

ΑΣΚΗΣΗ 4^η

Παλμογράφος Διπλής Δέσμης

Μελέτη – ανάπτυξη: Ε. Χατζηκρανιώτης, Κ. Χρυσάφης

Ανασύνθεση: Δ. Ευαγγελινός, Ο. Βαλασιάδης

ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΣ ΔΙΠΛΗΣ ΔΕΣΜΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

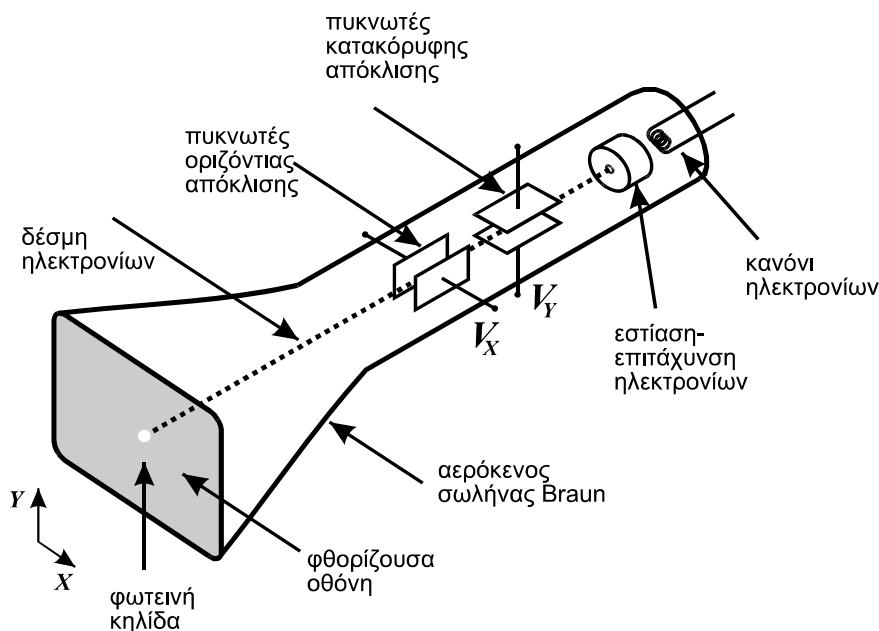
(Μετρήσεις πλάτους, συχνότητας και φάσης ημιτονικών σημάτων)

ΜΕΡΟΣ Α: ΕΞΟΙΚΕΙΩΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟ

1. Εισαγωγή – Αρχή λειτουργίας του παλμογράφου

Ο παλμογράφος είναι μια συσκευή που επιτρέπει την παρατήρηση και μέτρηση συνεχών (DC) και εναλλασσομένων (AC) ηλεκτρικών τάσεων και κυματομορφών, τα οποία στην ηλεκτρονική γενικά ονομάζονται **σήματα**. Τα σήματα είναι συναρτήσεις του χρόνου, και άρα παριστάνονται με μια γραφική παράσταση $V = V(t)$. Συνεπώς ένας παλμογράφος πρέπει να έχει την δυνατότητα να απεικονίζει ταυτόχρονα και την στιγμιαία τιμή της τάσης και τον χρόνο. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση του σωλήνα Braun (Σχήμα 1), ο οποίος αποτελεί το βασικό στοιχείο του παλμογράφου.

Ο σωλήνας Braun είναι μία αερόκενη λυχνία που λειτουργεί ως εξής:



Σχήμα 1: Σωλήνας Braun μονής δέσμης.

Στο πίσω μέρος του σωλήνα Braun παράγεται μια δέσμη ηλεκτρονίων από το λεγόμενο “κανόνι ηλεκτρονίων”. Η δέσμη, αφού εστιαστεί και επιταχυνθεί, περνά από τους πυκνωτές κατακόρυφης και οριζόντιας απόκλισης, στους οποίους εφαρμόζονται αντίστοιχα τάσεις V_Y και V_X και στη συνέχεια πέφτει στην φθορίζουσα οθόνη, σχηματίζοντας μια φωτεινή κηλίδα. Ανάλογα με τις τάσεις που εφαρμόζονται στους πυκνωτές, τα ηλεκτρικά πεδία που δημιουργούνται αναγκάζουν την δέσμη να αποκλίνει κατακόρυφα ή και οριζόντια. Αποδεικνύεται εύκολα ότι η μετατόπιση της κηλίδας σε κάθε άξονα είναι ανάλογη προς την εφαρμοζόμενη τάση.

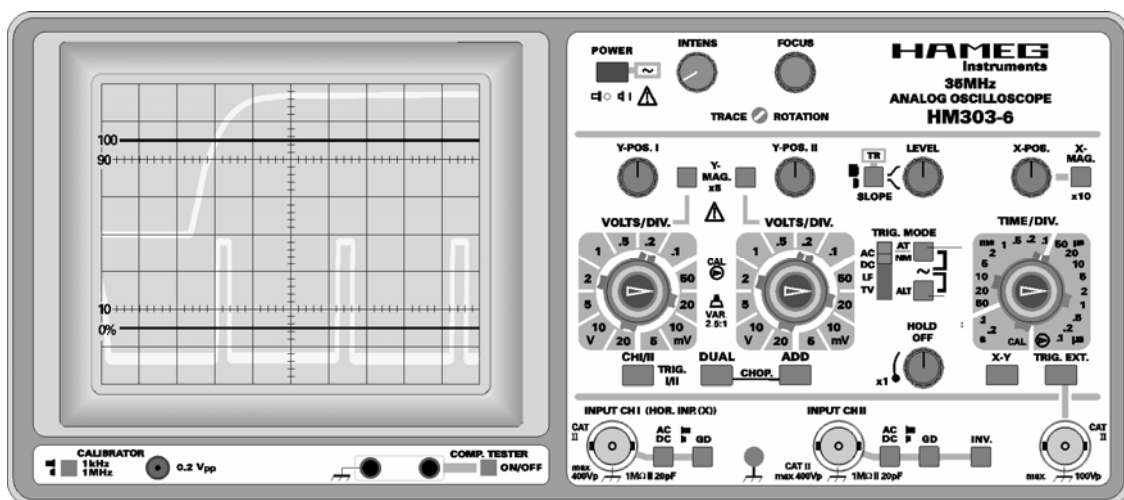
Αν στους πυκνωτές οριζόντιας απόκλισης εφαρμοστεί μια τάση V_X ανάλογη του χρόνου, και στους πυκνωτές κατακόρυφης απόκλισης το σήμα υπό μέτρηση, στην οθόνη του παλμογράφου η κηλίδα θα διαγράψει την συνάρτηση $V_Y = V(t)$ σαν να ήταν σχεδιασμένη σε χαρτί mm με

οριζόντιο άξονα τον χρόνο και κατακόρυφο την τάση. Επειδή ο παλμογράφος σε κάθε χρονική στιγμή παράγει μόνο μια φωτεινή κηλίδα, δηλαδή ένα σημείο της γραφικής παράστασης και όχι μια συνεχή καμπύλη, με μια κατάλληλη περιοδική τάση V_X αναγκάζουμε την κηλίδα να διαγράφει την οθόνη από άκρο σε άκρο συνεχώς και με μεγάλη συχνότητα, οπότε λόγω του φαινομένου του μετεϊκάσματος το μάτι βλέπει την κηλίδα σαν να διαγράφει μια συνεχή γραμμή. (Σημείωση: **Μετεϊκάσμα** ετυμολογικά σημαίνει *εικόνα που παραμένει μετά το ερέθισμα*: το είδωλο ενός αντικειμένου που σχηματίζεται στον αμφιβληστροειδή δε χάνεται αμέσως, αλλά παραμένει και μετά από την εξαφάνισή του, με αποτέλεσμα η εντύπωση της εικόνας να εξακολουθεί να διαρκεί ακόμη 1/16 περίπου του δευτερολέπτου πάνω στο οπτικό νεύρο, λόγω αδράνειας. Στο φαινόμενο αυτό στηρίζεται επίσης η αρχή λειτουργίας του κινηματογράφου και της τηλεόρασης, όπου πολλά φωτεινά στιγμιότυπα διαδέχονται το ένα το άλλο με ρυθμό 24 και 25 αντίστοιχα εικόνες το δευτερόλεπτο, ώστε, πριν ακόμα εξαφανιστεί το μετεϊκάσμα της μιας εικόνας, να έρχεται η επόμενη εικόνα, με αποτέλεσμα οι εικόνες αυτές να "συγχωνεύονται" και να δημιουργούν την ψευδαίσθηση της συνεχούς κίνησης).

Σημειωτέον ότι οι συνηθισμένες οθόνες τηλεόρασης (όχι οι επίπεδες) λειτουργούν ακριβώς με την ίδια ακριβώς αρχή λειτουργίας, μόνο που χρησιμοποιούνται τρεις δέσμες και τρία φωσφορίζοντα υλικά, για να παραχθούν τα τρία βασικά χρώματα RGB (κόκκινο, πράσινο και μπλε). Οι δέσμες διαγράφουν όλο το επίπεδο της οθόνης με μεγάλη συχνότητα, δίνοντας την ψευδαίσθηση της συνεχούς κίνησης.

Σύμφωνα με την παραπάνω αρχή λειτουργίας, τα βασικά μέρη του παλμογράφου είναι ο σωλήνας Brown, η φθορίζουσα οθόνη, οι ακροδέκτες εισόδου για τις τάσεις V_X και V_Y και τα ρυθμιστικά για την ενίσχυση των σημάτων και την απεικόνιση της δέσμης. Υπάρχουν παλμογράφοι *μονής δέσμης* (V_Y) και *διπλής δέσμης* (V_{Y1} , V_{Y2}) ανάλογα με το πόσες δέσμες ηλεκτρονίων παράγονται στον σωλήνα Brown. Οι παλμογράφοι διπλής δέσμης διαθέτουν δεύτερο κανόνι ηλεκτρονίων και ανεξάρτητους πυκνωτές οριζόντιας και κατακόρυφης απόκλισης για τον έλεγχο της δεύτερης δέσμης. Οι παλμογράφοι του Γενικού Εργαστηρίου είναι διπλής δέσμης, και συνεπώς μπορούν να απεικονίσουν συγχρόνως δύο σήματα, τα οποία συνηθίζεται να ονομάζονται **σήμα I** και **σήμα II**.

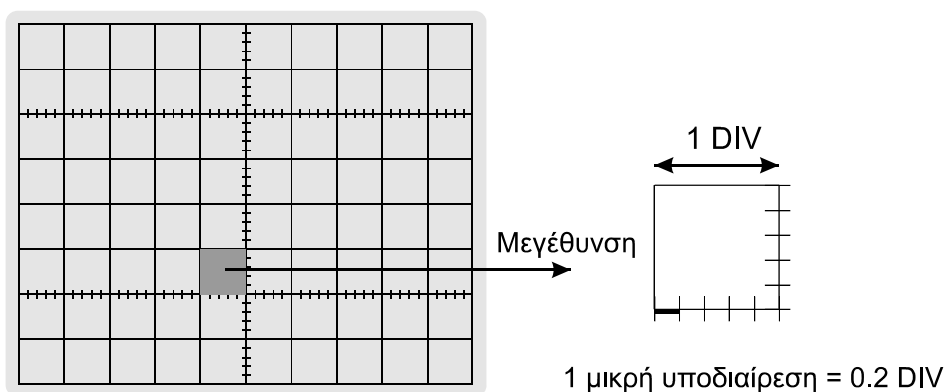
2. Ο Παλμογράφος διπλής δέσμης HAMEG HM303-6



Σχήμα 2α: Ο παλμογράφος διπλής δέσμης Hameg HM3-3-6

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2α, στο αριστερό μέρος της πρόσοψης του παλμογράφου βρίσκεται η οθόνη του, ενώ στο δεξί μέρος βρίσκονται οι ακροδέκτες εισόδου και τα ρυθμιστικά για τα σήματα Ι και ΙΙ.

Επειδή ο παλμογράφος σε πρώτη ματιά είναι μια ιδιαίτερα πολύπλοκη συσκευή, η περιγραφή της λειτουργίας του θα γίνει σταδιακά. Πρώτα θα περιγραφούν οι βασικές λειτουργίες που είναι απαραίτητες για την απεικόνιση και μέτρηση σημάτων, και στην συνέχεια οι εξειδικευμένες ρυθμίσεις για την απεικόνιση σημάτων ιδιαίτερων περιπτώσεων.



Σχήμα 2β: Η οθόνη του παλμογράφου

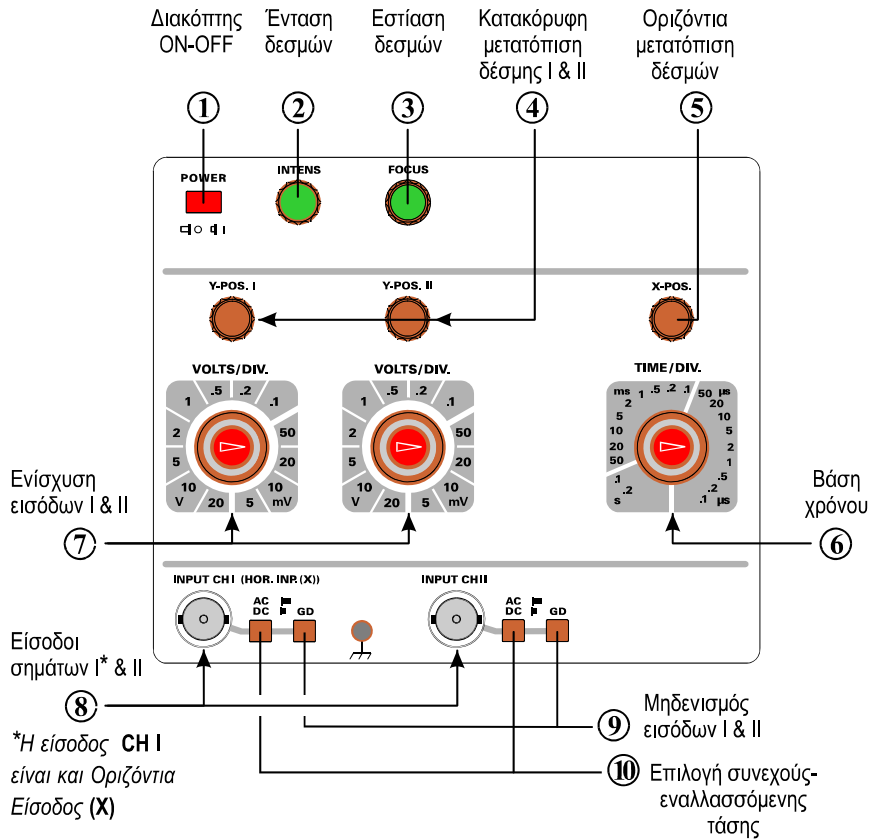
Η οθόνη του παλμογράφου (βλ. Σχήμα 2β) είναι χωρισμένη σε τετραγωνίδια, τα οποία αποκαλούνται υποδιαίρεσεις ή **DIV** (από το *Division* = υποδιαίρεση). Η πλευρά του τετραγώνου λαμβάνεται ως μονάδα μήκους για μετρήσεις πάνω στην οθόνη. Υπάρχουν 10 τετραγωνίδια (10 DIV) στην οριζόντια διεύθυνση και 8 (8 DIV) στην κατακόρυφη. Οι κεντρικοί άξονες της οθόνης έχουν 5 μικρότερες υποδιαίρεσεις ανά τετραγωνίδιο οι οποίες υποβοηθούν την εκτίμηση μηκών μικρότερων από το 1 DIV.

Το δεξί μέρος της πρόσοψης του παλμογράφου είναι χωρισμένο σε τρεις οριζόντιες ζώνες (βλ. Σχήμα 3), οι οποίες περιλαμβάνουν τα ρυθμιστικά φωτεινότητας και εστίασης της δέσμης (πάνω μέρος), τα ρυθμιστικά απεικόνισης του σήματος στην οθόνη (μεσαίο μέρος) και τους ακροδέκτες εισόδου (κάτω μέρος).

2.1. Βασικές ρυθμίσεις και χειρισμοί του παλμογράφου

Σαν **βασικοί χειρισμοί** του παλμογράφου θεωρούνται αυτοί που επιτρέπουν την απεικόνιση και μέτρηση ενός απλού σήματος π.χ. μιας ημιτονικής κυματομορφής. Στα επόμενα περιγράφονται οι χειρισμοί αυτοί, οι οποίοι περιλαμβάνουν:

- α) αρχικές ρυθμίσεις που θέτουν τον παλμογράφο στην βασική κατάσταση λειτουργίας μιας δέσμης, ώστε να εξασφαλίζεται ο εύκολος εντοπισμός της δέσμης
- β) την ρύθμιση της φωτεινότητας και της εστίασης της δέσμης
- γ) την ρύθμιση της οριζόντιας και κατακόρυφης θέσης της δέσμης
- δ) την επιλογή κατάλληλης ενίσχυσης του σήματος κατά τον άξονα Y
- ε) την επιλογή κατάλληλης βάσης χρόνου
- δ) την διεξαγωγή μετρήσεων.











Σχήμα 3: Βασικά ρυθμιστικά λειτουργίας του παλμογράφου

Όνομασία		Περιγραφή λειτουργίας
1	POWER	Διακόπτης τροφοδοσίας ON (πατημένος) – OFF (απάτητος)
2	INTENS	Καθορίζει την ένταση φωτεινότητας των κηλίδων
3	FOCUS	Καθορίζει την εστίαση των κηλίδων
4	Y-POS. I & II	Μετακινεί κατακόρυφα τις κηλίδες I και II αντίστοιχα
5	X-POS.	Μετακινεί οριζόντια τις κηλίδες I και II συγχρόνως
6	TIME/DIV.	Επιλέγει την βάση χρόνου , δηλ. την κλίμακα χρόνων (πόσος χρόνος αντιστοιχεί σε κάθε οριζόντια υποδιαίρεση)
7	VOLTS/DIV I & II	Επιλέγει την κλίμακα τάσεων, δηλ. το πόση τάση αντιστοιχεί σε κάθε υποδιαίρεση στον άξονα Y
8	INPUT CH I & CH II	Ακροδέκτες σήματος εισόδων V_{Y1} και V_{Y2} αντίστοιχα. Η είσοδος CH I με κατάλληλη ρύθμιση γίνεται είσοδος σήματος X
9	GD (I & II)	Μηδενίζει (γειώνει – Ground) την ενίσχυση των εισόδων I & II αντίστοιχα: ενεργός (πατημένος) ή ανενεργός (απάτητος)
10	AC-DC	Επιλογή συνεχούς (DC) σύζευξης του σήματος ή μόνο της εναλλασσόμενης (AC) συνιστώσας του σήματος

2.2. Αρχικές ρυθμίσεις του παλμογράφου (Σχήμα 3)

Για να εξασφαλισθεί ότι θα μπορέσετε να δείτε σήματα στον παλμογράφο, επιβεβαιώστε ότι ισχύουν οι αρχικές ρυθμίσεις του παρακάτω πίνακα (οργανωμένες από πάνω προς τα κάτω και από αριστερά προς τα δεξιά):

Ρυθμιστικά/πλήκτρα	Θέση
INTENS, FOCUS	μέση θέση 
Y-POS. I, Y-POS. II, TR LEVEL και X-POS.	μέση θέση 
Y-MAG x 5, TR SLOPE, X-MAG.	έξω θέση (απάτητα) 
TRIG. MODE	LF
AT/NM και ALT	έξω θέση (απάτητα) 
τρία κόκκινα εσωτερικά περιστροφικά ρυθμιστικά των επιλογών VOLTS/DIV I, II και TIME/DIV	μέγιστη θέση (εντελώς δεξιά) 
CHI/II, DUAL, ADD, X-Y και TRIG. EXT.	έξω θέση (απάτητα) 
AC/DC, GD και INV (δίπλα στους ακροδέκτες εισόδου)	έξω θέση (απάτητα) 
COMP TESTER (κάτω δεξιά από την οθόνη)	έξω θέση (απάτητα) 

Οι παραπάνω ρυθμίσεις δεν πρέπει να αλλαγούν κατά την διάρκεια της άσκησης, εκτός εάν υπάρχει ειδική οδηγία.

2.3. Εμφάνιση της κηλίδας

Εκτελέστε τους παρακάτω χειρισμούς:

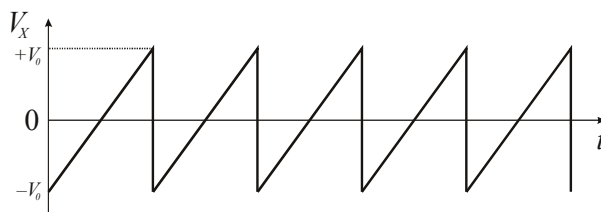
- Επιλέξτε κατακόρυφη ενίσχυση του σήματος από τον επιλογή VOLTS/DIV. I το **1 Volt/DIV**.
- Επιλέξτε βάση χρόνου από τον επιλογή TIME/DIV. τα **.2 sec** (ΣΗΜΕΙΩΣΗ: στα ρυθμιστικά του παλμογράφου το μηδέν πριν την υποδιαστολή παραλείπεται, οπότε τα 0.5, 0.2 και 0.1 αναγράφονται αντίστοιχα σαν .5, .2 και .1).
- Δώστε τροφοδοσία στον παλμογράφο με το κόκκινο πλήκτρο POWER. Το πράσινο ενδεικτικό λαμπάκι στα δεξιά του ανάβει και μετά από 15 δευτερόλεπτα περίπου θα δείτε στην οθόνη την κηλίδα να κινείται κατά τον οριζόντιο άξονα της οθόνης, από αριστερά προς τα δεξιά.
- Ρυθμίστε την φωτεινότητα (INTENS) και την εστίαση (FOCUS) της κηλίδας με τα πράσινα ρυθμιστικά έτσι ώστε να πάρετε μια εστιασμένη και φωτεινή κηλίδα. Η κηλίδα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη, αλλά ταυτόχρονα να είναι ευκρινής.
- Παρατηρήστε ότι τα ρυθμιστικά Y-POS. I και X-POS. επηρεάζουν αντίστοιχα την κατακόρυφη και οριζόντια θέση της κηλίδας.

Ο παλμογράφος είναι τώρα έτοιμος για χρήση.

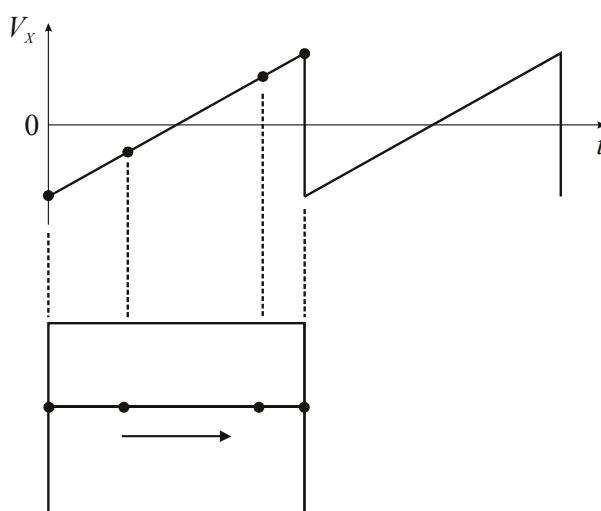
2.4. Οριζόντια απόκλιση της κηλίδας

Γιατί κινείται η κηλίδα; Σύμφωνα με τις ρυθμίσεις που έχετε κάνει στον παλμογράφο η κηλίδα διαγράφει συνεχώς το οριζόντιο εύρος της οθόνης από τα αριστερά προς τα δεξιά. Αυτό συμβαίνει γιατί μια εσωτερική γεννήτρια του παλμογράφου εφαρμόζει στον πυκνωτή οριζόντιας απόκλισης μια πριονωτή τάση, όπως αυτή του Σχήματος 4α.

Σχήμα 4α: Η εσωτερική πριονωτή τάση που εφαρμόζεται στον πυκνωτή οριζόντιας απόκλισης.



Σχήμα 4β: Αντιστοιχία της θέσης της κηλίδας στην οθόνη με την τιμή της εσωτερικής πριονωτής τάσης.



Κατά τον οριζόντιο άξονα η θέση της κηλίδας εξαρτάται από την εφαρμοζόμενη τάση, η οποία αυξάνει γραμμικά συναρτήσει του χρόνου (Σχήμα 4β). Συνεπώς η κηλίδα διαγράφει τον οριζόντιο άξονα με ευθύγραμμη ομαλή ταχύτητα.

Με ποια ταχύτητα κινείται η κηλίδα; Η ταχύτητα με την οποία η κηλίδα διαγράφει την οθόνη εξαρτάται από την περίοδο της πριονωτής τάσης, δηλαδή την θέση του επιλογέα TIME/DIV.. Με την ισχύουσα βάση χρόνου **0.2 sec/DIV**, η κηλίδα διαγράφει ένα DIV σε 0.2 sec, δηλαδή 5 DIV ανά δευτερόλεπτο, και τις 10 υποδιαιρέσεις της οθόνης σε 2 sec. Συνεπώς η περίοδος της πριονωτής κυματομορφής στο παράδειγμά μας είναι 10 sec.

Γνωρίζοντας την βάση χρόνου μπορούμε να μετρήσουμε οποιοδήποτε χρονικό διάστημα, όπως π.χ. την περίοδο ενός ημιτονικού σήματος, μετρώντας την οριζόντια απόσταση k_x ανάμεσα σε δύο διαδοχικές θέσεις της κηλίδας που βρίσκονται στην ίδια φάση. Την απόσταση k_x την μετράμε με ένα δεκαδικό ψηφίο, το οποίο εκτιμάμε με τη βοήθεια των υποδιαιρέσεων των τετραγωνιδίων. Αν η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ενός ημιτονικού σήματος κατά τον οριζόντιο άξονα είναι k_x και η βάση χρόνου είναι TIME/DIV, τότε προφανώς η περίοδος θα δίνεται από την έκφραση:

$$T = k_x \times [\text{ένδειξη του διακόπτη TIME/DIV}] \text{ (sec)} \quad (1)$$

Γυρίστε τον διακόπτη στη θέση από τη θέση **.2 sec/DIV** στο **.1 sec/DIV** και παρατηρείστε ότι η κηλίδα τώρα κινείται με διπλάσια ταχύτητα. Για κάθε επόμενη προς τα δεξιά θέση του διακόπτη, η κηλίδα κινείται όλο και πιο γρήγορα, ενώ από την θέση 10 ms/DIV και μετά πρακτικά βλέπουμε μια συνεχή γραμμή λόγω του μετρεϊκάσματος του οφθαλμού.

Στην περίπτωση λειτουργίας διπλής δέσμης, οι δύο δέσμες έχουν την ίδια βάση χρόνου.

2.5. Κατακόρυφη απόκλιση της κηλίδας

Η κατακόρυφη απόκλιση της κηλίδας προκαλείται από κάποια τάση που παράγεται εξωτερικά από τον παλμογράφο π.χ. από μια μπαταρία (συνεχής τάση) ή μια γεννήτρια συχνοτήτων (περιοδικά σήματα). Η εξωτερική αυτή τάση εφαρμόζεται στους πυκνωτές κατακόρυφης απόκλισης (βλ. Σχήμα 1) μέσω των ακροδεκτών εισόδου INPUT CH I (και INPUT CH II στην λειτουργία διπλής δέσμης) του παλμογράφου, αφού ενισχυθεί κατάλληλα με τα ρυθμιστικά VOLTS/DIV I και II (βλ. Σχήμα 3). Στην συνέχεια περιγράφεται η λειτουργία της γεννήτριας συχνοτήτων που θα χρησιμοποιήσουμε στην άσκηση.

ΜΕΡΟΣ Β: ΕΞΟΙΚΕΙΩΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

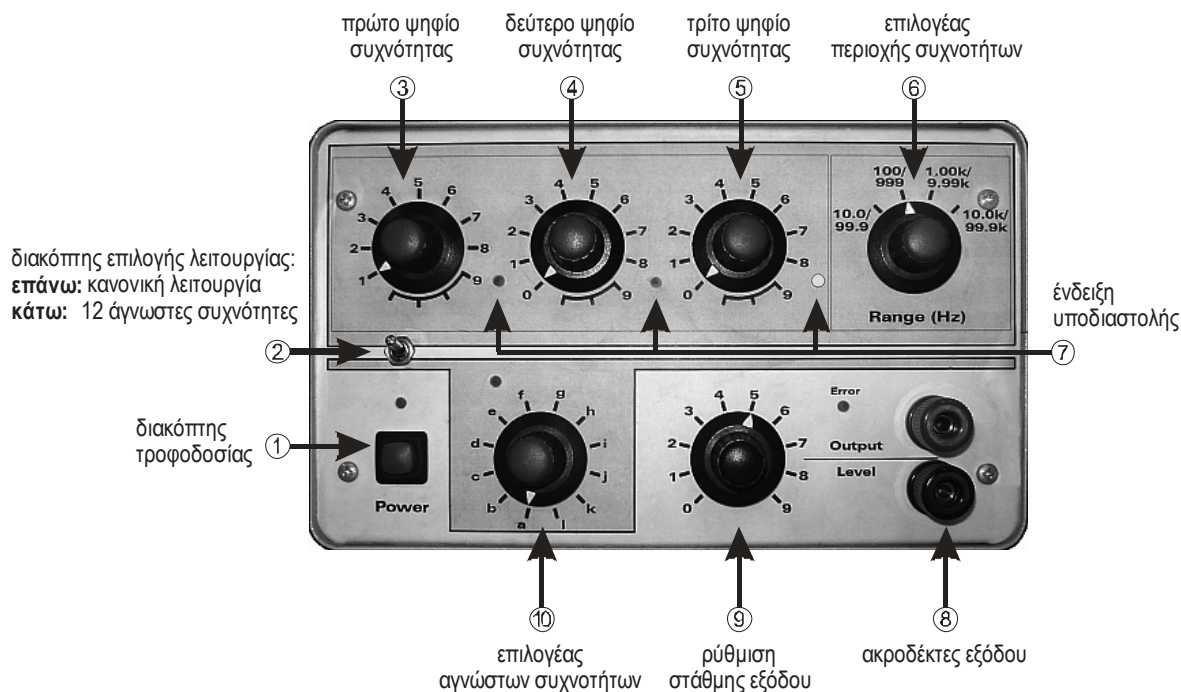
Στην άσκηση του Παλμογράφου χρησιμοποιούμε την γεννήτρια συχνοτήτων που φαίνεται στο Σχήμα 5, η οποία μπορεί να παράγει ημιτονικά και μόνο σήματα με συχνότητες 10.0 Hz έως 99.9 kHz. Οι συχνότητες χωρίζονται σε τέσσερις περιοχές, 10.0 – 99.9 Hz, 100 – 999 Hz, 1.00 – 9.99 kHz και 10.0 – 99.9 kHz, οι οποίες καθορίζονται από τον επιλογέα (6) της γεννήτριας (βλ. Σχ. 5).

Με τους επιλογείς (3), (4) και (5) της γεννήτριας επιλέγονται τα τρία ψηφία της τιμής της συχνότητας που θέλουμε να παραχθεί. Κάτω δεξιά από κάθε επιλογέα βρίσκονται τρία ενδεικτικά λαμπάκια (7). Ανάλογα με την επιλεγμένη περιοχή συχνοτήτων ανάβει ένα από αυτά και δείχνει την θέση της υποδιαστολής στην επιλεγμένη τιμή της συχνότητας. Για παράδειγμα, αν στους επιλογείς (3), (4) και (5) επιλέξουμε αντίστοιχα τιμές **4**, **6** και **8**, και περιοχή συχνοτήτων **1.00 – 9.99 kHz**, η συχνότητα που θα εμφανιστεί στους ακροδέκτες εξόδου θα είναι **4.68 kHz**, ενώ η υποδιαστολή θα ανάβει στο λαμπάκι δεξιά από το **4**. Με τις ρυθμίσεις που φαίνονται στο Σχήμα 5, η γεννήτρια παρέχει σήμα 100 Hz, ενώ ανάβει το τρίτο ενδεικτικό λαμπάκι υποδιαστολής.

Προφανώς, για να επιλέξετε μία συγκεκριμένη τιμή συχνότητας στην γεννήτρια, πρέπει πρώτα να επιλέξετε την σωστή περιοχή συχνοτήτων με τον επιλογέα (6) και στη συνέχεια την τιμή της συχνότητας με τους επιλογείς (3), (4) και (5).

Πρέπει να επισημανθεί ότι ενώ η γεννήτρια παρέχει συχνότητες με πιστότητα καλύτερη από $\pm 0.1\%$, αυτό δεν ισχύει για το πλάτος του σήματος. Οι τιμές από το μηδέν έως το 9 τις οποίες φέρει ο επιλογέας στάθμης του σήματος δεν αντιστοιχούν σε τιμές πλάτους σε Volts. Το μέγιστο πλάτος του σήματος που μπορεί να δώσει η γεννήτρια είναι περίπου 4.1 Volt. Αν μας ζητηθεί το πλάτος του σήματος να είναι π.χ. 2 Volt, αυτό σημαίνει ότι πρέπει να μετρήσετε το πλάτος με τον παλμογράφο, ο οποίος έχει πιστότητα στην μέτρηση τάσης της τάξης του $\pm 3\%$.

Παρόλο που η ένδειξη του πλάτους στη γεννήτρια είναι ενδεικτική, η τάση εξόδου παραμένει σταθερή για όλες τις συχνότητες που παρέχει η γεννήτρια.



Σχήμα 5: Γεννήτρια συχνότητων

A/A	Περιγραφή λειτουργίας ρυθμιστικών γεννήτριας συχνότητων
1	Διακόπτης τροφοδοσίας και ενδεικτικό λαμπάκι λειτουργίας
2	Διακόπτης επιλογής τρόπου λειτουργίας της συσκευής: επάνω θέση: κανονική λειτουργία σαν γεννήτρια συχνότητων κάτω θέση: παρέχει 12 αγνώστες συχνότητες a – l σε συνδυασμό με τον επιλογέα (10)
3 – 4 – 5	Διακόπτες επιλογής του πρώτου (3), δεύτερου (4) και τρίτου (5) κατά σειρά ψηφίου της συχνότητας
6	Διακόπτης επιλογής περιοχής συχνότητας – Range (Hz) 10.0 – 99.9 Hz, 100 – 999 Hz, 1.00 – 9.99 kHz ή 10.0 – 99.9 kHz
7	Φωτεινή ένδειξη της υποδιαστολής στην τιμή της συχνότητας
8	Ακροδέκτες εξόδου του σήματος (ο μαύρος είναι η γείωση) – Output Level
9	Ρυθμιστής πλάτους του ημιτονικού σήματος στην έξοδο (ενδεικτική τιμή)
10	Διακόπτης επιλογής 12 συχνότητων αγνώστου τιμής (a – l)

ΜΕΡΟΣ Γ: ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΟΝ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟ

1. Μετρήσεις συχνότητας και πλάτους ημιτονοειδών σημάτων

Ένα σήμα συνήθως το συνδέουμε στον παλμογράφο στο πρώτο κανάλι V_{Y1} (στην πρώτη δέσμη) μέσω του ακροδέκτη εισόδου INPUT CH. I, χρησιμοποιώντας ένα ομοαξονικό βύσμα τύπου BNC. Το βύσμα αυτό είναι παρόμοιο με αυτό του καλωδίου κεραίας τηλεόρασης, και επιτρέπει την σύνδεση σημάτων που μεταφέρονται με ομοαξονικά καλώδια, τα οποία αποτελούνται από έναν κεντρικό μονωμένο αγωγό και μία περιφερειακή θωράκιση (το λεγόμενο “μπλεντάζ”). Το περίβλημα του βύσματος BNC συνδέεται με την θωράκιση και ο κεντρικός ακροδέκτης συνδέεται με τον κεντρικό αγωγό του καλωδίου. (Σημείωση: Στην ηλεκτρονική χρησιμοποιούνται σχεδόν πάντοτε τα ομοαξονικά καλώδια, επειδή προσφέρουν ηλεκτρομαγνητική θωράκιση στο μεταφερόμενο σήμα. Τα ειδικά καλώδια που χρησιμοποιούμε στην άσκηση στο ένα άκρο έχουν βύσμα BNC για σύνδεση με τον παλμογράφο, και στο άλλο καταλήγουν σε συνηθισμένους ακροδέκτες τύπου “μπανάνας”. Επειδή ο μαύρος ακροδέκτης συνδέεται με την θωράκιση του καλωδίου, τον συνδέουμε πάντοτε με την γείωση των εξωτερικών σημάτων που θέλουμε να μετρήσουμε.)

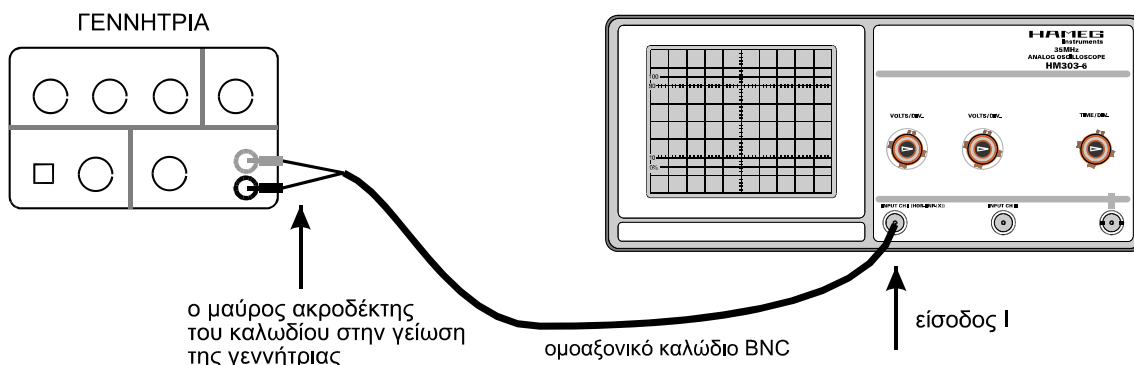
1.1. Μέτρηση συχνότητας

Στην συνέχεια θα επιχειρήσουμε να δούμε στον παλμογράφο μια ημιτονική κυματομορφή.

Στον παλμογράφο: Επιλέξτε σαν βάση χρόνου τα **0.2 ms/DIV** (θέση **.2 ms**). Ρυθμίστε την κατακόρυφη θέση της δέσμης (Y-POS. I) ώστε η δέσμη να διαγράφει το μέσον της οθόνης. Επιλέξτε ενίσχυση σήματος στην είσοδο I το **1 Volt/DIV**.

Στην γεννήτρια: Δώστε τροφοδοσία (πλήκτρο **POWER**), επιλέξτε περιοχή συχνοτήτων **1.00 – 9.99 kHz** και ρυθμίστε την για συχνότητα **1.00 kHz** (τα τρία ψηφία θα είναι αντίστοιχα **1, 0, 0**). Ρυθμίστε την τάση εξόδου (**Output Level**) στην θέση **4**.

Συνδέστε τώρα την γεννήτρια με τον παλμογράφο όπως στο Σχήμα 6 (τα χρώματα στους ακροδέκτες του καλωδίου και της γεννήτριας πρέπει να ταιριάζουν κόκκινο-κόκκινο και μαύρο-μαύρο).



Σχήμα 6: Βασική χρήση του παλμογράφου σε λειτουργία μονής δέσμης: σύνδεση της γεννήτριας συχνοτήτων στην είσοδο I του παλμογράφου.

Στην οθόνη σας πρέπει να εμφανίζονται ακριβώς δύο περίοδοι του ημιτονικού σήματος. Αν βλέπετε περισσότερες ή λιγότερες περιόδους, είτε δεν έχετε επιλέξει την σωστή βάση χρόνου

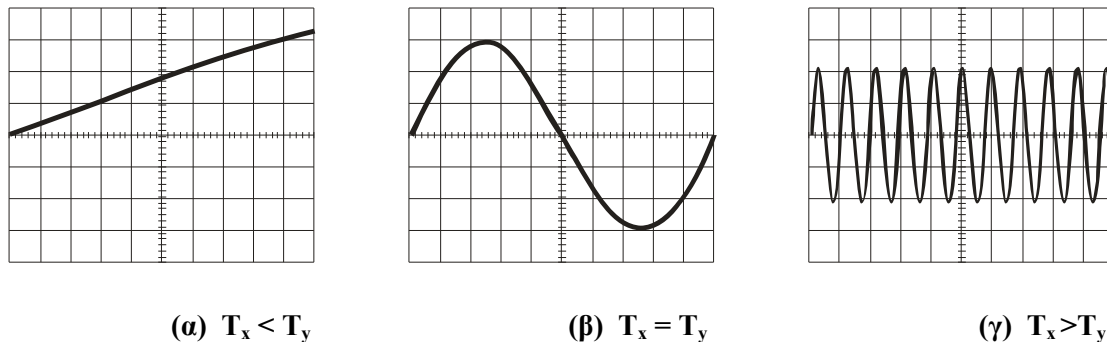
(π.χ. έχετε επιλέξει 2 αντί για 0.2 ms/DIV), είτε ο διακόπτης επιλογής λειτουργίας της γεννήτριας βρίσκεται στην κάτω θέση και δεν δίνει 1.00 kHz. Αν με συνδεδεμένη την γεννήτρια δεν βλέπετε καθόλου ημιτονικό σήμα, είτε δεν ισχύουν οι αρχικές ρυθμίσεις του παλμογράφου (π.χ. είναι πατημένο το πλήκτρο GD που απομονώνει το σήμα εισόδου από τον παλμογράφο) είτε η γεννήτρια δεν έχει τροφοδοσία, ή η στάθμη εξόδου της γεννήτριας είναι μηδενισμένη. (Αν τίποτα από όλα αυτά δεν συμβαίνει, ζητήστε βοήθεια από τον διδάσκοντα).

Η κηλίδα εκτελεί τώρα δύο κινήσεις ταυτόχρονα:

- α. Μια κατακόρυφη κίνηση με περίοδο T_Y λόγω του εφαρμοζόμενου σήματος ($T_Y = 1/f$). Η κατακόρυφη κίνηση της κηλίδας έχει περίοδο $T_Y = 1/1000 \text{ Hz} = 1 \text{ ms}$
- β. Μια οριζόντια κίνηση με περίοδο T_X λόγω της εσωτερικά εφαρμοζόμενης πριονωτής τάσης. Η περίοδος της πριονωτής τάσης είναι $T_X = 10 \times (0.2 \text{ ms}) = 2 \text{ ms}$ (γιατί;)

Επειδή $T_Y = 2 \cdot T_X$, στην οθόνη εμφανίζονται ακριβώς δύο περίοδοι του ημιτονικού σήματος.

Ανάλογα με τον συσχετισμό των περιόδων T_Y και T_X διακρίνουμε τρεις περιπτώσεις (βλ. Σχήμα 7):



Σχήμα 7: Επίδραση της βάσης χρόνου στην απεικόνιση του ίδιου ημιτονικού σήματος

Όταν $T_X < T_Y$ τότε παρατηρούμε μόνο ένα μέρος της περιόδου του σήματος, οπότε δεν μπορούμε να μετρήσουμε την περίοδο. Δοκιμάστε το, μειώνοντας την βάση χρόνου στα **50 $\mu\text{s}/\text{DIV}$** και λιγότερο.

Όταν $T_X = T_Y$ τότε παρατηρούμε ακριβώς μια περίοδο του σήματος (γιατί;). Πράγματι, αν επιλέξετε σαν βάση χρόνου το **0.1 ms/DIV**, θα δείτε μία ολόκληρη περίοδο. Μάλιστα, με μικρές ρυθμίσεις της οριζόντιας θέσης της δέσμης (X-POS.) μπορείτε να φέρετε την αρχή και το τέλος του ημιτόνου να συμπίσουν με το αριστερό και το δεξί άκρο της οθόνης όπως στο Σχήμα 6β. Η περίοδος του σήματος είναι $(10 \text{ DIV}) \times (0.1 \text{ ms}/\text{DIV}) = 1 \text{ ms}$, και επομένως η συχνότητα θα είναι $1/T = 1/(1 \text{ ms}) = 1000 \text{ Hz}$, δηλαδή ακριβώς η συχνότητα της γεννήτριας.

Όταν $T_X > T_Y$ τότε η κηλίδα διαγράφει πολλές φορές την κατακόρυφη κίνηση μέσα στον χρόνο που απαιτείται για να σαρωθεί οριζόντια η οθόνη, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται περισσότερες περιόδους. Αυξήστε την βάση χρόνου από το 0.1 ms/DIV σε **1 ms/DIV** και θα παρατηρήσετε ότι στην οθόνη θα εμφανιστούν 10 περίοδοι (μετρήστε τις!). Το γεγονός ότι παρατηρούμε περισσότερες κορυφές στην οθόνη δεν σημαίνει ότι η περίοδος του σήματος μεταβλήθηκε. Πράγματι, τώρα η περίοδος του σήματος είναι $(1 \text{ DIV}) \times (1 \text{ ms}/\text{DIV})$, δηλαδή και πάλι 1 ms.

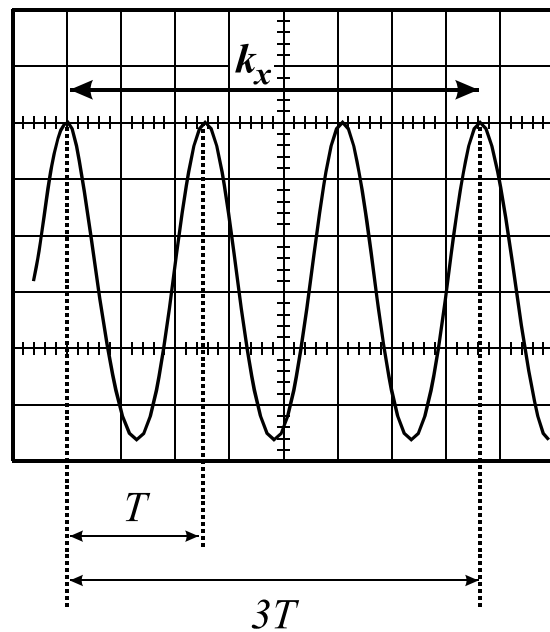
Για την μέτρηση της περιόδου ενός σήματος η συνιστώμενη μέθοδος είναι η διαίρεση του χρόνου που διαρκούν πολλές περιόδους δια του πλήθους των περιόδων (βλ. Σχήμα 8). Στο

παράδειγμα του Σχήματος 8, παρατηρούμε ότι διακρίνονται 3 περιόδους, οι οποίες περιέχονται ανάμεσα σε 4 κορυφές του σήματος. Συνεπώς το πλήθος των περιόδων ισούται με το πλήθος των κορυφών μείον 1. Σε αυτές τις 3 περιόδους αντιστοιχεί χρόνος $3T$ ο οποίος μετράται κατά τα γνωστά σαν $(k_x) \times$ (ένδειξη TIME/DIV). Συνεπώς η περίοδος του σήματος είναι:

$$T = \frac{\text{συνολικός χρόνος 3 περιόδων}}{3} = \frac{k_x \times \text{ένδειξη του διακόπτη TIME/DIV}}{n-1} \quad (3\alpha)$$

Σχήμα 8:

Μέτρηση συχνότητας. Διακρίνονται $n = 4$ κορυφές ανάμεσα στις οποίες περιλαμβάνονται $n - 1 = 3$ περιόδους. Παρατηρείστε ότι η δέσμη έχει μετακινηθεί οριζόντια και κατακόρυφα έτσι ώστε να διευκολύνεται η μέτρηση.



Επειδή συνήθως μας ενδιαφέρει η μέτρηση της συχνότητας των σημάτων $f = 1/T$ η γενική έκφραση για την συχνότητα είναι απλά η αντίστροφη της (3α):

$$f = \frac{n-1}{k_x \times \text{ένδειξη του διακόπτη TIME/DIV}} \quad (3\beta)$$

όπου k_x είναι ο χρόνος που αντιστοιχεί μεταξύ των n κορυφών σε μονάδες DIV και n το πλήθος των κορυφών που περιλαμβάνουν $n-1$ περιόδους του σήματος.

Αλλάζοντας την βάση χρόνου στον παλμογράφο (επιλογέας (6), Σχ. 2α), το σήμα εισόδου δεν αλλάζει, συνεπώς η μετρούμενη περίοδος και συχνότητα παραμένουν αμετάβλητες. Στην πράξη, όσο αυξάνεται το πλήθος των περιόδων, τόσο οι κορυφές των ημιτόνων γίνονται πιο οξείες, και συνεπώς η εκτίμηση της θέσης των κορυφών στους βαθμολογημένους άξονες γίνεται ευκολότερη και το πιθανό σφάλμα ανάγνωσης μειώνεται. Για το λόγο αυτό συμφέρει η μέτρηση της συχνότητας να γίνεται από πολλές περιόδους και όχι από μόνο μία ή δύο.

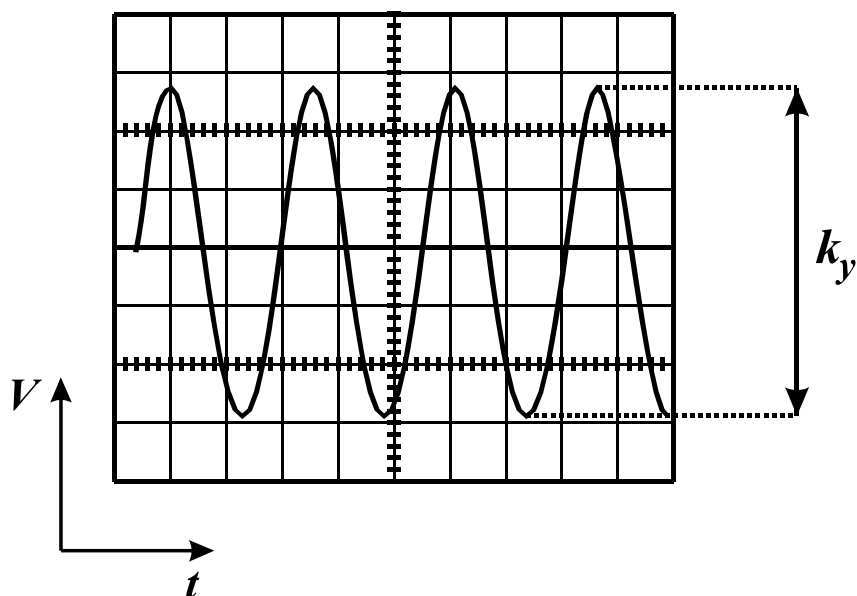
1.2. Μέτρηση του πλάτους

Όπως ακριβώς η βάση χρόνου (TIME/DIV) στην ουσία βαθμολογεί τον οριζόντιο άξονα των χρόνων, η ένδειξη του επιλογέα VOLTS/DIV. βαθμολογεί τον κατακόρυφο άξονα και μας επιτρέπει την μέτρηση του πλάτους των σημάτων. Στην περίπτωση λειτουργίας διπλής δέσμης, ο παλμογράφος διαθέτει δύο ανεξάρτητους επιλογείς VOLTS/DIV. Η μέτρηση του πλάτους συνίσταται στη μέτρηση της κατακόρυφης απόστασης μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών.

Αν στο παράδειγμα του Σχήματος 9 η ενίσχυση του σήματος είναι 2 Volts/DIV, τότε το k_y είναι περίπου 5.8 DIV και συνεπώς το πλάτος είναι $(2 \text{ Volts/DIV} \times 5.8 \text{ DIV})/2 = 5.8 \text{ Volts}$

Στην γενική περίπτωση που το σήμα εκτείνεται από κορυφή σε κορυφή σε k_y κατακόρυφες υποδιαιρέσεις, το πλάτος του σήματος V θα δίνεται από την έκφραση:

$$V = \frac{k_y \times (\text{ένδειξη του διακόπτη } Y \text{ AMPL})}{2} \quad (4)$$



Σχήμα 9: Μέτρηση πλάτους. Το k_y είναι το κατακόρυφο ίχνος της κυματομορφής.

Για να διευκολύνεστε στις μετρήσεις, μπορείτε να μετατοπίζετε οριζόντια και κατακόρυφα την δέσμη ώστε να συμπίπτουν οι κορυφές με τους βαθμολογημένους άξονες X και Y. Έχοντας την στάθμη εξόδου της γεννήτριας στην θέση 4, το πλάτος από κορυφή σε κορυφή πρέπει να προκύπτει περίπου ίσο με 6 Volts, οπότε το πλάτος του σήματος είναι 3 Volts περίπου.

Αλλάζοντας την κατακόρυφη ενίσχυση VOLTS/DIV, το κατακόρυφο ίχνος της κυματομορφής μεταβάλλεται, αλλά το μετρούμενο πλάτος με βάση την σχέση (4) δεν αλλάζει. Συνεπώς, για την ελαχιστοποίηση του σφάλματος ανάγνωσης κατά την μέτρηση του πλάτους, συμφέρει να επιλέγετε την μεγαλύτερη δυνατή τιμή κατακόρυφης ενίσχυσης που να επιτρέπει την παρατήρηση του σήματος.

Παρατήρηση: Υπολογίστε την ενεργό τιμή του πλάτους που μετρήσατε. Ποια σχέση συνδέει την ενεργό τιμή με το πλάτος ημιτονικού σήματος;

ΜΕΡΟΣ Δ: ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

1. Μέτρηση συχνότητας άγνωστων περιοδικών σημάτων

Συνδέστε την γεννήτρια συχνοτήτων στην είσοδο I του παλμογράφου, όπως στο Σχήμα 6.

Τοποθετείστε τον επιλογέα (2) του τρόπου λειτουργίας της γεννήτριας (βλ. Σχήμα 5) στην κάτω θέση (επιλογή αγνώστων συχνοτήτων). Με τη βοήθεια του διακόπτη (5) της γεννήτριας συχνοτήτων επιλέξτε διαδοχικά τις 12 διαφορετικές συχνότητες (a – l) και προσδιορίστε την τιμή τους συμπληρώνοντας τον Πίνακα 1. Προσπαθήστε να μετρήσετε την συχνότητα χρησιμοποιώντας 6-8 περιόδους.

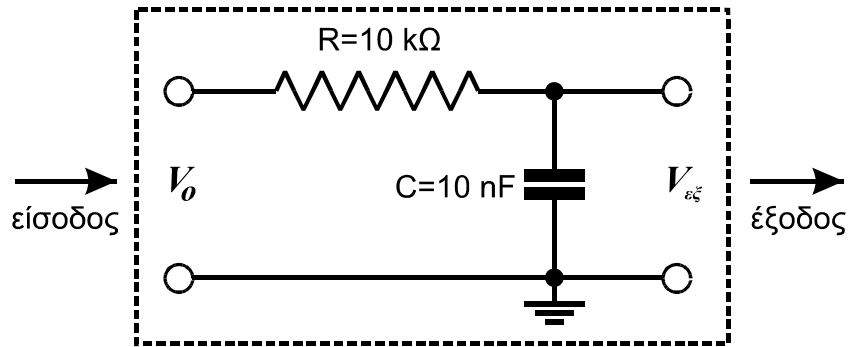
Κατά τις μετρήσεις μην ακουμπάτε το στυλό σας στην οθόνη του παλμογράφου για να διευκολυνθείτε στις μετρήσεις.

Πίνακας I: Μετρήσεις αγνώστων συχνοτήτων

Θέση διακόπτη επιλογής f	Βάση χρόνου TIME/DIV.	Πλήθος κορυφών n	Ολικός χρόνος k_x (DIV)	Μετρούμενη συχνότητα f (Hz)
a				
b				
c				
d				
e				
f				
g				
h				
i				
j				
k				
l				

2. Μελέτη της συχνοτικής απόκριση φίλτρου

Τα φίλτρα συχνοτήτων είναι δικτυώματα (κυκλώματα) μιγαδικών συνήθως αντιστάσεων που ανάλογα με τη συνδεσμολογία τους επιτρέπουν τη διέλευση σημάτων μιας μόνο συχνοτικής περιοχής. Το φίλτρο που θα μελετήσουμε (βλ. Σχήμα 10) αποτελείται από μια ωμική αντίσταση R ($R = 10 \text{ K}\Omega$) και έναν πυκνωτή C ($C=10 \text{ nF}$).



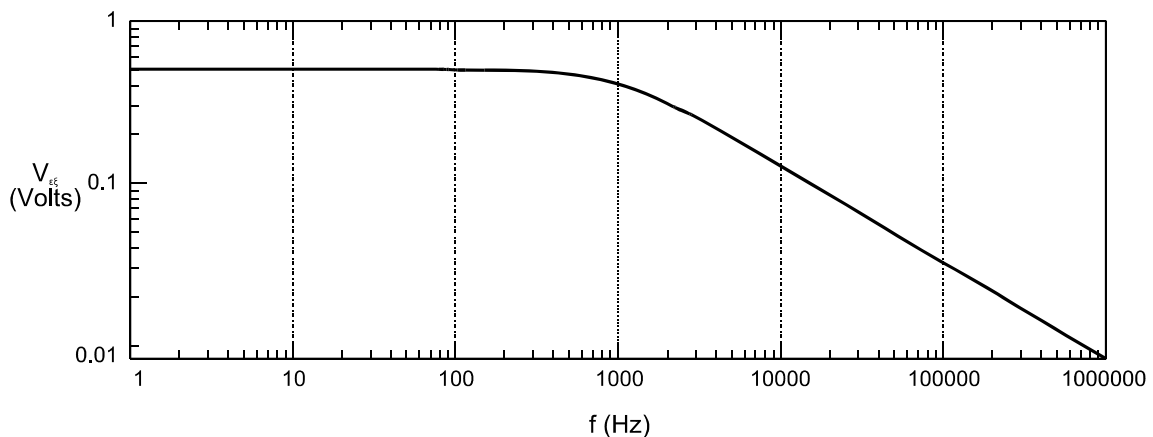
Σχήμα 10: Κύκλωμα φίλτρου.

Αν V_0 είναι το πλάτος του ημιτονοειδούς σήματος με συχνότητα f στην είσοδο του φίλτρου, τότε στην έξοδο του φίλτρου εμφανίζεται ημιτονοειδές σήμα της ίδιας μεν συχνότητας αλλά με πλάτος $V_{\epsilon\xi}$ γενικά μικρότερο από V_0 . Για το φίλτρο του Σχήματος 10, αποδεικνύεται ότι:

$$V_{\epsilon\xi} = \frac{V_0}{\sqrt{1 + (RC\omega)^2}} \quad (5)$$

όπου ω είναι η κυκλική συχνότητα ($\omega = 2\pi f$). Όπως φαίνεται από τη σχέση (5), όσο αυξάνει η συχνότητα ανάλογα αυξάνει ο όρος $(RC\omega)$ και συνεπώς μειώνεται ο λόγος $V_{\epsilon\xi}/V_0$.

Το διάγραμμα σε λογαριθμικό (log-log) χαρτί της τάσης εξόδου συναρτήσει της συχνότητας ονομάζεται **συχνοτική απόκριση του φίλτρου** ή και **διάγραμμα Bode** (Σχήμα 11).



Σχήμα 11: Συχνοτική απόκριση φίλτρου RC σαν αυτό του σχήματος 9. Επειδή το φίλτρο εμποδίζει τη διέλευση των υψηλών συχνοτήτων, ονομάζεται χαμηλοπερατό.

Για τιμές συχνότητας για τις οποίες $(RC\omega)^2 \gg 1$ μπορούμε να παραλείψουμε την μονάδα στον παρονομαστή της σχέσης (5), οπότε η σχέση απλοποιείται ως εξής:

$$V_{\epsilon\xi} = \frac{V_0}{RC\omega} = \frac{V_0}{RC} \cdot \frac{1}{f} \quad (6)$$

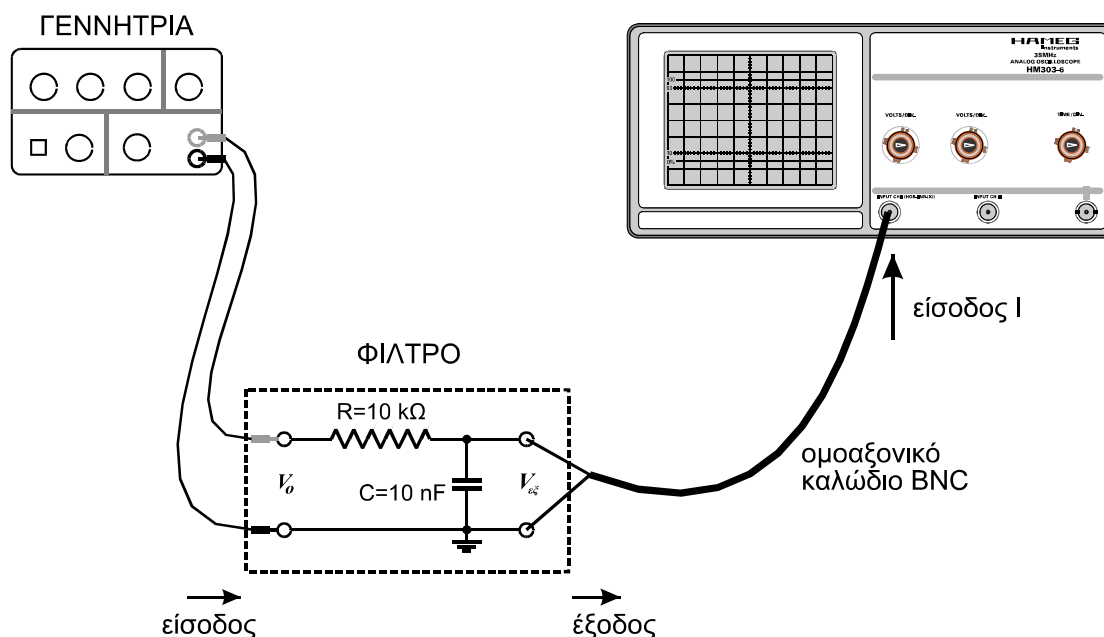
Από τη σχέση αυτή φαίνεται ότι η τάση εξόδου για τις υψηλές συχνότητες είναι αντιστρόφως ανάλογη προς τη συχνότητα.

Σημείωση: Στην περίπτωση που το σήμα εισόδου δεν είναι ημιτονικό (αν π.χ. είναι τετραγωνικό, τριγωνικό ή πριονωτή τάση), το σήμα εξόδου έχει μεν διαφορετικό πλάτος, αλλά δεν έχει την ίδια μορφή με το σήμα εισόδου, δηλαδή υφίσταται *παραμόρφωση*. Αυτό συμβαίνει γιατί σύμφωνα με το θεώρημα Fourier, κάθε μη ημιτονική περιοδική κυματομορφή υπό ορισμένες συνθήκες μπορεί να αναλυθεί σαν ένα άθροισμα σημάτων $A_i \eta\mu(i\cdot f + \varphi_i)$ που έχουν πλάτη A_i και συχνότητες πολλαπλάσιες της βασικής. Επειδή σύμφωνα με το Σχήμα 11, το πλάτος εξόδου της κάθε συνιστώσας εξαρτάται από την συχνότητά της, στην έξοδο του φίλτρου θα έχουμε ένα σήμα με διαφορετικό σχήμα από αυτό της εισόδου. Τα ημιτονικά σήματα είναι τα μόνα που δεν υφίστανται παραμόρφωση από φίλτρα που περιέχουν πυκνωτές και αυτεπαγωγές.

Πειραματική Εργασία:

Σκοπός της άσκησης είναι να κατασκευαστεί η συχνοτική απόκριση του φίλτρου του Σχήματος 10 και να επιβεβαιωθούν οι τιμές των R και C. Σαν σήμα εισόδου θα χρησιμοποιήσουμε διάφορες συχνότητες από τη γεννήτρια και θα μετρήσουμε τις αντίστοιχες τάσεις εξόδου με τον παλμογράφο.

- α. Επιλέξτε στη γεννήτρια συχνοτήτων στάθμη εξόδου **2** και μετρήστε το πλάτος του σήματος στον παλμογράφο. Επιλέξτε διάφορες τιμές συχνότητας σε όλο το εύρος που παρέχει η γεννήτρια και επιβεβαιώστε ότι το πλάτος του σήματος παραμένει σταθερό.
- β. Συνδέστε την είσοδο του φίλτρου στη γεννήτρια συχνοτήτων και την έξοδο του φίλτρου στην είσοδο CH 1 (V_{Y1}) του παλμογράφου, προσέχοντας η γείωση του παλμογράφου να συνδέεται με την γείωση της γεννήτριας, όπως στο Σχήμα 12.



Σχήμα 12: Συνδεσμολογία για την μέτρηση της συχνοτικής απόκρισης του φίλτρου με τον παλμογράφο σε λειτουργία μονής δέσμης.

- γ. Επιλέξτε στη γεννήτρια συχνοτήτων αρχικά την συχνοτική περιοχή **100 – 999 Hz** και στη συνέχεια την περιοχή **1.00 – 9.99 kHz**.
- δ. Με βάση την 2^η στήλη του Πίνακα 2, επιλέξτε στη γεννήτρια συχνοτήτων διαδοχικά τις συχνότητες 200 Hz, 300 Hz κλπ.

- ε. Για κάθε τιμή συχνότητας μετρήστε το πλάτος του σήματος εξόδου $V_{εξ}$ με τον παλμογράφο και συμπληρώστε τον Πίνακα II.

Προσοχή: Επειδή κατά τη διάρκεια του πειράματος τόσο η συχνότητα όσο και το πλάτος του σήματος στην έξοδο του φίλτρου μεταβάλλονται, πρέπει να επιλέγετε κατάλληλες τιμές για την βάση χρόνου (TIME/DIV.) και την ενίσχυση του σήματος (VOLTS/DIV.) ώστε οι μετρήσεις σας να είναι οι ακριβέστερες δυνατές, δηλαδή να παίρνετε το μεγαλύτερο δυνατόν κατακόρυφο ίχνος στην οθόνη. Προσέξτε επίσης να μη μεταβάλλετε κατά τη διάρκεια του πειράματος την στάθμη του σήματος από την γεννήτρια συχνοτήτων.

Επεξεργασία των μετρήσεων:

- α. Σε λογαριθμικό χαρτί (log-log) σχεδιάστε το πλάτος $V_{εξ}$ σαν συνάρτηση της συχνότητας.
- β. Παρατηρήστε ότι στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων ($f > 5$ KHz) το πλάτος $V_{εξ}$ φαίνεται να εξαρτάται γραμμικά από τη συχνότητα (δηλαδή, $V = A f^a$).
- γ. Επιλέξτε τα σημεία εκείνα για τα οποία ισχύει ικανοποιητικά η γραμμική προσέγγιση και εφαρμόσατε την θεωρία ελαχίστων τετραγώνων στην σχέση $\log V = A + a \log f$ με σκοπό τον υπολογισμό της τιμής του εκθέτη a .
- δ. Σχεδιάστε την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων, συγκρίνετε τα αποτελέσματά σας με βάση τη σχέση (5) και καταγράψτε τα σχόλιά σας.
- ε. Σχολιάστε την τιμή του συντελεστή A που βρήκατε με δεδομένο ότι τα εξαρτήματα του φίλτρου έχουν ονομαστική τιμή $R = 10$ k Ω και $C = 10$ nF (1 nF = 10^{-9} F) με κατασκευαστική ανοχή $\pm 10\%$.

Πίνακας II: Μετρήσεις συχνοτικής απόκρισης φίλτρου

A/A	Συχνότητα f (Hz)	k_y (DIV)	Y AMPL. Volt/DIV	Πλάτος V (Volt)
1	200			
2	300			
3	400			
4	500			
5	600			
6	700			
7	800			
8	900			
9	1000			
10	1500			
11	2000			
12	3000			
13	4000			
14	5000			
15	6000			
16	7000			
17	8000			
18	9000			
19	10000			

3. Παρατήρηση της συμπεριφοράς του φίλτρου με τον παλμογράφο σε λειτουργία διπλής δέσμης

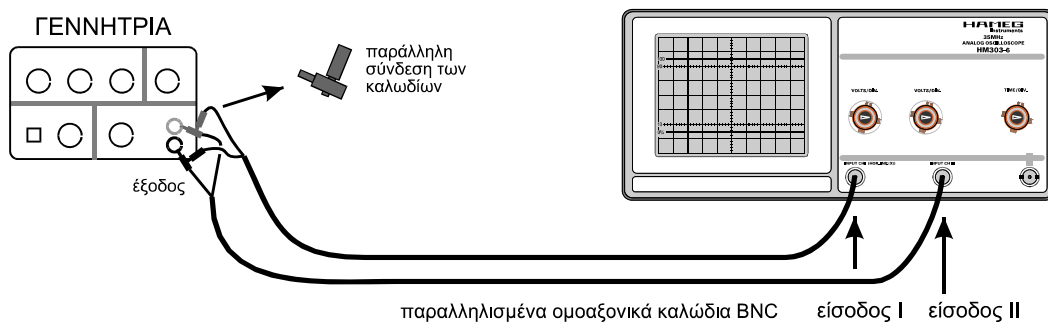
Στο σημείο αυτό της άσκησης θα παρατηρήσουμε την συμπεριφορά του φίλτρου με χρήση για πρώτη φορά του παλμογράφου σε λειτουργία διπλής δέσμης, ως εξής:

- Στην είσοδο I του παλμογράφου θα συνδέσουμε το σήμα της γεννήτριας, το οποίο ταυτόχρονα οδηγείται στην είσοδο του φίλτρου.
- Στην είσοδο II του παλμογράφου θα συνδέσουμε την έξοδο του φίλτρου.

Σκοπός μας είναι στην οθόνη του παλμογράφου να εμφανιστούν ταυτόχρονα και το σήμα εισόδου και το σήμα εξόδου φίλτρου, ώστε να γίνει άμεσα η σύγκριση των δύο κυματομορφών.

Πειραματική Εργασία:

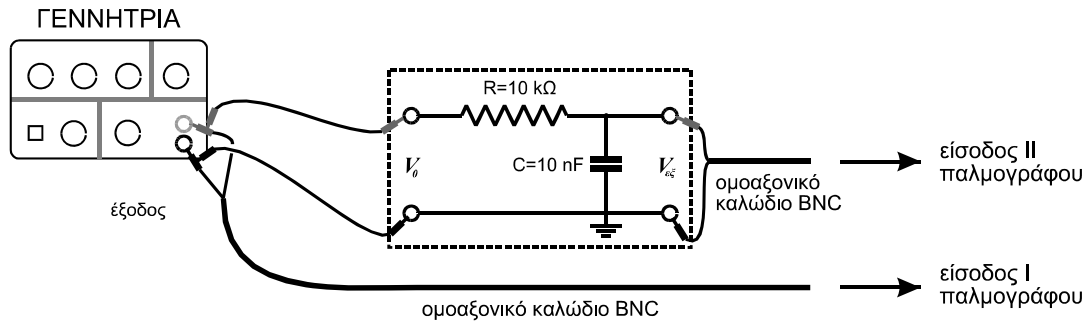
1. Κατ' αρχήν πρέπει να θέσετε τον παλμογράφο σε λειτουργία διπλής δέσμης, πατώντας τον διακόπτη DUAL που βρίσκεται ανάμεσα από τα ρυθμιστικά ενίσχυσης VOLTS/DIV.
2. Χωρίς σήμα στις εισόδους του παλμογράφου (ή εναλλακτικά μηδενίζοντας προσωρινά την ενίσχυση πατώντας τα δύο πλήκτρα GD δίπλα από τους ακροδέκτες εισόδου **I** και **II**) ρυθμίστε την κατακόρυφη θέση των δύο δεσμών με τους ρυθμιστές Y-POS. I και Y-POS. II (ρυθμιστικά (4) στο Σχ. 3) ώστε να φέρετε την δέσμη I να συμπίπτει με τον βαθμονομημένο οριζόντιο άξονα στο επάνω μισό της οθόνης και την δέσμη II με τον αντίστοιχο άξονα στο κάτω μισό της οθόνης. Αυτή είναι και η τυποποιημένη αρχική θέση των δεσμών σε λειτουργία διπλής δέσμης.
3. Επιλέξτε ενίσχυση και στις δύο εισόδους το **0.5 Volt/DIV**.
4. Ρυθμίστε την συχνότητα της γεννήτριας στο **1.00 KHz** και την στάθμη εξόδου (Output Level) στην θέση **3**.
5. Στο στάδιο αυτό θα συνδέσουμε κατευθείαν και στις δύο εισόδους INPUT CH I και INPUT CH II το σήμα της γεννήτριας. Για το σκοπό αυτό συνδέστε τις δύο κόκκινες μπανάνες από τα δύο ομοαξονικά καλώδια μεταξύ τους καθώς και τις δύο μαύρες μπανάνες μεταξύ τους. Συνδέστε τις μπανάνες από το παραλληλισμένο καλώδιο που μόλις φτιάξατε στην έξοδο της γεννήτριας και τους ακροδέκτες BNC με τις εισόδους I και II του παλμογράφου, όπως στο Σχήμα 13.



Σχήμα 13: Χρήση του παλμογράφου σε λειτουργία διπλής δέσμης. Στις εισόδους I και II του παλμογράφου συνδέεται το ίδιο σήμα από τη γεννήτρια.

Θα πρέπει να παρατηρήσετε στον παλμογράφο δύο ημιτονικές κυματομορφές με το ίδιο πλάτος, την μία ακριβώς κάτω από την άλλη. Οι κυματομορφές είναι **συμφασικές**, δηλαδή έχουν διαφορά φάσης μηδέν.

6. Στη συνέχεια θα παρεμβάλουμε το κύκλωμα του φίλτρου μεταξύ της γεννήτριας και της εισόδου II του παλμογράφου. Θα χρειαστεί να αποσυνδέσετε μεταξύ τους τα ομοαξονικά καλώδια, να συνδέσετε την γεννήτρια με την είσοδο του φίλτρου με απλά καλώδια και να συνδέσετε την έξοδο του φίλτρου με την είσοδο II του παλμογράφου, όπως στο Σχήμα 14:



Σχήμα 14: Χρήση του παλμογράφου σε λειτουργία διπλής δέσμης για την σύγκριση του πλάτους στην είσοδο και την έξοδο του φίλτρου.

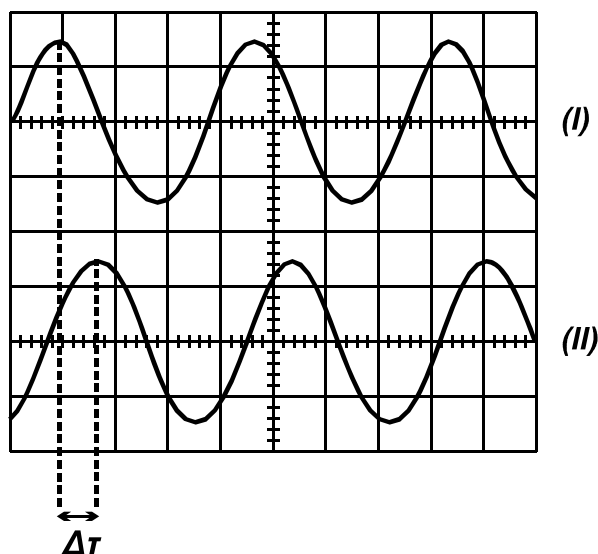
7. Θα πρέπει να παρατηρήσετε στον παλμογράφο ότι η κυματομορφή της εισόδου II (έξοδος του φίλτρου) έχει μικρότερο πλάτος από την αυτήν στην είσοδο I (σήμα της γεννήτριας), και αυτό γιατί το φίλτρο στην συχνότητα του 1.00 KHz έχει ήδη αρχίσει να εξασθενεί το σήμα εισόδου.
8. Αυξήστε διαδοχικά την συχνότητα της γεννήτριας από το **1.00 KHz** στα **9.00 KHz** και στη συνέχεια από τα **10 KHz** έως τα **90 KHz**. Παρατηρήστε ότι ενώ το πλάτος του σήματος της γεννήτριας (είσοδος I) παραμένει αμετάβλητο, το πλάτος του σήματος στην έξοδο του φίλτρου (είσοδος II) μειώνεται σταδιακά.

Μην αποσυνδέσετε το κύκλωμα του Σχήματος 14, γιατί θα χρησιμοποιηθεί αυτούσιο στο επόμενο μέρος της άσκησης.

4. Μέτρηση της διαφοράς φάσης δύο σημάτων με τον παλμογράφο σε λειτουργία διπλής δέσμης

Ως γνωστόν, ένα ημιτονικό σήμα συχνότητας f περιγράφεται στην γενική περίπτωση από την έκφραση $V = V_o \eta\mu(2\pi f \cdot t + \phi)$ όπου V_o είναι το πλάτος και ϕ είναι η **φάση** του σήματος. Η φάση του σήματος εξαρτάται αποκλειστικά από την αρχή μετρήσεων των χρόνων: αν για παράδειγμα διαλέξουμε ως αρχή των μετρήσεων $t=0$ την χρονική στιγμή κατά την οποία το σήμα έχει πλάτος $V=0$, τότε η φάση θα είναι $\phi=0^\circ$ ή $\phi=180^\circ$, ανάλογα με το αν την χρονική αυτή στιγμή το σήμα βρίσκεται στην αρχή ή το μέσον της περιόδου αντίστοιχα.

Στην περίπτωση δύο ημιτονικών σημάτων της ίδιας συχνότητας f με πλάτη $V_1 = V_{o1} \eta\mu(2\pi f \cdot t + \phi_1)$ και $V_2 = V_{o2} \eta\mu(2\pi f \cdot t + \phi_2)$, ορίζεται η έννοια της **διαφοράς φάσης** $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$. Αν τα δύο αυτά σήματα τα οδηγήσουμε στις εισόδους I και II ενός παλμογράφου διπλής δέσμης, και η διαφορά φάσης $\Delta\Phi$ είναι αρκετά μεγάλη ($\Delta\Phi > 10^\circ$), τότε θα παρατηρήσουμε ότι η μία δέσμη είναι μετατοπισμένη κατά χρόνο Δt σε σχέση με την άλλη, όπως στο Σχήμα 15:



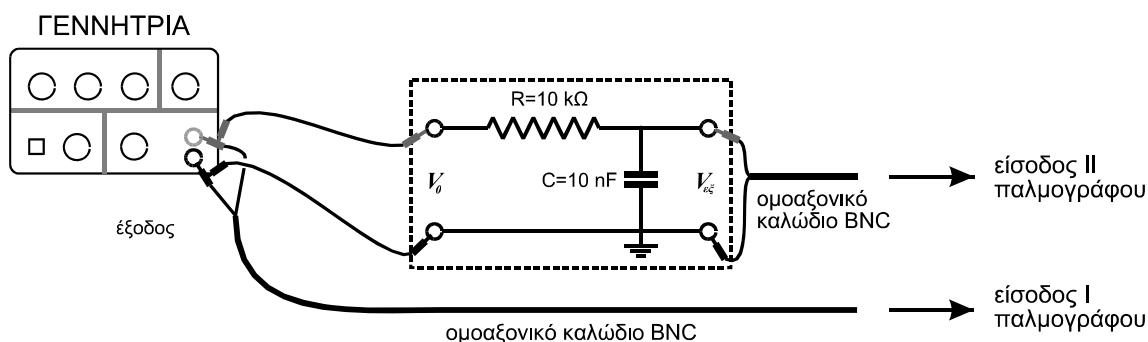
Σχήμα 15: Δύο ημιτονοειδή σήματα με διαφορά φάσης. Το σήμα II (κάτω) παρουσιάζει καθυστέρηση φάσης σε σχέση με το σήμα I (επάνω)

Η διαφορά φάσης προκύπτει από την διαφορά χρόνου Δt σαν $\Delta\varphi = \Delta t \cdot (2\pi)/T = \Delta t \cdot (2\pi) \cdot f$ σε μονάδες rad ή σαν $\Delta\varphi = \Delta t \cdot 360^\circ/T = \Delta t \cdot 360^\circ \cdot f$ σε μοίρες, όπου T η περίοδος και f η συχνότητα του σήματος αντίστοιχα.

Προφανώς, αν το ίδιο σήμα οδηγηθεί ταυτόχρονα και στις δύο εισόδους του παλμογράφου, τότε δεν θα παρατηρηθεί διαφορά φάσης ($\varphi = 0^\circ$).

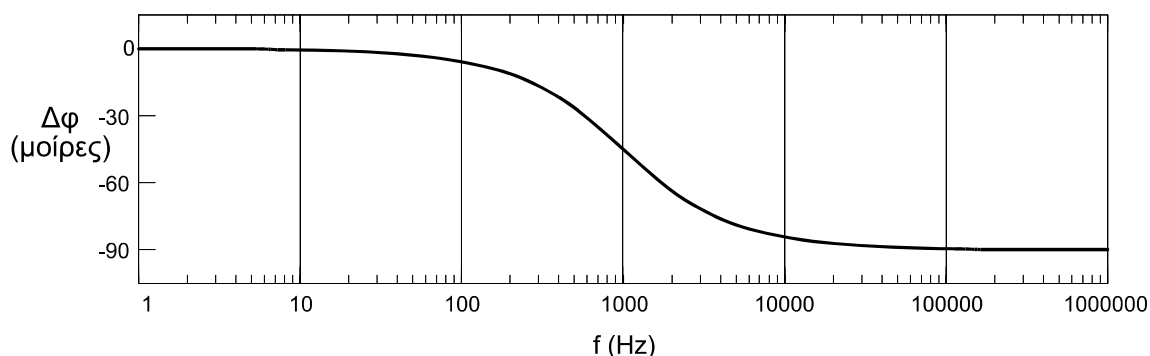
Είναι γνωστό ότι σε ένα κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος διαφορά φάσης εισάγουν οι πυκνωτές και οι αυτεπαγωγές. Στο μέρος αυτό της άσκησης θα μετρήσουμε την διαφορά φάσης την οποία προκαλεί το κύκλωμα του φίλτρου του Σχήματος 10, το οποίο περιέχει έναν πυκνωτή C και έναν αντιστάτη R .

Στο πειραματικό μέρος της άσκησης θα χρησιμοποιήσουμε την ίδια συνδεσμολογία με αυτή του προηγούμενου μέρους, δηλαδή το κύκλωμα του Σχήματος 14β. Στο κύκλωμα αυτό το σήμα της γεννήτριας οδηγείται κατευθείαν στην είσοδο I του παλμογράφου, ενώ το ίδιο σήμα οδηγείται στην είσοδο II παρεμβάλλοντας το φίλτρο RC.



Σχήμα 14β: Συνδεσμολογία για την μέτρηση της διαφοράς φάσης.

Για το φίλτρο RC η διαφορά φάσης μεταξύ των σημάτων εισόδου και εξόδου αναμένεται να μοιάζει με αυτή του Σχήματος 16:



Σχήμα 16. Διαφορά φάσης μεταξύ των δύο ημιτονικών σημάτων στην είσοδο και την έξοδο του φίλτρου RC.

Στο Σχήμα 15 παρατηρούμε ότι το σήμα στην είσοδο II του παλμογράφου (η έξοδος του φίλτρου) παρουσιάζει καθυστερήση φάσης σε σχέση με το σήμα στην είσοδο I, και γι' αυτό η διαφορά φάσης στο Σχήμα 16 είναι αρνητική ($\Delta\varphi < 0^\circ$). Επίσης παρατηρούμε ότι για τις μικρές συχνότητες η διαφορά φάσης είναι περίπου μηδέν, ενώ για μεγάλες συχνότητες αυξάνεται, με μέγιστο τις -90 μοίρες. Η διαφορά φάσης -90° είναι η μεγαλύτερη που μπορούμε να επιτύχουμε με χρήση ενός μόνο πυκνωτή.

Πειραματική Εργασία:

1. Επιβεβαιώστε ότι έχετε κάνει σωστά την συνδεσμολογία του Σχ. 14β (ότι δεν έχετε αλλάξει τίποτα σε σχέση με την συνδεσμολογία 14α του προηγούμενου μέρους της άσκησης).
2. Ρυθμίστε την συχνότητα της γεννήτριας στο **1.00 KHz** και την στάθμη εξόδου (Output Level) στην θέση **3**.
3. Ρυθμίστε την ενίσχυση του σήματος II ώστε να είναι περίπου ίση με αυτή του σήματος I. Για το σκοπό αυτό μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τον κόκκινο περιστροφικό ρυθμιστή που βρίσκεται εσωτερικά του επιλογέα ενίσχυσης VOLTS/DIV II, ο οποίος χρησιμεύει ακριβώς για να επιτρέπει την μεταβολή της ενίσχυση του σήματος σε τιμές ανάμεσα στις τιμές του επιλογέα.
4. Παρατηρείστε ότι τα δύο σήματα έχουν μια μικρή διαφορά φάσης, όπως αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 15. Μετρείστε την χρονική διαφορά Δt και από αυτήν υπολογίστε την διαφορά φάσης $\Delta\varphi$.
5. Αυξήστε την συχνότητα της γεννήτριας στα **9.00 KHz** και ρυθμίστε το πλάτος του ίχνους της δέσμης II ώστε να είναι περίπου ίσο με αυτό του σήματος I. Μετρείστε την χρονική διαφορά Δt και από αυτήν υπολογίστε την διαφορά φάσης $\Delta\varphi$. Πρέπει να βρείτε μεγαλύτερη διαφορά φάσης από εκείνη που υπολογίσατε για συχνότητα σήματος $f = 1.00$ KHz.

Μην αποσυνδέσετε το κύκλωμα του Σχ. 14β, θα χρησιμοποιηθεί όπως είναι στο επόμενο πείραμα!

5. Παρατήρηση της διαφοράς φάσης δύο σημάτων με τον παλμογράφο σε λειτουργία X-Y

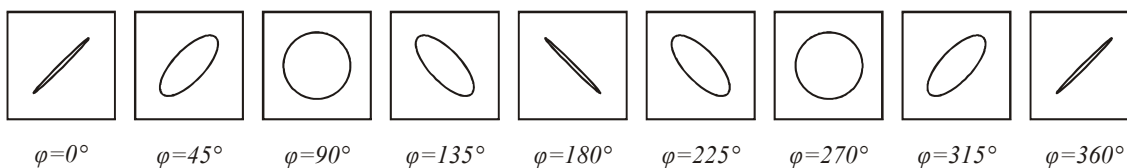
Όταν ο διακόπτης X-Y του παλμογράφου βρίσκεται στην μέσα θέση (πατημένος), η υποδοχή εισόδου της δέσμης INPUT CH I λειτουργεί σαν είσοδος X: αν στην είσοδο αυτή εφαρμοστεί ένα σήμα, αυτό μεταφέρεται στον πυκνωτή οριζόντιας απόκλισης αντικαθιστώντας την εσωτερική πριονωτή κυματομορφή του παλμογράφου, οπότε η δέσμη υφίσταται οριζόντια απόκλιση που καθορίζεται ακριβώς από το εφαρμοζόμενο σήμα στην είσοδο I. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι ο παλμογράφος βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας X-Y, σε αντίθεση με την συνήθη κατάσταση λειτουργίας που ονομάζεται Y-t.

Κατά την λειτουργία X-Y του παλμογράφου ο επιλογέας VOLTS/DIV II ρυθμίζει την ευαισθησία της εισόδου X (την οριζόντια απόκλιση της δέσμης).

Έστω ότι στους ακροδέκτες κάθετης απόκλισης εφαρμόζουμε το σήμα $V_y = V_{oy}\eta\mu(2\pi f_y \cdot t + \phi_y)$ και στους ακροδέκτες οριζόντιας απόκλισης το σήμα $V_x = V_{ox}\eta\mu(2\pi f_x \cdot t + \phi_x)$, όπου ϕ_x και ϕ_y είναι γωνίες φάσης αντιστοίχως. Η θεωρία μας λέει ότι το σχήμα που θα εμφανιστεί στην οθόνη του παλμογράφου εξαρτάται από τις τιμές των V_{oy} , V_{ox} , f_y , f_x , ϕ_y , ϕ_x αλλά κυρίως από τον λόγο f_x/f_y και από την διαφορά φάσης $\phi = \phi_y - \phi_x$.

Όταν οι συχνότητες f_y και f_x είναι ίσες και δεν υπάρχει ολίσθηση φάσης (δηλαδή η φάση δεν μεταβάλλεται με τον χρόνο), τότε στην οθόνη εμφανίζονται σταθερά σχήματα σαν αυτά του Σχήματος 17, τα οποία είναι γνωστά ως **σχήματα Lissajous**. Από το Σχήμα 17 φαίνεται ότι το σχήμα Lissajous, ανάλογα με την τιμή της διαφοράς φάσης, είναι είτε ένα ευθύγραμμο τμήμα, είτε μια έλλειψη είτε ένας κύκλος.

Αν το σήμα της γεννήτριας το οδηγήσουμε ταυτόχρονα και στις δύο εισόδους του παλμογράφου (παραλληλίζοντας τους ακροδέκτες των δύο ομοαξονικών καλωδίων) και έχουμε τον διακόπτη X-Y στην μέσα θέση (πατημένο), τότε θα δούμε ένα ευθύγραμμο τμήμα με κλίση περίπου 45 μοιρών, που αντιστοιχεί σε διαφορά φάσης $\phi=0^\circ$ (πρώτο στιγμιότυπο στο Σχ. 17). Πράγματι, στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει διαφορά φάσης μεταξύ των σημάτων X και Y.



Σχήμα 17. Σχήματα Lissajous που αντιστοιχούν σε χαρακτηριστικές διαφορές φάσεις μεταξύ δύο ημιτονικών σημάτων που συνδέονται στις εισόδους X και Y του παλμογράφου.

Διαφορά φάσης μεταξύ των δύο σημάτων X και Y θα παρατηρήσουμε αν σε σειρά με το ένα από τα δύο καλώδια που συνδέουν την γεννήτρια και τον παλμογράφο συνδέσουμε έναν πυκνωτή ή μια αυτεπαγωγή, ή το κύκλωμα φίλτρου όπως στο Σχήμα 14β του προηγούμενου μέρους.

Στο πειραματικό μέρος της άσκησης θα χρησιμοποιήσουμε το κύκλωμα του Σχήματος 14 για να παρατηρήσουμε ποιοτικά την διαφορά φάσης με χρήση σχημάτων Lissajous.

Πειραματική Εργασία:

1. Υποθέτοντας ότι δεν έχετε μεταβάλλει την συνδεσμολογία του Σχήματος 14β του προηγούμενου μέρους, και ότι ο διακόπτης DUAL είναι στην θέση λειτουργίας διπλής δέσμης (πατημένος), ρυθμίστε την συχνότητα της γεννήτριας στα **10.0 Hz**. Παρατηρήστε ότι τα δύο σήματα στις εισόδους I και II του παλμογράφου έχουν το ίδιο περίπου πλάτος, γεγονός που επιβεβαιώνει την συμπεριφορά του φίλτρου στις χαμηλές συχνότητες (Σχήμα 11) καθώς και ότι τα σήματα στις δύο εισόδους έχουν την ίδια περίπου φάση (Σχήμα 16).
2. Με τον διακόπτη DUAL στην θέση μονής δέσμης (έξω θέση – απάτητος), πατήστε τον διακόπτη X-Y του παλμογράφου (κάτω από τον επιλογέα βάσης χρόνου) για να τον θέσετε σε λειτουργία X-Y. Θα πρέπει να παρατηρήσετε ένα ευθύγραμμο τμήμα με κλίση περίπου 45° , όπως το πρώτο στιγμιότυπο του Σχήματος 17.
3. Αλλάξτε περιοχή συχνοτήτων στην γεννήτρια στα **100–999 Hz** και μεταβάλλετε σταδιακά την συχνότητα από **100** σε **900 Hz** με βήματα των 100 Hz. Παρατηρήστε ότι το ευθύγραμμο τμήμα που παρατηρήσατε προηγουμένως μεταβάλλεται σταδιακά προς μία έλλειψη Lissajous σαν αυτή του δεύτερου στιγμιότυπου του Σχήματος 17, με λίγο μικρότερη εκκεντρότητα.
4. Αλλάξτε περιοχή συχνοτήτων στην γεννήτρια στα **1.00–9.99 KHz** και ρυθμίστε την συχνότητα στο 1 KHz. Ρυθμίστε την ενίσχυση του σήματος II, χρησιμοποιώντας τον κόκκινο περιστροφικό ρυθμιστή που βρίσκεται εσωτερικά του επιλογέα ενίσχυσης VOLTS/DIV II, ώστε το πλάτη των σημάτων X και Y στην οθόνη του παλμογράφου να είναι περίπου ίσα. Μεταβάλλετε σταδιακά την συχνότητα από **1.00** σε **9.00 KHz** με βήματα του 1 KHz. Παρατηρήστε ότι η έλλειψη που παρατηρούσατε προηγουμένως μεταβάλλεται σταδιακά προς έναν κύκλο Lissajous (τρίτο στιγμιότυπο του Σχήματος 17). Στην μέγιστη συχνότητα που μπορεί να παράγει η γεννήτρια (99.9 KHz) το σχήμα Lissajous πρέπει να είναι σχεδόν κύκλος (εφόσον τα πλάτη των σημάτων X και Y στην οθόνη του παλμογράφου να είναι περίπου ίσα).
5. Επιλέξτε από την γεννήτρια συχνότητα εξόδου **50 KHz** και ρυθμίστε την ενίσχυση του σήματος II ώστε τα πλάτη των σημάτων X και Y στην οθόνη του παλμογράφου να είναι περίπου ίσα. Παρατηρείστε ότι η εικόνα που βλέπετε στον παλμογράφο είναι σχεδόν τέλειος κύκλος, γεγονός που αντιστοιχεί σε διαφορά φάσης περίπου 90° .
6. Απενεργοποιήστε τον διακόπτη X-Y (απάτητος) και πατήστε τον διακόπτη DUAL ώστε να μεταβείτε σε λειτουργία διπλής δέσμης. Ρυθμίστε τις δύο δέσμες ώστε στο επάνω και στο κάτω μέρος της οθόνης να έχετε το σήμα στην είσοδο και την έξοδο του φίλτρου αντίστοιχα. Μετρήστε την διαφορά φάσης ανάμεσα στα δύο σήματα και επιβεβαιώστε ότι η διαφορά φάσης των δύο σημάτων είναι περίπου 90° . Για την εργασία θα χρειαστεί να σχεδιάσετε τις δύο κυματομορφές και να παραθέσετε τον υπολογισμό της διαφοράς φάσης.

Η χρήση των σχημάτων Lissajous για την ανίχνευση της διαφοράς φάσης θα σας χρησιμεύσει στην άσκηση των υπερήχων, για την μέτρηση του μήκους κύματος οδοντών κυμάτων.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Θέτετε σε λειτουργία τον παλμογράφο και το ενδεικτικό λαμπάκι ανάβει. Ποιους χειρισμούς πρέπει να κάνετε για να φέρετε τις δύο δέσμες σε σύμπτωση με τους βαθμολογημένους άξονες στο επάνω και το κάτω μισό της οθόνης;
3. Ποια από τα ακόλουθα σήματα με συχνότητα $f = 1 \text{ KHz}$ και πλάτος:
α) 100 V γ) 2 μV ε) 0.3 μV ζ) 8000 V
β) 0.1 V δ) 4000 V στ) 2 μV η) 0.01 μV
μπορούν να μετρηθούν με τον παλμογράφο (δηλαδή να σχηματίζουν στην οθόνη μετρήσιμο ίχνο) και γιατί;
4. Ποια από τα ακόλουθα σήματα με πλάτος $V_0 = 1 \text{ Volt}$ και συχνότητα:
α) 100 Hz γ) 200 kHz ε) 0.02 Hz ζ) 0.1 MHz
β) 0.1 Hz δ) 5 Hz στ) 500 MHz η) 0.01 Hz
μπορούν να εμφανιστούν με ευκρίνεια στην οθόνη (δηλαδή, να εμφανίζονται 1 έως 6 περίοδοι) και γιατί;
5. Αν στο φίλτρο του Σχήματος 10 εναλλάξουμε την θέση του αντιστάτη και του πυκνωτή, προκύπτει ένα νέο φίλτρο. Ποια αναμένεται να είναι η συχνοτική του απόκριση;
6. Στο κύκλωμα του Σχήματος 14, ποια από τις δύο εισόδους βρίσκεται σε προήγηση φάσης σε σχέση με την άλλη;
7. Αν κατά την παρατήρηση της διαφοράς φάσης με τον παλμογράφο σε λειτουργία διπλής δέσμης στο μέρος 4 της άσκησης (Σχ. 14α) εναλλάξετε τα δύο ομοαξονικά καλώδια στις εισόδους I και II του παλμογράφου, τι θα παρατηρήσετε;
8. Αν κατά την παρατήρηση των σχημάτων Lissajous με τον παλμογράφο σε λειτουργία X-Y στο μέρος 5 της άσκησης (Σχ. 14β) εναλλάξετε τα δύο ομοαξονικά καλώδια στις εισόδους I και II του παλμογράφου, τι θα παρατηρήσετε;