

Άσκηση 15

Παλμογράφος

15.1. Σκοπός

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι η μελέτη της βασικής δομής και λειτουργίας ενός παλμογράφου και η εξάσκηση του σπουδαστή σε χρήση του σε μετρήσεις συνεχούς και εναλλασσόμενης τάσης, της συχνότητά της, μικρών χρόνων, όπως και μέτρηση της διαφοράς φάσης μεταξύ δύο ημιτονικών κυματομορφών. Θα μελετηθούν ακόμη το φαινόμενο των διακροτημάτων και οι καμπύλες Λισσαζού.

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 διαφορές φάσης μεταξύ δύο ημιτονικών τάσεων.

Τα περισσότερα όργανα που μετρούν την τάση χρησιμοποιούν μηχανικά μέσα, όπως πηνία, δείκτες, κάτοπτρα κ.λπ. Τα κινούμενα μηχανικά μέρη του μετρητή έχουν μεγάλη μηχανική αδράνεια και ενώ είναι αξιόπιστα όταν με τα όργανα αυτά μετρούν μία σταθερή στο 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 μία λεπτή δέσμη ηλεκτρονίων, η οποία εκτρέπεται από τη μετρούμενη τάση. Όπως γνωρίζουμε η δέσμη ηλεκτρονίων έχει αμελητέα αδράνεια και 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 τηλεβόλο ηλεκτρονίων και δύο ζεύγη πλακιδίων εκτροπής, των λεγόμενων πλακιδίων *X* και *Y*.

Στο ένα άκρο του σωλήνα βρίσκεται το τηλεβόλο ηλεκτρονίων, ενώ το άλλο διευρύνεται, σχηματίζοντας χοάνη που καταλήγει σε μία σχεδόν επίπεδη επιφάνεια, την **οθόνη** του παλμογράφου. Η εσωτερική πλευρά της οθόνης είναι καλυμμένη με ZnS, που φθορίζει έντονα όταν βομβαρδίζεται με ηλεκτρόνια. Μία λεπτή δέσμη ηλεκτρονίων με ενέργειες της τάξης 2000 eV, προσκρούει στην επιφάνεια της φθορίζουσας ουσίας και στο σημείο πρόσκρουσης δημιουργείται μία 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 και επομένως 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 (είναι 12,0 V/cm) και η οθόνη είναι χαραγμένη και βαθμονομημένη σε cm ή mm, τότε από τη μετατόπιση της κηλίδας μπορούμε να υπολογίσουμε την τάση που την προκάλεσε. Αυτή είναι η βασική λειτουργία του παλμογράφου.

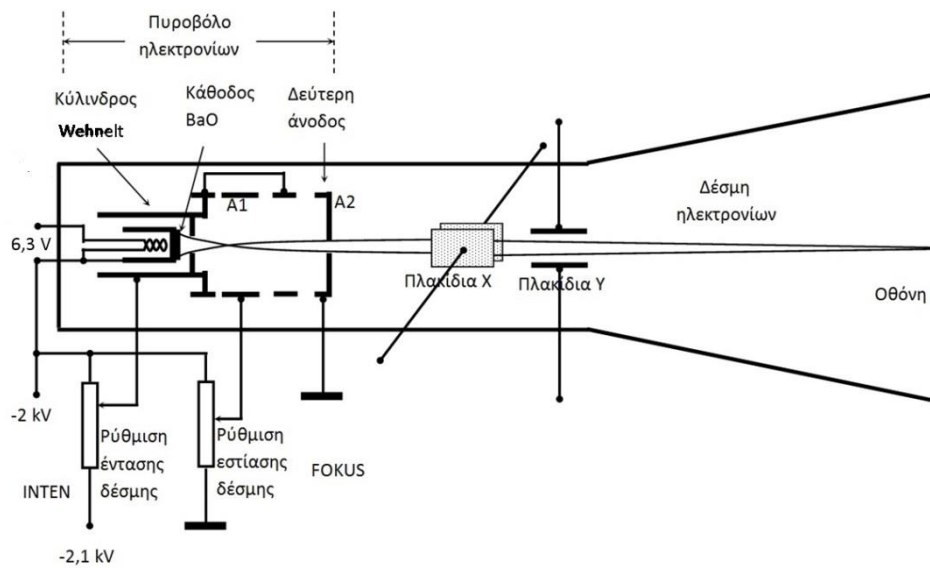
15.2.2. Τηλεβόλο ηλεκτρονίων του καθοδικού σωλήνα

15.2.2.1. Κάθοδος

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

Η αποστολή του τηλεβόλου ηλεκτρονίων 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 η ενέργειες 2000 eV είναι κοντά στη βέλτιστη τιμή.

Στο τηλεβόλο τα ηλεκτρόνια παράγονται θερμικά, δηλαδή εκπέμπονται από μία 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**.

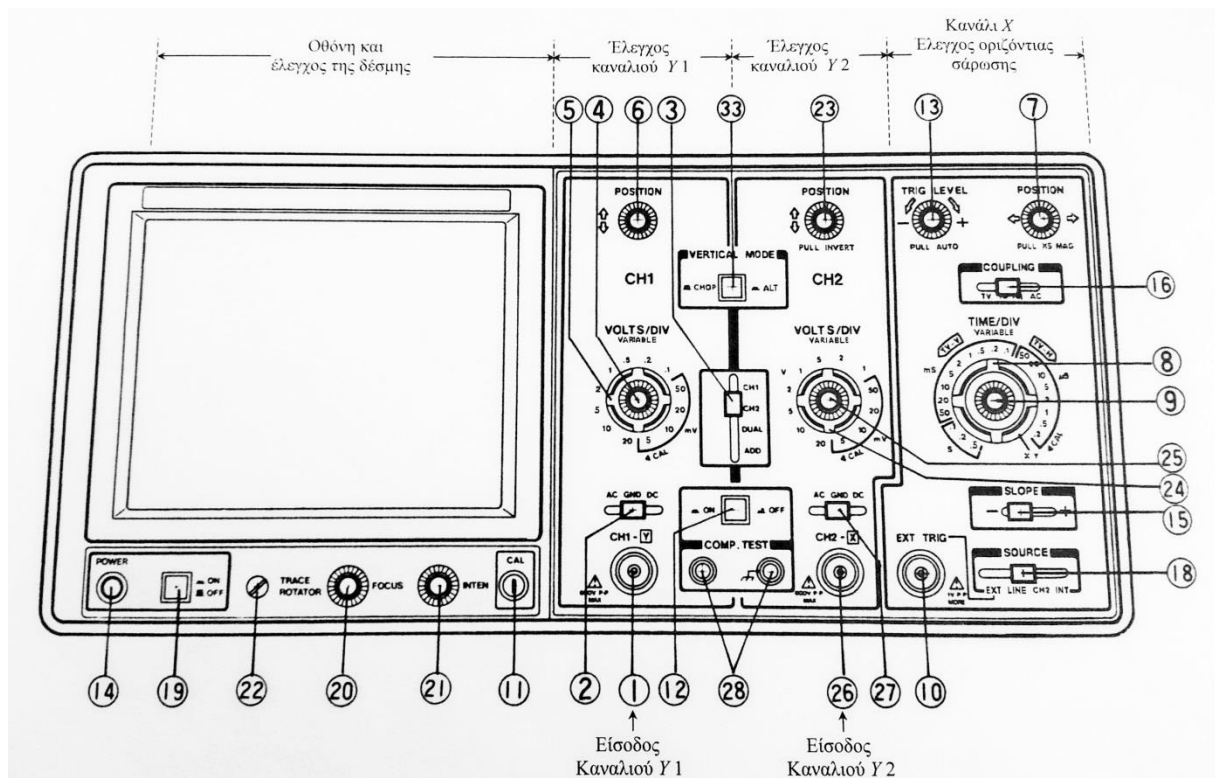


Σχήμα 15.1. Ο καθοδικός σωλήνας του παλμογράφου

Η γενική όψη του παλμογράφου δύο καναλιών δίνεται στο σχήμα που ακολουθεί, όπου εικονίζονται και τα διάφορα κουμπιά ελέγχου του οργάνου και των λειτουργιών του. Στην πρόσοψη του οργάνου υπάρχουν:

1. Ο γενικός διακόπτης, **ON-OFF**
2. Τα κουμπιά ελέγχου της δέσμης ηλεκτρονίων: **Intensity** (ένταση) και **FOKUS** (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. Δεξιάτερα βρίσκονται τα κουμπιά του καναλιού 2, **CH2-Y**, όταν θέλουμε να μελετήσουμε ταυτόχρονα 2 ηλεκτρικά σήματα.
6. Τέρμα δεξιά βρίσκονται τα όργανα ελέγχου της **οριζόντιας ταχύτητας σάρωσης** της φωτεινής κηλίδας, τα κυριότερα εκ των οποίων είναι το κουμπί **TIME/DIV** και το **TRIG LEVEL**, που σταθεροποιεί την εικόνα της κυματομορφής στην οθόνη (ρυθμίζοντας, αποτρέπουμε το δεξιό ή αριστερό “ρολάρισμα” της εικόνας στην οθόνη).
7. Ο ρόλος και η αποστολή των υπόλοιπων κουμπιών εξετάζεται στο εγχειρίδιο του οργάνου.

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



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

Ο κύλινδρος Wehnelt περιβάλλει την κάθοδο (Σχ. 15.1) και έχει μικρό άνοιγμα απέναντι από το κέντρο της. Ως προς την κάθοδο, το δυναμικό της είναι αρνητικό κατά 10-20 V και χρησιμεύει για ρύθμιση της έντασης του ρεύματος της δέσμης.

Η ένταση της φωτεινής κηλίδας στην οθόνη γίνεται μέσω ρύθμισης του ρεύματος της δέσμης. Το ρεύμα αυτό ρυθμίζεται με ειδικό κουμπί που βρίσκεται στην πρόσοψη του οργάνου, στο πλάι του οποίου υπάρχει η αναγραφή «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 τηλεβόλου 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 τηλεβόλο. Αυτό 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 και επομένως της δεύτερης εστίας επανέρχονται στο ίδιο σημείο, ρυθμίζοντας την τάση στην πρώτη άνοδο (A_1) του τηλεβόλου, η οποία είναι σε μορφή 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 (A_1). Η ρύθμιση αυτή επιτυγχάνεται με ειδικό κουμπί που βρίσκεται στην πρόσοψη του οργάνου που στο πλάι του αναγράφεται η λέξη «FOCUS».

15.2.2.4. Δεύτερη άνοδος του τηλεβόλου και ο χώρος ελεύθερης διαδρομής.

Η δεύτερη άνοδος (A_2) του τηλεβόλου έχει μορφή δίσκου με μία μικρή οπή στο κέντρο και είναι γειωμένη. Η μικρή οπή αποκόπτει εκείνα τα ηλεκτρόνια της δέσμης που αποκλίνουν από την πορεία πολύ και οι όποιες 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/cm.

15.3. Διαδρομή του σήματος στο κανάλι Y

Στον παλμογράφο το ηλεκτρικό σήμα δεν εφαρμόζεται απευθείας στα πλακίδια Y , αλλά πρώτα οδηγείται στον διαιρέτη τάσης, όταν το σήμα είναι μεγάλο ή ενισχύονται με τον ειδικό ενισχυτή ηλεκτρικών σημάτων, όταν το σήμα είναι μικρό.

Σε κάθε περίπτωση, η ευαισθησία του παλμογράφου και η βαθμονόμησή του ελέγχεται από το κουμπί VOLTS/DIV του αντίστοιχου καναλιού, στον άξονα του οποίου υπάρχει και δεύτερο κουμπί, το VARIABLE, που μπορεί να ρυθμίζεται. Τονίζουμε ότι οι τιμές των VOLTS/DIV, για παράδειγμα, 0,5 V/cm, ισχύουν μόνο όταν το κουμπί VARIABLE βρίσκεται στη θέση «τέρμα δεξιά», ώσπου να ακουστεί ένα χαρακτηριστικό κλικ (θέση CAL, calibration). Σε όποια άλλη θέση του κουμπιού αυτού οι αναγραφόμενες τιμές παύουν να ισχύουν και ο παλμογράφος **παύει να είναι βαθμονομημένος!**

Η ζώνη ομαλής ενίσχυσης του ενισχυτή (το band width) αναγράφεται στην πρόσοψη του οργάνου. Για παράδειγμα, το band width του παλμογράφου 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.

Συνήθως το ηλεκτρικό σήμα εφαρμόζεται στην είσοδο τύπου BNC, που δίπλα της αναγράφεται το CH1, όταν ο παλμογράφος είναι 2 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.

15.3.1. Ο επιλογέας εισόδου.

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

1. Θέση AC. Το AC σε μετάφραση σημαίνει εναλλασσόμενο ρεύμα. Όταν ο επιλογέας είναι στη θέση AC παρεμβάλλεται στη διαδρομή του σήματος 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 + 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.

15.3.2. Επιλογέας καναλιού

Ο παλμογράφος της Άσκησης είναι 2 καναλιών, επομένως στην οθόνη του παλμογράφου μπορεί να βλέπει κανείς 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:

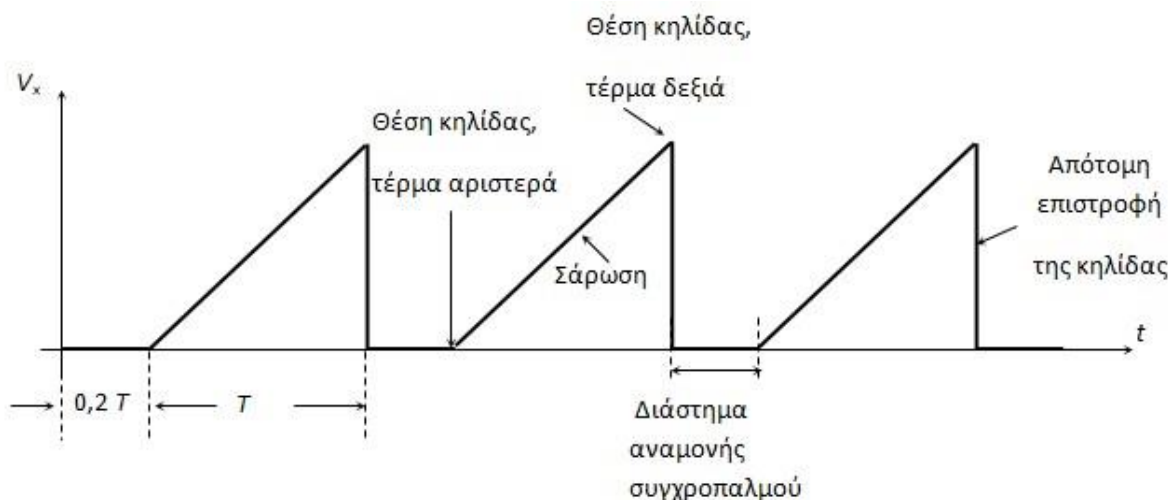
1. Στη θέση **CH 1**, στην οθόνη του παλμογράφου υπάρχει **μόνο** το σήμα που εισάγεται στο κανάλι 1.
2. Στη θέση **CH 2**, στην οθόνη του παλμογράφου υπάρχει **μόνο** το σήμα που εισάγεται στο κανάλι 2.
3. Στη θέση **DUAL**, στην οθόνη βλέπουμε τα σήματα των δύο καναλιών.
4. Στη θέση **ADD**, στην οθόνη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

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

Σε κανονική λειτουργία η φωτεινή κηλίδα σαρώνεται στην οθόνη από αριστερά προς τα δεξιά, με σταθερή ταχύτητα που επιλέγεται από τον χρήστη. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ο άξονας χρόνου, σε μονάδες **s/cm**. Η ταχύτητα σάρωσης επιλέγεται με τον επιλογέα **TIME/DIV** και επιτρέπει στον χρήστη να σαρώνει την κηλίδα με ταχύτητες 0,5-0,2-0,1 s/cm ή 50-20-10-5-2-1 ms/cm ή 50-20-10-5-2-1-0,5-0,2 μs/cm.

Στον άξονα του επιλογέα βρίσκεται ένα δεύτερο κουμπί που μπορεί να ρυθμίζεται, το **VARIABLE**. Και εδώ, οι αναγραφόμενες ταχύτητες σάρωσης ισχύουν μόνο όταν το κουμπί αυτό είναι κλειδωμένο, δηλαδή είχε περιστραφεί δεξιόστροφα έως ότου ακουστεί το χαρακτηριστικό κλικ (θέση **CAL**, calibration). Σε οποιαδήποτε άλλη θέση αυτού του κουμπιού 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 μία ειδική γεννήτρια «πριονωτής» τάσης. Ονομάζεται πριονωτή επειδή όταν τη βλέπει κανείς στην οθόνη κάποιου άλλου παλμογράφου, είναι όπως στο Σχ. 15.2, όπου η κλίση της πριονωτής τάσης ελέγχεται από τον επιλογέα **TIME/DIV**.



Σχήμα 15.2. Η πριονωτή τάση που χρησιμεύει για τη σάρωση της δέσμης στον άξονα X

15.4.1. Μονάδα συγχρονισμού

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

Για να είναι η εικόνα της κυματομορφής σταθερή και ακίνητη στην οθόνη (να μη «ρολάρει»), η εσωτερική γεννήτρια της πριονωτής τάσης πρέπει να **προσαρμόζει** τη συχνότητά της, προς αυτή του σήματος, **ακριβώς!** Η προσαρμογή αυτή επιτυγχάνεται με την ειδική μονάδα συγχρονισμού που βρίσκεται στο εσωτερικό του παλμογράφου. Ο έλεγχος αυτής της προσαρμογής γίνεται με το κουμπί TRIG LEVEL, στον άξονα του οποίου βρίσκεται και το κουμπί PUL AUTO.

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

Το κουμπί PUL AUTO ελέγχει την κατάσταση της γεννήτριας πριονωτής τάσης. Σε κατάσταση «πατημένο», η γεννήτρια πριονωτής τάσης βρίσκεται σε **κατάσταση μόνιμης αναμονής**, δηλαδή δεν «ταλαντώνεται» και αναμένει τον παλμό σκανδαλισμού επ' άπειρο, 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». Εδώ η απορία αίρεται όταν το κουμπί PUL AUTO «τραβηχτεί». Στην οθόνη αμέσως θα εμφανιστεί 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. 15.2.

15.4.2. Ο Επιλογέας του σήματος συγχρονισμού

Ο επιλογέας αυτός βρίσκεται στην πρόσοψη του παλμογράφου όπου δίπλα του υπάρχει η αναγραφή 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 μία 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.

15.4.3. Ο επιλογέας COUPLING

Για να διευκολυνθεί ο συγχρονισμός του οργάνου, το σήμα συγχρονισμού πρώτα επεξεργάζεται με τον επιλογέα **COUPLING** που έχει 3 θέσεις: **AC, HF REG** και **TV**.

1. Στη θέση **AC** το σήμα δεν υφίσταται κανενός είδους επεξεργασία και άμεσα οδηγείται στη μονάδα συγχρονισμού.
2. Στη θέση **HF REG**, το σήμα πρώτα φιλτράρεται, δηλαδή αποκόπτονται από αυτό οι υψηλές συχνότητες και στη συνέχεια οδηγείται στη μονάδα συγχρονισμού.
3. Το βίντεο σήμα της τηλεόρασης είναι πολύ σύνθετο και δύσκολα συγχρονίζεται από τον παλμογράφο. Για να διευκολυνθεί ο συγχρονισμός, στη θέση **TV**, το βίντεο σήμα δεν οδηγείται άμεσα στη μονάδα συγχρονισμού, αλλά πρώτα οδηγείται σε μία ειδική μονάδα αναγνώρισης και διαχωρισμού του βίντεο σήματος από τους συγχροπαλμούς που εκπέμπει ο τηλεοπτικός σταθμός. Στη συνέχεια, οι διαχωρισμένοι συγχροπαλμοί του τηλεοπτικού σταθμού οδηγούνται στη μονάδα συγχρονισμού του παλμογράφου.

15.5. Μετρήσεις απλών ηλεκτρικών σημάτων με τον παλμογράφο

Στην Άσκηση θα μελετηθούν διάφορα είδη ηλεκτρικών σημάτων:

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

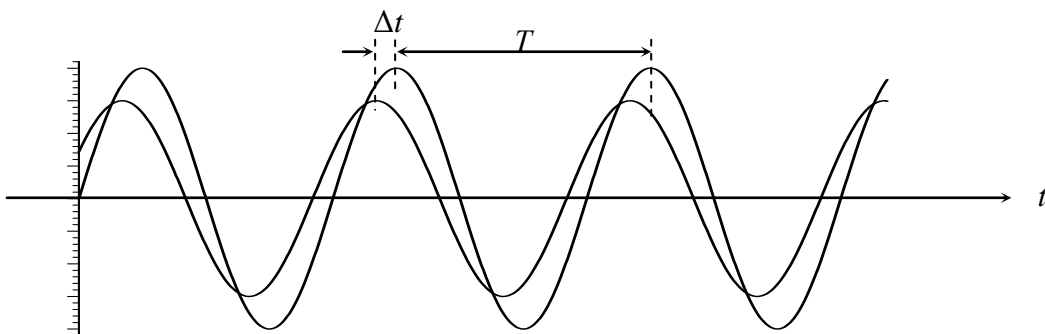
Τα πρώτα δύο σήματα με τον παλμογράφο μετρώνται άμεσα. Για τον λόγο αυτό δεν θα τα εξετάσουμε ιδιαίτερα.

15.5.1. 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

$$V_1 = V_{01} \sin \omega t \quad \text{και} \quad V_2 = V_{02} \sin(\omega t + \phi) \quad (15.1 \text{ α, β})$$

τότε η εικόνα που θα εμφανιστεί στην οθόνη του παλμογράφου θα είναι όπως στο Σχήμα 15.4.



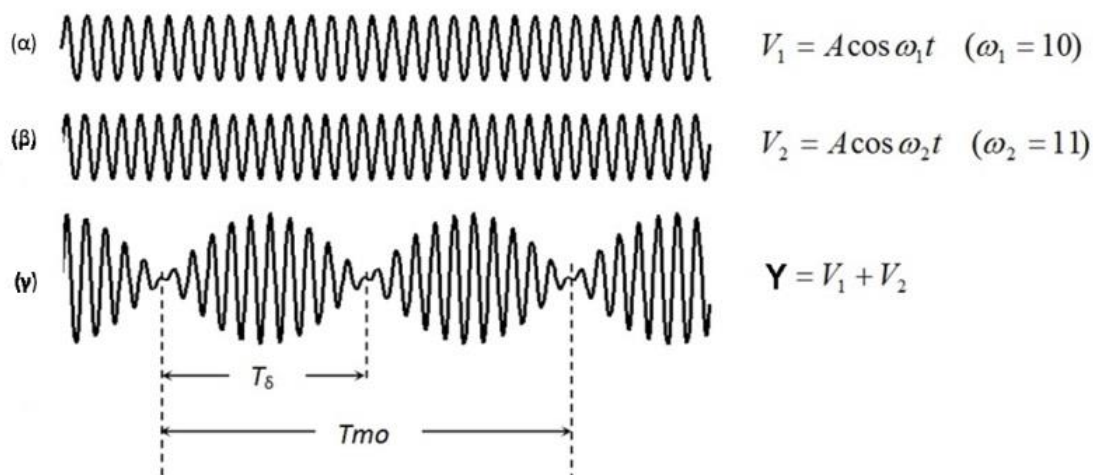
Σχήμα 15.4. Μέτρηση της διαφοράς φάσης δύο σημάτων

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:

$$\phi = 360 \frac{\Delta t}{T} \quad \text{ή} \quad \phi = 360 \times f \times \Delta t \quad (15.2 \text{ α,β})$$

15.5.2. Διακροτήματα δύο σημάτων

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



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

Το αποτέλεσμα της επαλληλίας των δύο ταλαντώσεων, ίσου πλάτους, μπορεί να γραφτεί ως:

$$Y = V_1 + V_2 = 2A \cos(\omega_{\text{mod}} t) \cos(\omega_{\text{av}} t), \quad (15.3)$$

όπου $\omega_{\text{av}} = \frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2)$ η μέση συχνότητα (15.4)

και $\omega_{\text{mod}} = \frac{1}{2}|\omega_1 - \omega_2|$ η συχνότητα διαμόρφωσης (15.5)

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

$$\omega_\delta = \frac{2\pi}{T_\delta} \quad (15.6)$$

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

15.5.3. Καμπύλες Λισσαζού (Lissajous)

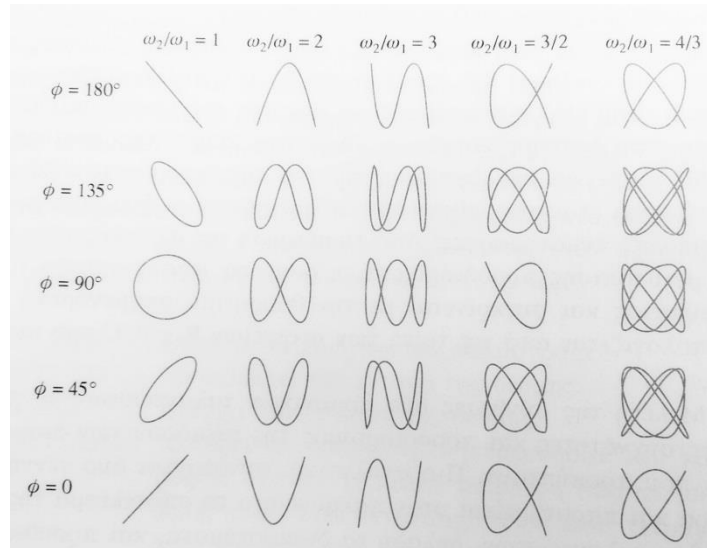
Οι καμπύλες Λισσαζού είναι κλειστές τροχιές που διαγράφονται από ένα σημείο που εκτελεί ταυτόχρονα δύο αρμονικές ταλαντώσεις

$$x = A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1) \quad (15.7)$$

$$y = A_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2)$$

σε δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις.

Η μορφή των σχημάτων Λισσαζού εξαρτάται από τους λόγους των συχνοτήτων ω_1, ω_2 και των πλατών A_1, A_2 , καθώς και από την 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 το λόγο δύο ακέραιων αριθμών, τότε παράγονται σταθερά απλά σχήματα της μορφής του Σχ. 15.6.



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

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

$$\omega_1 / \omega_2 = N_2 / N_1 \quad (15.8)$$

Για ένα συγκεκριμένο λόγο συχνοτήτων, τα σχήματα Λισσαζού εξαρτώνται από τη διαφορά φάσης. Π.χ. 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.

15.6. Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη περιλαμβάνει:

1. Έναν παλμογράφο 2 καναλιών
2. Δύο γεννήτριες ημιτονικής εναλλασσόμενης τάσης
3. Μια κοινή αλκαλική μπαταρία
4. Βάση με το κύκλωμα RC.

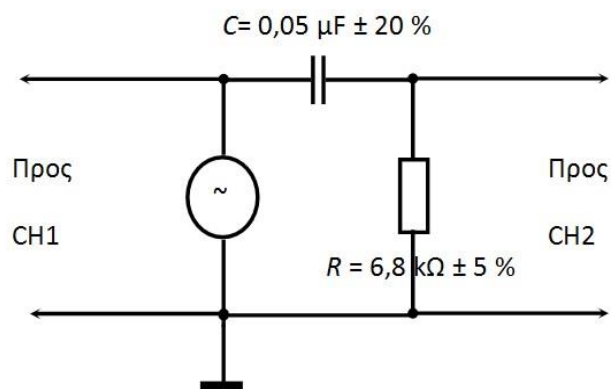
Βιβλιογραφία

1. Κ. Αλεξόπουλου. *Γενική Φυσική*: Τόμος 2: Ηλεκτρισμός. §184, 185 και § 105, 108.
2. *Μαθήματα Φυσικής Berkeley*. Τόμος 2: Ηλεκτρισμός-Μαγνητισμός. (Αθήνα, 1978). § 8.2.
3. *Μαθήματα Φυσικής Berkeley*. Τόμος 3: Κυματική (Αθήνα, 1978). § 1.5.

4. Alonso-Finn. *Θεμελιώδης Πανεπιστημιακή Φυσική*. Τόμος II: *Πεδία και Κύματα*. § 14.4, Σχ. 14-17, § 17.10.
5. *Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσικής*, Τόμος I, ΕΜΠ, Τομέας Φυσικής, ΣΕΜΦΕ, Εκδόσεις Συμμετρία (Αθήνα 2010).

15.7. Εκτέλεση

1. Θέσατε σε λειτουργία τον παλμογράφο, πατώντας τον διακόπτη 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, ή 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, (**τραβώντας PULL** το κουμπί που βρίσκεται στον άξονα του TRIG LEVEL, εμφανίζετε στην οθόνη τις δύο φωτεινές γραμμές).
2. Αναγνωρίστε **όλα** τα όργανα ελέγχου του παλμογράφου και ελέγξτε την αντίδρασή τους στις αλλαγές των ρυθμίσεων.
3. Θέσατε 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. Κάνετε μερικές δοκιμαστικές μετρήσεις πλάτους και συχνότητας ενός τυχαίου σήματος που παράγει η γεννήτρια. Μελετήστε και ελέγξτε τις λειτουργίες των διαφόρων κουμπιών της γεννήτριας, η οποία μπορεί να παράγει σήματα ημιτονικά, ορθογώνια, τριγωνικά κ.λ.π., έως ότου εξοικειωθείτε με τη χρήση των δύο οργάνων.
4. **Μέτρηση της τάσης d.c.** Μετρήστε την τάση που παράγει η αλκαλική μπαταρία.
5. **Μέτρηση του πλάτους και της 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 της διαφοράς φάσης.** Συναρμολογήστε το κύκλωμα RC, σύμφωνα με το σχεδιάγραμμα που δίνεται στο Σχ. 15.7.



Σχήμα 15.7

Εφαρμόστε στη γεννήτρια τη 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 6,8 kΩ ($6,8 \times 10^3 \Omega$).

7. **Μέτρηση διακροτημάτων.** Θέσατε 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 TRIG LEVEL φροντίστε να έχετε μία 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 Λισσαζού. Φέρτε τον μεταγωγό σάρωσης (TIME/DIV) στη θέση Y-X. Με αυτόν 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. (15.8)

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. Γράψτε τις παρατηρήσεις σας.

15.8. 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 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. Η συμφωνία είναι καλή όταν η επί τοις εκατό διαφορά, $(1 - \Delta\varphi_{\pi}/\Delta\varphi_{\theta})$, είναι μικρή.

4. Υπολογίστε τη συχνότητα των διακροτημάτων που παρατηρήσατε και βρείτε το σφάλμα της. Υπολογίστε επίσης τις συχνότητες των δύο ημιτονικών κυματομορφών που χρησιμοποιήθηκαν για την παρατήρηση των διακροτημάτων. Υπολογίστε επίσης και τα σφάλματά τους. Βρείτε τη διαφορά των δύο αυτών συχνοτήτων και συγκρίνετέ την με την συχνότητα των διακροτημάτων.

5. Γράψτε τις παρατηρήσεις σας για τα σχήματα Λισσαζού.

6. Δείξτε ότι, αν ένα σύστημα με δύο βαθμούς ελευθερίας, x και y , ταλαντώνεται έτσι ώστε

$$x = A\cos\omega t \text{ και } y = A\cos(\omega t - \varphi),$$

τότε η σύνθεση των δύο δίνει ευθεία, αν $\varphi = 0$, και κύκλο, αν $\varphi = 90^\circ$.