

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ & ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Διδάσκων : Δημήτρης Τσιπιανίτης
Γεώργιος Μανδέλλος

ΠΑΤΡΑ 2018

ΚΑΘΟΔΙΚΟΣ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΣ

Αντικείμενο της άσκησης αυτής είναι να μάθετε τον χειρισμό του παλμογράφου, να κάνετε μετρήσεις και να παρατηρήσετε διάφορες κυματομορφές. Θα μετρήσετε,
α) Πλάτος σήματος δηλαδή τάση
β) Συχνότητα ή περίοδο σήματος δηλαδή χρόνο
γ) Χαρακτηριστικά ειδικών κυματομορφών

i

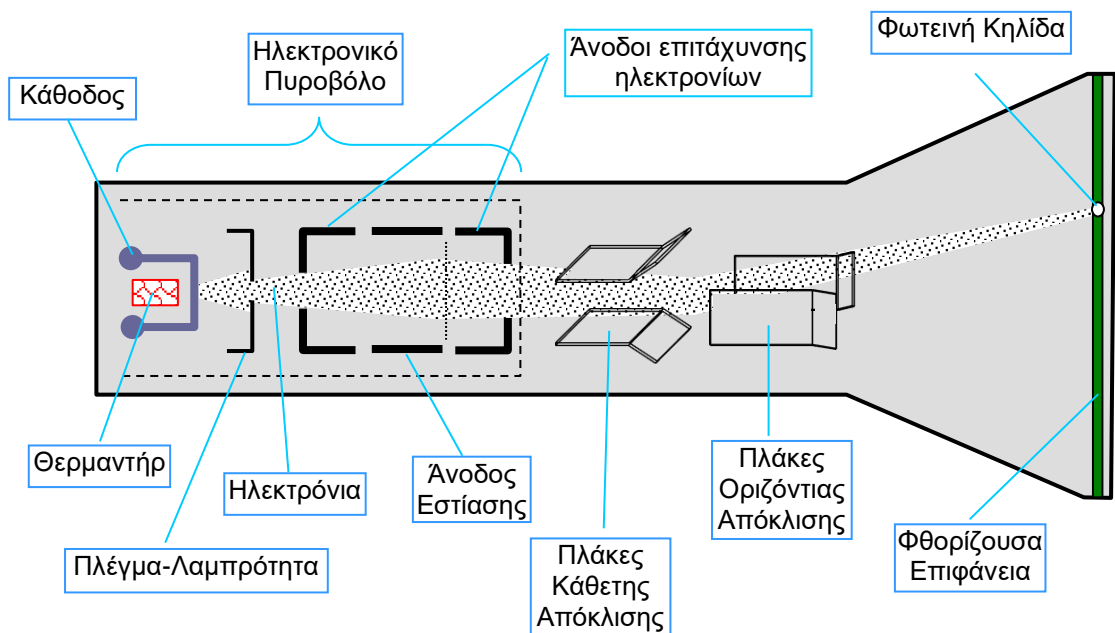
Καθοδικός Παλμογράφος (Cathode-Ray Oscilloscope, CRO)

Ο καθοδικός παλμογράφος είναι ένα πολύ χρήσιμο όργανο μέτρησης διαφόρων μεγεθών καθώς και παρατήρησης ηλεκτρικών κυματομορφών. Αποτελεί έναν εξαιρετικά γρήγορο X-Y plotter ο οποίος δείχνει στην οθόνη που διαθέτει ένα ηλεκτρικό σήμα εισόδου συναρτήσει του χρόνου ή συναρτήσει ενός άλλου σήματος.

Ένας καθοδικός παλμογράφος αποτελείται από ένα σωλήνα καθοδικών ακτίνων (CRT, Cathode Ray Tube), τα ηλεκτρονικά κυκλώματα που παράγουν τις απαιτούμενες τάσεις για την λειτουργία του καθοδικού σωλήνα, ενισχυτές και εξασθενητές για την προσαρμογή του σήματος εισόδου και έναν ταλαντωτή για την πριονωτή τάση βάσει της οποίας σαρώνεται το φωτεινό ίχνος επί της οθόνης.

θ

Σωλήνας Καθοδικών Ακτίνων (CRT)



Σχ.1. Τα κύρια συστατικά μέρη του σωλήνα καθοδικών ακτίνων.



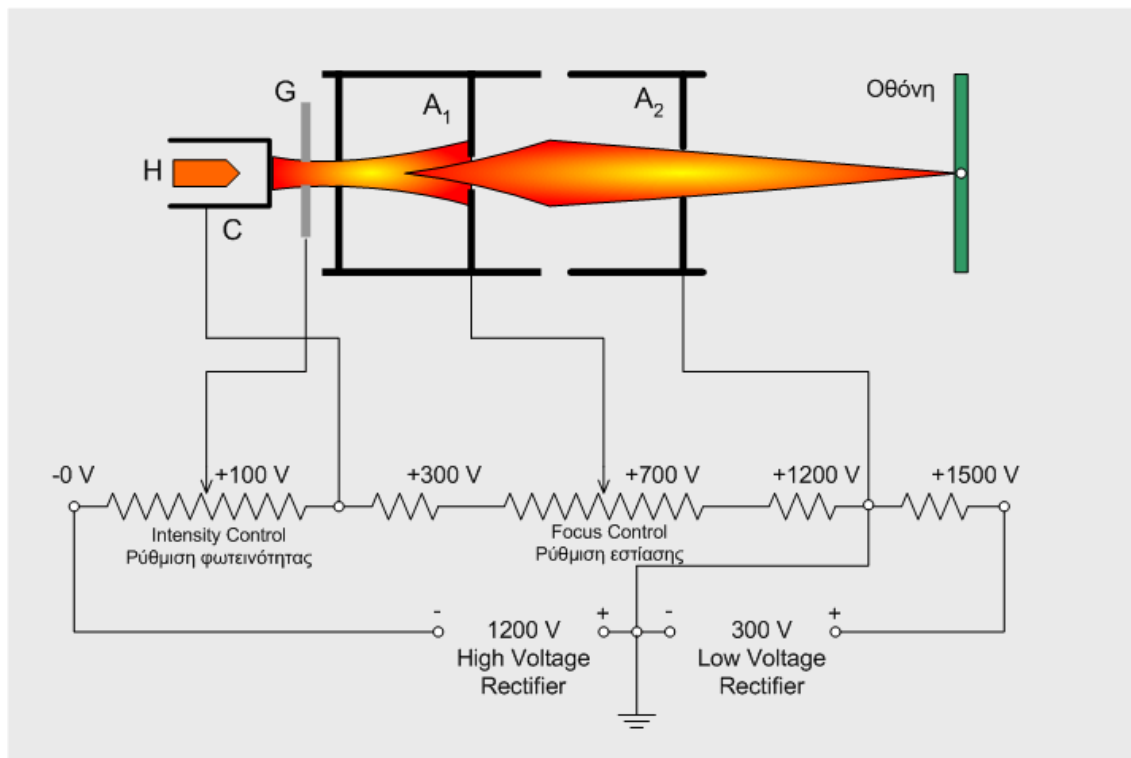
Η καρδιά κάθε παλμογράφου, απλών ή ειδικών προδιαγραφών, είναι ο σωλήνας καθοδικών ακτίνων που φαίνεται στο Σχ.1. Στο εσωτερικό του σωλήνα καθοδικών ακτίνων υπάρχουν διάφορες βαθμίδες για την διαμόρφωση και τον έλεγχο της δέσμης των ηλεκτρονίων. Αυτές είναι κατά σειρά η βαθμίδα παραγωγής ηλεκτρονίων, η βαθμίδα επιτάχυνσης και εστίασης (focus), η βαθμίδα εκτροπής και η τελική βαθμίδα παραγωγής της φωτεινής κηλίδας.

Οι δύο πρώτες βαθμίδες συνιστούν το “**Ηλεκτρονικό Πυροβόλο**” (Electron Gun) το οποίο αποτελείται από τον θερμαντήρα (H) της καθόδου, την θερμαινόμενη κάθοδο (C), το πλέγμα ελέγχου φωτεινότητας (G) και τις ανόδους επιτάχυνσης και εστίασης. Ο τρόπος λειτουργίας αυτών στην επόμενη παράγραφο και το Σχ.2.

Η κάθοδος θερμαίνεται απ’ ευθείας με ξεχωριστή διάταξη τον θερμαντήρα H. Η θερμαινόμενη κάθοδος C αποτελεί την πηγή των απαιτούμενων για τη λειτουργία του παλμογράφου ηλεκτρονίων. Τα παραγόμενα ηλεκτρόνια υπό μορφή αποκλίνουσας δέσμης έλκονται προς τις ανόδους A_1 και A_2 .

Επειδή το πλέγμα G είναι αρνητικά φορτισμένο τα ηλεκτρόνια απωθούνται προς την κάθοδο. Ανάλογα με την ταχύτητα που έχουν αποκτήσει τα ηλεκτρόνια μέχρι να φθάσουν στο πλέγμα, μερικά εξ’ αυτών κατορθώνουν να περάσουν μέσα από το πλέγμα. Μεταβάλλοντας τώρα την τάση του πλέγματος (Intensity Control) μπορούμε να ελέγχουμε το ποσοστό των ηλεκτρονίων που διαπερνούν το πλέγμα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων που προσπίπτουν στην οθόνη τόσο φωτεινότερη είναι η εικόνα που παρατηρούμε.

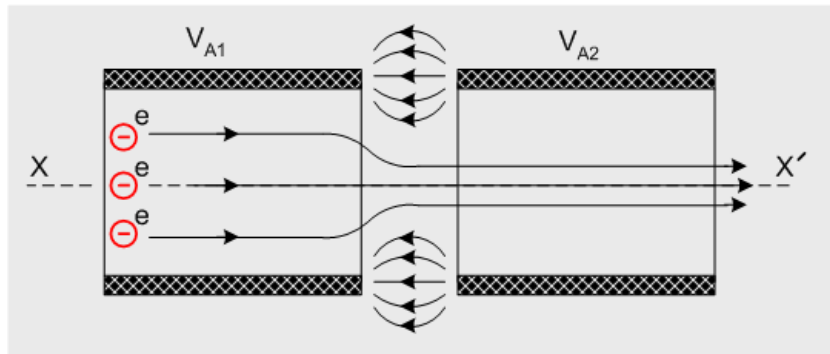
Επομένως, ρύθμιση φωτεινότητας ή λαμπρότητας σημαίνει ρύθμιση της τάσης του πλέγματος.



Σχ.2. Διάταξη παραγωγής ηλεκτρονίων, ρύθμισης φωτεινότητας και εστίασης δέσμης.



Στη συνέχεια υπάρχει η 1^η άνοδος υπό ρυθμιζόμενη θετική τάση ως προς τη κάθοδο, πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του πλέγματος. Σκοπός της 1^{ης} ανόδου είναι να συγκεντρώνει τα ηλεκτρόνια σε μία λεπτή ηλεκτρονική δέσμη. Αυτό όμως επιτυγχάνεται σε συνδυασμό και με τη 2^η άνοδο η οποία βρίσκεται υπό σταθερή τάση, πολύ μεγαλύτερη αυτής της 1^{ης} ανόδου (σχεδόν διπλάσια). Η 2^η άνοδος έχει διπλή αποστολή. Αφ' ενός επιταχύνει τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται από την κάθοδο, αφ' ετέρου δημιουργεί με την 1^η άνοδο ένα ηλεκτροστατικό πεδίο. Η μορφή και η δράση του ηλεκτροστατικού πεδίου επί των ηλεκτρονίων φαίνεται στο Σχ.3. Καθώς τα



Σχ.3

ηλεκτρόνια πλησιάζουν στο διάκενο μεταξύ 1^{ης} και 2^{ης} ανόδου όπου υπάρχει το ηλεκτροστατικό πεδίο, υφίστανται από το τελευταίο μία δύναμη τέτοιας φοράς η οποία τα οδηγεί προς τον άξονα XX'. Το μέγεθος της δύναμης είναι συνάρτηση της έντασης του ηλεκτροστατικού πεδίου. Η ένταση όμως του ηλεκτροστατικού πεδίου εξαρτάται από τη διαφορά δυναμικού $V_{A2}-V_{A1}$.

Επομένως, ρύθμιση εστίασης της φωτεινής κηλίδας (Focus Control) ή της λεπτότητας της ηλεκτρονικής δέσμης σημαίνει ρύθμιση της τάσης της ανόδου.

Σύστημα Οριζόντιας και Κατακόρυφης Απόκλισης

Στη συνέχεια εντός του σωλήνα καθοδικών ακτίνων υπάρχει το σύστημα οριζόντιας και κατακόρυφης εκτροπής της δέσμης των ηλεκτρονίων, όπως φαίνεται στο Σχ.1. Και οι δύο εκτροπές οφείλονται σε ηλεκτροστατική δράση επί των ηλεκτρονίων. Δηλαδή, μία θετικά ή αρνητικά φορτισμένη πλάκα έλκει ή απωθεί αντίστοιχα τα ηλεκτρόνια. Το πρώτο (προς την πλευρά του ηλεκτρονικού πυροβόλου) ζεύγος πλακών, τοποθετημένο οριζόντια, είναι αυτό της κατακόρυφης εκτροπής. Το επόμενο ζεύγος, τοποθετημένο κάθετα είναι της οριζόντιας εκτροπής.

☞ Χωρίς κανένα δυναμικό και στα δύο ζεύγη πλακών, η δέσμη των ηλεκτρονίων περνά μέσα από αυτά και εμφανίζεται στο κέντρο της οθόνης σαν μια φωτεινή κηλίδα.

☞ Αν στην πάνω πλάκα του ζεύγους κατακόρυφης απόκλισης εφαρμοσθεί θετικό δυναμικό (η άλλη πλάκα γειώνεται), τότε η φωτεινή κηλίδα κινείται προς τα πάνω κατά ένα διάστημα που είναι ανάλογο εφαρμοζόμενου δυναμικού. Αρνητικό δυναμικό προκαλεί παρόμοια απόκλιση προς τα κάτω.

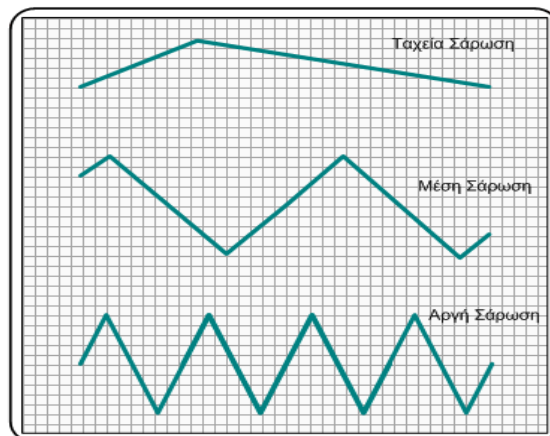
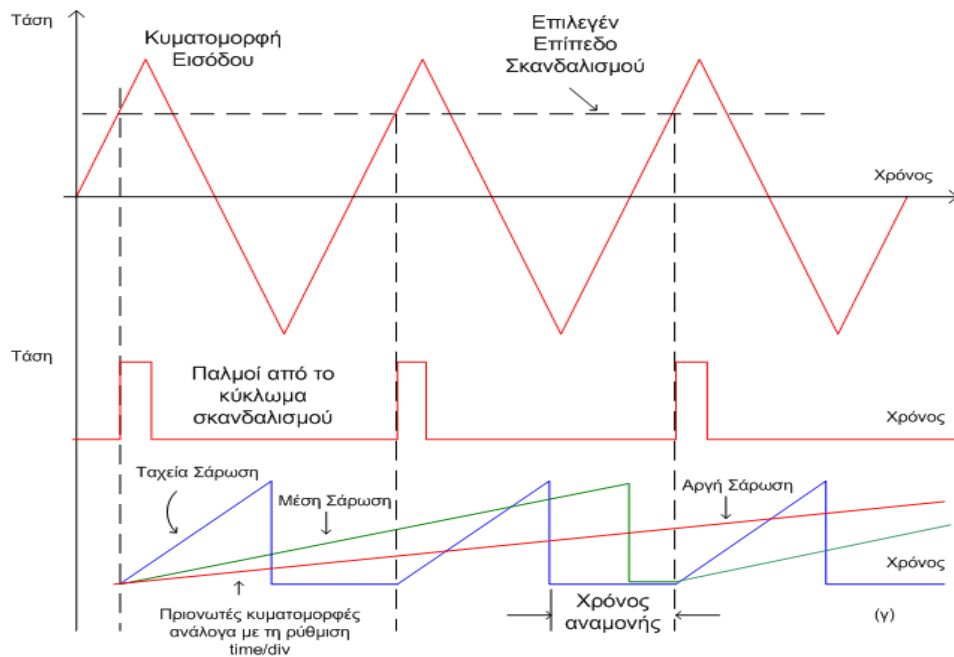


☞ Αν εφαρμοσθεί μια εναλλασσόμενη τάση τότε η κηλίδα κινείται επαναληπτικά πάνω-κάτω με συχνότητα αυτήν της AC τάσης.

☞ Στο κάθετο ζεύγος πλακών, προκαλείται κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο η οριζόντια εκτροπή της δέσμης των ηλεκτρονίων. Όταν οι δύο τάσεις που προκαλούν την κάθετη και οριζόντια απόκλιση είναι εξωτερικές, τότε δημιουργούνται οι γνωστές εικόνες Lissajous (κλειστές ή ανοικτές). Όταν όμως η οριζόντια εκτροπή θέλουμε να παριστάνει τη μεταβολή του χρόνου, τότε η εφαρμοζόμενη τάση πρέπει να έχει μια ειδική μορφή που θα εξηγήσουμε πιο κάτω.

Σύστημα Οριζόντιας Σάρωσης

Για να μπορούμε να παρατηρήσουμε στο παλμογράφο τάσεις μεταβαλλόμενες με το χρόνο, πρέπει η οριζόντια εκτροπή να παριστά τη μεταβολή του χρόνου, δηλαδή θα πρέπει η φωτεινή κηλίδα να κινείται με σταθερή ταχύτητα από το αριστερό άκρο της οθόνης προς το δεξιό. Ακόμη θα πρέπει να επιστρέφει αυτόματα και ταχύτατα στην αρχή για την παρατήρηση του επομένου κύκλου μεταβολής και ακόμη η ταχύτητά της να είναι ρυθμιζόμενη ώστε να μπορούμε να παρατηρούμε τάσεις με διαφορετική συχνότητα. Οι απαιτήσεις αυτές ικανοποιούνται αν στις πλάκες οριζόντιας απόκλισης εφαρμοσθεί μια πριονωτή τάση της μορφής του Σχ.4γ. Η διαφορετική κλίση των



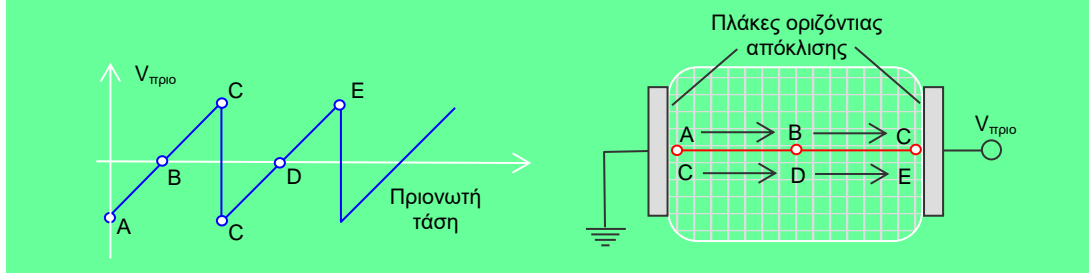
Η τριγωνική κυματομορφή εισόδου στην οθόνη του παλμογράφου θα εμφανιστεί με μία από τις διπλανές μορφές ανάλογα με την ταχύτητα σάρωσης (time/div) που θα επιλέξετε

Σχ.4



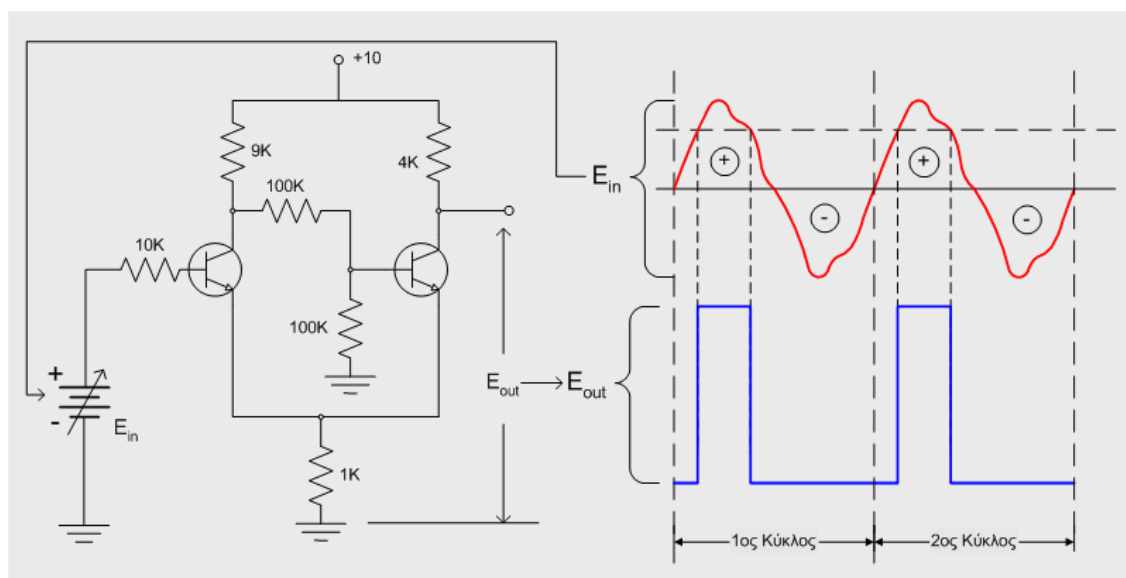
πριονωτών τάσεων αντιστοιχεί σε διαφορετικές ταχύτητες κίνησης της φωτεινής κηλίδας. Επειδή η κηλίδα διατρέχει-σαρώνει όλη την οθόνη χρησιμοποιούμε τον όρο **ταχύτητα σάρωσης**.

Το κοινό πλάτος των πριονωτών τάσεων, ανεξάρτητα από την κλίση τους, αντιστοιχεί στην απαιτούμενη οριζόντια εκτροπή της κηλίδας καθόλο το μήκος της οθόνης. Στη πραγματικότητα η πριονωτή τάση έχει και αρνητικές τιμές.



Κύκλωμα Σκανδαλισμού

Προκειμένου να έχουμε μία σταθερή και ορθή εικόνα στην οθόνη του παλμογράφου, πρέπει η οριζόντια σάρωση να αρχίζει ακριβώς στις ίδιες χρονικές στιγμές σε σχέση με τους επαναλαμβανόμενους κύκλους του σήματος εισόδου. Αυτό σημαίνει ότι η συχνότητα της πριονωτής τάσης σάρωσης πρέπει να είναι ακριβώς η ίδια με αυτή του σήματος εισόδου. Επομένως, η σάρωση πρέπει να αρχίζει ή να “σκανδαλίζεται” (trigger) από την ίδια την κυματομορφή εισόδου ή από κάποια άλλη διαφορετική κυματομορφή που όμως θα έχει σταθερή σχέση χρόνου με αυτή της εισόδου. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του κυκλώματος σκανδαλισμού που φαίνεται στο Σχ.5, το οποίο δεν κάνει τίποτα άλλο από το να παράγει μία παλμοσειρά, απόλυτα συγχρονισμένη με το σήμα εισόδου. Αυτή ακριβώς η παλμοσειρά χρησιμοποιείται σαν διακόπτης ON-OFF για την έναρξη και παύση της σάρωσης.



Σχ.5. Κύκλωμα σκανδαλισμού (Schmitt).

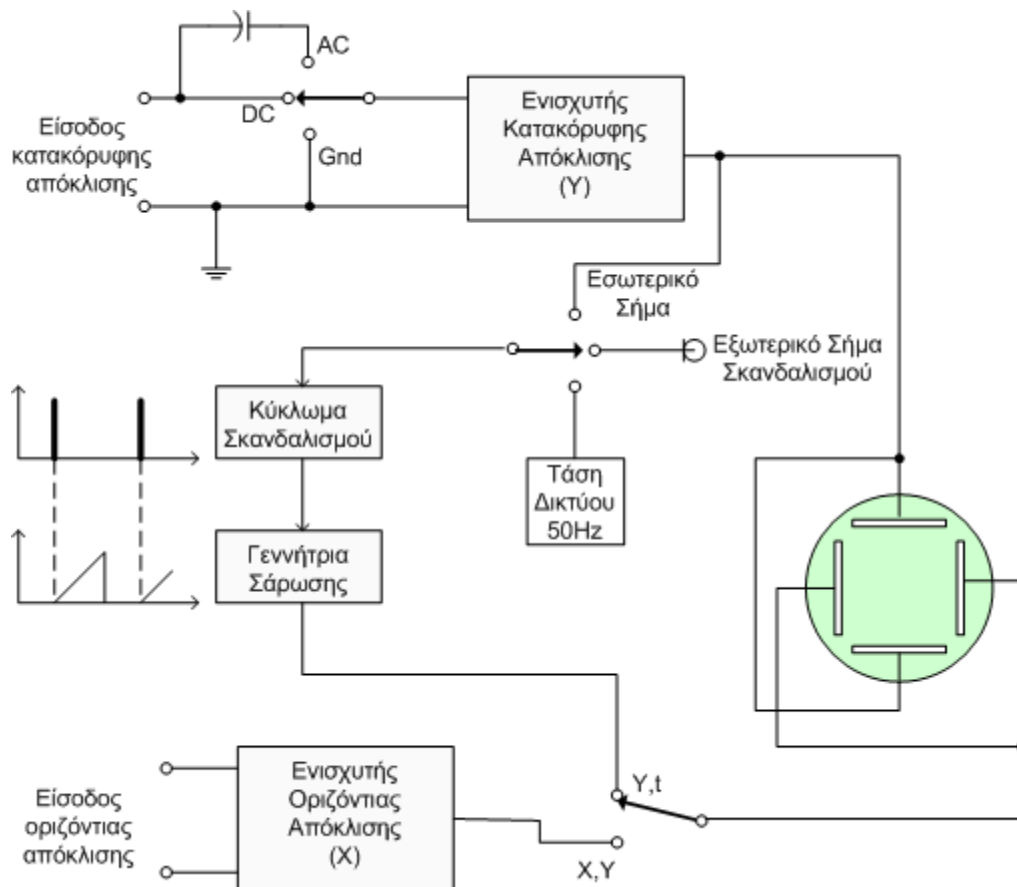


Στους περισσότερους παλμογράφους έχουμε τη δυνατότητα να επιλέξουμε σαν σήμα συγχρονισμού είτε το σήμα εισόδου του παλμογράφου είτε κάποιο άλλο.

Η ρύθμιση του επιπέδου σκανδαλισμού (Trigger level) προσδιορίζει το στιγμιαίο επίπεδο τάσης του σήματος συγχρονισμού στο οποίο θα παραχθεί ο παλμός σκανδαλισμού (Βλ. Σχ.4).

Ενισχυτές κατακόρυφης απόκλισης

Οι τάσεις που θέλουμε να παρατηρήσουμε σ' ένα παλμογράφο ποτέ δεν παράγουν μια απόκλιση της φωτεινής κηλίδας που να ευρίσκεται εντός της οθόνης εφόσον μπορεί να είναι είτε πολύ μικρές είτε πολύ μεγάλες. Για το λόγο αυτό, σε όλους τους παλμογράφους γενικού σκοπού παρεμβάλλεται ένας ενισχυτής μεταξύ του σήματος εισόδου και του ζεύγους πλακών κάθετης απόκλισης ώστε να μπορούμε να παρατηρήσουμε σήματα πολύ μικρού πλάτους. Ο ενισχυτής συνδυάζεται εν σειρά και με έναν εξασθενητή για την παρατήρηση σημάτων μεγάλου εύρους. Τυπικά κέρδη ενίσχυσης ή εξασθένησης είναι 2000:1 και 500:1 αντίστοιχα. Οι παλμογράφοι διαθέτουν διακόπτες βαθμονομημένης ρύθμισης του κέρδους του ενισχυτή δηλαδή της κατακόρυφης εκτροπής (σε V/cm ή mV/cm) και διακόπτες μικρομετρικής ρύθμισης (Vernier control) για συνεχή ενδιάμεση ρύθμιση.



Σχ.6. Γενικό διάγραμμα εσωτερικής δομής ενός παλμογράφου.



Οι είσοδοι των ενισχυτών κατακόρυφης απόκλισης κατασκευάζονται συνήθως για να δέχονται τάσεις σε σχέση με την γείωση. Σε αυτούς τους παλμογράφους δεν μπορούμε να παρατηρήσουμε την κυματομορφή τάσης κατά μήκος ενός στοιχείου σ' ένα κύκλωμα όπου και τα δύο άκρα του στοιχείου έχουν κάποιο δυναμικό ως προς τη γη.

Το πλήρες μπλοκ διάγραμμα ενός παλμογράφου φαίνεται στο Σχ.6 και περιλαμβάνει τους ενισχυτές οριζόντιας και κατακόρυφης απόκλισης, το κύκλωμα σκανδαλισμού, το κύκλωμα οριζόντιας σάρωσης και τα δύο ζεύγη πλακών. Ο διακόπτης στην είσοδο του ενισχυτή κάθετης απόκλισης επιτρέπει την επιλογή για AC ή DC ζεύξη. Στη θέση DC το σήμα εισόδου δεν επηρεάζεται. Στη θέση AC ο πυκνωτής αποκόπτει κάθε DC τάση. Αυτό μας επιτρέπει να παρατηρούμε μικρά AC σήματα όταν φέρονται πάνω σε μεγάλα DC σήματα.

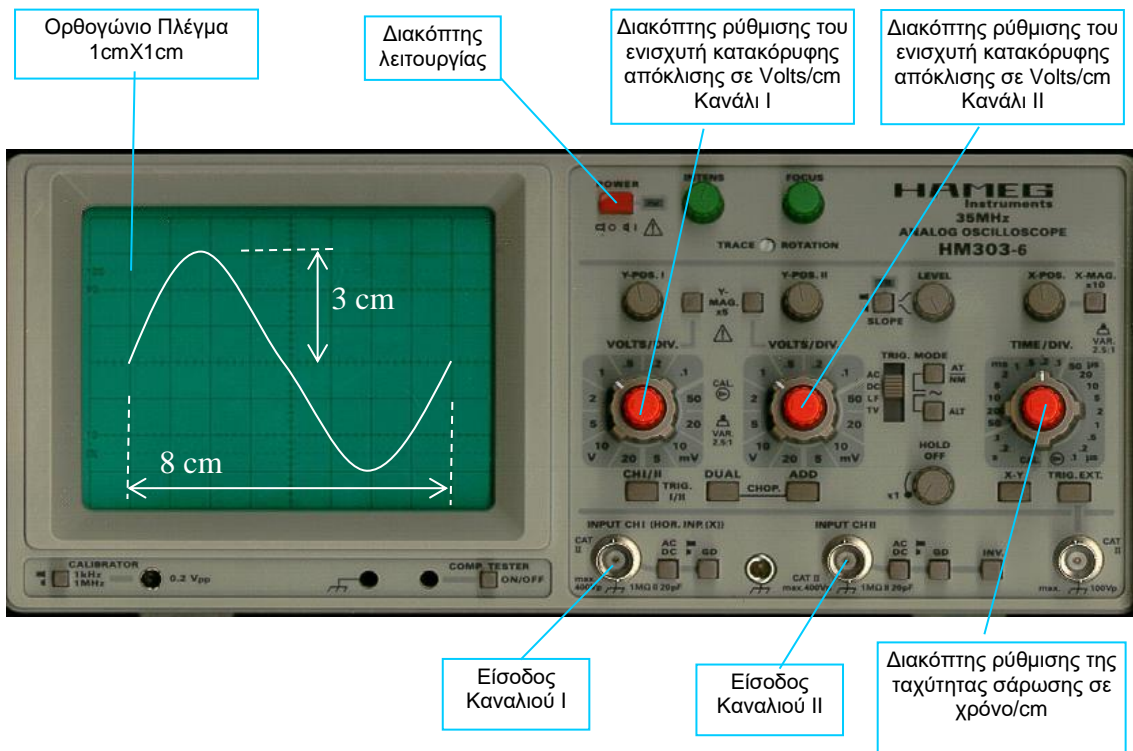
Ο έλεγχος θέσης της φωτεινής κηλίδας επιτυγχάνεται με την εφαρμογή πρόσθετης τάσης στον ενισχυτή κάθετης απόκλισης εκτός της τάσης εισόδου.

Μέρος A

ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ



Στην εικόνα φαίνεται η όψη του παλμογράφου διπλού ίχνους που θα χρησιμοποιήσετε για τη διεξαγωγή των μετρήσεων. Σημειώνονται τα κυριότερα κουμπιά χειρισμού ενώ μια πιο λεπτομερής περιγραφή υπάρχει στο τέλος της άσκησης. Με τον παλμογράφο μπορούν να γίνουν μετρήσεις των ακόλουθων μεγεθών:



Τάση

Μετά την εφαρμογή του σήματος εισόδου στο κανάλι I ή II ρυθμίζουμε το κέρδος του ενισχυτή κατακόρυφης απόκλισης έτσι ώστε η εικόνα του σήματος να καταλαμβάνει το μεγαλύτερο δυνατό μέρος της οθόνης. Ελέγχουμε ότι ο διακόπτης μικρομετρικής ρύθμισης του κέρδους ενίσχυσης βρίσκεται στη θέση CAL (Calibrated) γιατί μόνο τότε ισχύει το κέρδος που αναγράφεται στη θέση που έχει τεθεί ο κύριος διακόπτης ρύθμισης του κέρδους ενίσχυσης. Μετράμε το πλάτος του σήματος σε cm (ή οποιοδήποτε άλλο μέγεθος μεταξύ δύο σημείων του σήματος που απεικονίζεται) με τη βοήθεια του ορθογωνίου πλέγματος που υπάρχει στην οθόνη. Τότε το πλάτος του σήματος είναι,

$$\left(\begin{array}{l} \text{Πλάτος σήματος} \\ \text{(σε Volts ή mVolts)} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Μετρηθέν μήκος} \\ \text{(cm)} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{l} \text{Αναγραφόμενο κέρδος στη θέση} \\ \text{που βρίσκεται ο ρυθμιστής} \\ \text{κατακόρυφης απόκλισης} \\ \text{(Volts ή mVolts / cm)} \end{array} \right)$$



Ένταση ρεύματος

Ο παλμογράφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο έμμεσα για τη μέτρηση εναλλασσόμενου ή συνεχούς ρεύματος. Η τεχνική είναι να μετρήσουμε την αντίστοιχη AC ή DC τάση στα άκρα ενός αντιστάτη γνωστής τιμής. Η διαίρεση της τάσης που μετρήσαμε με τη γνωστή τιμή του αντιστάτη μας δίνει την τιμή του ρεύματος που ρέει μέσω του αντιστάτη.

Χρόνος

Όπως αναφέρθηκε και στην περιγραφή του παλμογράφου, η οριζόντια εκτροπή παριστά τη μεταβολή του χρόνου και συνεπώς η φωτεινή κηλίδα κινείται με σταθερή ταχύτητα από το αριστερό άκρο της οθόνης προς το δεξιό. Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο σημείων σ' ένα σήμα εισόδου υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την απόσταση αυτών σε cm (κατά τον οριζόντιο άξονα) με την ένδειξη κλίμακας στη θέση που βρίσκεται ο ρυθμιστής της ταχύτητας σάρωσης time/cm. Και στην μέτρηση χρόνου πρέπει επίσης να βεβαιωθούμε ότι ο διακόπτης μικρομετρικής ρύθμισης της ταχύτητας σάρωσης είναι στη θέση CAL για να ισχύει ή ένδειξη κλίμακας.

Συχνότητα

Υπάρχουν δύο τρόποι για τη μέτρηση της συχνότητας ενός περιοδικού σήματος εισόδου. Έστω $V(t)$ το σήμα εισόδου. Η περίοδος του $V(t)$ ορίζεται ως η τιμή του T για την οποία ισχύει:

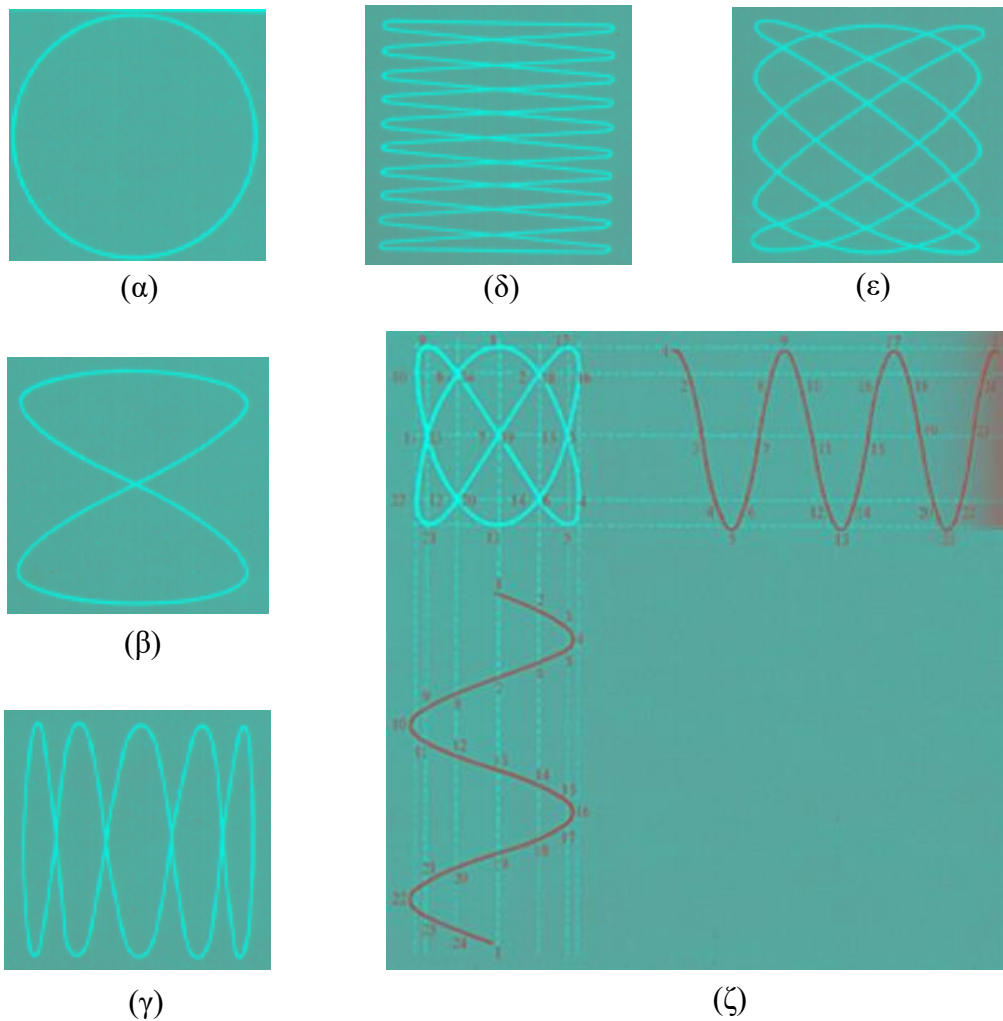
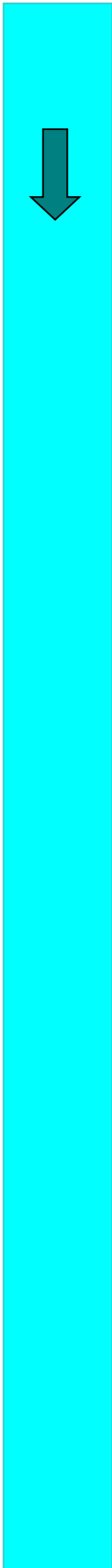
$$V(t) = V(t+T) \text{ για κάθε } t$$

Το αντίστροφο του χρονικού διαστήματος T μεταξύ αντίστοιχων σημείων δύο διαδοχικών κύκλων του σήματος είναι η συχνότητα f , $f=1/T$.

Η δεύτερη μέθοδος βασίζεται στη χρήση των εικόνων Lissajous. Σύμφωνα με αυτή, ένα σήμα άγνωστης συχνότητας συγκρίνεται με ένα σήμα γνωστής συχνότητας. Ανάλογα με το σχήμα που θα σχηματισθεί στην οθόνη του παλμογράφου υπολογίζεται η άγνωστη συχνότητα. Πιο συγκεκριμένα, το σήμα με την άγνωστη συχνότητα f_y εφαρμόζεται στην είσοδο κατακόρυφης απόκλισης και το σήμα με τη γνωστή συχνότητα f_x στην είσοδο οριζόντιας απόκλισης. Εικόνες Lissajous κλειστού βρόχου προκύπτουν όταν η άγνωστη συχνότητα είναι πολλαπλάσιο ρητού κλάσματος της γνωστής συχνότητας. Μετά από μερικές κατάλληλες μικρορυθμίσεις η εικόνα Lissajous που θα εμφανισθεί στην οθόνη μπορεί να είναι συμμετρική και στάσιμη οπότε ισχύει:

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{\text{αριθμόςκαθέτωνκορυφών}}{\text{αριθμόςοριζοντίωνκορυφών}}$$

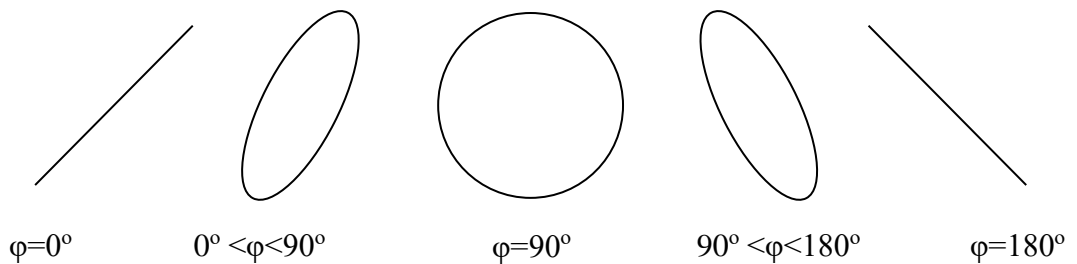
Στο Σχ.7 φαίνονται μερικές εικόνες Lissajous για διάφορους λόγους συχνοτήτων.



Σχ.7. Εικόνες Lissajous α) 1:1, β) 2:1, γ) 1:5, δ)10:1, ε) 5:3, ζ)2:3.

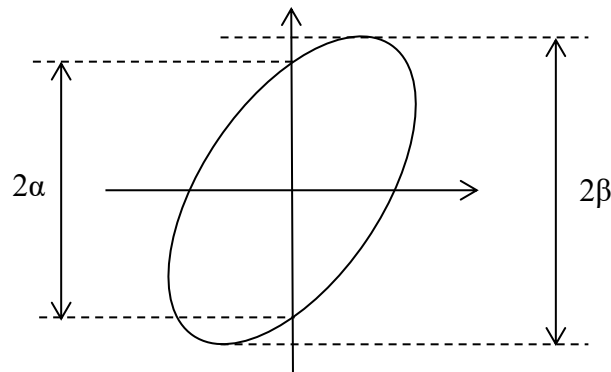
Διαφορά Φάσης

Με τον παλμογράφο μπορούμε να μετρήσουμε τη διαφορά φάσης μεταξύ δύο ημιτονοειδών σημάτων που έχουν την ίδια συχνότητα. Για παράδειγμα, αν η διαφορά φάσης είναι 90° και τα δύο σήματα τροφοδοτούν τις δύο εισόδους του παλμογράφου για X-Y λειτουργία θα παρατηρήσουμε στην οθόνη την εικόνα ενός κύκλου, με την προϋπόθεση ότι η ενίσχυση κατακόρυφης και οριζόντιας απόκλισης θα είναι η ίδια. Στο Σχ.8 φαίνονται παραδείγματα εικόνων παλμογράφου για μερικές διαφορές φάσης από $0^\circ - 180^\circ$.



Σχ.8. Εικόνες παλμογράφου για X-Y λειτουργία δύο σημάτων με τις αντίστοιχες διαφορές φάσης.

Για ακριβή μέτρηση της διαφοράς φάσης χρησιμοποιούμε την σχέση $\varphi = \tan^{-1}(\alpha/\beta)$ όπου τα μήκη α και β φαίνονται στο Σχ.9.



Σχ.9. Μετρούμενα μεγέθη για τον υπολογισμό της διαφοράς φάσης.

Αρχικές ενέργειες

1. Το πρώτο βήμα κατά τη χρήση του παλμογράφου είναι να θέσουμε το διακόπτη λειτουργίας στη θέση “Power On” και να πάρουμε μία καλά εστιασμένη κηλίδα στο κέντρο της οθόνης, ρυθμίζοντας τα κουμπιά μεταβολής της φωτεινότητας (Intensity) και της εστίασης (Focus).
2. Το δεύτερο βήμα είναι να επιλέξουμε τον τύπο της οριζόντιας σάρωσης που θέλουμε. Για την παρατήρηση μιας κυματομορφής, δηλαδή ενός σήματος εισόδου συναρτήσει του χρόνου, επιλέξτε εσωτερικό σκανδαλισμό και θέστε την οριζόντια σάρωση στα 10 msec/cm. Η φωτεινή κηλίδα πρέπει να κινείται οριζόντια με ταχύτητα 1 m/sec. Τότε θα παρατηρείτε μια οριζόντια γραμμή και με την προϋπόθεση ότι δεν έχετε εφαρμόσει σήμα κατακόρυφης απόκλισης. Θέστε το διακόπτη οριζόντιας σάρωσης σε διάφορες θέσεις και παρατηρήστε την κίνηση της φωτεινής κηλίδας.
3. Ρυθμίζοντας το διακόπτη κατακόρυφης στατικής εκτροπής φέρτε την οριζόντια γραμμή στο μέσο του ορθογωνικού πλέγματος για να έχετε μία αναφορά της μηδενικής τάσης.
4. Πριν από την εφαρμογή οποιουδήποτε σήματος πρέπει να έχετε τον επιλογέα κέρδους ενίσχυσης της κατακόρυφης απόκλισης στα 20 Volts/cm. Αφού εφαρμόσετε το σήμα στην είσοδο του παλμογράφου και εκτιμήσετε το πλάτος του, επιλέξτε την κλίμακα που διευκολύνει τις μετρήσεις σας. Μεγάλα πλάτη σήματος είναι δυνατόν να καταστρέψουν τους ενισχυτές καναλιών κατακόρυφης απόκλισης.
5. Μέσω του ειδικού θωρακισμένου καλωδίου, εφαρμόστε το όποιο σήμα θέλετε να παρατηρήσετε στην είσοδο κατακόρυφης απόκλισης στο κανάλι I ή II.

Πειραματική Διάταξη - Μετρήσεις



1. Μετρήστε το εσωτερικό πρότυπο σήμα του παλμογράφου (πλάτος V_p και περίοδος T) και σχεδιάστε τη μορφή του.
2. Συνδέστε την D.C. πηγή στο Κανάλι I του παλμογράφου εφαρμόζοντας τάση 4V. Παρατηρήστε και σχεδιάστε τη μέτρηση στις λειτουργίες a.c. και d.c. του παλμογράφου.
3. Εφαρμόστε στον παλμογράφο από την γεννήτρια συχνοτήτων μία ημιτονοειδή τάση συχνότητας 2 KHz και ρυθμίστε το πλάτος του σήματος στα 3 V. Σχεδιάστε την εικόνα της οθόνης, μετρήστε την περίοδο T της κυματομορφής και ελέγξτε αν η συχνότητά της είναι 2 KHz.
4. Επαναλάβετε το ίδιο προσθέτοντας από τη γεννήτρια μία συνεχή συνιστώσα 1 V. Σχεδιάστε την εικόνα της οθόνης στις δύο θέσεις λειτουργίας του παλμογράφου AC και DC.

Επεξεργασία Μετρήσεων

Χρησιμοποιώντας τις πειραματικές μετρήσεις σχεδιάστε σε μιλιμετρέ χαρτί τις γραφικές παραστάσεις

Μέρος Β

ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΦΑΣΗΣ ΔΥΟ ΗΜΙΤΟΝΟΕΙΔΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ

θ

Αντικείμενο του μέρους Β είναι η μέτρηση της διαφοράς φάσης μεταξύ δύο κυματομορφών τάσης σε ένα κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος με τη βοήθεια ενός παλμογράφου.

Αν τροφοδοτήσουμε ένα γραμμικό κύκλωμα με μία ημιτονοειδή διέγερση, όλες οι τάσεις και όλα τα ρεύματα του κυκλώματος (δηλαδή όλες οι αποκρίσεις) στη μόνιμη κατάσταση θα είναι επίσης ημιτονοειδείς συναρτήσεις. Οι ημιτονοειδείς διεγέρσεις και αποκρίσεις (βλ. Σχ.1) εκφράζονται ως συναρτήσεις συνημιτόνου της μορφής,

$$y(t) = y_m \cos(\omega t + \varphi)$$

όπου

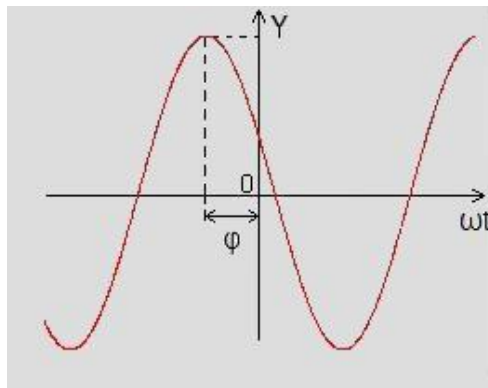
$\omega = 2\pi f$ η κυκλική συχνότητα σε rad/sec

$f = 1/T$ η συχνότητα σε Hz

T η περίοδος σε sec

y_m το εύρος της ημιτονοειδούς συνάρτησης

φ η φάση της ημιτονοειδούς συνάρτησης



Σχ.1

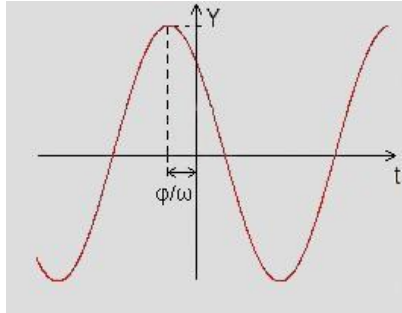
Γνωρίζουμε ότι

$$y(t) = y_m \cos(\omega t + \varphi) = \operatorname{Re}[y_m e^{j\varphi} e^{j\omega t}] = \operatorname{Re}[\mathbf{Y} e^{j\omega t}]$$

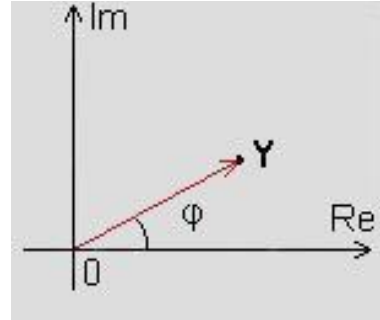
Ο μιγαδικός αριθμός \mathbf{Y} μαζί με την κυκλική συχνότητα ω καθορίζουν πλήρως το ημιτονοειδές μέγεθος $y(t)$. Το \mathbf{Y} είναι, ως γνωστόν, ο φάσορας της ημιτονοειδούς



διέγερσης ή απόκρισης. Η φάση φ αντιστοιχεί στη χρονική μετατόπιση του μεγίστου της ημιτονοειδούς συνάρτησης ως προς την αρχή των αξόνων κατά $t=\varphi/\omega$ sec (βλ. Σχ.2) και ισούται με την γωνία που σχηματίζει η επιβατική ακτίνα από την αρχή των αξόνων μέχρι το σημείο Y με τον άξονα των πραγματικών αριθμών στο μιγαδικό επίπεδο(βλ. Σχ. 3).



Σχ.2



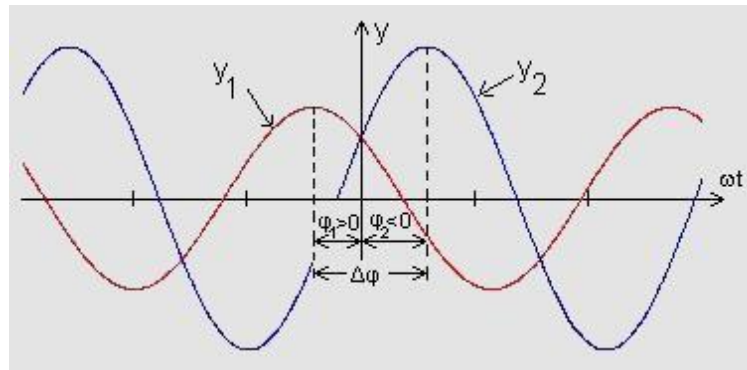
Σχ.3

Δύο ημιτονοειδείς διεγέρσεις ή αποκρίσεις της ίδιας γωνιακής συχνότητας ω

$$y_1 = y_{m1} \cos(\omega t + \varphi_1)$$

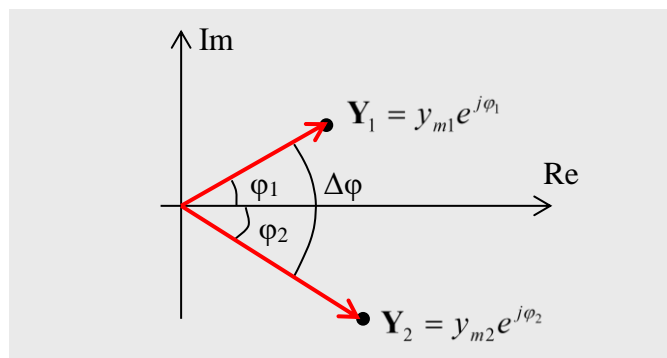
$$y_2 = y_{m2} \cos(\omega t + \varphi_2)$$

έχουν διαφορά φάσης $\Delta\varphi=\varphi_1-\varphi_2$ (βλ. Σχ.4) που αντιστοιχεί στη μικρότερη χρονική απόσταση μεταξύ δύο μεγίστων ή δύο σημείων μηδενισμού των ημιτονοειδών συναρτήσεων.



Σχ.4

Στο μιγαδικό επίπεδο θα έχουμε αντίστοιχα τα φ_1, φ_2 και $\Delta\varphi$ όπως φαίνονται στο Σχ.5.



Σχ.5



Η χρονική απόσταση των δύο πλησιέστερων μεγίστων ή σημείων μηδενισμού θα είναι,

$$\Delta t = \frac{\Delta \varphi}{\omega} \text{ sec} \quad \text{και επομένως} \quad \Delta \varphi = \omega \cdot \Delta t .$$

Συνήθως για λόγους ευκολίας εκφράζουμε τα φ και $\Delta \varphi$ σε μοίρες όπως π.χ.

$$U_1(t) = 100 \cos(\omega t + 45^\circ) \text{ V} \quad \text{και} \quad U_2(t) = 50 \cos(\omega t - 60^\circ) \text{ V} .$$

Τότε, η γωνιακή συχνότητα ω είναι,

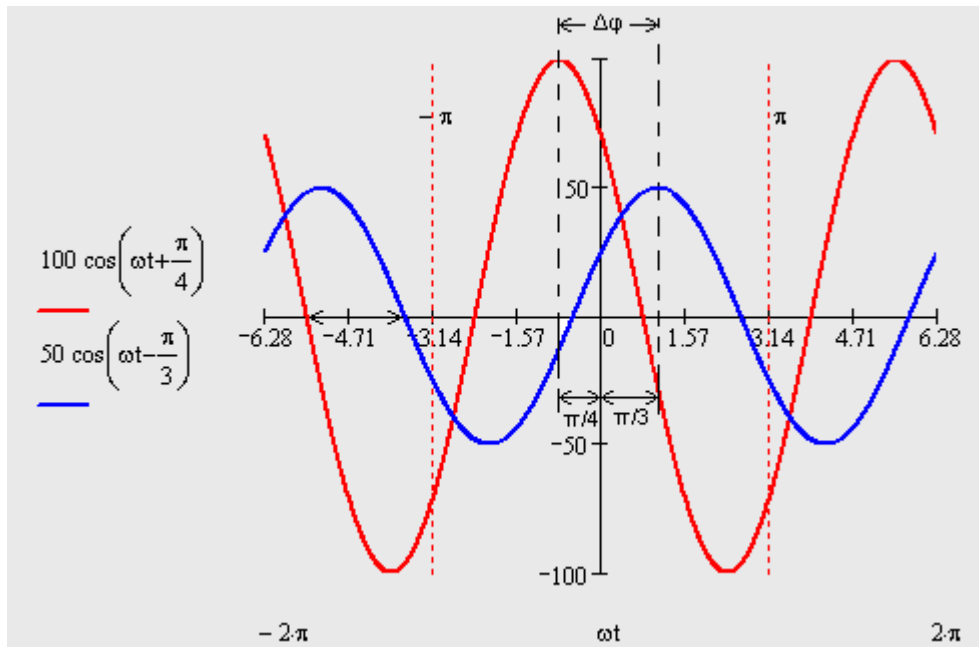
$$\omega = 360^\circ f \text{ deg/sec} \quad (\text{ή} \quad 2\pi f \text{ rad/sec}),$$

η διαφορά φάσης

$$\Delta \varphi = 45^\circ - (-60^\circ) = 105^\circ \quad \text{ή} \quad \Delta \varphi = \frac{\pi}{4} - \left(-\frac{\pi}{3}\right) = 1.83 \text{ rad}$$

και η χρονική απόσταση των μεγίστων, όπως φαίνεται στο Σχ.6,

$$\Delta t = \frac{\Delta \varphi}{\omega} = \left(\frac{105^\circ}{360^\circ}\right) \left(\frac{1}{f}\right) = \left(\frac{105^\circ}{360^\circ}\right) T \text{ sec} \quad \text{ή} \quad \Delta t = \left(\frac{1.83}{2\pi}\right) T \text{ sec}$$



Σχ.6

Η μέτρηση της διαφοράς φάσης με τον παλμογράφο μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

- A) Μετρώντας την μετατόπιση του ενός σήματος ως προς το άλλο και
- B) Με τη βοήθεια των σχημάτων Lissajous.



Τρόπος Α: Τα δύο σήματα εφαρμόζονται στα δύο κανάλια CHI και CHII του παλμογράφου. Για να είναι ακριβείς οι μετρήσεις θα πρέπει προηγουμένως :

- Τα δύο ίχνη να ταυτίζονται όταν είναι πατημένο το κουμπί γείωσης (GD)
- Ο διακόπτης μικρομετρικής ρύθμισης της ταχύτητας σάρωσης του παλμογράφου να είναι στη θέση C (calibration).
- Μετρούμε τη μετατόπιση ενός αναγνωρίσιμου σημείου (π.χ. μεγίστου, μηδενισμού κ.α.)

του ενός σήματος ως προς το αντίστοιχο σημείο του άλλου σήματος.

Μετρούμε επίσης την περίοδο των σημάτων η οποία είναι κοινή λόγω της ίδιας συχνότητας.

Το πηλίκο της μετατόπισης προς την περίοδο επί 360° ή επί 2π δίνει τη διαφορά φάσης σε μοίρες ή σε ακτίνια αντίστοιχα, δηλαδή

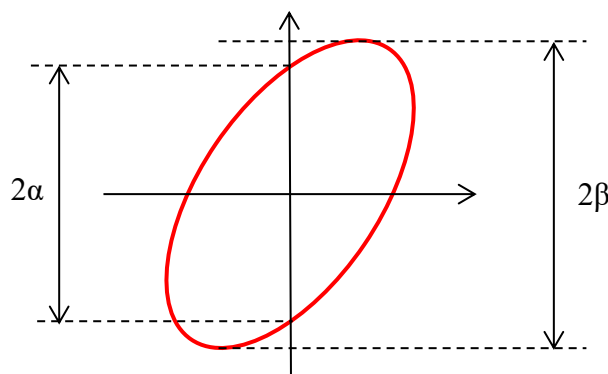
$$\Delta\varphi = \omega\Delta t$$

άρα
$$\Delta\varphi = 360^\circ \left(\frac{\Delta t}{T}\right) \quad \text{ή} \quad \Delta\varphi = 2\pi \left(\frac{\Delta t}{T}\right)$$

όπου Δt η μετατόπιση και T η περίοδος των σημάτων.

Τρόπος Β: Αν δύο σήματα της ίδιας συχνότητας εφαρμοστούν το ένα στις πλάκες κατακόρυφης απόκλισης και το άλλο στις πλάκες οριζόντιας απόκλισης του παλμογράφου (λειτουργία παλμογράφου σε κατάσταση X-Y ή EXT X), τότε η εικόνα που θα παρατηρήσουμε θα είναι μία έλλειψη όπως φαίνεται στο Σχ.7. Μετρώντας τα μήκη 2α και 2β , η διαφορά φάσης δίνεται από τη σχέση:

$$\varphi = \sin^{-1} \frac{\alpha}{\beta}$$

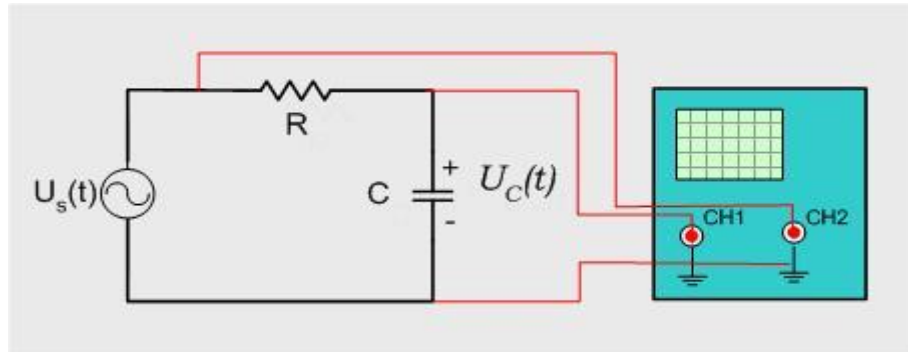


Σχ.7

Πειραματική Διάταξη - Μετρήσεις



1. Αφού ρυθμίσετε τη συχνότητα της γεννήτριας στα 500Hz και το πλάτος της τάσης στα 3Vp (με τη βοήθεια του παλμογράφου), καθώς και το Time/div στα 0,2msec στον παλμογράφο, πραγματοποιείτε τη συνδεσμολογία του Σχ.8 και θεωρήστε το κύκλωμα στη μόνιμη ημιτονοειδή κατάσταση.



Σχ.8

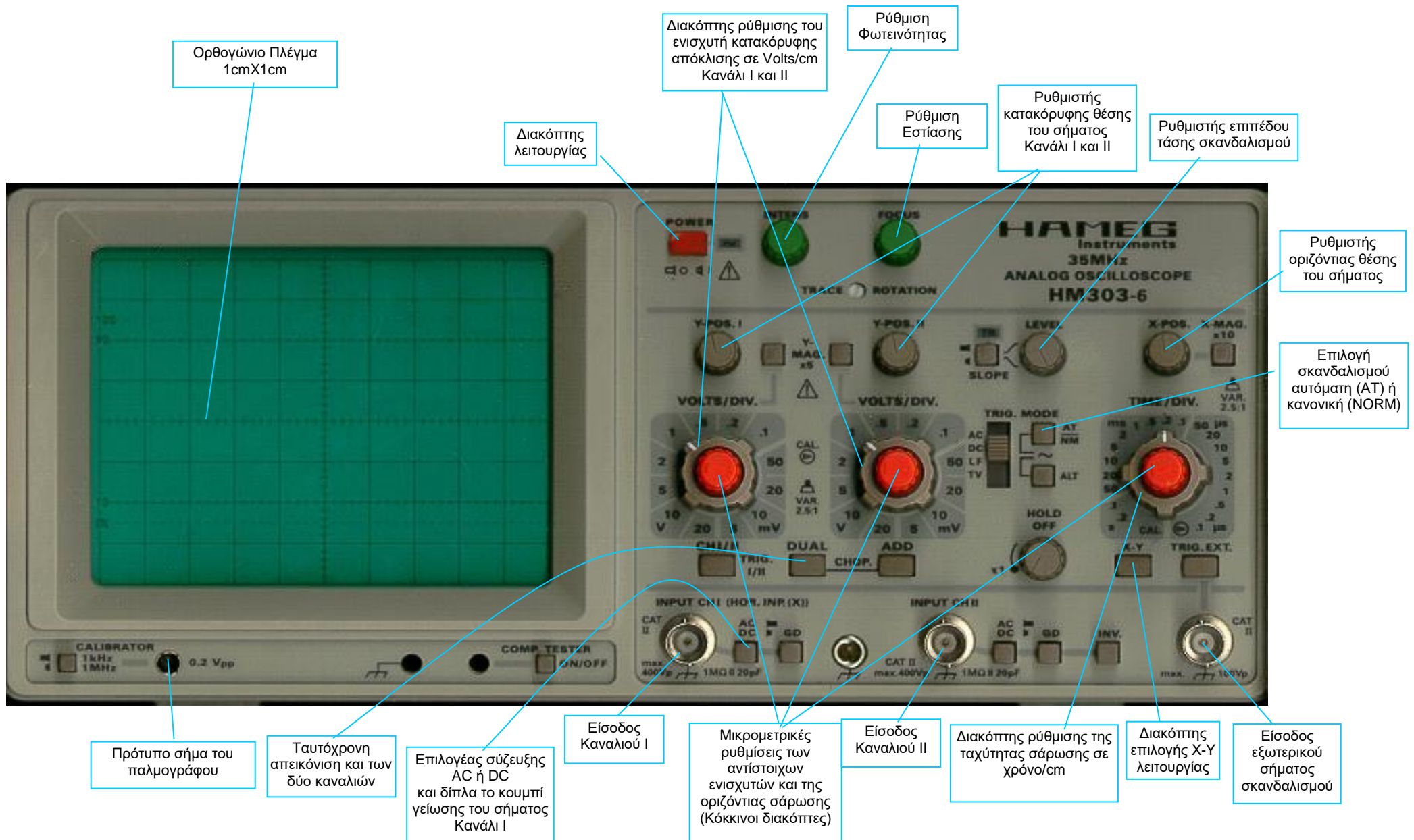


2. Για τις ακόλουθες τιμές των στοιχείων:
χωρητικότητα $C=1\mu\text{F}$, αντίσταση $R=100, 200, 300, \dots, 1000 \Omega$
 - α) Μετρήστε και με τους δύο τρόπους μέτρησης τη διαφορά φάσης μεταξύ της εισόδου $V_S(t)$ και της εξόδου $V_C(t)$ του κυκλώματος.
 - β) Στη θέση του πυκνωτή βάλτε την αντίσταση και στη θέση της αντίστασης τον πυκνωτή. Μετρήστε και με τους δύο τρόπους μέτρησης τη διαφορά φάσης μεταξύ της εισόδου $V_S(t)$ και της εξόδου $V_R(t)$ του κυκλώματος.

Επεξεργασία Μετρήσεων



1. Υπολογίστε θεωρητικά τη διαφορά φάσης εισόδου-εξόδου για τις περιπτώσεις (2α) και (2β).
2. Σχεδιάστε σε κοινούς άξονες τη θεωρητική και τις πειραματικές καμπύλες $\Delta\varphi=f(R)$ για τις περιπτώσεις (2α,3) και (2β,3). (Τρεις καμπύλες για πηγή-πυκνωτή και τρεις για πηγή-αντίσταση).
3. Ποια είναι τα συμπεράσματά σας σχετικά με τη μεταβολή της φ συναρτήσει της R για πηγή-πυκνωτή και για πηγή-αντίσταση. Εξηγήστε τις απαντήσεις σας.



Πρότυπο σήμα του παλμογράφου

Ταυτόχρονη απεικόνιση και των δύο καναλιών

Επιλογές σύζευξης AC ή DC και δίπλα το κουμπί γείωσης του σήματος Κανάλι I

Είσοδος Καναλιού I

Μικρομετρικές ρυθμίσεις των αντίστοιχων ενισχυτών και της οριζόντιας σάρωσης (Κόκκινοι διακόπτες)

Είσοδος Καναλιού II

Διακόπτης ρύθμισης της ταχύτητας σάρωσης σε χρόνο/cm

Διακόπτης επιλογής X-Y λειτουργίας

Είσοδος εξωτερικού σήματος σκανδαλισμού

Διακόπτης λειτουργίας

Διακόπτης ρύθμισης του ενισχυτή κατακόρυφης απόκλισης σε Volts/cm Κανάλι I και II

Ρύθμιση Φωτεινότητας

Ρύθμιση Εστίασης

Ρυθμιστής κατακόρυφης θέσης του σήματος Κανάλι I και II

Ρυθμιστής επιπέδου τάσης σκανδαλισμού

Ρυθμιστής οριζόντιας θέσης του σήματος

Επιλογή σκανδαλισμού αυτόματη (AT) ή κανονική (NORM)