

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

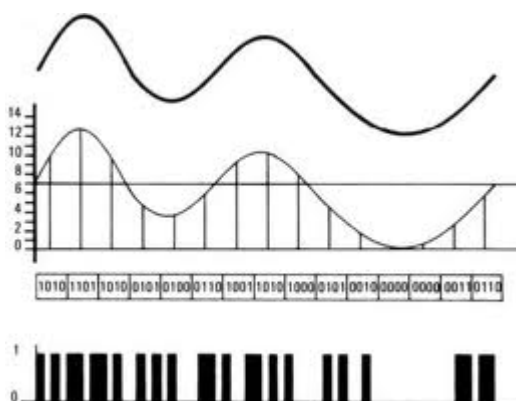
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ

# ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

## ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

### ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

### ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ



ΗΛΙΑΣ ΔΟΥΛΓΕΡΗΣ

Α.Μ.: ΜΕ / 08047

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΚΑΝΑΤΑΣ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2012

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι ψηφιακές επικοινωνίες ήταν και παραμένουν ένα ευρύ και μεγάλο ενδιαφέροντος πεδίο, με τεράστιο φάσμα εφαρμογών. Η ακαδημαϊκή εκπαίδευση είναι σε θέση να παρέχει στους φοιτητές πλήθος θεωρητικών γνώσεων γύρω από το πεδίο αυτό. Η έλλειψη όμως μιας πρακτικής προσέγγισης των συστημάτων ψηφιακών επικοινωνιών, δημιουργεί κενό στη πλήρη κατανόηση τόσο των βασικών αρχών λειτουργίας τους καθώς και των δυνατοτήτων τους. Το κενό αυτό φιλοδοξεί εν μέρει να αναπληρώσει η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, στα πλαίσια της ανάγκης ενίσχυσης της θεωρητικής γνώσης, από την εργαστηριακή εμπειρία.

Πρόκειται για ένα εκπαιδευτικό εγχειρίδιο, το οποίο έχει βασική πηγή πληροφοριών εργαστηριακές ασκήσεις της εταιρείας Feedback. Πιο συγκεκριμένα, αναφερόμαστε σε εργασίες του “Digital Communication System DCS297” της Feedback, οι οποίες προορίζονται για διδασκαλία βασικών αρχών ψηφιακών επικοινωνιών. Από τις ασκήσεις αυτές επιλέχθηκαν 10 αντιπροσωπευτικές, για την ολοκλήρωση των οποίων σχεδιάστηκε, αναπτύχθηκε και κατασκευάστηκε εξ αρχής το απαιτούμενο υλικό (hardware).

Το εγχειρίδιο αυτό περιγράφει πώς να δημιουργηθούν πειραματικά συστήματα ψηφιακών επικοινωνιών, παρέχοντας παράλληλα επεξηγήσεις αρχών και μεθόδων, έτσι ώστε οι φοιτητές να έχουν την ευκαιρία να εφαρμόσουν, να διαπιστώσουν και τελικά να κατανοήσουν τη λειτουργία των ψηφιακών συστημάτων, ενισχύοντας με αυτό το τρόπο τη θεωρητική τους γνώση.

Αναλυτικότερα, το εγχειρίδιο αποτελείται από δέκα (10) εργασίες, οι οποίες έχουν την εξής δομή:

Αρχικά ορίζεται το ακριβές αντικείμενο της εργασίας, ο απαιτούμενος εξοπλισμός καθώς και οι στόχοι που πρέπει να επιτευχθούν. Στη συνέχεια περιγράφεται η προετοιμασία των πειραμάτων και η βήμα προς βήμα ολοκλήρωση αυτών. Παράλληλα δίνονται ερωτήσεις για βελτιστοποίηση της κατανόησης των πειραμάτων, των οποίων οι απαντήσεις και τα συμπεράσματα ολοκληρώνουν την άσκηση.

Επιπλέον, υπάρχει ευρύ πεδίο για τον καθηγητή να σχεδιάσει τις δικές του εργασίες, να θέσει τις δικές του ερωτήσεις, ώστε αυτές να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των φοιτητών, βοηθώντας τους με ευέλικτο τρόπο, να αποκτήσουν επιπλέον γνώση.

Η διπλωματική αυτή εργασία, εκπονήθηκε καθαρά και μόνο για εκπαιδευτικό σκοπό, με μοναδικό στόχο την ενίσχυση της θεωρητικής γνώσης και κατανόησης των ψηφιακών συστημάτων επικοινωνίας από τους φοιτητές.

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:</b> Περιγραφή συστήματος και εξοπλισμού.	Σελ. 3
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:</b> Εισαγωγή στη ψηφιακή σηματοδοσία.	Σελ. 5
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Εργασίες.</b>	Σελ. 10
<b>Εργασία 1: Σηματοδοσία δεδομένων.</b>	Σελ. 11
1.1 Αποστολή και λήψη δυαδικών δεδομένων.	
1.2 Αναλογική σε ψηφιακή μετατροπή.	
1.3 Αναλογική – Ψηφιακή – Αναλογική ζεύξη.	
<b>Εργασία 2: Μορφές δεδομένων.</b>	Σελ. 26
2.1 Εξέταση των διαφόρων μορφών δεδομένων.	
2.2 Εξαγωγή των σημάτων χρονισμού.	
<b>Εργασία 3: Θόρυβος στα ψηφιακά συστήματα.</b>	Σελ. 45
3.1 Επίδραση προσομοιωμένου θορύβου.	
<b>Εργασία 4: Ανίχνευση και διόρθωση λαθών.</b>	Σελ. 54
4.1 Προετοιμασία ανίχνευσης σφαλμάτων.	
4.2 Διόρθωση σφαλμάτων.	
<b>Εργασία 5: Αναγέννηση Χρονισμού (NRZ δεδομένα).</b>	Σελ. 70
5.1 Δημιουργία ενός χρονισμού bit (bit clock).	
5.2 Συγχρονισμός του χρονισμού λέξης (word clock).	
5.3 Τυχαία μετάδοση της λέξη αναγνώρισης (recognition word).	
5.4 Επίδραση της έλλειψης συγχρονισμού στις αναλογ. κυματομορφές.	
<b>Εργασία 6: Διαμόρφωση μετατόπισης πλάτους (ASK).</b>	Σελ. 89
6.1 On-off ASK	
6.2 ASK με καταστολή φέροντος.	
<b>Εργασία 7: Διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (PSK), μικρότερης <math>\pm 90^\circ</math> ως προς το σήμα αναφοράς.</b>	Σελ. 107
7.1 PSK διαμόρφωση.	
7.2 Λήψη PSK σημάτων.	

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### **Εργασία 8: Διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (PSK),**

**στις  $\pm 90^\circ$  ως προς το σήμα αναφοράς.**

Σελ. 123

8.1 Διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση PSK στις  $\pm 90^\circ$ .

### **Εργασία 9: Αποδιαμορφωτής βρόχου Costas (Costas Loop).**

Σελ. 132

9.1 Αποδιαμόρφωση με Costas Loop.

### **Εργασία 10: Διαμόρφωση PSK με Ορθογωνισμό (QPSK).**

Σελ. 141

10.1 Μορφή δεδομένων για QPSK.

10.2 QPSK μετάδοση.

10.3 Λήψη σημάτων QPSK.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Σελ. 164

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:**

Σελ. 165

Σχεδιαγράμματα κυκλωμάτων.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β:**

Σελ. 176

Τυπωμένα κυκλώματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

#### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σύστημα ψηφιακών επικοινωνιών που παρουσιάζεται στη συνέχεια προορίζεται για διδασκαλία βασικών αρχών ψηφιακών επικοινωνιών. Αυτό το εγχειρίδιο περιγράφει πως να δημιουργηθούν πειραματικά συστήματα και παρέχει επεξηγήσεις αρχών και μεθόδων έτσι ώστε οι φοιτητές να ενισχύσουν τη θεωρητική τους γνώση με εργαστηριακή εμπειρία. Επιπλέον, υπάρχει ευρύ πεδίο για τους εκπαιδευτές για να σχεδιάσουν τις δικές τους ασκήσεις ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες των διαφόρων μαθητών.

#### ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Τα περιεχόμενα του συστήματος δίνονται παρακάτω, μαζί με άλλα βοηθητικά στοιχεία που απαιτούνται για την υποστήριξη του εξοπλισμού.

ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ																																							
1	Πομπός																																							
1	Μορφή Δεδομένων																																							
3	Διπλός Ισοσταθμισμένος Διαμορφωτής																																							
1	Ολισθητής Φάσης Φέροντος																																							
2	Τασιελεγχόμενος Ταλαντωτής																																							
1	Αναγεννητής Χρονισμού Δεδομένων																																							
1	Ανάκτηση Δεδομένων																																							
1	Δέκτης																																							
2	Μονάδα Ήχου																																							
2	Τροφοδοτικό																																							
1	Παρελκόμενα και καλώδια αποτελούμενα από: <table border="0" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>3</td> <td>Plug-ins</td> <td>2kΩ Αντίσταση</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Plug-ins</td> <td>1nF Πυκνωτής</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Plug-in</td> <td>Zener Δίοδος</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Plug-in</td> <td>Network «A»</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Plug-in</td> <td>Network «C»</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Καλώδια</td> <td>Μαύρα x 250mm μήκος</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Καλώδια</td> <td>Μπλε x 350 mm μήκος</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Καλώδια</td> <td>Πράσινα x 550 mm μήκος</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Καλώδια</td> <td>Κόκκινα x 650 mm μήκος</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Καλώδια</td> <td>Κόκκινα x 850 mm long</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Καλώδια</td> <td>Κόκκινα x 1100 mm long</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Καλώδια</td> <td>Τροφοδοσίας 230V AC.</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Καλώδια</td> <td>Τροφοδοσίας DC.</td> </tr> </table>	3	Plug-ins	2kΩ Αντίσταση	3	Plug-ins	1nF Πυκνωτής	1	Plug-in	Zener Δίοδος	1	Plug-in	Network «A»	2	Plug-in	Network «C»	10	Καλώδια	Μαύρα x 250mm μήκος	10	Καλώδια	Μπλε x 350 mm μήκος	10	Καλώδια	Πράσινα x 550 mm μήκος	3	Καλώδια	Κόκκινα x 650 mm μήκος	5	Καλώδια	Κόκκινα x 850 mm long	2	Καλώδια	Κόκκινα x 1100 mm long	2	Καλώδια	Τροφοδοσίας 230V AC.	2	Καλώδια	Τροφοδοσίας DC.
3	Plug-ins	2kΩ Αντίσταση																																						
3	Plug-ins	1nF Πυκνωτής																																						
1	Plug-in	Zener Δίοδος																																						
1	Plug-in	Network «A»																																						
2	Plug-in	Network «C»																																						
10	Καλώδια	Μαύρα x 250mm μήκος																																						
10	Καλώδια	Μπλε x 350 mm μήκος																																						
10	Καλώδια	Πράσινα x 550 mm μήκος																																						
3	Καλώδια	Κόκκινα x 650 mm μήκος																																						
5	Καλώδια	Κόκκινα x 850 mm long																																						
2	Καλώδια	Κόκκινα x 1100 mm long																																						
2	Καλώδια	Τροφοδοσίας 230V AC.																																						
2	Καλώδια	Τροφοδοσίας DC.																																						

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Απαιτούνται επιπρόσθετα τα ακόλουθα στοιχεία του πρότυπου εργαστηριακού εξοπλισμού.

ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Γεννήτρια Συναρτήσεων 600Ω 0.01Hz έως 10kHz Ημιτονοειδής, Τριγωνική & TTL.
1	Παλμογράφος 2 καναλιών με εξωτερικό σκανδαλισμό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΨΗΦΙΑΚΗ ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ

#### Σύστημα ψηφιακών επικοινωνιών

Ένα σύστημα επικοινωνίας περιλαμβάνει μια πηγή πληροφορίας, έναν πομπό, ένα κανάλι επικοινωνίας, έναν δέκτη και έναν προορισμό. Σκοπός του είναι να μεταφέρει ένα μήνυμα που θα σταλεί από την πηγή και θα αναπαραχθεί με επαρκή ακρίβεια στον παραλήπτη. Χρησιμοποιείται για τη μετάδοση μηνυμάτων σε κωδικοποιημένη ψηφιακή μορφή. Οι παρακάτω παράγραφοι εξηγούν τι σημαίνει αυτό και γιατί πρέπει να θέλουμε να μεταδίδουμε μηνύματα με αυτόν τον τρόπο.

#### Γραπτά μηνύματα

Ένα μήνυμα μπορεί να εκφραστεί από ένα συνδυασμό γραμμμάτων ή αριθμών για να σχηματιστούν προτάσεις ή να οριστεί μια ποσότητα. Και στις δύο περιπτώσεις κάθε γράμμα της αλφαβήτα και κάθε δεκαδικός αριθμός από το 0 μέχρι το 9 μπορεί να αναπαρασταθεί από ένα διακριτικό σύμβολο ή χαρακτήρα.

Μηνύματα που χρησιμοποιούν την Ελληνική αλφαβήτα και τους δεκαδικούς αριθμούς θα απαιτήσουν, επομένως, τουλάχιστον 34 χαρακτήρες μαζί με άλλους χαρακτήρες για σημεία στίξης. Επιπλέον, συγκεκριμένοι χαρακτήρες ελέγχου απαιτούνται, για παράδειγμα, να ξεκινήσουν μια νέα γραμμή ή να σηματοδοτήσουν το τέλος ενός μηνύματος.

#### Δυαδική κωδικοποίηση

Στα συστήματα ψηφιακών επικοινωνιών κάθε ένας από τους χαρακτήρες σε ένα μήνυμα μπορεί να αναπαρασταθεί από ένα διακριτική σχηματομορφή ή μια κωδική λέξη, που είναι συνήθως δυαδικά. Δυαδικό σημαίνει ότι η σχηματομορφή έχει έναν ορισμένο αριθμό από θέσεις (διακεκριμένο είτε στο χρόνο είτε στη θέση) που μπορούν να συμπληρωθούν με μια εκ των δύο τιμών. Οι τιμές μπορούν να είναι 0 και 1, και η τιμή σε κάθε μια ξεχωριστή θέση καλείται δυαδικό ψηφίο ή bit. Επειδή είναι εύκολο να γίνει διάκριση ανάμεσα σε δύο μόνο πιθανές τιμές, η δυαδική κωδικοποίηση είναι μια άμεση και ευρέως χρησιμοποιούμενη μορφή σηματοδοσίας.

#### Ο κώδικας ως ένας Αριθμός

Είναι συχνά βολικό να σκεφτόμαστε κάθε έναν από τους πιθανούς συνδυασμούς από bits ως ένα δυαδικό αριθμό. (Ο όρος «δυαδικός αριθμός» είναι η συντομογραφία για «τον αριθμό εκφρασμένο σε όρους δυαδικών ψηφίων»). Όπως και ένας συνηθισμένος αριθμός (δηλ. κάποιος εκφρασμένος σε δεκαδικά ψηφία), ένας δυαδικός αριθμός έχει μια διατεταγμένη σειρά από ψηφία, εφόσον τα ψηφία αυτά μπορούν να πάρουν μόνο δύο τιμές (0 και 1) αντί δέκα (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9), η τιμή ολόκληρου του αριθμού μπορεί να υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη ότι ένα ψηφίο «1» αξίζει δύο φορές περισσότερο καθώς προχωράει κατά μια θέση αριστερά ( αντί για δέκα φορές

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

περισσότερο για τους δεκαδικούς αριθμούς). Κάθε ψηφίο όπως λέγεται έχει μια σημαντικότητα, που ορίζεται ως ο παράγων με τον οποίο το ψηφίο πρέπει να πολλαπλασιαστεί για να υπολογιστεί η τιμή που πρέπει να προστεθεί στον αριθμό. Αυτό απεικονίζεται και στο σχήμα 1 για μια συγκεκριμένη περίπτωση μιας 8-bit λέξης.

Το bit που φέρει τον υψηλότερο παράγοντα ονομάζεται *Bit Υψιστης Σημαντικότητας (Most Significant Bit - MSB)* και αυτό που φέρει τον ελάχιστο παράγοντα ονομάζεται *Bit Ελάχιστης Σημαντικότητας (Least Significant Bit - LSB)*.

	Σημαντικότητα Bit							
Σημαντικότητα	128 =2 <sup>7</sup>	64 =2 <sup>6</sup>	32 =2 <sup>5</sup>	16 =2 <sup>4</sup>	8 =2 <sup>3</sup>	4 =2 <sup>2</sup>	2 =2 <sup>1</sup>	1 =2 <sup>0</sup>
Αριθμός Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Τυπικός Δυαδικός Αριθμός	0	1	0	1	0	0	1	0
Δεκαδική Τιμή	0	+64	+0	+16	+0	+0	+2	+0

Σχήμα 1

Επομένως σε μια 8-bit λέξη, το αριστερότερο bit έχει μια σημαντικότητα των 128. Δηλαδή, προσθέτει σε ολόκληρο τον αριθμό μια τιμή 128 αν η τιμή του ψηφίου είναι 1, ή 0 αν η τιμή του ψηφίου είναι 0. Οκτώ bits μπορούν να σχηματίσουν  $2^8 = 256$  πιθανούς συνδυασμούς των 1 και 0 και επομένως μπορεί να αναπαρασταθεί οποιοσδήποτε από 256 διαφορετικούς αριθμούς, ή κώδικες για 256 διαφορετικούς χαρακτήρες. Η δεκαδική τιμή της δυαδικής κωδική λέξης 01010010 που αναπαρίσταται στο σχήμα 1 είναι 82. Δηλαδή, ο ίδιος αριθμός μπορεί να εκφραστεί και από τον 01010010 σε δυαδική μορφή, ή από τον 82 σε δεκαδική μορφή.

Σημειώστε ότι στο σχήμα 1 τα bits αριθμούνται ξεκινώντας από το 0. Είναι εύκολο να δει κανείς από το σχήμα 1 γιατί γίνεται αυτό. Προσοχή όμως, μερικές φορές είναι πιο βολικό να αριθμούνται τα bits ξεκινώντας από το 1, ή ακόμη και να αριθμούνται ξεκινώντας από το πιο σημαντικό bit. Επομένως πάντα πρέπει να ελέγχεται η σύμβαση που χρησιμοποιείται.

### Πρότυπα Αλφάβητα

Μια πληθώρα διαφορετικών κωδικών δεδομένων έχουν ήδη διαμορφωθεί στην οποία οι συγκεκριμένες ακολουθίες bit είναι ήδη κατανοητές για τους συνηθέστερα χρησιμοποιούμενους χαρακτήρες. Από αυτούς, το Διεθνές Αλφάβητο No. 5 είναι πλέον αποδεκτό ως πρότυπος κώδικας για επικοινωνία μέσω τηλεγραφήματος και δεδομένων.

Αυτό χρησιμοποιεί 7-bit κωδικές λέξεις και επομένως καθιστά δυνατούς μέχρι και 128 χαρακτήρες, από τους οποίους περίπου οι μισοί είναι αλφαβητικά γράμματα ή δεκαδικοί αριθμοί από 0 μέχρι 9. Οι υπόλοιποι χαρακτήρες είναι για τον έλεγχο λειτουργιών ή ειδικά σύμβολα, όπως %, &, +.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Δεν είναι απαραίτητο να μελετηθεί ο κώδικας λεπτομερώς σε αυτό το στάδιο αλλά ως παράδειγμα, το μικρό μήνυμα TAKE 45 θα μπορούσε να κωδικοποιηθεί ως

0000010	1010100	1000001	1001011	1000101
ΑΡΧΗ	Τ	Α	Κ	Ε
0100000	0110100	0110101	0000100	
ΚΕΝΟ	4	5	ΤΕΛΟΣ	

### Ψηφιακή Μετάδοση Αναλογικών Σημάτων

Αυτή η ιδέα ενός μηνύματος, και ο όρος «σύστημα ψηφιακών επικοινωνιών» μπορεί να υπονοεί ότι πρέπει να περιορίζεται στη μετάδοση μόνο ορισμένων ειδών σημάτων. Αυτό δεν είναι αληθές. Είναι σημαντικό να γίνει αντιληπτό ότι πρακτικά κάθε μορφή υπεραστικής επικοινωνίας στις μέρες μας χρησιμοποιεί ψηφιακές τεχνικές. Για να δείτε το γιατί, σκεφτείτε το παράδειγμα του τηλεφώνου.

Δύο τηλέφωνα, όταν χρησιμοποιούνται, συνδέονται μεταξύ τους με καλώδια, ραδιοζεύξεις και άλλα μέσα που συλλογικά είναι ευρέως γνωστά ως κανάλι. Ιστορικά, τα κανάλια μεταδίδουν αναλογικά σήματα. Στην αναλογική σηματοδότηση το μήνυμα αναπαρίσταται από μια κυματομορφή της οποίας μια τιμή (π.χ. το πλάτος) μεταβάλλεται συνεχώς με το χρόνο. Σε ένα τηλεφωνικό κανάλι η τιμή αυτή θα συσχετίζεται με την ηχητική πίεση στο μικρόφωνο. Οι περισσότερες κυματομορφές θα έχουν πολλές συνιστώσες συχνότητας, και το κανάλι δεν τις διαβιβάζει όλες αυτές εξίσου, επομένως το σήμα παραμορφώνεται. Αυτό καλείται *παραμόρφωση συχνότητας* και μπορεί να διορθωθεί σε κάποιο, περιορισμένο μόνο, βαθμό.

Ένα ακόμη πρόβλημα είναι ότι σε οποιοδήποτε είδος καναλιού, το αναλογικό σήμα εξασθενεί καθώς ταξιδεύει. Επίσης, συλλέγει ανεπιθύμητα σήματα (που αποκαλούνται θόρυβος), που προκύπτουν μέσα στο κανάλι ή εισέρχονται από το εξωτερικό του. Περισσότερος θόρυβος συλλέγεται όσο το σήμα ταξιδεύει πιο μακριά. Οπότε, όσο μεγαλύτερη η απόσταση μεταξύ των τηλεφώνων, τόσο πιο πολύ εξασθενεί το σήμα και ενισχύεται ο θόρυβος. Ενισχυτές χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν την ένταση του σήματος κατά διαστήματα σε μια μεγάλη διαδρομή μετάδοσης, αλλά δυστυχώς ενισχύουν και τον θόρυβο επίσης. Δεν υπάρχει αναλογικό κανάλι που να εξαλείφει τον θόρυβο από την στιγμή που αναμιγνύεται με το σήμα.



Σχήμα 2

Η σημασία της ψηφιακής επικοινωνίας είναι ότι καθιστά δυνατή την αποκατάσταση ενός εξασθενημένου και παραμορφωμένου σήματος, ενώ απορρίπτει, τον θόρυβο και την παραμόρφωση. Θεώρησε για παράδειγμα τις τρεις εκδοχές του ίδιου μηνύματος στο σχήμα 2. Υπό την προϋπόθεση ότι η παραμόρφωση δεν είναι τόσο πολύ μεγάλη, ο παραλήπτης μπορεί να μετατρέψει τους παραμορφωμένους χαρακτήρες να σημαίνουν ακριβώς αυτό που έπρεπε να σημαίνουν αν είχε λάβει τους τέλειους χαρακτήρες, και μπορεί ενδεχομένως να αντιγράψει το μήνυμα αντικαθιστώντας με τους τέλειους χαρακτήρες.

Αυτό είναι δυνατό καθώς υπάρχει ένα περιορισμένο και προαποφασισμένο σύνολο χαρακτήρων. Με τον ίδιο τρόπο, κάθε ψηφίο του ψηφιακού σήματος έχει ένα περιορισμένο και προαποφασισμένο σύνολο από πιθανότητες. Έτσι η ακριβής σημασία μπορεί να αποκατασταθεί, έστω και σε ένα παραμορφωμένο σήμα, με την προϋπόθεση να είναι αναγνωρίσιμο.

### Μετατροπή μεταξύ Αναλογικών και Ψηφιακών Σημάτων

Αυτό που είναι συγκριτικά νέο είναι η ιδέα ότι όλα τα είδη μηνυμάτων μπορούν να σταλούν ως ψηφία. Η σύγχρονη ηλεκτρονική κάνει δυνατό τα συνεχώς μεταβλητά αναλογικά σήματα να εκφράζονται ως μια ακολουθία αριθμών, ή ισοδύναμα ως ψηφιακά σήματα. Αυτά τα ψηφιακά σήματα μπορούν να μεταδίδονται χωρίς την αναπόφευκτη φθορά που συνδέεται με τα αναλογικά κανάλια. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι ότι η ψηφιακή μετάδοση είναι φθηνότερη, καθώς είναι εύκολο να παραχθούν μαζικά συσκευές οι οποίες μπορούν να αποφασίσουν ανάμεσα σε δύο καταστάσεις, αλλά είναι πολύ δύσκολο να παραχθούν ακόμη και μερικές πραγματικά ακριβείς συσκευές για να διαχειριστούν ένα μεγάλο εύρος σημάτων. Στο δέκτη το ψηφιακό σήμα μπορεί έπειτα εξίσου εύκολα να μετατραπεί εκ νέου σε αναλογική μορφή.

Υπάρχουν βεβαίως και περιορισμοί. Αν έχει προστεθεί στο σήμα τόσο πολύς θόρυβος ώστε ο χαρακτήρας να αναγνωρίζεται λάθος, τότε το αποτέλεσμα μπορεί να είναι

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

σοβαρό. Επίσης, αν ένα εύρος τιμών αναλογικού σήματος είναι να απεικονιστεί σε ένα πίνακα αριθμών, θα υπάρχουν πολλές αναλογικές τιμές που θα πρέπει να αλλάξουν έτσι ώστε να ταιριάζουν στο κοντινότερο διαθέσιμο αριθμό. Το εύρος των πιθανών αναλογικών τιμών θα πρέπει να διασπαστεί ή να κβαντιστεί σε μια πεπερασμένη σειρά από κβαντισμένα διαστήματα. Κάθε διάστημα είναι ένα μικρό εύρος αναλογικών τιμών, τα οποία αντιπροσωπεύονται από την ίδια ψηφιακή τιμή. Τώρα, εάν δύο αναλογικές τιμές μέσα σε ένα δεδομένο διάστημα μεταφράζονται στο ίδιο ψηφιακό σήμα, όταν η διαδικασία αντιστραφεί στο δέκτη, οι δυο εμφανίσεις του ίδιου ψηφιακού σήματος πρέπει να μεταφραστούν στην ίδια αναλογική τιμή. Σε τουλάχιστον μια υπόσταση, αυτή η τιμή μπορεί να είναι λάθος. Θα πρέπει λοιπόν να αποφασίσουμε σχετικά με ένα συγκεκριμένο (συνήθως μικρό) βαθμό παραμόρφωσης που θα ληφθεί ως αποδεκτός. Αυτό θα προκύψει στη διαδικασία της ψηφιοποίησης. Η ανταμοιβή για την αποδοχή αυτής της ελεγχόμενης, μικρής αρχικής παραμόρφωσης είναι ένας σχετικά φθηνός και αποτελεσματικός τρόπος για την απομάκρυνση των περισσότερων (ιδανικά όλων) των παραμορφώσεων και του θορύβου που εισάγονται από το κανάλι.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Όλες οι εργασίες που περιέχονται σε αυτό το κεφάλαιο μπορούν να διεξαχθούν χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό που παρέχεται.

1. Σηματοδοσία δεδομένων.
2. Μορφές δεδομένων.
3. Θόρυβος στα ψηφιακά συστήματα.
4. Ανίχνευση και διόρθωση λαθών.
5. Δημιουργία χρονισμού (NRZ Δεδομένα).
6. Διαμόρφωση μετατόπισης πλάτους (Amplitude Shift Keying - ASK).
7. Διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (Phase Shift Keying - PSK), μικρότερη από  $\pm 90^\circ$  ως προς το σήμα αναφοράς.
8. Διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (Phase Shift Keying - PSK), στις  $90^\circ$  ως προς το σήμα αναφοράς.
9. Αποδιαμορφωτής βρόχου Costas (Costas Loop).
10. Διαμόρφωση μετατόπισης φάσης με ορθογωνισμό (Quadrature Phase Shift Keying - QPSK)

## ΕΡΓΑΣΙΑ 1

### ΣΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

#### ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ

Στην εργασία αυτή διατυπώνονται χειροκίνητα δυαδικά κωδικοποιημένοι αριθμοί και μεταδίδονται στο δέκτη ως λέξεις των οκτώ bit, όπου ανακατασκευάζονται και απεικονίζονται.

Μετατρέπονται αναλογικά σήματα σε λέξεις δεδομένων και μεταδίδονται στο δέκτη. Στη συνέχεια ανακτάται το αναλογικό σήμα ως απεικόνιση σε παλμογράφο ή ως μια ηχητική έξοδος.

Κατασκευάζεται μια απλή αναλογική / ψηφιακή τηλεφωνική γραμμή, ικανή για μονόδρομη συνομιλία.

#### ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Πομπός
1	Δέκτης
2	Μονάδα Ήχου
1	Τροφοδοτικό
1	Γεννήτρια συναρτήσεων
1	Παλμογράφος 2 καναλιών με εξωτερικό σκανδαλισμό

#### ΣΤΟΧΟΙ

Όταν θα έχετε ολοκληρώσει αυτή την εργασία θα πρέπει να γνωρίζετε ότι:

- Ένα μήνυμα μπορεί να αναπαρασταθεί είτε με μια συνεχώς μεταβαλλόμενη αναλογική κυματομορφή ή με μία κωδικοποιημένη ακολουθία ψηφίων.
- Στα δυαδικά κωδικοποιημένα δεδομένα κάθε ψηφίο αναπαρίσταται χρησιμοποιώντας μια κατάσταση σηματοδοσίας προκειμένου να αναπαραστήσει το ψηφίο 0 και μια άλλη για να αναπαραστήσει το ψηφίο 1.
- Κάθε χαρακτήρας σε ένα μήνυμα αναπαρίσταται με μια ομάδα ψηφίων που καλείται λέξη (word).
- Ένας αναλογικό - ψηφιακός μετατροπέας (Analog to Digital Converter - ADC) παρέχει μια ψηφιακή έξοδο από μια αναλογική είσοδο. Αντιστρόφως, ένας ψηφιακό - αναλογικός μετατροπέας (Digital to Analog Converter - DAC) παρέχει μια αναλογική έξοδο από μια ψηφιακή είσοδο. Χρησιμοποιώντας και τους δύο μετατροπείς, μια αναλογική κυματομορφή μπορεί να μεταδοθεί ψηφιακά και να ανακατασκευαστεί στο τερματικό του δέκτη.

### ΕΠΙΠΕΔΟ ΓΝΩΣΕΩΝ

Πριν από την έναρξη των εργασιών για την εργασία αυτή θα πρέπει να:

- Γνωρίζετε ότι ένα σύστημα επικοινωνίας είναι ένα μέσο αποστολής πληροφοριών από το ένα μέρος στο άλλο.
- Έχετε διαβάσει το κεφάλαιο 2 «ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΨΗΦΙΑΚΗ ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ».
- Γνωρίζετε πως να χρησιμοποιείτε έναν παλμογράφο.

### ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Συνδέστε το τροφοδοτικό με το ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά μην το ενεργοποιείτε ακόμη. Συνδέστε τα καλώδια τροφοδοσίας DC στον Πομπό, Δέκτη και στην μονάδα Ήχου (Όλες αυτές οι υποδοχές είναι πανομοιότυπες).

Μόνο όταν όλες οι συνδέσεις τροφοδοσίας έχουν πραγματοποιηθεί, μπορεί το τροφοδοτικό να ενεργοποιηθεί.

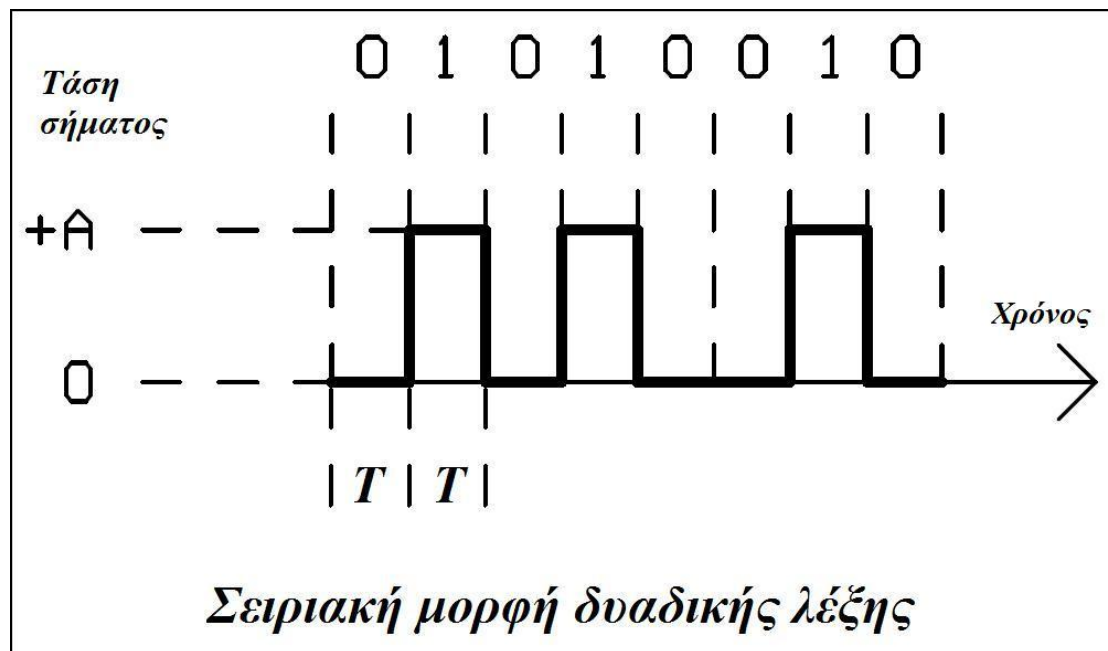
### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο εισαγωγικό κεφάλαιο επεξηγείται γιατί χρησιμοποιείται η ψηφιακή μετάδοση. Οι πιο κοινότερες μορφές ψηφιακής μετάδοσης βασίζονται στους δυαδικούς κώδικες, απλά επειδή αξιόπιστες, φθηνές συσκευές μπορούν να παραχθούν μαζικά για την επεξεργασία σημάτων τα οποία έχουν μόνο δύο ονομαστικές τιμές. Επίσης, μια ομάδα οκτώ δυαδικών ψηφίων ή bits σχηματίζουν μια λέξη δεδομένων. Η εν λόγω εργασία ασχολείται με δύο θέματα:

- Πώς μεταδίδονται, στην απλούστερη περίπτωση, οι λέξεις δεδομένων.
- Πώς ένα αναλογικό τηλεφωνικό σήμα μπορεί να μεταδοθεί σε ψηφιακή μορφή.

### ΣΕΙΡΙΑΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ

Για να σταλεί κάθε ένα από τα οκτώ bits μιας κωδικοποιημένης λέξης δεδομένων με ένα ξεχωριστό καλώδιο ή κανάλι θα ήταν ακριβό. Επομένως στην πράξη, συνήθως μεταφέρονται σειριακά. Δηλαδή, στέλνονται το ένα μετά το άλλο, σε ένα μόνο κανάλι, και επανασυναρμολογούνται ως μια λέξη στο άκρο του δέκτη. Έτσι, κατά τη διάρκεια της μετάδοσης, κάθε κωδική λέξη αναπαρίσταται από μια ακολουθία δυαδικών ψηφίων 0 και 1, ή σήματα που αναπαριστούν τις δύο τιμές. Κάθε κωδική λέξη περιέχει ένα ίσο αριθμό από bits και κάθε bit είναι ίσης διάρκειας. Πολύ συχνά χρησιμοποιείται η οκτώ-bit μετάδοση, με επτά bits φέροντα κώδικα από το Διεθνές Αλφάβητο και ένα επιπλέον bit που χρησιμοποιείται για ειδικούς σκοπούς (που θα συζητηθούν σε επόμενη εργασία).



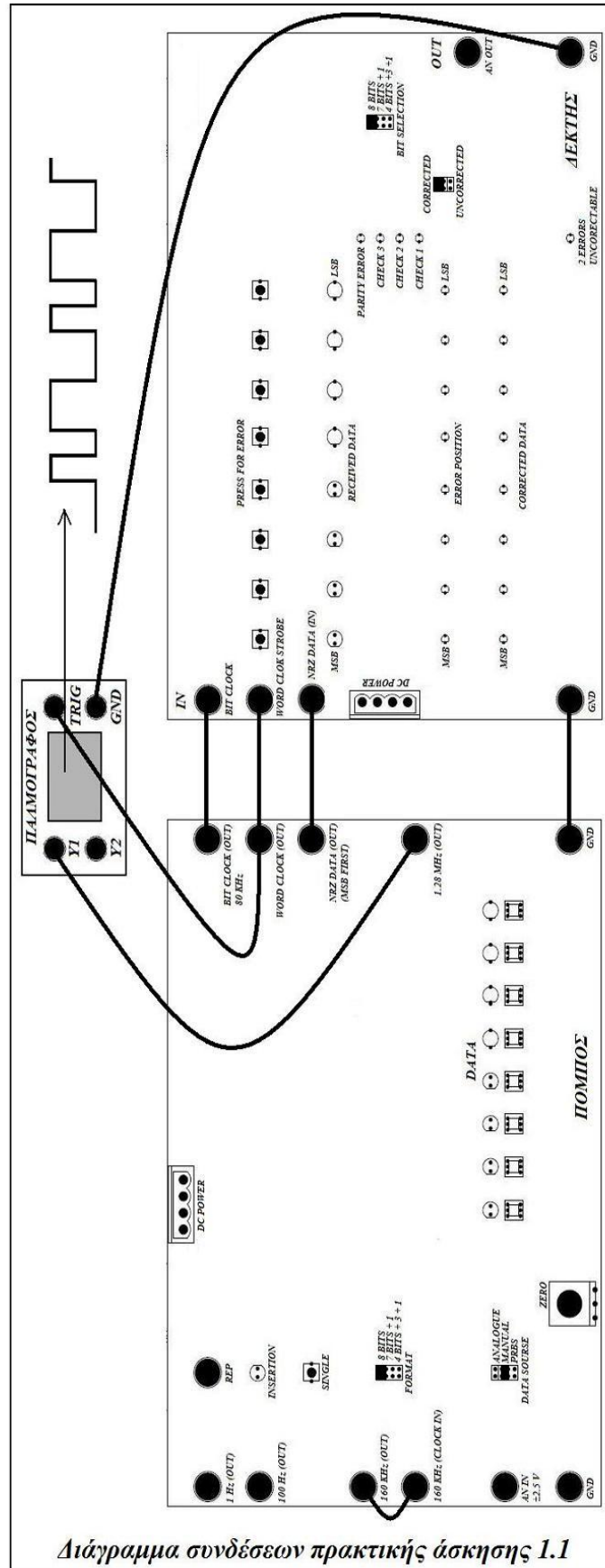
Σχήμα 1.1

Στην λέξη των οκτώ bit που απεικονίζεται στο σχήμα 1.1 η τιμή του ψηφίου 0 αναπαρίσταται από μηδενικό πλάτος και η τιμή του ψηφίου 1 αναπαρίσταται από ένα παλμό πλάτους  $+A$ . Η διάρκεια καθενός bit είναι  $T$  δευτερόλεπτα.

Αυτή είναι μια απλή μορφή. Διάφοροι άλλοι τρόποι αναπαράστασης της τιμής 1 ή 0 είναι δυνατοί, επιτρέποντας άλλες μορφές να χρησιμοποιούνται. Κάποιες από αυτές θα συζητηθούν μαζί με άλλες δυαδικές μορφές στην Εργασία 2.

Λέξεις δεδομένων στέλνονται από τον Πομπό με ένα ρυθμό που αποφασίζεται από ένα ηλεκτρονικό ρολόι. Στον Πομπό με το εσωτερικό του ρολόι συνδεδεμένο, αυτός ο ρυθμός ρυθμίζεται στις 10000 λέξεις ανά λεπτό, ή μια λέξη κάθε  $0.1 \text{ ms}$ . Όταν μια λέξη δεδομένων έχει συσταθεί από την πληκτρολόγηση χειροκίνητα, η ίδια ακολουθία bit θα μεταδοθεί ξανά και ξανά, κάθε  $0.1 \text{ ms}$ , έως ότου πληκτρολογηθεί μια διαφορετική λέξη.

Όταν ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο αναλογικό σήμα εφαρμόζεται στον Πομπό και μετατρέπεται σε λέξεις δεδομένων από έναν αναλογικό - ψηφιακό μετατροπέα, ο ρυθμός με τον οποίο δημιουργούνται νέες σχηματομορφές bit μπορεί να ποικίλει ευρέως και μπορεί να πλησιάζει τον ρυθμό με τον οποίο μεταδίδονται οι λέξεις.



Σχήμα 1.2

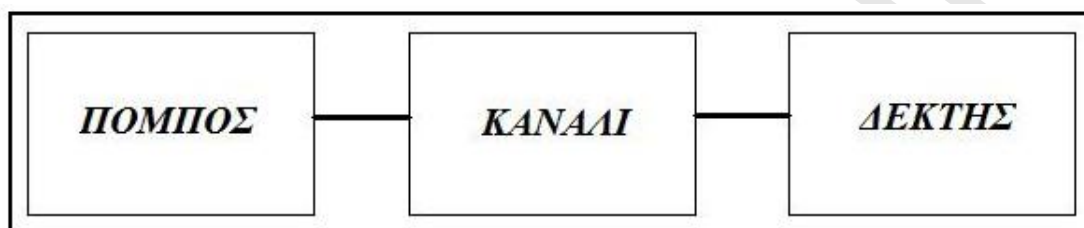


### ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 1.1

#### *Αποστολή και Λήψη Δυαδικών Δεδομένων*

Σε αυτή την πρακτική άσκηση, θα κατασκευάσετε μια σειρά από δυαδικές κωδικοποιημένες λέξεις, χρησιμοποιώντας το σύνολο των οκτώ βασικών κουμπιών του Πομπού. Τα δυαδικά σήματα που προκύπτουν θα απεικονιστούν σε ένα παλμογράφο για να εξεταστούν μεμονωμένα.

Το ψηφιακό σήμα τότε θα εφαρμοστεί στον Δέκτη, ο οποίος ανακατασκευάζει κάθε λέξη δεδομένων και την απεικονίζει στην αρχική της μορφή. Το σχήμα 1.3 είναι ένα σχηματικό διάγραμμα αυτού του απλού συστήματος επικοινωνίας δεδομένων.



Σχήμα 1.3

#### *Προετοιμασία*

Συνδέστε τις μονάδες και τον παλμογράφο όπως απεικονίζεται στο σχήμα 1.2.

Στον Πομπό, ρυθμίστε το διακόπτη «format» στα «8 bits» και τον διακόπτη «data source» στη θέση «manual». Η ομάδα των οκτώ βασικών κουμπιών χρησιμοποιούνται για να κατασκευάσουν τη σχηματομορφή των bit σε κάθε λέξη των οκτώ bit. Κάθε κουμπί έχει ένα ενδεικτη led που είναι αναμμένος για το ψηφίο 1 και σβηστός για το ψηφίο 0.

Επίσης, ο Πομπός παρέχει δύο σήματα εξόδου, το bit clock και το word clock, σκοπός των οποίων είναι να διατηρείται ο Δέκτης σε αρμονία με τον Πομπό, έτσι ώστε η έναρξη κάθε bit και λέξης να μπορεί να αναγνωριστεί. Ο συγχρονισμός θα συζητηθεί λεπτομερέστερα στην Εργασία 2.

Στον Δέκτη, ρυθμίστε τον διακόπτη «bit selection» (δεξί χέρι) και τον διακόπτη διόρθωσης δεδομένων (αριστερό χέρι) στις πάνω θέσεις τους. Άλλες λειτουργίες του Πομπού και του Δέκτη δεν απαιτούνται σε αυτό το πείραμα.

Στον παλμογράφο ρυθμίστε την είσοδο Y1 στα 5V/div DC και την χρονική βάση στα 10ms/div, εξωτερικό σκανδαλισμό από μια θετική ακμή.

### *Πρακτική Διαδικασία*

Εγκαταστήστε την ενδεικτική λέξη 01011000 τοποθετώντας τα κουμπιά στις κατάλληλες θέσεις στον Πομπό.

Ρυθμίστε τον παλμογράφο να παράγει μια οθόνη παρόμοια με εκείνη που απεικονίζεται στο σχήμα 1.3.

Οι ενδείκτες led «received data» στον Δέκτη θα πρέπει τώρα να δείχνουν την ίδια σχηματομορφή bit όπως στάλθηκε από τον Πομπό.

### *Ερώτηση 1.1*

**Συγκρίνοντας την λέξη δεδομένων και την οθόνη του παλμογράφου θεωρείτε ότι το πρώτο bit που μεταδίδεται είναι το περισσότερο σημαντικό ή το λιγότερο σημαντικό;**

Αφαιρέστε τη σύνδεση του bit clock στον Δέκτη, οι ενδείκτες led «received data» θα δείχνουν μια τυχαία εσφαλμένη σχηματομορφή.

Αποκατέστησε τη σύνδεση του bit clock και αφαίρεσε τη σύνδεση του word clock. Οι ενδείκτες led «received data» θα συνεχίσουν να δείχνουν τη σωστή σχηματομορφή bit αλλά αν η μεταδιδόμενη λέξη αλλάξει, ο δέκτης δε θα ανταποκριθεί. Αποκατέστησε τη σύνδεση του word clock.

### *Άσκηση*

**Εγκαταστήστε μια σειρά από λέξεις των οκτώ bit, οι οποίες έχουν επιλεγεί τυχαία, και ελέγξτε ότι ελήφθησαν σωστά.**

Αυτή η άσκηση μπορεί να βελτιωθεί αισθητά με την τοποθέτηση του Δέκτη σε κάποια απόσταση από τον Πομπό. Ένας άλλος μαθητής μπορεί να διαβάσει τώρα τις ληφθείσες κωδικές λέξεις και να επαληθεύσει την αξιοπιστία τους.



## ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 1.2

### *Αναλογική - ψηφιακή Μετατροπή*

Σε αυτή την πρακτική άσκηση ένα αναλογικό σήμα, που προέρχεται από μια γεννήτρια συναρτήσεων, μετατρέπεται σε ψηφιακή μορφή από τον αναλογικό - ψηφιακό μετατροπέα (ADC) στον Πομπό.

Το προκύπτον δυαδικό κωδικοποιημένο σήμα τότε εφαρμόζεται στον Δέκτη και απεικονίζεται ως μια εναλλασσόμενη ακολουθία δυαδικών κωδικοποιημένων λέξεων δεδομένων. Καθιστώντας μια γεννήτρια συναρτήσεων να παράγει μια τριγωνική κυματομορφή χαμηλής συχνότητας, οι ληφθείσες λέξεις δεδομένων μπορούν να διαβαστούν ως μεμονωμένοι αριθμοί που αντιστοιχούν σε σημεία του τριγωνικού κύματος.

### *Προετοιμασία*

Συνδέστε τις μονάδες και την γεννήτρια συναρτήσεων όπως απεικονίζεται στο σχήμα 1.3.

Στον Πομπό, ρυθμίστε το διακόπτη «format» στα «8 bits» και τον διακόπτη «data source» στο ADC. Το σήμα δεδομένων τώρα προέρχεται από μια αναλογική είσοδο διαμέσου ενός αναλογικό - ψηφιακού μετατροπέα. Προς στιγμή, αποσυνδέστε την έξοδο της γεννήτριας συνάρτησης και ρυθμίστε το ποτενσιόμετρο «zero» στον Πομπό για να αποκτήσει τη λέξη δεδομένων 100000000.

Ρυθμίστε τη γεννήτρια συναρτήσεων για να παράγει μια τριγωνική κυματομορφή, 4V από κορυφή σε κορυφή (peak to peak) στα 0.01 Hz. Σε αυτή την χαμηλή συχνότητα η αλλαγή στη σχηματομορφή bit μπορεί να παρατηρηθεί όπως το τριγωνικό κύμα που αυξάνεται και μειώνεται.

### *Ερώτηση 1.2*

**Στις 255 βαθμίδες από κορυφή σε κορυφή (peak to peak), πόσο συχνά θα αλλάξει η λέξη δεδομένων εάν το τριγωνικό κύμα έχει συχνότητα 0,05 Hz;**

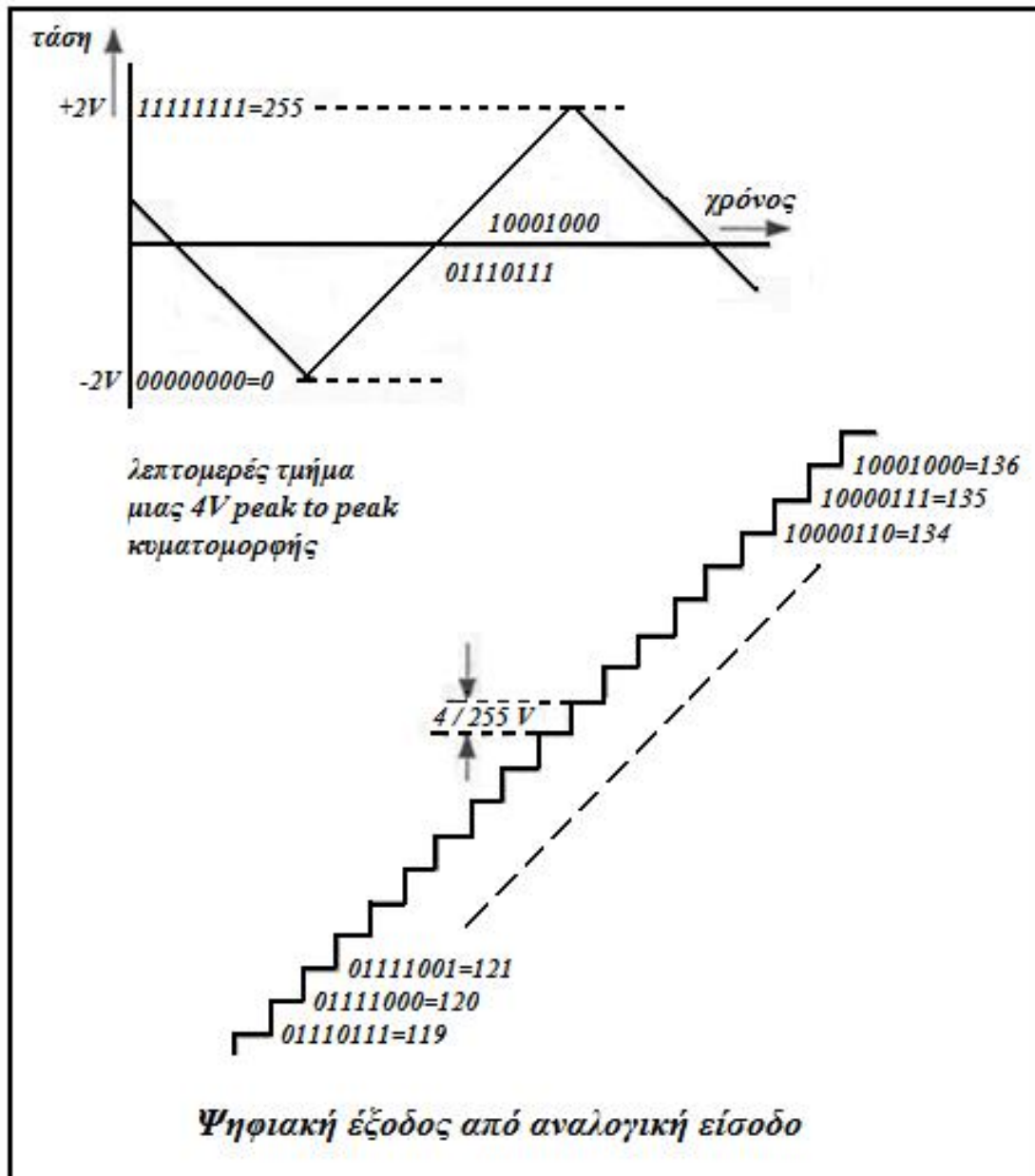
### *Πρακτική Διαδικασία*

Συνδέστε την έξοδο της γεννήτριας συναρτήσεων στην αναλογική είσοδο του Πομπού.

Παρατηρήστε την αλλαγή της σχηματομορφής bit που εμφανίζεται στους ενδείκτες led «received data» στον Δέκτη. Θα πρέπει να δείξουν τις ίδιες λέξεις δεδομένων όπως αυτές που στάλθηκαν από τον Πομπό. Αυτό θα εξακολουθήσει να ισχύει, εάν αλλάξετε τη συχνότητα του σήματος εισόδου.

Μειώστε την συχνότητα εισόδου επαρκώς ώστε να επιτραπεί στις λέξεις δεδομένων να διαβαστούν μεμονωμένα. Σημειώστε ότι κάθε bit δεδομένων αλλάζει με τη μισή συχνότητα σε σχέση με αυτό στα δεξιά του.

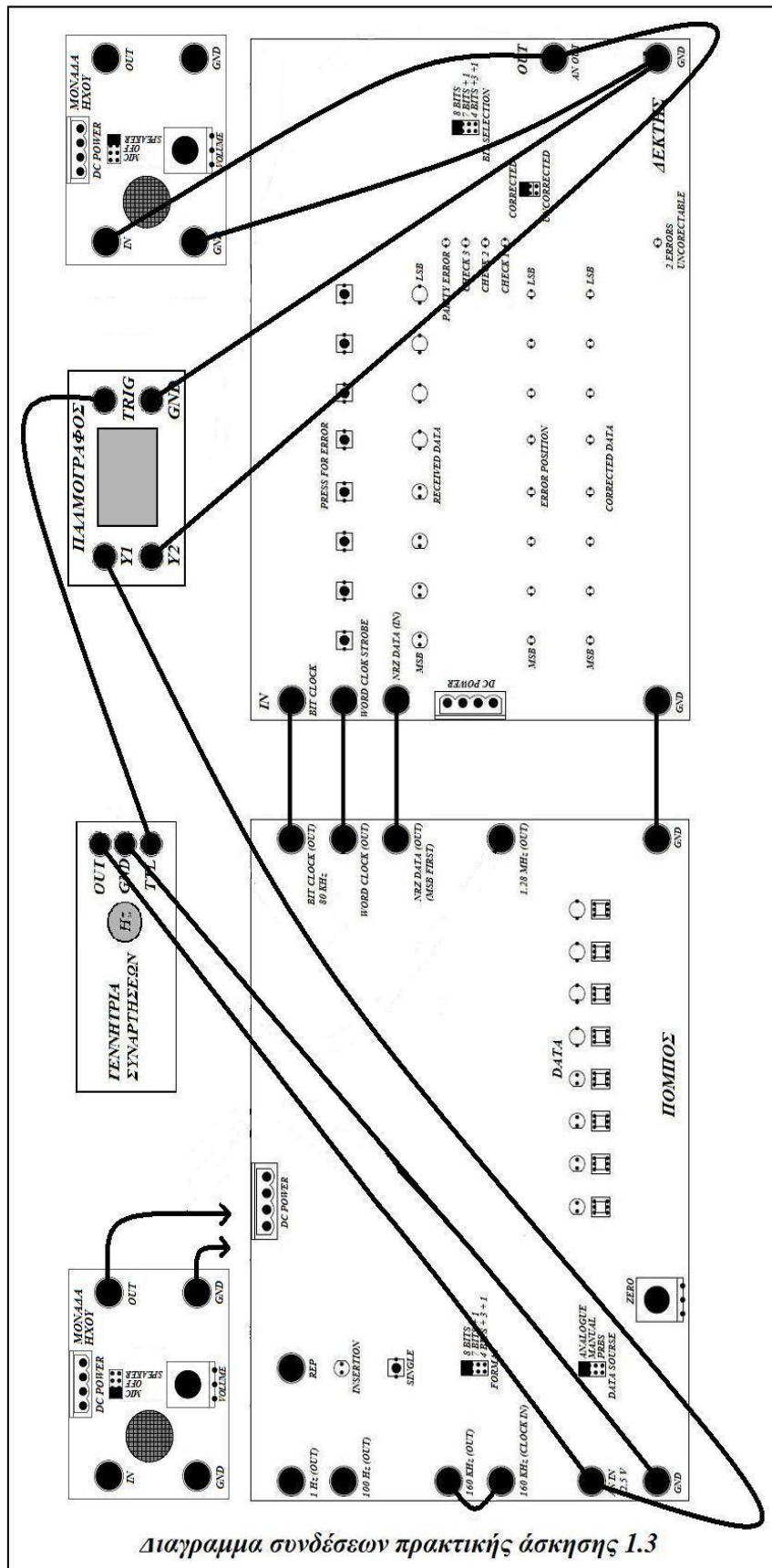
Το σχήμα 1.5 απεικονίζει τη σχέση ανάμεσα σε ένα τμήμα μιας τριγωνικής κυματομορφής και της δυαδικής εξόδου του Πομπού. Επίσης, απεικονίζεται ο δεκαδικός αριθμός που αντιστοιχεί σε κάθε μια λέξη δεδομένων.



Σχήμα 1.5

**Άσκηση 1.1**

Καταγράψτε μια διαδοχική σειρά δέκα λέξεων δεδομένων και μετατρέψτε τις σε δεκαδικούς αριθμούς.



Σχήμα 1.6

### ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 1.3

#### *Αναλογική - Ψηφιακή - Αναλογική ζεύξη*

Σε αυτή την πρακτική άσκηση μια αναλογική είσοδος στον Πομπό θα μεταδοθεί ως ένα δυαδικό κωδικοποιημένο σήμα στον Δέκτη, όπου ο ψηφιακό - αναλογικός μετατροπέας (DAC) θα ανακατασκευάσει την αρχική κυματομορφή ως μια ακολουθία διακριτών βαθμίδων.

Χρησιμοποιώντας τον παλμογράφο, θα συγκρίνετε τα ίχνη μιας ημιτονοειδούς κυματομορφής εισόδου και της ανακτημένης εξόδου και θα δείτε το αποτέλεσμα της αλλαγής της συχνότητας εισόδου και του πλάτους. Η μονάδα Ήχου θα αναπαράγει επίσης το σήμα εισόδου ως έναν ηχητικό τόνο.

Χρησιμοποιώντας δύο μονάδες Ήχου, μπορείτε να αναπαράγετε μια ψηφιακά συνδεδεμένη μονόδρομη τηλεφωνική γραμμή συνδέοντας μια μονάδα Ήχου ως μια είσοδο μικροφώνου στον Πομπό και η άλλη μονάδα Ήχου να δέχεται την έξοδο του Δέκτη και να λειτουργεί ως megάφωνο.

#### *Προετοιμασία*

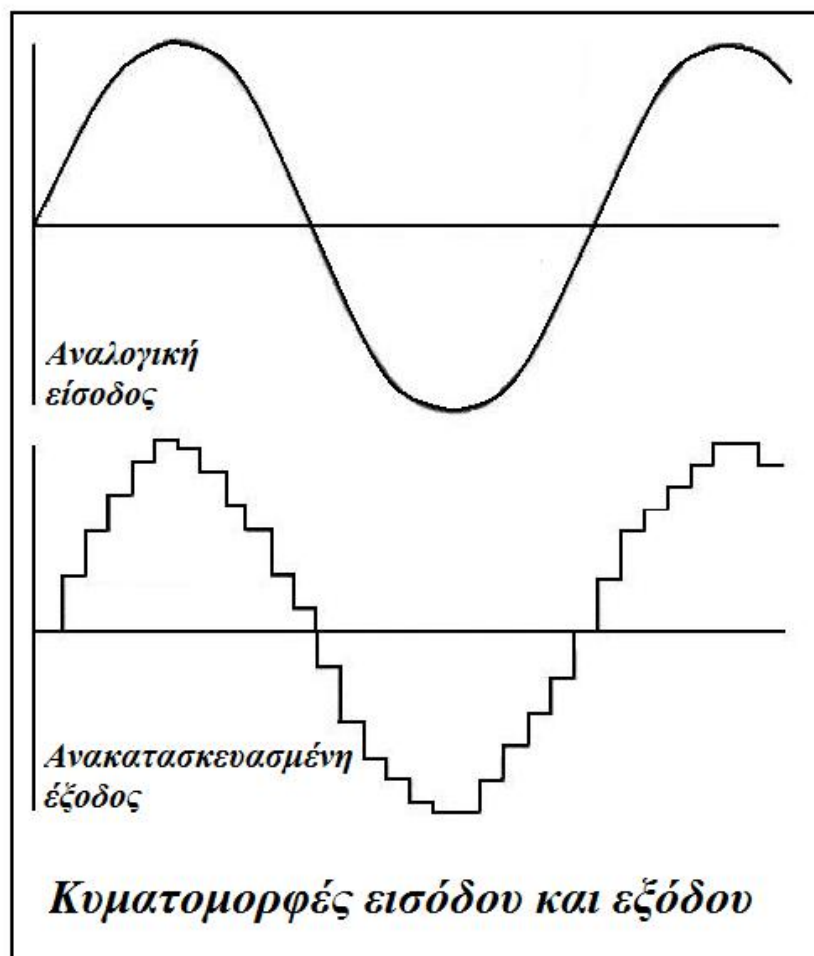
Συνδέστε τις μονάδες, τη γεννήτρια συναρτήσεων και τον παλμογράφο όπως απεικονίζεται στο σχήμα 1.6. Στον Πομπό ρυθμίστε το διακόπτη «format» στα «8 bits» και τον διακόπτη «data source» στο «ADC».

Στον Δέκτη ρυθμίστε και τους δύο διακόπτες στην πάνω θέση.

Ρυθμίστε τη γεννήτρια συναρτήσεων να παράγει μια ημιτονοειδή κυματομορφή, 4V από κορυφή σε κορυφή (peak to peak) στα 500 Hz.

Ρυθμίστε τα Y1 και Y2 στον παλμογράφο στα 2V/div και την χρονική βάση στα 0.5ms/div, εξωτερικό σκανδαλισμό από την 5V TTL έξοδο στην γεννήτρια συναρτήσεων.

Στρέψτε την μονάδα Ήχου στο «μικρόφωνο» και γυρίστε τον ρυθμιστή έντασης τελείως αριστερόστροφα.



Σχήμα 1.7

### **Πρακτική Διαδικασία**

Ρυθμίστε τον παλμογράφο για την απόκτηση ιχνών τόσο της γεννήτριας συναρτήσεων εισόδου ημιτονοειδούς κυματομορφής όσο και των κυματομορφών εξόδου του Δέκτη, όπως απεικονίζονται στο σχήμα. 1.7. Κάποια μικρορύθμιση της συχνότητας εισόδου ενδέχεται να χρειαστεί για να αποκτήσει ένα σταθερό ίχνος εξόδου.

Σημειώστε ότι η έξοδος του Δέκτη δεν είναι μια συνεχής ημιτονοειδής κυματομορφή αλλά αυξομειώνεται σε βαθμίδες ίσης χρονικής διάρκειας.

Ρυθμίστε τον ρυθμιστή έντασης στην μονάδα Ήχου για να αποκτήσει έναν τόνο ανεκτής έντασης. Σημειώστε ότι οι βαθμίδες που είναι ορατές στην κυματομορφή εξόδου δεν παράγουν ηχητική παραμόρφωση στα 500Hz. Αυτό οφείλεται μερικώς στην περιορισμένη απόκριση του μεγάφωνου στις συχνότητες πάνω από 5kHz.

Μειώστε την συχνότητα εισόδου στα 100 Hz , πραγματοποιώντας μια κατάλληλη αλλαγή στην χρονική βάση του παλμογράφου, και σημειώστε την αύξηση στις βαθμίδες ανά κύκλο της κυματομορφής.



Αυξήστε την συχνότητα εισόδου σταθερά και σημειώστε ότι ο αριθμός των βαθμίδων ανά κύκλο μειώνεται μέχρι τα 5kHz περίπου όπου η κυματομορφή εξόδου δεν είναι πλέον αναγνωρίσιμη. Επίσης το βάθος του ηχητικού τόνου παύει να αυξάνεται πάνω από αυτήν την συχνότητα.

### **Ερώτηση 1.3**

**Εάν ο ρυθμός λέξης της Πηγής Δεδομένων είναι 10000 ανά δευτερόλεπτο, πόση χρονική περίοδος καταλαμβάνεται από κάθε λέξη δεδομένων;**

### **Ερώτηση 1.4**

**Πόσες αλλαγές στη λέξη δεδομένων θα συμβούν ανά κύκλο ενός 5kHz αναλογικού σήματος εισόδου;**

Αποσυνδέστε την γεννήτρια συναρτήσεων από την είσοδο του Πομπού και συνδέστε τη δεύτερη μονάδα Ήχου στην θέση της. Στρέψτε αυτή την μονάδα Ήχου στο «μικρόφωνο» και περιστρέψτε τον ρυθμιστή έντασης δεξιόστροφα στη μεσαία θέση. Τα ίχνη εισόδου και εξόδου του παλμογράφου τώρα θα απεικονίσουν μια απόκριση σε οποιοδήποτε θόρυβο εισέρχεται στο μικρόφωνο.

Γυρίστε τον ρυθμιστή έντασης του μεγάφωνου δεξιόστροφα μέχρι να ακουστεί ένας ουρλιαχτός θόρυβος, στη συνέχεια, γυρίστε τον ρυθμιστή αριστερόστροφα μέχρι το ουρλιαχτό να σταματήσει.

Το σύστημα πλέον λειτουργεί ως μονόδρομη τηλεφωνική γραμμή. Τοποθετώντας την μονάδα Ήχου που λειτουργεί ως μεγάφωνο κοντά στο αυτί, ο λόγος και άλλα ακουστικά σήματα που εισέρχονται στο μικρόφωνο μπορούν εύκολα να διακριθούν.

Αυτά τα σήματα απεικονίζονται στον παλμογράφο και στους ενδείκτες led «received data».

## **ΣΥΝΟΨΗ**

### **Σειριακή Μετάδοση**

Ψηφιακά σήματα έχουν σταλεί σειριακά, δηλ. με τα bits κάθε μιας λέξης να στέλνονται το ένα μετά το άλλο.

Κάθε λέξη δεδομένων που μεταδίδεται από τον Πομπό αναπαράγεται σωστά από το Δέκτη, εφόσον τα σήματα bit clock και word clock στέλνονται επίσης και λαμβάνονται.

Οι δυαδικοί κωδικοποιημένοι χαρακτήρες του Διεθνούς Αλφαβήτου καθιστούν μηνύματα που περιέχουν γράμματα, αριθμούς και άλλα σύμβολα να μεταβιβάζονται σε ψηφιακό κανάλι χωρίς ασάφεια.

### **Αναλογική - ψηφιακή Μετατροπή**

Ένα αναλογικό σήμα, που εφαρμόζεται ως μια είσοδος σε ένα αναλογικό - ψηφιακό μετατροπέα (ADC), παράγει διαφορετικές ψηφιακές λέξεις δεδομένων για διαφορετικά επίπεδα τάσης. Όσο το αναλογικό σήμα εναλλάσσεται μεταξύ της

χαμηλότερης και υψηλότερης τιμής του, οι λέξεις δεδομένων αλλάζουν από 00000000 σε 11111111. Τα οκτώ bits σε μία λέξη επιτρέπουν 256 διαφορετικές λέξεις δεδομένων, κάθε μία αναπαριστά ένα συγκεκριμένο επίπεδο τάσης, ή 255 επίπεδα τάσης πάνω από την ελάχιστη τιμή.

### **Ψηφιακή Μετάδοση Αναλογικού Σήματος**

Χρησιμοποιώντας επίσης ένα ψηφιακό - αναλογικό μετατροπέα στον δέκτη, ένα απλό σύστημα ψηφιακής επικοινωνίας έχει εγκατασταθεί, το οποίο θα δέχεται ένα αναλογικό σήμα εισόδου, θα το μετατρέπει σε μια ροή δυαδικών ψηφίων για μετάδοση, θα το αποστέλλει στον δέκτη και θα παράγει μια αναλογική έξοδο, η οποία θα είναι ένα αναγνωρίσιμο αντίγραφο του αρχικού σήματος.

### **ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ**

Όσο το εύρος εισόδου ενός αναλογικό - ψηφιακού μετατροπέα είναι 5V, η αλλαγή στην τάση που αντιστοιχεί σε μια αλλαγή ενός δυαδικού ψηφίου είναι 5/255V, ή περίπου 20mV. Ο Δέκτης επομένως παράγει μια βαθμωτή έξοδο στην οποία το συνεχές αναλογικό σήμα αναπαρίσταται από ένα πεπερασμένο σύνολο τιμών που καθορίζεται από τον αριθμό των bits ανά λέξη δεδομένων. Αν οι βαθμίδες ήταν πολύ μεγάλες, θα ήταν απαραίτητο να έχουμε μεγαλύτερο αριθμό επιπέδων, το οποίο θα μπορούσε να επιτευχθεί μόνο με τη χρήση περισσότερων bits. Γενικά, το εύρος του ADC πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο για να φιλοξενήσει το μεγαλύτερο απαιτούμενο αναλογικό σήμα χωρίς περιορισμό. Ο αριθμός των bits καθορίζει στη συνέχεια το μέγεθος του βήματος. Κάθε αναλογικό σήμα με πλάτος μικρότερο από το μέγεθος βήματος κινδυνεύει να μην μεταδοθεί καθόλου, και αυτό γενικά απαιτεί ότι το εύρος πλάτους του σήματος θα έχει όσες πιθανόν περισσότερες βαθμίδες για να εξασφαλίζεται η ακριβής μετάδοση. Το εύρος του μετατροπέα και το πλάτος αναλογικού σήματος πρέπει να είναι κατάλληλα ταιριασμένα.

Τα χαρακτηριστικά οποιoδήποτε καναλιού θα ορίζουν πάντοτε ένα όριο στο ρυθμό στον οποίο bits μπορούν να μεταδοθούν. Έτσι, αν η βελτίωση του μεγέθους βήματος επιδιώκεται με τη διάθεση περισσότερων bit για κάθε λέξη δεδομένων, θα πρέπει να υπάρξουν λιγότερες λέξεις που αποστέλλονται ανά δευτερόλεπτο. Όμως αυτό θα περιορίσει τη ζώνη συχνοτήτων αναλογικού σήματος που μπορούν να μεταδοθούν.

Η υψηλότερη αναλογική συχνότητα που μπορεί να αποσταλεί μέσω του συστήματος σχετίζεται με το ρυθμό δειγματοληψίας, δηλαδή τον αριθμό των φορών ανά δευτερόλεπτο που λαμβάνεται ένα δείγμα από το αναλογικό σήμα και μετατρέπεται σε ψηφιακή μορφή.

Η μορφή των ψηφιακών επικοινωνιών που διερευνάται σε αυτό το πείραμα είναι γνωστή ως Παλμοκωδική Διαμόρφωση (Pulse Code Modulation-PCM).

## Τυπικά Αποτελέσματα και Απαντήσεις της Εργασίας 1

### Ερώτηση 1.1

Ο Πομπός μεταδίδει το περισσότερο σημαντικό bit πρώτο. Σημειώστε ότι αυτό είναι βολικό γιατί θα απεικονίζονται τα bits στην οθόνη του παλμογράφου στην κατά συνθήκη σειρά. Ωστόσο, μια συχνά χρησιμοποιούμενη πρότυπη μέθοδος μετάδοσης αποστέλλει το λιγότερο σημαντικό bit πρώτο.

### Ερώτηση 1.2

Στα 0.05 Hz κάθε κύκλος έχει διάρκεια 20 δευτερόλεπτα. Σε ένα μισό κύκλο ο αριθμός των βαθμίδων, από κορυφή σε κορυφή, θα είναι 255. Επομένως, θα είναι:

$$\frac{255}{10} = 25.5 \text{ βαθμίδες ανά δευτερόλεπτο,}$$

$$\text{Κάθε βαθμίδα παίρνει } \frac{10}{255} \text{ δευτερόλεπτα} = 39.2 \mu\text{s}$$

### Ερώτηση 1.3

Στις 10000 λέξεις δεδομένων ανά δευτερόλεπτο, κάθε λέξη δεδομένων καταλαμβάνει

$$\frac{1}{10000} \text{ δευτερόλεπτα} = 100\mu\text{s ή } 0.1 \text{ ms}$$

### Ερώτηση 1.4

Στα 5000Hz η περίοδος του σήματος εισόδου είναι 0.2ms. Άραξ και κάθε λέξη δεδομένων καταλαμβάνει 0.1 ms, θα υπάρχουν δύο λέξεις δεδομένων ανά κύκλο.

## ΕΡΓΑΣΙΑ 2

### ΜΟΡΦΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

#### ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ

Σε αυτή την εργασία παράγονται δυαδικά σήματα σε NRZ (Non Return to Zero) μορφή και μετατρέπονται σε άλλες μονοπολικές και διπολικές μορφές που χρησιμοποιούνται συνήθως. Επίσης μελετώνται ειδικά χαρακτηριστικά αυτών των σημάτων όπως το εύρος ζώνης, η AC ή DC μετάδοση και το συγχρονισμένο περιεχόμενο.

#### ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Πομπός
1	Μορφή Δεδομένων
1	Αναγεννητής Χρονισμού Δεδομένων
1	Τροφοδοτικό
1	Παλμογράφος 2 καναλιών με εξωτερικό σκανδαλισμό

#### ΣΤΟΧΟΙ

Όταν θα έχετε ολοκληρώσει αυτή την εργασία θα πρέπει να γνωρίζετε:

- Ότι μια δυαδικά κωδικοποιημένη κυματομορφή μπορεί να αναπαρασταθεί από έναν αριθμό διαφορετικών μορφών δεδομένων χρησιμοποιώντας είτε μονοπολικά είτε διπολικά σήματα.
- Ότι οι διαφορετικές μορφές δεδομένων μπορούν να διακριθούν από το απαιτούμενο εύρος ζώνης, την καταλληλότητά τους για AC ή DC συζευγμένα κανάλια και τις πληροφορίες χρονισμού που περιέχουν.
- Ότι η μορφή δεδομένων επιλέγεται για να ταιριάζει με τα χαρακτηριστικά του καναλιού που είναι διαθέσιμο για μετάδοση.

#### ΕΠΙΠΕΔΟ ΓΝΩΣΕΩΝ

Πριν από την έναρξη αυτής της εργασίας θα πρέπει να γνωρίζετε ότι:

- Ένα μήνυμα μπορεί να μεταδοθεί είτε ως μια συνεχώς εναλλασσόμενη αναλογική κυματομορφή είτε ως μια κωδικοποιημένη ακολουθία παλμών.
- Τα δεδομένα είναι το περιεχόμενο ενός μηνύματος που εκφράζονται ως μια ακολουθία αλφαβητικών ή αριθμητικών σύμβολων που μπορεί να είναι ψηφιακά κωδικοποιημένα.
- Η δυαδική σηματοδότηση είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μορφή ψηφιακής κωδικοποίησης όπου οι χαρακτήρες που αποτελούν ένα μήνυμα

μετατρέπονται σε μια σειρά από σχηματομορφές bit χρησιμοποιώντας μόνο δύο διακριτά bit σχήματα.

### ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Συνδέστε το τροφοδοτικό με το ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά μην το ενεργοποιείτε ακόμη.

Συνδέστε τα καλώδια τροφοδοσίας DC στον Πομπό, στη μονάδα Μορφή Δεδομένων και στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων (Όλες αυτές οι υποδοχές είναι πανομοιότυπες).

Μόνο όταν όλες οι συνδέσεις τροφοδοσίας έχουν πραγματοποιηθεί, μπορεί η τροφοδοσία να ενεργοποιηθεί.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

Υπάρχει μια πληθώρα εναλλακτικών παλμικών κυματομορφών, ή μορφών δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετάδοση δυαδικών σημάτων. Αυτές έχουν αναπτυχθεί για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις των διαφορετικών καναλιών επικοινωνίας. Για παράδειγμα, για να μειωθούν τα λάθη παρουσία θορύβου, να περιέχουν πληροφορίες χρονισμού ή να είναι κατάλληλα για τα AC-συζευγμένα κανάλια.

Οι μορφές δυαδικών δεδομένων μπορούν να ταξινομηθούν σε κάποιο βαθμό από τα ακόλουθα στοιχεία ταυτοποίησης (όπου το A δηλώνει κάποια προκαθορισμένη τιμή και το T δηλώνει το χρονικό διάστημα που κατανέμεται σε ένα bit):

- Η τιμή ενός μονοπολικού σήματος είναι είτε μηδέν είτε +A.
- Η τιμή ενός διπολικού σήματος είναι είτε μηδέν, +A ή -A.
- Ένας Non Return to Zero (NRZ) παλμός δεν παίρνει την τιμή μηδέν κατά τη διάρκεια του διαστήματος T.
- Ένας Return to Zero (RZ) παλμός παίρνει την τιμή μηδέν κατά τη διάρκεια του διαστήματος T.

Ένα δεδομένο ψηφιακό σήμα μπορεί επομένως να αναπαρασταθεί από έναν αριθμό διαφορετικών μορφών, όπως απεικονίζεται στο σχήμα 2.1. Σε όλα αυτά τα παραδείγματα κάθε δυαδικό ψηφίο έχει το ίδιο διάστημα T.

Μια αλλαγή του σήματος από τη μια τιμή με μια άλλη είναι γνωστή ως μετάβαση. Όπως θα δούμε αργότερα, ο αριθμός των μεταβάσεων που συμβαίνουν κατά την αποστολή δυαδικά κωδικοποιημένων σημάτων μπορεί να επηρεάσει την επιλογή της μορφής για ειδικές εφαρμογές.

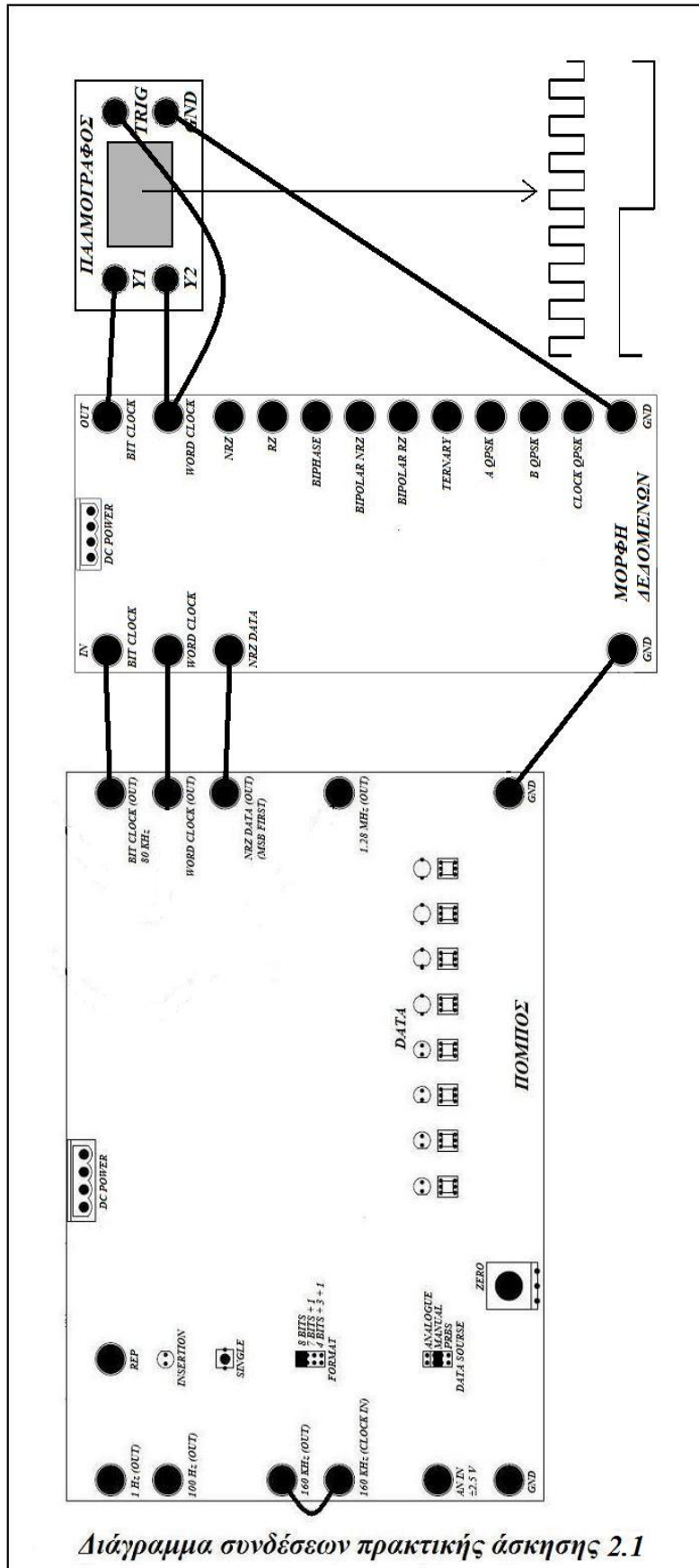
Η Τριαδική μορφή ή Εναλλασσόμενη Αντιστροφή Σήματος (Alternate Mark Inversion - AMI) είναι μια ειδική περίπτωση. Όλες οι προηγούμενες μορφές έχουν μια συγκεκριμένη κατάσταση ή σχήμα παλμού για τα ψηφία 0 και 1, αλλά με την εναλλασσόμενη αντιστροφή σημείου, ενώ το ψηφίο 0 πάντα εκπροσωπείται από τη

μηδενική τιμή, το ψηφίο 1 έχει τις τιμές +A ή -A εναλλάξ. Αυτό παρέχει μια μέθοδο για τη βελτίωση της ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων, όπως θα συζητηθεί σε επόμενη εργασία.

Μορφή	Τιμή για 0	Τιμή για 1	8-bit λέξη							
			0	1	0	1	0	0	1	1
Μονοπολική NRZ	0 (για χρόνο T)	+A (για χρόνο T)								
Μονοπολική RZ	μηδέν	+A για χρόνο T/2, μετά 0 για T/2								
Διφασική (Manchester)	0 για χρόνο T/2, μετά +A για T/2	+A για χρόνο T/2, μετά 0 για T/2								
Διπολική NRZ	-A	+A								
Διπολική RZ	-A για χρόνο T/2, μετά 0 για T/2	+A για χρόνο T/2, μετά 0 για T/2								
Τριαδική (AMI)	μηδέν	+A και -A εναλλάξ για χρόνο T/2								

**Μορφές Δεδομένων**

Σχήμα 2.1



Σχήμα 2.2

### ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 2.1

#### *Εξέταση των διαφόρων μορφών δεδομένων*

Σε αυτή την πρακτική άσκηση ο Πομπός θα χρησιμοποιηθεί για να παράγει 8-bit λέξεις σε μονοπολική NRZ μορφή. Αυτό το ψηφιακό σήμα θα εφαρμοστεί στην μονάδα Μορφή Δεδομένων όπου μετατρέπεται σε κάθε μια από τις ακόλουθες μορφές:

- Μονοπολική NRZ (μορφή Πομπού) – Unipolar NRZ
- Μονοπολική RZ – Unipolar RZ
- Διφασική (κώδικας Manchester) – Biphasic
- Διπολική NRZ – Bipolar NRZ
- Διπολική RZ – Bipolar RZ
- Τριαδική (Εναλλασσόμενη Αντιστροφή Σημείου) – Ternary (Alternate Mark Inversion)

Η επιλεγμένη λέξη θα απεικονιστεί στην αρχική της μορφή μαζί με οποιαδήποτε από τις εναλλακτικές μορφές για σύγκριση.

#### *Προετοιμασία*

Συνδέστε τις μονάδες Πομπός, Μορφή Δεδομένων και παλμογράφο όπως απεικονίζεται στο σχήμα 2.2.

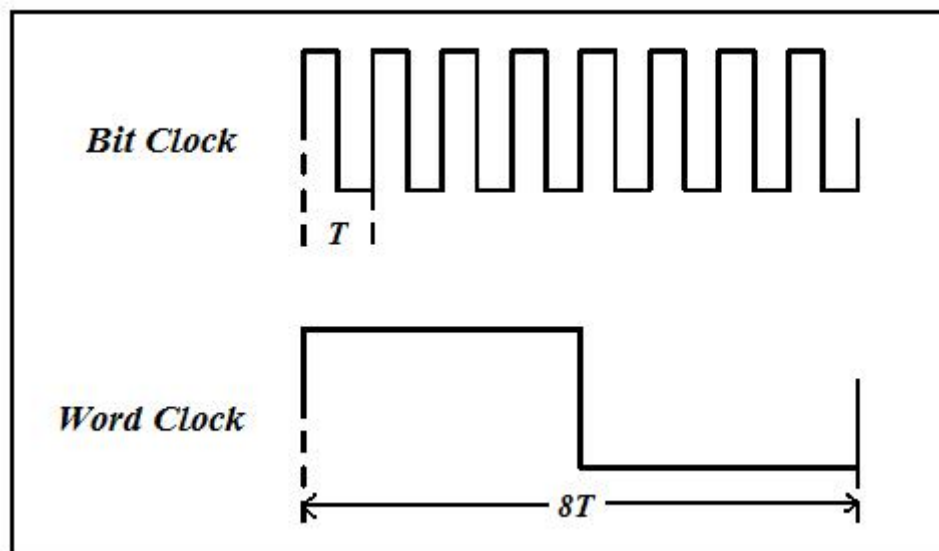
Στον Πομπό ρυθμίστε το διακόπτη «format» στα «8 bits» και τον διακόπτη «data source» στη θέση «manual». Η ομάδα των κουμπιών χρησιμοποιείται για να παράγει τη σχηματομορφή bit για μια 8-bit λέξη. Κάθε κουμπί έχει έναν ενδείκτη led, που είναι ενεργός για το ψηφίο 1 και ανενεργός για το ψηφίο 0.

Η μονάδα Μορφή Δεδομένων δεν απαιτεί προκαταρκτικές ρυθμίσεις ή προσαρμογές. Είναι συγχρονισμένη με τον Πομπό από τους επαναλαμβανόμενους παλμούς bit clock και word clock. Δέχεται τα NRZ σήματα και τα μετατρέπει σε όλες τις μορφές που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Στον παλμογράφο ρυθμίστε τα Y1 και Y2 στα 5V/div, τη DC-σύζευξη και την χρονική βάση στα 10μs/div, εξωτερικό σκανδαλισμό από μια θετική ακμή.

Ρυθμίστε τον παλμογράφο να παράγει μια απεικόνιση παρόμοια με εκείνη που φαίνεται στο σχήμα 2.3





Σχήμα 2.3

Το Y1 ίχνος δείχνει το σήμα bit clock. Αυτή είναι μια ακολουθία μονοπολικού παλμού που καθορίζει το ρυθμό μετάδοσης bit για οποιαδήποτε από τις μορφές δεδομένων χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια.

Το Y2 ίχνος δείχνει το σήμα word clock. Πάλι, είναι μια μονοπολική παλμική κυματομορφή της οποίας η διάρκεια είναι ίση με τα οκτώ bits. Το απερχόμενο μέτωπο του σηματοδοτεί την έναρξη κάθε οκτώ-bit παλμικής ακολουθίας.

### Ερώτηση 2.1

**Το bit clock είναι RZ ή NRZ μορφής;**

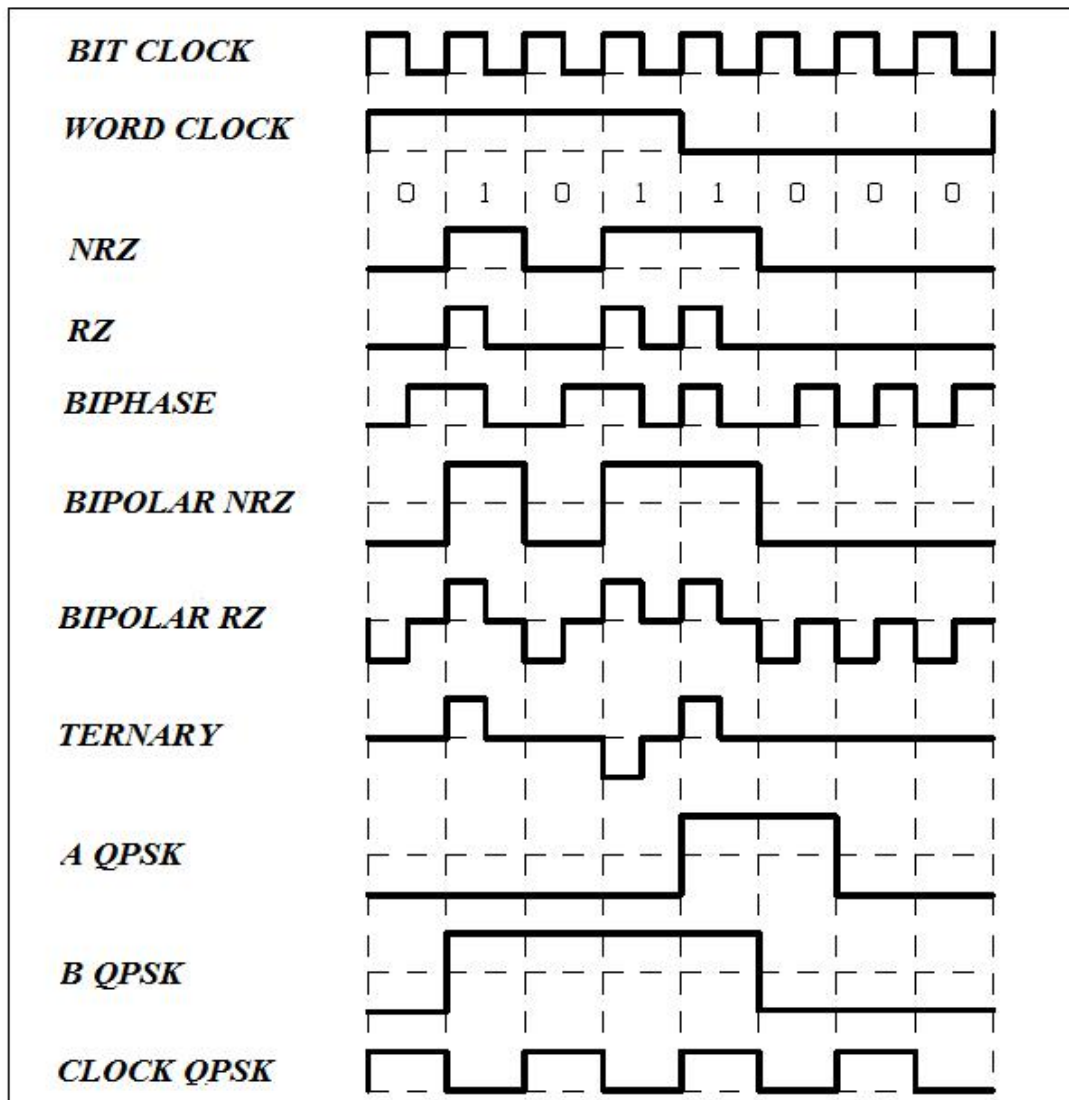
### Πρακτική Διαδικασία

Συνδέστε τη Y1 είσοδο του παλμογράφου στη NRZ έξοδο στην μονάδα Μορφή Δεδομένων, αφήνοντας τη Y2 είσοδο συνδεδεμένη στο word clock.

Τώρα μπορούμε να παράγουμε και να απεικονίσουμε μια 8-bit λέξη, χρησιμοποιώντας την ομάδα των κουμπιών στον Πομπό. Πειραματιστείτε με αυτά, δημιουργώντας και ακυρώνοντας μια πληθώρα από ακολουθίες τυχαίων bit. Σημειώστε ότι εκτός από την οθόνη του παλμογράφου η επιλεγμένη λέξη απεικονίζεται από τους ενδείκτες led πάνω από τα κουμπιά.

Τώρα δημιουργήστε την ενδεικτική λέξη 01011000 και ελέγξτε ότι η απεικόνιση συμφωνεί με αυτή που φαίνεται στο σχήμα 2.3.

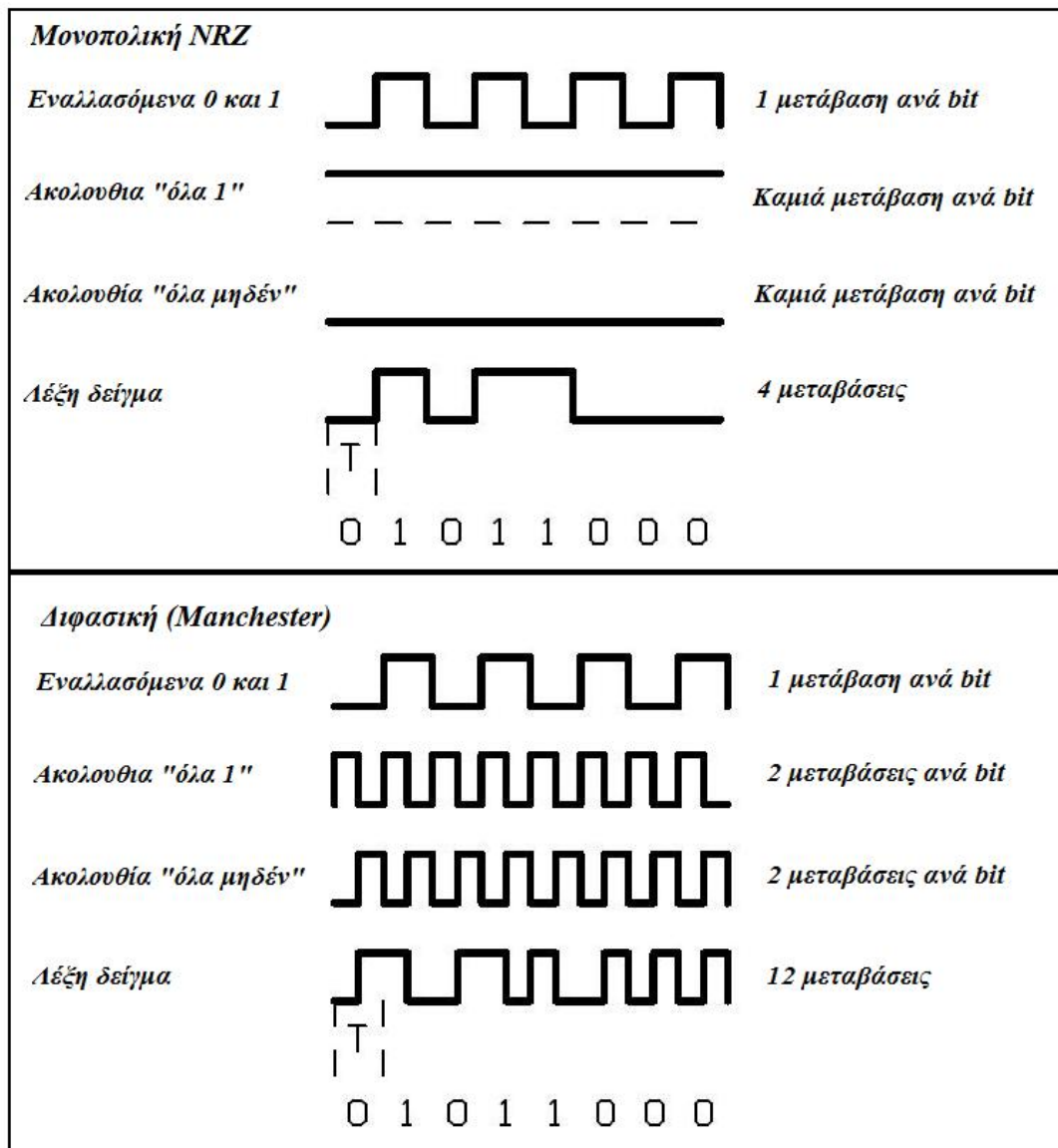
Μετακινήστε την Y2 σύνδεση από το word clock και συνδέστε την σε κάθε μια από τις υποδοχές εξόδου της μονάδας Μορφή Δεδομένων με τη σειρά (εκτός από αυτές που είναι σε παρένθεση «for QPSK») και επιβεβαιώστε σε κάθε περίπτωση ότι το σχήμα της παλμικής σχηματομορφής είναι παρόμοιο με αυτό στο σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.4

### Άσκηση 2.1

Δημιουργήστε μια 8-bit λέξη της επιλογής σας και μετά διαβάστε και σχεδιάστε τις απεικονίσεις για να αποκτήσετε οικειότητα με κάθε μορφή.



Σχήμα 2.5

Εξετάστε τις κυματομορφές που λαμβάνετε για κάθε μορφή, για τις παρακάτω ακολουθίες bit και παρατηρήστε πως ορισμένες μορφές παράγουν μεγαλύτερο αριθμό μεταβάσεων από άλλες για μια δεδομένη ακολουθία. Όπως απεικονίζεται στο σχήμα. 2.5 για την μονοπολική NRZ και τη Διφασική μορφή. (Θυμηθείτε ότι η μετάβαση είναι η αλλαγή από τη μία τιμή σε μια άλλη).

- 0 1 0 1 0 1 0 1
- 1 1 1 1 1 1 1 1
- 0 0 0 0 0 0 0 0
- 0 1 0 1 1 0 0 0

Παρατηρήστε ότι η Μονοπολική NRZ και η Διπολική NRZ δεν πραγματοποιούν καμία μετάβαση για μια ακολουθία από τον δυαδικό ψηφίο 1 ή 0. Αυτό μπορεί να καταστήσει αυτές τις μορφές ακατάλληλες για μετάδοση πάνω από κανάλια τα οποία είναι AC-συζευγμένα (όπως είναι τα περισσότερα), καθώς η πληροφορία χρονισμού, που απαιτείται για την αναγέννηση ρολογιού στο δέκτη, μπορεί να χαθεί.

**Σημείωση:** Τα AC-συζευγμένα κανάλια δεν μπορούν να υποστηρίξουν μια σταθερή στάθμη σήματος, όπως αυτή που παράγεται από μια ακολουθία είτε από δυαδικά 1s ή δυαδικά 0s.

### **Ερώτηση 2.2**

Ποιες μορφές παράγουν μια σειρά παλμών, τόσο για μια ακολουθία bit «όλα μηδέν» όσο και για μια «όλα ένα»;

### **Ερώτηση 2.3**

Ποιοι περιορισμοί πρέπει να τεθούν στις κωδικές λέξεις ώστε να καταστήσουν δυνατόν η Μονοπολική NRZ μορφή να περιλαμβάνει τουλάχιστον μία μετάβαση σε κάθε κωδική λέξη;

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ Β**

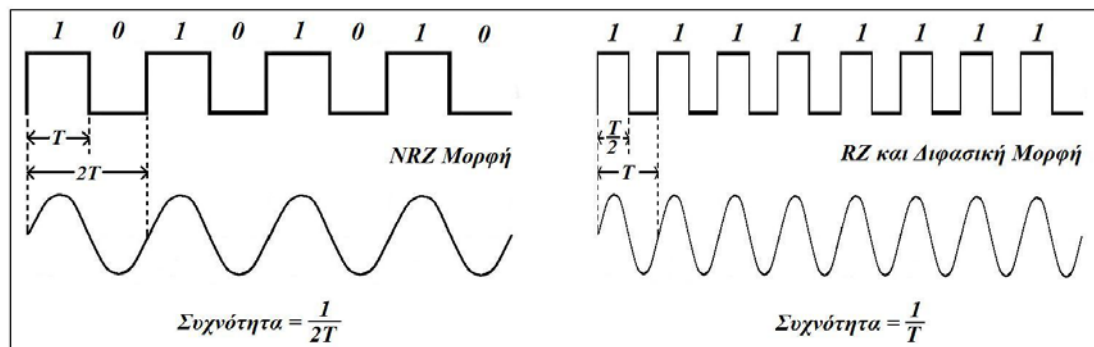
### **Αντιστοίχιση Μορφής με Κανάλι**

Κατά την επιλογή μορφής δεδομένων για ένα συγκεκριμένο κανάλι επικοινωνίας ο στόχος είναι να διατηρηθεί ένας κατάλληλος ρυθμός σηματοδότησης μειώνοντας παράλληλα τα λάθη σε ένα αποδεκτό επίπεδο.

Μεταξύ των παραγόντων που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι το διαθέσιμο εύρος ζώνης καναλιού, αν το κανάλι μπορεί να μεταδώσει DC και ο τρόπος συγχρονισμού των μεταδιδόμενων και ληφθέντων σημάτων.

### **Βασική ζώνη (Baseband)**

Το φάσμα των συχνοτήτων που καταλαμβάνονται από το ψηφιακό σήμα αποκαλείται *βασική ζώνη*. Σε γενικές γραμμές εκτείνεται από DC (μηδενική συχνότητα) μέχρι κάποια μέγιστη τιμή. Η τετραγωνική κυματομορφή έχει ιδιαίτερη σημασία για την εκτίμηση του απαιτούμενου εύρους της βασικής ζώνης για διαφορετικές μορφές. Όλες οι δεδομένες μορφές, με εξαίρεση την τριαδική, θα παράγουν μια τετραγωνική κυματομορφή για κάποια ψηφιακά σήματα, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.6

Με την ανάλυση Fourier μια τετραγωνική κυματομορφή με περίοδο  $2T$  είναι γνωστό ότι είναι ισοδύναμη μιας βασικής ημιτονοειδούς κυματομορφής συχνότητας  $\frac{1}{2T} \text{ Hz}$  μαζί με μια άπειρη σειρά από περιττές αρμονικές μειούμενου πλάτους. Αν αυτές οι αρμονικές είναι παρούσες στην τετραγωνική κυματομορφή είναι απαραίτητο να μεταδοθεί μόνο η θεμελιώδης συχνότητα ( $1^{\text{η}}$  αρμονική), δεδομένου ότι αυτή περιέχει όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για τον προσδιορισμό της NRZ ακολουθίας bit 10101010.

Δεδομένου ότι καμιά σχηματομορφή bit NRZ δε θα απαιτήσει υψηλότερη συχνότητα από ότι απαιτείται για μια σειρά από εναλλασσόμενα 1s και 0s μπορούμε να υπολογίσουμε τη μέγιστη συχνότητα  $f_1$  που απαιτείται για ένα ρυθμό των  $N$  bit/s.

$$f_1 = \frac{1}{2T} \text{ Hz}, \text{ όπου } T = \frac{1}{N} \text{ s}$$

$$f_1 = \frac{N}{2} \text{ Hz}$$

Ομοίως, στις μορφές RZ και Διφασική η ακολουθία bit 11111111 παράγει ένα τετραγωνικό κύμα περιόδου  $T$  και αυτό αναπαρίσταται από ένα θεμελιώδες ημιτονοειδές κύμα του οποίου η συχνότητα  $f_2$  είναι  $\frac{1}{T} \text{ Hz}$ . Στην περίπτωση αυτή, για τον ίδιο ρυθμό σηματοδοσίας έχουμε

$$f_2 = \frac{1}{T} \text{ Hz} \text{ όπου } T = \frac{1}{N} \text{ s}$$

$$f_2 = N \text{ Hz}$$

Βλέπουμε λοιπόν ότι, για ένα σταθερό ρυθμό σηματοδοσίας, το εύρος ζώνης που απαιτείται από NRZ μορφές είναι το μισό που απαιτείται από τις μορφές RZ ή Διφασική. Επίσης, για κάθε δεδομένη δυαδική μορφή, το εύρος ζώνης είναι αντιστρόφως ανάλογο προς την διάρκεια παλμού. Υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ του

εύρους ζώνης και του ρυθμού με τον οποίο η ψηφιακή πληροφορία μπορεί να μεταδοθεί.

Ένα πλεονέκτημα της Τριαδικής μορφής είναι ότι απαιτεί λιγότερο εύρος ζώνης από τις μορφές RZ ή Διφασική για τον ίδιο ρυθμό σηματοδότησης.

Μια ακολουθία bit από «όλα ένα», απαιτεί μέγιστη συχνότητα των  $\frac{N}{2} \text{ Hz}$ .

### **Εύρος ζώνης Καναλιού**

Αυτό είναι το φάσμα των συχνοτήτων που διατίθενται για τη μετάδοση της πληροφορίας. Ορισμένες ζεύξεις επικοινωνίας μπορούν να περάσουν συχνότητες από μηδέν (DC) έως μερικά εκατομμύρια Hz, αλλά σε πολλές περιπτώσεις η ψηφιακή πληροφορία πρέπει να αποστέλλεται μέσω καναλιών τηλεφωνίας, των οποίων το φάσμα συχνοτήτων βασικής ζώνης είναι περίπου 300 έως 3400Hz. Το κανάλι μπορεί, με διαδικασίες διαμόρφωσης να μετατοπίσει όλες τις συχνότητες βασικής ζώνης σε κάποια άλλη ζώνη συχνοτήτων, και στη συνέχεια να τις μετατρέψει στη βασική ζώνη στο δέκτη. Αλλά αυτό δεν θα επιτρέψει καμιά αύξηση στο ρυθμό μετάδοσης της πληροφορίας.

### **Πληροφορίες Χρονισμού**

Κατά την ανάκτηση των σχηματομορφών bit που συνθέτουν το μήνυμα είναι σημαντικό να μπορεί να προσδιοριστεί η έναρξη κάθε λέξης και τα μεμονωμένα bits να έχουν τη σωστή φάση.

Στην **ασύγχρονη** ή στη έναρξη / τέλος μετάδοση κάθε ομάδα από bits που αποτελεί έναν χαρακτήρα, προηγείται από ένα σήμα έναρξης και ακολουθείται από ένα σήμα τέλους.

Σε ένα **σύγχρονο** σύστημα η λαμβανόμενη σχηματομορφή bit διατηρείται σε αρμονία με τη μεταδιδόμενη σχηματομορφή bit από ένα συνεχές σήμα χρονισμού που είναι κοινό και στα δύο.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι για τη διατήρηση συγχρονισμού:

- Με την αποστολή του σήματος χρονισμού σε ένα ξεχωριστό κανάλι το οποίο είναι ανεξάρτητο από το σήμα δεδομένων.
- Με την εξαγωγή ενός σήματος χρονισμού από το λαμβανόμενο σήμα δεδομένων.

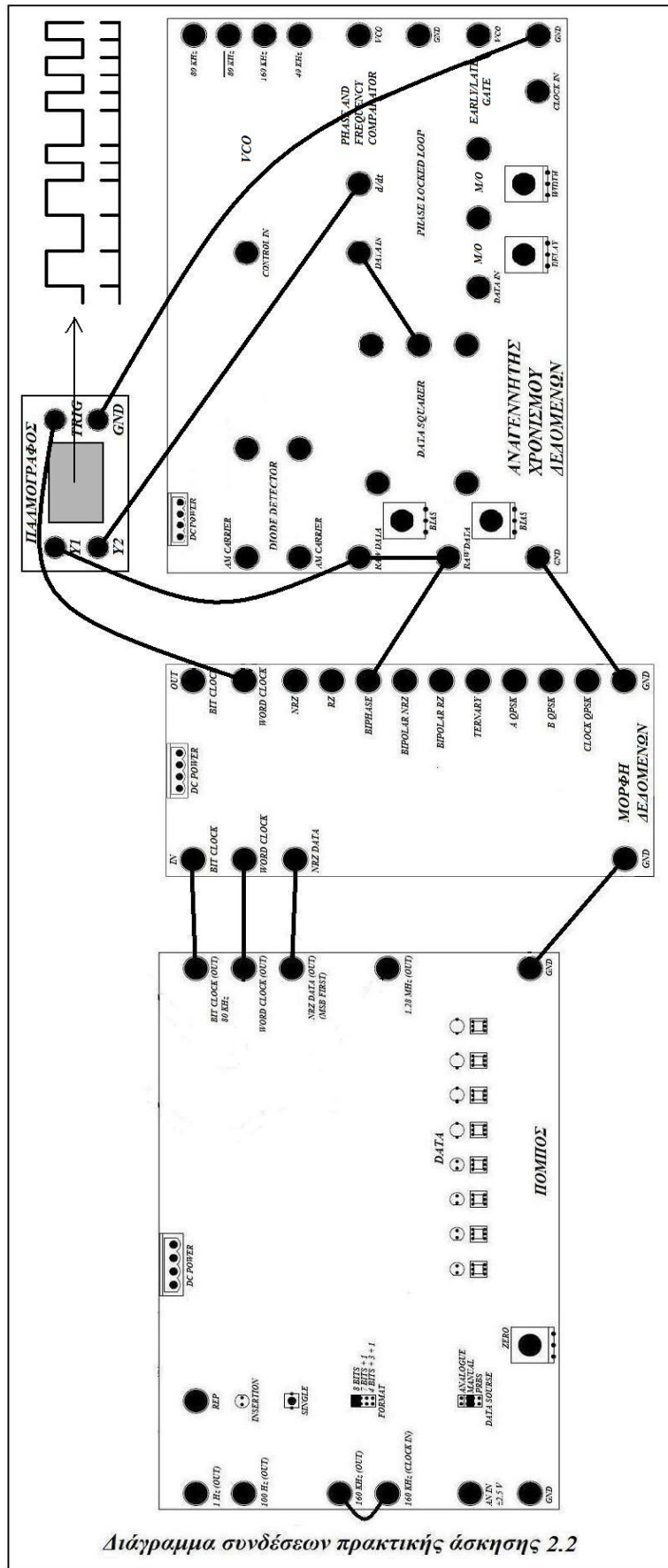
Στη δεύτερη μέθοδο οι μεταβάσεις που συμβαίνουν μέσα σε κάθε ψηφιακή λέξη χρησιμοποιούνται είτε για τη διόρθωση της φάσης ενός τοπικού ταλαντωτή στο δέκτη ή για τη δημιουργία της ορθής φάσης ενός εσωτερικού σήματος χρονισμού.

Ορισμένες μορφές, όπως η Διφασική και η Διπολική RZ, παράγουν τουλάχιστον μία μετάβαση ανά bit δεδομένων για κάθε σήμα. Σε άλλες μορφές μια ακολουθία από 0s ή σε ορισμένες περιπτώσεις από 1s, δεν παράγει καμία μετάβαση και, επομένως, δεν

υπάρχουν πληροφορίες χρονισμού. Υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχουν κάποιες μεταβάσεις οι οποίες ανιχνεύονται από τον δέκτη, η διαφορά τους στο χρονισμό από ένα τοπικό ρολόι στο δέκτη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγχρονιστεί το ρολόι με τα λαμβανόμενα σήματα δεδομένων.

**Ερώτηση 2.4**

**Ποια μορφή μπορεί να είναι κατάλληλη για την αποστολή μέσα από ένα AC-μόνο καναλιού, του οποίου το εύρος ζώνης είναι ανεπαρκές για RZ ή Διφασικά σήματα;**



Σχήμα 2.7



**ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 2.2**

**Εξαγωγή των σημάτων χρονισμού**

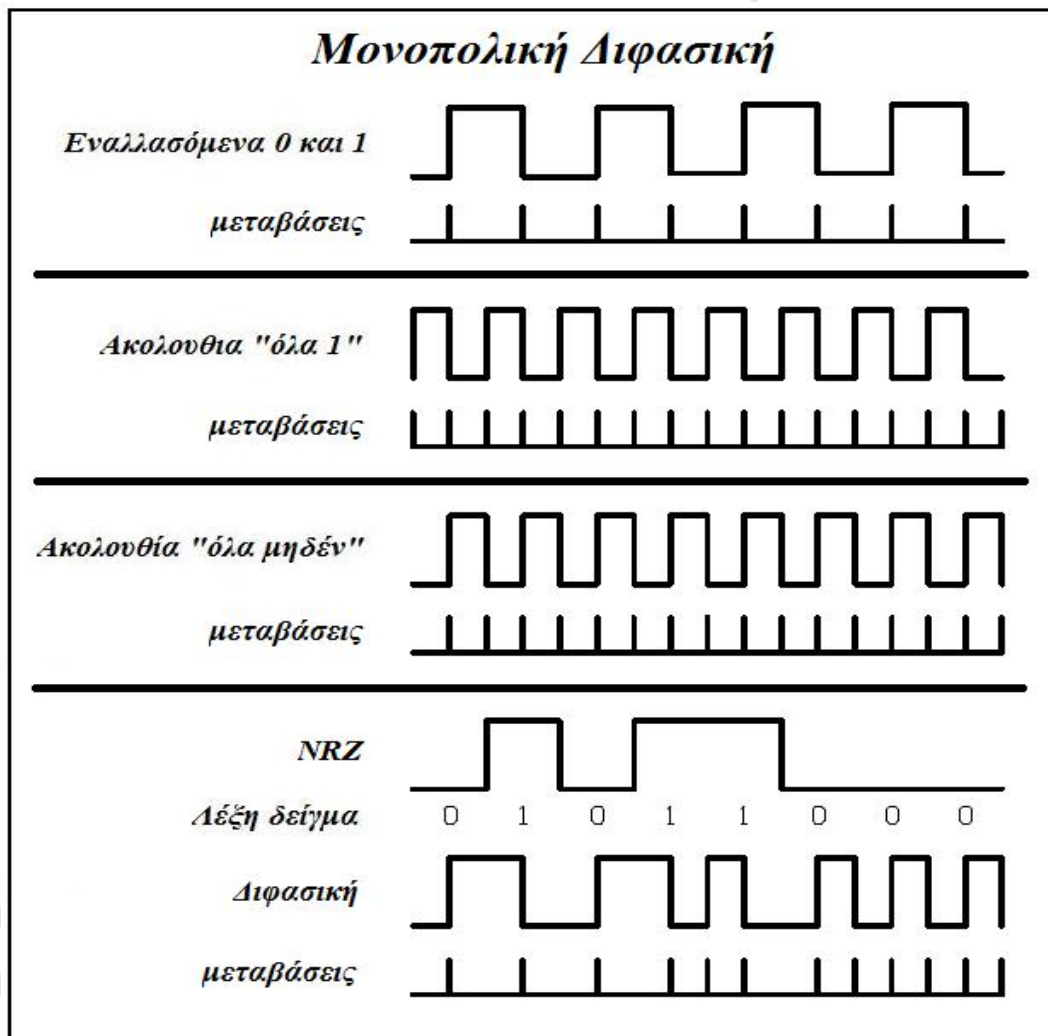
Σε αυτή την πρακτική άσκηση θα αξιολογήσουμε τις πληροφορίες χρονισμού που παράγονται από κάθε μορφή δεδομένων αποστέλλοντας μια επιλογή από ακολουθίες bit σε διαφορετικές μορφές και απεικονίζοντας τις προκύπτουσες μεταβάσεις σε έναν παλμογράφο.

**Προετοιμασία**

Συνδέστε τον Πομπό, την μονάδα Μορφή Δεδομένων, τον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων και τον παλμογράφο όπως φαίνεται στο σχήμα. 2.7.

Στον Πομπό, ρυθμίστε το διακόπτη «format» στα «8 bits» και τον διακόπτη «data source» στη θέση «manual». Η Πομπός θα μεταδώσει οποιαδήποτε 8-bit λέξη που έχει επιλεγεί από το σύνολο των κουμπιών ως ένα μονοπολικό NRZ σήμα.

Η μονάδα Μορφή Δεδομένων μετατρέπει το εισερχόμενο NRZ σήμα σε όλες τις NRZ και RZ μορφές που εμφανίζονται στο σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.8

Το κύκλωμα τετραγωνισμού δεδομένων στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων παράγει ένα μονοπολικό παλμό για κάθε θετικό ή αρνητικό παλμό που εφαρμόζεται στην είσοδό του, ανεξαρτήτως μορφής. Αυτή η ροή παλμών εφαρμόζεται σε ένα κύκλωμα διαφοροποίησης που παράγει ένα μικρό παλμό για κάθε μετάβαση και στη συνέχεια χρησιμοποιείται για να συγχρονίσει το εσωτερικό κύκλωμα χρονισμού. Για τον παρόν το σκοπό οι παλμοί μετάβασης απεικονίζονται στον παλμογράφο και είναι δυνατόν να συγκριθούν με το περιεχόμενο χρονισμού των διαφορετικών μορφών.

Στον παλμογράφο ρυθμίστε τις εισόδους Y1 και Y2 στα 5V/div, τη DC σύζευξη και την χρονική βάση στα 10μs/div, εξωτερικό σκανδαλισμό από μια θετική ακμή.

### **Πρακτική Διαδικασία**

Με τη μονοπολική NRZ έξοδο της μονάδας Μορφή Δεδομένων συνδεδεμένη και στις δύο υποδοχές «raw data» (πρωτογενή δεδομένα) στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων, χρησιμοποιήστε τα κουμπιά στον Πομπό για να ρυθμίσετε τις ακόλουθες σχηματομορφές bit.

- 0 1 0 1 0 1 0 1
- 1 1 1 1 1 1 1 1
- 0 0 0 0 0 0 0 0
- 0 1 0 1 1 0 0 0 (λέξη δείγμα)

Ρυθμίστε τον παλμογράφο για να εμφανίζει το σήμα δεδομένων και τους παλμούς μετάβασης για κάθε σχηματομορφή bit.

Μπορεί να χρειαστεί να προσαρμόσετε τις ρυθμίσεις «bias», στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων για να απεικονίσει τους παλμούς μετάβασης. Ρυθμίστε κάθε ρυθμιστή «bias» στο μέσο του εύρους του, που παράγει μια ικανοποιητική απεικόνιση.

### **Άσκηση 2.1**

Επαναλάβετε αυτή τη διαδικασία για τις μορφές που αναφέρονται παρακάτω και σχεδιάστε τις κυματομορφές σήματος και μετάβασης που προκύπτουν σε κάθε περίπτωση. Για παράδειγμα, το σχήμα 2.8 δείχνει τα αποτελέσματα για τη Διφασική μορφή.

- Μονοπολική RZ
- Διφασική
- Διπολική NRZ
- Διπολική RZ
- Τριαδική

### Ερώτηση 2.5

Για τη σχηματομορφή bit 01100000, πόσες μεταβάσεις υπάρχουν:

- a) Στην Μονοπολική NRZ μορφή;
- b) Στην Μονοπολική RZ μορφή;

### Παρατηρήσεις

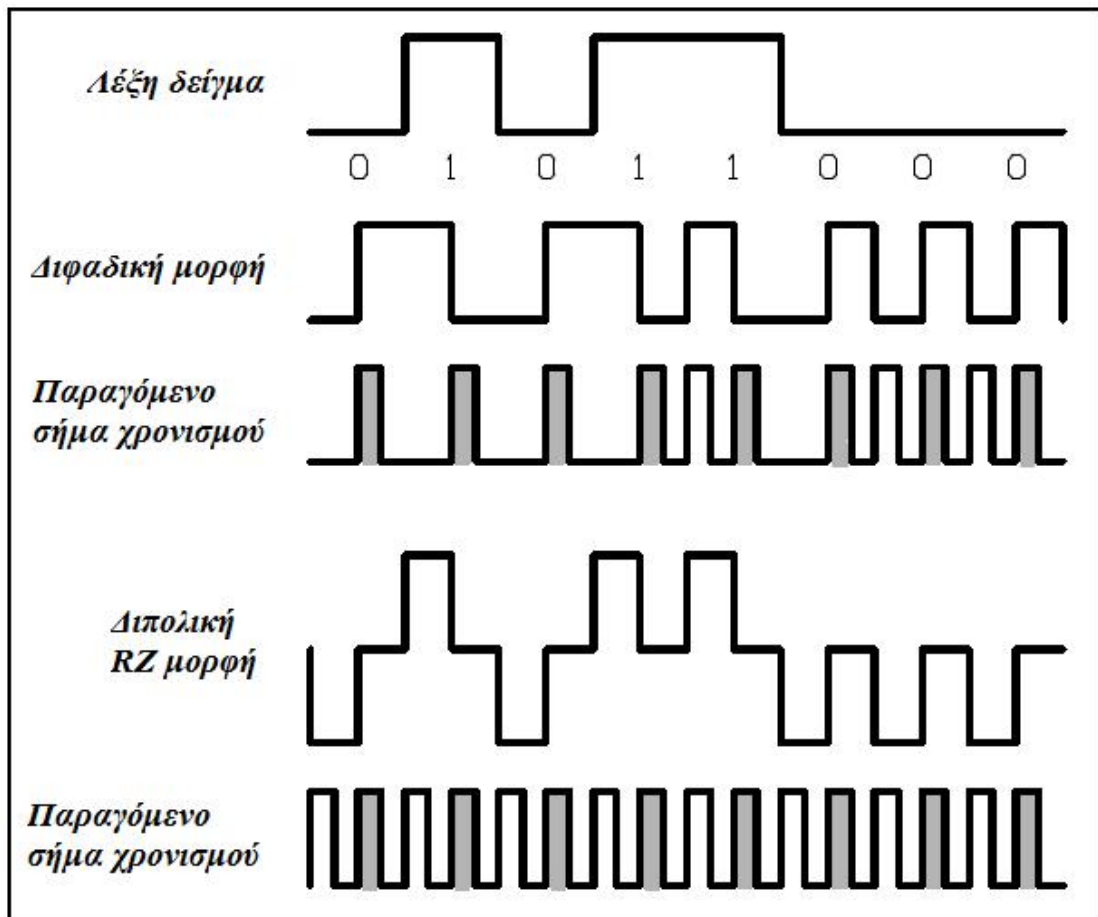
Η άσκηση 2.1 δείχνει ότι ορισμένες μορφές δεδομένων δεν παράγουν καμία μετάβαση για ορισμένες ακολουθίες bit. Τέτοιες μορφές δεν είναι δυνατόν να μεταδοθούν μέσω AC συζευγμένων καναλιών και δεν παρέχουν τις απαιτούμενες πληροφορίες χρονισμού.

Οι NRZ μορφές δεν παράγουν μεταβάσεις και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν πληροφορίες χρονισμού μέσα σε μια ακολουθία από 1s ή 0s. Η Μονοπολική NRZ περιορίζεται γενικά στα λογικά κυκλώματα πριν από τις μεταδόσεις. Δεν είναι κατάλληλη για AC συζευγμένα κανάλια. Οι μορφές Διφασική και Διπολική RZ είναι κατάλληλες για την εξαγωγή των σημάτων χρονισμού από τη ροή των bit δεδομένων.

Στη Διφασική μορφή, εάν αυτές οι μεταβάσεις που συμβαίνουν εντός της διάρκειας κάθε bit απορρίπτονται και αυτές που συμβαίνουν στην αρχή και το τέλος κάθε bit είναι αποδεκτές τότε, το εξαγόμενο σήμα χρονισμού θα είναι μια συνηθισμένη ακολουθία παλμών από ένα παλμό ανά bit.

Στη διπολική RZ μορφή, εάν οι μεταβάσεις που συμβαίνουν στο απερχόμενο μέτωπο του κάθε παλμού δεδομένων απορρίπτονται και εκείνες που βρίσκονται στο κατερχόμενο μέτωπο είναι αποδεκτές, τότε, πάλι, το εξαγόμενο σήμα χρονισμού θα έχει ένα παλμό ανά bit.

Τα εξαγόμενα σήματα χρονισμού και στις δύο περιπτώσεις εμφανίζονται ως σκιασμένοι παλμοί στο σχήμα. 2.9. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για το συγχρονισμό του ρολογιού του δέκτη θα εξεταστούν λεπτομερέστερα στην Εργασία 4.



Σχήμα 2.9

### ΣΥΝΟΨΗ

Οι μορφές δεδομένων διαφέρουν ως προς:

- Το εύρος ζώνης συχνοτήτων που καταλαμβάνουν
- Το βαθμό στον οποίο παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες χρονισμού στο δέκτη.
- Τις απαιτήσεις για DC μετάδοση.

Οι μορφές Διφασική και Διπολική RZ είναι αρκετά κατάλληλες για την εξαγωγή του σήματος χρονισμού, περισσότερο ή λιγότερο άμεσα, από τη ροή των bit δεδομένων.

Οι NRZ μορφές είναι οι απλούστερες για να παραχθούν ως αρχικά δεδομένα. Εντούτοις, απαιτούν DC μετάδοση και δεν παράγουν καμία μετάβαση, επομένως δεν υπάρχουν πληροφορίες χρονισμού, μέσα σε μια ακολουθία από 1s ή 0s.

Παρά το γεγονός ότι οι μορφές Μονοπολική RZ και Τριαδική παράγουν δύο μεταβάσεις για κάθε δυαδικό 1, δεν παράγουν καμία μετάβαση για το δυαδικό 0. Με αυτές τις μορφές και τις NRZ μορφές κάποιος πρέπει να χρησιμοποιήσει τους παλμούς μετάβασης για να διορθώσει τη φάση μιας γεννήτριας σήματος χρονισμού

εντός του δέκτη, ώστε να είναι πάντα σε συγχρονισμό με τα δεδομένα που μεταδίδονται. Το περιεχόμενο των μεταδιδόμενων δεδομένων πρέπει να ελέγχεται για να αποφεύγονται μεγάλες περιόδους που δεν πραγματοποιούνται μεταβάσεις.

### **ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ**

Στην πράξη, τα ψηφιακά σήματα συχνά αποστέλλονται μέσω του δημόσιου τηλεφωνικού δικτύου που περιλαμβάνει μετασχηματιστές και, ενδεχομένως, φερεσυχνικές ζεύξεις υψηλής συχνότητας. Τα AC-συζευγμένα κανάλια αυτού του τύπου έχουν περιορισμένο εύρος ζώνης με ανώτατο όριο συχνότητας των 3000 έως 3400Hz και χαμηλότερο όριο συχνότητας περίπου τα 300 Hz.

Η Μονοπολική NRZ μορφή χρησιμοποιείται ευρέως ως ένα αποτελεσματικό μέσο για την κωδικοποίηση πρωτογενών πληροφοριών σε ψηφιακή μορφή, αλλά δεν είναι κατάλληλη για τη μετάδοση μέσω AC ή DC καναλιών. Στα DC-συζευγμένα κανάλια θα υπάρχει μια σημαντική συνιστώσα ισχύος που δεν μεταδίδει πληροφορίες. Τα AC-συζευγμένα κανάλια δεν μπορούν να υποστηρίξουν τη σταθερή στάθμη σήματος που παράγεται από μια ακολουθία είτε από δυαδικά 1s ή δυαδικά 0s.

Παρά το γεγονός ότι οι μορφές Μονοπολική RZ και Διφασική αυξάνουν μια σημαντική DC συνιστώσα και οι δύο μπορούν να προσαρμοστούν σε ένα AC-συζευγμένο κανάλι εφαρμόζοντας ένα κύκλωμα DC-αποκατάστασης στο τερματικό του δέκτη.

Στις μορφές Διπολική RZ και τριαδική AMI η σωστή πολικότητα μπορεί να αποκατασταθεί με την προσθήκη μιας σταθερής DC συνιστώσας σε ένα AC-συζευγμένο κανάλι από την πλευρά του δέκτη.

### **Τυπικά Αποτελέσματα και Απαντήσεις της Εργασίας 2**

#### **Ερώτηση 2.1**

Η μορφή του bit clock είναι NRZ.

#### **Ερώτηση 2.2**

Κάθε μια από τις μορφές Διφασική και Διπολική, παράγει μια ακολουθία παλμών για τις σχηματομορφές bit «όλα ένα» και «όλα μηδέν».

#### **Ερώτηση 2.3**

Οι μεταδόσεις Μονοπολικής NRZ μορφής θα έχουν τουλάχιστον μια μετάβαση σε κάθε λέξη, αν οι λέξεις δεδομένων δεν έχουν τη δυνατότητα να λάβουν τις τιμές 0 («όλα μηδέν») ή τη μέγιστη δυνατή τιμή («όλα ένα»).

#### **Ερώτηση 2.4**

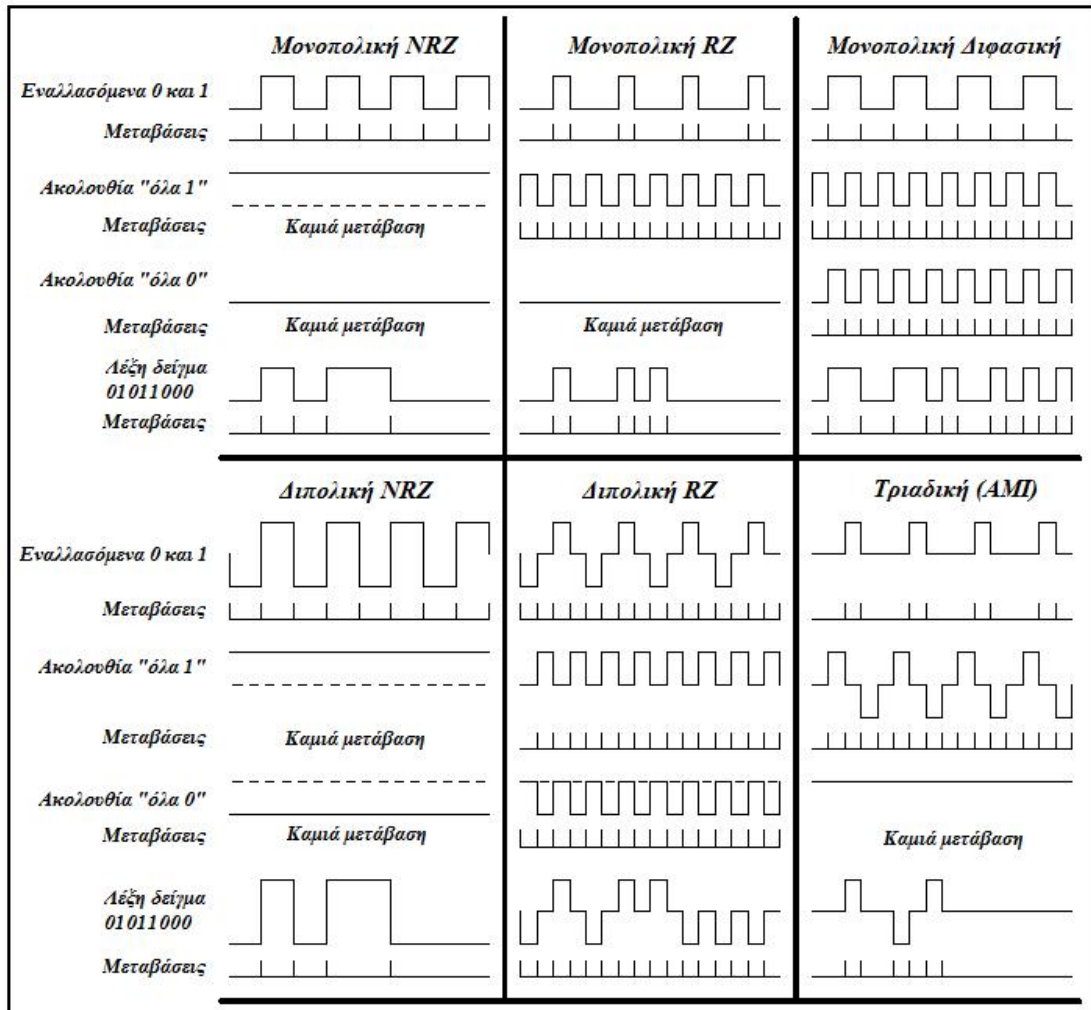
Η Τριαδική μορφή απαιτεί χαμηλότερο εύρος ζώνης από τις μορφές Μονοπολική RZ, Διπολική RZ ή Διφασική, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα AC-συζευγμένο κανάλι.

**Ερώτηση 2.5**

Για τη σχηματομορφή bit 01100000 υπάρχουν δύο μεταβάσεις στη Μονοπολική NRZ μορφή και τέσσερις μεταβάσεις στη Μονοπολική RZ.

**Άσκηση 2.1**

Σχεδιαγράμματα από την πρακτική άσκηση 2.2 (περιλαμβανομένου και του παραδείγματος στο κείμενο)



**Σημείωση:** Στην αρχή και στο τέλος μιας λέξης δεδομένων, εάν υπάρχει μετάβαση ή όχι μπορεί να εξαρτάται από παρακαείμενα bits άλλων λέξεων.

## ΕΡΓΑΣΙΑ 3

### ΘΟΥΡΥΒΟΣ ΣΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

#### ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ

Σε αυτή την εργασία προσομοιώνεται η παρουσία θορύβου σε ένα ψηφιακό κανάλι επικοινωνίας και παρατηρείται η επιρροή του σε ένα δυαδικό σήμα, χρησιμοποιώντας έναν παλμογράφο και έναν ανιχνευτή ήχου.

Αποδεικνύεται ότι η μετάδοση δυαδικών δεδομένων είναι απαλλαγμένη από λάθη έως ότου το περιεχόμενο του θορύβου να φτάσει σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο.

#### ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Πομπός
1	Δέκτης
1	Αναγεννητής Χρονισμού Δεδομένων
1	Μονάδα Ήχου
1	Τροφοδοτικό
1	Γεννήτρια συναρτήσεων
1	Παλμογράφος 2 καναλιών με εξωτερικό σκανδαλισμό

#### ΣΤΟΧΟΙ

Όταν θα έχετε ολοκληρώσει αυτή την εργασία θα πρέπει να γνωρίζετε:

- Ότι υπάρχουν τρεις μορφές προσθετικού θορύβου που μπορούν να εμφανιστούν σε ένα σύστημα επικοινωνίας.
- Ότι σε ένα ψηφιακό σύστημα, η αλλοίωση (μέσα σε όρια) του μεταδιδόμενου σήματος δεν αλλοιώνει την έξοδο από τον δέκτη.
- Ότι ο ρυθμός στον οποίο η πληροφορία μπορεί να μεταφερθεί εξαρτάται από τον λόγο ισχύος σήματος προς θόρυβο.

#### ΕΠΙΠΕΔΟ ΓΝΩΣΕΩΝ

Πριν από την έναρξη αυτής της εργασίας θα πρέπει να γνωρίζετε ότι:

- Ένα μονοπολικό ή διπολικό NRZ σήμα έχει δύο διακριτικές λειτουργικές στάθμες.
- Κανένα κανάλι επικοινωνίας δεν είναι εντελώς απαλλαγμένο από θόρυβο.

#### ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Συνδέστε το τροφοδοτικό με το ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά μην το ενεργοποιείτε ακόμη.

Συνδέστε τα καλώδια τροφοδοσίας DC στο Πομπό, στο Δέκτη, στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων και στη μονάδα Ήχου (Όλες αυτές οι υποδοχές είναι πανομοιότυπες).

Μόνο όταν όλες οι συνδέσεις τροφοδοσίας έχουν πραγματοποιηθεί, μπορεί η τροφοδοσία να ενεργοποιηθεί.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε ένα ιδανικό σύστημα επικοινωνίας το λαμβανόμενο σήμα θα είναι πανομοιότυπο με εκείνο που αποστέλλεται από τον πομπό. Πρακτικά, το κανάλι επικοινωνίας υπόκειται στο θόρυβο με τη μορφή σταθερών ή παλμικών διαταραχών, που υπερθέτονται στο μεταδιδόμενο σήμα. Το μεγάλο πλεονέκτημα της ψηφιακής έναντι της αναλογικής επικοινωνίας βρίσκεται στη σχετική ασυλία της σε αυτή τη μορφή παραμόρφωσης.

Όταν παραβρίσκεται προσθετικός θόρυβος, η τιμή του μεταδιδόμενου σήματος μεταβάλλεται από μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες επιδράσεις:

- Τυχαίοι ή περιοδικοί παλμοί, συνήθως μικρής διάρκειας και υψηλού πλάτους.
- Διαφωνία, λόγω παρεμβολής από άλλο κανάλι επικοινωνίας.
- Λευκός θόρυβος (white noise), αναγνωρίσιμος ως μια σταθερή διαταραχή βάρους, η οποία καλύπτει ένα απείρως μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Στην πράξη, το σύστημα θα εξασθενίσει τις υψηλής συχνότητας συνιστώσες του, μετατρέποντας τον σε κάτι που μερικές φορές καλείται «ροζ θόρυβος» (pink noise).

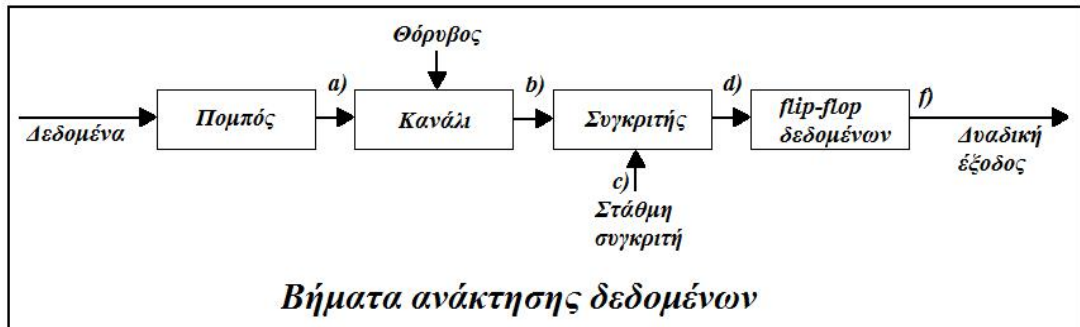
Για να ανακτηθεί η αρχική σχηματομορφή bit από το σήμα που έχει επηρεαστεί από θόρυβο, απαιτείται κάποια επεξεργασία στο δέκτη που θα ξεχωρίσει τους παλμούς θορύβου από τους παλμούς σήματος.

Μια μέθοδος για την εξάλειψη του μεγαλύτερου μέρους του θορύβου εμφανίζεται, βήμα προς βήμα, στο σχήμα 3.1, που είναι ένα σχηματικό διάγραμμα, και το σχήμα 3.2 το οποίο δείχνει τις κυματομορφές που εμπλέκονται. Σε αυτές τις απεικονίσεις φαίνονται:

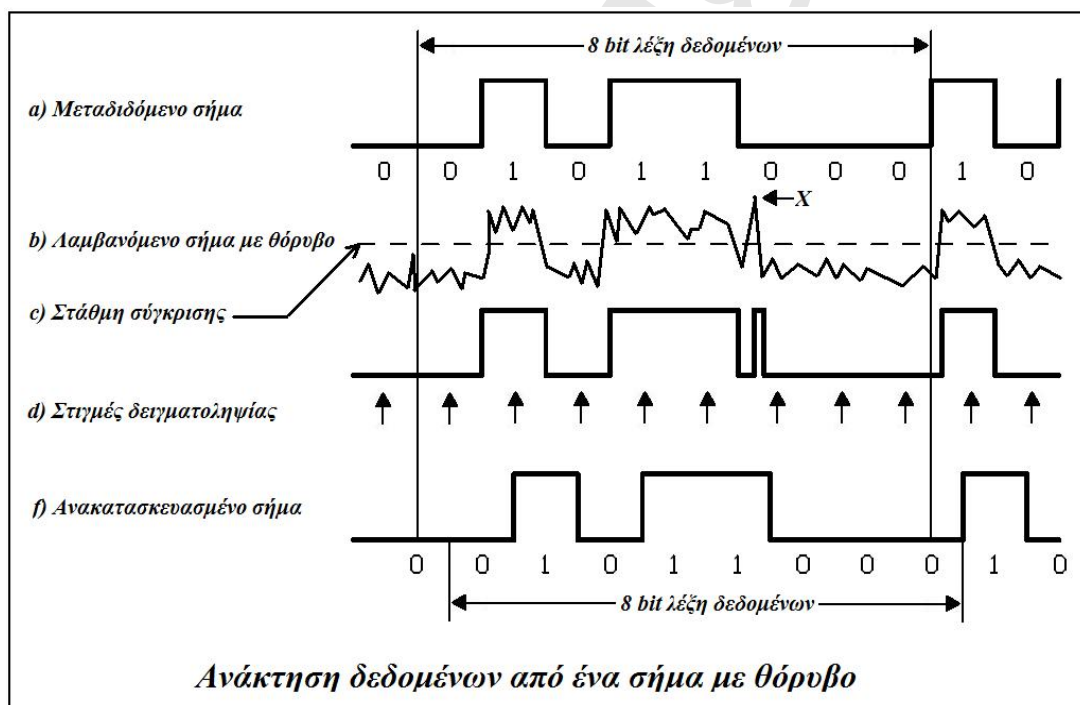
- a) Η 8-bit λέξη δεδομένων, όπως μεταδόθηκε στο κανάλι.
- b) Το ληφθέν ψηφιακό σήμα με παρόντες λευκό θόρυβο και τυχαίο παλμικό θόρυβο. Το στάθμη του μπορεί επίσης να έχει αλλάξει.
- c) Μια στάθμη που έχει επιλεγεί να είναι στο ενδιάμεσο μεταξύ των δύο τιμών του λαμβανομένου σήματος.
- d) Η έξοδος ενός συγκριτή που συγκρίνει το λαμβανόμενο σήμα με τη στάθμη c). Όταν η τιμή της κυματομορφής του σήματος συν το θόρυβο είναι πάνω από τη γραμμή της ενδιάμεσης στάθμης η έξοδος του συγκριτή



είναι θετική και σταθερής τιμής. Όταν είναι κάτω από την ενδιάμεση στάθμη η έξοδος του είναι μηδενική.



Σχήμα 3.1



Σχήμα 3.2

- e) Η έξοδος από το συγκριτή, δειγματοληπτημένη στο ρυθμό bit του σήματος. Ο ρυθμός δειγματοληψίας καθορίζεται από ένα bit clock στο εσωτερικό του δέκτη.
- f) Η δυαδική έξοδος από ένα δισταθές κύκλωμα σκανδαλισμού (flip-flop). Αυτή η συσκευή παράγει ένα θετικό παλμό διάρκειας ενός bit, όταν η έξοδος του συγκριτή είναι θετική κατά τη στιγμή της δειγματοληψίας και μηδέν, όταν η έξοδος του συγκριτή είναι μηδέν.

**Ερώτηση 3.1**

Για ποιο λόγο υπάρχει μια καθυστέρηση ανάμεσα στο ληφθέν σήμα δεδομένων και το σήμα εξόδου;

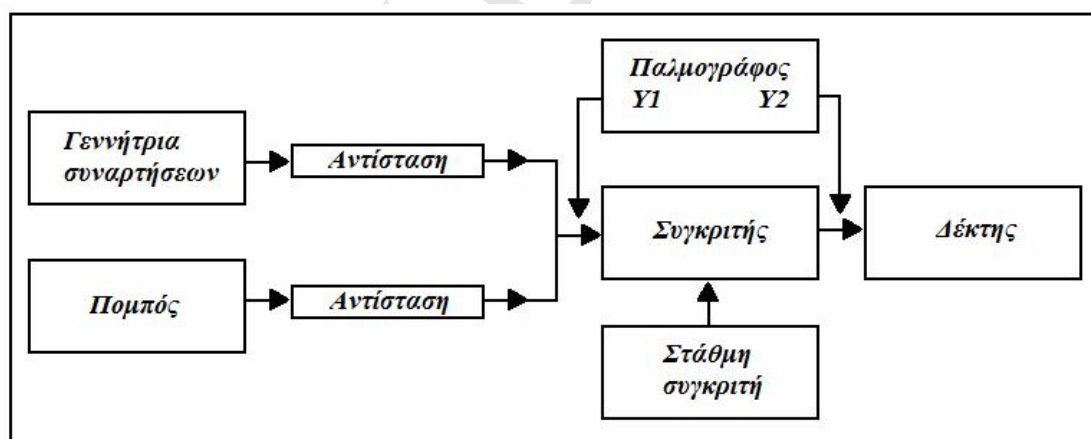
Σε αυτό το παράδειγμα ανακτάται ένα δυαδικό σήμα, το οποίο είναι πανομοιότυπο με το σήμα που εκπέμπεται και η επίδραση του θορύβου (αν και πολύ σοβαρή) έχει εξαλειφθεί. Θα πρέπει να σημειωθεί, ωστόσο, ότι αν ο παλμός στο σημείο X στο λαμβανόμενο σήμα και τα ίχνη εξόδου του συγκριτή είχαν εμφανιστεί λίγο αργότερα, θα είχαν συμπέσει με ένα σημείο δειγματοληψίας και θα παρήγαγε ένα λανθασμένο ψηφίο 1 στο σήμα εξόδου. Άλλα, πιο εξελιγμένα, κυκλώματα απόρριψης θορύβου μπορούν να εξαλείψουν τις περισσότερες επιδράσεις του θορύβου τυχαίου παλμού. Εκτός από αυτές τις μεθόδους απόρριψης του θορύβου, ο δέκτης περιέχει συνήθως διαδικασίες ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων. Αυτές δρουν προκειμένου να ξεπεραστούν τα σφάλματα που προκύπτουν από μια πληθώρα διαφορετικών αιτιών και θα συζητηθούν στην επόμενη εργασία.

### ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 3.1

#### *Επίδραση προσομοιωμένου θορύβου*

Σε προηγούμενες εργασίες έχουμε συνδέσει τον Πομπό απευθείας στον δέκτη. Σε αυτό το πείραμα θα τροποποιήσουμε αυτή τη σύνδεση ώστε να προστεθεί ο προσομοιωμένος θόρυβος στο μεταδιδόμενο δυαδικό σήμα. Το σήμα με τον θόρυβο εφαρμόζεται στη συνέχεια σε ένα συγκριτή του οποίου η έξοδος είναι συνδεδεμένη στον Δέκτη, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3.

Την αποτελεσματικότητα του συγκριτή όσον αφορά τη μείωση του θορύβου μπορεί να δει κανείς συγκρίνοντας τα ίχνη του παλμογράφου στην είσοδο και την έξοδο του συγκριτή.



Σχήμα 3.3



### *Προετοιμασία*

Συνδέστε τις μονάδες, τη γεννήτρια συναρτήσεων και τον παλμογράφο όπως απεικονίζεται στο σχήμα 3.4.

Στον Πομπό ρυθμίστε το διακόπτη «format» στα «8 bits» και τον διακόπτη «data source» στη θέση «manual».

Ρυθμίστε τη γεννήτρια συναρτήσεων ώστε να δώσει μια ημιτονοειδή κυματομορφή εξόδου με συχνότητα 100kHz και ρυθμίστε τον ρυθμιστή εξόδου αρχικά στο μηδέν. Κατά τη διάρκεια του πειράματος η εν λόγω έξοδος θα χρησιμοποιηθεί για να προσομοιώσει την επίδραση ενός σταθερού θορύβου βάθους στο κανάλι επικοινωνίας. Αν και αυτό δεν μπορεί να αναπαράγει την τυχαία φύση του αληθινού θορύβου, η αποτελεσματικότητα του συστήματος να απορρίπτει μια υψηλού επιπέδου παρεμβολή μπορεί να αποδειχθεί.

Οι έξοδοι από τον Πομπό και τη γεννήτρια συναρτήσεων συνδέονται στην είσοδο του Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων δια μέσω μεμονωμένων 2kΩ αντιστάσεων.

Μόνο ένα τμήμα του Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων χρησιμοποιείται σ' αυτό το πείραμα, το οποίο είναι το κύκλωμα τετραγωνισμού δεδομένων που λειτουργεί ως ένας συγκριτής. Ο συσχετισμένος ρυθμιστής «bias» (πόλωσης) ρυθμίζεται στο ήμισυ του πλάτους του εισερχόμενου δυαδικού σήματος. Το κύκλωμα λειτουργεί ως συσκευή «όλα ή τίποτα». Αν η κυματομορφή εισόδου είναι μεγαλύτερης τιμής από τη στάθμη πόλωσης, η έξοδος του συγκριτή θα είναι απόλυτα θετική. Αν είναι κάτω από τη στάθμη πόλωσης, η έξοδος θα είναι μηδέν. Τοποθετήστε τον ρυθμιστή «bias» στη μεσαία του θέση αρχικά.

### *Ερώτηση 3.2*

**Ποιο θα είναι αποτέλεσμα αν ρυθμίσουμε τη στάθμη πόλωσης α) πολύ χαμηλά; β) πολύ ψηλά;**

Ρυθμίστε και τους δύο διακόπτες στον Δέκτη στις πάνω θέσεις τους. Αυτό τον προετοιμάζει να λαμβάνει 8-bit λέξεις δεδομένων.

Στον παλμογράφο ρυθμίστε τις εισόδους Y1 και Y2 στα 2V/div. Ρυθμίστε την χρονική βάση στα 20μs/div.

### *Πρακτική Διαδικασία*

Αρχικοποιήστε οποιαδήποτε 8-bit λέξη στον Πομπό.

Τοποθετήστε τον ρυθμιστή «bias» στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων στο χαμηλότερο σημείο του ώστε να απεικονίζεται η σωστή λέξη δεδομένων στους ενδείκτες led «received data» του Δέκτη.

Τα ίχνη του παλμογράφου στην είσοδο και στην έξοδο του συγκριτή θα δείξουν NRZ σήματα που είναι πανομοιότυπα, με εξαίρεση το πλάτος. Το σήμα εισόδου εξασθενεί

από το προηγούμενο επιπρόσθετο κύκλωμα αλλά το πλάτος του σήματος εξόδου αποκαθίσταται στο καθορισμένο επίπεδο του από το κύκλωμα σύγκρισης.

Μπορούμε πλέον να παρατηρήσουμε την επίδραση του προσθετικού θορύβου στη λέξη δεδομένων. Σταδιακά αυξήστε την 100kHz έξοδο «θορύβου» από τη γεννήτρια συναρτήσεων και παρατηρήστε τη λέξη δεδομένων που απεικονίζεται στον Δέκτη. Δεν θα συμβεί τίποτα μέχρις ότου σε μια συγκεκριμένη στάθμη θορύβου η απεικόνιση γίνει ασαφής, οι ενδείκτες led που ήταν σβηστοί θα είναι μερικώς φωτισμένοι, αποδεικνύοντας ότι η λέξη δεδομένων έχει αλλοιωθεί από θόρυβο.

Μια πιο ευαίσθητη ένδειξη της βίαιης διέλευσης του θορύβου δίνεται από το ίχνος στον παλμογράφο της εξόδου του συγκριτή, Y2. Και πάλι, αυξήστε σταδιακά την έξοδο θορύβου από μια χαμηλή τιμή έως ότου, σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο, η κυματομορφή δεδομένων δείξει ότι υψηλής συχνότητας θόρυβος είναι παρών.

Η στάθμη πόλωσης θα επηρεάσει καθοριστικά το μέγιστο πλάτος θορύβου που το σύστημα μπορεί να ανεχτεί. Ρυθμίστε τον ρυθμιστή «bias» για να βρείτε το υψηλότερο πλάτος θορύβου που μπορεί να εφαρμοστεί χωρίς να διαταραχθεί το λαμβανόμενο σήμα δεδομένων.

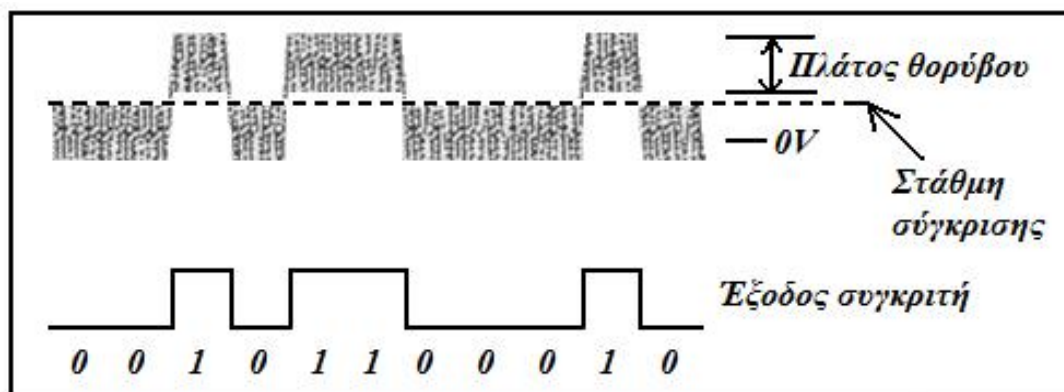
Σε αυτή τη ρύθμιση, παρατηρώντας την κυματομορφή εισόδου του συγκριτή στο κανάλι Y1, μπορούμε να συγκρίνουμε τα πλάτη του θορύβου και του σήματος δεδομένων. Αρχικά μετρήστε το πλάτος θορύβου στην οθόνη του παλμογράφου και στη συνέχεια, μειώστε το επίπεδο θορύβου στο μηδέν και μετρήστε το πλάτος του σήματος. Στη κατάσταση με το μέγιστο θόρυβο, το πλάτος του θορύβου είναι ελαφρώς μικρότερο από αυτό των παλμών σημάτων, όπως απεικονίζεται στο σχήμα. 3.5.

Η επίδραση του παλμικού θορύβου μπορεί να αποδειχθεί ποιοτικά με τη χρήση της μονάδας Ήχου ως πηγή θορύβου, στη θέση της γεννήτριας συναρτήσεων.

Ρυθμίστε την μονάδα Ήχου στην θέση «μικρόφωνο» και περιστρέψτε τον ρυθμιστή έντασης πλήρως δεξιά. Αποσυνδέστε τη γεννήτρια συναρτήσεων από την είσοδο του συγκριτή και συνδέστε την μονάδα Ήχου στη θέση της.

Χτυπήστε απαλά το μικρόφωνο με τα δάχτυλά σας και παρατηρήστε τις έντονες διαταραχές στην είσοδο του συγκριτή. Η ένδειξη των ληφθέντων δεδομένων θα δείχνει περιστασιακά μια εσφαλμένη λέξη.

Αλλάξτε την χρονική βάση στον παλμογράφο στα 2ms/div και παρατηρήστε ότι το πλάτος των παλμών από το μικρόφωνο μπορεί να είναι πολύ υψηλότερο από το πλάτος του σήματος.



Σχήμα 3.5

### Παρατηρήσεις

Η βέλτιστη ρύθμιση πόλωσης για την απόρριψη του θορύβου ισούται με το ήμισυ του πλάτους του σήματος. Με αυτή τη ρύθμιση η μέγιστη τιμή της κυματομορφής του σήματος συν το θόρυβο δεν θα ξεπεράσει το επίπεδο πόλωσης και η έξοδος του συγκριτή παραμένει αμετάβλητη. Μια μικρή αύξηση του θορύβου, θα οδηγούσε την κυματομορφή να ξεπεράσει το επίπεδο πόλωσης και ο συγκριτής, θα ανταποκρινόταν για να παράγει ένα λανθασμένο σήμα.

### Ερώτηση 3.3

**Ένας παλμός θορύβου μπορεί να είναι πολύ μικρής διάρκειας. Ποια θα είναι η διάρκεια του σφάλματος στο σήμα εξόδου αν ο παλμός εμφανιστεί σε μια στιγμή δειγματοληψίας;**

Η υψηλής συχνότητας ημιτονοειδής κυματομορφή που είχαμε για να προσομοιώνουμε θόρυβο δεν μπορεί να αναπαράγει πλήρως την επίδραση του τυχαίου θορύβου βάθους. Το πλάτος της ήταν σταθερό, ενώ ο πραγματικός θόρυβος έχει ένα πλάτος που συνεχώς μεταβάλλεται. Σε αυτό το πείραμα ένας λόγος σήματος προς θόρυβο λίγο μεγαλύτερος από την μονάδα ήταν αρκετός για να ξεπεραστεί ο προσομοιωμένος θόρυβος, αλλά στην πράξη ο λόγος της ισχύος σήματος προς την ισχύ του θορύβου θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 3:1 για να μειωθεί η πιθανότητα λάθους σε αμελητέα τιμή.

### ΣΥΝΟΨΗ

Χρησιμοποιώντας έναν συγκριτή να αποφασίζει ανάμεσα σε ποια από δύο πιθανές τιμές θα αποδοθεί σε ένα θορυβώδες σήμα, είναι πιθανόν σε ένα ψηφιακό σύστημα να εξαλειφθεί η επίδραση του θορύβου εξ ολοκλήρου, υπό τον όρο ότι το πλάτος του θορύβου δεν είναι αρκετά μεγάλο για να αναγκάσει την τιμή του σήματος να διέλθει το κατώφλι του συγκριτή.

### ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ

Η χωρητικότητα του καναλιού είναι ο μέγιστος ρυθμός με τον οποίο η πληροφορία μπορεί να μεταδοθεί, σε bits ανά δευτερόλεπτο. Στην απουσία θορύβου, αυτή εξαρτάται μόνο από το διαθέσιμο εύρος ζώνης και τη μορφή του σήματος δεδομένων.

Εντούτοις, σε ένα πραγματικό σύστημα θα υπάρχει πάντοτε κάποιος θόρυβος στο κανάλι και ο ρυθμός στον οποίο η πληροφορία μπορεί να μεταδοθεί τότε εξαρτάται από το λόγο σήματος προς θόρυβο (S/N), που ορίζεται ως εξής:

$$\text{Λόγος} \frac{S}{N} = \frac{\text{μέση ισχύς σήματος}}{\text{μέση ισχύς θορύβου}}$$

Στα περισσότερα συστήματα επικοινωνίας το διαθέσιμο εύρος ζώνης και το επίπεδο θορύβου βάθους δεν μπορούν να τροποποιηθούν και ως εκ τούτου ο ρυθμός μεταφοράς πληροφορίας εξαρτάται από το λόγο σήματος προς θόρυβο.

Με τη χρησιμοποίηση ενός επαρκούς υψηλού λόγου S/N ο αριθμός των σφαλμάτων που εμφανίζονται στο λαμβανόμενο σήμα μπορεί να γίνει αμελητέος, αν και η αύξηση του λόγου S/N συνεπάγεται περισσότερη ισχύ σήματος και, κατά συνέπεια υψηλότερο κόστος λειτουργίας.

Ο παλμικός θόρυβος μπορεί να έχει διαφορετικές επιδράσεις ανάλογα σε ποιο σημείο εισέρχεται στο σύστημα. Εάν φτάνει στο δέκτη αφού διέλθει μέσα από το κανάλι, μπορεί, λόγω του περιορισμού εύρους ζώνης του καναλιού να γίνει δυσδιάκριτος με αποτέλεσμα ένα λάθος ψηφίο. Ωστόσο, ο τοπικά λαμβανόμενος παλμικός θόρυβος έχει συχνά ένα μεγάλο πλάτος και μικρή διάρκεια σε σύγκριση με ένα bit σήματος. Φανταστείτε το παλμό X στο σχήμα 3.2 να είναι πολύ στενότερος και μεγαλύτερος. Θα ήταν τότε δυνατό να αφαιρεθεί το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειάς του, με τον περιορισμό του πλάτους του σήματος, μετατρέποντας τον σε ένα περιορισμένου ύψους στενό παλμό. Αν όμως ο παλμός φιλτραριστεί (από το κανάλι ή αλλιώς) πριν από τον περιορισμό, αυτό θα τον καταστήσει ευρύτερο και λιγότερο υψηλό στην είσοδο προς τον περιοριστή. Η έξοδος, του πλάτους που τέθηκε από τον περιοριστή, όπως και πριν, θα ήταν ευρύτερη (μεγαλύτερης διάρκειας), και είναι πιθανό να έχει την επίδραση ενός εσφαλμένου ψηφίου.

### Τυπικά Αποτελέσματα και Απαντήσεις της Εργασίας 3

#### Ερώτηση 3.1

Τα σημεία δειγματοληψίας βρίσκονται στο κέντρο κάθε εισερχόμενου bit δεδομένων και στο ανακατασκευασμένο σήμα εξόδου τα bits δεδομένων ξεκινούν από τα σημεία δειγματοληψίας, δημιουργώντας έτσι μια καθυστέρηση μισού bit (βλ. Σχήμα 3.2)

#### Ερώτηση 3.2

- Αν η τάση πόλωσης είναι πολύ χαμηλή, σχετικά μικρές τάσεις θορύβου μπορούν να προκαλέσουν θετική έξοδο από το συγκριτή κατά τη διάρκεια της περιόδου ενός δυαδικού 0 bit.
- Αν η τάση πόλωσης είναι πολύ υψηλή, η έξοδος του συγκριτή μπορεί να πέσει στο μηδέν κατά τη διάρκεια της περιόδου ενός δυαδικού 1 bit.

#### Ερώτηση 3.3

Το σήμα εξόδου θα περιέχει ένα λάθος, διάρκειας ενός bit.

## ΕΡΓΑΣΙΑ 4

### ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΛΑΘΩΝ

#### ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ

Σε αυτή την εργασία εξετάζεται και εφαρμόζεται η αρχή του απλού ελέγχου ισοτιμίας για την ανίχνευση σφαλμάτων σε μια επτά-bit λέξη δεδομένων.

Ένας κώδικας διόρθωσης σφαλμάτων που χρησιμοποιεί τέσσερα bits δεδομένων και τέσσερα bits ελέγχου φαίνεται να είναι αποτελεσματικός στη διόρθωση ενός μοναδικού λάθους και στον εντοπισμό δύο σφαλμάτων σε μια κωδική λέξη.

#### ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Πομπός
1	Δέκτης
1	Μονάδα Ήχου
1	Τροφοδοτικό
1	Γεννήτρια συναρτήσεων
1	Παλμογράφος 2 καναλιών με εξωτερικό σκανδαλισμό

#### ΣΤΟΧΟΙ

Όταν θα έχετε ολοκληρώσει αυτή την εργασία θα πρέπει να γνωρίζετε ότι:

- Με τη χρήση ενός απλού συστήματος ελέγχου ισοτιμίας μπορούμε να ανιχνεύσουμε ένα λάθος σε μια κωδική λέξη, αλλά δεν μπορούμε να βρούμε τη θέση του στη λέξη.
- Με την αύξηση του αριθμού των bits ελέγχου και τη χρήση ενός κώδικα διόρθωσης σφαλμάτων μπορούμε να εντοπίσουμε ένα λάθος και να ανακτήσουμε τα αρχικά δεδομένα.

#### ΕΠΙΠΕΔΟ ΓΝΩΣΕΩΝ

Πριν από την έναρξη αυτής της εργασίας θα πρέπει να γνωρίζετε ότι:

- Μια δυαδική λέξη είναι μια ομάδα από bits, ή μια σχηματομορφή bit, που μπορεί να αναπαραστήσει ένα γράμμα ή έναν αριθμό.
- Ένα λάθος σε ένα σύστημα επικοινωνίας έχει σαν αποτέλεσμα η λαμβανόμενη σχηματομορφή bit να είναι διαφορετική από εκείνη που μεταδόθηκε.



### ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Συνδέστε το τροφοδοτικό με το ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά μην το ενεργοποιείτε ακόμη. Συνδέστε τα καλώδια τροφοδοσίας DC στον Πομπό, στο Δέκτη και στη μονάδα Ήχου (Όλες οι υποδοχές είναι πανομοιότυπες).

Μόνο όταν όλες οι συνδέσεις τροφοδοσίας έχουν πραγματοποιηθεί, μπορεί η τροφοδοσία να ενεργοποιηθεί.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ακόμη και στο βέλτιστο κανάλι επικοινωνίας είναι δύσκολο να αποφευχθούν οι περιστασιακές διαταραχές θορύβου που είναι μεγαλύτερες από το συνηθισμένο ή μια βλάβη γραμμής που μπορεί να προκαλέσει επαναλαμβανόμενη παραμόρφωση του σήματος. Σε αυτές τις συνθήκες, είναι σημαντική βοήθεια αν ο δέκτης μπορεί να ανιχνεύσει ότι έχει γίνει κάποιο λάθος. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγει το να λειτουργήσει με ψευδή δεδομένα (μερικές φορές είναι πολύ επικίνδυνο) και να καταστήσει το δέκτη ικανό να ζητήσει να επαναληφθεί η πληροφορία.

Η απλούστερη μέθοδος ανίχνευσης σφαλμάτων χρησιμοποιεί την αρχή του *ελέγχου ισοτιμίας*. Σε αυτή, η μεταδιδόμενη κωδική λέξη περιέχει μια ομάδα από bits δεδομένων συν ένα bit ισοτιμίας που μπορεί να είναι το δυαδικό 1 ή το δυαδικό 0. Υπάρχουν δύο μορφές ελέγχου ισοτιμίας, γνωστές ως περιττή ισοτιμία ή άρτια ισοτιμία. Στον έλεγχο άρτιας ισοτιμίας το bit ισοτιμίας πρέπει να είναι 1 ή 0, ώστε το άθροισμα των 1 σε ολόκληρη την κωδική λέξη είναι άρτιος αριθμός. Ομοίως, κατά τον έλεγχο περιττής ισοτιμίας το bit ισοτιμίας πρέπει να είναι 1 ή 0, ώστε το άθροισμα των 1 σε ολόκληρη την κωδική λέξη είναι περιττός αριθμός. Επομένως, αν χρησιμοποιείται μια οκτώ-bit λέξη, τα επτά bits μεταφέρουν τα δεδομένα, ενώ το όγδοο bit προσαρμόζεται ώστε να διατηρηθεί η επιλεγείσα ισοτιμία, στην μεταδιδόμενη κωδική λέξη. Οποιαδήποτε από την άρτια ή περιττή ισοτιμία μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αλλά ο αποστολέας και ο δέκτης πρέπει να συμφωνήσουν στο ποια θα χρησιμοποιηθεί.

Με τον έλεγχο ισοτιμίας μπορούμε να ανιχνεύσουμε ένα μόνο λάθος, ή ένα περιττό αριθμό από σφάλματα. Ένας άρτιος αριθμός σφαλμάτων δεν θα εντοπιστεί.

Το σχ. 4.1 παρουσιάζει την εφαρμογή του ελέγχου άρτιας ισοτιμίας με κωδικές λέξεις που περιέχουν επτά bits δεδομένων και ένα bit ελέγχου ισοτιμίας.

Έλεγχος Άρτιας Ισοτιμίας							
Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data	Parity
0	1	0	1	1	0	0	1
0	1	0	1	0	1	0	1
0	1	1	0	1	1	0	0
0	1	0	0	1	0	0	0

Σχήμα 4.1

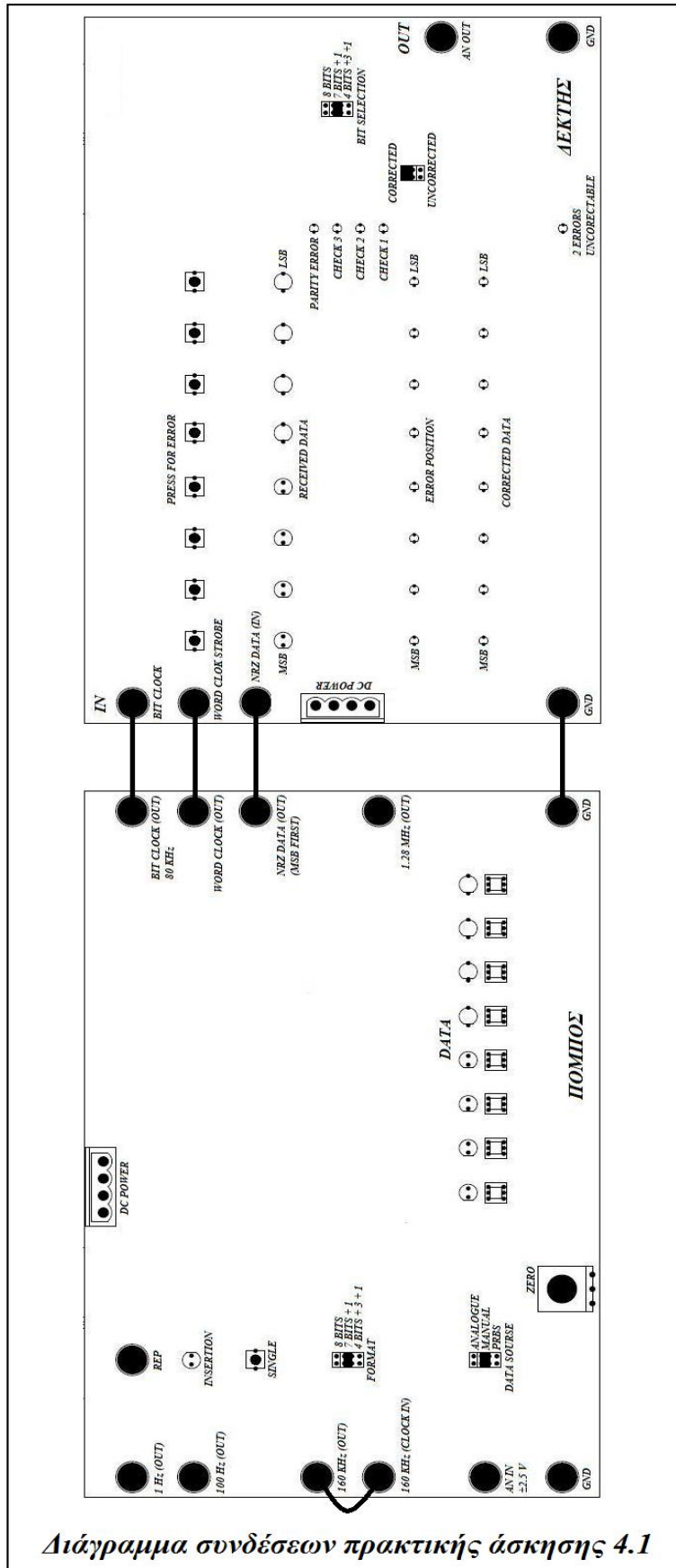
Εάν η δεύτερη λέξη στον πίνακα 4.1 είχε ένα λάθος στην έκτη στήλη, τότε θα πρέπει να ληφθεί ως 0 1 0 1 0 0 0 1. Στην περίπτωση αυτή, η ισοτιμία της ληφθείσας λέξης είναι εσφαλμένη, δεδομένου ότι υπάρχει ένας περιττός αριθμός από 1, που δείχνει ότι έχει συμβεί ένα λάθος. Το ίδιο επιχείρημα θα ίσχυε αν άλλαζε οποιοδήποτε από τα οκτώ bits.

#### **Ερώτηση 4.1**

**Σε ένα σύστημα άρτιας ισοτιμίας, η λέξη δεδομένων 0000000 θα απαιτούσε 0 ή 1 ως bit ισοτιμίας;**

Χρησιμοποιώντας τον Πομπό, μπορούμε να δημιουργήσουμε μια επιλογή από οκτώ-bit λέξεις που περιέχουν επτά bits δεδομένων, που επιλέγονται τυχαία, και ένα bit ισοτιμίας που εισάγεται από το λογικό κύκλωμα του Πομπού.

Στον Δέκτη, ένας έλεγχος ισοτιμίας πραγματοποιείται στην εισερχόμενη λέξη και εφόσον διαπιστωθεί σφάλμα σε αυτή θα εμφανιστεί από τους ενδείκτες led. Με την προσομοίωση ενός ή περισσότερων σφαλμάτων μπορούμε να αποδείξουμε ότι ένα σφάλμα μπορεί να ανιχνευθεί πάντα, αλλά πολλαπλά λάθη μπορεί να μην ανιχνευθούν.



Διάγραμμα συνδέσεων πρακτικής άσκησης 4.1

Σχήμα 4.2

### ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 4.1

#### *Προετοιμασία ανίχνευσης σφαλμάτων*

Συνδέστε τον Πομπό και τον Δέκτη όπως απεικονίζεται στο σχήμα 4.2.

Στον Πομπό ρυθμίστε τον διακόπτη «format» στη θέση «7 bits + 1 parity» και τον διακόπτη «data source» στη θέση «manual».

Ρυθμίστε το διακόπτη «bit selection» του Δέκτη στην θέση «7 bits + 1 parity». Η θέση του διακόπτη διόρθωσης δεδομένων δεν έχει σημασία σε αυτό το πείραμα.

#### *Πρακτική Διαδικασία*

Εγκαταστήστε τις επτά-bit λέξεις δεδομένων που φαίνονται στον πίνακα 4.1, χρησιμοποιώντας τα πρώτα επτά κουμπιά στον Πομπό και επιβεβαιώστε ότι το bit ισοτιμίας είναι σωστό, όπως υποδεικνύεται από τον πράσινο ενδείκτη led στη LSB θέση. Παρατηρήστε ότι τα bits δεδομένων και ισοτιμίας που εμφανίζονται στους ενδείκτες led «received data» του Δέκτη είναι πανομοιότυπα με εκείνα που αποστέλλονται από τον Πομπό.

Ένα λάθος μπορεί πλέον να προσομοιωθεί σε οποιοδήποτε από τα οκτώ bits πατώντας ένα από τα κουμπιά σφάλματος στον Δέκτη. Η σχηματομορφή bit που επιδεικνύεται από το δέκτη θα πρέπει πλέον να διαφέρει από εκείνο της πηγής δεδομένων και ο κίτρινος ενδείκτης led «parity error» θα πρέπει να ανάβει.

Τώρα, πιάστε δύο οποιοδήποτε πλήκτρα ταυτόχρονα για να εισάγετε έτσι έναν άρτιο αριθμό από εσφαλμένα bits και παρατηρήστε ότι ο ενδείκτης led «parity error» δεν παρουσιάζει κανένα λάθος.

#### *Ερώτηση 4.2*

**Ποια ένδειξη σφάλματος ισοτιμίας (περιττή ή άρτια) θα περιμένατε από το πάτημα τριών οποιοδήποτε κουμπιών ταυτόχρονα;**

Επιβεβαιώστε την απάντησή σας με πείραμα.

Για να εισάγετε ένα ή περισσότερα λάθη στο άκρο αποστολής του συστήματος μπορούμε να αλλάξουμε το διακόπτη «format» στον Πομπό στη θέση «8 bits» και να παράγουμε τη δική μας κωδική λέξη των επτά bit δεδομένων και ενός bit ισοτιμίας.

Καταγράψτε μια πληθώρα οκτώ-bit λέξεων δεδομένων, κάποιες με άρτια και κάποιες με περιττή ισοτιμία, σε ένα πίνακα, όπως στο σχήμα 4.3 που δίνεται στο τέλος της εργασίας. Ολοκληρώστε κάθε είσοδο δηλώνοντας αν η ισοτιμία είναι περιττή ή άρτια. Στη συνέχεια αρχικοποιήστε κάθε μία από τις λέξεις στον Πομπό και σημειώστε στην τρίτη στήλη αν δηλώθηκε σφάλμα ισοτιμίας στο δέκτη.

Σε μια οκτώ-bit κωδική λέξη έχουμε αναθέσει ένα bit για την ανίχνευση σφαλμάτων, αφήνοντας επτά bits για τη μετάδοση της πληροφορίας. Αυτό μειώνει τον αριθμό των μεμονωμένων χαρακτήρων που μπορούν να σχηματιστούν από μια λέξη δεδομένων από 256 σε 128, αλλά παρέχει τη δυνατότητα να μπορεί να ανιχνευθεί ένα μόνο λάθος, ή ένας περιττός αριθμός σφαλμάτων.

### Διόρθωση σφαλμάτων

Έχουν επινοηθεί πιο σύνθετοι έλεγχοι ισοτιμίας που προσδιορίζουν τη θέση του εσφαλμένου bit και επομένως καθίσταται δυνατόν να μπορεί η κωδική λέξη να διορθωθεί από το δέκτη. Μια μέθοδος διόρθωσης σφάλματος, θα διερευνηθεί στην επόμενη πρακτική άσκηση.

Για να είναι δυνατόν να ανιχνευθεί και να διορθωθεί ένα λάθος, ο δέκτης χρειάζεται περισσότερες πληροφορίες, και αυτό εξασφαλίζεται από τη μετάδοση επιπλέον ψηφίων ή «bits ελέγχου». Τότε η πλήρης κωδική λέξη θα περιέχει bits δεδομένων και bits ελέγχου που είναι τοποθετημένα σε μια συγκεκριμένη σειρά.

Στο δέκτη, ξεχωριστοί έλεγχοι ισοτιμίας εφαρμόζονται σε συγκεκριμένες ομάδες bits της κωδικής λέξης. Αυτοί οι έλεγχοι μπορούν να εντοπίσουν ποιο bit είναι λάθος. Στη συνέχεια είναι απλό να διορθωθεί (δεδομένου ότι η μόνη άλλη δυνατή τιμή πρέπει να είναι σωστή).

Υπάρχουν πολλοί κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που είναι γνωστοί ως Hamming κώδικες από τον δημιουργό, R.W. Hamming. Το σύστημα διόρθωσης σφαλμάτων που χρησιμοποιείται στο παρόν σύστημα είναι μια τροποποιημένη έκδοση ενός από τους Hamming κώδικες. Σε αυτό, η οκτώ-bit κωδική λέξη περιλαμβάνει τέσσερα bits δεδομένων, τρία bits ελέγχου και ένα bit συνολικής ισοτιμίας. Επιτρέπει να διορθωθεί ένα λάθος bit και να εντοπιστούν δύο λάθος bits αλλά χωρίς να διορθωθούν.

Για να κατανοήσουμε πως λειτουργεί το κύκλωμα ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων μπορούμε να ακολουθήσουμε τη διαδικασία που χρησιμοποιείται στον Πομπό για να κατασκευάσουμε μία οκτώ-bit κωδική λέξη από τη 4-bit λέξη δεδομένων και στο Δέκτη να εντοπίσουμε τη θέση ενός λάθος bit και να κάνουμε την απαραίτητη διόρθωση.

### Ερώτηση 4.3

**Τι συμβαίνει στην πληθώρα διαφορετικών λέξεων δεδομένων που μπορούν να μεταδοθούν όταν ο αριθμός των bits δεδομένων μειώνεται κατά ένα;**

Η οκτώ-bit κωδική λέξη περιέχει τέσσερα bits δεδομένων, όπου αναγράφονται ως 1 (MSB), 2, 3, 4 από το αριστερό ή το πιο σημαντικό bit, ακολουθούμεθα από τρία bits ελέγχου στις θέσεις 5,6,7. Η λέξη ολοκληρώνεται με ένα bit ελέγχου συνολικής ισοτιμίας στη θέση 8 (LSB).

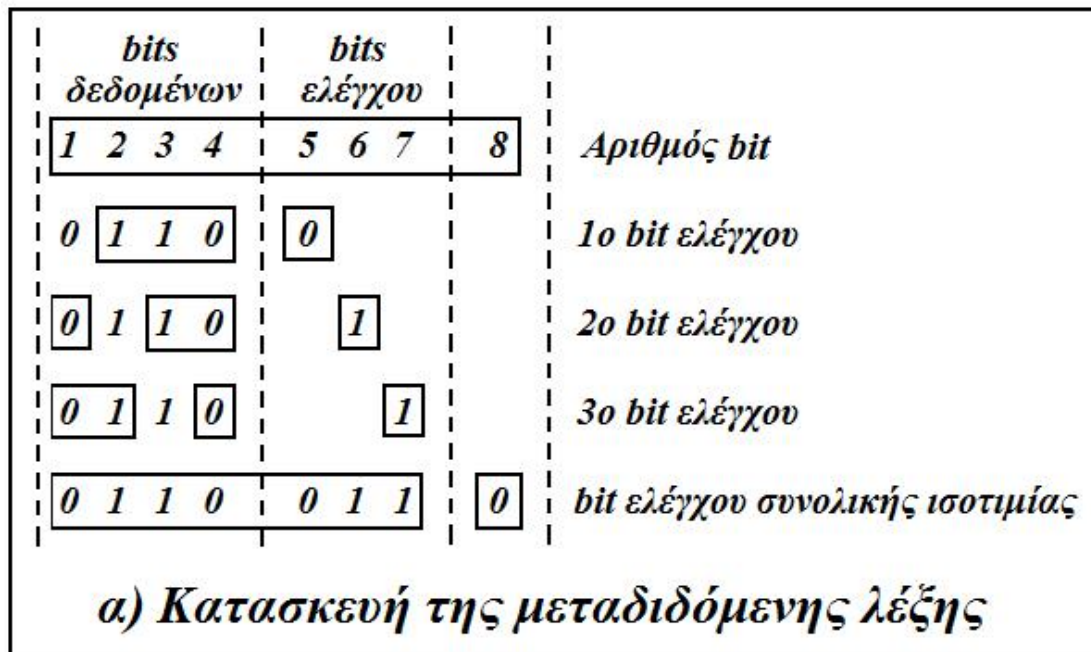
Στον Πομπό οι ακόλουθοι ξεχωριστοί έλεγχοι ισοτιμίας πραγματοποιούνται στα τρία από τα τέσσερα bits δεδομένων.

- $1^{ος}$  έλεγχος: bits 2, 3, 4
- $2^{ος}$  έλεγχος: bits 1, 3, 4
- $3^{ος}$  έλεγχος: bits 1, 2, 4

Ως αποτέλεσμα ένα bit 1 ή ένα 0, θα αποδοθεί σε κάθε bit ελέγχου για να διατηρηθεί η άρτια ισοτιμία σε κάθε ομάδα, έτσι ώστε να συμπληρωθεί μια επτά-bit κωδική λέξη.

Τέλος, ένας συνολικός έλεγχος ισοτιμίας πραγματοποιείται στη επτά-bit λέξη και ένα τελικό ψηφίο διατίθεται για να δώσει άρτια ισοτιμία για την προκύπτουσα οκτώ-bit κωδική λέξη.

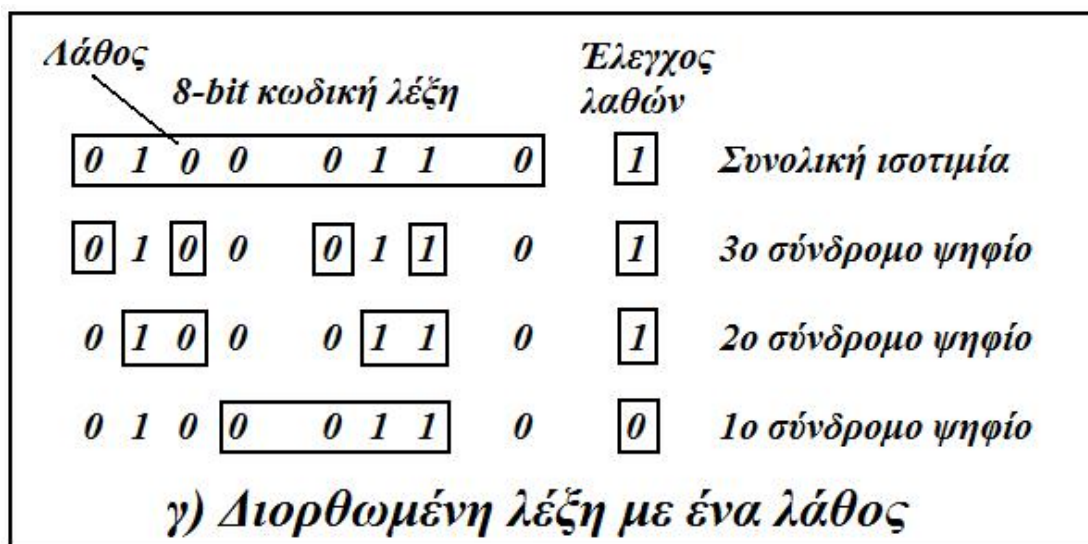
Η διαδικασία αυτή απεικονίζεται στο σχήμα 4.4α, έχοντας ως παράδειγμα τη λέξη δεδομένων 0110.



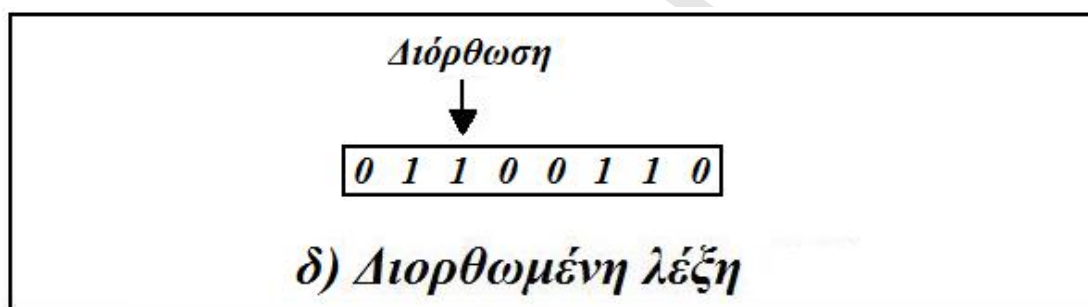
Σχήμα 4.4α



Σχήμα 4.4β



Σχήμα 4.4γ



Σχήμα 4.4δ

Στο Δέκτη, εφαρμόζονται έλεγχοι σφαλμάτων ισοτιμίας στις ακόλουθες ομάδες από bits της κωδικής λέξης και αποδίδουν το ψηφίο 1 στο αποτέλεσμα, αν υπάρχει ένα σφάλμα ισοτιμίας ή το ψηφίο 0 αν δεν υπάρχει σφάλμα ισοτιμίας.

- Συνολικός έλεγχος ισοτιμίας                      bits 1 έως 8
- Πρώτος έλεγχος θέσης σφάλματος                bits 4,5,6,7
- Δεύτερος έλεγχος θέσης σφάλματος            bits 2,3,6,7
- Τρίτος έλεγχος θέσης σφάλματος                bits 1,3,5,7

Βλ. Σχήμα 4.4β και 4.4γ.

Ο πρώτος από τους ελέγχους είναι ένας συνολικός έλεγχος ισοτιμίας που δηλώνει την παρουσία ή την απουσία ενός μόνο σφάλματος.

Οι επόμενοι τρεις έλεγχοι ισοτιμίας θα εντοπίσουν, ή θα υποδείξουν, τη θέση ενός μόνο σφάλματος, εάν εμφανίζεται στα πρώτα επτά bits της κωδικής λέξης.

Μπορούμε να δούμε πώς γίνεται αυτό αναφερόμενοι στο σχήμα 4.5, που ορίζει κάθε ένα από τα επτά πρώτα bits με έναν δεκαδικό αριθμό και το δυαδικό ισοδύναμο του.

1	2	3	4	5	6	7	
001	010	011	100	101	110	111	
■		■		■		■	3ος έλεγχος
	■	■			■	■	2ος έλεγχος
			■	■	■	■	1ος έλεγχος

Σχήμα 4.5

Παρατηρήστε ότι ο πρώτος έλεγχος θέσης σφάλματος καλύπτει όλους τους αριθμούς bit που ξεκινάνε με το ψηφίο 1, ο δεύτερος έλεγχος καλύπτει εκείνους με το ψηφίο 1 στο κέντρο και ο τρίτος έλεγχος καλύπτει εκείνους που τελειώνουν με το ψηφίο 1.

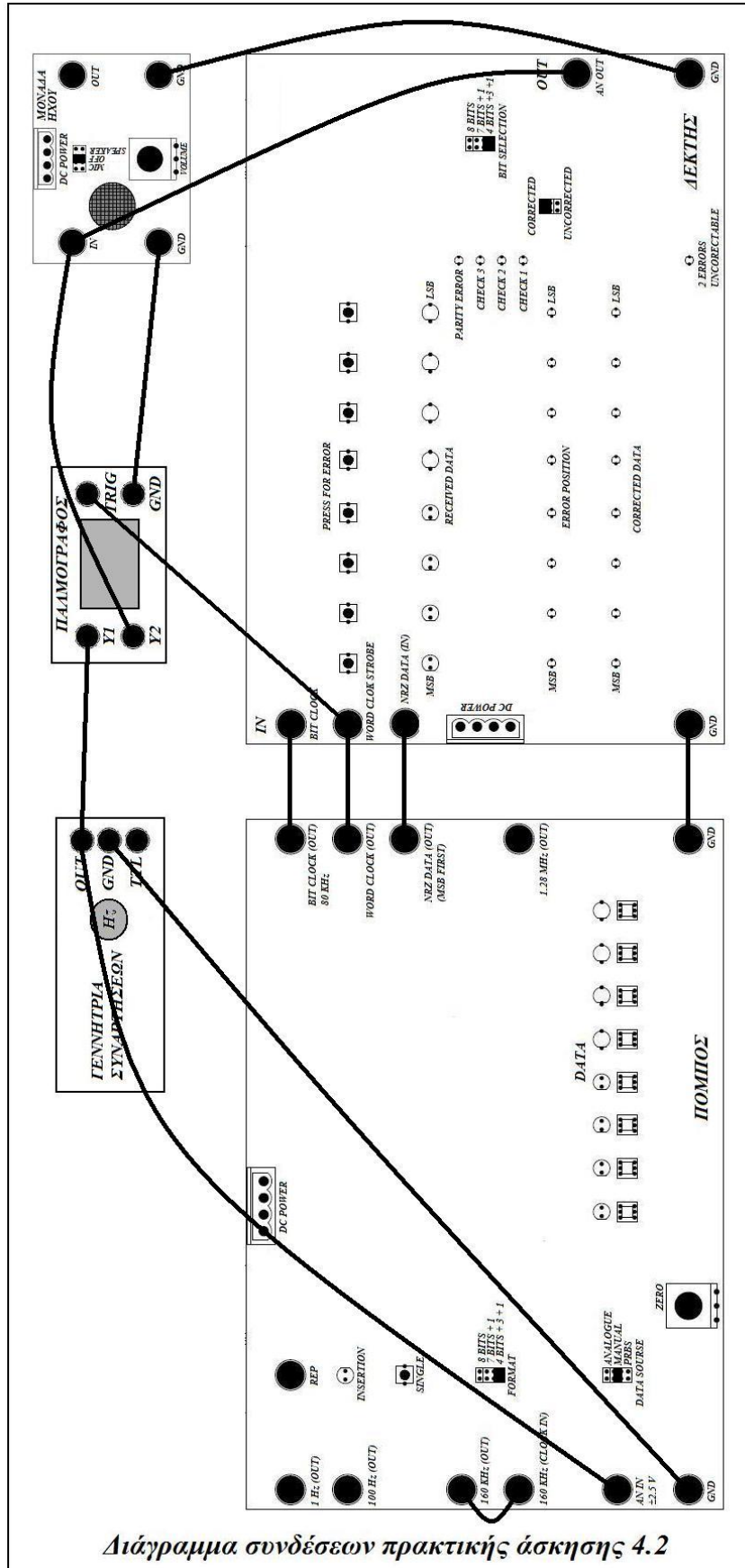
Μπορούμε πλέον να εκφράσουμε τα αποτελέσματα των τριών ελέγχων άρτιας ισοτιμίας ως έναν τριψήφιο δυαδικό αριθμό που θα δείχνει τη θέση ενός σφάλματος στη κωδική λέξη. Για παράδειγμα, εάν ο πρώτος και ο δεύτερος έλεγχος δείξουν λάθη ισοτιμίας και ο τρίτος έλεγχος δεν δείξει κανένα λάθος, ο προκύπτων δυαδικός αριθμός θα είναι 110, δείχνοντας ένα λάθος στο bit 6. Ο δυαδικός αριθμός που προέρχεται από τους μεμονωμένους ελέγχους ισοτιμίας είναι γνωστός ως *σύνδρομο*. Αν δεν υπάρχουν λάθη, κάθε σύνδρομο ψηφίο θα είναι μηδενικό.

Αναφερόμενοι στο σχήμα 4.4γ, η θέση του σφάλματος παράγει σύνδρομο 011 που είναι ο δυαδικός αριθμός 3. Το bit 3 πρέπει να αλλάξει από 0 σε 1 για να διορθωθεί αυτό το λάθος.

#### Ερώτηση 4.4

Ας υποθέσουμε ότι λαμβάνεται μια κωδική λέξη 8-bit ως 10111010. Μπορείτε να ανιχνεύσετε την παρουσία ενός μόνο σφάλματος; Αν ναι μπορείτε να εντοπίσετε το σφάλμα και να το διορθώσετε, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του σχήματος 4.5;





Διάγραμμα συνδέσεων πρακτικής άσκησης 4.2

Σχήμα 4.6

## ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 4.2

### *Διόρθωση σφαλμάτων*

Το πείραμα αυτό θα επεκτείνει την αρχή του ελέγχου ισοτιμίας, έτσι ώστε ο δέκτης να μπορεί να εντοπίσει τη θέση του ενός εσφαλμένου bit και στη συνέχεια να αναπαράγει τη σωστή λέξη. Θα βρούμε επίσης ότι η εμφάνιση δύο σφαλμάτων μπορεί να ανιχνευθεί, αλλά δεν διορθώνεται.

### *Προετοιμασία*

Συνδέστε τον Πομπό, το Δέκτη, τη γεννήτρια συναρτήσεων και τον παλμογράφο, όπως φαίνεται στο σχήμα. 4.6.

Στον Πομπό ρυθμίστε το διακόπτη «data source» στη θέση «manual» και το διακόπτη «format» στη θέση «4 bits + 3 check + 1 parity». Για το πρώτο μέρος του πειράματος θα εξετάσουμε λέξεις δεδομένων που παράγονται από τα οκτώ βασικά κουμπιά. Η γεννήτρια συναρτήσεων και ο παλμογράφος μπορούν να απενεργοποιηθούν και ο διακόπτης της μονάδας Ήχου να ρυθμιστεί στη μεσαία του θέση.

Στον Δέκτη ρυθμίστε το διακόπτη «bit selection» στη θέση «4 bits + 3 check + 1 parity». Η θέση του διακόπτη διόρθωσης δεδομένων δεν έχει σημασία στο πρώτο μέρος του πειράματος.

### *Πρακτική Διαδικασία*

Είσοδος μέσω του πληκτρολογίου:

Στον Πομπό πιάστε το αριστερό κουμπί (MSB) και κρατήστε το πατημένο. Μετά από ένα δευτερόλεπτο, οι ενδείκτες led θα απεικονίσουν τέσσερα bits με κόκκινο και τέσσερα bits με πράσινο. Τα πράσινα bits ελέγχου δεν είναι υπό τον άμεσο έλεγχό σας, αλλά ρυθμίζονται αυτόματα καθώς τα τέσσερα κόκκινα bits αλλάζουν. Όπως και σε προηγούμενες εργασίες, το ψηφίο 1, υποδεικνύεται, όταν ο ενδείκτης led είναι αναμμένος και το ψηφίο 0, όταν ο ενδείκτης led είναι σβηστός.

Πατήστε το δεξί (LSB) κουμπί και κρατήστε το πατημένο για ένα δευτερόλεπτο. Όλοι οι ενδείκτες led θα σβήσουν, υποδεικνύοντας ότι όλα τα bits είναι μηδέν.

Δημιουργήστε οποιοδήποτε συνδυασμό από τα κουμπιά για τα τέσσερα bit δεδομένων και παρατηρήστε ότι το δεξί bit ισοτιμίας (LSB) γίνεται είτε 1 ή 0, έτσι ώστε να διατηρηθεί η άρτια ισοτιμία για τη συνολική κωδική λέξη. Σημειώστε ότι τα άλλα τρία bits ελέγχου επίσης παρέχουν άρτια ισοτιμία για τις επιλεγμένες ομάδες bit δεδομένων. Ελέγξτε το δημιουργώντας πολλές διαφορετικές λέξεις δεδομένων.

Αν παρατηρήσουμε τώρα τους ενδείκτες led «received data» στον Δέκτη, θα διαπιστώσουμε ότι η ένδειξη ταιριάζει απόλυτα με την κωδική λέξη που στάλθηκε από τον Πομπό.

Για να προσομοιωθεί ένα σφάλμα στη ληφθείσα κωδική λέξη, πατήστε με τη σειρά καθένα από τα κουμπιά σφάλματος στον Δέκτη. Παρατηρήστε ότι σε κάθε περίπτωση

ένα διαφορετικό σύνολο των εσφαλμένων σημάτων εμφανίζεται στην κατακόρυφη στήλη των ενδεικτών led. Κάθε συνδυασμός εσφαλμένων σημάτων αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο εσφαλμένο bit στην κωδική λέξη. Συνεπώς, είναι δυνατό ο δέκτης να προσδιοριστεί το εσφαλμένο bit και να το διορθώσει.

Στο κάτω μέρος του Δέκτη οι ενδείκτες led «error position» δείχνουν το bit που είναι εσφαλμένο και οι ενδείκτες led «corrected data» δείχνουν την κωδική λέξη όπως στάλθηκε από τον Πομπό.

Για να αποδειχθεί ότι δύο λάθη στη ληφθείσα κωδική λέξη μπορούν να ανιχνευθούν, αλλά όχι να διορθωθούν, πιέστε οποιοδήποτε δύο κουμπιά σφάλματος ταυτόχρονα. Παρατηρήστε ότι αν και οι ενδείκτες led σηματοδοσίας σφάλματος δεν μπορούν να προσδιορίσουν τα εσφαλμένα bits, ο χαμηλότερος ενδείκτης led με την ένδειξη «2 errors uncorrectable» είναι αναμμένο.

#### Αναλογική Είσοδος:

Μπορούμε να παρατηρούμε την επίδραση της εισαγωγής και διόρθωσης σφαλμάτων σε μια ψηφιακά κωδικοποιημένη αναλογική κυματομορφή, χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό και τις συνδέσεις που εμφανίζονται στο σχήμα 4.6.

Ρυθμίστε τη συχνότητα της γεννήτριας συναρτήσεων στα 300 Hz και το επίπεδο εξόδου της στα μηδέν volt. Ρυθμίστε τα κανάλια Y1 και Y2 στον παλμογράφο στα 2/div και την χρονική βάση στα 1ms/div.

Τοποθετήστε το διακόπτη «data source» στη θέση «ADC», αφήνοντας το διακόπτη «format» στη θέση «4 bits + 3 check + 1 parity». Τοποθετήστε τους διακόπτες στον Δέκτη στις θέσεις «4 bits + 3 check + 1 parity» και «uncorrected». Τοποθετήστε τον διακόπτη στην μονάδα Ήχου στη θέση «speaker» και τον ρυθμιστή έντασης εντελώς προς τα αριστερά.

Το σύστημα είναι πλέον έτοιμο για να κωδικοποιήσει ψηφιακά μια αναλογική είσοδο και να μετατρέψει τα ληφθέντα δεδομένα σε μια αναπαραγωγή δεκαέξι επιπέδων της αρχικής κυματομορφής.

Αυξήστε την έξοδο της γεννήτριας συναρτήσεων στα 4V από κορυφή σε κορυφή και παρατηρήστε στον παλμογράφο την κυματομορφή που εφαρμόζεται στον Πομπό και την ανακτημένη κυματομορφή από την έξοδο του δέκτη. Καθώς χρησιμοποιούμε μόνο τεσσάρων-bit σήμα δεδομένων οι βαθμίδες στην έξοδο της κυματομορφής είναι αρκετά εμφανής.

Σημειώστε επίσης ότι όλοι οι ενδείκτες led των ληφθέντων και διορθωμένων δεδομένων είναι αναμμένοι. Αυτό οφείλεται στον υψηλό ρυθμό μεταφοράς λέξεων δεδομένων που απαιτείται για να ακολουθήσει την αλλαγή του πλάτους της αναλογικής κυματομορφής. Αν μειώσουμε τη συχνότητα της γεννήτριας συναρτήσεων στα 0.1 Hz, οι ενδείκτες led θα πρέπει να ανάβουν και να σβήνουν με μια λογική αλληλουχία.

Επιστρέψτε τη συχνότητα της γεννήτριας συναρτήσεων στα 300 Hz και περιστρέψτε το κουμπί έντασης στην μονάδα Ήχου μέχρι να ακουστεί ένας σταθερός τόνος.

Πατήστε στον Δέκτη κάθε ένα από τα κουμπιά σφάλματος με τη σειρά, ξεκινώντας με το bit δεδομένων 1 (MSB). Παρατηρήστε ότι σε κάθε περίπτωση, η κυματομορφή

εξόδου παραμορφώνεται και ότι ένα σφάλμα στο πιο σημαντικό bit παράγει τη μεγαλύτερη διαταραχή της κυματομορφής. Η έξοδος της μονάδας Ήχου θα παραμορφωθεί επίσης, με τον αρχικό ήχο σχεδόν να κατακλύζεται από την εμφάνιση της διαταραχής.

Τώρα ρυθμίστε το διακόπτη διόρθωσης δεδομένων στη θέση «corrected» και ξανά εφαρμόστε ένα σφάλμα για κάθε bit δεδομένων με τη σειρά. Η κυματομορφή εξόδου και η ένταση ήχου θα παραμείνει ανεπηρέαστη, δείχνοντας ότι το σύστημα διόρθωσης σφαλμάτων είναι αποτελεσματικό.

Πατήστε οποιαδήποτε δύο κουμπιά σφάλματος ταυτόχρονα. Η εμφάνιση των δύο σφαλμάτων σε κάθε κωδική λέξη δεν μπορεί να διορθωθεί και η κυματομορφή εξόδου συνεπώς παραμορφώνεται. Ο ενδείκτης led «2 errors uncorrectable» θα είναι αναμμένος.

### Ερώτηση 4.5

**Εάν τώρα πατήσετε τα κουμπιά σφάλματος που σχετίζονται και με τα τέσσερα bits δεδομένων, ο παλμογράφος θα δείξει την ίδια βαθμιδωτή κυματομορφή με αυτή που δεν έχει σφάλματα, αλλά μετατοπισμένη κατά 180°. Μπορείτε να το εξηγήσετε αυτό;**

### ΣΥΝΟΨΗ

Η ισοτιμία μιας λέξης δεδομένων καλείται άρτια αν είναι άρτιος ο αριθμός των bits με τιμή 1 στη λέξη, ή περιττή αν είναι περιττός ο αριθμός 1s στη λέξη.

Ο έλεγχος ισοτιμίας είναι μια μέθοδος ανίχνευσης μονών σφαλμάτων σε κάθε λέξη δεδομένων, χρησιμοποιώντας ένα bit σε κάθε λέξη ως bit ελέγχου, του οποίου η τιμή επιλέγεται ούτως ώστε η ισοτιμία να είναι άρτια (ή περιττή ανάλογα το πως ορίζεται από το σύστημα). Στο δέκτη η ισοτιμία κάθε ληφθείσας λέξης αξιολογείται και αναφέρεται ένα σφάλμα, αν δεν είναι η καθορισμένη ισοτιμία. Η φύση του σφάλματος δεν μπορεί να προσδιορισθεί στον δέκτη και πολλαπλά λάθη δεν εντοπίζονται.

Θέτοντας περισσότερα bits έλεγχου καθίσταται δυνατό να ανιχνευθεί όχι μόνο η ύπαρξη αλλά και η θέση ενός μονού σφάλματος, ώστε να μπορεί να διορθωθεί.

Σε αυτή την εργασία η μέθοδος διόρθωσης σφαλμάτων ενέπλεκε πολλαπλούς ελέγχους ισοτιμίας για διαφορετικές επιλογές των bits. Για μονά σφάλματα, εκτός από το συνολικό bit ισοτιμίας που αναφέρει το σφάλμα, οι επιλεκτικοί έλεγχοι ισοτιμίας παρήγαγαν τρία bits σύνδρομο, τα οποία σε συνδυασμό καθορίζουν τη θέση σφάλματος. Το σύστημα επίσης αναφέρει σφάλματα δύο-bit αλλά δεν μπορεί να τα εντοπίσει ή να τα διορθώσει.

### ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ

Η αρχή ελέγχου ισοτιμίας χρησιμοποιείται από τα περισσότερα συστήματα ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να αφαιρεθούν τα σφάλματα στα ληφθέντα δεδομένα υπάγονται σε δύο κατηγορίες, και οι δύο βασίζονται σε ελέγχους ισοτιμίας.

Στη πρώτη κατηγορία, που είναι γνωστή ως «εμπροσθόδοτος έλεγχος σφαλμάτων», σφάλματα ανιχνεύονται και διορθώνονται, στο μέτρο του δυνατού, στο εσωτερικό του δέκτη χωρίς επαναμετάδοση της πληροφορίας. Η δεύτερη ευρέως χρησιμοποιούμενη κατηγορία, είναι γνωστή ως «αυτόματη επαναμετάδοση κατόπιν αιτήσεως». Σε αυτή, εφαρμόζεται μια σύνθετη διαδικασία ελέγχου σε τμήματα (block) ληφθέντων δεδομένων. Η ανίχνευση ενός σφάλματος σε οποιοδήποτε block προκαλεί ένα σήμα που στέλνεται στον Πομπό μέσω ενός ξεχωριστού καναλιού και αυτό το block στη συνέχεια μεταδίδεται εκ νέου αυτόματα. Με τη τελευταία αυτή μέθοδο κερδίζουμε πληθώρα bits που απαιτούνται κατά την αρχική μετάδοση, αλλά απαιτεί την επαναμετάδοση, όταν παρουσιάζονται σφάλματα.

Το παρόν σύστημα χρησιμοποιεί ένα εμπροσθόδοτο έλεγχο σφάλματος στον οποίο τα δεδομένα και τα bits ελέγχου διακρίνονται εύκολα, καθιστώντας δυνατές τις διαδικασίες ελέγχου ισοτιμίας και διόρθωσης σφαλμάτων να ακολουθούν βήμα προς βήμα. Στην πράξη, τα συστήματα μπορούν να εφαρμόσουν μια πιο αυστηρή διαδικασία ανίχνευσης και διόρθωσης σφάλματος στα λογικά κυκλώματα του δέκτη. Συγκεκριμένοι κώδικες εμπροσθόδοτης διόρθωσης σφάλματος έχουν αναπτυχθεί για να δώσουν μεγαλύτερη ανοσία σε πολλαπλά σφάλματα.

Γενικά, μέθοδοι αυτόματης επαναμετάδοσης μπορούν να μειώσουν παραμένοντα λάθη σε πολύ χαμηλό επίπεδο, αλλά απαιτούν ένα κανάλι επιστροφής. Η εμπροσθόδοτη διόρθωση σφαλμάτων μπορεί να διορθώσει ένα ή δύο εσφαλμένα bit σε μια κωδική λέξη και χρησιμοποιείται όταν δεν είναι διαθέσιμο ένα κανάλι επιστροφής.

Σε κάθε σύστημα, η μεγαλύτερη ανοσία σε σφάλματα επιτυγχάνεται με την αύξηση του αριθμού των bits ελέγχου στην κωδική λέξη. Ωστόσο, για ένα σταθερό μήκος λέξης, η βελτίωση στην ακρίβεια συνοδεύεται από μείωση του ρυθμού μεταφοράς πληροφορίας. Η μείωση του αριθμού των bits δεδομένων κατά ένα θα μειώσει στο ήμισυ τον αριθμό των συνδυασμών bit που διατίθενται για τη μετάδοση της πληροφορίας.

Κατά την αποστολή αναλογικών σημάτων έχουμε δει ότι ένα απλό σφάλμα στη λέξη δεδομένων οδηγεί σε σημαντική μεταβολή στην ανακατασκευασμένη κυματομορφή και, όπως πιθανόν αναμένεται, ένα λάθος στο πρώτο, πιο σημαντικό bit προκαλεί τη μεγαλύτερη μεταβολή που μπορεί να συμβεί. Εάν το πλάτος της κυματομορφής εισόδου, από κορυφή σε κορυφή, κβαντίζεται σε 16 επίπεδα, ένα σφάλμα στο πρώτο bit δεδομένων παράγει μια μετατόπιση των 8 επιπέδων ή κατά το ήμισυ του πλάτους από κορυφή σε κορυφή. Ομοίως σφάλματα στο δεύτερο, τρίτο και τέταρτο bit προκαλούν μετατοπίσεις 4, 2 και 1 επιπέδων αντίστοιχα. Αντίθετα, κατά την αποστολή μεμονωμένων γραμμάτων ή αριθμών ένα σφάλμα στο λιγότερο σημαντικό bit μπορεί να είναι εξίσου σημαντικό με το αν συμβεί στο πιο σημαντικό bit.

## Τυπικά αποτελέσματα και απαντήσεις της Εργασίας 4

### Ερώτηση 4.1

Η «όλα μηδέν» λέξη δεδομένων θα απαιτήσει ένα 0 bit ισοτιμίας για τη διατήρηση της άρτιας ισοτιμίας.

### Ερώτηση 4.2

Όταν πιεστούν πάνω από ένα κουμπιά σφάλματος, κάθε επιπλέον κουμπί αλλάζει την ισοτιμία από άρτια σε περιττή και αντιστρόφως. Επομένως δύο λάθη θα αφήσουν την αρχική άρτια ισοτιμία και το τρίτο σφάλμα θα την αλλάξει και πάλι σε περιττή.

### Ερώτηση 4.3

Η μείωση του αριθμού των bits δεδομένων κατά ένα, μειώνει στο μισό τον αριθμό των διαφορετικών λέξεων δεδομένων που μπορούν να μεταδοθούν.

### Ερώτηση 4.4

- Υπάρχουν πέντε 1 στη λέξη, που δίνουν περιττή ισοτιμία, η οποία είναι εσφαλμένη.
- Οι έλεγχοι που αναφέρονται στο σχήμα 4.5 δίνουν τα ψηφία 0, 0 και 1, άρα η θέση δίνεται από τη δυαδική θέση 100, δηλαδή τη θέση 4.
- Η σωστή λέξη ως εκ τούτου πιθανώς θα βρεθεί με την αλλαγή του bit 4, που δίνει 10101010.

Ας σημειωθεί όμως ότι οι απαντήσεις b) και c) ανωτέρω θα είναι λάθος εάν ο αριθμός των εσφαλμένων bits δεν ήταν ένα, αλλά 3, 5 ή 7.

### Ερωτήσεις 4.5

Αν όλα τα τέσσερα bits δεδομένων αντιστραφούν, τότε όλα τα μηδενικά γίνονται άσσοι και αντίστροφα. Έτσι:

1111 γίνεται 0000

1110 γίνεται 0001

1101 γίνεται 0010 και ούτω καθεξής.

Στην πραγματικότητα, αναστρέφοντας όλα των bits, γίνεται ανταλλαγή των άκρων της κλίμακας, μετακινώντας τη μία βαθμίδα προς τα κάτω και την άλλη προς τα πάνω. Η κυματομορφή κατά συνέπεια αντιστρέφεται, δηλαδή ακυρώνεται από την αντιστροφή των bit.

Λέξη δεδομένων	Ισοτιμία		Λάθος ισοτιμίας
	Περιτή	Άρτια	

Πίνακας αποτελεσμάτων για την Εργασία 4

Σχήμα 4.3

## ΕΡΓΑΣΙΑ 5

### ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ ΧΡΟΝΙΣΜΟΥ (NRZ ΔΕΔΟΜΕΝΑ)

#### ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται η εξαγωγή της πληροφορίας χρονισμού από NRZ δυαδικά σήματα. Παρουσιάζονται βήμα προς βήμα τα στάδια στην αναγέννηση και τον συγχρονισμό του bit clock και του word clock.

Ερευνώνται τα αποτελέσματα της εφαρμογής συγχρονισμένων και ασυγχρόνιστων λέξεων δεδομένων και αναλογικών κυματομορφών στο σύστημα.

#### ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Πομπός
1	Αναγεννητής Χρονισμού Δεδομένων
1	Ανάκτηση Δεδομένων
1	Δέκτης
1	Μονάδα Ήχου
1	Τροφοδοτικό
1	Γεννήτρια συναρτήσεων
1	Παλμογράφος 2 καναλιών με εξωτερικό σκανδαλισμό

#### ΣΤΟΧΟΙ

Όταν θα έχετε ολοκληρώσει αυτή την εργασία θα πρέπει να γνωρίζετε ότι:

- Δεν απαιτούνται ξεχωριστά κανάλια bit clock και word clock όταν αυτά τα σήματα χρονισμού δημιουργούνται μέσα στον δέκτη και συγχρονίζονται με τα αντίστοιχα bit clock και word clock του Πομπού από την εισερχόμενη ροή δεδομένων.
- Κάποια μορφή «μαρκαρίσματος» πρέπει να περικλείεται στη μεταδιδόμενη ροή δεδομένων προκειμένου να μπορεί να διαχωριστεί η αρχή της λέξης από τα άλλα bits δεδομένων.

#### ΕΠΙΠΕΔΟ ΓΝΩΣΕΩΝ

Πριν από την έναρξη αυτής της εργασίας θα πρέπει να γνωρίζετε ότι:

- Η πληροφορία μεταδίδεται από λέξεις δεδομένων που περιέχουν ένα συγκεκριμένο αριθμό δυαδικών ψηφίων.
- Κάποια μορφή συγχρονισμού είναι απαραίτητη μεταξύ του δέκτη και του εισερχόμενου σήματος για να διασφαλιστεί η σωστή ανάκτηση των δεδομένων.



- Εάν ένα γεγονός μπορεί να συμβεί με  $a$  τρόπους και να αποτύχει με  $b$  τρόπους, όπου καθένας από τους  $a+b$  τρόπους έχουν την ίδια πιθανότητα εμφάνισης, τότε η πιθανότητα να συμβεί το γεγονός είναι ο λόγος  $\frac{a}{a+b}$ .

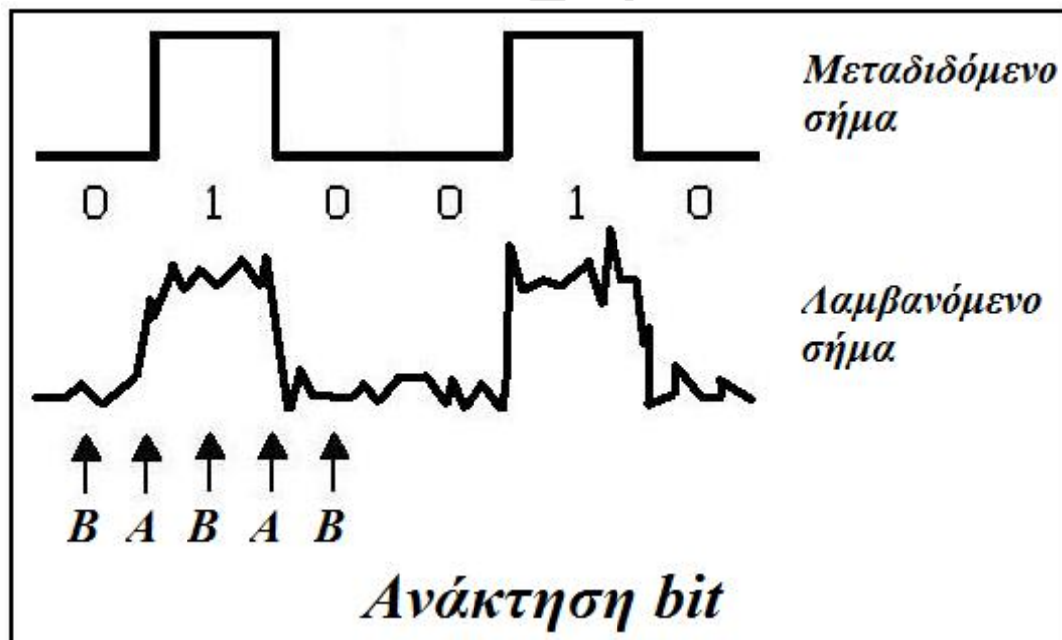
### ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Συνδέστε το τροφοδοτικό με το ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά μην το ενεργοποιείτε ακόμη. Συνδέστε τα καλώδια τροφοδοσίας DC στον Πομπό, στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων, στο Δέκτη, στη μονάδα Ανάκτησης Δεδομένων και στη μονάδα Ήχου (Όλες αυτές οι υποδοχές είναι πανομοιότυπες).

Μόνο όταν όλες οι συνδέσεις τροφοδοσίας έχουν πραγματοποιηθεί, μπορεί η τροφοδοσία να ενεργοποιηθεί.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι σαφώς ενοχλητικό, αν, για να σταλεί μια μόνο ροή πληροφορίας, χρειαζόμαστε τρία κανάλια, ένα για τα δεδομένα, ένα για το bit clock και ένα για το word clock. Ωστόσο, ο χρονισμός είναι σημαντικός. Αν δεν υπάρχει κάποια μορφή bit clock, ο δέκτης δεν γνωρίζει, βλέπε Σχήμα 5.1, αν πρέπει να εξετάσει την κατάσταση των σημάτων στα στιγμιότυπα A, ή στα στιγμιότυπα B. Το σήμα είναι σε μια αόριστη κατάσταση στα στιγμιότυπα A, επομένως θα επιλέγεται συχνά η λάθος τιμή ενός bit. Για την ακριβή λήψη, κάθε bit πρέπει να εξεταστεί στο κέντρο της περιόδου του bit, όπως στα στιγμιότυπα B.



Σχήμα 5.1

Το word clock είναι το ίδιο απαραίτητο. Για να δει κανείς γιατί, σκεφτείτε τι θα συνέβαινε όταν η ακόλουθη ροή των 8-bit λέξεων δεδομένων μεταδοθεί:

... 0 1 0 0 1 1 0 0 0 1 0 0 1 1 0 0 0 1 0 0 1 1 0 0 0 ...

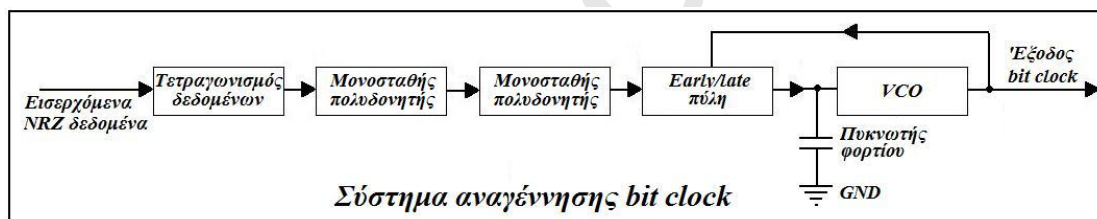
Εάν ο δέκτης έχει μόνο την πληροφορία bit clock θα μπορούσε να υποθέσει ότι μια λέξη ξεκινούσε

- Στο δεύτερο bit, δίνοντας τη λέξη 1 0 0 1 1 0 0 0 επαναλαμβανόμενη
- Ή στο τρίτο bit, δίνοντας τη λέξη 0 0 1 1 0 0 0 1 επαναλαμβανόμενη, και ούτω καθεξής, έως ότου...
- το όγδοο bit, δίνοντας τη λέξη 0 0 1 0 0 1 1 0 επαναλαμβανόμενη.

Από τα οκτώ πιθανά σημεία εκκίνησης μόνο ένα είναι το σωστό, επομένως τα ληφθέντα δεδομένα είναι επτά φορές πιο πιθανό να είναι λάθος, παρά σωστά.

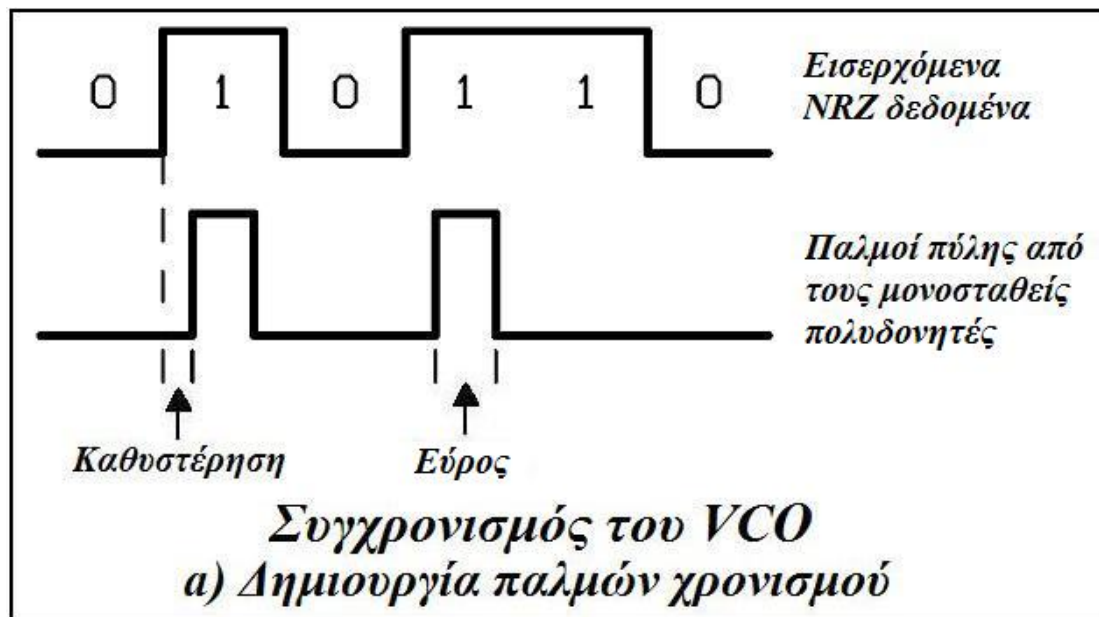
Υπάρχουν πολλές διαφορετικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην πράξη για να καταστήσουν ικανά τα bit και word clock στο δέκτη να συγχρονιστούν με αυτά του πομπού, χρησιμοποιώντας μόνο τη ροή δεδομένων που αποστέλλεται σε ένα μόνο κανάλι.

Τα στοιχεία του συστήματος για την αναγέννηση του bit clock που χρησιμοποιούνται στο Δέκτη φαίνεται στο σχήμα 5.2. Η μορφή των δεδομένων υποτίθεται ότι είναι NRZ.



Σχήμα 5.2

Οι εισερχόμενοι παλμοί δεδομένων τετραγωνίζονται και εφαρμόζονται σε δύο μονοσταθείς πολυδονητές (παλμογεννήτριες) στη σειρά. Αυτοί ενεργούν από κοινού για να παράγουν έναν παλμό πύλης προκαθορισμένης διάρκειας για κάθε θετικό απερχόμενο μέτωπο των παλμών NRZ δεδομένων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.3α. Πρέπει να σημειωθεί ότι μια σειρά από δυαδικά 1 θα παράγει μόνο ένα παλμό πύλης και μια σειρά από δυαδικά 0 δεν θα παράγει παλμούς πύλης.

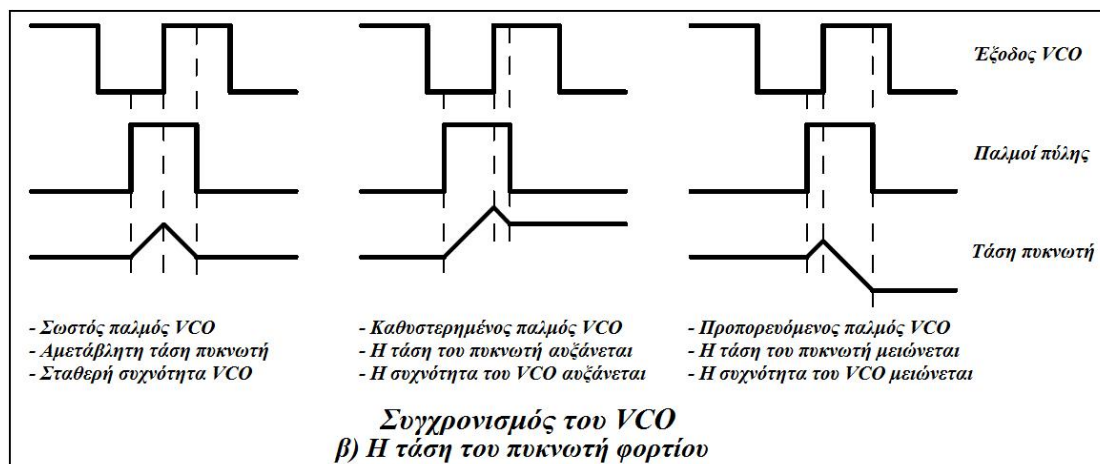


Σχήμα 5.3α

Ο πρώτος μονοσταθής πολυδονητής (παλμογεννήτρια) θα ελέγχει την καθυστέρηση μεταξύ του απερχόμενου μετώπου του παλμού πύλης και αυτού του παλμού δεδομένων. Ο δεύτερος μονοσταθής πολυδονητής (παλμογεννήτρια) ελέγχει το εύρος (διάρκεια) του παλμού πύλης. Οι προσαρμογές αυτές είναι απαραίτητες για την μετέπειτα λειτουργία του αναγεννημένου bit clock.

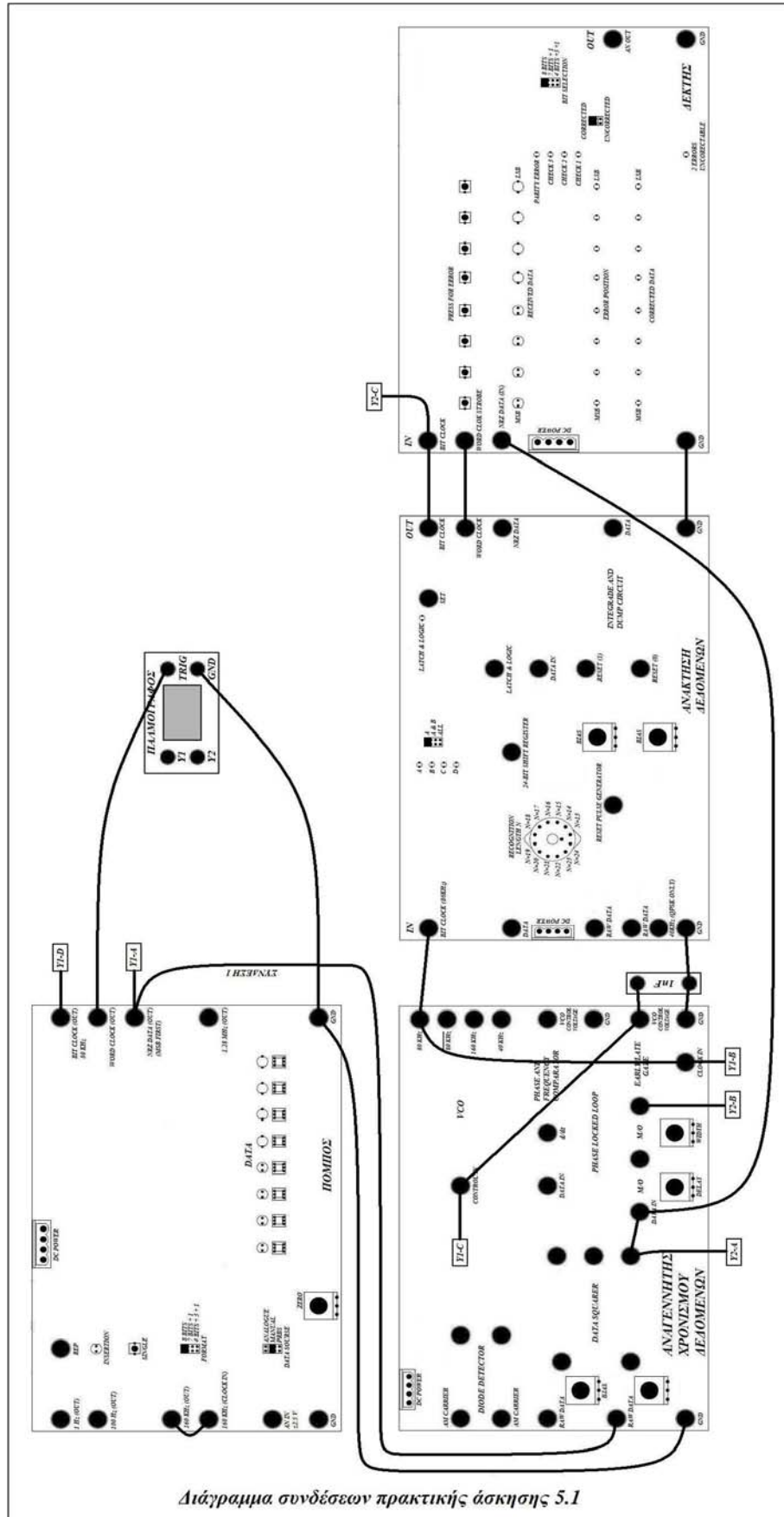
Το bit clock παράγεται από έναν τασιελεγχόμενο ταλαντωτή (Voltage Controlled Oscillator - VCO). Αυτός πρέπει να λειτουργήσει στην ίδια συχνότητα με το bit clock του πομπού, έτσι ώστε τα λαμβανόμενα bits δεδομένων να συνάδουν πάντα με τα αρχικά δεδομένα. Για να συμβεί αυτό η early/late πύλη, ο πυκνωτής φορτίου και ο VCO συνδέονται με τη μορφή ενός κυκλώματος ελέγχου συχνότητας κλειστού βρόχου ή βρόχου με κλείδωμα φάσης.

Η early/late πύλη συγκρίνει την φάση κάθε παλμού πύλης από το μονοσταθή πολυδονητή με ένα αντίστοιχο παλμό που παράγεται από το VCO. Η πύλη αυτή προκαλεί την ροή ρεύματος προς ή από το πυκνωτή φορτίου, παράγοντας έτσι μια αύξηση ή πτώση στην τάση του τερματικού της η οποία θα εξαρτάται από τις καταστάσεις του bit clock και τους παλμούς πύλης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.3β.



Σχήμα 5.3β

Εάν η συχνότητα του VCO είναι σωστή το απερχόμενο μέτωπο του κάθε παλμού χρονισμού θα λάβει χώρα στο κέντρο ενός παλμού πύλης και δεν θα υπάρξει καμία μεταβολή της τάσης του πυκνωτή. Κάθε απόκλιση από αυτή θα προκαλέσει μια αύξηση ή μείωση στη τάση πυκνωτή, που είναι η είσοδος του VCO, αυξάνοντας ή μειώνοντας επομένως τη συχνότητα χρονισμού έως ότου η σωστή σχέση φάσης αποκατασταθεί.



Σχήμα 5.4

**ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 5.1*****Δημιουργία ενός χρονισμού bit (bit clock)***

Σε αυτή την πρακτική άσκηση το bit clock για το λαμβανόμενο σήμα παράγεται στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων. Οι λέξεις που αποστέλλονται από τον Πομπό αναγκάζουν το Δέκτη να απεικονίσει μια λέξη με τον ίδιο αριθμό δυαδικών 1 που περιέχονται και στη λέξη που μεταδίδεται. Ωστόσο, δεν υπάρχει τίποτα στο σύστημα σε αυτό το στάδιο για να διασφαλιστεί ότι η έναρξη της ληφθείσας λέξης δεδομένων είναι η σωστή, οπότε η ανακτημένη λέξη είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα είναι εσφαλμένη.

***Προετοιμασία***

Συνδέστε τον Πομπό, τον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων, τη μονάδα Ανάκτησης Δεδομένων, το Δέκτη και τον παλμογράφο όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 5.4. Τοποθετήστε το πυκνωτή 1nF στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων όπως φαίνεται στο σχήμα.

Στον Πομπό, ρυθμίστε το διακόπτη «format» στα «8 bits» και τον διακόπτη «data source» στη θέση «manual». Στο Δέκτη ρυθμίστε το διακόπτη «bit selection» στη θέση «8 bits». Ρυθμίστε το διακόπτη στην μονάδα Ανάκτηση Δεδομένων στο «A» και το μεταγωγέα «recognition length n» (μήκος λέξης αναγνώρισης) στα  $n = 24$  bits.

Στον παλμογράφο ρυθμίστε τα Y1 και Y2 στα 5V/div, DC-σύζευξη και την χρονική βάση στα 10μs/div, εξωτερικό σκανδαλισμό από μια θετική ακμή.

Συνδέστε το Y1 κανάλι με την NRZ έξοδο του Πομπού (Y1-A στο Σχήμα 5.4) και το Y2 κανάλι με την είσοδο του πρώτου μονοσταθί πολυδονητή στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων (Y2-A στο Σχήμα 5.4).

***Πρακτική Διαδικασία***

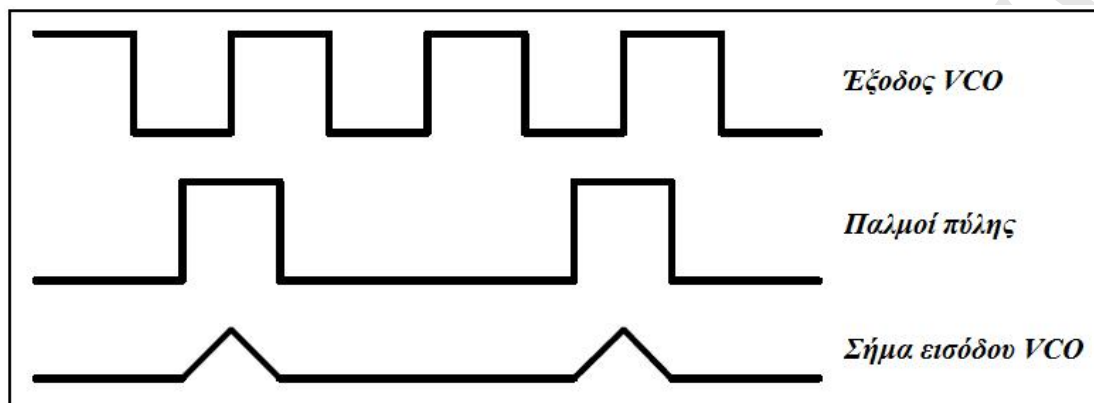
Ρυθμίστε τη σχηματομορφή bit 0 1 0 1 1 0 0 0 στον Πομπό και ελέξτε ότι η αντίστοιχη έξοδος λαμβάνεται στο κανάλι Y1 του παλμογράφου. Στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων τοποθετήστε τον ρυθμιστή πόλωσης «bias» του κυκλώματος τετραγωνισμού δεδομένων «DATA SQUARER» στο κέντρο του εύρους του, που δίνει ένα καθαρό σήμα δεδομένων στο κανάλι Y2.

Μετακινήστε το κανάλι Y1 στην έξοδο bit clock (Y1-B στο σχήμα 5.4) και το κανάλι Y2 στην έξοδο του δεύτερου μονοσταθί πολυδονητή (Y2-B στο σχήμα 5.4) για να δείχνει τους παλμούς πύλης. Τοποθετήστε τον ρυθμιστή καθυστέρησης «delay» του πρώτου μονοσταθί πολυδονητή στο κέντρο του εύρους του.

Τοποθετήστε τον ρυθμιστή εύρους «width» του δεύτερου μονοσταθί πολυδονητή ώστε το εύρος του παλμού πύλης να είναι ίσο με το εύρος των παλμών χρονισμού. Σημειώστε ότι το κέντρο του κάθε παλμού πύλης συμπίπτει με το απερχόμενο μέτωπο ενός παλμού χρονισμού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.5.

Μετακινήστε το κανάλι Y2 στην έξοδο του κυκλώματος τετραγωνισμού δεδομένων (Y2-A στο σχήμα 5.4). Ρυθμίστε το «delay» του πρώτου μονοσταθί πολυδονητή ώστε να τοποθετηθεί ένας παλμός χρονισμού στο κέντρο ενός μόνο παλμού δεδομένων.

Μετακινήστε το κανάλι Y1 στην είσοδο του VCO (Y1-C στο σχήμα 5.4). Βεβαιωθείτε ότι αυτό δείχνει συμμετρικούς τριγωνικούς παλμούς και ότι η κορυφή του κάθε ενός συμπίπτει με το κέντρο ενός παλμού πύλης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.5.



Σχήμα 5.5

Έχουμε πλέον αναγεννήσει ένα σήμα bit clock που έχει την ίδια συχνότητα και την ίδια κυματομορφή με αυτή του bit clock του Πομπού. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί συνδέοντας το κανάλι Y1 στην έξοδο του bit clock του Πομπού (Y1-D στο Σχήμα 5.4) και το κανάλι Y2 στο bit clock του Δέκτη (Y2-C στο Σχήμα 5.4). Το bit clock του Δέκτη θα καθυστερεί σε σχέση με το bit clock του πομπού κατά ένα μικρό ποσοστό λόγω της καθυστέρησης στο κύκλωμα τετραγωνισμού δεδομένων.

Σε αυτό το στάδιο η σχηματομορφή bit που απεικονίζεται στον Δέκτη θα πρέπει να είναι σταθερή και να έχει τον ίδιο αριθμό δυαδικών 1, με τη μεταδιδόμενη λέξη. Ωστόσο, το πιο πιθανό είναι οι θέσεις των bit να είναι εσφαλμένες, δεδομένου ότι αν και το bit clock του δέκτη έχει συγχρονιστεί, δεν υπάρχει τίποτα στο σύστημα επί του παρόντος, για να σηματοδοτήσει την έναρξη μιας ληφθείσας λέξης δεδομένων.

Αποσυνδέστε τα NRZ δεδομένα (σύνδεση 1 στο σχήμα 5.4) για μια στιγμή και επανασυνδέστε τα. Η σχηματομορφή bit στο δέκτη, θα πρέπει να μεταταθεί κατά ένα τυχαίο ποσό.

### Ερώτηση 5.1

**Εάν το NRZ σήμα δεδομένων για τη λέξη 01011000 είχε αποσυνδεθεί και επανασυνδεθεί 100 φορές, σε πόσες περιπτώσεις θα αναμένατε να πάρετε τη σωστή λέξη δεδομένων στο Δέκτη;**

Το bit clock θα χάσει το συγχρονισμό αν η λέξη δεδομένων περιέχει μόνο μηδενικά ή μόνο άσσους (για NRZ δεδομένα). Πατήστε και κρατήστε πατημένο το πλήκτρο LSB ή το πλήκτρο MSB στον Πομπό για να παράγει μια ακολουθία δυαδικών 0 ή δυαδικών 1. Παρατηρήστε ότι το αναγεννημένο σήμα χρονισμού στο κανάλι Y2 γίνεται ασύγχρονο. Τώρα, πατήστε οποιοδήποτε πλήκτρο στον Πομπό για να στείλετε ένα δυαδικό 1 ή ένα δυαδικό 0 και παρατηρήσετε ότι ο συγχρονισμός αποκαθίσταται.

### *Παρατηρήσεις*

Έχουμε ακολουθήσει τα στάδια της αναγέννησης ενός σήματος bit clock με την άντληση πληροφοριών χρονισμού από τις ληφθείσες λέξεις δεδομένων και χρησιμοποιώντας το για να συγχρονίσει έναν ταλαντωτή ελεύθερης λειτουργίας.

Το σύστημα στην παρούσα φάση απαιτεί ένα συγχρονισμένο word clock για να αναπαράγει τα μεταδιδόμενα δεδομένα σωστά. Αυτό είναι το αντικείμενο της επόμενης πρακτικής άσκησης.





## ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 5.2

### Συγχρονισμός του χρονισμού λέξης (word clock)

Μέχρι στιγμής δεν μεταδίδεται τίποτα με τη ροή δεδομένων από τον Πομπό, ώστε να αναγνωρίζεται η αρχή μιας λέξης δεδομένων. Απαιτείται ένα σημάδι κάποιου είδους. Στο παρόν σύστημα η πρόβλεψη γίνεται για την αποστολή και την αναγνώριση μιας ειδικής «λέξης αναγνώρισης» (recognition word).

Αυτή είναι μια ακολουθία από 24 bits, που λαμβάνεται από μια γεννήτρια ψευδό-τυχαίας δυαδικής ακολουθίας (Pseudo-Random bit Sequence - PRBS) στον Πομπό και αναγνωρίζεται από την μονάδα Αποκατάσταση Δεδομένων. Όταν η λέξη αναγνώρισης έχει ληφθεί, λογικά κυκλώματα εντός της μονάδας Αποκατάσταση Δεδομένων παράγουν ένα σήμα word clock με συχνότητα το ένα όγδοο της συχνότητας bit clock, σηματοδοτώντας έτσι την έναρξη των επόμενων λέξεων δεδομένων.

### Προετοιμασία

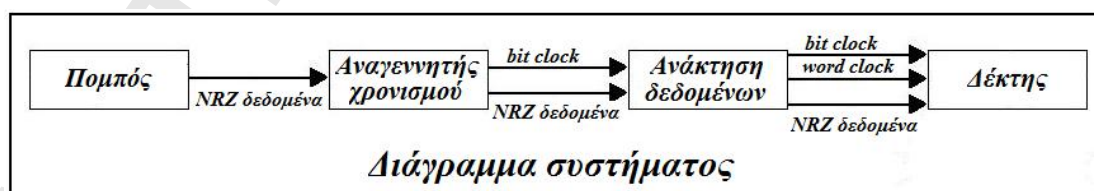
Συνδέστε τον Πομπό, τον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων, τη μονάδα Ανάκτησης Δεδομένων, το Δέκτη και τον παλμογράφο όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 5.6. Τοποθετήστε το πυκνωτή 1nF στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων όπως φαίνεται στο σχήμα.

Στον Πομπό, ρυθμίστε το διακόπτη «format» στα «8 bits» και τον διακόπτη «data source» στη θέση «manual». Στο Δέκτη ρυθμίστε το διακόπτη «bit selection» στη θέση «8 bits». Ρυθμίστε το διακόπτη στην μονάδα Ανάκτηση Δεδομένων στο «A» και το μεταγωγέα «recognition length n» (μήκος λέξης αναγνώρισης) στα  $n = 24$  bits.

Στον παλμογράφο ρυθμίστε τα Y1 και Y2 στα 5V/div, DC-σύζευξη και την χρονική βάση στα 10μs/div, εξωτερικό σκανδαλισμό από μια θετική ακμή.

Το σχηματικό διάγραμμα του σχήματος 5.7 απεικονίζει το σύστημα ως έχει τώρα, με bit clock και word clock σήματα που παράγονται στο άκρο του Δέκτη και συγχρονίζονται με τα αντίστοιχα bit clock και word clock του Πομπού από πληροφορίες χρονισμού που εξάγονται από τα μεταδιδόμενα NRZ δεδομένα.

Συνδέστε το κανάλι Y1 του παλμογράφου στην είσοδο bit clock του Δέκτη και το Y2 στην είσοδο word clock, βλέπε Σχήμα 5.6.



Σχήμα 5.7

### *Πρακτική Διαδικασία*

Πληκτρολογήστε τη δοκιμαστική λέξη 1 0 0 1 1 0 0 0 στον Πομπό. Η λέξη δεδομένων που απεικονίζεται στο Δέκτη πρέπει να περιέχει τον σωστό αριθμό των δυαδικών 1, αλλά μάλλον με λάθος σειρά, όπως και στο προηγούμενο πείραμα.

Επιβεβαιώστε ότι μια προσωρινή αποσύνδεση των NRZ δεδομένων από τον Πομπό (σύνδεση 1 στο Σχήμα 5.6) έχει ως αποτέλεσμα η απεικονιζόμενη σχηματομορφή bit στο Δέκτη να αλλάξει. Παρατηρήστε ότι η θέση του παλμού word clock στο κανάλι Y2 επίσης αλλάζει δείχνοντας ότι η γεννήτρια word clock δεν είναι συγχρονισμένη.

Τώρα πατήστε το κουμπί «single» στον Πομπό. Αυτό εισάγει την 24-bit λέξη αναγνώρισης στη ροή δεδομένων και σηματοδοτείται από το παρακείμενο ενδείκτη led «insertion» στον Πομπό. Επίσης θα ανάψει σύντομα ο ενδείκτης led «A» και ο ενδείκτης led «latch & logic» στη μονάδα Αποκατάσταση Δεδομένων.

Η εισαγωγή της λέξης αναγνώρισης αποκαθιστά τον συγχρονισμό και ευθυγραμμίζει τη σχηματομορφή bit στο δέκτη με αυτή στον Πομπό. Και πάλι, διακόψτε τα NRZ δεδομένα χρησιμοποιώντας τη «σύνδεση 1» και αποκαταστήστε το συγχρονισμό με το πάτημα του κουμπιού εισαγωγής «single». Επαναλάβετε το αρκετές φορές και παρατηρήστε ότι ο παλμός word clock στο κανάλι Y2 επανέρχεται στην ίδια θέση κάθε φορά.

Στον Πομπό συνδέστε τις υποδοχές «1 Hz out» και «ger». Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αποστολή της λέξης αναγνώρισης μία φορά ανά δευτερόλεπτο. Παρατηρήστε ότι ο ενδείκτης led «insertion» αναβοσβήνει.

Και πάλι χρησιμοποιήστε τη «σύνδεση 1» για να διακόψετε τη ροή των NRZ δεδομένων από τον Πομπό και παρατηρήστε ότι πλέον η λαμβανόμενη σχηματομορφή bit αποκαθίσταται γρήγορα λόγω της τακτικής εισαγωγής της λέξης αναγνώρισης.

### *Ερώτηση 5.2*

**Σε αυτό το πείραμα ο ρυθμός bit είναι 80.000 ανά δευτερόλεπτο, που αντιστοιχεί σε 10.000 λέξεις ανά δευτερόλεπτο. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε μια μέθοδο συγχρονισμού του word clock και ότι ο συγχρονισμός αυτός καταλαμβάνει το κανάλι για 300μs κάθε φορά. Πόσες λέξεις δεδομένων χάνονται κάθε φορά που συμβαίνει αυτό;**

### **ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 5.3**

#### *Τυχαία μετάδοση της λέξης αναγνώρισης (recognition word)*

Είναι γενικά πιθανό, κάποιος συνδυασμός των μεταδιδόμενων bit δεδομένων να σχηματίσει τελικά την ίδια σχηματομορφή bit με τη λέξη αναγνώρισης και ως εκ τούτου να προκαλέσει ψευδή συγχρονισμού. Από στατιστικής πλευράς, είναι δύσκολο να δούμε οποιαδήποτε αναγνωρίσιμη δομή στη ροή των bit δεδομένων και γι' αυτό το λόγο θα εξετάσουμε τι συμβαίνει όταν μεταδίδεται μια ροή δυαδικών 1 και 0, σε τυχαία σειρά. Είναι τότε δυνατό να προβλεφθεί η πιθανότητα εμφάνισης μιας επιλεγμένης ακολουθίας bit.

Κάθε bit σε μια τυχαία ροή δεδομένων είναι εξίσου πιθανό να ταιριάζει, ή να μην ταιριάζει με μια συγκεκριμένη τιμή bit. Και εφόσον κάθε bit μπορεί να πάρει μια εκ των δύο πιθανών τιμών, έχουμε μία πιθανότητα 50% (ή 1/2) να πάρει τη σωστή τιμή.

Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να βρούμε την πιθανότητα μιας τυχαίας ακολουθία τεσσάρων bit να ταιριάζει με μια συγκεκριμένη λέξη τεσσάρων bit. Δεδομένου ότι η τυχαία ακολουθία μπορεί να σχηματίσει οποιαδήποτε από τις δεκαέξι ( $16 = 2^4$ ) πιθανές 4-bit λέξεις η πιθανότητα της συγκεκριμένης λέξης να εμφανιστεί είναι μία προς δεκαέξι ή  $\frac{1}{2^4}$ . Γενικά, η πιθανότητα n τυχαίων bits να ταιριάζουν με μια δεδομένη λέξη δεδομένων n-bit είναι  $\frac{1}{2^n}$ .

Εάν η τυχαία ροή bit είναι συνεχής αυτό το ταίριασμα τελικά θα προκύψει και ο μέσος χρόνος που χρειάζεται για να γίνει αυτό θα εξαρτάται από το ρυθμό με τον οποίο παράγονται τα τυχαία bits δεδομένων.

Στο παρόν σύστημα ο ρυθμός bit είναι 80000 bit/sec, επομένως ένα n-bit ταίριασμα αναμένεται να συμβεί  $\frac{80000}{2^n}$  φορές ανά δευτερόλεπτο και το μέσο διάστημα ανάμεσα στα ταίριασματα θα είναι  $\frac{2^n}{80000}$  δευτερόλεπτα. Το μήκος της λέξης αναγνώρισης μπορεί να ποικίλλει μεταξύ 13 και 24 bits. Η πιθανότητα μιας 24-bit λέξης αναγνώρισης να εμφανιστεί μέσα σε μια ροή τυχαίων bits δεδομένων είναι  $\frac{1}{2^{24}} = \frac{1}{16777216}$ . Σε ένα ρυθμό bit των 80000 bit/sec η λέξη αναγνώρισης θα εμφανιζόταν, κατά μέσο όρο, μια κάθε  $\frac{16777216}{80000}$  δευτερόλεπτα δηλαδή μια κάθε 210 δευτερόλεπτα

### **Ερώτηση 5.3**

**Σε μια ροή τυχαίων bits δεδομένων, ποια είναι η πιθανότητα ότι 18 συνεχόμενα bits θα ταιριάζουν με μια 18-bit λέξη αναγνώρισης;**

### **Ερώτηση 5.4**

**Με ένα ρυθμό μετάδοσης των 80000 bit/sec, πόσες φορές θα συμβεί αυτό μέσα σε μια 3-λεπτη περίοδο;**

### **Προετοιμασία**

Οι μονάδες και οι συνδέσεις είναι οι ίδιες με εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα 5.2 (Σχήμα 5.6) εκτός από την σύνδεση μεταξύ του «1 Hz out» και του «rep» στον Πομπό.

Στον Πομπό ρυθμίστε το διακόπτη «source» στη θέση «PRBS» για να μεταδίδει μια ψευδό-τυχαία ακολουθία bit. Στην μονάδα Ανάκτηση Δεδομένων ρυθμίσετε το

διακόπτη στη θέση «Α» και το μεταγωγέα «recognition length n» στα n=16 bits. Με τις ρυθμίσεις αυτές, ο ενδείκτης led «Α» θα αναβοσβήνει όταν μια ακολουθία από bits από την τυχαία ροή δεδομένων ταιριάζει με την καθορισμένη λέξη αναγνώρισης.

### **Πρακτική Διαδικασία**

Ο ενδείκτης led «Α» θα αναβοσβήνει σε ακανόνιστα διαστήματα, δείχνοντας ότι έχει ληφθεί η 16-bit λέξη αναγνώρισης. Μετρήστε τον αριθμό των αναγνώρισεων σε μια περίοδο των 10 δευτερολέπτων και υπολογίστε τη μέση τιμή του διαστήματος μεταξύ των αναγνώρισεων.

Συγκρίνετε αυτή την περίοδο, που επιτεύχθηκε πειραματικά, με εκείνη που προέρχεται από την εξίσωση:

$$\text{μέση τιμή διαστήματος} = \frac{2^n}{80000}$$

όπου n = ο αριθμός bits στη λέξη αναγνώρισης.

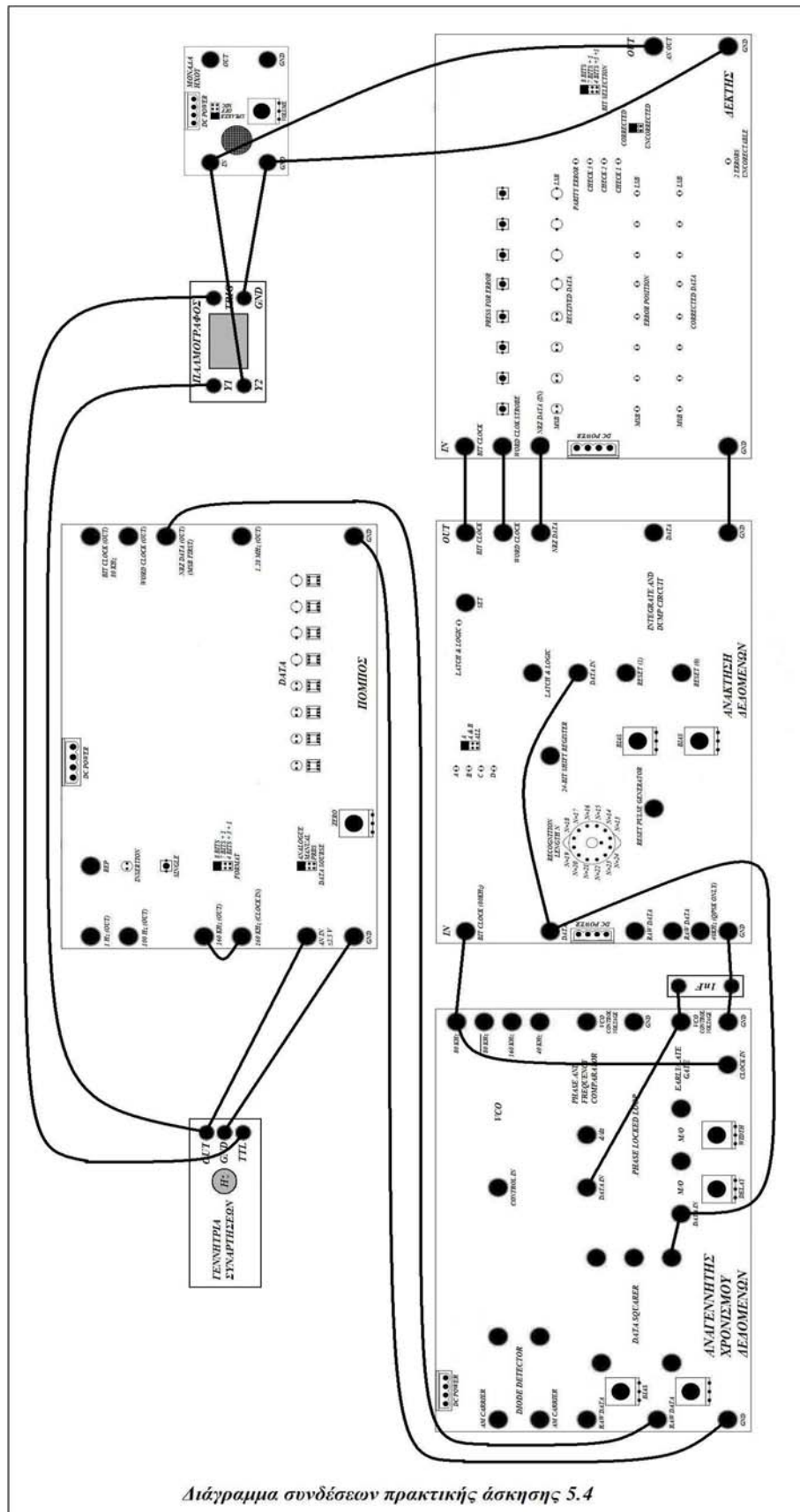
Θα πρέπει να υπάρχει σχετικά καλή αντιστοιχία μεταξύ των πειραματικών και των θεωρητικών τιμών. Αν όχι, επαναλάβετε το πείραμα, μετρώντας τις αναγνώρισεις σε μια περίοδο των 30 δευτερολέπτων για να αποκτήσετε μια πιο ακριβή μέση τιμή διαστήματος.

Προσπαθήστε να αλλάξετε το μήκος της λέξης αναγνώρισης και εκ νέου υπολογίστε το μέσο διάστημα μεταξύ των αναγνώρισεων.

### **Παρατηρήσεις**

Μια ροή ληφθέντων δεδομένων, σε ακανόνιστα διαστήματα, θα αναπαράγει την καθορισμένη λέξη αναγνώρισης και θα οδηγήσει σε εσφαλμένο συγχρονισμό του word clock.

Η αύξηση του μήκους της λέξης αναγνώρισης αυξάνει το μέσο χρονικό διάστημα μεταξύ των ψευδών αναγνώρισεων. Κάθε επιπρόσθετο bit διπλασιάζει το διάστημα μεταξύ των τυχαίων αναγνώρισεων.



Σχήμα 5.8

#### ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 5.4

##### *Επίδραση της έλλειψης συγχρονισμού στις αναλογικές κυματομορφές*

Στις προηγούμενες πρακτικές ασκήσεις αυτής της εργασίας ασχοληθήκαμε κυρίως με τη μετάδοση και τη λήψη επιλεγμένων λέξεων δεδομένων, χρησιμοποιώντας αναγεννημένα σήματα χρονισμού. Σε αυτή την πρακτική άσκηση θα δείξουμε τις επιπτώσεις του σωστού και του εσφαλμένου συγχρονισμού ρολογιού όταν μια αναλογική κυματομορφή εφαρμόζεται στον Πομπό.

##### *Προετοιμασία*

Πραγματοποιήστε τις συνδέσεις που εμφανίζονται στο Σχήμα 5.8. Οι μονάδες του συστήματος συνδέονται όπως και στο προηγούμενο πείραμα, αλλά στην περίπτωση αυτή η είσοδος στον Πομπό τροφοδοτείται από τη γεννήτρια συναρτήσεων και η μονάδα Ήχου συνδέεται στην έξοδο του Δέκτη.

Ρυθμίστε τη γεννήτρια συναρτήσεων ώστε να δίνει μια ημιτονοειδή έξοδο στα 1 kHz και 4V peak to peak. Ρυθμίστε τη χρονική βάση του παλμογράφου στα 0.5ms/div και τα δύο κανάλια στα 5V/div.

Ρυθμίστε την μονάδα Ήχου στη θέση «μεγάφωνο» και τον ρυθμιστή έντασης στην ελάχιστη θέση.

Στον Πομπό ρυθμίστε το διακόπτη «source» στη θέση «analogue» και το διακόπτη «format» στη θέση «8 bits». Στην μονάδα Αποκατάσταση Δεδομένων ρυθμίστε το μεταγωγέα «recognition length n» στα n=24 και το διακόπτη στη θέση «A».

Ρυθμίστε το διακόπτη «bit selection» στον Δέκτη στη θέση «8 bits».

##### *Πρακτική Διαδικασία*

Τροφοδοτήστε τον εξωτερικό σκανδαλισμό του παλμογράφου στην από τη TTL έξοδο της γεννήτριας συναρτήσεων.

Ρυθμίστε τη χρονική βάση του παλμογράφου για να αποκτήσει ένα σταθερό ίχνος ημιτονοειδούς κύματος στο κανάλι Y1. Το σήμα εξόδου του συστήματος στο κανάλι Y2 θα είναι μάλλον μια τυχαία σχηματομορφή bit που δείχνει ότι τα σήματα χρονισμού δεν είναι συγχρονισμένα.

Πατήστε το κουμπί εισαγωγής «single» στον Πομπό για να στείλετε τη λέξη αναγνώρισης στο σύστημα. Αυτό θα επαναφέρει τον συγχρονισμό και το ίχνος εξόδου πρέπει πλέον να γίνει μια βαθμωτή ημιτονοειδής κυματομορφή.

Ρυθμίστε την ένταση στη μονάδα Ήχου για να δώσει ένα ανεκτό επίπεδο ακρόασης για τον 1kHz τόνο.

Εν συντομία διακόψτε τα μεταδιδόμενα δεδομένα αποσυνδέοντας και επανασυνδέοντας το καλώδιο NRZ δεδομένων από τον Πομπό, ή, εναλλακτικά, μετακινήστε το διακόπτη «data source» στη θέση «PRBS» προς στιγμήν. Παρατηρήστε ότι διάφορες κυματομορφές, μερικές πολύ παραμορφωμένες, θα

ληφθούν όταν ο συγχρονισμός χάνεται, αλλά ότι μια καλή κυματομορφή εξόδου αποκαθίσταται όταν το κουμπί εισαγωγής «single» στον Πομπό πατηθεί.

Τοποθετήστε μια σύνδεση μεταξύ της υποδοχής «1 kHz out» και της υποδοχής «ger» στον Πομπό. Ο συγχρονισμός μπορεί να χαθεί με οποιοδήποτε από τους τρόπους που περιγράφηκαν προηγουμένως, αλλά επανέρχεται αυτόματα μέσα σε ένα δευτερόλεπτο από την τακτική μετάδοση της λέξης αναγνώρισης. Από τη μονάδα Ήχου θα ακουστεί ένας στιγμιαίος ήχος, όταν η λέξη αναγνώρισης ληφθεί. Σε ένα πρακτικό σύστημα οποιοδήποτε ειδικό σήμα συγχρονισμού συνήθως θα προλαμβάνονταν από το να φτάσει στην έξοδο.

Μέχρι στιγμής, έχουμε χρησιμοποιήσει μια 24-bit λέξη αναγνώρισης και όσο τα εισερχόμενα δεδομένα δεν παράγουν αυτή τη συγκεκριμένη ακολουθία bit δεν υπάρχει ψευδής συγχρονισμός. Αν επιλεγεί μια μικρότερη λέξη αναγνώρισης, η δυνατότητα εμφάνισης αυτής της λέξης στην ροή των δεδομένων μπορεί να παρουσιαστεί και στο σύστημα πραγματοποιείται διακοπή.

Ρυθμίστε το μήκος της λέξης αναγνώρισης στα 14 bit. Θα πρέπει να διαπιστωθεί ότι ο συγχρονισμός κατά διαστήματα χάνεται, δείχνοντας ότι η πιθανότητα εμφάνισης της λέξης αναγνώρισης στην ροή των δεδομένων συμβαίνει. Μια μικρή προσαρμογή της στάθμης εξόδου ημιτονοειδούς κύματος της γεννήτριας συναρτήσεων μπορεί να προκαλέσει επίσης, την απώλεια συγχρονισμού. Αλλάζοντας και πάλι το μήκος λέξης αναγνώρισης στα 24 bits δεν θα παρουσιαστούν ψευδείς αναγνώρισεις και το σύστημα θα είναι σταθερό.

### **Παρατηρήσεις**

Ο συγχρονισμός μπορεί να χαθεί από τη διακοπή της ροής δεδομένων ή από την πιθανότητα μια ακολουθία bit δεδομένων να είναι ίδια με την λέξη αναγνώρισης. Σε κάθε περίπτωση μια λέξη αναγνώρισης που στέλνεται κατά διαστήματα θα επαναφέρει τον συγχρονισμό, αλλά η λέξη αυτή πρέπει να διαθέτει ικανό αριθμό χαρακτήρων για να τη διακρίνει από τα τυπικά δεδομένα.

### **ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ**

Παρά το γεγονός ότι μόνο ένας παλμός ψηφιακού 1 στη λέξη δεδομένων επαρκεί για συγχρονίζει το bit clock, τα NRZ κωδικοποιημένα δεδομένα δεν είναι μια ιδανική μορφή σηματοδότησης δεδομένου ότι μια ακολουθία δυαδικών 1 ή 0, θα προκαλέσει απώλεια συγχρονισμού του ταλαντωτή bit clock. Υπάρχουν άλλες, πιο κατάλληλες, μορφές δεδομένων που θα εξεταστούν σε μεταγενέστερη εργασία.

Ορισμένα συστήματα πρέπει να αντιμετωπίσουν μεγάλες διακοπές στη μετάδοση των δεδομένων. Σε ορισμένες περιπτώσεις το σύστημα είναι σχεδιασμένο ώστε να μην χάνεται ο συγχρονισμός κατά τη διάρκεια ανενεργών περιόδων. Αν το κανάλι διακοπεί εντελώς για οποιοδήποτε λόγο, κάποια μορφή γρήγορου επανασυγχρονισμού μπορεί να εφαρμοστεί μετά από μια διακοπή.



Ο εσφαλμένος συγχρονισμός μπορεί να αποφευχθεί με την επιλογή κατάλληλων μορφών σήματος αναγνώρισης. Σε ορισμένα συστήματα η μείωση απλά της πιθανότητας ψευδούς αναγνώρισης δεν είναι αποδεκτή και λαμβάνονται μέτρα για την αποφυγή ψευδών αναγνώρισεων πλήρως. Αυτές ενδέχεται να εμπλέκονται περιορίζοντας το εύρος των λέξεων δεδομένων που μπορούν να μεταδοθούν και επιλέγοντας μια λέξη αναγνώρισης που δεν μπορεί να παραχθεί από οποιαδήποτε ακολουθία bit δεδομένων.

Η ανοχή του συστήματος στην αλλοίωση του σήματος μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας χρονισμούς που βασίζονται σε ταλαντωτές ελεγχόμενους από κρύσταλλο, που είναι πολύ σταθεροί και ακριβείς. Μόλις το σύστημα σταθεροποιηθεί η ολίσθηση του θα επιβραδύνεται και ο συγχρονισμός θα χαθεί μόνο μετά από μια μακροχρόνια διαταραχή του σήματος. Ένα τέτοιο σύστημα, άπαξ και συγχρονιστεί, μπορεί επίσης να κατασκευαστεί ώστε να αγνοεί οποιαδήποτε πιθανότητα λέξεων ψευδών-αναγνώρισης που εμφανίζονται κατά καιρούς, μακριά από κει που αναμένονται, καθιστώντας τις εσφαλμένες αναγνώρισεις εξαιρετικά απίθανες.

Υπάρχει πάντα κάποια πιθανότητα, έστω και μικρή, να ληφθούν εσφαλμένα δεδομένα. Ο "ρυθμός σφάλματος" (μέσος αριθμός των εσφαλμένων bits διαιρούμενος με το συνολικό αριθμό των bits που ελήφθησαν) είναι ένα σημαντικό μέρος των προδιαγραφών ενός συστήματος ψηφιακής επικοινωνίας. Ο χρήστης θα πρέπει να ενδιαφέρεται ιδιαίτερα για τον ρυθμό των αδιόρθωτων και τον ρυθμό των μη ανιχνεύσιμων σφαλμάτων.

## Τυπικά Αποτελέσματα και Απαντήσεις της Εργασίας 5

### Ερώτηση 5.1

Στις 8 επανασυνδέσεις υπάρχουν επτά πιθανότητες λήψης μιας εσφαλμένης λέξης δεδομένων και μια πιθανότητα λήψης ορθής. Η πιθανότητα μιας ορθής λέξης είναι  $\frac{1}{8}$ .

Σε 100 απόπειρες η ορθή λέξη θα πρέπει να αναμένεται  $100 \times \frac{1}{8}$  ή 12.5 φορές, επομένως, πρακτικά, 12 ή 13 φορές.

### Ερώτηση 5.2

Σε 80.000 bits ανά δευτερόλεπτο, ο ρυθμός λέξεων είναι 10000 λέξεων ανά δευτερόλεπτο ή μία λέξη ανά 100μs. Αν ο συγχρονισμός καταλαμβάνει 300μs τότε 3 λέξεις δεδομένων χάνονται κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου.

### Ερώτηση 5.3

Ο αριθμός των διαφορετικών 18-bit λέξεων που μπορούν να σχηματιστούν είναι  $2^{18} = 262144$ . Επομένως η πιθανότητα κάθε τυχαίας ομάδας 18 bits να ταιριάζει σε μια συγκεκριμένη λέξη δεδομένων είναι  $\frac{1}{262144}$ .

**Ερώτηση 5.4**

Σε ένα ρυθμό μετάδοσης 80000 bits/sec, η 18-bit λέξη αναγνώρισης θα μπορούσε να προκύψει κατά μέσον όρο μία φορά κάθε  $\frac{262144}{80000}$  δευτερόλεπτα = 3.2768s. Σε μια 3-

λεπτη περίοδο θα εμφανίζονταν  $\frac{180}{3.2768} = 54.9$  ή περίπου 55 φορές.

## ΕΡΓΑΣΙΑ 6

### ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ ΠΛΑΤΟΥΣ (AMPLITUDE SHIFT KEYING-ASK)

#### ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται η αρχή της μετάδοσης δυαδικών πληροφοριών πάνω από ένα κανάλι υψηλής συχνότητας, αρχικά με τη Διαμόρφωση Μετατόπισης Πλάτους αποκατάστασης-διακοπής (on-off ASK) και στη συνέχεια με τη Διαμόρφωση Μετατόπισης Πλάτους με καταστολή φέροντος (Suppressed Carrier ASK) χρησιμοποιώντας διπολικά σήματα δεδομένων. Στη συνέχεια εξετάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά των δύο μεθόδων.

#### ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Πομπός
1	Δέκτης
1	Διπλός Ισοσταθμισμένος Διαμορφωτής
1	Αναγεννητής Χρονισμού Δεδομένων
1	Ανάκτηση Δεδομένων
1	Μορφή Δεδομένων
1	Τροφοδοτικό
1	Παλμογράφος 2 καναλιών με εξωτερικό σκανδαλισμό

#### ΣΤΟΧΟΙ

Όταν θα έχετε ολοκληρώσει αυτή την εργασία θα πρέπει να γνωρίζετε:

- Σε ένα on-off ASK σύστημα το φέρον κύμα είναι σταθερό και δεν φέρει καμιά πληροφορία.
- Η διαμόρφωση με ένα διπολικό σήμα δεδομένων παράγει ένα σύστημα καταστολής φέροντος με σημαντική βελτίωση στην απόδοση.
- Ένα σύστημα καταστολής φέροντος απαιτεί ένα τοπικά αναγεννημένο φέρον σήμα στο Δέκτη.

#### ΕΠΙΠΕΔΟ ΓΝΩΣΕΩΝ

Πριν από την έναρξη αυτής της εργασίας θα πρέπει να γνωρίζετε ότι:

- Τις βασικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την αναγέννηση bit και word clock στο δέκτη.
- Συστήματα μετάδοσης υψηλής συχνότητας, όπως είναι οι δορυφορικές και μικροκυματικές ζεύξεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για ψηφιακές επικοινωνίες.

- Η βασική ζώνη είναι το φάσμα των συχνοτήτων που καταλαμβάνεται από μια κυματομορφή μηνύματος.

### ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Συνδέστε το τροφοδοτικό με το ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά μην το ενεργοποιείται ακόμη. Συνδέστε τα καλώδια τροφοδοσίας DC στον Πομπό, στο Δέκτη, στο Διπλό Ισοσταθμισμένο Διαμορφωτή, στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων, στη μονάδα Μορφή Δεδομένων και στη μονάδα Ανάκτηση Δεδομένων (Όλες αυτές οι υποδοχές είναι πανομοιότυπες).

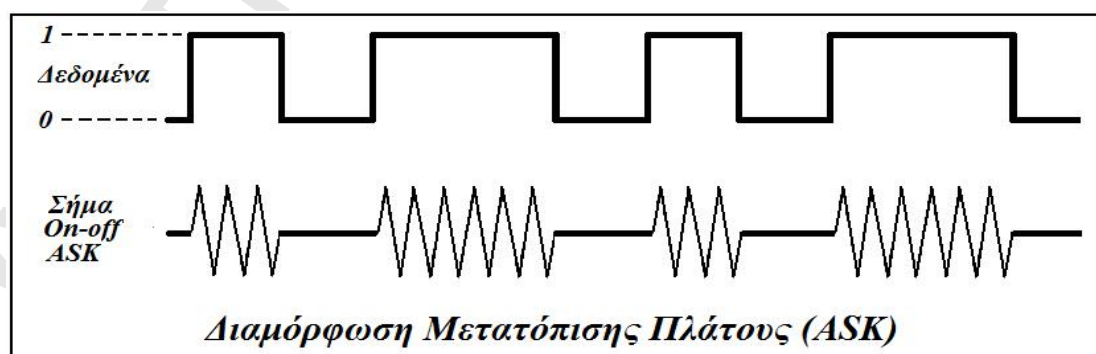
Μόνο όταν όλες οι συνδέσεις τροφοδοσίας έχουν πραγματοποιηθεί, μπορεί η τροφοδοσία να ενεργοποιηθεί.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μέχρι στιγμής εξετάσαμε μεθόδους μετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας μέσω καναλιών χαμηλής συχνότητας, όπως τα τηλεφωνικά κυκλώματα ή οι άμεσα συζευγμένες γραμμές. Ωστόσο, η ψηφιακή επικοινωνία σε καμία περίπτωση δεν περιορίζεται μόνο σε αυτά τα κυκλώματα και μπορεί να υπάρχουν οικονομικά και τεχνικά πλεονεκτήματα στη χρήση καναλιών υψηλής συχνότητας για τη μετάδοση σημάτων βασικής ζώνης. Θα μπορούσαμε, για παράδειγμα, να στείλουμε πολλά διαφορετικά μηνύματα με το ίδιο κανάλι ταυτόχρονα ή να διανύουμε μεγάλες αποστάσεις με μια ραδιοζεύξη.

Αυτό επιτυγχάνεται με μια διαδικασία διαμόρφωσης, κατά την οποία είτε το πλάτος, η συχνότητα ή η φάση ενός σήματος υψηλής συχνότητας, γνωστή ως φέρουσα, μεταβάλλεται σύμφωνα με το περιεχόμενο του αρχικού μηνύματος. Στο δέκτη, το εισερχόμενο σήμα υψηλής συχνότητας αποδιαμορφώνεται έτσι ώστε να αποκατασταθεί η αρχική μορφή του μηνύματος.

Από όλες τις διαθέσιμες τεχνικές, η Διαμόρφωση Μετατόπισης Πλάτους (Amplitude Shift Keying - ASK), παρέχει την πιο άμεση μορφή διαμόρφωσης από ψηφιακά σήματα. Στην απλούστερη μορφή της, η «υπό χειρισμό» (keyed) φέρουσα αποκαθίσταται και διακόπτεται (on-off) κατά περιόδους οι οποίες συμμορφώνονται με τη σχηματομορφή bit δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό τα δεδομένα μεταδίδονται ως ένα ασυνεχές κύμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.1.



Σχήμα 6.1

Ένα ASK σήμα φαίνεται να έχει τρεις συνιστώσες συχνότητας, που αποτελείται από τη φέρουσα, μια κάτω πλευρική ζώνη και μια άνω πλευρική ζώνη. Κάθε πλευρική ζώνη συχνοτήτων καταλαμβάνει ένα φάσμα συχνοτήτων παρακείμενο στη φέρουσα με τον ίδιο τρόπο που το σήμα δεδομένων καταλαμβάνει τη βασική ζώνη στην περιοχή της μηδενικής συχνότητας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.2. Στον on-off χειρισμό, η φέρουσα συχνότητα είναι σταθερή και επομένως δεν φέρει καμία πληροφορία μηνύματος.

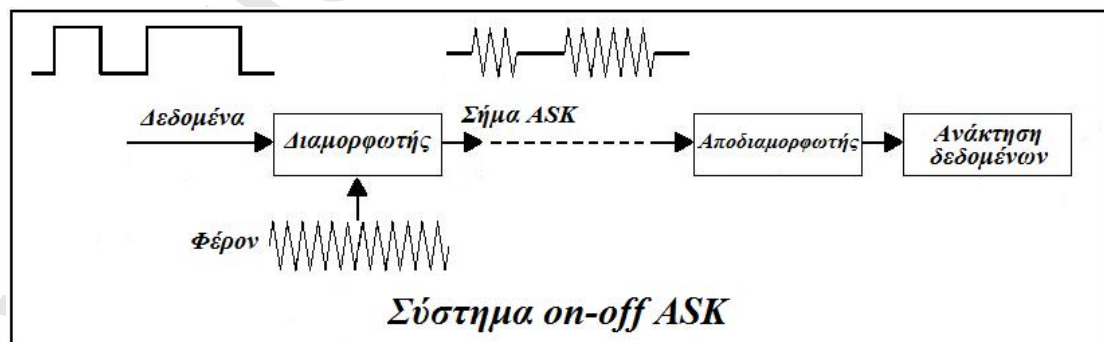


Σχήμα 6.2

Στο δέκτη το ASK σήμα αποδιαμορφώνεται. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως η αντίστροφη της διαμόρφωσης και πραγματοποιείται από ένα κύκλωμα ανίχνευσης το οποίο απορρίπτει τις συνιστώσες υψηλής συχνότητας και παράγει μια DC έξοδο που αντιστοιχεί στα αρχικά δυαδικά δεδομένα. Τα δυαδικά σήματα τετραγωνίζονται και εφαρμόζονται σε ένα κύκλωμα αναγέννησης χρονισμού για να διατηρηθεί ο συγχρονισμός μεταξύ των αρχικών και των ανακτημένων δεδομένων.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Το εκπεμπόμενο σήμα και το εισερχόμενο σήμα στο δέκτη, μπορούν να διέλθουν μέσα από συντονισμένα κυκλώματα που δέχονται μόνο ένα περιορισμένο φάσμα συχνοτήτων, παρακείμενο στην περιοχή της φέρουσας, έτσι ώστε να αποφευχθούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ καναλιών και από άλλες ξένες πηγές.

Ένα απλουστευμένο διάγραμμα του on-off ASK συστήματος, απεικονίζεται στο Σχήμα 6.3



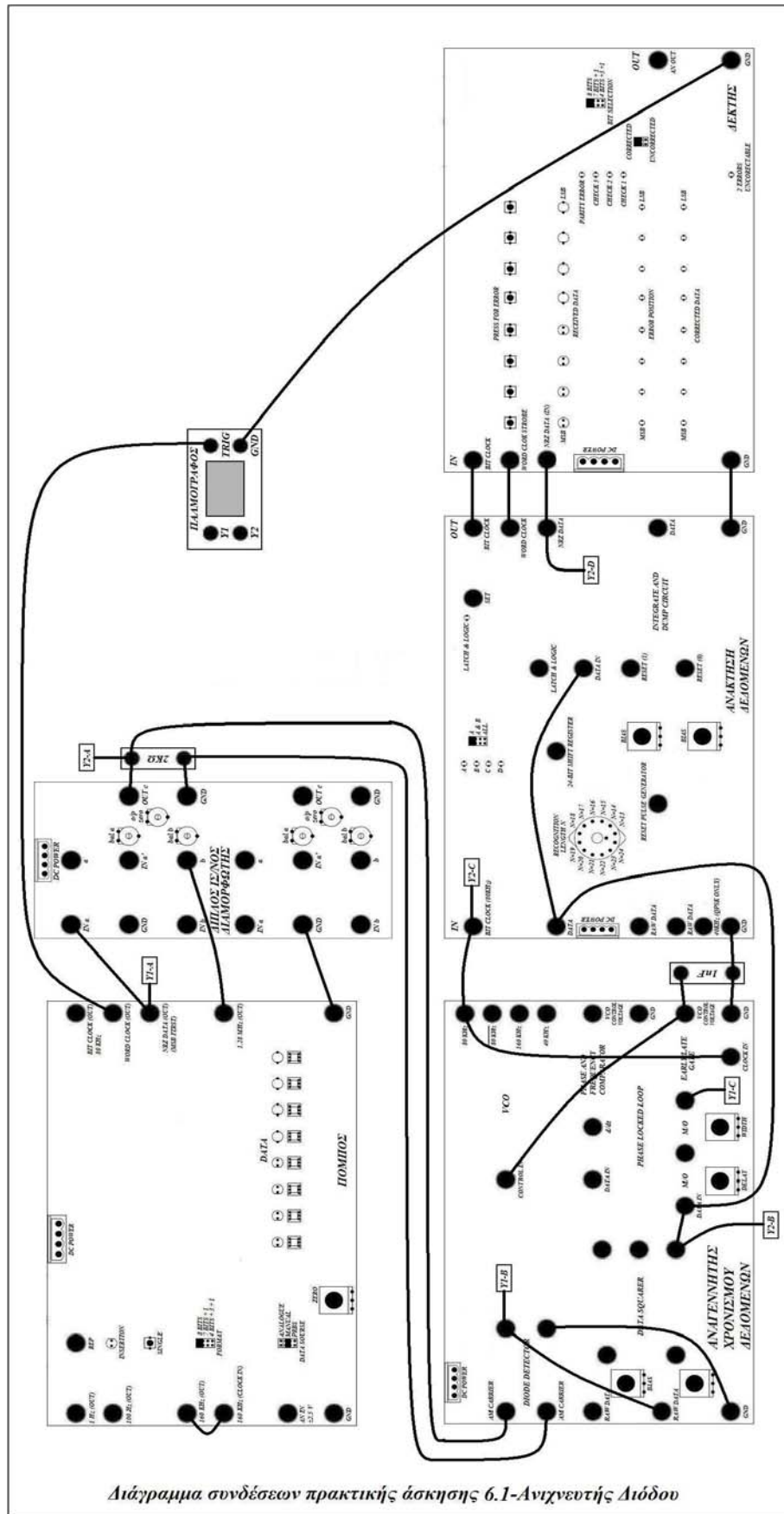
Σχήμα 6.3

Ένα κανάλι επικοινωνίας μπορεί να διαιρεθεί σε διάφορες ζώνες συχνοτήτων, από τις οποίες κάθε μια είναι ικανή να μεταδώσει ένα διαμορφωμένο σήμα. Αυτό ονομάζεται πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας.

### **Ερώτηση 6.1**

**Ας υποθέσουμε ότι κάθε ένα από τα σήματα που πρέπει να μεταδοθούν έχει ένα εύρος βασικής ζώνης  $\beta$ , και ότι το κανάλι έχει εύρος ζώνης  $B$ . Πόσα on-off ASK σήματα μπορεί να μεταδώσει το κανάλι (με την παραδοχή ότι δεν χρειάζονται κενά μεταξύ τους);**

Στις παρακάτω πρακτικές ασκήσεις θα δούμε δύο εκδόσεις ASK. Στην πρώτη η φέρουσα διαμορφώνεται από έναν μονοπολικό σήμα δεδομένων (on-off ASK). Στη δεύτερη, εξετάζεται η διαμόρφωση από ένα διπολικό σήμα (ASK καταστολής φέροντος).



Σχήμα 6.4

## ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 6.1

### On-Off ASK

Ο Πομπός παράγει μια φέρουσα σταθερής συχνότητας, που λειτουργεί στα 1.28MHz, και ένα ξεχωριστό μονοπολικό σήμα δεδομένων. Αυτά είναι συνδεδεμένα με ένα ισοσταθμισμένο διαμορφωτή του οποίου η έξοδος είναι ένα σήμα Διαμόρφωσης Μετατόπισης Πλάτους. Αυτό το μεταδιδόμενο σήμα αποδιαμορφώνεται, χρησιμοποιώντας ένα ανιχνευτή διόδου ή ένα φωρατή τετραγωνικού νόμου (square-law detector) και οι προκύπτουσες κυματομορφές τετραγωνίζονται για να ανακτηθεί μια σχηματομορφή bit που αντιστοιχεί στο αρχικό δυαδικό σήμα. Τα κυκλώματα συγχρονισμού ρολογιού και ανάκτησης δεδομένων είναι τα ίδια με εκείνα που χρησιμοποιήσαμε για την λήψη των αδιαμόρφωτων δυαδικών δεδομένων.

### Προετοιμασία

#### Διπλός Ισοσταθμισμένος Διαμορφωτής

Ο ισοσταθμισμένος διαμορφωτής είναι απλά ένας πολλαπλασιαστής. Υπάρχουν δύο από αυτούς στο κύκλωμα του Διπλού Ισοσταθμισμένου Διαμορφωτή.

Κάθε ισοσταθμισμένος διαμορφωτής έχει δύο πόρτες εισόδου (a και b), καθώς και μια πόρτα εξόδου (c). Η a είσοδος έχει τρεις ακροδέκτες, «a», «in a» και «in a'» όπου το σήμα που εφαρμόζεται στο «in a» είναι το σήμα του «a» διαμέσου ενός πυκνωτή και το σήμα που εφαρμόζεται στο «in a'» ουσιαστικά αφαιρείται από το σήμα στο «in a». Η έξοδος «out c» έχει υψηλή εμπέδηση και προορίζεται να χρησιμοποιηθεί κανονικά με μια αντίσταση φορτίου μεταξύ της εξόδου και της γείωσης. Η b είσοδος έχει δύο ακροδέκτες, «b» και «in b», όπου το σήμα που εφαρμόζεται στο «in b» είναι το σήμα του «b» διαμέσου ενός πυκνωτή.

#### Διαδικασία Ισοστάθμισης

Συνδέστε μια αντίσταση φορτίου 2kΩ μεταξύ εξόδου και γείωσης του ενός από τους ισοσταθμισμένους διαμορφωτές και συνδέστε ένα DC βολτόμετρο στα άκρα αυτής. Μια κλίμακα των 5V στο βολτόμετρο είναι κατάλληλη.

Υπάρχουν τρεις προσαρμογές για κάθε ισοσταθμισμένο διαμορφωτή που πρέπει να ρυθμιστούν σωστά, ως εξής:

- Συνδέστε το ένα άκρο του καλωδίου στα «± 5V DC MAX» στο Φορέα Ολίστησης Φάσης και τοποθετήστε τον ρυθμιστή πόλωσης «bias» πλήρως δεξιά. Συνδέστε το άλλο άκρο του καλωδίου στον ακροδέκτη «in a» του ισοσταθμισμένου διαμορφωτή (όχι μέσω του πυκνωτή), παρακολουθώντας το μετρητή. Προσαρμόστε τον ρυθμιστή εξισορρόπησης «bal a» εάν είναι απαραίτητο, μέχρις ότου η σύνδεση και αποσύνδεση του καλωδίου δεν έχει καμία επίδραση στην ένδειξη του βολτόμετρου.
- Μετακινήστε το καλώδιο από το ακροδέκτη «in a» στον ακροδέκτη «in b» (και πάλι, όχι μέσω του πυκνωτή). Στη συνέχεια, προσαρμόστε τον ρυθμιστή «bal b» ομοίως, ούτως ώστε η σύνδεση και η αποσύνδεση του καλωδίου να μην επηρεάζει την ένδειξη του βολτόμετρου.



Σε αυτό το στάδιο, εάν η σταθερή ένδειξη του βολτόμετρου δεν είναι μηδέν, ρυθμίστε τον ρυθμιστή «o/p zero» για μηδενική έξοδο.

Οι ρυθμίσεις είναι ελαφρώς αλληλεξαρτώμενες, οπότε η όλη διαδικασία θα πρέπει να επαναληφθεί αν χρειαστεί, μέχρι να ληφθεί μηδενική έξοδος (με ή χωρίς σήμα και στις δύο εισόδους).

Θα χρειαστείτε και τους δύο ισοσταθμισμένους διαμορφωτές αργότερα στην εργασία, επομένως η διαδικασία ισοστάθμισης πρέπει να γίνει και στους δύο.

Συνδέστε τις μονάδες και τον παλμογράφο όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 6.4.

Στον Πομπό, ρυθμίστε το διακόπτη «format» στα «8 bits» και τον διακόπτη «data source» στη θέση «manual». Στο Δέκτη ρυθμίστε το διακόπτη «bit selection» στη θέση «8 bits» και τον διακόπτη διόρθωσης δεδομένων στη θέση «uncorrected». Ρυθμίστε το διακόπτη στην μονάδα Ανάκτηση Δεδομένων στο «A» και το μεταγωγέα «recognition length n» (μήκος λέξης αναγνώρισης) στα  $n = 24$  bits.

Ρυθμίστε τα κανάλια Y1 και Y2 στον παλμογράφο στα 5V/div, DC σύζευξη και την χρονική βάση στα 10μs/div, με εξωτερικό σκανδαλισμό από την έξοδο του word clock, του Πομπού.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Σε ένα πρακτικό σύστημα επικοινωνίας ο πομπός και ο δέκτης θα είναι συντονισμένοι για να περάσει μόνο μια περιορισμένη ζώνη συχνοτήτων η οποία θα βρίσκεται στην περιοχή της φέρουσας και, κατά συνέπεια, οι πλευρικές ζώνες θα περιορίζονται.

Δύο τύποι αποδιαμορφωτή είναι διαθέσιμοι: Ο πρώτος είναι ένας ανιχνευτής διόδου (diode detector) πλήρους κύματος με χαμηλοπερατό φίλτρο αντίστασης/πυκνωτή. Ο δεύτερος είναι ένας φωρατής τετραγωνικού νόμου (square law detector) που προέρχεται από ένα τμήμα του Διπλού Ισοσταθμισμένου Διαμορφωτή. Και οι δύο παράγουν μερική κυμάτωση στην έξοδο, της οποίας το μεγαλύτερο μέρος εξαλείφεται από το κύκλωμα τετραγωνισμού δεδομένων που ακολουθεί τον ανιχνευτή.

Οι συνδέσεις και οι ρυθμίσεις για το Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων και την μονάδα Ανάκτηση Δεδομένων είναι οι ίδιες με εκείνες που χρησιμοποιούνταν στην Εργασία 5.

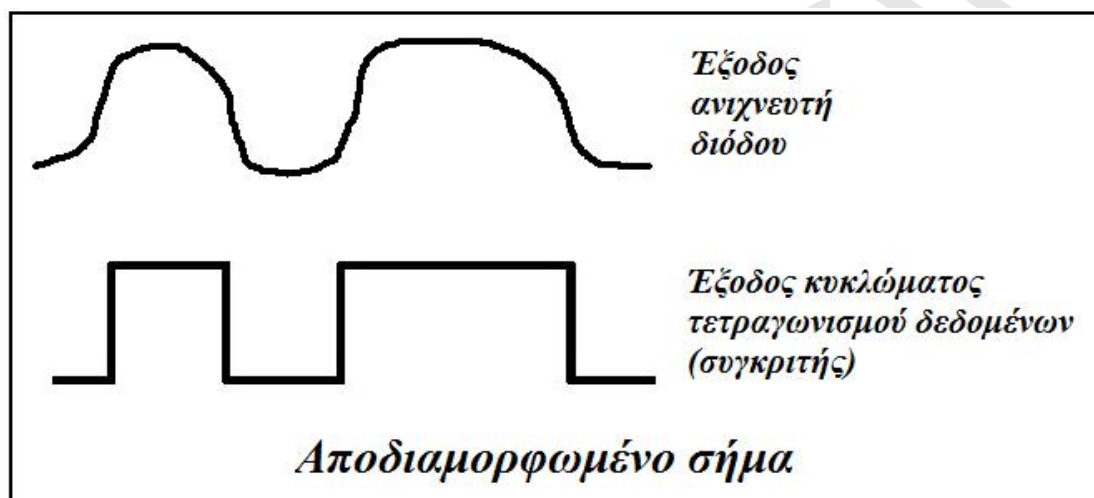
### **Πρακτική Διαδικασία**

Ρυθμίστε τη σχηματομορφή bit 01011000 στον Πομπό και επιβεβαιώστε ότι ένα αντίστοιχο σήμα λαμβάνεται κατά την είσοδο των δεδομένων στο διαμορφωτή, χρησιμοποιώντας το κανάλι Y1 του παλμογράφου (Y1-A στο Σχήμα 6.4). Παρατηρήστε στο κανάλι Y2 του παλμογράφου την έξοδο του διαμορφωτή (Y2-A στο Σχήμα 6.4). Αυτό είναι το ASK σήμα σε μια μάλλον εξιδανικευμένη μορφή και θα πρέπει να είναι παρόμοια με αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 6.1. Μπορεί να είναι απαραίτητη κάποια ρύθμιση των ρυθμιστών εξισορρόπησης του διαμορφωτή για την επίτευξη μιας συμμετρικής κυματομορφής χωρίς μετάδοση της φέρουσας στα μηδενικά bits.

**Ερώτηση 6.2**

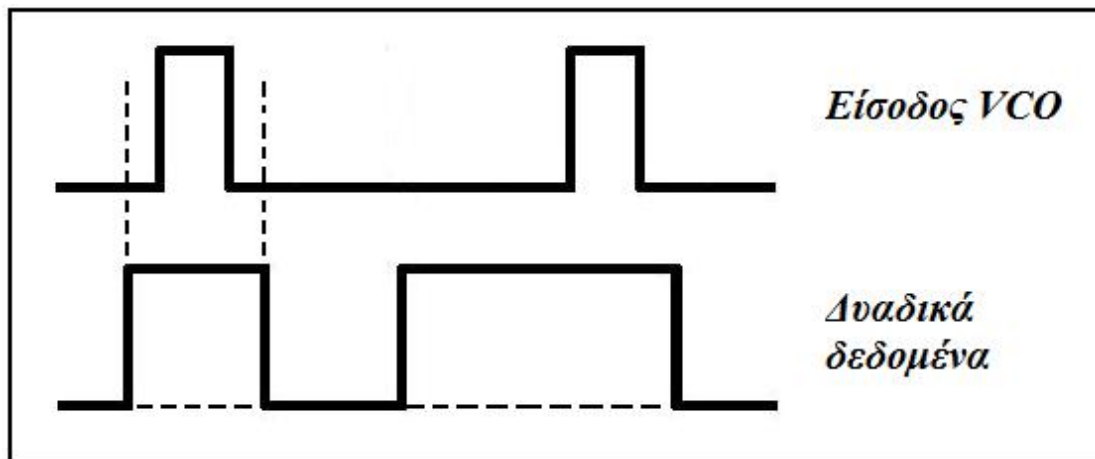
Η φέρουσα συχνότητα είναι 1.28 MHz. Πόσοι κύκλοι της φέρουσας θα μεταδοθούν για κάθε δυαδικό ψηφίο 1 όταν ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι 80.000 bits/sec;

Μεταφέρετε το κανάλι Y1 στην έξοδο του ανιχνευτή διόδου (Y1-B στο σχήμα 6.4) και το Y2 στην έξοδο του κυκλώματος τετραγωνισμού δεδομένων (Y2-B στο Σχήμα 6.4). Τα ίχνη πρέπει να αντιστοιχίζονται με αυτά που απεικονίζονται στο Σχήμα 6.5, αλλά και μπορεί να χρειαστεί κάποια ρύθμιση της πόλωσης «bias» του συγκριτή για να κάνουμε ίδιο το πλάτος του κάθε 1 και 0 bit, όπως και στην αρχική σχηματομορφή bit.



Σχήμα 6.5

Θα είναι πλέον αναγκαίο να ρυθμιστούν το εύρος «width» και η καθυστέρηση «delay» στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων κατά παρόμοιο τρόπο με εκείνο της Εργασίας 5. Μεταφέρετε τα κανάλια του παλμογράφου στις θέσεις Y1-C και Y2-C όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.4. Προσαρμόστε τον ρυθμιστή «width» έτσι ώστε οι παλμοί από τον δεύτερο μονοσταθή πολυδονητή να είναι ίσου εύρους με εκείνους του bit clock. Στη συνέχεια, επιστρέψτε το κανάλι Y2 στην έξοδο των δεδομένων (Y2-B στο Σχήμα 6.4) και προσαρμόστε τον ρυθμιστή «delay», έτσι ώστε οι παλμοί πύλης από το δεύτερο μονοσταθή πολυδονητή να αφαιρούνται από τις μεταβάσεις στο σήμα δεδομένων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.6.



Σχήμα 6.6

Όταν οι ρυθμίσεις αυτές έχουν πραγματοποιηθεί μεταφέρετε το κανάλι Y1 πίσω στην έξοδο των NRZ δεδομένων του Πομπό (Y1-A στο Σχήμα 6.4) και το κανάλι Y2 στην είσοδο των NRZ δεδομένων του Δέκτη (Y2-D στο Σχήμα 6.4). Μπορούμε πλέον να επιβεβαιώσουμε ότι το ανακτημένο δυαδικό σήμα είναι ίδιο με το πρωτότυπο, αλλά καθυστερημένο χρονικά περίπου κατά μισή περίοδο bit.

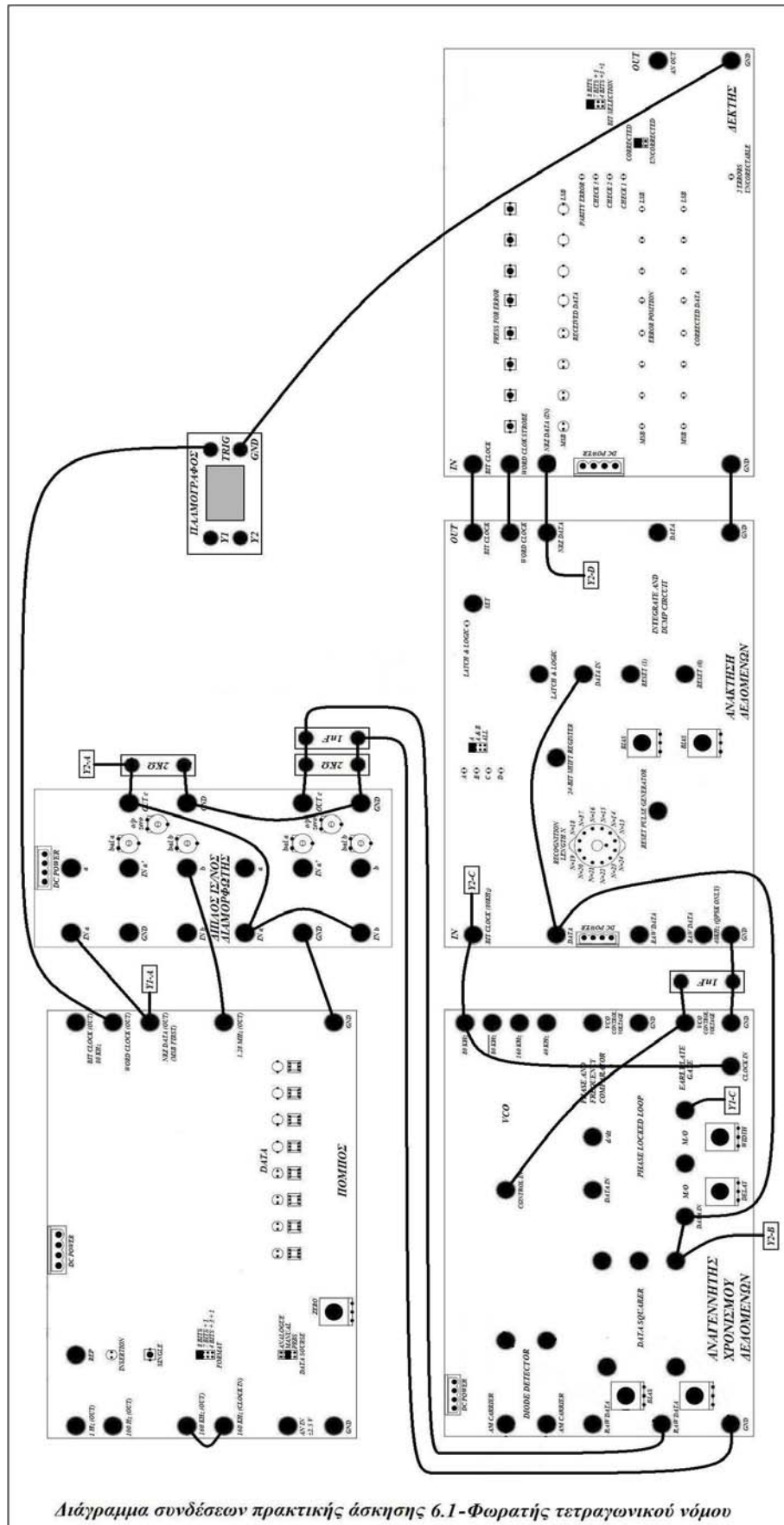
Πατήστε το κουμπί εισαγωγής της λέξης αναγνώρισης «single» στον Πομπό. Η σχηματομορφή bit που εμφανίζεται στο Δέκτη πρέπει να ταιριάζει με αυτή που έχει αρχικοποιηθεί στον Πομπό.

#### **Φωρατής Τετραγωνικού Νόμου (Square law Detector)**

Ως εναλλακτική λύση του ανιχνευτή διόδου που χρησιμοποιήθηκε στη παραπάνω πρακτική άσκηση μπορούμε να συνδέσουμε τον δεύτερο ισοσταθμισμένο διαμορφωτή του Διπλού Ισοσταθμισμένου Διαμορφωτή έτσι ώστε να λειτουργεί ως φωρατής τετραγωνικού νόμου. Σε αυτή την εφαρμογή το εισερχόμενο διαμορφωμένο σήμα εφαρμόζεται τόσο στην είσοδο «in a» όσο και στη «in b» ισοσταθμισμένου διαμορφωτή. Τα αποτελέσματά του λαμβάνονται από το συγκριτή, όπως και πριν.

Αν οποιοσδήποτε αριθμός πολλαπλασιαστεί με τον εαυτό του, το αποτέλεσμα είναι θετικό, ανεξάρτητα από το πρόσημο του αρχικού αριθμού. Δεδομένου ότι η έξοδος του διαμορφωτή είναι το γινόμενο των εισόδων του, το αποτέλεσμα αυτής της σύνδεσης είναι να πολλαπλασιάζεται το σήμα εισόδου με τον εαυτό του και να παράγει μία έξοδο που είναι πάντα θετική. Η προκύπτουσα κυματομορφή θα ακολουθήσει το μορφή του δυαδικού σήματος, αλλά θα έχει κάποια κυμάτωση στο περιεχόμενο με συχνότητα διπλάσια της φέρουσας.

Για να εφαρμόσετε τον φωρατή τετραγωνικού νόμου στο σύστημα αφαιρέστε τις συνδέσεις από τον ανιχνευτή διόδου και πραγματοποιείτε τις συνδέσεις που απεικονίζονται στο Σχήμα 6.7. Η προκύπτουσα έξοδος του φωρατή θα μοιάζει με εκείνη του ανιχνευτή διόδου, αλλά κατά πάσα πιθανότητα η πόλωση «bias» του συγκριτή θα χρειαστεί ρύθμιση.



Σχήμα 6.7

### Παρατηρήσεις

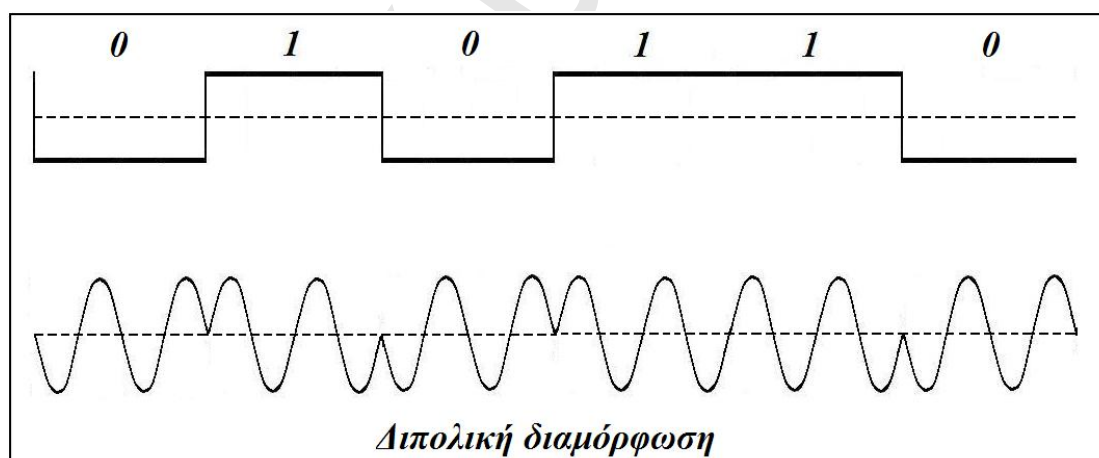
Η On-off ASK είναι μια απλή αλλά αποτελεσματική μέθοδος για τη μετάδοση μονοπολικών δυαδικών σημάτων μέσω ενός καναλιού υψηλής συχνότητας. Ωστόσο, λόγω της ισχύος που περιέχεται στο φέρον κύμα, η αποδοτικότητα μετάδοσης είναι σχετικά χαμηλή και, όπως θα δούμε στην επόμενη πρακτική άσκηση, μπορεί να βελτιωθεί με ένα σύστημα καταστολής φέροντος.

### ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 6.2

#### ASK με καταστολή φέροντος (*Suppressed-Carrier ASK*)

Στην προηγούμενη πρακτική άσκηση διαμορφώσαμε το φέρον με μια μονοπολική σχηματομορφή bit για να αποκτήσει ASK σήμα. Σε αυτή την πρακτική άσκηση, θα διερευνήσουμε τις σημαντικές διαφορές που προκύπτουν, όταν το φέρον είναι διαμορφωμένο από ένα διπολικό σήμα δεδομένων.

Ένα διπολικό σήμα δεδομένων έχει δύο στάθμες ίσου πλάτους από τις οποίες η θετική αποδίδεται στο δυαδικό 1 και η αρνητική στο δυαδικό 0. Όταν το διπολικό σήμα εφαρμοστεί στο διαμορφωτή έχει ως αποτέλεσμα το φέρον να πολλαπλασιαστεί είτε με θετικούς είτε με αρνητικούς παλμούς, παράγοντας ένα ομοφασικό σήμα ή ένα σήμα ανεστραμμένης φάσης. Μια διπολική ακολουθία bit θα παράγει επομένως ένα σήμα εξόδου του οποίου η φάση θα αλλάζει, σύμφωνα με τα ψηφιακά δεδομένα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.8.



Σχήμα 6.8

Επίσης, δεδομένου ότι το διπολικό σήμα δεδομένων εφαρμόζεται στο διαμορφωτή ως μια ακολουθία με ίσες πιθανότητες εμφάνισης θετικών και αρνητικών παλμών, η μέση στάθμη DC θα συγκεντρωθεί στο μηδέν. Ως αποτέλεσμα, η έξοδος από τον διαμορφωτή θα περιέχει μόνο τις πλευρικές συχνότητες χωρίς καμιά συνιστώσα σταθερού φέροντος, όπως φαίνεται στο διάγραμμα πλάτους-συχνότητας του σχήματος 6.9. Η παράλειψη του φέροντος μειώνει την ισχύ που απαιτείται από τον

πομπό για τη μετάδοση του σήματος χωρίς απώλεια του περιεχομένου του μηνύματος, δεδομένου ότι όλα τα δεδομένα μεταφέρονται στις πλευρικές ζώνες.

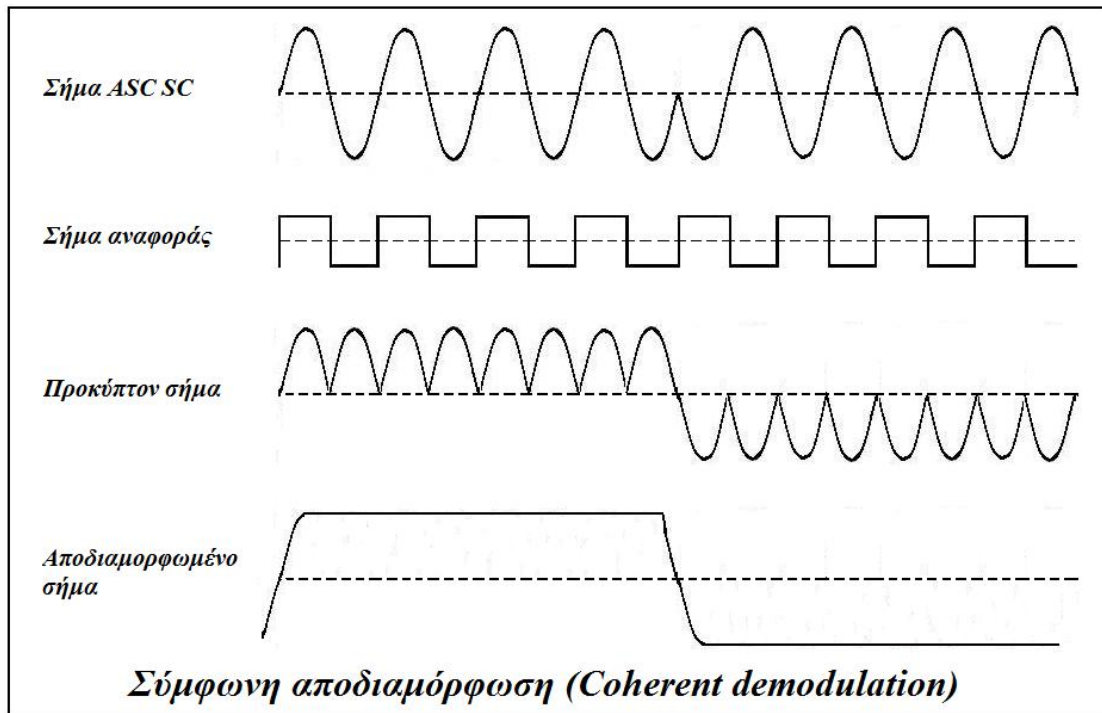
Σημειώστε ότι η ASK με καταστολή φέροντος μπορεί να θεωρηθεί ως μια μορφή Διαμόρφωσης Μετατόπισης Φάσης (Phase Shift Keying - PSK) με μετατόπιση φάσης  $\pm 90^\circ$ , η οποία εξετάζεται πληρέστερα στην Εργασία 8.



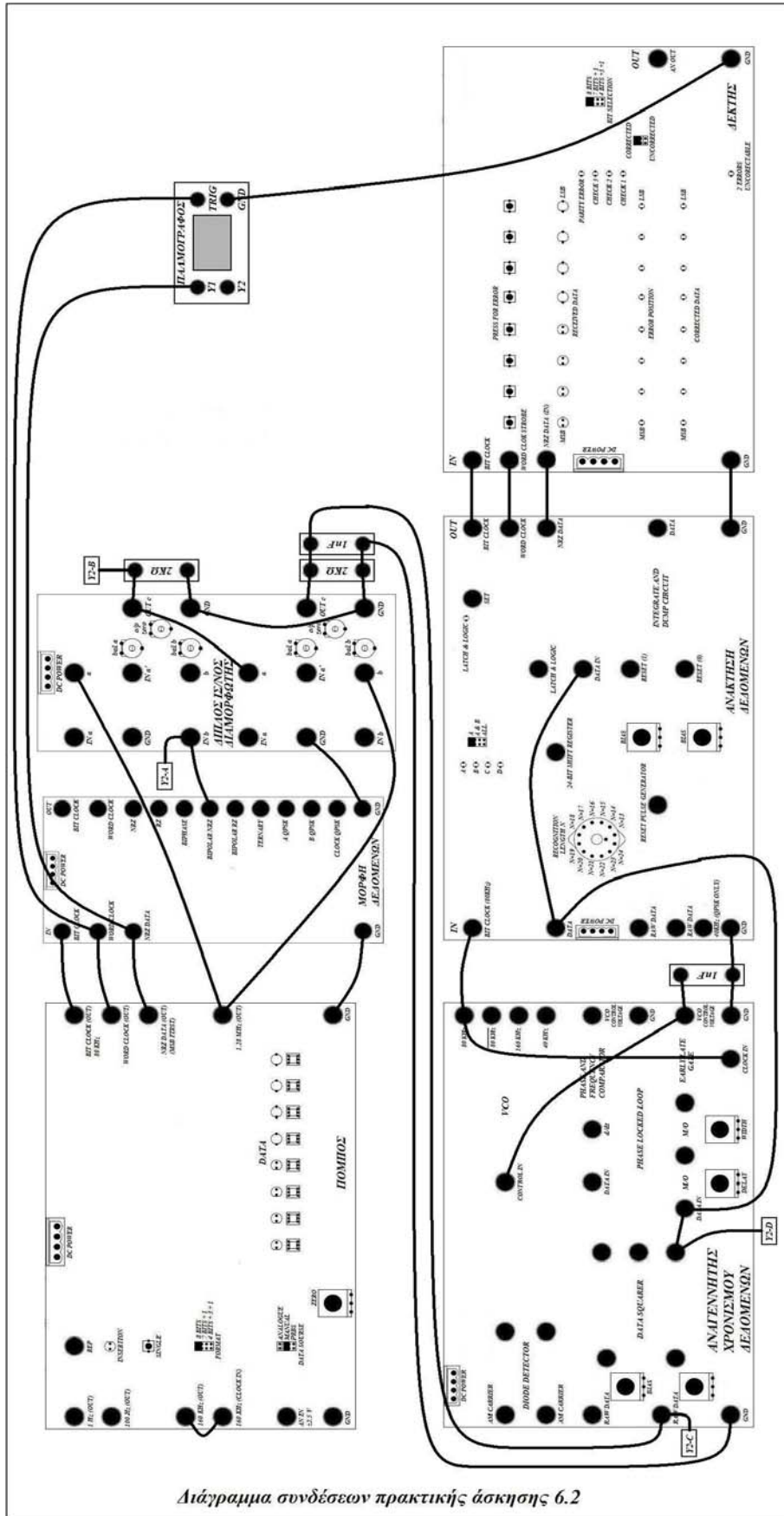
Σχήμα 6.9

Η λήψη της ASK με καταστολή φέροντος απαιτεί ένα τοπικά παραγόμενο σήμα, ίδιας συχνότητας και φάσης με το αρχικό φέρον, το οποίο λειτουργεί ως σήμα αναφοράς για τον αποδιαμορφωτή, έτσι ώστε να μπορεί να διακρίνει μεταξύ των ομοφασικών σημάτων και των σημάτων με ανεστραμμένη φάση που αποστέλλονται από τον Πομπό.

Μια διαδικασία ανίχνευσης αυτού του είδους είναι γνωστή ως *σύμφωνη αποδιαμόρφωση* (*coherent demodulation*). Ένας απλός τρόπος για να κατανοήσουμε την διαδικασία είναι να συνειδητοποιήσουμε ότι το λαμβανόμενο σήμα ASK SC (Suppressed Carrier) αναστρέφεται κάθε φορά που το σήμα αναφοράς είναι αρνητικό. Έτσι παράγεται το προκύπτον σήμα που φαίνεται στο Σχήμα 6.10 το οποίο φιλτράροντας το ανακτούμε το αποδιαμορφωμένο σήμα εξόδου.



Σχήμα 6.10



Διάγραμμα συνδέσεων πρακτικής άσκησης 6.2

Σχήμα 6.11



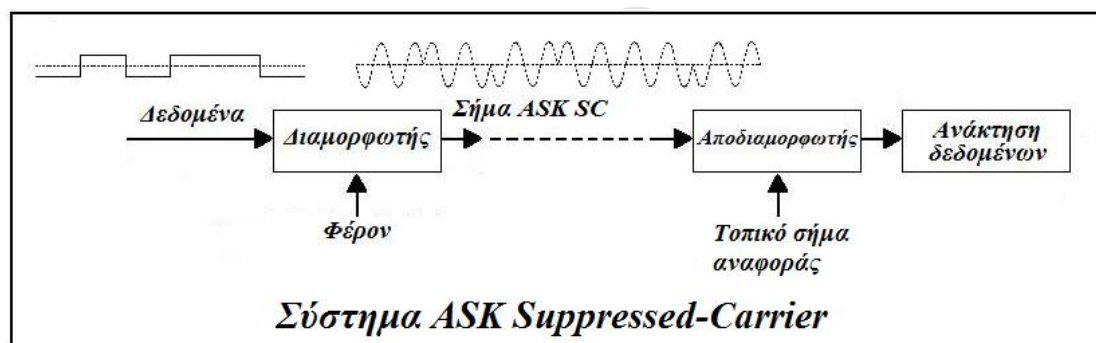
### Προετοιμασία

Τροποποιήστε τις συνδέσεις που έγιναν στη προηγούμενη πρακτική άσκηση με την προσθήκη της μονάδας Μορφή Δεδομένων στο σύστημα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.11. Αυτό μετατρέπει το μονοπολικό σήμα δεδομένων σε διπολική μορφή πριν εφαρμοσθεί στον ισοσταθμισμένο διαμορφωτή. Η έξοδος από τον διαμορφωτή θα είναι πλέον ένα διφασικό σήμα υψηλής συχνότητας με το φέρον κατασταλαμένο.

Στο δέκτη ένας πολλαπλασιαστής (ισοσταθμισμένος διαμορφωτής) συνηθίζεται να αποδιαμορφώνει το εισερχόμενο σήμα. Αυτό απαιτεί ένα αδιαμόρφωτο φέρον ως αναφορά για να μετατρέψει τη διφασική είσοδο σε ένα δυαδικό σήμα εξόδου που συμμορφώνεται με την αρχική σχηματομορφή bit. Σε αυτό το πείραμα, το φέρον σήμα από τον Πομπό συνδέεται άμεσα με τον ισοσταθμισμένο διαμορφωτή, αλλά σε ένα πραγματικό σύστημα το φέρον θα παραγόταν τοπικά στο Δέκτη και θα διατηρούνταν σε συγχρονισμό με το αρχικό φέρον σήμα.

### Ερώτηση 6.3

**Τι ομοιότητα υπάρχει μεταξύ των διαδικασιών διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης για την ASK με καταστολή φέροντος;**



Σχήμα 6.12

### Πρακτική Διαδικασία

Ρυθμίστε τη σχηματομορφή bit 0101100 στον Πομπό όπως και πριν. Τοποθετήστε το κανάλι Y1 του παλμογράφου στην είσοδο της μονάδας Μορφή Δεδομένων και επιβεβαιώστε ότι παρουσιάζεται μια αντίστοιχη μονοπολική σχηματομορφή bit. Τοποθετήστε το κανάλι Y2 στην είσοδο του διαμορφωτή και παρατηρήστε το διπολικό σήμα δεδομένων (Y2-A στο Σχήμα 6.11).

Μετακινήστε το κανάλι Y2 στην είσοδο του αποδιαμορφωτή (Y2-B στο Σχήμα 6.11), και παρατηρήστε ότι η φάση του μεταδιδόμενου σήματος αλλάζει σε κάθε μετάβαση του διπολικού σήματος δεδομένων.

Μετακινήστε το κανάλι Y2 στην έξοδο του αποδιαμορφωτή (Y2-C στο Σχήμα 6.11) και επιβεβαιώστε ότι λαμβάνεται μια μονοπολική ακολουθία bit που αντιστοιχεί στην αρχική ακολουθία, αλλά έχει μεγαλύτερο πλάτος.

Μετακινήστε το κανάλι Y2 στην έξοδο του συγκριτή (Y2-D στο Σχήμα 6.11). Θα πρέπει να λαμβάνουμε ένα αντίγραφο του αρχικού σήματος δεδομένων αλλά καθυστερημένο κατά περίπου μισή περίοδο bit. Μπορεί να χρειαστεί κάποια ρύθμιση της πόλωσης «bias» του συγκριτή ώστε το δυαδικό 1 και το δυαδικό 0 να έχουν το ίδιο πλάτος.

Πατήστε το κουμπί εισαγωγής της λέξης αναγνώρισης «single» στον Πομπό. Οι ενδείκτες led στο Δέκτη θα πρέπει να απεικονίζουν την ίδια σχηματομορφή bit με εκείνους στον Πομπό.

### **Ερώτηση 6.4**

**Δώστε ένα πλεονέκτημα και ένα μειονέκτημα της ASK με καταστολή φέροντος, σε σύγκριση με την on-off ASK.**

### **Ερώτηση 6.5**

**Στις ασκήσεις αυτής της εργασίας η είσοδος του φέροντος στον πρώτο ισοσταθμισμένο διαμορφωτή είναι συνδεδεμένη με AC σύζευξη δια μέσω ενός πυκνωτή και τα δεδομένα εισόδου άμεσα συνδεδεμένα με DC σύζευξη. Εξηγήστε γιατί αυτό είναι αναγκαίο.**

## **ΣΥΝΟΨΗ**

Η Διαμόρφωση Μετατόπισης Πλάτους αποκατάστασης-διακοπής (on-off ASK) απλά αποκαθιστά το φέρον (on) για δεδομένα = 1 ή διακόπτει (off) το φέρον για τα δεδομένα = 0. Η ανίχνευση και η ανάκτηση των δεδομένων στο δέκτη μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας απλά έναν ανορθωτή και ένα φίλτρο.

Η Διαμόρφωση Μετατόπισης Πλάτους με καταστολή φέροντος (ASK SC) χρησιμοποιεί έναν ισοσταθμισμένο διαμορφωτή για να παράγει τις ίδιες πλευρικές όπως και η on-off ASK, αλλά χωρίς το φέρον. Ένας περαιτέρω ισοσταθμισμένος διαμορφωτής χρησιμοποιείται για την ανάκτηση των δεδομένων στο Δέκτη. Αυτό απαιτεί ένα τοπικά παραγόμενο σήμα αναφοράς συγχρονισμένο με το φέρον σήμα. (Στην εργασία αυτή εξαλείφεται αυτό το πρόβλημα με τη απευθείας χρήση του φέρον σήματος του πομπού).

Η ASK με καταστολή φέροντος μπορεί να θεωρηθεί ως μια μορφή Διαμόρφωσης Μετατόπισης Φάσης (Phase Shift Keying – PSK) καθώς η διπολική διαμόρφωση όχι μόνο εξαλείφει το φέρον, αλλά προκαλεί αναστροφή της φάσης του διαμορφωμένου κύματος σε κάθε αλλαγή της στάθμης του δυαδικού σήματος.

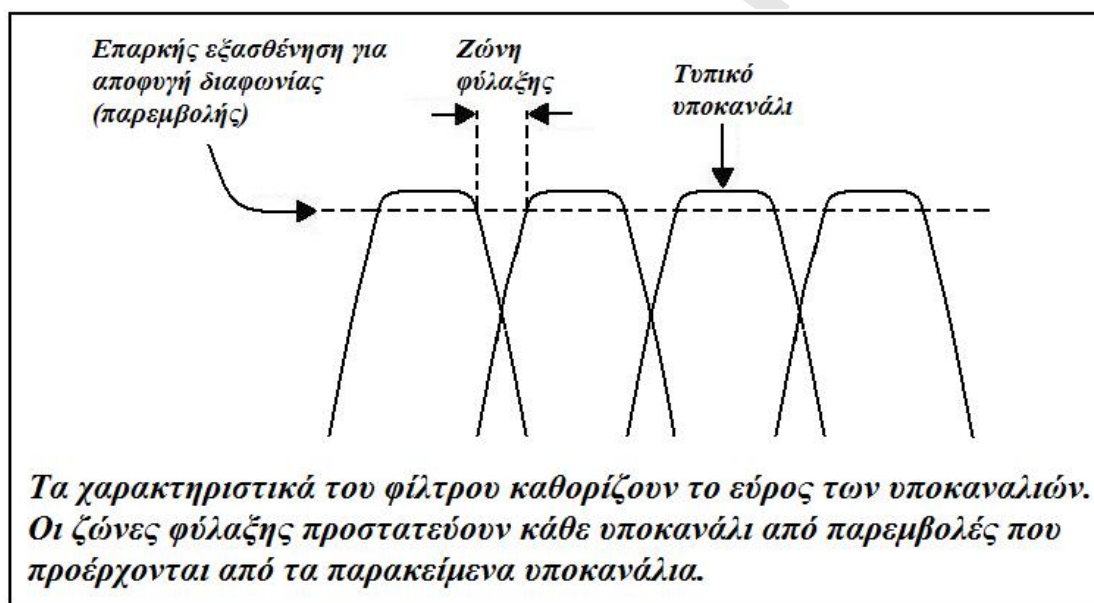
## **ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ**

Αν και η on-off ASK παρέχει ένα σχετικά άμεσο και απλό τρόπο αποστολής και λήψης ψηφιακών πληροφοριών πάνω από ένα κανάλι υψηλής συχνότητας, είναι ένα αναποτελεσματικό σύστημα καθώς το διαμορφωμένο κύμα περιέχει το φέρον μαζί με την άνω και κάτω πλευρική ζώνη. Δεδομένου ότι το φέρον είναι ένα σήμα σταθερής συχνότητας και πλάτους, άρα δεν περιέχει πληροφορίες μηνύματος, ωστόσο περισσότερη από τη μισή εκπεμπόμενη ισχύς λαμβάνεται από το φέρον. Με την

καταστολή του, μπορεί να επιτευχθεί μια σημαντική βελτίωση της αποδοτικότητας και της απόρριψης θορύβου.

Ένα σύστημα ASK με καταστολή φέροντος απαιτεί ένα διπολικό σήμα διαμόρφωσης στον πομπό και ένα τοπικά αναγεννημένο φέρον στο δέκτη για αποδιαμόρφωση του εισερχόμενου σήματος. Παρά την ανάγκη για αυτά τα επιπρόσθετα κυκλώματα, τα ASK SC συστήματα χρησιμοποιούνται ευρύτερα από τα on-off ASK, λόγω των πλεονεκτημάτων που προκύπτουν από την καταστολή του φέροντος.

Στη πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (διαίρεση ενός καναλιού σε ένα αριθμό υποκαναλιών), είναι απαραίτητη η χρήση φίλτρων σε κάθε ένα από τα υποκανάλια για να διαχωριστούν τα διάφορα σήματα το ένα από το άλλο. Κανένα πρακτικό φίλτρο δεν αλλάζει από την πλήρη μετάδοση όλων των συχνοτήτων στην αποτελεσματική αποκοπή τους εκτός από κάποιο φάσμα συχνοτήτων. Γι' αυτό απαιτούνται κενά ανάμεσα στις ζώνες συχνοτήτων των υποκαναλιών ώστε να αποφευχθεί παρεμβολή. Αυτά τα κενά ονομάζονται ζώνες φύλαξης (*guard bands*) (Σχήμα 6.13)



Σχήμα 6.13

## Τυπικά Αποτελέσματα και Απαντήσεις της Εργασίας 6

### Ερώτηση 6.1

Ο αριθμός των μεταδόσεων που μπορούν να συμπεριληφθούν είναι  $\frac{B}{2b}$ .

### Ερώτηση 6.2

Κάθε δυαδικό ψηφίο καταλαμβάνει  $\frac{1}{80000}$  sec. και αυτό το χρόνο θα υπάρχουν

$$\frac{1,280 \times 10^6}{80 \times 10^3} = 16 \text{ κύκλοι φέροντος.}$$

### Ερώτηση 6.3

Και οι δύο διαδικασίες χρησιμοποιούν έναν πολλαπλασιαστή. Στον Πομπό το φέρον διαμορφώνεται από το σήμα δεδομένων. Στο δέκτη μια φέρουσα συχνότητα αναφοράς αποδιαμορφώνει το εισερχόμενο σήμα για να παράγει τα αρχικά δεδομένα.

### Ερώτηση 6.4

Η μετάδοση ASK με καταστολή φέροντος απαιτεί λιγότερη ισχύ για το ίδιο περιεχόμενο σήματος από τη On-Off ASK. Ωστόσο απαιτείται ένα τοπικά παραγόμενο σήμα αναφοράς στο δέκτη.

### Ερώτηση 6.5

Η φέρουσα συχνότητα είναι 1.28MHz και επομένως μπορεί να συζευχθεί AC εύκολα. Οι μορφές δεδομένων που χρησιμοποιούνται σε αυτή την εργασία μπορεί να μην παράγουν μεταβάσεις για ορισμένες ακολουθίες δεδομένων και, επομένως, πρέπει να συζευχθούν DC.

## ΕΡΓΑΣΙΑ 7

### ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ ΦΑΣΗΣ (Phase Shift Keying - PSK),

#### ΜΙΚΡΟΤΕΡΗΣ $\pm 90^\circ$ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΣΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

#### ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ

Στην εργασία αυτή περιγράφονται οι αρχές της Διαμόρφωσης Μετατόπισης Φάσης (Phase Shift Keying – PSK) και αποδεικνύεται ότι μπορεί να σχεδιαστεί ένα πρακτικό σύστημα, όπου τα διφασικά δεδομένα παράγουν μια μετατόπιση φάσης φέροντος μικρότερη από  $180^\circ$  κατά τη διάρκεια κάθε περιόδου bit. Το σύστημα εκπομπής PSK σημάτων (πομπός PSK σημάτων) και το σύστημα λήψης PSK σημάτων (δέκτης PSK σημάτων) διερευνώνται σε ξεχωριστές ασκήσεις.

#### ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Πομπός
1	Μορφή Δεδομένων
3	Διπλός Ισοσταθμισμένος Διαμορφωτής
1	Ολισθητής Φάσης Φέροντος
1	Τασιελεγχόμενος Ταλαντωτής
1	Αναγεννητής Χρονισμού Δεδομένων
1	Ανάκτηση Δεδομένων
1	Δέκτης
2	Τροφοδοτικό
1	Παλμογράφος 2 καναλιών με εξωτερικό σκανδαλισμό

#### ΣΤΟΧΟΙ

Όταν θα έχετε ολοκληρώσει αυτή την εργασία θα πρέπει να γνωρίζετε ότι:

- Διφασικά δεδομένα μπορούν να μεταδοθούν μέσω ενός καναλιού υψηλής συχνότητας διαμορφώνοντας τη φάση ενός φέροντος σήματος.
- Ένα φέρον σήμα αναφοράς μπορεί να αναγεννηθεί από το εισερχόμενο PSK σήμα.
- Πληροφορίες χρονισμού μπορούν να εξαχθούν από το αποδιαμορφωμένο σήμα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον συγχρονισμό του bit clock στον δέκτη PSK σημάτων.

#### ΕΠΙΠΕΔΟ ΓΝΩΣΕΩΝ

Πριν από την έναρξη αυτής της εργασίας θα πρέπει να γνωρίζετε:

- Τις κυματομορφές που αντιστοιχούν στη Διφασική και στη NRZ μορφή δεδομένων.

- Πώς κατασκευάζονται απλά διαγράμματα φασιθετών (phasor) που δείχνουν τη σχέση πλάτους και φάσης μεταξύ σημάτων της ίδιας συχνότητας.
- Ότι  $\text{Cos}A \cdot \text{Cos}B = \frac{1}{2}[\text{Cos}(A - B) + \text{Cos}(A + B)]$

### ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Συνδέστε τα δυο τροφοδοτικά με το ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά μην τα ενεργοποιείτε ακόμη.

Συνδέστε τα καλώδια τροφοδοσίας DC στον Πομπό, στη μονάδα Μορφή Δεδομένων, στους Διπλούς Ισοσταθμισμένους Διαμορφωτές, στον Ολισθητή Φάσης Φέροντος, στον Τασιελεγχόμενο Ταλαντωτή, στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων, στη μονάδα Ανάκτησης Δεδομένων και στον Δέκτη (Όλες αυτές οι υποδοχές είναι πανομοιότυπες, αλλά το φορτίο θα πρέπει να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο, κατά προτίμηση ένα τροφοδοτικό για το σύστημα εκπομπής PSK σημάτων και ένα για το σύστημα λήψης PSK σημάτων).

Μόνο όταν όλες οι συνδέσεις τροφοδοσίας έχουν πραγματοποιηθεί, μπορεί η τροφοδοσία να ενεργοποιηθεί.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη Διαμόρφωση Μετατόπισης Φάσης (Phase Shift Keying - PSK) το εκπεμπόμενο σήμα έχει σταθερό πλάτος και συχνότητα, αλλά η φάση του, σε σχέση με τη φάση ενός σήματος αναφοράς, είναι άμεσα συνδεδεμένη με την τιμή ενός δυαδικού σήματος δεδομένων.

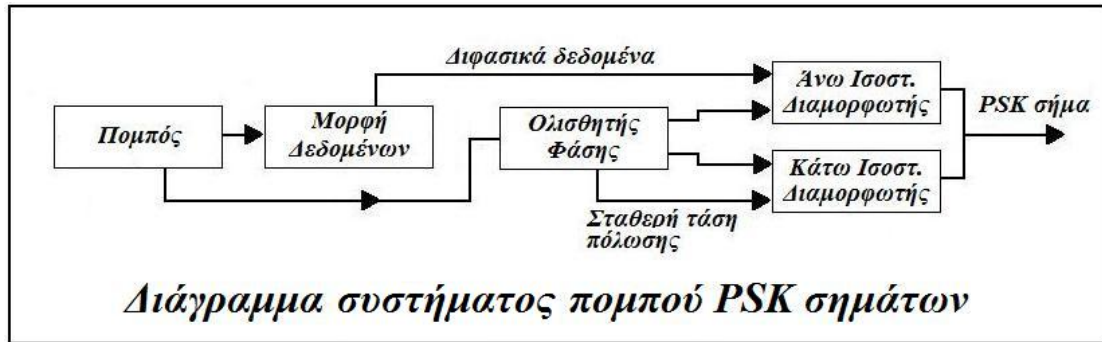
Για ένα δυαδικό σήμα δυο επιπέδων η μετατόπιση φάσης μπορεί να γίνει ίση με  $180^\circ$ , δηλαδή μια γωνία φάσης  $\pm 90^\circ$  σε σχέση με το σήμα αναφοράς. Στην περίπτωση αυτή, η διαδικασία διαμόρφωσης είναι απολύτως ισοδύναμη με τη ASK με καταστολή φέροντος, όπως περιγράφεται στην Εργασία 6.

Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε με την περίπτωση όπου η γωνία φάσης γίνεται μικρότερη από  $\pm 90^\circ$ . Αρχικά θα ερευνήσουμε τη διαδικασία διαμόρφωσης προτού ασχοληθούμε με την αποδιαμόρφωση και τη λειτουργία του συστήματος στο σύνολό του.

### ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 7.1

#### *PSK Διαμόρφωση*

Σε αυτή την πρακτική άσκηση, θα χρησιμοποιήσουμε δύο ισοσταθμισμένους διαμορφωτές σε συνδυασμό, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.1.



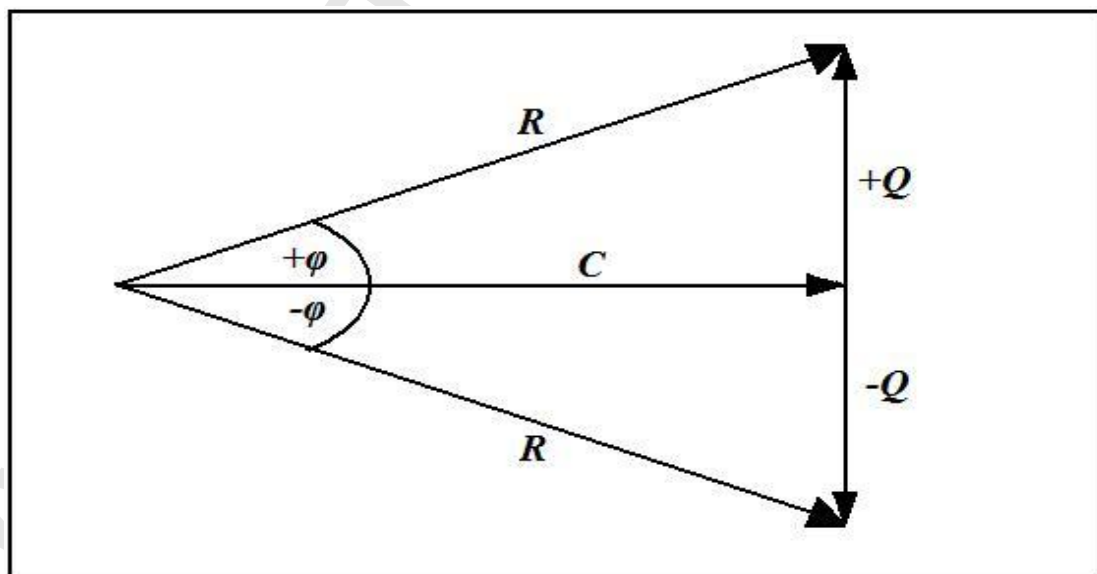
Σχήμα 7.1

**Ερώτηση 7.1**

Και οι δύο ισοσταθμισμένοι διαμορφωτές σε αυτό το πείραμα λειτουργούν ως πολλαπλασιαστές. Αν πολλαπλασιαστεί ένα AC σήμα σταθερής συχνότητας με α) μια σταθερή θετική ποσότητα, β) μια σταθερή αρνητική ποσότητα, ποια είναι η σχέση μεταξύ της εισόδου AC και της εξόδου του διαμορφωτή, σε κάθε περίπτωση;

Η έξοδος από τον κάτω ισοσταθμισμένο διαμορφωτή είναι ένα φέρον σήμα σταθερής φάσης, που απεικονίζεται με C στο διάγραμμα φασιθετών του σχήματος 7.2. Η έξοδος από τον πάνω ισοσταθμισμένο διαμορφωτή, +Q, είναι πάντα σε διαφορά φάσης 90° με το φέρον, αλλά μπορεί να αντιστραφεί στη φάση, -Q, έτσι ώστε η συνισταμένη (η συνδυασμένη έξοδος από τους δύο ισοσταθμισμένους διαμορφωτές), R, να προηγείται ή να καθυστερεί του φέροντος κατά γωνία φ.

Εφαρμόζοντας ένα διφασικό σήμα δεδομένων στον άνω ισοσταθμισμένο διαμορφωτή η συνδυασμένη έξοδος από τους δύο διαμορφωτές είναι ένα PSK σήμα οποιού η φάση καθορίζεται από τη DC στάθμη της κυματομορφής δεδομένων.



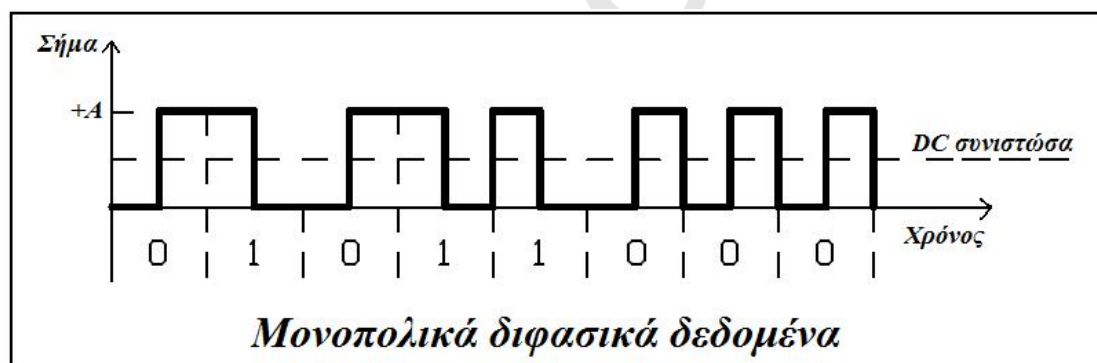
Σχήμα 7.2

### Προετοιμασία

Το CR (Capacitor-Resistor) κύκλωμα που σχηματίζει τις εξόδους του Ολισθητή Φάσης Φέροντος παράγει δύο σήματα φέρουσας συχνότητας σε διαφορά φάσης  $90^\circ$  μεταξύ τους και εφαρμόζονται το ένα στον άνω και το άλλον στον κάτω ισοσταθμισμένο διαμορφωτή.

Ο κάτω ισοσταθμισμένος διαμορφωτής είναι επίσης συνδεδεμένος με μια σταθερή DC τάση πόλωσης, που παρέχεται από τον Ολισθητή Φάσης Φέροντος και η έξοδός του είναι ένα σήμα φέρουσας συχνότητας σταθερής φάσης το οποίο ενεργεί ως σημείο αναφοράς. Αυτό αντιστοιχεί στο φασιθέτη C του σχήματος 7.2.

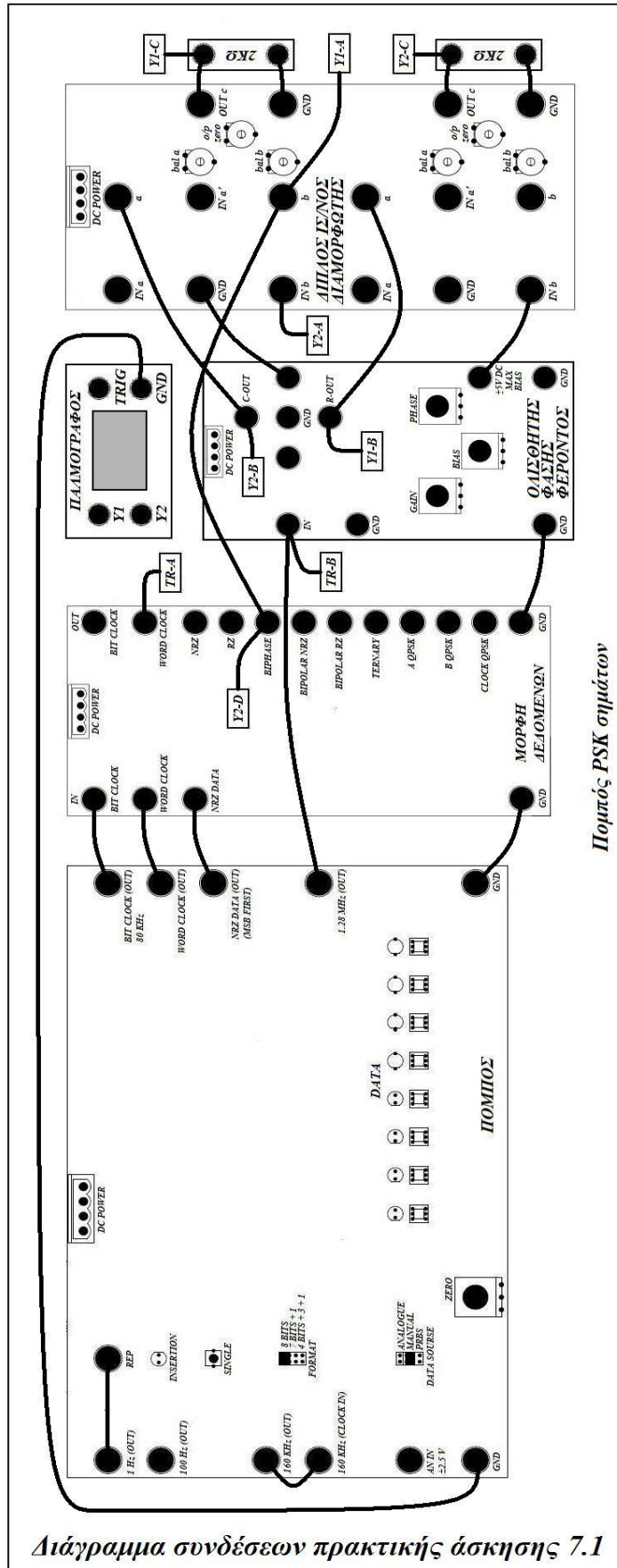
Η διφασική κυματομορφή δεδομένων έχει μια σταθερή DC συνιστώσα δεδομένου ότι υπάρχει ένας θετικός παλμός ανά bit, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.3. Το διφασικό σήμα δεδομένων εφαρμόζεται στον άνω ισοσταθμισμένο διαμορφωτή μέσω της εισόδου με τον πυκνωτή (χωρητική ζεύξη) με αποτέλεσμα να απορρίπτει την DC συνιστώσα και να παράγει ίσους θετικούς και αρνητικούς παλμούς. Το σήμα φέρουσας συχνότητας που εφαρμόζεται στον άνω ισοσταθμισμένο διαμορφωτή είναι σε διαφορά φάσης  $90^\circ$  με το σήμα αναφοράς και μπορεί να αντιστραφεί η φάση του σύμφωνα με τις αλλαγές στην πολικότητα της δυαδικής κυματομορφής δεδομένων. Αυτό αντιστοιχεί στο φασιθέτη  $\pm Q$  του σχήματος 7.2.



Σχήμα 7.3

Τα σήματα εξόδου των δύο ισοσταθμισμένων διαμορφωτών μπορούν να συνδυαστούν σε ένα κοινό φορτίο για να παράγουν το PSK σήμα. Μεταβάλλοντας τα σχετικά μεγέθη τους η μετατόπιση φάσης του προκύπτοντος μπορεί να οριστεί σε μια αποδεκτή τιμή, όπως είναι οι  $90^\circ$ , που αντιστοιχεί σε  $\pm 45^\circ$  σε σχέση με τη φάση του σήματος αναφοράς.





Σχήμα 7.4

Πραγματοποιείτε τις συνδέσεις και τις ρυθμίσεις των διακοπών όπως φαίνονται στο Σχήμα 7.4.

Ρυθμίστε τα κανάλια Y1 και Y2 στον παλμογράφο στα 5V/div και την βάση χρόνου στα 10μs/div με εξωτερικό σκανδαλισμό αρχικά από την έξοδο word clock της μονάδας Μορφή Δεδομένων (TR-A στο Σχήμα 7.4).

### **Πρακτική Διαδικασία**

Αρχικά, θα επιβεβαιώσουμε ότι παίρνουμε από τη διφασική κυματομορφή που εφαρμόζεται στη b είσοδο του άνω ισοσταθμισμένου διαμορφωτή, ίσες θετικές και αρνητικές στάθμες.

Με το κανάλι Y1 να συνδέεται στη διφασική έξοδο «biphase» από την μονάδα Μορφή Δεδομένων (Y1-A στο Σχήμα 7.4) και το κανάλι Y2 στον ακροδέκτη «in b» του άνω ισοσταθμισμένου διαμορφωτή (Y2-A στο Σχήμα 7.4), παρατηρήστε ότι η κυματομορφή στο κανάλι Y2 δεν έχει καμία μέση DC συνιστώσα ανεξάρτητα από το σχηματομορφή bit που έχει πληκτρολογηθεί στον Πομπό.

Μεταφέρετε το κανάλι Y1 στον ακροδέκτη «C-OUT» του Ολισθητή Φάσης Φέροντος (Y1-B στο Σχήμα 7.4) και το κανάλι Y2 στον ακροδέκτη «R-OUT» (Y2-B στο Σχήμα 7.4) που είναι οι δύο έξοδοι του CR κυκλώματος. Μεταφέρετε τον εξωτερικό σκανδαλισμό στον ακροδέκτη εισόδου «in» του Ολισθητή Φάσης Φέροντος (TR-B στο Σχήμα 7.4). Ρυθμίστε τα κανάλια Y1 και Y2 στα 2V/div και την βάση χρόνου στα 0.5μs/div.

Με τις συνδέσεις αυτές μπορούμε να επιβεβαιώσουμε ότι τα σήματα εξόδου από τον Ολισθητή Φάσης Φέροντος είναι σε διαφορά φάσης 90°. Γυρίστε τον ρυθμιστή κέρδους «gain» σχεδόν πλήρως προς τα δεξιά και προσαρμόστε τον ρυθμιστή φάσης «rphase» μέχρι τα δύο σήματα εξόδου να είναι περίπου ίσου μεγέθους. Εάν χρειάζεται, ξαναρυθμίστε τον ρυθμιστή κέρδους «gain» για να βελτιωθεί η μορφή των ημιτονοειδών κυμάτων εξόδου. Σημειώστε το πλάτος των ορθογωνικών σημάτων.

Μπορούμε πλέον να παρακολουθήσουμε τα ορθογωνικά σήματα στην έξοδο του άνω ισοσταθμισμένου διαμορφωτή (Y1-C στο Σχήμα 7.4) και το φέρον σήμα αναφοράς στην έξοδο του κάτω ισοσταθμισμένου διαμορφωτή (Y2-C στο Σχήμα 7.4).

Καθώς το ορθογωνικό σήμα αντιστρέφεται σε φάση κατά τη διάρκεια κάθε περιόδου bit το ίχνος στο κανάλι Y1 θα παρουσιάσει δύο υπερτιθέμενες κυματομορφές ίσου πλάτους.

### **Ερώτηση 7.2**

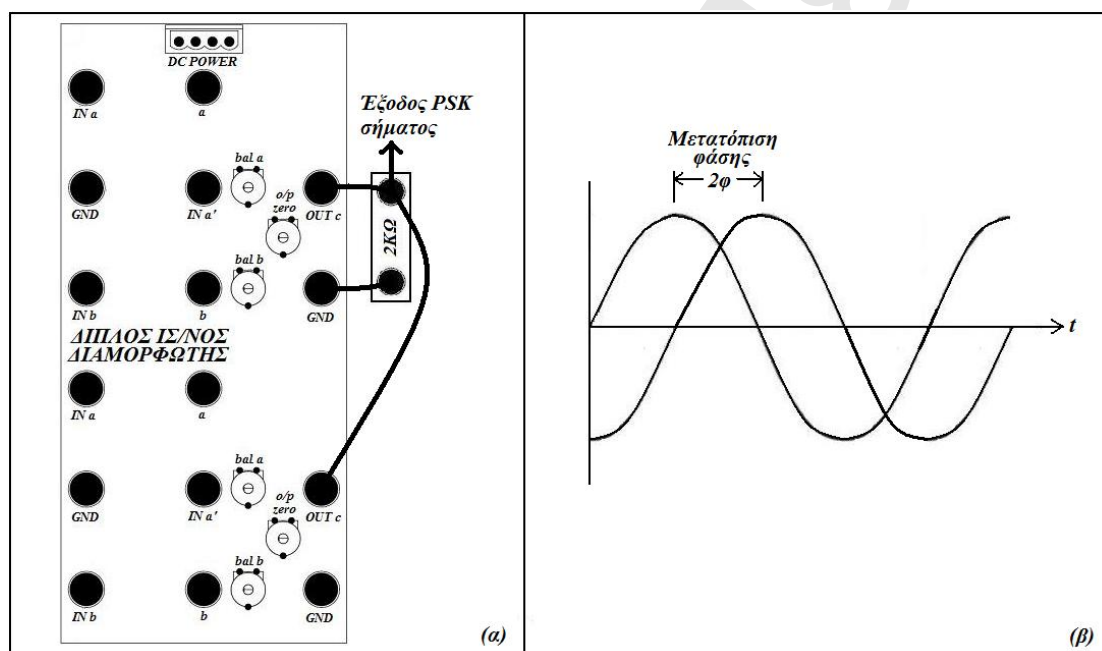
**Γιατί θα πρέπει οι δύο κυματομορφές να είναι υπερτιθέμενες, ανεξάρτητα από τη σχηματομορφή bit δεδομένων;**

Το πλάτος του φέροντος, που εμφανίζεται στο κανάλι Y2 (Y2-C στο Σχήμα 7.4), εξαρτάται από την τάση πόλωσης που προέρχεται από τον Ολισθητή Φάσης Φέροντος. Γυρίστε τον ρυθμιστή πόλωσης «bias» πλήρως δεξιόστροφα αρχικά για να παράγετε μια θετική πόλωση και στη συνέχεια γυρίστε τον αριστερόστροφα έως ότου το πλάτος του φέροντος να είναι περίπου ίσο με εκείνο του ορθογωνικού σήματος που σημειώσατε νωρίτερα.

Η γωνία φάσης  $\varphi$  είναι ίση με  $\arctan \frac{Q}{C}$ , όπου Q και C είναι τα πλάτη του ορθογωνικού και του φέροντος σήματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.2. Σε αυτήν την περίπτωση, όταν τα Q και C είναι ίσα έχουμε  $\varphi = \pm 45^\circ$ .

Δοκιμάστε το αποτέλεσμα που έχει η μείωση της τάσης πόλωσης στο κάτω ισοσταθμισμένο διαμορφωτή. Θα πρέπει να διαπιστωθεί ότι η μετατόπιση φάσης μπορεί εύκολα να αυξηθεί στις  $180^\circ$ , που αντιστοιχούν σε γωνίες φάσης  $\pm 90^\circ$  σε σχέση με τη φάση του σήματος αναφοράς.

Τώρα αποσυνδέστε την 2ΚΩ αντίσταση φορτίου από την έξοδο του κάτω ισοσταθμισμένου διαμορφωτή και συνδέστε τις δύο εξόδους των ισοσταθμισμένων διαμορφωτών σε ένα κοινό φορτίο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.5α.



Σχήμα 7.5

Το ίχνος στο κανάλι Y1 θα δείχνει πλέον το PSK σήμα, όπως θα μεταδοθεί. Καθώς η γωνία φάσης αλλάζει κατά τη διάρκεια κάθε bit δεδομένων, οι δύο θέσεις της φάσης θα πρέπει να είναι υπερτιθέμενες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.5β). Ρυθμίστε την τάση πόλωσης στο κάτω ισοσταθμισμένο διαμορφωτή (από τον ρυθμιστή «bias» στον Ολισθητή Φάσης Φέροντος) για να αποκτήσει μετατόπιση φάσης περίπου  $90^\circ$  ( $= \pm 45^\circ$  σε σχέση με το σήμα αναφοράς).

Τώρα συνδέστε το κανάλι Y2 στη διφασική έξοδο της μονάδας Μορφή Δεδομένων (Y2-D στο σχήμα 7.4). Ρυθμίστε τη βάση χρόνου στα  $5\mu s/div$  και μεταφέρετε τον εξωτερικό σκανδαλισμό στον ακροδέκτη της εξόδου του word clock (TR-A στο Σχήμα 7.4). Ο παλμογράφος θα εμφανίζει πλέον την μετατόπιση φάσης του PSK σήματος που συμβαίνει σε κάθε μετάβαση παλμού του διφασικού σήματος δεδομένων. Αλλάξτε τη σχηματομορφή bit από τον Πομπό και παρατηρήστε τις

προκύπτουσες αλλαγές στο PSK σήμα. Αλλάζετε τη ρύθμιση της βάσης χρόνου του παλμογράφου αν είναι απαραίτητο.

### Παρατηρήσεις

Στη Διαμόρφωση Μετατόπισης Φάσης (PSK) το πλάτος και η συχνότητα του εκπεμπόμενου σήματος είναι σταθερά αλλά η φάση του εναλλάσσεται μεταξύ δύο προκαθορισμένων τιμών.

Η διαδικασία διαμόρφωσης που περιγράφεται σε αυτό το πείραμα επιτρέπει στη γωνία φάσης  $\varphi$ , να μεταβάλλεται σε ένα μεγάλο φάσμα τιμών. Ωστόσο, για τη διαδικασία αποδιαμόρφωσης που θα διερευνηθεί στην ακόλουθη πρακτική άσκηση η γωνία  $\varphi$  θα οριστεί μικρότερη των  $\pm 90^\circ$ .

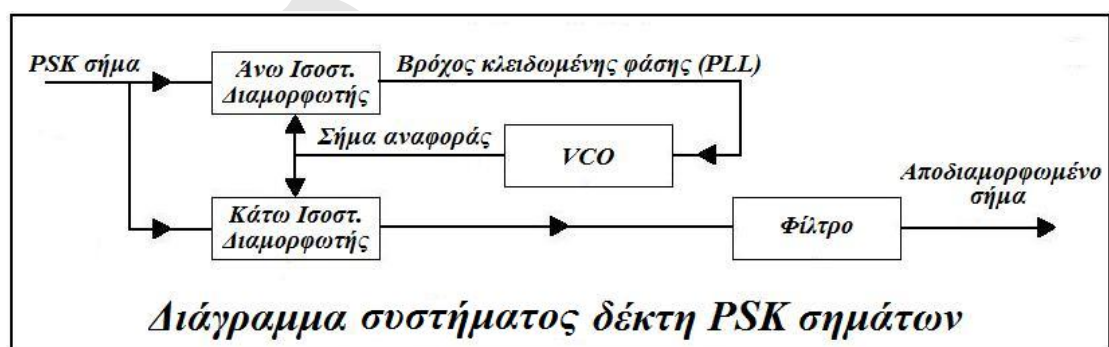
## ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 7.2

### Λήψη PSK σημάτων

Για να εξαχθεί η ψηφιακή πληροφορία από το PSK σήμα, ξαναχρησιμοποιούμε δύο πολλαπλασιαστές. Ο ένας παρέχει ένα σήμα αναφοράς φέρουσας συχνότητας. Ο άλλος δίνει μια έξοδο της οποίας η τιμή κυμαίνεται ανάλογα με τη διαφορά φάσης μεταξύ του εν λόγω σήματος αναφοράς και του εισερχόμενου PSK σήματος, το οποίο αντιστοιχεί στο αρχικό σήμα δεδομένων.

### Προετοιμασία

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αποδιαμόρφωση του εισερχόμενου PSK σήματος απαιτεί ένα σήμα αναφοράς που θα αναγεννηθεί στο σύστημα λήψης, του οποίου η συχνότητα είναι ίση με αυτή του φέροντος. Στη συνέχεια, η φάση του λαμβανόμενου σήματος συγκρίνεται με εκείνη του σήματος αναφοράς για να παράγει μια θετική DC έξοδο για μια ηγούμενη γωνία φάσης ή μια αρνητική έξοδο για μια ακολουθούμενη γωνία φάσης. Ένα απλουστευμένο διάγραμμα του αποδιαμορφωτή φαίνεται στο Σχήμα 7.6.

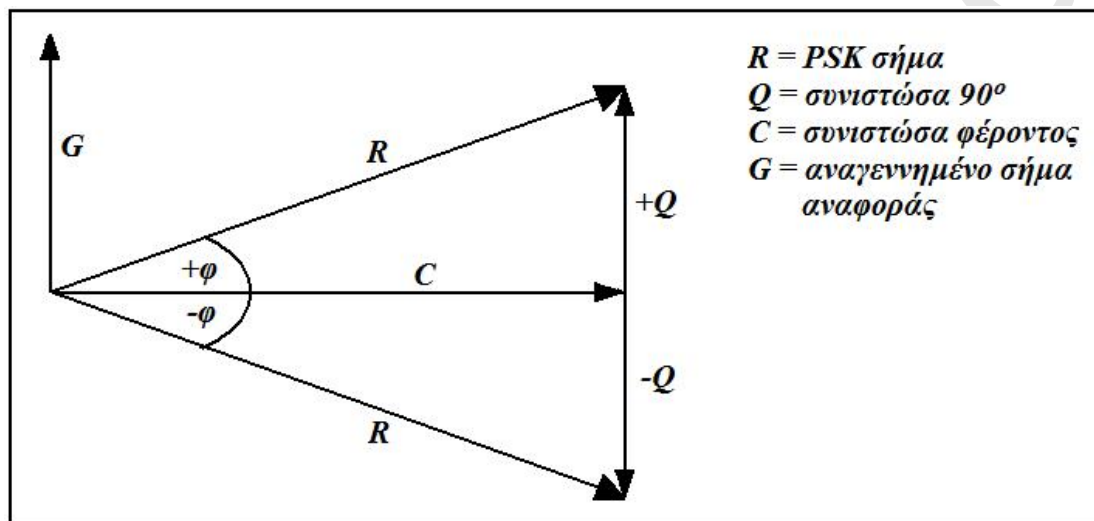


Σχήμα 7.6

Το σήμα αναφοράς στον δέκτη μπορεί να προέρχεται από το εισερχόμενο PSK σήμα με τη βοήθεια ενός ανιχνευτή βρόχου κλειδωμένης φάσης (Phase Locked Loop - PLL). Με τον διφασικό κώδικα η φάση του PSK σήματος θα αλλάζει κατά τη διάρκεια κάθε bit δεδομένων και η λειτουργία του βρόχου κλειδωμένης φάσης μπορεί

να γίνει αρκετά αργή για να την κρατήσει στο μέσο των δύο φάσεων σηματοδοσίας. Η έξοδος του VCO, θα είναι τότε σε διαφορά φάσης  $90^\circ$  με τη μέση φάση του ληφθέντος σήματος και θα έχουν την ίδια συχνότητα.

Η έξοδος του VCO χρησιμοποιείται ως το σήμα αναφοράς στο κύκλωμα αποδιαμόρφωσης και απεικονίζεται ως "G" στο διάγραμμα φασιθετών του σχήματος 7.7.



Σχήμα 7.7

Ο κάτω ισοσταθμισμένος διαμορφωτής πολλαπλασιάζει το σήμα αναφοράς G, με το ληφθέν PSK σήμα R.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι το R είναι ανάλογο με το  $\cos(\omega t \pm \varphi)$

και το G είναι ανάλογο με το  $\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$ ,

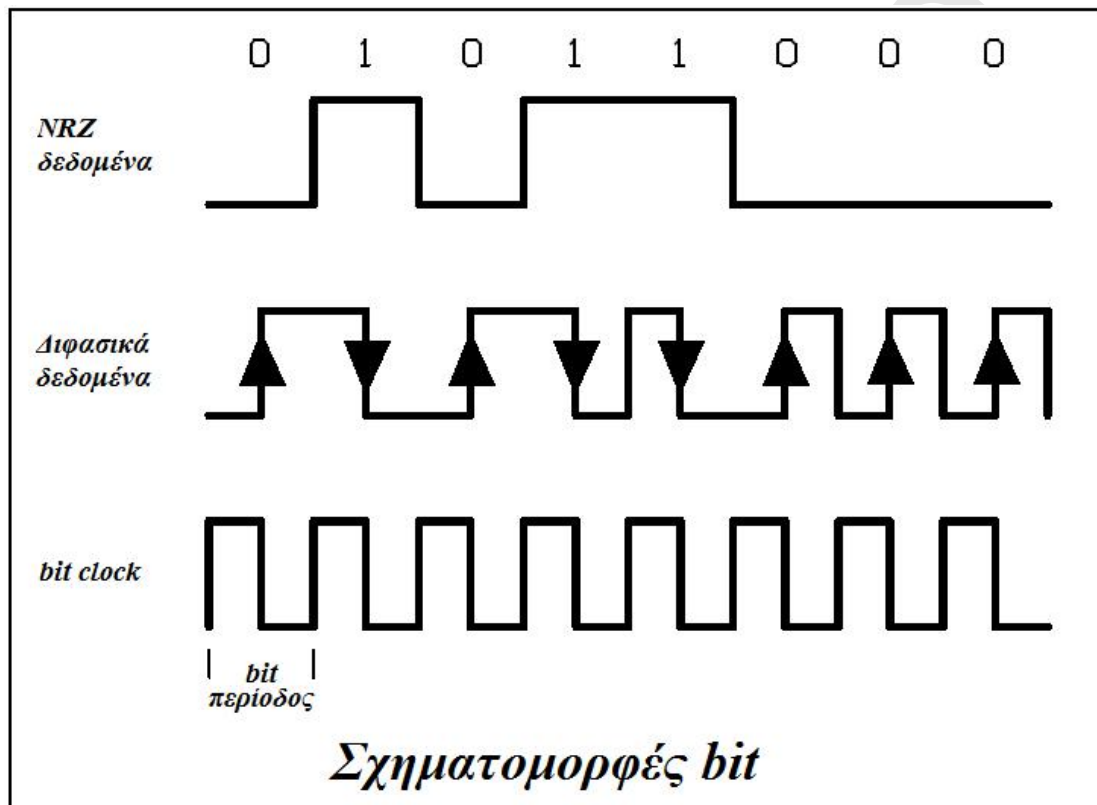
το γινόμενο  $R \times G$  είναι ανάλογο με:  $\cos\left(\frac{\pi}{2} \pm \varphi\right) + \cos(2\omega t \pm \varphi)$

Ο πρώτος όρος σε αυτή την έκφραση είναι ανεξάρτητος από τη συχνότητα και δεδομένου ότι το PSK σήμα ηγείται ή ακολουθεί του φέροντος κατά μια σταθερή γωνία  $\varphi$ , η έξοδος του κάτω ισοσταθμισμένου διαμορφωτή έχει μια DC συνιστώσα της οποίας η πολικότητα καθορίζεται από τη γωνία φάσης και κατά συνέπεια από τη σχηματομορφή bit του αρχικού σήματος δεδομένων.

Ο δεύτερος όρος στην παραπάνω έκφραση αναπαριστά μια AC συνιστώσα της οποίας η συχνότητα είναι διπλάσια του φέροντος. Ο παράλληλα συνδεδεμένος πυκνωτής στην έξοδο του κάτω ισοσταθμισμένου διαμορφωτή παρακάμπτει το μεγαλύτερο μέρος της AC συνιστώσας, αφήνοντας το αποδιαμορφωμένο σήμα δεδομένων του οποίου η κυματομορφή αντιστοιχεί κατ' ουσία στην αρχική διφασική σχηματομορφή bit. Το

αποδιαμορφωμένο σήμα στη συνέχεια εφαρμόζεται σε ένα κύκλωμα τετραγωνισμού δεδομένων (DATA SQUARER) το οποίο αποκαθιστά τη μέση DC στάθμη και διορθώνει τη μορφή του παλμού.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σε αυτή την πρακτική άσκηση για την ανάκτηση των δεδομένων και την αναγέννηση του χρονισμού είναι ιδιαίτερα εφαρμόσιμες στα διφασικά σήματα δεδομένων όπου η μετάβαση πραγματοποιείται στο κέντρο της κάθε περιόδου bit, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.8.



Σχήμα 7.8

Παρατηρήστε ότι το διφασικό σήμα αντιστοιχεί στο NRZ σήμα κατά το πρώτο μισό κάθε περιόδου bit ενώ κατά το δεύτερο μισό αντιστρέφεται.

Για να μετατραπούν τα διφασικά δεδομένα σε NRZ δεδομένα χρειαζόμαστε κάποιο τρόπο για να αλλάξουμε την πολικότητα του διφασικού σήματος κατά το δεύτερο μισό κάθε περιόδου bit. Αυτό πραγματοποιείται από ένα ισοσταθμισμένο διαμορφωτή, του οποίου η μία από τις εισόδους είναι ένα σήμα bit clock των 80kHz και η άλλη είναι ένα διφασικό σήμα δεδομένων. Ο ισοσταθμισμένος διαμορφωτής όταν είναι σωστά συγχρονισμένος, επειδή και οι δύο του είσοδοι είναι χωρητικά συζευγμένες (δια μέσω ενός πυκνωτή), παράγει μια θετική έξοδο για σήματα ίδιας πολικότητας και μηδενική έξοδο για σήματα αντίθετης πολικότητας. Εξετάζοντας τις σχηματομορφές bit στο Σχήμα 7.8 μπορούμε να δούμε πώς τα NRZ δεδομένα ανακτώνται από τα εισερχόμενα διφασικά δεδομένα.

**Ερώτηση 7.3**

**Ποιο θα είναι το αποτέλεσμα στα ανακτημένα δεδομένα, εάν το σήμα bit clock είναι εκτός συγχρονισμού κατά ένα εύρος παλμού;**

Οι μεταβάσεις που συμβαίνουν στο κέντρο κάθε bit δεδομένων στα διφασικά σήματα, παρέχουν πληροφορίες χρονισμού που μπορούν συνήθως να συγχρονίσουν το εσωτερικό ρολόι του δέκτη PSK σημάτων.

Τα διφασικά δεδομένα εφαρμόζονται σε ένα κύκλωμα διαφορίσης που παράγει ένα σύντομο παλμό (παλμό συγχρονισμού) σε κάθε μετάβαση. Ο συγκριτής «φάσης και συχνότητας», ο οποίος είναι μέρος του Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων, χρησιμοποιεί αυτούς τους παλμούς συγχρονισμού για να διατηρήσει τον τοπικό ταλαντωτή σε συγχρονισμό και έτσι να δημιουργήσει το σήμα bit clock των 80kHz. Ο συγκριτής παρακολουθεί και διορθώνει τη φάση του bit clock του δέκτη PSK σημάτων έτσι ώστε να βρίσκεται σε αρμονία με εκείνη του πομπού PSK σημάτων.





Σε αυτή την πρακτική άσκηση, αρχικά θα ρυθμίσουμε τον πομπό PSK σημάτων, όπως και στην προηγούμενη πρακτική άσκηση και στη συνέχεια θα εξετάσουμε τα ανακτημένα δεδομένα και σήματα ρολογιού στο δέκτη PSK σημάτων.

Οι συνδέσεις για τον πομπό PSK σημάτων είναι όπως φαίνονται στα σχήματα 7.4 και 7.5α.

Πραγματοποιήστε τις συνδέσεις και τις ρυθμίσεις των διακόπτων για το δέκτη PSK σημάτων όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.9.

### **Πρακτική Διαδικασία**

Ρυθμίστε το κανάλι Y1 στα 5V/div στον παλμογράφο και την βάση χρόνου στα 0.5μs/div, με εξωτερικό σκανδαλισμό από την 1.28MHz είσοδο του Ολισθητή Φάσης Φέροντος στον πομπό PSK σημάτων (TR-B στο σχήμα 7.4).

Με το κανάλι Y1 να συνδέεται στην έξοδο του πομπού PSK, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.5α, ρυθμίστε την τάση πόλωσης του Ολισθητή Φάσης Φέροντος που εφαρμόζεται στον κάτω ισοσταθμισμένο διαμορφωτή για να αποκτήσει μια μετατόπιση φάσης περίπου  $\pm 45^\circ$ , όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.5β. Εάν είναι απαραίτητο, πραγματοποιήστε μικρές προσαρμογές στον ρυθμιστή φάσης «phase» του Ολισθητή Φάσης Φέροντος έτσι ώστε τα πλάτη των υπερτιθέμενων κυματομορφών να είναι περίπου ίσα. Μπορούμε να εξετάσουμε πλέον την απόκριση του πρώτου σταδίου του δέκτη PSK στο εισερχόμενο PSK σήμα.

### **Ερώτηση 7.4**

**Ποιο θα ήταν το αποτέλεσμα της αύξησης της μετατόπισης φάσης του εισερχόμενου PSK σήματος στις  $180^\circ (\pm 90^\circ)$ ;**

Ρυθμίστε τα κανάλια Y1 και Y2 στον παλμογράφο στα 5V/div και την βάση χρόνου στα 5μs/div, με εξωτερικό σκανδαλισμό από την έξοδο του word clock της μονάδας Μορφή Δεδομένων του πομπού PSK.

Πληκτρολογήστε τη λέξη δεδομένων 01011000 στο Πομπό και συνδέστε το κανάλι Y1 στην διαφασική έξοδο της μονάδας Μορφή Δεδομένων του πομπού PSK (Y1-A στο Σχήμα 7.4). Συνδέστε το κανάλι Y2 στην έξοδο του κάτω ισοσταθμισμένου διαμορφωτή στο πρώτο στάδιο του δέκτη PSK (Y2-A στο Σχήμα 7.9). Αν και οι άκρες του παλμού της αποδιαμορφωμένης κυματομορφής είναι αρκετά στρογγυλοποιημένες φαίνεται ότι περιέχει τις ίδιες πληροφορίες όπως και η αρχική σχηματομορφή bit.

Μεταφέρετε το κανάλι Y2 στην έξοδο του κυκλώματος τετραγωνισμού (DATA SQUARER) δεδομένων (Y2-B στο Σχήμα 7.9) και σημειώστε ότι η ανακτημένη κυματομορφή πλέον μπορεί να συγκριθεί εύκολα με την αρχική. Μπορεί να είναι αναγκαίο να αναπροσαρμοστεί η πόλωση «bias» στο DATA SQUARER για να επιτευχθεί η καλύτερη κυματομορφή.

Τα διφασικά δεδομένα πλέον εφαρμόζονται, σε συνδυασμό με το συγχρονισμένο σήμα bit clock, σε μια περαιτέρω διαδικασία αποδιαμόρφωσης που τα μετατρέπει σε NRZ δεδομένα. Συνδέστε το κανάλι Y1 στην έξοδο ρολογιού 80KHz του Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων (Y1-B στο Σχήμα 7.9) και το κανάλι Y2 στην έξοδο του DATA SQUARER από όπου παίρνουμε τα διφασικά δεδομένα (Y2-C στο Σχήμα 7.9). Παρατηρήστε ότι τα σήματα bit clock και Διφασικών δεδομένων αντιστοιχούν σε εκείνα που φαίνεται στο Σχήμα 7.8.

Τώρα μεταφέρετε το κανάλι Y1 στην έξοδο του ισοσταθμισμένου διαμορφωτή μετά τον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων (Y1-C στο Σχήμα 7.9). Η έξοδος του ισοσταθμισμένου διαμορφωτή είναι ένα NRZ σήμα του οποίου το πλάτος είναι μεγαλύτερο και από τις δυο εισόδους, με υπερτιθέμενες αιχμές (spikes) κατά τις μεταβάσεις του bit clock. Για να ανακτηθούν καθαρά NRZ δεδομένα, το σήμα διέρχεται από ένα κύκλωμα «ολοκλήρωσης και απόρριψης (ή μηδενισμού)» (integrate and dump).

Σε αυτό το κύκλωμα, γίνεται ολοκλήρωση (integrate) του σήματος εισόδου μέχρι το τέλος της διάρκειας κάθε bit, μηδενισμός (dump) και επανεκκίνηση της ολοκλήρωσης για το επόμενο bit. Για να γίνει ο μηδενισμός και να μπορέσει να αρχίσει η διαδικασία ολοκλήρωσης για το επόμενο bit, σε ένα προκαθορισμένο σημείο σε κάθε περίοδο bit η έξοδος του ολοκληρωτή, που μπορεί να είναι θετική ή αρνητική, εφαρμόζεται σε ένα λογικό flip-flop, το οποίο παράγει 0 ή 1. Κάθε αιχμή (spike) μικρής διάρκειας, θα έχει μικρή επίδραση στη στάθμη του σήματος εξόδου.

Μεταφέρετε το κανάλι Y1 στην έξοδο του ολοκληρωτή (Y1-D στο Σχήμα 7.9) και παρατηρήστε ότι η τάση αυξάνεται κατά τη διάρκεια ενός bit 0 και πέφτει κατά τη διάρκεια ενός bit 1. Μπορεί να χρειαστεί κάποια ρύθμιση του ρυθμιστή πόλωσης «bias» του ολοκληρωτή για να εξισωθεί το ύψος των θετικών και αρνητικών τριγώνων.

Μεταφέρετε το κανάλι Y2 στην έξοδο του κυκλώματος «integrate and dump» (Y2-D στο Σχήμα 7.9). Το ίχνος πρέπει να δείχνει ένα καθαρό NRZ σήμα που αντιστοιχεί σε αυτό από τον Πομπό. Οι ενδείκτες led στον Δέκτη θα πρέπει να δείχνουν την ίδια σχηματομορφή bit με αυτή που πληκτρολογήθηκε στον Πομπό.

Η λειτουργία των κυκλωμάτων στη μονάδα Ανάκτησης Δεδομένων εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα ενός σωστά συγχρονισμένου σήματος bit clock στο εσωτερικό του δέκτη PSK σημάτων. Το αποδιαμορφωμένο διφασικό σήμα περιέχει πληροφορίες χρονισμού που μπορούν να εξαχθούν και να χρησιμοποιηθούν από το συγκριτή «φάσης και συχνότητας» που βρίσκεται στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων για να διατηρήσει την εσωτερική γεννήτρια bit clock σε συγχρονισμό.

Για αυτή την διαδικασία το αποδιαμορφωμένο σήμα αρχικά οδηγείται σε ένα κύκλωμα διαφόρισης που παράγει ένα παλμό συγχρονισμού σε κάθε μετάβαση της διφασικής κυματομορφής. Αυτό μπορεί να διαπιστωθεί συνδέοντας το κανάλι Y1

στην έξοδο του κυκλώματος διαφορίσης  $\left| \frac{d}{dt} \right|$  (Y1-E στο Σχήμα 7.9).

Το συγχρονισμένο σήμα bit clock μπορεί να διαπιστωθεί συνδέοντας το κανάλι Y2 στην έξοδο του τασιελεγχόμενου ταλαντωτή (Y2-E στο Σχήμα 7.9) .

Ο συγχρονισμός μπορεί να επιβεβαιωθεί αρχικοποιώντας τη λέξη δεδομένων «όλα μηδέν» και αποσυνδέοντας την σύνδεση μεταξύ «1Hz out» και «ger» στον Πομπό.

Αν η έξοδος από το κύκλωμα «DATA SQUARER» στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων αποσυνδεθεί στιγμιαία και συνδεθεί εκ νέου, η ληφθείσα λέξη δεδομένων θα εμφανίζεται μερικές φορές σαν να έχει «όλα μηδέν» και μερικές φορές σαν να έχει «όλα ένα».

Εάν οποιοδήποτε δυαδικό bit 1 πληκτρολογηθεί στον Πομπό, ο συγχρονισμός του bit clock θα διορθωθεί αμέσως.

Μετά από αυτή την παρατήρηση, επανατοποθετήστε τη σύνδεση μεταξύ «1Hz out» και «ger» στον Πομπό, για να γίνεται αποστολή της λέξης αναγνώρισης, και πληκτρολογήστε μια λέξη δεδομένων, για παράδειγμα την 01011000.

## ΣΥΝΟΨΗ

Τα διφασικά δεδομένα μπορούν να μεταδοθούν σε ένα κανάλι υψηλής συχνότητας με Διαμόρφωση Μετατόπισης Φάσης (Phase Shift Keying - PSK), η οποία διαμορφώνει τη φάση ενός φέροντος σήματος.

Η αποδιαμόρφωση PSK σημάτων απαιτεί ένα τοπικά αναγεννημένο φέρον σήμα αναφοράς στο σύστημα λήψης PSK σημάτων. Επειδή σε ένα σύστημα που χρησιμοποιεί διφασικά δεδομένα, μια μετατόπιση φάσης λαμβάνει χώρα στο κέντρο της κάθε περιόδου bit, η φάση του φέροντος σήματος αναφοράς μπορεί να προέρχεται παίρνοντας τη μέση φάση του εισερχόμενου σήματος. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας έναν ανιχνευτή βρόχου κλειδωμένης φάσης (Phase Locked Loop – PLL) σε αρκετά αργή λειτουργία ώστε να κρατήσει τη φάση του φέροντος σήματος αναφοράς στη μέση των δύο φάσεων σηματοδοσίας.

Αν η μετατόπιση φάσης του εκπεμπόμενου σήματος αυξηθεί στις 90°, η πολικότητα του αποδιαμορφωμένου σήματος γίνεται ασαφής και η ανάκτηση των δεδομένων θα είναι λανθασμένη.

Ένα κύκλωμα «ολοκλήρωσης και απόρριψης (ή μηδενισμού)» (integrate and dump) είναι χρήσιμο για την ανάκτηση καθαρών NRZ δεδομένων παρουσία ακιδωτού (spikes) θορύβου. Γίνεται ολοκλήρωση (integrate) του σήματος εισόδου μέχρι το τέλος της διάρκειας κάθε bit, μηδενισμός (dump) και επανεκκίνηση της ολοκλήρωσης για το επόμενο bit. Για να γίνει ο μηδενισμός και να μπορέσει να αρχίσει η διαδικασία ολοκλήρωσης για το επόμενο bit, σε ένα προκαθορισμένο σημείο σε κάθε περίοδο bit η έξοδος του ολοκληρωτή, που μπορεί να είναι θετική ή αρνητική, εφαρμόζεται σε ένα λογικό flip-flop, το οποίο παράγει 0 ή 1.

### ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ

Τα PSK σήματα είναι ανεκτικά στις μεταβολές πλάτους κατά την διαδρομή μετάδοσης, δεδομένου ότι η επίδραση αυτών των μεταβολών μπορεί να κατασταλεί με κυκλώματα περιορισμού πλάτους στον δέκτη. Αυτό παράγει ένα καλό λόγο σήματος προς θόρυβο και κάνει το σύστημα λιγότερο ευάλωτο σε σφάλματα σε σχέση με τις μεταδόσεις on-off ASK σημάτων.

Ωστόσο, οι μεταδόσεις PSK σημάτων είναι επιρρεπείς σε ξαφνικές αλλαγές της καθυστέρησης στη διαδρομή μετάδοσης, όπως μπορεί να συμβεί με τις ραδιοζεύξεις, και οι διαδικασίες διαμόρφωσης/αποδιαμόρφωσης τείνουν να είναι πιο περίπλοκες από ότι στα ASK συστήματα.

### Τυπικά Αποτελέσματα και Απαντήσεις της Εργασίας 7

#### Ερώτηση 7.1

Όταν η AC είσοδος πολλαπλασιάζεται με μια θετική ποσότητα, τότε το σήμα εξόδου είναι σε φάση με αυτήν. Όταν πολλαπλασιάζεται με μια αρνητική ποσότητα τότε η φάση εξόδου αντιστρέφεται.

#### Ερώτηση 7.2

Κάθε κατάσταση φάσης θα καταλαμβάνει το ήμισυ κάθε περιόδου bit και με μια ρύθμιση βάσης χρόνου των 0.5μs/div οι δύο κυματομορφές φαίνονται να εμφανίζονται ταυτόχρονα.

#### Ερώτηση 7.3

Τα δυαδικά 1 και 0 στα ανακτημένα δεδομένα θα αναστραφούν.

#### Ερώτηση 7.4

Ο δέκτης PSK σημάτων στηρίζεται σε ένα φίλτρο του ελέγχου διαδρομής σήματος (control in) στον VCO του Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων, για να πάρει το μέσο όρο των φάσεων των δυαδικών σημάτων 0 και 1. Αν η μετατόπιση φάσης του εισερχόμενου PSK σήματος αυξανόταν στις  $\pm 90^\circ$ , ο μέσος όρος αυτός θα γινόταν μηδέν, ανεξάρτητα από το ποιες ήταν οι πραγματικές φάσεις, επομένως ο έλεγχος της φάσης του σήματος αναφοράς, θα χαθεί. (Θα ασχοληθούμε με αυτή την περίπτωση σε επόμενη εργασία).

## ΕΡΓΑΣΙΑ 8

### ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΤΙΣ $\pm 90^\circ$ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΣΗΜΑ

#### ΑΝΑΦΟΡΑΣ

#### ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένα σύστημα για τη μετάδοση και λήψη PSK σημάτων των οποίων η φάση προηγείται ή υστερεί ενός σήματος αναφοράς κατά  $90^\circ$ . Επίσης περιγράφεται η αναγέννηση του φέροντος στο , από ύψωση του λαμβανόμενου σήματος στο τετράγωνο (πολλαπλασιασμός με τον εαυτό του) και επιβεβαιώνεται ότι η ασάφεια φάσης στο λαμβανόμενο σήμα μπορεί να προκαλέσει την αντιστροφή των δεδομένων. Το πρόβλημα αυτό ξεπερνιέται με την τακτική μετάδοση μιας λέξης αναγνώρισης, με τη λήψη της οποίας μπορούν τα κυκλώματα στον δέκτη να ανακτήσουν σωστά τα δεδομένα.

#### ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Πομπός
1	Μορφή Δεδομένων
3	Διπλός Ισοσταθμισμένος Διαμορφωτής
1	Ολισθητής Φάσης Φέροντος
1	Τασιελεγχόμενος Ταλαντωτής
1	Αναγεννητής Χρονισμού Δεδομένων
1	Ανάκτηση Δεδομένων
1	Δέκτης
2	Τροφοδοτικό
1	Παλμογράφος 2 καναλιών με εξωτερικό σκανδαλισμό

#### ΣΤΟΧΟΙ

Όταν θα έχετε ολοκληρώσει αυτή την εργασία θα πρέπει να γνωρίζετε ότι:

- Ένα σήμα αναφοράς σταθερής φέρουσας συχνότητας μπορεί να αναγεννηθεί από ένα PSK σήμα με μετατόπιση φάσης  $\pm 90^\circ$ .
- Η ασάφεια της φάσης του σήματος αναφοράς, μπορεί να προκαλέσει αντιστροφή των ληφθέντων δεδομένων.
- Παρεμβάλλοντας μια συγκεκριμένη λέξη αναγνώρισης στα μεταδιδόμενα δεδομένα το νόημα του λαμβανόμενου σήματος μπορεί να αποκατασταθεί.

#### ΕΠΙΠΕΔΟ ΓΝΩΣΕΩΝ

Πριν από την έναρξη αυτής της εργασίας θα πρέπει να γνωρίζετε:

- Πώς να αναγνωρίζετε μια μετατόπιση φάσης των  $180^\circ$  μεταξύ δύο υπερτιθέμενων ημιτονοειδών κυμάτων.

- Ότι  $\text{Cos}A \cdot \text{Cos}B = \frac{1}{2}[\text{Cos}(A - B) + \text{Cos}(A + B)]$
- Την αρχή λειτουργίας ενός βρόχου κλειδωμένης φάσης (PLL).
- Την κυματομορφή ενός τυπικού διπολικού σήματος δεδομένων.
- Κατά προτίμηση έχουν ολοκληρωθεί οι εργασίες 6 και 7.

### ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Συνδέστε τα δυο τροφοδοτικά με το ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά μην τα ενεργοποιείτε ακόμη.

Συνδέστε τα καλώδια τροφοδοσίας DC στον Πομπό, στη μονάδα Μορφή Δεδομένων, στους Διπλούς Ισοσταθμισμένους Διαμορφωτές, στον Ολισθητή Φάσης Φέροντος, στον Τασιελεγχόμενο Ταλαντωτή, στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων, στη μονάδα Ανάκτηση Δεδομένων και στο Δέκτη (Όλες αυτές οι υποδοχές είναι πανομοιότυπες, αλλά το φορτίο θα πρέπει να είναι ομοιόμορφα κατανομημένο, κατά προτίμηση ένα τροφοδοτικό για το PSK σημάτων και ένα για το PSK σημάτων).

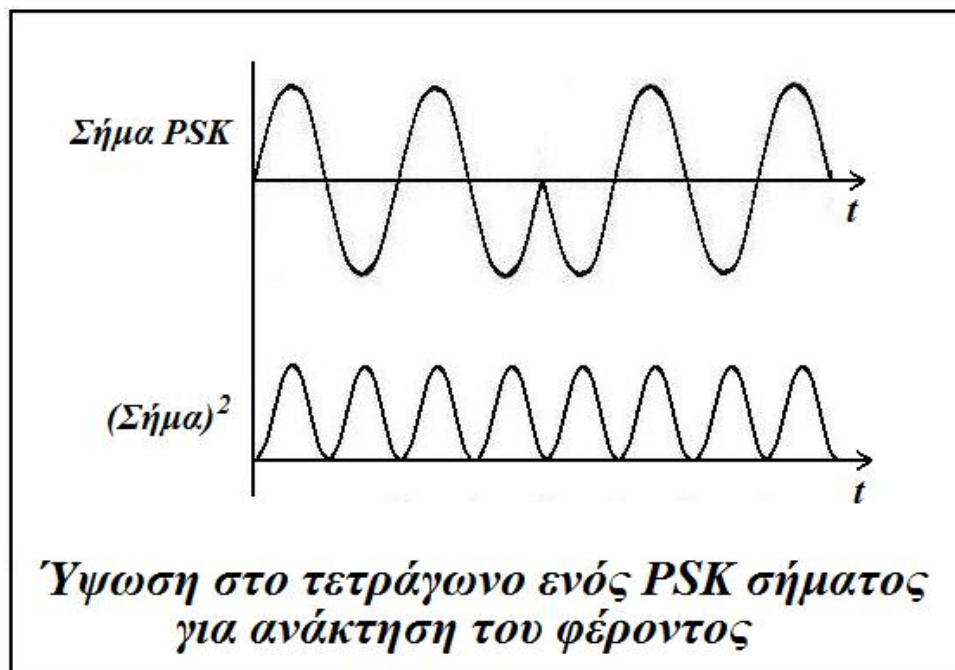
Μόνο όταν όλες οι συνδέσεις τροφοδοσίας έχουν πραγματοποιηθεί, μπορεί η τροφοδοσία να ενεργοποιηθεί.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όταν ένα PSK σήμα προηγείται ή υστερεί της φάσης του σήματος αναφοράς κατά  $90^\circ$  η αλλαγή από τη μία φάση στην άλλη είναι  $180^\circ$ , που ισοδυναμεί με αναστροφή του σήματος καθώς μετακινείται από τη μια κατάσταση στην άλλη. Όπως είδαμε στην Εργασία 6, αυτό ισοδυναμεί με Διαμόρφωση Μετατόπισης Πλάτους με καταστολή φέροντος (ASK SC), παρέχοντας ένα σήμα με παρούσες την κάτω και άνω πλευρική ζώνη. Επομένως το σύστημα εκπομπής σε αυτό το σύστημα θα είναι απλά, όπως και στην Εργασία 6, ένας ισοσταθμισμένος διαμορφωτής που πολλαπλασιάζει το σήμα δεδομένων σε διπολική NRZ μορφή, με το φέρον.

Ίσως να θυμάστε ότι στην Εργασία 6, η λήψη των PSK σημάτων πραγματοποιούνταν με τη χρήση ενός ισοσταθμισμένου διαμορφωτή για να ανακτήσει το σήμα δεδομένων, αλλά ήταν αναγκαίο να παρέχουμε στον διαμορφωτή το φέρον από τον πομπό PSK σημάτων. Αυτό φυσιολογικά δεν θα είναι οικονομικά δυνατό, επομένως απαιτείται κάποιος τρόπος αναγέννησης του φέροντος στο δέκτη PSK σημάτων. Μπορεί επίσης να θυμάστε ότι η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την PSK μικρότερης  $\pm 90^\circ$  (Εργασία 7) αποτυγχάνει στις  $\pm 90^\circ$ , επειδή ο μέσος όρος φάσης σε ένα  $\pm 90^\circ$  σύστημα είναι μηδέν. Απαιτείται κάποια νέα τεχνική.

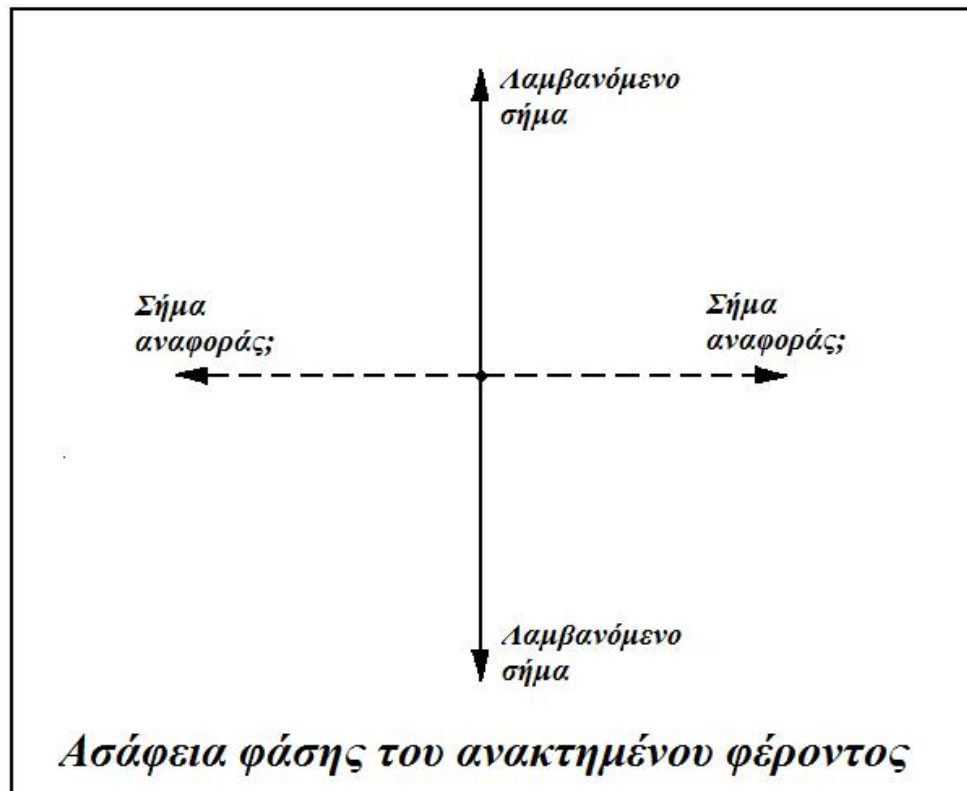
Αν το εισερχόμενο σήμα προς το δέκτη πολλαπλασιαστεί με τον εαυτό του (ύψωση στο τετράγωνο), το αποτέλεσμα θα είναι ένα σήμα διπλάσιας συχνότητας σταθερής φάσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.1. Σημειώστε ότι η ύψωση του λαμβανόμενου σήματος στο τετράγωνο δεν πρέπει να συγχέεται με τη δράση του κυκλώματος τετραγωνισμού δεδομένων στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων.



Σχήμα 8.1

Αυτό παρέχει μια απλή τεχνική για αναγέννηση ενός σήματος αναφοράς φέρουσας συχνότητας στο δέκτη PSK σημάτων. Το σήμα διπλάσιας συχνότητας χρησιμοποιείται για να κλειδώνει τη φάση ενός ταλαντωτή του οποίου η έξοδος φέρουσας συχνότητας εφαρμόζεται στο κύκλωμα αποδιαμόρφωσης ως το φέρον σήμα αναφοράς, καθιστώντας επομένως δυνατόν να ανακτηθούν τα δεδομένα από το εισερχόμενο σήμα. Υπάρχει, ωστόσο, ένα πρόβλημα σε ένα τέτοιο σύστημα. Η φάση του σήματος αναφοράς στο δέκτη PSK σημάτων πρέπει να είναι στο μέσο μεταξύ των δύο πιθανών φάσεων του λαμβανόμενου σήματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.2.

Εάν δεν υπάρχουν πληροφορίες που να καθορίζουν ποια από τις τιμές της φάσης είναι  $+90^\circ$  και ποια είναι  $-90^\circ$  σε σχέση με το σήμα αναφοράς, το αποδιαμορφωμένο σήμα δεδομένων θα μπορεί να αντιστραφεί (δυναδικό 1 και δυναδικό 0 αντιστρέφονται). Το πρόβλημα αυτό δεν μπορεί να επιλυθεί εάν το μόνο που γνωρίζουμε είναι ότι πρόκειται για ένα σήμα PSK  $\pm 90^\circ$ .



Σχήμα 8.2

### Ερώτηση 8.1

Έχουμε ένα σύστημα που χρησιμοποιεί την τεχνική, ύψωση του λαμβανόμενου σήματος στο τετράγωνο και διαίρεση της συχνότητας του σήματος αυτού, για να εξασφαλίσει το τοπικό σήμα αναφοράς. Εάν το σύστημα διαταραχθεί από ένα παλμό θορύβου, έτσι ώστε η φάση του (υψωμένο εις το τετράγωνο) σήματος διπλάσιας συχνότητας να μετατοπιστεί κατά  $360^\circ$  πριν αποκατασταθεί ο συγχρονισμός, πώς επηρεάζεται η φάση του σήματος αναφοράς;

Η ασάφεια αυτή μπορεί να επιλυθεί με την επέκταση της χρήσης της σχηματομορφής bit της λέξης αναγνώρισης, η οποία θα μεταδίδεται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Στην περίπτωση αυτή, η λέξη αναγνώρισης δεν χρησιμεύει μόνο για την αναγέννηση του word clock, αλλά και για να παρέχει μια ακολουθία bit που μπορεί να αναγνωρισθεί ως σωστή ή ως ανεστραμμένη. Όταν μια ανεστραμμένη σχηματομορφή bit ανιχνευτεί το λογικό κύκλωμα αντιστρέφει εκ νέου τα δεδομένα για να αποκαταστήσει το ορθό νόημα.

### Πρακτική διάρθρωση του συστήματος

Στον PSK σημάτων ο Ολισθητής Φάσης Φέροντος χρησιμοποιείται για να μετατρέψει το τετραγωνικού παλμού φέρον από τον Πομπό σε μια ημιτονοειδή κυματομορφή.



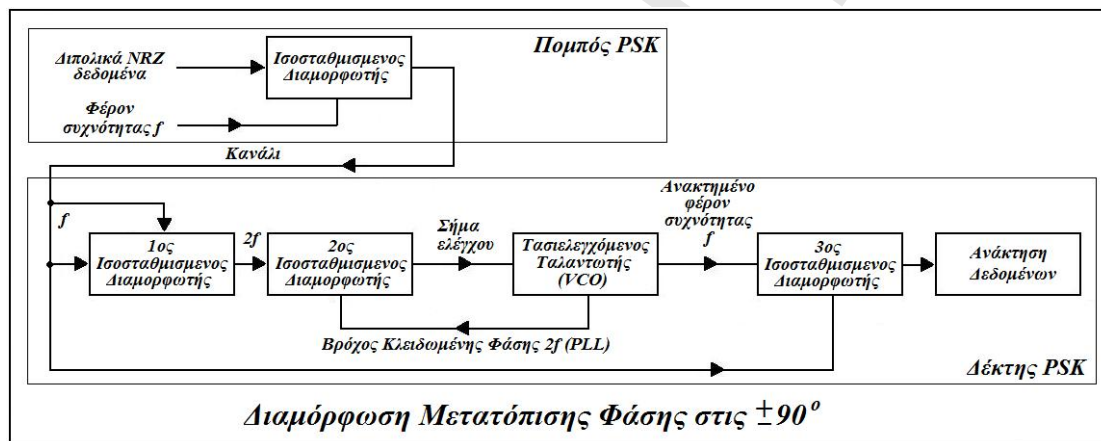
**Ερώτηση 8.2**

Ένα τετραγωνικού παλμού φέρον έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για άλλα πειράματα. Γιατί δε θα ήταν ικανοποιητικό εδώ;

Το προκύπτον ημιτονοειδούς κύματος φέρον εφαρμόζεται στη μία είσοδο ενός ισοσταθμισμένου διαμορφωτή και ένα διπολικό NRZ σήμα στη δεύτερη είσοδο. Η πολλαπλασιαστική λειτουργία του διαμορφωτή παράγει ένα μεταδιδόμενο PSK σήμα που αλλάζει φάση κατά  $180^\circ$  μεταξύ της τιμής δεδομένων 0 και της τιμής δεδομένων 1. Στην πραγματικότητα προηγείται ή υστερεί η υποθετική καταστολή φέροντος κατά  $90^\circ$ , σύμφωνα με την πολικότητα των διπολικών δεδομένων.

**Ερώτηση 8.3**

Έχει επιλεγεί μια διπολική μορφή NRZ δεδομένων. Τι είδους ζεύξη θα καθιστούσε ικανό το σύστημα ώστε να εφαρμόσει την PSK μετάδοση σε δεδομένα σε μονοπολική διφασική μορφή;



Σχήμα 8.3

Από το διάγραμμα του συστήματος, που φαίνεται στο Σχήμα 8.3, μπορούμε να δούμε ότι το μεταδιδόμενο PSK σήμα εφαρμόζεται σε ένα κύκλωμα ανιχνευτή φάσης που αποτελείται από τρεις ισοσταθμισμένους διαμορφωτές και έναν VCO κλειδωμένης φάσης. Το εισερχόμενο σήμα εφαρμόζεται και στις δύο εισόδους του πρώτου ισοσταθμισμένου διαμορφωτή (πολλαπλασιαστής) και η έξοδος του θα είναι το σήμα εισόδου υψωμένο στο τετράγωνο, δηλαδή ένα AC σήμα του οποίου η συχνότητα είναι διπλάσια εκείνης του φέροντος συν μια DC συνιστώσα. Η διαδικασία ύψωσης του σήματος στο τετράγωνο (πολλαπλασιασμός με τον εαυτό του) δεν επηρεάζεται από τις αλλαγές φάσης  $180^\circ$  του PSK σήματος καθώς το τετράγωνο μιας αρνητικής ποσότητας παραμένει θετικό, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.1.

Αυτό το σήμα διπλάσιας συχνότητας εφαρμόζεται στη μία είσοδο του δεύτερου ισοσταθμισμένου διαμορφωτή και ένα άλλο σήμα διπλάσιας συχνότητας, που προέρχεται από τον Τασιελεγχόμενο ταλαντωτή (VCO) με βρόχο κλειδωμένης φάσης, εφαρμόζεται στην άλλη είσοδό του. Όταν ο βρόχος κλειδωμένης φάσης έχει συγχρονιστεί ο Τασιελεγχόμενος Ταλαντωτής (VCO) παράγει στην έξοδό του « $90^\circ$

degrees» μια σταθερή φέρουσα συχνότητα, η οποία χρησιμοποιείται ως σήμα αναφοράς για τον τρίτο ισοσταθμισμένο διαμορφωτή.

Ο τρίτος ισοσταθμισμένος διαμορφωτής πολλαπλασιάζει το εισερχόμενο PSK σήμα με το φέρον σήμα αναφοράς, το οποίο υστερεί του αρχικού φέροντος κατά  $90^\circ$ . Στην περίπτωση αυτή,

το PSK σήμα  $\propto \cos(\omega t \pm 90^\circ)$

η αναφορά  $\propto \cos(\omega t - 90^\circ)$

και σύμφωνα με την ανάπτυξη των τριγωνομετρικών ταυτοτήτων το γινόμενο τους είναι ανάλογο προς

$$\cos 180^\circ = -1$$

$$\text{ή } \cos 0^\circ = +1$$

μαζί με μια AC συνιστώσα με συχνότητα διπλάσια της φέρουσας.

Η συνιστώσα υψηλής συχνότητας εξαλείφεται σε μεγάλο βαθμό από την έξοδο αφήνοντας ένα σήμα του οποίου η πολικότητα αλλάζει με τις αλλαγές της φάσης του εισερχόμενου PSK σήματος. Ο αποδιαμορφωτής παράγει ένα NRZ σήμα που αντιστοιχεί στα αρχικά δεδομένα με την βοήθεια ενός δίοδος zener/αντίσταση φορτίου στην έξοδο του.

Η παραπέρα διαδικασία ανάκτησης δεδομένων είναι ίδια με εκείνη σε προηγούμενες εργασίες.



### ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 8.1

#### *Διαμόρφωση και Αποδιαμόρφωση PSK στις $\pm 90^\circ$*

Πραγματοποιήστε τις συνδέσεις και τις ρυθμίσεις των διακοπών όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.4. Πληκτρολογήστε μια λέξη δεδομένων, όπως η 01011000, στον Πομπό. Ρυθμίστε τα κανάλια Y1 και Y2 στον παλμογράφο στα 5V/div και την βάση χρόνου στα 10μs/div, με εξωτερικό σκανδαλισμό από την έξοδο word clock της μονάδας Μορφή Δεδομένων.

#### *Πρακτική Διαδικασία*

Αρχικά θα ελέγξουμε τα σήματα που εφαρμόζονται στον ισοσταθμισμένο διαμορφωτή του πομπού PSK σημάτων. Θα υπάρχει ένα διπολικό NRZ σήμα από την μονάδα Μορφή Δεδομένων (Y1-A στο Σχήμα 8.4) και ένα ημιτονοειδές φέρον από τον Ολισθητή Φάσης Φέροντος (Y2-A στο Σχήμα 8.4). Τώρα μεταφέρετε το κανάλι Y2 στην έξοδο του ισοσταθμισμένου διαμορφωτή (Y2-B στο Σχήμα 8.4) και πληκτρολογήστε μία σχηματομορφή bit όπως 01011000 στον Πομπό. Παρατηρήστε την  $180^\circ$  μετατόπιση φάσης στο μεταδιδόμενο σήμα, καθώς τα δεδομένα εναλλάσσονται μεταξύ δυαδικού 0 και δυαδικού 1. Αν χρειάζεται προσαρμόστε τους ρυθμιστές του παλμογράφου.

Οι τρεις ισοσταθμισμένοι διαμορφωτές και ο VCO που αποτελούν το πρώτο στάδιο του δέκτη PSK σημάτων, αποδιαμορφώνουν το εκπεμπόμενο σήμα και παράγουν ένα NRZ σήμα που αντιστοιχεί στα αρχικά δεδομένα. Μεταφέρετε το κανάλι Y2 στην έξοδο του τρίτου ισοσταθμισμένου διαμορφωτή (Y2-C στο Σχήμα 8.4) και συγκρίνετε τα αποδιαμορφωμένα NRZ δεδομένα με το αρχικό διπολικό σήμα από τη μονάδα Μορφή Δεδομένων στο (Y1-A στο Σχήμα 8.4).

#### *Ερώτηση 8.4*

**Το φέρον στον είναι στα 1.28MHz. Καταγράψτε τη συχνότητα από τα σήματα εισόδου για καθένα από τους τρεις ισοσταθμισμένους διαμορφωτές (1ος, 2ος και 3ος στο Σχήμα 8.3) στο .**

Αν και ο αποδιαμορφωτής αναγνωρίζει κάθε μεταβολή της φάσης του εκπεμπόμενου σήματος, το αναγεννημένο φέρον σήμα μπορεί να είναι  $180^\circ$  εκτός φάσης σε σχέση με το αρχικό και κατά συνέπεια, η πολικότητα των αποδιαμορφωμένων δεδομένων μπορεί να είναι σωστή ή ανεστραμμένη με ίση πιθανότητα. Αυτό φαίνεται παρατηρώντας το σήμα δεδομένων (Y2-C στο Σχήμα 8.4) ενώ αποσυνδέεται και συνδέεται εκ νέου το καλώδιο εξόδου από τον πομπό PSK σημάτων (σύνδεση 1 στο Σχήμα 8.4). Η πολικότητα των ληφθέντων δεδομένων θα αλλάζει τυχαία.

Με την πολικότητα αντεστραμμένη, συνδέστε το κανάλι Y2 στην NRZ έξοδο της μονάδας Ανάκτηση Δεδομένων (Y2-D στο Σχήμα 8.4). Η λειτουργία του κυκλώματος αναγνώρισης λέξης θα εξουδετερώσει το λάθος της πολικότητας και θα παράγει ένα σωστό σήμα δεδομένων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι με τον διακόπτη της μονάδας Ανάκτηση Δεδομένων στη θέση «A&B» ο ενδείκτης led A θα ανάψει για τα σωστά πολωμένα δεδομένα εισόδου και ο ενδείκτης led B για τα ανεστραμμένα δεδομένα.

Όπως και σε προηγούμενες εργασίες ο ρυθμιστής καθυστέρησης «delay» και ο ρυθμιστής εύρους «width» του Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων θα πρέπει να ρυθμιστούν ώστε να παρέχουν στην early/late πύλη παλμούς ίσου εύρους, αρνητικά οδεύοντες στο κέντρο του κάθε παλμού δεδομένων.

Ο Δέκτης θα πρέπει να εμφανίζει πλέον την ίδια σχηματομορφή bit με εκείνη που πληκτρολογήθηκε στον Πομπό.

### ΣΥΝΟΨΗ

Η Διαμόρφωση Μετατόπισης Φάσης (Phase Shift Keying – PSK) στις  $\pm 90^\circ$  είναι ισοδύναμη με τη Διαμόρφωση Μετατόπισης Πλάτους (Amplitude Shift Keying – ASK) με καταστολή φέροντος. Ένα τοπικά αναγεννημένο φέρον σήμα χρειάζεται στο για την σύμφωνη αποδιαμόρφωση (coherent demodulation) το οποίο πρέπει να συγχρονίζεται από το εισερχόμενο σήμα.

Η μέση φάση του εισερχόμενου σήματος είναι μηδέν και γι' αυτό το λόγο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συγχρονισμό. Όταν το μόνο που γνωρίζουμε είναι ότι πρόκειται για ένα σήμα PSK  $\pm 90^\circ$ , τότε, δεν υπάρχουν πληροφορίες που να καθορίζουν ποια από τις δύο τιμές της φάσης είναι  $+90^\circ$  και ποια  $-90^\circ$  σε σχέση με το σήμα αναφοράς. Γι' αυτό το λόγο η ασάφεια στη φάση του λαμβανόμενου σήματος μπορεί να προκαλέσει αντιστροφή των δεδομένων.

Παρεμβάλλοντας μια κατάλληλη λέξη αναγνώρισης που στέλνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα, η αντιστροφή των ληφθέντων δεδομένων μπορεί να εντοπιστεί και να διορθωθεί.

### Τυπικά Αποτελέσματα και Απαντήσεις της Εργασίας 8

#### Ερώτηση 8.1

Μια μεταβολή φάσης  $360^\circ$  σε συχνότητα  $2f$  αντιστοιχεί σε μια χρονική μετατόπιση των  $\frac{1}{2f}$ . Αυτό αντιστοιχεί σε μια μετατόπιση φάσης των  $180^\circ$  σε συχνότητα  $f$ .

#### Ερώτηση 8.2

Ένα ημιτονοειδές κύμα απαιτείται για τη διαδικασία διπλασιασμού συχνότητας που λαμβάνει χώρα στο δέκτη, γιατί ένα τετραγωνικού παλμού σήμα πολλαπλασιασμένο με τον εαυτό του δεν θα παράγει μια χρήσιμη έξοδο διπλάσιας συχνότητας.

#### Ερώτηση 8.3

Για να εφαρμοστεί η PSK μετάδοση στα δεδομένα σε μονοπολική διφασική μορφή, το σήμα των δεδομένων θα πρέπει να είναι χωρητικά συζευγμένο με το διαμορφωτή.

#### Ερώτηση 8.4

Οι συχνότητες εισόδου για τους τρεις διαμορφωτές είναι οι εξής:

Ισοσταθμισμένος Διαμορφωτής	Συχνότητα
1	1.28MHz
2	2.56MHz
3	1.28MHz

**ΕΡΓΑΣΙΑ 9****ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΤΗΣ ΒΡΟΧΟΥ COSTAS****ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ**

Σε αυτή την εργασία περιγράφεται η λειτουργία του βρόχου Costas και εξετάζεται μέσα σε ένα σύστημα όπου τα διπολικά δεδομένα μεταδίδονται με PSK  $\pm 90^\circ$  σήματα. Επίσης παρουσιάζεται η σχέση φάσης ανάμεσα στο αναγεννημένο σήμα αναφοράς και τα ληφθέντα σήματα.

**ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ**

ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Πομπός
1	Μορφή Δεδομένων
3	Διπλός Ισοσταθμισμένος Διαμορφωτής
1	Ολισθητής Φάσης Φέροντος
1	Τασιελεγχόμενος Ταλαντωτής
1	Αναγεννητής Χρονισμού Δεδομένων
1	Ανάκτηση Δεδομένων
1	Δέκτης
2	Τροφοδοτικό
1	Παλμογράφος 2 καναλιών με εξωτερικό σκανδαλισμό

**ΣΤΟΧΟΙ**

Όταν θα έχετε ολοκληρώσει αυτή την εργασία θα πρέπει να γνωρίζετε:

- Τη δομή και τη βασική λειτουργία ενός αποδιαμορφωτή βρόχου Costas.
- Ότι τα φίλτρα που εφαρμόζονται στους διαμορφωτές μέσα στο βρόχο μπορούν να τροποποιήσουν την έξοδο του για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του συστήματος.

**ΕΠΙΠΕΔΟ ΓΝΩΣΕΩΝ**

Πριν από την έναρξη αυτής της εργασίας θα πρέπει να γνωρίζετε ότι:

- Η μετάδοση και λήψη μιας λέξης αναγνώρισης καθιστά δυνατό να αποδοθούν σωστά τα αντεστραμμένα δεδομένα.
- Όταν δύο συμφασικά σήματα πολλαπλασιάζονται μεταξύ τους, το γινόμενο τους αποτελείται από μια θετική DC συνιστώσα και μια συνιστώσα διπλάσιας συχνότητας:

$$\cos(\omega t) \cos(\omega t) = \frac{1}{2} [1 + \cos(2\omega t)]$$

- Όταν δύο σήματα με διαφορά φάσης  $180^\circ$  ( $\pi$  ακτίνια) πολλαπλασιάζονται μεταξύ τους, το γινόμενο τους αποτελείται από μια αρνητική DC συνιστώσα και μια συνιστώσα διπλάσιας συχνότητας:

$$\cos(\omega t + \pi) \cos(\omega t) = \frac{1}{2}[-1 + \cos(2\omega t + \pi)]$$

### ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

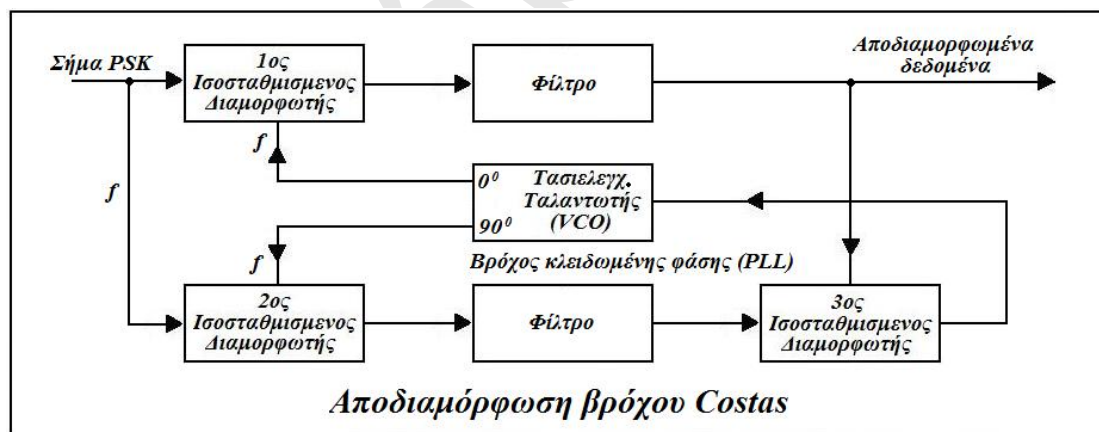
Συνδέστε τα δύο τροφοδοτικά με το ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά μην τα ενεργοποιείται ακόμη.

Συνδέστε τα καλώδια τροφοδοσίας DC στον Πομπό, στη μονάδα Μορφή Δεδομένων, στους Διπλούς Ισοσταθμισμένους Διαμορφωτές, στον Ολισθητή Φάσης Φέροντος, στον Τασιελεγχόμενο Ταλαντωτή, στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων, στη μονάδα Ανάκτηση Δεδομένων και στον Δέκτη (Όλες αυτές οι υποδοχές είναι πανομοιότυπες, αλλά το φορτίο θα πρέπει να είναι ομοιόμορφα κατανομημένο, κατά προτίμηση ένα τροφοδοτικό για το PSK σημάτων και ένα για το PSK σημάτων).

Μόνο όταν όλες οι συνδέσεις τροφοδοσίας έχουν πραγματοποιηθεί, μπορεί η τροφοδοσία να ενεργοποιηθεί.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο βρόχος Costas παρέχει μια εναλλακτική μέθοδο αποδιαμόρφωσης PSK μεταδόσεων. Χρησιμοποιεί ένα βρόχο κλειδωμένης φάσης για να παράγει ένα σήμα αναφοράς φέρουσας συχνότητας και σταθερής φάσης, το οποίο πολλαπλασιάζεται με το εισερχόμενο PSK σήμα για να παράγει μια έξοδο αποδιαμορφωμένων δεδομένων. Το διάγραμμα του Σχήματος 9.1 δείχνει τους τρεις ισοσταθμισμένους διαμορφωτές (πολλαπλασιαστές) και τον Τασιελεγχόμενο Ταλαντωτή (VCO) που αποτελούν το βρόχο Costas.



Σχήμα 9.1

Στην πρακτική άσκηση που ακολουθεί μεταδίδονται διπολικά δεδομένα με PSK  $\pm 90^\circ$  αλλά ο αποδιαμορφωτής βρόχου Costas μπορεί επίσης να εφαρμοστεί και σε μεταδόσεις διφασικών δεδομένων.

Όταν ο βρόχος Costas είναι συγχρονισμένος, ο Τασιελεγχόμενος Ταλαντωτής (VCO) μαζί με τον 1ο και 2ο ισοσταθμισμένο διαμορφωτή σχηματίζουν ένα βρόχο κλειδωμένης φάσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παράγει από την έξοδο «90

degrees» του VCO ένα σήμα συχνότητας  $f$ , που προηγείται του εισερχόμενου σήματος κατά  $90^\circ$  και από την έξοδο «0 degrees» του VCO ένα σήμα αναφοράς συχνότητας  $f$ , το οποίο είναι συμφασικό με το εισερχόμενο PSK σήμα και κατά επέκταση ας πούμε, με το δυαδικό 1, και σε διαφορά φάσης  $180^\circ$  με το δυαδικό 0.

### Άσκηση 9.1

**Σχεδιάστε ένα διάγραμμα φασιθετών που δείχνει το PSK σήμα μαζί με τα σήματα από τις εξόδους («90 degrees» και «0 degrees») του Τασιελεγχόμενου Ταλαντωτή (VCO).**

Η πολλαπλασιαστική λειτουργία του  $1^{ου}$  ισοσταθμισμένου διαμορφωτή θα παράγει τότε μια θετική DC στάθμη, όταν το ληφθέν σήμα και το σήμα αναφοράς είναι συμφασικά και μια αρνητική στάθμη, όταν είναι αντίθετης φάσης. Στη συνέχεια τα κυκλώματα ανάκτησης δεδομένων μετατρέπουν τη διπολική έξοδο από τον αποδιαμορφωτή σε μονοπολικά NRZ δεδομένα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όταν το εισερχόμενο σήμα αλλάζει κατάσταση, το πρόσημο και των δύο εισόδων του 3ου ισοσταθμισμένου διαμορφωτή μεταβάλλεται ταυτόχρονα, έτσι ώστε η έξοδός του να παραμένει σταθερή και το VCO κλειδωμένο σε σταθερή φάση.

Η ασάφεια φάσης που περιγράφεται στην Εργασία 8 υπάρχει και σε αυτό το σύστημα αλλά και πάλι επιλύεται με την εισαγωγή μιας λέξης αναγνώρισης την οποία ανιχνεύει ο δέκτης ώστε, όταν είναι απαραίτητο, να διορθώνει αυτόματα την αντιστροφή δεδομένων.

### ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 9.1

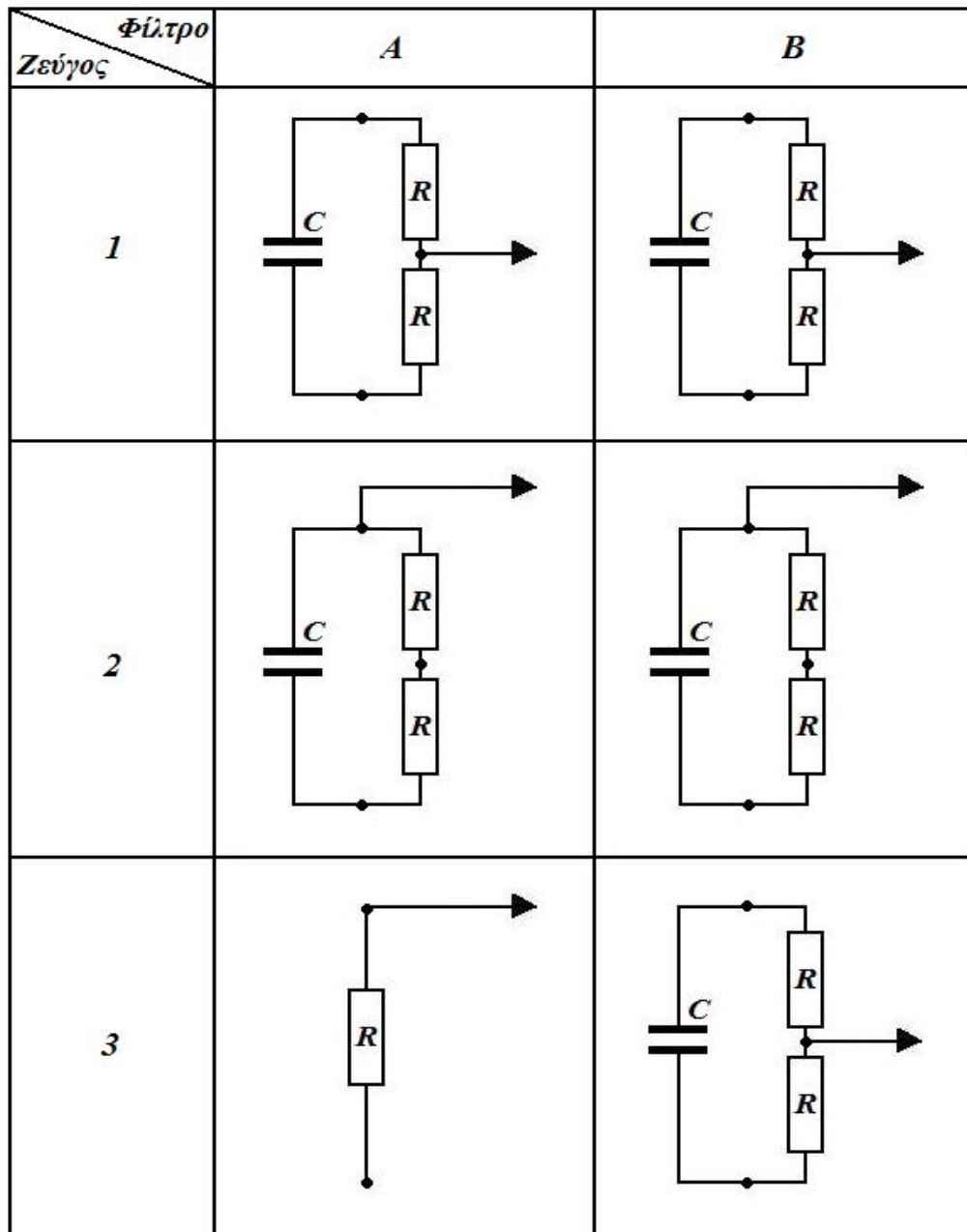
#### Αποδιαμόρφωση Βρόχου Costas

Οι συνδέσεις του συστήματος φαίνονται στο Σχήμα 9.3. Ο πομπός PSK σημάτων είναι ο ίδιος με αυτόν που χρησιμοποιήθηκε στην Εργασία 8 για να παράγει PSK  $\pm 90^\circ$  σήματα από ένα διπολικό NRZ σήμα δεδομένων. Στο δέκτη PSK σημάτων εξετάζονται η λειτουργία του βρόχου Costas και των στοιχείων των φίλτρων του.

Στο δέκτη PSK σημάτων, ο αποδιαμορφωτής βρόχου Costas ακολουθείται από ένα κύκλωμα ανάκτησης δεδομένων «δειγματοληψίας και συγκράτησης» (sample and hold), αν και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική λύση ένα σύστημα «ολοκλήρωσης και απόρριψης» (integrate and dump).

Η απόδοση του βρόχου Costas εξαρτάται από τη διάταξη των φίλτρων A και B, τα οποία εφαρμόζονται στις εξόδους του  $1^{ου}$  και  $2^{ου}$  ισοσταθμισμένου διαμορφωτή αντίστοιχα. Υπάρχει πρόβλεψη για δοκιμές διάφορων παραλλαγών, με τη χρήση των plug-in Network C και  $2k\Omega$  Αντίσταση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 9.2.





Σχήμα 9.2

Το πρώτο ζεύγος φίλτρων δημιουργεί ένα βρόχο Costas που θα λειτουργεί σε ένα γραμμικό τρόπο. Το δεύτερο ζευγάρι προσφέρει αυξημένο κέρδος βρόχου, έτσι ώστε το σύστημα να περιορίζει μια κατάσταση, που προσεγγίζει την απότομη εναλλαγή πολικότητας (hard switching ή polarity) του βρόχου Costas. Στο τρίτο ζευγάρι, το φίλτρο A δεν είναι στην πραγματικότητα φίλτρο και το αποτέλεσμα που έχει είναι να αναγκάζει τον VCO να παρακολουθεί το σήμα πιο άμεσα. Αυτό παράγει μια πιο αποτελεσματική ενέργεια κλειδώματος με ένα σήμα εκτός συχνότητας, αλλά το σύστημα ανταποκρίνεται περισσότερο στο θόρυβο.



### **Προετοιμασία**

Πραγματοποιήστε τις συνδέσεις και τις ρυθμίσεις των διακόπτων όπως φαίνονται στο Σχήμα 9.3. Χρησιμοποιήστε το δεύτερο ζεύγος φίλτρων από το Σχήμα 9.2 στις θέσεις Α και Β στον 1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> ισοσταθμισμένο διαμορφωτή αντίστοιχα.

Ρυθμίστε το κανάλι Y1 και το κανάλι Y2 του παλμογράφου στα 5V/div. Ρυθμίστε τη βάση χρόνου στα 10μs/div, με εξωτερικό σκανδαλισμό από την έξοδο word clock της μονάδας Μορφή Δεδομένων (TR-A στο Σχήμα 9.3).

### **Πρακτική Διαδικασία**

Πληκτρολογήστε τη σχηματομορφή bit 01011000 στον Πομπό και επαληθεύστε ότι οι κυματομορφές δεδομένων στο κανάλι Y1 (Y1-A στο Σχήμα 9.3) και στο κανάλι Y2 (Y2-A στο Σχήμα 9.3) αντιστοιχούν με αυτές που πρέπει να παίρνουμε από τη μονάδα Μορφή Δεδομένων (Σχήμα 2.4 της Εργασίας 2).

Ρυθμίστε τη βάση χρόνου του παλμογράφου στα 0.5μs/div και μεταφέρετε το κανάλι Y1 στη 1.28MHz είσοδο στον Ολισθητή Φάσης Φέροντος (Y1-B στο Σχήμα 9.3) και το κανάλι Y2 στην έξοδο του πομπού PSK σημάτων (Y2-B στο Σχήμα 9.3). Μετακινήστε τον εξωτερικό σκανδαλισμό στην έξοδο «1.28MHz» του Πομπού (TR-B στο Σχήμα 9.3).

Παρατηρήστε την αλλαγή φάσης 180° που συμβαίνει στο μεταδιδόμενο σήμα όταν αντιστρέφεται η πολικότητα του σήματος δεδομένων. Πληκτρολογήστε τη λέξη δεδομένων «όλα ένα» στον Πομπό και σημειώστε ότι το μεταδιδόμενο σήμα είναι συμφασικό με το σήμα αναφοράς των 1.28MHz. Στη συνέχεια πληκτρολογήστε τη λέξη δεδομένων «όλα μηδέν» και παρατηρήστε την αντιστροφή της φάσης του μεταδιδόμενου σήματος.

### **Ερώτηση 9.1**

**Γιατί θα πρέπει αυτές οι σχηματομορφές bit («όλα ένα» και «όλα μηδέν») να επιδρούν με αυτό τον τρόπο στο μεταδιδόμενο σήμα;**

Στο σύστημα λήψης ο αποδιαμορφωτής βρόχου Costas θα μετατρέψει το PSK σήμα σε διπολικά δεδομένα που αντιστοιχούν σε αυτά που εφαρμόζονται στο διαμορφωτή του συστήματος εκπομπής. Θα πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι ο βρόχος Costas, όπως και άλλοι PSK αποδιαμορφωτές υπόκειται σε ασάφεια φάσης, η οποία μπορεί να προκαλέσει αντιστροφή των αποδιαμορφωμένων δεδομένων.

### **Ερώτηση 9.2**

**Σε ένα αντίγραφο του Σχήματος 9.1, μαρκάρετε με ένα «x» τα σήματα των οποίων η πόλωση μπορεί να αλλάξει ανάλογα με το πώς θα συγχρονιστεί ο Τασιελεγχόμενος Ταλαντωτής (VCO).**

Μεταφέρετε το κανάλι Y1 στη έξοδο «0 degrees» του VCO (Y1-C στο Σχήμα 9.3) και πληκτρολογήστε τη λέξη δεδομένων «όλα ένα». Το εισερχόμενο σήμα στο κανάλι Y2 θα είναι είτε συμφασικό είτε σε αντί-φάση (180°) με το σήμα αναφοράς στο

κανάλι Y1. Αν είναι σε αντί-φάση, διακόψτε το εισερχόμενο σήμα με στιγμιαία αποσύνδεση του καλωδίου εξόδου του συστήματος εκπομπής (σύνδεση 1 στο Σχήμα 9.3), επαναλαμβάνοντας το εάν χρειαστεί, έως ότου τα δύο σήματα γίνουν συμφασικά. Στη συνέχεια πληκτρολογήστε τη λέξη δεδομένων «όλα μηδέν» και ελέγξτε ότι η φάση του εισερχόμενου σήματος έχει μετατοπιστεί κατά  $180^\circ$  σε σχέση με το σήμα αναφοράς στο κανάλι Y1.

Μετακινήστε το κανάλι Y2 στη έξοδο «90 degrees» του VCO (Y2-C στο Σχήμα 9.3) και βεβαιωθείτε ότι το σήμα αυτό προηγείται του σήματος αναφοράς (στο κανάλι Y1) κατά  $90^\circ$ . Μόλις ο βρόχος σταθεροποιηθεί, οι έξοδοι «0 degrees» και «90 degrees» είναι ανεπηρέαστες από τη σχηματομορφή bit δεδομένων και τις αντίστοιχες μετατοπίσεις της φάσης του PSK σήματος.

Επαναφέρατε τη βάση χρόνου του παλμογράφου στα  $10\mu\text{s}/\text{div}$ , με εξωτερικό σκανδαλισμό από το word clock της μονάδας Μορφή Δεδομένων (TR-A στο Σχήμα 9.3). Μεταφέρετε το κανάλι Y1 στην έξοδο του αποδιαμορφωτή (Y1-D στο Σχήμα 9.3) και το κανάλι Y2 στην έξοδο του κυκλώματος τετραγωνισμού δεδομένων (Y2-D στο Σχήμα 9.3) για να παρατηρήσουμε τα ανακτημένα διπολικά και μονοπολικά NRZ σήματα που αντιστοιχούν στη λέξη του Πομπού. Πληκτρολογήστε οποιαδήποτε λέξη δεδομένων, όπως τη 01011000, και επιβεβαιώστε ότι τα αποδιαμορφωμένα σήματα συμμορφώνονται με τα δυαδικά δεδομένα.

Όπως αναφέρθηκε σε σχέση με το Σχήμα 9.2, τα φίλτρα που επιλέχθηκαν για αυτό το πείραμα παράγουν μια έξοδο υψηλής στάθμης από τον αποδιαμορφωτή. Μειώστε την μετακινώντας τα καλώδια εξόδου του  $1^{\text{ου}}$  και  $2^{\text{ου}}$  διαμορφωτή από την πάνω στη κεντρική υποδοχή του κάθε φίλτρου. Θα πρέπει να διαπιστωθεί ότι η στάθμη του διπολικού σήματος είναι πολύ περιορισμένη, αλλά παραμένει αρκετά μεγάλη ώστε να μην έχουμε καμία αλλαγή στην έξοδο του κυκλώματος τετραγωνισμού δεδομένων.

Τα κυκλώματα αναγέννησης bit clock και word clock είναι όπως και στην Εργασία 8. Εάν είναι απαραίτητο θα πρέπει να προσαρμοστούν οι ρυθμιστές καθυστέρησης «delay» και εύρους «width» για να παρέχουν στην early/late πύλη παλμούς ίσου εύρους με το bit clock και αρνητικά οδεύοντες στο κέντρο κάθε bit δεδομένων.

Επαναφέρατε τις συνδέσεις εξόδου στις θέσεις υψηλής στάθμης στα φίλτρα. Επιβεβαιώστε ότι οι ενδείκτες led του Δέκτη αντιστοιχούν με την ακολουθία bit που πληκτρολογήθηκε στον Πομπό. Αν δεν υπάρχει αναστροφή του αποδιαμορφωμένου σήματος, ο ενδείκτης led «A», στο κύκλωμα ανίχνευσης της λέξης αναγνώρισης της μονάδας Ανάκτηση δεδομένων θα ανάβει, κάθε φορά που η λέξη αναγνώρισης αποστέλλεται. Αν υπάρχει αντιστροφή θα ανάψει ο ενδείκτης led «B», αλλά οι ενδείκτες led των ληφθέντων δεδομένων «received data» θα παραμείνουν αμετάβλητοι, δείχνοντας ότι η αντιστροφή έχει εντοπιστεί και διορθωθεί. Ο ενδείκτης led «latch & logic» θα αναβοσβήνει μία φορά ανά δευτερόλεπτο, δείχνοντας ότι το κύκλωμα διόρθωσης λειτουργεί.

### ΣΥΝΟΨΗ

Ο βρόχος Costas παρέχει μια μέθοδο αποδιαμόρφωσης για PSK μεταδόσεις εναλλακτικά της μεθόδου ύψωσης του εισερχόμενου σήματος στο τετράγωνο (πολλαπλασιασμός με τον εαυτό του). Χρησιμοποιεί ένα βρόχο κλειδωμένης φάσης

για να παράγει ένα σήμα αναφοράς φέρουσας συχνότητας και σταθερής φάσης το οποίο πολλαπλασιάζεται με το εισερχόμενο PSK σήμα για την παράγει μια έξοδο αποδιαμορφωμένων δεδομένων.

Η φάση του αναγεννημένου σήματος αναφοράς διατηρείται σταθερή από τη δράση του βρόχου κλειδωμένης φάσης, αλλά εξακολουθεί να είναι αναγκαία η μετάδοση και η παρακολούθηση μιας λέξης αναγνώρισης για να αποφευχθεί η αναστροφή των ανακτημένων δεδομένων.

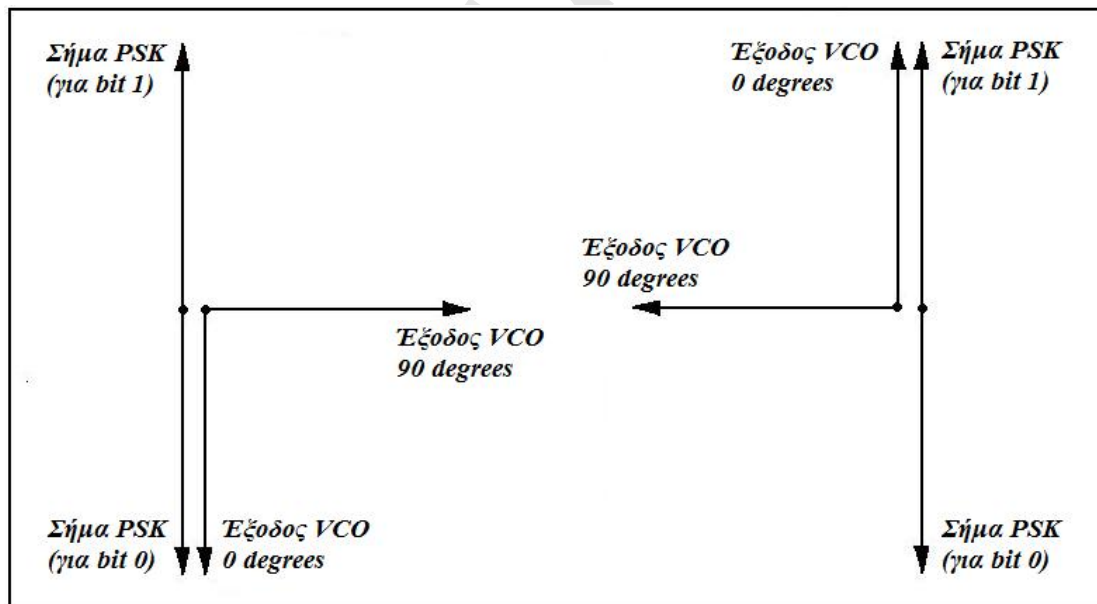
### ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ

Όταν δεν υπάρχει θόρυβος και παραμόρφωση του σήματος είναι δύσκολο να επιλέξει κανείς μεταξύ του αποδιαμορφωτή με τη μέθοδο ύψωσης του εισερχόμενου σήματος στο τετράγωνο και του αποδιαμορφωτή βρόχου Costas. Παρουσία θορύβου όμως, οποιαδήποτε μορφή διαδικασίας ύψωσης στο τετράγωνο (αυτό-πολλαπλασιασμός) θα μεγιστοποιούσε κάθε κορυφή παλμικού θορύβου, που ο βρόχος Costas αποφεύγει. Ο βρόχος Costas είναι γενικά εύκολο (λόγω των φίλτρων) να ρυθμιστεί για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις οποιασδήποτε περίπτωσης σήματος και θορύβου.

### Τυπικά Αποτελέσματα και Απαντήσεις της Εργασίας 9

#### Άσκηση 9.1

Τα σήματα μπορούν να αναπαρασταθούν με ένα από τα ακόλουθα διαγράμματα φασιθετών (τα οποία θα μπορούσαν να σχεδιαστούν και με άλλους τρόπους).



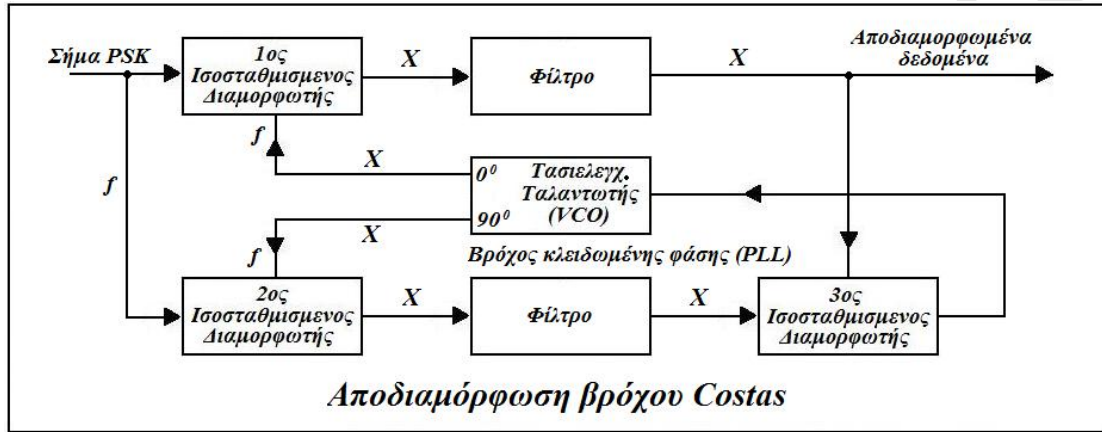
#### Ερώτηση 9.1

Μια είσοδος «όλα ένα» εφαρμόζει μια σταθερή θετική DC τάση στον ισοσταθμισμένο διαμορφωτή, του οποίου η άλλη είσοδος είναι ένα ημιτονοειδές σήμα αναφοράς, ως πούμε  $\cos \omega t$ . Τότε το γινόμενο τους παίρνει την τιμή  $+\cos \omega t$ .

Μια είσοδος «όλα μηδέν» εφαρμόζει μια σταθερή αρνητική DC τάση στον ισοσταθμισμένο διαμορφωτή, οπότε το γινόμενο τους παίρνει τη τιμή  $-\cos \omega t$ .

**Άσκηση 9.2**

Τα σήματα που μπορούν να αλλάξουν πολικότητα, ανάλογα με το πώς συγχρονίζεται ο Τασιελεγχόμενος Ταλαντωτής (VCO), σημειώνονται με x παρακάτω:



## ΕΡΓΑΣΙΑ 10

### Διαμόρφωση Μετατόπισης Φάσης με Ορθογωνισμό

#### (QUADRATURE PHASE SHIFT KEYING - QPSK)

#### ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ

Σε αυτή την εργασία περιγράφεται και εξετάζεται ξεχωριστά η μετάδοση και η λήψη σημάτων με Διαμόρφωση Μετατόπισης Φάσης με Ορθογωνισμό (Quadrature Phase Shift Keying – QPSK). Στον σύστημα εκπομπής οι μετατοπίσεις του σήματος φάσης του φέροντος σήματος φαίνεται να αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα ζεύγη δεδομένων bits. Στο σύστημα λήψης το εισερχόμενο σήμα αποδιαμορφώνεται, χρησιμοποιώντας ένα διπλό βρόχο Costas και οι προκύπτουσες κυματομορφές δεδομένων εφαρμόζονται σε ένα κύκλωμα «ολοκλήρωσης και απόρριψης» (integrate-and-dump) που οδηγεί στην ανάκτηση των NRZ δεδομένων. Οποιαδήποτε αντιστροφή των αποδιαμορφωμένων σημάτων αναγνωρίζεται και διορθώνεται πριν από τη μεταφορά των NRZ δεδομένων στο τελικό στάδιο του συστήματος λήψης QPSK σημάτων.

#### ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Πομπός
1	Μορφή Δεδομένων
3	Διπλός Ισοσταθμισμένος Διαμορφωτής
1	Ολισθητής Φάσης Φέροντος
1	Τασιελεγχόμενος Ταλαντωτής
1	Αναγεννητής Χρονισμού Δεδομένων
1	Ανάκτηση Δεδομένων
1	Δέκτης
2	Τροφοδοτικό
1	Παλμογράφος 2 καναλιών με εξωτερικό σκανδαλισμό

#### ΣΤΟΧΟΙ

Όταν θα έχετε ολοκληρώσει αυτή την εργασία θα πρέπει να γνωρίζετε ότι:

- Σε ένα QPSK σύστημα, το μεταδιδόμενο φέρον μπορεί να λάβει μία από τέσσερις πιθανές γωνίες φάσης, κάθε μια από τις οποίες αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο ζεύγος τιμών bit δεδομένων.
- Η διαδικασία αποδιαμόρφωσης απαιτεί ένα σήμα αναφοράς φέρουσας συχνότητας, αναγεννημένο από το εισερχόμενο σήμα.
- Η φάση του αναγεννημένου φέροντος μπορεί να μην αντιστοιχεί στην φάση αναφοράς του συστήματος εκπομπής, αλλά αυτή η ασάφεια μπορεί να ανιχνευτεί και να διορθωθεί.

#### ΕΠΙΠΕΔΟ ΓΝΩΣΕΩΝ

Πριν από την έναρξη αυτής της εργασίας θα πρέπει να γνωρίζετε:

- Ότι ένας τασιελεγχόμενος ταλαντωτής (VCO) σε ένα μόνο βρόχο Costas μπορεί να αναπαραγάγει ένα σήμα αναφοράς φέρουσας συχνότητας.
- Ότι μια συγκεκριμένη λέξη αναγνώρισης, που μεταδίδεται κατά τακτά χρονικά διαστήματα καθιστά ικανό το δέκτη να αναγνωρίσει και να διορθώσει απλή αντιστροφή των αποδιαμορφωμένων δεδομένων.
- Πώς να μετράτε τριγωνομετρικούς λόγους στα τέσσερα τεταρτημόρια.

### ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Συνδέστε τα δύο τροφοδοτικά με το ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά μην τα ενεργοποιείται ακόμη.

Συνδέστε τα καλώδια τροφοδοσίας DC στον Πομπό, στη μονάδα Μορφή Δεδομένων, στους Διπλούς Ισοσταθμισμένους Διαμορφωτές, στον Ολισθητή Φάσης Φέροντος, στον Τασιελεγχόμενο Ταλαντωτή, στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων, στη μονάδα Ανάκτηση Δεδομένων και στον Δέκτη (Όλες αυτές οι υποδοχές είναι πανομοιότυπες, αλλά το φορτίο θα πρέπει να είναι λογικά ομοιόμορφα κατανομημένο μεταξύ των δύο Τροφοδοτικών).

Μόνο όταν όλες οι συνδέσεις τροφοδοσίας έχουν πραγματοποιηθεί, μπορεί η τροφοδοσία να ενεργοποιηθεί.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Διαμόρφωση Μετατόπισης Φάσης με Ορθογωνισμό (QPSK) είναι μια επέκταση της απλής μεθόδου PSK που μελετήσαμε στις προηγούμενες εργασίες. Σε αυτό το σύστημα το μεταδιδόμενο σήμα μπορεί πάρει μια από τέσσερις πιθανές γωνίες φάσης, με διαφορά φάσης  $90^\circ$  η μία από την άλλη, όπου η καθεμία αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη συνθήκη δεδομένων εισόδου.

Αρχικά θα εξετάσουμε μια μέθοδο επεξεργασίας των NRZ δεδομένων στα οποία κάθε λέξη διαιρείται σε ζεύγη bit αντί για μεμονωμένα bits, όπως φαίνεται παρακάτω:

01	01	10	00
----	----	----	----

Υπάρχουν μόνο τέσσερις πιθανοί τρόποι συνδυασμού του δυαδικού 1 και του δυαδικού 0.

#### Ερώτηση 10.1

**Ποια είναι τα τέσσερα πιθανά ζευγάρια των bits;**

Μπορούμε οπότε να αναπαραστήσουμε οποιαδήποτε λέξη δεδομένων (με άρτιο αριθμό bits) με έναν συνδυασμό αυτών των ζευγών bit και να αναθέσουμε μία από τις τέσσερις γωνίες φάσης μεταφορά στο καθένα από αυτά.

Στο σύστημα λήψης που χρησιμοποιείται σε αυτή την εργασία το QPSK σήμα αποδιαμορφώνεται από ένα διπλό βρόχο Costas με κάποια κοινά στοιχεία. Όπως στη



διαμόρφωση PSK  $\pm 90^\circ$  το πρόβλημα της ασάφειας φάσης υπάρχει, αλλά στην περίπτωση αυτή μπορεί να έχουμε τέσσερις παραλλαγές των δεδομένων αυτών (αντί για δύο της PSK  $\pm 90^\circ$ ). Αυτό και πάλι αντιμετωπίζεται με την τακτική αποστολή μιας λέξης αναγνώρισης και τα κατάλληλα λογικά κυκλώματα στο σύστημα λήψης για να διορθώσει τα εισερχόμενα δεδομένα, εάν είναι απαραίτητο.

Η πρώτη πρακτική άσκηση της παρούσας εργασίας θα περιορίζεται σε μέσα παραγωγής και ανάκτησης δεδομένων σε μορφή κατάλληλη για QPSK, χωρίς διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση του φέροντος σήματος. Στη δεύτερη πρακτική άσκηση τα δεδομένα εφαρμόζονται σε ένα διαμορφωτή για την παραγωγή ενός φέροντος σήματος τεσσάρων φάσεων. Η τρίτη πρακτική άσκηση ασχολείται με την αποδιαμόρφωση του QPSK σήματος και την ανάκτηση των δεδομένων.

### ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 10.1

#### Μορφή Δεδομένων για QPSK

Σε αυτή τη πρακτική άσκηση τα αρχικά NRZ δεδομένα μετατρέπονται σε δύο χωριστές κυματομορφές παλμών, κατάλληλες για διαμόρφωση QPSK.

Δεδομένου ότι κάθε ζευγάρι bit των NRZ δεδομένων αποτελείται από ένα περιττό και ένα άρτιο bit (αρίθμηση bit από 0 έως 7), μπορούμε να χωρίσουμε την αρχική λέξη δεδομένων σε περιττά και άρτια bits και από αυτό παράγουμε δύο διαφορετικές κυματομορφές δεδομένων, οι οποίες το πλήρες σύστημα, θα εφαρμοστούν στον διαμορφωτή QPSK.

Μπορούμε να συμβολίσουμε αυτές τις κυματομορφές ως A και B, όπου η A περιέχει τα bits 1, 3, 5, 7 και η B τα bits 2, 4, 6, 8, όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.1α.

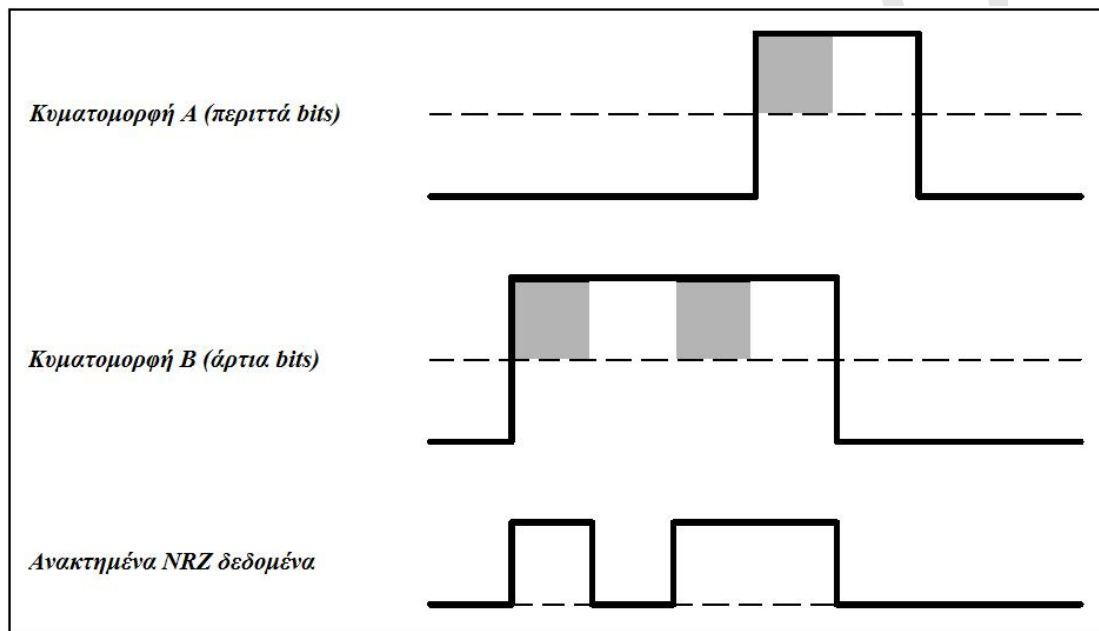
Τα κενά στο Σχήμα 10.1α πρέπει να έχουν κάποια δυαδική τιμή, έτσι ώστε η A και η B κυματομορφή να διατηρήσουν την πόλωση τους μέχρι να υπάρξει μια αλλαγή στα NRZ δεδομένα που επηρεάζει κάποιο από τα καθορισμένα τους bits, όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.1β. Η δημιουργία των κυματομορφών A και B πραγματοποιείται από λογικά κυκλώματα της μονάδας Μορφή Δεδομένων.

Αρίθμηση bit		7	6	5	4	3	2	1	0	
01011000 =	A	0		0		1		0		α)
	B		1		1		0		0	
το οποίο επεκτείνεται στο:	A	0	0	0	0	1	1	0	0	β)
	B	0	1	1	1	1	0	0	0	

Σχήμα 10.1

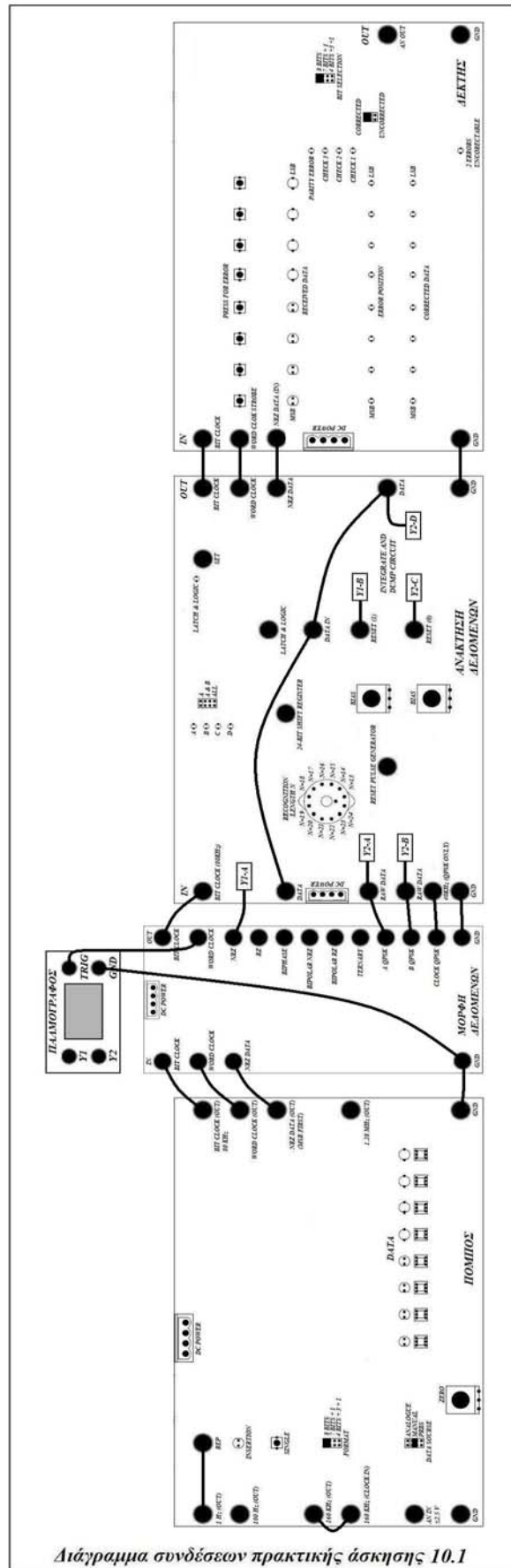
Στο σύστημα λήψης οι δυο κυματομορφές παλμών A και B εφαρμόζονται σε ξεχωριστά κυκλώματα «ολοκλήρωσης και απόρριψης» (integrate-and-dump). Τα κυκλώματα αυτά δουλεύουν εναλλάξ με παλμούς μετάβασης προερχόμενους από ένα 40kHz ρολόι, για να παράγουν ένα σήμα NRZ δεδομένων.

Το ανακτημένο NRZ σήμα είναι θετικό όταν κάθε περιττό bit από τη κυματομορφή A είναι θετικό, αλλά και όταν κάποιο άρτιο bit από την κυματομορφή B είναι θετικό. Τότε αντιστοιχεί με τη σχηματομορφή bit που έχει πληκτρολογηθεί στον Πομπό, όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.2 για τη λέξη 01011000.



Σχήμα 10.2

Τα κυκλώματα ανάκτησης bit clock και word clock είναι τα ίδια με εκείνα των προηγούμενων εργασιών και η λέξη δεδομένων που απεικονίζεται στον Δέκτη θα αντιστοιχεί με τη λέξη δεδομένων που έχει πληκτρολογηθεί στον Πομπό.



Διάγραμμα συνδέσεων πρακτικής άσκησης 10.1

Σχήμα 10.3

### **Προετοιμασία**

Πραγματοποιήστε τις συνδέσεις και τις ρυθμίσεις των διακόπτων όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.3. Ρυθμίστε τα κανάλια Y1 και Y2 στον παλμογράφο στα 5V/div και την βάση χρόνου στα 10μs/div, με εξωτερικό σκανδαλισμό από την έξοδο «word clock» της μονάδας Μορφή Δεδομένων.

### **Πρακτική Διαδικασία**

Πληκτρολογήστε μια λέξη δεδομένων, όπως τη 01011000 στον Πομπό και ελέγξτε εάν μια αντίστοιχη έξοδος εμφανίζεται στην έξοδο NRZ της μονάδας Μορφή Δεδομένων (Y1-A στο Σχήμα 10.3).

Εξετάστε την έξοδο «A for QPSK» στην μονάδα Μορφή Δεδομένων (Y2-A στο σχήμα 10.3) και στη συνέχεια την έξοδο «B for QPSK» (Y2-B στο Σχήμα 10.3). Επιβεβαιώστε ότι αυτές οι κυματομορφές αντιστοιχούν στις σχηματομορφές που φαίνονται στο Σχήμα 10.2α και 10.2β.

### **Άσκηση 10.1**

**Δοκιμάστε να δημιουργήσετε μερικές εναλλακτικές NRZ σχηματομορφές bit. Σχεδιάστε τις κυματομορφές NRZ, A και B και ελέγξτε ότι οι έξοδοι «A for QPSK» και «B for QPSK» ακολουθούν τους κανόνες που φαίνονται στο Σχήμα 10.2.**

Μετά εξετάστε τις δύο εξόδους του κυκλώματος ολοκλήρωσης στη μονάδα Ανάκτηση Δεδομένων (Y1-B και Y2-C στο Σχήμα 10.3). Πληκτρολογήστε μια λέξη δεδομένων ώστε τα κανάλια A και B να έχουν ίσο αριθμό από δυαδικά 0 και δυαδικό 1, όπως είναι η 00110011. Προσαρμόστε τους ρυθμιστές πόλωσης «bias» του κυκλώματος ολοκλήρωσης ώστε να εξισωθούν η θετική και η αρνητική στάθμη της κάθε τριγωνικής κυματομορφής.

Μεταφέρετε το κανάλι Y2 στην έξοδο «data» των δεδομένων του κυκλώματος «ολοκλήρωσης και απόρριψης» (Y2-Δ στο Σχήμα 10.3) και συνδέστε ξανά το κανάλι Y1 με την έξοδο NRZ της μονάδας Μορφή Δεδομένων (Y1-A στο Σχήμα 10.3). Συγκρίνετε τις αρχικές και τις ανακτημένες σχηματομορφές bit. Τα ανακτημένα δεδομένα θα φαίνεται να έχουν κάποιους υπερτιθέμενους παλμούς μετάβασης, αλλά κατά τα άλλα θα αντιστοιχούν στα αρχικά δεδομένα.

Η σχηματομορφή bit που απεικονίζεται τώρα στον Δέκτη θα πρέπει να είναι η ίδια με εκείνη στον Πομπό.

Επιβεβαιώστε ότι το κύκλωμα ανάκτησης του word clock είναι απαραίτητο και ότι λειτουργεί, αποσυνδέοντας την σύνδεση μεταξύ «1 Hz out» και «per» της λέξης αναγνώρισης στον Πομπό και στη συνέχεια, διακόπτοντας στιγμιαία τη σύνδεση στη είσοδο «bit clock (80kHz)» της μονάδας Ανάκτηση Δεδομένων. Η απεικόνιση στους ενδείκτες led του Δέκτη θα είναι μετατοπισμένη, αλλά αυτό μπορεί να διορθωθεί με την αποκατάσταση της σύνδεσης μεταξύ «1 Hz out» και «per» της λέξης αναγνώρισης στον Πομπό.

## ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 10.2

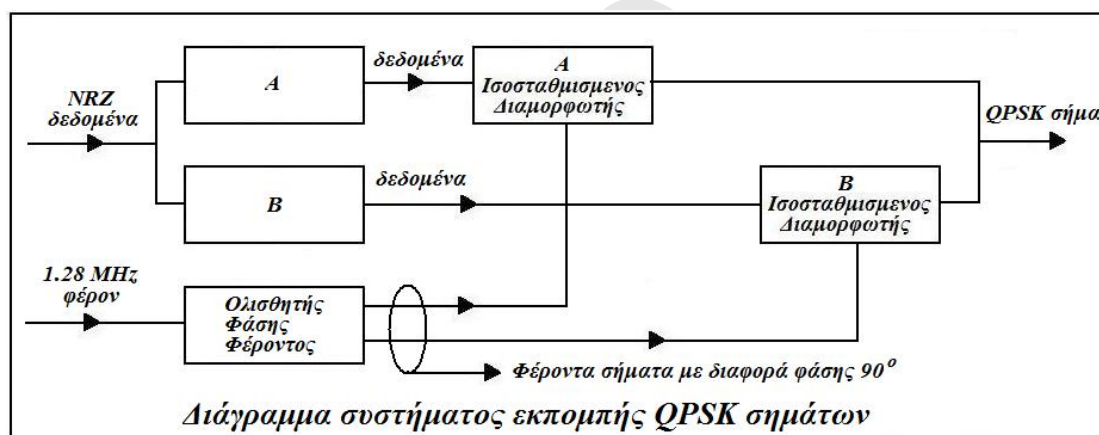
### QPSK Μετάδοση

Είδαμε ότι ένα NRZ σήμα μπορεί να μετατραπεί σε δύο κυματομορφές δεδομένων, που συμβολίζονται ως A και B, όπου η κυματομορφή A δημιουργείται από τα περιττά NRZ bits και η κυματομορφή B από τα άρτια bits.

Σε αυτή την πρακτική άσκηση, εφαρμόζουμε τις κυματομορφές δεδομένων A και B σε ξεχωριστούς ισοσταθμισμένους διαμορφωτές, μαζί με σήματα φέρουσας συχνότητας που έχουν μεταξύ τους διαφορά φάσης ενός τεταρτημορίου, δηλαδή  $90^\circ$ . Το όνομα Quadrature Phase Shift Keying προκύπτει από αυτή τη σχέση μεταξύ των δύο φερόντων. Τα προκύπτοντα PSK σήματα από τους δύο ισοσταθμισμένους διαμορφωτές στη συνέχεια συνδυάζονται για να παράγουν ένα QPSK σήμα εξόδου.

Το διάγραμμα στο Σχήμα 10.4 δείχνει το σύστημα σε απλουστευμένη μορφή.

Το 1.28MHz φέρον σήμα εφαρμόζεται σε ένα ολισθητή φάσης ο οποίος παράγει τα δύο σήματα φέρουσας συχνότητας με διαφορά φάσης  $90^\circ$  μεταξύ τους που συνδέονται με τους διαμορφωτές A και B, όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.4.

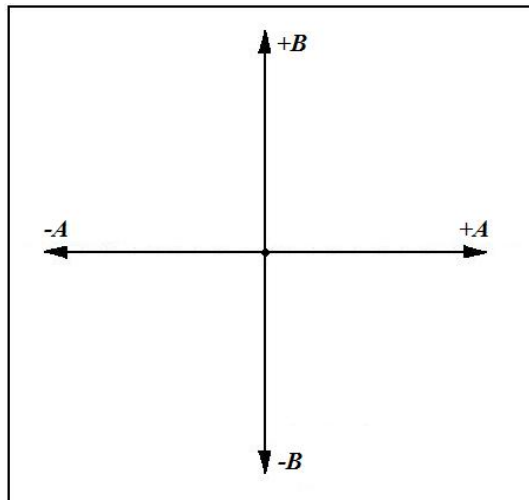


Σχήμα 10.4

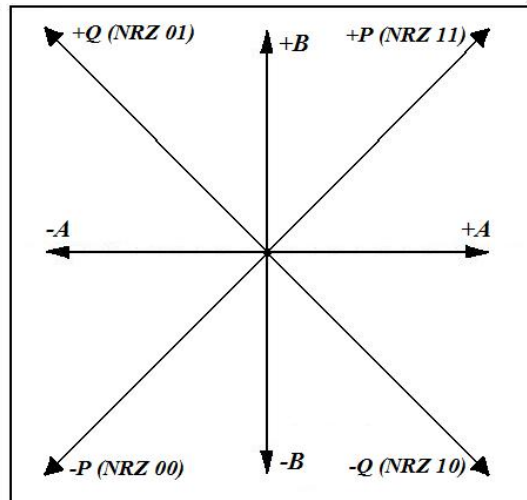
Σε κάθε διαμορφωτή η εισερχόμενη κυματομορφή δεδομένων πολλαπλασιάζεται με ένα σήμα φέρουσας συχνότητας για να παραγάγει μια PSK έξοδο της οποίας η φάση αλλάζει κατά  $180^\circ$  όταν η πολικότητα των δεδομένων εισόδου αντιστρέφεται. Δεδομένου ότι τα δύο σήματα φέρουσας συχνότητας είναι σε διαφορά φάσης  $90^\circ$ , οι PSK έξοδοι από τους διαμορφωτές A και B είναι επίσης σε διαφορά φάσης  $90^\circ$ , όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.5.

Για να αποκτήσετε ένα QPSK σήμα για μετάδοση, οι έξοδοι φέρουσας συχνότητας και από τους δύο διαμορφωτές συνδυάζονται για να παράγουν τις συνισταμένες  $\pm P$  και  $\pm Q$  οι οποίες είναι τα αθροίσματα των φασιθετών των  $\pm A$  και  $\pm B$ , όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.6. Η φάση της προκύπτουσας συνισταμένης θα είναι μετατοπισμένη κατά  $45^\circ$  ως προς το σήμα αναφοράς, αλλά αυτό είναι άνευ

σημασίας, δεδομένου ότι αναπαριστά μια χρονική διαφορά ενός μόνο τεταρτημόριου του κύκλου του φέροντος.



Σχήμα 10.5



Σχήμα 10.6

Για οποιοδήποτε από τα τέσσερα πιθανά NRZ ζευγάρια bits 00, 01, 10, 11 οι αντίστοιχοι φασιθέτες από τον διαμορφωτή A (περιττά bits) και τον διαμορφωτή B (άρτια bits) θα είναι

NRZ	00	01	10	11
A	-	-	+	+
B	-	+	-	+

Οι γωνίες φάσης των συνιστωσών τους, σε σχέση με το σήμα αναφοράς επομένως θα είναι

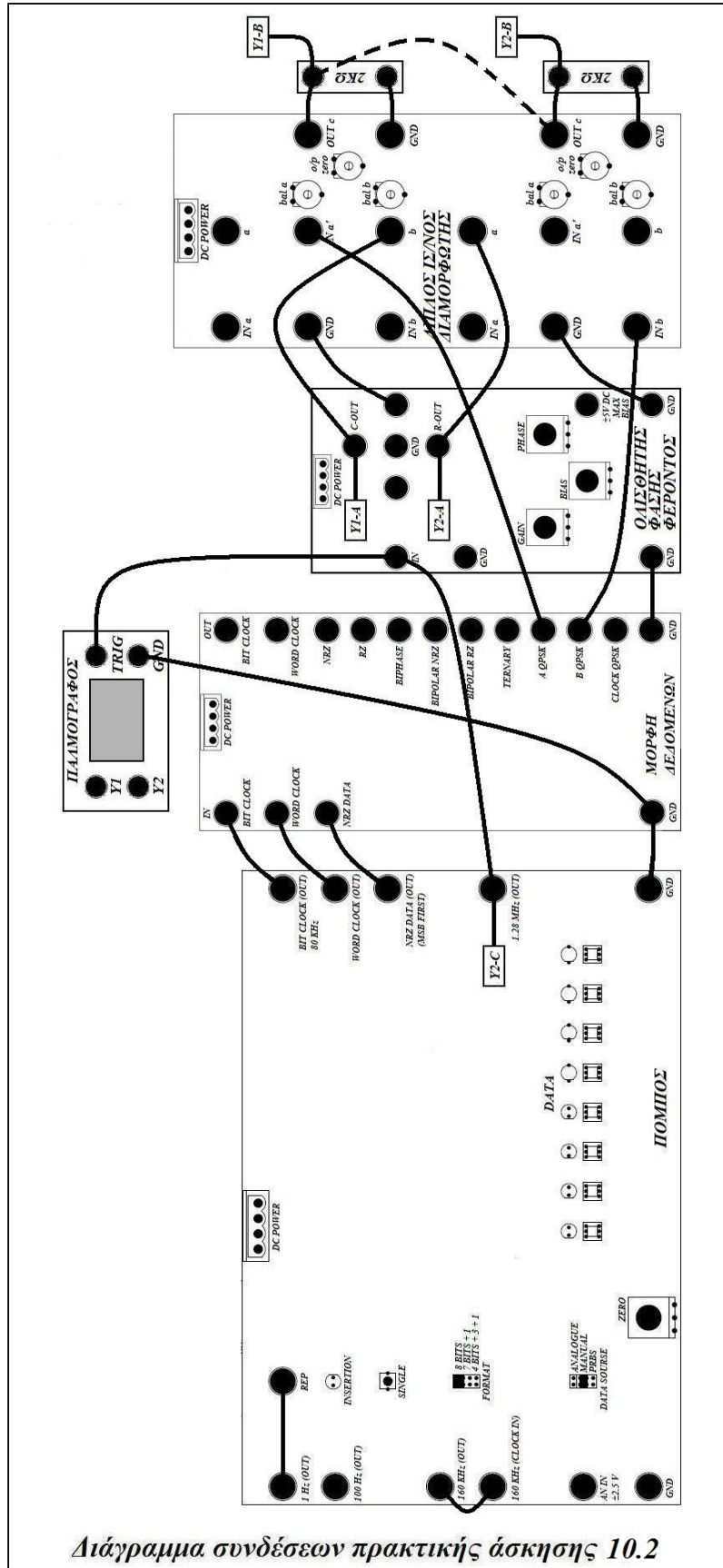
NRZ	00	01	10	11
Συνισταμένη	-P	+Q	-Q	+P
Φάση	-135°	+135°	-45°	+45°

**Ερώτηση 10.2**

**Λαμβάνοντας το +A σήμα ως αναφορά, ποιες τιμές φάσης θα προκύψουν όταν μεταδίδεται η λέξη δεδομένων 01011000;**

Έτσι στην QPSK κάθε συνδυασμός ζευγαριού bit αναπαρίσταται με μια από τις τέσσερις πιθανές φάσεις του σήματος φέρουσας συχνότητας.

Σε αυτή την πρακτική άσκηση θα εφαρμόσουμε τα σήματα δεδομένων των ζευγών bit στους διαμορφωτές A και B και θα παρατηρήσουμε τις αντίστοιχες μετατοπίσεις της φάσης στο μεταδιδόμενο QPSK σήμα.



Σχήμα 10.7

### *Προετοιμασία*

Πραγματοποιήστε τις συνδέσεις και τις ρυθμίσεις των διακοπών όπως φαίνονται στο Σχήμα 10.7.

Ρυθμίστε το κανάλι Y1 και το κανάλι Y2 στον παλμογράφο στα 5V/div και τη βάση χρόνου στα 0.1μs/div (ή όσο το δυνατόν πλησιέστερα), με εξωτερικό σκανδαλισμό από την έξοδο «1.28MHz» του Πομπού.

Σημειώστε ότι η σύνδεση που ενώνει τις εξόδους των δύο διαμορφωτών αρχικά είναι αποσυνδεδεμένη (διακεκομμένη γραμμή).

### *Πρακτική Διαδικασία*

Συνδέστε τα κανάλια Y1 και Y2 του παλμογράφου στις εξόδους του Ολισθητή Φάσης Φέροντος (Y1-A και Y2-A στο Σχήμα 10.7). Τοποθετήστε τον ρυθμιστή κέρδους «gain» στο μέγιστο και προσαρμόστε τον ρυθμιστή φάσης «phase» για να αποκτήσετε δύο σήματα ίσου πλάτους. Αυτά είναι τα σήματα εισόδου φέρουσας συχνότητας των διαμορφωτών A και B. Επιβεβαιώστε ότι έχουν μεταξύ τους διαφορά φάσης 90°.

Πατήστε παρατεταμένα το κουμπί MSB στον Πομπό για να ρυθμίσετε την NRZ έξοδο στο «όλα ένα» (είναι ισοδύναμο με τέσσερα 11 ζεύγη bits). Τα αντίστοιχα σήματα δεδομένων A και B που εφαρμόζονται στους διαμορφωτές θα είναι και τα δύο σταθερής στάθμης και θετικής πολικότητας.

Τώρα συνδέστε τα κανάλια Y1 και Y2 του παλμογράφου στις ανεξάρτητες εξόδους των διαμορφωτών A και B (Y1-B και Y2-B στο Σχήμα 10.7). Η οθόνη του παλμογράφου θα πρέπει να εμφανίζει δύο ημιτονοειδή κύματα σε διαφορά φάσης 90° όπως αναπαριστώνται στο Σχήμα 10.5 με τους φασιθέτες +A και +B, όπου το (+) αναπαριστά μια κατάσταση σε φάση και το (-) μια φάση αντιστραμμένη.

Τώρα αλλάξτε σταδιακά τη λέξη NRZ δεδομένων σε 01010101 ενώ παρατηρείστε προσεκτικά τις αλλαγές στην κυματομορφή A. Σε αυτήν την περίπτωση ο φασιθέτης A είναι αρνητικός και ο B θετικός.

Πατήστε παρατεταμένα το κουμπί LSB για να ρυθμίσετε τη λέξη NRZ δεδομένων σε «όλα μηδέν» (είναι ισοδύναμο με τέσσερα 00 ζεύγη bit). Ο φασιθέτης A θα παραμείνει αρνητικός και ο B θα γίνει αρνητικός, ξανά όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.5.

Τέλος, ρυθμίστε σταδιακά τη λέξη δεδομένων σε 10101010, προκαλώντας τον φασιθέτη A να γίνει θετικός και το φασιθέτη B να παραμείνει αρνητικός.

Θα είναι εμφανές, παρακολουθώντας τον παλμογράφο, ότι κάθε περιττό bit δεδομένων ελέγχει τη φάση του πάνω ισοσταθμισμένου διαμορφωτή (A) και κάθε άρτιο bit δεδομένων χει τη φάση του κάτω διαμορφωτή (B).



Απεικονίστε την συνισταμένη των φασιθετών A και B συνδέοντας τις δύο εξόδους του άνω και κάτω ισοσταθμισμένου διαμορφωτή (απεικονίζεται με διακεκομμένη γραμμή στο Σχήμα 10.7) Σημείωση: θα πρέπει να αφαιρέσουμε την  $2k\Omega$  αντίσταση από την έξοδο του κάτω ισοσταθμισμένου διαμορφωτή. Στον παλμογράφο αφήστε το κανάλι Y1 συνδεδεμένο στην κοινή έξοδο (Y1-B στο Σχήμα 10.7) ενώ μεταφέρετε το κανάλι Y2 στην είσοδο του διαχωριστή φάσης (Y2-C στο Σχήμα 10.7) για να απεικονίσουμε ένα φέρον σήμα αναφοράς φάσης.

Πληκτρολογήστε τις παρακάτω NRZ λέξεις δεδομένων με τη σειρά:

- 11111111
- 01010101
- 00000000
- 10101010

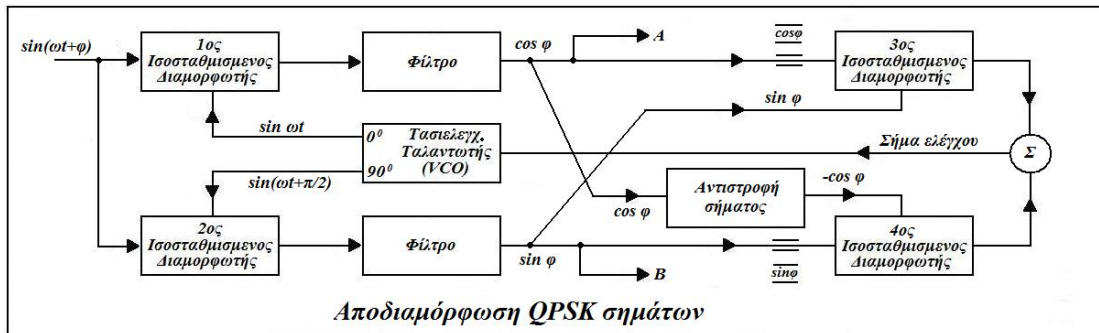
Παρατηρήστε σε κάθε περίπτωση τη σχέση φάσης ανάμεσα στο φέρον σήμα αναφοράς (κανάλι Y2) και το QPSK σήμα (κανάλι Y1). Θα δείτε ότι το QPSK σήμα διέρχεται από τις τέσσερις γωνίες φάσης  $+45^\circ$ ,  $+135^\circ$ ,  $-135^\circ$  και  $-45^\circ$  με τη σειρά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.6.

Τα επαναλαμβανόμενα ζεύγη bit στην παραπάνω άσκηση παράγουν καθορισμένα, καθαρά ίχνη στον παλμογράφο, κάνοντας εύκολα αναγνωρίσιμες τις κυκλικές αλλαγές της φάσης. Εντούτοις, είναι ενδιαφέρον να επιλέξετε οποιαδήποτε λέξη δεδομένων τυχαία και να παρατηρήσετε την επίδραση στο QPSK σήμα. Εφόσον το κάθε ζεύγος bit παράγει την δική του έξοδο γωνίας φάσης, η οθόνη θα πρέπει να δείχνει μέχρι τέσσερις κυματομορφές υπερτιθέμενες. Για παράδειγμα, οι λέξεις 11011000 ή 10011000 παράγουν μια οθόνη στην οποία και οι τέσσερις φάσεις είναι υπερτιθέμενες.

### ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 10.3

#### Λήψη QPSK Σημάτων

Το λαμβανόμενο QPSK σήμα πρέπει να αποδιαμορφωθεί στο σύστημα λήψης για να παράγει τα σήματα δεδομένων A και B που αντιστοιχούν σε εκείνα που αρχικά δημιουργήθηκαν στο σύστημα εκπομπής. Η διαδικασία αποδιαμόρφωσης μπορεί να διεξαχθεί από ένα διπλό βρόχο Costas όπως φαίνεται στο απλοποιημένο διάγραμμα του Σχήματος 10.8.

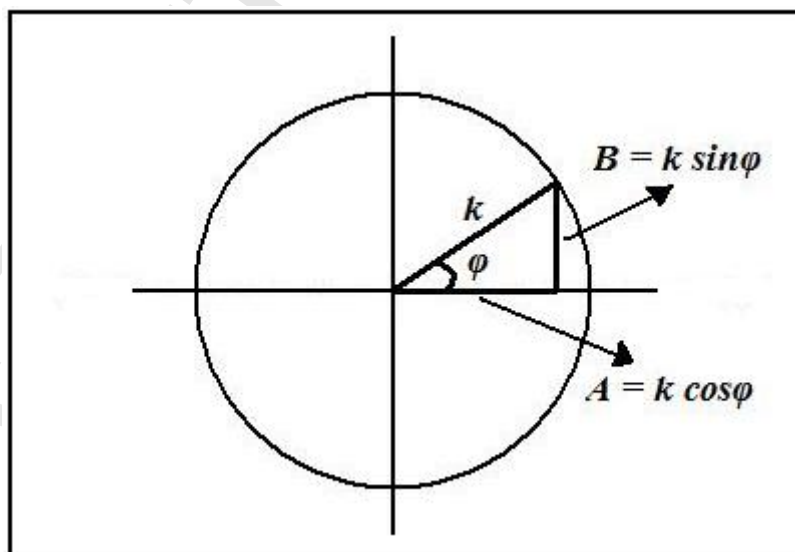


Σχήμα 10.8

Στην κανονική λειτουργία η συχνότητα του Τασιελεγχόμενου Ταλαντωτή (VCO) συγχρονίζεται με εκείνη του εισερχόμενου σήματος και παράγει δύο σήματα τετραγωνικού παλμού φέρουσας συχνότητας, σε διαφορά φάσης 90° μεταξύ τους. Όταν ένα σήμα ημιτονοειδούς κύματος πολλαπλασιάζεται με ένα σήμα τετραγωνικού παλμού της ίδιας συχνότητας η έξοδος θα έχει μια DC συνιστώσα ανάλογη με το  $\cos \varphi$ , όπου  $\varphi$  είναι η διαφορά φάσης ανάμεσα στις δύο κυματομορφές.

Ο 1<sup>ος</sup> και 2<sup>ος</sup> ισοσταθμισμένοι διαμορφωτές επομένως δρουν ως ανιχνευτές φάσης οι οποίοι εξάγουν τις συμφασικές συνιστώσες και τις συνιστώσες με διαφορά φάσης 90° από το εισερχόμενο σήμα και παράγουν δύο κυματομορφές δεδομένων που αντιστοιχούν στα σήματα A και B που αρχικά δημιουργήθηκαν στο σύστημα εκπομπής.

Για μια κατάσταση εισερχόμενου σήματος, σαν και αυτό που παρουσιάζεται στο Σχήμα 10.9, οι έξοδοι από τον 1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> ισοσταθμισμένο διαμορφωτή είναι ανάλογες με το  $\cos \varphi$  και  $\cos\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right) = \sin \varphi$ .



Σχήμα 10.9

Από την προηγούμενη πρακτική άσκηση γνωρίζουμε ότι η γωνία φάσης του εισερχόμενου σήματος μπορεί να οριστεί στις  $+45^\circ$ ,  $+135^\circ$ ,  $-135^\circ$  και  $-45^\circ$  σε σχέση με το σήμα αναφοράς φέρουσας συχνότητας. Στο σύστημα λήψης ο Τασιελεγχόμενος Ταλαντωτής παρέχει το σήμα αναφοράς και οι έξοδοι από τον 1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> διαμορφωτή θα έχουν επομένως τις πολικότητες που φαίνονται στον Πίνακα 1, όπου  $k$  είναι μια θετική σταθερά.

Φάση σήματος	1 <sup>ος</sup> Διαμορφωτής		2 <sup>ος</sup> Διαμορφωτής	
	Έξοδος Α	Πολικότητα	Έξοδος Β	Πολικότητα
$+45^\circ$	$k \cos 45^\circ$	+	$k \sin 45^\circ$	+
$+135^\circ$	$k \cos 135^\circ$	-	$k \sin 135^\circ$	+
$-135^\circ$	$k \cos(-135^\circ)$	-	$k \sin(-135^\circ)$	-
$-45^\circ$	$k \cos(-45^\circ)$	+	$k \sin(-45^\circ)$	-

Πίνακας 1

Μπορούμε να δούμε ότι οι δύο έξοδοι παράγουν διαφορετικούς συνδυασμούς πολικότητας για κάθε γωνία φάσης και ότι αναπαριστούν τις κυματομορφές δεδομένων, Α και Β, οι οποίες αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για να διαμορφώσουν το φέρον του συστήματος εκπομπής.

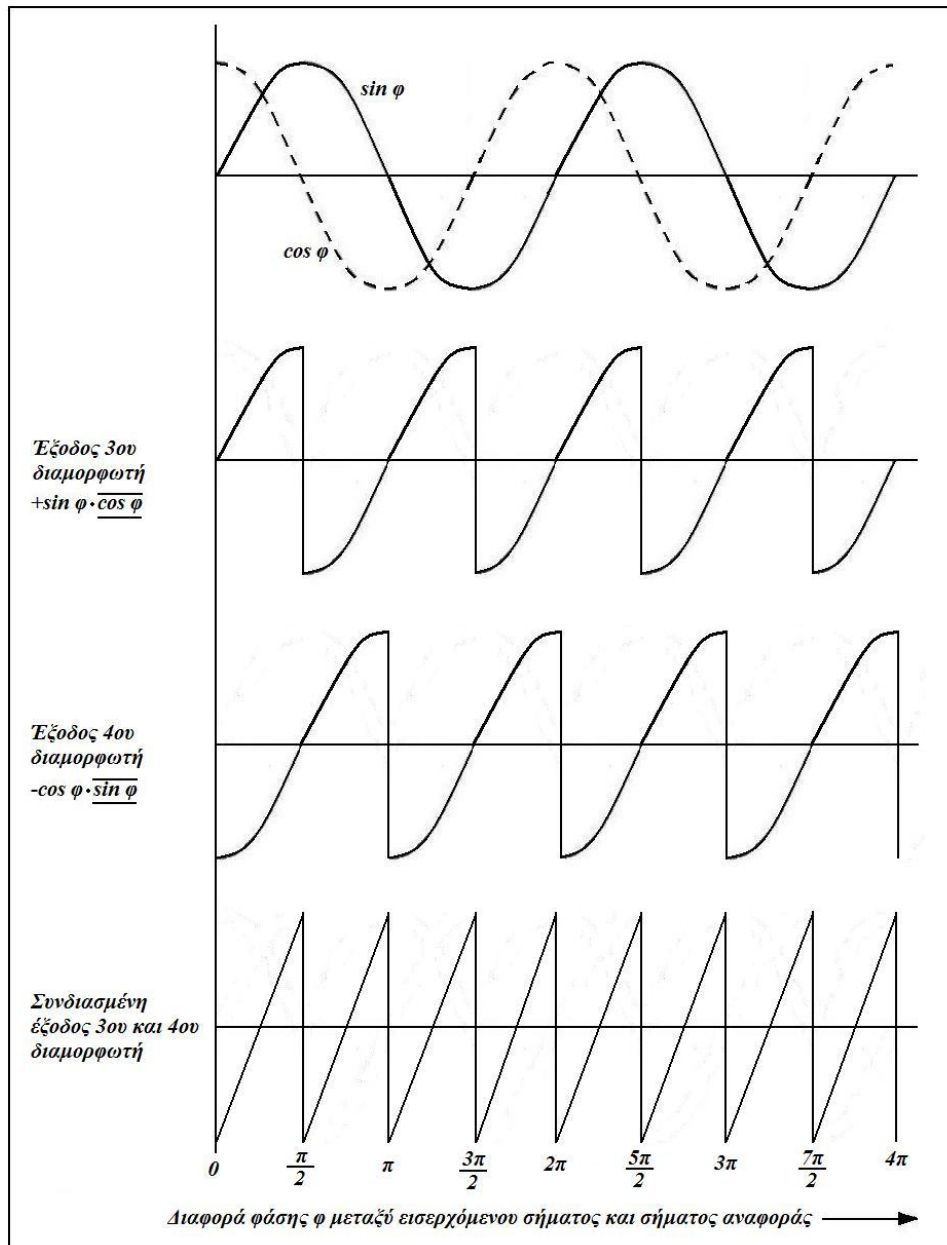
Ακριβώς όπως και με τη PSK  $\pm 90^\circ$  υπήρχε μια διπλή ασάφεια (ανάμεσα σε δυο τιμές της φάσης) με τον ορισμό της φάσης αναφοράς, έτσι και σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μια τετραπλή ασάφεια (ανάμεσα σε τέσσερις τιμές της φάσης) η οποία μπορεί να επιλυθεί με στοιχεία από το σήμα δεδομένων, όπως θα δούμε στην πρακτική διαδικασία.

Η λειτουργία του αποδιαμορφωτή εξαρτάται από την ύπαρξη τεσσάρων φάσεων σήματος στις οποίες το σύστημα μπορεί να κλειδώσει χωρίς να αλλάξει την συχνότητα ή την φάση της εξόδου του VCO. Το Σχήμα 10.10 δείχνει ότι ένα σύνολο γραφημάτων με κοινό οριζόντιο άξονα που αναπαριστά τη διαφορά φάσης ανάμεσα στον εισερχόμενο σήμα και το σήμα αναφοράς της εξόδου του VCO. Είναι σημαντικό να κατανοήσει κανείς ότι αυτές δεν είναι χρονικά μεταβαλλόμενες κυματομορφές αλλά αναπαριστούν την τάση έναντι της διαφοράς φάσης. Τα δύο γραφήματα στον πάνω άξονα είναι τυπικές ημιτονοειδείς και συνημιτονοειδείς καμπύλες για αναφορά. Το δεύτερο και τρίτο γράφημα δείχνει τις εξόδους του 3<sup>ου</sup> και 4<sup>ου</sup> διαμορφωτή. Το κάτω γράφημα δείχνει το αποτέλεσμα του συνδυασμού των δύο.

Εάν τα στοιχεία του συστήματος ήταν όλα γραμμικά με αληθινούς πολλαπλασιαστές, οι έξοδοι από τον 3<sup>ο</sup> και 4<sup>ο</sup> ισοσταθμισμένο διαμορφωτή θα εξουδετερώνονταν. Στην

πραγματικότητα το σύστημα είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε το πλάτος σήματος της μιας εισόδου του 3<sup>ου</sup> διαμορφωτή και της μιας εισόδου του 4<sup>ου</sup> διαμορφωτή να είναι τόσο μεγάλο, με αποτέλεσμα να αναγκάζουν τους διαμορφωτές να αναστρέφουν την πολικότητα των άλλων σημάτων εισόδου. Αυτά τα υψηλής στάθμης σήματα υποδεικνύονται στο Σχήμα 10.8 με το σύμβολο  $\equiv$ . Στο Σχήμα 10.10 οι μπάρες πάνω και κάτω των  $\cos\phi$  και  $\sin\phi$  ( $\overline{\cos\phi}$ ,  $\overline{\sin\phi}$ ) ομοίως ορίζουν ένα υψηλής στάθμης σήμα το οποίο στην πραγματικότητα αλλάζει το πρόσημο στον άλλο παράγοντα της συνάρτησης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μια είσοδος του 4<sup>ου</sup> διαμορφωτή αντιστρέφεται για να παράγει μια έξοδο ανάλογη του  $-\cos\phi$ .

Η συνδυασμένη έξοδος από τον 3<sup>ο</sup> και 4<sup>ο</sup> διαμορφωτή (κάτω γράφημα) εφαρμόζεται στην είσοδο ελέγχου «control in» του Τασιελεγχόμενου Ταλαντωτή (VCO). Υπενθυμίζεται ότι ο VCO είναι συγχρονισμένος στην ίδια συχνότητα με το εισερχόμενο σήμα και ότι μια συγκεκριμένη τάση ελέγχου απαιτείται για να διατηρήσει αυτό το συγχρονισμό. Το γράφημα δείχνει ότι υπάρχουν τέσσερις τιμές φάσης σήματος, ανά πλήρη περιστροφή της φάσης, στις οποίες το σύστημα μπορεί να κλειδώσει χωρίς να αλλάξει τη φάση των εξόδων του VCO. Είναι απαραίτητο η διατήρηση μια σταθερής φάσης αναφοράς όταν το εισερχόμενο σήμα αλλάζει ανάμεσα στις τέσσερις πιθανές τιμές φάσης.



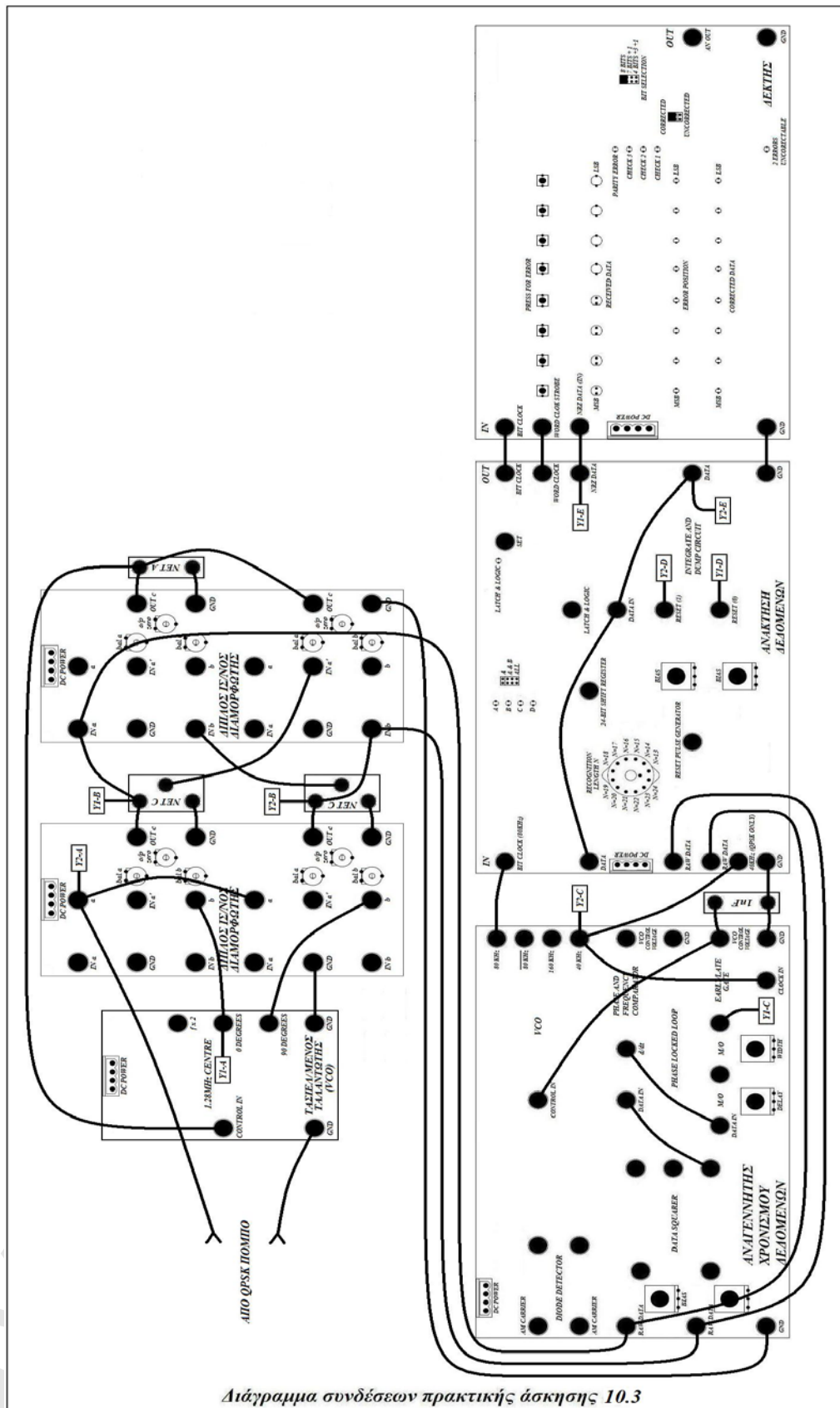
Σχήμα 10.10

**Προετοιμασία**

Μπορούμε πλέον να ολοκληρώσουμε την έρευνά μας στην Διαμόρφωση Μετατόπισης Φάσης με Ορθογωνισμό (QPSK) με την αποδιαμόρφωση του μεταδιδόμενου σήματος και την ανάκτηση των NRZ δεδομένων της πηγής.

Ο QPSK πομπός ρυθμίζεται όπως στην Πρακτική Άσκηση 10.2, Σχήμα 10.7 εκτός από το ότι χρειάζεται μόνο μια αντίσταση φορτίου εξόδου (διακεκομμένη γραμμή σύνδεσης). Πραγματοποιήστε τις συνδέσεις και τις ρυθμίσεις των διακοπών όπως φαίνονται στο Σχήμα 10.11.

Ρυθμίστε τα κανάλια Y1 και Y2 του παλμογράφου στα 5V/div και τη βάση χρόνου στα 0.5μs/div, με εξωτερικό σκανδαλισμό από την έξοδο word clock στη μονάδα Μορφή Δεδομένων.



Σχήμα 10.11

### **Πρακτική Διαδικασία**

Αρχικά πρέπει να εξετάσουμε τις εισόδους του 1<sup>ου</sup> ισοσταθμισμένου διαμορφωτή. Αυτές είναι το ληφθέν σήμα, (Y2-A στο Σχήμα 10.11) και το σήμα της εξόδου «0 degrees» του VCO (Y1-A στο Σχήμα 10.11).

Πατήστε παρατεταμένα το πλήκτρο MSB στον Πομπό για να αποκτήσει τη σχηματομορφή bit «όλα ένα» και παρατηρήστε τη φάση του εισερχόμενου μηνύματος σε σχέση με εκείνη του VCO. Τώρα πατήστε παρατεταμένα το πλήκτρο LSB για να αποκτήσει τη σχηματομορφή bit «όλα μηδέν». Θα πρέπει να δείτε τη φάση του φέροντος σήματος να μετατοπίζεται κατά 180°, όπως φαίνεται από τους φασιθέτες +P και -P στο Σχήμα 10.6.

Στη συνέχεια μεταφέρετε το κανάλι Y1 στην έξοδο υψηλής στάθμης του 1<sup>ου</sup> ισοσταθμισμένου διαμορφωτή (Y1-B στο Σχήμα 10.11) και το κανάλι Y2 στην έξοδο υψηλής στάθμης του 2<sup>ου</sup> ισοσταθμισμένου διαμορφωτή (Y2-B στο Σχήμα 10.11). Επίσης, αλλάξτε στον παλμογράφο τη ρύθμιση της βάσης χρόνου σε 20μs/div.

Πληκτρολογήστε την ακολουθία bit 11110000 στον Πομπό και παρατηρήστε τις προκύπτουσες εξόδους από τον 1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> διαμορφωτή. Θα πρέπει να είναι δύο μη μηδενικές κυματομορφές ίσης διάρκειας και πολικότητας αλλά μετατοπισμένες κατά ένα παλμό bit. Οι κυματομορφές αυτές αντιστοιχούν στα σήματα δεδομένων A και B που δημιουργούνται από τη μονάδα Μορφή Δεδομένων στον QPSK πομπό. Αν η μια ή και οι δύο κυματομορφές αντιστραφούν, αποσυνδέστε και συνδέστε εκ νέου το καλώδιο εισερχόμενου σήματος έως ότου συγχρονιστεί σωστά ο VCO.

Τώρα πληκτρολογήστε τη λέξη δεδομένων 0101100 και ελέγξτε ότι οι αποδιαμορφωμένες κυματομορφές αντιστοιχούν με εκείνες που πρέπει να παίρνουμε από τις εξόδους «A for QPSK» και «B for QPSK» της μονάδας Μορφή Δεδομένων (Σχήμα 2.4 της Εργασίας 2).

Μια από τις δύο αποδιαμορφωμένες κυματομορφές εφαρμόζεται στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων για να παράγει σωστά συγχρονισμένα σήματα bit clock και word clock μαζί με μια 40kHz παλμοσειρά που απαιτείται από τη μονάδα Ανάκτησης Δεδομένων. Συνδέστε το κανάλι Y1 του παλμογράφου στην έξοδο του δεύτερου μονοσταθί πολυδονητή (Y1-C στο Σχήμα 10.11) και το κανάλι Y2 στην είσοδο «40kHz QPSK only» της μονάδας Ανάκτηση Δεδομένων (Y2-C στο Σχήμα 10.11).

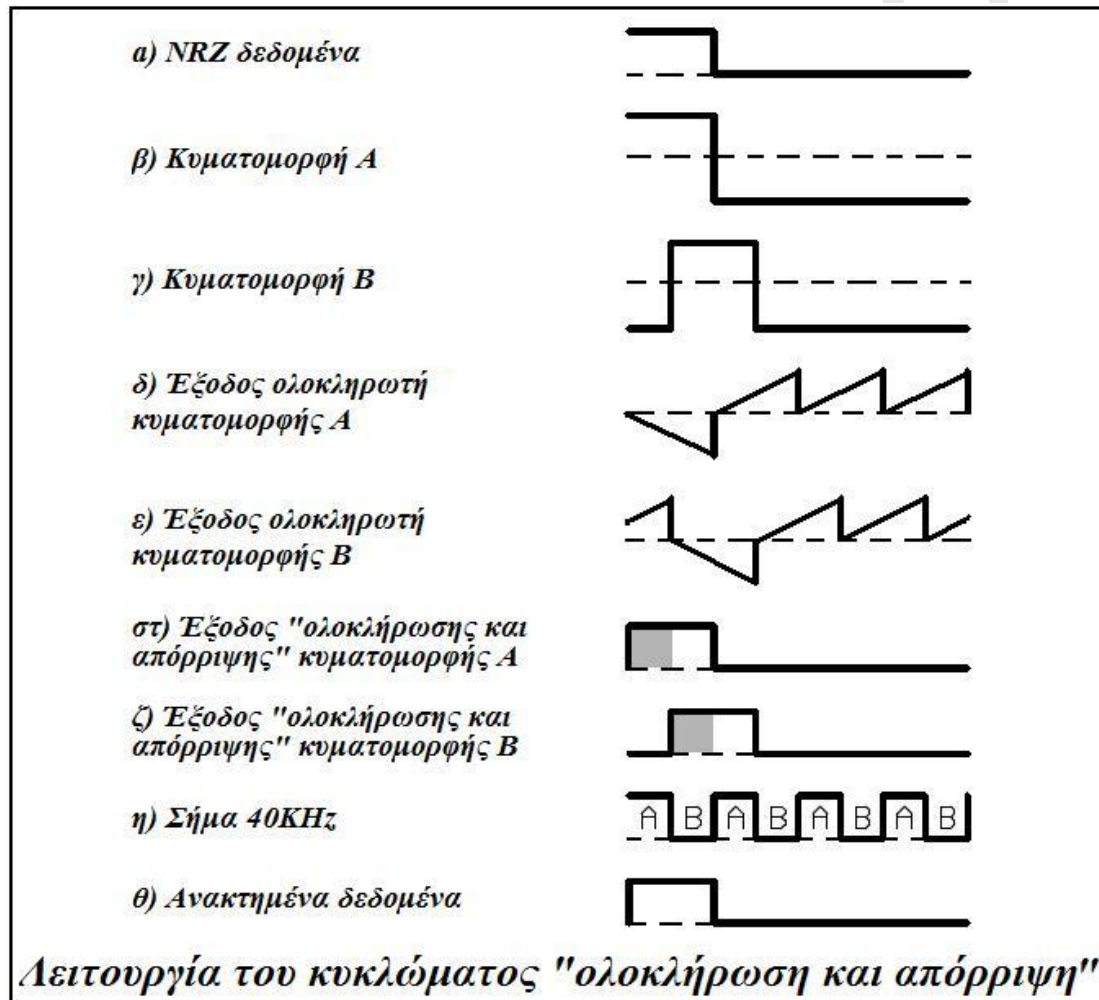
### **Ερώτηση 10.3**

**Γιατί απαιτούμε ένα 40kHz σήμα χρονισμού για την ανάκτηση δεδομένων από ένα QPSK σύστημα που χειρίζεται 80000bits ανά δευτερόλεπτο;**

Αν είναι απαραίτητο, προσαρμόστε τον ρυθμιστή εύρους «width» έτσι ώστε κάθε θετικός παλμός από τον δεύτερο μονοσταθί πολυδονητή να έχει την ίδια διάρκεια με εκείνους της 40kHz εξόδου. Δεδομένου ότι μεταδίδεται τουλάχιστον ένα άρτιο bit 1, το κύκλωμα αναγέννησης χρονισμού θα πρέπει να συγχρονίζεται αυτόματα από τη ροή δεδομένων.

Οι κυματομορφές A και B από τον 1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> διαμορφωτή εφαρμόζονται άμεσα στο κύκλωμα «ολοκλήρωσης και απόρριψης» (integrate-and-dump) της μονάδας Ανάκτηση Δεδομένων μαζί με την 40kHz παλμοσειρά.

Μεταφέρετε τα κανάλια Y1 και Y2 του παλμογράφου στις εξόδους του κυκλώματος ολοκλήρωσης (Y1-D και Y2-D στο σχήμα 10.11). Πληκτρολογήστε τη λέξη δεδομένων 11000000 και συγκρίνετε την οθόνη του παλμογράφου με τα ίχνη (δ) και (ε) στο Σχήμα 10.12. Πιθανόν να χρειάζεται να ρυθμίσετε την πόλωση «bias» στους δύο ολοκληρωτές για να επιτευχθούν όμοιες και συμμετρικές κυματομορφές.



Σχήμα 10.12

Μια αρνητικά οδεύουσα έξοδος από οποιονδήποτε ολοκληρωτή παράγει ένα θετικό παλμό διάρκειας όσο περίπου δύο bit από το συσχετισμένο ανιχνευτή διέλευσης μηδενικού σημείου (μέρος του κυκλώματος integrate-and-dump), όπως φαίνεται στα ίχνη (στ) και (ζ) στο Σχήμα 10.12. Η λειτουργία της μεταγωγής, που ελέγχεται από το 40kHz σήμα, αφήνει μόνο το πρώτο μισό του καθενός από αυτούς τους παλμούς να διέλθει στην έξοδο του κυκλώματος integrate-and-dump (σκιαγραφημένο μέρος στα ίχνη (στ) και (ζ) στο Σχήμα 10.12).



Μεταφέρετε το κανάλι Y2 στην έξοδο του κυκλώματος integrate-and-dump (Y2-E στο Σχήμα 10.11). Το ίχνος πρέπει να είναι παρόμοιο με το ίχνος (θ) του Σχήματος 10.12.

#### Ερώτηση 10.4

Τι θετικές και αρνητικές κλίσεις θα περιμένατε να δώσουν οι δύο ολοκληρωτές αν πληκτρολογήσουμε την ακολουθία bit 01011000;

#### Άσκηση 10.2

Σχεδιάστε τις κυματομορφές τους και επιβεβαιώστε το αποτέλεσμα από τα πραγματικά ίχνη στον παλμογράφο.

Η έξοδος από το κύκλωμα integrate-and-dump οδηγείται στο λογικό κύκλωμα παρακολούθησης της λέξης αναγνώρισης το οποίο διορθώνει οποιαδήποτε αναστροφή φάσης που συμβαίνει κατά την διαδικασία αποδιαμόρφωσης. Η λειτουργία και η αποτελεσματικότητα αυτού του κυκλώματος μπορεί να αποδειχθεί με μια πρακτική δοκιμή.

Στο σύστημα λήψης η λέξη αναγνώρισης και τα δεδομένα μηνύματος διέρχονται από την ίδια διαδικασία αποδιαμόρφωσης και ανάκτησης δεδομένων και στη συνέχεια εφαρμόζονται στο κύκλωμα παρακολούθησης της λέξης αναγνώρισης στη μονάδα Ανάκτηση Δεδομένων. Το κύκλωμα αυτό συγκρίνει τα τελευταία ληφθέντα  $n$  bits με τις ακολουθίες bit που έχει αποθηκευμένες. Ο αριθμός  $n$  των bits που θα έχει η λέξη αναγνώρισης επιλέγεται από τον περιστροφικό διακόπτη «recognition length  $n$ ». Αν οποιαδήποτε διαδοχικά  $n$  bits ταιριάζουν με τις αποθηκευμένες τιμές τότε εκτελούνται διεργασίες συγχρονισμού του word clock του συστήματος λήψης. Το ταίριασμα της λέξης υποδεικνύεται με τον ενδείκτη led «A» που αναβοσβήνει.

Επίσης αναγνωρίζονται ακολουθίες bit με διάφορες σχηματομορφές ανεστραμμένων bits. Ανάλογα ποια bits είναι ανεστραμμένα ή όχι, αυτό υποδεικνύεται από τους ενδείκτες led «A», «B», «C» και «D», όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.

Συνθήκες Αναγνώρισης Λέξης	
Ενδείκτης led	Ταίριασμα λέξης
A	Ταίριασμα χωρίς αναστροφή
B	Ταίριασμα με όλα τα bits ανεστραμμένα
C	Ταίριασμα με τα άρτια bits ανεστραμμένα
D	Ταίριασμα με τα περιττά bits ανεστραμμένα

Πίνακας 2

Ο διακόπτης δίπλα στους ενδείκτες led «A», «B», «C» και «D» ορίζει σε ποια συνθήκη αναγνώρισης λέξης το σύστημα θα ανταποκριθεί. Ανάλογα τη συνθήκη ένα

ταίριασμα με τη λέξη αναγνώρισης θα συγχρονίσει το word clock και θα στείλει οδηγίες στο κύκλωμα «latch and logic» για να εκτελέσει τις κατάλληλες αναστροφές bit και να διορθώσει την έξοδο δεδομένων της μονάδας Ανάκτηση Δεδομένων.

Τοποθετήστε τον διακόπτη στη θέση «ALL» και μεταφέρετε το κανάλι Y1 στην έξοδο «NRZ data» του κυκλώματος latch and logic (Y1-E στο Σχήμα 10.11).

Πληκτρολογήστε μια λέξη δεδομένων, όπως είναι η 01011000 και παρατηρήστε τα ίχνη στο παλμογράφο. Αν ο αποδιαμορφωτής είναι συγχρονισμένος σωστά, τα δύο ίχνη θα πρέπει να είναι παρόμοια, με μια μικρή καθυστέρηση στην NRZ κυματομορφή δεδομένων. Επίσης ενδεικτής led «A» θα ανάβει μια φορά κάθε δευτερόλεπτο, καθώς λαμβάνεται η λέξη αναγνώρισης.

Αποσυνδέστε στιγμιαία το καλώδιο του εισερχόμενου QPSK σήματος αρκετές φορές. Ο VCO θα κλειδώσει σε μία από τις τέσσερις φάσεις τυχαία προκαλώντας τις κυματομορφές δεδομένων A και B από τον αποδιαμορφωτή να είναι ή σε φάση ή εκτός φάσης. Αν υπάρχει αναστροφή φάσης, οι ενδεικτές led «B», «C» και «D» θα ανάβουν και η έξοδος από το κύκλωμα integrate-and-dump (Y2-E στο Σχήμα 10.11) θα δείχνει μια λανθασμένη σχηματομορφή. Εντούτοις, η έξοδος NRZ δεδομένων θα παραμένει σωστή (Y1-E στο Σχήμα 10.11) δείχνοντας ότι ένα σφάλμα έχει αναγνωριστεί και ότι η διαδικασία διόρθωσης έχει αποκαταστήσει τα bits δεδομένων στην κατάλληλη ακολουθία τους.

Τώρα τοποθετήστε το διακόπτη στη θέση «A» και διακόψτε ξανά στιγμιαία το εισερχόμενο QPSK σήμα. Για οποιαδήποτε ανεστραμμένη κατάσταση ο κατάλληλος ενδεικτής led θα δείχνει ένα σφάλμα αλλά τα NRZ δεδομένα δε θα διορθώνονται. Με το διακόπτη στη θέση «A and B», αν έχουμε αναστροφή στις καταστάσεις «C» και «D» θα παράγουν ένα σφάλμα στα ανακτημένα NRZ δεδομένα.

Τοποθετήστε ξανά το διακόπτη στη θέση «ALL» και πληκτρολογήστε οποιαδήποτε ακολουθία bit που περιέχει τουλάχιστον ένα περιττό και ένα άρτιο bit 1. Οι ενδεικτές led στον Δέκτη πλέον θα δείχνουν την ίδια σχηματομορφή bit με εκείνη στον Πομπό.

Παρόλο που το σύστημα μπορεί να διορθώσει οποιαδήποτε αναστροφή των κυματομορφών δεδομένων A και B, τα κυκλώματα ανάκτησης δεδομένων θα χάσουν το συγχρονισμό αν δεν εφαρμόζονται παλμοί στο κύκλωμα αναγέννησης χρονισμού. Στο σύστημα που έχουμε κατασκευάσει, η αναγέννηση χρονισμού ελέγχεται από παλμούς που προέρχονται από την έξοδο δεδομένων του 2<sup>00</sup> ισοσταθμισμένου διαμορφωτή. Αν αυτή έχει σταθερή πολικότητα (όλα τα άρτια bits να έχουν την δυαδική τιμή 0 ή τη δυαδική τιμή 1), ο συγχρονισμός θα χαθεί και τα ανακτημένα δεδομένα θα είναι εσφαλμένα.

Για να δούμε αυτό, πληκτρολογήστε τη λέξη 01011000 στον Πομπό. Αν έχουμε αναστροφή των δεδομένων στον αποδιαμορφωτή διακόψτε στιγμιαία το εισερχόμενο QPSK σήμα έως ότου ανάψει ο ενδεικτής led «A».

Τώρα πληκτρολογήστε τη λέξη 01011101 (όλα τα άρτια bits να έχουν την δυαδική τιμή 1) και παρατηρήστε ότι οι ενδείκτες led του Δέκτη δεν αντιστοιχούν πλέον στην ακολουθία δεδομένων του Πομπού.

### Ερώτηση 10.5

**Μπορείτε, αλλάζοντας μια σύνδεση στον Αναγεννητή Χρονισμού Δεδομένων, να αποκαταστήσετε το συγχρονισμό και να ανακτήσετε τα σωστά δεδομένα;**

Βρείτε αυτή τη σύνδεση και επιβεβαιώστε ότι τα ληφθέντα δεδομένα πλέον αντιστοιχούν με εκείνα της πηγής.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο Αναγεννητής Χρονισμού Δεδομένων διατηρείται σκόπιμα αρκετά απλός και δεν παρέχει αυτόματο συγχρονισμό για οποιαδήποτε από τις κυματομορφές δεδομένων A και B. Σε ένα επαγγελματικό σύστημα επικοινωνίας βέβαια, θα υπήρχε αυτόματος συγχρονισμός, μαζί με ταλαντωτές κρυστάλλου που δεν θα απαιτούσαν τόσο συχνό συγχρονισμό.

### ΣΥΝΟΨΗ

Στην Διαμόρφωση Μετατόπισης Φάσης με Ορθογωνισμό (Quadrature Phase Shift Keying – QPSK), τα bits δεδομένων μεταδίδονται ανά ζεύγη. Η φάση του φέροντος σήματος παίρνει μια από τις τέσσερις τιμές (με διαφορά φάσης  $90^\circ$  η μία από την άλλη), όπου κάθε τιμή αναπαριστά έναν από τους πιθανούς συνδυασμούς των δυαδικών τιμών bit στο ζεύγος.

Τα στάδια στην δημιουργία ενός QPSK σήματος είναι:

- Διαδοχικά bits στέλνονται εναλλάξ στους σε δύο διαμορφωτές, στους οποίους εφαρμόζονται 2 φέροντα σήματα της ίδιας συχνότητας αλλά με διαφορά φάσης  $90^\circ$  μεταξύ τους.
- Οι έξοδοι των δύο διαμορφωτών συνδυάζονται για να παράγουν το μεταδιδόμενο σήμα, στο οποίο κάθε ζεύγος bit δεδομένων αναγκάζει το φέρον να πάρει μια από τις τέσσερις πιθανές φάσεις.

Στην λήψη ενός QPSK σήματος:

- Το εισερχόμενο σήμα τροφοδοτείται σε δύο διαμορφωτές στους οποίους εφαρμόζονται 2 σήματα αναφοράς φέρουσας συχνότητας σε διαφορά φάσης  $90^\circ$  μεταξύ τους από έναν τοπικό ταλαντωτή (VCO).
- Ο VCO συγχρονίζεται με το λαμβανόμενο σήμα από ένα βρόχο κλειδωμένης φάσης που βασίζεται σε ένα αποδιαμορφωτή φάσης του οποίου τα χαρακτηριστικά εξόδου του επαναλαμβάνονται κυκλικά σε κάθε  $90^\circ$  μεταβολή φάσης.
- Η ασάφεια στην φάση (ανάμεσα σε 4 πιθανές τιμές) επιλύεται με την χρήση μιας λέξης αναγνώρισης, στην οποία διακρίνεται αν οποιοσδήποτε

συνδυασμός περιττών, άρτιων, κανενός ή όλων των bit, αναστρέφεται, ώστε να μπορεί το σύστημα να διορθώσει τη πολικότητα εκείνων των bits που έχουν αντιστραφεί.

### ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ

Παρά το γεγονός ότι ένα QPSK σύστημα επικοινωνιών συνεπάγεται μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στα κυκλώματα διαμόρφωσης, αποδιαμόρφωσης και ανάκτησης δεδομένων, προσφέρει πολύτιμη βελτίωση στο ρυθμό πληροφοριών, σε σύγκριση με άλλες μορφές διαμόρφωσης.

Εφόσον η QPSK εφαρμόζεται σε ζεύγη bit και όχι ανά bit όπως στη συνηθισμένη PSK, θα περιμέναμε ότι το απαιτούμενο εύρος ζώνης θα ήταν στο μισό και ο ρυθμός πληροφοριών θα διπλασιαζόταν. Για ένα κανάλι καθαρό από θόρυβο θα ήταν σχεδόν αλήθεια. Εντούτοις, σε ένα πρακτικό σύστημα, αν και ο ρυθμός πληροφοριών μπορεί να αυξηθεί, δε μπορεί να διπλασιαστεί, επειδή απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια στην αποδιαμόρφωση της ληφθείσας φέρουσας φάσης, για να αποφευχθούν τα σφάλματα που προκαλούνται από το θόρυβο.

### Τυπικά Αποτελέσματα και Απαντήσεις της Εργασίας 10

#### Ερώτηση 10.1

Υπάρχουν τέσσερις μόνο τρόποι ζευγαρώματος του δυαδικού 1 και του δυαδικού 0: 00, 01, 10 και 11.

#### Ερώτηση 10.2

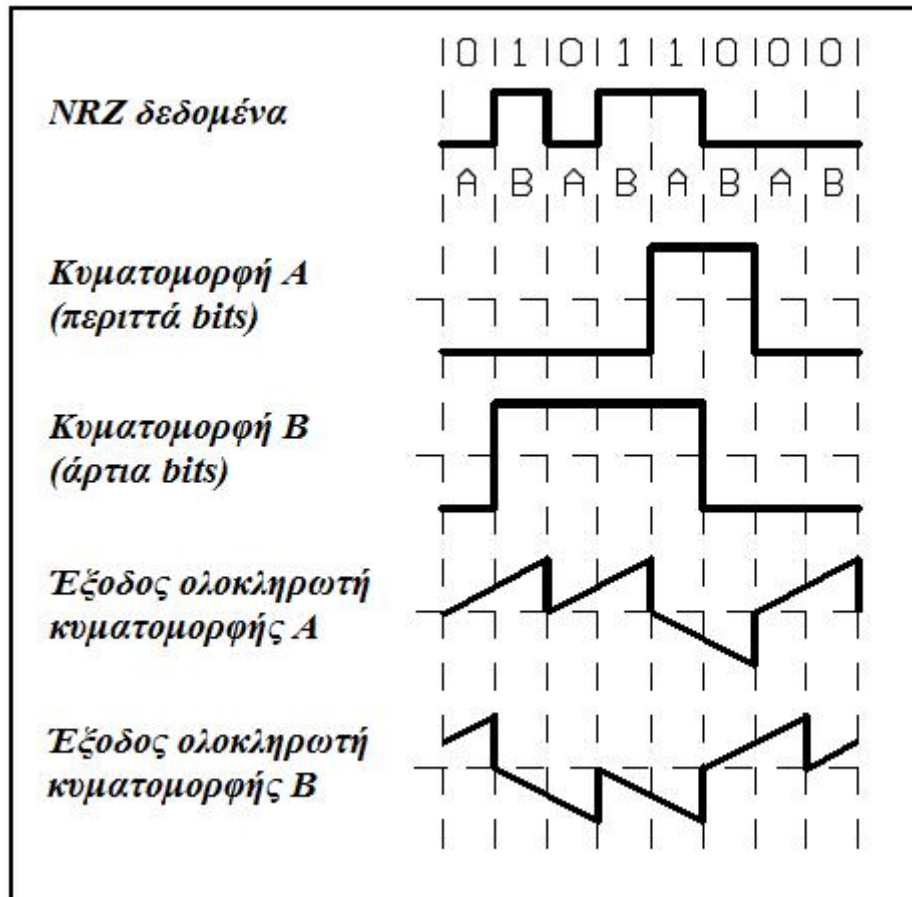
Λαμβάνοντας το +A σήμα ως αναφορά, οι τιμές φάσης που εμφανίζονται όταν η λέξη δεδομένων 01011000 μεταδίδεται είναι  $+135^\circ$ ,  $+135^\circ$ ,  $-45^\circ$  και  $-135^\circ$ .

#### Ερώτηση 10.3

Ένα 40kHz σήμα ρολογιού απαιτείται για την ανάκτηση των δεδομένων από ένα QPSK σύστημα που χειρίζεται 80000bits ανά δευτερόλεπτο επειδή στέλνονται αποτελεσματικά ταυτόχρονα ζευγάρια των 4-bit λέξεων.

#### Ερώτηση 10.4

Οι έξοδοι του ολοκληρωτή για την ακολουθία bit 01011000 φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



### Ερώτηση 10.5

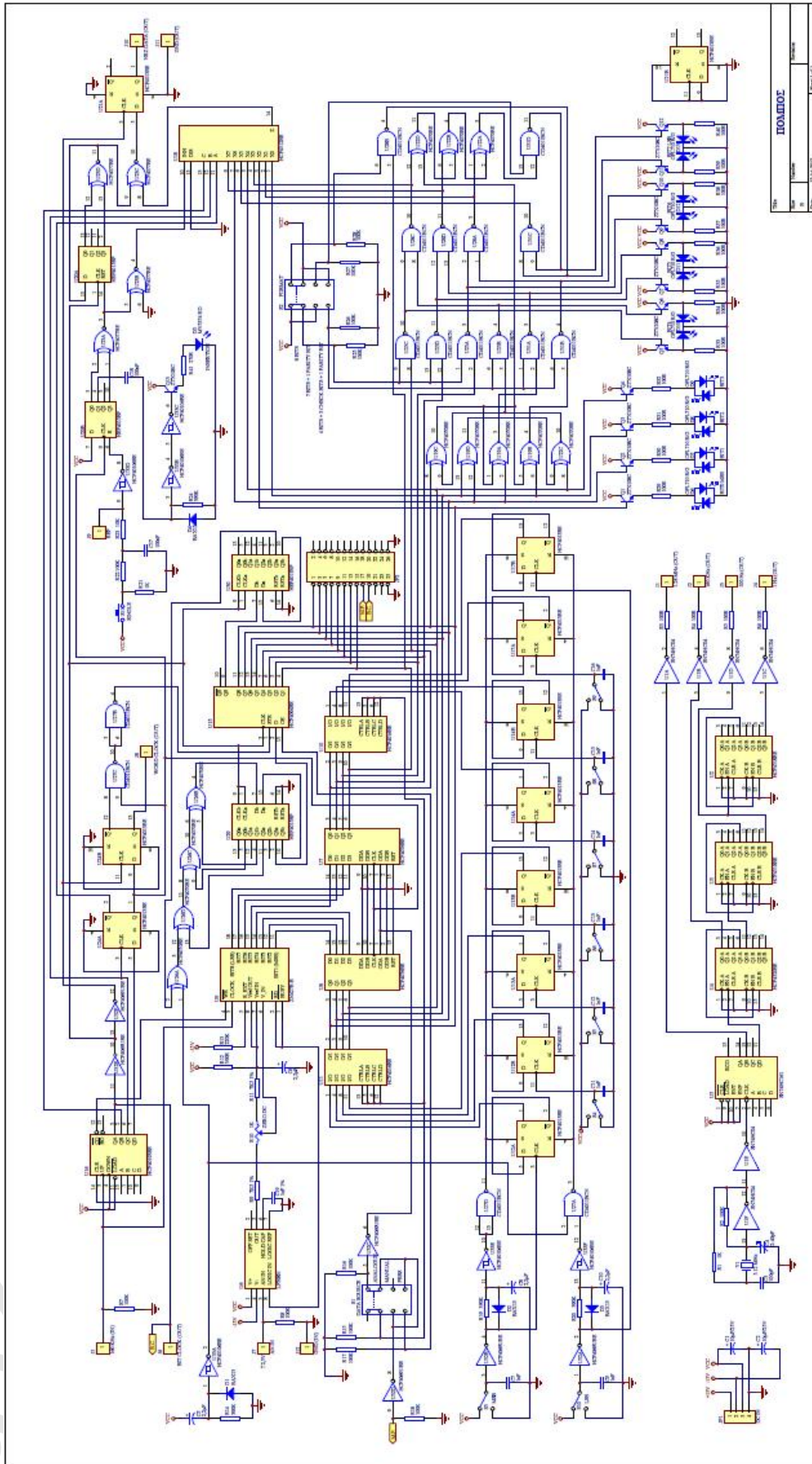
Η μεταφορά της σύνδεσης της εισόδου «data in» από την κάτω στην πάνω έξοδο του κυκλώματος τετραγωνισμού δεδομένων (DATA SQUARER) αποκαθιστά τον συγχρονισμό και ανακτά τα σωστά δεδομένα. Αυτό συμβαίνει γιατί αν κάνουμε αυτή την αλλαγή η αναγέννηση χρονισμού δεν θα ελέγχεται από παλμούς που προέρχονται από τον 2<sup>ο</sup> διαμορφωτή (άρτια bits) αλλά από παλμούς που προέρχονται από τον 1<sup>ο</sup> διαμορφωτή (περιττά bits). Και εφόσον η λέξη που έχουμε πληκτρολογήσει είναι η 01011101 δεν έχουν όλα τα περιττά bits την δυαδική τιμή 1 ή την δυαδική τιμή 0 άρα έχουμε αποκατάσταση του συγχρονισμού.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] R.G. Lyons, “Understanding Digital Signal Processing”, Second Edition, Pearson Education, Inc., New Jersey, 2004.
- [2] Jack Kurzweil, “An introduction to Digital Communications”, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2000.
- [3] Bernard Sklar, “Digital Communications - Fundamentals and Applications”, Second Edition, Prentice-Hall International, Inc., 2001.
- [4] Fiqin Xiong, “Digital Modulations Techniques”, Artech House, Inc., Norwood, 2000.
- [5] M.K. Simon – S.M. Hinedi – W.C. Lindsey, “Digital Communication Techniques - Signal Design and Detection”, PTR Prentice Hall, New Jersey, 1995.
- [6] J.G. Proakis, “Digital Communications”, Second Edition, McGraw-Hill, Inc., Singapore, 1989.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Ο σχεδιασμός των ηλεκτρονικών και τυπωμένων κυκλωμάτων έγινε με το σχεδιαστικό πρόγραμμα “Protel 99 Second Edition”.

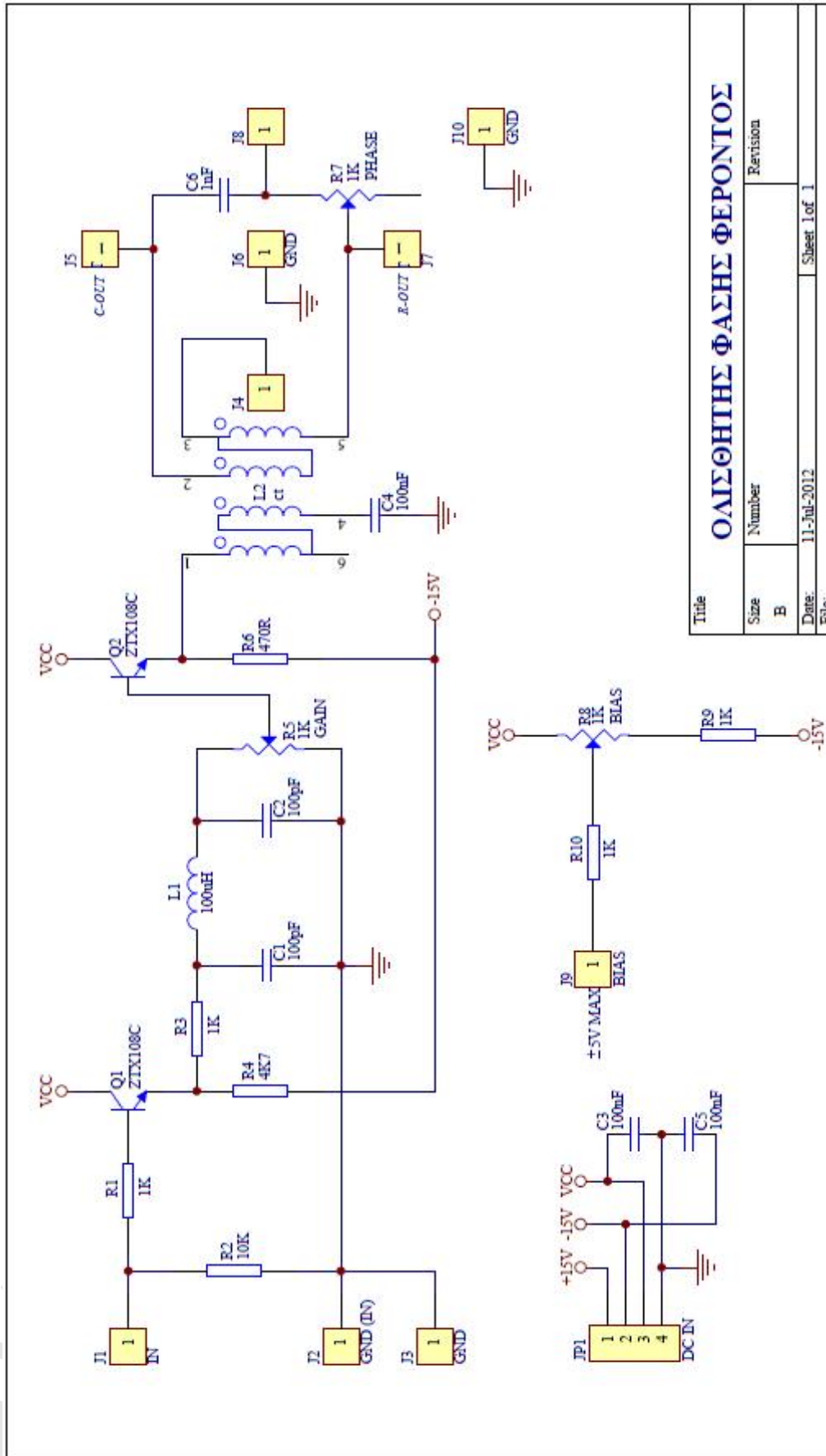




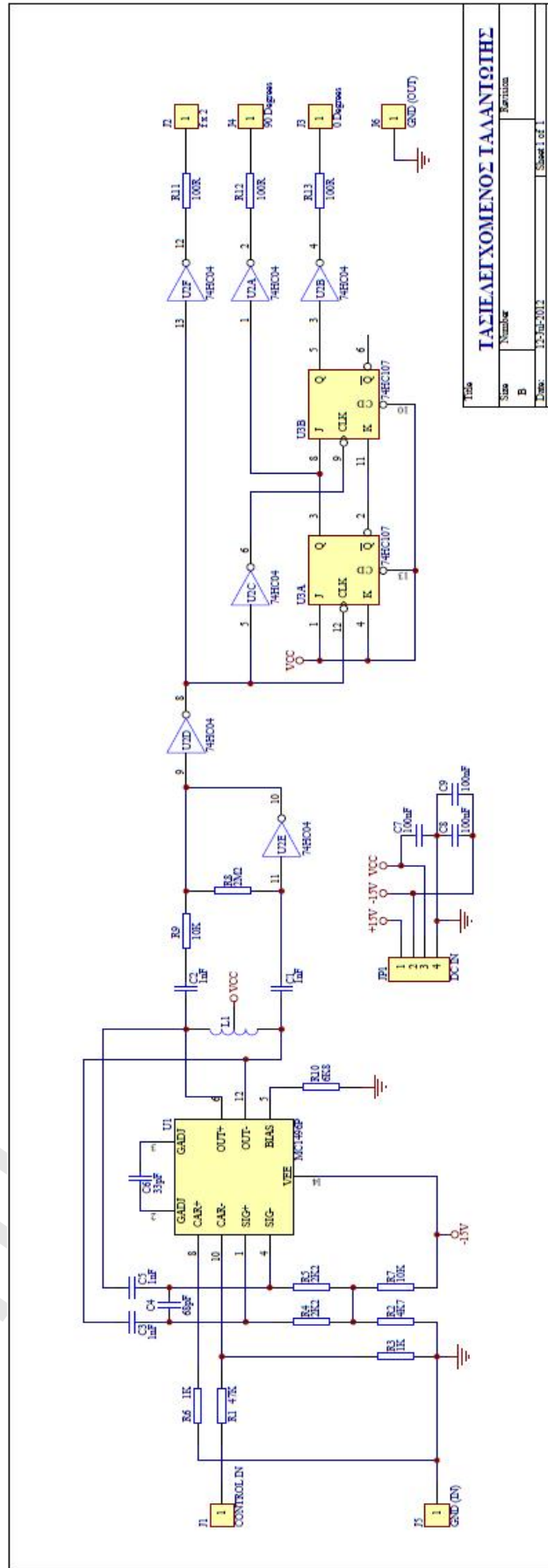
Σχεδιάγραμμα: Πομπός



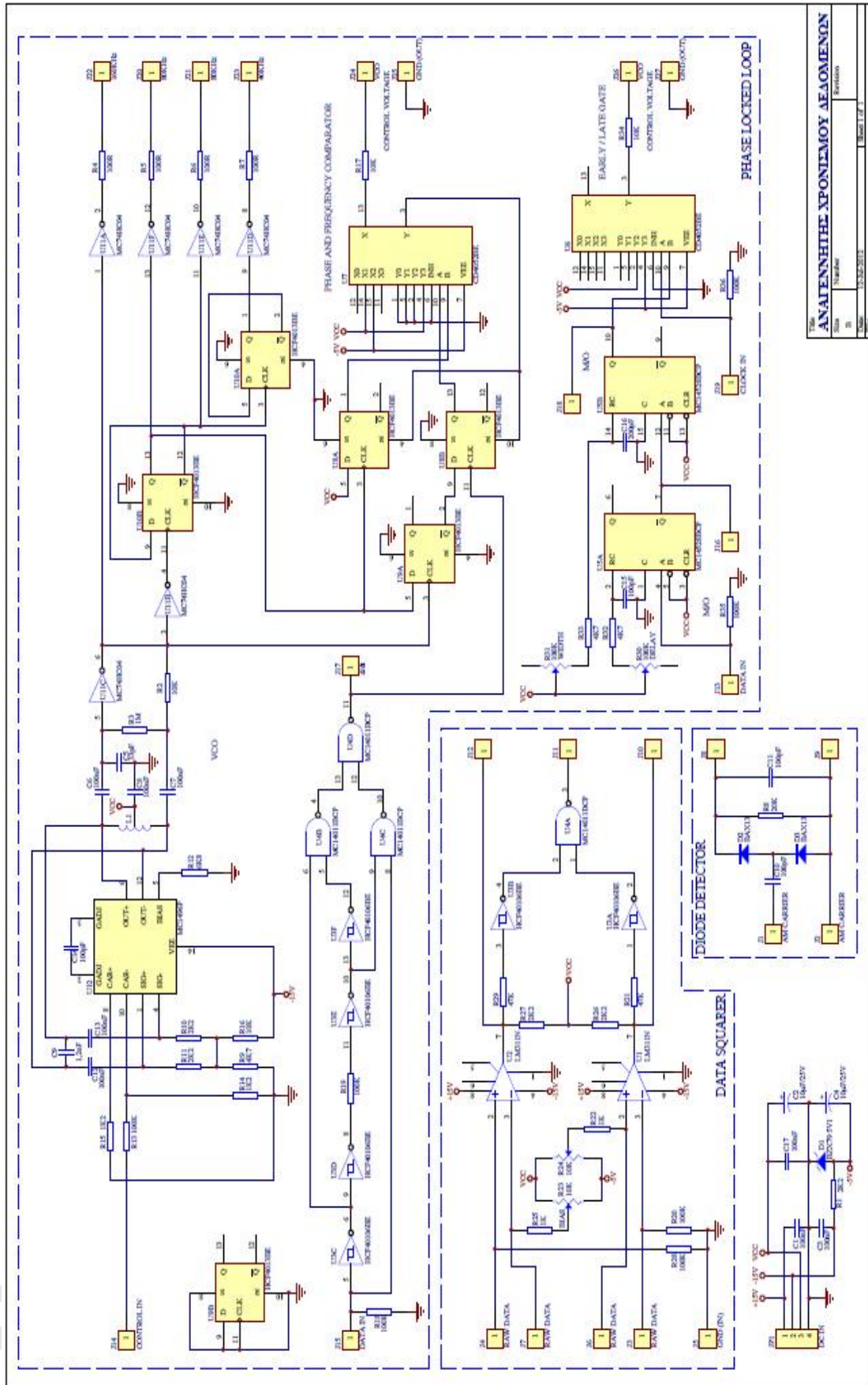




Σχεδιάγραμμα: Ολισθητής Φάσης Φέροντος

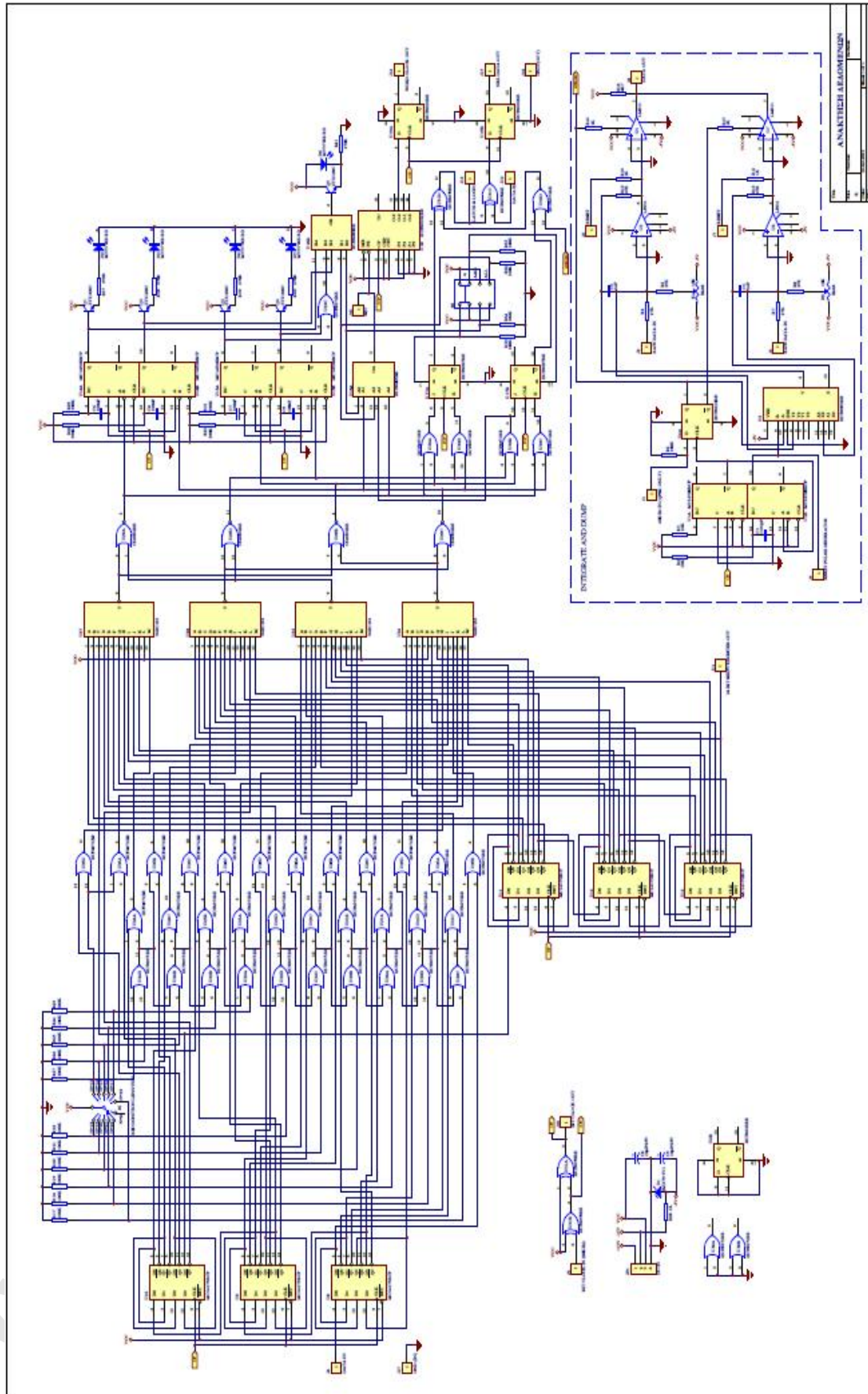


Σχεδιάγραμμα: Τασιελεγχόμενος Ταλαντωτής



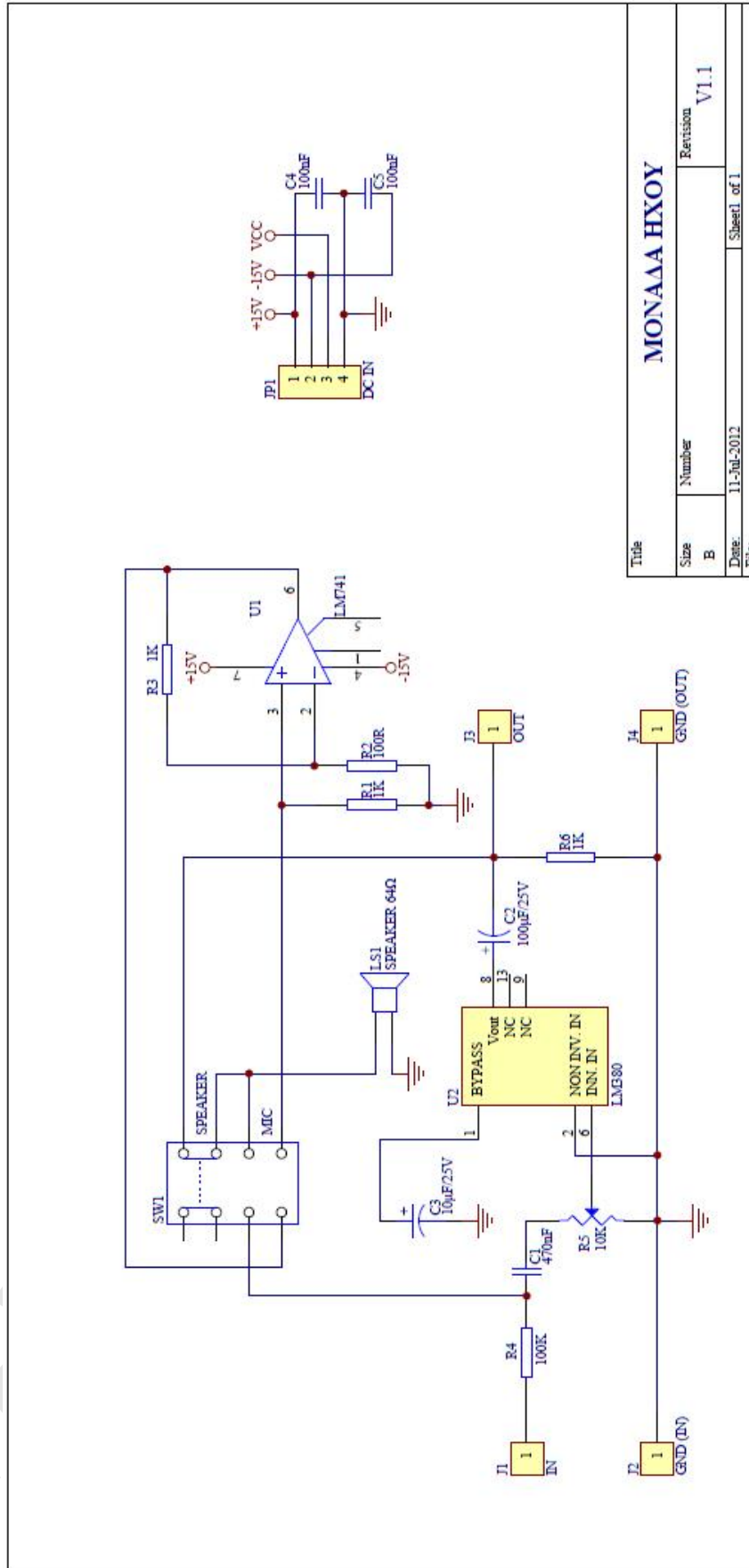
File	ANAGENHTHS XRONISMOSY ΔEΔOMENON
Project	
Version	
Date	13-12-2013
Sheet	1 of 1

Σχεδιάγραμμα: Αναγεννητής Χρονισμού Δεδομένων



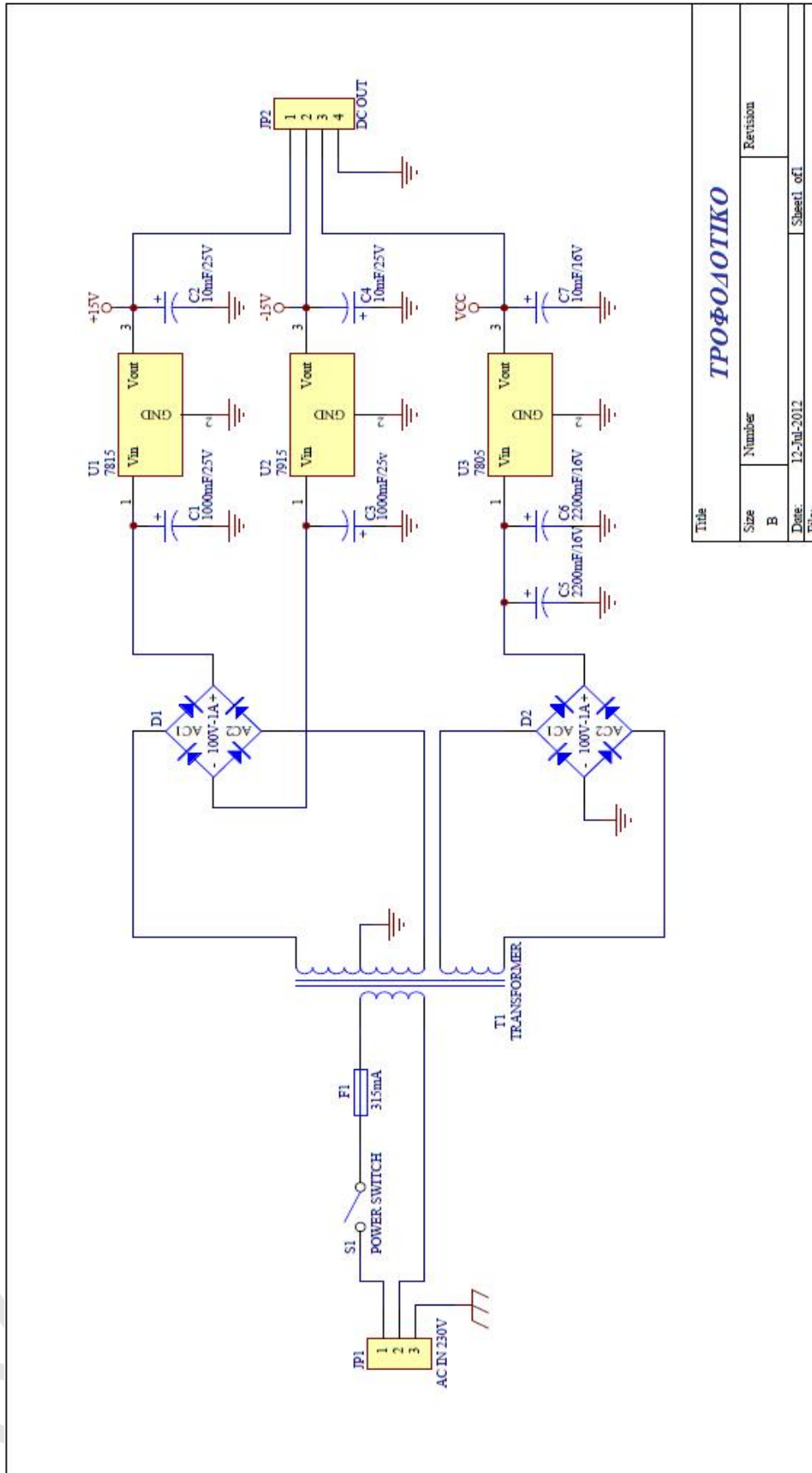
Σχεδιάγραμμα: Ανάκτηση Δεδομένων





Title		MONAAA HXOY	
Size	Number	Revision	V1.1
B			
Date:	11-Jul-2012	Sheet of 1	
File:			

Σχεδιάγραμμα Μονάδα Ήχου

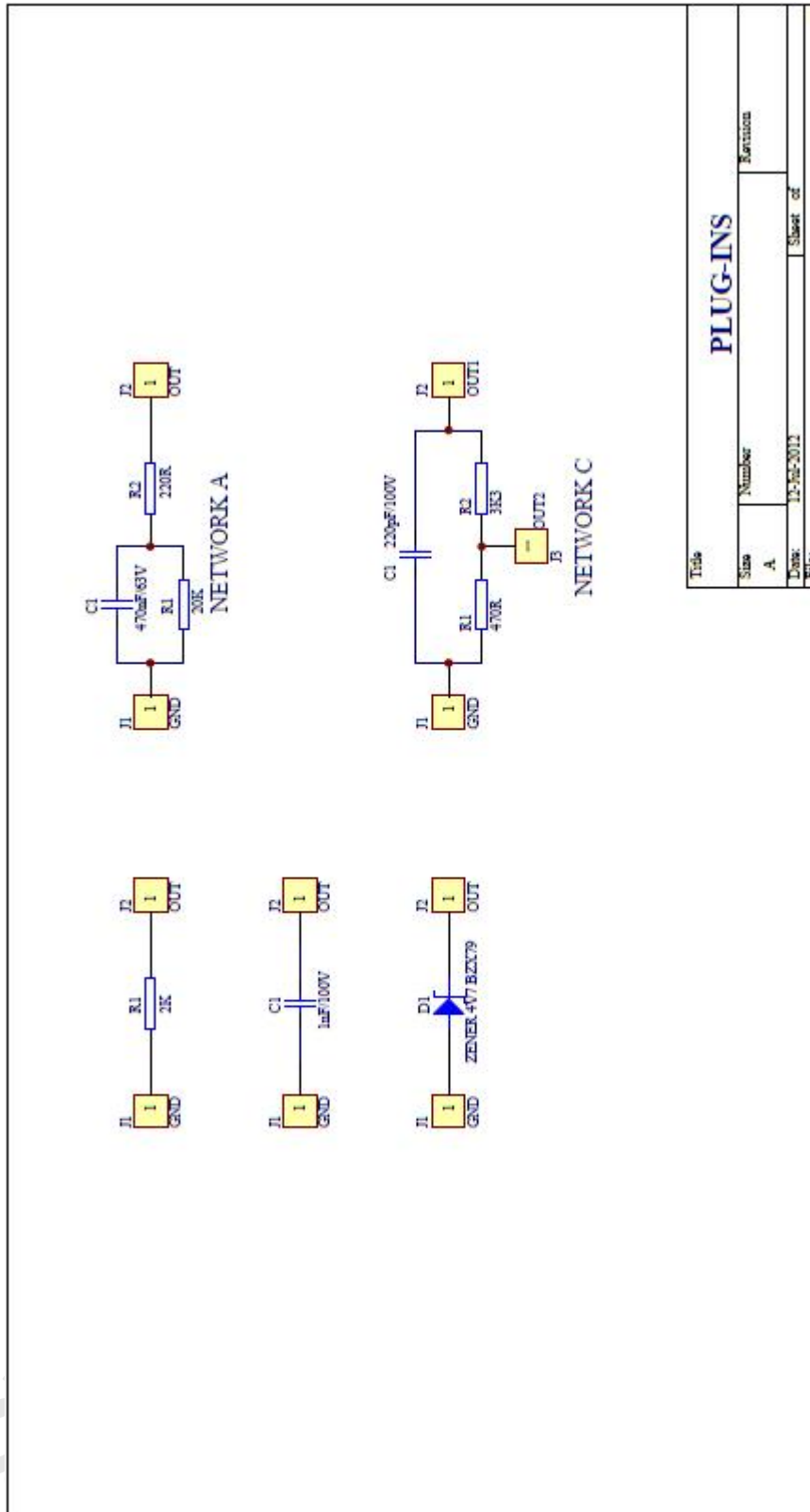


**ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ**

Title		Revision	
Size	Number		
B			
Date:	12-Jul-2012	Sheet	of 1
File:			

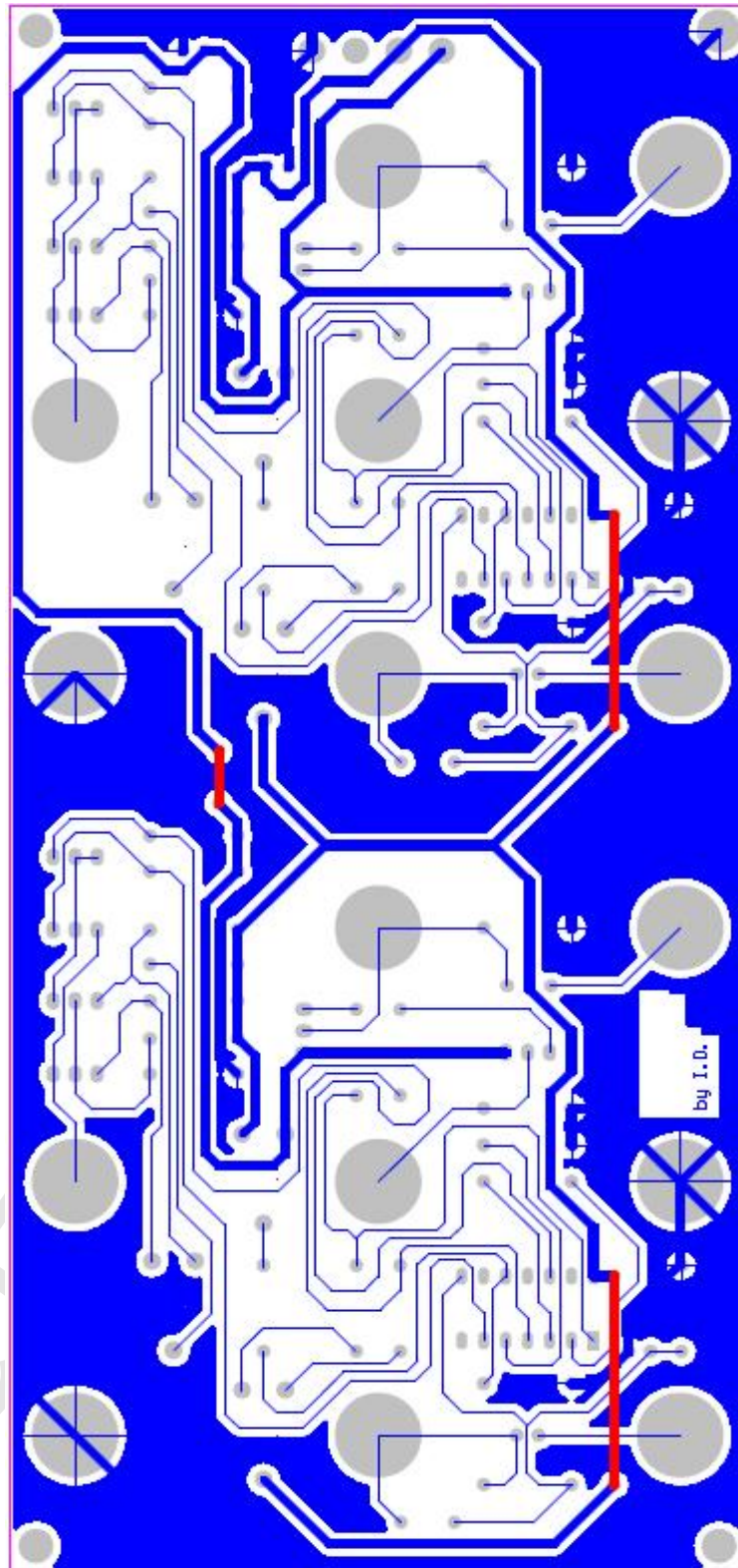
Σχεδιάγραμμα: Τροφοδοτικό



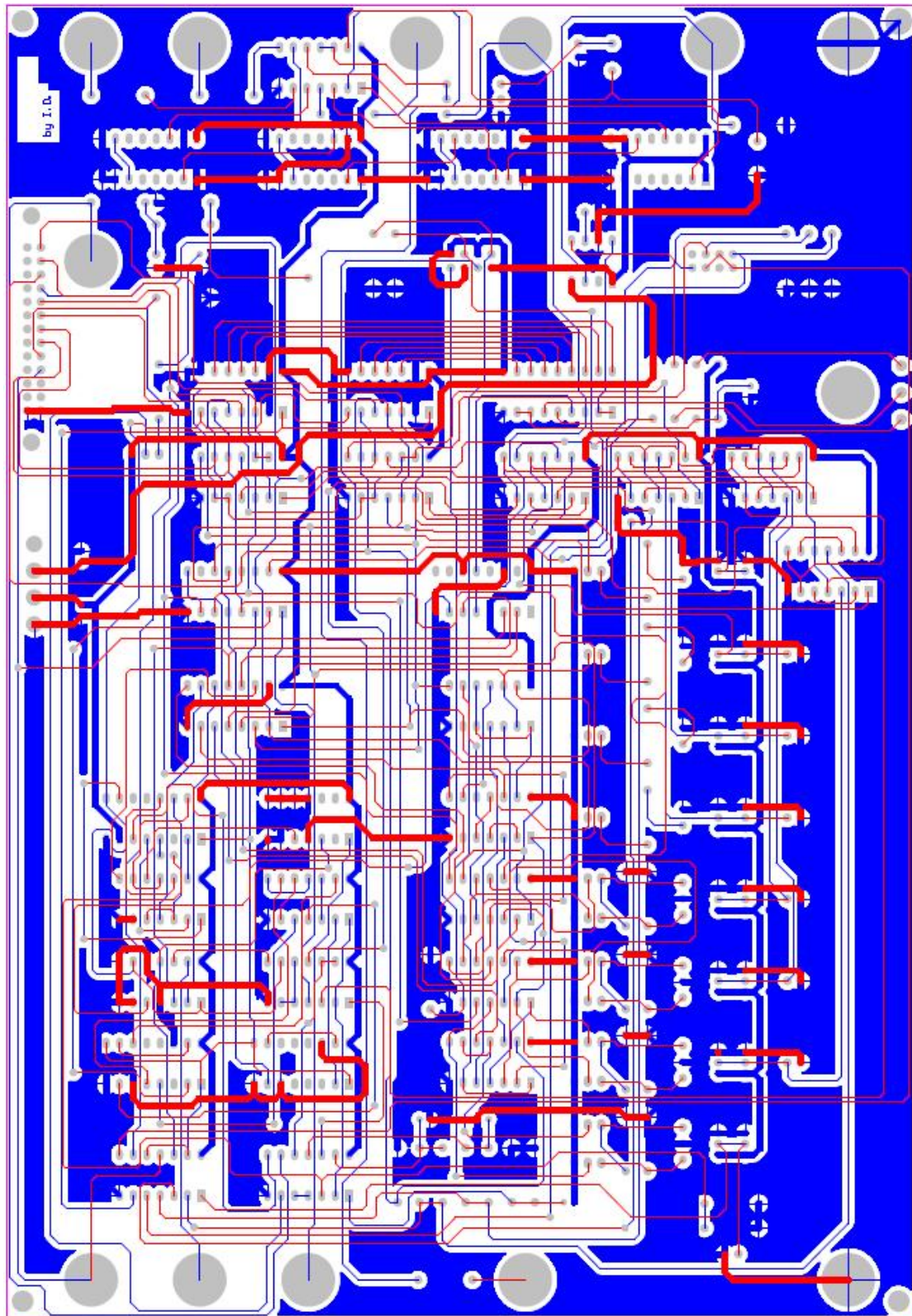


Σχεδιάγραμμα: Plug-ins

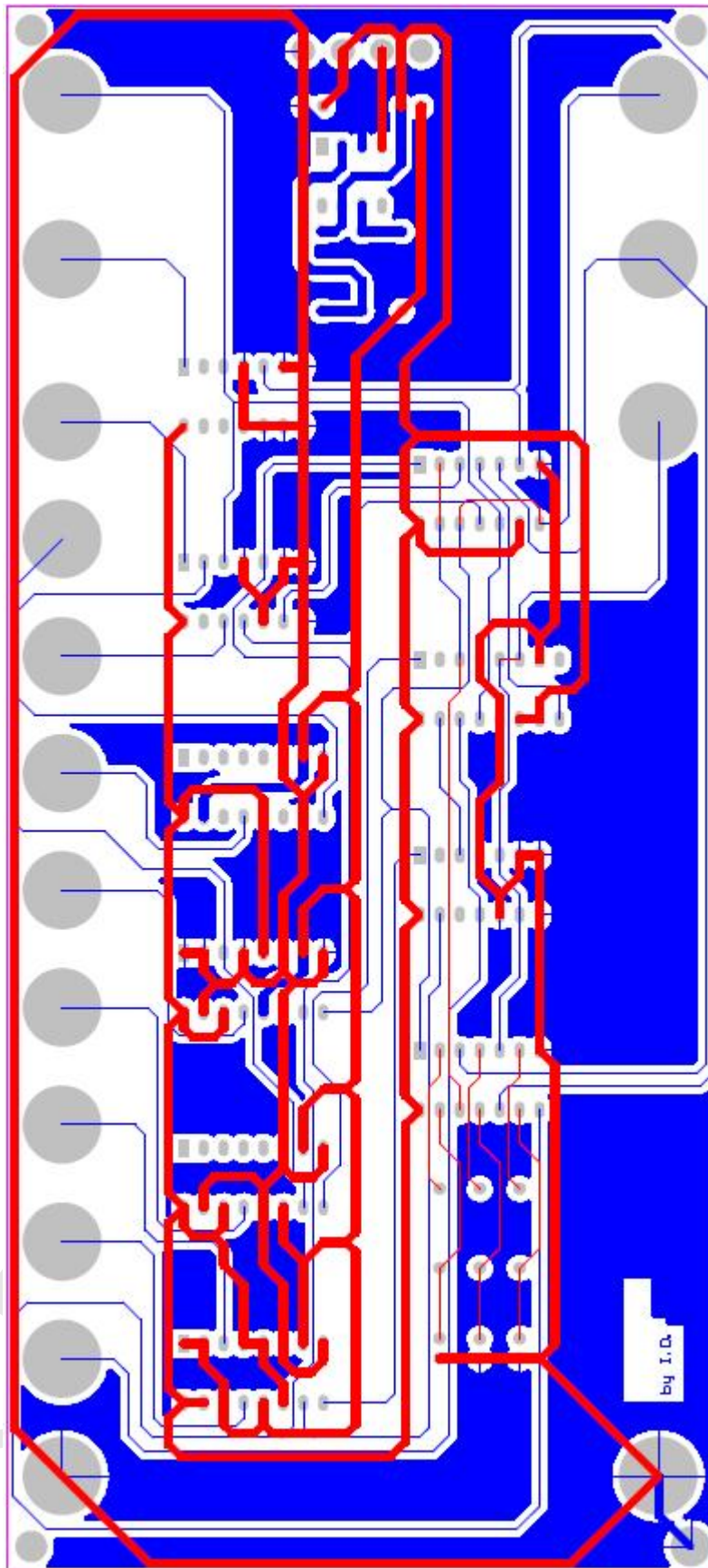
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Τυπωμένα κυκλώματα



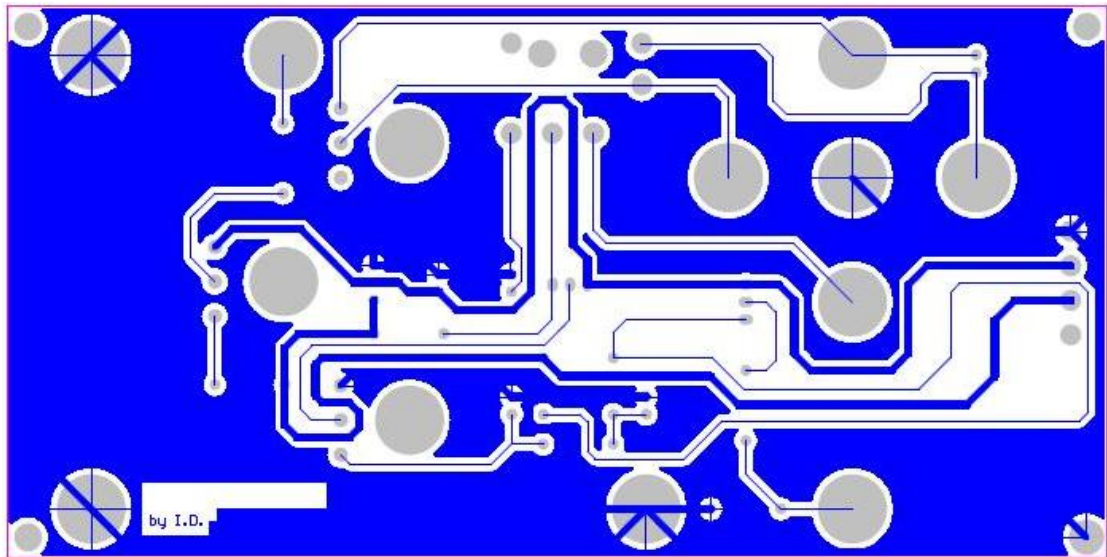
PCB: Διπλός Ισοσταθμισμένος Διαμορφωτής



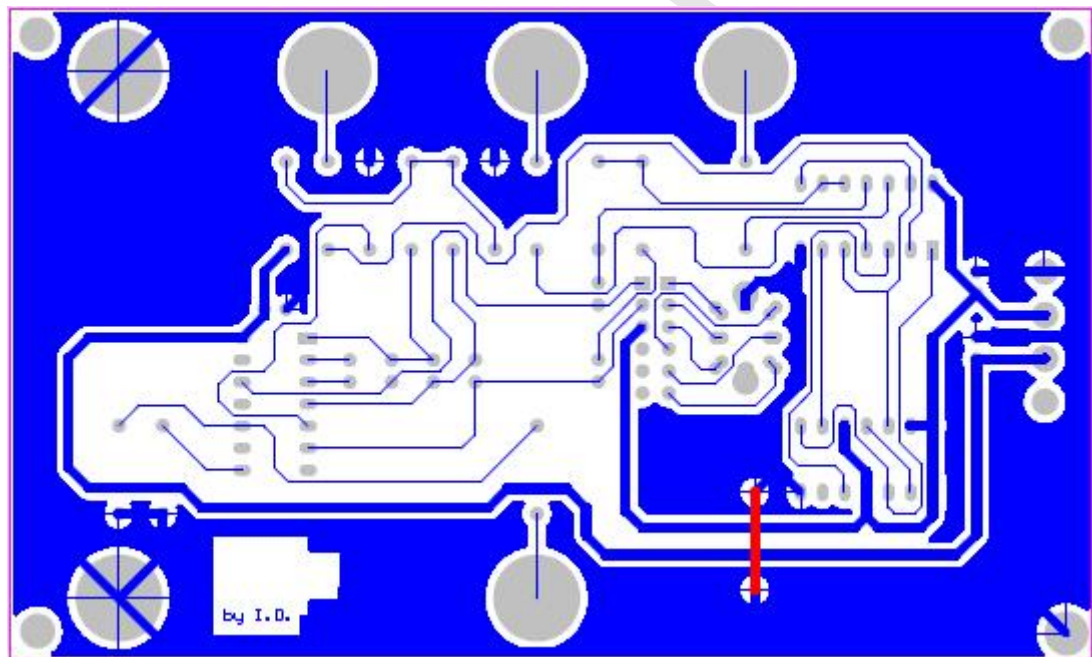
PCB: Πομπός



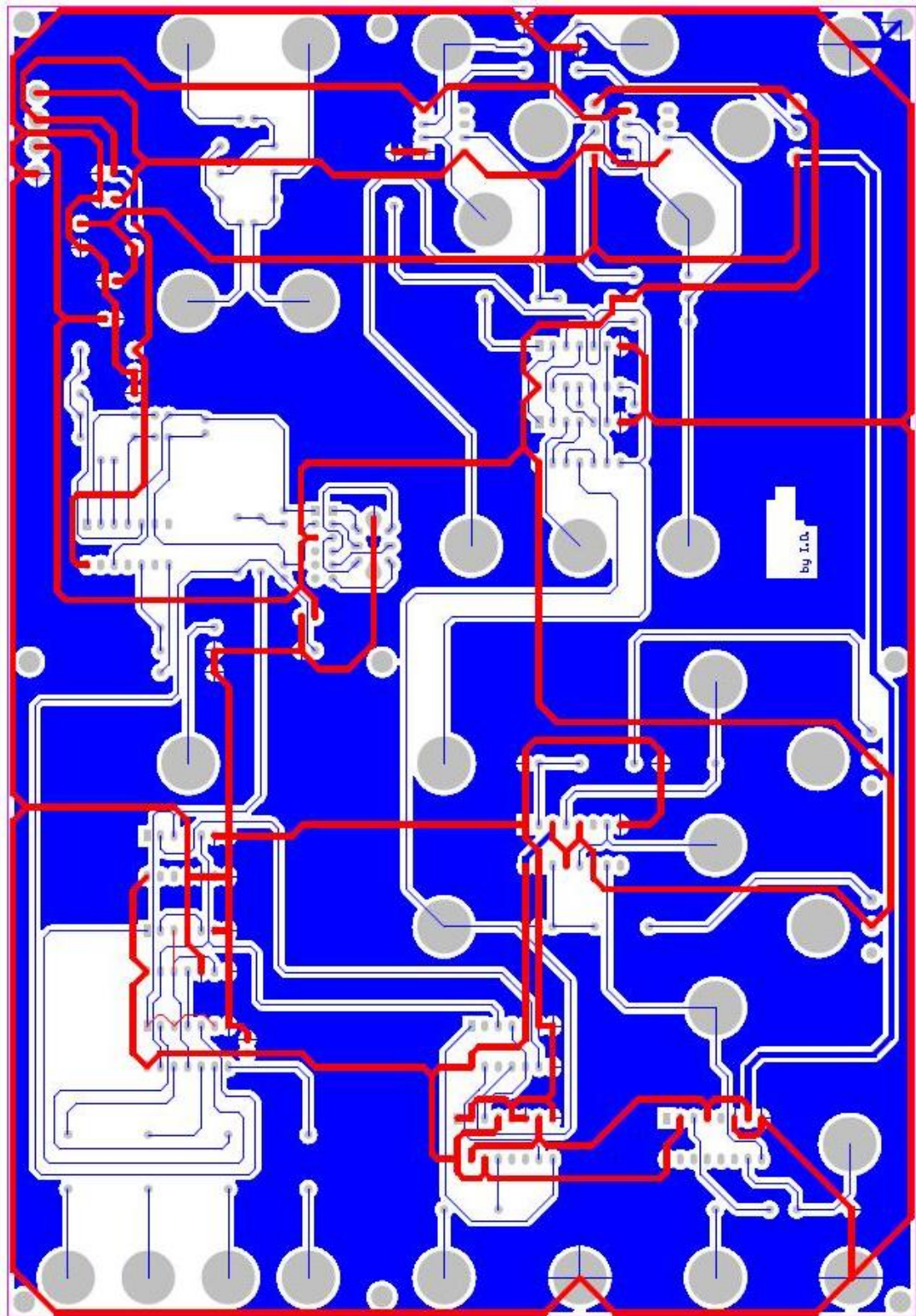
PCB: Μορφή Δεδομένων



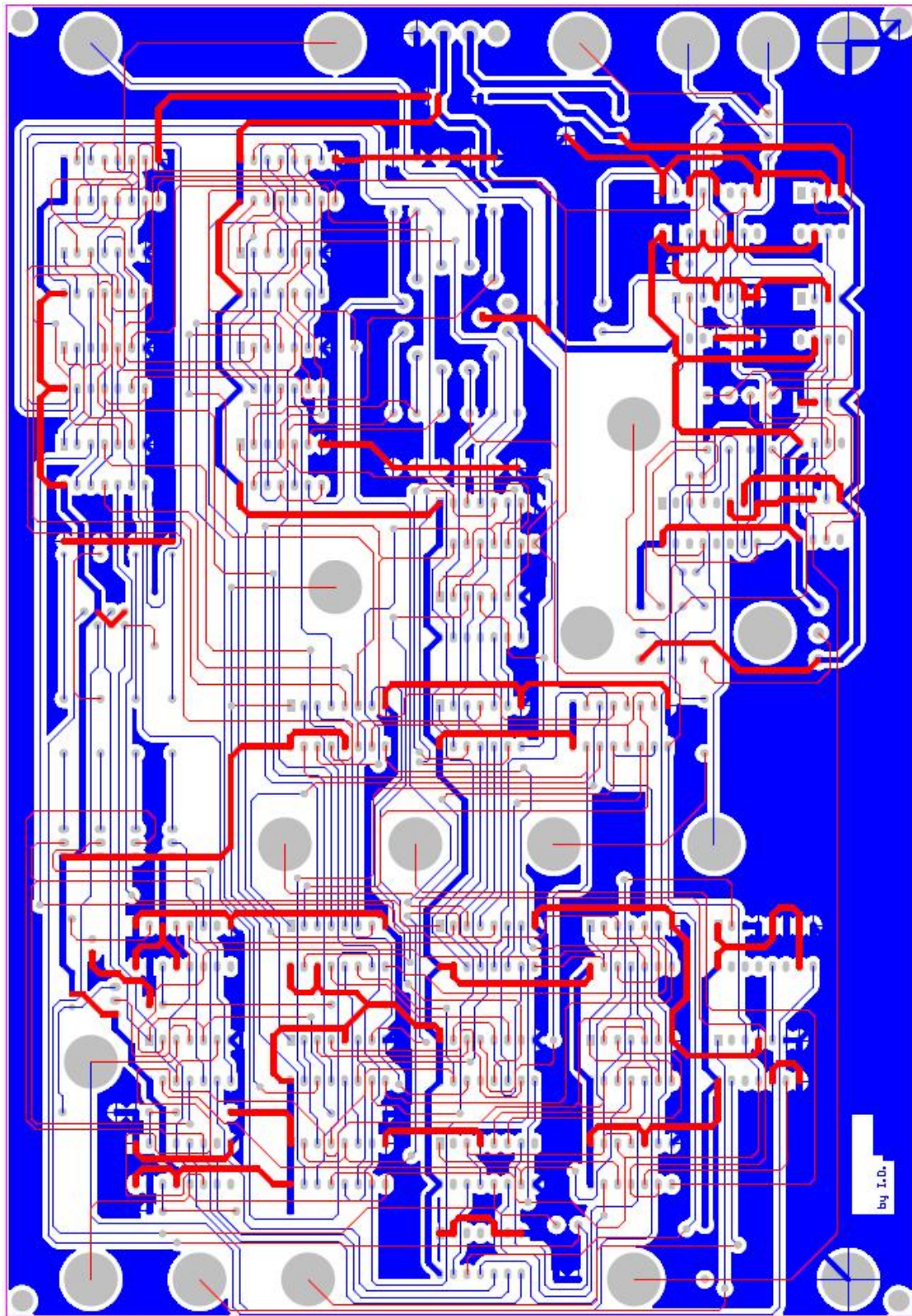
PCB: Ολισθητής Φάσης Φέροντος



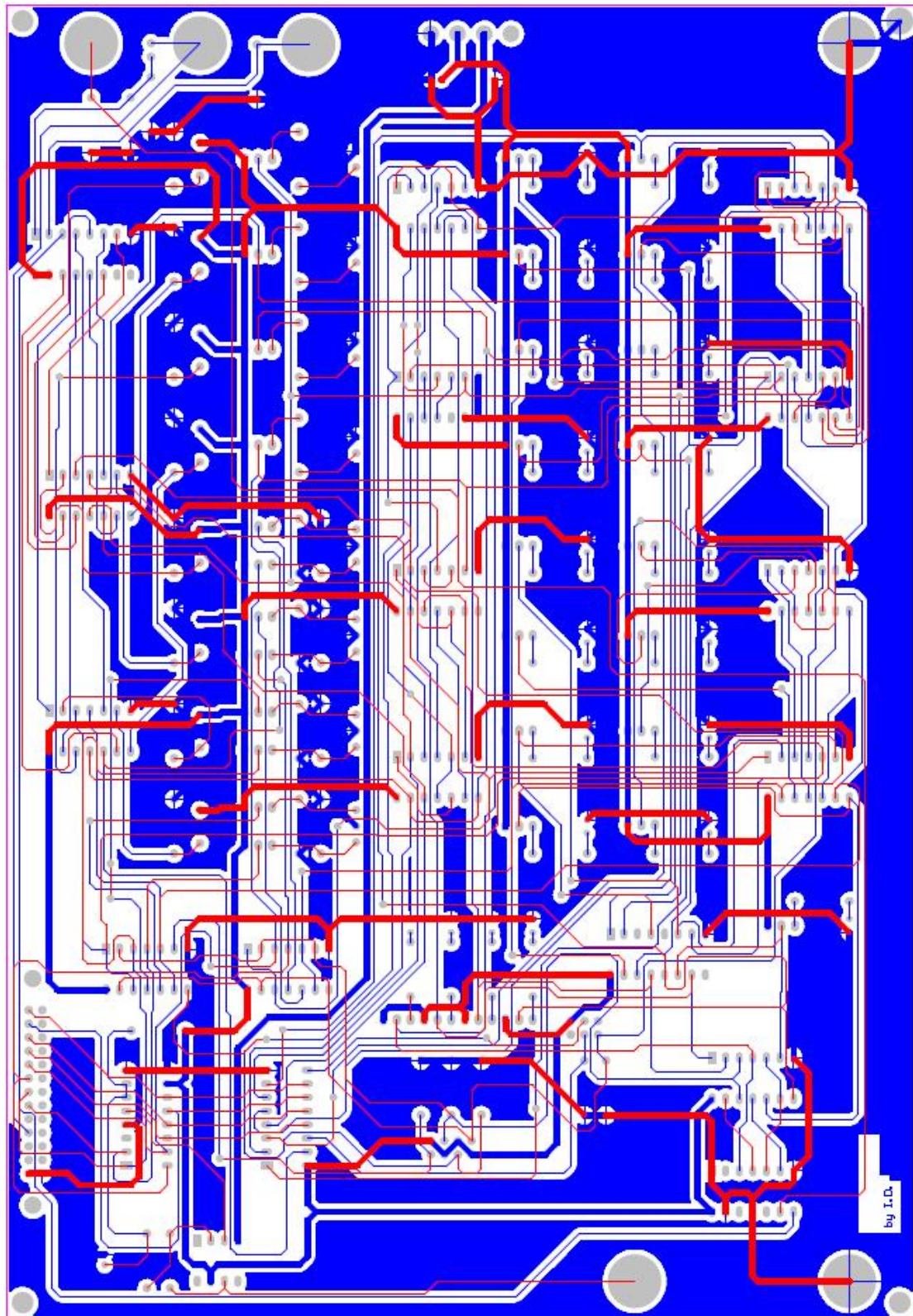
PCB: Τασιελεγχόμενος Ταλαντωτής



PCB: Αναγεννητής Χρονισμού Δεδομένων

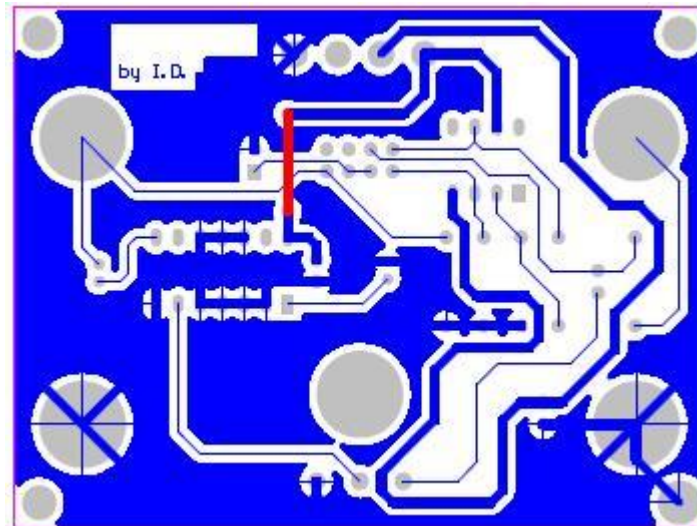


PCB: Ανάκτηση Δεδομένων

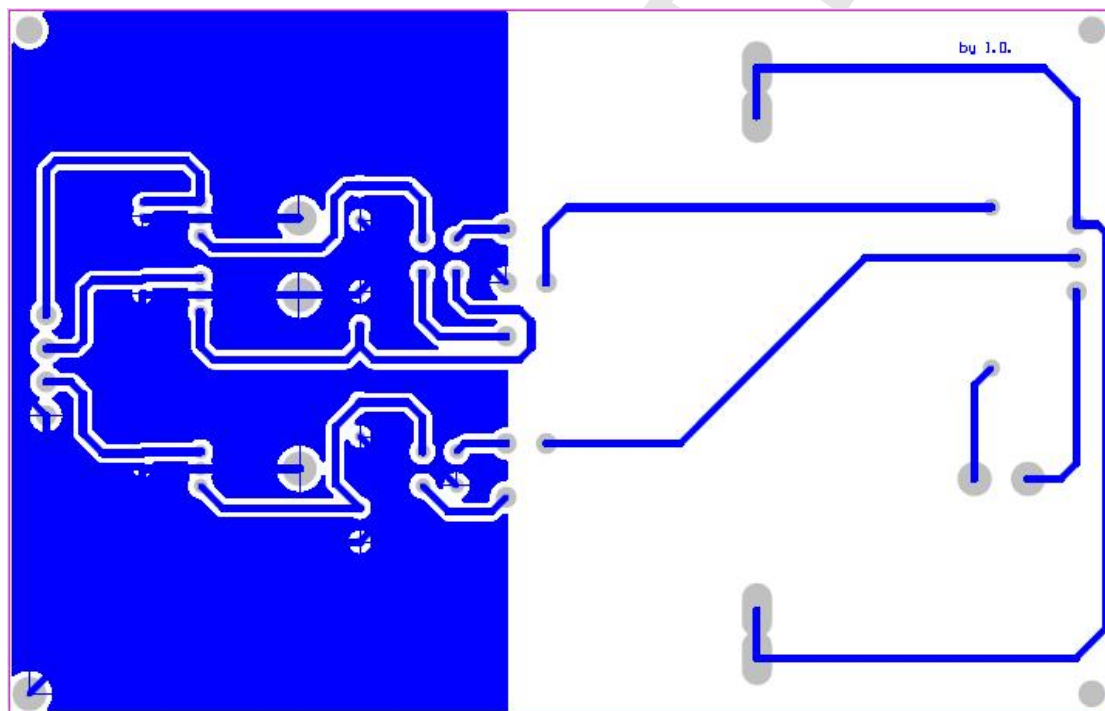


PCB: Δέκτης





PCB: Μονάδα Ήχου



PCB: Τροφοδοτικό