

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ  
Χ. Γ. ΜΠΑΧΑΡΙΔΗΣ

## ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΣ

Ο παλμογράφος είναι το πιο πολύπλοκο όργανο που θα συναντήσει ένας φοιτητής στα εργαστήρια ηλεκτρισμού. Η πλήρης εκμάθηση του απαιτεί χρόνο και θέληση. Θα πρέπει πέραν του βοηθήματος αυτού οι φοιτητές να δώσουν μεγάλη προσοχή στα λεγόμενα του διδάσκοντα του εργαστηριακού μαθήματος που θα αφορούν στη χρήση του παλμογράφου.

Όπως είδαμε η γεννήτρια είναι ένα όργανο που παράγει κυματομορφές, δηλαδή χρονικά μεταβαλλόμενου μέτρου τάσεις. Ο παλμογράφος είναι ένα όργανο ικανό να μετατρέψει σε ζωντανή εικόνα μια κυματομορφή και όχι μόνο. Αυτή η ικανότητα του μας επιτρέπει να κάνουμε μετρήσεις σε φυσικά μεγέθη που αφορούν στην προβαλλόμενη κυματομορφή, όπως το συνολικό πλάτος της το οποίο εκφράζουμε σε  $V$  και τη χρονική της εξέλιξη μετρώντας την περίοδο, σε  $S$ , αν πρόκειται για περιοδικά μεταβαλλόμενη τάση, ή το πλάτος της για οποιαδήποτε χρονική στιγμή της εξέλιξης της. Άρα ένας παλμογράφος είναι και ένα θαυμάσιο μετρητικό όργανο το οποίο εξασφαλίζει μετρήσεις τάσης και χρόνου. Για να απεικονίσει μια χρονικά μεταβαλλόμενου μέτρου τάση χρησιμοποιεί μια οθόνη όπως αυτή που συναντούμε στους Η.Υ. στις τηλεοράσεις και αλλού. Στους παλμογράφους του εργαστηρίου οι οθόνες τους είναι τύπου καθοδικών ακτίνων CRT's, Cathode Ray Tubes. Στο εσωτερικό του, ειδικά σχεδιασμένα ηλεκτρονικά κυκλώματα εξασφαλίζουν την επεξεργασία μιας κυματοφορφής με τέτοιο τρόπο ώστε αυτή να προβληθεί στην οθόνη του ως ένα γραμμικά κινούμενο φωτεινό στίγμα, το οποίο δημιουργείται από μια επιταχυνόμενη δέσμη ηλεκτρονίων η οποία προσπίπτει στην εσωτερική πλευρά τις οθόνης που είναι επιστρωμένη με μια φωσφορίζουσα ουσία.

Στο εσωτερικό της CRT οθόνης ενός παλμογράφου, κατάλληλη ηλεκτρονική διάταξη, φροντίζει για την παραγωγή, εστίαση και επιτάχυνση ηλεκτρονίων τα οποία υπό μορφή δέσμης προσπίπτουν στην φωσφορίζουσα επιφάνεια και προκαλούν έκκληση φωτονίων, στο σημείο πρόσπτωσης, τα οποία γίνονται ορατά από τον χειριστή του οργάνου. Αν η δέσμη παραμείνει ακίνητη σε ένα σημείο επί της οθόνης, θα έχουμε ένα ακίνητο φωτεινό στίγμα αντίστοιχα. Αντιθέτως, αν με κάποιο τρόπο κινήσουμε την δέσμη, δημιουργώντας απόκλιση των ηλεκτρονίων από την αρχική τους κατεύθυνση, θα παρατηρήσουμε και αντίστοιχη μετακίνηση του φωτεινού

στίγματος. Αν η μετακίνηση αυτή είναι χρονικά αργή, θα προκαλεί αντίστοιχα αργή κίνηση του φωτεινού στίγματος επί της οθόνης και αν επιταχύνουμε την διαδικασία αυτή, μετά από κάποιο όριο, το φωτεινό στίγμα θα μετατραπεί σε μια φωτεινή γραμμή. Στον παλμογράφο η δέσμη των ηλεκτρονίων είναι ικανή να κινηθεί τόσο οριζοντίως όσο και καθέτως επί της οθόνης εξασφαλίζοντας την σάρωση της, όπως συνήθως αποκαλείται.

Ένας παλμογράφος όπως όλα τα ηλεκτρικά όργανα διαθέτει ένα διακόπτη, τοποθετημένο συνήθως στην πρόσοψη του, μέσω του οποίου τίθεται σε λειτουργία. Μια φωτεινή ένδειξη επί της οθόνης του θα εμφανιστεί μετά από μερικά δευτερόλεπτα και όχι άμεσα.

Οι παλμογράφοι του εργαστηρίου ηλεκτρισμού είναι δυο καναλιών πράγμα που σημαίνει ότι είναι ικανοί να δεχθούν και να προβάλουν δυο ανεξάρτητες μεταξύ τους κυματομορφές. Για το σκοπό αυτό έχουν δυο εισόδους μέσω θηλυκών βυσμάτων τύπου BNC. Τα δυο κανάλια του οργάνου χαρακτηρίζονται ως CH1 ή X και CH2 ή Y. Κάθε ένα από αυτά τα κανάλια είναι εξοπλισμένο με τα παρακάτω βοηθήματα.

**Βύσμα εισόδου τύπου BNC, INPUT**

Διακόπτη τριών θέσεων επιλογής του τρόπου με τον οποίο ο παλμογράφος συνδέεται ή όχι με μια πηγή κυματομορφών. Υπάρχουν οι εξής επιλογές : AC, GND και DC, κάθε μια από αυτές τις επιλογές αφορά στα εξής : Η επιλογή GND γείωση, διατηρεί την είσοδο του οργάνου σε μηδενικό δυναμικό, όσο είναι εξ ορισμού το δυναμικό της γείωσης. Η επιλογή αυτή δεν επηρεάζει καθόλου την μετρούμενη κυματομορφή ή τάση και άρα το μετρούμενο εξωτερικό κύκλωμα ή γεννήτρια. Η επιλογή DC, Direct Current, επιτρέπει στον παλμογράφο να απεικονίζει και συνεχείς συνιστώσες τάσεως ή να εμφανίζει επί της οθόνης του με ξεκάθαρο τρόπο την υπέρθεση μιας κυματομορφής και μιας συνεχούς τάσης. Τέλος η επιλογή AC, Alternate Current γίνεται με σκοπό να αποκοπεί οποιαδήποτε συνεχή συνιστώσα επιτρέποντας στον παλμογράφο να απεικονίζει μόνο χρονικά μεταβαλλόμενες τάσεις. Στην περίπτωση της υπέρθεσης συνεχούς τάσεως και κυματομορφής η επιλογή αυτή θα έχει ως αποτέλεσμα να προβληθεί επί της οθόνης μόνο η κυματομορφή.

Περιστροφικό επιλογέα 10 θέσεων για την επιλογή της κλίμακας τάσεως, που αφορά στο τρόπο με τον οποίο ο παλμογράφος προβάλλει την κυματομορφή. VOLTS/DIV

Περιστροφικό χειριστήριο με το οποίο μπορούμε να μετακινήσουμε την δέσμη και άρα την προβαλλόμενη κυματομορφή κατακόρυφα επί της οθόνης, POSITION VERTICAL.

Παρατηρούμε ότι η οθόνη του παλμογράφου διαθέτει χάραξη η οποία δημιουργεί πανομοιότυπα τετράγωνα. Το μήκος της πλευράς ενός τέτοιου τετραγώνου, τόσο οριζοντίως όσο και καθέτως, ονομάζεται DIVISION. Υπάρχουν δυο έντονα σχεδιασμένες γραμμές οι οποίες διασταυρώνονται στο κέντρο της επιφάνειας της οθόνης. Οι γραμμές αυτές έχουν επιπρόσθετη χάραξη η οποία δημιουργεί 5 υποδιαιρέσεις ανά μήκος πλευράς τετραγώνου. Η οριζόντια γραμμή, όπως βλέπουμε την οθόνη, αφορά σε χρόνο ενώ η κάθετη γραμμή σε τάση. Το μήκος της πλευράς των τετραγώνων αυτών αποτελεί την βασική μονάδα μέτρησης του χρόνου στον οριζόντιο άξονα και της τάσης στον κατακόρυφο άξονα, κατά αυθαίρετο τρόπο αρχικά. Οι αυθαίρετες αυτές μονάδες χρόνου και τάσης γίνονται συγκεκριμένες χρησιμοποιώντας τους περιστροφικούς επιλογείς TIME/DIV και VOLTS/DIV αντίστοιχα.

Ένα από τα βασικότερα εσωτερικά ηλεκτρονικά κυκλώματα του παλμογράφου καλείτε γεννήτρια οριζοντίου σάρωσης η οποία φροντίζει ώστε η δέσμη των ηλεκτρονίων στο εσωτερικό της οθόνης, να μετακινείται οριζοντίως μεταξύ των δυο άκρων της. Αυτή η διαδικασία γίνεται αυτόματα και δεν επηρεάζεται από την κυματομορφή που θέλουμε να απεικονίσουμε. Επηρεάζει όμως σημαντικά την μορφή και την ορθότητα της προβαλλόμενης εικόνας της κυματομορφής. Η αυτόματη αυτή σάρωση γίνεται βάση χρόνου τον οποίο μπορούμε να επιλέξουμε με τον περιστροφικό επιλογέα TIME/DIV, ο παλμογράφος δε, είναι με τέτοιο τρόπο σχεδιασμένος και ρυθμισμένος ώστε η επιλογή αυτή να μας δίνει άμεσα την αντιστοιχία ενός οριζοντίου Division και χρόνου. Αν περιστρέψουμε το TIME/DIV στη θέση 1mS τότε κάθε ένα οριζόντιο Division αντιστοιχεί σε χρόνο ενός μιλισεκόντ και κάθε μια από τις 5 επιπρόσθετες υποδιαιρέσεις του, στο 1/5 του μιλισεκόντ.

Ανάλογη λογική ισχύει και για τον κατακόρυφο άξονα που αφορά σε τάση. Εδώ το χειριστήριο VOLTS/DIV είναι αυτό που θα καθορίσει το μέτρο της τάσης ανά ένα Division επί της οθόνης. Αν περιστρέψουμε το χειριστήριο αυτό στη θέση 0,2V τότε κάθε ένα κατακόρυφο Division της οθόνης θα αντιστοιχεί σε τάση ίση με 0,2 βολτ ή 200 μιλιβόλτ και κάθε μια από τις 5 επί μέρους υποδιαιρέσεις του, στο 1/5 των 200 μιλιβόλτ άρα σε 40 μιλιβόλτ. Για να απεικονίσουμε μια κυματομορφή στην οθόνη του παλμογράφου πρέπει να ακολουθήσουμε αρχικά τα ακόλουθα βήματα.

Πριν τον θέσουμε σε λειτουργία και συνδέσουμε σε κάποια είσοδο του μια γεννήτρια κυματομορφών επιλέγουμε γείωση στις εισόδους του, περιστρέφουμε τα VOLTS/DIV τελείως αριστερά επιλέγοντας 5V/DIV. Περιστρέφουμε το TIME/DIV στο μέσον περίπου των δυνατών επιλογών του. Στην πάνω δεξιά γωνία της πρόσοψης του οργάνου, υπάρχουν δυο διακόπτες που αφορούν στην λειτουργία και στις επιλογές του Trigger. Στον διακόπτη με σήμανση MODE επιλέγουμε τη θέση Auto και σε εκείνον με σήμανση SOURCE την θέση Internal, περιστρέφουμε δε το χειριστήριο LEVEL στο μέσον περίπου της συνολικής διαδρομής του. Όσα περιστροφικά χειριστήρια έχουν την σήμανση CAL τα περιστρέφουμε τελείως προς τα δεξιά, δηλαδή στη θέση CAL. Όλα τα περιστροφικά χειριστήρια που αφορούν σε μετακίνηση της κυματομορφής επί της οθόνης, τόσο οριζοντίως όσο και καθέτως, που έχουν την σήμανση POSITION, τα περιστρέφουμε στο μέσον περίπου της συνολικής τους διαδρομής.

Για απεικόνιση μιας κυματομορφής μας χρειάζεται ένα μόνο κανάλι, έστω το κανάλι 1. Συνδέουμε στην είσοδο του καναλιού 1 την γεννήτρια χρησιμοποιώντας καλώδια του εργαστηρίου και το ειδικό βοήθημα σύνδεσης.

Επιλέγουμε με τον περιστροφικό διακόπτη MODE την θέση CH1 και ακριβώς από κάτω, στον μοχλοτό διακόπτη INT TRIGGER επιλέγουμε επίσης την θέση CH1.

Θέτουμε τον παλμογράφο σε λειτουργία.

Θέτουμε την γεννήτρια σε λειτουργία ρυθμίζοντας αρχικά το Volume στην ελάχιστη θέση, περιστρέφοντας το τελείως προς τα αριστερά. Επιλέγουμε ημιτονική κυματομορφή και συχνότητα 1000Hz.

Επιλέγουμε ζεύξη εισόδου τύπου AC στην είσοδο CH1 του παλμογράφου.

Περιστρέφοντας τώρα το Volume της γεννήτριας προς τα δεξιά θα πρέπει να δούμε 'κάτι φωτεινό' στην οθόνη του παλμογράφου. Μπορούμε να βελτιώσουμε την εικόνα της ημιτονικής κυματομορφής αλλάζοντας την θέση του VOLTS/DIV και του TIME/DIV. Αν η παρατηρούμενη κυματομορφή δεν είναι σταθερή αλλά ομοιάζει σαν να κινείται προς τα δεξιά ή τα αριστερά επί της οθόνης μπορούμε να περιστρέψουμε το LEVEL στο Trigger έως ότου την σταθεροποιήσουμε.

Για την απεικόνιση δυο καναλιών ακολουθούμε την πιο πάνω διαδικασία η οποία τώρα θα αφορά και στο κανάλι 2, CH2, στην είσοδο του οποίου θα

πρέπει να συνδέσουμε μια δεύτερη γεννήτρια ή οποιαδήποτε άλλη πηγή κυματομορφής.

Επιλέγουμε με τον περιστροφικό διακόπτη MODE, την θέση ALT και ακριβώς από κάτω, τον μοχλοτό διακόπτη INT TRIGGER διατηρούμε στην θέση CH1. Αν θέλαμε να χρησιμοποιήσουμε, όπως προηγουμένως, μόνο το CH2 του παλμογράφου θα έπρεπε να επιλέξουμε με τον περιστροφικό διακόπτη MODE την θέση CH2 και στον διακόπτη INT TRIGGER την θέση CH2 επίσης.

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω για να σταθεροποιηθεί μια κυματομορφή στην οθόνη του παλμογράφου ίσως χρειαστεί να μεταβάλουμε το LEVEL του Trigger. Επειδή σε μια κυματομορφή έχουμε μεταβολή του πλάτους μιας τάσης σε συνάρτηση με τον χρόνο, ο παλμογράφος διαθέτει την διάταξη του Trigger με τα αντίστοιχα χειριστήρια ρυθμίσεων, ώστε η εσωτερική γεννήτρια οριζοντίου σάρωσης να μπορεί να συγχρονιστεί με τις χρονικές αυτές μεταβολές. Η διάταξη του Trigger είναι ικανή να συγχρονίσει τον παλμογράφο χρησιμοποιώντας ένα κανάλι εισόδου κάθε φορά, όχι και τα δυο ταυτοχρόνως. Για τον λόγο αυτό διαθέτει τον διακόπτη επιλογής INT Trigger με τον οποίο επιλέγουμε σε ποιο από τα δυο κανάλια θα γίνει ο συγχρονισμός. Με τις επιλογές του Trigger για τον συγχρονισμό του παλμογράφου γίνεται εύκολη η διαδικασία μέτρησης της διαφοράς χρόνου που μπορεί να υπάρχει στην εμφάνιση δυο κυματομορφών οι οποίες είναι μεταξύ τους σχετικές. Σαν παράδειγμα αναφέρουμε την μέτρηση διαφοράς φάσης μεταξύ δυο ημιτονικών κυματομορφών που αφορούν στη μελέτη ενός κυκλώματος αντίστασης – πυκνωτή ή αντίστασης – πηνίου ή κυκλώματος RLC συντονισμού, σαν αυτά στα οποία οι φοιτητές θα ασκηθούν στο εργαστήριο.

Σας εύχομαι καλή επιτυχία υπενθυμίζοντας σας ότι κανένα παρόμοιο βοήθημα δεν μπορεί να υποκαταστήσει την φυσική παρουσία και τα λεγόμενα του διδάσκοντα του εργαστηριακού μαθήματος.

Χ. Γ. Μπαχαρίδης

Αύγουστος 2013