



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

## ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΑΤΑΝΟΩΝΤΑΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ  
ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΥ

UNDERSTANDING THE USAGE OF THE ANALOG  
AND DIGITAL OSCILLOSCOPE



της Πούλιου Κωνσταντίνας  
Α.Μ. 0486

Καθηγητής κ. Φώτης Πλέσσας

Βόλος, Αύγουστος 2018

## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή .....	5
2. Παλμογράφος .....	6
2.1 Ορισμός .....	6
2.2 Ιστορική αναδρομή .....	8
2.3 Χρήση .....	11
2.4 Βασικές κατηγορίες .....	13
2.4.1. Αναλογικός Παλμογράφος .....	13
2.4.2. Ψηφιακός Παλμογράφος .....	15
2.4.2.1 Παλμογράφος Ψηφιακής Αποθήκευσης (DSO) .....	17
2.4.2.2 Ψηφιακός Παλμογράφος Φωσφόρου (DPO) .....	18
3. Λειτουργία παλμογράφου .....	21
3.1 Είδη κυματομορφών .....	21
3.1.1 Ημιτονοειδής κυματομορφή .....	21
3.1.2 Τετράγωνη – Ορθογώνια κυματομορφή .....	22
3.1.3 Τριγωνική – Τετράγωνη κυματομορφή .....	23
3.1.4 Βήμα – Παλμός .....	23
3.1.5 Σύνθετη κυματομορφή .....	24

3.2 Μετρήσεις κυματομορφών .....	25
3.2.1 Συχνότητα και Περίοδος .....	25
3.2.2 Τάση .....	26
3.2.3 Φάση .....	26
3.3 Συστήματα παλμογράφου .....	28
3.3.1 Κατακόρυφο σύστημα .....	28
3.3.1.1 Κατακόρυφος έλεγχος θέσης και ρύθμιση Volt/div .....	28
3.3.1.2 Σύζευξη .....	29
3.3.1.3 Όριο εύρους ζώνης .....	32
3.3.2 Οριζόντιο σύστημα .....	33
3.3.2.1 Οριζόντιος έλεγχος θέσης και ρύθμιση sec/div .....	33
3.3.2.2 Δειγματοληψία .....	34
3.3.2.2.1 Δειγματοληψία σε πραγματικό χρόνο .....	34
3.3.2.2.2 Δειγματοληψία σε ισοδύναμο χρόνο .....	36
3.3.2.3 Επιλογές Βάσης Χρόνου .....	37
3.3.2.3 Μεγέθυνση .....	38
3.3.2.3 Λειτουργία XY .....	38
3.3.3 Σύστημα ενεργοποίησης ή σκανδαλισμού .....	38
3.3.4 Σύστημα απεικόνισης .....	40
3.4 Ανιχνευτές .....	41

3.4.1 Χρήση παθητικών ανιχνευτών .....	42
3.5 Κατανόηση βασικών όρων παλμογράφου .....	47
3.5.1 Εύρος ζώνης .....	47
3.5.2 Χρόνος ανόδου .....	48
3.5.3 Κάθετη ευαισθησία .....	49
3.5.4 Ρυθμός δειγματοληψίας .....	50
3.5.5 Μήκος εγγραφής .....	50
3.5.6 Γείωση .....	50
3.5.7 Μαθηματικές λειτουργίες .....	51
3.5.8 Άξονας Z .....	51
3.5.9 Λειτουργία XYZ .....	52
4. Βιβλιογραφία .....	53

## **1. Εισαγωγή**

Οι ηλεκτρονικοί παλμογράφοι είναι εξοπλισμός μέτρησης που εμφανίζει ηλεκτρικές κυματομορφές σε μια οθόνη όπως μια μικρή τηλεόραση. Η συνηθισμένη χρήση του είναι η παρατήρηση των σχημάτων κύματος ενός σήματος. Υπάρχουν τέσσερα συστήματα σε έναν παλμογράφο: το κατακόρυφο σύστημα, το οριζόντιο, το σύστημα ενεργοποίησης ή σκανδαλισμού και τέλος το σύστημα απεικόνισης. Η έρευνα για τον ηλεκτρονικό παλμογράφο έγινε μέσω βιβλίων, διαδικτύου, περιοδικών κλπ.

Ο Karl Braun ήταν ο εφευρέτης του παλμογράφου το 1897. Οι κυριότεροι παλμογράφοι που χρησιμοποιούνται είναι οι μηχανικοί, οι ιατρικοί, οι τηλεπικοινωνιακοί και οι επιστημονικοί.

Τον Οκτώβριο του 2010, ο κατασκευαστής των παλμογράφων Tektronix Inc ανακάλυψε τη σειρά ψηφιακών παλμογράφων και αναμεταδοτών μικτού σήματος που παράγουν τώρα ταχύτητα δειγματοληψίας 100 GS / s. Αυτό επιτρέπει λιγότερο θόρυβο μαζί με αυξημένα σημεία ανάκτησης δεδομένων της τάξης των 20 GHz.

Υπάρχουν διάφορα είδη παλμογράφων, π.χ. ψηφιακοί, αναλογικοί, διπλής δέσμης, μικτού σήματος κλπ. Αυτό σημαίνει ότι η κύρια έμφαση θα είναι στο σχεδιασμό και στην αρχή λειτουργίας του ψηφιακού πακέτου του παλμογράφου.

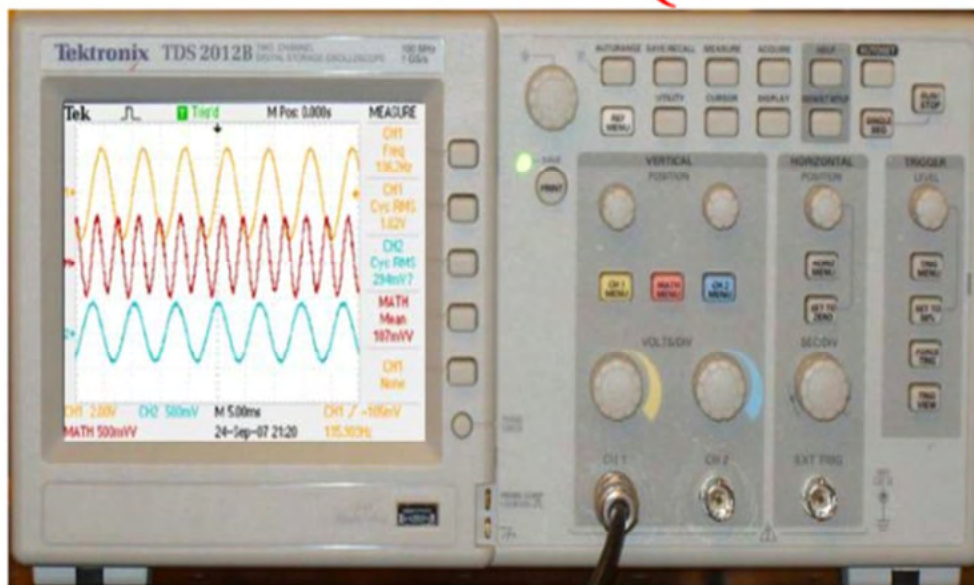
Η έκθεση αυτή θα κάνει πρώτα μια ιστορική αναδρομή για την χρήση του παλμογράφου και παρουσίαση των κατηγοριών του και στη συνέχεια θα περιγράψει τα συστήματα και τις βασικές λειτουργίες του.

## **2. Παλμογράφος**

### **2.1 Ορισμός**

Τι είναι ο παλμογράφος, τι μπορείς να κάνεις με αυτόν και το πως δουλεύει,

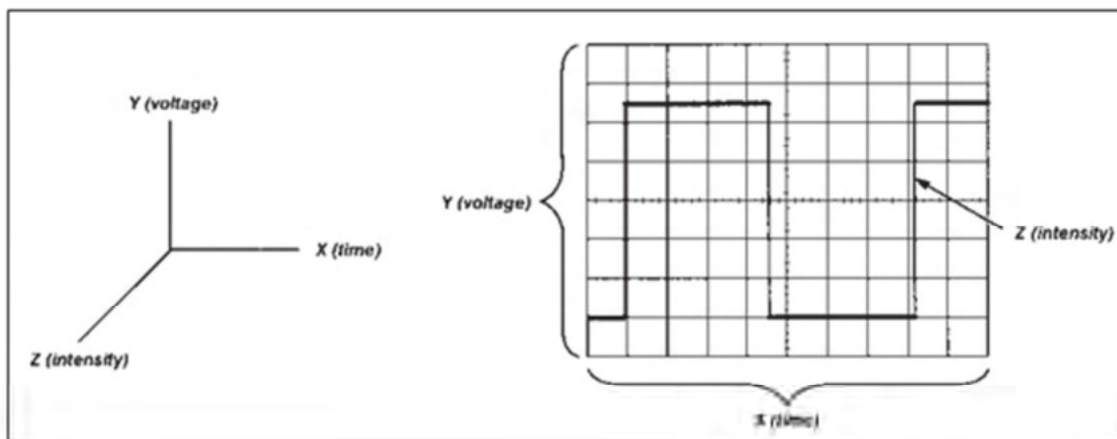
είναι οι ερωτήσεις που θα απαντηθούν σε αυτή την ενότητα.



Εικόνα 1: Απεικόνιση ψηφιακού παλμογράφου Tektronix TDS 2012B

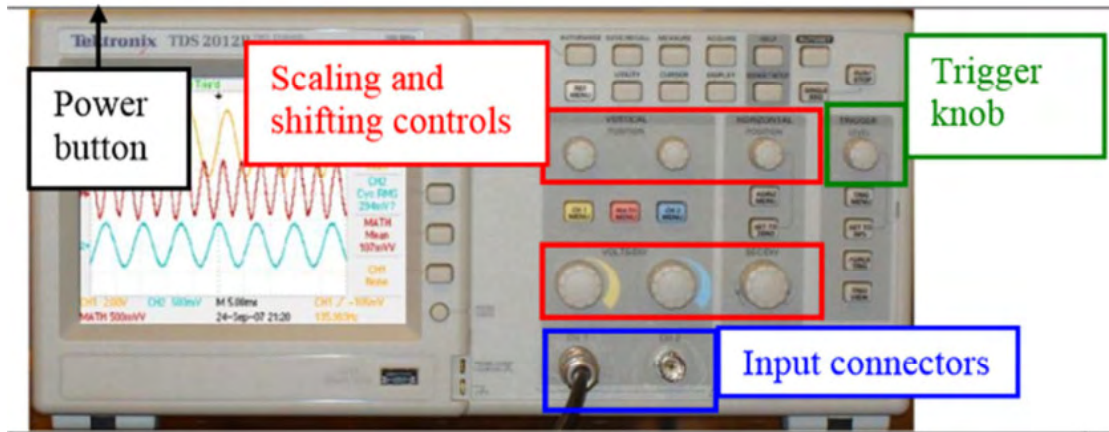
Ο παλμογράφος (Εικόνα 1) είναι βασικά μια συσκευή απεικόνισης γραφημάτων. Στις περισσότερες εφαρμογές, το γράφημα δείχνει πώς μεταβάλλονται τα σήματα με την πάροδο του χρόνου: ο κάθετος (Y) άξονας αντιπροσωπεύει την τάση και ο οριζόντιος άξονας (X) αντιπροσωπεύει το χρόνο. Η ένταση ή η φωτεινότητα της οθόνης ονομάζεται μερικές φορές και άξονας Z. Αυτό το απλό γράφημα μπορεί να δώσει αρκετές πληροφορίες για ένα σήμα. Αρχικά είναι εφικτό να καθοριστούν οι τιμές χρόνου και τάσης ενός σήματος, μπορεί να υπολογιστεί η συχνότητα του ταλαντωμένου σήματος και είναι εφικτή η θέαση των κινούμενων περιοχών του σήματος. Επίσης, είναι ορατή η συχνότητα ενός συγκεκριμένου σήματος σε σχέση με άλλα τμήματα, είναι εύκολος ο εντοπισμός δυσλειτουργικής συνιστώσας που μπορεί να παραμορφώνει το σήμα όπως και κατά πόσο ένα σήμα είναι συνεχούς ρεύματος (DC) ή εναλλασσόμενου ρεύματος (AC).

Τέλος μπορεί να καταγραφεί ο θόρυβος του σήματος και τότε αυτός αλλάζει μέσα στον χρόνο.



Εικόνα 2: Περιγραφή X, Y, Z αξόνων

Η πρόσοψη του παλμογράφου περιλαμβάνει οθόνη και χειριστήρια, κουμπιά, διακόπτες και δείκτες που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ανάκτησης και της απεικόνισης του σήματος. Τα χειριστήρια της μπροστινής όψης διαιρούνται σε χειριστήρια για τον έλεγχο του οριζόντιου άξονα, του κατακόρυφου άξονα και του σκανδαλιστή (trigger). Επίσης, υπάρχουν χειριστήρια που βοηθούν στην καλύτερη απεικόνιση του σήματος καθώς και υποδοχές εισόδου, ο αριθμός των οποίων ποικίλλει ανάλογα με το μοντέλο του παλμογράφου (από δύο έως οχτώ εισοδοί).



Εικόνα 3: Πρόσοψη παλμογράφου Tektronix TDS 2012B

## 2.2 Ιστορική αναδρομή

### 1840-1850

Πολλές μελέτες έγιναν για το καταπληκτικό φαινόμενο εκφόρτισης ηλεκτρισμού από αέρια χαμηλής πίεσης.

Ένας σφραγισμένος γυάλινος σωλήνας που περιέχει ένα αέριο (π.χ. υδρογόνο, ήλιο, άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα) συνδέεται με μια πηγή υψηλής τάσης (π.χ. ένα επαγωγικό πηνίο). Η εκφόρτιση από ένα επαγωγικό πηνίο διέρχεται μεταξύ του αρνητικού ακροδέκτη (της καθόδου) και του θετικού ακροδέκτη (της ανόδου). Το αέριο ανάβει. Οι διαφορετικοί τύποι αερίων ανάβουν δίνοντας διαφορετικά χρώματα (κόκκινο, ροζ, κίτρινο, πορτοκαλί, μοβ).

### 1852-1855

Ο William Crookes ανακάλυψε τις "καθοδικές ακτίνες" όταν εκκενώθηκε το αέριο από ένα σωλήνα εκκένωσης αερίων. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε από τον Crookes ονομάστηκε σωλήνας Crookes, αλλά αργότερα ονομάστηκε σωλήνας καθοδικών ακτίνων.



## **1860-1890**

Οι σωλήνες καθοδικών ακτινών επικαλύφθηκαν με ένα φθορίζον υλικό που ανάβει όταν το ακτινοβολεί η καθοδική ακτίνα. Αυτό καθιστά ευκολότερη την ανίχνευση των καθοδικών ακτινών.

Περαιτέρω πειράματα έδειξαν ότι οι ακτίνες καθόδου θα μπορούσαν να κινούνται σε ευθείες γραμμές και να εκτρέπονται από μαγνητικά πεδία.

Προτάθηκε ότι οι καθοδικές ακτίνες ήταν στην πραγματικότητα φορτισμένα σωματίδια.

## **1895**

Σε αυτό το σημείο υπήρξε μεγάλη αντιπαλότητα μεταξύ Γερμανών και Βρετανών ερευνητών. Όσον αφορά τη φύση της καθοδικής ακτινοβολίας, οι Γερμανοί έτειναν στην εξήγηση ότι οι κάθοδοι ήταν κύμα (όπως το φως), ενώ οι Βρετανοί έτειναν να πιστεύουν ότι η κάθοδος ήταν σωματίδιο. Καθώς τα γεγονότα ξεδιπλώθηκαν τις επόμενες δεκαετίες, και τα δύο αποδείχθηκαν σωστά. Εν τω μεταξύ, ο Karl Braun αναπτύσσει τον πρώτο παλμογράφο με καθοδική ακτινοβολία γνωστό ως "σωλήνας Braun".

## **1900-1920**

Οι πρώτοι παλμογράφοι αναπτύχθηκαν και ήταν γνωστοί ως παλμογράφοι υψηλής τάσης. Χρησιμοποίησαν συσκευές ψυχρής καθόδου. Ελλείψει κατάλληλων ενισχυτών οι κυματομορφές τάσης που επρόκειτο να ερευνηθούν εφαρμόστηκαν απευθείας στον ίδιο τον σωλήνα. Η εμφανιζόμενη "καμπύλη" ήταν εξαιρετικά μικρή. Για να χρησιμοποιηθούν οι καμπύλες, η οθόνη συνήθως φωτογραφιζόταν και στη συνέχεια μεγεθυνόταν.

Η συσκευή ψυχρής καθόδου που αντικαταστάθηκε από καθόδους πυρακτώσεως χαμηλής τάσης, είχε ως αποτέλεσμα μια πολύ φωτεινότερη και πιο εστιασμένη δέσμη

## **1922**

Η Western Electric παράγει τον σωλήνα Johnson. Αυτός ήταν ο πρώτος παλμικός παλμογράφος προβολής.

## **1920-1930**

Διαφορετικές τεχνικές χρησιμοποιούνται για την περαιτέρω βελτίωση της εστίασης του ίχνους του παλμογράφου.

Οι γεννήτριες βάσης χρόνου αναπτύσσονται έτσι ώστε να μπορεί να εμφανιστεί μια συνεχής κυματομορφή.

## **1939-1945**

Δεύτερος Παγκόσμιος Πόλεμος. Πολλοί επιστήμονες και μηχανικοί απασχολούνται από τις δυνάμεις άμυνας (Γερμανικά, Αγγλικά, ΗΠΑ, Αυστραλία, Ιταλία, Ιαπωνία κλπ) κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Οι εργασίες για την ανάπτυξη του RADAR από τους συμμάχους είχαν ως αποτέλεσμα μεγάλη πρόοδο στην τεχνολογία του παλμογράφου, έχοντας ως αποτέλεσμα τη διεύρυνση των κυματομορφών τάσης, πολλαπλές εισόδους και μεγαλύτερο εύρος μέτρησης.

## **1945-1950**

Μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, όταν οι στρατιωτικές τεχνολογίες έγιναν διαθέσιμες στη βιομηχανία, μια αγγλική εταιρεία με το όνομα COSSOR και μια αμερικανική εταιρεία ονομαζόμενη Tektronix κατασκευάζουν μεγάλο αριθμό

παλμογράφων.

Η εισαγωγή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων αλλάζει ριζικά την εσωτερική λειτουργία των παλμογράφων. Ο σωλήνας καθοδικών ακτίνων είναι η μόνη "κληρονομιά" που απομένει στον παλμογράφο.

### **1970**

Χρησιμοποιούνται περισσότεροι παλμογράφοι από οποιοδήποτε άλλο αντικείμενο εξοπλισμού ηλεκτρονικών δοκιμών.

### **1980**

Διαφορετικά χρώματα για την προβολή δεδομένων χρησιμοποιούνται για πρώτη φορά. Η ανάπτυξη ψηφιακής τεχνολογίας επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν ψηφιακές είσοδοι με τους παλμογράφους.

### **1990**

Η σύγχρονη τεχνολογία ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει αναπτυχθεί στο σημείο που οι κυματομορφές τάσης μπορούν να εισάγονται απευθείας στην κάρτα δεδομένων του υπολογιστή.

## **2.3 Χρήση**

Οι παλμογράφοι μπορούν να χρησιμοποιούνται από τους τεχνικούς της τηλεόρασης μέχρι και τους φυσικούς. Είναι απαραίτητοι για όσους σχεδιάζουν ή επισκευάζουν ηλεκτρονικό εξοπλισμό.

Η χρησιμότητα ενός παλμογράφου δεν περιορίζεται στον κόσμο των ηλεκτρονικών.

Με τον κατάλληλο προσαρμογέα, ένας παλμογράφος μπορεί να μετρήσει όλα τα είδη

των φαινομένων. Ένας ανιχνευτής είναι μια συσκευή που δημιουργεί ένα ηλεκτρικό σήμα σε συνάρτηση με φυσικά ερεθίσματα, όπως ο ήχος, η μηχανική καταπόνηση, η πίεση, το φως ή η θερμότητα. Για παράδειγμα, ένα μικρόφωνο είναι ένας μετατροπέας που μετατρέπει τον ήχο σε ένα ηλεκτρικό σήμα. Ένας μηχανικός αυτοκινήτων χρησιμοποιεί έναν παλμογράφο για τη μέτρηση των κραδασμών του κινητήρα. Ένας ιατρικός ερευνητής χρησιμοποιεί έναν παλμογράφο για τη μέτρηση των κυμάτων του εγκεφάλου. Τα παραδείγματα είναι ατελείωτα.

Ο παλμογράφος είναι ένα από τα πιο χρήσιμα ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης ενός εργαστηρίου ηλεκτρονικών, γιατί παρέχει οπτική απεικόνιση των ηλεκτρικών σημάτων που μελετά. Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε πολλούς τομείς της έρευνας και της τεχνολογίας. Η οπτική απεικόνιση ενός ηλεκτρικού σήματος συμβάλει τόσο στην παρατήρηση του σήματος (σχήμα κυματομορφής) όσο και στη μέτρηση ορισμένων χαρακτηριστικών μεγεθών ενός ηλεκτρονικού ή ηλεκτρικού κυκλώματος. Μερικά από τα χαρακτηριστικά αυτά μεγέθη είναι:

- Η περίοδος και η συχνότητα μιας κυματομορφής, δηλαδή ο χρόνος
- Το πλάτος μιας κυματομορφής, δηλαδή η τάση
- Η διαφορά φάσης μεταξύ δύο κυματομορφών

Τα περισσότερα όργανα που μετρούν τάσεις χρησιμοποιούν μηχανικά μέσα, έχουν μεγάλη αδράνεια και δεν μπορούν να παρακολουθήσουν γρήγορες μεταβολές και, για το λόγο αυτό, δε μετρούν στιγμιαίες τιμές τάσης αλλά μέσες ή ενεργές τιμές. Αντίθετα, στον παλμογράφο δεν υπάρχουν μηχανικά κινούμενα μέρη. Το «κινητό» μέρος είναι η δέσμη των ηλεκτρονίων, που έχει αμελητέα «αδράνεια» και γι' αυτό είναι σε θέση να απεικονίζει γρήγορες μεταβολές της τάσης.

Ο παλμογράφος είναι το όργανο με την μεγαλύτερη ακρίβεια για τον έλεγχο ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, καθώς επιτρέπει στον χρήστη να αναγνωρίσει διάφορα σήματα σε διαφορετικά σημεία ενός κυκλώματος. Ο καλύτερος τρόπος για να γίνει αυτό είναι παρακολουθώντας τα σήματα στα σημεία εισόδων αλλά και εξόδων του κάθε μπλοκ από τρανζίστορ και ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (σύστημα). Ο χρήστης ελέγχει το κάθε μπλοκ για την ορθή λειτουργία του και την σωστή διασύνδεση του με τα επόμενα. Με λίγη εξάσκηση εύκολα μπορεί κάποιος να αναγνωρίσει τα προβλήματα που έχει ένα κύκλωμα με μεγάλη ακρίβεια.

Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός μπορεί να χωριστεί σε δύο τύπους: αναλογικό και ψηφιακό. Ο αναλογικός εξοπλισμός λειτουργεί με συνεχώς μεταβαλλόμενες τάσεις, ενώ ο ψηφιακός εξοπλισμός λειτουργεί με διακεκριμένους δυαδικούς αριθμούς που μπορεί να αντιπροσωπεύουν δείγματα τάσης.

## **2.4 Βασικές κατηγορίες**

### **2.4.1. Αναλογικός παλμογράφος**

Όταν συνδέεται ένας παλμογράφος σε ένα κύκλωμα, το σήμα τάσης οδεύει προς το κύκλωμα της κάθετης απεικόνισης του παλμογράφου.

Ανάλογα με τον τρόπο ρύθμισης της κατακόρυφης κλίμακας (έλεγχος volts / div), ένας εξασθενητής μειώνει την τάση σήματος ή ένας ενισχυτής αυξάνει την τάση σήματος.

Στη συνέχεια, το σήμα μεταφέρεται απευθείας στις κατακόρυφες πλάκες εκτροπής του σωλήνα καθοδικών ακτίνων (CRT). Η τάση που εφαρμόζεται σε αυτές τις πλάκες εκτροπής προκαλεί τη μετακίνηση μιας λαμπερής κουκκίδας. (Μια δέσμη ηλεκτρονίων που χτυπά το φωσφόρο μέσα στο CRT δημιουργεί τη λαμπερή κουκκίδα.) Μια θετική τάση αναγκάζει τη δέσμη να κινηθεί προς τα πάνω ενώ μια

αρνητική τάση προκαλεί τη μετακίνηση της κουκκίδας προς τα κάτω.

Το σήμα μεταβαίνει επίσης στο σύστημα σκανδάλης για να ξεκινήσει μια "οριζόντια σάρωση". Η οριζόντια σάρωση είναι ένας όρος που αναφέρεται στη δράση του οριζόντιου συστήματος το οποίο προκαλεί τη μετατόπιση της δέσμης ηλεκτρονίων στην οθόνη. Η ενεργοποίηση του οριζόντιου συστήματος προκαλεί την μετακίνηση της δέσμης ηλεκτρονίων κατά μήκος της οθόνης από τα αριστερά προς τα δεξιά, εντός του χρονικού διαστήματος που έχουμε ορίσει. Πολλές σαρώσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα προκαλούν την κίνηση της δέσμης ηλεκτρονίων να φαίνεται σαν μια συμπαγής γραμμής.

Σε υψηλότερες ταχύτητες, η κουκκίδα μπορεί να σαρώνει την οθόνη μέχρι και 500.000 φορές κάθε δευτερόλεπτο.

Ο συνδυασμός της οριζόντιας και της κατακόρυφης σάρωσης απεικονίζει ένα γράφημα του σήματος στην οθόνη. Ο σκανδαλισμός είναι απαραίτητος για τη σταθεροποίηση ενός χρονικά επαναλαμβανόμενου σήματος. Εξασφαλίζει ότι η σάρωση αρχίζει στο ίδιο σημείο ενός επαναλαμβανόμενου σήματος, καταλήγοντας σε μια σταθερή εικόνα. Συνοπτικά, όταν γίνεται χρήση αναλογικού παλμογράφου (ή οποιουδήποτε άλλου τύπου παλμογράφου), πρέπει να ρυθμίζονται τρεις βασικές ρυθμίσεις για να γίνει εφικτή η απεικόνιση του σήματος εισόδου:

- 1) Η εξασθένιση ή η ενίσχυση του σήματος, με τη χρήση του ρυθμιστή volts/div για να ρυθμιστεί το εύρος του σήματος στην επιθυμητή περιοχή μέτρησης
- 2) Το χρονικό διάστημα της δειγματοληψίας, με τη χρήση του ρυθμιστή sec / div για να οριστεί το χρονικό διάστημα ανά διαίρεση που απεικονίζεται στην οθόνη
- 3) Η προσαρμογή του επιπέδου σκανδαλισμού, με την οποία επιτυγχάνεται η

σταθεροποίηση του εισερχομένου σήματος.

Επιπλέον, τα αναλογικά πεδία έχουν ρυθμιστές εστίασης και έντασης που μπορούν να ρυθμιστούν για να δημιουργήσουν μια ευκρινή, ευανάγνωστη οθόνη.

Οι άνθρωποι συχνά προτιμούν τους αναλογικούς παλμογράφους όταν είναι σημαντικό να εμφανίζονται γρήγορα μεταβαλλόμενα σήματα σε "πραγματικό χρόνο" (όπως συμβαίνουν).

#### **2.4.2. Ψηφιακός Παλμογράφος**

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και της αυξημένης ισχύς των σύγχρονων επεξεργαστών, οι ψηφιακοί παλμογράφοι τείνουν να αντικαταστήσουν όλους τους τύπους των αναλογικών παλμογράφων λόγω της ικανότητάς τους να μετρούν σε πραγματικό χρόνο χαρακτηριστικά όπως η μέση τιμή τάσης, η ενεργός τιμή τάσης, ο χρόνος ανόδου και καθόδου, κ.α.. Ο ψηφιακός παλμογράφος διαθέτει προηγμένα χαρακτηριστικά αποθήκευσης, ενεργοποίησης και μέτρησης. Επίσης, εμφανίζει το σήμα οπτικά και αριθμητικά.

Ένας ψηφιακός παλμογράφος στηρίζεται στην αρχή της δειγματοληψίας, δηλαδή παίρνει δείγματα (samples) από τη μετρούμενη τάση ανά σταθερά χρονικά διαστήματα και τα διοχετεύει σε ένα μετατροπέα αναλογικό σε ψηφιακό σήμα (ADC). Ο μετατροπέας ADC, μετατρέπει τα δείγματα τάσεων σε ψηφιακές πληροφορίες. Αυτές οι ψηφιακές πληροφορίες χρησιμοποιούνται έπειτα για να ξαναδημιουργηθεί η κυματομορφή του μετρούμενου σήματος στην οθόνη.

Η δειγματοληψία είναι η απαραίτητη διαδικασία για την μετατροπή ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Το θεώρημα Nyquist καθορίζει το πόσο γρήγορα πρέπει να λαμβάνονται τα δείγματα ώστε να είναι ακριβής η αναπαράσταση του αναλογικού σήματος. Το θεώρημα αυτό είναι αρκετά απλό και εκφράζει ότι η συχνότητα

δειγματοληψίας πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση του διπλάσιου της μέγιστης συχνότητας του αρχικού αναλογικού σήματος. Αυτός ο περιορισμός είναι βασικός για τη δειγματοληψία γιατί αλλιώς παρατηρείται ένα φαινόμενο γνωστό ως aliasing. Η συχνότητα του μετρούμενου σήματος δεν πρέπει να υπερβαίνει την μέγιστη συχνότητα που μπορεί να μετρήσει ο παλμογράφος μας. Αν αυτό συμβεί, λόγω του aliasing, η απεικονιζόμενη κυματομορφή δεν θα αντιστοιχεί στην πραγματική.

Για την αναδημιουργία της κυματομορφής και την απεικόνιση του τελικού κύματος, οι παλμογράφοι χρησιμοποιούν την τεχνική της παρεμβολής (interpolation). Η παρεμβολή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναπαραγωγή της κυματομορφής ακριβώς όπως εμφανίστηκε στο βύσμα εισόδου του παλμογράφου, αφαιρώντας κάθε αμφιβολία για τη συμπεριφορά ενός σήματος μεταξύ δειγμάτων.

Τα πλεονεκτήματα του ψηφιακού παλμογράφου είναι πολλά καθώς δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να επεξεργάζεται και να αποθηκεύει το προβαλλόμενο σήμα, να πραγματοποιεί αυτόματες μετρήσεις και προσαρμογές, να πετυχαίνει καλύτερη απομόνωση του επιθυμητού σήματος και χαμηλότερα επίπεδα θορύβου καθώς και να πραγματοποιεί μαθηματικούς μετασχηματισμούς.

Το μόνο μειονέκτημα του ψηφιακού παλμογράφου είναι ότι δεν δέχεται τα δεδομένα κατά τη διάρκεια της ψηφιοποίησης, οπότε έχει ένα «τυφλό» σημείο.

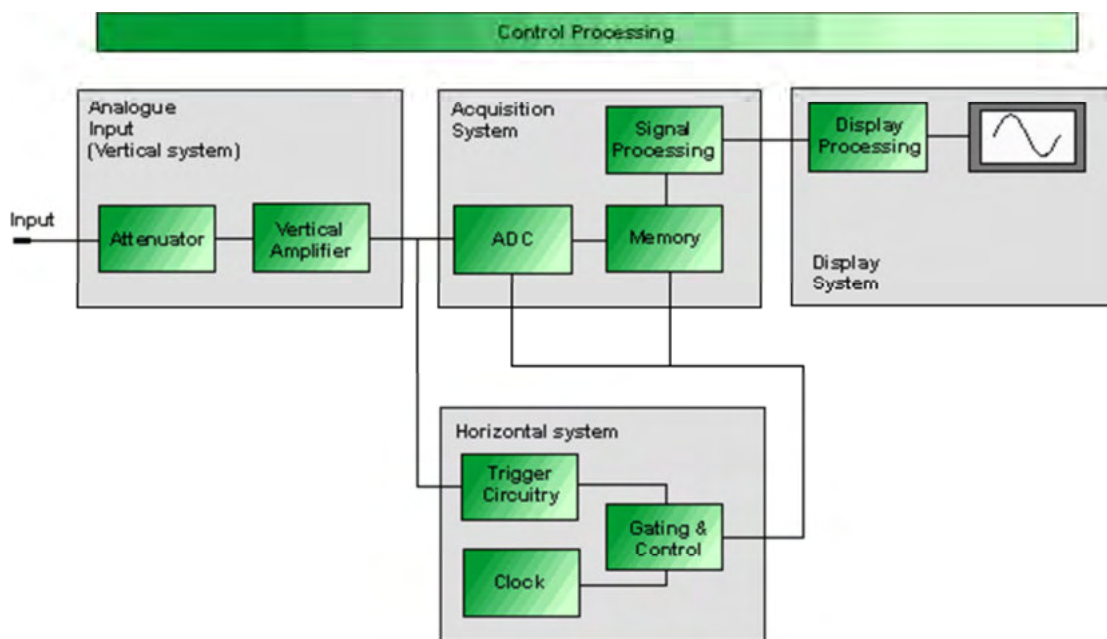
Οι ψηφιακοί παλμογράφοι σε σχέση με την αρχή λειτουργίας τους διακρίνονται στις δύο παρακάτω κατηγορίες:

- ❖ Παλμογράφοι ψηφιακής αποθήκευσης (Digital Storage Oscilloscope)
- ❖ Παλμογράφοι ψηφιακού φωσφόρου (Digital Phosphor Oscilloscope)



### 2.4.2.1 Παλμογράφος ψηφιακής αποθήκευσης

Ένας παλμογράφος ψηφιακής αποθήκευσης (Digital Storage Oscilloscope - DSO), μέσω της διαδικασίας ψηφιοποίησης αποθηκεύει σε μνήμη τα ψηφιακά δεδομένα και σε μετέπειτα χρόνο τα απεικονίζει στην οθόνη. Η δομή ενός παλμογράφου ψηφιακής αποθήκευσης απεικονίζεται στο λειτουργικό διάγραμμα του παρακάτω σχήματος.



Εικόνα 4: Λειτουργικό διάγραμμα DSO παλμογράφου

Το σήμα στην είσοδο του παλμογράφου εισέρχεται σε μονάδα εξασθένησης όπως και στην περίπτωση του αναλογικού παλμογράφου. Στη συνέχεια, μέσω διάταξης χαμηλοπερατού φίλτρου εισέρχεται σε οδηγό ενισχυτή, το κέρδος του οποίου ελέγχεται από τον επεξεργαστή του παλμογράφου. Κύριο στοιχείο του οργάνου αποτελούν οι μονάδες του αναλογικού σε ψηφιακό μετατροπέα στους οποίους ο ρυθμός μετατροπής ελέγχεται από μονάδα ρολογιού η οποία μπορεί να συντονιστεί και από εξωτερική πηγή. Χαρακτηριστικό μέγεθος των μετατροπέων είναι ο αριθμός των δειγμάτων που μπορούν να συλλεξούν ανά δευτερόλεπτο (Samples / sec).

Ορισμένοι ψηφιακοί παλμογράφοι χρησιμοποιούν αναλογικό σε ψηφιακό μετατροπέα με ανάλυση 12 bits έχοντας τη δυνατότητα να πραγματοποιούν μετρήσεις με ακρίβεια 0,1% σε σύγκριση με τους αναλογικούς παλμογράφους οι οποίοι φέρουν ακρίβεια μικρότερη από 2%. Η συχνότητα δειγματοληψίας των αναλογικών σε ψηφιακών μετατροπέων σε ένα ψηφιακό παλμογράφο καθορίζει και την ακρίβεια παραγωγής του μετρήσιμου σήματος στην οθόνη του παλμογράφου. Καθώς η συχνότητα δειγματοληψίας αυξάνεται τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια φέρει η αναπαράσταση του σήματος στην οθόνη του παλμογράφου. Στη συνέχεια, η μονάδα επεξεργασίας αποθηκεύει προσωρινά στη μνήμη τα ψηφιακά δεδομένα τα οποία καλούνται για την απεικόνισή τους. Το μέγεθος της μνήμης ορίζει το μέγιστο χρόνο του σήματος που μπορεί να αποθηκευτεί ο οποίος μεταβάλλεται σε σχέση με τον αριθμό των καναλιών που χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα για τη μέτρηση περισσότερων του ενός σήματος. Ένα από τα γνωρίσματα που καθιστούν τους παλμογράφους ψηφιακής αποθήκευσης στην κορυφή, είναι η δυνατότητα αποθήκευσης των μετρήσιμων σημάτων είτε για μελλοντική απεικόνιση είτε για την πραγματοποίηση μεγάλης ταχύτητας δειγματοληψίας στην οποία τα συλλεγόμενα δείγματα αποθηκεύονται προσωρινά μέχρι να επεξεργαστούν και να απεικονιστούν στην οθόνη. Για τον λόγο αυτό μπορεί ο ψηφιακός παλμογράφος να φέρει στη δομή του και μονάδα σκληρού δίσκου.

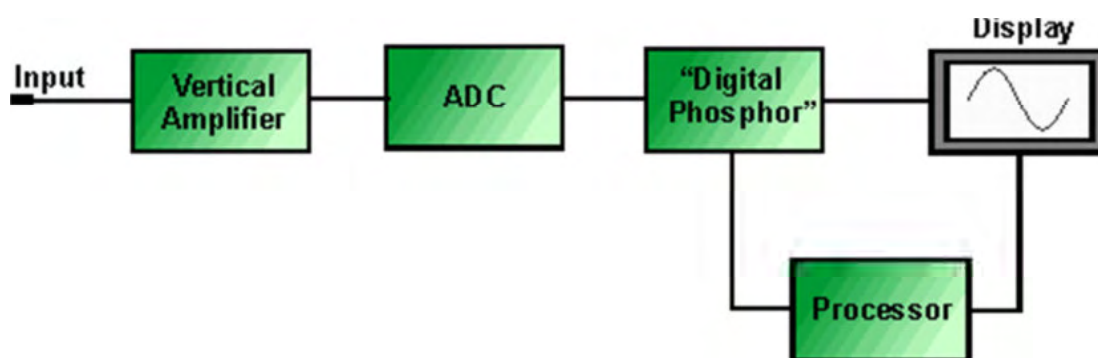
#### **2.4.2.2 Ψηφιακός Παλμογράφος Φωσφόρου (DPO).**

Κανείς θα μπορούσε να πει ότι ο Ψηφιακός Παλμογράφος Φωσφόρου είναι ένας συνδυασμός του αναλογικού και του ψηφιακού παλμογράφου, καθώς μιμείται πιστά τα καλύτερα χαρακτηριστικά απεικόνισης του αναλογικού εύρους και παρέχει τα πλεονεκτήματα της ψηφιακής απόκτησης και επεξεργασίας.

Χρησιμοποιώντας τεχνικές παράλληλης επεξεργασίας και έναν ειδικό επεξεργαστή, ο DPO είναι σε θέση να καταγράψει με μεγαλύτερη ευκολία τα μεταβατικά γεγονότα που συμβαίνουν σε ψηφιακά συστήματα και τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν αναληθείς παλμούς, δυσλειτουργίες και σφάλματα μετάβασης. Επίσης, εξομοιώνει τις ιδιότητες απεικόνισης ενός αναλογικού παλμογράφου, εμφανίζοντας το σήμα σε τρεις διαστάσεις: το χρόνο, το εύρος και την κατανομή του πλάτους με την πάροδο του χρόνου, όλα σε πραγματικό χρόνο.

Όσον αφορά την αρχιτεκτονική ενός ψηφιακού παλμογράφου φωσφόρου, το σήμα εισέρχεται πρώτα σε έναν αναλογικό κάθετο ενισχυτή. Αυτό τροφοδοτείται σε έναν αναλογικό σε ψηφιακό μετατροπέα με τρόπο παρόμοιο με ένα παλμογράφο ψηφιακής αποθήκευσης. Ωστόσο, από εδώ και στο εξής, η αρχιτεκτονική ενός DPO διαφέρει από την αρχιτεκτονική ενός DSO.

Στην παρακάτω εικόνα αποτυπώνεται το Block διάγραμμα ενός ψηφιακού παλμογράφου Φωσφόρου (DPO), το οποίο δείχνει πώς συλλέγει την κατακόρυφη κυματομορφή και πώς συλλέγονται και απεικονίζονται τα δείγματα.



Εικόνα 5: Λειτουργικό διάγραμμα ενός DPO παλμογράφου

Για οποιονδήποτε παλμογράφο υπάρχει κάποια χρονική καθυστέρηση μεταξύ του τέλους μιας σάρωσης και της στιγμής που η σκανδάλη είναι έτοιμη να ξεκινήσει την

επόμενη. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου ο παλμογράφος δεν βλέπει καμία δραστηριότητα που μπορεί να εμφανιστεί στη γραμμή σήματος. Για έναν παλμογράφο DSO αυτό το χρονικό διάστημα μπορεί να είναι σχετικά μακρύ, επειδή το πεδίο επεξεργάζεται τις πληροφορίες σειριακά και αυτό μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο. Ωστόσο, ο DPO χρησιμοποιεί έναν ξεχωριστό παράλληλο επεξεργαστή και αυτό του επιτρέπει να συλλάβει και να αποθηκεύει κυματομορφές παρά το γεγονός ότι η οθόνη μπορεί να λειτουργεί πολύ πιο αργά. Χρησιμοποιώντας τον παράλληλο επεξεργαστή ο DPO δεν περιορίζεται από την ταχύτητα της οθόνης, επομένως και τα σήματα μπορούν να ληφθούν ανεξάρτητα από τη δραστηριότητα της οθόνης.

Αν και το όνομα του Ψηφιακού Παλμογράφου Φωσφόρου μπορεί να υποδηλώνει ότι στηρίζεται σε χημικό φωσφόρο, αυτό δεν συμβαίνει απαραίτητα καθώς χρησιμοποιούνται πιο σύγχρονες οθόνες. Ωστόσο, διαθέτει πολλές από τις πτυχές ενός Παλμογράφου Φωσφόρου, εμφανίζοντας μια πιο έντονη εικόνα όσο πιο συχνά η κυματομορφή περνάει από ένα συγκεκριμένο σημείο. Κάθε φορά που καταγράφεται μια κυματομορφή, αποθηκεύεται στη μνήμη του DPO. Κάθε κελί αντιπροσωπεύει μια θέση της οθόνης. Όσο περισσότερα δεδομένα αποθηκεύονται σε μια θέση, τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση που συνδέεται με αυτήν την θέση. Με αυτόν τον τρόπο οι πληροφορίες έντασης συσσωρεύονται σε κελιά, όπου η κυματομορφή περνάει πιο συχνά. Το συνολικό αποτέλεσμα είναι ότι η οθόνη αποκαλύπτει περιοχές έντασης κυματομορφών, ανάλογα με τη συχνότητα εμφάνισης του σήματος σε κάθε σημείο. Αυτό έχει την ίδια εμφάνιση με εκείνες που εμφανίζονται σε έναν Αναλογικό Παλμογράφο Φωσφόρου, εξού και η συσχέτιση του ονόματος.

Ο επεξεργαστής λοιπόν ενός DPO παλμογράφου λειτουργεί παράλληλα και αποτελεσματικά με το σύστημα απόκτησης για τη διαχείριση της οθόνης, τον έλεγχο

των μετρήσεων και τον συνολικό έλεγχο των οργάνων. Με αυτόν τον τρόπο η λειτουργία του δεν επηρεάζει την συνολική ταχύτητα του παλμογράφου.

Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι επιτυγχάνει μια εμφάνιση σε πραγματικό χρόνο που είναι σε θέση να καταγράψει παροδικά γεγονότα καθώς και επαναλαμβανόμενες κυματομορφές. Επιπλέον, μόνο ο DPO παλμογράφος παρέχει τον άξονα Z (έντασης) σε πραγματικό χρόνο και αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό που λείπει από τους συμβατικούς παλμογράφους ψηφιακής αποθήκευσης.

### 3. Λειτουργία Παλμογράφου

#### 3.1 Είδη κυματομορφών

##### 3.1.1 Ημιτονοειδής κυματομορφή – αποσβημένη ημιτονοειδής κυματομορφή



Εικόνα 6: Ημιτονοειδής κυματομορφή – Αποσβημένη ημιτονοειδής κυματομορφή

Το ημιτονοειδές κύμα είναι το θεμελιώδες σχήμα κύματος για διάφορους λόγους. Έχει αρμονικές μαθηματικές ιδιότητες - είναι το ίδιο σχήμα που μπορεί να έχετε μελετήσει στην τριγωνομετρία. Η τάση της γραμμής ρεύματος στην πρίζα τοίχου ποικίλει ως ημιτονοειδές κύμα. Τα σήματα δοκιμής που παράγονται από το κύκλωμα ταλαντωτή μιας γεννήτριας σήματος είναι συχνά ημιτονοειδή. Οι περισσότερες πηγές εναλλασσόμενου ρεύματος παράγουν ημιτονοειδή κύματα. (Το AC αντιπροσωπεύει εναλλασσόμενο ρεύμα. Το DC σημαίνει σταθερό ρεύμα, που σημαίνει ότι παράγει

ένα σταθερό ρεύμα και τάση, όπως μια μπαταρία). Το αποσβεσμένο ημιτονοειδές κύμα είναι μια ειδική περίπτωση που μπορεί να φανεί σε ένα κύκλωμα που ταλαντεύεται αλλά καταρρέει με την πάροδο του χρόνου. Το παραπάνω σχήμα δείχνει παραδείγματα ημιτονοειδούς κυματομορφής.

### 3.1.2 Τετράγωνες και ορθογώνιες κυματομορφές



Εικόνα 7: Τετράγωνη κυματομορφή – Ορθογώνια κυματομορφή

Το τετραγωνικό κύμα είναι ένα άλλο κοινό σχήμα κύματος. Βασικά, ένα τετραγωνικό κύμα είναι μια τάση που ενεργοποιείται και απενεργοποιείται (ή πηγαίνει ψηλά και χαμηλά) σε τακτά χρονικά διαστήματα. Είναι ένα τυποποιημένο κύμα για τον έλεγχο των ενισχυτών - οι καλοί ενισχυτές αυξάνουν το πλάτος ενός τετραγωνικού κύματος με ελάχιστη παραμόρφωση. Η τηλεόραση, το ραδιόφωνο και τα κυκλώματα ηλεκτρονικών υπολογιστών χρησιμοποιούν συχνά τετραγωνικά κύματα για σήματα συγχρονισμού. Το ορθογώνιο κύμα είναι σαν το τετράγωνο κύμα εκτός από το ότι τα υψηλά και τα χαμηλά χρονικά διαστήματα δεν είναι ίσου μήκους. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό κατά την ανάλυση ψηφιακών κυκλωμάτων. Το παραπάνω σχήμα δείχνει παραδείγματα τετράγωνης και ορθογώνιας κυματομορφής.

### 3.1.3 Πριονωτές και τριγωνικές κυματομορφές



Εικόνα 8: Πριονωτή κυματομορφή – Τριγωνική κυματομορφή

Τα κύματα περυγίων και τριγώνων προκύπτουν από κυκλώματα σχεδιασμένα να ελέγχουν γραμμικά τις τάσεις, όπως η οριζόντια σάρωση ενός αναλογικού παλμογράφου ή η ράστερ σάρωση μιας τηλεόρασης. Οι μεταβάσεις μεταξύ των επιπέδων τάσης αυτών των κυμάτων αλλάζουν με σταθερό ρυθμό. Αυτές οι μεταβάσεις ονομάζονται ράμπες. Το παραπάνω σχήμα δείχνει παραδείγματα πριονωτής και τριγωνικής κυματομορφής.

### 3.1.4 Βήμα και παλμός



Εικόνα 9: Βήμα - Παλμός

Τα σήματα, όπως τα βήματα και οι παλμοί που εμφανίζονται μόνο μία φορά,

ονομάζονται σήματα απλής λήψης ή παροδικά σήματα. Το βήμα υποδεικνύει ξαφνική αλλαγή τάσης, όπως αυτό που γίνεται με την ενεργοποίηση ενός διακόπτη τροφοδοσίας. Ο παλμός υποδεικνύει τι θα γίνει αν ενεργοποιηθεί ένας διακόπτης τροφοδοσίας και στη συνέχεια κλείσει. Μπορεί να αντιπροσωπεύει ένα κομμάτι πληροφορίας που ταξιδεύει μέσω ενός κυκλώματος ηλεκτρονικού υπολογιστή ή μπορεί να είναι ένα σφάλμα (ένα ελάττωμα) σε ένα κύκλωμα. Μια συλλογή παλμών που ταξιδεύουν μαζί δημιουργεί μια παλμική ακολουθία (ένα παλμικό τρένο). Τα ψηφιακά στοιχεία σε έναν υπολογιστή επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας παλμούς. Οι παλμοί είναι επίσης κοινοί στις ακτίνες X, στα ραντάρ και στους εξοπλισμούς επικοινωνιών. Το παραπάνω σχήμα δείχνει παραδείγματα βήματος και παλμού.

### **3.1.5 Σύνθετες κυματομορφές**

Ορισμένες κυματομορφές συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά των ημιτονοειδών κυματομορφών, των τετράγωνων, των βημάτων και των παλμών για να παράγουν ένα σχήμα κύματος που προκαλεί πολλούς - διαφορετικούς παλμούς. Οι πληροφορίες σήματος μπορούν να ενσωματωθούν υπό μορφή μεταβολών ενισχύσεως, φάσεως ή συχνότητας. Παραδείγματος χάριν, ένα συνηθισμένο σύνθετο σήμα βίντεο, αποτελείται από πολλούς κύκλους κυματομορφών υψηλότερης συχνότητας που είναι ενσωματωμένοι σε ένα φάκελο χαμηλότερης συχνότητας. Σε αυτό το παράδειγμα είναι συνήθως σημαντικό να κατανοηθούν τα σχετικά επίπεδα και οι σχέσεις συγχρονισμού των βημάτων. Αυτό που χρειάζεται για να είναι εμφανές αυτό το σήμα είναι ένας παλμογράφος που συλλαμβάνει το φάκελο χαμηλής συχνότητας και αναμειγνύεται στα κύματα υψηλότερης συχνότητας με έντονα διαβαθμισμένο τρόπο ώστε να μπορεί να φαίνεται το συνολικό επίπεδο. Τα αναλογικά όργανα και οι DPO

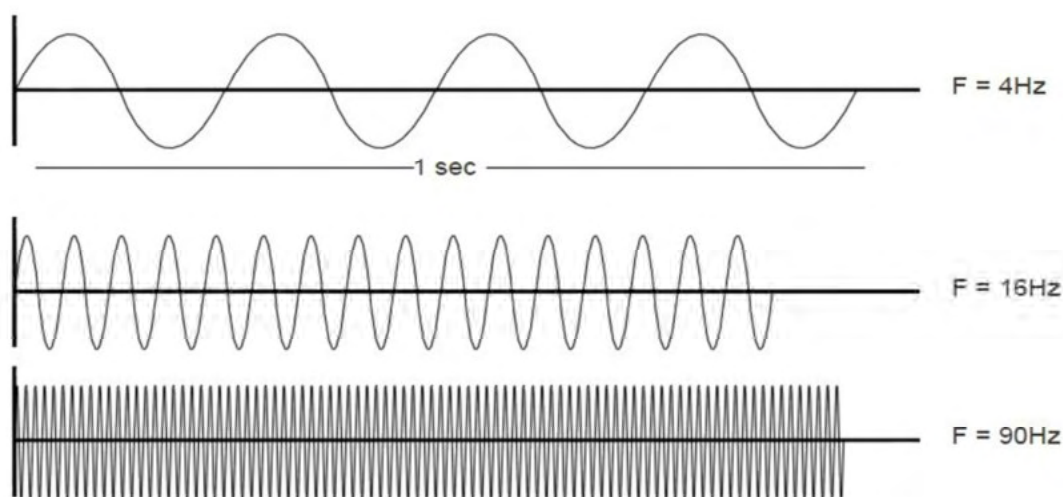


είναι οι πλέον κατάλληλοι για την προβολή πολύπλοκων κυμάτων όπως τα σήματα βίντεο. Οι οθόνες τους παρέχουν την απαραίτητη διαβάθμιση έντασης. Συχνά, οι πληροφορίες συχνότητας εμφάνισης που εκφράζουν οι οθόνες τους είναι απαραίτητες για να κατανοήσουν τι κάνει πραγματικά η κυματομορφή.

## 3.2 Μετρήσεις κυματομορφών

### 3.2.1 Συχνότητα και Περίοδος

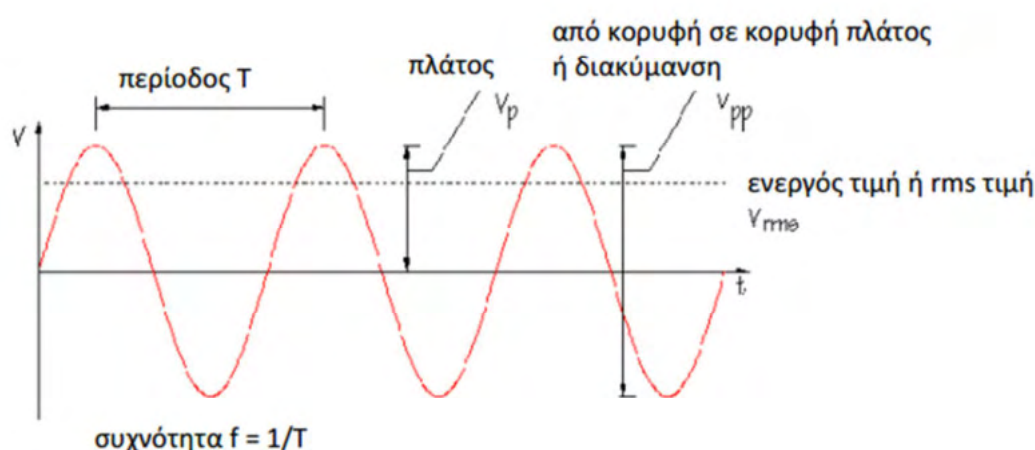
Εάν ένα σήμα επαναλαμβάνεται, έχει συχνότητα. Η συχνότητα ( $f$ ) μετράται σε Hertz (Hz) και ισούται με τον αριθμό των επαναλήψεων του σήματος σε ένα δευτερόλεπτο (οι κύκλοι ανά δευτερόλεπτο). Επίσης ένα επαναλαμβανόμενο σήμα έχει μια περίοδο ( $T$ ). Η περίοδος είναι το χρονικό διάστημα που χρειάζεται το σήμα για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος. Η περίοδος και η συχνότητα αντιστοιχούν μεταξύ τους, έτσι ώστε ο λόγος  $1 /$  περίοδος να είναι ίσος με τη συχνότητα (δηλαδή  $f = 1 / T$ ) και ο λόγος  $1 /$  συχνότητα να είναι ίσος με την περίοδο (δηλαδή  $T = 1 / f$ ).



Εικόνα 10: Συχνότητα ημιτονοειδών κυματομορφών

### 3.2.2 Τάση

Η τάση (V) είναι η τιμή της διαφοράς ηλεκτρικού δυναμικού μεταξύ δύο σημείων σε ένα κύκλωμα. Στην περίπτωση περιοδικών σημάτων υπάρχουν δύο τρόποι για να εκφραστεί το πλάτος τάσης. Ο πρώτος είναι η τάση κορυφής που αντιστοιχεί στην μέγιστη θετική τιμή του σήματος και συμβολίζεται με  $V_o$ . Ο δεύτερος τρόπος είναι η τάση από κορυφή σε κορυφή (V peak to peak,  $V_{p-p}$ ) που αντιστοιχεί στην διαφορά της μέγιστης θετικής τιμής από την ελάχιστη αρνητική και συμβολίζεται με  $V_{p-p}$ . Για τις κυματομορφές εναλλασσόμενης τάσης υπάρχει και η ενεργός τιμή τάσης ή rms τιμή (root mean square) η οποία ορίζεται ως η τιμή συνεχούς τάσης που παράγει την ίδια μέση ισχύ με την εναλλασσόμενη  $V_{rms} = V_p/\sqrt{2} = 0.707 \cdot V_p$ .

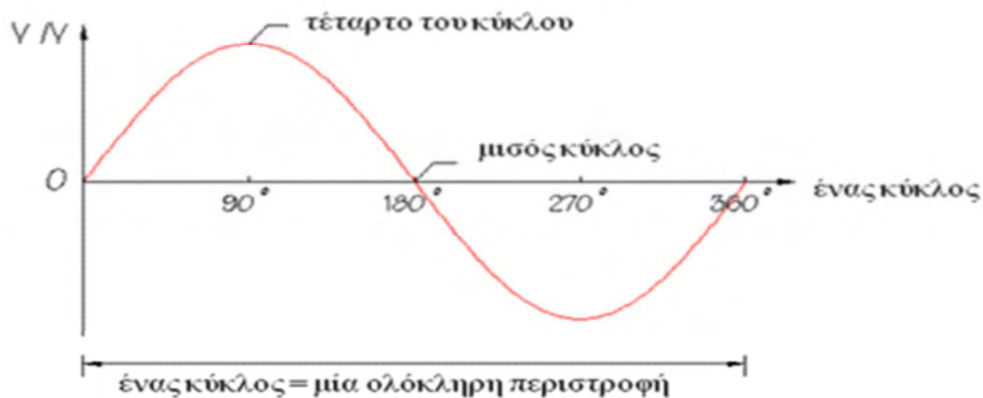


Εικόνα 11: Ημιτονοειδής εναλλασσόμενη τάση

### 3.2.3 Φάση

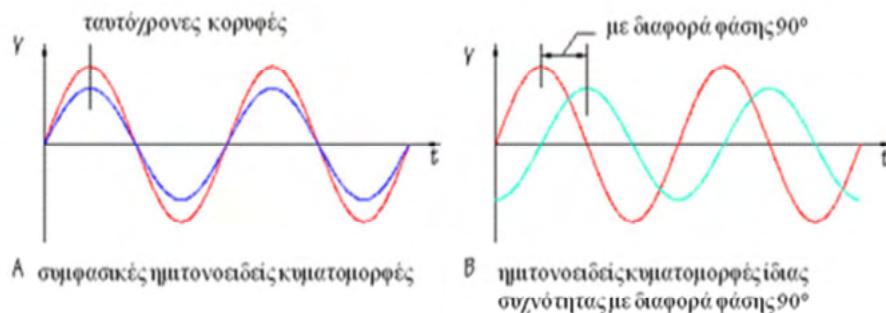
Η φάση εξηγείται καλύτερα εξετάζοντας ένα ημιτονοειδές κύμα. Το επίπεδο τάσης των ημιτονοειδών κυμάτων βασίζεται στην κυκλική κίνηση και ένας κύκλος έχει 360 μοίρες ( $^\circ$ ). Ένας κύκλος ενός ημιτονοειδούς κύματος έχει  $360^\circ$ . Με τη χρήση βαθμών, μπορείτε να ανατρέξετε στη γωνία φάσης ενός ημιτονοειδούς κύματος όταν

θέλετε να περιγράψετε πόση περίοδος έχει παρέλθει. Με αυτή τη λογική όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα αντιστοιχίζεται ο πλήρης κύκλος (μια περίοδος) στις  $360^\circ$ , ο μισός κύκλος στις  $180^\circ$ , το τέταρτο του κύκλου στις  $90^\circ$  και ούτω κάθε εξής. Η αντιστοίχιση αυτού του κύκλου σε μοίρες ονομάζεται φάση.



Εικόνα 12: Φάση εναλλασσόμενης ημιτονοειδούς κυματομορφής

Η διαφορά φάσης περιγράφει τη διαφορά χρονισμού μεταξύ δύο κατά τα άλλα παρόμοιων σημάτων. Όταν δυο κυματομορφές της ίδιας συχνότητας έχουν ταυτόχρονα τις κορυφές τους ονομάζονται συμφασικές. Αντίθετα, όταν οι κορυφές έχουν χρονική διαφορά λέγεται ότι έχουν διαφορά φάσης. Για παράδειγμα στο παρακάτω σχήμα στην πρώτη περίπτωση έχουμε δυο συμφασικές κυματομορφές, ενώ στη δεύτερη οι κυματομορφές έχουν διαφορά φάσης  $90^\circ$ .



Εικόνα 13: Συμφασικές και με διαφορά φάσης ημιτονοειδείς κυματομορφές

### 3.3 Τα συστήματα και οι έλεγχοι ενός παλμογράφου.

Αυτή η ενότητα περιγράφει εν συντομία τα βασικά συστήματα και τους ελέγχους που βρίσκονται σε αναλογικούς και ψηφιακούς παλμογράφους. Ορισμένοι έλεγχοι διαφέρουν μεταξύ αναλογικών και ψηφιακών παλμογράφων.

Ένας βασικός παλμογράφος αποτελείται από τέσσερα διαφορετικά συστήματα:

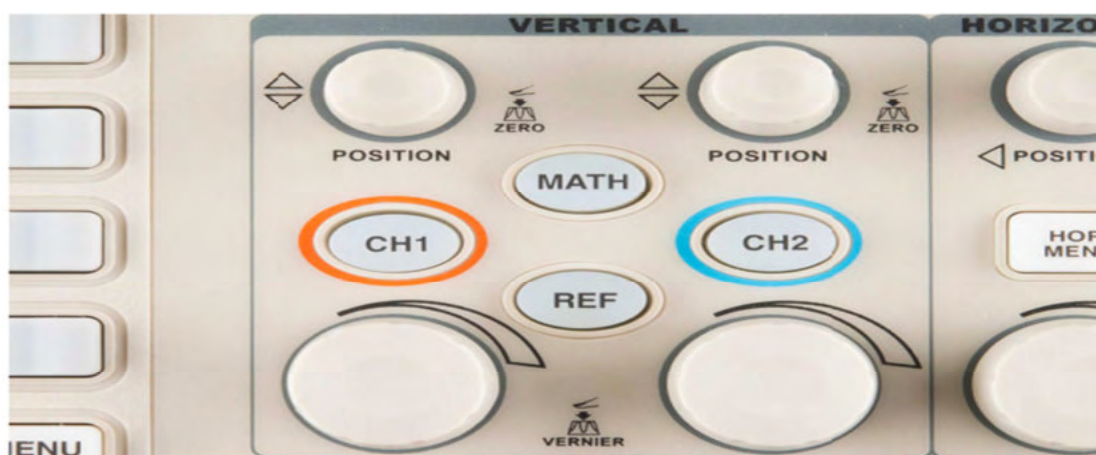
1. το κάθετο σύστημα
2. το οριζόντιο σύστημα
3. το σύστημα ενεργοποίησης ή σκανδαλισμού
4. το σύστημα απεικόνισης

Κάθε σύστημα συμβάλλει στην ικανότητα του παλμογράφου να ανασυνθέσει με ακρίβεια ένα σήμα.

#### 3.3.1 Κατακόρυφο σύστημα

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα κατακόρυφα χειριστήρια για να τοποθετήσουν την κυματομορφή κατακόρυφα και να ρυθμίσουν την κλίμακα αυτής, για να ρυθμίσουν τη ζεύξη εισόδου και για να ρυθμίσουν άλλες καταστάσεις του σήματος.

##### 3.3.1.1 Κατακόρυφος έλεγχος θέσης και ρύθμιση Volts/div



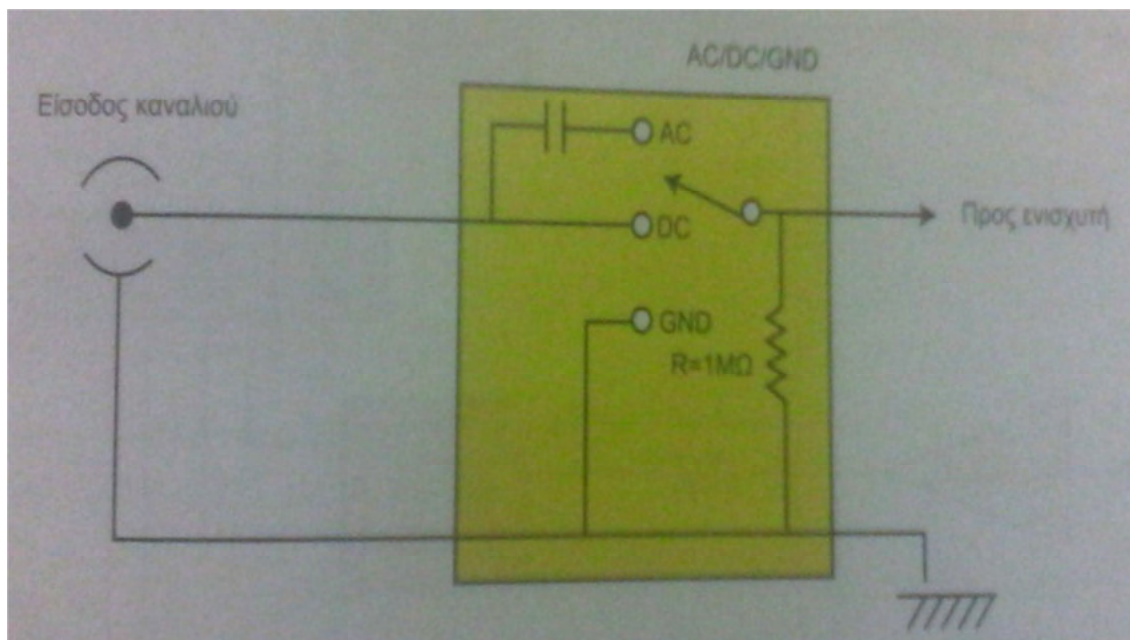
Εικόνα 14: Χειριστήρια κατακόρυφου συστήματος (Πρόσωση Παλμογράφου)

Ο κατακόρυφος έλεγχος θέσης επιτρέπει τη μετακίνηση της κυματομορφής πάνω και κάτω στην οθόνη, για την τοποθέτησή της στο επιθυμητό σημείο. Η ρύθμιση volts/div είναι ένας παράγοντας κλιμάκωσης που μεταβάλλει το μέγεθος της κυματομορφής στην οθόνη. Εάν η ρύθμιση volts / div είναι 5 volts, τότε καθεμία από τις οκτώ κάθετες διαιρέσεις αντιπροσωπεύουν 5 volts και ολόκληρη η οθόνη μπορεί να απεικονίζει 40 volts από κάτω προς τα πάνω, υποθέτοντας ότι η οθόνη διαιρείται σε οκτώ μεγάλες υποδιαιρέσεις. Εάν η ρύθμιση είναι 0,5 volts / div, τότε η οθόνη μπορεί να εμφανίσει 4 volts από κάτω προς τα πάνω και ούτω καθεξής. Η μέγιστη τάση που μπορεί να εμφανιστεί στην οθόνη είναι η τάση volts/div που πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό των κατακόρυφων διαιρέσεων. Να σημειωθεί ότι όταν χρησιμοποιείται ένα probe 1X ή 10X, τότε επηρεάζεται επίσης η κλίμακα της τάσης. Για τον λόγο αυτόν πρέπει να διαιρεθεί η κλίμακα volts / div με τον παράγοντα του εξασθενητή, εάν ο παλμογράφος δεν το κάνει αυτόματα.

### **3.3.1.2 Σύζευξη (DC – AC – GND COUPLING)**

Ως σύζευξη ή ζεύξη νοείται η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση ενός ηλεκτρικού σήματος από το ένα κύκλωμα στο άλλο. Σε αυτή την περίπτωση, η ζεύξη εισόδου είναι η σύνδεση από το κύκλωμα δοκιμής στον παλμογράφο. Η ζεύξη μπορεί να ρυθμιστεί σε DC, AC ή σε γείωση. Το προς μέτρηση σήμα μόλις μπει στον παλμογράφο και πριν φθάσει στους ενισχυτές κατακόρυφης απόκλισης περνά από έναν επιλογέα τριών θέσεων, DC – AC – GND. Με αυτόν τον επιλογέα ορίζεται αν το προς μέτρηση σήμα που θα συνδεθεί είναι συνεχές (DC) ή εναλλασσόμενο (AC). Επίσης, παρέχει και την επιλογή της γείωσης (GND) της εισόδου για την πραγματοποίηση ρυθμίσεων στον παλμογράφο όπως τη μετατόπιση της δέσμης στον

κατακόρυφο άξονα, κ.α. Καθορίζοντας την είσοδο του παλμογράφου ως AC παρεμβάλλεται στην είσοδό του χωρητικότητα C, ενώ κατά την επιλογή DC η χωρητικότητα τίθεται εκτός γραμμής.

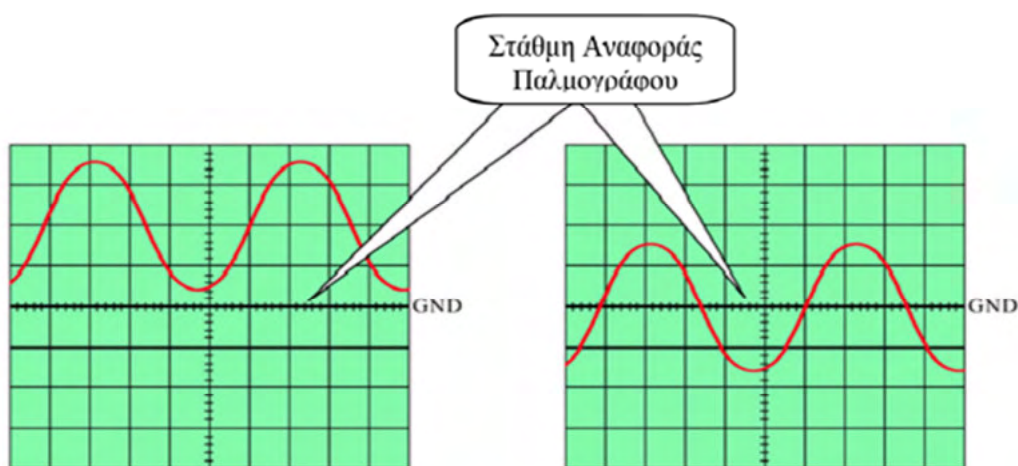


Εικόνα 15: Διάγραμμα Σύζευξης

Εάν ο διακόπτης είναι στη θέση DC, το σήμα συνεχίζει ανέπαφο προς το εσωτερικό του παλμογράφου (στους ενισχυτές κατακόρυφης απόκλισης) κουβαλώντας μαζί του τυχόν συνεχή συνιστώσα που μπορεί να έχει.

Στην θέση AC παρεμβάλλεται ένας πυκνωτής ανάμεσα στην είσοδο του παλμογράφου και στους ενισχυτές κατακόρυφης απόκλισης, ο οποίος κόβει την τυχόν συνεχή συνιστώσα που μπορεί να έχει το προς μέτρηση σήμα. Αυτή η επιλογή εξυπηρετεί μερικές φορές που δεν ενδιαφέρει να μετρηθεί η συνεχής συνιστώσα του σήματος ή συνεχής συνιστώσα του σήματος είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με την εναλλασσόμενη συνιστώσα που πρόκειται να παρατηρηθεί - και δυσκολεύει την κατάσταση.

Τέλος, η θέση GND (ground) δεν γειώνει το σήμα, αλλά απλά δεν το προωθεί προς το εσωτερικό του παλμογράφου. Αυτό εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια των μετρήσεων προκειμένου να ρυθμιστεί στον κατακόρυφο άξονα του παλμογράφου η στάθμη της γείωσης, η στάθμη του μηδενός. Η νέα αυτή θέση της οπτικής δέσμης δίνει τη μηδενική στάθμη (0 στάθμη DC) και αντιστοιχεί στο σημείο αναφοράς ή τάση αναφοράς (ground).



Εικόνα 16: DC σύζευξη (αριστερό σχήμα) – AC σύζευξη (δεξιό σχήμα)

Στο παραπάνω εικόνα απεικονίζονται οι περιπτώσεις απεικόνισης ημιτονοειδούς σήματος πλάτους 3V με συνεχή συνιστώσα 2V, με επιλογή τύπου εισόδου DC και AC αντίστοιχα. Όπως φαίνεται στην αριστερή εικόνα το σήμα είναι μετατοπισμένο λόγω της συνεχούς συνιστώσας, ενώ κατά την επιλογή εισόδου AC (δεξιά εικόνα) ο πυκνωτής που παρεμβάλλεται στην είσοδο αποκόπτει τη συνεχή συνιστώσα εμφανίζοντας το σήμα γύρω από το μηδέν.

Να σημειωθεί ότι η θέση DC είναι σωστότερη για τα περισσότερα σήματα, γιατί σε ένα κύκλωμα δεν είναι γνωστό αν το σήμα «κουβαλάει» DC συνιστώσα.



Στον παλμογράφο Tektronix TDS 2012, η ρύθμιση του coupling σε κάθε κανάλι αλλάζει κυκλικά από DC σε AC και GND, πατώντας διαδοχικά το πρώτο Option button.

### **3.3.1.3 Όριο εύρους ζώνης**

Οι περισσότεροι παλμογράφοι έχουν κύκλωμα που περιορίζει το εύρος ζώνης του παλμογράφου. Περιορίζοντας το εύρος ζώνης, μειώνεται ο θόρυβος που εμφανίζεται μερικές φορές στην απεικονιζόμενη κυματομορφή, οδηγώντας σε μια πιο καθαρή απεικόνιση του σήματος. Να σημειωθεί ότι, κατά την εξάλειψη θορύβου, το όριο εύρους ζώνης μπορεί επίσης να μειώσει ή να εξαλείψει την υψηλή συχνότητα του σήματος.



### 3.3.2 Οριζόντιο Σύστημα

Τα οριζόντια χειριστήρια χρησιμοποιούνται για τη θέση και την κλιμάκωση της κυματομορφής οριζόντια.

Οι συνήθειες οριζόντιοι έλεγχοι περιλαμβάνουν επίσης το ρυθμό δειγματοληψίας, τη ρύθμιση της χρονικής βάσης, τη λειτουργία XY, την κλίμακα, τη θέση ενεργοποίησης, των διαχωρισμό των ιχνών, τη μεγέθυνση και το μήκος εγγραφής.

#### 3.3.2.1 Οριζόντιος έλεγχος θέσης και ρύθμιση sec / div



Εικόνα 17: Χειριστήρια οριζόντιου συστήματος (Πρόσοψη Παλμογράφου)

Ο οριζόντιος έλεγχος θέσης μετακινεί την κυματομορφή αριστερά και δεξιά στην οθόνη, για την τοποθέτησή της στο επιθυμητό σημείο.

Η ρύθμιση sec/div επιτρέπει να επιλεγεί ο ρυθμός με τον οποίο η κυματομορφή σχεδιάζεται κατά μήκος

της οθόνης (γνωστή και ως ρύθμιση βάσης χρόνου ή ταχύτητα σάρωσης). Αυτή η

ρύθμιση είναι συντελεστής κλίμακας. Εάν η ρύθμιση είναι 1 ms, κάθε οριζόντια διαίρεση αντιπροσωπεύει 1 ms και το πλάτος της συνολικής οθόνης αντιπροσωπεύει 10 ms. Αλλαγή του sec / div επιτρέπει να εξεταστούν μεγαλύτερα ή μικρότερα χρονικά διαστήματα του σήματος εισόδου.

### **3.3.2.2 Δειγματοληψία**

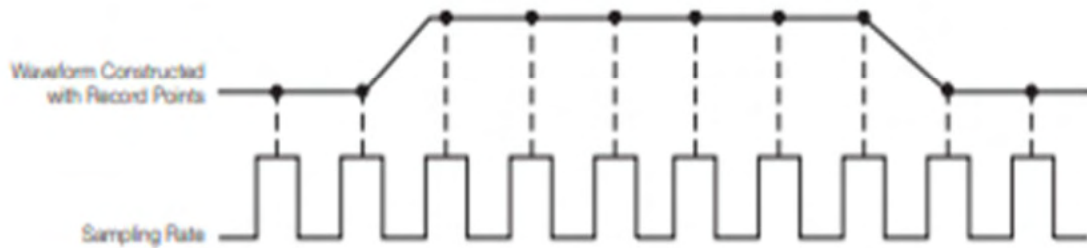
Η δειγματοληψία είναι η διαδικασία μετατροπής ενός τμήματος ενός σήματος εισόδου σε ένα αριθμό διακεκριμένων ηλεκτρικών τιμών για σκοπούς αποθήκευσης, επεξεργασίας ή εμφάνισης. Το μέγεθος του κάθε σημείου δειγματοληψίας είναι ίσο με το πλάτος του σήματος εισόδου τη στιγμή κατά την οποία το σήμα δειγματολειτουργεί. Η δειγματοληψία είναι σαν τη λήψη στιγμιότυπων. Κάθε στιγμιότυπο αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο χρονικό σημείο στην κυματομορφή. Αυτά τα στιγμιότυπα μπορούν στη συνέχεια να διευθετηθούν με την κατάλληλη χρονική σειρά ώστε να ανακατασκευαστεί το σήμα εισόδου.

### **Μέθοδοι δειγματοληψίας**

Οι ψηφιακοί παλμογράφοι - DSO ή DPO - μπορούν να χρησιμοποιούν είτε σε πραγματικό χρόνο είτε σε ισοδύναμο χρόνο δειγματοληψία για τη συλλογή δειγμάτων.

#### **3.3.2.2.1 Δειγματοληψία σε πραγματικό χρόνο**

Η δειγματοληψία σε πραγματικό χρόνο είναι ιδανική για σήματα των οποίων το φάσμα συχνοτήτων είναι μικρότερο από το ήμισυ του μέγιστου ρυθμού δειγματοληψίας του παλμογράφου. Σε αυτή την περίπτωση ο παλμογράφος μπορεί να αποκτήσει περισσότερα από αρκετούς σημεία με μια σάρωση της κυματομορφής για να κατασκευάσει μια ακριβή εικόνα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



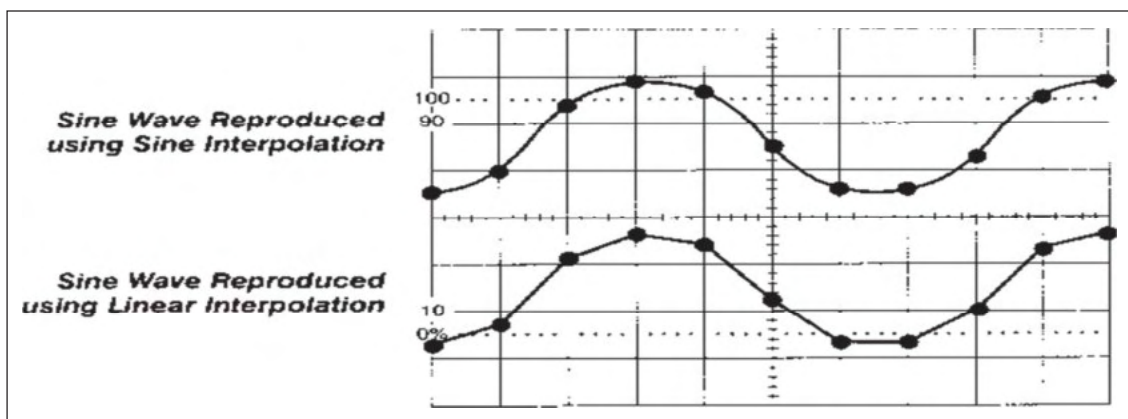
Εικόνα 18: Δειγματοληψία σε πραγματικό χρόνο

Όμως, εάν ο ρυθμός δειγματοληψίας δεν είναι αρκετά γρήγορος, τα τμήματα υψηλής συχνότητας μπορούν να "διπλώσουν" σε χαμηλότερη συχνότητα, προκαλώντας ψευδή εικόνα στην οθόνη. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούμε την δειγματοληψία σε πραγματικό χρόνο με παρεμβολή.

Στην δειγματοληψία σε πραγματικό χρόνο με παρεμβολή, οι ψηφιακοί παλμογράφοι λαμβάνουν διακριτά δείγματα του σήματος που μπορεί να εμφανιστεί. Ωστόσο, μπορεί να είναι δύσκολο να απεικονιστεί το σήμα που αναπαρίσταται

ως τελείες, επειδή μπορεί να υπάρχουν μόνο λίγες κουκίδες που αντιπροσωπεύουν τμήματα υψηλής συχνότητας του σήματος. Για να βοηθήσουν στην απεικόνιση των σημάτων, οι ψηφιακοί παλμογράφοι χρησιμοποιούν λειτουργίες παρεμβολής. Με απλά λόγια, η παρεμβολή "συνδέει τις κουκίδες" έτσι ώστε ένα σήμα που δειγματίζεται μόνο μερικές φορές σε κάθε κύκλο να μπορεί να εμφανίζεται με ακρίβεια. Χρησιμοποιώντας δειγματοληψία σε πραγματικό χρόνο με παρεμβολή, ο παλμογράφος συλλέγει μερικά σημεία δειγματοληψίας του σήματος με ένα μόνο πέρασμα (σε λειτουργία πραγματικού χρόνου) και χρησιμοποιεί την παρεμβολή για να συμπληρώσετε τα κενά. Η παρεμβολή είναι μια τεχνική επεξεργασίας που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της εμφάνισης της κυματομορφής με βάση μερικά

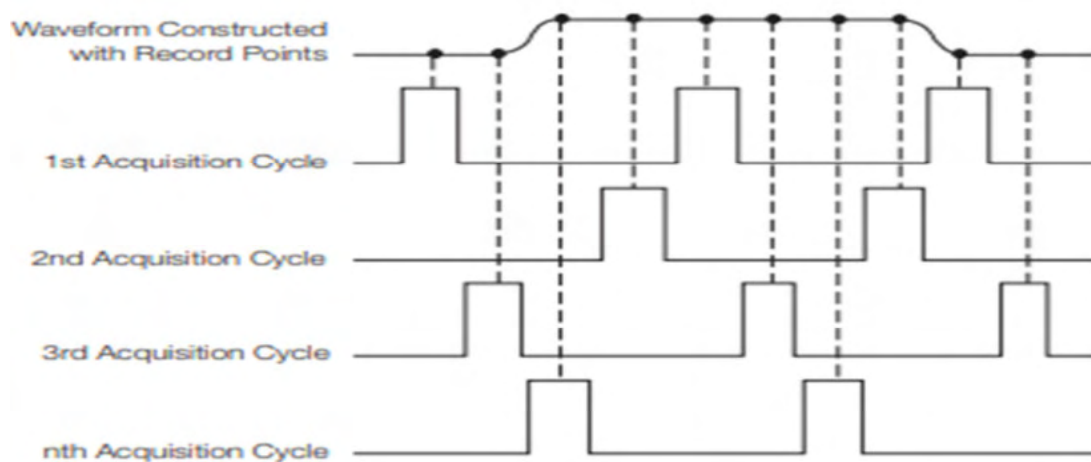
σημεία. Όπως φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα υπάρχει η ημιτονοειδής παρεμβολή (sine interpolation) και η γραμμική παρεμβολή (linear interpolation)



Εικόνα 19: Δειγματοληψία σε πραγματικό χρόνο με παρεμβολή

### 3.3.2.2 Δειγματοληψία σε ισοδύναμο χρόνο

Κατά τη μέτρηση σημάτων υψηλής συχνότητας, ο παλμογράφος μπορεί να μην είναι σε θέση να συλλέξει αρκετά δείγματα σε μία σάρωση. Η δειγματοληψία σε ισοδύναμο χρόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ακριβή απόκτηση σήματα των οποίων η συχνότητα υπερβαίνει το μισό του ρυθμού δειγματοληψίας. Οι ψηφιοποιητές ισοδύναμου χρόνου (δειγματολήπτες) επωφελούνται από το γεγονός ότι τα περισσότερα φυσικά και προκαλούμενα από τον άνθρωπο συμβάντα είναι επαναλαμβανόμενα. Η δειγματοληψία ισοδύναμου χρόνου κατασκευάζει μια εικόνα από ένα επαναληπτικό σήμα "αιχμαλωτίζοντας" λίγες πληροφορίες από καθεμία επανάληψη. Η κυματομορφή αναπτύσσεται σιγά-σιγά σαν μια σειρά από φώτα, φωτίζοντας τα ένα-ένα. Αυτό επιτρέπει στον παλμογράφο καταγράφει με ακρίβεια τα σήματα των οποίων τα στοιχεία συχνότητας είναι πολύ υψηλότερα από το ρυθμό δειγματοληψίας του παλμογράφου.



Εικόνα 20: Δειγματοληψία σε ισοδύναμο χρόνο

Υπάρχουν δύο τύποι μεθόδων δειγματοληψίας ισοδύναμου χρόνου: η τυχαία και η διαδοχική. Καθε τύπος έχει τα πλεονεκτήματά του.

Η τυχαία δειγματοληψία ισοδύναμου χρόνου επιτρέπει την εμφάνιση του σήματος εισόδου πριν από το σημείο ενεργοποίησης, χωρίς τη χρήση μιας γραμμής καθυστέρησης.

Η διαδοχική δειγματοληψία ισοδύναμου χρόνου παρέχει πολύ μεγαλύτερη χρονική ανάλυση και ακρίβεια. Και οι δύο απαιτούν το σήμα εισόδου να είναι επαναλαμβανόμενο.

### 3.3.2.3 Επιλογές χρονικής βάσης

Ο κάθε παλμογράφος έχει μια βάση χρόνου, η οποία συνήθως αναφέρεται ως βασική βάση χρόνου. Πολλοί παλμογράφοι έχουν και αυτό που ονομάζεται καθυστερημένη βάση χρόνου - μια βάση χρόνου με μια σάρωση που μπορεί να ξεκινήσει (ή να ενεργοποιηθεί για να ξεκινήσει) σε σχέση με ένα προκαθορισμένο χρόνο στη βασική

σάρωση βάσης χρόνου. Χρησιμοποιώντας καθυστέρηση χρόνου η σάρωση βάσης επιτρέπει να φαίνονται τα γεγονότα πιο καθαρά και να φαίνονται συμβάντα που δεν είναι ορατά μόνο με τη βασική σάρωση βάσης χρόνου.

#### **3.3.2.4 Μεγέθυνση**

Ο παλμογράφος μπορεί να έχει ειδικές ρυθμίσεις οριζόντιας μεγέθυνσης που επιτρέπουν την εμφάνιση ενός μεγεθυμένου τμήματος της κυματομορφής στην οθόνη. Ορισμένοι παλμογράφοι προσθέτουν λειτουργίες πανοραμικής λήψης στη δυνατότητα ζουμ.

#### **3.3.2.5 Λειτουργία XY**

Οι περισσότεροι παλμογράφοι έχουν λειτουργία XY που επιτρέπει την εμφάνιση ενός σήματος εισόδου, αντί της χρονικής βάσης, στον οριζόντιο άξονα. Για τη λειτουργία αυτή πρέπει να πιεσθεί το κουμπί X-Y. Κατ' αυτόν τον τρόπο λειτουργίας το σήμα που εφαρμόζεται στην είσοδο του CH1 αντιστοιχεί στον άξονα X και αυτό του CH2 στον άξονα Y. Για την ρύθμιση της θέσης του ίχνους κατά τον άξονα X χρησιμοποιείται το κομβίο οριζόντιας μετακίνησης και όχι το κομβίο κατακόρυφης μετακίνησης του καναλιού 1. Για τη μετακίνηση του ίχνους κατά τον άξονα Y χρησιμοποιείται το κομβίο κατακόρυφης μετακίνησης του καναλιού 2. Η λειτουργία αυτή δίνει τη δυνατότητα παρατήρησης της σχέσης μεταξύ των συχνοτήτων δύο ημιτονοειδών κυματομορφών καθώς επίσης και της διαφοράς φάσεως μεταξύ τους.

#### **3.3.3 Σύστημα ενεργοποίησης ή σκανδαλισμού**

Η μονάδα αυτή είναι το πιο σημαντικό τμήμα του παλμογράφου, από το οποίο σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται η ποιότητα της εικόνας στην οθόνη και η ευκολία χρήσης

του οργάνου.

Για να είναι η εικόνα της κυματομορφής σταθερή και ακίνητη στην οθόνη (να μη «ρολάρει») η εσωτερική γεννήτρια της πριονωτής τάσης πρέπει να προσαρμόζει τη συχνότητά της, προς αυτή του σήματος, ακριβώς. Η προσαρμογή αυτή επιτυγχάνεται με την ειδική μονάδα συγχρονισμού που βρίσκεται στο εσωτερικό του παλμογράφου. Ο έλεγχος αυτής της προσαρμογής γίνεται με το κουμπί (ποτενσιόμετρο) TRIGGER LEVEL. Το κουμπί TRIGGER LEVEL ελέγχει τη στάθμη του σήματος, όπου δηλαδή δημιουργείται ο λεγόμενος παλμός σκανδαλισμού, ο οποίος ελέγχει πότε πρέπει να αρχίζει η σάρωση, δηλαδή η έναρξη της γραμμικής ανόδου της πριονωτής τάσης.

Για παράδειγμα αν το πλάτος τους ημιτονικού σήματος είναι 1,5V, ενώ τη στάθμη του TRIGGER LEVEL είναι επιλεγμένη στο 1 V (η ρύθμιση αυτή γίνεται στα «τυφλά», περιστρέφοντας το κουμπί TRIGGER LEVEL, δεξιά – αριστερά, ώσπου να σταθεροποιηθεί η εικόνα), στην οθόνη θα φαίνεται η ακίνητη εικόνα του ημιτόνου, η οποία θα αρχίζει από 1V. Αν η στάθμη του TRIGGER LEVEL επιλεγεί μεγαλύτερη από το πλάτος του σήματός μας, στο παράδειγμά μας πάνω από 1,5V, στην οθόνη, το ημίτονο θα «ρολάρει», καθώς τώρα δεν δημιουργείται ο παλμός σκανδαλισμού και η γεννήτρια πριονωτής τάσης «ταλαντώνεται» αυτόνομα, χωρίς να προσαρμόζεται η συχνότητά της. Όταν είναι πατημένο το πλήκτρο SET TO 50%, ο παλμογράφος αυτόματα τοποθετεί το TRIGGER LEVEL ανάμεσα στο μέγιστο και ελάχιστο επίπεδο τάσης. Αυτό είναι χρήσιμο κατά τη σύνδεση ενός σήματος στο EXT TRIG BNC και όταν τίθεται το TRIGGER SOURCE στο Ext ή Ext/5.

### **Επιλογή coupling του σήματος συγχρονισμού**

Για να διευκολυνθεί ο συγχρονισμός του οργάνου, το σήμα συγχρονισμού πρώτα επεξεργάζεται με τον επιλογέα Coupling που έχει πέντε θέσεις:

DC: περνάει όλα τα δομικά στοιχεία (συστατικά) του σήματος

- Noise Reject
- HF Reject: το σήμα πρώτα φιλτράρεται, δηλαδή αποκόπτονται από αυτό οι υψηλές συχνότητες πάνω από 80 kHz, και στη συνέχεια οδηγείται στη μονάδα συγχρονισμού.
- LF Reject: Μπλοκάρει τα DC στοιχεία και εξασθενεί τα στοιχεία με χαμηλές συχνότητες κάτω από 300 kHz.
- AC: Μπλοκάρει τα DC στοιχεία και εξασθενεί τα σήματα κάτω των 10 Hz.

Να σημειωθεί ότι το Trigger Coupling επιδρά μόνο στο σήμα που εισέρχεται στο σύστημα του trigger. Δεν επιδρά στο bandwidth ή στο coupling του σήματος που απεικονίζεται στην οθόνη.

### **Επιλογή πηγής του σήματος συγχρονισμού**

Για να σταθεροποιηθεί το σήμα χρειάζεται ρύθμιση της περιοχής σκανδαλισμού του παλμογράφου πατώντας το TRIG MENU. Επιλέγοντας το TRIG MENU εμφανίζονται στο δεξί μέρος της οθόνης οι παρακάτω πέντε επιλογές:

CH1: ο συγχρονισμός γίνεται από το σήμα που εισάγεται στο κανάλι 1

CH2: ο συγχρονισμός γίνεται από το σήμα που εισάγεται στο κανάλι 2

EXT: ο συγχρονισμός της γεννήτριας πριονωτής τάσης γίνεται με σήμα που εισάγεται στον παλμογράφο από μια εξωτερική πηγή

EXT/5: ίδιο με την επιλογή EXT, αλλά εξασθενεί το σήμα με ένα συντελεστή του πέντε

AC LINE: το σήμα συγχρονισμού εισάγεται από το δίκτυο της ΔΕΗ (50Hz)



### 3.3.4 Σύστημα απεικόνισης (ένδειξης ) και στοιχεία ελέγχου οθόνης

Τα συστήματα απεικόνισης διαφέρουν μεταξύ αναλογικών και ψηφιακών παλμογράφων. Οι συνήθεις έλεγχοι περιλαμβάνουν:

- Έλεγχο έντασης για τη ρύθμιση της φωτεινότητας της κυματομορφής. Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα σάρωσης ενός αναλογικού παλμογράφου, πρέπει να αυξηθεί το επίπεδο έντασης.
- Έλεγχο εστίασης για να ρυθμιστεί η ευκρίνεια της κυματομορφής. Οι ψηφιακοί παλμογράφοι μπορεί να μην έχουν έλεγχο εστίασης.
- Έλεγχο περιστροφής ίχνους για ευθυγράμμιση του ίχνους κυματομορφής με τον οριζόντιο άξονα της οθόνης. Η θέση του παλμογράφου στο μαγνητικό πεδίο της γης επηρεάζει την ευθυγράμμιση της κυματομορφής. Οι ψηφιακοί παλμογράφοι ενδέχεται να μην έχουν έλεγχο περιστροφής ίχνους.
- Έλεγχο αντίθεσης, στους DPO.
- Έλεγχος παλέτας χρωμάτων για την επιλογή χρωμάτων των ιχνών και επίπεδα χρώματος έντασης, στους DSO και DPO
- Άλλα στοιχεία ελέγχου οθόνης ενδέχεται να επιτρέπουν τη ρύθμιση της έντασης των φώτων και την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση τυχόν πληροφοριών στην οθόνη (όπως μενού) .

### 3.4 Ανιχνευτές (probes)

Ακόμα και το πιο προηγμένο όργανο μπορεί να μην είναι τόσο ακριβές όσο τα δεδομένα που μπαίνουν σε αυτό. Ένας ανιχνευτής (probe) λειτουργεί σε συνδυασμό με τον παλμογράφο, ως μέρος του συστήματος μέτρησης. Ακριβείς μετρήσεις ξεκινούν από την άκρη του probe.

Για να συνδεθεί ένας ανιχνευτής, είναι σημαντικό να είναι σχεδιασμένος ούτως ώστε να λειτουργεί με συμβατότητα με τον εκάστοτε παλμογράφο. Ένας ανιχνευτής είναι ένα καλώδιο υψηλής ποιότητας, σχεδιασμένο προσεκτικά ώστε να μην πιάνει παράσιτα και θόρυβο από τη γραμμή ρεύματος. Οι ανιχνευτές σχεδιάζονται ώστε να μην επηρεάζουν τη συμπεριφορά του κυκλώματος που βρίσκεται σε δοκιμή. Ωστόσο, καμία συσκευή μέτρησης δεν μπορεί να λειτουργήσει ως ένας απόλυτα αόρατος παρατηρητής. Η ακούσια αλληλεπίδραση του ανιχνευτή και του παλμογράφου με το δοκιμαζόμενο κύκλωμα ονομάζεται φόρτιση κυκλώματος. Για να ελαχιστοποιηθεί η φόρτιση του κυκλώματος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας παθητικός ανιχνευτής 10X. Οι παθητικοί ανιχνευτές αποτελούν ένα εξαιρετικό εργαλείο για γενικές δοκιμές και αντιμετώπιση προβλημάτων. Για πιο συγκεκριμένες μετρήσεις ή δοκιμές, υπάρχουν πολλοί άλλοι τύποι ανιχνευτών. Δύο παραδείγματα είναι οι ενεργοί και οι παθητικοί ανιχνευτές. Ο παθητικός ανιχνευτής, είναι ο τύπος ανιχνευτή που επιτρέπει την μεγαλύτερη ευελιξία στη χρήση.

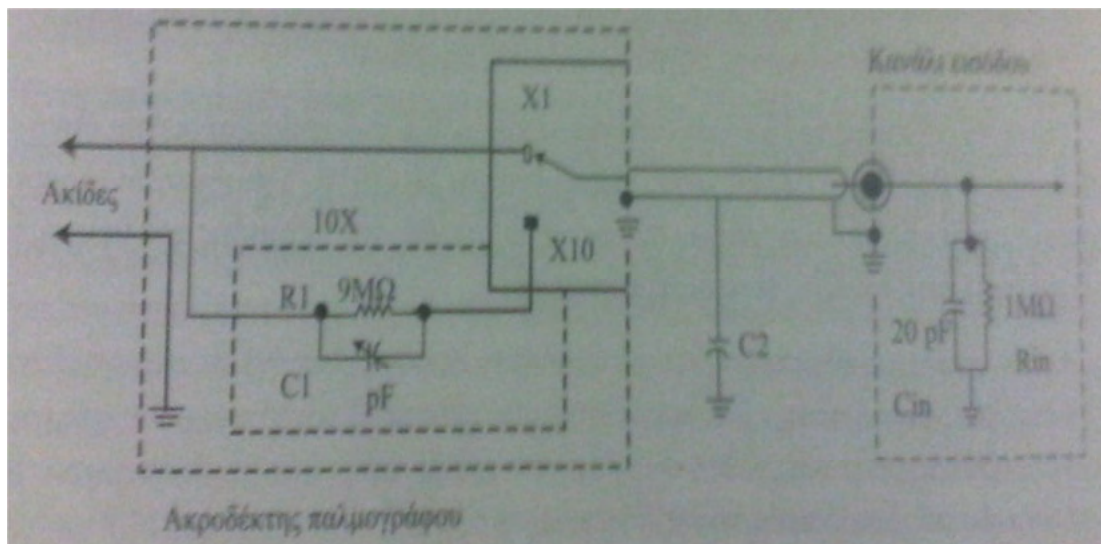
### **3.4.1 Χρήση παθητικών ανιχνευτών**

Οι περισσότεροι παθητικοί ανιχνευτές έχουν κάποιον παράγοντα εξασθένησης, όπως 10X, 100X, και ούτω καθεξής. Κατά συνθήκη, οι παράγοντες εξασθένησης, όπως για τον ανιχνευτή εξασθένησης 10X, έχουν το X μετά τον παράγοντα. Αντίθετα, οι συντελεστές μεγέθυνσης όπως το X10 έχουν το X πρώτα. Ο ανιχνευτής εξασθένησης 10X (εξασθένηση ως δέκα φορές) ελαχιστοποιεί τη φόρτιση του κυκλώματος και είναι ένας εξαιρετικός παθητικός ανιχνευτής γενικής χρήσης. Η φόρτιση του κυκλώματος γίνεται πιο έντονη στις υψηλότερες συχνότητες, οπότε αυτός ο τύπος ανιχνευτή κατά τη μέτρηση σημάτων πρέπει να χρησιμοποιείται άνω των 5 kHz. Ο ανιχνευτής

απόσβεσης 10X βελτιώνει την ακρίβεια των μετρήσεων, αλλά επίσης μειώνει το πλάτος του σήματος που εμφανίζεται στην οθόνη με συντελεστή 10. Επειδή εξασθενεί το σήμα, ο ανιχνευτής απόσβεσης 10X καθιστά δύσκολη την εμφάνιση σημάτων μικρότερων από 10 millivolts. Ο ανιχνευτής 1X είναι παρόμοιος με τον ανιχνευτή εξασθένησης 10X αλλά στερείται του κυκλώματος εξασθένησης. Χωρίς αυτό το κύκλωμα, εισάγεται περισσότερη παρεμβολή στο εξεταζόμενο κύκλωμα. Πρέπει να γίνεται χρήση του ανιχνευτή εξασθένησης 10X ως τυπικού ανιχνευτή, αλλά ο ανιχνευτής 1X είναι χρήσιμος για τη μέτρηση των αδύναμων σημάτων. Μερικοί ανιχνευτές διαθέτουν έναν επιλογέα θέσης για την εναλλαγή μεταξύ 1X και 10X εξασθένησης στην άκρη τους. Πολλοί παλμογράφοι μπορούν να ανιχνεύσουν αν χρησιμοποιείται ανιχνευτής 1X ή 10X οπότε γίνεται προσαρμογή αντίστοιχα στις ενδείξεις οθόνης τους. Ωστόσο, σε μερικούς άλλους παλμογράφους, πρέπει να ορίζεται ο τύπος ανιχνευτή που χρησιμοποιείται. Ο ανιχνευτής εξασθένησης 10X λειτουργεί με εξισορρόπηση των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του ανιχνευτή έναντι των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του παλμογράφου. Πριν από τη χρήση ενός ανιχνευτή εξασθένησης 10X, πρέπει να ρυθμίζεται αυτή η ισορροπία για τον συγκεκριμένο παλμογράφο.

Ο παθητικός ακροδέκτης είναι η πιο απλή μορφή ακροδέκτη παλμογράφου. Ένας παθητικός ακροδέκτης φέρει ομοαξονικό καλώδιο που καταλήγει σε αγωγίμη ακίδα. Ο ακροδέκτης ανάλογα με το μέγεθος της εξασθένησης που προκαλεί στο προς μέτρηση σήμα κατηγοριοποιείται σε 1:1, 10:1, 100:1. Παράγοντας εξασθένησης 1:1 δηλώνει ότι ο ακροδέκτης δεν επιφέρει καμία εξασθένηση στο σήμα, δηλαδή ένα σήμα 1 mV θα απεικονιστεί στην οθόνη του παλμογράφου με πλάτος 1 mV. Ένας ακροδέκτης 10:1 ή ένας ακροδέκτης 100:1 θα προκαλέσει εξασθένηση 10 ή 100

φορές αντίστοιχα στο προς μέτρηση σήμα. Πέρα από την εξασθένηση που προκαλείται στο πλάτος ενός σήματος με τη χρήση ενός παθητικού ακροδέκτη, όταν χρειάζεται να μετρηθεί ένα σήμα μεγαλύτερου πλάτους από αυτό που επιτρέπει η κλίμακα του παλμογράφου χρησιμοποιούνται οι παθητικοί εξασθενητές, για να μειώσουν την επίδραση της χωρητικότητας κατά τη μέτρηση του σήματος. Το ισοδύναμο ηλεκτρικό μοντέλο ενός ακροδέκτη 10:1 απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.

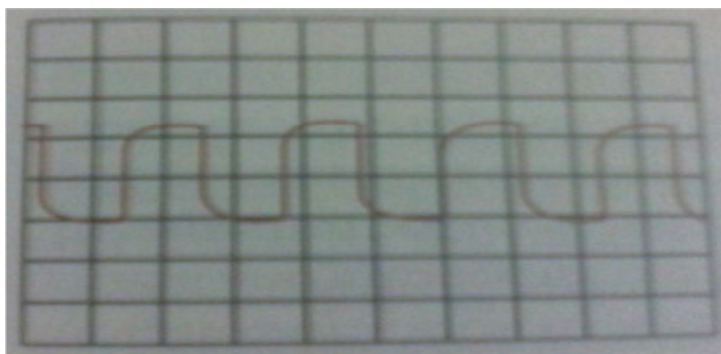


Εικόνα 21: Ηλεκτρικό σχέδιο ακροδέκτη 10:1

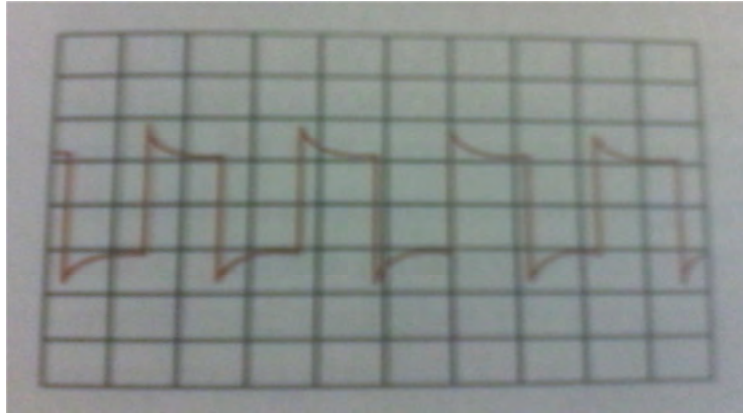
Για τη δημιουργία ακροδέκτη 10:1 ο ακροδέκτης φέρει αντίσταση  $R1=9M\Omega$  σε σειρά, με την αντίσταση εισόδου  $Rin=1M\Omega$  δημιουργεί ένα διαιρέτη τάσης:  $R1/(R1+Rin)=1/10$ . Αν  $R1 \cdot C1 = Rin \cdot Cin$  τότε η επίδραση της χωρητικότητας στο προς μέτρηση σήμα ελαχιστοποιείται. Για το λόγο αυτό ο πυκνωτής  $C1$  ρυθμίζεται ώστε με χρήση της αντίστασης  $R1=9M\Omega$  να ισχύει η ισότητα. Η ρύθμιση του μεταβλητού πυκνωτή γίνεται σε μέτρηση πηγής τετραγωνικού σήματος συχνότητας 1 KHz.

Ο παλμογράφος TDS 2012 συνοδεύεται από το probe P2200 με διακόπτη 10x/1x. Για τον έλεγχο της σωστής αντιστάθμισης του probe στη θέση x10, ακολουθείται η εξής διαδικασία:

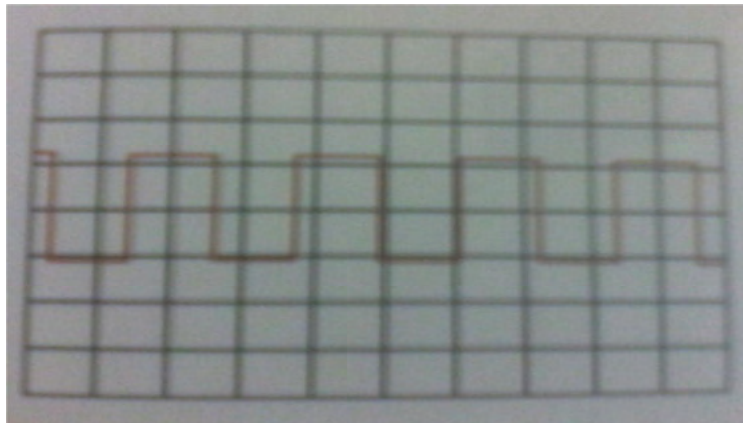
- 1) Επιλογή εξασθένησης του probe (δίνεται από το channel menu) στο x10. Ρύθμιση του διακόπτη του P2200 στο x10 και σύνδεση του probe στο κανάλι 1 του παλμογράφου. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο ότι ο διακόπτης Attenuation στο probe P2200 πρέπει να **ΤΑΙΡΙΑΖΕΙ ΠΑΝΤΑ** με την επιλογή εξασθένησης του Probe στον παλμογράφο.
- 2) Προσαρμογή της άκρης (της μύτης) του probe στο βύσμα PROBE COMP ~5V και του ακροδέκτη (κροκοδειλάκι) στο βύσμα PROBE COMP Ground. Πρώτα απεικόνιση του καναλιού και μετά πάτημα του κουμπιού AUTOSSET.
- 3) Έλεγχος αν το σχήμα της απεικονιζόμενης κυματομορφής, αντιστοιχεί σε κάποιο από τα παρακάτω σχήματα:



Εικόνα 22: φαινόμενο υποαντιστάθμισης



Εικόνα 23: φαινόμενο υπεραντιστάθμισης



Εικόνα 24: φαινόμενο κανονικής αντιστάθμισης

Στα παραπάνω σχήματα παρατηρείται η μεταβολή του πλάτους του πρότυπου σήματος όταν παρουσιάζεται φαινόμενο υποαντιστάθμισης (εικόνα 22), υπεραντιστάθμισης (εικόνα 23) και κανονικής αντιστάθμισης (εικόνα 24), κατά την διαδικασία ρύθμισης της μεταβλητής χωρητικότητας  $C1$ .

- 4) Αν η κυματομορφή αντιστοιχεί σε αυτή της εικόνας 22 ή 23, τότε απαιτείται ρύθμιση του probe με ένα κατσαβίδι, μέχρι να εμφανιστεί η κυματομορφή της εικόνας 24.

Να σημειωθεί ότι με το DEFAULT SETUP, η προεπιλεγμένη θέση του Probe Attenuation στον παλμογράφο είναι 10x. Επίσης, όταν ο διακόπτης Attenuation στο probe P2200 είναι στη θέση 1x, τότε το probe περιορίζει το bandwidth του παλμογράφου στα 7MHz. Για να χρησιμοποιηθεί όλο το bandwidth (200MHz) του παλμογράφου πρέπει να ο διακόπτης Attenuation του probe είναι στη θέση 10x. Τέλος, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα, όταν ο διακόπτης Attenuation στο probe elc s110 (αυτό το probe διαθέτει το εργαστήριο) είναι στη θέση 1x, τότε το probe περιορίζει το bandwidth του παλμογράφου στα 15MHz, ενώ όταν ο διακόπτης Attenuation του probe είναι στη θέση 10x το bandwidth φτάνει τα 150MHz.

Combined probe								
Reference	Position 1/1				Position 1/10			
	Lenght in meter	Freq. in MHz	Cap. in pF	Imp. in MΩ	Freq. in MHz	Cap. in pF	Imp. in MΩ	DC Voltage in Volts
S 110	1,2	15	47	oscillo.	150	15,5	10	600

### 3.5 Κατανόηση βασικών όρων ενός παλμογράφου

#### 3.5.1 Εύρος ζώνης

Το κυριότερο χαρακτηριστικό ενός παλμογράφου είναι το εύρος ζώνης συχνοτήτων του ενισχυτή κάθετης απόκλισης (bandwidth). Το εύρος ζώνης καθορίζει τη μέγιστη φασματική συχνότητα του σήματος που μπορεί να εφαρμοστεί στην είσοδο του παλμογράφου και να απεικονιστεί με ακρίβεια. Η μέγιστη συχνότητα του σήματος ξεκινά από τα 20MHz και φθάνει τα αρκετά 100αδες MHz στους σύγχρονους παλμογράφους. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην κυματομορφή του περιοδικού

σήματος που μετράται. Αν ο ενισχυτής κάθετης απόκλισης ενός παλμογράφου έχει εύρος ζώνης 20MHz και εφαρμοστεί στην είσοδό του ένας τετραγωνικός παλμός με συχνότητα μεγαλύτερη από τα 10MHz, τότε στην οθόνη του παλμογράφου θα απεικονιστεί μια ημιτονοειδής κυματομορφή με μικρή παραμόρφωση και συχνότητα 10MHz, αντί του τετραγωνικού παλμού. Αυτό οφείλεται στο φασματικό περιεχόμενο του τετραγωνικού παλμού, όπου εκτός από τη θεμελιώδη συχνότητα των 10MHz περιλαμβάνει ένα άπειρο πλήθος από περιττές αρμονικές. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η θεμελιώδης και οι τρεις πρώτες αρμονικές συνεισφέρουν περίπου στο 95% του τετραγωνικού παλμού, προκύπτει ότι η μέγιστη συχνότητα των παλμικών σημάτων που μπορεί να απεικονίσει με ακρίβεια ο παλμογράφος των 20MHz, περιορίζεται μόλις στα 2MHz. Αντίθετα, μια ημιτονοειδής τάση με συχνότητα 20MHz θα απεικονιστεί με την ορθή μορφή, αλλά μ' ένα σφάλμα στο πλάτος  $-3\text{dB}$ , δηλαδή μικρότερη κατά το συντελεστή 0,707.

Συνοψίζοντας, ως εύρος ζώνης ορίζεται η διαφορά της μεγαλύτερης συχνότητας ενός φάσματος συχνοτήτων, μείον τη μικρότερη συχνότητα του φάσματος αυτού. Η μαθηματική παράσταση του εύρους ζώνης είναι:

$$BW = f_{\max} - f_{\min}$$

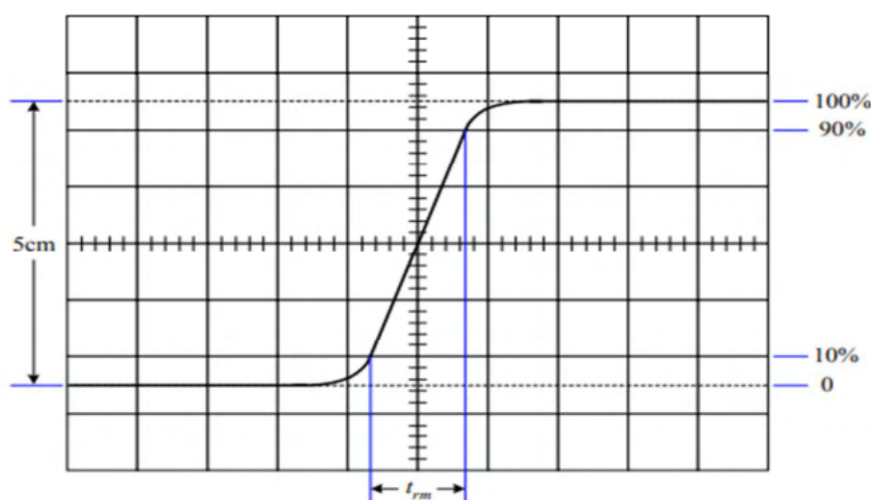
Πιο πρακτικά, όταν μιλάμε για εύρος ζώνης ουσιαστικά αναφερόμαστε στην περιοχή εκείνη του φάσματος συχνοτήτων μέσω της οποίας το σήμα περνά αναλλοίωτο από την είσοδο του πομπού στην έξοδο του δέκτη.

### 3.5.2 Χρόνος ανόδου

Ένα κριτήριο της παραμόρφωσης που εισάγει ο παλμογράφος στην απεικόνιση παλμικών σημάτων, είναι ο χρόνος ανόδου του ενισχυτή κάθετης απόκλισης. Ο χρόνος ανόδου μπορεί να είναι πιο κατάλληλος για την απόδοση όταν πρόκειται να



μετρηθούν παλμοί και βήματα. Ο χρόνος ανόδου ενός παλμού ορίζεται ως το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την άνοδο της τάσης του παλμού από το 10% στο 90% της τελικής τιμής. Αντίστοιχα, ο χρόνος ανόδου του παλμογράφου είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί για την ανύψωση της δέσμης από το 10% στο 90% της οθόνης. Ένας παλμογράφος δεν μπορεί να εμφανίσει με ακρίβεια παλμούς με χρόνους ανόδου ταχύτερους από τον καθορισμένο χρόνο ανόδου του παλμογράφου.



Εικόνα 25: Μέτρηση του χρόνου ανόδου ενός παλμού

### 3.5.3 Κάθετη ευαισθησία

Η κάθετη ευαισθησία υποδεικνύει πόσο ο κάθετος ενισχυτής μπορεί να ενισχύσει ένα ασθενές σήμα. Ουσιαστικά αναφέρεται στην κλίμακα τάσης του παλμογράφου. Ως γνωστόν, η οθόνη του παλμογράφου είναι χωρισμένη σε τετράγωνα σταθερών διαστάσεων. Έτσι η τιμή της κάθετης ευαισθησίας δείχνει την τάση που αντιστοιχεί στην κάθετη πλευρά κάθε μικρού τετραγώνου (δηλαδή στην κάθετη υποδιαίρεση της κλίμακας της τάσης). Για παράδειγμα, αν η κάθετη ευαισθησία ενός καναλιού αντιστοιχεί σε 2V, τότε η κάθετη πλευρά του τετραγώνου αντιστοιχεί σε 2V και όλη η οθόνη αντιστοιχεί σε 20V. Η μικρότερη τάση που μπορεί να ανιχνεύσει ένας

παλμογράφος γενικής χρήσης είναι συνήθως περίπου 1 mV ανά κατακόρυφη διαίρεση οθόνης.

#### **3.5.4 Ρυθμός δειγματοληψίας**

Ο ρυθμός δειγματοληψίας καθορίζει πόσες φορές ανά δευτερόλεπτο διαβάζεται ένα σήμα. Οι μέγιστοι ρυθμοί δειγματοληψίας δίδονται συνήθως σε megasamples ανά δευτερόλεπτο (MS / s). Όσο ταχύτερα μπορεί να δειγματίσει ο παλμογράφος, τόσο με μεγαλύτερη ακρίβεια μπορεί να αντιπροσωπεύει τις λεπτομέρειες σε ένα γρήγορο σήμα. Ο ελάχιστος ρυθμός δειγματοληψίας μπορεί επίσης να είναι σημαντικός εάν πρέπει να εξεταστούν αργά μεταβαλλόμενα σήματα για μεγάλες χρονικές περιόδους. Για παλμογράφους που έχουν περισσότερα από ένα κανάλια, αυτή η τιμή του ρυθμού δειγματοληψίας μπορεί να μειωθεί εάν χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα πολλά κανάλια.

#### **3.5.5 Μήκος εγγραφής**

Το μήκος εγγραφής, εκφράζεται ως ο αριθμός των σημείων που περιλαμβάνει ένα πλήρες αρχείο κυματομορφής, προσδιορίζει την ποσότητα δεδομένων που μπορούν να ληφθούν με κάθε κανάλι. Μιας και ένας παλμογράφος μπορεί να αποθηκεύσει μόνο έναν περιορισμένο αριθμό δειγμάτων, η διάρκεια (χρόνος) της κυματομορφής θα είναι αντιστρόφως ανάλογη προς το ρυθμό δειγματοληψίας του παλμογράφου

$$\text{Time interval} = \text{Record Length} / \text{Sample Rate}$$

#### **3.5.6 Γείωση**

Η γείωση του παλμογράφου είναι απαραίτητη για την ασφάλεια. Αν μια υψηλή τάση επικοινωνεί (έρθει σε επαφή) με μη γειωμένο παλμογράφο, οποιοδήποτε τμήμα αυτού, συμπεριλαμβανομένων των κουμπιών που φαίνονται μονωμένα, μπορεί να

προκαλέσει ηλεκτροσόκ στο χρήστη. Ωστόσο, με ένα σωστά γειωμένο παλμογράφο, το ρεύμα μετακινείται μέσω της γειωμένης διαδρομής στο έδαφος και όχι μέσω του χρήστη. Η γείωση του παλμογράφου επιτυγχάνεται συνδέοντάς τον με ένα ηλεκτρικά ουδέτερο σημείο αναφοράς (όπως γείωση). Σύνδεση του τριπλού καλωδίου τροφοδοσίας του παλμογράφου σε μια πρίζα γειωμένη στο έδαφος. Το κύκλωμα πρέπει να μοιράζεται το ίδιο έδαφος με τα κυκλώματα που δοκιμάζονται.

### **3.5.7 Μαθηματικές λειτουργίες**

Χρησιμοποιώντας τη δύναμη των εσωτερικών επεξεργαστών τους, οι ψηφιακοί παλμογράφοι προσφέρουν πολλές προηγμένες μαθηματικές λειτουργίες: πολλαπλασιασμό, διαίρεση, ολοκλήρωση, γρήγορο μετασχηματισμό Fourier, κ.α.

Ένας παλμογράφος μπορεί επίσης να έχει λειτουργίες για να επιτρέψει να γίνεται πρόσθεση κυματομορφών, δημιουργώντας στην οθόνη μια νέα κυματομορφή. Οι αναλογικοί παλμογράφοι συνδυάζουν τα σήματα ενώ οι ψηφιακοί δημιουργούν μαθηματικά νέες κυματομορφές. Η αφαίρεση των κυματομορφών είναι μια άλλη μαθηματική λειτουργία. Η αφαίρεση είναι δυνατή με τους αναλογικούς παλμογράφους χρησιμοποιώντας τη λειτουργία αναστροφής καναλιού σε ένα σήμα και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τη λειτουργία προσθήκης. Οι ψηφιακοί παλμογράφοι συνήθως διαθέτουν λειτουργία αφαίρεσης.

### **3.5.8 Άξονας Z**

Ένας ψηφιακός παλμογράφος φωσφόρου (DPO) έχει μια υψηλής πυκνότητας δείγματος ένδειξη και την εγγενή ικανότητα να καταγράφει πληροφορίες έντασης. Με τον άξονα έντασης (άξονας Z), ο DPO είναι σε θέση να παρέχει μια τρισδιάστατη εμφάνιση σε πραγματικό χρόνο παρόμοια με αυτή ενός αναλογικού παλμογράφου.

Κατά την παρατήρηση του ίχνους κυματομορφής σε έναν (DPO), είναι εμφανείς οι φωτισμένες περιοχές. Αυτές οι φωτισμένες περιοχές είναι οι περιοχές όπου ένα σήμα εμφανίζεται συχνότερα. Η ένδειξη αυτή διευκολύνει τη διάκριση του βασικού σχήματος του σήματος (από ένα παροδικό φαινόμενο που συμβαίνει μόνο μια στιγμή) - το βασικό σήμα θα φαίνεται πολύ φωτεινότερο. Μία εφαρμογή του άξονα Z είναι να τροφοδοτεί ειδικά χρονοσημάτα στην ξεχωριστή είσοδο Z για να δημιουργήσει τα φωτεινά σημεία "marker" σε γνωστά διαστήματα στην κυματομορφή.

### **3.5.9 Λειτουργία XYZ**

Οι DPO μπορούν να χρησιμοποιήσουν την είσοδο Z για να δημιουργήσουν μια οθόνη XY με διαβάθμιση έντασης. Σε αυτή την περίπτωση, ο DPO δειγματοληπτεί την στιγμιαία τιμή δεδομένων στην είσοδο Z και χρησιμοποιεί αυτή την τιμή για να ενδείξει ένα συγκεκριμένο τμήμα της κυματομορφής. Το XYZ είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την εμφάνιση των πολικών μοτίβων που χρησιμοποιούνται συνήθως στη δοκιμή συσκευών ασύρματης επικοινωνίας.

#### 4. Βιβλιογραφία

Καλοβρέκτης Κ, "Ηλεκτρονικά συστήματα μετρήσεων – Τεχνικές και διατάξεις ",  
Εκδόσεις Τζιόβα

Ομάδα Φυσικών ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ, "Καθοδικός παλμογράφος διπλής δέσμης " από το  
βιβλίο "Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσικής ΙΙ", Μακεδονικές Εκδόσεις

Ομάδα Φυσικών ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ, "Μετρήσεις με παλμογράφο " από το βιβλίο  
"Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσικής ΙΙ", Μακεδονικές Εκδόσεις

Πακτίτη Σ.Α, Ηλεκτρονικές μετρήσεις, Εκδόσεις ΙΩΝ, (1998).

Tektronix User Manual: TDS1000- and TDS2000- Series

Digital Storage Oscilloscope 071-1064-00

L. Quaranta, "Dictionnaire de physique experimentale: L' electricite", vol. 4.  
Pierron, 1996.

Manual Oscilloscope HM 303-4, HAMEG Instruments, Rohde & Schwarz GmbH &  
Co. KG, Munchen, Germany, 1995.

M. Nelkon and P. Parker, "Chapter 20: Electrons: Motion in Fields, The Cathode-Ray  
Oscilloscope", in Advanced Level Physics, Heinemann Educational, 1995

Braian Costello, "Graphical Interface Concept for a Signal Detection Process"

In-House Technical Memorandum, February 2003

P. Benneff, " *Electronic Products*", 1993

Wang Lijun, Liu yue, Huang Yong-liang, "Virtual Signal Generator and Oscilloscope Design Based on the Lab VIEW [J]", *Journal of North China Institute*, vol. 3, 2010.