ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΣΕΡΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ & ΔΙΚΤΥΩΝ

Πολυμέρης Κωνσταντίνος

Διπλ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχανικός Η/Υ Α.Π.Θ

Ε Ρ Γ Α Σ Τ Η Ρ Ι Ο

Ε Π Ι Κ Ο Ι Ν Ω Ν Ι Ε Σ ΙΙ

ΠΡΩΤΗ ΕΚΔΟΣΗ

Σέρρες 2008

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΙΙ

Πολυμέρης Κωνσταντίνος

Διπλ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχανικός Η/Υ Α.Π.Θ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΙΙ

ΠΡΩΤΗ ΕΚΔΟΣΗ

Σέρρες 2008

«Με ενδιαφέρουν νέοι άνθρωποι με ευαισθησία που ανιχνεύουν, που ανακαλύπτουν κάτι, που ζουν κάθε εποχή. Αυτοί με ενδιαφέρουν και σε αυτούς απευθύνομαι. Από αυτούς θα προκύψει η νέα ουσιαστική ΕΛΛΑΔΑ»

Μάνος Χατζιδάκις

Περιεχόμενα

Πρόλογος ……..……1

Τεχνικά χαρακτηριστικά ……..…… ……2

Άσκηση 1η – Σειριακή Εκπομπή & Λήψη Ψηφιακών Δεδομένων ……..……....3

Άσκηση 2η – Φίλτρα Διέλευσης Ζώνης Συχνοτήτων (***Band-Pass Filter***)…….....21

Modem & Μέθοδοι Διαμόρφωσης …...…….……...41

Άσκηση 3η – ***ASK*** Μεταλλαγή Μετατόπισης Πλάτους ……..…..……...45

Άσκηση 4η – ***FSK*** Μεταλλαγή Μετατόπισης Συχνότητας ……61

Άσκηση 5η – ***BPSK*** Δυαδική Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης ……..……72

Άσκηση 6η – ***DPSK*** Διαφορική Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης ..……84

Άσκηση 7η – ***QPSK*** Ορθογωνική Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης ……94

Παράρτημα……..…….……106

Αναφορές Εργαστηρίων……107

Millimetré Ασκήσεων……...115

Πρόλογος

Μέχρι πρόσφατα, όταν λέμε επικοινωνίες, εννοούμε το ράδιο, το τηλέφωνο και την τηλεόραση. Σήμερα, η ποσότητα των επικοινωνιακών συστημάτων είναι τεράστια και διαρκώς αυξανόμενη, συμπεριλαμβανομένων των υπολογιστών, του internet, του έλεγχου εξ' αποστάσεως, της κινητής τηλεφωνίας κ.ά..

Στις μέρες μας χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο οι ψηφιακές επικοινωνίες. Αναλογικά σήματα, επίσης, μετατρέπονται σε δυαδικούς αριθμούς και μεταδίδονται υπό την μορφή ψηφιακών σημάτων. Ακόμη και η τηλεφωνική επικοινωνία είναι ψηφιακή ενώ σύντομα θα ακολουθήσουν το ραδιόφωνο και η τηλεόραση.

Με σκοπό να καλυφθούν τα ποικίλα θέματα ψηφιακών επικοινωνιών, το τμήμα ***Πληροφορικής & Επικοινωνιών*** του ***Α.Τ.Ε.Ι Σερρών*** διαθέτει ένα σύγχρονα εξοπλισμένο εργαστήριο εκπαίδευσης, για τους σπουδαστές του, στα πλαίσια του μαθήματος ***Επικοινωνίες ΙΙ***.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά TPS-3431

Η εκπαιδευτική μονάδα TPS-3431 είναι ένα μεταλλικό πλαίσιο, διαστάσεων 22x36cm, εντός του οποίου βρίσκεται κατάλληλη ηλεκτρονική πλακέτα με όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό και τις διασυνδέσεις για την εκτέλεση των εκπαιδευτικών ασκήσεων.

Στο πάνω μέρος της εκπαιδευτικής μονάδας υπάρχει πινακίδα στην οποία είναι σχεδιασμένα τα αναλυτικά κυκλώματα και τα σύμβολα των εξαρτημάτων, ενώ στο κεντρικό τμήμα της υπάρχουν τα μπλοκ διαγράμματα των κυκλωμάτων, τα σημεία ελέγχου καθώς και οι υποδοχές των καλωδίων.

Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα είναι τοποθετημένα στο πάνω και κάτω μέρος της μονάδας, καλυμμένα με ένα ανθεκτικό διάφανο προστατευτικό υλικό, ευδιάκριτα από τους σπουδαστές.

Το σύστημα περιέχει ένα ενσωματωμένο τροφοδοτικό με +12V, +5V και μεταβλητές εξόδους συνεχούς τάσης (DC). Τέλος, περιλαμβάνεται ένας χαμηλής τάσης (AC) προσαρμογέας για την τροφοδότηση του συστήματος.

ΑΣΚΗΣΗ 1η

ΑΣΚΗΣΗ 1η

Θεωρητικό μέρος:

Στοιχεία Επικοινωνίας Δεδομένων

Επικοινωνίες δεδομένων είναι η εκπομπή δυαδικής ή ψηφιακής πληροφορίας από ένα σημείο σε ένα άλλο. Τα συστήματα επικοινωνίας δεδομένων επιτρέπουν τη μεταφορά πληροφορίας μεταξύ Η/Υ και επίσης επιτρέπουν την απομακρυσμένη λειτουργία ενός υπολογιστή από ένα τερματικό. Επιπλέον, εφόσον κάθε τύπος σήματος μπορεί να ψηφιοποιηθεί, η εκπομπή φωνής, εικόνας, ή άλλης παραδοσιακά αναλογικής πληροφορίας σε δυαδική μορφή είναι επίσης γνωστή σαν επικοινωνία δεδομένων. Λόγω του χαμηλού κόστους και της αποτελεσματικότητας των ψηφιακών τεχνικών, οι επικοινωνίες δεδομένων χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο.

Τα ψηφιακά σήματα είναι δυαδικοί παλμοί που έχουν δυο δυαδικές καταστάσεις, που η καθεμιά παρίσταται από μια στάθμη τάσης. Οι παλμοί αλλάζουν με ταχύτητα μεταξύ αυτών των δυο σταθμών. Η μια στάθμη αναφέρεται σαν το δυαδικό 0 ή "low", και η άλλη αναφέρεται σαν το δυαδικό 1 ή "high". Η δυαδική στάθμη 0 μπορεί να είναι 0V ή γείωση και η δυαδική στάθμη 1 μπορεί να είναι +12V. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης οποιεσδήποτε άλλες δυο τάσεις.

Τα δυαδικά σήματα παράγονται και επεξεργάζονται εύκολα με τα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Οι δυαδικοί παλμοί συνήθως παράγονται και επεξεργάζονται από διακόπτες–transistor μεγάλης ταχύτητας. Οι διακόπτες αυτοί συνδέονται με πολλούς τρόπους για σχηματισμό ψηφιακών λογικών κυκλωμάτων. Αυτά τα ψηφιακά λογικά κυκλώματα διατίθενται σε μορφή IC (Integrated Circuit) και μπορούν να παράγουν και να επεξεργάζονται ψηφιακά δεδομένα σε υψηλές ταχύτητες.

Συνήθως τα δυαδικά σήματα αντιπροσωπεύουν δεδομένα ή πληροφορία. Συγκεκριμένα, τα δυαδικά σήματα είναι κώδικες αποτελούμενοι από ομάδες ή σχηματισμούς "0" και "1". Κάθε ομάδα αντιπροσωπεύει μια αριθμητική τιμή, ένα

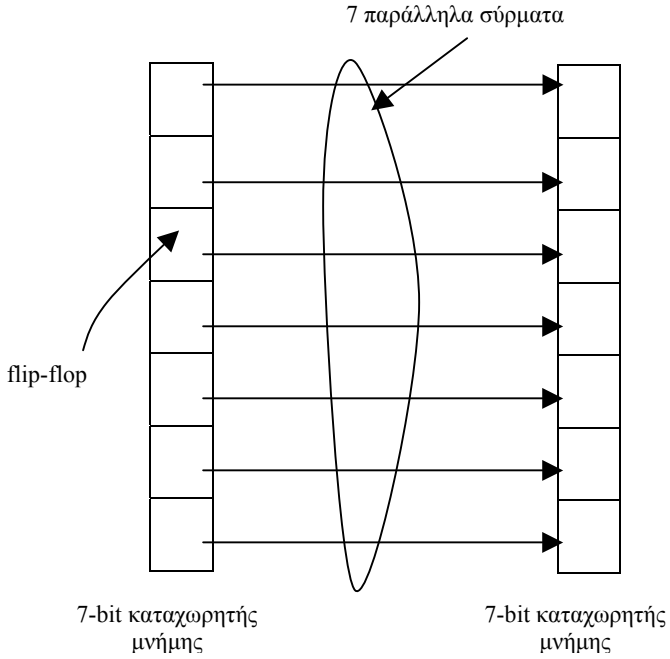
γράμμα της αλφαβήτου, ή κάποιο ειδικό σύμβολο, νόημα, ή μήνυμα. Τα ψηφιακά λογικά κυκλώματα επεξεργάζονται αυτά τα δεδομένα με διάφορους τρόπους.

Ο ευρύτερα χρησιμοποιούμενος κώδικας επικοινωνίας δεδομένων είναι ο ASCII. Αυτός είναι ένας δυαδικός κώδικας των 7 bits που χρησιμοποιείται για την παράσταση 128 αριθμών, γραμμάτων, σημείων στίξης, και άλλων συμβόλων. Ένας άλλος κώδικας παρόμοιος με τον ASCII είναι ο EBCDIC, που αναπτύχθηκε από την IBM. Είναι ένας κώδικας των 8 bits που επιτρέπει την παράσταση 256 χαρακτήρων. Αν και είναι ουσιαστικά ένας βελτιωμένος ASCII, η κύρια χρήση του είναι σε IBM και συμβατά με την IBM υπολογιστικά συστήματα και εξοπλισμούς.

Στις επικοινωνίες δεδομένων, συντίθενται μηνύματα χρησιμοποιώντας έναν από αυτούς τους κώδικες. Οι αριθμοί και τα γράμματα που πρόκειται να παρασταθούν κωδικοποιούνται συνήθως μέσω ενός πληκτρολογίου, και η δυαδική λέξη που παριστά κάθε χαρακτήρα αποθηκεύεται σε μια μνήμη υπολογιστή. Το μήνυμα μπορεί επίσης να αποθηκευτεί σε μαγνητική ταινία ή δίσκο. Ο σκοπός των επικοινωνιών δεδομένων είναι η μετάδοση αυτών των δεδομένων ή πληροφοριών από έναν τόπο σε έναν άλλον και όπως γνωρίζουμε υπάρχουν δυο βασικοί τρόποι μεταφοράς της δυαδικής πληροφορίας: παράλληλα και σειριακά.

Παράλληλη μετάδοση

Στην παράλληλη μετάδοση, όλα τα bits μιας κωδικής λέξης μεταφέρονται ταυτόχρονα. Η ιδέα αυτή απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Η δυαδική λέξη που πρόκειται να εκπεμφθεί φορτώνεται συνήθως σε έναν καταχωρητή που περιλαμβάνει ένα flip-flop για το κάθε bit. Οι έξοδοι των flip-flops συνδέονται η καθεμιά σε ένα σύρμα που μεταφέρει το bit στο κύκλωμα λήψης το οποίο συνήθως είναι ένας καταχωρητής αποθήκευσης. Όπως φαίνεται, στην παράλληλη επικοινωνία δεδομένων, υπάρχει ένα σύρμα για κάθε bit πληροφορίας που πρόκειται να μεταδοθεί. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα καλώδιο πολλαπλών συρμάτων. Πολλαπλές παράλληλες γραμμές που μεταφέρουν δυαδικά δεδομένα αναφέρονται συνήθως σαν δίαυλος δεδομένων.

Η παράλληλη μετάδοση δεδομένων είναι εξαιρετικά γρήγορη εφόσον όλα τα bits της λέξης δεδομένων μεταφέρονται ταυτόχρονα. Η ταχύτητα μετάδοσης περιορίζεται από την ταχύτητα των λογικών κυκλωμάτων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων. Τέτοιες μεταφορές δεδομένων μπορούν να χρειάζονται μόνο λίγα nsec σε πολλές εφαρμογές.

Η παράλληλη μετάδοση δεδομένων δεν είναι πρακτική για επικοινωνίες μακρινών αποστάσεων. Για μεταφορά μιας λέξης δεδομένων 8-bit από έναν τόπο σε έναν άλλον, χρειάζονται 8 χωριστά επικοινωνιακά κανάλια, ένα για κάθε bit. Αν και μπορεί να χρησιμοποιηθούν καλώδια πολλαπλών συρμάτων σε κοντινές αποστάσεις, για πρακτικές επικοινωνίες δεδομένων μακρινών αποστάσεων είναι μη πρακτικά λόγω του κόστους και της εξασθένισης του σήματος. Επίσης, η ασύρματη παράλληλη μετάδοση δεδομένων είναι πολυπλοκότερη και ακριβότερη.

Σειριακή μετάδοση

Οι μεταφορές δεδομένων στα επικοινωνιακά συστήματα γίνονται σειριακά. Κάθε bit της λέξης μεταδίδεται το ένα μετά το άλλο. Το λιγότερο σημαντικό bit (LSB) μεταδίδεται πρώτο ενώ το περισσότερο σημαντικό bit (MSB) τελευταίο. Ωστόσο, σε μερικές περιπτώσεις προηγείται το πλέον σημαντικό bit (MSB). Κάθε bit μεταδίδεται για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (t). Οι στάθμες τάσεις που παριστάνουν τα bits εμφανίζονται σε μια μόνο γραμμή δεδομένων η μια μετά την άλλη έως ότου να μεταδοθεί όλη η λέξη. Για παράδειγμα, η χρονική διάρκεια του bit μπορεί να είναι 1msec, το οποίο σημαίνει ότι η στάθμη τάσης για κάθε bit στη λέξη θα εμφανίζεται για 1msec. Επομένως, μια ASCII λέξη 7-bit θα χρειάζεται 7msec για να μεταδοθεί.

Λόγω της ακολουθιακής φύσης της σειριακής μετάδοσης δεδομένων, φυσιολογικά χρειάζεται περισσότερος χρόνος για να σταλούν δεδομένα με αυτόν τον τρόπο απ' ότι παράλληλα. Ωστόσο, με ένα λογικό κύκλωμα μεγάλης ταχύτητας, ακόμη και σειριακές μεταφορές δεδομένων μπορούν να πραγματοποιηθούν με πολύ μεγάλες ταχύτητες.

Στους περισσότερους υπολογιστές και άλλους ψηφιακούς εξοπλισμούς, τα δυαδικά δεδομένα μεταφέρονται μεταξύ των κυκλωμάτων παράλληλα. Όταν όμως μεταδίδονται σε μακρινές αποστάσεις στέλνονται σειριακά. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να υπάρχουν τεχνικές για μετατροπή της παράλληλης σε σειριακή μετάδοση καθώς και της σειριακής σε παράλληλη. Τέτοιες μετατροπές δεδομένων συνήθως πραγματοποιούνται από καταχωρητές ολίσθησης οι οποίοι, στην ουσία, είναι ένα ακολουθιακό λογικό κύκλωμα που αποτελείται από έναν αριθμό flip-flops συνδεδεμένων υπό μορφή "καταρράκτη".

Η ταχύτητα της μεταφοράς δεδομένων συνήθως μετρείται με τον αριθμό των bits ανά δευτερόλεπτο (bits/sec). Σε ορισμένα συστήματα επικοινωνίας δεδομένων χρησιμοποιούνται ρυθμοί bits μέχρι μερικές εκατοντάδες εκατομμυρίων bits/sec.

Συγχρονισμός

Ο συγχρονισμός μεταξύ πομπού και δέκτη σε μια γραμμή επικοινωνίας είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη μετάδοση δεδομένων. Ο δέκτης ενός μηνύματος data πρέπει να γνωρίζει τον ρυθμό και τις σωστές χρονικές στιγμές άφιξης των bit. Στόχος είναι, ο ρυθμός δειγματοληψίας του δέκτη να ταυτίζεται με το ρυθμό μετάδοσης των bit, ώστε να μην χάσει ή να μην πάρει κάποιο bit δυο φορές. Κατάλληλα κυκλώματα χρονισμού στον πομπό και στον δέκτη καθορίζουν τον ρυθμό μετάδοσης από τον πομπό και τον ρυθμό λήψης για τον δέκτη.

Το κάθε bit που στέλνει ο πομπός έχει συγκεκριμένη χρονική διάρκεια ανάλογη με την ταχύτητα. Ο δέκτης πρέπει να κοιτάζει κάπου στη μέση της διάρκειας του bit, για να αντιμετώπιση τυχόν μικρομετατοπίσεις της θέσης του, που προκύπτουν συνήθως από προβλήματα του καναλιού μετάδοσης. Αν οι μετατοπίσεις αυτές είναι σοβαρές υπάρχει ο κίνδυνος σύγχυσης με το προηγούμενο ή το επόμενο bit.

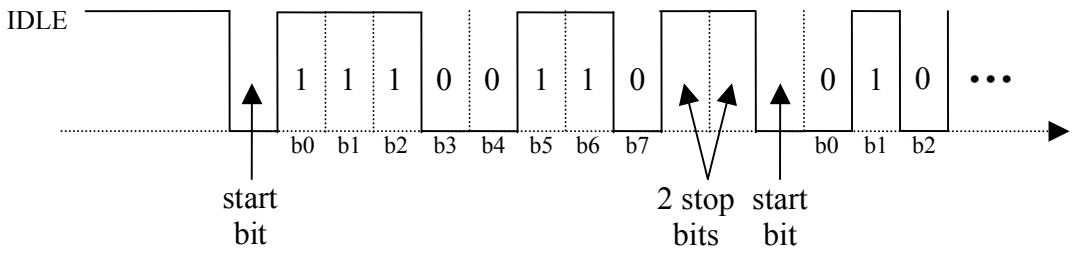
Στην πράξη επειδή πομπός και δέκτης έχουν ανεξάρτητα κυκλώματα χρονισμού που οδηγούνται από κρυσταλλικούς ταλαντωτές, είναι φυσικό να μην

κρατούν ακριβώς τους ίδιους ρυθμούς, αλλά να διαφέρουν κατ' ολίγον. Αυτό σημαίνει ότι μετά από κάποιο χρονικό διάστημα θα αποσυγχρονιστούν, οπότε χρειάζονται κατάλληλες τεχνικές για να διατηρούν το συγχρονισμό τους. Υπάρχουν δυο βασικοί τρόποι μετάδοσης σειριακών δεδομένων: η ασύγχρονη και η σύγχρονη μετάδοση.

Ασύγχρονη μετάδοση (Κωδικοποίηση NRZ-Non Return to Zero)

Η ασύγχρονη μετάδοση χαρακτηρίζεται από την αποστολή των δεδομένων υπό μορφή χαρακτήρων. Οι χαρακτήρες μεταδίδονται ένας-ένας με κάποιο χρονικό διάστημα διαχωρισμού μεταξύ τους, το οποίο ο δέκτης εκμεταλλεύεται για να τους διακρίνει. Σε αυτή τη μέθοδο, ο δέκτης γνωρίζει εκ των προτέρων το ρυθμό μετάδοσης του πομπού (δηλαδή το χρόνο που διαρκεί η εκπομπή του κάθε bit). Μόλις ο πομπός θέλει να εκπέμψει ένα byte, πρώτα εκπέμπει ένα αρχικό "0" bit που ονομάζεται *ψηφίο έναρξης* (start bit) το οποίο χρησιμοποιείται για να ειδοποιήσει τον δέκτη ότι ακολουθούν τα υπόλοιπα data bit που απαρτίζουν τον χαρακτήρα. Προτού φθάσει το start bit η γραμμή διατηρείται μόνιμα σε λογική τιμή "1" (idle ή mark). Ο δέκτης μετράει την τάση του καναλιού, και εφόσον δεν αναγνωρίζει την ύπαρξη σήματος αντιλαμβάνεται ότι δεν υπάρχει μετάδοση δεδομένων (*δεν* θεωρεί ότι μεταδίδονται συνεχώς ψηφία "1").

Το start bit χρησιμοποιείται για να ενεργοποιήσει τα κυκλώματα χρονισμού του δέκτη, ώστε να ξεκινήσει να λαμβάνει τα επόμενα 8 bits δεδομένων που θα ακολουθήσουν. Μετά την άφιξη του ψηφίου έναρξης, ο δέκτης περιμένει για διάρκεια μιάμιση φορά τη διάρκεια ενός bit (ώστε να ολοκληρωθεί το ψηφίο έναρξης και να



βρεθεί στο μέσον του πρώτου από τα 8 bits δεδομένων) και τότε ανιχνεύει την τιμή του πρώτου bit. Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι το start bit είναι απαραίτητο, διότι εάν το πρώτο bit είχε τιμή "1" θα ήταν αδύνατο να ανιχνευθεί από τον δέκτη.

Στο τέλος της εκπομπής των 8 bits, ο πομπός προσθέτει ένα ή δύο ψηφία με τιμή "1" που ονομάζονται *ψηφία λήξης* (stop bits). Υπάρχουν δύο λόγοι για την ύπαρξη των stop bits. Καταρχήν, δίνεται χρόνος στο δέκτη να εκτελέσει την επεξεργασία των ληφθέντων δυαδικών ψηφίων και κατά δεύτερον δίνεται η δυνατότητα στο δέκτη να αναγνωρίσει το επόμενο ψηφίο έναρξης (το bit "0"). Εάν το τελευταίο ψηφίο δεδομένων ήταν "0" και δεν υπήρχε το ψηφίο λήξης, θα ήταν αδύνατο στο δέκτη να αναγνωρίσει το επόμενο ψηφίο έναρξης (bit "0").

Αυτός ο τύπος μετάδοσης ονομάζεται ασύγχρονη μετάδοση. Ο συγχρονισμός μεταξύ πομπού και δέκτη επιτελείται μέσω του ψηφίου έναρξης (δηλαδή με τη μετάβαση από "1" σε "0"). Από εκεί και πέρα ο δέκτης λειτουργεί με το δικό του χρονισμό, υποθέτοντας ότι είναι ο ίδιος με αυτόν του πομπού.

Σύγχρονη μετάδοση

Η τεχνική της μετάδοσης κάθε λέξης δεδομένων της μιας μετά την άλλη χωρίς start και stop bits αναφέρεται σαν σύγχρονη επικοινωνία δεδομένων. Τα δεδομένα συνήθως μεταδίδονται σε συγκροτήματα (blocks) πολλαπλών λέξεων. Για διατήρηση του συγχρονισμού μεταξύ πομπού και δέκτη, μια ομάδα bits συγχρονισμού τοποθετείται στην αρχή του block και στο τέλος του block. Κάθε μπλοκ δεδομένων μπορεί να παριστάνει εκατοντάδες ή ακόμη χιλιάδες χαρακτήρων. Στην αρχή κάθε μπλοκ είναι μια συγκεκριμένη σειρά bits (SYN) που πιστοποιεί την αρχή του μπλοκ και σηματοδοτεί την έναρξη της εκπομπής. Τα κυκλώματα αρχίζουν να λαμβάνουν τα συνεχή δεδομένα που στέλνονται σε ακολουθιακές λέξεις 8-bit ή bytes. Στο τέλος του μπλοκ είναι ένας άλλος ειδικός κώδικας (ETX) σηματοδοτώντας το τέλος της μετάδοσης. Τα κυκλώματα λήψης θα αναζητήσουν αυτόν τον κώδικα, θα τον ανιχνεύσουν, και ως εκ τούτου θα αναγνωρίσουν το τέλος της μετάδοσης. Συνήθως ακολουθούν ένας ή περισσότεροι κώδικες σφαλμάτων.

Αν και οι ειδικοί κώδικες συγχρονισμού στην αρχή και το τέλος προσθέτουν επιπλέον bits στην εκπομπή, συνολικά αντιπροσωπεύουν μια πολύ μικρή αύξηση στο συνολικό αριθμό των bits που μεταδίδονται. Σε κάθε περίπτωση, ο αριθμός των bits που χρησιμοποιούνται για σκοπούς συγχρονισμού είναι μικρός συγκρινόμενος με τον αριθμό των start και stop bits της ασύγχρονης μετάδοσης. Επομένως, η σύγχρονη μετάδοση είναι πολύ ταχύτερη από την ασύγχρονη.

Χωρητικότητα καναλιού (Channel capacity)

Η ικανότητα μετάδοσης πληροφορίας ή αλλιώς Χωρητικότητα καναλιού, είναι ο μέγιστος αριθμός των συμβόλων που μπορούν να μεταφερθούν μέσω ενός καναλιού στη μονάδα του χρόνου και εκφράζεται σε bps (bit per sec).

Στην ιδανική περίπτωση που το κανάλι δεν έχει θόρυβο, η χωρητικότητα του είναι άμεσα και αποκλειστικά εξαρτώμενη από το εύρος ζώνης συχνοτήτων (band-width) του καναλιού.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται δυο στάθμες σήματος, οι 0 και 1, ο Nyquist προσδιόρισε τη χωρητικότητα του καναλιού σε:

$$C = 2B$$

όπου, C η χωρητικότητα του καναλιού σε bps και

B το εύρος ζώνης συχνοτήτων σε Hz.

Ο τύπος αυτός ισχύει για μετάδοση δυαδικών καταστάσεων, ενώ ο πλήρης τύπος Nyquist είναι:

$$C = 2B\log_2 M$$

όπου, M ο αριθμός των διαφορετικών καταστάσεων του σήματος.

Από τον προηγούμενο τύπο εξάγουμε το συμπέρασμα ότι σε κανάλι με συγκεκριμένο εύρο ζώνης B, μπορούμε να αυξήσουμε την επιτεύξιμη ταχύτητα αυξάνοντας τον αριθμό των διαφορετικών καταστάσεων του διαμορφωμένου σήματος.

Επειδή στην πράξη η ύπαρξη θορύβου είναι κάτι το φυσιολογικό, ο τύπος που εκφράζει την χωρητικότητα ενός καναλιού πρέπει να περιέχει και το επίπεδο του θορύβου. Το επίπεδο του θορύβου από μόνο του δεν σημαίνει πολλά πράγματα, εκείνη όμως η παράμετρος που αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα είναι ο «*Λόγος Σήματος προς Θόρυβο*» S/N (Signal to Noise), όπου με το S αναπαριστούμε την ισχύ του μεταδιδόμενου σήματος και με το N την ισχύ του θορύβου που υπάρχει στο κανάλι.

Ο λόγος αυτός έχει αξία όταν μετράται στην μεριά του δέκτη, αφού η επίδραση του θορύβου είναι ουσιώδης εκεί που πρέπει να διαχωριστεί το σήμα από τον θόρυβο. Συνήθως ο λόγος σήματος προς θόρυβο μετράται σε dB.

Όσο πιο μεγάλος είναι ο λόγος *S/N* τόσο καλύτερη είναι η μετάδοση, διότι ο δέκτης θα διαχωρίσει με μεγαλύτερη ευκολία το σήμα από το θόρυβο και με λιγότερες πιθανότητες λάθους. Σύμφωνα με τον κανόνα *Shannon-Hartley* η χωρητικότητα C ενός καναλιού εξαρτάται από τον *S/N* και το εύρο ζώνης B υπακούοντας στον ακόλουθο τύπο:

$$C = B\log_2(1+S/N).$$

Είναι ενδιαφέρον να τονίσουμε ότι οι τιμές που μας δίνει ο άνω τύπος είναι οι maximum θεωρητικές. Στην πράξη είναι μικρότερες αφού δεν λαμβάνει υπόψη του ατέλειες συσκευών και λοιπές παραμορφώσεις.

Πρακτικό μέρος:

Εισαγωγή στο Εκπαιδευτική ΜονάδαTPS-3431

Στην εκπαιδευτική μονάδα TPS-3431 υπάρχει ένας πομπός δυαδικών ψηφίων που διαβάζει τον δυαδικό αριθμό από 8 μικρο-διακόπτες και τον μεταδίδει με σειριακό τρόπο.

Για να μπορούμε να συγχρονιστούμε και να απεικονίσουμε τα ψηφιακά δεδομένα, ο πομπός παράγει και ένα βοηθητικό παλμό ρολογιού κάθε φορά που μεταδίδεται ένα δυαδικό ψηφίο. Αυτοί οι παλμοί εμφανίζονται στο *σημείο δοκιμής* (test point) TP3.

Οι παλμοί αυτοί χρησιμοποιούνται και από το διαμορφωτή DPSK για τη διαμόρφωση των δεδομένων.

Η μονάδα περιλαμβάνει επίσης και έναν ψηφιακό δέκτη, ο οποίος λαμβάνει τα δεδομένα με σειριακό τρόπο και τα παρουσιάζει σαν ένα byte των 8-bits με τη μορφή 8 φωτεινών διόδων (LED's).

Ο δέκτης αυτός παράγει επίσης παλμούς χρονισμού για κάθε ένα bit που ανιχνεύει. Αυτοί οι παλμοί εμφανίζονται στο σημείο δοκιμής TP9.

Οι παλμοί αυτοί χρησιμοποιούνται και από τον αποδιαμορφωτή DPSK για την αποδιαμόρφωση των δεδομένων.

Ο πομπός και ο δέκτης ψηφιακών δεδομένων σχηματίζουν μαζί ένα πλήρες σύστημα. Σκοπός της μονάδας είναι να παρουσιαστεί με εποπτικό τρόπο η μέθοδος μετάδοσης NRZ. Γι' αυτό το λόγο έχουν παραλειφθεί από την εκπαιδευτική μονάδα τα ψηφία έναρξης και λήξης (start & stop bits). Αντί αυτών, η μονάδα παρέχει σήματα παλμών ελέγχου, τα οποία μας επιτρέπουν να απεικονίσουμε σε παλμογράφο τα δεδομένα κατά την εκπομπή και κατά την λήψη τους.

Ρυθμίσεις πομπού & δέκτη ψηφιακών δεδομένων

Ο πομπός και ο δέκτης ψηφιακών δεδομένων έχουν τη δυνατότητα αποστολής και λήψης των δυαδικών ψηφίων είτε ένα προς ένα, είτε κατά ζεύγη. Για να καθορίσουμε έναν από αυτούς τους τρόπους λειτουργίας χρησιμοποιούμε το διακόπτη BIN/QUAD.

Στη θέση BIN, τα δεδομένα μεταδίδονται σε δυαδική μορφή, ένα bit τη φορά διαμέσου του ακροδέκτη Dout0 και λαμβάνονται από τον ακροδέκτη Din0. *Συγκεκριμένα, από τον ακροδέκτη Dout0 εκπέμπονται τα ψηφία b0, b1, b2, b3, b4, b5, b6, b7, με αυτή τη σειρά.*

Στη θέση QUAD, τα δεδομένα μεταδίδονται σε δυαδικά ζεύγη, δύο bits τη φορά διαμέσου των ακροδεκτών Dout0 & Dout1 και λαμβάνονται από τους ακροδέκτες Din0 & Din1. *Συγκεκριμένα, από τον ακροδέκτη Dout0 εκπέμπονται τα ψηφία b0, b2, b4, b6 και από τον ακροδέκτη Dout1 τα ψηφία b1, b3, b5, b7, με αυτή τη σειρά.*

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τάσης των σημάτων είναι περίπου 12V για το ψηφίο "1" και περίπου 0V για το ψηφίο "0".

Ρυθμίσεις της ενσωματωμένης γεννήτριας σημάτων

Υπάρχει ένας τετραπλός μικρο-διακόπτης που ρυθμίζει τις παρακάτω λειτουργίες:

- Manual / Auto
- Sweep / Const.
- Triangle / Sine
- High / Low

Manual / Auto

Αυτός ο διακόπτης ρυθμίζει τον τρόπο λειτουργίας της γεννήτριας σημάτων.

Στη θέση Manual η λειτουργία της γεννήτριας σημάτων καθορίζεται από τα ενσωματωμένα ρυθμιστικά ποτενσιόμετρα. Το ένα ποτενσιόμετρο ελέγχει το πλάτος του σήματος και το άλλο τη συχνότητά του.

Στη θέση Auto όλες οι λειτουργίες της γεννήτριας σημάτων ελέγχονται από Η/Υ, μέσω του ειδικού λογισμικού SESLAB.

Sweep / Const

Αυτός ο διακόπτης καθορίζει εάν η συχνότητα της γεννήτριας θα είναι σταθερή (Const) ή θα σαρώνει ένα εύρος συχνοτήτων (Sweep).

Η θέση Sweep είναι χρήσιμη για τον έλεγχο της συχνοτικής απόκρισης ενός κυκλώματος.

Ο διακόπτης αυτός έχει επίδραση μόνο στη θέση Manual.

Triangle / Sine

Αυτός ο διακόπτης καθορίζει τη μορφή του παραγόμενου σήματος από τη γεννήτρια.

Στη θέση Triangle το σήμα έχει τριγωνική μορφή, ενώ στη θέση Sine έχει ημιτονική μορφή.

High / Low

Αυτός ο διακόπτης καθορίζει το εύρος συχνοτήτων της γεννήτριας.

Στη θέση High το εύρος συχνοτήτων είναι 6kHz – 90kHz.

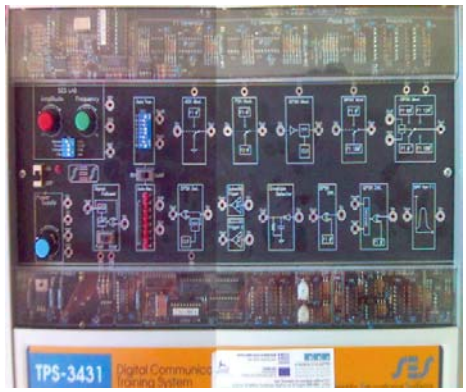
Στη θέση Low το εύρος συχνοτήτων είναι 500Hz – 8kHz.

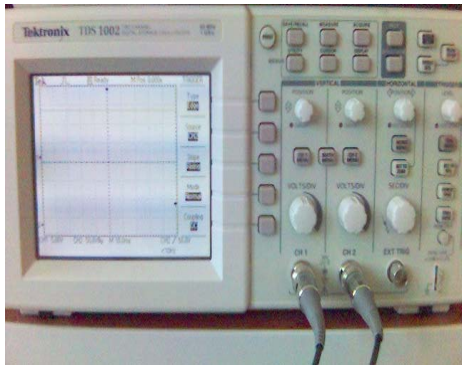
Στόχοι Εργαστηριακής Άσκησης:

- Εξοικείωση με τις βασικές λειτουργίες του παλμογράφου.
- Μετατροπή δυαδικών αριθμών από παράλληλη σε σειριακή μορφή.
- Εκπομπή και λήψη σειριακών δεδομένων, ανά ένα bit.
- Εκπομπή και λήψη σειριακών δεδομένων, ανά ζεύγη από bits.
- Μετατροπή δυαδικών αριθμών από σειριακή σε παράλληλη μορφή.

Απαιτούμενος Εξοπλισμός:

- Εκπαιδευτική Μονάδα TPS-3431
- Τροφοδοτικό της Εκπαιδευτικής Μονάδας TPS-3431
- Παλμογράφος δύο καναλιών
- Καλώδια σύνδεσης





Πειραματική Διαδικασία:

Βήμα 1: Συνδέστε το τροφοδοτικό με το εκπαιδευτικό κιτ TPS-3431.

Βήμα 2: Συνδέστε το τροφοδοτικό σε πρίζα του ηλεκτρικού δικτύου.

Βήμα 3: Θέστε σε λειτουργία τη μονάδα μέσω του κεντρικού διακόπτη.

Βήμα 4: Βρείτε τις λειτουργικές μονάδες του πομπού και του δέκτη ψηφιακών δεδομένων (Data Tran. & Data Rec.) Συνδέστε τον ακροδέκτη Dout0 με τον ακροδέκτη Din0.

Εισάγετε τον δυαδικό αριθμό **00000001** στον οκταπλό μικροδιακόπτη.

Ρυθμίστε το διακόπτη BIN/QUAD στη θέση BIN.

Βήμα 5: Ελέγξτε ότι ο παλμογράφος έχει συνδεδεμένους και τους 2 ακροδέκτες ελέγχου (probes), και ότι έχουν ρυθμιστεί στη θέση **x10**.

Θέστε σε λειτουργία τον παλμογράφο.

Στον παλμογράφο πιέστε το πλήκτρο **DEFAULT SETUP**. Το πλήκτρο αυτό επαναφέρει τον παλμογράφο σε προκαθορισμένες αρχικές ρυθμίσεις.

Βήμα 6: Συνδέστε το κανάλι #1 (CH1) του παλμογράφου στον ακροδέκτη Dout0.

Γυρίστε τον επιλογέα του παλμογράφου **TRIGGER LEVEL** ώστε να ρυθμίσετε την τιμή του στα 6.00 Volt (η τιμή του trigger level εμφανίζεται στην κάτω-δεξιά γωνία της οθόνης του παλμογράφου). Με αυτή τη ρύθμιση ορίζουμε σαν σημείο εκκίνησης του ίχνους του παλμογράφου τη χρονική στιγμή που το σήμα του καναλιού #1 διέρχεται από την τιμή τάσης 6.00Volt.

Γυρίστε τον επιλογέα του παλμογράφου **V/DIV** του 1^{ου} καναλιού (CH1) ώστε να ρυθμίσετε την τιμή του στα 5.00 Volt (η τιμή V/DIV εμφανίζεται στην κάτω-αριστερή γωνία της οθόνης του παλμογράφου). Με αυτή τη ρύθμιση καθορίζουμε την κατακόρυφη κλίμακα του 1^{ου} καναλιού στα 5Volt ανά τετραγωνάκι (div).

Βήμα 7: Συνδέστε το κανάλι #2 (CH2) του παλμογράφου στο σημείο ελέγχου TP3.

Πιέστε το πλήκτρο **CH2 MENU** ώστε να εμφανιστεί το ίχνος του 2ου καναλιού στην οθόνη του παλμογράφου.

Γυρίστε τον επιλογέα του παλμογράφου **V/DIV** του 2ου καναλιού (CH2) ώστε να ρυθμίσετε την τιμή του στα 5.00 Volt (η τιμή V/DIV εμφανίζεται στην κάτω-αριστερή γωνία της οθόνης του παλμογράφου). Με αυτή τη ρύθμιση καθορίζουμε την κατακόρυφη κλίμακα του 2ου καναλιού στα 5Volt ανά τετραγωνάκι (div), την ίδια δηλαδή με το 1ο κανάλι.

Γυρίστε τον επιλογέα κάθετης τοποθέτησης του καναλιού #2 του παλμογράφου **CH2 POSITION ↕** ώστε να ρυθμίσετε την τιμή του στα -4.00 divs (η τιμή του εμφανίζεται στο κέντρο της κάτω πλευράς της οθόνης του παλμογράφου). Με τη ρύθμιση αυτή τοποθετούμε την κυματομορφή του 2ου καναλιού 4 τετραγωνάκια χαμηλότερα από αυτήν του 1ου καναλιού (ώστε να είναι ευδιάκριτα τα δύο κανάλια ταυτόχρονα στην οθόνη του παλμογράφου).

Γυρίστε τον επιλογέα χρονικής βάσης του παλμογράφου **SEC/DIV** ώστε να ρυθμίσετε την τιμή του στα 5.00 msec (η τιμή SEC/DIV εμφανίζεται στο κέντρο της κάτω πλευράς της οθόνης του παλμογράφου). Αυτή η ρύθμιση καθορίζει την οριζόντια κλίμακα της οθόνης του παλμογράφου στα 5msec το κάθε τετραγωνάκι.

Γυρίστε τον επιλογέα οριζόντιας τοποθέτησης του παλμογράφου **←POSITION→** ώστε να ρυθμίσετε την τιμή του στα 25.00 msec (η τιμή του εμφανίζεται στην πάνω-δεξιά γωνία της οθόνης του παλμογράφου). Με τον τρόπο αυτό μετακινούμε κατά 25msec (δηλαδή 5 τετραγωνάκια) προς τα αριστερά τις κυματομορφές, ώστε το σημείο εκκίνησης να είναι στο αριστερό άκρο της οθόνης (και όχι στο κέντρο, όπου βρίσκεται κανονικά). Έτσι έχουμε τη δυνατότητα να παρακολουθήσουμε ολόκληρους τους 8 παλμούς ρολογιού (στο κανάλι 2) που οριοθετούν τα 8 εκπεμπόμενα δυαδικά ψηφία.

Βήμα 8: Με τη έναρξη της λειτουργίας του εκπαιδευτικού κιτ, ο πομπός ψηφιακών δεδομένων (Data Tran.) ξεκινά να εκπέμπει συνεχώς τα δυαδικά ψηφία που έχουμε θέσει με τη βοήθεια των 8 μικρο-διακοπτών και τα εμφανίζει στον ακροδέκτη Dout0.

Θυμηθείτε ότι στο βήμα 4 ρυθμίσατε τους 8 μικροδιακόπτες ώστε να σχηματισθεί ο δυαδικός αριθμός **00000001**.

Τα δυαδικά αυτά ψηφία που σχηματίσατε θα πρέπει να εμφανίζονται και στις φωτεινές διόδους στην περιοχή Data Rec (*σβησμένο LED αντιστοιχεί στο ψηφίο "0" και αναμμένο LED αντιστοιχεί στο ψηφίο "1"*).

Βήμα 9: Ελέγξτε και καταγράψτε με ακρίβεια τα σήματα που εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου.

Βήμα 10: Αναγνωρίστε τα 8 δυαδικά ψηφία πάνω στο σήμα του καναλιού CH1 (Dout0) και επαληθεύσετε ότι συμφωνούν με τον δυαδικό αριθμό που θέσατε στους 8 μικρο-διακόπτες.

Μετρήστε την τάση του σήματος Dout0 (CH1) στα ακριβή χρονικά σημεία που το σήμα TP3 (CH2) μετάγεται από "0" σε "1".

Μετρήστε το πλάτος, την περίοδο και τη συχνότητα των βοηθητικών παλμών στο TP3 (CH2).

Σημείωση:

Εάν αποσυνδέσετε το Dout0 από το Din0, τότε το πλάτος του σήματος Dout0 θα αυξηθεί, καθώς μειώνεται το φορτίο στην έξοδο του πομπού.

Βήμα 11: Επαναλάβετε τα Βήματα 9 & 10 για 4 από τους παρακάτω δυαδικούς αριθμούς:

☐ `00000011`	☐ `00010011`
☐ `00000101`	☐ `00010101`
☐ `00000111`	☐ `00010111`
☐ `00001001`	☐ `00011001`
☐ `00001011`	☐ `00011011`
☐ `00001101`	☐ `00011101`
☐ `00001111`	☐ `00011111`
☐ `00010001`	

Βήμα 12: Εισάγετε στους μικροδιακόπτες τον δυαδικό αριθμό `00001011`.

Μετακινήστε το κανάλι CH2 του παλμογράφου από το σημείο ελέγχου TP3 στο σημείο ελέγχου TP9.

Οι βοηθητικοί παλμοί ελέγχου στο σημείο TP9 είναι διαφορετικοί από αυτούς του TP3, αν και φαίνονται παρόμοιοι. Στην πραγματικότητα είναι κατά λίγο μετατοπισμένοι στο χρόνο. Ελέγξτε το.

Τα δυαδικά ψηφία τώρα εμφανίζονται κατά τις μεταγωγές του TP9 από "1" σε "0".

Βήμα 13: Αλλάξτε το διακόπτη BIN/QUAD στη θέση QUAD. Με τον τρόπο αυτό μεταδίδονται τα δυαδικά ψηφία ανά ζεύγη από τους ακροδέκτες Dout0 και Dout1.

Παρατηρήστε ότι κάποια δυαδικά ψηφία δεν εμφανίζονται πλέον στις φωτεινές διόδους του δέκτη. Εξηγήστε το γιατί.

Βήμα 14: Συνδέστε τον ακροδέκτη Dout1 στον ακροδέκτη Din1. Ελέγξτε τώρα ότι όλα τα δυαδικά ψηφία εμφανίζονται στις φωτεινές διόδους του δέκτη.

Βήμα 15: Ελέγξτε τα σήματα στην οθόνη του παλμογράφου.

Αναγνωρίστε τα δυαδικά ψηφία.

Βήμα 16: Σχεδιάστε με ακρίβεια τα σήματα που εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου.

Βήμα 17: Μετακινήστε το κανάλι CH1 του παλμογράφου στον ακροδέκτη Dout1.

Βήμα 18: Ελέγξτε τα σήματα στην οθόνη του παλμογράφου.

Αναγνωρίστε τα δυαδικά ψηφία.

Βήμα 19: Σχεδιάστε με ακρίβεια τα σήματα που εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου για τους ακόλουθους δυαδικούς αριθμούς:

`00000111` `00010011` `00001111`

Βήμα 20: Πώς οι δυαδικοί αριθμοί `01010101` `00110011` εμφανίζονται στους ακροδέκτες Dout0 & Dout1;

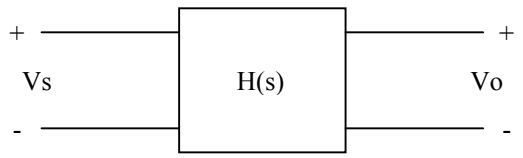
ΑΣΚΗΣΗ 2η

ΑΣΚΗΣΗ 2η

Θεωρητικό μέρος:

Φίλτρα

Τα φίλτρα (filter) είναι ηλεκτρικά κυκλώματα που δρουν επιλεκτικά ως προς το περιεχόμενο συχνοτήτων της εισόδου τους. Όπως ξέρουμε, όταν ένα σήμα διέρχεται από ένα γραμμικό κύκλωμα, υφίσταται μια μεταβολή στο πλάτος του και στη φάση του, η οποία είναι συνάρτηση της απόκρισης συχνότητας του κυκλώματος. Για παράδειγμα, αν το σήμα εισόδου του κυκλώματος του παρακάτω σχήματος



έχει την μορφή:

$$Vs(t) = V_0 + \sum_{n=1}^{\infty} Vn * \cos(\omega_n t + \theta_n) \qquad (1)$$

τότε το σήμα εξόδου θα δίνεται από τη σχέση:

$$Vo(t) = V_0 * |H(j0)| + \sum_{n=1}^{\infty} Vn * |H(j\omega_n)| * \cos(\omega_n t + \theta_n + \phi(\omega_n)) \qquad (2)$$

Σκοπός του φίλτρου είναι η πιστή αναπαραγωγή ενός τμήματος του φάσματος συχνοτήτων του σήματος εισόδου και η πλήρης εξαφάνιση του υπόλοιπου φάσματος συχνοτήτων. Το τμήμα του φάσματος συχνοτήτων του οποίου επιζητείται η πιστή αναπαραγωγή αποτελεί τη ζώνη διέλευσης συχνοτήτων (bandwidth) του φίλτρου.

Η απαίτηση για πιστή αναπαραγωγή ικανοποιείται όταν, στην περιοχή της ζώνης διέλευσης συχνοτήτων, το πλάτος $|H(j\omega)|$ της συνάρτησης μεταφοράς του κυκλώματος είναι σταθερό και η φάση της, *φ(ω)*, είναι γραμμική συνάρτηση της συχνότητας. Ο πρώτος περιορισμός σημαίνει ότι οι αρμονικές του σήματος εισόδου

υφίστανται την ίδια ενίσχυση ή την ίδια εξασθένιση, ενώ ο δεύτερος περιορισμός σημαίνει ότι όλες οι αρμονικές υφίστανται την ίδια χρονική καθυστέρηση.

Η φάση φ, έννοια του πεδίου της συχνότητας, αντιστοιχεί στο πεδίο του χρόνου με χρονική καθυστέρηση τ_d. Οι δυο ποσότητες συνδέονται με τη σχέση

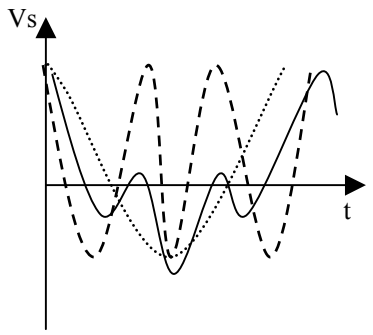
$$\phi = -\omega * \tau_d \qquad (3)$$

ή με τη σχέση

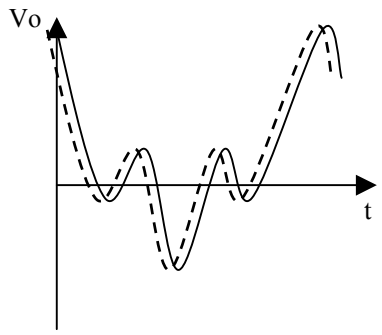
$$\tau_d = -\frac{d\phi}{d\omega} \qquad (4)$$

Η καθυστέρηση, όπως ορίζεται από την εξίσωση (3), λέγεται καθυστέρηση φάσης (phase delay) και αναφέρεται σε μια συχνότητα, ενώ, όπως ορίζεται από την εξίσωση (4), λέγεται καθυστέρηση ομάδας (group delay) και αναφέρεται σ' ένα σύνολο συχνοτήτων.

Όταν ικανοποιούνται οι προαναφερθέντες περιορισμοί, έχουμε πιστή αναπαραγωγή του σήματος εισόδου, δηλαδή έξοδο με την ίδια μορφή, αλλά μετατοπισμένη κατά τ_d μονάδες χρόνου ως προς την είσοδο. Για παράδειγμα, στο Σχ.1α δίνεται ένα σήμα εισόδου που είναι η επαλληλία δύο ημιτονοειδών σημάτων.



Σχ. 1α

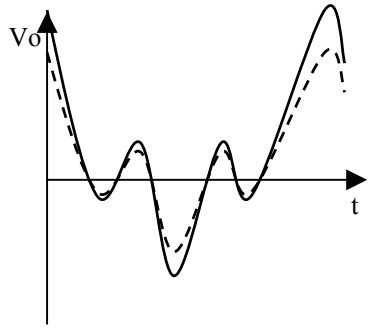


Σχ. 1β

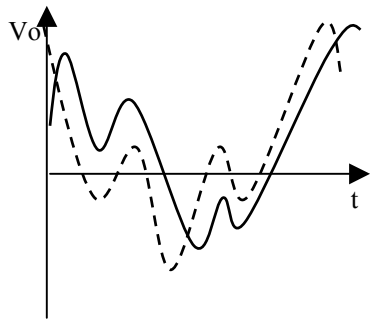
Στο Σχ.1β δίνεται το σήμα εξόδου ενός κυκλώματος το οποίο ικανοποιεί τις προϋποθέσεις πιστής αναπαραγωγής.

Αν δεν ικανοποιούνται οι δύο προϋποθέσεις πιστής αναπαραγωγής, τότε το σήμα εξόδου θα είναι παραμορφωμένο σε σχέση με το σήμα εισόδου. Αν το πλάτος της συνάρτησης μεταφοράς του κυκλώματος δεν είναι σταθερό, αλλά συνάρτηση της συχνότητας, έχουμε τη λεγόμενη παραμόρφωση πλάτους (amplitude distortion). Στο

Σχ.2α παρουσιάζεται, με συνεχή γραμμή, το σήμα όταν έχει υποστεί παραμόρφωση πλάτους.

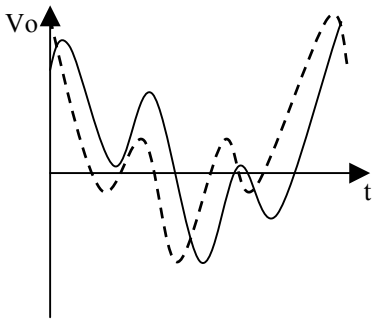


Σχ. 2α



Σχ. 2β

Αν η φάση δεν είναι γραμμική συνάρτηση της συχνότητας ή με άλλα λόγια, αν η χρονική καθυστέρηση που εισάγει το κύκλωμα δεν είναι η ίδια για όλες τις συχνότητες, τότε έχουμε τη λεγόμενη παραμόρφωση φάσης (phase distortion). Στο Σχ.2β παρουσιάζεται, με συνεχή γραμμή, το σήμα όταν έχει υποστεί παραμόρφωση φάσης. Τέλος, στο Σχ.3 παρουσιάζεται το σήμα, όταν έχει υποστεί και τις δυο παραμορφώσεις.

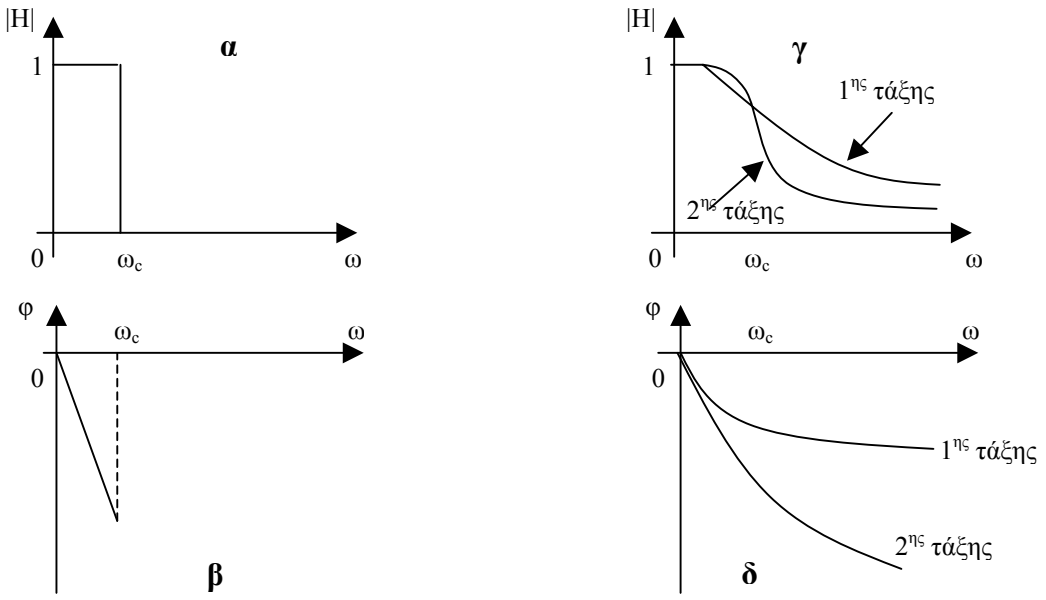


Σχ. 3

Τα φίλτρα κατατάσσονται σε κατηγορίες, ανάλογα με την περιοχή συχνοτήτων που αναπαράγουν ή αποσβένουν. Έτσι, διακρίνουμε τέσσερις βασικές κατηγορίες φίλτρων: τα ***χαμηλοπερατά*** (low-pass) και τα ***υψηπερατά*** (high-pass) φίλτρα, τα φίλτρα ***διέλευσης ζώνης συχνοτήτων*** (band-pass) και τα φίλτρα ***αποκοπής ζώνης συχνοτήτων*** (band-reject). Στα επόμενα θα παρουσιάσω φίλτρα των παραπάνω κατηγοριών, που υλοποιούνται με απλά κυκλώματα πρώτης και δεύτερης τάξης.

Χαμηλοπερατά φίλτρα

Στα παρακάτω σχήματα (α και β) δίνονται τα διαγράμματα πλάτους και φάσης του ιδανικού χαμηλοπερατού φίλτρου αντίστοιχα. Αν και η ιδανική απόκριση συχνότητας δεν μπορεί να υλοποιηθεί, μπορούν να σχεδιαστούν κυκλώματα που να τη προσεγγίζουν.



Μια πρώτη προσέγγιση μπορεί να γίνει με κυκλώματα πρώτης και δεύτερης τάξης, που έχουν συναρτήσεις μεταφοράς αντίστοιχα

$$H(s) = \frac{\omega_c}{s + \omega_c}$$

και

$$H(s) = \frac{\omega_c^{\ 2}}{s^2 + (\omega_c / Q)s + \omega_c^{\ 2}}$$

Τα διαγράμματα πλάτους και φάσης φαίνονται στα παραπάνω σχήματα (γ και δ). Από τα διαγράμματα αυτά διαπιστώνουμε ότι το φίλτρο δεύτερης τάξης προσεγγίζει καλύτερα την ιδανική συμπεριφορά. Γενικά, η αύξηση της τάξης του κυκλώματος οδηγεί σε καλύτερη προσέγγιση της ιδανικής συμπεριφοράς.

Υψηπερατά φίλτρα

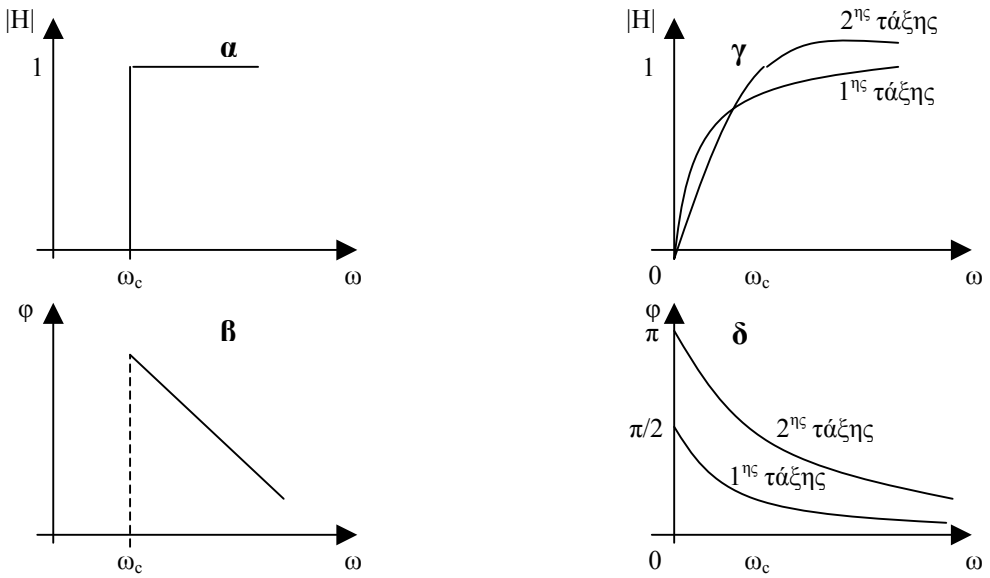
Στα παρακάτω σχήματα (α και β) δίνονται τα διαγράμματα πλάτους και φάσης του ιδανικού υψηπερατού φίλτρου αντίστοιχα. Η συμπεριφορά αυτή μπορεί να προσεγγιστεί με κυκλώματα πρώτης και δεύτερης τάξης, που έχουν συναρτήσεις μεταφοράς αντίστοιχα

$$H(s) = \frac{s}{s + \omega_c}$$

και

$$H(s) = \frac{s^2}{s^2 + (\omega_c/Q)s + \omega_c^{\ 2}}$$

Τα διαγράμματα πλάτους και φάσης φαίνονται στα παραπάνω σχήματα (γ και δ).

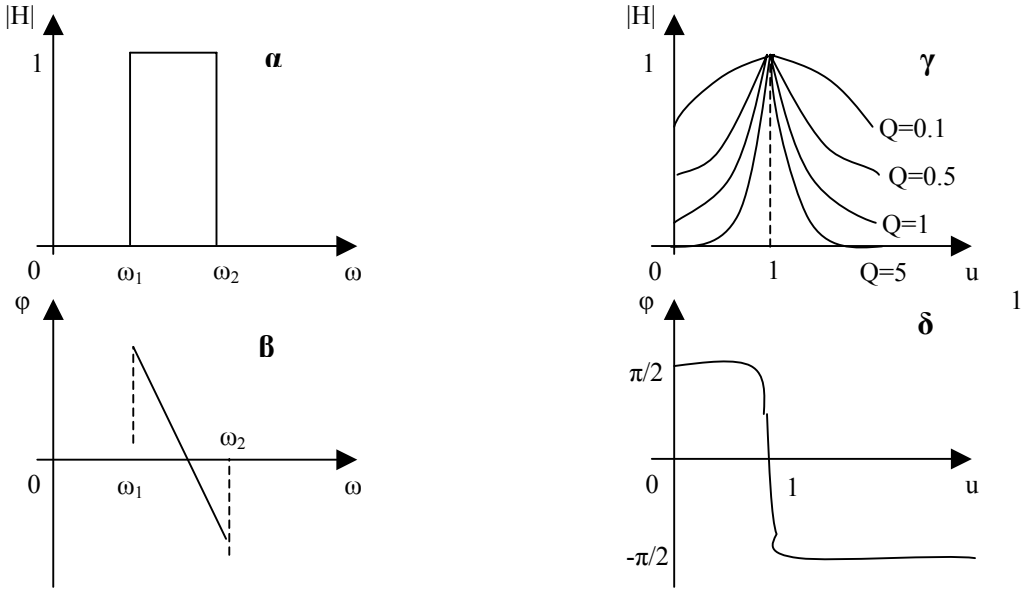


Φίλτρα διέλευσης ζώνης συχνοτήτων

Στα παρακάτω σχήματα (α και β) δίνονται τα διαγράμματα πλάτους και φάσης του ιδανικού φίλτρου διέλευσης ζώνης συχνοτήτων αντίστοιχα. Η συμπεριφορά αυτή δεν μπορεί να προσεγγιστεί με κυκλώματα πρώτης τάξης. Η συνάρτηση μεταφοράς του κυκλώματος δεύτερης τάξης, που έχει ζωνοπερατή συμπεριφορά, έχει τη μορφή:

$$H(s) = \frac{(\omega_c/Q)s}{s^2 + (\omega_c/Q)s + \omega_c^{\ 2}}$$

Τα διαγράμματα πλάτους και φάσης φαίνονται στα παραπάνω σχήματα (γ και δ). Ο όρος Q είναι ένας συντελεστής ποιότητας του φίλτρου και ονομάζεται ***συντελεστής υπερέντασης***. Διαπιστώνουμε, ότι όσο πιο μεγάλος είναι τόσο πιο μικρή είναι η ζώνη διέλευσης συχνοτήτων και τόσο πιο μεγάλη είναι η επιλεκτικότητα (selectivity) του κυκλώματος. Στο παρακάτω σχήμα (γ) φαίνονται οι μορφές για διάφορες τιμές του Q=0.1, 0.5, 1 και 5.



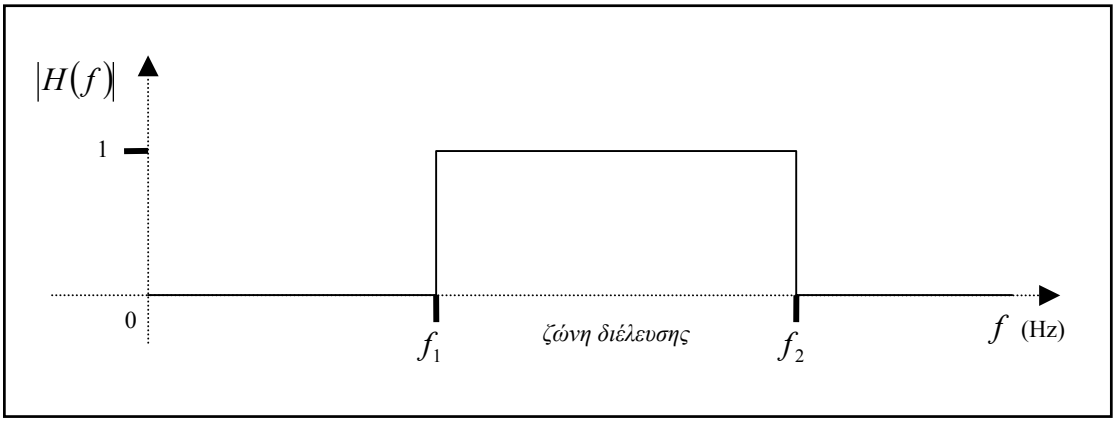
Σε αυτήν την άσκηση θα εστιάσουμε στα φίλτρα ζώνης διέλευσης συχνοτήτων (ζωνοπερατά) μιας και αυτό είναι το φίλτρο με το οποίο θα ασχοληθούμε.

Φίλτρα Διέλευσης Ζώνης Συχνοτήτων

(band-pass filter-BPF)

Εισαγωγή

Η λειτουργία ενός ιδανικού ζωνοπερατού φίλτρου είναι να επιτρέπει τη διέλευση μόνο σε ένα συγκεκριμένο *εύρος συχνοτήτων* f_1 έως f_2, που ονομάζεται *ζώνη διέλευσης* (βλ. Εικόνα 1). Οι συχνότητες που βρίσκονται εκτός της ζώνης διέλευσης αποκόπτονται από το φίλτρο.

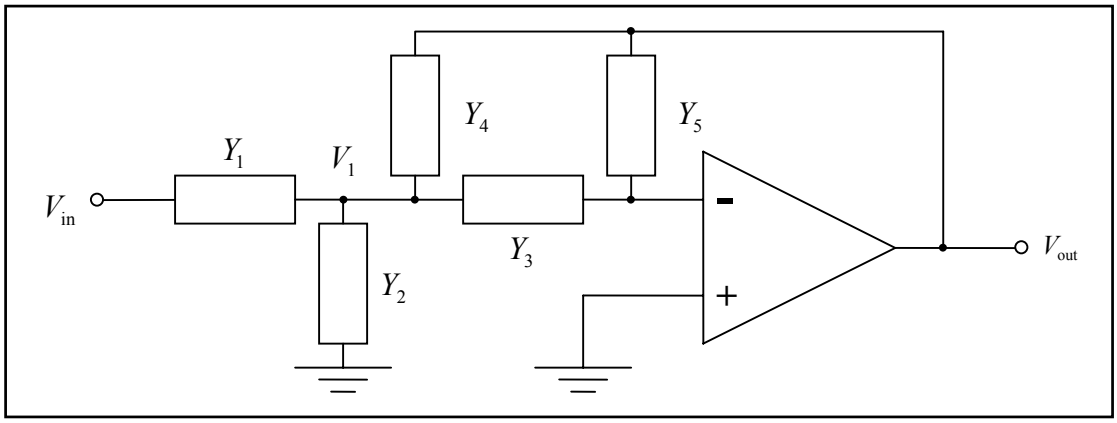


Εικόνα 1: Η Συνάρτηση Μεταφοράς ενός Ζωνοπερατού Φίλτρου.

Η χρήση του ζωνοπερατού φίλτρου είναι απαραίτητη όταν επιθυμούμε να επιλέξουμε ένα μόνο σήμα εκπομπής (φορέας) σε συγκεκριμένη συχνότητα που μας ενδιαφέρει και να απορρίψουμε όλα τα υπόλοιπα σήματα σε διαφορετικές συχνότητες φορέα.

Φίλτρα Πολλαπλής Ανάδρασης

Μία συνήθης μέθοδος σχεδίασης φίλτρων είναι αυτή της *πολλαπλής ανάδρασης (multiple feedback)*. Στην Εικόνα 2 φαίνεται ένα κύκλωμα με 2 δικτυώματα ανάδρασης, αναπτυγμένα γύρω από έναν τελεστικό ενισχυτή.



Εικόνα 2: Φίλτρο Πολλαπλών Αναδράσεων.

Με κατάλληλη επιλογή των σύνθετων αγωγιμοτήτων Y_1 έως Y_5 μπορούμε να κάνουμε το φίλτρο της Εικόνας 2 είτε: α) βαθυπερατό (low-pass filter -LPF), είτε β) υψηπερατό (high-pass filter-HPF), είτε γ) ζωνοπερατό (band-pass filter-BPF). Η ανάλυση του κυκλώματος γίνεται με χρήση αγωγιμοτήτων (και όχι αντιστάσεων), καθώς συνήθως χρησιμοποιούμε μόνο πυκνωτές και όχι πηνία. Έτσι γίνονται πιο εύκολες οι πράξεις καθώς η αγωγιμότητα του πυκνωτή είναι ίση με $j\omega C$, ενώ η σύνθετη αντίστασή του είναι $\frac{1}{j\omega C}$.

Εάν υποθέσουμε ότι στην είσοδο του φίλτρου (V_{in}) εφαρμόζουμε ημιτονικό σήμα γωνιακής συχνότητας ω, παίρνουμε τις ακόλουθες σχέσεις για τις τάσεις V_{in}, V_1 και V_{out}.

Το άθροισμα των ρευμάτων στο σημείο V_1 είναι 0:

$$Y_1 \cdot (V_{in} - V_1) + Y_4 (V_{out} - V_1) - Y_2 V_1 - Y_3 V_1 = 0 \qquad (1)$$

Η είσοδος αναστροφής (-) του τελεστικού ενισχυτή λειτουργεί ως *ιδεατή γείωση*. Επομένως το ρεύμα που διαρρέει την Y_3 είναι ίσο με αυτό που διαρρέει την Y_5.

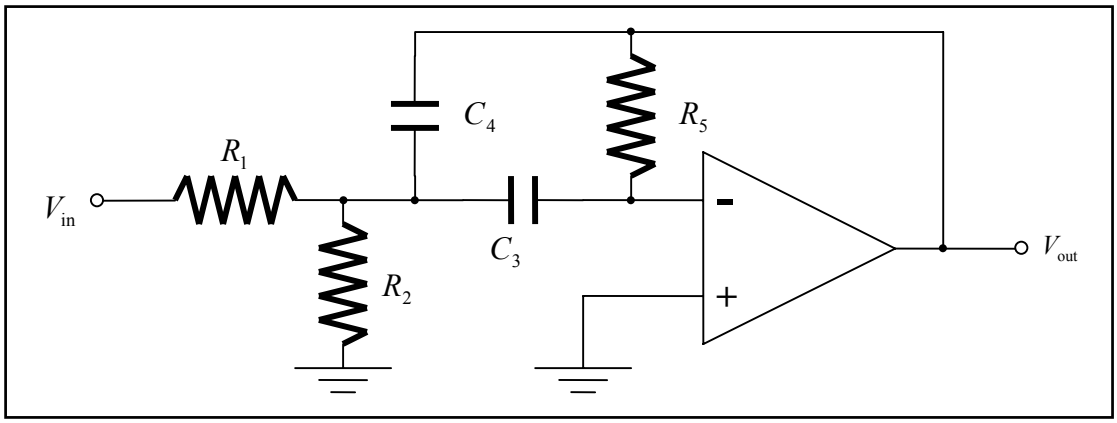
$$Y_3 V_1 = -Y_5 V_{\text{out}} \tag{2}$$

Από τις σχέσεις (1) και (2) παίρνουμε:

$$\frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} = \frac{Y_1 Y_3}{Y_3 Y_4 + Y_5 \left(Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 \right)} \tag{3}$$

Με την κατάλληλη επιλογή των στοιχείων Y_1 έως Y_5 μπορούμε να σχεδιάσουμε:

- Βαθυπερατό Φίλτρο: Τα Y_2 και Y_5 είναι πυκνωτές και τα υπόλοιπα αντιστάσεις.
- Υψηπερατό Φίλτρο: Τα Y_2 και Y_5 είναι αντιστάσεις και τα υπόλοιπα πυκνωτές.
- Ζωνοπερατό Φίλτρο: Τα Y_3 και Y_4 είναι πυκνωτές και τα υπόλοιπα αντιστάσεις, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3: Βαθυπερατό Φίλτρο.

Η απόκριση του φίλτρου αυτού σε είσοδο ημιτονικής μορφής είναι:

$$\frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} = -\frac{j\omega \dfrac{C_3}{R_1}}{-\omega^2 C_3 C_4 + j\omega \dfrac{C_3 + C_4}{R_5} + \dfrac{1}{R_5}\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} \right)} \tag{4}$$

Η σχέση αυτή μπορεί να γραφτεί και ως εξής:

$$\frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} = -\frac{\dfrac{j\omega}{R_1 C_4}}{-\omega^2 + j\omega\dfrac{C_3 + C_4}{R_5 C_3 C_4} + \dfrac{\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}}{R_5 C_3 C_4}} \tag{5}$$

Στη γενική της μορφή η σχέση εισόδου-εξόδου του φίλτρου είναι:

$$\frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} = -\frac{j\omega H \omega_0 \alpha}{-\omega^2 + j\omega\omega_0\alpha + \omega_0^2} \tag{6}$$

όπου, ω_0 είναι η συχνότητα συντονισμού, δηλαδή η συχνότητα στην οποία το φίλτρο έχει τη μέγιστη απόκριση.

Η μέγιστη απόκριση επιτυγχάνεται όταν το φανταστικό μέρος της σχέσης γίνει ίσο με μηδέν, που ισοδυναμεί με:

$$\Rightarrow \omega_0^2 = \frac{1}{C_3 C_4 R_5}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \Rightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{C_3 C_4 R_5}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)}. \tag{7}$$

Η παράμετρος α είναι:

$$\alpha = \frac{1}{Q} = \sqrt{\frac{1}{R_5\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}\right)}} \cdot \left[\sqrt{\frac{C_3}{C_4}} + \sqrt{\frac{C_4}{C_3}}\right] \tag{8}$$

Όπου Q, είναι ο συντελεστής ποιότητας του φίλτρου:

$$Q = \frac{1}{\alpha} = \frac{\sqrt{\dfrac{R_5(R_1 + R_2)}{R_1 R_2}}}{\sqrt{\dfrac{C_4}{C_3}} + \sqrt{\dfrac{C_3}{C_4}}} \tag{9}$$

Εάν $C_3 = C_4$ παίρνουμε:

$$Q = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{R_5(R_1 + R_2)}{R_1 R_2}} \tag{10}$$

Επίσης:

$$H = \frac{1}{\frac{R_1}{R_5}\left(1 + \frac{C_4}{C_3}\right)} \tag{11}$$

και εάν $C_3 = C_4$ παίρνουμε:

$$H = \frac{R_5}{2R_1} \tag{12}$$

Το κέρδος (ενίσχυση) του φίλτρου στη συχνότητα συντονισμού ω_0 είναι:

$$A_0 = H \tag{13}$$

Οι συχνότητες στις οποίες η ισχύς εξόδου του φίλτρου ισούται με το μισό της μέγιστης, ονομάζονται *συχνότητες ημίσειας ισχύος (half-power frequencies)* και ορίζουν το εύρος ζώνης του φίλτρου (Δf). Ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \tag{14}$$

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} \tag{15}$$

$$\Delta f = \frac{f_0}{Q} \tag{16}$$

Εάν η τιμή του Q είναι μικρότερη από 10, τότε τα μεγέθη f_0 και Q δεν είναι πολύ ευαίσθητα στις αλλαγές των τιμών των αντιστάσεων και των πυκνωτών.

Γενικά, προτιμούμε να ρυθμίζουμε τα κυκλώματα με όσο το δυνατόν λιγότερα μεταβλητά στοιχεία, τα οποία κατά προτίμηση επιθυμούμε να είναι αντιστάσεις.

Σχεδιασμός Φίλτρου Πολλαπλών Αναδράσεων:

Έστω ότι γνωρίζουμε τα επιθυμητά μεγέθη f_0, Q και A_0. Πρέπει κατ' αρχήν να εξασφαλίσουμε ότι το κέρδος του φίλτρου στη συχνότητα συντονισμού f_0 να είναι τουλάχιστον 100 φορές μικρότερο από το κέρδος *ανοιχτού βρόχου* του τελεστικού ενισχυτή. Αυτό εξασφαλίζει ότι ακόμα και αν το κέρδος ανοιχτού βρόχου διπλασιαστεί, το κέρδος κλειστού βρόχου θα μεταβληθεί μόνο κατά 1%.

Αρχικά, θέτουμε τους πυκνωτές σε μία βολική τιμή χωρητικότητας

$$C_3 = C_4 = C \tag{17}$$

Τώρα, μπορούμε να υπολογίσουμε τις αντιστάσεις ως εξής:

$$R_5 = \frac{2Q}{\omega_0 C} \tag{18}$$

$$R_2 = \frac{Q}{\left(2Q^2 - A_0\right)\omega_0 C} = \frac{R_5}{2\left(2Q^2 - A_0\right)} \tag{19}$$

$$R_1 = \frac{Q}{A_0 \omega_0 C} = \frac{R_5}{2A_0} \tag{20}$$

Η αντίσταση R_5 καθορίζει και την τάση απόκλισης (offset voltage) $V_{\text{OFFSET (out)}}$ στην έξοδο του φίλτρου. Εξαιτίας της αρνητικής τιμής του ρεύματος πόλωσης (bias current) I_{B}, η τιμή της αντίστασης R_5 περιορίζεται από τη σχέση:

$$R_5 < \frac{V_{\text{OFFSET (out)}}}{I_{\text{B}}} \tag{21}$$

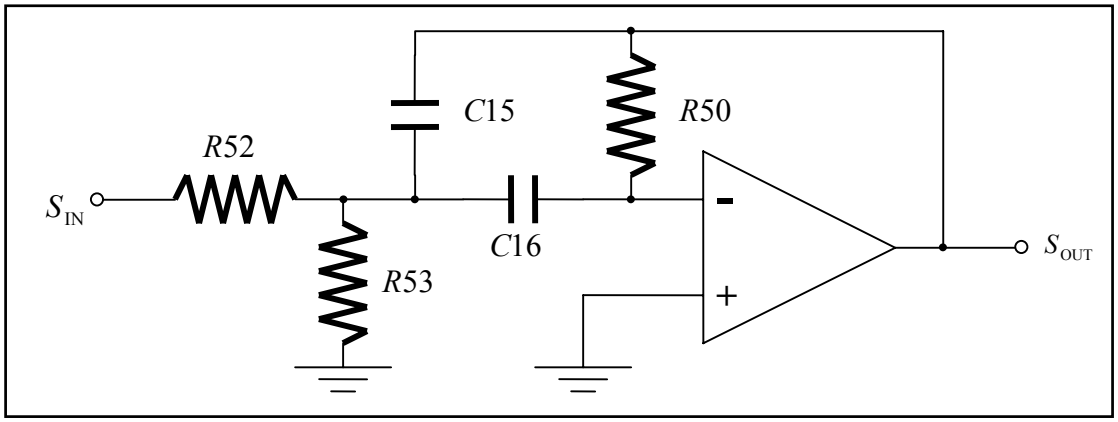
Αν η τιμή που εξάγουμε για την R_5 από τη σχέση (18) είναι μεγαλύτερη από ό,τι ορίζει η σχέση (21), θα πρέπει να επιλέξουμε μία μεγαλύτερη τιμή χωρητικότητας C για τους πυκνωτές, και να επαναλάβουμε τη διαδικασία από την αρχή.

Καθορισμός των στοιχείων του Φίλτρου:

Αλλάζοντας τις τιμές των R_1, R_2, R_5, C_3 και C_4, μπορούμε να αλλάξουμε τις τιμές των παραμέτρων του φίλτρου f_0, Q και A_0. Συνήθως είναι πιο δύσκολο να αλλάξουμε τους πυκνωτές, επομένως όταν σχεδιάζουμε φίλτρα προτιμούμε να καθορίζουμε τα χαρακτηριστικά τους από τις αντιστάσεις. Η ιδανική κατάσταση είναι να καταφέρουμε με μία αντίσταση να καθορίζουμε τη συχνότητα συντονισμού f_0, με άλλη αντίσταση να καθορίζουμε τον συντελεστή ποιότητας Q, και με άλλη αντίσταση το μέγιστο κέρδος A_0.

Στο φίλτρο που φαίνεται στην Εικόνα 3, μπορούμε να αλλάξουμε τη συχνότητα συντονισμού f_0 αλλάζοντας είτε την R_5, είτε την R_1, είτε την R_2. Επειδή συνήθως $R_1 >> R_2$, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την R_2 για την *χονδρική* ρύθμιση της f_0 και την R_1 για την *λεπτομερειακή* ρύθμιση της f_0. Αλλάζοντας τις R_2 και R_5 κατά το ίδιο ποσοστό, μας επιτρέπει να αλλάζουμε την τιμή της f_0 χωρίς να επηρεάζεται ουσιαστικά το Q.

Το ζωνοπερατό φίλτρο που εμπεριέχεται στην εκπαιδευτική μονάδα TPS-3431 είναι το ακόλουθο:



Εικόνα 4: Το Βαθυπερατό Φίλτρο της εκπαιδευτικής μονάδας TPS-3431.

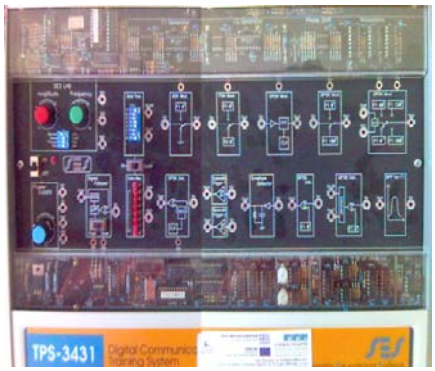
Όπου R52=10kΩ, R53=100Ω, R50=820kΩ, C15=C16=1nF.

Πρακτικό μέρος:

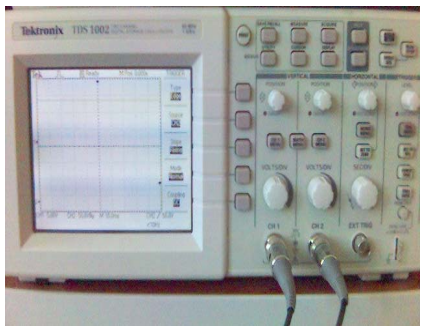
Στόχοι Εργαστηριακής Άσκησης:

- Μετάδοση σημάτων διαφορετικής συχνότητας διαμέσου ενός ζωνοπερατού φίλτρου.
- Μετρήσεις και υπολογισμοί των παραμέτρων του ζωνοπερατού φίλτρου.
- Φασματική ανάλυση της συνάρτησης μεταφοράς.

Απαιτούμενος Εξοπλισμός:



- Εκπαιδευτική Μονάδα TPS-3431
- Τροφοδοτικό της Εκπαιδευτικής Μονάδας TPS-3431
- Παλμογράφος δύο καναλιών
- Καλώδια σύνδεσης



Προπαρασκευαστικά Ερωτήματα:

Σε αυτήν την πειραματική άσκηση ουσιαστικά χρησιμοποιούμε το ζωνοπερατό φίλτρο που φαίνεται στην Εικόνα 3, με τις ακόλουθες τιμές:

$R_1 = 10\text{k}\Omega$

$R_2 = 100\Omega$

$R_5 = 820\text{k}\Omega$

$C_3 = 1\text{nF}$

$C_4 = 1\text{nF}$

α) Υπολογίστε τη συχνότητα συντονισμού του φίλτρου f_0.

β) Υπολογίστε το συντελεστή ποιότητας του φίλτρου Q.

γ) Υπολογίστε το εύρος ζώνης του φίλτρου Δf.

Στα ακόλουθα βήματα της εργαστηριακής άσκησης θα παρατηρήσουμε και θα μετρήσουμε την καμπύλη συχνοτικής απόκρισης, τον συντελεστή ποιότητας και το εύρος ζώνης του φίλτρου, και θα τα συγκρίνουμε με τις τιμές που υπολογίσαμε θεωρητικά στα παραπάνω ερωτήματα.

Πειραματική Διαδικασία:

Βήμα 1: Συνδέστε το τροφοδοτικό με το εκπαιδευτικό κιτ TPS-3431.

Βήμα 2: Συνδέστε το τροφοδοτικό σε πρίζα του ηλεκτρικού δικτύου και θέστε σε λειτουργία τη μονάδα μέσω του κεντρικού διακόπτη.

Βήμα 3: Συνδέστε την έξοδο της γεννήτριας σημάτων (signal generator) που βρίσκεται στην πάνω-αριστερή γωνία της εκπαιδευτικής μονάδας με την είσοδο του φίλτρου.

Βήμα 4: Συνδέστε το κανάλι CH1 του παλμογράφου στην είσοδο του φίλτρου. Επίσης συνδέστε το κανάλι CH2 του παλμογράφου στην έξοδο του φίλτρου. Βεβαιωθείτε ότι οι ακροδέκτες του παλμογράφου έχουν τον μικροδιακόπτη στη θέση 10x. Τέλος, κάνετε τις ακόλουθες ρυθμίσεις στον παλμογράφο:

[CH1 MENU] → [coupling AC] → [Probe 10x]

[CH2 MENU] → [coupling AC] → [Probe 10x] → [Invert ON]

<u>*Coupling AC*</u>: Με την επιλογή αυτή εμφανίζονται τα σήματα στην οθόνη του παλμογράφου συμμετρικά ως προς το 0, καθώς αφαιρείται τυχόν συνεχής συνιστώσα (DC) από το σήμα εισόδου.

<u>*Invert ON*</u>: Η επιλογή αυτή αναστρέφει το σήμα στην οθόνη του παλμογράφου. Αυτό είναι απαραίτητο για να παρατηρήσουμε την έξοδο του φίλτρου (CH2) με τη σωστή πολικότητα, καθώς το φίλτρο (λόγω του σχεδιασμού του με τελεστικό ενισχυτή) αντιστρέφει το σήμα εισόδου του.

Βήμα 5: Ρυθμίστε τη γεννήτρια σημάτων να παράγει ημιτονικό σήμα συχνότητας 10kHz. Με τη βοήθεια του παλμογράφου ελέγξτε την έξοδο της γεννήτριας σημάτων και επιβεβαιώστε ότι πρόκειται για ημιτονικό σήμα συχνότητας 10kHz.

Ο παλμογράφος εμφανίζει τη συχνότητα του σήματος στην κάτω δεξιά γωνία της οθόνης του.

Βήμα 6: Αυξήστε σιγά – σιγά τη συχνότητα της γεννήτριας σημάτων μέχρι το πλάτος της κυματομορφής εξόδου να γίνει μέγιστο. Σε αυτή την κατάσταση λέμε ότι το φίλτρο είναι *συντονισμένο*. Μετρήστε αυτό το πλάτος στην έξοδο και καταγράψτε το. Μετρήστε το πλάτος στην είσοδο του φίλτρου επίσης, και καταγράψτε το.

Τρόπος μέτρησης πλάτους κυματομορφής:

Ο ψηφιακός παλμογράφος μας παρέχει πολλές δυνατότητες για τη μέτρηση διάφορων παραμέτρων των κυματομορφών. Έχουμε πρόσβαση στο μενού των μετρήσεων με το πλήκτρο [MEASURE]. Εμφανίζονται τότε στη δεξιά πλευρά της οθόνης 5 επιλογές μέτρησης (Measure 1 έως Measure 5), που σημαίνει ότι μπορούμε να κάνουμε μέχρι 5 μετρήσεις ταυτόχρονα. Επιλέγουμε αρχικά το Measure 1. Κατόπιν, επιλέγουμε ποιο από τα δύο κανάλια θέλουμε να μετρήσουμε (CH1 ή CH2). Τέλος επιλέγουμε τον τύπο της μέτρησης. Εμείς τώρα ενδιαφερόμαστε για την μέτρηση Pk-Pk (*peak-to-peak*, δηλ. από κορυφή σε κορυφή). Σημειώστε όμως ότι το πλάτος της κυματομορφής είναι το μισό της *peak-to-peak* μέτρησης.

Βήμα 7: Καταγράψτε τη συχνότητα του σήματος σε κατάσταση συντονισμού. Συμφωνεί με τη συχνότητα f_0 που υπολογίσατε θεωρητικά;

Βήμα 8: Αυξήστε σιγά – σιγά τη συχνότητα της γεννήτριας σημάτων, έως ότου το πλάτος του σήματος στην έξοδο του φίλτρου γίνει ίσο με 0,7 φορές το μέγιστο πλάτος που καταγράψατε στο βήμα 6. Αυτή είναι η δεξιά συχνότητα μισής ισχύος.
Καταγράψτε τη συχνότητα του σήματος σε αυτήν την κατάσταση.

Βήμα 9: Μειώστε σιγά – σιγά τη συχνότητα της γεννήτριας σημάτων, έως ότου το πλάτος του σήματος στην έξοδο του φίλτρου γίνει ξανά ίσο με 0.7 φορές το μέγιστο πλάτος που καταγράψατε στο βήμα 6. Αυτή είναι η αριστερή συχνότητα μισής ισχύος.
Βεβαιωθείτε ότι σε όλη την παραπάνω διαδικασία δεν έχει μεταβληθεί το

πλάτος στην είσοδο του φίλτρου.

Καταγράψτε τη συχνότητα του σήματος σε αυτήν την κατάσταση.

Βήμα 10: Από τα πειραματικά δεδομένα υπολογίστε το εύρος ζώνης του φίλτρου. Συμφωνεί με την θεωρητική τιμή του Δf που υπολογίσατε παραπάνω;

Βήμα 11: Από τα πειραματικά δεδομένα υπολογίστε τον συντελεστή ποιότητας Q. Συμφωνεί με την θεωρητική τιμή του Q που υπολογίσατε παραπάνω;

Βήμα 12: Συμπληρώστε τον ακόλουθο πίνακα:

f (kHz)	**5**	**10**	**15**	**20**	**22**	**24**	**26**	**28**	**30**	**32**	**34**	**36**	**38**	**40**	**45**	**50**	**55**
Vout																	

Σε κάθε μέτρηση, βεβαιωθείτε ότι το πλάτος εισόδου παραμένει σταθερό.

Βήμα 13: Σχεδιάστε την καμπύλη απόκρισης του φίλτρου. Δηλαδή στον οριζόντια άξονα θα βάλετε τη συχνότητα και στον κατακόρυφο το λόγο $V_{\text{out}}/V_{\text{in}}$.

Βήμα 14: Σημειώστε επάνω στο διάγραμμα απόκρισης του φίλτρου τις δύο συχνότητες μισής ισχύος.

Βήμα 15: Στο σημείο ελέγχου TP1 εμφανίζεται ένα σήμα ελέγχου που ονομάζεται F1.

Αποσυνδέστε την είσοδο του φίλτρου από την έξοδο της γεννήτριας σημάτων.

Συνδέστε την είσοδο του φίλτρου με το σημείο ελέγχου TP1.

Βήμα 16: Σχεδιάστε τις κυματομορφές εισόδου και εξόδου του φίλτρου, όπως ακριβώς εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου.

Βήμα 17: Μετρήστε και καταγράψτε τη συχνότητα του σήματος F1.

Βήμα 18: Στο σημείο ελέγχου TP2 εμφανίζεται ένα σήμα ελέγχου που ονομάζεται F2.

Αποσυνδέστε την είσοδο του φίλτρου από το TP1 και συνδέστε την με το σημείο ελέγχου TP2.

Βήμα 19: Σχεδιάστε τις κυματομορφές εισόδου και εξόδου του φίλτρου, όπως ακριβώς εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου.

Βήμα 20: Μετρήστε και καταγράψτε τη συχνότητα του σήματος F2.

M o d e m

&

ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

Modem και μέθοδοι διαμόρφωσης

Οι ραδιοεπικοινωνίες είναι γνωστές και απλές, αλλά λίγοι άνθρωποι ή οργανισμοί έχουν ραδιοπομπούς και δέκτες. Αν είχαν, θα έπρεπε να λειτουργούν στη συχνότητά σας, να χρησιμοποιούν τον δικό σας τύπο διαμόρφωσης και να είναι διαθέσιμοι στον κατάλληλο χρόνο. Επομένως, οι ραδιοεπικοινωνίες, απλώς, δεν είναι οι πλέον ενδεδειγμένες.

Ο ταχύτερος και ευκολότερος τρόπος επικοινωνίας με οποιανδήποτε άλλον οπουδήποτε στον κόσμο είναι το τηλέφωνο. Το τηλεφωνικό δίκτυο είναι ένα τεράστιο ηλεκτρονικό επικοινωνιακό σύστημα που υπάρχει, και ουσιαστικά χρησιμοποιείται από όλους. Το σήμα της φωνής μας ταξιδεύει μέσα σε εκατοντάδες ή ακόμη χιλιάδες χιλιομέτρων σύρματος και ακόμη μέσω ζεύξεων μικροκυματικών αναμεταδοτών και επικοινωνιακών δορυφόρων. Στα σύγχρονα πλέον τηλεφωνικά συστήματα μακρινών αποστάσεων, η φωνή μας μπορεί να μεταφερθεί σε μια φωτεινή δέσμη σε καλώδιο οπτικής ίνας.

Αν και η φωνή είναι το κύριο σήμα που μεταφέρεται με το τηλεφωνικό σύστημα, αυτό το δίκτυο χρησιμοποιείται πλέον ευρέως για μεταφορά επίσης ψηφιακής πληροφορίας. Όταν είναι απαραίτητη η επικοινωνία μεταξύ Η/Υ ή η πρόσβαση ενός προσωπικού Η/Υ ή ενός τερματικού σε ένα μεγάλο κύριο υπολογιστή, το τηλεφωνικό δίκτυο παίζει το ρόλο του επικοινωνιακού μέσου.

Υπάρχουν δύο βασικά προβλήματα στην μετάδοση ψηφιακών δεδομένων μέσω του τηλεφωνικού δικτύου. Το πρώτο πρόβλημα είναι ότι τα δυαδικά σήματα συνήθως είναι dc παλμοί, που σημαίνει ότι, τα δυαδικά "1" και "0" παρίστανται με παλμούς μιας συγκεκριμένης πολικότητας, συνήθως θετικής. Η τηλεφωνική γραμμή είναι σχεδιασμένη για να μεταφέρει μόνο ac σήματα. Κατά τη διαδρομή τα σήματα φωνής και άλλα αναλογικά σήματα υφίστανται επεξεργασία από διάφορα εξαρτήματα, κυκλώματα, κλπ. Συνήθως επιτρέπεται η διέλευση μόνο ac σημάτων, συγκεκριμένης περιοχής συχνοτήτων, συνήθως στην περιοχή 300-3000Hz. Αν ένα δυαδικό σήμα εφαρμοζόταν κατευθείαν στο τηλεφωνικό δίκτυο θα παραμορφωνόταν λόγω της χωρητικότητας και της επαγωγικότητας που εμφανίζει η γραμμή σε μεγάλες αποστάσεις. Έτσι η αναγνώριση των bits καθίσταται υπερβολικά δύσκολη έως και

αδύνατη. Επιπλέον, τα δυαδικά δεδομένα συνήθως μεταδίδονται με μεγάλες ταχύτητες. Αυτά τα δεδομένα μεγάλων ταχυτήτων ουσιαστικά θα απορρίπτονταν με φιλτράρισμα από το σύστημα, λόγω του περιορισμένου του εύρους ζώνης.

Στην προσπάθεια μας να μεταδώσουμε σήματα σε μακρινές αποστάσεις, τα ψηφιακά δεδομένα, στον πομπό, «φορτώνονται» πάνω σ' ένα αναλογικό φέρον κύμα. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται ***διαμόρφωση (modulation)***.

Στον δέκτη, η ψηφιακή πληροφορία διαχωρίζεται, ανακτάται, από το φέρον σήμα μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται ***αποδιαμόρφωση (demodulation)***.

Η μετάδοση ψηφιακών δεδομένων μέσω του τηλεφωνικού δικτύου γίνεται με το ***modem*** (***mo***dulation-***dem***odulation), το οποίο είναι μια συσκευή που περιλαμβάνει ένα διαμορφωτή και έναν αποδιαμορφωτή. Ένα modem χρησιμοποιείται για να μετατρέπει δυαδικά σήματα σε αναλογικά, με δυνατότητα μετάδοσής τους μέσω των τηλεφωνικών γραμμών, και να αποδιαμορφώνει τέτοια αναλογικά σήματα ώστε να ανακατασκευάζει την ισοδύναμη δυαδική έξοδο. Ένα modem προκαλεί τη διαμόρφωση ενός αναλογικού ημιτονικού φορέα από τους δυαδικούς dc παλμούς. Ο ημιτονικός φορέας είναι συμβατός με την τηλεφωνική γραμμή. Το modem καθιστά τα δυαδικά σήματα συμβατά με το αναλογικό τηλεφωνικό δίκτυο. Τέλος, αν το εύρος ζώνης του τηλεφωνικού δικτύου περιορίζεται ουσιαστικά στα 3kHz, μια ποικιλία ευρηματικών τεχνικών διαμόρφωσης επιτρέπουν ρυθμούς σειριακής μετάδοσης δεδομένων αρκετών εκατοντάδων bps.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι διαμόρφωσης και η καθεμιά επιλέγεται ανάλογα με την ταχύτητα επικοινωνίας και το επίπεδο αξιοπιστίας που επιθυμούμε, κάτι το οποίο είναι σε πλήρη συνάφεια με το βαθμό πολυπλοκότητας του συστήματος μετάδοσης και αποδιαμόρφωσης.

Για παράδειγμα, ο συναγερμός στο αυτοκίνητό μας απαιτεί το σύστημα μετάδοσης και λήψης να είναι όσο το δυνατό πιο μικρό και πιο φθηνό, λόγω του μεγάλου ανταγωνισμού. Το επίπεδο αξιοπιστίας, όσον αφορά την επικοινωνία και όχι την αναγνώριση των δεδομένων, δεν είναι τόσο σημαντικό μιας και η πληροφορία μεταδίδεται επαναλαμβανόμενα μέχρι ο δέκτης του συστήματος να λάβει τα επιθυμητά δεδομένα. Από την άλλη, η επικοινωνία στο διαδίκτυο (internet) επιθυμούμε να έχει την μέγιστη δυνατή αξιοπιστία και ταχύτητα μετάδοσης, Ακόμη,

οι επικοινωνίες μεταξύ των τραπεζών απαιτούν υψηλές ταχύτητες μετάδοσης στο κανάλι με τον ελάχιστο δυνατό θόρυβο.

Κάθε τριγωνομετρικό σήμα έχει τρεις χαρακτηριστικές παραμέτρους: το πλάτος, την συχνότητα και την φάση. Κατά την διαδικασία της διαμόρφωσης μεταβάλλουμε κάποια από τις παραπάνω παραμέτρους ή και συνδυασμό τους, ανάλογα με τα μεταδιδόμενα δεδομένα.

Στο εργαστήριο των Επικοινωνιών Ι ασχοληθήκαμε με τις αναλογικές επικοινωνίες και εξετάσαμε τις εξής τρεις μεθόδους διαμόρφωσης:

- AM Διαμόρφωση Πλάτους (Amplitude Modulation)
- FM Διαμόρφωση Συχνότητας (Frequency Modulation)
- PM Διαμόρφωση Φάσης (Phase Modulation)

Σε αυτό το εργαστήριο θα εξετάσουμε και θα πειραματιστούμε με διάφορες τεχνικές διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται στις ψηφιακές επικοινωνίες και συγκεκριμένα με τις εξής πέντε:

- ASK Μεταλλαγή Μετατόπισης Πλάτους (Amplitude Shift Keying)
- FSK Μεταλλαγή Μετατόπισης Συχνότητας (Frequency Shift Keying)
- BPSK Δυαδική Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης (Binary Phase Shift Keying)
- DPSK Διαφορική Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης (Differentia Phase Shift Keying)
- QPSK Ορθογωνική Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης (Quadrature Phase Shift Keying).

ΑΣΚΗΣΗ 3η

ΑΣΚΗΣΗ 3η

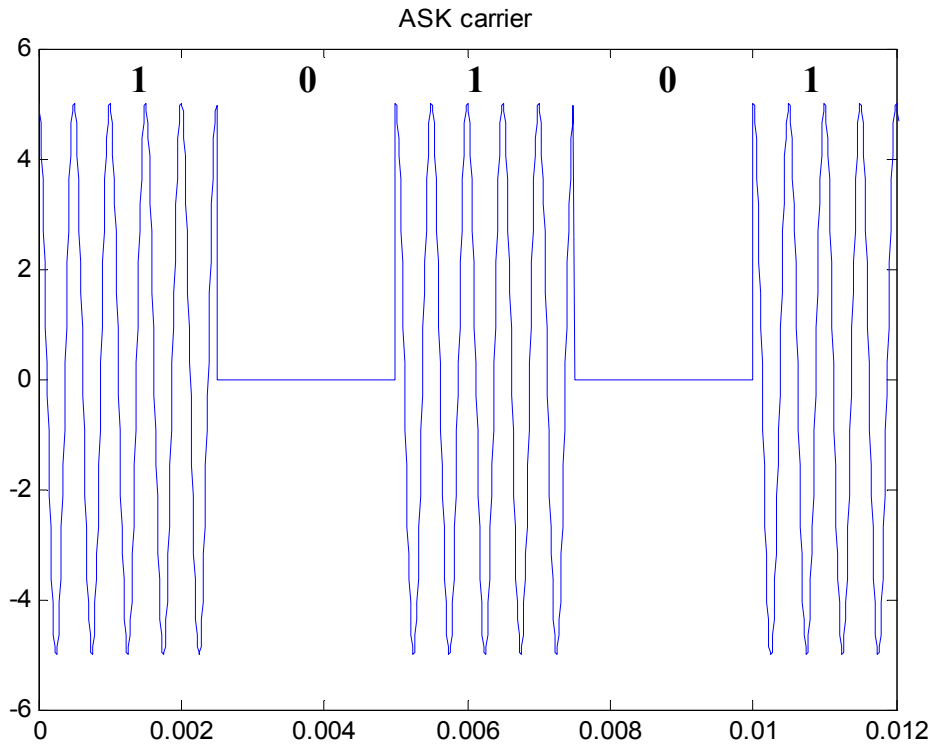
Θεωρητικό μέρος:

Μεταλλαγή Μετατόπισης Πλάτους

ASK (Amplitude Phase Shift Keying)

Η ASK (*amplitude shift keying*) είναι η πιο απλή μέθοδος ψηφιακής διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης. Σε αυτήν, ένας απλός ηλεκτρονικός διακόπτης (που μπορεί να είναι αναλογικός, transistor, ή λογική πύλη) επιλέγει είτε έναν ημιτονικό φορέα (carrier) για το δυαδικό ψηφίο "1", είτε συνδέεται με τη γείωση για το δυαδικό ψηφίο "0".

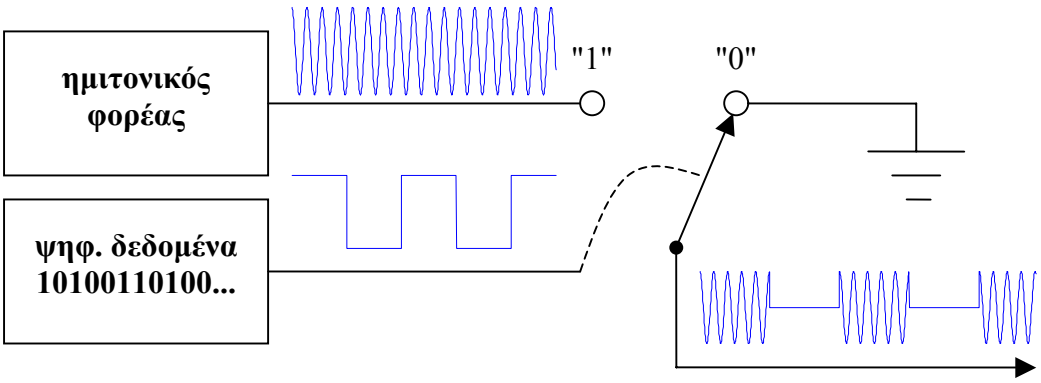
Στο σχήμα 1, για παράδειγμα, φαίνεται η διαμόρφωση κατά ASK της ακολουθίας δυαδικών ψηφίων **10101**. Βλέπουμε ότι για τα δυαδικά ψηφία **1** εκπέμπεται ο φορέας, ενώ για τα ψηφία **0** δεν υπάρχει εκπομπή φορέα.



Σχήμα 1. Παράδειγμα ψηφιακής διαμόρφωσης ASK

Η διαμόρφωση ASK

Το διαμορφωμένο σήμα ASK μπορεί να παραχθεί με έναν απλό αναλογικό διακόπτη, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:

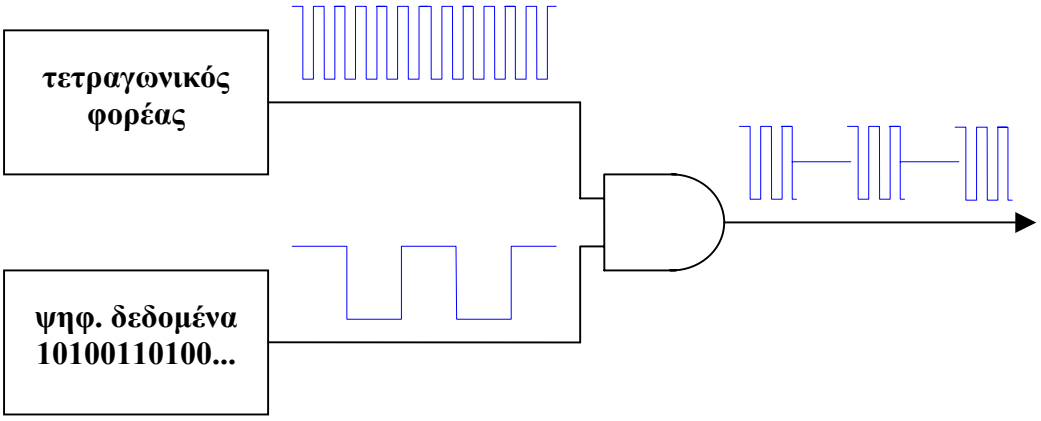


Σχήμα 2. Παραγωγή ASK διαμόρφωσης με αναλογικό διακόπτη

Η εμφάνιση του δυαδικού ψηφίου "0" αναγκάζει τον αναλογικό διακόπτη να επιλέξει τη σύνδεση με τη γείωση, οπότε η έξοδος παρουσιάζει μια σταθερή μηδενική τάση.

Αντίθετα, η εμφάνιση του δυαδικού ψηφίου "1" αναγκάζει τον διακόπτη να επιλέξει τη σύνδεση με τον φορέα, οπότε στην έξοδο εμφανίζεται ο ημιτονικός φορέας για όλη τη διάρκεια του bit.

Ένας άλλος τρόπος δημιουργίας ASK σήματος είναι με χρήση της λογικής πύλης AND, όπως φαίνεται στο διάγραμμα παρακάτω:



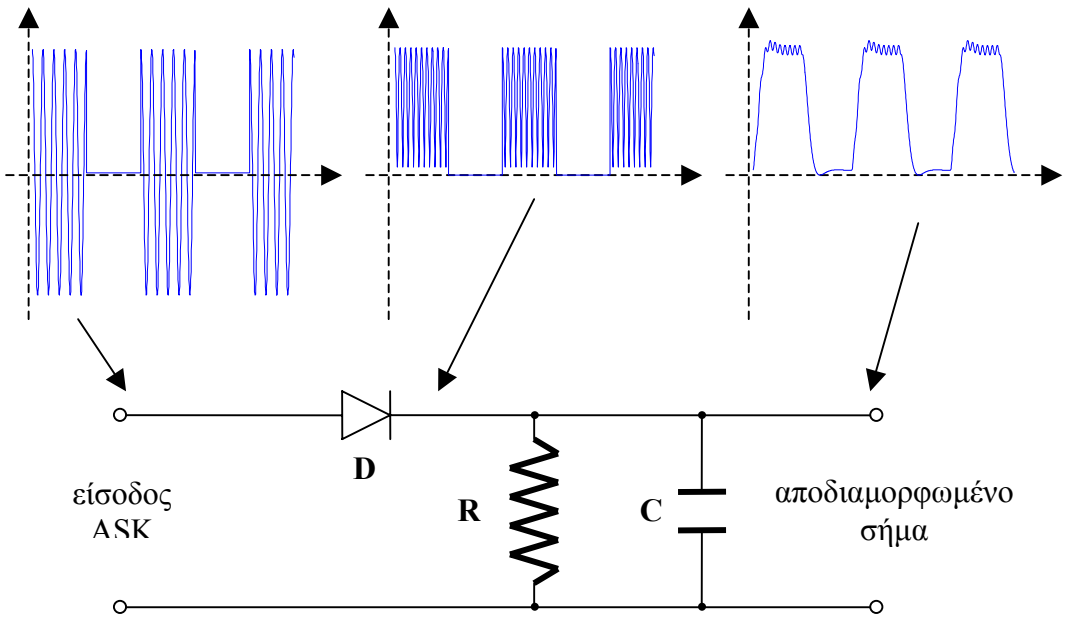
Σχήμα 3. Παραγωγή ASK διαμόρφωσης με ψηφιακή πύλη AND

Είναι σημαντικό εδώ να σημειώσουμε ότι με την παραπάνω μέθοδο της πύλης AND, ο φορέας και το παραγόμενο ASK σήμα έχουν τετραγωνική και όχι ημιτονική μορφή. Αυτό σημαίνει ότι περιέχουν αρμονικές ανώτερης τάξης ($2^{ης}$, $3^{ης}$, $4^{ης}$, ...) οι οποίες θα πρέπει να αφαιρεθούν πριν την εκπομπή του σήματος. Αν δεν φιλτραριστούν αυτές οι αρμονικές θα προκαλέσουν παρεμβολή σε γειτονικά κανάλια άλλων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.

Αποδιαμόρφωση ASK με ανιχνευτή περιβάλλουσας

Ο όρος *αποδιαμόρφωση* αναφέρεται στην ανάκτηση της ψηφιακής πληροφορίας από το διαμορφωμένο σήμα. Η απλούστερη και πιο συνηθισμένη μέθοδος αποδιαμόρφωσης της ASK κυματομορφής είναι αυτή της *ανίχνευσης περιβάλλουσας*. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι η ψηφιακή πληροφορία είναι τοποθετημένη στην περιβάλλουσα του διαμορφωμένου σήματος. Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου αυτής φαίνεται στο Σχήμα 4.

Το κύκλωμα αποδιαμόρφωσης της ASK είναι πολύ απλό. Αποτελείται βασικά από έναν ανορθωτή και ένα βαθυπερατό φίλτρο που μαζί παίζουν το ρόλο του *ανιχνευτή περιβάλλουσας*.



Σχήμα 4. Αποδιαμόρφωση ASK με ανιχνευτή περιβάλλουσας

Βέβαια, για την επίτευξη της επιλεκτικότητας του δέκτη, είναι επίσης απαραίτητο και ένα ζωνοπερατό φίλτρο στην είσοδο (το οποίο δε φαίνεται για λόγους

απλότητας) ώστε να επιλεχθούν μόνο οι περιοχές συχνοτήτων που περιέχουν το εκπεμπόμενο σήμα.

Το σήμα ASK αρχικά ανορθώνεται από τη δίοδο ώστε να εξαφανιστούν οι αρνητικές τιμές της κυματομορφής. Κατόπιν το ανορθωμένο σήμα φιλτράρεται από ένα βαθυπερατό φίλτρο (αντίσταση και πυκνωτής) για να κατασταλούν (αφαιρεθούν) οι υψηλές συχνότητες του φορέα ώστε να εξομαλυνθεί η κυματομορφή.

Η μέθοδος αυτή είναι μεν εξαιρετικά απλή, αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι ανεπαρκής για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων.

Ανάλυση λειτουργίας του ανιχνευτή περιβάλλουσας

Η δίοδος αποκόπτει τις αρνητικές τιμές της κυματομορφής ASK και αφήνει μόνο το θετικό τμήμα της. Καθώς αυξάνεται η τάση εισόδου και παίρνει θετικές τιμές, η δίοδος άγει και έτσι φορτίζεται ο πυκνωτής μέχρι τη μέγιστη τιμή που είναι το πλάτος της κυματομορφής. Στο στάδιο που η τάση της κυματομορφής μειώνεται και παίρνει αρνητικές τιμές, η δίοδος παύει να άγει με αποτέλεσμα να διατηρείται η τάση του πυκνωτή ο οποίος εκφορτίζεται *αργά* διαμέσου της αντίστασης. Έτσι, η τάση στα άκρα του πυκνωτή προσεγγίζει την περιβάλλουσα της ASK κυματομορφής.

Οι τιμές του πυκνωτή και της αντίστασης (και συγκεκριμένα το γινόμενο RC – η *χρονική σταθερά* του φίλτρου) είναι κατάλληλα επιλεγμένες ώστε η εκφόρτιση του πυκνωτή να γίνεται με πολύ πιο αργό ρυθμό από τη συχνότητα του φέροντος, αλλά πολύ πιο γρήγορα από το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων.

Στις ασύρματες επικοινωνίες γενικά, η συχνότητα του φέροντος είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων. Έτσι, η εξομάλυνση που προκαλεί το φίλτρο εξαφανίζει αφενός τις υψηλές συχνότητες του φέροντος, αλλά και διατηρεί τη μορφή των ψηφιακών δεδομένων.

Στα ενσύρματα τηλεφωνικά κανάλια ψηφιακής μετάδοσης όμως (όπως π.χ. στο σύστημα DSL), η συχνότητα του φέροντος είναι σχετικά μικρή. Επομένως, εάν επιθυμούμε υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, είναι πρακτικά αδύνατο να επιλέξουμε την κατάλληλη χρονική σταθερά ώστε να έχουμε ταυτόχρονα ικανή εξομάλυνση αλλά και διατήρηση της μορφής των ψηφιακών δεδομένων.

Πιο αναλυτικά:

f_m : ρυθμός μετάδοσης δεδομένων

$T_m = \frac{1}{f_m}$: περίοδος ψηφιακών δεδομένων (περίοδος bit)

f_c : συχνότητα φορέα

$T_c = \frac{1}{f_c}$: περίοδος φορέα

Για την βέλτιστη λειτουργία του ανιχνευτή περιβάλλουσας θα πρέπει:

$$T_c << RC << T_m$$

Για παράδειγμα, εάν:

$T_m = 1\,\text{msec}$ ($f_m = 1\,\text{kHz}$)

$T_c = 0.04\,\text{msec}$ ($f_m = 25\,\text{kHz}$)

θα μπορούσαμε να επιλέξουμε:

$$RC = 0{,}1\,\text{msec}$$

το οποίο μπορεί να επιτευχθεί π.χ. από τις ακόλουθες τιμές:

$C = 0{,}1\,\mu\text{F}$

$R = 1\,\text{k}\Omega$

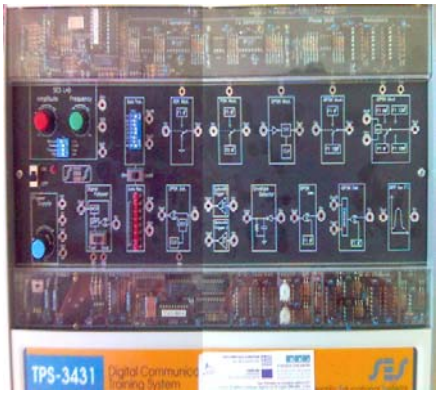
Πρακτικό μέρος:

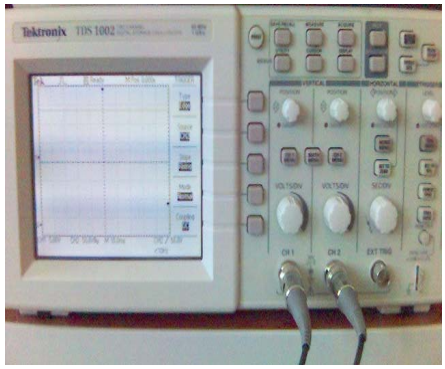
Στόχοι Εργαστηριακής Άσκησης:

- Δημιουργία του διαμορφωμένου σήματος ASK
- Λήψη και αποδιαμόρφωση του σήματος ASK με χρήση ανιχνευτή περιβάλλουσας.
- Εξέταση της επίδρασης της χρονικής σταθεράς του ανιχνευτή περιβάλλουσας στην ποιότητα της αποδιαμόρφωσης.
- Εξέταση της επίδρασης της συχνότητας του σήματος εισόδου στη μορφή του σήματος εξόδου.

Απαιτούμενος Εξοπλισμός:

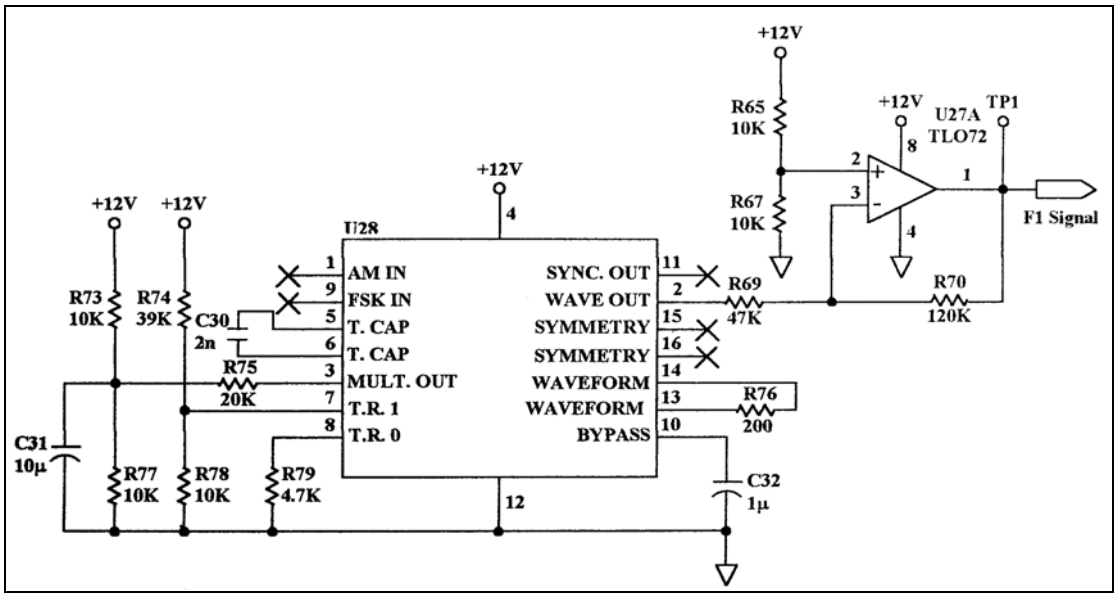
- Εκπαιδευτική Μονάδα TPS-3431
- Τροφοδοτικό της Εκπαιδευτικής Μονάδας TPS-3431
- Παλμογράφος δύο καναλιών
- Καλώδια σύνδεσης



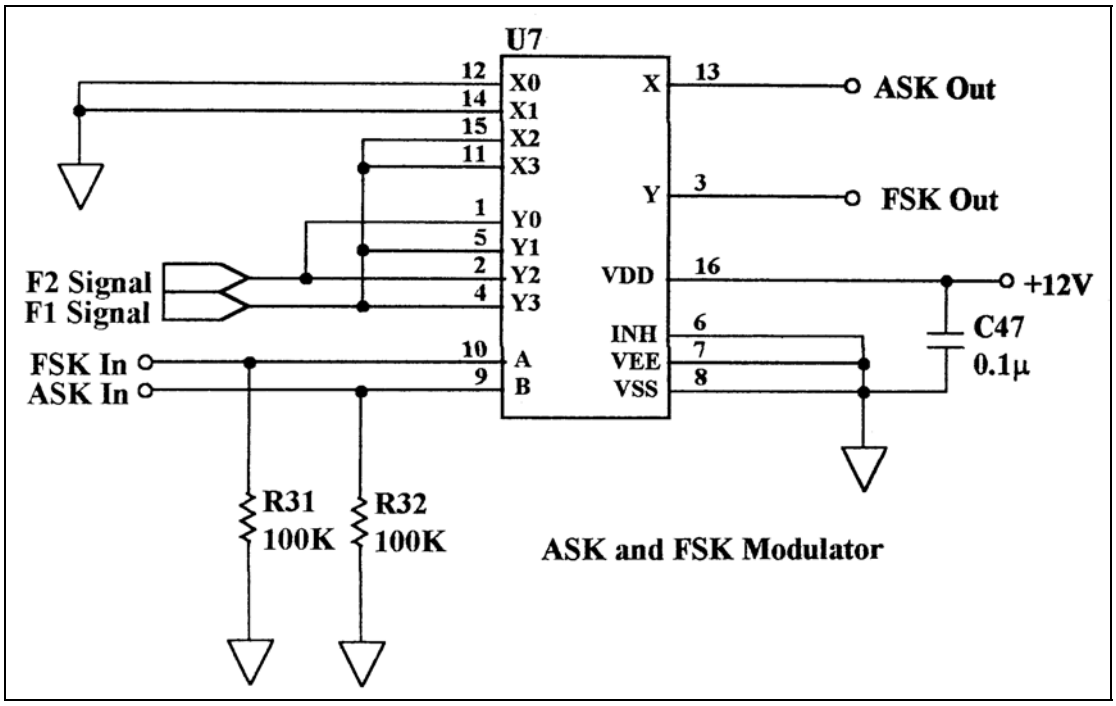


Τα κυκλώματα ASK της εκπαιδευτικής μονάδας:

Ο ημιτονικός φορέας (όπως φαίνεται στο Σχήμα 2) παράγεται από το ολοκληρωμένο κύκλωμα XR-2206 που είναι μία γεννήτρια σημάτων. Ο φορέας αυτός στο εκπαιδευτικό κιτ ονομάζεται F1. Το πλήρες κύκλωμα φαίνεται στο Σχήμα 5.



Σχήμα 5. Το κύκλωμα παραγωγής του φορέα F1



Σχήμα 6. Το κύκλωμα παραγωγής της ASK διαμόρφωσης (ASK Modulator)

Η παραγωγή του σήματος ASK γίνεται από έναν αναλογικό ηλεκτρονικό διακόπτη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6. Όπως βλέπουμε, το ίδιο ολοκληρωμένο κύκλωμα χρησιμοποιείται και για την παραγωγή του σήματος της FSK διαμόρφωσης, που θα μελετήσουμε σε επόμενο εργαστήριο. Ο τρόπος που λειτουργεί αυτό το κύκλωμα είναι πολύ απλός:

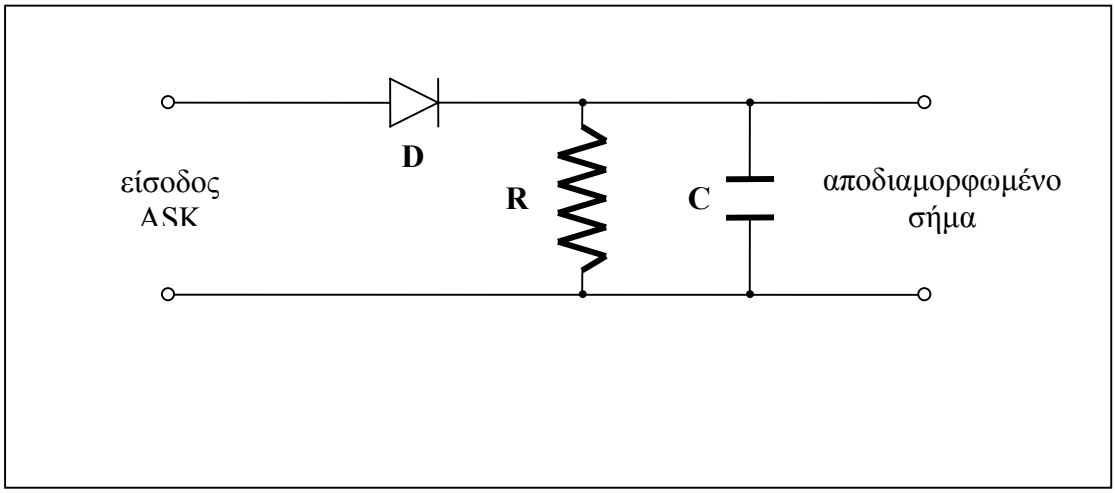
- Όταν εφαρμόζεται λογικό "0" στην είσοδο ASK In, τότε η έξοδος ASK Out συνδέεται με την είσοδο X0, η οποία όμως είναι μόνιμα συνδεδεμένη με τη γείωση. Έτσι στην έξοδο παίρνουμε σταθερά 0V.
- Όταν εφαρμόζεται λογικό "1" στην είσοδο ASK In, τότε η έξοδος ASK Out συνδέεται με την είσοδο X2. Η X2 όμως είναι μόνιμα συνδεδεμένη στον φορέα F1. Έτσι στην έξοδο παίρνουμε τον φορέα F1.

Βλέπουμε λοιπόν ότι στην έξοδο ASK Out παίρνουμε είτε 0V, είτε τον φορέα F1, ανάλογα με την λογική στάθμη της εισόδου ASK In.

Το κύκλωμα αποδιαμόρφωσης ASK με ανίχνευση περιβάλλουσας της εκπαιδευτικής μονάδας TPS-3431 φαίνεται στο Σχήμα 7. Οι τιμές των στοιχείων είναι:

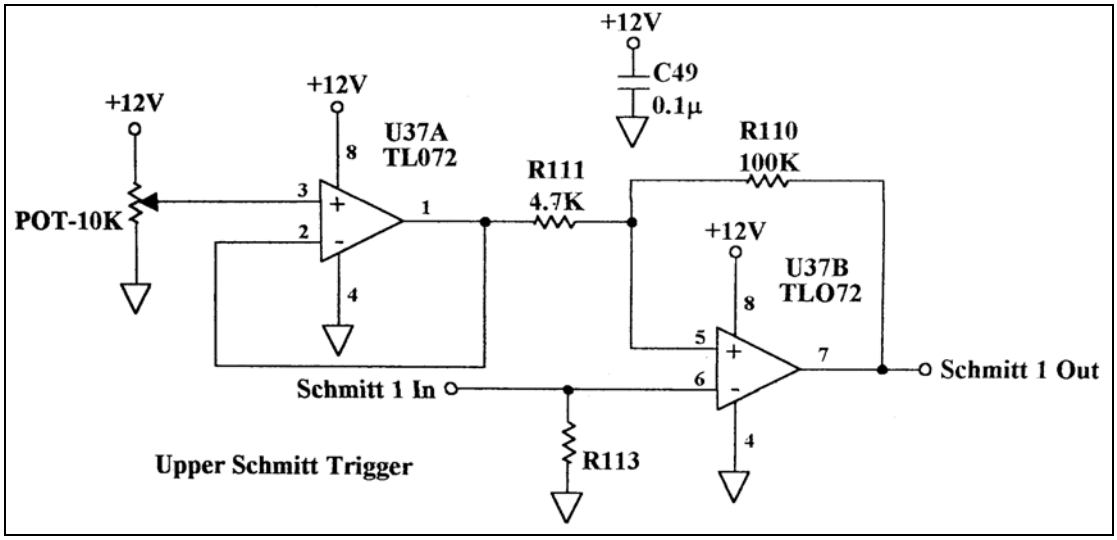
$C = 22\,\text{nF}$

$R = 100\,\text{k}\Omega$



Σχήμα 7. Το κύκλωμα αποδιαμόρφωσης ASK (ASK Demodulator)

Το σήμα που παράγεται στην έξοδο του ανιχνευτή περιβάλλουσας (όπως φαίνεται στο Σχήμα 4) όμως είναι *αναλογικό* στη φύση του. Για να το μετατρέψουμε σε ψηφιακή μορφή, χρησιμοποιούμε το κύκλωμα του Σχήματος 8, το οποίο ονομάζεται σκανδαλιστής Schmitt Trigger.



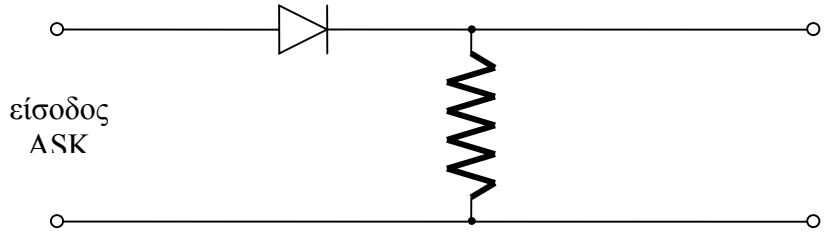
Σχήμα 8. Το κύκλωμα του σκανδαλιστή Schmitt Trigger

Προπαρασκευαστικά Ερωτήματα:

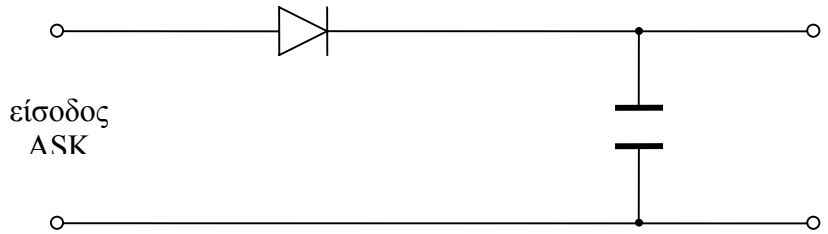
Ένα ημιτονικός φορέας συχνότητας 15kHz και πλάτους 10V διαμορφώνεται κατά ASK από ψηφιακά δεδομένα. Κατόπιν, μεταδίδεται και λαμβάνεται από αποδιαμορφωτή ASK με ανιχνευτή περιβάλλουσας. Τα ψηφιακά δεδομένα είναι η ακολουθία 1010101010... (δηλαδή το "1" και το "0" εναλλάσσονται συνεχώς) με διάρκεια bit ίση με 0.5msec.

α) Σχεδιάστε αναλυτικά το παραγόμενο ASK σήμα.

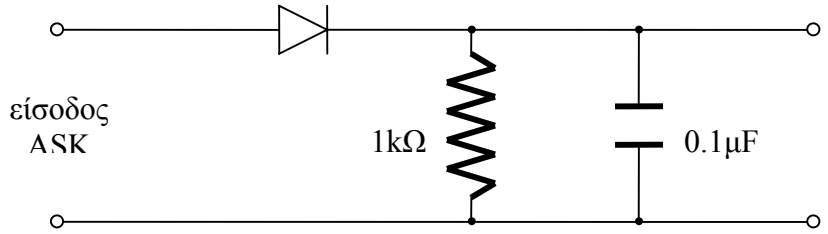
β) Τι μορφή θα έχει η έξοδος του ακόλουθου φίλτρου;



γ) Τι μορφή θα έχει η έξοδος του ακόλουθου φίλτρου;



γ) Τι μορφή θα έχει η έξοδος του ακόλουθου φίλτρου;



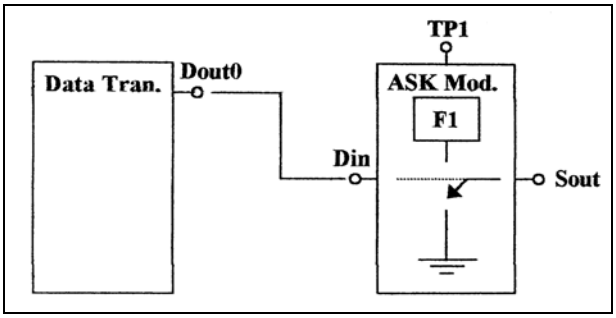
δ) Ποια είναι η επιθυμητή χρονική σταθερά RC του ανιχνευτή για το συγκεκριμένο σήμα ASK? Προτείνετε τιμές για τα R και C.

Πειραματική Διαδικασία:

Βήμα 1: Συνδέστε το τροφοδοτικό με το εκπαιδευτικό κιτ TPS-3431.

Βήμα 2: Συνδέστε το τροφοδοτικό σε πρίζα του ηλεκτρικού δικτύου και θέστε σε λειτουργία τη μονάδα μέσω του κεντρικού διακόπτη.

Βήμα 3: Συνδέστε την έξοδο του πομπού δεδομένων (Data Transmitter) στην είσοδο του διαμορφωτή ASK (ASK Modulator).



Γυρίστε το διακόπτη BIN/QUAD στη θέση BIN.

Βήμα 4: Συνδέστε το κανάλι 1 (CH1) του παλμογράφου στην είσοδο του διαμορφωτή. Για την καλύτερη εμφάνιση του σήματος στην οθόνη του παλμογράφου, ορίστε την χρονική βάση του παλμογράφου στην τιμή 5msec/div. Βεβαιωθείτε ότι οι ακροδέκτες του παλμογράφου έχουν τον μικροδιακόπτη στη θέση 10x. Τέλος, κάνετε τις ακόλουθες ρυθμίσεις στον παλμογράφο:

[CH1 MENU] → [coupling AC] → [Probe 10x]

[CH2 MENU] → [coupling AC] → [Probe 10x]

<u>*Coupling AC*</u>: Με την επιλογή αυτή εμφανίζονται τα σήματα στην οθόνη του παλμογράφου συμμετρικά ως προς το 0, καθώς αφαιρείται τυχόν συνεχής συνιστώσα (DC) από το σήμα εισόδου.

Βήμα 5: Με τους 8 μικροδιακόπτες του πομπού, ορίστε τον δυαδικό αριθμό 01010101.

Αναγνωρίστε τα μεταδιδόμενα bits στην οθόνη του παλμογράφου.

Βήμα 6: Συνδέστε το κανάλι 2 (CH2) το παλμογράφου στο σημείο ελέγχου TP1.

Στην οθόνη τώρα του παλμογράφου βλέπετε και την κυματομορφή του φορέα F1.

Για την καλύτερη εμφάνιση του φορέα στην οθόνη του παλμογράφου, ορίστε την χρονική βάση του παλμογράφου στην τιμή 50μsec/div.

Με την εκκίνηση του παλμογράφου, η λειτουργία Trigger είναι καθορισμένη στο κανάλι 1. Αλλάξτε το Trigger (από το ανάλογο μενού) στο κανάλι 2. Παρατηρήστε τι αλλάζει στην οθόνη του παλμογράφου.

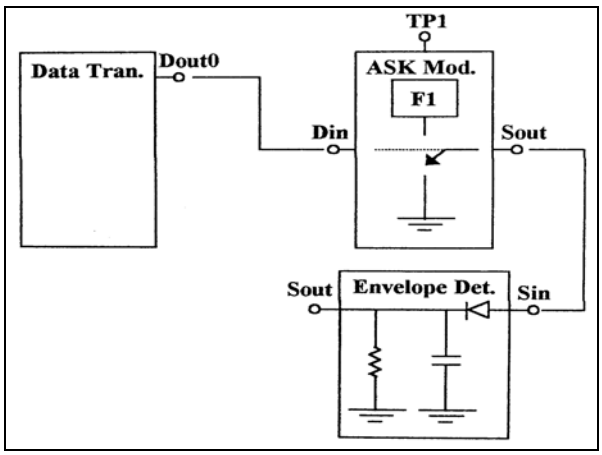
Προσοχή: Από αυτό το σημείο και μετά, θα πρέπει να ρυθμίζεται μόνοι σας την πηγή του Trigger, ανάλογα με το ποιο κανάλι σας ενδιαφέρει κάθε φορά.

Βήμα 7: Μετρήστε και καταγράψτε τη συχνότητα του φορέα. Η συχνότητα αυτή θα πρέπει να είναι περίπου 12kHz.

Βήμα 8: Μετακινήστε τον ακροδέκτη του καναλιού 2 στην έξοδο του διαμορφωτή ASK. Αλλάξτε και πάλι την χρονική βάση του παλμογράφου στην τιμή 5msec/div.

Βήμα 9: Καταγράψτε τα σήματα όπως φαίνονται στην οθόνη του παλμογράφου: α) την είσοδο του διαμορφωτή, και β) την έξοδο του διαμορφωτή.

Βήμα 10: Συνδέστε την έξοδο του διαμορφωτή ASK στην είσοδο του ανιχνευτή περιβάλλουσας.



Βήμα 11: Μετακινήστε το κανάλι 2 του παλμογράφου από την έξοδο του φίλτρου στην έξοδο του ανιχνευτή περιβάλλουσας.

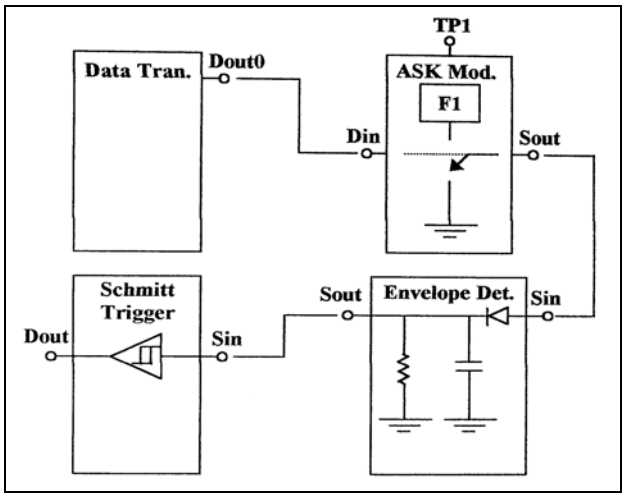
Καλό είναι, στο σημείο αυτό, να μειώσετε λίγο την χρονική βάση (SEC/DIV) του παλμογράφου ώστε να βλέπετε περισσότερους κύκλους στην οθόνη.

Βήμα 12: Καταγράψτε αναλυτικά (σε χαρτί *millimetré*) τα σήματα όπως φαίνονται στην οθόνη του παλμογράφου: α) την έξοδο του διαμορφωτή, και β) την έξοδο του ανιχνευτή περιβάλλουσας.

Βήμα 13: Καθώς η έξοδος του ανιχνευτή περιβάλλουσας δεν έχει καθαρή ψηφιακή μορφή, πρέπει να επεξεργαστεί με τη βοήθεια ενός ειδικού κυκλώματος που ονομάζεται Schmitt Trigger.

Το εκπαιδευτικό κιτ TPS3431 διαθέτει δύο κυκλώματα Schmitt Trigger για διαφορετικές τάσεις αναφοράς.

Συνδέστε την έξοδο του ανιχνευτή περιβάλλουσας στην είσοδο του κάτω Schmitt Trigger.



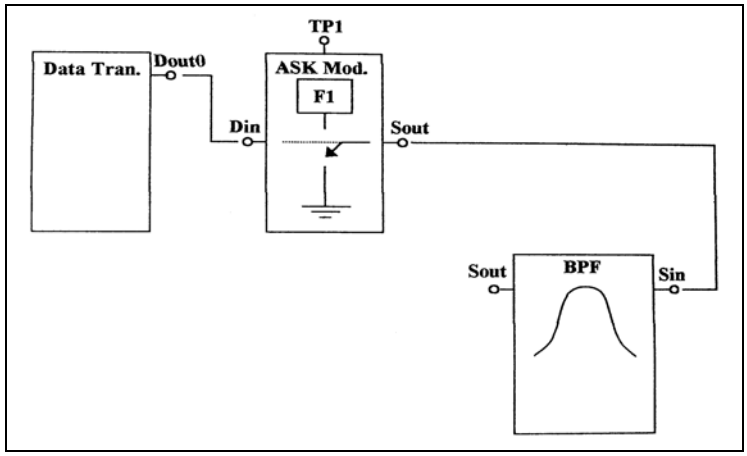
Βήμα 14: Μετακινήστε το κανάλι 2 του παλμογράφου στην έξοδο του Schmitt Trigger.

Βήμα 15: Καταγράψτε αναλυτικά (σε χαρτί *millimetré*) τα σήματα όπως φαίνονται στην οθόνη του παλμογράφου: α) την έξοδο του διαμορφωτή, και β) την έξοδο του κυκλώματος Schmitt Trigger.

Βήμα 16: Ο ανιχνευτής περιβάλλουσας αποδιαμορφώνει οποιοδήποτε σήμα παρουσιαστεί στην είσοδό του, ακόμα και σήματα που προέρχονται από άλλες εκπομπές με διαφορετικές συχνότητες φορέα.

Για να απομονώσουμε το επιθυμητό σήμα, είμαστε υποχρεωμένοι να χρησιμοποιήσουμε ένα *ζωνοπερατό φίλτρο στενής ζώνης* που να είναι συντονισμένο στη συχνότητα του επιθυμητού φορέα.

Για το σκοπό αυτό, συνδέστε την έξοδο του διαμορφωτή ASK με την είσοδο του ζωνοπερατού φίλτρου (band–pass filter).



Βήμα 17: Συνδέστε το κανάλι 1 του παλμογράφου στην είσοδο του φίλτρου. Το σήμα που θα δείτε στην οθόνη του παλμογράφου είναι αυτό που καταγράψατε στο βήμα 9.

Βήμα 18: Συνδέστε το κανάλι 2 του παλμογράφου στην έξοδο του φίλτρου.

Βήμα 19: Καταγράψτε αναλυτικά (σε χαρτί *millimetré*) στο ίδιο διάγραμμα τα σήματα στην είσοδο και στην έξοδο του φίλτρου.

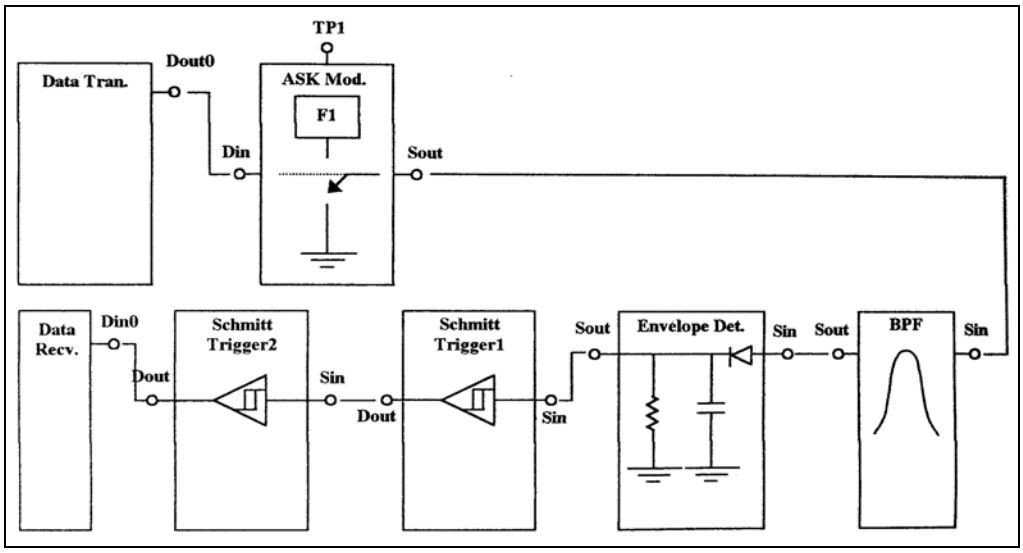
Βήμα 20: Συνδέστε την έξοδο του φίλτρου στην είσοδο του ανιχνευτή περιβάλλουσας.

Βήμα 21: Συνδέστε την έξοδο του ανιχνευτή περιβάλλουσας στην είσοδο του επάνω Schmitt Trigger.

Βήμα 22: Επειδή το κύκλωμα Schmitt Trigger αντιστρέφει το σήμα, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσουμε και τον δεύτερο Schmitt Trigger ώστε να επαναφέρουμε το σήμα στην σωστή πολικότητα.

Συνδέστε την έξοδο του πρώτου Schmitt Trigger στην είσοδο του δεύτερου Schmitt Trigger.

Βήμα 23: Συνδέστε τώρα την έξοδο του δεύτερου Schmitt Trigger στη μονάδα του δέκτη (Data Receiver).



Βεβαιωθείτε ότι ο δυαδικός αριθμός που εμφανίζεται στα φωτεινά LED's του δέκτη αντιστοιχεί στον δυαδικό αριθμό που ορίσατε στον πομπό.

Βήμα 24: Σε μία σελίδα *millimetré*, καταγράψτε από πάνω προς τα κάτω όλα τα σήματα που εμφανίζονται σε κάθε βαθμίδα.

Βήμα 25: Τοποθετήστε στον πομπό διάφορους συνδυασμούς δυαδικών αριθμών (π.χ. 00110011, 00001111, 00111100) και ελέγξτε ότι εμφανίζονται σωστά στα φωτεινά LED's του δέκτη.

ΑΣΚΗΣΗ 4η

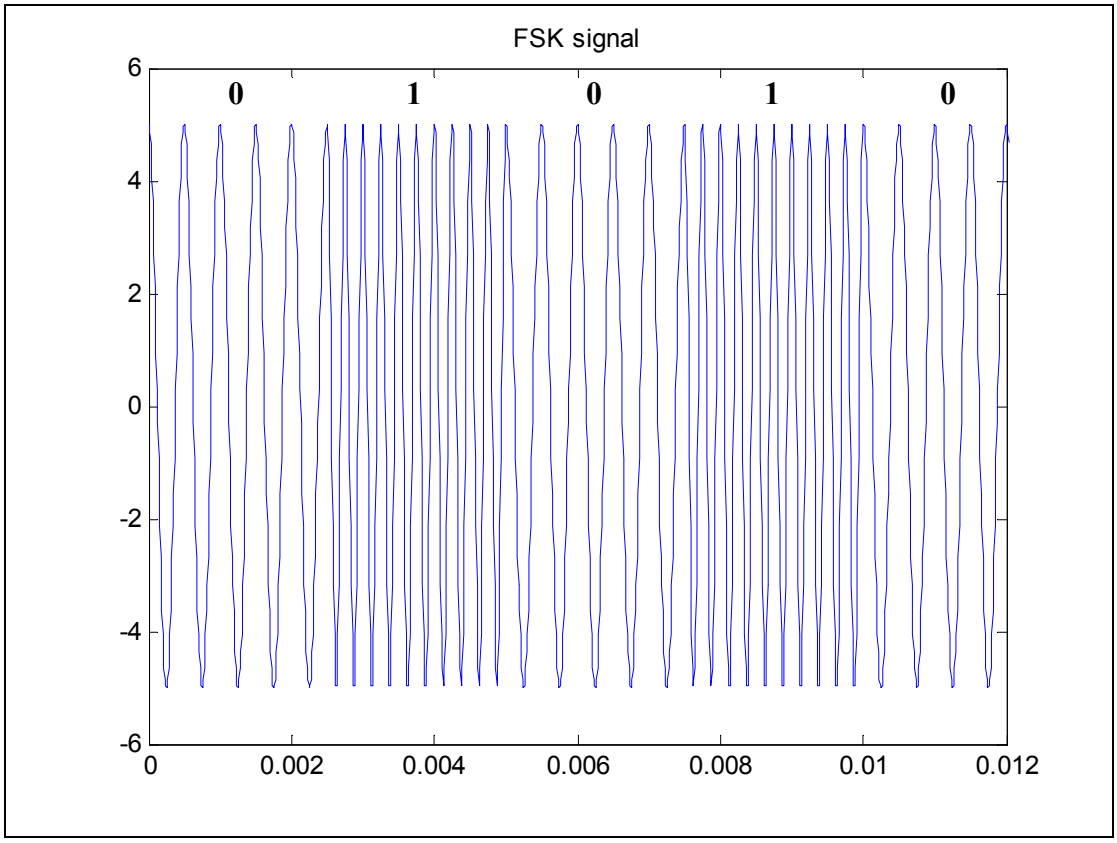
ΑΣΚΗΣΗ 4η

Θεωρητικό μέρος:

Μεταλλαγή Μετατόπισης Συχνότητας

FSK (Frequency Shift Keying)

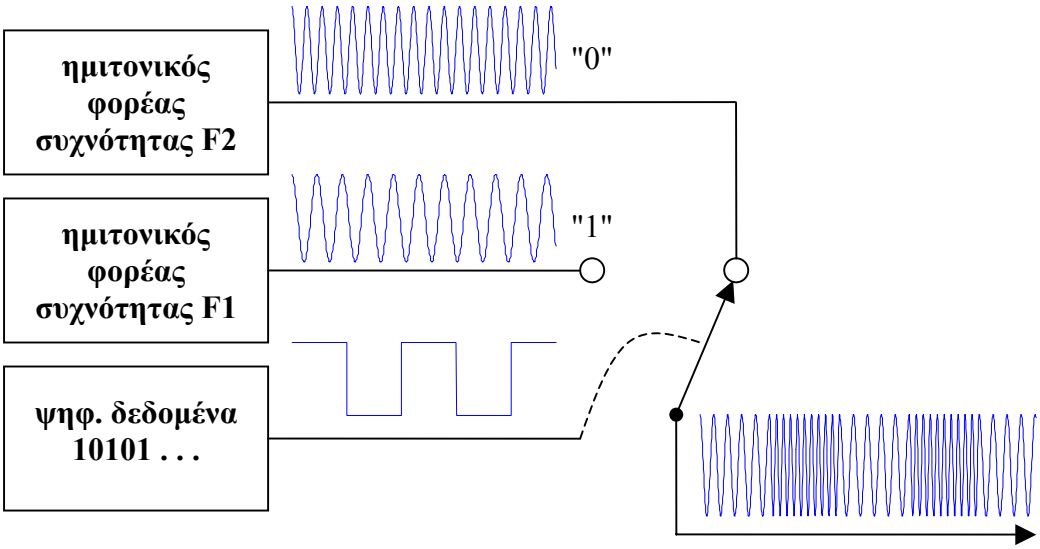
Η FSK (*frequency shift keying*) είναι η επόμενη μέθοδος ψηφιακής διαμόρφωσης που θα μελετήσουμε. Η FSK βασίζεται σε δύο φορείς (carriers) με διαφορετική συχνότητα ο καθένας, σε αντίθεση με την ASK η οποία διαθέτει έναν φορέα. Στη διαμόρφωση FSK ένας απλός ηλεκτρονικός διακόπτης (αναλογικός, transistor, ή λογική πύλη) επιλέγει είτε τον πρώτο ημιτονικό φορέα συχνότητας F1 για το δυαδικό ψηφίο "1", είτε το δεύτερο ημιτονικό φορέα συχνότητας F2 για το δυαδικό ψηφίο "0", όπως φαίνεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1. Παράδειγμα ψηφιακής διαμόρφωσης FSK

Η διαμόρφωση FSK

Το διαμορφωμένο σήμα FSK μπορεί να παραχθεί με έναν απλό αναλογικό διακόπτη, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 2. Παραγωγή FSK διαμόρφωσης με αναλογικό διακόπτη

Η εμφάνιση του δυαδικού ψηφίου "0" αναγκάζει τον αναλογικό διακόπτη να επιλέξει τη σύνδεση με το φορέα συχνότητας F2, ο οποίος εμφανίζεται στην έξοδο για όλη τη διάρκεια του bit.

Αντίθετα, η εμφάνιση του δυαδικού ψηφίου "1" αναγκάζει τον διακόπτη να επιλέξει τη σύνδεση με το φορέα συχνότητας F1, ο οποίος εμφανίζεται στην έξοδο για όλη τη διάρκεια του bit.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της FSK διαμόρφωσης είναι ότι υπάρχει παρουσία φορέα συνεχώς, ενώ στη διαμόρφωση ASK ο φορέας εμφανίζεται μόνο όταν μεταδίδεται το ψηφίο "1".

Γενικά, η μέθοδος FSK επιτρέπει την επίτευξη πολύ μεγαλύτερων ταχυτήτων μετάδοσης σε σχέση με την ASK.

Αποδιαμόρφωση FSK με ανιχνευτή περιβάλλουσας

Το κύκλωμα αποδιαμόρφωσης της FSK είναι εξίσου απλό με αυτό της ASK. Αποτελείται βασικά από ένα ζωνοπερατό φίλτρο που είναι συντονισμένο στη συχνότητα του φορέα του ψηφίου "1". Έτσι, όταν μεταδίδεται το ψηφίο "0" η έξοδος

του φίλτρου είναι σχεδόν μηδενική. Στη συνέχεια υπάρχει ο γνωστός *ανιχνευτής περιβάλλουσας*, ακολουθούμενος από δύο κυκλώματα Schmitt Trigger.

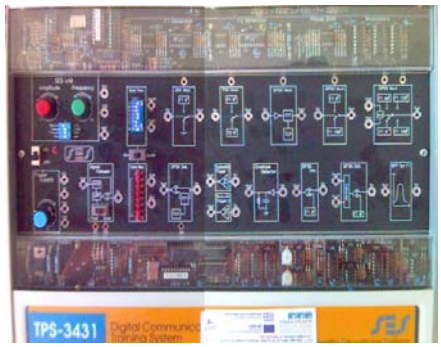
Πρακτικό μέρος:

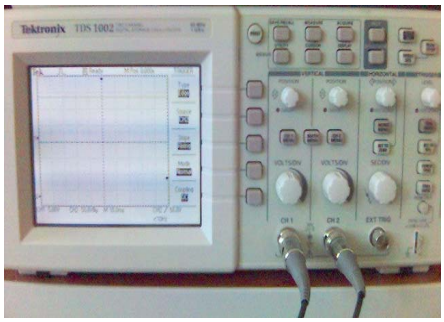
Στόχοι Εργαστηριακής Άσκησης:

- Δημιουργία του διαμορφωμένου σήματος FSK
- Φιλτράρισμα της συχνότητας F1 με χρήση ζωνοπερατού φίλτρου.
- Αποδιαμόρφωση του FSK σήματος με χρήση ανιχνευτή περιβάλλουσας.

Απαιτούμενος Εξοπλισμός:

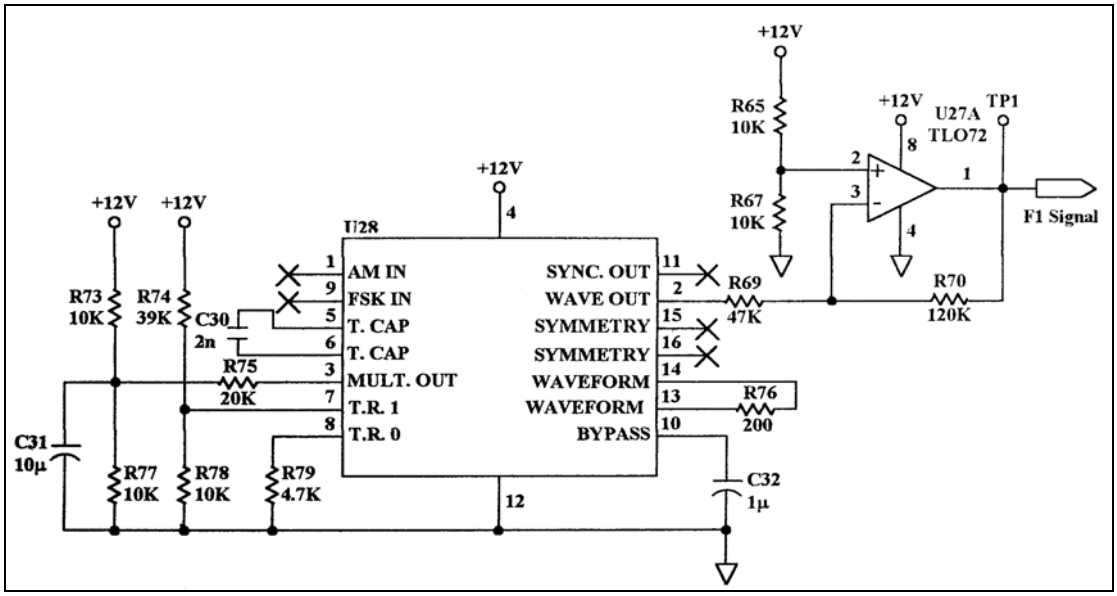
- Εκπαιδευτική Μονάδα TPS-3431
- Τροφοδοτικό της Εκπαιδευτικής Μονάδας TPS-3431
- Παλμογράφος δύο καναλιών
- Καλώδια σύνδεσης



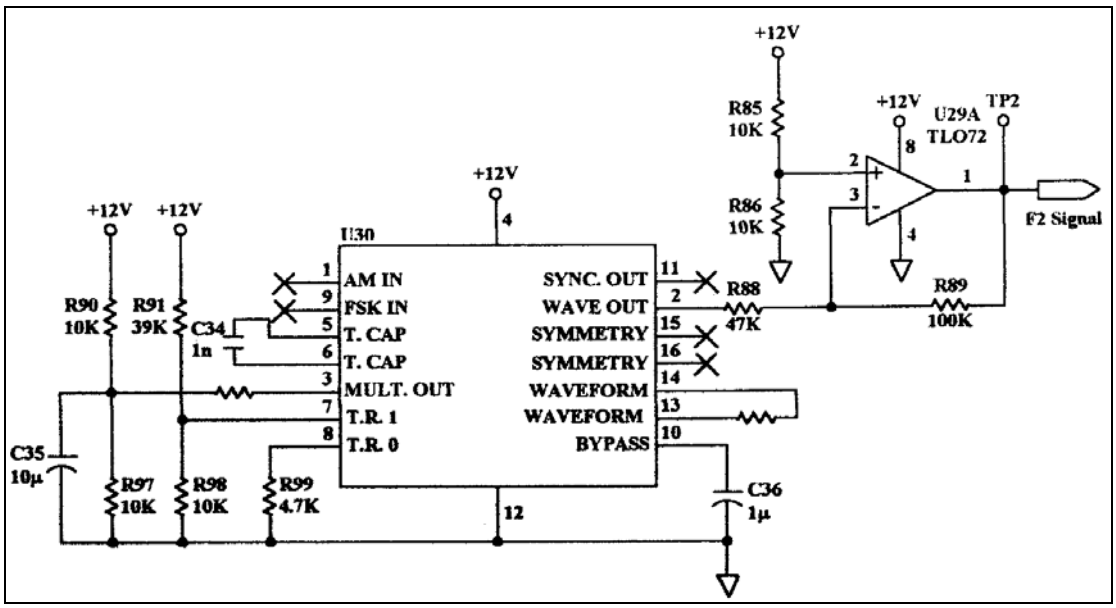


Τα κυκλώματα FSK της εκπαιδευτικής μονάδας

Ο φορείς με συχνότητες F1 και F2 παράγονται από το ολοκληρωμένο κύκλωμα XR-2206, όπως φαίνεται στα Σχήματα 3 και 4.

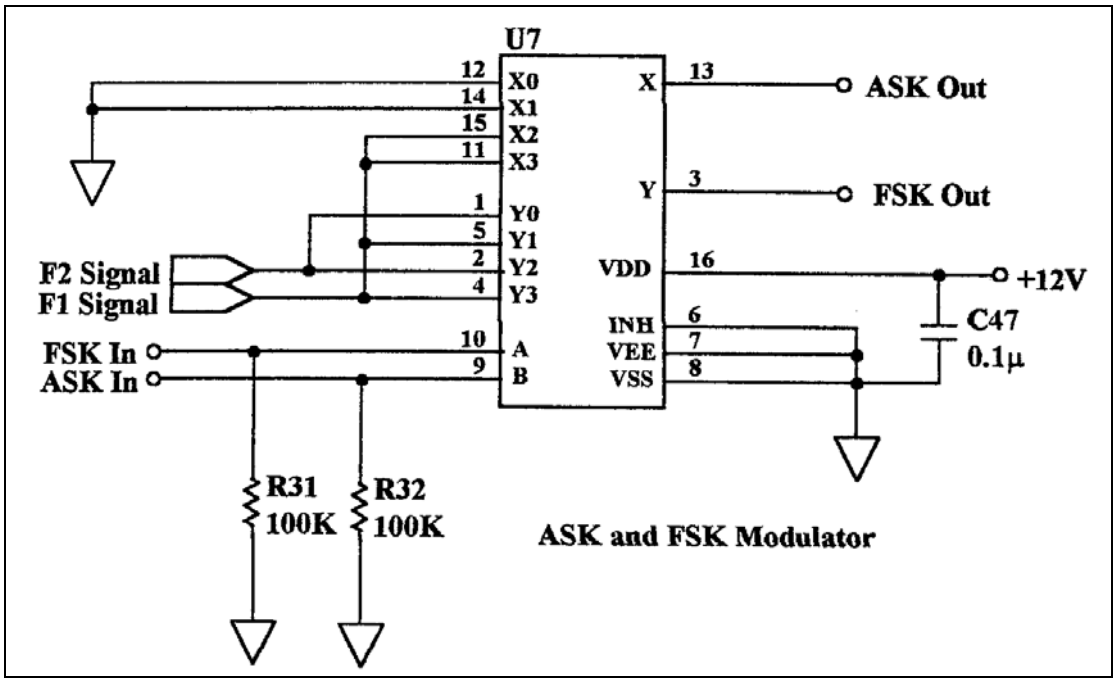


Σχήμα 3. Το κύκλωμα παραγωγής του φορέα F1 (δυαδικό ψηφίο "1")



Σχήμα 4. Το κύκλωμα παραγωγής του φορέα F2 (δυαδικό ψηφίο "0")

Όπως φαίνεται, η μόνη διαφορά των δύο κυκλωμάτων είναι η τιμή των πυκνωτών C30 και C34. Συγκεκριμένα, η τιμή του C30 είναι διπλάσια από αυτήν του C34, με αποτέλεσμα η συχνότητα που παράγεται από το κύκλωμα του Σχ.4 να είναι διπλάσια από αυτήν του Σχ.3.



Σχήμα 5. Το κύκλωμα παραγωγής της FSK διαμόρφωσης (FSK Modulator)

Η παραγωγή του σήματος FSK γίνεται από τον αναλογικό ηλεκτρονικό διακόπτη U7, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5. Όπως βλέπουμε, το ίδιο ολοκληρωμένο κύκλωμα χρησιμοποιείται και για την παραγωγή του σήματος της ASK διαμόρφωσης, που μελετήσαμε σε προηγούμενο εργαστήριο. Ο τρόπος που λειτουργεί αυτό το κύκλωμα είναι πολύ απλός:

- Όταν εφαρμόζεται λογικό "0" στην είσοδο FSK In, τότε η έξοδος FSK Out συνδέεται με την είσοδο Y0, η οποία είναι συνδεδεμένη με το φορέα F2. Έτσι στην έξοδο παίρνουμε τη συχνότητα F2.
- Όταν εφαρμόζεται λογικό "1" στην είσοδο FSK In, τότε η έξοδος FSK Out συνδέεται με την είσοδο Y1, η οποία είναι συνδεδεμένη με το φορέα F1. Έτσι στην έξοδο παίρνουμε τη συχνότητα F1.

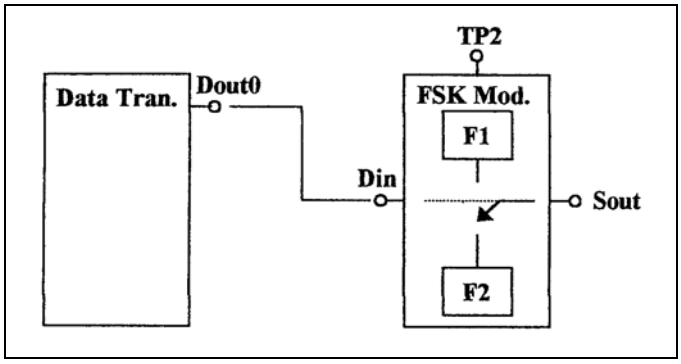
Βλέπουμε λοιπόν ότι στην έξοδο FSK Out παίρνουμε είτε τον φορέα F2, είτε τον φορέα F1, ανάλογα με την λογική στάθμη της εισόδου FSK In.

Πειραματική Διαδικασία:

Βήμα 1: Συνδέστε το τροφοδοτικό με το εκπαιδευτικό κιτ TPS-3431.

Βήμα 2: Συνδέστε το τροφοδοτικό σε πρίζα του ηλεκτρικού δικτύου και θέστε σε λειτουργία τη μονάδα μέσω του κεντρικού διακόπτη.

Βήμα 3: Συνδέστε την έξοδο του πομπού δεδομένων (Data Transmitter) στην είσοδο του διαμορφωτή FSK (FSK Modulator).



Γυρίστε το διακόπτη BIN/QUAD στη θέση BIN.

Βήμα 4: Συνδέστε το κανάλι 1 (CH1) του παλμογράφου στην είσοδο του διαμορφωτή FSK. Για την καλύτερη εμφάνιση του σήματος στην οθόνη του παλμογράφου, ορίστε την χρονική βάση του παλμογράφου στην τιμή 5msec/div. Βεβαιωθείτε ότι οι ακροδέκτες του παλμογράφου έχουν τον μικροδιακόπτη στη θέση 10x. Τέλος, κάνετε τις ακόλουθες ρυθμίσεις στον παλμογράφο:

[CH1 MENU] → [coupling DC] → [Probe 10x]

[CH2 MENU] → [coupling DC] → [Probe 10x]

Βήμα 5: Με τους 8 μικροδιακόπτες του πομπού, ορίστε τον δυαδικό αριθμό 01010101.

Αναγνωρίστε τα μεταδιδόμενα bits στην οθόνη του παλμογράφου.

Βήμα 6: Συνδέστε το κανάλι 2 (CH2) του παλμογράφου στο σημείο ελέγχου TP2.

Στην οθόνη τώρα του παλμογράφου βλέπετε και την κυματομορφή του φορέα F2.

Θυμηθείτε ότι στο TP1 υπάρχει ο φορέας F1, τη συχνότητα του οποίου την είχαμε μετρήσει σε προηγούμενο εργαστήριο περίπου 12.5kHz. Αυτός ο φορέας αντιστοιχεί στο δυαδικό ψηφίο "1" στην FSK διαμόρφωση.

Ο φορέας F2 στο σημείο ελέγχου TP2 αντιστοιχεί στο δυαδικό ψηφίο '0'.

Για την καλύτερη εμφάνιση του φορέα F2 στην οθόνη του παλμογράφου, ορίστε την χρονική βάση του παλμογράφου στην τιμή 50μsec/div.

Υπόδειξη: Καθώς τα σήματα που εμφανίζονται στα δύο κανάλια του παλμογράφου δεν είναι συγχρονισμένα μεταξύ τους (δηλαδή η συχνότητα του ενός δεν είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της συχνότητας του άλλου) όταν ορίζουμε το Trigger στο ένα κανάλι, το άλλο φαίνεται να «τρέχει». Αυτό συμβαίνει διότι ο παλμογράφος ανανεώνει συνεχώς την οθόνη. Σε τέτοιες περιπτώσεις, χρήσιμα είναι οι επιλογές του παλμογράφου **[RUN/STOP]** *και* **[SINGLE SEQ]**. *Με την πρώτη, έχουμε τη δυνατότητα να «παγώσουμε» την οθόνη του παλμογράφου σε μία χρονική στιγμή, ενώ με τη δεύτερη μπορούμε να ανανεώσουμε την οθόνη όσο είναι παγωμένη.*

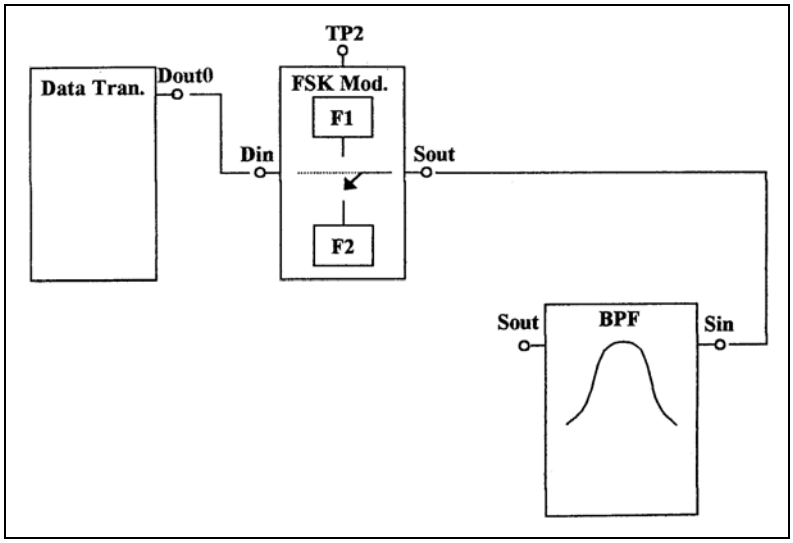
Βήμα 7: Μετρήστε και καταγράψτε τη συχνότητα του φορέα F2. Η συχνότητα αυτή θα πρέπει να είναι περίπου 25kHz (διπλάσια του F1).

Βήμα 8: Μετακινήστε τον ακροδέκτη του καναλιού 2 στην έξοδο του διαμορφωτή FSK. Αλλάξτε και πάλι την χρονική βάση του παλμογράφου στην τιμή 5msec/div.

Βήμα 9: Καταγράψτε τα σήματα όπως φαίνονται στην οθόνη του παλμογράφου: α) την είσοδο του διαμορφωτή, και β) την έξοδο του διαμορφωτή.

Βήμα 10: Για την αποκωδικοποίηση του δυαδικού ψηφίου "1", χρησιμοποιούμε το ζωνοπερατό φίλτρο στενής ζώνης που είναι συντονισμένο στη συχνότητα F1. Οποιαδήποτε άλλη συχνότητα (συμπεριλαμβανομένης και της F2) θεωρείται "0".

Συνδέστε την έξοδο του διαμορφωτή FSK στην είσοδο του ζωνοπερατού φίλτρου BPF (band pass filter).



Βήμα 11: Συνδέστε το κανάλι 2 του παλμογράφου στην είσοδο του φίλτρου.

Το σήμα που βλέπετε πρέπει να είναι το ίδιο με αυτό που σχεδιάσατε στο βήμα 9.

Βήμα 12: Συνδέστε το κανάλι 2 του παλμογράφου στην έξοδο του φίλτρου.

Βήμα 13: Καταγράψτε αναλυτικά (σε χαρτί *millimetré*) τα δύο σήματα όπως φαίνονται στην οθόνη του παλμογράφου: α) την είσοδο του φίλτρου, και β) την έξοδο του φίλτρου. Εξηγείστε τι ακριβώς κάνει εδώ το φίλτρο.

Βήμα 14: Συνδέστε την έξοδο του φίλτρου με την είσοδο του ανιχνευτή περιβάλλουσας.

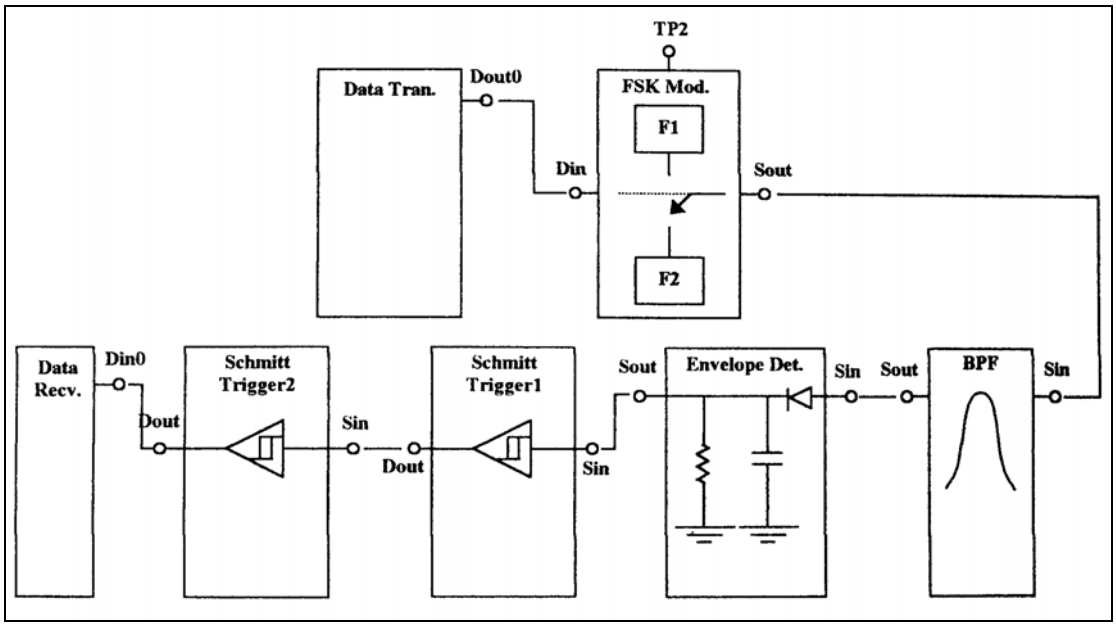
Βήμα 15: Συνδέστε την έξοδο του ανιχνευτή περιβάλλουσας με την είσοδο του Schmitt Trigger 1.

Βήμα 16: Επειδή ο Schmitt Trigger αναστρέφει το σήμα, θα χρησιμοποιήσουμε τον άλλον Schmitt Trigger για να επαναφέρουμε το σήμα στην ορθή του πολικότητα.

Συνδέστε την έξοδο του Schmitt Trigger 1 στην είσοδο του Schmitt Trigger 2.

Βήμα 17: Συνδέστε την έξοδο του Schmitt Trigger 2 στην είσοδο του δέκτη δεδομένων.

Επιβεβαιώστε ότι ο δυαδικός αριθμός που εισάγατε στους μικροδιακόπτες του πομπού εμφανίζεται σωστά στα φωτεινά LED's του δέκτη.



Βήμα 18: Σε μία σελίδα millimetre σχεδιάστε ένα ενιαίο διάγραμμα που να απεικονίζει *όλα* τα σήματα καθώς περνάνε από μία βαθμίδα στην επόμενη, με τη σειρά, το ένα κάτω από το άλλο.

Βήμα 19: Επαναλάβετε τα βήματα 5 έως 18 για τους δυαδικούς αριθμούς 00110011, 00111100 και 00001111 (χωρίς να ξανασχεδιάσετε τα διαγράμματα).

Παρατηρήστε ότι αλλάζοντας τους αριθμούς 01010101, 00110011 και 00001111 αλλάζει ουσιαστικά η συχνότητα του σήματος στην έξοδο του πομπού. Αυτό συμβαίνει διότι στην περίπτωση του 01010101 σε κάθε χρόνο bit έχουμε αλλαγή της τάσης. Αντίθετα, στην περίπτωση του 00001111, για παράδειγμα, η αλλαγή της τάσης συμβαίνει κάθε 4 χρόνους bit (διότι έχουμε 4 συνεχόμενα "0" και 4 συνεχόμενους "1").

Ελέγξτε εάν και πώς επηρεάζει αυτό τη διαδικασία ανίχνευσης περιβάλλουσας. Είναι πιο αποτελεσματική η ανίχνευση για την περίπτωση του 01010101, του 00110011 ή του 00001111; Γιατί συμβαίνει αυτό;

ΑΣΚΗΣΗ 5η

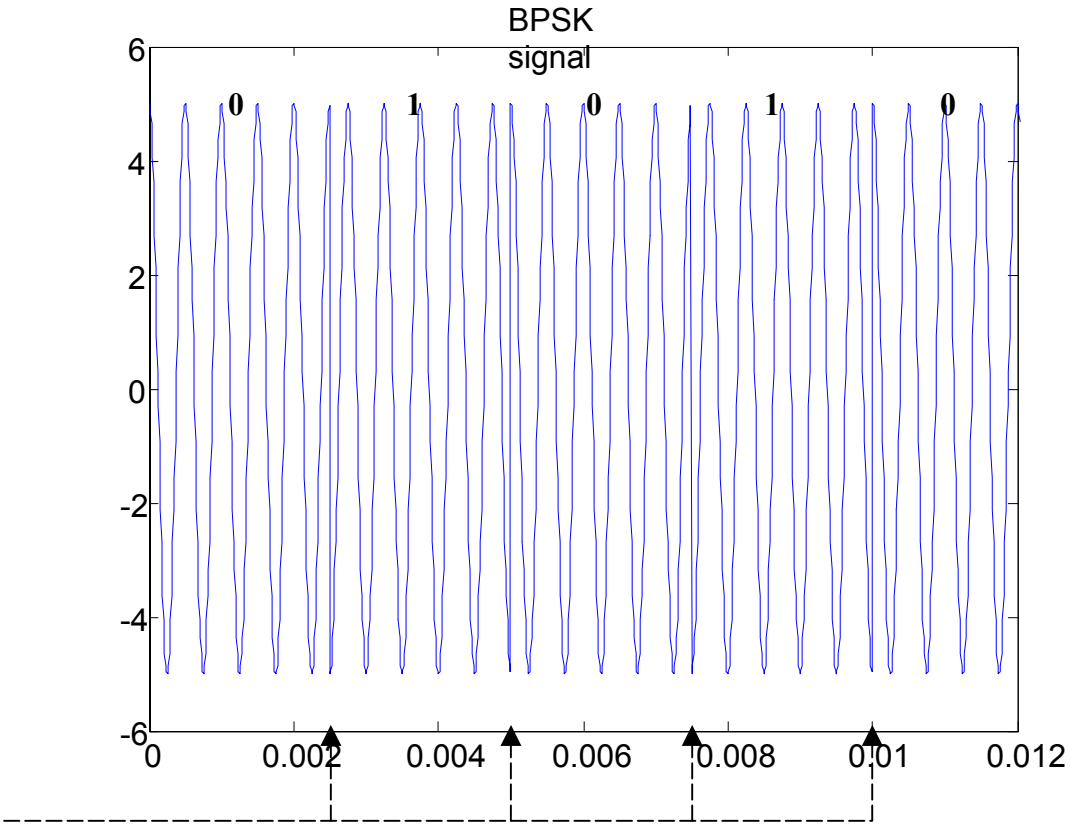
ΑΣΚΗΣΗ 5η

Θεωρητικό μέρος:

Δυαδική Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης

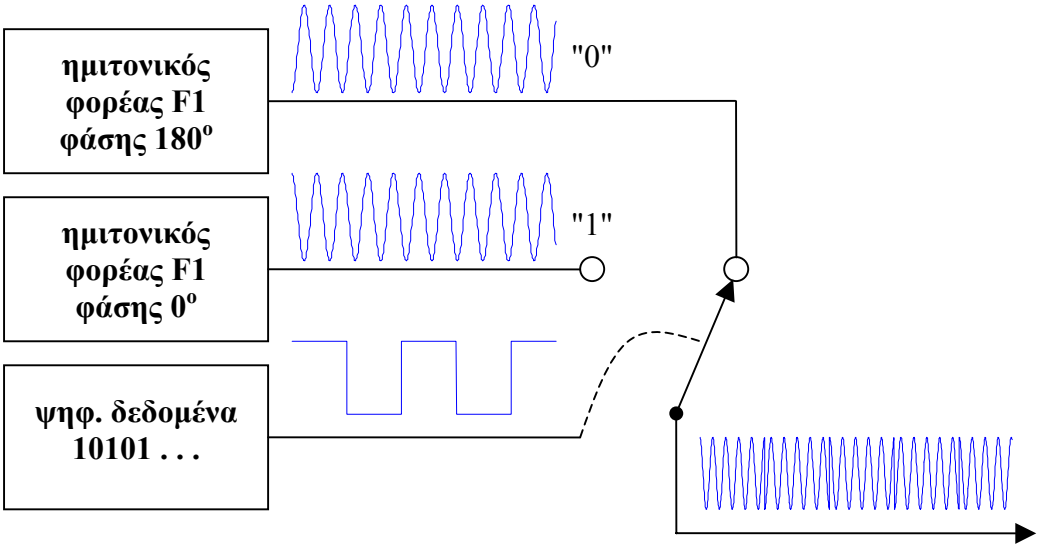
BPSK (Binary Phase Shift Keying)

Η BPSK (*binary phase shift keying*) είναι η επόμενη μέθοδος ψηφιακής διαμόρφωσης που θα μελετήσουμε. Η BPSK βασίζεται σε ένα φορέα (carrier) μίας συχνότητας, όπως και στην περίπτωση της διαμόρφωσης ASK. Στη διαμόρφωση BPSK όμως, ο φορέας εμφανίζεται με δύο διαφορετικές τιμές της φάσης: α) η φάση παίρνει τιμή 0° στην περίπτωση που μεταδίδεται το δυαδικό ψηφίο "1", και β) η φάση παίρνει τιμή 180° στην περίπτωση που μεταδίδεται το δυαδικό ψηφίο "0", όπως φαίνεται στο σχήμα 1. Τα βελάκια δείχνουν τα σημεία που η φάση αλλάζει τιμή.



Σχήμα 1. Παράδειγμα ψηφιακής διαμόρφωσης BPSK

Το διαμορφωμένο σήμα BPSK μπορεί να παραχθεί με έναν απλό αναλογικό διακόπτη, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 2. Παραγωγή BPSK διαμόρφωσης με αναλογικό διακόπτη

Η εμφάνιση του δυαδικού ψηφίου "0" αναγκάζει τον αναλογικό διακόπτη να επιλέξει τη σύνδεση με το φορέα F1 με φάση 180°, ο οποίος εμφανίζεται στην έξοδο για όλη τη διάρκεια του bit.

Αντίθετα, η εμφάνιση του δυαδικού ψηφίου "1" αναγκάζει τον διακόπτη να επιλέξει τη σύνδεση με το φορέα F1 με φάση 0°, ο οποίος εμφανίζεται στην έξοδο για όλη τη διάρκεια του bit.

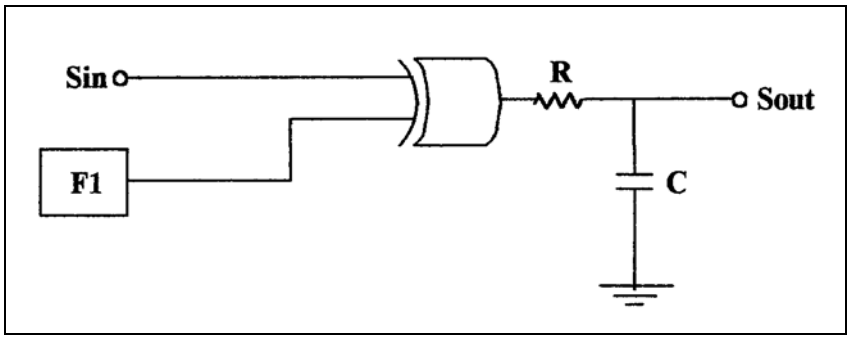
Χαρακτηριστικά της BPSK διαμόρφωσης

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της BPSK διαμόρφωσης είναι ότι επιτρέπει τη μετάδοση ψηφιακών δεδομένων με μεγαλύτερες ταχύτητες από τις FSK και ASK μεθόδους.

Επίσης, στη διαμόρφωση BPSK η συχνότητα του φορέα δεν αλλάζει (όπως συμβαίνει στην FSK). Αυτό έχει σαν πλεονέκτημα ότι το σήμα BPSK δεν επηρεάζεται τόσο πολύ από επιλεκτικά στη συχνότητα κανάλια (*frequency selective channels*), τα οποία παρουσιάζουν διαφορετική απόκριση πλάτους ή/και καθυστέρηση για διάφορες συχνότητες.

Αποδιαμόρφωση BPSK

Η αποδιαμόρφωση του σήματος BPSK γίνεται με τη βοήθεια μία πύλης XOR και ενός βαθυπερατού φίλτρου (Low Pass Filter – LPF), όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3. Το κύκλωμα αποδιαμόρφωσης BPSK

Η λειτουργία του κυκλώματος αυτού βασίζεται στον πίνακα αληθείας της XOR.

A	B	OUT
0	**0**	**0**
0	**1**	**1**
1	**0**	**1**
1	**1**	**0**

Αν το σήμα στην είσοδο **Sin** έχει την ίδια φάση με το φορέα **F1**, τότε η έξοδος της πύλης XOR είναι 0.

Αντίθετα, αν το σήμα **Sin** διαφέρει κατά 180° από το φορέα **F1**, τότε η έξοδος της πύλης XOR είναι 1.

Το δικτύωμα αντίστασης και πυκνωτή στην έξοδο της πύλης παίζει το ρόλο ενός βαθυπερατού φίλτρου και αποκόπτει τις υψηλές συχνότητες που εμφανίζονται κατά την αποδιαμόρφωση του σήματος BPSK.

Τέλος, ένα κύκλωμα Schmitt Trigger μετατρέπει την αναλογική έξοδο του βαθυπερατού φίλτρου σε ψηφιακό σήμα, προκαλώντας ταυτόχρονα και αντιστροφή.

Αυτό είναι επιθυμητό, ώστε να εξάγουμε τα αρχικά ψηφιακά δεδομένα, καθώς η πύλη XOR εμφανίζει στην έξοδο τα συμπληρωματικά bits.

Ο Βρόχος Κλειδώματος Φάσης (PLL)

Το κυριότερο πρόβλημα στην αποδιαμόρφωση του BPSK σήματος, είναι ότι το κύκλωμα του Σχήματος 3 απαιτεί την παρουσία στο δέκτη ενός τοπικού αντιγράφου του φορέα F1 με την ορθή φάση 0°. Αναλογιζόμενοι την φυσική απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη, καταλαβαίνουμε ότι απαιτείται ειδική μέριμνα ώστε να παραχθεί ο φορέας F1 στο δέκτη με την ίδια ακριβώς φάση με το φορέα που χρησιμοποιεί και ο πομπός.

Για την παραγωγή του τοπικού αντιγράφου του φορέα F1 στο δέκτη (*local carrier*) χρησιμοποιείται ένα ειδικό κύκλωμα που ονομάζεται PLL (*phase locked loop – βρόχος κλειδώματος φάσης*), το οποίο ανιχνεύει και «κλειδώνει» στη συχνότητα και τη φάση του λαμβανόμενου σήματος.

Μάλιστα, το κύκλωμα PLL δεν επηρεάζεται από απότομες αλλαγές συχνότητας ή/και φάσης στο λαμβανόμενο σήμα. Επομένως, οι αλλαγές της φάσης από 0° σε 180° στο λαμβανόμενο σήμα δεν καταστρέφουν το κλείδωμα του PLL στη συχνότητα και τη φάση του.

Το μόνο πρόβλημα είναι εάν παρουσιαστεί μία μεγάλη ακολουθία από συνεχόμενα "0". Τότε, τα συνεχόμενα μηδενικά θα προκαλέσουν την παρουσία της φάσης 180° για μεγάλο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα να υπάρχει ο κίνδυνος το κύκλωμα PLL να «κλειδώσει» στη φάση 180° αντί στη φάση 0°. Τη λειτουργία του κυκλώματος PLL γενικά, και ειδικά το φαινόμενο αυτό θα τα μελετήσουμε σε επόμενο εργαστήριο.

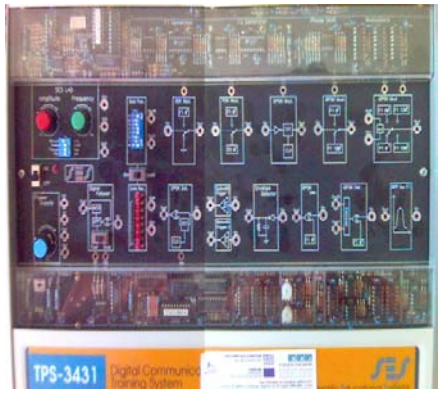
Πρακτικό μέρος:

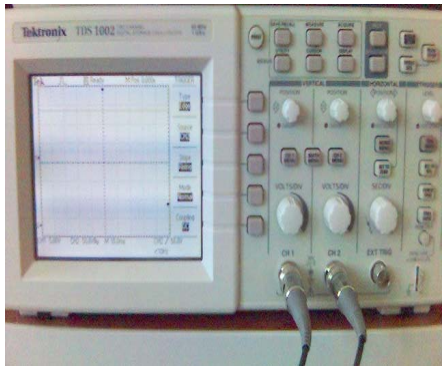
Στόχοι Εργαστηριακής Άσκησης:

- Δημιουργία του διαμορφωμένου σήματος BPSK
- Αποδιαμόρφωση με χρήση αποδιαμορφωτή BPSK.

Απαιτούμενος Εξοπλισμός:

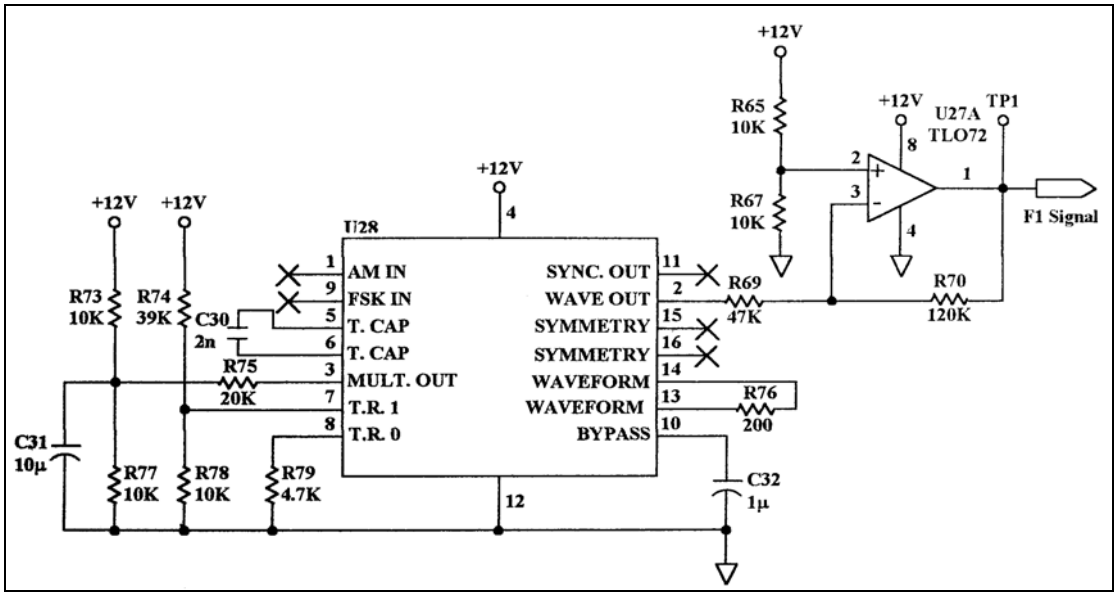
- Εκπαιδευτική Μονάδα TPS-3431
- Τροφοδοτικό της Εκπαιδευτικής Μονάδας TPS-3431
- Παλμογράφος δύο καναλιών
- Καλώδια σύνδεσης





Τα κυκλώματα BPSK διαμόρφωσης της εκπαιδευτικής μονάδας:

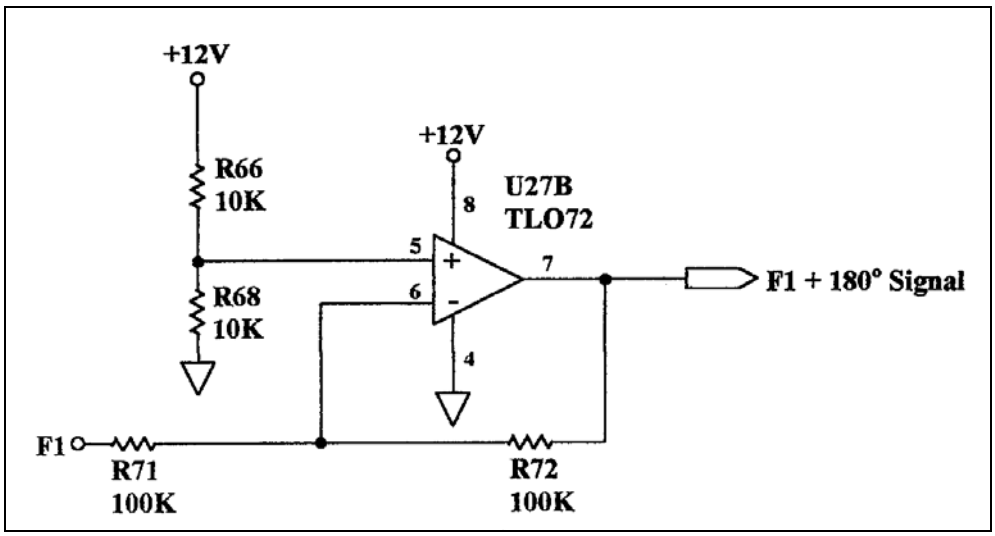
Ο φορέας συχνότητας F1 (όπως είδαμε και σε προηγούμενα εργαστήρια) παράγεται από το ολοκληρωμένο κύκλωμα XR-2206, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4. Το κύκλωμα παραγωγής του φορέα F1

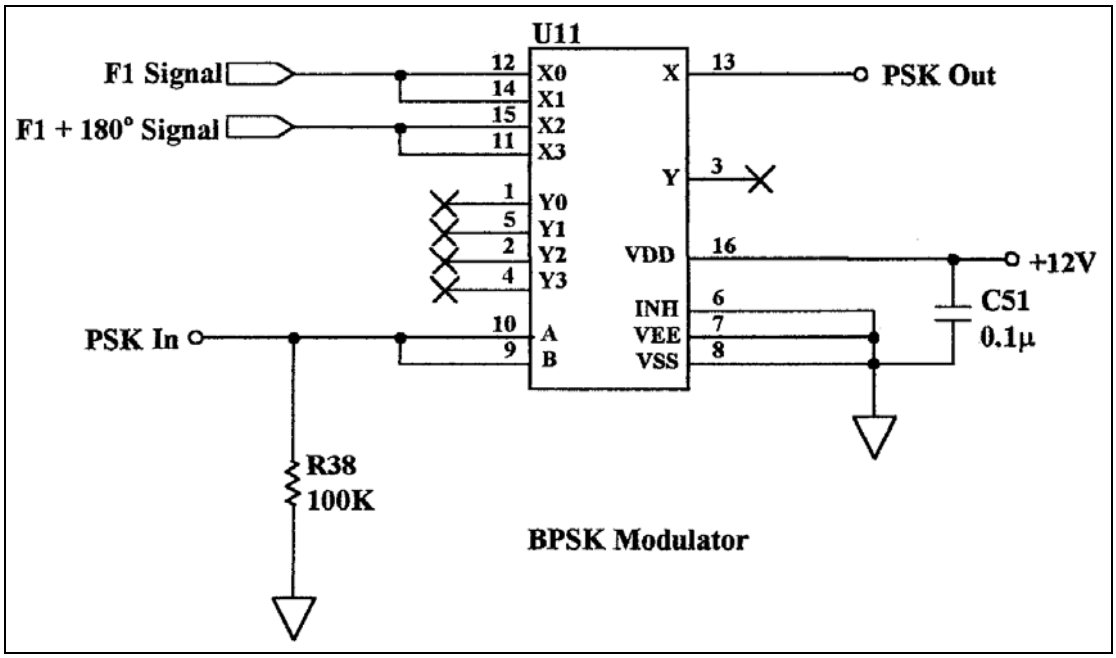
Αυτός είναι ο φορέας με φάση 0°.

Η φάση των 180° παράγεται με αναστροφή της φάσης των 0° από έναν τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία αναστρέφοντος ενισχυτή, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.



Σχήμα 5. Το κύκλωμα παραγωγής της φάσης των 180°

Η τελική παραγωγή του σήματος BPSK γίνεται και πάλι από έναν αναλογικό ηλεκτρονικό διακόπτη U7 (όπως και στις μεθόδους ASK και FSK που είδαμε σε προηγούμενα εργαστήρια), όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.



Σχήμα 6. Το κύκλωμα παραγωγής της BPSK διαμόρφωσης (BPSK Modulator)

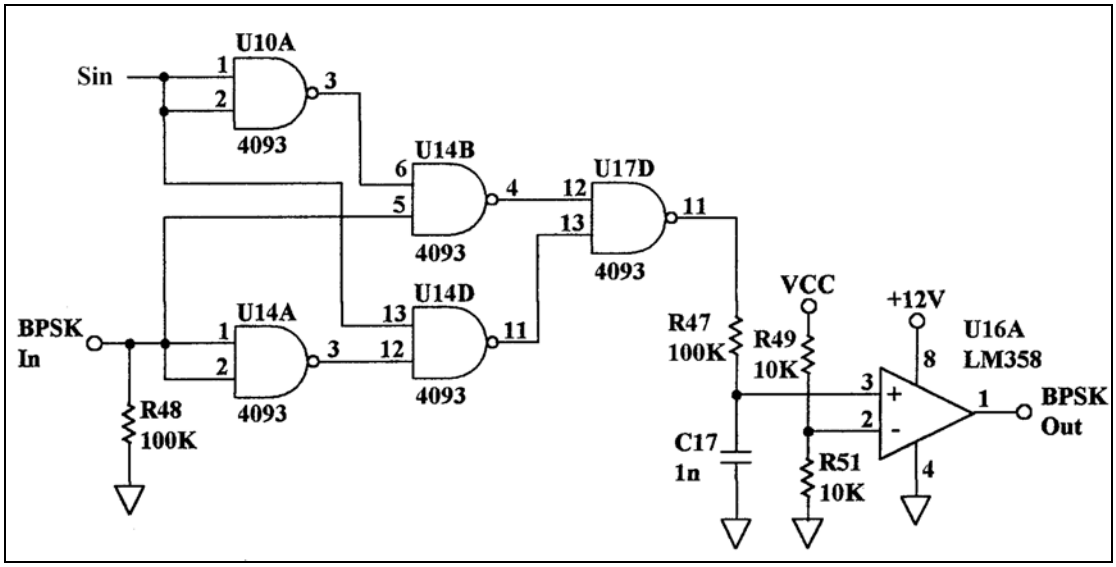
Ο τρόπος που λειτουργεί αυτό το κύκλωμα είναι πολύ απλός:

- Όταν εφαρμόζεται λογικό "0" στην είσοδο PSK In, τότε η έξοδος PSK Out συνδέεται με την είσοδο X0, η οποία είναι συνδεδεμένη με το φορέα F1 με φάση 0°. Έτσι στην έξοδο παίρνουμε φάση 0°.
- Όταν εφαρμόζεται λογικό "1" στην είσοδο PSK In, τότε η έξοδος PSK Out συνδέεται με την είσοδο X3, η οποία είναι συνδεδεμένη με το φορέα F1 με φάση 180°. Έτσι στην έξοδο παίρνουμε φάση 180°.

Βλέπουμε λοιπόν, ότι στην έξοδο PSK Out παίρνουμε είτε φάση 0°, είτε φάση 180°, ανάλογα με την λογική στάθμη της εισόδου PSK In.

Τα κυκλώματα αποδιαμόρφωσης BPSK της εκπαιδευτικής μονάδας:

Η αποδιαμόρφωση του σήματος BPSK στην εκπαιδευτική μονάδα γίνεται από το κύκλωμα του σχήματος 7.



Σχήμα 7. Το κύκλωμα απδιαμόρφωσης BPSK (BPSK Demodulator)

Η υλοποίηση της πύλης XOR γίνεται με τις πύλες NAND U10A, U14A, U14B, U14D και U17D.

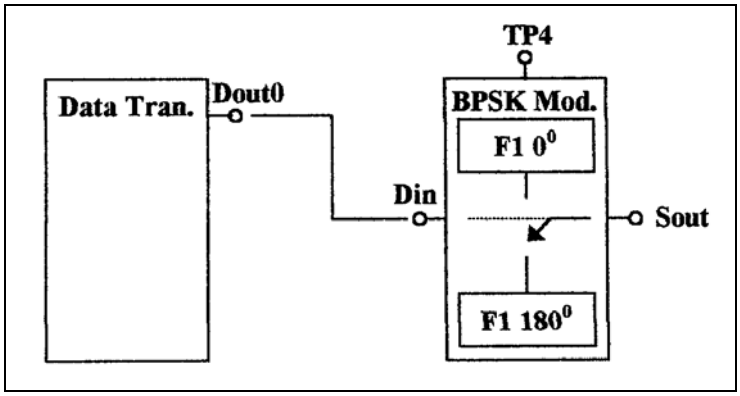
Το βαθυπερατό φίλτρο υλοποιείται από την αντίσταση R47 και τον πυκνωτή C17. Τέλος, το κύκλωμα Schmitt Trigger υλοποιείται από τον τελεστικό ενισχυτή U16A.

Πειραματική Διαδικασία:

Βήμα 1: Συνδέστε το τροφοδοτικό με το εκπαιδευτικό κιτ TPS-3431.

Βήμα 2: Συνδέστε το τροφοδοτικό σε πρίζα του ηλεκτρικού δικτύου και θέστε σε λειτουργία τη μονάδα μέσω του κεντρικού διακόπτη.

Βήμα 3: Συνδέστε την έξοδο του πομπού δεδομένων (Data Transmitter) στην είσοδο του διαμορφωτή BPSK (BPSK Modulator).



Γυρίστε το διακόπτη BIN/QUAD στη θέση BIN.

Βήμα 4: Συνδέστε το κανάλι 1 (CH1) του παλμογράφου στην είσοδο του διαμορφωτή BPSK. Για την καλύτερη εμφάνιση του σήματος στην οθόνη του παλμογράφου, ορίστε την χρονική βάση του παλμογράφου στην τιμή 5msec/div. Βεβαιωθείτε ότι οι ακροδέκτες του παλμογράφου έχουν τον μικροδιακόπτη στη θέση 10x. Τέλος, κάνετε τις ακόλουθες ρυθμίσεις στον παλμογράφο:

[CH1 MENU] → [coupling DC] → [Probe 10x]

[CH2 MENU] → [coupling DC] → [Probe 10x]

Βήμα 5: Με τους 8 μικροδιακόπτες του πομπού, ορίστε τον δυαδικό αριθμό 01010101.

Αναγνωρίστε τα μεταδιδόμενα bits στην οθόνη του παλμογράφου.

Βήμα 6: Συνδέστε τώρα το κανάλι 1 (CH1) του παλμογράφου στο σημείο ελέγχου TP1.

Στην οθόνη τώρα του παλμογράφου θα πρέπει να δείτε την κυματομορφή του φορέα F1.

Για την καλύτερη εμφάνιση του φορέα F1 στην οθόνη του παλμογράφου, ορίστε την χρονική βάση του παλμογράφου στην τιμή 50μsec/div.

Βήμα 7: Συνδέστε το κανάλι 2 (CH2) του παλμογράφου στο σημείο ελέγχου TP4.

Το TP4 μας εμφανίζει τον φορέα F1 με φάση 180° (έξοδος του κυκλώματος του σχήματος 5).

Καταγράψτε σε χαρτί *millimetre* τα σήματα από τα δύο σημεία ελέγχου, όπως φαίνονται στην οθόνη του παλμογράφου: α) τον φορέα F1 με φάση 0°, και β) τον φορέα F1 με φάση 180°.

Βήμα 8: Μετακινήστε τον ακροδέκτη του καναλιού 1 στην είσοδο του διαμορφωτή BPSK (ψηφιακά δεδομένα) και το κανάλι 2 στην έξοδο του διαμορφωτή BPSK (σήμα BPSK). Αλλάξτε την χρονική βάση του παλμογράφου στην τιμή 5msec/div.

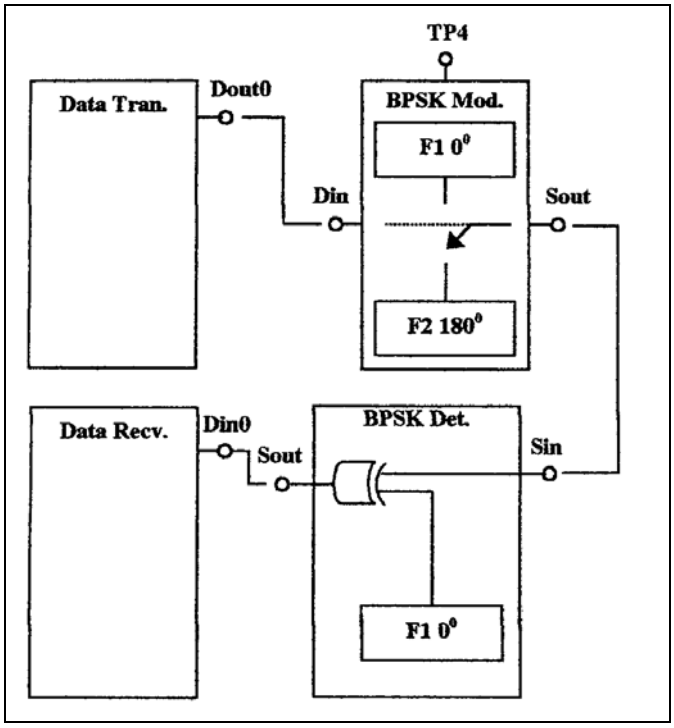
> *Υπόδειξη: Εάν τα σήματα που εμφανίζονται στα δύο κανάλια του παλμογράφου δεν είναι συγχρονισμένα μεταξύ τους (δηλαδή η συχνότητα του ενός δεν είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της συχνότητας του άλλου) όταν ορίζουμε το Trigger στο ένα κανάλι, το άλλο φαίνεται να «τρέχει». Αυτό συμβαίνει διότι ο παλμογράφος ανανεώνει συνεχώς την οθόνη. Σε τέτοιες περιπτώσεις, χρήσιμα είναι οι επιλογές του παλμογράφου* **[RUN/STOP]** *και* **[SINGLE SEQ]**. *Με την πρώτη, έχουμε τη δυνατότητα να «παγώσουμε» την οθόνη του παλμογράφου σε μία χρονική στιγμή, ενώ με τη δεύτερη μπορούμε να ανανεώσουμε την οθόνη όσο είναι παγωμένη.*

Βήμα 9: Καταγράψτε σε χαρτί *millimetre* τα σήματα όπως φαίνονται στην οθόνη του παλμογράφου: α) την είσοδο του διαμορφωτή, και β) την έξοδο του διαμορφωτή. Χρησιμοποιείστε την παραπάνω υπόδειξη ώστε να δείξετε καθαρά το τι συμβαίνει κατά την αλλαγή από "0" σε "1 " και από "1" σε "0", κάνοντας ζουμ στα σημεία μετάβασης.

Βήμα 10: Συνδέστε την έξοδο του διαμορφωτή BPSK με την είσοδο του αποδιαμορφωτή BPSK (BPSK Det).

Βήμα 11: Συνδέστε την έξοδο του αποδιαμορφωτή BPSK με την είσοδο του δέκτη δεδομένων.

Επιβεβαιώστε ότι ο δυαδικός αριθμός που εισάγατε στους μικροδιακόπτες του πομπού εμφανίζεται σωστά στα φωτεινά LED's του δέκτη.



Βήμα 12: Σε μία σελίδα *millimetré* σχεδιάστε ένα ενιαίο διάγραμμα που να απεικονίζει <u>όλα</u> τα σήματα καθώς περνάνε από μία βαθμίδα στην επόμενη, με τη σειρά, το ένα κάτω από το άλλο.

Βήμα 13: Επαναλάβετε τα βήματα 5 έως 12 για τους δυαδικούς αριθμούς 00110011, 00111100 και 00001111 (χωρίς να ξανασχεδιάσετε τα διαγράμματα).

ΑΣΚΗΣΗ 6η

ΑΣΚΗΣΗ 6η

Θεωρητικό μέρος:

Διαφορική Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης

DPSK (Differential Phase Shift Keying)

Όπως φάνηκε στην εργαστηριακή άσκηση 2.05, η μέθοδος ψηφιακής διαμόρφωσης Binary Phase Shift keying (BPSK) παρουσιάζει ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα. Αν η ακολουθία των μεταδιδόμενων δεδομένων περιέχει αρκετά συνεχόμενα δυαδικά ψηφία "1" προκύπτει ένα εκπεμπόμενο σήμα που επί μεγάλο χρονικό διάστημα έχει σταθερή φάση 180°. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια το κύκλωμα ανίχνευσης φάσης στο δέκτη (phase-locked loop - PLL) να «κλειδώνει» εσφαλμένα στη φάση 180°. Εάν συμβεί αυτό, ο δέκτης θα αναγνωρίζει τα δυαδικά ψηφία ανεστραμμένα, δηλαδή αντί του "0", θα αντιλαμβάνεται "1" και αντί του "1" θα αντιλαμβάνεται "0".

Για να αποτρέψουμε αυτό το πρόβλημα, αναπτύχθηκε η μέθοδος ψηφιακής διαμόρφωσης Διαφορικής PSK (differential phase shift keying - DPSK). Κατά τη μέθοδο αυτή, τα δυαδικά ψηφία '0, προκαλούν αντιστροφή της φάσης του φέροντος, ενώ τα δυαδικά ψηφία "1" δεν έχουν καμία επίδραση στο φέρον.

Έτσι, όταν στο φέρον ανιχνεύουμε αλλαγή της φάσης αυτό σημαίνει ότι έχει μεταδοθεί το "0". Αν δεν παρατηρήσουμε αλλαγή στη φάση του φέροντος, αυτό σημαίνει ότι μεταδόθηκε το "1".

Με αυτή τη μέθοδο, αποφεύγουμε το πρόβλημα του κλειδώματος του δέκτη στη λάθος φάση ως εξής.

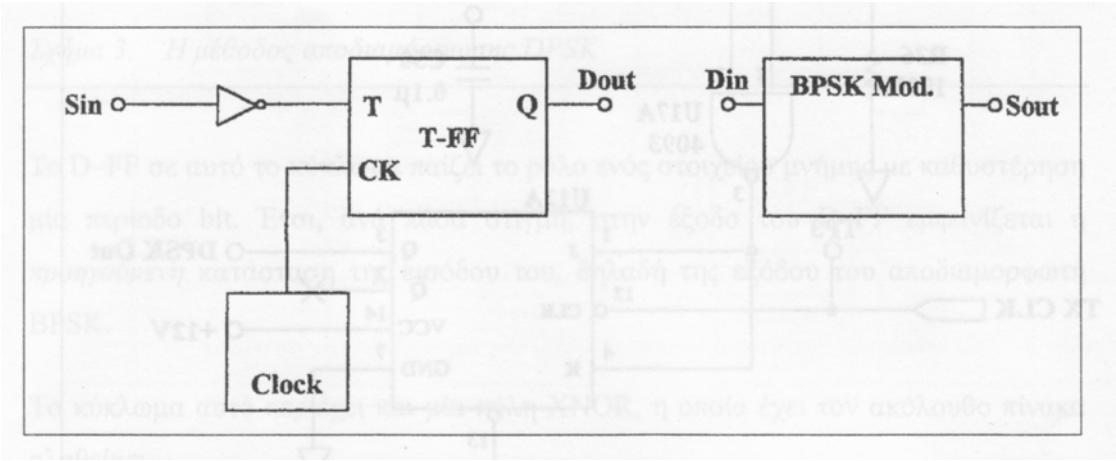
Εάν υπάρξει μία αρκετά μεγάλη ακολουθία από δυαδικά ψηφία "0", η φάση του φέροντος θα αλλάζει σε κάθε περίοδο bit. Το κύκλωμα όμως ανίχνευσης φάσης του δέκτη (PLL) έχει μία σταθερά χρόνου αρκετών περιόδων bit, με αποτέλεσμα οι γρήγορες αλλαγές φάσης να μην το επηρεάζουν. Έτσι, η ακολουθία των συνεχόμενων "0", δεν θα εκτρέψει το κύκλωμα PLL.

Εάν παρουσιαστεί μία μεγάλη ακολουθία από συνεχόμενα δυαδικά ψηφία "1", η φάση του φέροντος θα παραμείνει σταθερή για μεγάλη χρονική περίοδο, χωρίς δηλαδή την εμφάνιση αλλαγών φάσης. Αυτό σημαίνει ότι το κύκλωμα ανίχνευσης φάσης PLL στο δέκτη θα συγχρονιστεί με το φέρον και δεν θα ανιχνεύσει αλλαγή φάσης.

Με άλλα λόγια, ακόμα και αν η ακολουθία των συνεχόμενων "1" συμπέσει με φάση φέροντος 180° και ο ανιχνευτής φάσης PLL αναγνωρίσει εσφαλμένα τη φάση του φέροντος ως 0°, παρόλα αυτά δεν θα σηματοδοτήσει αλλαγή φάσης, άρα τα δυαδικά ψηφία θα αναγνωριστούν ορθά ως "1".

Το κύκλωμα διαμόρφωσης DPSK

Το κύκλωμα που παράγει τη ψηφιακή διαμόρφωση DPSK αποτελείται από 2 βαθμίδες. Η πρώτη είναι μία λογική πύλη NOT η οποία αντιστρέφει τα δυαδικά ψηφία που πρόκειται να εκπεμφθούν, η δεύτερη είναι ένα f1ip-f1op τύπου Toggle (T-FF) που στην είσοδό του δέχεται την έξοδο της πύλης NOT. Κατόπιν ακολουθεί ένας τυπικός διαμορφωτής BPSK.



Σχήμα 1. Μέθοδος παραγωγής της διαμόρφωσης DPSK

Το κύκλωμα αυτό ουσιαστικά εκτελεί μία προ-επεξεργασία (pre-processing) στα ψηφιακά δεδομένα που πρόκειται να εκπεμφθούν. Κατόπιν, η έξοδος του κυκλώματος παραγωγής DPSK οδηγείται σε έναν συμβατικό διαμορφωτή BPSK, ο οποίος αναλαμβάνει να διαμορφώσει τη φάση του φέροντος σε δύο (2) διακριτές τιμές, 0° και 180°.

Το T-FF λειτουργεί με τον εξής τρόπο: εάν η είσοδός του είναι "0", τότε η έξοδός του παραμένει αμετάβλητη σε κάθε παλμό ρολογιού, ενώ εάν η είσοδος είναι

"l" τότε η έξοδός του αλλάζει κατάσταση (από "'O" σε "1" ή από "l" σε "O") σε κάθε παλμό ρολογιού.

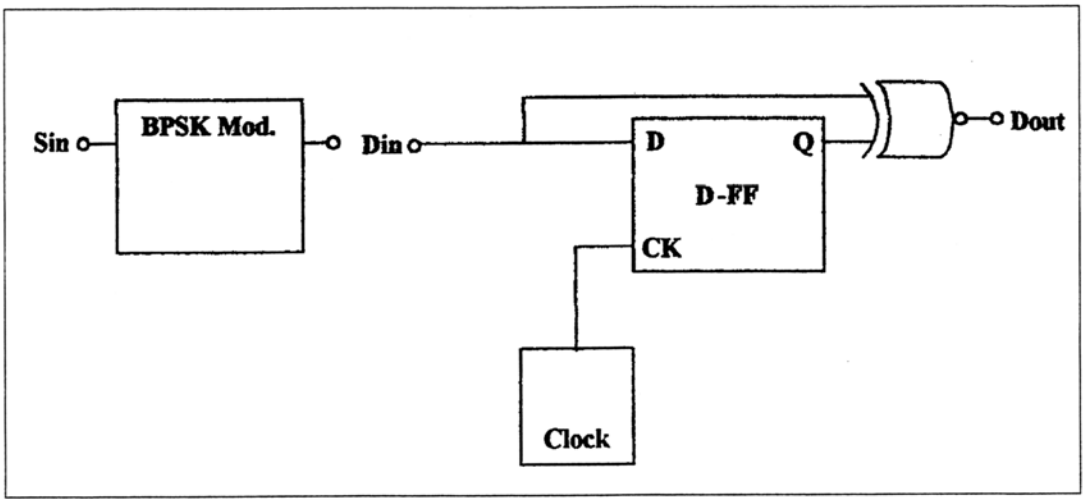
Επειδή όμως υπάρχει και η πύλη αναστροφής NOT στην είσοδο του flip-flop η λειτουργία του κυκλώματος είναι η αντίστροφη. Έτσι, παρουσιάζει μεταβολή της κατάστασής του μόνο όταν τα δυαδικά ψηφία που πρόκειται να εκπεμφθούν έχουν τιμή "0". Αντίθετα, τα δυαδικά ψηφία "l" αφήνουν την έξοδο του flip-flip στην ίδια κατάσταση.

Σημειώστε, ότι οι παλμοί ρολογιού που τροφοδοτούν το flip-flop είναι συγχρονισμένοι με την περίοδο του κάθε bit.

Το κύκλωμα αποδιαμόρφωσης DPSK

Το κύκλωμα αποδιαμόρφωσης DPSK στο δέκτη χρησιμοποιεί ένα flip-flip τύπου D σαν κύριο εξάρτημά του, σε συνεργασία με μία λογική πύλη XNOR (exclusive NOR), όπως φαίνεται στο σχήμα 3.

Η είσοδος του D-FF τροφοδοτείται από την έξοδο ενός τυπικού αποδιαμορφωτή BPSK, ο οποίος ανιχνεύει την τιμή της φάσης του φέροντος συγκρίνοντάς το με τη συχνότητα αναφοράς F1.



Σχήμα 2. Η μέθοδος αποδιαμόρφωσης DPSK

Το D-FF σε αυτό το κύκλωμα παίζει το ρόλο ενός στοιχείου μνήμης με καθυστέρηση μία περίοδο bit. Έτσι, ανά πάσα στιγμή, στην έξοδο του D-FF εμφανίζεται η *προηγούμενη* κατάσταση της εισόδου του, δηλαδή της εξόδου του αποδιαμορφωτή BPSK.

Το κύκλωμα αυτό περιέχει και μία πύλη XNOR, η οποία έχει τον ακόλουθο πίνακα αληθείας:

A	B	OUT
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Η πύλη XNOR είναι έτσι συνδεδεμένη ώστε να συγκρίνει την τρέχουσα κατάσταση του αποδιαμορφωτή BPSK (είσοδος D-FF) με την προηγούμενή του κατάσταση (έξοδος D-FF). Όταν η τρέχουσα δυαδική κατάσταση είναι διαφορετική από την προηγούμενη, η πύλη XNOR δίνει έξοδο "0", Όταν η τρέχουσα κατάσταση είναι ίδια με την προηγούμενη, τότε η πύλη XNOR δίνει στην έξοδο "1".

Βλέπουμε έτσι ότι η πύλη XNOR εμφανίζει στην έξοδό της τα δυαδικά ψηφία που εκπέμφθηκαν από τον πομπό.

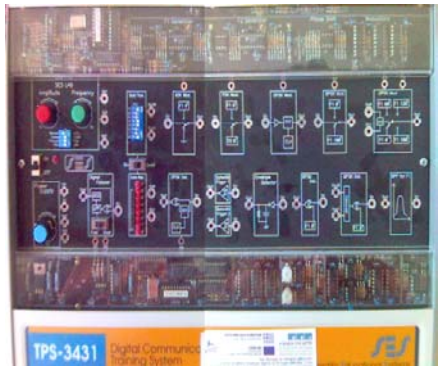
Πρακτικό μέρος:

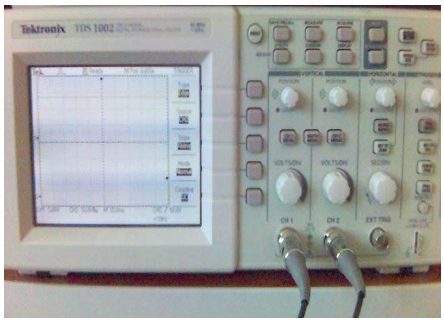
Στόχοι Εργαστηριακής Άσκησης:

- Δημιουργία του διαμορφωμένου σήματος DPSK
- Φιλτράρισμα της συχνότητας F1 με χρήση στενού ζωνοπερατού φίλτρου
- Αποδιαμόρφωση με χρήση αποδιαμορφωτή DPSK.

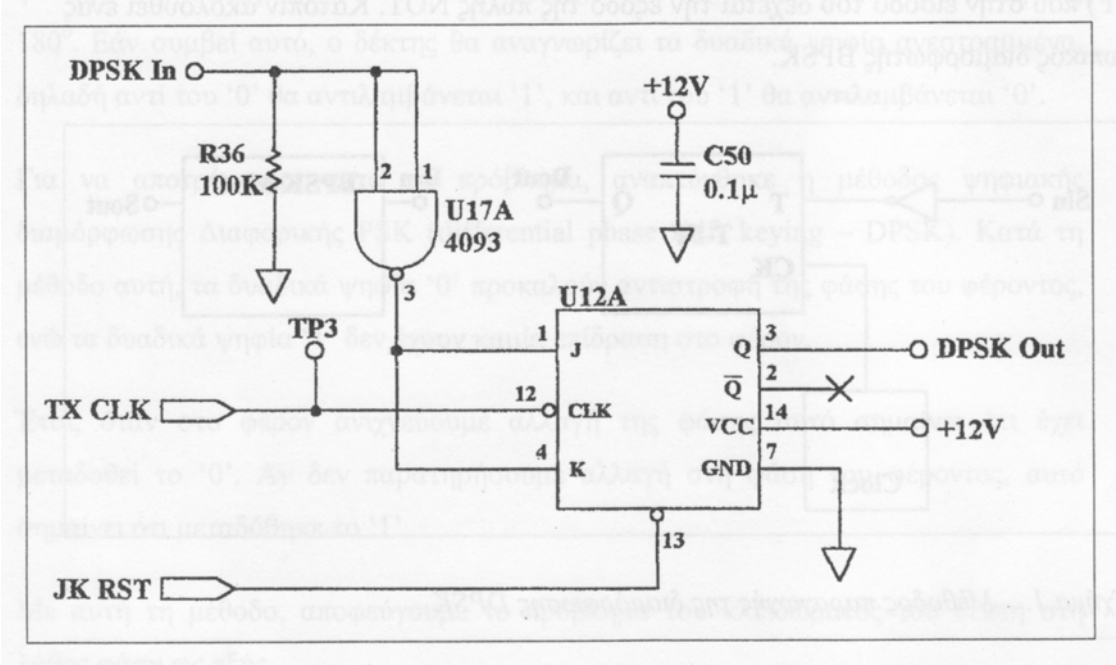
Απαιτούμενος Εξοπλισμός:

- Εκπαιδευτική Μονάδα TPS-3431
- Τροφοδοτικό της Εκπαιδευτικής Μονάδας TPS-3431
- Παλμογράφος δύο καναλιών
- Καλώδια σύνδεσης





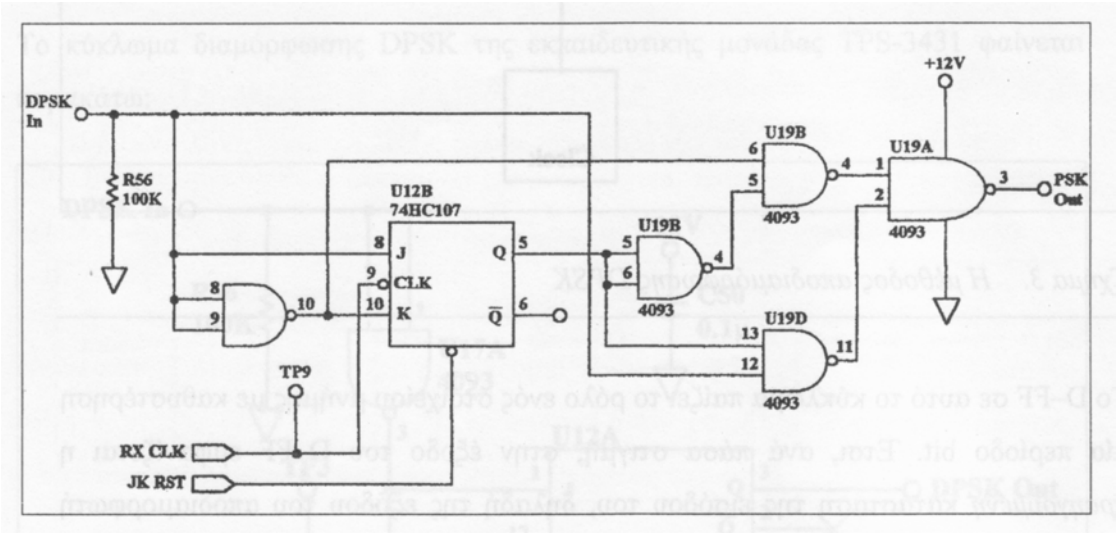
Τα κυκλώματα DPSK διαμόρφωσης της εκπαιδευτικής μονάδας TPS-3431:



Σχήμα 3. Το κύκλωμα παραγωγής της διαμόρφωσης DPSK του εκπαιδευτικού κιτ

Παρατηρήστε ότι το T -FF σχηματίζεται με τη χρήση ενός JK-FF και την ένωση των εισόδων K και J, έτσι ώστε $K = J$. Ο αναστροφέας υλοποιείται με μία πύλη NAND.

Τα κυκλώματα αποδιαμόρφωσης DPSK της εκπαιδευτικής μονάδας TPS-3431:



Σχήμα 4. Το κύκλωμα αποδιαμόρφωσης DPSK της εκπαιδευτικής μονάδας

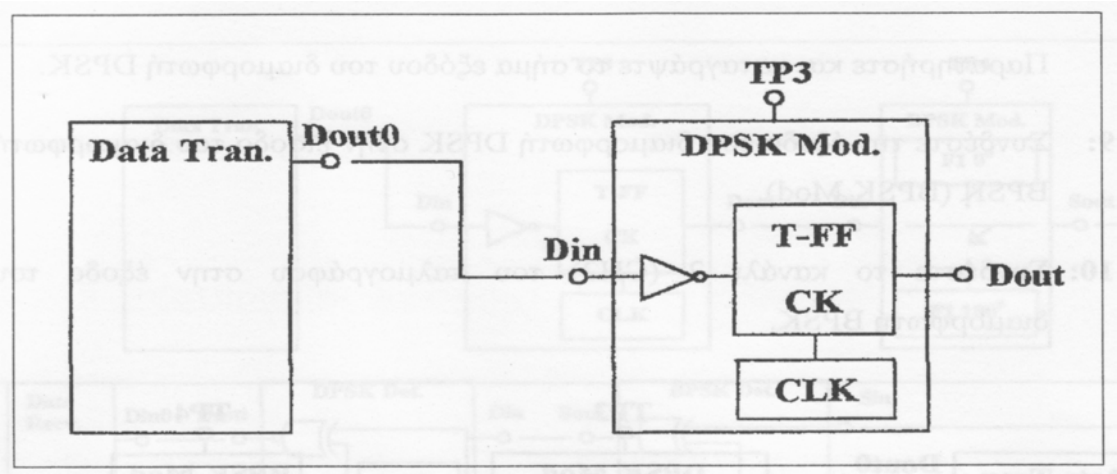
Παρατηρήστε ότι το D-FF σχηματίζεται με τη χρήση ενός JK-FF και τη χρήση ενός αναστροφέα (NOT), έτσι ώστε $K = J$. Ο αναστροφέας υλοποιείται με μία πύλη NAND. Επίσης, η πύλη XNOR υλοποιείται με τέσσερις (4) πύλες NAND.

Πειραματική Διαδικασία:

Βήμα 1: Συνδέστε το τροφοδοτικό με το εκπαιδευτικό κιτ TPS- 3431.

Βήμα 2: Συνδέστε το τροφοδοτικό σε πρίζα του ηλεκτρικού δικτύου και θέστε σε λειτουργία τη μονάδα μέσω του κεντρικού διακόπτη.

Βήμα 3: Συνδέστε την έξοδο του πομπού δεδομένων (Data Transmitter) στην είσοδο του διαμορφωτή DPSK (DPSK Modulator).



Γυρίστε το διακόπτη BIN/QUAD στη θέση BIN.

Βήμα 4: Συνδέστε το κανάλι 1 (CH1) του παλμογράφου στην έξοδο του διαμορφωτή DPSK.

Βήμα 5: Για την καλύτερη εμφάνιση του σήματος στην οθόνη του παλμογράφου, ορίστε την χρονική βάση του παλμογράφου στην τιμή 5msec/diy. Βεβαιωθείτε ότι οι ακροδέκτες του παλμογράφου έχουν τον μικροδιακόπτη στη θέση 10X. Τέλος, κάνετε τις ακόλουθες ρυθμίσεις στον παλμογράφο:

[CH1 MENU] → [coupling DC] → [Probe 10x]

[CH2 MENU] → [coupling DC] → [Probe 10x]

Βήμα 6: Με τους 8 μικροδιακόπτες του πομπού, ορίστε τον δυαδικό αριθμό 01010101.

Παρατηρήστε και καταγράψτε το σήμα εξόδου του διαμορφωτή DPSK.

Βήμα 7: Με τους 8 μικροδιακόπτες, ορίστε τον δυαδικό αριθμό 00001111.

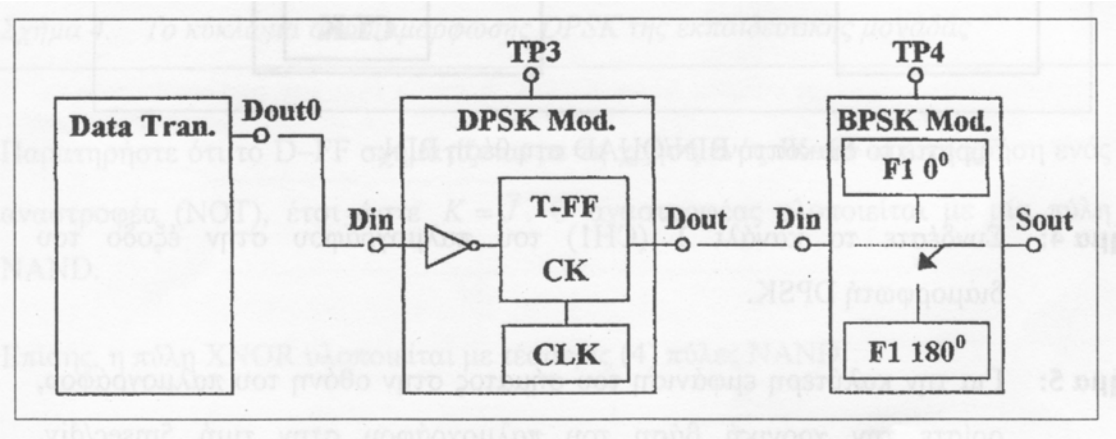
Παρατηρήστε και καταγράψτε το σήμα εξόδου του διαμορφωτή DPSK.

Βήμα 8: Με τους 8 μικροδιακόπτες, ορίστε τον δυαδικό αριθμό 00011111.

Παρατηρήστε και καταγράψτε το σήμα εξόδου του διαμορφωτή DPSK.

Βήμα 9: Συνδέστε την έξοδο του διαμορφωτή DPSK στην είσοδο του διαμορφωτή BPSK (BPSK Mod).

Βήμα 10: Συνδέστε το κανάλι 2 (CH2) του παλμογράφου στην έξοδο του διαμορφωτή BPSK.



Βήμα 11: Με τους 8 μικροδιακόπτες, ορίστε τον δυαδικό αριθμό 11000011.

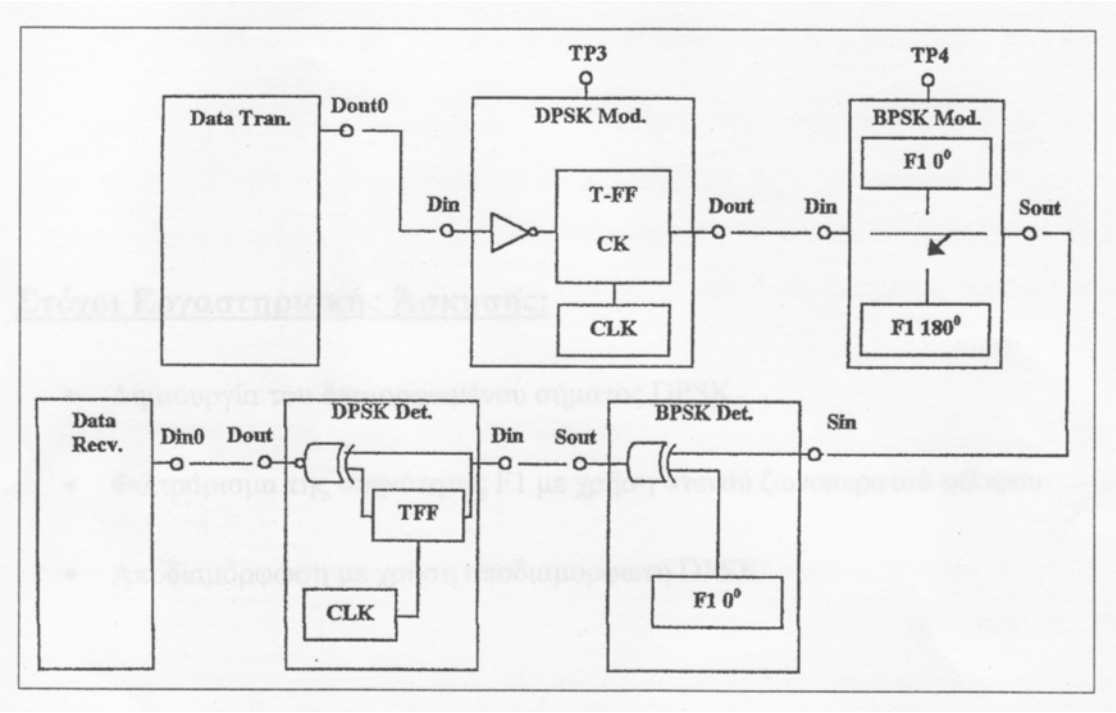
Βήμα 12: Καταγράψτε τα σήματα από τα δύο κανάλια του παλμογράφου: α) την έξοδο του διαμορφωτή DPSK, και β) την έξοδο του διαμορφωτή BPSK.

Βήμα 13: Συνδέστε την έξοδο του διαμορφωτή BPSK στην είσοδο του αποδιαμορφωτή BPSK (BPSK Demod).

Βήμα 14: Συνδέστε την έξοδο του αποδιαμορφωτή BPSK στην είσοδο του αποδιαμορφωτή DPSK (DPSK Demod).

Βήμα 15: Συνδέστε την έξοδο του αποδιαμορφωτή DPSK στην είσοδο του δέκτη ψηφιακών δεδομένων (Data Recv).

Παρατηρήστε και ελέγξτε ότι τα δυαδικά ψηφία που θέσατε στους 8 μικροδιακόπτες του πομπού εμφανίζονται σαν φωτεινές ενδείξεις στα LED' s του δέκτη.



Βήμα 16: Σχεδιάστε αναλυτικά σε χαρτί *millimetré* σε ένα ενιαίο διάγραμμα από πάνω προς τα κάτω όλα τα σήματα στη διαδρομή του σήματος από τον πομπό έως το δέκτη και όλες τις ενδιάμεσες βαθμίδες (συνολικά 5 σήματα).

Βήμα 17: Επαναλάβετε το βήμα 16 για τους δυαδικούς αριθμούς 00110011, 00001111 και 00111100.

ΑΣΚΗΣΗ 7η

ΑΣΚΗΣΗ 7η

Θεωρητικό μέρος:

Ορθογωνική Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)

Το κύριο πρόβλημα με την BPSK και την DPSK είναι ότι η ταχύτητα της μετάδοσης δεδομένων περιορίζεται σε ένα συγκεκριμένο εύρος ζώνης. Ένας τρόπος αύξησης του ρυθμού των δυαδικών δεδομένων χωρίς αύξηση του απαιτούμενου εύρους ζώνης για τη μετάδοση του σήματος είναι η κωδικοποίηση περισσότερων του 1 bit ανά μεταβολή φάσης. Υπάρχει μια μεταβολή συμβόλου για κάθε μεταβολή bit και επομένως το baud rate είναι το ίδιο με το bit rate. Στην BPSK και DPSK, κάθε δυαδικό bit παράγει μια συγκεκριμένη μεταβολή φάσης. Είναι επίσης δυνατή η χρησιμοποίηση συνδυασμών δύο ή περισσότερων bits για κάθε συγκεκριμένη ολίσθηση φάσης. Συνεπώς, μια μεταβολή συμβόλου (ολίσθηση φάσης) μπορεί να παριστά πολλά bits. Μπορούμε να κωδικοποιήσουμε περισσότερα bits ανά baud. Το bit rate της μεταφοράς δεδομένων μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το baud rate, ενώ το σήμα δεν καταλαμβάνει περισσότερο εύρος ζώνης.

Για να γίνει αυτό χρησιμοποιείται ένα σύστημα που είναι γνωστό σαν PSK 4-φάσεων ή QPSK (Quadrature PSK). Στην QPSK, κάθε ζεύγος διαδοχικών ψηφιακών bits, στην εκπεμπόμενη λέξη, αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη φάση. Δύο δυαδικά bits (0 και 1) μπορούν να δώσουν 4 διαφορετικούς συνδυασμούς (00, 01, 10 και 11). Κάθε ζεύγος bits καλείται *bidit* και παρίσταται με μια συγκεκριμένη φάση. Μεταξύ κάθε ζεύγους bits μπορεί να υπάρχει ολίσθηση φάσης 90°. Για παράδειγμα, είναι συνηθισμένο να χρησιμοποιούνται ολισθήσεις φάσεις που καλύπτουν όλο τον τριγωνομετρικό κύκλο (0°, 90°, 180° και 270°) ή και οποιονδήποτε άλλο συνδυασμό με την προϋπόθεση ότι θα έχουν διαφορά φάσης 90° όπως τις 45°, 135°, 225° και 315°. Αυτός, όμως, ο τρόπος ολίσθησης φάσης είναι αρκετά δύσκολος στην ανίχνευση μιας και ο ανιχνευτής δεν πρέπει να αναγνωρίσει, μόνο την ολίσθηση φάσης (σε απόλυτη τιμή) αλλά και την διεύθυνση της μετατόπισης καθώς η γωνία των 90° και των 270° (-90°) έχουν την ίδια μετατόπιση φάσης αλλά η μία είναι θετική και η άλλη αρνητική.

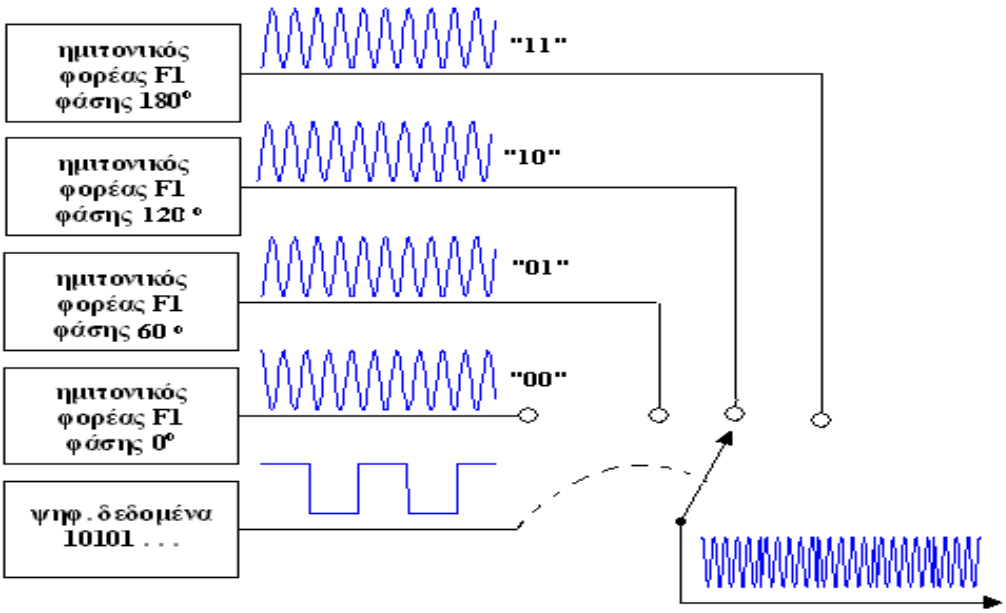
Εναλλακτικά για τις μετατοπίσεις της φάσης, στην QPSK μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μισό του τριγωνομετρικού κύκλου, δηλ. οι γωνίες 0°, 60°, 120° και 180°. Ωστόσο, επειδή η αποδιαμόρφωση του QPSK μπορεί να γίνει πολύ απλά μέσω μιας πύλης XOR είναι δυνατό να χρησιμοποιήσουμε τις μετατοπίσεις φάσης των 0°, -60°, 120° και 180° των οποίων η συμπεριφορά είναι όμοια με αυτή των 0°, 60°, 120° και 180°.

Επιπλέον, στην περίπτωση που χρησιμοποιούσαμε τον συνδυασμό των 0°, 60°, 120° και 180° θα χρειαζόμασταν έναν τελεστικό ενισχυτή για την αναστροφή της φάσης του ημιτονικού φορέα (F1) από 0° σε 180° και δύο τελεστικούς ενισχυτές για την μετατόπιση της φάσης του φορέα από 0° σε 60° και 120° αντίστοιχα.

Στην περίπτωση δε του συνδυασμού των 0°, -60°, 120° και 180° χρειαζόμαστε έναν τελεστικό ενισχυτή για την μετατόπιση της φάσης του φορέα από 0° σε -60° και δύο τελεστικούς ενισχυτές σε συνδεσμολογία αναστρέφοντος ενισχυτή. Η φάση των 180° παράγεται από τον ημιτονικό φορέα (F1) φάσης 0° όπως και στην περίπτωση του BPSK, ενώ η ολίσθηση φάσης των 120° επιτυγχάνεται με την αναστροφή της φάσης των -60° μέσω του δεύτερου αναστρέφοντος ενισχυτή.

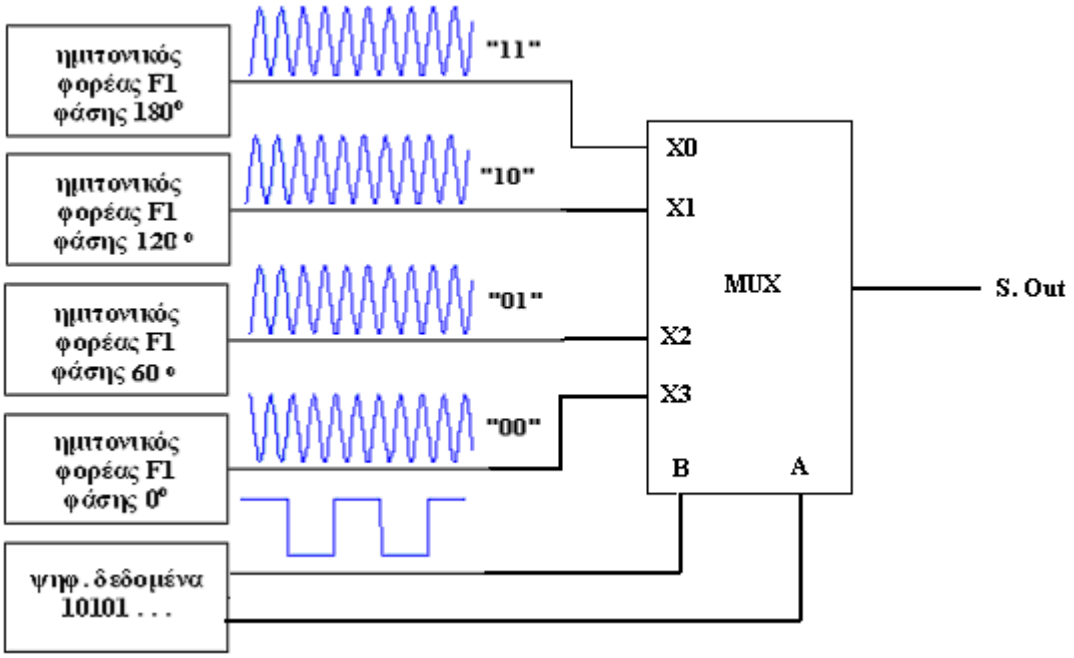
Χαρακτηριστικά της QPSK διαμόρφωσης

Το διαμορφωμένο σήμα QPSK μπορεί να παραχθεί με έναν απλό αναλογικό διακόπτη, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 1. Παραγωγή QPSK διαμόρφωσης με αναλογικό διακόπτη

ή μέσω ενός ψηφιακού πολυπλέκτη όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



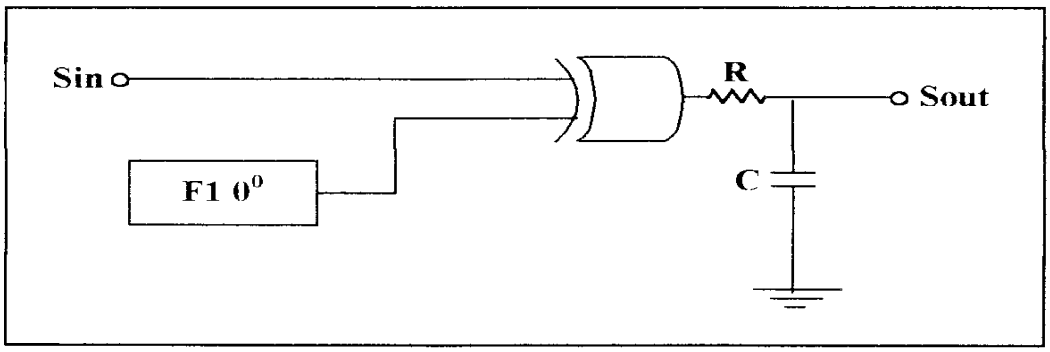
Σχήμα 2. Παραγωγή QPSK διαμόρφωσης με ψηφιακό πολυπλέκτη

Το κάθε ζεύγος των bit (*bidit*) "00", "01", "10" και "11" μεταδίδεται διαμορφώνοντας την φάση του ημιτονικού φορέα F1 κατά 0°, -60°, 120° και 180° αντίστοιχα.

Έτσι, με την μέθοδο QPSK επιτυγχάνουμε μετάδοση δεδομένων με διπλάσιο ρυθμό σε σχέση με τις άλλες μεθόδους.

Αποδιαμόρφωση QPSK

Η αποδιαμόρφωση του σήματος QPSK γίνεται με τη βοήθεια μία πύλης XOR και ενός βαθυπερατού φίλτρου (Low Pass Filter – LPF), όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3. Το κύκλωμα αποδιαμόρφωσης QPSK

Η λειτουργία του κυκλώματος αυτού βασίζεται στον πίνακα αληθείας της XOR.

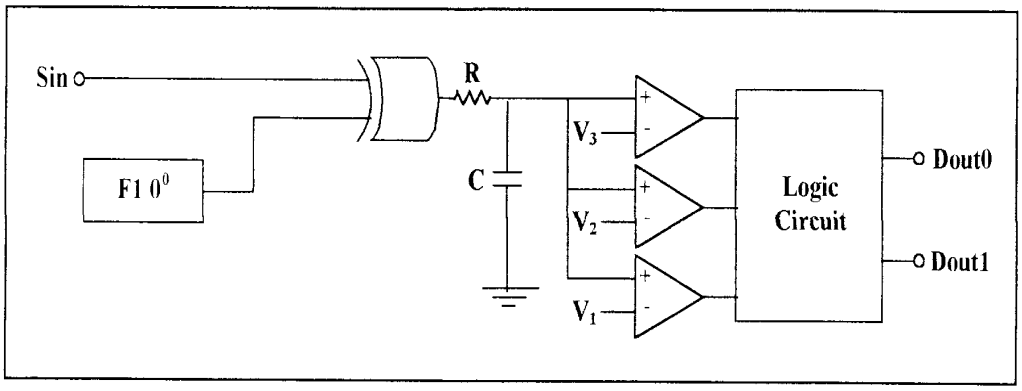
A	B	OUT
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Αν το σήμα στην είσοδο **Sin** δεν παρουσιάζει διαφορά φάσης με το φορέα **F1**, η τάση στην έξοδο της πύλης XOR θα είναι 0V.

Αντίθετα, όσο μεγαλύτερη είναι η ασυμφωνία φάσης του σήματος **Sin** από τον ημιτονικό φορέα **F1**, τόσο μεγαλύτερο σε μήκος θα είναι το ορθογωνικό κύμα στην έξοδο της πύλης XOR.

Στην συνέχεια, το δικτύωμα αντίστασης και πυκνωτή (RC) στην έξοδο της πύλης μετατρέπει την τάση στην έξοδο της πύλης σε DC τάση, πλάτους ανάλογο με το μήκος του ορθογωνικού κύματος.

Η έξοδος του RC φίλτρου συνδέεται σε τρεις τελεστικούς ενισχυτές και ο καθένας από αυτούς συγκρίνει την έξοδο του φίλτρου με την δική του τάση αναφοράς. Οι έξοδοι των ενισχυτών συνδέονται σε ένα λογικό κύκλωμα η έξοδος του οποίου παράγει τα αντίστοιχα bit δεδομένων (*dibit*). Η συνδεσμολογία που χρησιμοποιείται φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4. Το κύκλωμα αποδιαμόρφωσης QPSK

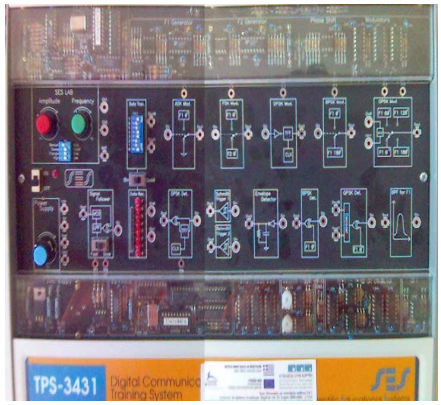
Πρακτικό μέρος:

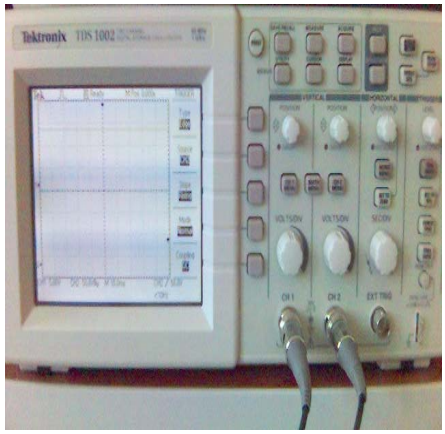
Στόχοι Εργαστηριακής Άσκησης:

- Δημιουργία του διαμορφωμένου σήματος QPSK
- Αποδιαμόρφωση με χρήση αποδιαμορφωτή QPSK.

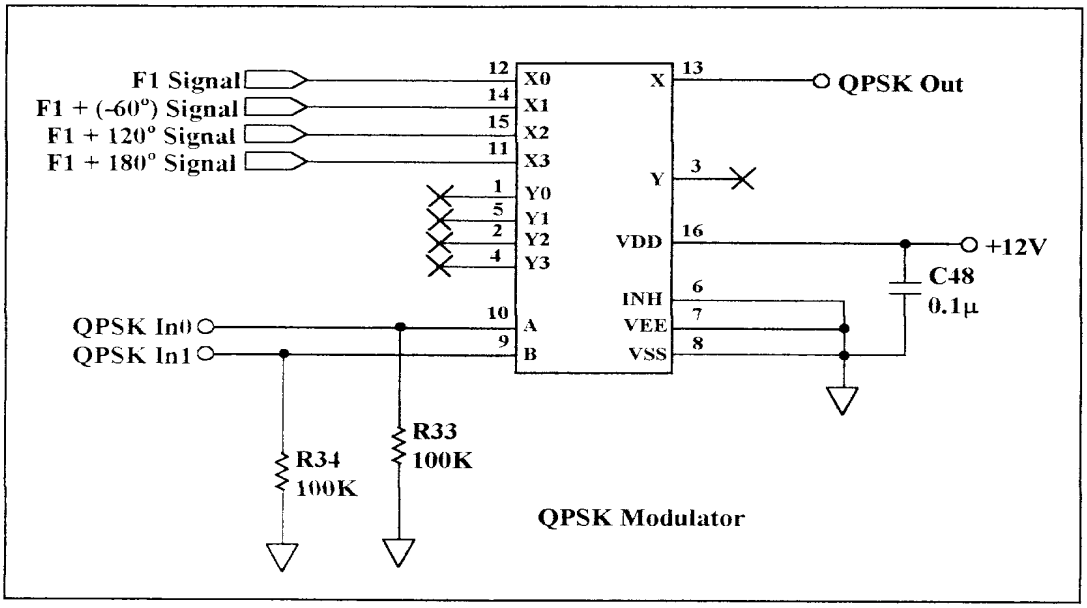
Απαιτούμενος Εξοπλισμός:

- Εκπαιδευτική Μονάδα TPS-3431
- Τροφοδοτικό της Εκπαιδευτικής Μονάδας TPS-3431
- Παλμογράφος δύο καναλιών
- Καλώδια σύνδεσης

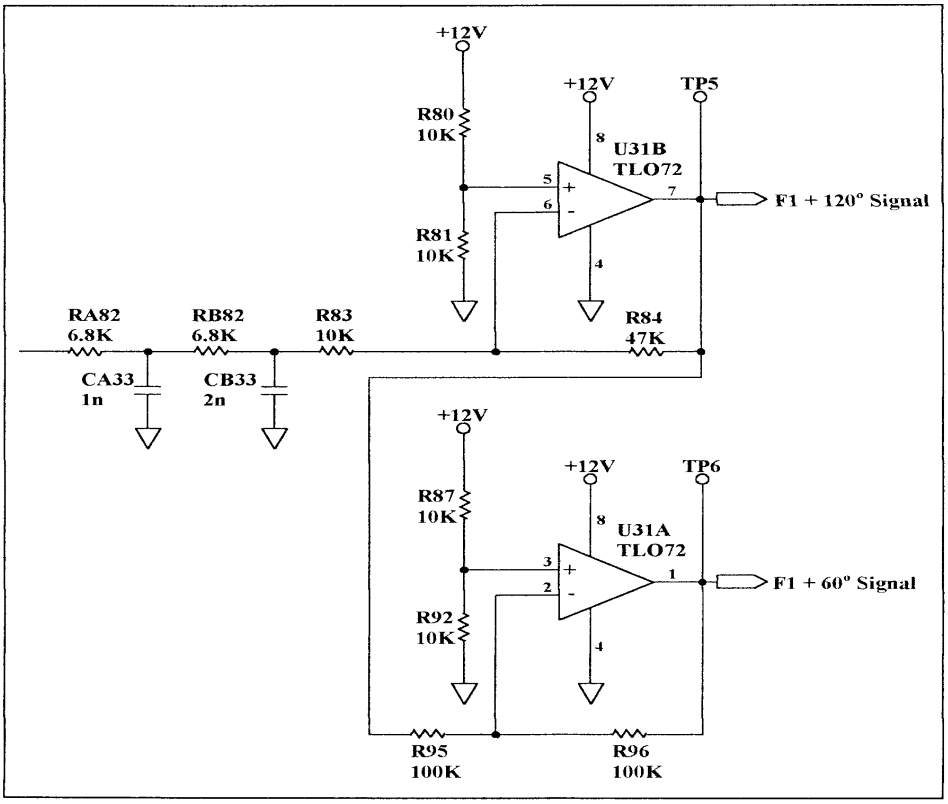




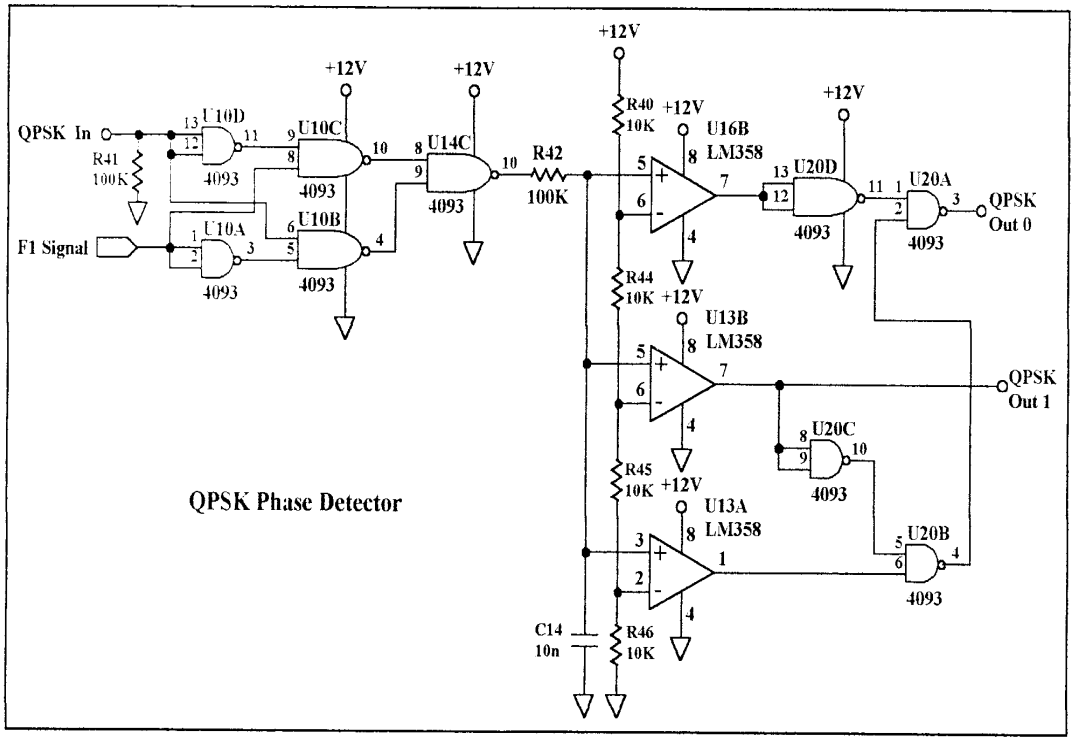
Το κύκλωμα QPSK διαμόρφωσης της εκπαιδευτικής μονάδας TPS-3431:



Το κύκλωμα, της εκπαιδευτική μονάδας TPS-3431, που χρησιμοποιείται για την μετατόπιση της φάσης του ημιτονικού φορέα F1 κατά 120° φαίνεται στο παρακάτω σχέδιο. Αρχικά ο φορέας F1 0° φάσης μετατοπίζεται κατά -60° και ακολούθως αναστρέφεται ώστε να έχουμε ημιτονικό φορέα F1 120° φάσης.



Το κύκλωμα QPSK αποδιαμόρφωσης της εκπαιδευτικής μονάδας TPS-3431:



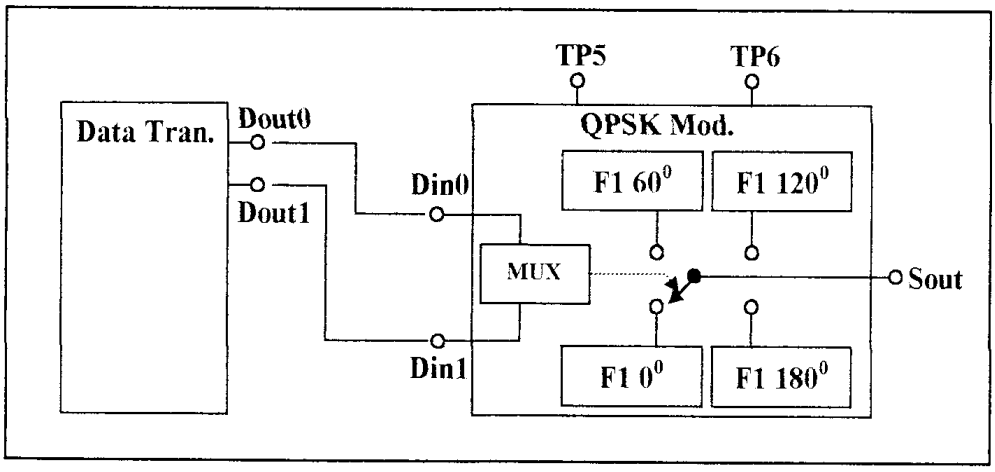
Παραπάνω, η πύλη XOR του αποδιαμορφωτή υλοποιείται με πύλες NAND.

Πειραματική Διαδικασία:

Βήμα 1: Συνδέστε το τροφοδοτικό με το εκπαιδευτικό κιτ TPS-3431.

Βήμα 2: Συνδέστε το τροφοδοτικό σε πρίζα του ηλεκτρικού δικτύου και θέστε σε λειτουργία τη μονάδα μέσω του κεντρικού διακόπτη.

Βήμα 3: Συνδέστε τις εξόδους του πομπού δεδομένων (Data Transmitter) Dout0 και Dout1στις εισόδους Din0 και Din1 του διαμορφωτή QPSK (QPSK Modulator), αντίστοιχα.



Γυρίστε το διακόπτη BIN/QUAD στη θέση QUAD.

Βήμα 4: Συνδέστε το κανάλι 1 (CH1) του παλμογράφου σημείο ελέγχου TP1.

Στην οθόνη τώρα του παλμογράφου θα πρέπει να δείτε την κυματομορφή του φορέα F1.

Βήμα 5: Συνδέστε το κανάλι 2 (CH2) του παλμογράφου σημείο ελέγχου TP4.

Στην οθόνη τώρα του παλμογράφου θα πρέπει να δείτε την κυματομορφή του φορέα F1 με μετατόπιση φάσης 180°.

Σχεδιάστε, σε χαρτί *millimetre*, τις κυματομορφές όπως ακριβώς εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου.

Βήμα 6: Συνδέστε τώρα το κανάλι 2 (CH2) του παλμογράφου στο σημείο ελέγχου TP5.

Στην οθόνη τώρα του παλμογράφου θα πρέπει να δείτε την κυματομορφή του φορέα F1 με μετατόπιση φάσης 120°.

Σχεδιάστε, σε χαρτί *millimetre*, την κυματομορφή όπως ακριβώς εμφανίζεται στην οθόνη του παλμογράφου.

Βήμα 7: Συνδέστε το κανάλι 2 (CH2) του παλμογράφου στο σημείο ελέγχου TP6.

Στην οθόνη τώρα του παλμογράφου θα πρέπει να δείτε την κυματομορφή του φορέα F1 με μετατόπιση φάσης -60° (300°).

Σχεδιάστε, σε χαρτί *millimetre*, την κυματομορφή όπως ακριβώς εμφανίζεται στην οθόνη του παλμογράφου.

Βήμα 8: Με τους 8 μικροδιακόπτες του πομπού, ορίστε τον δυαδικό αριθμό 00011011.

Βήμα 9: Συνδέστε το κανάλι 1 (CH1) του παλμογράφου στο σημείο ελέγχου TP3 (the transmitter clock).

Βήμα 10: Συνδέστε το κανάλι 2 (CH2) του παλμογράφου στην είσοδο Din0 του διαμορφωτή QPSK.

Αναγνωρίστε τα μεταδιδόμενα bits του καναλιού 2 (CH2) στην οθόνη του παλμογράφου σε σχέση με τους παλμούς του ρολογιού.

Για την καλύτερη εμφάνιση του σήματος στην οθόνη του παλμογράφου, μεταβάλλεται κατάλληλα την χρονική βάση (msec/div) του παλμογράφου.

Βήμα 11: Συνδέστε το κανάλι 2 (CH2) του παλμογράφου στην είσοδο Din1 του διαμορφωτή QPSK.

Αναγνωρίστε τα μεταδιδόμενα bits του καναλιού 2 (CH2) στην οθόνη του παλμογράφου σε σχέση με τους παλμούς του ρολογιού.

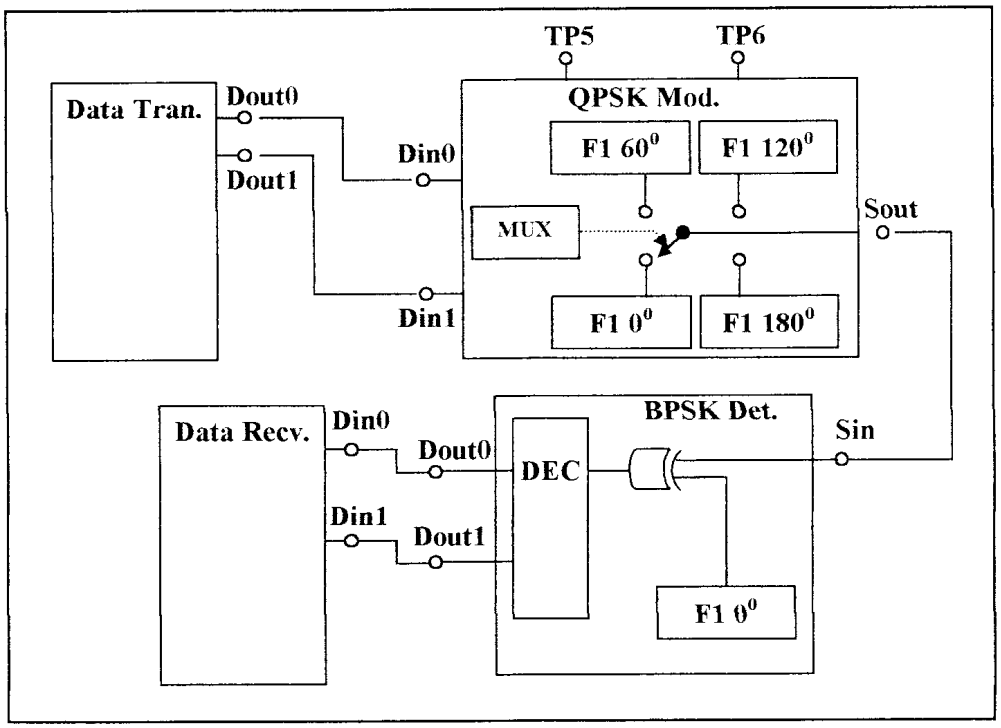
Σχεδιάστε, σε χαρτί *millimetre*, τις κυματομορφές του ρολογιού και τις εξόδους του πομπού δεδομένων (Data Transmitter), Dout0 και Dout1, όπως ακριβώς εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου.

Βήμα 12: Συνδέστε το κανάλι 2 (CH2) του παλμογράφου στην έξοδο του διαμορφωτή QPSK.

Το σήμα εξόδου δεν είναι σταθερό. Είναι πολύ δύσκολο να δείτε τις αλλαγές των φάσεων επειδή ο ρυθμός των δεδομένων είναι πολύ μικρότερος από την συχνότητα του σήματος. Πιέστε αρκετές φορές το κουμπί Run/Stop του παλμογράφου ώστε να παγώσετε την οθόνη του και να παρατηρήσετε έτσι τις αλλαγές των φάσεων.

Βήμα 13: Συνδέστε την έξοδο του διαμορφωτή QPSK στην είσοδο του αποδιαμορφωτή QPSK.

Βήμα 14: Συνδέστε τις εξόδους του αποδιαμορφωτή QPSK στις αντίστοιχες εισόδους (Din0 και Din1) του δέκτη δεδομένων.



Επιβεβαιώστε ότι ο δυαδικός αριθμός που εισάγατε στους μικροδιακόπτες του πομπού εμφανίζεται σωστά στα φωτεινά LED's του δέκτη.

Βήμα 15: Συνδέστε το κανάλι 1 (CH1) του παλμογράφου στο σημείο ελέγχου TP9 (the receiver clock).

Βήμα 16: Συνδέστε το κανάλι 2 (CH2) του παλμογράφου στην είσοδο Din0 του δέκτη δεδομένων.

Στην οθόνη τώρα του παλμογράφου, στο κανάλι 2 (CH2), θα πρέπει να δείτε τα ληφθέντα δεδομένα σύμφωνα με τους παλμούς του ρολογιού.

Βήμα 17: Συνδέστε το κανάλι 2 (CH2) του παλμογράφου στην είσοδο Din1 του δέκτη δεδομένων.

Στην οθόνη τώρα του παλμογράφου, στο κανάλι 2 (CH2), θα πρέπει να δείτε τα ληφθέντα δεδομένα σύμφωνα με τους παλμούς του ρολογιού.

Σχεδιάστε, σε χαρτί *millimetre*, τις κυματομορφές του ρολογιού και τις εξόδους του αποδιαμορφωτή QPSK, Dout0 και Dout1, όπως ακριβώς εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου.

Βήμα 18: Επαναλάβετε τα βήματα 9-17 για τους δυαδικούς αριθμούς 00110011 και 11100100 (χωρίς να ξανασχεδιάσετε τα διαγράμματα).

ПАРАРТНМА

ΑΝΑΦΟΡΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΙΙ

Σπουδαστές Ομάδας:

Επώνυμο	Όνομα	Α.Μ.	Εξάμηνο	Υπογραφή

Απαντήσεις:

Συνεχίστε στο πίσω μέρος της σελίδας

ΑΝΑΦΟΡΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΙΙ

Σπουδαστές Ομάδας:

Επώνυμο	Όνομα	Α.Μ.	Εξάμηνο	Υπογραφή

Απαντήσεις:

Συνεχίστε στο πίσω μέρος της σελίδας

Τμήμα: _ _ _ _ _ _ _ *Άσκηση: _ _ _ _ _* *Ημερ.:_ _ _ _ _ _ _ _ _*

ΑΝΑΦΟΡΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΙΙ

Σπουδαστές Ομάδας:

Επώνυμο	Όνομα	Α.Μ.	Εξάμηνο	Υπογραφή

Απαντήσεις:

Συνεχίστε στο πίσω μέρος της σελίδας

Τμήμα: _ _ _ _ _ _ _ *Άσκηση: _ _ _ _ _* *Ημερ.:_ _ _ _ _ _ _ _ _*

ΑΝΑΦΟΡΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΙΙ

Σπουδαστές Ομάδας:

Επώνυμο	Όνομα	Α.Μ.	Εξάμηνο	Υπογραφή

Απαντήσεις:

Συνεχίστε στο πίσω μέρος της σελίδας

Τμήμα: _ _ _ _ _ _ _ *Άσκηση: _ _ _ _ _* *Ημερ.:_ _ _ _ _ _ _ _ _*

ΑΝΑΦΟΡΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΙΙ

Σπουδαστές Ομάδας:

Επώνυμο	Όνομα	Α.Μ.	Εξάμηνο	Υπογραφή

Απαντήσεις:

Συνεχίστε στο πίσω μέρος της σελίδας

Τμήμα: _ _ _ _ _ _ _ *Άσκηση: _ _ _ _ _* *Ημερ.:_ _ _ _ _ _ _ _ _*

ΑΝΑΦΟΡΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΙΙ

Σπουδαστές Ομάδας:

Επώνυμο	Όνομα	Α.Μ.	Εξάμηνο	Υπογραφή

Απαντήσεις:

Συνεχίστε στο πίσω μέρος της σελίδας

Τμήμα: _ _ _ _ _ _ _ *Άσκηση: _ _ _ _ _* *Ημερ.:_ _ _ _ _ _ _ _ _*

ΑΝΑΦΟΡΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΙΙ

Σπουδαστές Ομάδας:

Επώνυμο	Όνομα	Α.Μ.	Εξάμηνο	Υπογραφή

Απαντήσεις:

Συνεχίστε στο πίσω μέρος της σελίδας

Τμήμα: _ _ _ _ _ _ _ *Άσκηση: _ _ _ _ _* *Ημερ.:_ _ _ _ _ _ _ _ _*

ΑΝΑΦΟΡΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΙΙ

Σπουδαστές Ομάδας:

Επώνυμο	Όνομα	Α.Μ.	Εξάμηνο	Υπογραφή

Απαντήσεις:

Συνεχίστε στο πίσω μέρος της σελίδας

(millimetré)

(millimetré)

(millimetré)

(millimetré)

(millimetré)

(millimetré)

(millimetré)

(millimetré)

(millimetré)

(millimetré)