

Άσκηση 15

Παλμογράφος

15.1. Σκοπός

Σκοπός της άσκησης είναι η μελέτη της βασικής δομής και λειτουργίας ενός παλμογράφου και η εξάσκηση του σπουδαστή στη χρήση του σε μετρήσεις συνεχούς και εναλλασσόμενης τάσης, συχνότητας, μικρών χρόνων και διαφοράς φάσης μεταξύ δύο ημιτονικών κυματομορφών. Θα μελετηθούν ακόμη το φαινόμενο των διακροτημάτων και οι καμπύλες Λισαζού (Lissajous).

15.2. Γενικά

Ο παλμογράφος είναι το πιο χρήσιμο όργανο μελέτης και μέτρησης της εναλλασσόμενης και συνεχούς τάσης και χρησιμοποιείται ευρύτατα σε πολλούς τομείς της επιστημονικής έρευνας και τεχνολογίας. Το όργανο αυτό παρέχει οπτική απεικόνιση πάσης φύσεως κυματομορφής συνεχούς και εναλλασσόμενης τάσης, όπως επίσης μικρής διάρκειας χρόνου και διαφορών φάσης μεταξύ δύο ημιτονικών τάσεων.

Τα περισσότερα όργανα που μετρούν τάσεις χρησιμοποιούν μηχανικά μέσα, όπως πηνία, δείκτες, κάτοπτρα κ.λπ. Τα κινούμενα μηχανικά μέρη του μετρητή έχουν μεγάλη μηχανική αδράνεια και, ενώ είναι αξιόπιστα όταν τα όργανα αυτά μετρούν μια σταθερή στον χρόνο τάση, είναι αναξιόπιστα όταν, λόγω αδράνειας του μετρητή, η τάση μεταβάλλεται με μεγάλη συχνότητα.

Στον παλμογράφο, τον ρόλο του δείκτη ή της βελόνας του αναλογικού μετρητή παίζει μια λεπτή δέσμη ηλεκτρονίων, η οποία εκτρέπεται από τη μετρούμενη τάση. Όπως γνωρίζουμε, η δέσμη ηλεκτρονίων έχει αμελητέα αδράνεια, επομένως μπορεί να ακολουθήσει πολύ γρήγορες μεταβολές τάσης, που αντιστοιχούν σε μερικές εκατοντάδες MHz.

15.2.1. Ο καθοδικός σωλήνας του παλμογράφου

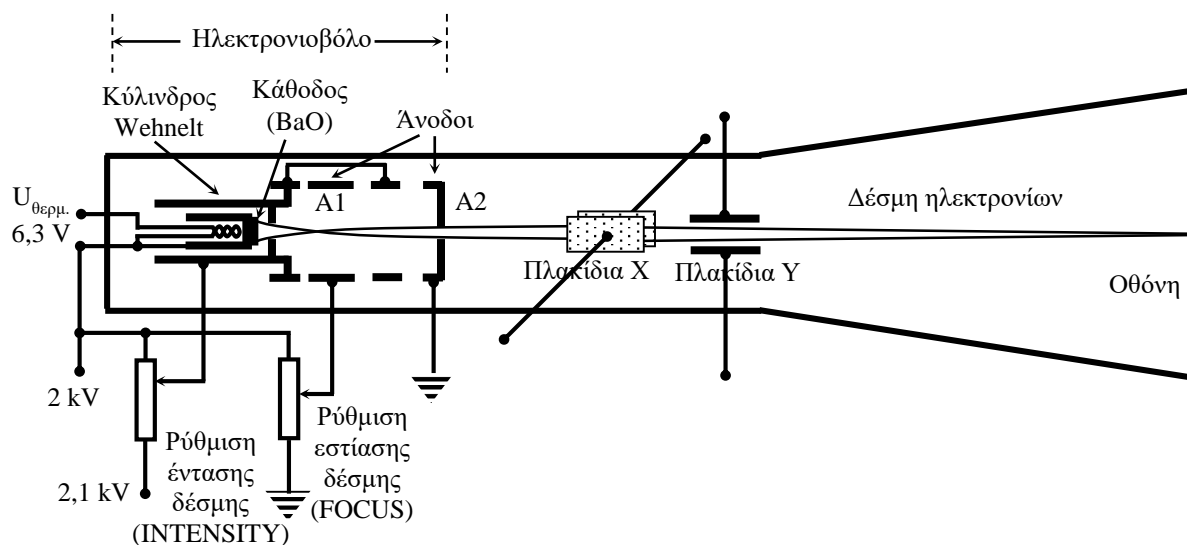
Το κυριότερο εξάρτημα κάθε παλμογράφου είναι ο **καθοδικός σωλήνας** (Σχ. 15.1). Αποτελείται από έναν αερόκενο γυάλινο σωλήνα, ένα ηλεκτρονιοβόλο (electron gun) και δύο ζεύγη πλακιδίων εκτροπής, των λεγόμενων πλακιδίων X και Y.

Στο ένα άκρο του σωλήνα βρίσκεται το ηλεκτρονιοβόλο, ενώ το άλλο διευρύνεται, σχηματίζοντας χοάνη που καταλήγει σε μια σχεδόν επίπεδη επιφάνεια, την **οθόνη** του παλμογράφου. Η εσωτερική πλευρά της οθόνης είναι καλυμμένη με ZnS, που φθορίζει έντονα όταν βομβαρδίζεται με ηλεκτρόνια. Μια λεπτή δέσμη ηλεκτρονίων, με ενέργειες της τάξης των 2000 eV, προσκρούει στην επιφάνεια της φθορίζουσας ουσίας και στο σημείο πρόσκρουσης δημιουργείται μια φωτεινή κηλίδα, η διάμετρος της οποίας είναι περίπου 0,5 mm. **Η κηλίδα αυτή είναι ο δείκτης του οργάνου.**

Η εφαρμογή κάποιας τάσης στα πλακίδια Y προκαλεί μετατόπιση της δέσμης ηλεκτρονίων, επομένως και της φωτεινής κηλίδας, στον κατακόρυφο άξονα της οθόνης. Η μετατόπιση της κηλίδας είναι ανάλογη προς την εφαρμοζόμενη τάση. Τα πλακίδια X επιδρούν στη φωτεινή κηλίδα με ανάλογο τρόπο, αλλά εδώ η μετατόπιση γίνεται στον οριζόντιο άξονα της οθόνης. Επομένως, όταν γνωρίζουμε την ευαισθησία των πλακιδίων και η οθόνη είναι χαραγμένη και

βαθμονομημένη, τότε από τη μετατόπιση της κηλίδας μπορούμε να υπολογίσουμε την τάση που την προκάλεσε. Αυτή είναι η βασική λειτουργία του παλμογράφου.

Τα κύρια και σπουδαιότερα μέρη του καθοδικού σωλήνα φαίνονται στο Σχ. 15.1.



Σχήμα 15.1. Σχηματική παράσταση του καθοδικού σωλήνα του παλμογράφου.

15.2.2. Ηλεκτρονιοβόλο του καθοδικού σωλήνα

15.2.2.1. Κάθοδος

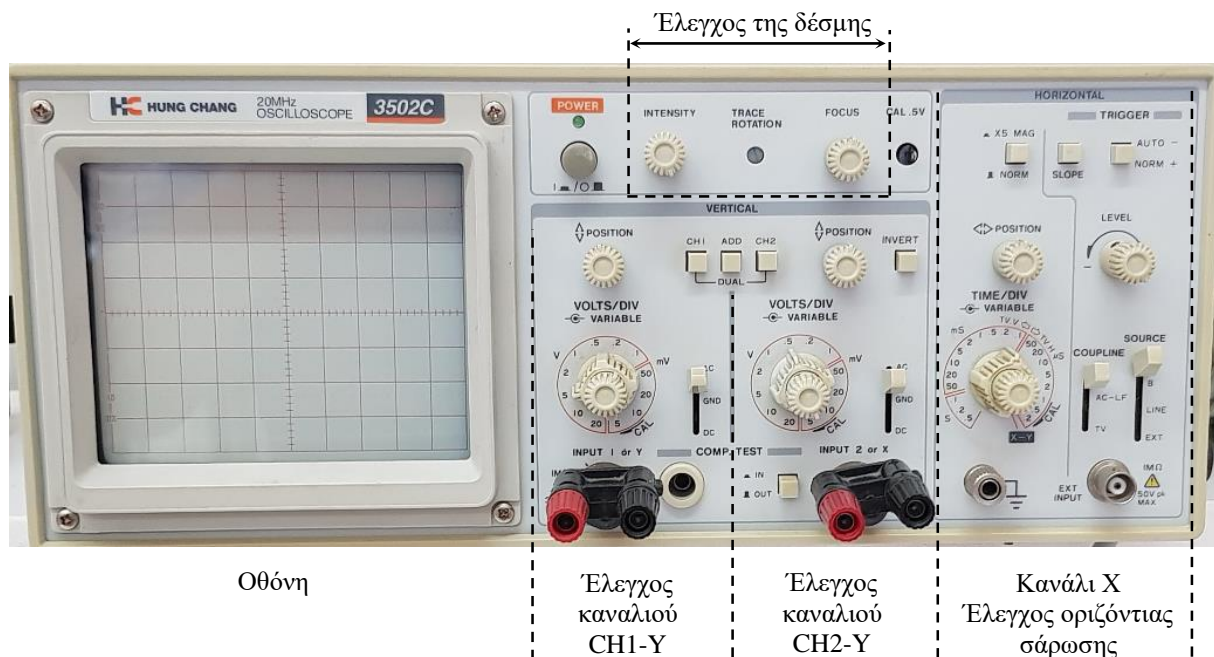
Η αποστολή του ηλεκτρονιοβόλου είναι να παράγει λεπτή και καλά εστιασμένη δέσμη ηλεκτρονίων με σχετικά μικρές ενέργειες, ώστε τα πλακίδια X και Y να την εκτρέπουν εύκολα, ενώ από την άλλη πλευρά οι ενέργειές τους πρέπει να είναι αρκετά μεγάλες προκειμένου να διασφαλίζεται έντονος φθορισμός της φθορίζουσας ουσίας. Βρέθηκε πειραματικά ότι ενέργειες 2000 eV είναι κοντά στη βέλτιστη τιμή.

Στο ηλεκτρονιοβόλο, τα ηλεκτρόνια παράγονται θερμιοκικά, δηλαδή εκπέμπονται από μια θερμή επιφάνεια που έχει μικρό έργο εξαγωγής των ηλεκτρονίων (π.χ. BaO). Συνηθίζεται η επιφάνεια που εκπέμπει τα ηλεκτρόνια να ονομάζεται **κάθοδος**, ενώ το άλλο ηλεκτρόδιο, στο οποίο εφαρμόζεται θετικό δυναμικό και συλλέγει τα ηλεκτρόνια, να ονομάζεται **άνοδος**.

Η γενική όψη του παλμογράφου δύο καναλιών δίνεται στο Σχ. 15.2, όπου εικονίζονται τα διάφορα κουμπιά ελέγχου του οργάνου και των λειτουργιών του. Στην πρόσοψη του οργάνου, μεταξύ άλλων, υπάρχουν:

1. Ο γενικός διακόπτης, **ON-OFF**.
2. Τα κουμπιά ελέγχου της δέσμης ηλεκτρονίων **INTENSITY** (ένταση) και **FOCUS** (εστίαση).
3. Η είσοδος του σήματος στο κανάλι 1, **CH1-Y**,
4. Ο επιλογέας ευαισθησίας, **VOLTS/DIV**, και το κουμπί **POSITION**, που επιτρέπει τον χειροκίνητο έλεγχο της θέσης του «μηδενός» στην οθόνη του οργάνου.
5. Δεξιά βρίσκονται τα κουμπιά του καναλιού 2, **CH2-Y**, όταν θέλουμε να μελετήσουμε ταυτόχρονα 2 ηλεκτρικά σήματα.
6. Τέρμα δεξιά βρίσκονται τα όργανα ελέγχου της **ταχύτητας οριζόντιας σάρωσης** της φωτεινής κηλίδας, τα κυριότερα εκ των οποίων είναι ο επιλογέας **TIME/DIV** και το κουμπί **(TRIGGER) LEVEL**, που σταθεροποιεί την εικόνα της κυματομορφής στην οθόνη (με την κατάλληλη ρύθμιση αποτρέπουμε την κύλιση της εικόνας στην οθόνη).

Ο ρόλος και η αποστολή των υπόλοιπων κουμπιών αναπτύσσονται στο εγχειρίδιο του οργάνου.



Σχήμα 15.2. Η γενική όψη του παλμογράφου δύο καναλιών.

Στο σημείο αυτό είναι σκόπιμο να εξετάσουμε μερικές βασικές λειτουργίες του παλμογράφου, όπως και τον έλεγχο τους.

15.2.2.2. Κύλινδρος Wehnelt του ηλεκτρονιοβόλου και το κουμπί «INTENSITY»

Ο κύλινδρος Wehnelt περιβάλλει την κάθοδο (Σχ. 15.1) και έχει ένα μικρό άνοιγμα απέναντι από το κέντρο της. Ως προς την κάθοδο, το δυναμικό του είναι αρνητικό κατά 10-20 V. Χρησιμεύει για τη ρύθμιση της έντασης του ρεύματος της δέσμης, το οποίο, με τη σειρά του, ρυθμίζει την ένταση της φωτεινής κηλίδας στην οθόνη.

Το ρεύμα αυτό ρυθμίζεται με ειδικό κουμπί που βρίσκεται στην πρόσοψη του οργάνου, στο πλάι του οποίου αναγράφεται «INTENSITY». Στη θέση «τέρμα αριστερά», το ρεύμα της δέσμης μηδενίζεται και η κηλίδα εξαφανίζεται από την οθόνη, ενώ τη θέση «τέρμα δεξιά» (έντονη φωτεινή κηλίδα) **την αποφεύγουμε**, καθώς εδώ ελλοχεύει ο κίνδυνος καταστροφής της φθορίζουσας ουσίας της οθόνης.

15.2.2.3. Πρώτη άνοδος του ηλεκτρονιοβόλου και το κουμπί «FOCUS»

Η ρύθμιση της έντασης της φωτεινής κηλίδας, ή ισοδύναμα του αρνητικού δυναμικού του κυλίνδρου Wehnelt, μεταβάλλει ελαφρώς τη θέση της πρώτης εστίας στο ηλεκτρονιοβόλο (βλ. Σχ. 15.1), γεγονός που προκαλεί μετατόπιση της θέσης και της δεύτερης εστίας. Με άλλα λόγια, η δέσμη εστιάζεται σε ένα επίπεδο που δεν συμπίπτει με την οθόνη και η κηλίδα φαίνεται μη εστιασμένη.

Η θέση της πρώτης άρα και της δεύτερης εστίας επανέρχονται στο ίδιο σημείο ρυθμίζοντας την τάση στην πρώτη άνοδο (A_1), η οποία έχει σχήμα κοίλου κυλίνδρου. Επομένως, μετά από τη ρύθμιση του ρεύματος της δέσμης, ή ισοδύναμα της έντασης της φωτεινής κηλίδας, επιβάλλεται νέα ρύθμιση της τάσης στην πρώτη άνοδο, με τη βοήθεια ειδικού κουμπιού στην πρόσοψη του οργάνου όπου αναγράφεται «FOCUS».

15.2.2.4. Δεύτερη άνοδος του ηλεκτρονιοβόλου και ο χώρος ελεύθερης διαδρομής

Η δεύτερη άνοδος (A_2) έχει σχήμα δίσκου με μία μικρή οπή στο κέντρο και είναι γειωμένη. Η μικρή οπή αποκόπτει εκείνα τα ηλεκτρόνια της δέσμης που αποκλίνουν πολύ από την πορεία και οι διάφορες ρυθμίσεις δεν μπορούν να τα εστιάσουν.

Στον χώρο της ελεύθερης διαδρομής βρίσκονται τα δύο ζεύγη πλακιδίων εκτροπής. Για να μην επηρεάζεται η δέσμη από τα ανακλώμενα ηλεκτρόνια και εξωτερικά ηλεκτρικά πεδία, η εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα γίνεται ηλεκτρικά αγωγίμη, καθώς επικαλύπτεται με λεπτό στρώμα από γραφίτη.

15.2.2.5. Πλακίδια εκτροπής

Οι κυριότερες παράμετροι των πλακιδίων εκτροπής είναι η ευαισθησία τους και οι μη γραμμικές παραμορφώσεις του ηλεκτρικού σήματος που βλέπει κανείς στην οθόνη. Για παράδειγμα, στον παλμογράφο της άσκησης η ευαισθησία των πλακιδίων Y είναι 12 V/DIV (ή V/cm).

15.2.3. Διαδρομή του σήματος στο κανάλι Y

Στον παλμογράφο, το ηλεκτρικό σήμα που θέλουμε να μελετήσουμε δεν εφαρμόζεται απευθείας στα πλακίδια Y , αλλά πρώτα οδηγείται σε διαιρέτη τάσης, όταν το σήμα είναι μεγάλο, ή ενισχύεται με ειδικό ενισχυτή ηλεκτρικών σημάτων, όταν το σήμα είναι μικρό.

Σε κάθε περίπτωση, η ευαισθησία του παλμογράφου και η βαθμονόμησή του ελέγχεται από τον επιλογέα **VOLTS/DIV** του αντίστοιχου καναλιού, στον άξονα του οποίου υπάρχει άλλο ένα κουμπί (**VARIABLE**) που μπορεί να ρυθμίζεται. Τονίζεται ότι οι τιμές των **VOLTS/DIV**, για παράδειγμα, 0,5 V/DIV ή cm, ισχύουν μόνο όταν το κουμπί **VARIABLE** βρίσκεται στη θέση **CAL** (calibration) που υποδεικνύεται στην πρόσοψη του οργάνου. Σε οποιαδήποτε άλλη θέση του κουμπιού αυτού οι αναγραφόμενες τιμές παύουν να ισχύουν και ο παλμογράφος **παύει να είναι βαθμονομημένος**.

Η ζώνη ομαλής ενίσχυσης του ενισχυτή (band width) αναγράφεται στην πρόσοψη του οργάνου. Για παράδειγμα, στον παλμογράφο της άσκησης είναι 20 MHz, που σημαίνει ότι ο ενισχυτής του παλμογράφου ενισχύει ομαλά τα ηλεκτρικά σήματα από 0 έως 20 MHz. Σε υψηλότερες συχνότητες ο ενισχυτής του παλμογράφου αδυνατεί να αποκριθεί.

Το ηλεκτρικό σήμα εφαρμόζεται συνήθως στην είσοδο τύπου BNC όπου αναγράφεται CH1, όταν ο παλμογράφος είναι δύο καναλιών. Στους περισσότερους παλμογράφους αναγράφεται ακόμη η αντίσταση και η χωρητικότητα εισόδου του οργάνου (1 MΩ, 20 pF), που μερικές φορές πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από τον ερευνητή.

15.2.3.1. Ο επιλογέας εισόδου

Στην είσοδο του οργάνου, το εισερχόμενο σήμα οδηγείται αμέσως μετά σε έναν χειροκίνητο επιλογέα 3 θέσεων: AC, GND και DC.

1. **Θέση AC:** Το AC σημαίνει εναλλασσόμενο ρεύμα. Όταν ο επιλογέας βρίσκεται σε αυτή τη θέση, στη διαδρομή του σήματος παρεμβάλλεται ένας πυκνωτής (συνήθως 1 μ F). Η λειτουργία αυτή επιλέγεται όταν ο χρήστης επιθυμεί να απαλλαγεί από τη συνεχή συνιστώσα της μικτής τάσης (τάση συνεχής και εναλλασσόμενη).
2. **Θέση GND:** Το GND σημαίνει ground, δηλαδή Γη. Η θέση αυτή επιλέγεται όταν ο χρήστης επιθυμεί να ρυθμίσει τη θέση του μηδενός στην οθόνη. Στη θέση αυτή αποκόπτεται το εισερχόμενο σήμα και ταυτόχρονα γειώνεται η είσοδος του ενισχυτή.

3. **Θέση DC:** Το DC σημαίνει συνεχές ρεύμα. Στη θέση αυτή η σύνδεση της εισόδου με τον ενισχυτή είναι άμεση, χωρίς να παρεμβάλλεται ο πυκνωτής. Επομένως, εδώ ο παλμογράφος ανταποκρίνεται σε κάθε είδους σήματα, AC, DC και μικτά.

15.2.3.2. Ο επιλογέας καναλιού

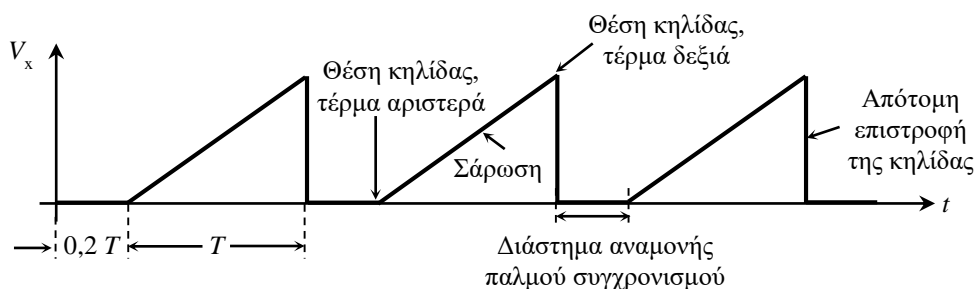
Ο παλμογράφος της άσκησης είναι δύο καναλιών, συνεπώς στην οθόνη του παλμογράφου μπορεί κανείς να βλέπει και να μελετά δύο ηλεκτρικά σήματα ταυτόχρονα. Αλλά ένας ειδικός επιλογέας, τεσσάρων θέσεων, επιτρέπει στον χρήστη να παρουσιάζει στην οθόνη μόνο το πρώτο, μόνο το δεύτερο ή τα δύο σήματα μαζί. Έτσι:

1. Στη θέση **CH 1**, στην οθόνη του παλμογράφου υπάρχει μόνο το σήμα που εισάγεται στο κανάλι 1.
2. Στη θέση **CH 2**, στην οθόνη του παλμογράφου υπάρχει μόνο το σήμα που εισάγεται στο κανάλι 2.
3. Στη θέση **DUAL**, στην οθόνη φαίνονται τα σήματα και των δύο καναλιών.
4. Στη θέση **ADD**, στην οθόνη φαίνεται το αλγεβρικό άθροισμα των δύο σημάτων.

15.2.4. Οριζόντια σάρωση της δέσμης και ο άξονας χρόνου του παλμογράφου. Κανάλι X

Σε κανονική λειτουργία, η φωτεινή κηλίδα σαρώνει την οθόνη από αριστερά προς τα δεξιά, με σταθερή ταχύτητα που επιλέγει ο χρήστης με τον επιλογέα **TIME/DIV**. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ο άξονας χρόνου, σε μονάδες s/DIV (ή s/cm). Στον άξονα του επιλογέα υπάρχει ένα δεύτερο κουμπί (**VARIABLE**) που μπορεί να ρυθμίζεται. Οι αναγραφόμενες ταχύτητες σάρωσης ισχύουν και εδώ μόνο όταν το κουμπί **VARIABLE** βρίσκεται στη θέση **CAL** (calibration). Σε οποιαδήποτε άλλη θέση η ταχύτητα σάρωσης της φωτεινής κηλίδας είναι **απροσδιόριστη**.

Η σάρωση της δέσμης στην οθόνη επιτυγχάνεται μέσω εφαρμογής γραμμικά αυξανόμενης τάσης στα πλακίδια οριζόντιας εκτροπής X. Η τάση αυτή παράγεται στο εσωτερικό του παλμογράφου, από μια ειδική γεννήτρια «πριονωτής» τάσης. Ονομάζεται πριονωτή επειδή, όταν τη βλέπει κανείς στην οθόνη κάποιου άλλου παλμογράφου, φαίνεται όπως στο Σχ. 15.3, όπου η κλίση της πριονωτής τάσης ελέγχεται από τον χρήστη με τον επιλογέα **TIME/DIV**.



Σχήμα 15.3. Η πριονωτή τάση για τη σάρωση της δέσμης στην οθόνη.

15.2.4.1. Μονάδα συγχρονισμού

Η μονάδα αυτή είναι το σημαντικότερο 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, 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 (TRIGGER) LEVEL, κοντά στο οποίο βρίσκεται και το κουμπί AUTO/NORMAL.

Το κουμπί LEVEL ελέγχει τη **στάθμη του σήματος**, το σημείο δηλαδή όπου δημιουργείται ο λεγόμενος **παλμός σκανδαλισμού** (triggering), ο οποίος ελέγχει **πότε πρέπει να αρχίζει η σάρωση**, δηλαδή η έναρξη της γραμμικής ανόδου της πριονωτής τάσης. Για παράδειγμα, αν το πλάτος του ημιτονικού σήματος που μελετάμε είναι 1,5 V, ενώ τη στάθμη του LEVEL την επιλέξουμε 1 V (η ρύθμιση αυτή γίνεται στα «τυφλά», περιστρέφοντας το κουμπί LEVEL, δεξιά-αριστερά, ώσπου να σταθεροποιηθεί η εικόνα), στην οθόνη θα φαίνεται η ακίνητη εικόνα του ημιτόνου, η οποία θα αρχίζει από 1 V. Αν η στάθμη του LEVEL επιλεγεί μεγαλύτερη από το πλάτος του σήματός μας, στο παράδειγμά μας πάνω από 1,5 V, στην οθόνη, το ημίτονο θα «κυλάει», καθώς τώρα δεν δημιουργείται ο παλμός σκανδαλισμού και η γεννήτρια πριονωτής τάσης «ταλαντώνεται» **αυτόνομα**, χωρίς να προσαρμόζεται η συχνότητά της.

Το κουμπί AUTO/NORMAL ελέγχει την κατάσταση της γεννήτριας πριονωτής τάσης. Σε κατάσταση NORMAL, η γεννήτρια πριονωτής τάσης βρίσκεται σε **κατάσταση μόνιμης αναμονής**, δηλαδή δεν «ταλαντώνεται» και αναμένει τον παλμό σκανδαλισμού επ' άπειρον, ο οποίος, να σημειωθεί, δημιουργείται **μόνο** όταν στην είσοδο του οργάνου εισάγεται κάποιο σήμα. Χωρίς το σήμα αυτό, εξαφανίζεται η ακίνητη φωτεινή κηλίδα (μπλοκάρεται η δέσμη προκειμένου να μην «καεί» η φθορίζουσα ουσία) και η εντύπωση που δημιουργείται στον χρήστη είναι ότι «ο παλμογράφος χάλασε». Στην κατάσταση AUTO, στην οθόνη αμέσως εμφανίζεται η οριζόντια γραμμή της φωτεινής κηλίδας, ακόμη και όταν δεν εισάγουμε ηλεκτρικό σήμα στην είσοδο του οργάνου, καθώς στην κατάσταση αυτή η γεννήτρια της πριονωτής τάσης «ταλαντώνεται» **αυτόματα**, δημιουργώντας το ηλεκτρικό σήμα που βλέπουμε στο Σχ. 15.3.

15.2.4.2. Ο επιλογέας του σήματος συγχρονισμού

Ο επιλογέας αυτός βρίσκεται στην πρόσοψη του παλμογράφου, όπου δίπλα του αναγράφεται SOURCE. Ο επιλογέας αυτός έχει 4 θέσεις: EXT, LINE, CH2 και INT.

1. Στη θέση **EXT**, ο συγχρονισμός της γεννήτριας πριονωτής τάσης γίνεται με σήμα που εισάγεται στον παλμογράφο από μια εξωτερική πηγή.
2. Στη θέση **LINE**, το σήμα συγχρονισμού εισάγεται από το δίκτυο της ΔΕΗ (50 Hz).
3. Στη θέση **CH2**, ο συγχρονισμός γίνεται από το σήμα που εισάγεται στο κανάλι 2.
4. Στη θέση **INT**, ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται με το σήμα που δημιουργείται από το αλγεβρικό άθροισμα των δύο σημάτων που εισάγονται στα δύο κανάλια.

15.2.4.3. Ο επιλογέας COUPLING

Για να διευκολυνθεί ο συγχρονισμός του οργάνου, το σήμα συγχρονισμού πρώτα επεξεργάζεται με τον επιλογέα COUPLING που έχει τρεις θέσεις: AC, AC-LF και TV.

1. Στη θέση **AC**, το σήμα δεν υφίσταται καμία επεξεργασία και οδηγείται άμεσα στη μονάδα συγχρονισμού.
2. Στη θέση **AC-LF**, το σήμα πρώτα φιλτράρεται, δηλαδή αποκόπτονται από αυτό οι υψηλές συχνότητες, και στη συνέχεια οδηγείται στη μονάδα συγχρονισμού.
3. Το σήμα βίντεο της τηλεόρασης είναι πολύ σύνθετο και δύσκολα συγχρονίζεται από τον παλμογράφο. Για να διευκολυνθεί ο συγχρονισμός, στη θέση **TV**, το σήμα βίντεο δεν οδηγείται άμεσα στη μονάδα συγχρονισμού, αλλά οδηγείται πρώτα σε μια ειδική μονάδα αναγνώρισης και διαχωρισμού του σήματος βίντεο από τους παλμούς συγχρονισμού που

εκπέμπει ο τηλεοπτικός σταθμός. Στη συνέχεια, οι διαχωρισμένοι παλμοί συγχρονισμού του τηλεοπτικού σταθμού οδηγούνται στη μονάδα συγχρονισμού του παλμογράφου.

15.2.5. Μετρήσεις απλών ηλεκτρικών σημάτων με τον παλμογράφο

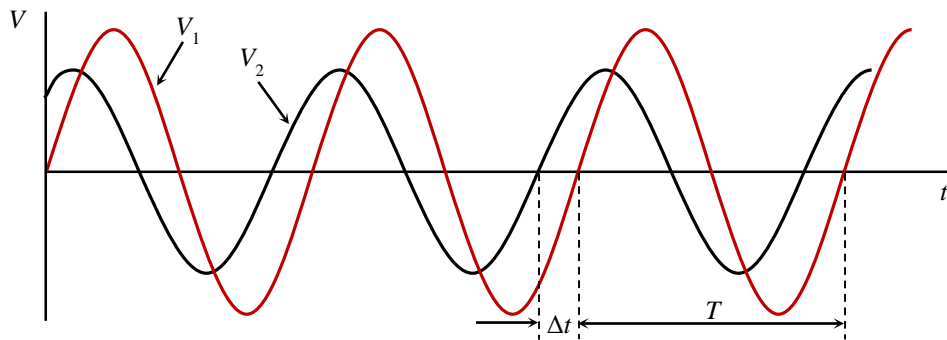
Στην άσκηση θα μελετηθούν διάφορα είδη ηλεκτρικών σημάτων:

1. Συνεχής τάση που παράγεται από μια αλκαλική μπαταρία.
2. Ημιτονική τάση που παράγεται από μια γεννήτρια συχνοτήτων.
3. Διαφορά φάσης δύο ημιτονικών σημάτων, ίδιας συχνότητας.
4. Διακροτήματα δύο ημιτονικών τάσεων που παράγονται από δύο ανεξάρτητες γεννήτριες.
5. Καμπύλες Λισαζού (Lissajous) που παράγονται από δύο γεννήτριες.

Τα δύο πρώτα σήματα μετρούνται άμεσα με τον παλμογράφο, για τον λόγο αυτό δεν θα τα εξετάσουμε ιδιαίτερα.

15.2.5.1. Μέτρηση διαφορά φάσης δύο ημιτονικών σημάτων ίδιας συχνότητας

Αν στα δύο κανάλια του παλμογράφου εφαρμοστούν δύο ημιτονικά σήματα ίδιας συχνότητας, V_1 και V_2 , όπου $V_1 = V_{01} \sin \omega t$ και $V_2 = V_{02} \sin(\omega t + \varphi)$, τότε η εικόνα που θα εμφανιστεί στην οθόνη του παλμογράφου δίνεται στο Σχήμα 15.4.



Σχήμα 15.4. Μέτρηση της διαφοράς φάσης δύο σημάτων.

Βλέπουμε ότι στον άξονα του χρόνου οι κυματομορφές αυτές είναι μετατοπισμένες η μία ως προς την άλλη κατά Δt . Η χρονική αυτή μετατόπιση μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τη **διαφορά φάσης** φ μεταξύ των δύο σημάτων:

$$\varphi = 360 \frac{\Delta t}{T} \quad \text{ή} \quad \varphi = 360 \times f \times \Delta t \quad (15.1)$$

15.2.5.2 Διακροτήματα δύο σημάτων

Τα διακροτήματα είναι ταλαντώσεις με περιοδικά μεταβαλλόμενο πλάτος που προέρχονται από την επαλληλία δύο αρμονικών ταλαντώσεων **περίπου ίδιας συχνότητας**.

Το αποτέλεσμα της επαλληλίας των δύο ταλαντώσεων ίσου πλάτους μπορεί να γραφεί ως

$$Y = V_1 + V_2 = 2A \cos(\omega_{\text{mod}} t) \cos(\omega_{\text{avg}} t) \quad (15.2)$$

όπου

$$\omega_{\text{avg}} = \frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2) \quad \text{η μέση συχνότητα} \quad (15.3)$$

και

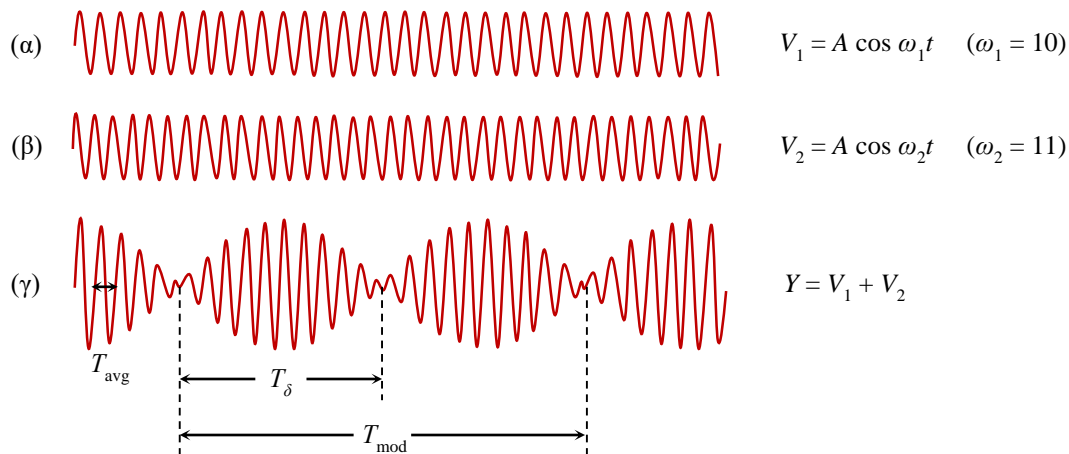
$$\omega_{\text{mod}} = \frac{1}{2} |\omega_1 - \omega_2| \quad \text{η συχνότητα διαμόρφωσης} \quad (15.4)$$

Ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο διαδοχικούς μηδενισμούς του $\cos(\omega_{\text{mod}}t)$ καλείται περίοδος, T_δ , του διακροτήματος.

Η γωνιακή συχνότητα του διακροτήματος

$$\omega_\delta = \frac{2\pi}{T_\delta} \quad (15.5)$$

ισούται προφανώς με $|\omega_1 - \omega_2|$, δηλαδή είναι διπλάσια της ω_{mod} .



Σχήμα 15.5. Διακροτήματα (γ) που προκύπτουν από την επαλληλία δύο ταλαντώσεων, (α) και (β), με συχνότητες που διαφέρουν λίγο μεταξύ τους.

15.2.5.3 Καμπύλες Λισαζού (Lissajous)

Οι καμπύλες Λισαζού είναι κλειστές τροχιές που διαγράφονται από ένα σημείο που εκτελεί ταυτόχρονα δύο αρμονικές ταλαντώσεις

$$\begin{aligned} x &= A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1) \\ y &= A_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2) \end{aligned} \quad (15.6)$$

σε δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις.

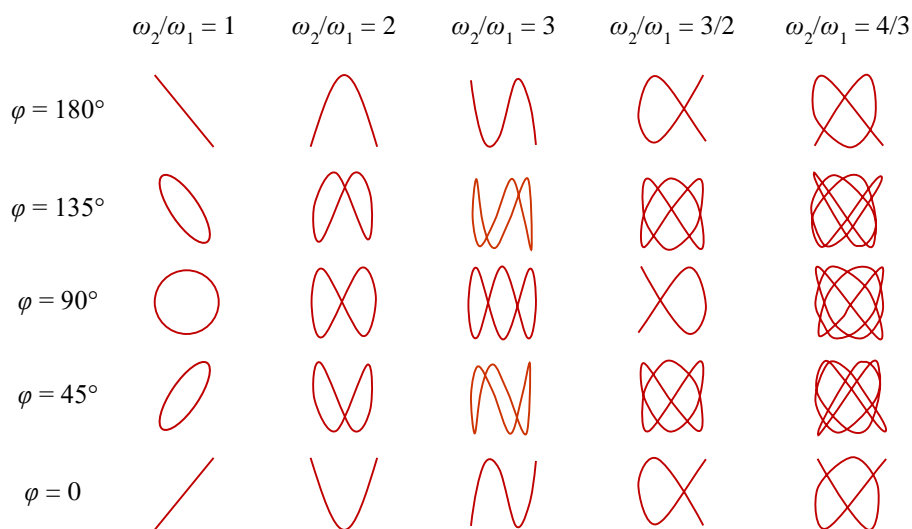
Η μορφή των σχημάτων Λισαζού εξαρτάται από τους λόγους των συχνοτήτων ω_1 , ω_2 και των πλατών A_1 , A_2 , καθώς και από τη διαφορά των φάσεων φ_1 , φ_2 . Αν οι συχνότητες ω_1 και ω_2 είναι τυχαίες, δημιουργούνται περίπλοκες καμπύλες, στην περίπτωση όμως που οι συχνότητες έχουν λόγο ίσο με τον λόγο δύο ακέραιων αριθμών, τότε παράγονται σταθερά απλά σχήματα της μορφής του Σχ. 15.6.

Αν N_1 και N_2 είναι ο αριθμός των σημείων επαφής του διαγράμματος Λισαζού με την οριζόντια και την κατακόρυφη πλευρά, αντίστοιχα, του περιγεγραμμένου ορθογωνίου παραλληλογράμμου, τότε ισχύει η σχέση

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (15.7)$$

Για έναν συγκεκριμένο λόγο συχνοτήτων, τα σχήματα Λισαζού εξαρτώνται από τη διαφορά φάσης. Για παράδειγμα, για $\omega_1 = \omega_2$ είναι ελλείψεις που εκφυλίζονται σε ευθείες όταν

η διαφορά φάσης είναι 0 ή π και γίνονται κύκλοι όταν η διαφορά φάσης είναι $\pi/2$ και τα πλάτη ίσα.



Σχήμα 15.6. Σχήματα Λισαζού που προκύπτουν από την σύνθεση δύο κάθετων κυματομορφών με ίσα πλάτη, συχνότητες ω_1 και ω_2 και διαφορά φάσης φ . Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί σε διαφορετικούς λόγους ω_2/ω_1 και ο κατακόρυφος σε διάφορες φ .

15.3. Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη περιλαμβάνει:

- Έναν παλμογράφο 2 καναλιών.
- Δύο γεννήτριες ημιτονικής εναλλασσόμενης τάσης.
- Μια κοινή αλκαλική μπαταρία.
- Βάση με κύκλωμα RC .

Βιβλιογραφία

1. Κ. Αλεξόπουλος, *Γενική Φυσική*, Τόμος 2: *Ηλεκτρισμός* (Αθήνα, 1959), § 184, 185 και § 105, 108.
2. E. M. Purcell, *Ηλεκτρισμός και Μαγνητισμός (Μαθήματα Φυσικής Berkeley, Τόμος 2)*, (Αθήνα, 1978), § 8.2.
3. F. S. Crawford, *Κυματική (Μαθήματα Φυσικής Berkeley, Τόμος 3)* (Αθήνα, 1979), § 1.5.
4. M. Alonso, E. J. Finn, *Θεμελιώδης Πανεπιστημιακή Φυσική*, Τόμος II: *Πεδία και Κύματα*, Μέρος 2: *Ηλεκτρομαγνητισμός* (Αθήνα, 1979), § 14.4, Σχ. 14-17, § 17.10.
5. ΕΜΠ, Τομέας Φυσικής, ΣΕΜΦΕ, *Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσικής*, Τόμος I (Αθήνα, 2010), σ. 209-222.

15.4. Εκτέλεση

1. Θέστε σε λειτουργία τον παλμογράφο, πατώντας το κουμπί Power. Στην οθόνη θα εμφανιστεί μία ή δύο οριζόντιες πράσινες φωτεινές γραμμές, δηλαδή το ίχνος σάρωσης της φωτεινής κηλίδας (κηλίδων). Εάν οι γραμμές αυτές δεν εμφανίζονται, δύο είναι οι πιθανότερες

αιτίες: οι φωτεινές γραμμές είναι εκτός της κλίμακας της οθόνης (με τα κουμπιά POSITION τα επαναφέρετε στην περιοχή του κέντρου), ή η γεννήτρια πριονωτής τάσης βρίσκεται σε κατάσταση μόνιμης αναμονής (επιλέγοντας AUTO, εμφανίζονται στην οθόνη οι δύο φωτεινές γραμμές).

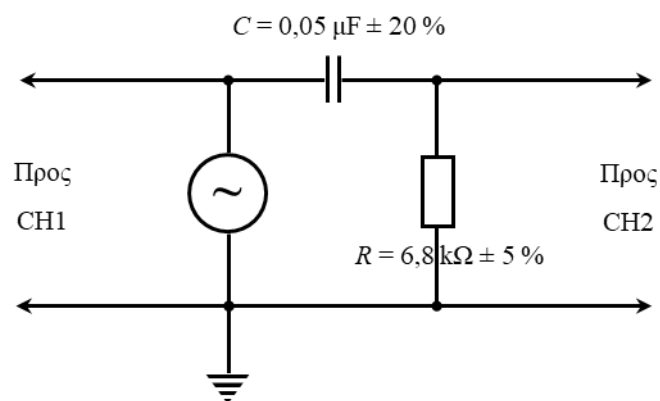
2. Αναγνωρίστε όλα τα όργανα ελέγχου του παλμογράφου και ελέγξτε την αντίδρασή τους στις αλλαγές των ρυθμίσεων.

3. Θέστε σε λειτουργία μία γεννήτρια και εφαρμόστε το σήμα της στο κανάλι 1 του παλμογράφου, φροντίζοντας οι γειώσεις των δύο οργάνων να είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους. Κάντε μερικές δοκιμαστικές μετρήσεις πλάτους και συχνότητας ενός τυχαίου σήματος που παράγει η γεννήτρια. Μελετήστε και ελέγξτε τις λειτουργίες των διάφορων κουμπιών της γεννήτριας, η οποία μπορεί να παράγει σήματα ημιτονικά, ορθογώνια, τριγωνικά κ.λπ., έως ότου εξοικειωθείτε με τη χρήση των δύο οργάνων.

4. Μέτρηση συνεχούς τάσης: Μετρήστε την τάση που παράγει η αλκαλική μπαταρία.

5. Μέτρηση πλάτους και συχνότητας σήματος: Μετρήστε τα κύρια χαρακτηριστικά του σήματος που παράγει η γεννήτρια, δηλαδή το πλάτος και τη συχνότητα ενός ημιτονικού σήματος. Το σήμα αυτό (πλάτος και συχνότητα) ρυθμίζεται από τον επιβλέποντα της άσκησης.

6. Μέτρηση διαφοράς φάσης: Συναρμολογήστε το κύκλωμα RC, σύμφωνα με το σχεδιάγραμμα που δίνεται στο Σχ. 15.7.



Σχήμα 15.7. Συναρμολόγηση κυκλώματος RC.

Εφαρμόστε στη γεννήτρια μια συχνότητα ω_0 και πλάτος 1,0 V. Σημειώστε την τιμή και το σφάλμα.

Μετρήστε τη διαφορά φάσης μεταξύ του σήματος που παράγει η γεννήτρια και αυτού που δημιουργείται στην αντίσταση των 6,8 kΩ ($6,8 \times 10^3 \Omega$).

7. Μελέτη διακροτημάτων: Θέστε σε λειτουργία και τη δεύτερη γεννήτρια, επιλέξτε ημιτονικό σήμα και ρυθμίστε τις συχνότητες στα 1000 και 1100 Hz. Οδηγήστε τα σήματα αυτά στα δύο κανάλια του παλμογράφου. Φροντίστε τα πλάτη των δύο σημάτων να είναι ίσα. Με κατάλληλες ρυθμίσεις του κουμπιού (TRIGGER) LEVEL, φροντίστε να έχετε μια σταθερή εικόνα του διακροτήματος στην οθόνη του παλμογράφου. Μετρήστε την περίοδο των διακροτημάτων από την απόσταση δύο μηδενισμών και εκτιμήστε το σφάλμα αυτής της μέτρησης.

8. Εικόνες Λισαζού: Φέρτε τον μεταγωγό σάρωσης (TIME/DIV) στη θέση X-Y. Με αυτό τον τρόπο το σήμα εξόδου της δεύτερης γεννήτριας (CH2) εφαρμόζεται στα πλακίδια X. Προσπαθήστε να δείτε τις συχνότητες των δύο γεννητριών και επιβεβαιώστε την Εξ. (15.7).

9. Παρατηρήστε ότι, επειδή οι συχνότητες των δύο γεννητριών δεν είναι απολύτως σταθερές, οι εικόνες μεταβάλλονται (μοιάζουν να περιστρέφονται στο χώρο), γράφοντας συνεχώς τα διάφορα σχέδια του Σχ. 15.6, για ω_1/ω_2 σταθερό. Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας.

15.5 Επεξεργασία των μετρήσεων

- 1.** Υπολογίστε την τιμή και το σφάλμα της τάσης της αλκαλικής μπαταρίας.
- 2.** Υπολογίστε το πλάτος και τη συχνότητα του εναλλασσόμενου σήματος που ρυθμίστηκε από τον επιβλέποντα της άσκησης. Υπολογίστε και τα σφάλματα αυτών των τιμών.
- 3.** Υπολογίστε τη διαφορά φάσης φ μεταξύ του σήματος της γεννήτριας και αυτού που παράγεται στην αντίσταση του κυκλώματος RC . Υπολογίστε και το σφάλμα $\delta\varphi$. Υπολογίστε θεωρητικά, με βάση τα στοιχεία του κυκλώματος, την τιμή της διαφοράς φάσης και συγκρίνετε τη θεωρητική με την πειραματική τιμή. Σχολιάστε τις τυχόν διαφορές.
- 4.** Υπολογίστε τη συχνότητα των διακριτημάτων που παρατηρήσατε και βρείτε το σφάλμα της. Υπολογίστε επίσης τις συχνότητες των δύο ημιτονικών κυματομορφών που χρησιμοποιήθηκαν για την παρατήρηση των διακριτημάτων, καθώς και τα σφάλματά τους. Βρείτε τη διαφορά των δύο αυτών συχνοτήτων και συγκρίνετέ την με τη συχνότητα των διακριτημάτων.
- 5.** Γράψτε τις παρατηρήσεις σας για τα σχήματα Λισαζού.
- 6.** Δείξτε ότι, αν ένα σύστημα με δύο βαθμούς ελευθερίας, x και y , ταλαντώνεται έτσι ώστε $x = A \cos \omega t$ και $y = A \cos (\omega t - \varphi)$, τότε η σύνθεση των δύο δίνει ευθεία, αν $\varphi = 0$, και κύκλο, αν $\varphi = 90^\circ$.