκηση θα αναφερθούμε στη μελέτη των χαρακτηριστικών φίλτρων ενώ στην τρίτη θα εξετάσουμε τον κβαντισμό σημάτων. Στην τέταρτη και πέμπτη άσκηση θα μετατρέψουμε το αναλογικό σήμα σε ψηφιακό και αντίστροφα χρησιμοποιώντας την δέλτα διαμόρφωση – αποδιαμόρφωση και διαφορικό PCM αντίστοιχα. Στην έκτη, έβδομη, όγδοη και ένατη άσκηση θα μελετήσουμε τις τεχνικές ψηφιακής διαμόρφωσης, γραμμική μετατόπιση μ – φάσης (MPSK), ορθογωνική εναλλαγή με μετατόπιση πλάτους (OASK), γραμμική μετατόπιση συχνότητας (FSK) και ελάχιστη γραμμική μετατόπιση (MSK) αντίστοιχα. Στην δέκατη άσκηση θα συγκρίνουμε τις παραπάνω τεχνικές ψηφιακής διαμόρφωσης ως προς την συμπεριφορά τους απέναντι στον θερμικό θόρυβο. Στην ενδέκατη άσκηση θα μελετήσουμε την συνελκτική κωδικοποίηση – αποκωδικοποίηση και στην δωδέκατη την προσομοίωση DS/SS

(*Direct Sequence / Spread Spectrum*) πομποδέκτη. Τέλος σε κάθε άσκηση υπάρχουν ερωτήσεις κατανόησης καθώς και ενδεικτικές ασκήσεις για τον σπουδαστή.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ	5
1.1 ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ: ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ	5
1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ SIMULINK MATLAB	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ	9
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 1: ΓΝΩΡΙΜΙΑ ΜΕ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ MATLAB SIMULINK	11
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 2: ΜΕΛΕΤΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ	18
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 3: ΚΒΑΝΤΙΣΜΟΣ ΣΗΜΑΤΩΝ	25
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 4: ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΨΗΦΙΑΚΟ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΑ (ΔΕΛΤΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ – ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ)	34
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 5: ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΨΗΦΙΑΚΟ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΑ (ΔΙΑΦΟΡΙΚΟ PCM)	39
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 6: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ Μ – ΦΑΣΗΣ, MPSC)	46
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 7: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΜΕ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΠΛΑΤΟΥΣ, QASK)	54
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 8: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ, FSK)	65

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 9: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ, MSK)	75
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 10: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	83
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 11: ΣΥΝΕΛΙΚΤΙΚΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ – ΑΠΟΚΩΔΙΟΚΟΠΟΙΗΣΗ	91
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 12: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ DS/SS ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗ	98
ΕΠΙΛΟΓΟΣ	111
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	113

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση, ανάπτυξη και επεξεργασία μίας σειράς ασκήσεων προσομοίωσης ψηφιακών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων στο περιβάλλον προσομοίωσης Simulink που περιλαμβάνεται στο λογισμικό πακέτο Matlab. Σκοπός της εργασίας είναι το συγκεκριμένο σετ ασκήσεων να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εκπαιδευτικό υλικό για τις ανάγκες ενός θεωρητικού ή πειραματικού μαθήματος με αντικείμενο τις ψηφιακές τηλεπικοινωνίες.

Η διάρθρωση της εργασίας έχει ως εξής: Αρχικά θα γίνει μία σύντομη γενική εισαγωγή στις ψηφιακές τηλεπικοινωνίες ενώ στη συνέχεια θα παρουσιαστούν ορισμένες από τις βασικές αρχές που χαρακτηρίζουν τη λειτουργία, τις δυνατότητες και τις εφαρμογές του λογισμικού πακέτου Matlab γενικότερα και του περιβάλλοντος προσομοίωσης Simulink ειδικότερα. Στη συνέχεια, στο κυρίως τμήμα της εργασίας θα παρουσιαστούν διαδοχικά οι επιμέρους προτεινόμενες ασκήσεις. Η διαδοχή των εργασιών ακολουθεί μία σειρά αντίστοιχη με αυτή των περισσότερων συγγραμμάτων της ελληνικής και ξένης βιβλιογραφίας και η οποία θεωρείται η πλέον κατάλληλη για εφαρμογή σε ένα μάθημα τηλεπικοινωνιών. Η εργασία θα ολοκληρωθεί με συνοπτικό σχολιασμό και παρουσίαση συμπερασμάτων που απορρέουν από το κύριο σώμα της.

Αναφορικά με τη δομή της κάθε άσκησης αρχικά θα γίνεται σύντομη αναφορά της σχετικής θεωρίας, αναφορά η οποία δεν αντικαθιστά τη θεωρία του χρησιμοποιούμενου βιβλίου θεωρίας, αλλά μπαίνει περισσότερο για λόγους πληρότητας της προτεινόμενης άσκησης καθώς και σαν εργαλείο σύντομης αναφοράς από μέρος του σπουδαστή. Κατόπιν γίνεται παρουσίαση του προτεινόμενου μοντέλου. Αυτή θα περιλαμβάνει το μοντέλο, σχεδιασμένο σε περιβάλλον Simulink, καθώς και πληροφορίες οι οποίες κρίνονται ουσιαστικές για την υλοποίηση της άσκησης. Γίνεται περιγραφή της πορείας της άσκησης και κατόπιν παρουσιάζονται ορισμένα ενδεικτικά αποτελέσματα, όπως θα αναμένονταν από το φοιτητή. Η κάθε

Άσκηση θα ολοκληρώνεται με μία σειρά ερωτήσεων που θα αφορούν το σπουδαστή και θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για καλύτερη κατανόηση του αντικειμένου.

Για τις προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Matlab 7.0.1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

Στο παρόν κεφάλαιο θα συζητηθούν αρχικά ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά των ψηφιακών τηλεπικοινωνιών. Στο δεύτερο σκέλος του κεφαλαίου θα δοθούν γενικές πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά, τη λειτουργία και τις εφαρμογές του λογισμικού πακέτου Matlab γενικότερα και του περιβάλλοντος προσομοίωσης Simulink ειδικότερα.

1.1 ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ: ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Επιχειρώντας έναν ορισμό μπορούμε να πούμε ότι στόχος των επικοινωνιών είναι η αποστολή ενός μηνύματος από ένα σημείο σε ένα άλλο, καθώς και η επιβεβαίωση πλήρους, ορθής και κατανοητής λήψης του από τον εξουσιοδοτημένο παραλήπτη. Παρά τον απλό αυτό σχετικά ορισμό, πίσω από τις επικοινωνίες κρύβεται μία τεράστια προσπάθεια της επιστήμης, μια πληθώρα από θεωρίες και τεχνικές που μέχρι σήμερα τουλάχιστον απασχολεί ένα μεγάλο αριθμό επιστημονικών ιδρυμάτων, βιομηχανιών και οργανισμών. Αποτέλεσμα της προσπάθειας αυτής είναι μια μεγάλη σειρά προϊόντων για ειδικές εφαρμογές αλλά και για ευρεία κατανάλωση.

Μία βασική διάκριση των τηλεπικοινωνιακών σημάτων και συστημάτων είναι σε αναλογικά και ψηφιακά. Έτσι μιλάμε για αναλογικό και ψηφιακό σήμα, [1-5]. Ειδικότερα αναλογικό σήμα ονομάζεται το σήμα το οποίο λαμβάνει συνεχείς τιμές στο εύρος του πεδίου ορισμού του, (παράδειγμα η ανθρώπινη φωνή). Ψηφιακό ονομάζεται το σήμα που λαμβάνει στο εύρος του πεδίου ορισμού του διακριτές τιμές, (παράδειγμα σήμα παλμοκωδικής διαμόρφωσης). Κατ' αντιστοιχία μιλάμε για αναλογικές, (παράδειγμα AM, *Amplitude Modulation*, FM, *Frequency Modulation*),

και ψηφιακές, (παράδειγμα PSK, *Phase Shift Keying*), διαμορφώσεις και κατ' επέκταση τηλεπικοινωνίες.

Σύγκριση των δύο κατηγοριών συστημάτων δείχνει ένα σαφέστατο πλεονέκτημα για τα ψηφιακά. Μεγαλύτεροι ρυθμοί πληροφορίας, καλύτερη ποιότητα σήματος, δυνατότητα παροχής πληθώρας υπηρεσιών, μεγαλύτερη δυνατότητα και ευκολία επεξεργασίας είναι ορισμένα μόνο από τα πλεονεκτήματα τους σε σύγκριση με τα αναλογικά. Η εξέλιξη της μικροηλεκτρονικής, [6], και η εισαγωγή αυτής και των επιτευγμάτων της στο χώρο των τηλεπικοινωνιών επέτρεψαν τις τελευταίες να αλλάξουν πρόσωπο. Οι εξελίξεις είναι ραγδαίες και συνεχείς.

Μιλώντας για ψηφιακή μετάδοση δεδομένων ουσιαστικά μιλάμε για ένα σύστημα που μεταδίδει μια ακολουθία δυαδικών ψηφίων, δηλαδή 0 και 1. Αυτά τα ψηφία μπορούν να παρασταθούν με πολλούς τρόπους. Για παράδειγμα, το 1 μπορεί να παρασταθεί με μία τάση V σταθερή για κάποιο χρόνο T , ενώ το 0 παριστάνεται με μία τάση $-V$ σταθερή για τον ίδιο χρόνο. Γενικά τα δυαδικά ψηφία κωδικοποιούνται έτσι ώστε το 1 να παριστάνεται από ένα σήμα $s_1(t)$ και το 0 από ένα σήμα $s_2(t)$, όπου τα $s_1(t)$ και $s_2(t)$ έχουν καθένα διάρκεια T . Το σήμα που προκύπτει μπορεί να μεταδίδεται απευθείας ή, όπως είναι και το πιο συνηθισμένο, να χρησιμοποιείται για να διαμορφώσει ένα φέρον. Το λαμβανόμενο σήμα παραμορφώνεται από θόρυβο, και επομένως υπάρχει μία μη μηδενική πιθανότητα ο δέκτης να κάνει λάθος στην απόφαση αν έχει μεταδοθεί το 0 ή το 1 σε κάθε χρονική στιγμή.

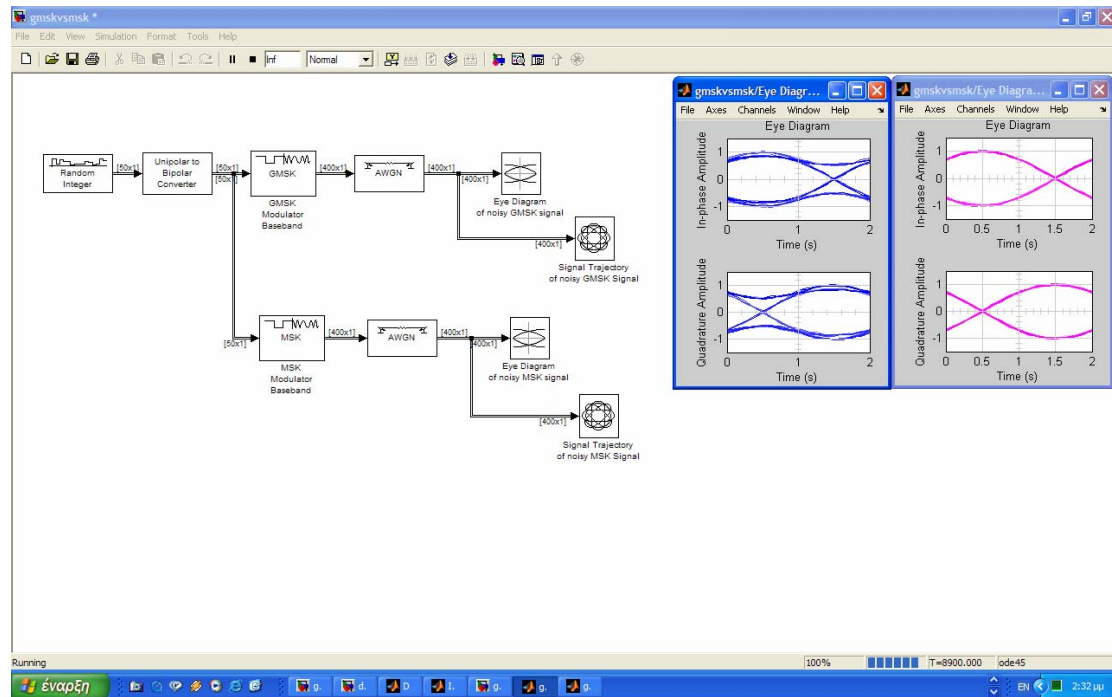
Τα βασικά τμήματα στα οποία θα μπορούσε κάποιος να επικεντρωθεί θέλοντας να μιλήσει για τις ψηφιακές επικοινωνίες, κατ' επέκταση αυτά αποτελούν και επιμέρους αντικείμενα διδασκαλίας σε ένα αντίστοιχο μάθημα, είναι η μετατροπή αναλογικού συστήματος σε ψηφιακό, οι τεχνικές ψηφιακής διαμόρφωσης, τα χαρακτηριστικά ενός καναλιού διάδοσης και η επίδραση τους στο μεταδιδόμενο μέσα από αυτό σήματος, η κωδικοποίηση και τέλος οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης. Περισσότερες πληροφορίες για τα παραπάνω θέματα θα δοθούν στη συνέχεια και κατά την παρουσίαση των εργαστηριακών ασκήσεων. Επίσης ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στη προτεινόμενη βιβλιογραφία, [1-5], στο τέλος της εργασίας.

1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ SIMULINK MATLAB

Τρεις είναι οι κύριες τεχνικές μελέτης των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Η χρήση αναλυτικών εξισώσεων, κάτι που είναι πρακτικά εφικτό μόνο για πολύ απλά μοντέλα, οι ημι-αναλυτικές μέθοδοι, στις οποίες γίνεται ταυτόχρονη χρήση αναλυτικών εξισώσεων και στατιστικών μεθόδων και τέλος οι τεχνικές προσομοίωσης. Στις τελευταίες προσπαθούμε με χρήση κατάλληλων εργαλείων να προσομοιάσουμε στο PC την εξέλιξη μιας διαδικασίας, [7].

Ένα τέτοιο εργαλείο προσομοίωσης προσφέρεται στα πλαίσια του λογισμικού πακέτου Matlab, [8], και είναι το Simulink. Παράδειγμα της επιφάνειας εργασίας του συγκεκριμένου περιβάλλοντος προσομοίωσης δίνεται στο Σχ. 1. Στο αριστερό τμήμα φαίνεται το μοντέλο προσομοίωσης συγκεκριμένου τηλεπικοινωνιακού συστήματος ενώ στα δεξιά απεικονίζονται μία σειρά διαγραμμάτων τα οποία στην συγκεκριμένη εφαρμογή, (μοντέλο gmskvsmsk.mdl των demo που προσφέρονται με το λογισμικό).

Τι είναι όμως το Matlab; Στην πραγματικότητα είναι μια γλώσσα προγραμματισμού που έχει ενσωματωμένη μία σειρά βιβλιοθηκών. Τα στοιχεία των βιβλιοθηκών αυτών καλούνται από τον κώδικα ως συναρτήσεις. Με αυτό τον τρόπο ο χρήστης είναι σε θέση να γράψει κώδικα πολύ ευκολότερα και το σημαντικότερο να χρησιμοποιήσει καλά δοκιμασμένες ρουτίνες. Βασικό μειονέκτημα του είναι η χαμηλή ταχύτητα συγκριτικά με τις απλές γλώσσες προγραμματισμού, C++, Fortran, Pascal κ.α., γεγονός όμως που έρχεται σε δεύτερη μοίρα για απλές εφαρμογές. Αξίζει να σημειωθεί μία ακόμη βασική διαφορά του Matlab σε σχέση με τις υπόλοιπες γλώσσες προγραμματισμού αναφορικά με τον τρόπο παράστασης των αριθμητικών μεγεθών. Όλα τα αριθμητικά μεγέθη αναφέρονται ως αλγεβρικοί πίνακες ή στοιχεία αυτών.



Σχ. 1: Παράδειγμα περιβάλλοντος εργασίας λογισμικού Simulink.

Όπως ήδη αναφέρθηκε τμήμα του Matlab αποτελεί το Simulink. Αυτό μας προσφέρει τη δυνατότητα εποπτικής αναπαράστασης των συστημάτων σε μορφή μπλοκ διαγραμμάτων. Αυτή η εποπτική αναπαράσταση είναι αρκετά χρήσιμη σε ερευνητικές ή τεχνικές εργασίες, αποτελούν επιπλέον ένα ιδιαίτερα ωφέλιμο εργαλείο όταν χρησιμοποιείται για διδακτικούς σκοπούς, για παράδειγμα [9-10].

Ακολουθεί η παρουσίαση μίας σειράς ασκήσεων οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους σπουδαστές για την καλύτερη κατανόηση των ψηφιακών τηλεπικοινωνιών. Αυτός είναι και ο κύριος στόχος χωρίς όμως να παραλειφθεί και η ανάγκη κατανόησης ορισμένων βασικών αρχών και λειτουργιών του λογισμικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Στο παρόν κεφάλαιο, το οποίο και αποτελεί το κύριο τμήμα της εργασίας, θα γίνει αναλυτική παρουσίαση σειράς ασκήσεων οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους σπουδαστές για την καλύτερη κατανόηση του μαθήματος των Ψηφιακών Επικοινωνιών. Αρχικά θα γίνεται αναφορά στο σκοπό και αντικείμενο της άσκησης και στη συνέχεια θα αναφέρονται ορισμένα στοιχεία θεωρίας κατάλληλα για την καλύτερη κατανόηση της άσκησης. Κατόπιν θα δίνεται το μοντέλο προσομοίωσης συνοδευμένο από τις απαραίτητες πληροφορίες και σειρά ενδεικτικών αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Στη συνέχεια θα παρατίθεται ενδεικτική σειρά εργασιών τις οποίες μπορούν να πραγματοποιούν οι σπουδαστές. Η άσκηση θα ολοκληρώνεται με σειρά ερωτήσεων κατανόησης.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνεται η λίστα των επιμέρους ασκήσεων.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

ΑΣΚΗΣΗ - 1 ^η	ΓΝΩΡΙΜΙΑ ΜΕ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ MATLAB SIMULINK
ΑΣΚΗΣΗ - 2 ^η	ΜΕΛΕΤΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ
ΑΣΚΗΣΗ - 3 ^η	ΚΒΑΝΤΙΣΜΟΣ ΣΗΜΑΤΩΝ
ΑΣΚΗΣΗ - 4 ^η	ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΨΗΦΙΑΚΟ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΑ (ΔΕΛΤΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ – ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ)
ΑΣΚΗΣΗ - 5 ^η	ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΨΗΦΙΑΚΟ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΑ (ΔΙΑΦΟΡΙΚΟ PCM)
ΑΣΚΗΣΗ - 6 ^η	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ Μ – ΦΑΣΗΣ, MPSK)
ΑΣΚΗΣΗ - 7 ^η	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΜΕ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΠΛΑΤΟΥΣ, QASK)
ΑΣΚΗΣΗ - 8 ^η	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ, FSK)
ΑΣΚΗΣΗ - 9 ^η	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ, MSK)
ΑΣΚΗΣΗ - 10 ^η	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 10: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ
ΑΣΚΗΣΗ - 11 ^η	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 11: ΣΥΝΕΛΙΚΤΙΚΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ – ΑΠΟΚΩΔΙΟΚΟΠΟΙΗΣΗ
ΑΣΚΗΣΗ - 12 ^η	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ DS/SS ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 1

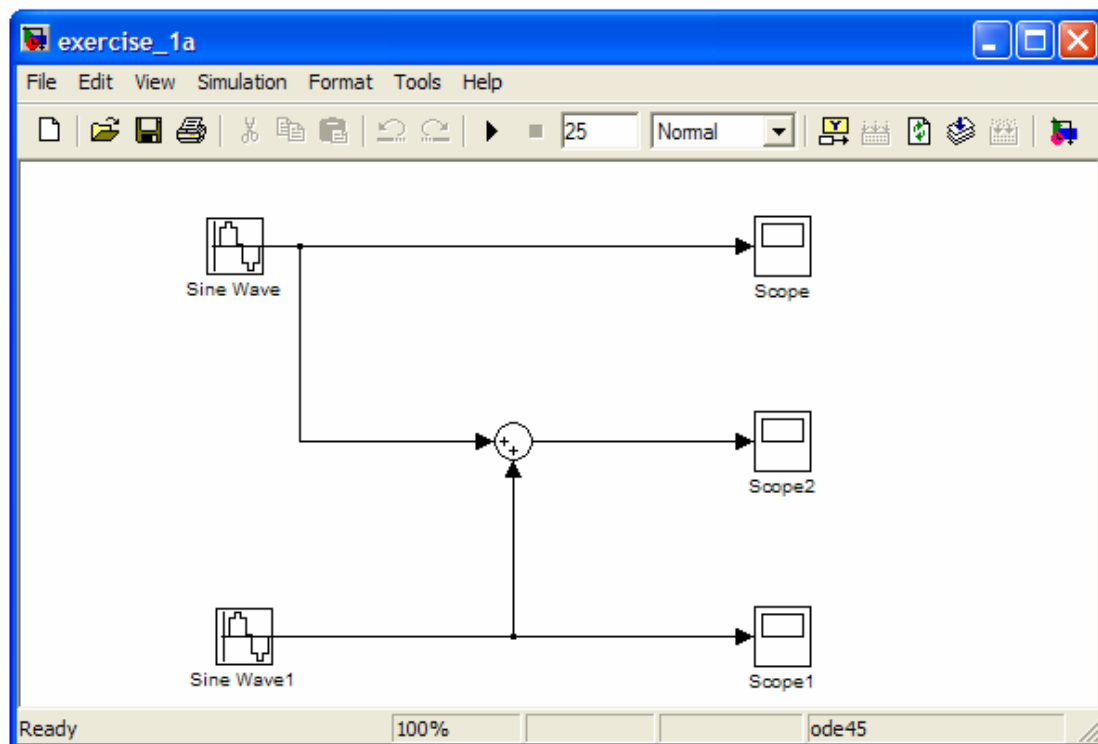
ΓΝΩΡΙΜΙΑ ΜΕ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ MATLAB SIMULINK

Σκοπός της συγκεκριμένης άσκησης είναι η γνωριμία με το περιβάλλον προσομοίωσης Matlab Simulink. Με την ολοκλήρωση της άσκησης οι σπουδαστές θα γνωρίζουν τις βασικές αρχές λειτουργίας του προγράμματος και ορισμένες πληροφορίες απαραίτητες για να μπορούν να πραγματοποιήσουν προσομοίωση ενός απλού τηλεπικοινωνιακού συστήματος. Επίσης θα είναι σε θέση να δημιουργήσουν απλά μοντέλα και να λαμβάνουν χρονικά και συχνοτικά διαγράμματα.

ΜΟΝΤΕΛΟ 1:

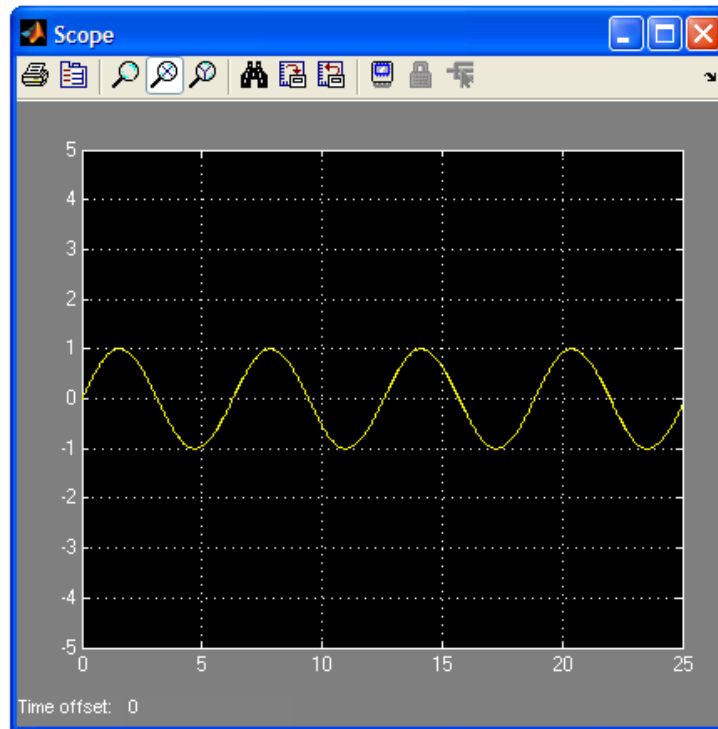
Αρχικά θα δούμε πως μπορούμε να δούμε τη χρονική κυματομορφή ενός ή περισσοτέρων σημάτων και να ‘τρέξουμε’ τη διαδικασία της προσομοίωσης.

Θα χρησιμοποιηθούν δύο γεννήτριες ημιτονικού σήματος, Sine Wave, επιλέγοντας τα αντίστοιχα εικονίδια από το μενού Simulink>Sources και ένας αθροιστής από το μενού Simulink>Math Operations. Για να μπορούμε να δούμε τα διαγράμματα χρειαζόμαστε το μπλοκ Scope. Αυτό το βρίσκουμε στο μενού Simulink>Sinks. Στο παράθυρο του μοντέλου, βλ. Σχ. 2, υπάρχει το μενού Simulation. Επιλέγοντας από αυτό το μενού το Configuration Parameters ορίζουμε βασικά στοιχεία της προσομοίωσης. Αν για παράδειγμα είναι συνεχής, *continuous*, η διακριτή, *discrete*, αν είναι μεταβλητού, *Variable step*, η σταθερού βήματος, *Fixed step*, κ.ο.κ. Περισσότερες λεπτομέρειες είναι εκτός του περιεχομένου της παρούσας εργασίας. Θετικό στοιχείο είναι ότι σε περίπτωση σφαλμάτων οι πληροφορίες που μας παρέχει το πρόγραμμα είναι ικανοποιητικές και αρκετά διαφωτιστικές.

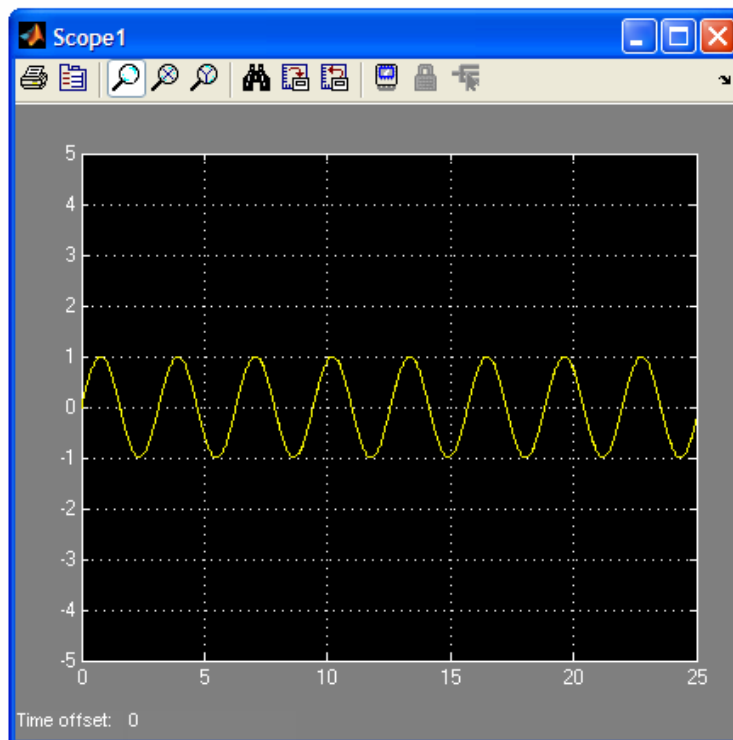


Σχ. 2: Διαδικασία λήψης χρονικών διαγραμμάτων.

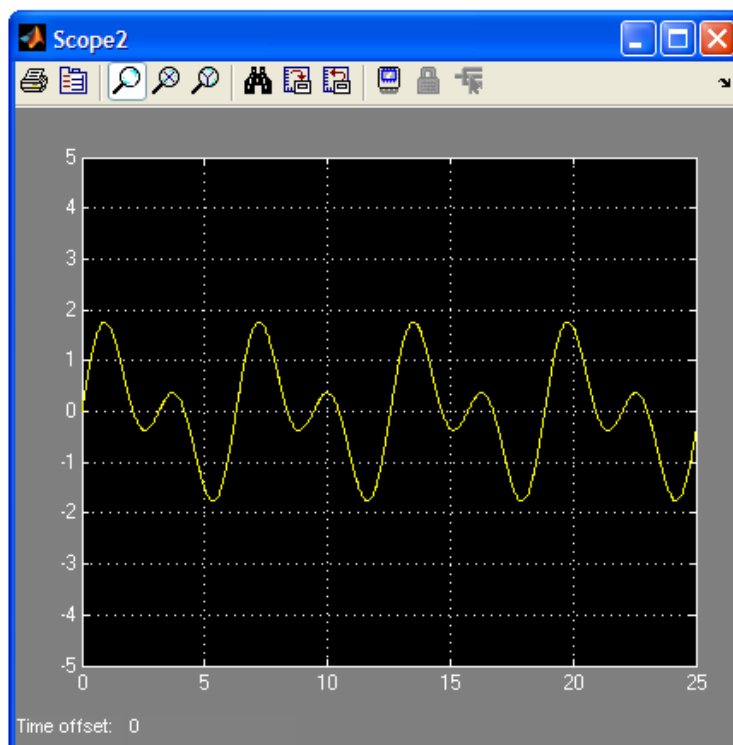
Αυτό που θα δούμε είναι δύο ημιτονικές κυματομορφές διαφορετικών συχνοτήτων καθώς και το άθροισμα τους, βλ. Σχ. 3-5. Οι συχνότητες των σημάτων είναι 1 και 2 rad/sec αντίστοιχα. Το άθροισμα τους είναι όπως είναι αναμενόμενο περιοδική κυματομορφή με περίοδο τη μεγαλύτερη των δύο σημάτων, (αφού ο λόγος των συχνοτήτων είναι ακέραιος αριθμός).



Σχ. 3: Χρονικό διάγραμμα κυματομορφής 1 μοντέλου 1.



Σχ. 4: Χρονικό διάγραμμα κυματομορφής 2, (διπλάσιας συχνότητας), μοντέλου 1.

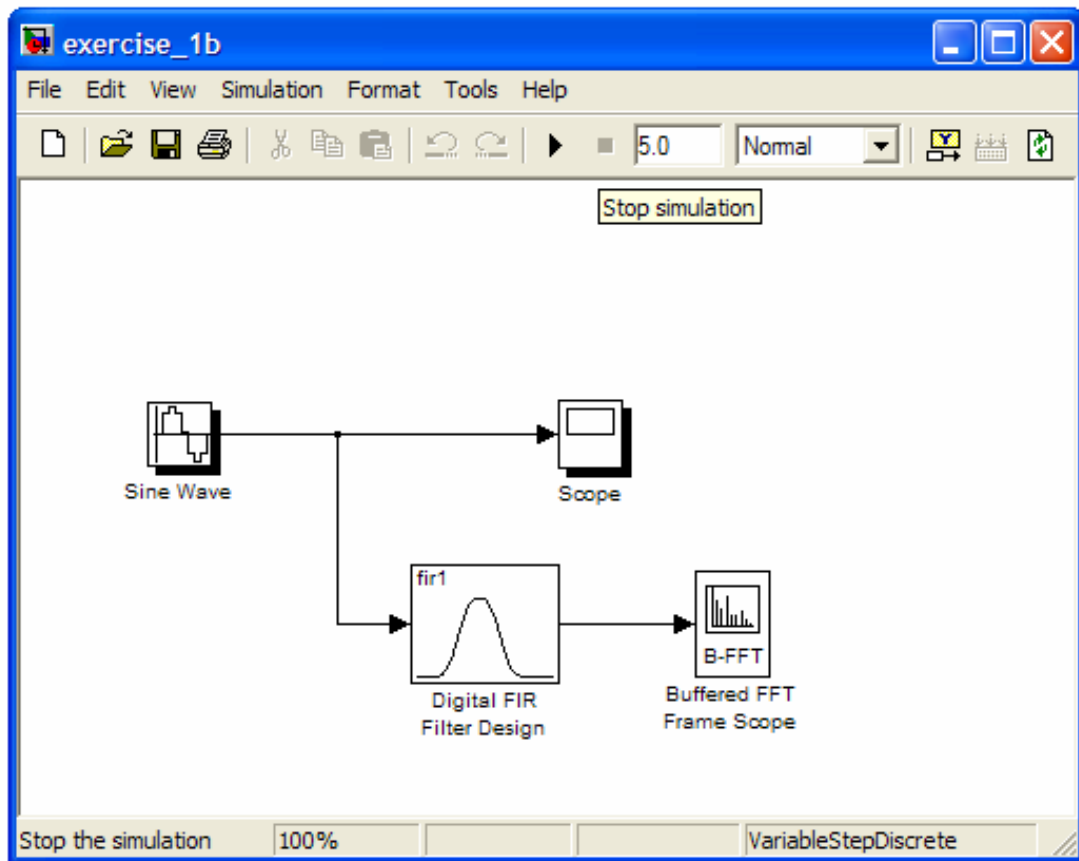


Σχ. 5: Χρονικό διάγραμμα αθροίσματος κυματομορφών μοντέλου 1.

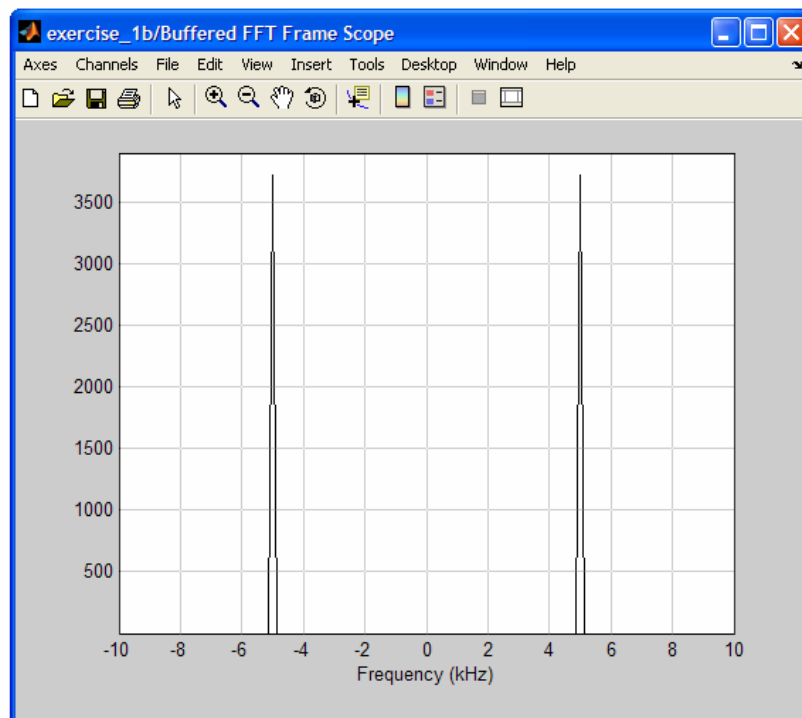
ΜΟΝΤΕΛΟ 2:

Στο συγκεκριμένο μοντέλο θα δούμε πως είναι δυνατόν να λαμβάνουμε συχνοτικά διαγράμματα. Το μοντέλο παρουσιάζεται στο Σχ. 6. Το ημιτονικό σήμα είναι συχνότητας $f = 5\text{kHz}$. Για τη λήψη του συχνοτικού διαγράμματος το σήμα διέρχεται αρχικά από ένα ψηφιακό FIR φίλτρο, [11-12], μπλοκ Digital FIR Filter Design. Το μπλοκ Buffered FFT Frame Scope είναι σύνθετο. Αρχικά υλοποιεί ένα μετασχηματισμό FFT, *Fast Fourier Transformation*, [13], και κατόπιν απεικονίζει το συχνοτικό διάγραμμα, βλ. Σχ. 7.

Παρατηρούμε τη συχνοτική συνιστώσα των 5kHz και το φανταστικό είδωλο της στα -5kHz, [2]. Το ύψος των συνιστωσών είναι μέγεθος το οποίο δε μας αφορά στην παρούσα περίπτωση.



Σχ. 6: Διαδικασία λήψης χρονικού – συχνотικού διαγράμματος.



Σχ. 7: Συχνотικό διάγραμμα κωματομορφής μοντέλου 2.

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ:

Στο συγκεκριμένο τμήμα των ασκήσεων θα δίνεται ενδεικτική σειρά εργασιών τις οποίες θα μπορεί ο σπουδαστής να εκτελεί για καλύτερη κατανόηση τόσο του λογισμικού προσομοίωσης όσο, αυτό βέβαια είναι και το ουσιαστικότερο, καλύτερη κατανόηση του τηλεπικοινωνιακού υπόβαθρου της εργασίας.

ΜΟΝΤΕΛΟ 1:

1. Να ληφθούν τα χρονικά διαγράμματα για σήματα διαφορετικών συχνοτήτων και πλατών.
2. Με επιλογή των κατάλληλων μπλοκ να ληφθούν οι κυματομορφές για τριγωνικούς και τετραγωνικούς παλμούς.
3. Επιλέξτε το μπλοκ XY Graph από το Simulink>Sinks και συνδέστε τα δύο ημιτονικά σήματα εισόδου. Δοκιμάστε διάφορους συνδυασμούς συχνοτήτων και πλατών. Τι συμπεράσματα εξάγονται από το διάγραμμα, (πλήθος – ύψος λοβών);

ΜΟΝΤΕΛΟ 2:

1. Να ληφθούν συχνοτικά διαγράμματα για διάφορες συχνότητες.
2. Να εξεταστεί η λειτουργία του φίλτρου. Ερμηνεύστε την επίδραση της κάθε παραμέτρου.
3. Με τρόπο αντίστοιχο με το προηγούμενο μοντέλο να ληφθούν συχνοτικά διαγράμματα για άθροισμα σημάτων. Να εξεταστεί ο συσχετισμός του λόγου των πλατών των φασματικών συνιστωσών με το λόγο των πλατών των σημάτων.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ:

Στο συγκεκριμένο τμήμα των ασκήσεων θα δίνεται σειρά ερωτήσεων ή μικρών ασκήσεων η επίλυση των οποίων θα βοηθά το σπουδαστή στην καλύτερη κατανόηση του περιεχόμενου της άσκησης όσον αφορά την τηλεπικοινωνιακή σκοπιά της.

1. Ποια η σχέση μεταξύ της περιόδου και της συχνότητας μιας κυματομορφής;
2. Υπολογίστε την έκφραση που μας δίνει την περίοδο κυματομορφής που προκύπτει ως άθροισμα δύο περιοδικών κυματομορφών. Να διακριθούν οι περιπτώσεις που ο λόγος των συνιστωσών είναι ακέραιος και μη ακέραιος.
3. Να επαναληφθεί το ερώτημα 2 για την περίπτωση πολλαπλασιασμού περιοδικών κυματομορφών.

Για να απαντηθούν τα ερωτήματα 2 και 3 προτείνεται προσφυγή στην [14] ή αντίστοιχο μαθηματικό τυπολόγιο.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 2

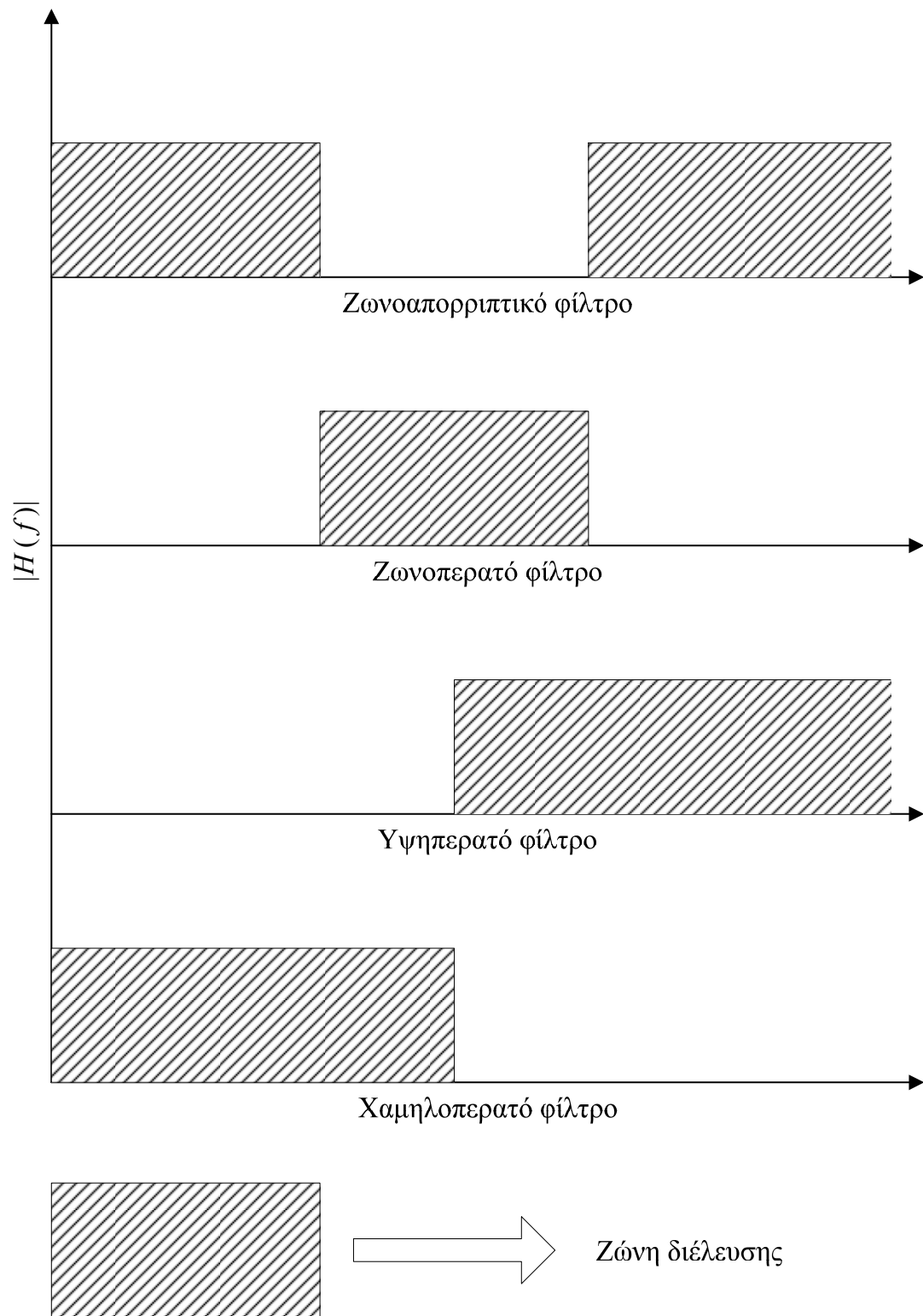
ΜΕΛΕΤΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ

Σκοπός της συγκεκριμένης άσκησης είναι η γνωριμία με τα κυριότερα είδη φίλτρων και η μελέτη των χαρακτηριστικών τους. Ειδικότερα θα εξεταστούν οι τέσσερις βασικές κατηγορίες φίλτρων. Θα μελετηθούν οι επιμέρους σχεδιαστικές μέθοδοι φίλτρου καθώς και η επίδραση των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών του φίλτρου στην απόδοση του. Με την ολοκλήρωση της άσκησης οι σπουδαστές θα γνωρίζουν τις βασικές αρχές σχεδιασμού και λειτουργίας των φίλτρων.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ:

Τα φίλτρα είναι δικτυώματα σχεδιασμένα έτσι ώστε να μπορούν να διαφοροποιούν το συχνοτικό φάσμα ηλεκτρικών σημάτων κατά καθορισμένο τρόπο. Τα φίλτρα τα διακρίνουμε κυρίως σε τέσσερις βασικές κατηγορίες: τα ζωνοπερατά, *Band Pass*, (BP), τα ζωνοαπορριπτικά, *Band Reject*, (BR), τα χαμηλοπερατά, *Low Pass*, (LP), και τα υψηλοπερατά, *High Pass*, (HP), [11], [15].

Τις απαιτήσεις που έχουμε για ένα φίλτρο τις δίνουμε με ένα συχνοτικό διάγραμμα. Εκεί περιγράφονται τα όρια μέσα στα οποία πρέπει να αναπτυχθεί η καμπύλη του μέτρου της συνάρτησης μεταφοράς του φίλτρου, $H(f)$, βλ. Σχ. 8, [16]. Πολλές φορές οι προδιαγραφές δίνονται σε ένα διάγραμμα 'απώλειας' σε dB που προξενεί το φίλτρο σε συνάρτηση με τη συχνότητα. Εκεί βλέπουμε τη ζώνη διέλευσης, συχνότητες που περνάνε, και τη ζώνη αποκοπής, αυτές που απορρίπτονται.



Σχ. 8: Ιδανική συχνοτική απόκριση φίλτρων.

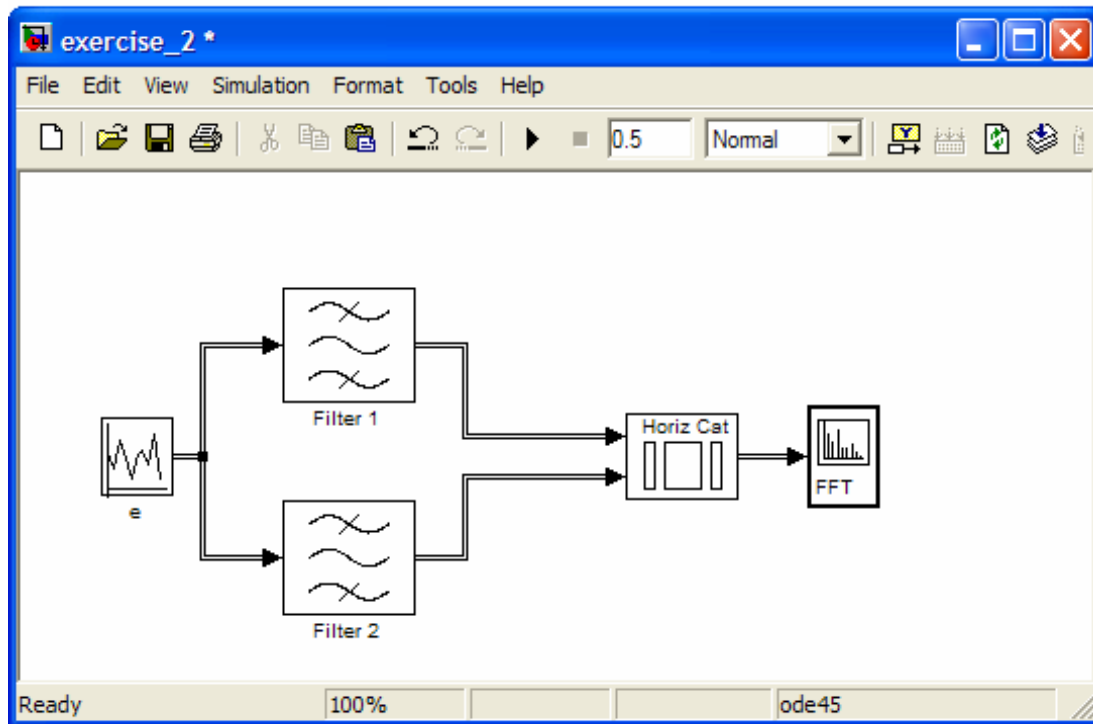
Υπάρχουν διάφορες προσεγγιστικές μέθοδοι εύρεσης συνάρτησης μεταφοράς που πληρούν τις προδιαγραφές απώλειας ενός φίλτρου. Οι πιο γνωστές από αυτές είναι οι προσεγγίσεις Butterworth, Chebyshev, Bessel και η ελλειπτική. Για

περισσότερες λεπτομέρειες μπορεί κανείς να ανατρέξει στην προτεινόμενη βιβλιογραφία, [11], [15].

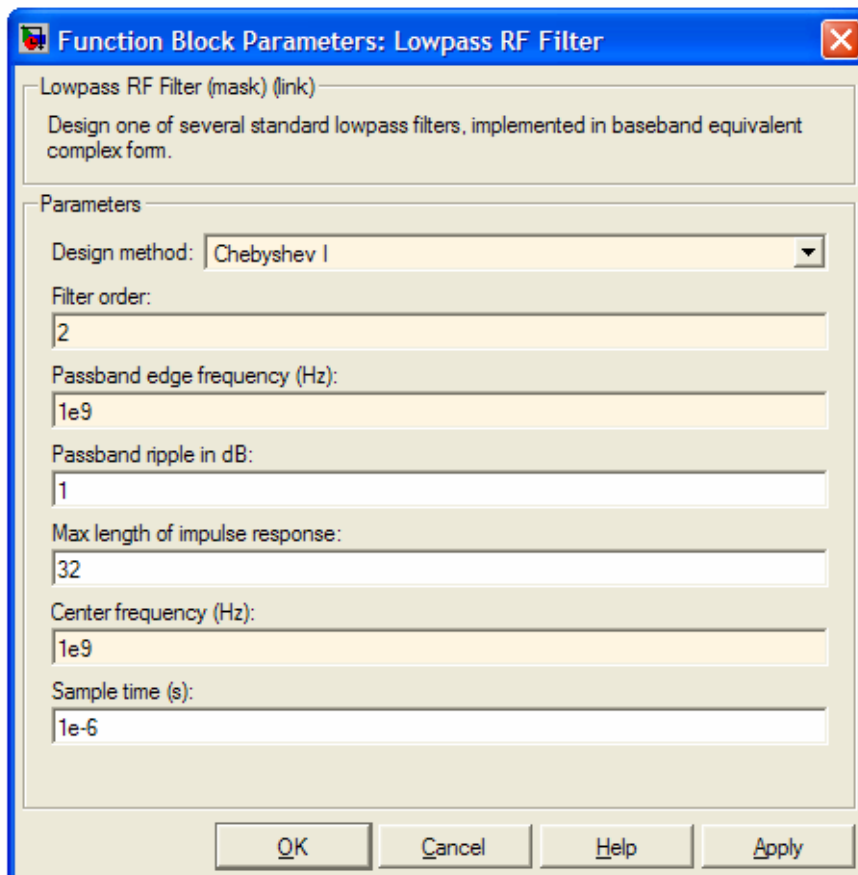
Ένα σημαντικό μέγεθος που σχετίζεται με την υλοποίηση ενός φίλτρου είναι η τάξη του, [16]. Σε πρακτικό επίπεδο η τάξη ενός φίλτρου είναι το πλήθος των ρευματοληπτών με τους οποίους υλοποιείται. Όσο μεγαλύτερη είναι τόσο καλύτερη η ‘συμφωνία’ του φίλτρου με τις σχεδιαστικές προδιαγραφές του αλλά τόσο μεγαλύτερη και η πολυπλοκότητα του.

ΜΟΝΤΕΛΟ:

Στο συγκεκριμένο μοντέλο, βλ. Σχ. 9, θα μελετηθεί το μέτρο της συχνοτικής απόκρισης φίλτρου συγκεκριμένων προδιαγραφών. Ειδικότερα θα μελετηθεί η συχνοτική απόκριση χαμηλοπερατού φίλτρου εύρους 1MHz. Για συγκριτικούς λόγους στο συγκεκριμένο μοντέλο δίνονται δύο φίλτρα το ένα δεύτερης και το άλλο τέταρτης τάξης. Αυτή ακριβώς η μεθοδολογία θα αναπτυχθεί σε όλη την άσκηση. Για διάφορες αλλαγές των παραμέτρων των φίλτρων, βλ. Σχ. 10, θα γίνονται οι επιμέρους συγκρίσεις και θα γίνει κατανοητή η λειτουργία των φίλτρων και η επίδραση των επιμέρους σχεδιαστικών παραμέτρων σε αυτά. Προφανώς για να εξετάσουμε τη λειτουργία του φίλτρου στο πεδίο των συχνοτήτων θα πρέπει να τα τροφοδοτήσουμε με τυχαίο σήμα σταθερής φασματικής πυκνότητας ισχύος, μια πηγή λευκού θορύβου για παράδειγμα, [1-2].



Σχ. 9: Μοντέλο μελέτης χαρακτηριστικών φίλτρων.

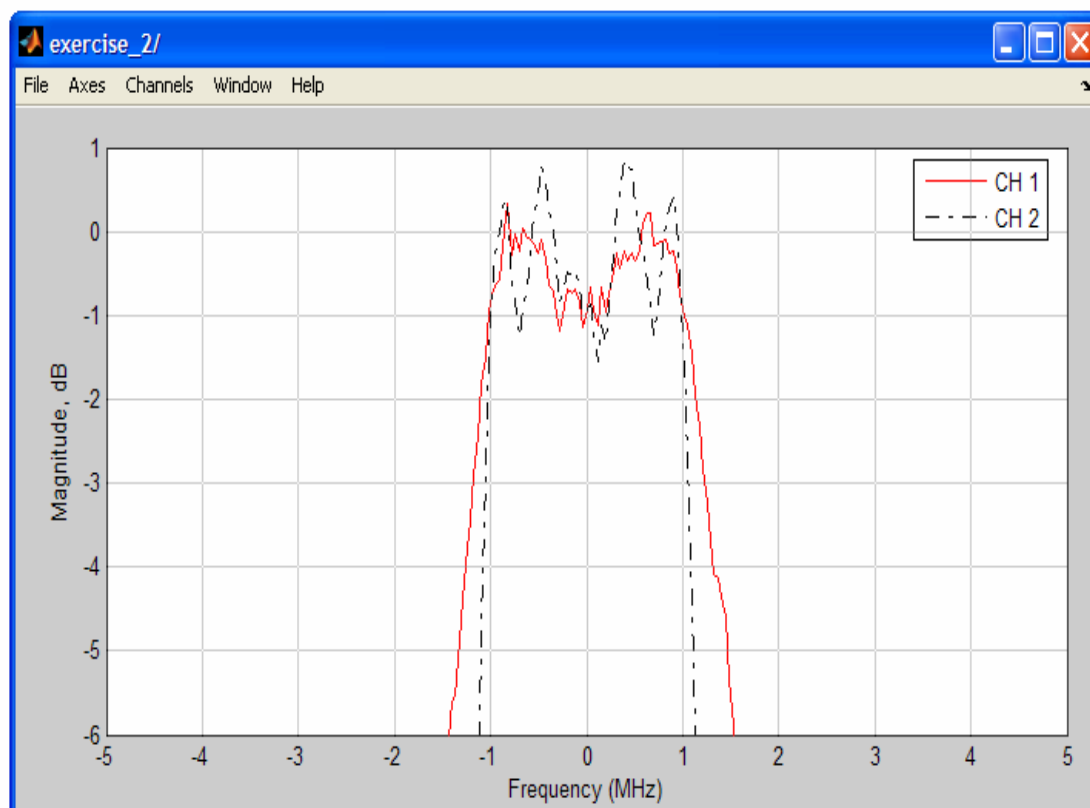


Σχ. 10: Μενού καθορισμού χαρακτηριστικών και τεχνικής σχεδιασμού φίλτρων.

Στο Σχ. 11 δίνουμε την απόκριση των φίλτρων που αναφέραμε προηγουμένως. Η προσεγγιστική μέθοδος που ακολουθείται είναι η Chebychev ενώ η διακύμανση πλάτους, *ripple*, [11], [15-16], τίθεται ίση με 1dB.

Δύο είναι τα σχόλια που πρέπει να γίνουν:

- Η συνάρτηση μεταφοράς είναι συμμετρική ως προς συχνότητα $f = 0$. Αυτό βέβαια είναι αναμενόμενο. Οι αρνητικές συχνότητες δεν έχουν κάποια σημασία στο φυσικό επίπεδο.
- Η απόκριση του φίλτρου 4^{ης} τάξης είναι σαφώς καλύτερη από αυτό της 2^{ης} τάξης. Πράγματι αν θεωρήσουμε τα -6dB ως ένα ικανοποιητικό σημείο αναφοράς και καθορισμού του εύρους του φίλτρου, ενώ εμείς θέλουμε ένα φίλτρο εύρους 1MHz τα φίλτρα που σχεδιάσαμε δίνουν εύρος 1.1MHz το 4^{ης} και 1.5MHz το 2^{ης} τάξης.



Σχ. 11: Μέτρο συνάρτησης μεταφοράς υλοποιήσεων μοντέλου. Το CH 1 αναφέρεται στο φίλτρο 4^{ης} τάξης και το CH 2 στο φίλτρο 2^{ης} τάξης.

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ:

Εργαζόμενοι με τρόπο αντίστοιχο με το προτεινόμενο μοντέλο να γίνουν οι παρακάτω εργασίες, (ως εύρος διέλευσης να ληφθεί το 1MHz):

1. Μελέτη της επίδρασης της τάξης του φίλτρου, (να γίνουν διάφορες κατ' επιλογή συγκρίσεις με τάξης φίλτρου από 1 ως 20).
2. Για διάφορες τιμές τάξης φίλτρου να συγκριθούν υλοποιήσεις φίλτρων που σχεδιάζονται με διαφορετικές σχεδιαστικές μεθόδους. Υπάρχουν διαφορές; Ποια μέθοδος φαίνεται να δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα;
3. Τα ερωτήματα 1 και 2 να γίνουν και για τις υπόλοιπες τρεις βασικές κατηγορίες φίλτρων. Για τις περιπτώσεις της υπερπαραπέρατης και της ζωνοαπορριπτικής υλοποίησης φίλτρου το εύρος ζώνης απόρριψης να ληφθεί ίσο με 1MHz.
4. Να μελετηθεί η επίδραση της παραμέτρου Passband ripple στην περίπτωση της Chebychev και της ελλειπτικής σχεδίασης.
5. Να μελετηθεί η επίδραση της παραμέτρου Stopband attenuation στην περίπτωση της ελλειπτικής σχεδίασης.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ:

1. Έστω σήμα εύρους 100MHz. Ποια η περιοχή διέλευσης φίλτρου αν το σήμα πληροφορίες επικάθεται σε φορέα κεντρικής συχνότητας 1GHz;
2. Πως εξαρτάται το πραγματικό εύρος ενός φίλτρου από την τάξη του; Γιατί;
3. Ποια η φυσική σημασία των παραμέτρων Passband ripple και Stopband attenuation των οποίων τη συμπεριφορά έχετε μελετήσει στο κυρίως τμήμα της εργασίας; Εξηγήστε πως με την κατάλληλη επιλογή τους βελτιώνονται τα χαρακτηριστικά του φίλτρου.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 3

ΚΒΑΝΤΙΣΜΟΣ ΣΗΜΑΤΩΝ

Σκοπός της συγκεκριμένης άσκησης είναι η κατανόηση από μέρους του σπουδαστή της έννοιας του κβαντισμού ενός αναλογικού σήματος και των τρόπων με τους οποίους αυτός μπορεί να επιτευχθεί. Θα εξεταστεί η εφαρμογή του τόσο με τα έτοιμα μπλοκ του λογισμικού όσο με χρησιμοποίηση άλλων μπλοκ. Με την ολοκλήρωση της άσκησης οι σπουδαστές θα γνωρίζουν τις βασικές αρχές του κβαντισμού σήματος και του τρόπου υλοποίησης του με τη βοήθεια του συγκεκριμένου λογισμικού.

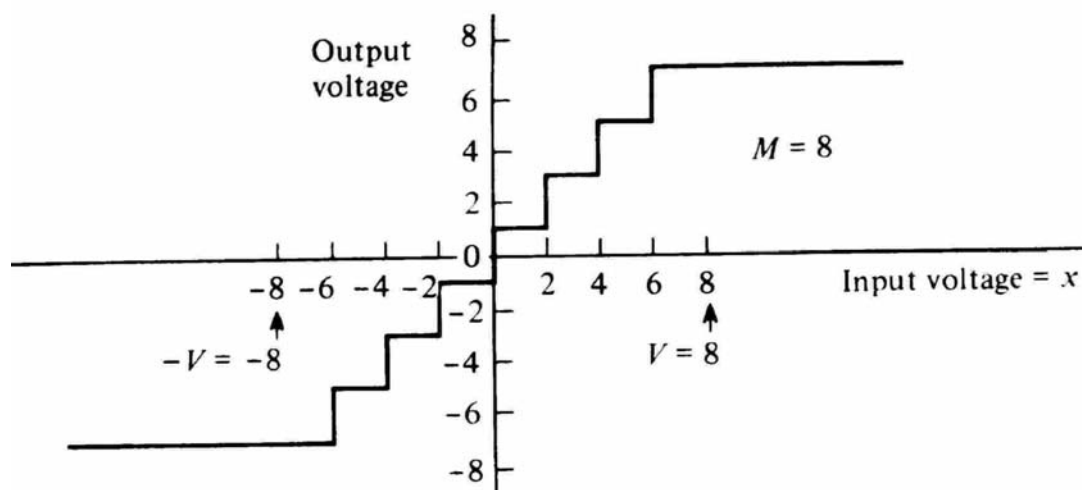
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ:

Ένα σημαντικό μειονέκτημα ενός καναλιού διάδοσης μεγάλου μήκους είναι ότι μόλις εισάγεται θόρυβος σε οποιοδήποτε σημείο κατά μήκος του καναλιού ‘γινόμαστε’ ένα με αυτόν. Με τη διαδικασία του κβαντισμού η κατάσταση διαφοροποιείται. Με τον κβαντισμό αντί του αρχικού σήματος, έστω $m(t)$, έχουμε την προσέγγιση του $m_q(t)$. Η μεγάλη αξία αυτού του νέου σήματος είναι ότι είναι κατά ένα μεγάλο ποσοστό διαχωρίσιμο από τον προσθετικό θόρυβο.

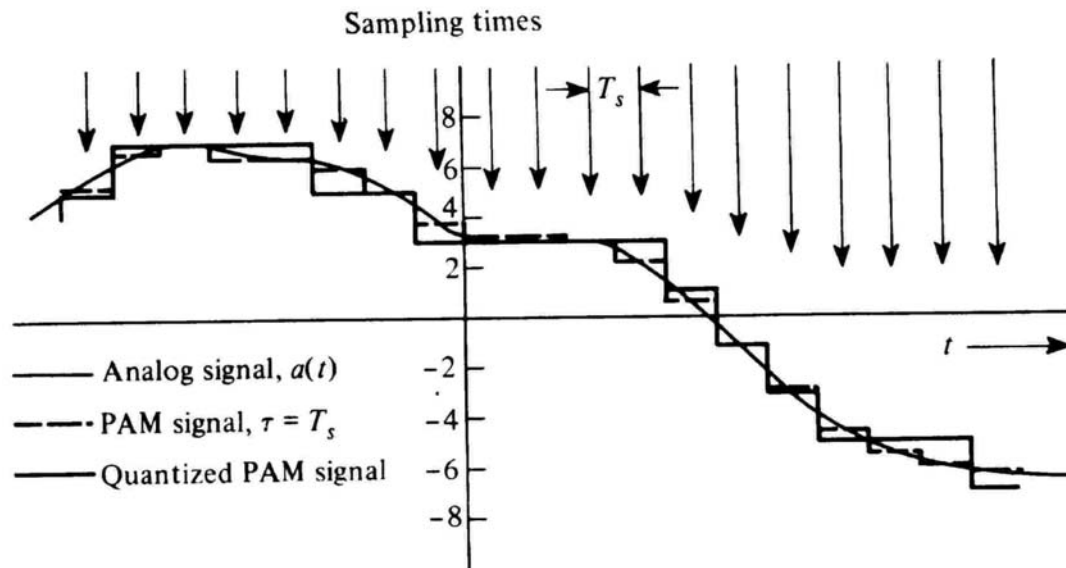
Πριν αναφερθούμε όμως στο κβαντισμό ενός σήματος θα πρέπει να μιλήσουμε για τη δειγματοληψία αυτού. Η δειγματοληψία ενός σήματος δεν είναι τίποτε άλλο παρά η λήψη με συγκεκριμένο τρόπο αντιγράφων του σήματος σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Σύμφωνα με το θεώρημα του Nyquist, [1-4], όταν σε σήμα $m(t)$ πάρουμε στιγμιαία δείγματα κατά κανονικά διαστήματα και σε ρυθμό μεγαλύτερο ή ίσο του διπλάσιου της υψηλότερης συχνότητας του, τότε τα δείγματα περιέχουν όλη την πληροφορία του $m(t)$. Υπάρχουν διάφορα είδη και τεχνικές

δειγματοληψίας, επίπεδη, φυσική, κ.α. Για περισσότερες πληροφορίες μπορεί κάποιος να ανατρέξει στη βιβλιογραφία, [1-4].

Κατά τη διαδικασία του κβαντισμού το σήμα δειγματοληπτείται με σταθερό ρυθμό. Στο Σχ. 11 βλέπουμε τη χαρακτηριστική καμπύλη ενός τυπικού κβαντιστή. Παρατηρούμε ότι η έξοδος του λαμβάνει διακεκριμένες τιμές που η κάθε μία αντιστοιχεί σε μία περιοχή τιμών του σήματος εισόδου. Στο Σχ. 12 απεικονίζεται το αρχικό σήμα και το προσεγγιστικό κβαντισμένο. Η ποιότητα της προσέγγισης μπορεί να βελτιωθεί μειώνοντας το μέγεθος των βημάτων, αυξάνοντας δηλαδή τον αριθμό των επιτρεπτών σταθμών ή εφαρμόζοντας υπό ειδικές συνθήκες τεχνικές ανομοιόμορφου κβαντισμού, [1-5]. Το σφάλμα που εισάγεται κατά τη διαδικασία του κβαντισμού είναι γνωστό ως θόρυβος κβαντισμού.



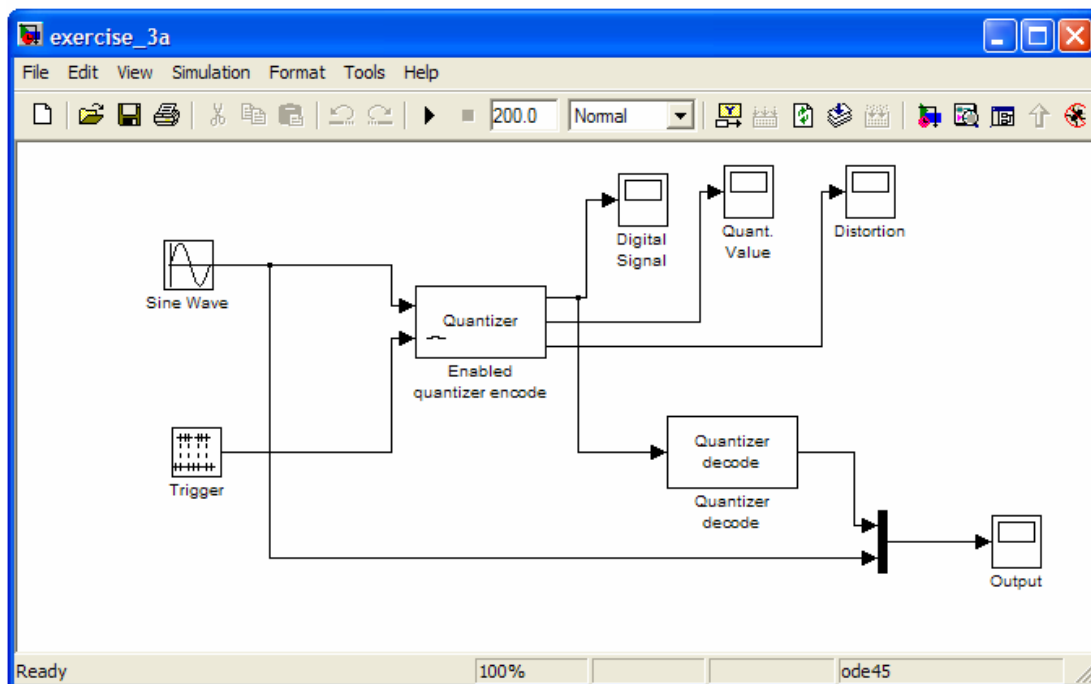
Σχ. 12: Χαρακτηριστική καμπύλη κβαντιστή.



Σχ. 13: Εφαρμογή της διαδικασίας του κβαντισμού σε αναλογικό σήμα.

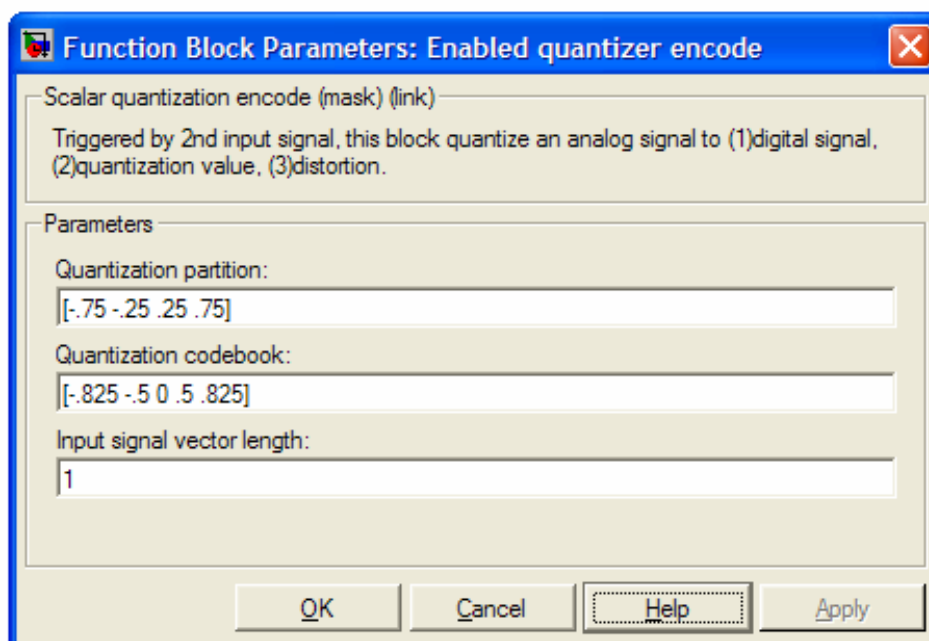
ΜΟΝΤΕΛΟ 1:

Στο Σχ. 14 βλέπουμε ένα προτεινόμενο μοντέλο μελέτης της διαδικασίας του κβαντισμού αναλογικού σήματος. Στο συγκεκριμένο μοντέλο μελετάται η διαδικασία κβαντισμού ημιτονικού σήματος πλάτους $A = 1V$ και συχνότητας $f = 100Hz$.



Σχ. 14: Μοντέλο 1 μελέτης διαδικασίας κβαντισμού.

Η λειτουργία του μπλοκ του κβαντιστή έχει ως εξής: Στην είσοδο 1 εισάγεται το αναλογικό σήμα που επιθυμούμε να κβαντιστεί. Ο κβαντισμός γίνεται τις χρονικές στιγμές που καθορίζεται από την εξωτερική διέγερση στην είσοδο 2. Από το μενού του μπλοκ, βλ. Σχ. 15, στην επιλογή Quantization partition ορίζονται πέντε περιοχές, (στην συγκεκριμένη περίπτωση οι περιοχές είναι τα διαστήματα: $(-\infty, -0.75V)$, $(-0.75V, -0.25V)$, $(-0.25V, 0.25V)$, $(0.25V, 0.75V)$ και $(0.75V, \infty)$, (προφανώς τα όρια $\pm\infty$ δεν έχουν πρακτική σημασία στη συγκεκριμένη περίπτωση αφού το σήμα εισόδου λαμβάνει τιμές στην περιοχή από -1 ως 1). Από την επιλογή Quantization codebook ορίζουμε την τιμή εκείνη που λαμβάνει το κβαντισμένο σήμα ανάλογα με την τιμή της εισόδου του, την περιοχή τιμών ουσιαστικά που βρίσκεται, κατά τη στιγμή της διέγερσης της εισόδου 2. Η αντιστοιχία περιοχών τιμών εισόδου – τιμών κβαντισμένου σήματος δίνεται στον πίνακα II. Την τιμή που λαμβάνει την κρατά το κβαντισμένο σήμα μέχρι την επόμενη διέγερση της εισόδου 2 του κβαντιστή. Από αυτόν τον πίνακα καθίσταται προφανές ότι μιλάμε για περίπτωση ανομοιόμορφου κβαντισμού.

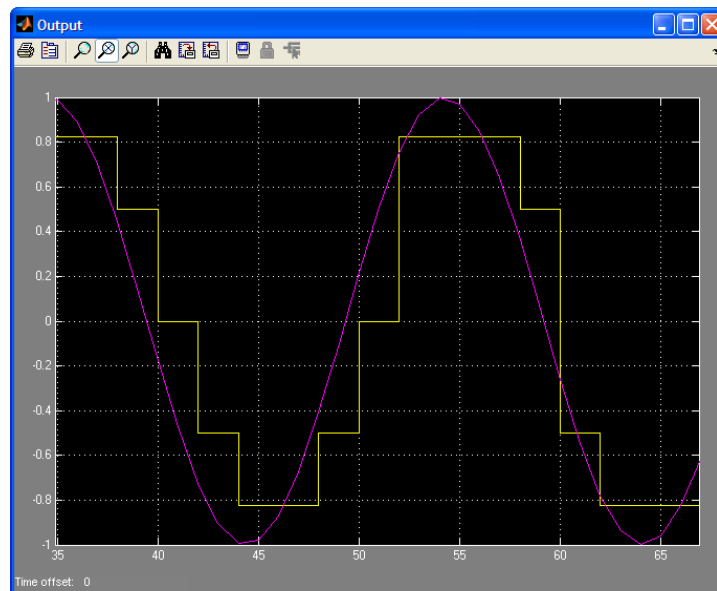


Σχ. 15: Μενού καθορισμού παραμέτρων μπλοκ κβαντιστή.

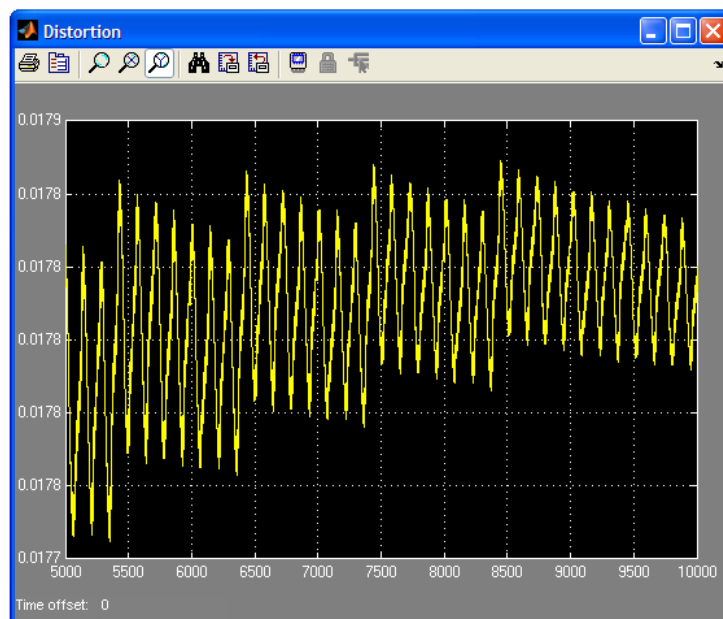
ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ. ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ ΤΙΜΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ – ΕΞΟΔΟΥ ΜΠΛΟΚ ΚΒΑΝΤΙΣΤΗ

ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ (V)	ΤΙΜΕΣ ΕΞΟΔΟΥ (V)
$(-\infty, -0.75V)$	-0.825
$(-0.75V, -0.25V)$	-0.5
$(-0.25V, 0.25V)$	0
$(0.25V, 0.75V)$	0.5
$(0.75V, \infty)$	0.825

Μία σειρά διαγραμμάτων μπορούν να ληφθούν. Ως σημαντικότερα κρίνονται αυτά που παρουσιάζονται στα Σχ. 16 και 17. Στο Σχ. 16 βλέπουμε το αρχικό αναλογικό και το κβαντισμένο σήμα ενώ στο Σχ. 17 την παραμόρφωση που ο κβαντισμός εισάγει, το θόρυβο δηλαδή κβαντισμού.



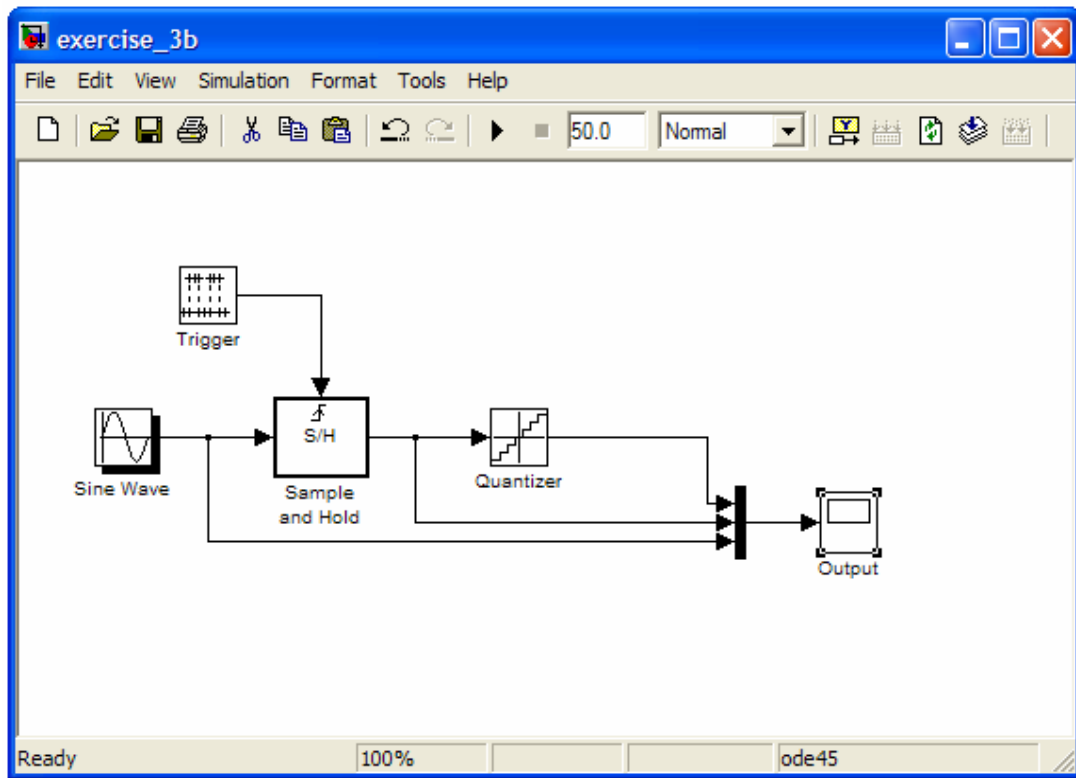
Σχ. 16: Είσοδος – έξοδος κβαντιστή.



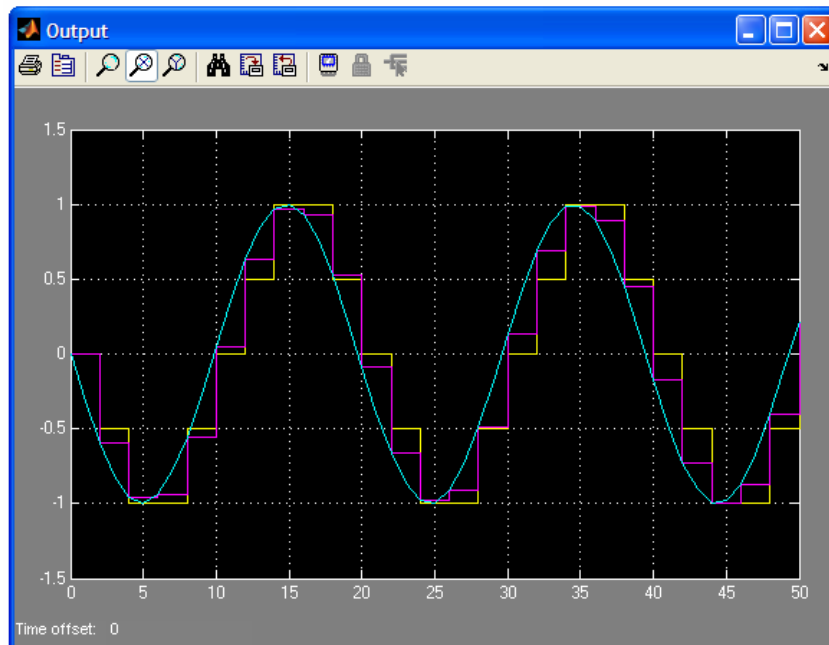
Σχ. 17: Θόρυβος κβαντισμού, (500 περίοδοι αναλογικού σήματος).

ΜΟΝΤΕΛΟ 2:

Στο δεύτερο προτεινόμενο μοντέλο, βλ. Σχ. 18, η διαδικασία του κβαντισμού σήματος γίνεται με διαφορετικό τρόπο. Αρχικά με τη βοήθεια του μπλοκ Sample and Hold γίνεται δειγματοληψία με συγκράτηση και κατόπιν με τη βοήθεια του μπλοκ Quantizer εξομαλύνεται το λαμβανόμενο σήμα. Πρακτικά στην είσοδο του το σήμα έχει αρκετά διαφορετικά πλάτη πολλά οποία είναι κοντά το ένα στο άλλο. Στην έξοδο του το σήμα λαμβάνει συγκεκριμένες στάθμες, βλ. Σχ. 19.



Σχ. 18: Μοντέλο 2 μελέτης διαδικασίας κβαντισμού.



Σχ. 19: Αρχικό σήμα, (μπλε γραμμή), έξοδος συγκρατητή, (μωβ γραμμή), κβαντιστή, (κίτρινη γραμμή).

έξοδος

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ:

ΜΟΝΤΕΛΟ 1:

1. Να μελετηθεί η διαδικασία και το αποτέλεσμα του κβαντισμού λαμβάνοντας σειρά διαγραμμάτων για διαφορές επιλογές περιοχών Quantization partition και ορισμούς σημείων Quantization codebook στο μπλοκ του κβαντιστή. Οι υπόλοιπες παράμετροι μένουν ως έχουν.
2. Να μελετηθεί με λήψη των κατάλληλων διαγραμμάτων η επίδραση του ρυθμού δειγματοληψίας στο σφάλμα κβαντισμού.
3. Να μελετηθεί με λήψη των κατάλληλων διαγραμμάτων η επίδραση των επιπέδων κβαντισμού στο σφάλμα κβαντισμού.

ΜΟΝΤΕΛΟ 2:

1. Να ληφθεί σειρά διαγραμμάτων για διαφορετικούς ρυθμούς δειγματοληψίας. Τι συμπεράσματα εξάγεται;
2. Να μελετηθεί με λήψη των κατάλληλων διαγραμμάτων η επίδραση του διαστήματος κβαντισμού, Quantization interval, του μπλοκ του κβαντιστή στο τελικά λαμβανόμενο σήμα.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ:

1. Ποια τα πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα της αύξησης του ρυθμού δειγματοληψίας στο τελικά λαμβανόμενο σήμα;
2. Ποια τα πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα της αύξησης των επιπέδων κβαντισμού στο τελικά λαμβανόμενο σήμα;
3. Η πιο απλή μορφή κβαντισμού είναι ο ομοιόμορφος, (ίση απόσταση όλων των επιπέδων κβαντισμού μεταξύ τους). Μπορείτε να σκεφτείτε περιπτώσεις στις οποίες μία τέτοια μορφή κβαντισμού είναι επαρκής και περιπτώσεις στις οποίες ο ανομοιόμορφος κβαντισμός θα έδινε αισθητά καλύτερα αποτελέσματα; Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.
4. Ένα ζωνοπερατό σήμα έχει φασματικό διάστημα που εκτείνεται από τα 20 έως τα 82kHz. Ποιο το αποδεκτό διάστημα για τη συχνότητα δειγματοληψίας;
5. Θεωρείστε ότι το σήμα $x(t) = \cos(2\pi t)$ κβαντίζεται σε 16 στάθμες. Ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι 4Hz. Υποθέστε ότι το σήμα που κάνει δειγματοληψία αποτελείται από παλμούς μοναδιαίου πλάτους και διάρκειας $\Delta t \cong 0$. Οι παλμοί συμβαίνουν κάθε $t = \frac{k}{4}$ sec όπου $k = -\infty, \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots, \infty$. Σχεδιάσετε πρόχειρα το δυαδικό σήμα που παριστάνει κάθε δείγμα τάσης. Πόσα bit απαιτούνται ανά δείγμα;

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 4

ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΨΗΦΙΑΚΟ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΑ (ΔΕΛΤΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ - ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ)

Σκοπός της συγκεκριμένης άσκησης είναι η γνωριμία με τη δέλτα διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση, τα χαρακτηριστικά της και την εφαρμογή της στην ψηφιοποίηση αναλογικού σήματος. Με την ολοκλήρωση της άσκησης οι σπουδαστές θα έχουν ολοκληρωμένη γνώμη για αυτή την απλή τεχνική μετατροπής αναλογικού σε ψηφιακό σήμα.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ:

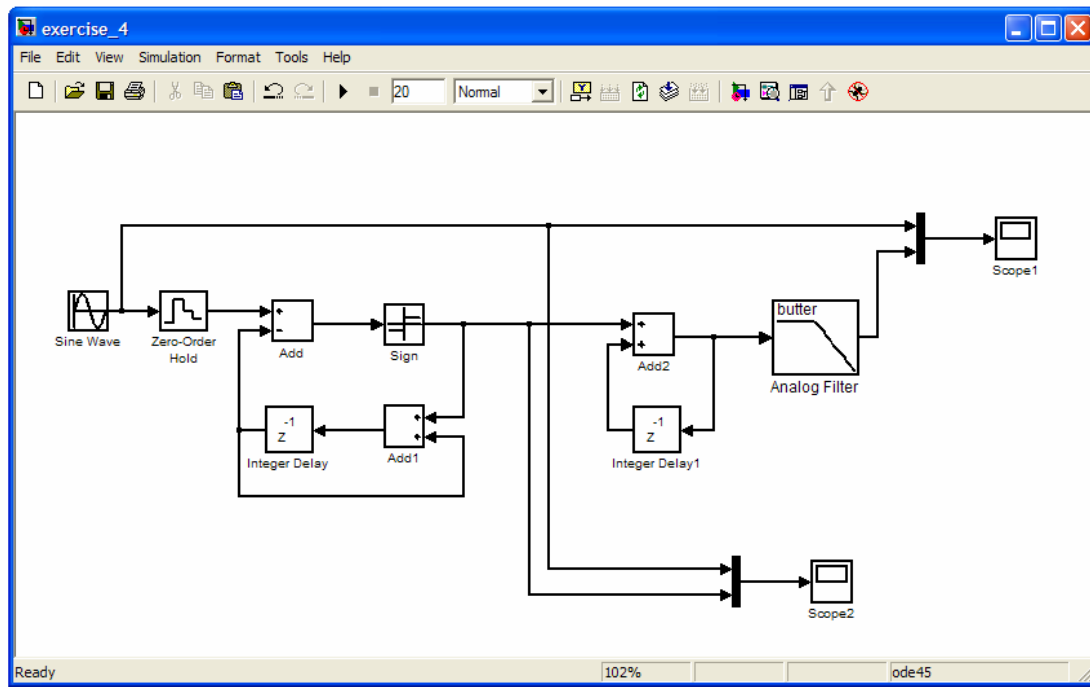
Η δέλτα διαμόρφωση, (DM), *delta modulation*, [1-5], [17], αποτελεί μία μορφή ψηφιοποίησης αναλογικού σήματος κατά την οποία κωδικοποιείται όχι αυτό καθ' αυτό το δειγματοληπτούμενο σήμα αλλά η διαφορά τάσης δύο διαδοχικών δειγμάτων. Η κωδικοποίηση γίνεται με χρήση ενός μόνο bit και εκφράζει την αύξηση ή ελάττωση της τάσης του δείγματος του σήματος σε σχέση με την τάση του προηγούμενου. Με αυτό τον τρόπο το αναλογικό σήμα προσεγγίζεται από μία κλιμακωτή συνάρτηση που κινείται προς τα πάνω ή προς τα κάτω με σταθερά βήματα, κάνοντας ένα βήμα για κάθε δείγμα. Το bit 1 ή 0 που εμφανίζεται στην έξοδο του διαμορφωτή με το ρυθμό δειγματοληψίας, οδηγεί την κλιμακωτή αυτή συνάρτηση προς τα πάνω ή προς τα κάτω ώστε να προσεγγίζει όσο το δυνατόν περισσότερο το αναλογικό σήμα εισόδου. Η αντίστροφη διαδικασία γίνεται στον αποδιαμορφωτή. Τελική βαθμίδα αυτού του συστήματος το αρχικό αναλογικό σήμα είναι ένα χαμηλοπερατό φίλτρο το οποίο κόβει τις ψηλές αρμονικές αποδίδοντας με καλύτερο τρόπο.

Η απλότητα της μεθόδου και το μικρό εύρος ζώνης που απαιτεί είναι δύο από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της. Ο βηματικός θόρυβος, αντίστοιχος του θορύβου κβαντισμού για τον οποίο έγινε λόγος στην προηγούμενη άσκηση καθώς και η υπερφόρτωση κλίσης, παραμόρφωση που συμβαίνει όταν το αναλογικό σήμα μεταβάλλεται με ρυθμό μεγαλύτερο από αυτόν που μπορεί να παρακολουθήσει ο διαμορφωτής δέλτα είναι δύο από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της, [1-5], [17].

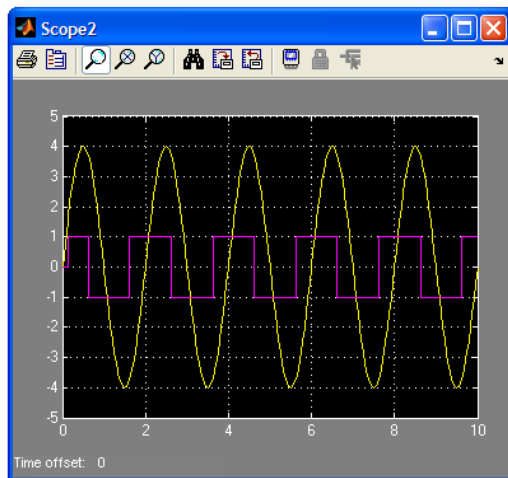
Βελτίωση της δέλτα διαμόρφωσης αποτελεί, [2-5], [17], η προσαρμοζόμενη, *adaptive*, δέλτα διαμόρφωση στην οποία το μέγεθος του βήματος δεν είναι σταθερό αλλά αυξάνεται στα σημεία που το αναλογικό σήμα εμφανίζει μεγάλη κλίση. Με αυτό τον τρόπο αντιμετωπίζεται η υπερφόρτωση κλίσης, ένα από τα δύο σημαντικότερα μειονεκτήματα της δέλτα διαμόρφωσης όπως ήδη αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

ΜΟΝΤΕΛΟ:

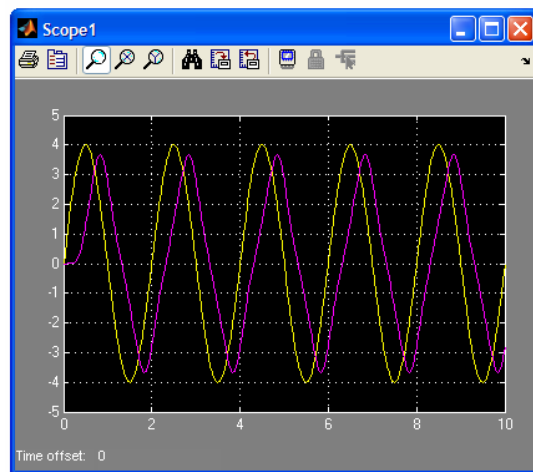
Το μοντέλο της δέλτα διαμόρφωσης – αποδιαμόρφωσης παρουσιάζεται στο Σχ. 20. Στην παρούσα υλοποίηση η συχνότητα δειγματοληψίας λαμβάνεται τετραπλάσια της συχνότητας του ημιτονικού σήματος. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να λαμβάνεται προσοχή η συχνότητα αποκοπής του χαμηλοπερατού φίλτρου στον αποκωδικοποιητή να είναι επαρκώς μεγάλη ώστε να μπορέσει το αρχικό σήμα να αναπαραχθεί και τόσο μικρή ώστε να απορρίπτονται οι ανεπιθύμητες συνιστώσες. Συχνότητα αποκοπής διπλάσια του αρχικού σήματος θεωρείται σε γενικές γραμμές ικανοποιητική. Στο Σχ. 21 βλέπουμε το σήμα που παράγεται από το δέλτα διαμορφωτή και στο Σχ. 22 την τελική ανακτώμενη κυματομορφή. Και στις δύο περιπτώσεις τα σήματα δίνονται σε σύγκριση με την αρχική είσοδο.



Σχ. 20: Μοντέλο μελέτης δέλτα διαμόρφωσης – αποδιαμόρφωσης.



Σχ. 21: Αρχική είσοδος – έξοδος δέλτα διαμορφωτή.



Σχ. 22: Αρχική είσοδος – έξοδος αποδιαμορφωτή.

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ:

1. Να εξηγηθεί αναλυτικά, να ληφθούν τα απαραίτητα διαγράμματα αν υπάρχει ανάγκη, η λειτουργία κάθε ενός εκ των επιμέρους μπλοκ του διαμορφωτή και του αποδιαμορφωτή.
2. Να εξεταστεί η επίδραση της συχνότητας δειγματοληψίας στο τελικά λαμβανόμενο σήμα.
3. Να εξεταστεί η επίδραση της συχνότητας αποκοπής του χαμηλοπερατού φίλτρου του αποδιαμορφωτή στο τελικά λαμβανόμενο σήμα.
4. Να υλοποιηθεί κύκλωμα το οποίο να εμφανίζει συγκρίνοντας είσοδο διαμορφωτή – έξοδο αποδιαμορφωτή το βηματικό θόρυβο.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ:

1. Έστω σήμα φωνής θέλουμε να μεταδώσουμε ψηφιακά. Η μετατροπή του αναλογικού σε ψηφιακό και αντίστροφα σήματος γίνεται με τη βοήθεια δέλτα διαμορφωτή και αποδιαμορφωτή. Ποια είναι τα κριτήρια που θα καθορίσουν τα χαρακτηριστικά των επιμέρους βαθμίδων του συστήματος. Τι τιμές λαμβάνουν;
2. Έστω η περίπτωση ημιτονικού σήματος συγκεκριμένης συχνότητας. Τι τιμές θα δίνετε στις επιμέρους βαθμίδες του συστήματος για να δείξετε σε κάποιον την έννοια του βηματικό θόρυβο; Τι τιμές για την περίπτωση της υπερφόρτωσης κλίσης;
3. Επαναλάβετε το ερώτημα 2 για την περίπτωση του σήματος της ερώτησης 1.
4. Η είσοδος σε ένα δέλτα διαμορφωτή είναι $m(t) = 0.01t$. Ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι 20Hz και το μέγεθος βήματος 2mV. Σχεδιάστε πρόχειρα το σήμα εισόδου, την έξοδο του διαμορφωτή και το βηματικό θόρυβο.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 5

ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΨΗΦΙΑΚΟ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΑ (ΔΙΑΦΟΡΙΚΟ PCM)

Σκοπός της συγκεκριμένης άσκησης είναι η γνωριμία με ένα δεύτερο είδος μετατροπής αναλογικού σε ψηφιακό σήμα το οποίο είναι και ευρύτερα διαδεδομένο, την παλμοκωδική διαμόρφωση, PCM, (*Pulse Coded Modulation*). Μάλιστα θα ασχοληθούμε με την βελτιωμένη έκδοση της παλμοκωδικής διαμόρφωσης, τη διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση, DPCM, η οποία δίνει σαφώς καλύτερα αποτελέσματα. Δε θα μπούμε στις λεπτομέρειες υλοποίησης της διαμόρφωσης, εμφανίζει σχετική πολυπλοκότητα. Με την ολοκλήρωση της άσκησης οι σπουδαστές θα έχουν κατανοήσει τον τρόπο λειτουργίας της διαφορικής PCM, τον τρόπο εφαρμογής της στη μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και την επανάκτηση του αρχικού σήματος.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ:

Στην παλμοκωδική διαμόρφωση, [2-5], κάθε δείγμα του δειγματοληπτούμενου αναλογικού σήματος κωδικοποιείται ανάλογα με την περιοχή που βρίσκεται η στάθμη της τάσης του σε μία σειρά από bit. Το δυαδικό αυτό σήμα μεταδίδεται στη συνέχεια στο επικοινωνιακό κανάλι σαν σειριακή ακολουθία από bit. Στον αποδιαμορφωτή τα bit αρχικά μετατρέπονται σε αναλογικό σήμα αποτελούμενο από διακριτές στάθμες και διερχόμενα από ένα χαμηλοπερατό φίλτρο δίνουν το αρχικό σήμα.

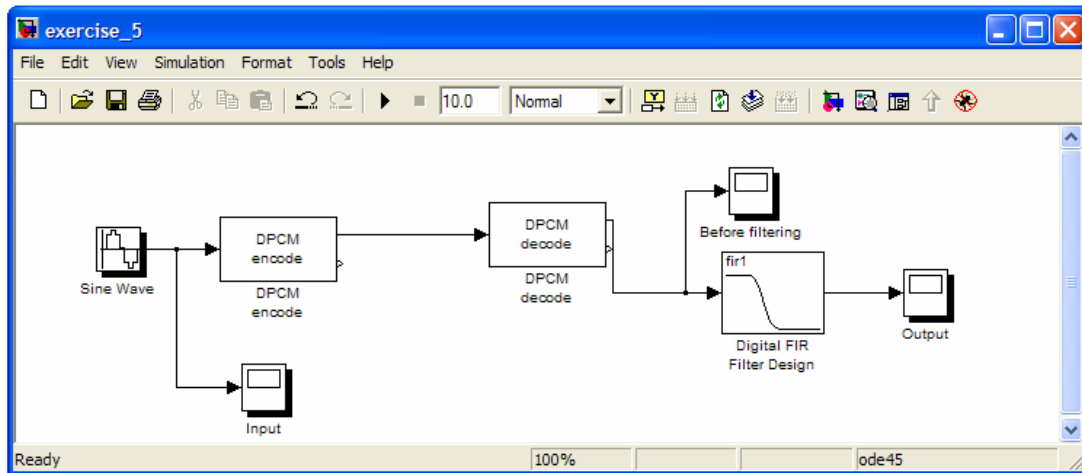
Ο θόρυβος κβαντισμού αποτελεί και σε αυτή την περίπτωση ένα σημαντικό μειονέκτημα. Σημαντικό όμως μειονέκτημα αποτελεί και το αυξημένο εύρος ζώνης που απαιτείται για τη μετάδοση των bit. Έτσι μια βελτίωση του PCM αποτελεί το

διαφορικό PCM στο οποίο τα εκπεμπόμενα bit δεν αντιστοιχούν στις τιμές των πλατών των δειγμάτων αλλά στη διαφορά πλάτους μεταξύ δύο διαδοχικών σημάτων, [2], [5], [17]. Με αυτό τον τρόπο οι απαιτήσεις για εύρος ζώνης μειώνονται στο μισό ενώ η υποβάθμιση της ποιότητας του σήματος στην περίπτωση τουλάχιστον μετάδοσης κοινών σημάτων φωνής είναι πολύ μικρή μια και οι διαφορές μεταξύ διαδοχικών δειγμάτων σε αυτή την περίπτωση δεν είναι μεγάλες, [5].

Πειραματικά έχει βρεθεί ότι για μεταφορά ομιλίας χρειάζονται τουλάχιστον 32 επίπεδα. Στην πράξη χρησιμοποιούνται 128 που σημαίνει 7 παλμούς ($2^7=128$) και φυσικά 7-πλάσιο εύρος. Η χρησιμοποίηση του διαφορικού PCM όπως ήδη αναφέρθηκε απαιτεί το μισό εύρος.

ΜΟΝΤΕΛΟ:

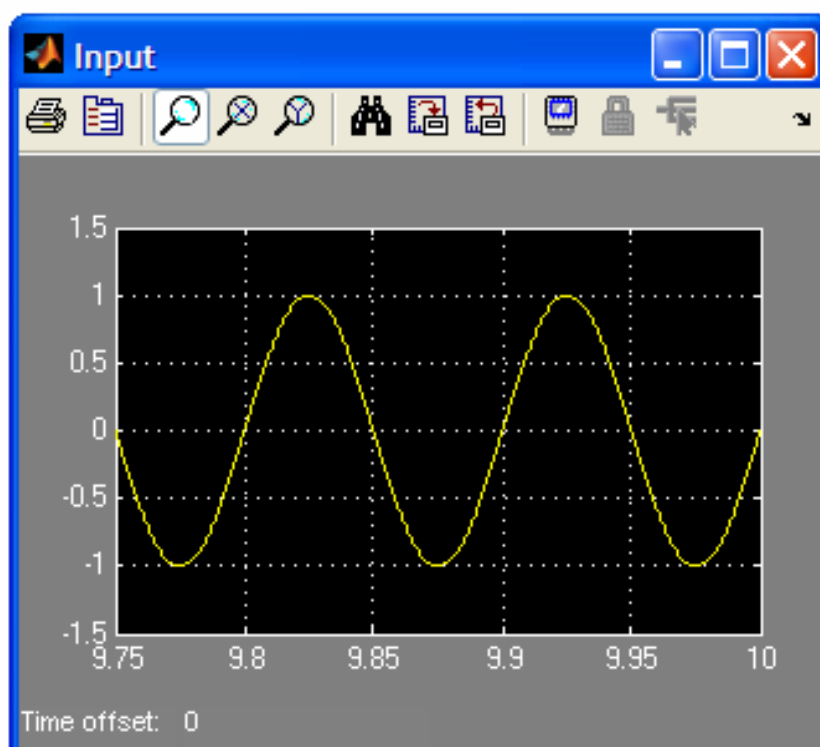
Στη συγκεκριμένη άσκηση θα ασχοληθούμε με τη βελτιωμένη έκδοση της παλμοκωδικής διαμόρφωσης, τη διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση. Στο Σχ. 23 παρουσιάζεται το μοντέλο της προσομοίωσης.



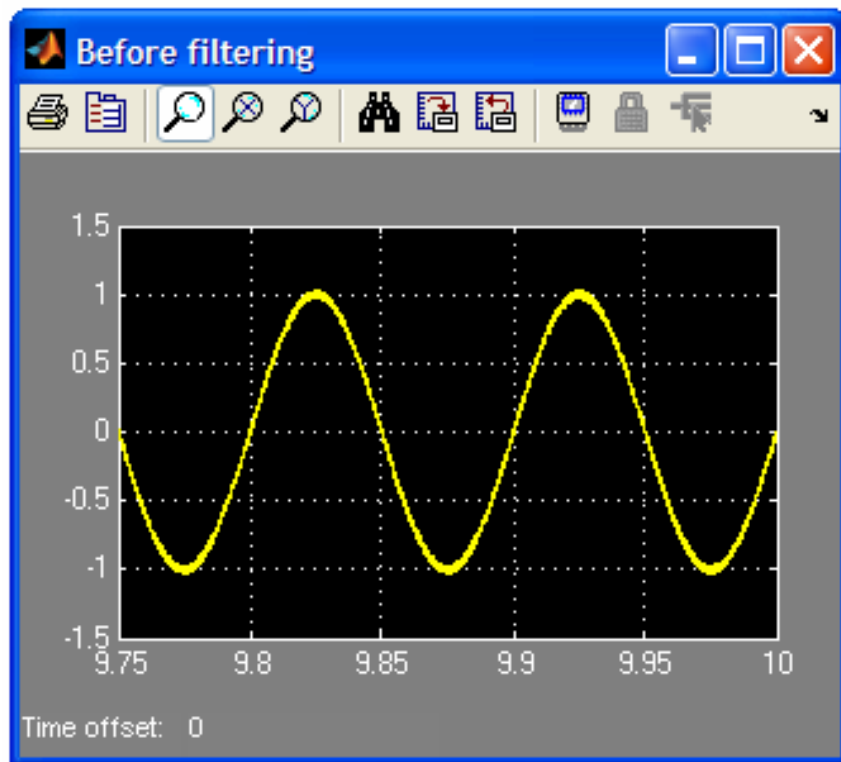
Σχ. 23: Μοντέλο μελέτης δέλτα διαφορικής παλμοκωδικής διαμόρφωσης.

Στα σχήματα που ακολουθούν παρατίθεται ενδεικτική σειρά διαγραμμάτων με τη βοήθεια των οποίων μπορεί να γίνει ευκολότερα κατανοητή η λειτουργία της διαφορικής παλμοκωδικής διαμόρφωσης. Ειδικότερα στο Σχ. 24 παρουσιάζεται το αρχικό αναλογικό σήμα ενώ στα Σχ. 25 και 26 παρουσιάζεται η έξοδος του

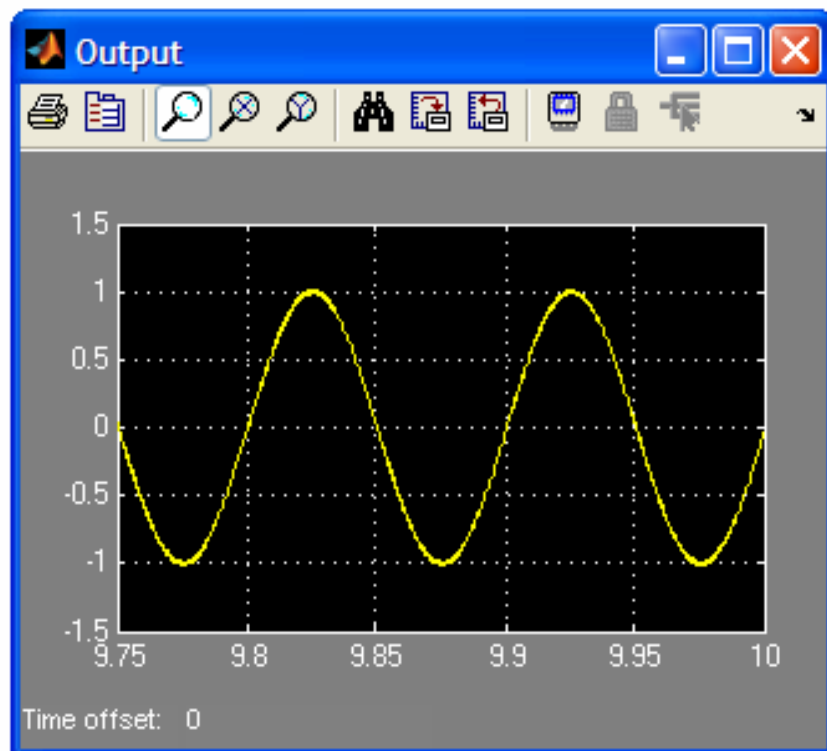
αποκωδικοποιητή πριν και μετά το φιλτράρισμα. Είναι προφανές ότι ο θόρυβος που η διαδικασία της κωδικοποίησης – αποκωδικοποίησης εισάγει, πρακτικά αναιρείται μετά το φιλτράρισμα. Είναι προφανές ότι μπορούμε να πάρουμε σειρά άλλων διαγραμμάτων που να μας δίνουν τις κυματομορφές του σε διάφορα σημεία του συστήματος, τα οποία όμως σε φυσιολογική λειτουργία του συστήματος και με φυσιολογικές τιμές παραμέτρων δε μπορούν να μας βοηθήσουν στο να βγάλουμε κάποιο συμπέρασμα. Ενδεικτικά παραθέτουμε στο Σχ. 27 την έξοδο του κωδικοποιητή, (λεπτομέρεια).



Σχ. 24: Αρχική είσοδος αναλογικού σήματος.



Σχ. 25: Έξοδος αποκωδικοποιητή πριν το φιλτράρισμα.



Σχ. 26: Έξοδος αποκωδικοποιητή μετά το φιλτράρισμα.

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ:

1. Να μελετήσετε την επίδραση των παραμέτρων Quantization partition και Quantization codebook στην απόδοση του συστήματος. Να δοθούν τα κατάλληλα διαγράμματα. Ποια η φυσική σημασία αυτών των δύο παραμέτρων;
2. Να μελετηθεί η συμπεριφορά του συστήματος αυξανόμενης της συχνότητας του αναλογικού σήματος εισόδου. Τι συμπεράσματα μπορείτε να εξάγεται; Από ποια συχνότητα και πέρα πρέπει να επανεξεταστούν και τροποποιηθούν ορισμένες και ποιες παράμετροι του συστήματος;
3. Να μελετηθεί η επίδραση των χαρακτηριστικών του φίλτρου στην απόδοση του συστήματος.
4. Στο προτεινόμενο μοντέλο για την υλοποίηση του χαμηλοπερατού φίλτρου χρησιμοποιείται το μπλοκ Digital Filter Fir Design. Προτείνετε διαφορετικό μπλοκ για τη συγκεκριμένη υλοποίηση και καθορίστε τις παραμέτρους για τη σωστή λειτουργία του.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ:

1. Να δώσετε αναλυτικό παράδειγμα από το οποίο να γίνετε κατανοητός ο τρόπος εφαρμογής της διαφορικής παλμοκωδικής κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης. Να θεωρήσετε ημιτονικό σήμα εισόδου.
2. Σύγκριση DPCM – Δέλτα διαμόρφωσης. Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα.
3. Αναφέρεται εφαρμογές στις οποίες θα προτείνατε ένα σχήμα παλμοκωδικής και ένα διαφορικής παλμοκωδικής κωδικοποίησης. Εξηγήστε αναλυτικά τους λόγους για τους οποίους καταφεύγετε στις συγκεκριμένες προτάσεις.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 6

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ Μ - ΦΑΣΗΣ, MPSK)

Αντικείμενο αυτής και των επομένων τεσσάρων ασκήσεων είναι οι διάφορες τεχνικές ψηφιακής διαμόρφωσης που βρίσκουν εφαρμογή στις επικοινωνίες. Ειδικότερα στην παρούσα άσκηση θα ασχοληθούμε με τις διαμορφώσεις γραμμικής μετατόπισης φάσης, PSK, (*Phase Shift Keying*). Σκοπός της συγκεκριμένης άσκησης είναι η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της συγκεκριμένης διαμόρφωσης καθώς και η μελέτη της απόδοσης της σε όρους πιθανότητας σφάλματος. Ειδικότερα θα ληφθεί σειρά διαγραμμάτων που θα αναδεικνύουν τον τρόπο λειτουργίας της διαμόρφωσης και θα εξεταστεί η επίδραση του πλήθους των φάσεων¹ στα χαρακτηριστικά της κυματομορφής. Μελετώντας την επίδραση του θερμικού θορύβου στην απόδοση της κυματομορφής θα εξαχθεί επιπλέον σειρά συμπερασμάτων. Με την ολοκλήρωση της άσκησης οι σπουδαστές θα γνωρίζουν τις βασικές αρχές της διαμόρφωσης PSK και θα είναι σε θέση να συγκρίνουν σε όρους απαιτούμενου φάσματος, απαιτούμενης ισχύος και επιθυμητής τιμής πιθανότητας σφάλματος τις επιμέρους περιπτώσεις.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ:

Στην πιο απλή περίπτωση ψηφιακής διαμόρφωσης την BPSK, ($M = 2$), [1-5], [17], το σήμα που μεταδίδεται είναι ένα ημιτονοειδές συγκεκριμένου πλάτους. Όταν τα δεδομένα είναι σε μία στάθμη έχει μία συγκεκριμένη φάση και όταν τα δεδομένα είναι στην άλλη στάθμη η φάση είναι διαφορετική κατά 180° . Εάν το ημιτονοειδές

¹ Θα γίνει σχετική αναφορά στη συνέχεια.

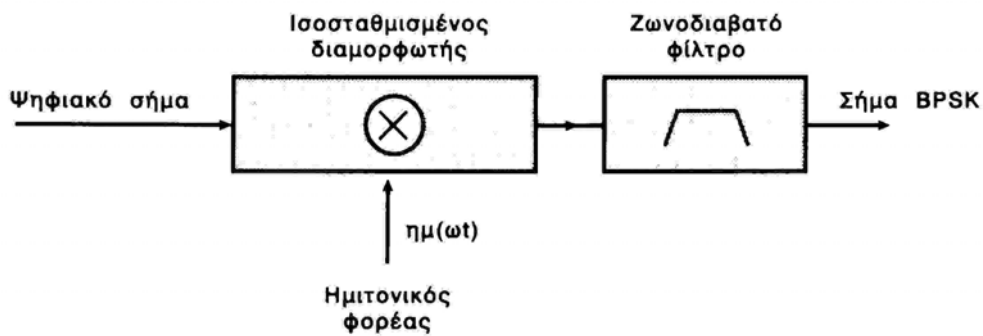
είναι συχνότητας f_0 , πλάτους A , και ισχύος P , προφανώς είναι $P = A^2/2$, τότε το διαμορφωμένο BPSK σήμα δίνεται από την

$$v_{BPSK}(t) = b(t)\sqrt{2P} \cos(2\pi f_0 t) \quad (1)$$

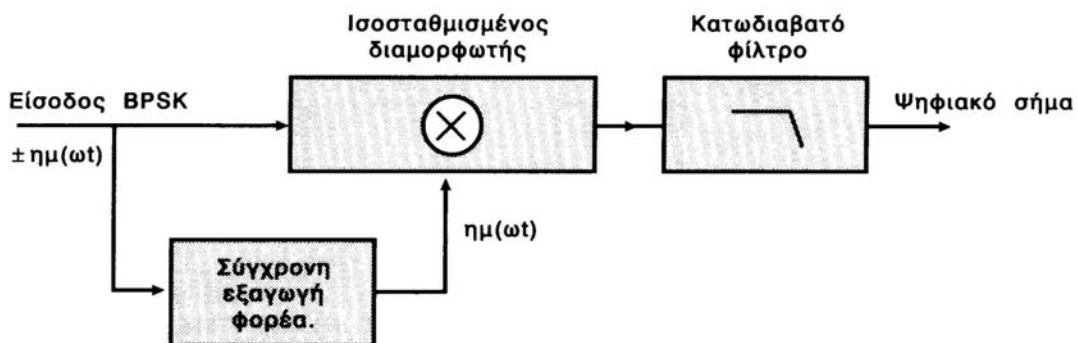
όπου $b(t) = \pm 1$ ανάλογα με τη στάθμη των δεδομένων. Η φασματική πυκνότητα ισχύος του σήματος δίνεται από την

$$G_{BPSK}(f) = \frac{PT_b}{2} [\text{sinc}^2(\pi(f - f_0)T_b) + \text{sinc}^2(\pi(f + f_0)T_b)] \quad (2)$$

όπου T_b η διάρκεια του bit και $\text{sinc}(x) = \frac{\sin x}{x}$. Τα διαγράμματα βαθμίδων πομπού και δέκτη της BPSK διαμόρφωσης δίνονται στα Σχ. 28 και 29.



Σχ. 28. Διάγραμμα βαθμίδων διαμορφωτή BPSK.



Σχ. 29. Διάγραμμα βαθμίδων αποδιαμορφωτή BPSK.

Στην BPSK μεταδίδουμε κάθε bit χωριστά. Αν θέσουμε όμως μαζί N bit έτσι ώστε σε αυτό το σύμβολο των N bit, που προφανώς έχει διάρκεια $T_s = NT_b$, θα

υπάρχουν $2^N = M$ δυνατά σύμβολα. Στην MPSK η γωνία φάσης κάθε συμβόλου δίνεται από την

$$\phi_m = \frac{2m+1}{M}\pi, \quad m = 0, 1, \dots, M-1 \quad (3)$$

και οι κυματομορφές που χρησιμοποιούνται για να καθοριστούν τα σύμβολα είναι οι

$$v_m(t) = \sqrt{2P} \cos(2\pi f_0 t + \phi_m), \quad m = 0, 1, \dots, M-1 \quad (4)$$

Η φασματική πυκνότητα ισχύος της MPSK δίνεται από μία έκφραση παρόμοια της (2) με τη διαφορά ότι αντί της διάρκειας του bit T_b έχουμε τη διάρκεια του συμβόλου T_s . Αυτό προφανώς σημαίνει ότι το εύρος του κυρίου λοβού υπολογίζεται από την έκφραση:

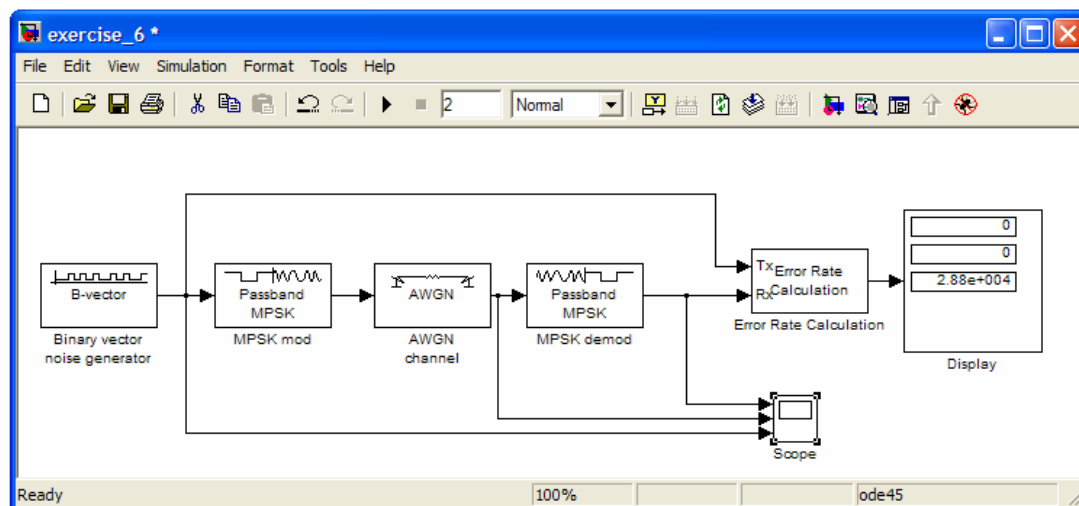
$$B = \frac{2R}{N} \quad (5)$$

όπου $R = 1/T_b$ ο ρυθμός των bit. Σχόλια για τις εκφράσεις της πιθανότητας σφάλματος θα γίνουν στην 10^η άσκηση. Στην παρούσα άσκηση όπως και στις επόμενες έως και την 9^η, η αναφορά και οι συγκρίσεις που σχετίζονται με την πιθανότητα σφάλματος θα έχουν καθαρά ποιοτικό χαρακτήρα.

ΜΟΝΤΕΛΟ:

Η αρχική προσομοίωση περιλάμβανε την περίπτωση BPSK πομποδέκτη, βλ. Σχ. 30. Ο ρυθμός των δεδομένων πληροφορίας είναι 14.4kbps ενώ η συχνότητα του φορέα είναι στα 10kHz. Ο ορισμός της συχνότητας φορέα είναι παράμετρος που θα πρέπει να λαμβάνεται με ιδιαίτερη προσοχή. Η συγκεκριμένη θα πρέπει να είναι τουλάχιστον μεγαλύτερη του μισού του εύρους του κυρίου λοβού, μεγαλύτερη του $R/\log_2 M$ δηλαδή, για την γενική περίπτωση της MPSK διαμόρφωσης και μεγαλύτερη των 14.4kHz στη συγκεκριμένη περίπτωση. Βέβαια στην περίπτωση που η προσομοίωση γίνεται στη βασική ζώνη, *base band*, το απαιτούμενο εύρος ζώνης πέφτει στο μισό. Αν δεν ακολουθηθούν οι παραπάνω κανόνες τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ενδέχεται να είναι λανθασμένα. Θεωρούμε τέλος την ύπαρξη

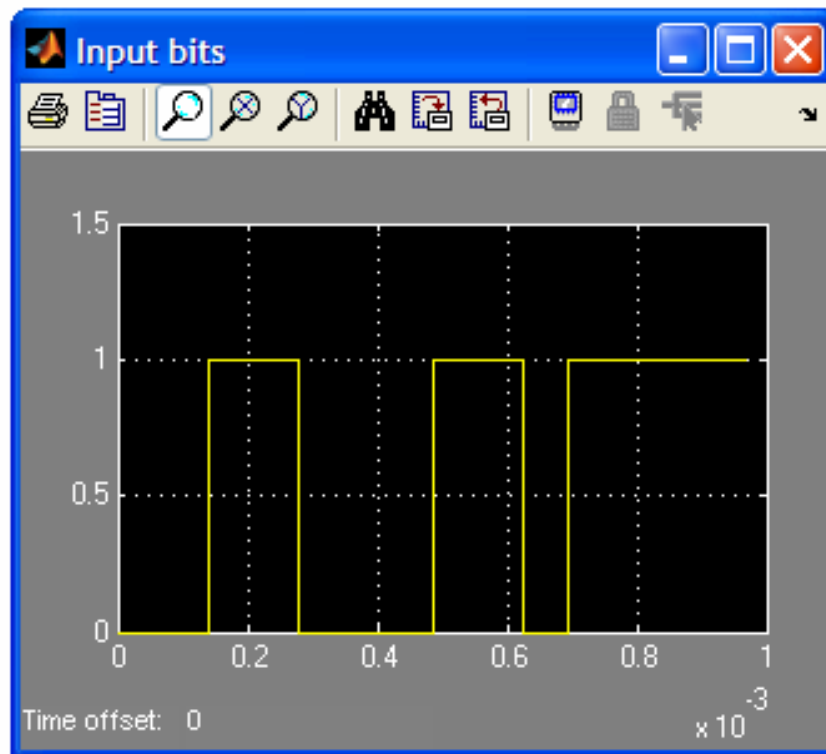
θερμικού θορύβου. Ο λόγος ενέργειας bit προς τη φασματική πυκνότητα ισχύος του θερμικού θορύβου ισούται με 5.7dB, (η variance του θερμικού θορύβου λαμβάνεται ίση με 0.5).



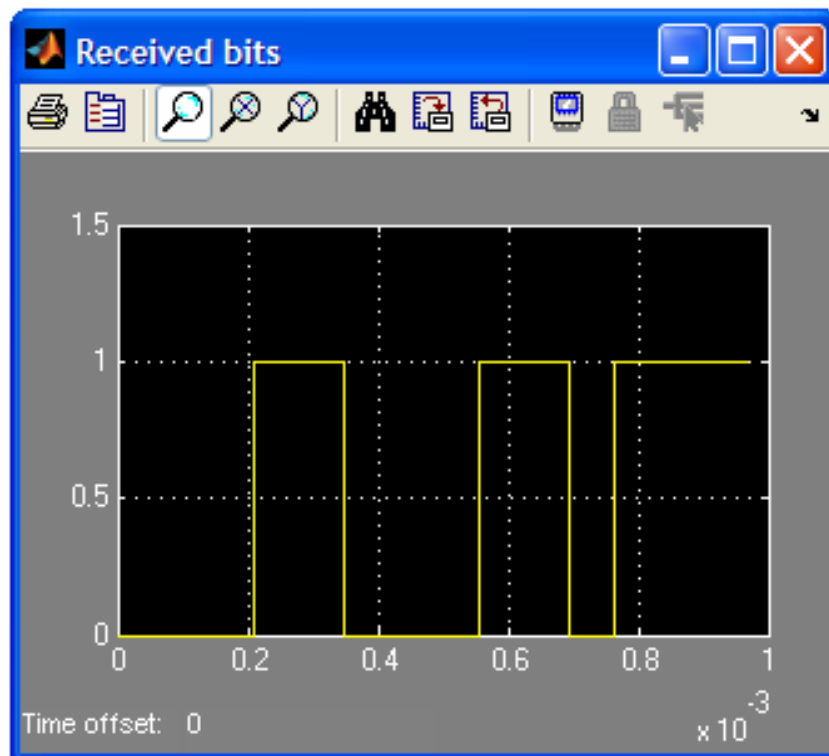
Σχ. 30: Μοντέλο μελέτης MPSK πομποδέκτη.

Στα Σχ. 31 και 32 βλέπουμε τα bit εισόδου και εξόδου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν έχουμε εμφάνιση σφάλματος. Στο Σχ. 33 βλέπουμε το διαμορφωμένο BPSK σήμα. Συγκρίνοντας το με το Σχ. 31 γίνεται προφανής η μετατόπιση φάσης κατά 180° όταν έχουμε εναλλαγή από '0' σε '1' και αντίστροφα. Τέλος στο Σχ. 34 βλέπουμε το σήμα εισόδου στον BPSK δέκτη όπου είναι προφανής η προσθετική δράση του θερμικού θορύβου.

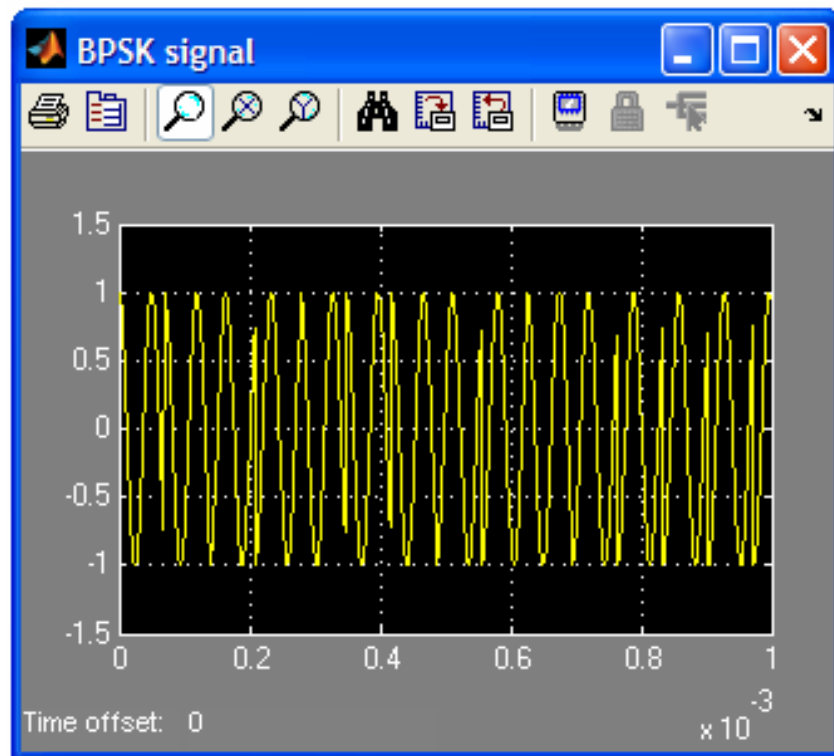
Αναφορικά με την επίδραση του θερμικού θορύβου η ενασχόληση μας στην παρούσα άσκηση είναι καθαρά ποιοτική. Αναλυτική επεξεργασία του συγκεκριμένου θέματος θα γίνει στη 10^η Άσκηση όπου αφενός μεν θα εξαχθούν ποσοτικά αποτελέσματα αφετέρου δε οι προσομοιώσεις θα γίνουν με τρόπο που να προσφέρει ακριβή αποτελέσματα.



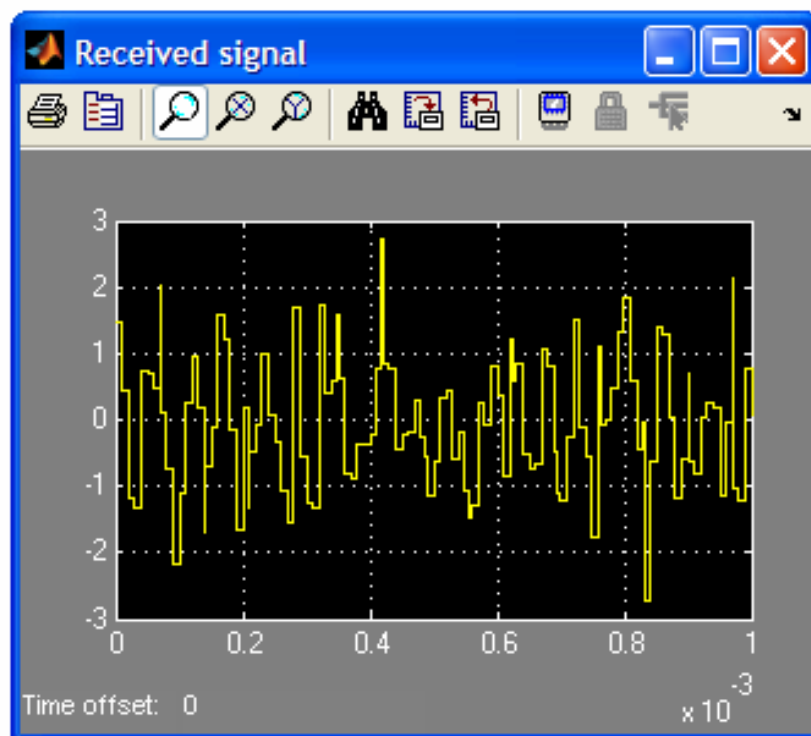
Σχ. 31: Bit εισόδου.



Σχ. 32: Bit εξόδου.



Σχ. 33: Διαμορφωμένο BPSK σήμα.



Σχ. 34: Διαμορφωμένο BPSK σήμα + AWGN θόρυβος.

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ:

1. Μεταβάλλοντας κατάλληλα τα χαρακτηριστικά του προτεινόμενου μοντέλου να μελετηθούν οι περιπτώσεις QPSK, 8PSK και 16PSK, Να συγκριθούν τα χρονικά διαγράμματα.
2. Αφήνοντας ανεπηρέαστο το μπλοκ του θερμικού θορύβου να υπολογίσετε το πιθανότητα σφάλματος για τις παραπάνω και τη BPSK διαμόρφωση. Ποια είναι καλύτερη;
3. Για τις περιπτώσεις των παραπάνω διαμορφώσεων να σχεδιαστούν διαγράμματα μεταβολής της variance του θερμικού θορύβου με την πιθανότητα σφάλματος. Τι γενικά συμπεράσματα απορρέουν;
4. Στηριζόμενοι στη μελέτη που έχει γίνει στην πρώτη και δεύτερη άσκηση να ληφθούν τα συχνοτικά διαγράμματα για τις τέσσερις περιπτώσεις των διαμορφώσεων. Τι συμπεράσματα εξάγονται;

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ:

1. Με βάση τη μελέτη που έχει γίνει και αφορά την πιθανότητα σφάλματος, το καταλαμβανόμενο εύρος και λαμβάνοντας υπόψη, διαβάζοντας και την αντίστοιχη θεωρία, την πολυπλοκότητα των πομποδεκτών, ποια διαμόρφωση θεωρείται καλύτερη; Η απάντηση να τεκμηριωθεί πλήρως.
2. Έστω η παλμοσειρά δεδομένων 100110110100111111000001. Υποθέστε ότι ο ρυθμός δεδομένων ισούται με τη συχνότητα του φορέα. Να σχεδιάσετε πρόχειρα τις $v_{BPSK}(t)$, $v_{QPSK}(t)$ και $v_{8PSK}(t)$.
3. Να επαναληφθεί το ερώτημα 2 για συχνότητα φορέα τριπλάσια του ρυθμού δεδομένων.
4. Αν θεωρηθεί ρυθμός δεδομένων $R = 100\text{kbps}$ να σχεδιαστούν προσεγγιστικά οι φασματικές πυκνότητες ισχύος για το σύνολο των περιπτώσεων των ερωτημάτων 2 και 3.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 7

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΜΕ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΠΛΑΤΟΥΣ, QASK)

Σκοπός της συγκεκριμένης άσκησης είναι η γνωριμία με την ψηφιακή ορθογωνικής εναλλαγής με μετατόπιση πλάτους διαμόρφωση, QASK, (*Quadrature Amplitude Shift Keying*). Θα μελετηθούν τα βασικά χαρακτηριστικά της ενώ θα γίνει και ποιοτική μελέτη της συμπεριφοράς της σε περιβάλλον με θερμικό θόρυβο. Με την ολοκλήρωση της άσκησης οι σπουδαστές θα έχουν κατανοήσει σε σημαντικό βαθμό τις γενικές αρχές της συγκεκριμένης διαμόρφωσης.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ:

Στην QASK διαμόρφωση, [1-2], [17], η εναλλαγή μεταξύ δύο συμβόλων δε γίνεται μόνο με μετατόπιση φάσης όπως στις MPSK διαμορφώσεις αλλά επιπλέον και με μετατόπιση πλάτους. Έστω το απλό παράδειγμα που θέλουμε να μεταδίδουμε ένα σύμβολο κάθε 4 bit. Τότε υπάρχουν $2^4=16$ διαφορετικά δυνατά σύμβολα και θα πρέπει να είμαστε ικανοί να παράγουμε 16 διακρινόμενα σήματα.

Η έκφραση που δίνει την χρονική εξέλιξη ενός QASK σήματος αποδεικνύεται, [2], [17], ότι δίνεται από την

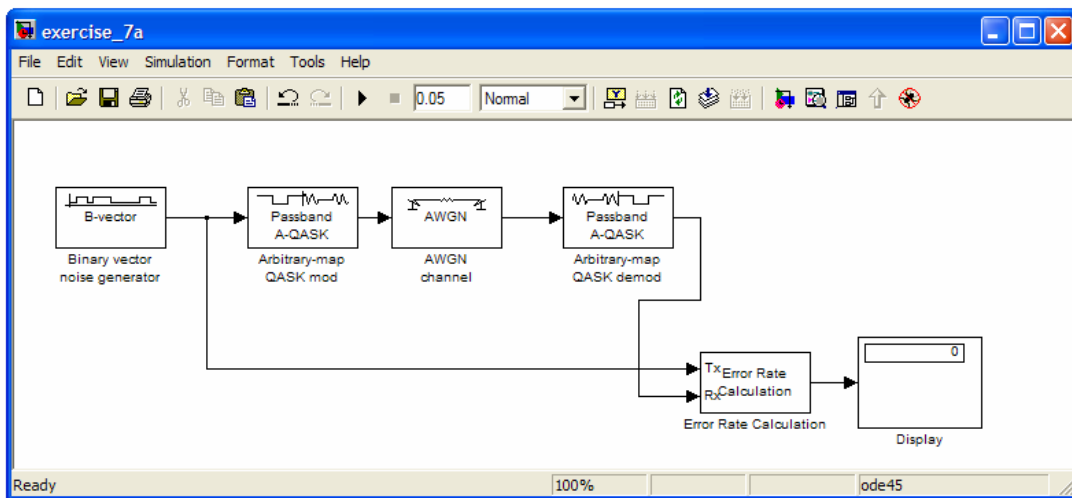
$$v_{QASK}(t) = k_1 \sqrt{0.2P} \cos(2\pi f_0 t) + k_2 \sqrt{0.2P} \sin(2\pi f_0 t) \quad (6)$$

όπου τα k_1, k_2 λαμβάνουν οποιαδήποτε από τις τιμές 1 και 3. Η έκφραση που δίνει την φασματική πυκνότητα ισχύος είναι ίδια με αυτή που ισχύει για την περίπτωση της MPSK διαμόρφωσης. Κατά συνέπεια και το εύρος ζώνης, (εύρος κυρίου λοβού), ενός QASK σήματος ισούται με

$$B = 2 \frac{R}{N} \quad (7)$$

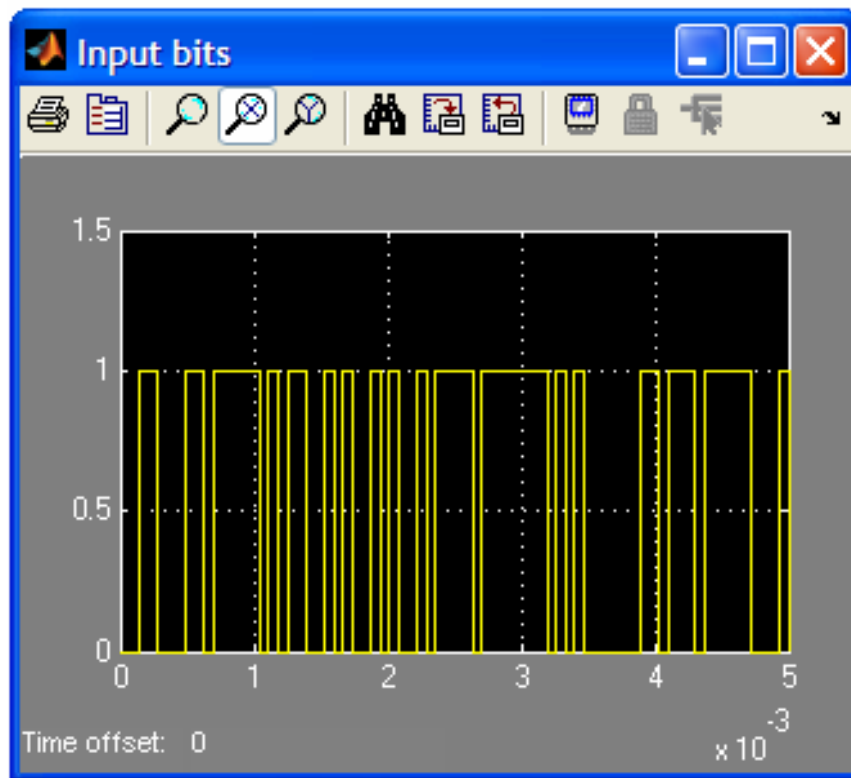
ΜΟΝΤΕΛΟ 1:

Αρχικά μελετάται η συμπεριφορά QASK διαμορφωτή – αποδιαμορφωτή, βλ. Σχ. 35, με το διάγραμμα αστερισμού διευθετημένο τόσο στο οριζόντιο όσο και στον κατακόρυφο άξονα στις θέσεις $\{-0.5, -0.1, 0.5, 1\}$, τυχαία επιλογή. Ο ρυθμός δεδομένων είναι ίδιος με αυτόν της προηγούμενης άσκησης, 14.4kbps, και η συχνότητα του φορέα είναι στα 20kHz. Το κανάλι του θορύβου έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτά της προηγούμενης άσκησης, (variance θερμικού θορύβου ίση με 0.5).

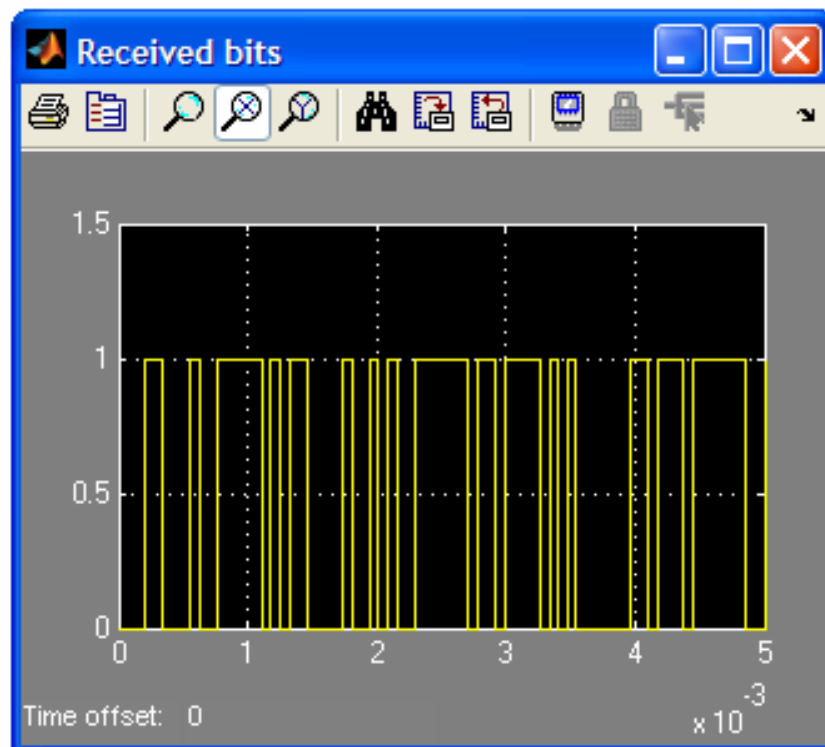


Σχ. 35: Μοντέλο μελέτης QASK πομποδέκτη με αυθαίρετο διάγραμμα αστερισμού.

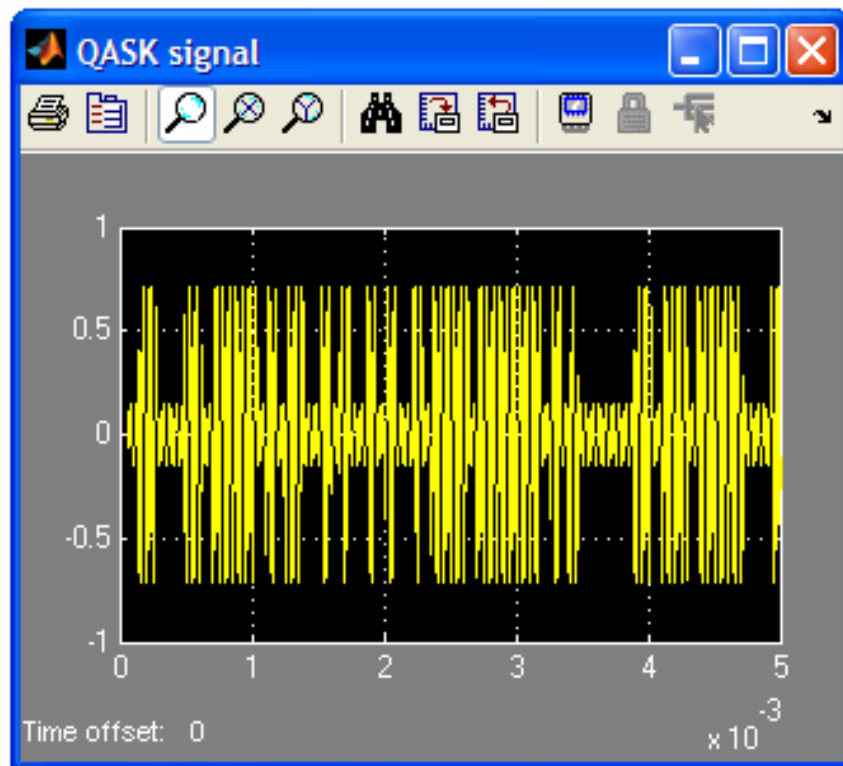
Στα Σχ. 36 και 37 βλέπουμε τα bit εισόδου και εξόδου. Λόγω του αυθαίρετου, στη συγκεκριμένη περίπτωση χωρίς να έχει ληφθεί πρόνοια για διάγραμμα αστερισμού που να δίνει διαμόρφωση ‘εύρωστη’ απέναντι στο θερμικό θόρυβο, [2], [17], [20], σημειώνονται αρκετά σφάλματα. Ειδικότερα από τη σύγκριση των δύο σχημάτων μπορούμε να βρούμε 5 εσφαλμένα bit! Στο Σχ. 38 βλέπουμε το διαμορφωμένο QASK σήμα. Από το συγκεκριμένο σχήμα δε μπορούμε να αντιληφθούμε την αλλαγή φάσης. Για αυτό το λόγο παρατίθεται στο Σχ. 39 λεπτομέρεια αυτού. Με τη βοήθεια των δύο παραπάνω και βλέποντας και το Σχ. 36 μπορούμε να καταλάβουμε τα τρόπο με τον οποίο υλοποιείται η διαμόρφωση. Τέλος στο Σχ. 39 βλέπουμε το σήμα εισόδου στον QASK δέκτη όπου είναι προφανής η προσθετική δράση του θερμικού θορύβου.



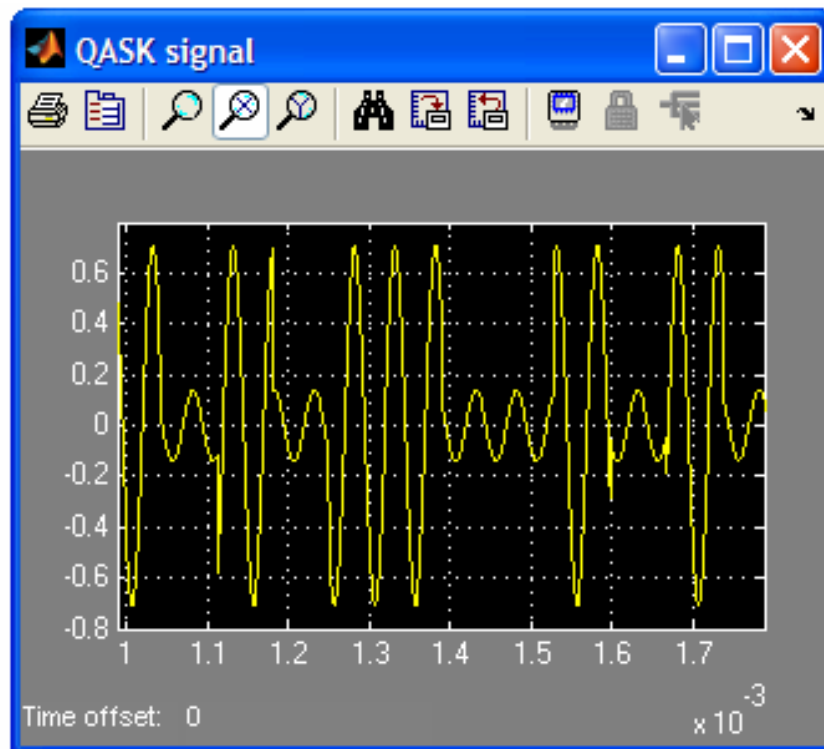
Σχ. 36: Bit εισόδου.



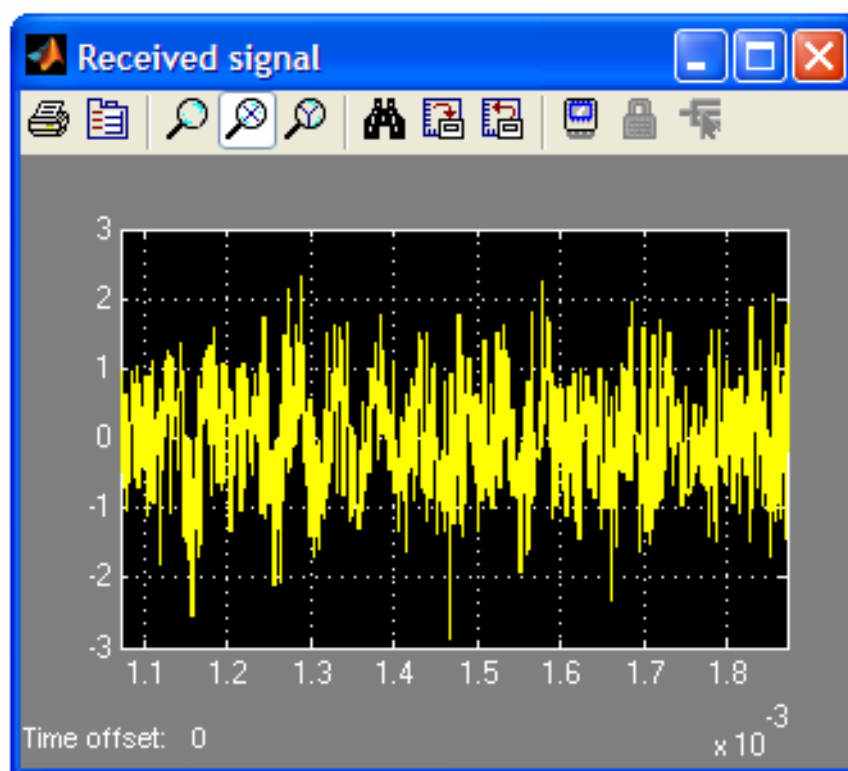
Σχ. 37: Bit εξόδου.



Σχ. 38: Διαμορφωμένο QASK σήμα.



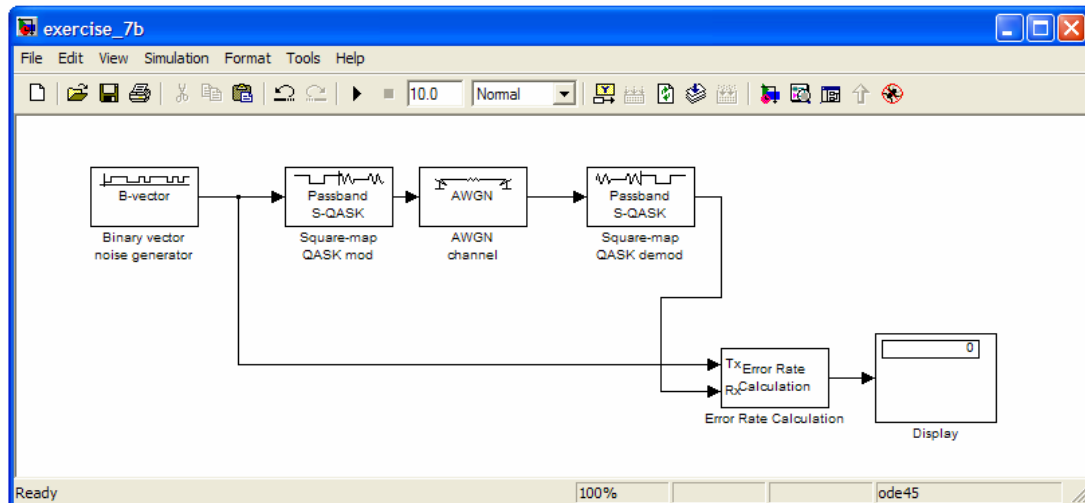
Σχ. 39: Διαμορφωμένο QASK σήμα, (λεπτομέρεια).



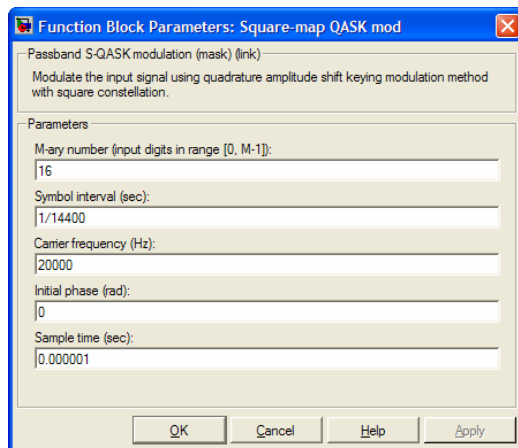
Σχ. 40: Διαμορφωμένο QASK σήμα + AWGN θόρυβος, (λεπτομέρεια).

ΜΟΝΤΕΛΟ 2:

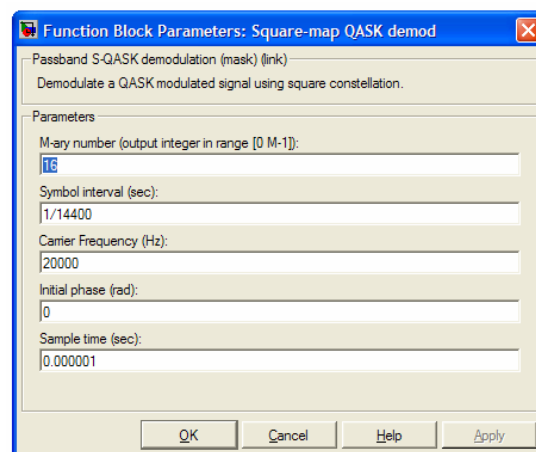
Στο δεύτερο μοντέλο μελετάται η συμπεριφορά QASK διαμορφωτή – αποδιαμορφωτή, βλ. Σχ. 41, με τετραγωνικό διάγραμμα αστερισμού. Ειδικότερα η διαμόρφωση που επιλέγουμε είναι η 16 QASK, (θέτουμε την τιμή 16 στην παράμετρο M-ary number στο μενού καθορισμού παραμέτρων στα μπλοκ του διαμορφωτή και του αποδιαμορφωτή, βλ. Σχ. 42 (a) και 42 (b)). Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του συστήματος είναι παρόμοια με την προηγούμενη περίπτωση.



Σχ. 41: Μοντέλο μελέτης QASK πομποδέκτη με τετραγωνικό διάγραμμα αστερισμού.



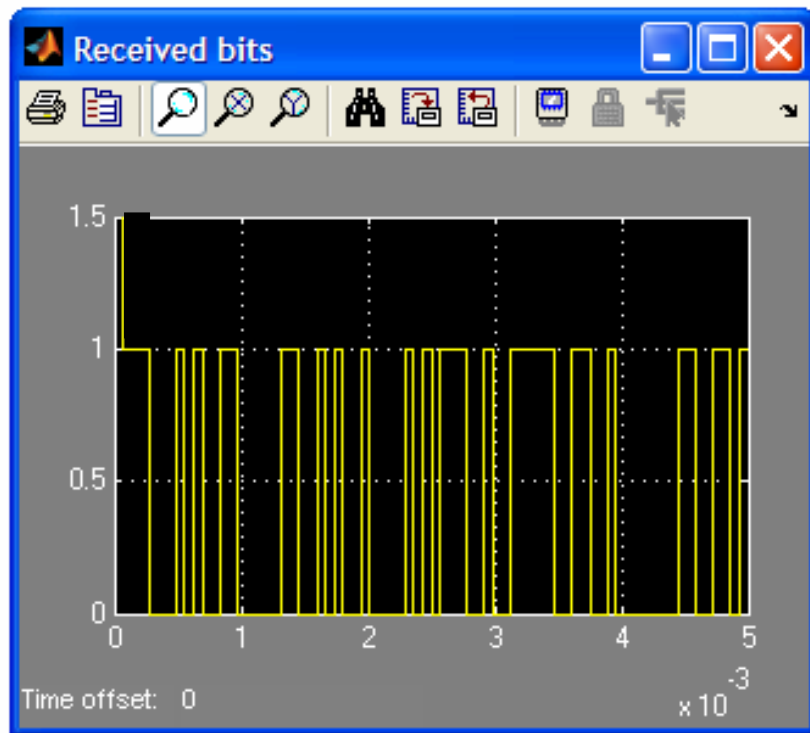
(a)



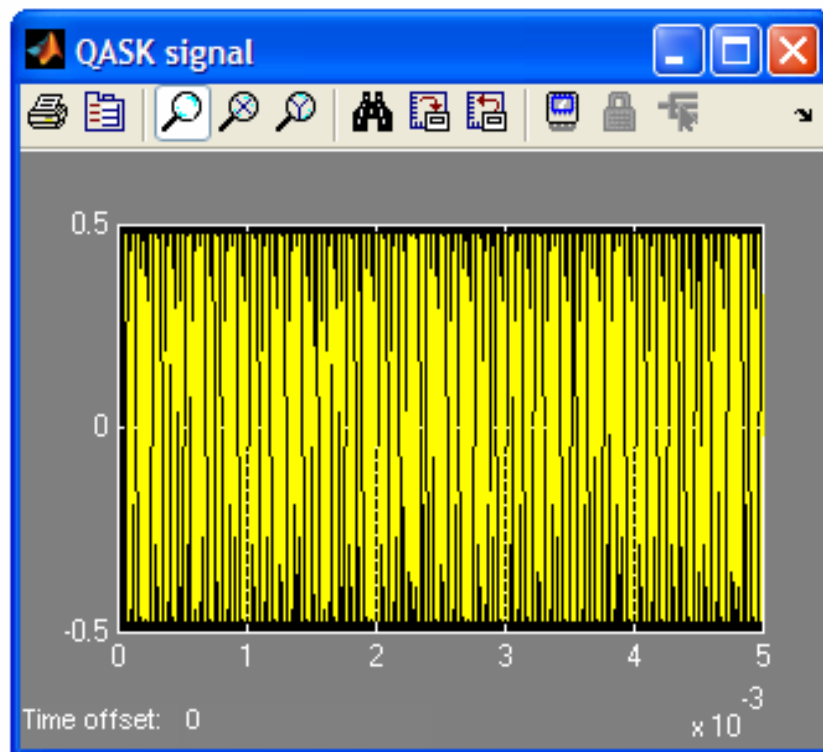
(b)

Σχ. 42: Μενού καθορισμού παραμέτρων μπλοκ διαμορφωτή και αποδιαμορφωτή.

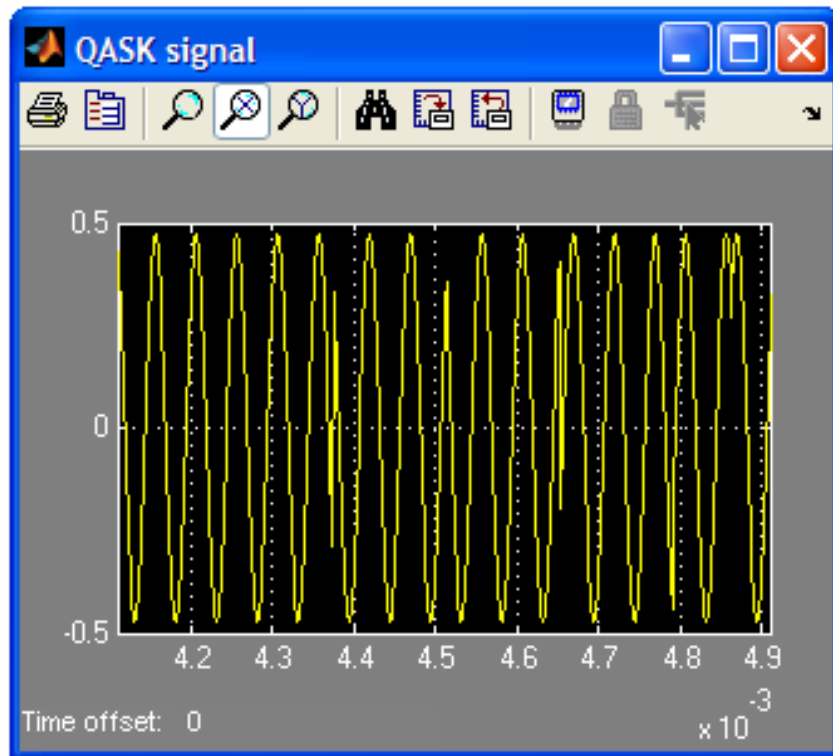
Στα Σχ. 43 και 44 βλέπουμε τα bit εισόδου και εξόδου. Στη συγκεκριμένη διαμόρφωση η απόκριση απέναντι στο θερμικό θόρυβο είναι ακόμα χειρότερη. Η προσομοίωση θα γίνει για variance θερμικού θορύβου ίση με 0.2. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν έχουμε εμφάνιση σφάλματος. Στο Σχ. 45 βλέπουμε το διαμορφωμένο QASK σήμα. Σημαντική διαφορά με την προηγούμενη περίπτωση είναι το σταθερό πλάτος της παραγόμενης κυματομορφής, κάτι αναμενόμενο αφού στη συγκεκριμένη διαμόρφωση όλα τα σημεία κατά τα διευθέτησή τους στο διάγραμμα αστερισμού απέχουν την ίδια απόσταση από το κέντρο του διαγράμματος, [2], [17], [20]. Στο Σχ. 46 βλέπουμε λεπτομέρεια του προηγούμενου σχήματος για καλύτερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της. Τέλος στο Σχ. 45 βλέπουμε το σήμα εισόδου στον QASK



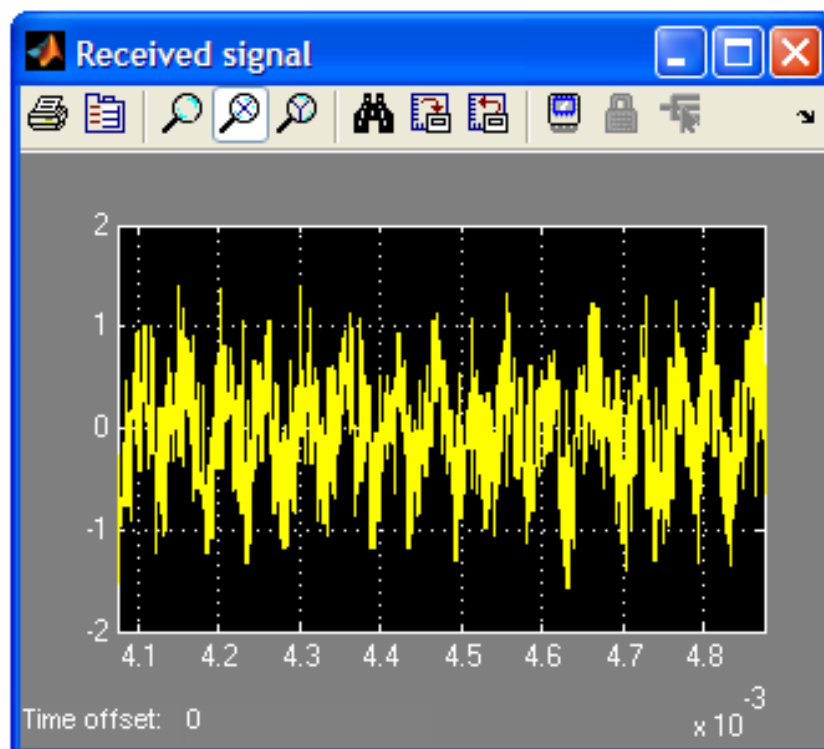
Σχ. 44: Bit εξόδου.



Σχ. 45: Διαμορφωμένο QASK σήμα.



Σχ. 46: Διαμορφωμένο QASK σήμα, (λεπτομέρεια).



Σχ. 47: Διαμορφωμένο QASK σήμα + AWGN θόρυβος, (λεπτομέρεια).

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ:

ΜΟΝΤΕΛΟ 1:

1. Για την περίπτωση της εφαρμογής που ήδη έχει παρουσιαστεί εστιάζοντας στις κατάλληλες χρονικές στιγμές να εξηγηθούν οι μεταβάσεις στις διάφορες καταστάσεις.
2. Να ληφθούν τα χρονικά διαγράμματα για διαφορετικές περιπτώσεις χαρακτηριστικών διαμόρφωσης, πλήθος και συντεταγμένες σημείων στο διάγραμμα αστερισμού. Τι συμπεράσματα εξάγετε;
3. Στηριζόμενοι στη μελέτη που έχει γίνει στην πρώτη και δεύτερη άσκηση να ληφθούν τα συχνοτικά διαγράμματα για τις περιπτώσεις του ερωτήματος 2.

ΜΟΝΤΕΛΟ 2:

1. Ομοίως με το βήμα 1 του προηγούμενου μοντέλου για το παρόν μοντέλο.
2. Να ληφθούν τα χρονικά διαγράμματα για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου M . Τι συμπεράσματα εξάγετε;
3. Να ληφθούν τα συχνοτικά διαγράμματα για τις περιπτώσεις του ερωτήματος 2. Ποια η εξάρτηση του εύρους του κυρίου λοβού από τις τιμές της παραμέτρου M ;

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ:

1. Η παλμοσειρά 001010011010111101010100 πρόκειται να μεταδοθεί χρησιμοποιώντας 16 QASK. Ο ρυθμό R των bit πληροφορίας συνδέεται με τη συχνότητα του φέροντος f_0 με την έκφραση $R = 4f_0$. Σχεδιάστε πρόχειρα τις κυματομορφές που διαδίδονται για τις περιπτώσεις των δύο μοντέλων που παρουσιάστηκαν προηγουμένως.
2. Πως σχολιάζετε την εξάρτηση από το θερμικό θόρυβο της QASK διαμόρφωσης συγκριτικά με τις PSK;
3. Έστω δύο διαφορετικά δυαδικά σήματα πληροφορίας διαδίδονται το πρώτο με 16 PSK και το δεύτερο με 16 QASK. Το εύρος του κυρίου λοβού είναι ίδιος και για τις δύο περιπτώσεις. Τι συμπεράσματα μπορείτε να βγάλετε για το ρυθμό των δυαδικών σημάτων. Μπορείτε να βγάλετε συγκριτικά συμπεράσματα για την πιθανότητα εμφάνισης σφάλματος στις δυο περιπτώσεις.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 8

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ, FSK)

Σκοπός της συγκεκριμένης άσκησης είναι η γνωριμία με την ψηφιακή διαμόρφωση γραμμικής μετατόπισης συχνότητας, FSK, (*Frequency Shift Keying*). Θα μελετηθούν τα βασικά χαρακτηριστικά της όσον αφορά τη δημιουργία της. Με την ολοκλήρωση της άσκησης οι σπουδαστές θα έχουν κατανοήσει σε σημαντικό βαθμό τις γενικές αρχές της διαμόρφωσης.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ:

Στη μετάδοση ψηφιακών σημάτων ο πομπός FSK εκπέμπει δύο συχνότητες, τη συχνότητα f_H για τη μία στάθμη και f_L για τη δεύτερη, υποθέτουμε ότι $f_H > f_L$ [1-5], [17]. Η έκφραση του FSK σήματος στο χρόνο είναι:

$$v_{FSK}(t) = \sqrt{2P} \cos(2\pi(f_0 + b(t)F)t) \quad (8)$$

όπου $b(t) = \pm 1$ ανάλογα με τη στάθμη των δεδομένων. Η f_0 και F συνδέονται με τις f_H και f_L με τις εκφράσεις:

$$f_0 = \frac{f_H + f_L}{2} \quad (9)$$

$$F = \frac{f_H - f_L}{2} \quad (10)$$

Αναφορικά με την έκφραση της φασματικής πυκνότητας ισχύος η έκφραση της είναι αρκετά πιο πολύπλοκη. Ως παραλλαγή της FM η μαθηματική ανάλυση και

των δύο στηρίζεται στις εξισώσεις Bessel, [14], [18]. Χωρίς να εισέρθουμε σε λεπτομέρειες αναφέρουμε μόνο ότι το απαιτούμενο εύρος ζώνης εξαρτάται από το δείκτη διαμόρφωσης MI ο οποίος υπολογίζεται από την έκφραση

$$MI = 2 \frac{f_H - f_L}{R} = \frac{F}{R} \quad (11)$$

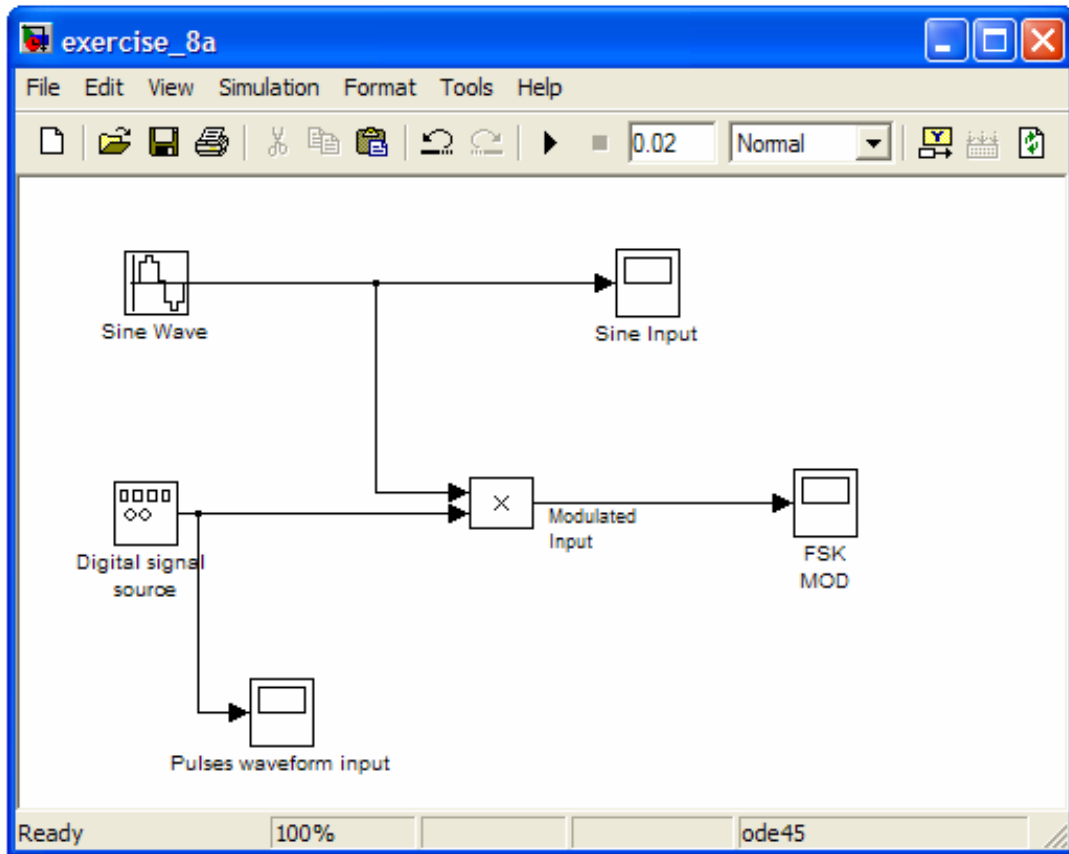
όπου R ο ρυθμός δεδομένων. Ένας εμπειρικός κανόνας λέει ότι στις περισσότερες από τις συνηθισμένες εφαρμογές το απαιτούμενο εύρος ζώνης είναι 2 με 3 φορές μεγαλύτερο του ρυθμού δεδομένων, [5].

Κατ' αντιστοιχία με την MPSK υπάρχει και η MFSK, [1-2], [17]. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν αντί δύο $M = 2^N$ συχνότητες που αντιστοιχούν σε M σύμβολα κάθε ένα από τα οποία έχει N bit. Μια προσεγγιστική έκφραση που δίνεται το απαιτούμενο εύρος ζώνης για τη μετάδοση ενός MFSK σήματος είναι, [2], η

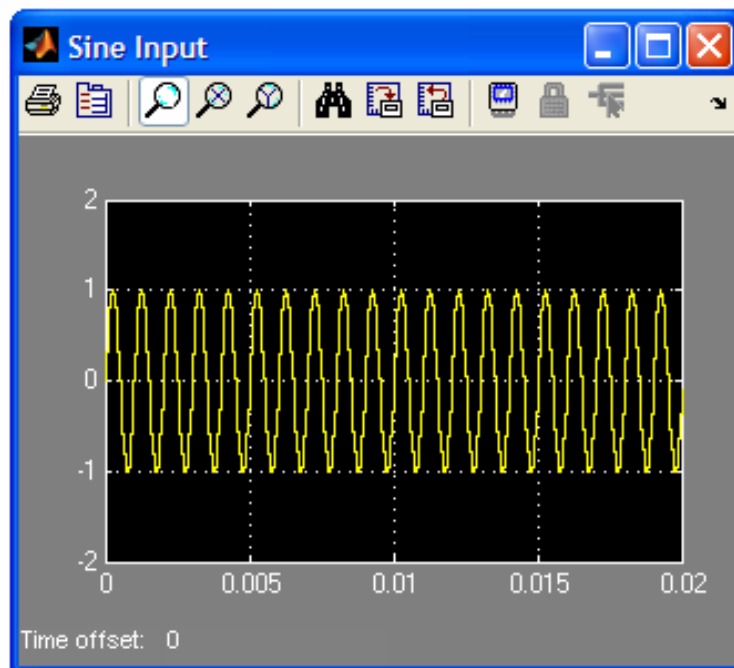
$$B \cong 2^{N+1} \frac{R}{N} \quad (12)$$

ΜΟΝΤΕΛΟ 1:

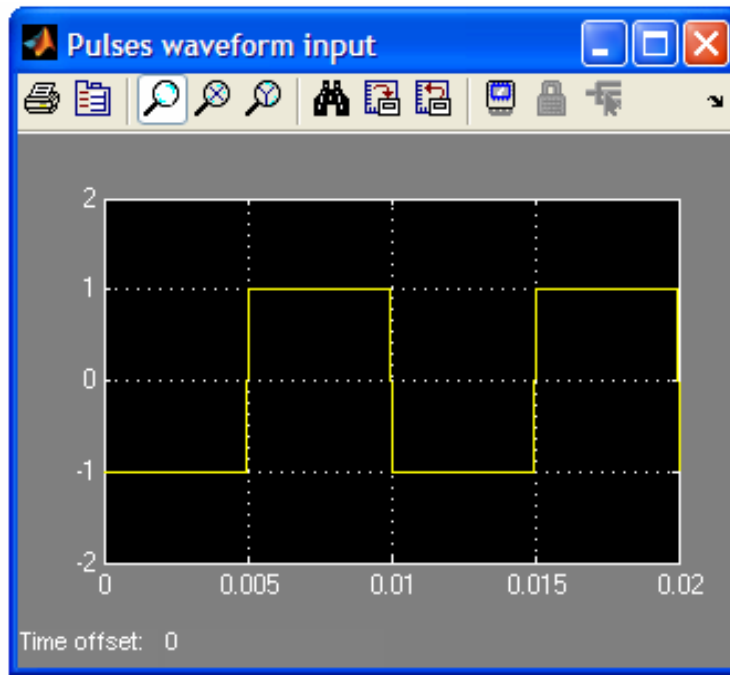
Στο πρώτο μοντέλο, βλ. Σχ. 48, μελετούμε την απλή περίπτωση της MFSK, την BFSK, (συνήθως αναφέρεται απλά σαν FSK). Στην συγκεκριμένη περίπτωση προσομοίωσης που μελετούμε η συχνότητα του ημιτονικού φορέα είναι 1KHz ενώ η συχνότητα των τετραγωνικών παλμών που παράγει η γεννήτρια Digital signal source είναι 100Hz. Τα πλάτη των παραγόμενων ημιτόνων και των παλμών είναι ίσα με τη μονάδα. Στο Σχ. 49 απεικονίζεται η κυματομορφή του φορέα, στο Σχ. 50 τα bit πληροφορίας και στο Σχ. 51 το διαμορφωμένο BFSK σήμα. Παρατηρούμε ότι σε κάθε εναλλαγή της στάθμης των bit εισόδου έχουμε εναλλαγή της φάσης του διαμορφωμένου σήματος κατά 180° .



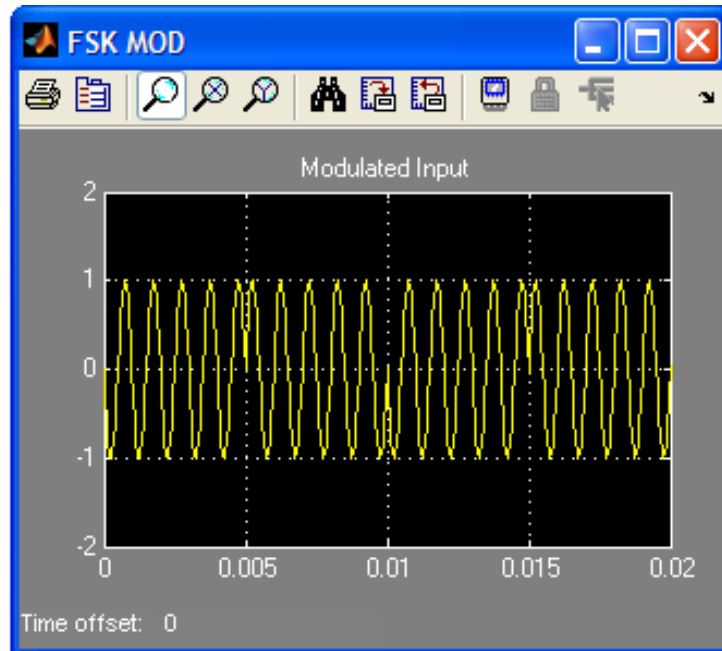
Σχ. 48: Μοντέλο μελέτης FSK διαμορφωτή.



Σχ. 49: Ημιτονικός φορέας.



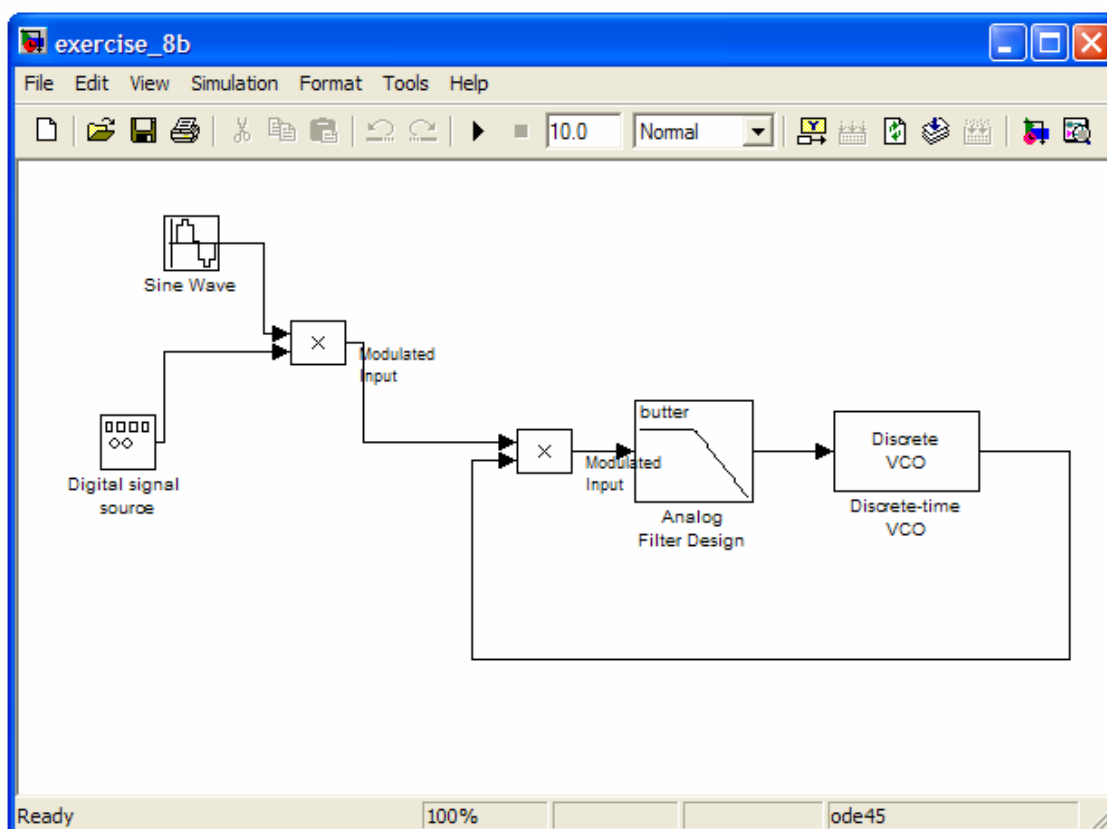
Σχ. 50: Bit εισόδου.



Σχ. 51: BFSK σήμα.

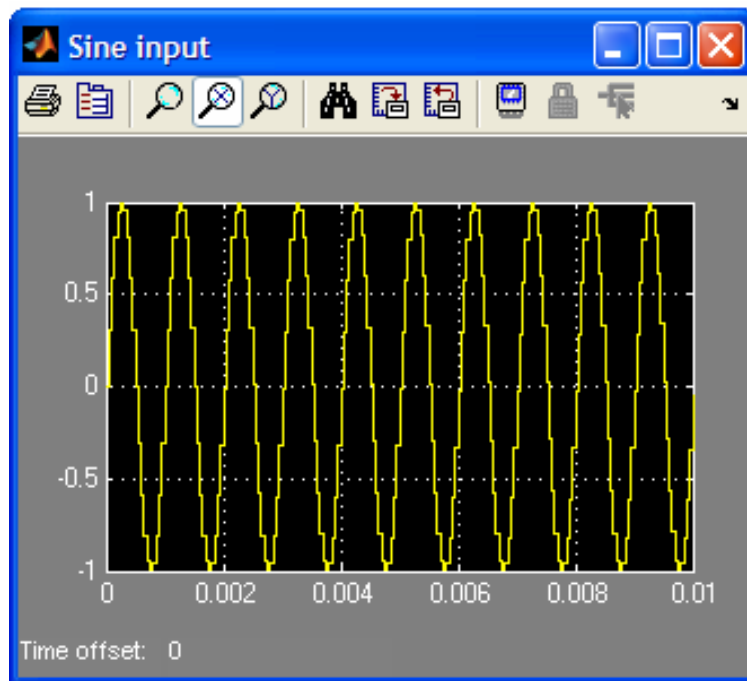
ΜΟΝΤΕΛΟ 2:

Στο δεύτερο μοντέλο, βλ. Σχ. 52, βλέπουμε το μοντέλο ενός BFSK πομποδέκτη. Το βάρος του αυτού του τμήματος της άσκησης πέφτει στο τμήμα της αποδιαμόρφωσης του FSK σήματος. Η αποδιαμόρφωση του BFSK σήματος γίνεται με τη βοήθεια ενός βρόχου κλειδωμένης φάσης, PLL, (*Phase Locked Loop*), πρώτης τάξης, [2]. Υπενθυμίζεται ότι ένας βρόχος κλειδωμένης φάσης πρώτης τάξης αποτελείται από έναν συγκριτή φάσης και ένα ταλαντωτή ελεγχόμενο από φάση, VCO, (*Voltage Controllable Oscillator*). Μια απλή υλοποίηση ενός συγκριτή φάσης αποτελείται από έναν πολλαπλασιαστή συνοδευμένο από χαμηλοπερατό φίλτρο. Στο συγκεκριμένο μοντέλο η συχνότητα των παλμών είναι 500Hz και του ημιτονικού φορέα 1kHz. Οι τιμές των συχνοτήτων επιλεχθήκαν ώστε να γίνει περισσότερο προφανής ο τρόπος λειτουργίας της FSK διαμόρφωσης.

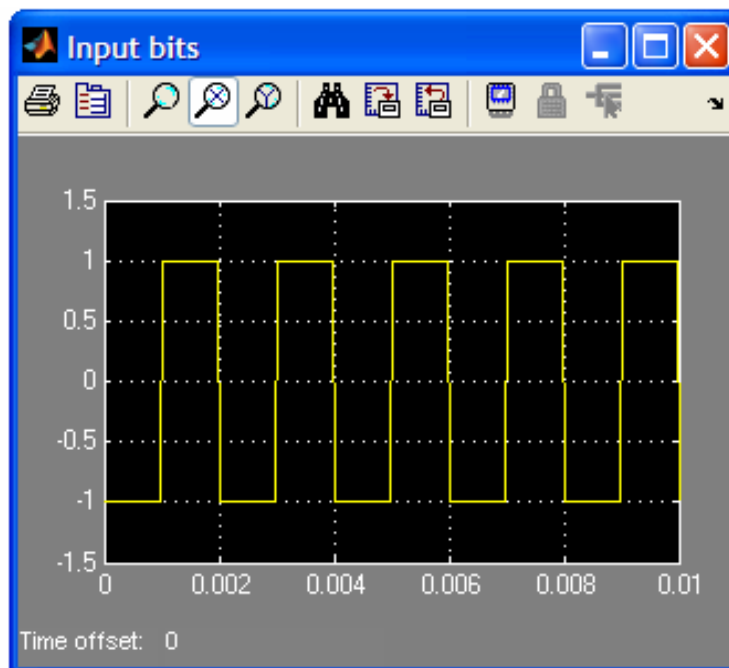


Σχ. 52: Μοντέλο BFSK πομποδέκτη.

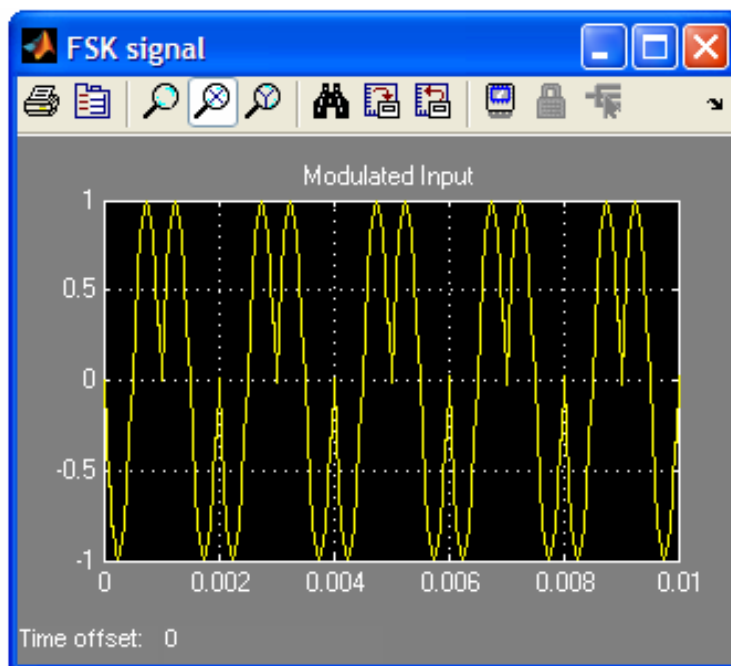
Στα Σχ. 53 και 54 βλέπουμε τις κυματομορφές του ημιτονικού φορέα και των ψηφιακών παλμών αντίστοιχα, στο Σχ. 55 το FSK σήμα, στο Σχ. 56 την έξοδο του πολλαπλασιαστή, στο Σχ. 57 την έξοδο του χαμηλοπερατού φίλτρου, του συγκριτή φάσης και τέλος στο Σχ. 58 την έξοδο του VCO.



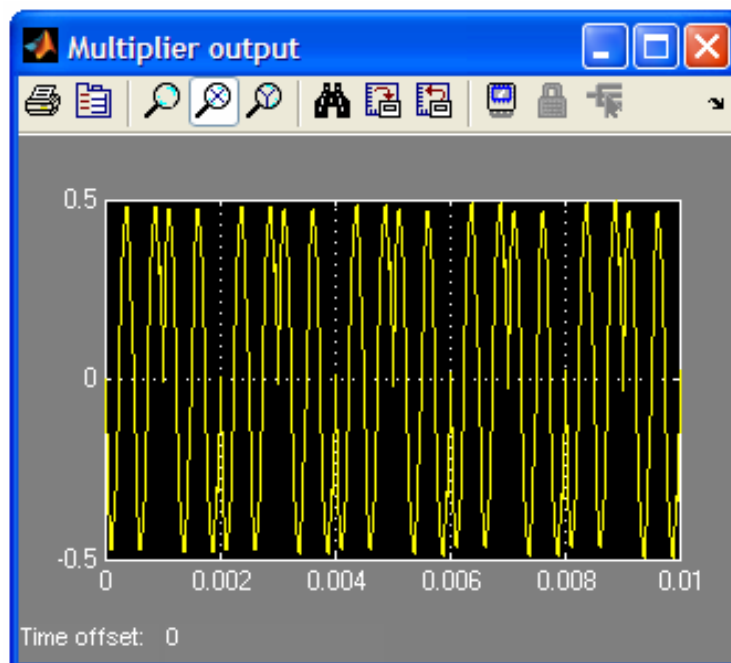
Σχ. 53: Ημιτονικός φορέας.



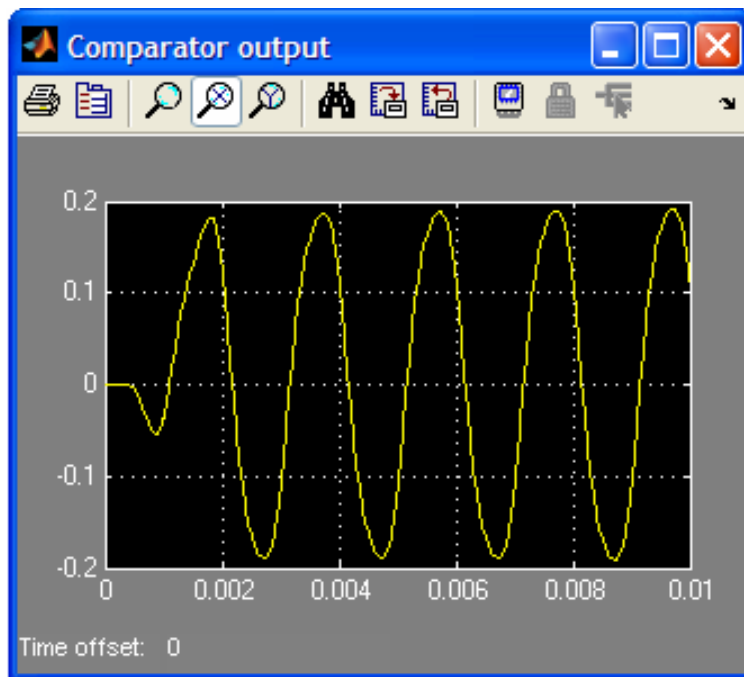
Σχ. 54: Bit εισόδου.



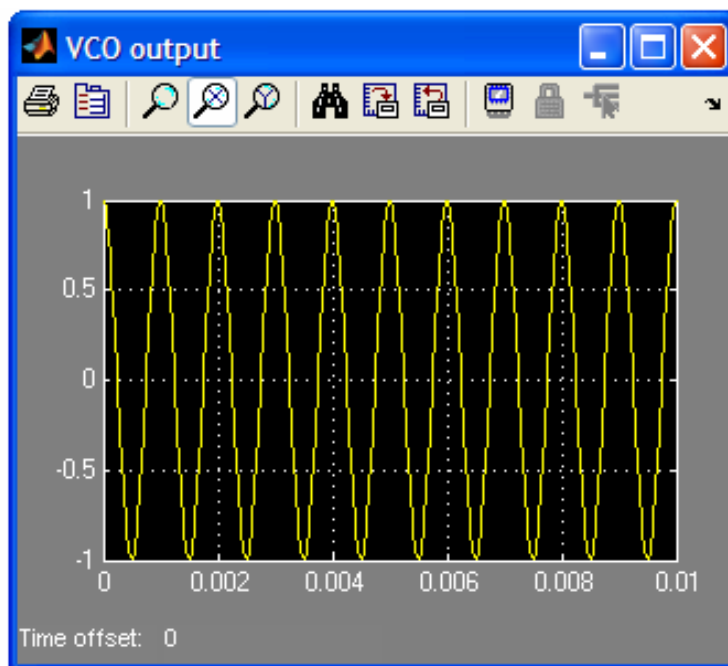
Σχ. 55: FSK σήμα.



Σχ. 56: Έξοδος πολλαπλασιαστή.



Σχ. 57: Έξοδος χαμηλοπερατού φίλτρου, (έξοδος συγκριτή).



Σχ. 58: Έξοδος VCO.

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ:

ΜΟΝΤΕΛΟ 1:

1. Να μελετηθεί η έξοδος του διαμορφωτή για διάφορες τιμές συχνοτήτων φορέων και ψηφιακών δεδομένων.
2. Τόσο για την περίπτωση του προτεινόμενου μοντέλου όσο και για τις περιπτώσεις που μελετήσατε στο ερώτημα 1 να υπολογιστούν οι συχνότητες f_H και f_L , η τιμή του δείκτη διαμόρφωσης MI καθώς και η προσεγγιστική τιμή του απαιτούμενου για τη διάδοση του διαμορφωμένου σήματος εύρους ζώνης.
3. Να ληφθούν τα συχνοτικά διαγράμματα για την περίπτωση του προτεινόμενου μοντέλου και για τις περιπτώσεις που μελετούνται στην περίπτωση 1. Τι συμπεράσματα βγάξετε για το απαιτούμενο εύρος ζώνης που εξάγεται από τη μελέτη των σχημάτων αυτών και των αντίστοιχων τιμών που υπολογίσατε στο ερώτημα 2;

ΜΟΝΤΕΛΟ 2:

1. Να επαναληφθούν τα ερωτήματα 1 και 3 του προηγούμενου μοντέλου για την περίπτωση των παραδειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτό. Να ληφθούν διαγράμματα αντίστοιχα των Σχ. 56-58.
2. Να εξεταστεί η λειτουργία του φίλτρου. Ερμηνεύστε την επίδραση της κάθε παραμέτρου. Τι τιμές θα πρέπει να λαμβάνουν αυτές; Από πού εξαρτώνται;

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ:

1. Η παλμοσειρά 001010011010 πρόκειται να μεταδοθεί χρησιμοποιώντας BFSK. Σχεδιάστε πρόχειρα την παραγόμενη κυματομορφή. Υποθέστε ότι $f_L = R$ και $f_H = 2R$.
2. Για την παραπάνω περίπτωση να σχεδιαστούν στο ίδιο διάγραμμα οι συναρτήσεις $f_L = f_L(R)$, $f_H = f_H(R)$ και $MI = MI(R)$. Τι συμπεράσματα εξάγονται;
3. Να εξηγηθεί αναλυτικά η λειτουργία του PLL.
4. Στην έξοδο του συγκριτή εμφανίζεται μία αρχική χρονική καθυστέρηση. Πως δικαιολογείται αυτή;
5. BFSK – BPSK τεχνικές ψηφιακής διαμόρφωσης. Ομοιότητες – διαφορές, πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 9

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ
ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ, MSK)

Με την παρούσα εργαστηριακή άσκηση θα ολοκληρωθεί η παρουσίαση των τεχνικών ψηφιακής διαμόρφωσης. Η τελευταία τεχνική που θα μελετηθεί είναι η ελάχιστη γραμμική μετατόπιση, MSK, (*Minimum Shift Keying*). Θα μελετηθούν τα βασικά χαρακτηριστικά της ενώ θα γίνει και ποιοτική μελέτη της συμπεριφοράς της σε περιβάλλον με θερμικό θόρυβο. Με την ολοκλήρωση της άσκησης οι σπουδαστές θα έχουν κατανοήσει σε σημαντικό βαθμό τις γενικές αρχές της συγκεκριμένης διαμόρφωσης.

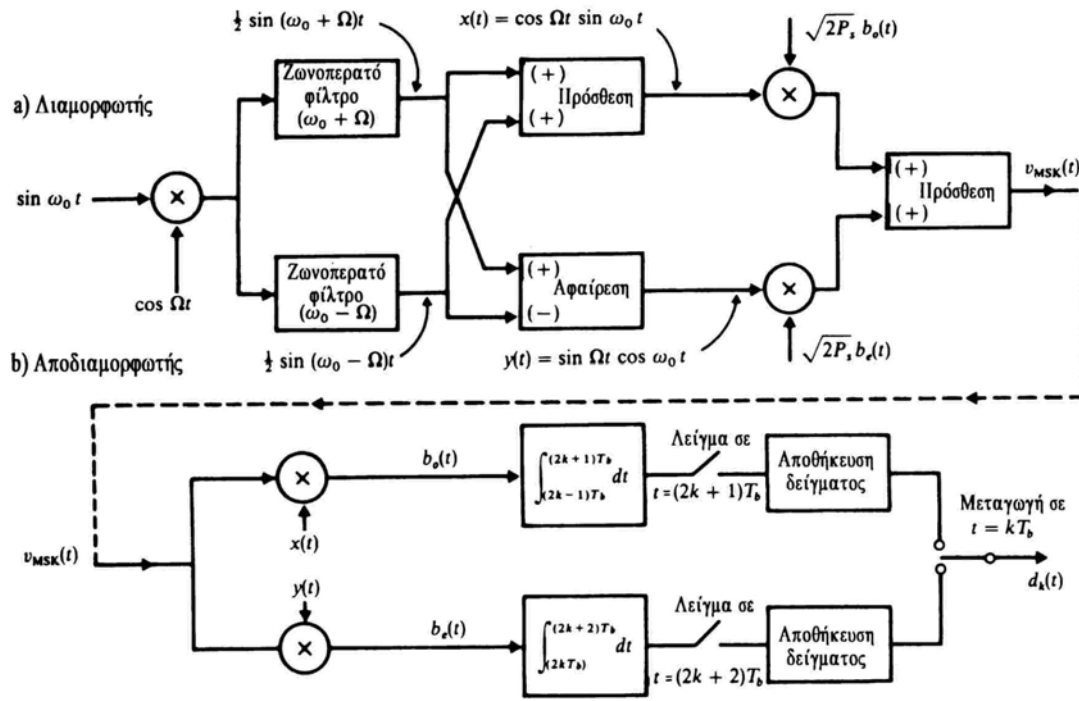
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ:

Το χαρακτηριστικό της MSK κυματομορφής είναι η ομαλή κυματομορφή κεντρικής ζώνης που πολλαπλασιάζει τα φέροντα, βλ. Σχ. 59. Στο Σχ. 60 απεικονίζονται οι κυματομορφές στα διάφορα σημεία του πομπού. Το βασικό χαρακτηριστικό, και ουσιαστική διαφορά της MSK με την QPSK, είναι, [2], η ομαλή κυματομορφή κεντρικής ζώνης που πολλαπλασιάζει τα φέροντα. Χωρίς να εισέρθουμε σε λεπτομέρειες η κυματομορφή του MSK σήματος δίνεται από την έκφραση

$$v_{MSK}(t) = \sqrt{2P} [C_H(t) \sin(2\pi f_H t) + C_L(t) \sin(2\pi f_L t)] \quad (13)$$

όπου $C_H(t) = [b_o(t) + b_e(t)]/2$, $C_L(t) = [b_o(t) - b_e(t)]/2$, $f_H = f_0 + F$ και $f_L = f_0 - F$. Με $b_o(t)$ συμβολίζεται η περιττή παλμοσειρά των δεδομένων

πληροφορίας, με $b_e(t)$ η άρτια παλμοσειρά, f_0 είναι η συχνότητα του φέροντος και $F = R/4$ όπου R ο ρυθμός των δεδομένων πληροφορίας.

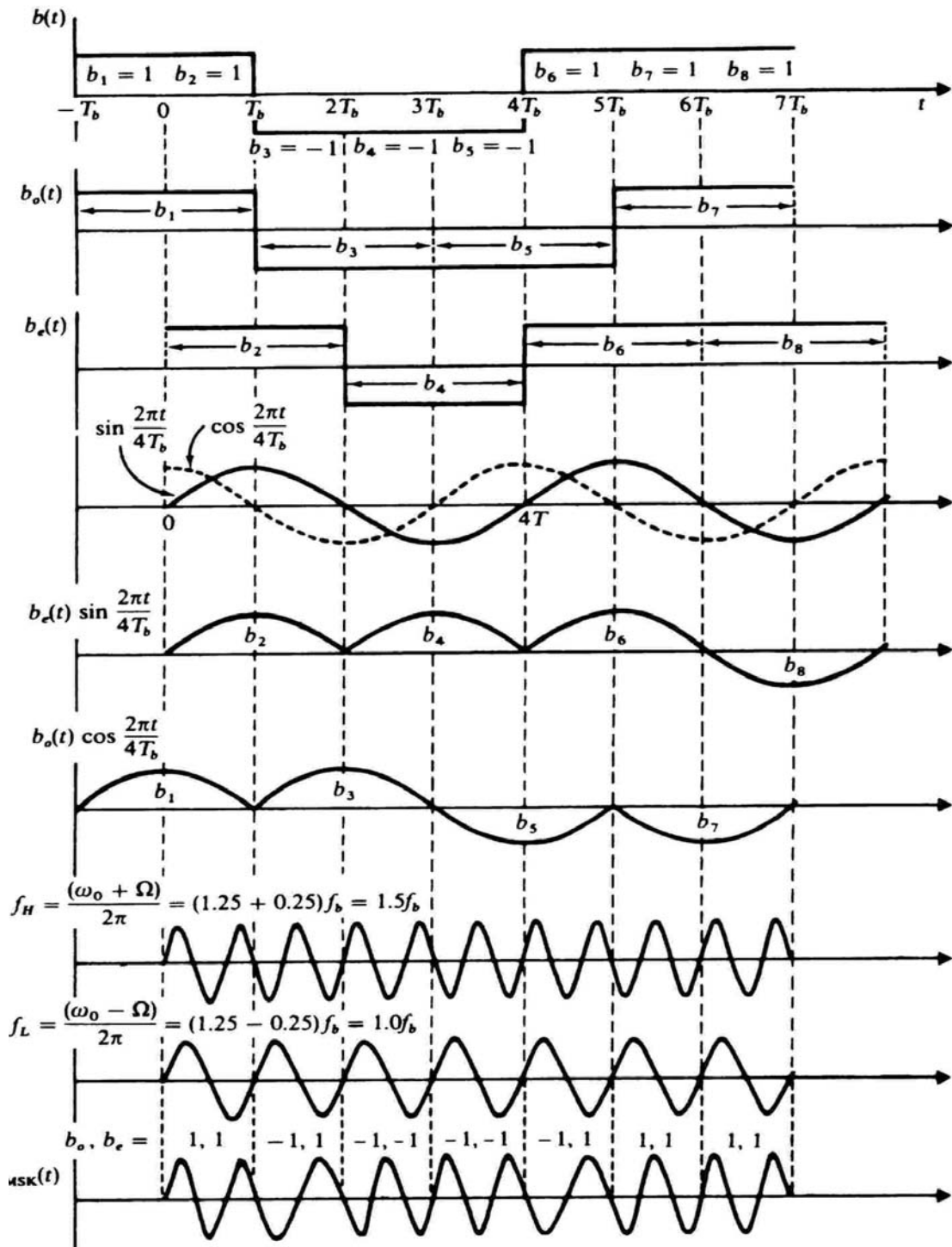


Σχ. 59. Διάγραμμα βαθμίδων διαμορφωτή – αποδιαμορφωτή MSK.

Χαρακτηριστικές ιδιότητες της MSK διαμόρφωσης είναι η συνεχής περιβάλλουσα της κυματομορφής και η συνέχεια φάσης στο RF φέρον κατά τις μεταβάσεις των bit. Σε σύγκριση με την QPSK έχει ευρύτερο κύριο λοβό, 1.5 φορές το λοβό του QPSK, αλλά έχει πολύ αισθητά μικρότερους πλευρικούς λοβούς με αποτέλεσμα το φιλτράρισμα να καθίσταται ευκολότερο. Η συνέχεια φάσης της κυματομορφής του MSK έχει σαν αποτέλεσμα την αποφυγή της διασυμβολικής παρεμβολής που προκαλείται από μη γραμμικούς ενισχυτές.

Η φασματική πυκνότητα ισχύος του MSK σήματος υπολογίζεται από την:

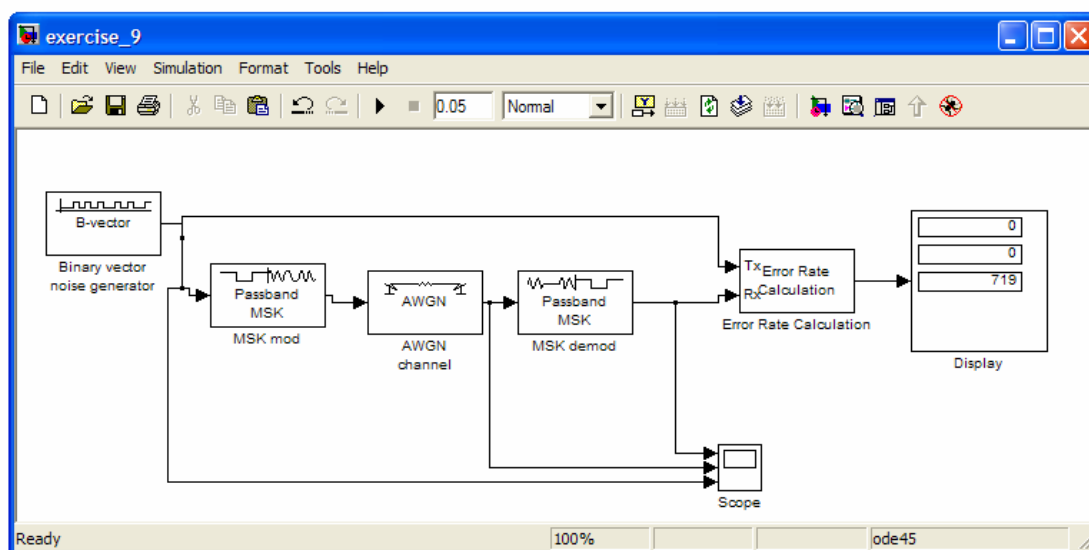
$$G_{MSK}(f) = \frac{8}{\pi^2} P T_b \left(\left\{ \frac{\cos\left(2\pi \frac{f-f_0}{R}\right)}{1 - \left[\frac{4(f-f_0)}{R}\right]^2} \right\}^2 + \left\{ \frac{\cos\left(2\pi \frac{f+f_0}{R}\right)}{1 - \left[\frac{4(f+f_0)}{R}\right]^2} \right\}^2 \right) \quad (14)$$



Σχ. 60. Παρουσίαση κυματομορφών κατά την MSK διαμόρφωση.

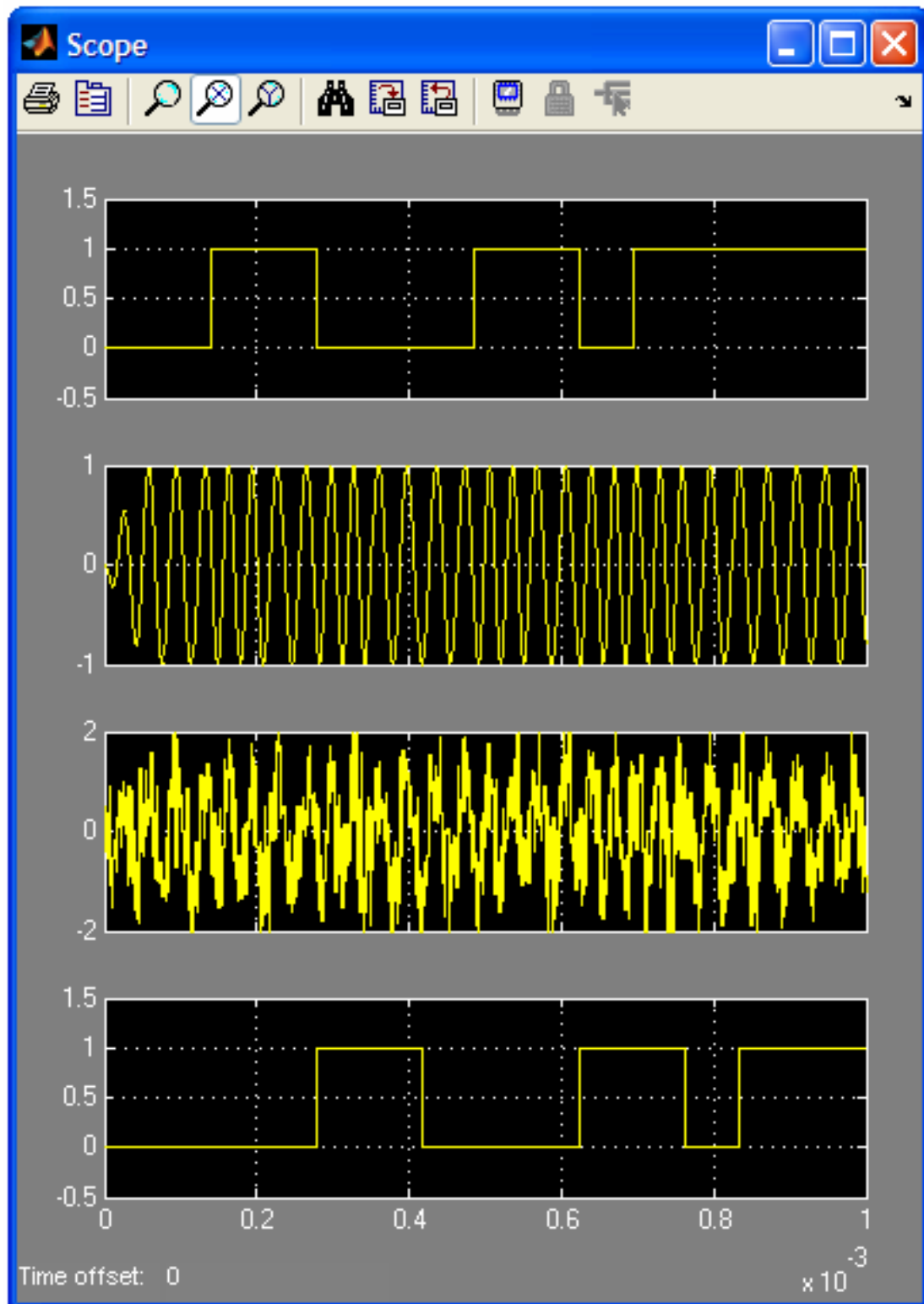
ΜΟΝΤΕΛΟ:

Στην παρούσα άσκηση μελετάμε τη λειτουργία, τα χαρακτηριστικά και την απόδοση της MSK διαμόρφωσης. Το προτεινόμενο μοντέλο παρουσιάζεται στο Σχ. 61. Ο ρυθμός των δεδομένων πληροφορίας είναι 14.4kbps ενώ η συχνότητα του φορέα είναι στα 30kHz. Η variance του θερμικού θορύβου λαμβάνεται ίση με 0.5 όπως και στις προηγούμενες προσομοιώσεις.

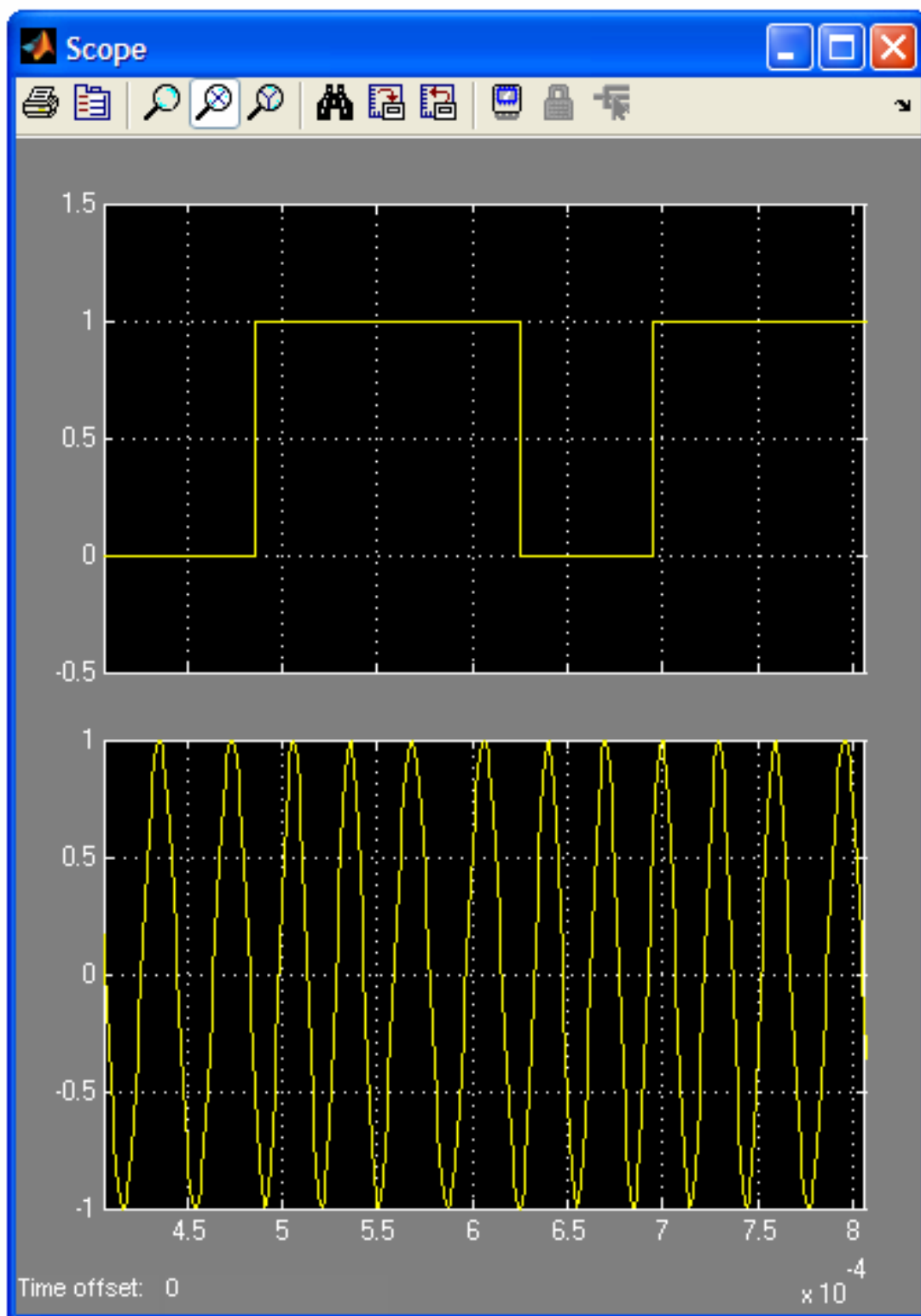


Σχ. 61: Μοντέλο μελέτης MSK πομποδέκτη.

Στο Σχ. 62 που ακολουθεί δίνονται το δυαδικό σήμα εισόδου, το MSK διαμορφωμένο σήμα, το σήμα εισόδου στο δέκτη και το τελικά αποδιαμορφωμένο σήμα. Για να γίνει καλύτερα κατανοητή η έννοια της ομαλής μετάβασης κατά την αλλαγή της στάθμης του σήματος εισόδου στο Σχ. 63 δίνουμε σε λεπτομέρεια απεικόνιση της δυαδικής πληροφορίας και του MSK σήματος. Επιλέγοντας χρόνο προσομοίωσης ίσο με τους αντίστοιχους MSK διαμορφώσεις πάλι δεν εμφανίστηκαν λάθη. Στην παρούσα φάση αυτό αποτελεί μία ένδειξη του ότι η MSK διαμόρφωση έχει σε γενικές γραμμές καλή ανοχή απέναντι στο θερμικό θόρυβο. Αναλυτική αντιμετώπιση του συγκεκριμένου θέματος ακολουθεί στην επόμενη άσκηση.



Σχ. 62: Ψηφιακό σήμα εισόδου, MSK σήμα, MSK σήμα + AWGN, λαμβανόμενα bit στην έξοδο του δέκτη.



Σχ. 63: Ψηφιακό σήμα εισόδου και MSK σήμα, (λεπτομέρεια).

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ:

1. Να λάβετε αντίστοιχα με τα απεικονισμένα στο Σχ. 62 χρονικά διαγράμματα για διάφορες τιμές ρυθμού ψηφιακών δεδομένων και συχνότητας φορέων.
2. Να λάβετε τα συχνοτικά διαγράμματα για το προτεινόμενο μοντέλο και για τις περιπτώσεις που μελετούνται στο ερώτημα 1.
3. Στην συγκεκριμένη περίπτωση οι παλμοί εισόδου λαμβάνουν τις τιμές 0 και 1 Volt. Να τροποποιήσετε κατάλληλα το μοντέλο ώστε οι παλμοί εισόδου και αυτοί που θα παράγονται στην έξοδο να λαμβάνουν τιμές ± 1 Volt. Σε αυτή την περίπτωση παρατηρούνται διαφορές στα χρονικά ή συχνοτικά διαγράμματα σε σχέση με την περίπτωση των προηγούμενων παλμών;

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ:

1. Η παλμοσειρά 001010011010 πρόκειται να μεταδοθεί χρησιμοποιώντας MSK ψηφιακή διαμόρφωση. Να σχεδιάσετε πρόχειρα κυματομορφές αντίστοιχες με αυτές που παρουσιάζονται στο Σχ. 60. Να θεωρήσετε δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση είναι $f_H = \frac{3}{2}R$ και $f_L = R$ ενώ στην δεύτερη $f_H = R$ και $f_L = \frac{R}{2}$.
2. Αν $R = 100\text{kbps}$ να σχεδιαστούν προσεγγιστικά για τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις τα συχνοτικά διαγράμματα καθώς και τα αντίστοιχα συχνοτικά διαγράμματα για τις περιπτώσεις που τα συγκεκριμένα ψηφιακά σήματα εισόδου μεταδίδονταν με BPSK και QPSK ψηφιακή διαμόρφωση. Τι σχόλια μπορούν να γίνουν;
3. Έστω σήμα 10kbps το οποίο πρέπει να μεταδοθεί μέσω καναλιού εύρους 8kHz. Έχοντας να επιλέξετε μεταξύ των ψηφιακών διαμορφώσεων BPSK, QPSK και MSK ποιες μπορείτε να χρησιμοποιήσετε; Ποια πιστεύετε ότι είναι η καλύτερη επιλογή και γιατί;

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 10

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Σκοπός της συγκεκριμένης άσκησης είναι η συγκριτική μελέτη των προαναφερθέντων τεχνικών ψηφιακής διαμόρφωσης με κριτήριο τη συμπεριφορά τους απέναντι στο θερμικό θόρυβο. Ειδικότερα θα μελετηθεί αναλυτικά και ακολουθώντας τις βασικές αρχές που αφορούν την προσομοίωση των ψηφιακών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων η συμπεριφορά των τεχνικών ψηφιακής διαμόρφωσης MPSK, QASK και MSK.. Με την ολοκλήρωση της άσκησης οι σπουδαστές θα έχουν κατανοήσει ορισμένες βασικές αρχές που αφορούν τη μελέτη της επίδοσης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων και θα είναι σε θέση να συγκρίνουν έχοντας ως κριτήρια την απόδοση στο θερμικό θόρυβο, τη φασματική απόδοση και την πολυπλοκότητα, τις ευρύτερα χρησιμοποιούμενες τεχνικές ψηφιακής διαμόρφωσης.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ:

Πριν αναφερθούμε σε ορισμένες βασικές αρχές που διέπουν την προσομοίωση των ψηφιακών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων και τη μελέτη με τη βοήθεια της, της απόδοσης των συστημάτων, χρήσιμη είναι η παράθεση της μαθηματικής, (προσεγγιστικής), τυποποίησης της πιθανότητας σφάλματος και της φασματικής απόδοσης των χρησιμοποιούμενων στην παρούσα εργασία τεχνικών ψηφιακής διαμόρφωσης, [2], βλ. Πίν. ΙΙΙ. Για την παράθεση της ακριβούς τυποποίησης αυτών μπορεί κανείς να ανατρέξει στη βιβλιογραφία, π.χ. [19].

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ. ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΙΣΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΩΝ ΕΥΡΥΤΕΡΑ ΔΙΑΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ.

ΤΕΧΝΙΚΗ	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ
BPSK, QPSK	$\frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma})$	R/N
MPSK	$\operatorname{erfc}\left(\gamma N \sin^2 \frac{\pi}{M}\right)$	R/N
16 QASK	$2 \operatorname{erfc}(\sqrt{0.4\gamma})$	$R/4$
ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟ MFSK	$\frac{M-1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{\gamma N}{2}\right)$	$2MR/N$
MSK	$\frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma})$	$3R/4$

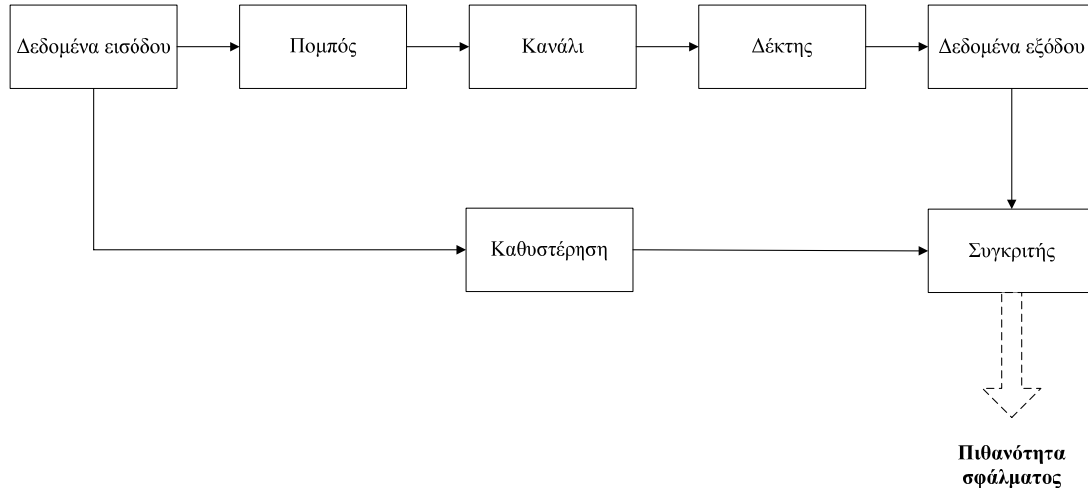
Στον παραπάνω πίνακα είναι $\gamma = \frac{E_b}{N_0}$ ο λόγος σήματος προς θόρυβο και $N = \log_2 M$ το πλήθος των bit ανά σύμβολο. Με E_b συμβολίζεται η ενέργεια του bit και με N_0 η φασματική πυκνότητα ισχύος του θερμικού θορύβου, [2], [17]. Η συνάρτηση συμπληρωματική συνάρτηση σφάλματος $\operatorname{erfc}(x)$ ισούται, [2], [14], με:

$$\operatorname{erfc}(x) \equiv \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-u^2} du \quad (15)$$

Υπενθυμίζεται ότι η φασματική απόδοση ορίζεται ως ο λόγος του απαιτούμενου εύρους ζώνης B που απαιτείται για τη διάδοση ψηφιακών παλμών ρυθμού R , προς το ρυθμό R .

Ιδιαίτερης αναφοράς χρήζει και ο τρόπος υπολογισμού της πιθανότητας σφάλματος στο περιβάλλον προσομοίωσης Simulink του πακέτου λογισμικού Matlab. Ο υπολογισμός της πιθανότητας σφάλματος έτσι όπως γίνεται στα παρόντα μοντέλα με χρήση του μπλοκ Error Rate Calculation στηρίζεται στην τεχνική Monte Carlo,

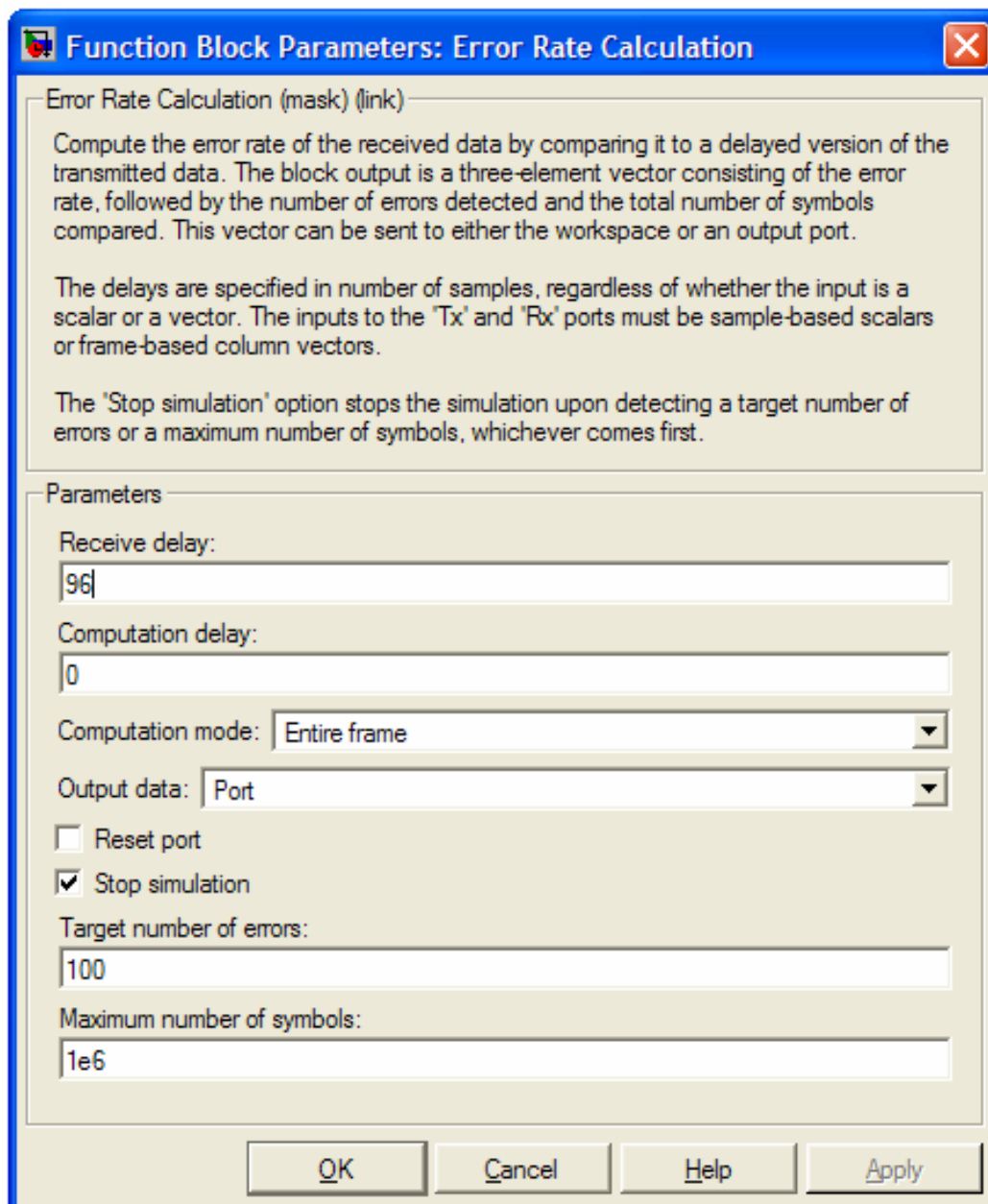
[7]. Σε αυτήν το σήμα εξόδου του δέκτη συγκρίνεται με το κατάλληλα καθυστερημένο σήμα εισόδου του πομπού. Η καθυστέρηση είναι τέτοια ώστε να υπάρχει χρονική ταύτιση των δεδομένων εισόδου και εξόδου. Στο Σχ. 64, φαίνεται σχηματικά η βασική αρχή της μεθόδου.



Σχ. 64. Αρχή μεθόδου Monte Carlo.

Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι η παρούσα τεχνική με τη συγκεκριμένη μεθοδολογία υλοποίησης αποτελεί την απλούστερη τεχνική υπολογισμού της πιθανότητας σφάλματος. Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η απλότητα υλοποίησης της. Ιδιαίτερα σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί το υψηλότατο υπολογιστικό της κόστος. Διάφορες τεχνικές εφαρμόζονται για την ελάττωση αυτού, [7]. Το συγκεκριμένο θέμα δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Εάν πάντως επιθυμούμε έναν ικανοποιητικό συγκερασμό ακρίβειας αποτελεσμάτων και ταχύτητας υπολογισμών ένα καλός εμπειρικός κανόνας είναι ο εξής: Το πλήθος των δειγμάτων κάθε προσομοίωσης είναι τέτοιο ώστε σε κάθε μία από αυτές να εμφανίζονται 10^{λ} σφάλματα. Οι προσομοιώσεις γίνονται 10^{μ} φορές, κάθε μία από αυτές για διαφορετική ακολουθία παραγωγής τυχαίων αριθμών, (παράμετρος Initial seed του μπλοκ AWGN channel). Ικανοποιητικά αποτελέσματα δίνονται όταν $\lambda + \mu = 3$ ή 4 , $\lambda \geq 1$, $\mu \geq 1$. Ειδικά για την περίπτωση του παρόντος λογισμικού έχουμε την επιπλέον δυνατότητα να ορίσουμε το τέλος της προσομοίωσης για συγκεκριμένο πλήθος συμβόλων ή σφαλμάτων, επιλογές Target number of errors και Maximum

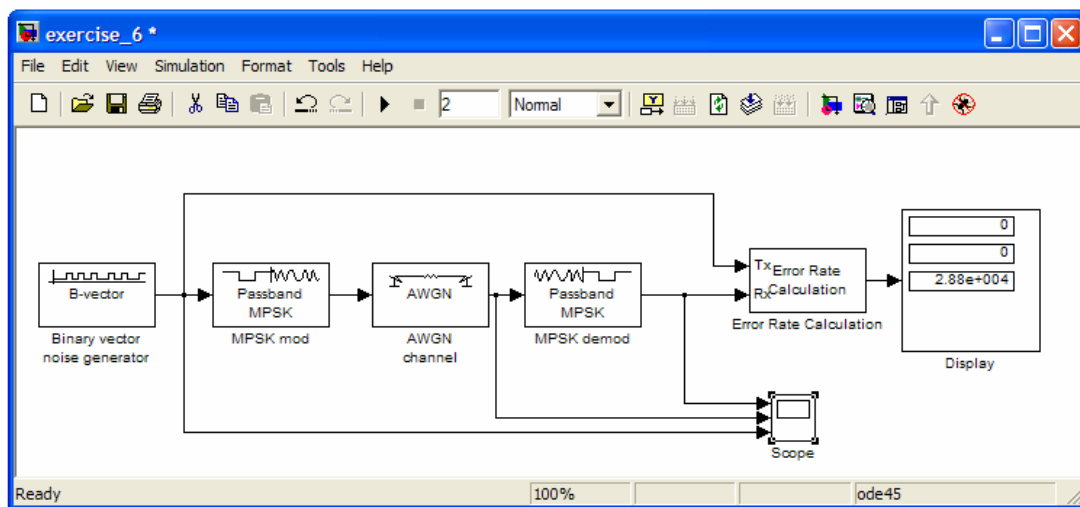
number of symbols αντίστοιχα του μενού καθορισμού των παραμέτρων του μπλοκ Error Rate Calculation, βλ. Σχ. 65.



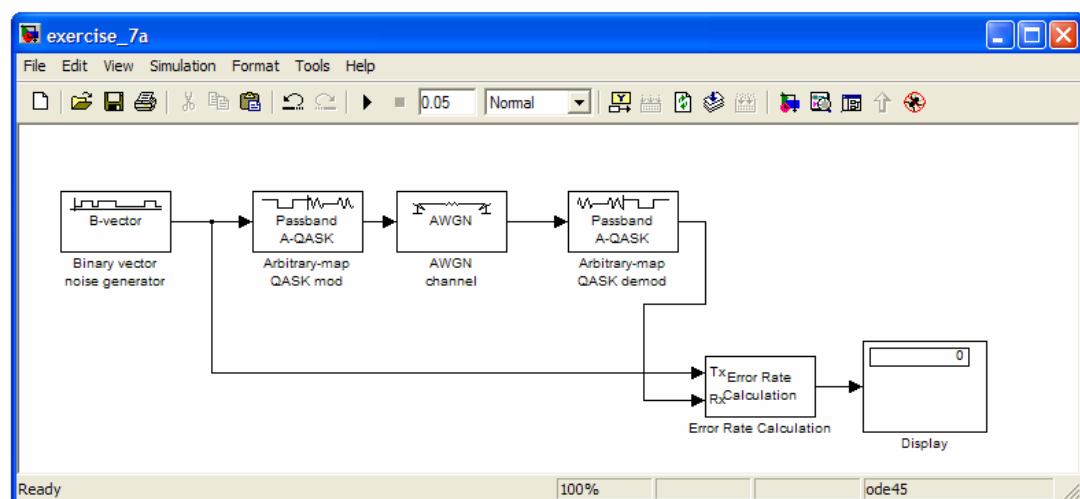
Σχ. 65. Μενού καθορισμού παραμέτρων μπλοκ Error Rate Calculation.

ΜΟΝΤΕΛΟ:

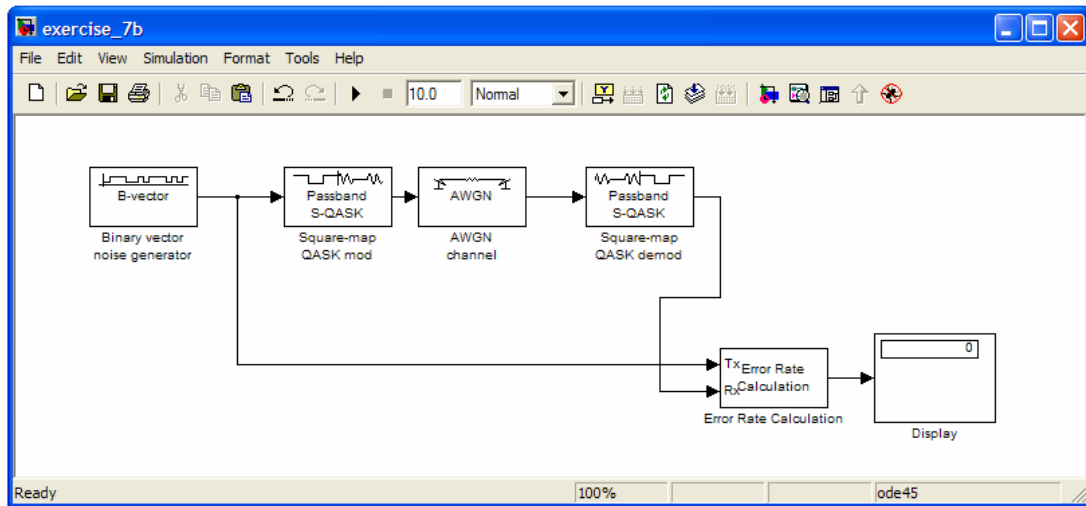
Τα μοντέλα που θα χρησιμοποιηθούν είναι ίδια με αυτά των Σχ. 30, 35, 41 και 61. Για λόγους πληρότητας παραθέτουμε ξανά τα μοντέλα των επιμέρους διαμορφώσεων στα Σχ. 66 – 69.



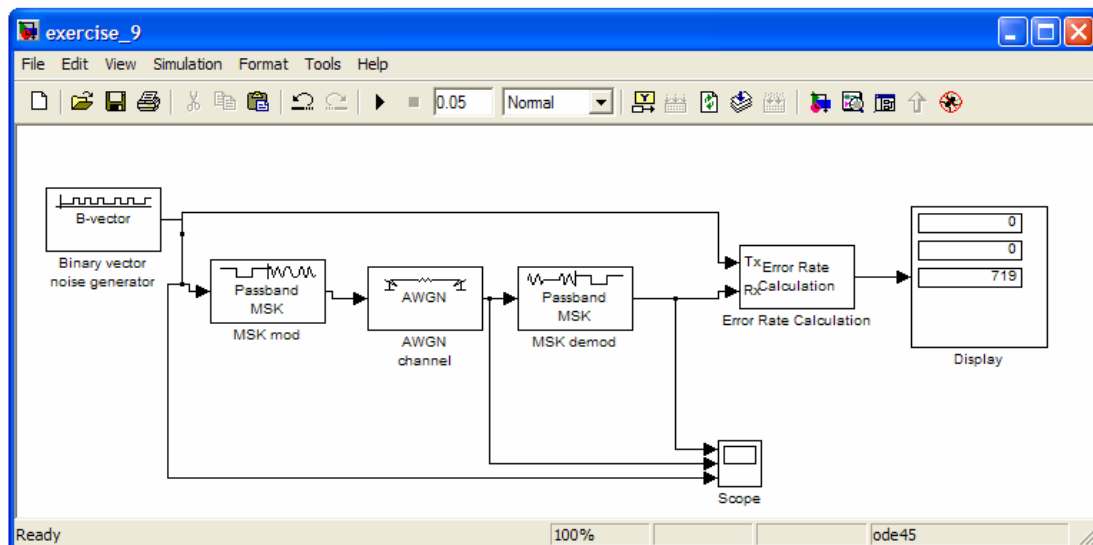
Σχ. 66: Μοντέλο μελέτης MPSK πομποδέκτη.



Σχ. 67: Μοντέλο μελέτης QASK πομποδέκτη με αυθαίρετο διάγραμμα αστερισμού.



Σχ. 68: Μοντέλο μελέτης QASK πομποδέκτη με τετραγωνικό διάγραμμα αστερισμού.



Σχ. 69: Μοντέλο μελέτης MSK πομποδέκτη.

Οι προσομοιώσεις όλες γίνονται με κριτήριο της σύγκλισης των τιμών σε ένα όριο, (ακολουθούμε κάποιον από τους κανόνες που αναφέρθηκαν προηγουμένως στα Στοιχεία Θεωρίας).

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ:

1. Να κατασκευαστούν διαγράμματα πιθανότητας λανθασμένων bit, P_e , σαν συνάρτηση του λόγου $\frac{E_b}{N_0}$, (εκφρασμένων σε dB), για $\frac{E_b}{N_0} = 1, 2, \dots, 20\text{dB}$ για τις περιπτώσεις MPSK, με $M=1, 2, 8$ και 16, 16 QASK με αυθαίρετο και τετραγωνικό διάγραμμα αστερισμού και MSK. Τα διαγράμματα να μπουν στο ίδιο σχήμα για να μπορούν να γίνουν οι απαιτούμενες συγκρίσεις.
2. Για τις περιπτώσεις της προηγούμενης περιπτώσεις, εξαιρείται οι 16 QASK με αυθαίρετο διάγραμμα αστερισμού, στηριζόμενοι στις εκφράσεις του Πίν. III, να κατασκευάσετε αντίστοιχα με του προηγούμενου ερωτήματος θεωρητικά διαγράμματα πιθανότητας σφάλματος σαν συνάρτηση του λόγου $\frac{E_b}{N_0}$. Υπάρχουν διαφορές;
3. Να επαναληφθεί το ερώτημα 1 με τη διαφορά ότι τώρα θα παρουσιάζεται την πιθανότητα εσφαλμένου συμβόλου σαν συνάρτηση του λόγου $\frac{E_b}{N_0}$. Συγκρίνοντας με τα αποτελέσματα του ερωτήματος 1 τι συμπεράσματα βγάζετε;
4. Στηριζόμενοι στα αποτελέσματα που έχετε βγάλει και στη φασματική απόδοση των επιμέρους διαμορφώσεων, βλ. Πίν. III, σχολιάσετε τις επιμέρους διαμορφώσεις. Συγκρίνετε πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα και προτείνεται την καλύτερη κατά τη γνώμη σας.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ:

1. Είναι επιθυμητή πιθανότητα σφάλματος $P_e = 10^{-5}$ και διατίθεται κανάλι εύρους ζώνης 20kHz. Εάν ο ρυθμός των bit είναι 80kbps είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί 16 PSK ή 16 QASK. Να υπολογιστεί η τιμή του λόγου $\frac{E_b}{N_0}$ που απαιτείται για κάθε ένα από τα δύο συστήματα.
2. Έστω διαμόρφωση BPSK. Η πιθανότητα σφάλματος είναι 10^{-4} . Αν χρησιμοποιηθεί διαμόρφωση 16 PSK ποια θα ήταν η αντίστοιχη τιμή πιθανότητας σφάλματος; Κατά πόσα dB θα πρέπει να μεταβληθεί ο λόγος $\frac{E_b}{N_0}$ ώστε στις δύο περιπτώσεις διαμόρφωσης να έχουμε την ίδια πιθανότητα σφάλματος;
3. Να σχεδιαστεί γραφική παράσταση που να έχει σαν τεταγμένη τα φασματική απόδοση και σαν τετημημένη το λόγο ενέργειας bit προς τη φασματική πυκνότητα ισχύος του θερμικού θορύβου για τις περιπτώσεις BPSK, QPSK, MSK και FSK για $P_e = 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$ και 10^{-6} .

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 11

ΣΥΝΕΛΙΚΤΙΚΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ - ΑΠΟΚΩΔΙΟΚΟΠΟΙΗΣΗ

Σκοπός της συγκεκριμένης άσκησης είναι η γνωριμία με μία από τις σημαντικότερες μορφές κωδικοποίησης που εφαρμόζεται στις τηλεπικοινωνίες, τη συνελικτική κωδικοποίηση. Ειδικότερα θα εξεταστούν τα βασικά χαρακτηριστικά της συνελικτικής κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης καθώς και θα μελετηθεί η βελτίωση που επιφέρεται σε βάρος της πολυπλοκότητας του συστήματος ή/και του χρησιμοποιούμενου εύρους ζώνης. Με την ολοκλήρωση της άσκησης οι σπουδαστές θα γνωρίζουν τις βασικές αρχές και των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων αυτής της μορφής κωδικοποίησης.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ:

Η κωδικοποίηση μας επιτρέπει την αύξηση του ρυθμού με τον οποίο μπορεί να μεταδοθεί πληροφορία μέσω ενός καναλιού ενώ ταυτόχρονα διατηρείται ο ρυθμός σφάλματος σε μία καθορισμένη τιμή, ή εναλλακτικά μας επιτρέπει την ελάττωση του ρυθμού μετάδοσης σφάλματος διατηρώντας σταθερό έναν συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης, [2]. Ένα αδιαμφισβήτητο πάντως τίμημα με την εισαγωγή διαδικασιών κωδικοποίησης είναι η αύξηση της πολυπλοκότητας των πομποδεκτών. Ως στόχος σε κάθε διαδικασία κωδικοποίησης, θεωρητικός βέβαια, είναι η επίτευξη του ορίου Shannon, [1-5], [20].

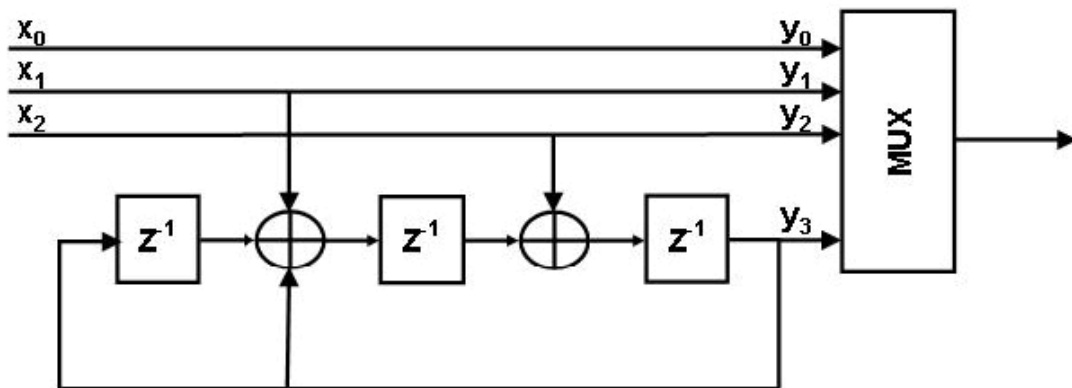
Υπενθυμίζεται ότι το θεώρημα Shannon λέει ότι αν θεωρήσουμε πηγή M ισοπίθανων μηνυμάτων, όπου $M \gg 1$, η οποία παράγει πληροφορία με ρυθμό R και κανάλι χωρητικότητας C αν $R \leq C$ τότε υπάρχει τεχνική κωδικοποίησης τέτοια ώστε η έξοδος της πηγής να μπορεί να μεταδοθεί μέσω καναλιού με πιθανότητα σφάλματος στο μήνυμα του δέκτη αυθαίρετα μικρή. Στην περίπτωση γκαουσιανού θορύβου

προχωρούμε στη διατύπωση του θεωρήματος Shannon-Hartley σύμφωνα με το οποίο η χωρητικότητα ενός λευκού, γκαουσιανού καναλιού περιορισμένου εύρους ζώνης B είναι

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (16)$$

όπου S η ισχύς του σήματος και N ο συνολικός θόρυβος μέσα στο εύρος ζώνης του καναλιού, δηλαδή $N = \eta B$, με $\eta/2$ την αμφίπλευρη φασματική πυκνότητα ισχύος.

Μία από τις ευρύτερα διαδεδομένες μορφές κωδικοποίησης είναι η συνελκτική κωδικοποίηση, [1-2], [20-21]. Ένας συνελκτικός κώδικας παράγεται συνδυάζοντας τις εξόδους ενός καταχωρητή μετάθεσης K βαθμίδων και ν λογικών αθροιστών, βλ. Σχ. 70. Για την αποκωδικοποίηση ενός συνελκτικού κώδικα διάφορες τεχνικές εφαρμόζονται, οι ευρύτερα διαδεδομένες από τις οποίες είναι η αποκωδικοποίηση με χρήση δέντρου κώδικα, η ακολουθιακή αποκωδικοποίηση, ο αλγόριθμος Viterbi, κ.α.



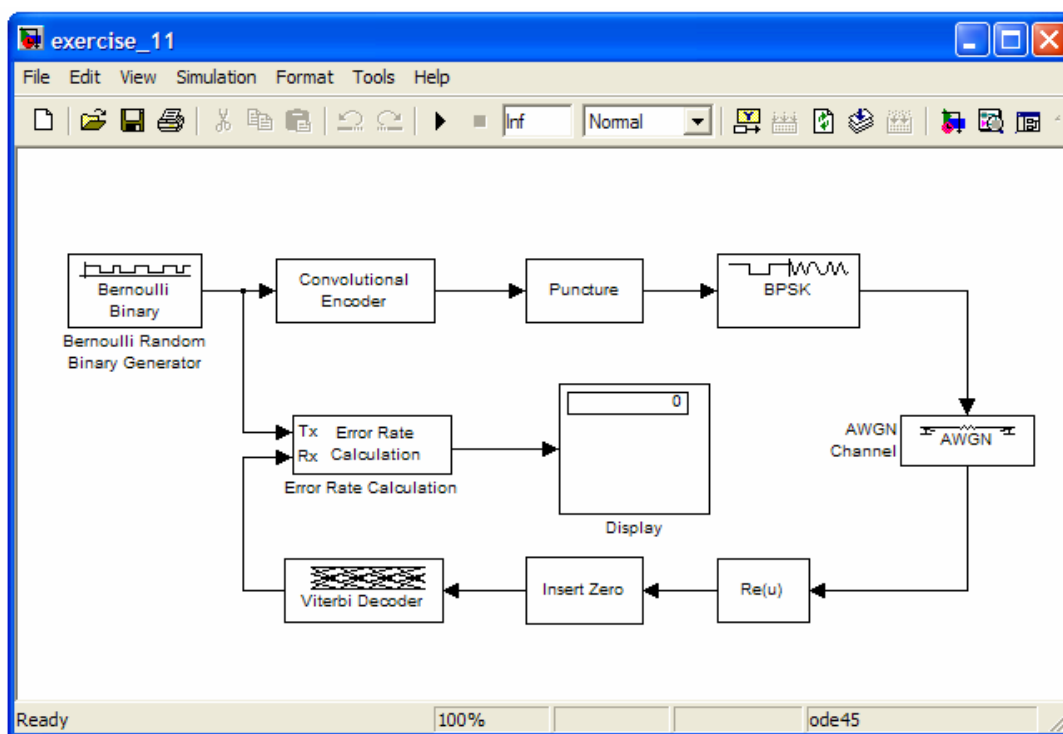
Σχ. 70. Παράδειγμα συνελκτικού κωδικοποιητή, ($K = 3$ και $\nu = 2$).

Μία σημαντική παράμετρος η οποία χρησιμοποιείται ευρέως για την ποσοτική περιγραφή της κωδικοποίησης στην απόδοση ενός συστήματος είναι το κέρδος κωδικοποίησης, [2]. Με τον όρο αυτό περιγράφεται ο αριθμός των dB κατά τα οποία μπορεί να μειωθεί ο λόγος σήματος ενέργειας bit προς φασματικής πυκνότητας ισχύος θερμικού θορύβου από την τιμή που απαιτείται όταν δεν υπάρχει κωδικοποίηση και ο ρυθμός των εσφαλμένων bit παραμένει ο ίδιος.

Περαιτέρω ανάλυση της διαδικασίας συνελκτικής κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης ξεφεύγει από τα όρια της παρούσας. Για περισσότερες πληροφορίες μπορεί κανείς να καταφύγει στην προτεινόμενη βιβλιογραφία, [1-2],[20-21], και κυρίως στις [2], [21].

ΜΟΝΤΕΛΟ:

Στο παρόν μοντέλο, βλ. Σχ. 71, μελετούμε την συμπεριφορά ενός BPSK πομποδέκτη παρουσία θερμικού θορύβου όταν χρησιμοποιούμε συνελκτική κωδικοποίηση. Ειδικότερα θα μελετηθεί η βελτίωση της απόδοσης του συστήματος, βελτίωση που οφείλεται στο σχήμα συνελκτικής κωδικοποίησης – αποκωδικοποίησης που εφαρμόζουμε και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του κωδικοποιητή και αποκωδικοποιητή.

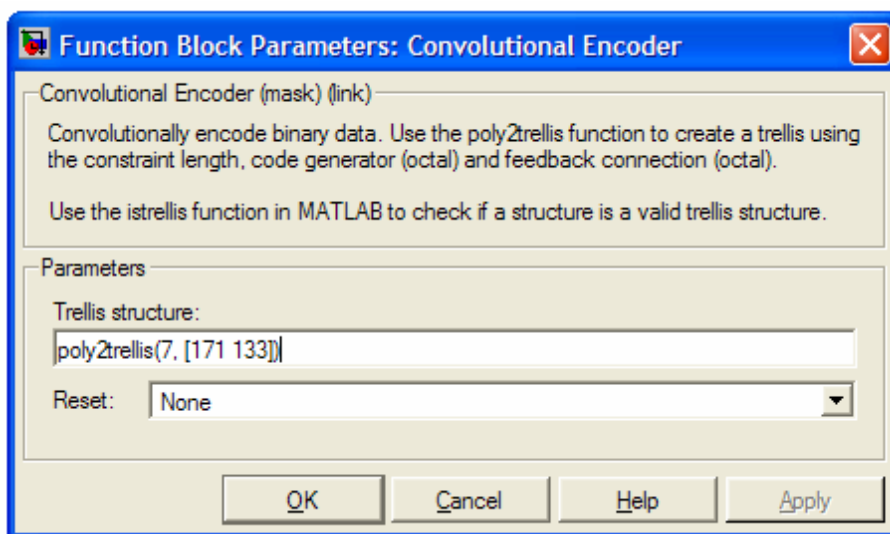


Σχ. 71: Μοντέλο μελέτης BPSK πομποδέκτη με χρήση συνελκτικής κωδικοποίησης.

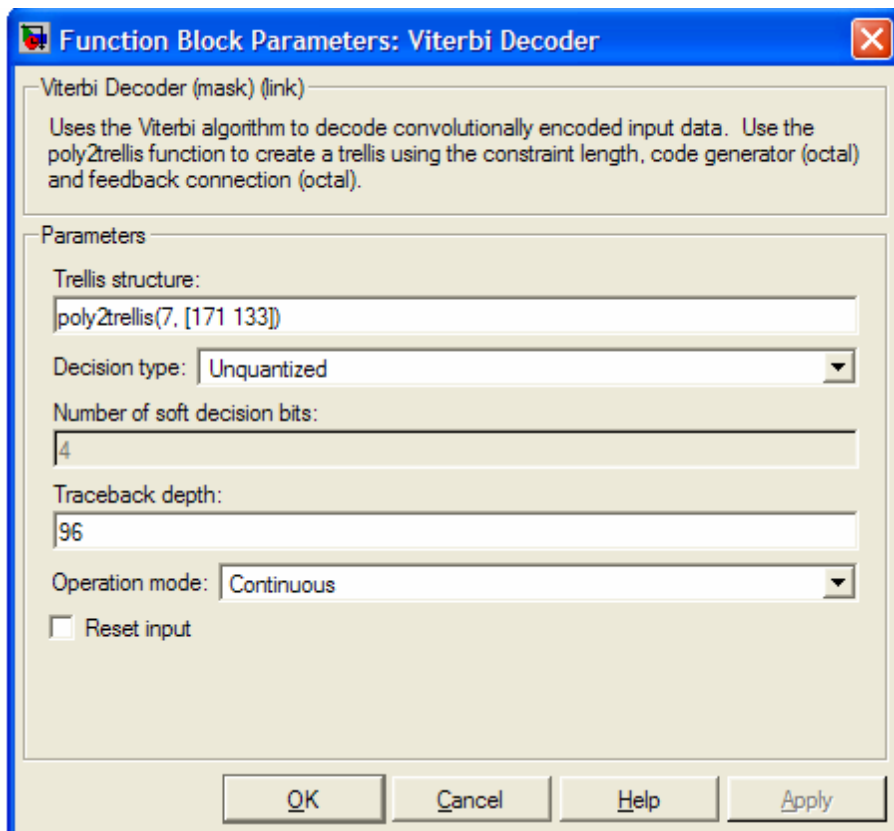
Τα χαρακτηριστικά της κωδικοποίησης – αποκωδικοποίησης καθορίζονται από την επιλογή Trellis structure που εμφανίζεται τόσο στο μπλοκ του συνελκτικού κωδικοποιητή, Convolutional Encoder, όσο και του αποκωδικοποιητή ο οποίος στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ένας αποκωδικοποιητής Viterbi, Viterbi decoder, βλ.

Σχ. 72 και 73, (εννοείται ότι εισάγουμε την ίδια επιλογή παραμέτρου στον κωδικοποιητή και στον αποκωδικοποιητή). Με τη χρήση ως παραμέτρου την $\text{poly2trellis}(K,[b,c])$ εννοούμε ένα σχήμα συνελκτικής κωδικοποίησης – αποκωδικοποίησης με K βαθμίδες όταν αναφέρεται στον κωδικοποιητή και μήκος περιορισμού δηλαδή αριθμό στοιχείων μνήμης K όταν αναφερόμαστε στον αποκωδικοποιητή Trellis. Με b και c δίνονται σε οκταδική μορφή, [22], τα χαρακτηριστικά πολυώνυμα που περιγράφουν τους κωδικοποιητές, [21], [23].

Η όλη εργασία έγκειται στην πραγματοποίηση μιας σειράς προσομοιώσεων στις οποίες θα αλλάζουν τα χαρακτηριστικά των κωδικοποιητών – αποκωδικοποιητών και η μελέτη της επίδρασης αυτών των αλλαγών στην απόδοση του συστήματος. Θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι βασικές αρχές υπολογισμού σφάλματος για τις οποίες έχει γίνει λόγος στην προηγούμενη άσκηση.



Σχ. 72: Μενού καθορισμού παραμέτρων μπλοκ Convolutional Encoder.



Σχ. 73: Μενού καθορισμού παραμέτρων μπλοκ Viterbi Decoder.

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ:

1. Να κατασκευαστούν διαγράμματα πιθανότητας λανθασμένων bit, P_e , σαν συνάρτηση του λόγου $\frac{E_b}{N_0}$, (εκφρασμένων σε dB), για $\frac{E_b}{N_0} = 1, 2, \dots, 15\text{dB}$ για τις περιπτώσεις BPSK χωρίς κωδικοποίηση και με κωδικοποίηση για $K = 1, 2, \dots, 10$ όπου K το πλήθος καταχωρητών στον κωδικοποιητή και το μήκος περιορισμού στον αποκωδικοποιητή. Κάθε καμπύλη θα αποτελεί το αποτέλεσμα 10 τουλάχιστον προσομοιώσεων σε κάθε μία από τις οποίες θα έχει έχουν επιλεγεί αυθαίρετα διαφορετικές τιμές χαρακτηριστικών πολυωνύμων περιγραφής του κωδικοποιητή και του αποκωδικοποιητή, (στις περιπτώσεις βέβαια που κάτι τέτοιο είναι εφικτό). Να παρουσιαστούν τρεις οικογένειες καμπύλων, αυτή με την καλύτερη, τη χειρότερη και τη μέση πιθανότητα σφάλματος. Τι συμπεράσματα εξάγεται από τη μελέτη των παραπάνω;
2. Θεωρώντας τα αποτελέσματα του παραπάνω ερωτήματος και ειδικότερα τις μέσες τιμές, να υπολογίσετε για κάθε περίπτωση τιμής της παραμέτρου K το κέρδος κωδικοποίησης για τις περιπτώσεις $P_e = 10^{-3}$, $P_e = 10^{-4}$ και $P_e = 10^{-5}$. Να παρουσιάσετε τα αποτελέσματα με μορφή καμπύλων, ειδικότερα το κέρδος κωδικοποίησης σαν συνάρτηση με το K , για κάθε μία περίπτωση P_e , (οικογένεια τριών καμπύλων).

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ:

1. Έστω ο συνελκτικός κωδικοποιητής του Σχ. 70 και η παλμοσειρά δεδομένων 10110110101, Ποια η κωδικοποιημένη παλμοσειρά στην έξοδο του κωδικοποιητή; Να εξηγηθούν αναλυτικά κάθε βήμα.
2. Αφού έχετε παραγάγει την κωδικοποιημένη παλμοσειρά να εξηγηθεί αναλυτικά η διαδικασία αποκωδικοποίησης με χρήση αλγόριθμου Viterbi.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 12

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ DS/SS ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗ

Σκοπός της συγκεκριμένης άσκησης είναι η γνωριμία με τις βασικές αρχές της διαμόρφωσης διευρυμένου φάσματος SS, (*Spread Spectrum*), και ειδικότερα με τη διαμόρφωση διευρυμένου φάσματος ευθείας ακολουθίας, DS/SS, (*Direct Sequence / Spread Spectrum*). Ο λόγος για αυτή τη συγκεκριμένη προτίμηση είναι γιατί η συγκεκριμένη τεχνική πολλαπλής πρόσβασης χρησιμοποιείται στα συστήματα κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς το οποία θα αποτελέσουν και το σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί τα επόμενα χρόνια. Ειδικότερα θα παρουσιαστεί ένα σύστημα πομποδέκτη ενός μόνο χρήστη παρουσία θερμικού θορύβου και πολλαπλών οδεύσεων. Το συγκεκριμένο θέμα θεωρείται αρκετά προχωρημένο για τη συγκεκριμένη εργασία. Θα δοθεί περισσότερο βάρος στην παρουσίαση ορισμένων θεωρητικών θεμάτων και θα καταβληθεί προσπάθεια να καταστεί εφικτή μια ποιοτική τουλάχιστον αντιμετώπιση του θέματος. Σκοπός της παρούσας είναι με την ολοκλήρωση της οι σπουδαστές να έχουν κατανοήσει ορισμένες από τις βασικές αρχές της διαμόρφωσης διευρυμένου φάσματος ευθείας ακολουθίας.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ:

Ο όρος διεύρυνση φάσματος, (*Spread Spectrum*, SS), έχει εισαχθεί προ δεκαετιών και έχει βρει πλήθος εφαρμογών σε τηλεπικοινωνιακά κυρίως συστήματα, [1-2], [17], [24-26]. Η βασική ιδέα έγκειται στη διαμόρφωση ενός ήδη διαμορφωμένου σήματος με τρόπο τέτοιο ώστε να παραχθεί μία κυματομορφή διευρυμένου φάσματος. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του παραγόμενου σήματος είναι η περιορισμένη παρεμβολή που προκαλεί σε οποιοδήποτε άλλο σήμα που λειτουργεί ταυτόχρονα στην ίδια περιοχή συχνοτήτων, [2]. Σειρά εφαρμογών και πλεονεκτημάτων, [24], καθιστούν τη διαμόρφωση διευρυμένου φάσματος σαν την

πλέον ανταγωνιστική τεχνική κυρίως για τα ασύρματα συστήματα κινητών επικοινωνιών 3^{ης} γενιάς, [23], [27].

Τα συστήματα διευρυμένου φάσματος μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση την αρχιτεκτονική και τις τεχνικές διαμόρφωσης που χρησιμοποιούν. Οι δύο κυριότερες κατηγορίες είναι οι παρακάτω:

- Διεύρυνση φάσματος ευθείας ακολουθίας, (DS), [1-2], [17], [24-26], η οποία είναι και αυτή που βρίσκει τις περισσότερες εφαρμογές στις τηλεπικοινωνίες και αποτελεί αντικείμενο της παρούσας άσκησης.
- Διεύρυνση φάσματος με άλματα συχνότητας, (FH). Διακρίνονται οι περιπτώσεις της αργής, (*Slow Frequency Hopping*, SFH), και της γρήγορης, (*Fast Frequency Hopping*, FFH), διεύρυνσης, [1-2], [17], [24].

Η τεχνική διεύρυνσης φάσματος ευθείας ακολουθίας είναι κατά βάση μία τεχνική διαμόρφωσης πλάτους. Η αρχή λειτουργίας της έγκειται στη διαμόρφωση του πλάτους ενός ήδη διαμορφωμένου ψηφιακού σήματος από έναν συρμό δυαδικών παλμών NRZ, (*Non – Return to Zero*), υψηλότερου, σε σχέση με το σήμα πληροφορίας, ρυθμού, [1-5], [17], [20], [24-26]. Θεωρώντας αρχικά BPSK ψηφιακή διαμόρφωση το υπό διεύρυνση σήμα δίνεται από την έκφραση

$$s(t) = \text{Re}\{\sqrt{2P}b(t)e^{j2\pi f_0 t}\} \quad (17)$$

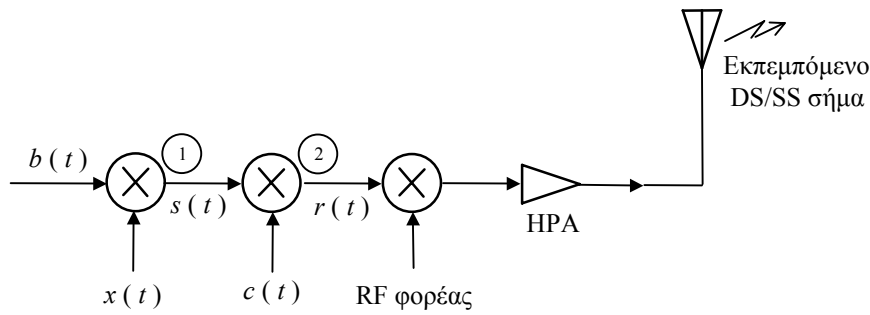
όπου $b(t)$ η παλμοσειρά των bit εισόδου και $\sqrt{2P}e^{j2\pi f_0 t}$ η μιγαδική παράσταση του κατά BPSK διαμορφωμένου αρχικού σήματος, ισχύος P και συχνότητας διαμόρφωσης f_0 . Με $\text{Re}\{\cdot\}$ συμβολίζεται το πραγματικό τμήμα της μιγαδικής έκφρασης. Το DS/SS σήμα είναι:

$$r(t) = \text{Re}\{\sqrt{2P}c(t)b(t)e^{j2\pi f_0 t}\} \quad (18)$$

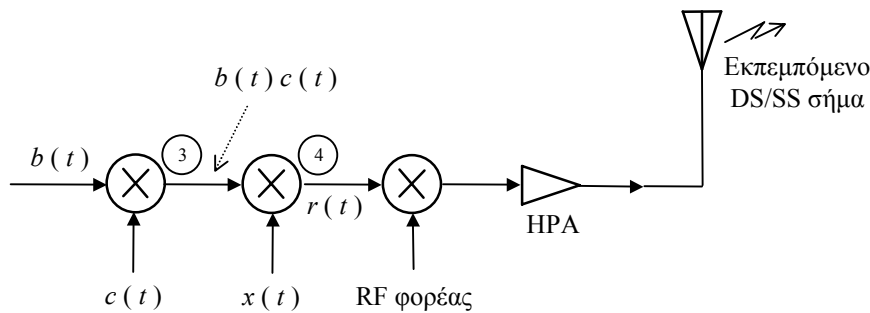
όπου $c(t)$ η παραγόμενη με αιτιοκρατικό τρόπο, δυαδική ακολουθία χαρακτηριζόμενη ως ακολουθία διεύρυνσης, (*spread sequence*). Η ψηφιακή διαμόρφωση μπορεί να προπορεύεται ή να έπεται του πολλαπλασιασμού των δεδομένων εισόδου με την ακολουθία διεύρυνσης. Στα Σχ. 74 και 75 δίνονται τα

διαγράμματα βαθμίδων ενός στοιχειώδους DS/SS πομπού με διαμόρφωση BPSK πριν και μετά τη διεύρυνση.

Στο Σχ. 74 η ακολουθία των δεδομένων εισόδου διαμορφώνεται από το φέρον $x(t)$ και προκύπτει η BPSK κυματομορφή, ①, της (17). Αυτή διαμορφώνεται από την ακολουθία διεύρυνσης και δίνει τελικά την DS/SS έξοδο, ②, της (18). Η διαφοροποίηση στο δέκτη του Σχ. 75 έγκειται στο ότι τα δεδομένα της ακολουθίας εισόδου πρώτα πολλαπλασιάζονται με την ακολουθία διεύρυνσης, ③, και κατόπιν διαμορφώνονται από το φορέα $x(t)$. Τελικά προκύπτει το DS/SS BPSK σήμα, ④, το οποίο δεν εμφανίζει καμία διαφορά σε σχέση με το παραγόμενο από την προηγούμενη υλοποίηση σήμα.



Σχ. 74. Διάγραμμα βαθμίδων στοιχειώδους DS/SS-BPSK πομπού με διαμόρφωση πριν τη διεύρυνση.

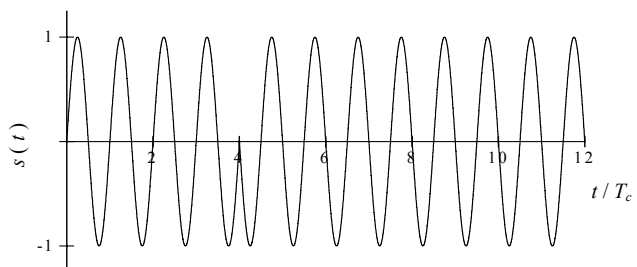
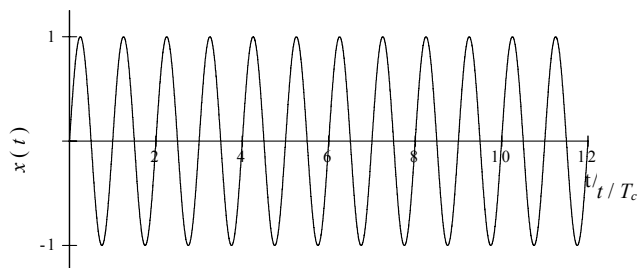
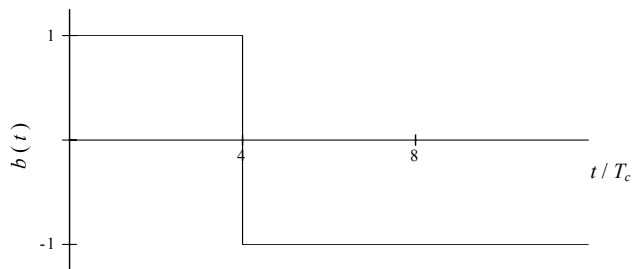


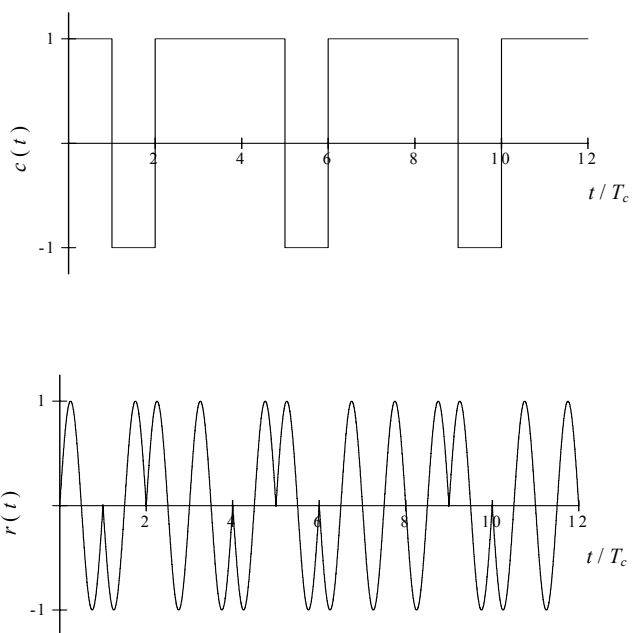
Σχ. 75. Διάγραμμα βαθμίδων στοιχειώδους DS/SS-BPSK πομπού με διαμόρφωση μετά τη διεύρυνση.

Στα Σχ. 76 και 77 δίνονται οι σχετικές με τους πομπούς των Σχ. 74 και 75 αντίστοιχα, κυματομορφές. Ως αρχικό σήμα θεωρείται το $b(t) = \{1, -1, -1\}$, ρυθμού R_b . Η ακολουθία διεύρυνσης είναι η $c(t) = \{1, -1, 1, 1\}$ με ρυθμό ίσο με $R_c = 4R_b$. Για λόγους απλότητας η συχνότητα διαμόρφωσης του IF-φορέα $x(t)$ λαμβάνεται ίση με

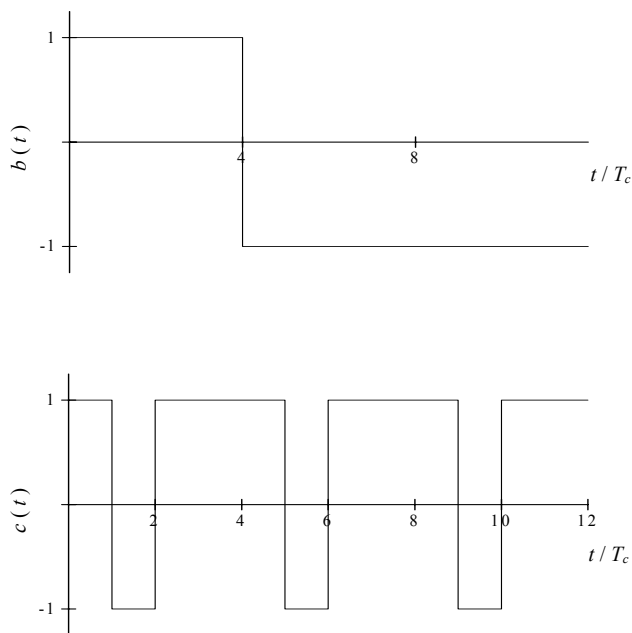
$f_0 = 1/T_c$, όπου $T_c = 1/R_c$ η περίοδος των παλμών της ακολουθίας διεύρυνσης, ενώ τα πλάτη των δεδομένων, των chip και του ημιτονικού φορέα θεωρούνται κανονικοποιημένα στη μονάδα.

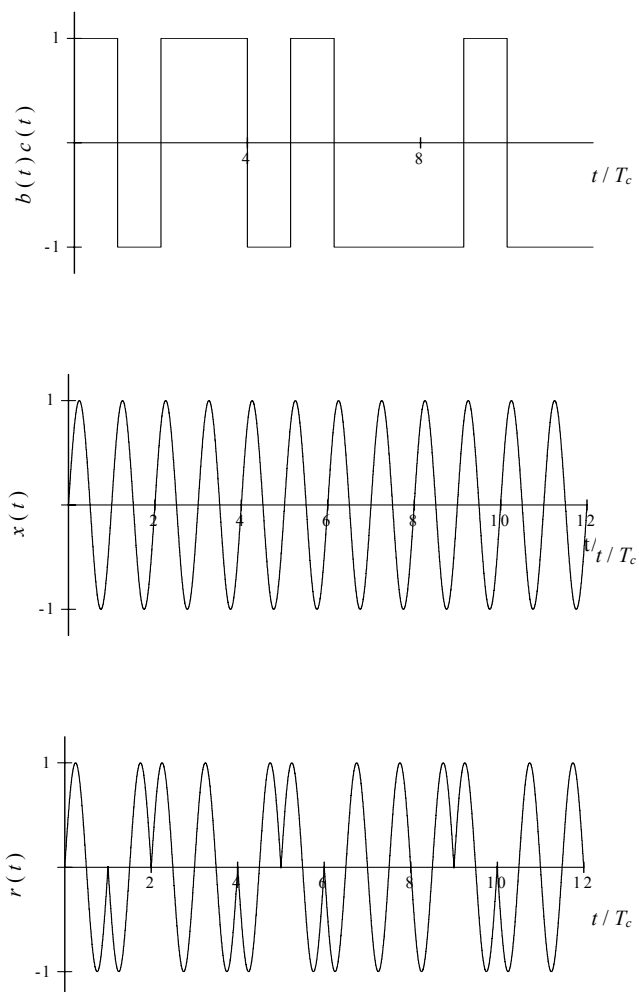
Μία σημαντική παράμετρος ενός συστήματος διευρυμένου φάσματος είναι το κέρδος επεξεργασίας, (*Processing Gain, PG*). Αυτό ορίζεται ως το πηλίκο του λόγου του σήματος προς θόρυβο S/N_0 , ή του λόγου του σήματος προς τις παρεμβολές S/I , εξόδου, προς το αντίστοιχο της εισόδου. Πρακτικά το κέρδος επεξεργασίας ισούται με το λόγο του ρυθμού της ακολουθίας διεύρυνσης προς το ρυθμό των δεδομένων εισόδου.





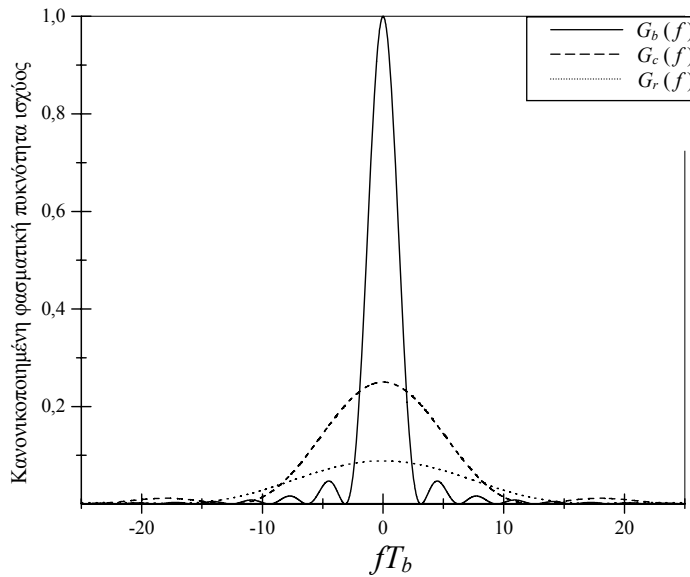
Σχ. 76. Επιμέρους κομματομορφές στον DS/SS πομπό του Σχ. 73.





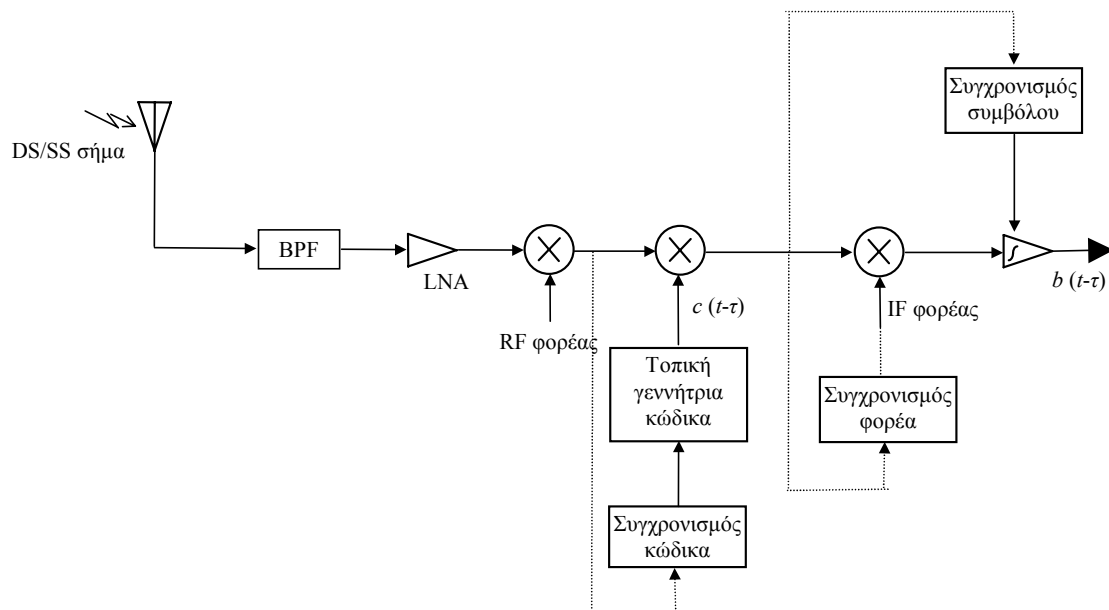
Σχ. 77. Επιμέρους κυματομορφές στον DS/SS πομπό του σχήματος 74.

Στο Σχ. 78 απεικονίζονται τα κανονικοποιημένα φασματικά διαγράμματα της ακολουθίας εισόδου $G_b(f)$, της ακολουθίας διεύρυνσης $G_c(f)$ και του τελικού DS/SS BPSK σήματος $G_r(f)$ για την περίπτωση της προηγούμενης εφαρμογής. Από το σχήμα είναι προφανής η διεύρυνση του φάσματος του DS/SS σήματος σε σχέση με το φάσμα της αρχικής αδιαμόρφωτης πληροφορίας η οποία συνοδεύεται και με ελάττωση της φασματικής πυκνότητας ισχύος του. Αυτή είναι και η αιτιολογία της δυσκολότερης ανίχνευσης του.



Σχ. 78: Κανονικοποιημένες φασματικές πυκνότητες ισχύος της ακολουθίας εισόδου $G_b(f)$, της ακολουθίας διεύρυνσης $G_c(f)$ και του DS/SS-BPSK σήματος $G_r(f)$ για $PG = 4$ και $f_0 = R_c$.

Στο Σχ. 79 δίνεται το διάγραμμα βαθμίδων ενός στοιχειώδους DS/SS δέκτη. Ιδιάζουσα σημασία μονάδα του δέκτη είναι η βαθμίδα συγχρονισμού κώδικα. Αναλυτικές πληροφορίες για αυτή τη βαθμίδα μπορούν να βρεθούν στις [2], [24]. Στην πραγματικότητα τόσο ο πομπός αλλά κυρίως ο δέκτης ενός πραγματικού συστήματος DS/SS εμφανίζουν αρκετές διαφορές από τις προηγούμενες υλοποιήσεις.



Σχ. 79: Διάγραμμα βαθμίδων στοιχειώδους DS/SS-BPSK δέκτη.

Ένα βασικό μειονέκτημα το οποίο δεν επιτρέπει τη χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου δέκτη σε ένα ασύρματο σύστημα επικοινωνιών είναι το φαινόμενο των πολλαπλών οδεύσεων κατά το οποίο το ένα σήμα φθάνει στο δέκτη μέσω περισσότερων της μίας διαδρομής, [1], [17], [24-26]. Η χρησιμοποίηση δεκτών RAKE αποτελεί την πλέον ενδεδειγμένη λύση για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος. Σε γενικές γραμμές ένας δέκτης RAKE αποτελείται από συσχετιστές γνωστούς και ως ρευματολήπτες ή κλάδους ο ρόλος των οποίων είναι η συλλογή των σημάτων από τις πολλαπλές διαδρομές, [17], [25]. Με αποδιεύρυνση χρονικά καθυστερημένων αντιγράφων του λαμβανόμενου σήματος και τον κατάλληλο στη συνέχεια συνδυασμό τους επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα.

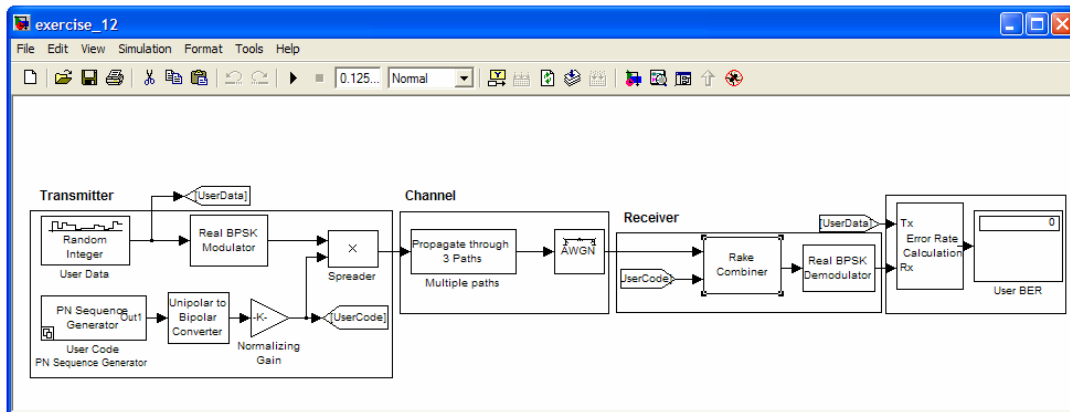
ΜΟΝΤΕΛΟ:

Στο Σχ. 80 παρουσιάζεται το χρησιμοποιούμενο μοντέλο προσομοίωσης του DS/SS πομποδέκτη. Ο ρυθμός των δεδομένων πληροφορίας είναι 19.2kbps και το κέρδος επεξεργασίας λαμβάνεται ίσο με $N = 63$. Αυτό σημαίνει ότι ο ρυθμός των chip ισούται με 1209.6kbps. Η ακολουθία διεύρυνσης είναι μια απλή ψευδοτυχαία, PN, ακολουθία. Η ψηφιακή διαμόρφωση είναι BPSK. Θεωρούμε διάδοση σε περιβάλλον πολλαπλών οδεύσεων με διάδοση σε τέσσερα διαφορετικά μονοπάτια.

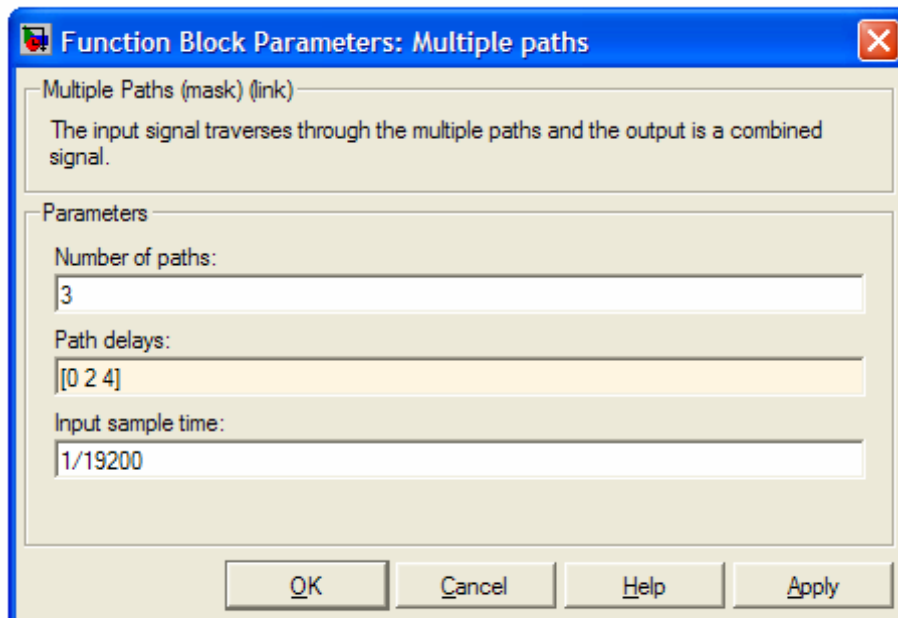
Στο Σχ. 81 δίνονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του καναλιού των πολλαπλών οδεύσεων, μενού καθορισμού παραμέτρων μπλοκ. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θεωρούμε τρία κανάλια πολλαπλών οδεύσεων. Στο κανάλι διάδοσης προστίθεται λευκός προσθετικός θόρυβος AWGN. Στο δέκτη το λαμβανόμενο σήμα εισάγεται σε δέκτη RAKE 3 κλάδων, βλ. Σχ. 82. Το συγκεκριμένο μοντέλο προκύπτει κάνοντας δεξί κλικ έχοντας επιλεγμένο το μπλοκ Rake Combiner και επιλέγοντας Look Under Mask. Στο δέκτη τα επιμέρους κανάλια συνδυάζονται με ίση απολαβή, περίπτωση EGC, (*Equal Gain Combining*), δέκτη, [25], [28]. Η έξοδος του δέκτη RAKE αποδιαμορφώνεται κατά BPSK. Θεωρούμε ότι ο δέκτης έχει γνώση της ακολουθίας διεύρυνσης του χρήστη.

Το χαρακτηριστικό της μελέτης στη παρούσα άσκηση είναι ότι θα μελετήσουμε τα χαρακτηριστικά, την απόδοση και τις δυνατότητες βελτίωσης της

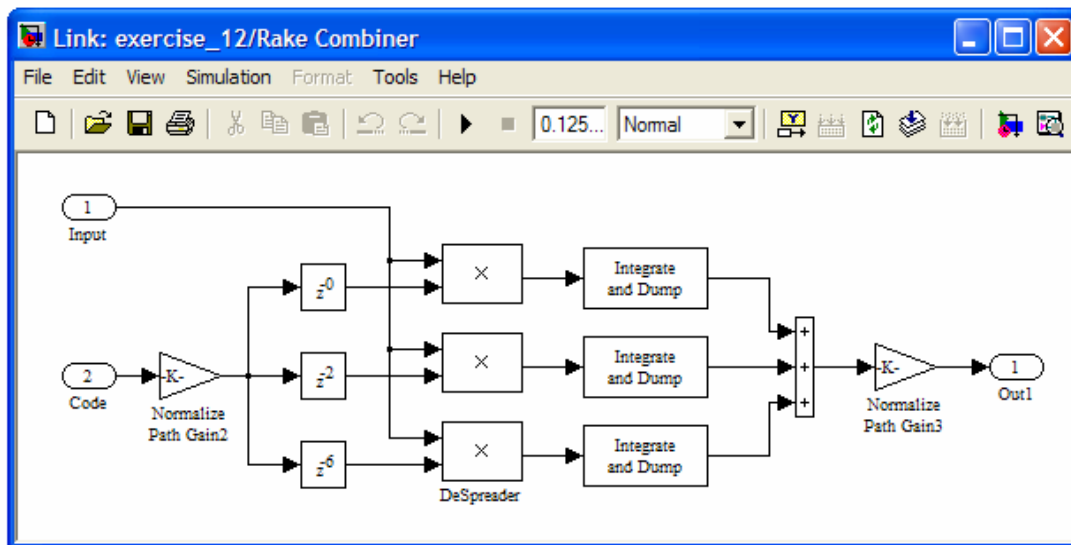
απόδοσης του συστήματος. Η μελέτη θα αφορά αλλαγές παραμέτρων και υπολογισμό σε κάθε μία περίπτωση της πιθανότητας σφάλματος.



Σχ. 80: Μοντέλο μελέτης BPSK πομποδέκτη με χρήση συνελκτικής κωδικοποίησης.



Σχ. 81: Μενού καθορισμού παραμέτρων μπλοκ Multiple paths.



Σχ. 82: Μοντέλο δέκτη EGC – Rake.

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ:

Στο τμήμα αυτό της εργασίας θα σας ζητηθεί μεταβάλλοντας μία σειρά χαρακτηριστικών του πομποδέκτη να μελετήσετε την επίδραση τους στην απόδοση του συστήματος. Καλό θεωρείται σε κάθε μία περίπτωση οι απαντήσεις να συνοδεύονται με σχετικά διαγράμματα.

1. Μελετήστε την επίδραση της μεταβολής του κέρδους επεξεργασίας στην απόδοση του δέκτη. Για αυτή την αλλαγή θα πρέπει να κάνετε τις κατάλληλες αλλαγές στις επιλογές Sample Time και Samples per frame στο μπλοκ PN Sequence Generator καθώς και στην επιλογή Samples to integrate στο μπλοκ Rake Combiner. Τι συμπεράσματα εξάγετε; Τι υποδηλώνει κάθε μία από τις τρεις παραπάνω αλλαγές;
2. Μελετήστε την επίδραση της μεταβολής του ρυθμού δεδομένων εισόδου στην απόδοση του δέκτη. Για την αλλαγή του ρυθμού δεδομένων θα πρέπει να κάνετε τις κατάλληλες αλλαγές στην επιλογή Sample Time στα μπλοκ Random Integer, PN Sequence Generator και Multiple paths. Τι συμπεράσματα εξάγετε; Τι υποδηλώνει κάθε μία από τις τρεις παραπάνω αλλαγές;
3. Μελετήστε την επίδραση της μεταβολής του πλήθους των πολλαπλών οδεύσεων στην απόδοση του δέκτη. Για την αλλαγή αυτή θα πρέπει να κάνετε τις κατάλληλες αλλαγές στις επιλογές Number of paths και Path delays στο μπλοκ Multiple paths. Τι συμπεράσματα εξάγετε;
4. Μελετήστε την επίδραση του λόγου σήματος προς θόρυβο, παράμετρος SNR του μπλοκ AWGN, στην επίδραση της απόδοσης του συστήματος. Τι συμπεράσματα εξάγετε;
5. Να μελετηθεί η περίπτωση καναλιού με τρεις πολλαπλές οδεύσεις όταν ο δέκτης έχει τους κλάδους διευθετημένους με διαφορετικές διευθετήσεις, (διαφορετικές τιμές στην παράμετρο Path delays του

μπλοκ Multiple paths και Delay vector του μπλοκ Rake Combiner). Τι συμπεράσματα εξάγετε;

6. Να μελετηθεί η επίδραση του πλήθους των κλάδων του δέκτη Rake στην απόδοση του συστήματος. Για αυτό το λόγο πρέπει να κάνετε δεξί κλικ στο μπλοκ Rake Combiner και να επιλέξετε το Look Under Mask. Στο μοντέλο που θα εμφανιστεί κάνετε τις απαραίτητες αλλαγές. Τι συμπεράσματα εξάγετε;

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ:

1. Να σχεδιάσετε αντίστοιχες με των Σχ. 76 και 77 κυματομορφές θεωρώντας ως αρχικό σήμα θεωρείται το $b(t) = \{-1, -1, 1\}$ και ακολουθία διεύρυνσης την $c(t) = \{1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1\}$. Ο ρυθμός της ακολουθίας διεύρυνσης είναι οχταπλάσιος του ρυθμού δεδομένων. Θεωρείστε δύο περιπτώσεις συχνότητας διαμόρφωσης του IF-φορέα, την πρώτη φορά ίση με $f_0 = 1/T_c$ και τα δεύτερη ίση με $f_0 = 2/T_c$. Υπενθυμίζεται ότι T_c είναι ο ρυθμός των chip.
2. Για τις περιπτώσεις του ερωτήματος 1 να σχεδιάσετε αντίστοιχες με του Σχ. 78 κυματομορφές.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ασχοληθήκαμε με την παρουσίαση, ανάπτυξη και επεξεργασία μίας σειράς ασκήσεων προσομοίωσης ψηφιακών τηλεπικοινωνιών στο περιβάλλον προσομοίωσης Simulink που περιλαμβάνεται στο λογισμικό πακέτο Matlab. Σκοπός της εργασίας ήταν το συγκεκριμένο σετ ασκήσεων να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εκπαιδευτικό υλικό για τις ανάγκες ενός θεωρητικού η πειραματικού μαθήματος με αντικείμενο τις ψηφιακές τηλεπικοινωνίες.

Κάθε άσκηση συμπεριελάμβανε σύντομη θεωρία, σκοπός της οποίας δεν ήταν η υπερκάλυψη του αντίστοιχου κεφαλαίου του θεωρητικού μαθήματος, αλλά να αποτελέσει μία σύντομη αναφορά ικανή να βοηθήσει το σπουδαστή στην καλύτερη κατανόηση του αντικειμένου της προσομοίωσης. Υπήρχε η παρουσίαση του μοντέλου, σειρά διαγραμμάτων και λοιπών αποτελεσμάτων ενδεικτικών για τον τρόπο λειτουργίας και χρήσης του ενώ ολοκληρώνονταν με ενδεικτική παρουσίαση εργασιών τις οποίες θα μπορούσε να πραγματοποιήσει ο σπουδαστής. Στο τέλος κάθε άσκησης υπήρχε σειρά ερωτήσεων απαραίτητων για την πλήρη κατανόηση του αντικειμένου.

Η πλούσια βιβλιογραφία που παρατίθεται στο τέλος της εργασίας μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο για την καλύτερη και ολοκληρωμένη κατανόηση των επιμέρους θεμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] A. Bateman, *Digital Communications*, Addison Wesley Longman, 1999.
- [2] H. Taub and D. L. Schilling, *Principles of Communications Systems*, McGraw-Hill, Inc., 1986, (Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα, Ελληνική Έκδοση, Α. Τζιόλα Ε.).
- [3] P. H. Young, *Electronic Communications Techniques*, 5th ed., Prentice Hall, 2003.
- [4] L. H. Frenzel, *Principles of Electronic Communications Systems*, 2nd ed., McGraw-Hill, 2002.
- [5] Α. Αλεξόπουλος, και Γ. Λαγογιάννης, *Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών*, 6^η έκδοση, Αφοι Ροή Α.Ε., 2003.
- [6] W. -K. Chen, ed., *The VLSI Handbook*, CRC Press LLC, 2000.
- [7] M. C. Jeruchim, P. Balaban, and K. S. Shanmugan, *Simulation of Communication Systems: Modeling, Methodology, and Techniques*, 2nd ed., Kluwer Academic / Plenum Publishers, 2000.
- [8] The MathWorks, *MATLAB, The Language of Technical Computing*, version 6, The MathWorks, Inc., 2001.
- [9] <http://www.mathworks.com>
- [10] V. Sundaramurth, *A Software Simulation Testbed for CDMA Wireless Communication Systems*, MSc Thesis, Rice University, USA, 1999.
- [11] C. B. Rorabaugh, *Digital Filter Designer's Handbook*, McGraw-Hill, Inc., 1993.
- [12] V. K. Madisetti and R. Williams, *Digital Signal Processing Handbook*, CRC Press, 1999.
- [13] E. Chu and A. George, *Inside the FFT Black Box: Serial and Parallel Fast Fourier Transform Algorithms*, CRC Press, 2000.
- [14] M. R Spiegel, *Mathematical Handbook of Formulas and Tables*, McGraw-Hill, Inc., 1968, (Μαθηματικό Τυπολόγιο, Ελληνική Έκδοση, ΕΣΠΠ, 1976).
- [15] Κ. Α. Καρύμπακας, *Γενική Ηλεκτρονική*, τόμος Β, Π. Ζήτη, 1990.
- [16] B. P. Lathi, *Linear Systems and Signals*, 2nd ed., Oxford University Press, Inc., 2005.
- [17] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 4th ed., McGraw-Hill, Inc., 2001.
- [18] G. N. Watson, *Theory of Bessel Functions*, Cambridge University Press, 1922.

- [19] A. Annamalai, C. Tellambura, and V. K. Bhargava, "Equal-gain diversity receiver performance in wireless channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 48, pp. 1732-1745, Oct. 2000.
- [20] A. B. Carlson, P. B. Crilly, and J. C. Ruttledge, *Communications Systems: An Introduction to Signals and Noise in Electrical Engineering*, 4th ed., McGraw-Hill, 2001.
- [21] S. B. Wicker, *Error Control Systems for Digital Communication and Storage*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1995.
- [22] Π. Λιναρδής και Ι. Βλαχάβας, *Σημειώσεις Δομής και Προγραμματισμού Υπολογιστών*, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., 1991.
- [23] R. Prasad, *Universal Wireless Personal Communications*, Artech House, 1998.
- [24] K. Feher, *Wireless Digital Communications: Modulation and Spread Spectrum Applications*, Prentice-Hall PTR, 1995.
- [25] J. S. Lee and L. E. Miller, *CDMA Systems Engineering Handbook*, Artech House, 1998.
- [26] S. C. Yang, *CDMA RF System Engineering*, Artech House, 2002, (electronic version).
- [27] <http://www.umts-forum.org>
- [28] M. Alouini and M. K. Simon, "Performance analysis of coherent equal gain combining over Nakagami-m fading channels," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 50, pp. 1449-1463, Nov. 2001.