

*ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ*

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΙΙ

(ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ)

Ι. Γκιάλας , Κ. Παπαγεωργίου, Κ. Θεοδοσίου

Σεπτέμβριος 2006

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ- ΟΡΓΑΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
 - 1.1 Σφάλματα οργάνων
 - 1.2 Σφάλματα μετρήσεων
 - 1.3 Γενικά χαρακτηριστικά οργάνων ηλεκτρικών μετρήσεων
 - 1.3.1 Αναλογικά
 - 1.3.2 Ψηφιακά
 - 1.4 Κατάταξη οργάνων ηλεκτρικών μετρήσεων
 - 1.4.1 Ανάλογα με την αρχή λειτουργίας τους
 - 1.4.2 Ανάλογα με τον τύπο του ρεύματος που μετρούν
 - 1.4.3 Ανάλογα με το μέγεθος που μετρούν
 - 1.4.4 Ανάλογα με τον τρόπο που δίνουν το αποτέλεσμα της μέτρησης
 - 1.5 Μέτρηση βασικών ηλεκτρικών μεγεθών
 - 1.5.1 Μέτρηση τάσης
 - 1.5.2 Μέτρηση έντασης
 - 1.6 Χρωματικός κώδικας αντιστάσεων
 - 1.7 Ασκήσεις
2. ΖΥΓΟΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ – ΔΥΝΑΜΗ LAPLACE
 - 2.1 Θεωρητική εισαγωγή
 - 2.2 Πειραματική διάταξη
 - 2.3 Εκτέλεση πειράματος
 - 2.4 Επεξεργασία των μετρήσεων
 - 2.5 Συμπεράσματα
3. ΝΟΜΟΣ JOULE- ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑ
 - 3.1 Πειραματική διάταξη
 - 3.2 Εκτέλεση πειράματος
 - 3.3 Επεξεργασία των μετρήσεων
 - 3.4 Συμπεράσματα
4. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ
 - 4.1 Πειραματική διάταξη
 - 4.2 Εκτέλεση και επεξεργασία των μετρήσεων
 - 4.2.1 Συνδεσμολογία αντιστάσεων
 - 4.2.2 Νόμος του Ohm
 - 4.2.3 Γέφυρα Whetstone- - Μέτρηση τιμής άγνωστης αντίστασης
 - 4.3 Συμπεράσματα
5. ΜΕΛΕΤΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ RLC ΣΕ ΣΕΙΡΙΑΚΟ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟ
 - 5.1. Θεωρητική εισαγωγή
 - 5.2. Πειραματική διάταξη
 - 5.3. Εκτέλεση του πειράματος

- 5.3.1. Συντονισμός σε σειρά
- 5.3.2. Παράλληλος συντονισμός
- 5.4. Συμπεράσματα
- 6. ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΑΓΩΓΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
 - 6.1. Θεωρητική εισαγωγή
 - 6.1.1. Σκοπός
 - 6.1.2. Μεταβολή της αντίστασης με την θερμοκρασία
 - 6.1.3. Ακτινοβολία μέλανος σώματος
 - 6.2. Περιγραφή μεθόδου
 - 6.3. Πειραματική διάταξη
 - 6.4. Εκτέλεση του πειράματος
 - 6.5. Επεξεργασία των μετρήσεων
 - 6.6. Συμπεράσματα
 - 6.7. Βιβλιογραφία
- 7. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΕΝΟΣ ΣΩΛΗΝΟΕΙΔΟΥΣ
 - 7.1. Θεωρητική εισαγωγή
 - 7.1.1. Το μαγνητικό πεδίο
 - 7.1.2. Το μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς
 - 7.1.3. Μέτρηση μαγνητικού πεδίου με δοκιμαστικό πηνίο
 - 7.1.4. Ηλεκτρικές μετρήσεις με γαλβανόμετρο
 - 7.1.5. Το βαλλιστικό γαλβανόμετρο
 - 7.2. Περιγραφή της μεθόδου
 - 7.3. Πειραματική διάταξη
 - 7.4. Εκτέλεση μετρήσεων
 - 7.5. Επεξεργασία μετρήσεων
 - 7.6. Συμπεράσματα
- 8. ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΣ
 - 8.1. Θεωρητική εισαγωγή
 - 8.1.1. Περιγραφή του παλμογράφου
 - 8.1.2. Διαφορά φάσης δύο κυματομορφών
 - 8.1.3. Διακροτήματα
 - 8.1.4. Καμπύλες Λισσαζού (Lissajous)
 - 8.2. Μέτρηση συνεχούς τάσης
 - 8.3. Μέτρηση εναλλασσόμενης τάσης
 - 8.4. Μέτρηση διαφοράς φάσης
 - 8.5. Μελέτη διακροτημάτων
 - 8.6. Εικόνες Λισσαζού (Lissajous)
 - 8.7. Επεξεργασία των μετρήσεων
 - 8.8. Συμπεράσματα

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ - ΟΡΓΑΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στις ηλεκτρικές μετρήσεις, όπως και σε κάθε είδους μέτρηση, υπάρχουν πάντοτε σφάλματα. Γενικά μια μέτρηση δεν μας δίνει την πραγματική τιμή του μετρούμενου μεγέθους x_0 αλλά την τιμή x . Έτσι έχουμε το απόλυτο σφάλμα $x - x_0$ και το σχετικό σφάλμα %.

Σφάλματα Οργάνων

1. Αλλαγή της κατάστασης του κυκλώματος με τη σύνδεση του οργάνου.

Π.χ. Αυξάνεται η ολική αντίσταση του κυκλώματος

2. Εσωτερικές αιτίες

- Μηχανικά Σφάλματα

A) Ποιότητα Οργάνου B) Κλίση Γ) Τριβές

- Σφάλματα Βαθμολογίας Οργάνου

3. Εξωτερικές αιτίες

- Επίδραση Θερμοκρασίας
- Επίδραση Συχνότητας
- Επίδραση Μαγνητικών Πεδίων
- Απόκλιση Δείκτη από το μηδέν

4. Υποκειμενικές αιτίες

- Παράλλαξη - Λάθος τοποθέτηση του παρατηρητή
- Περιοχή δύσκολης ανάγνωσης - Μη αναλογικές αποκλίσεις οργάνων
- Προσεγγίσεις Υπολογισμών - Πράξεις και σταθερές

Σφάλματα Μετρήσεων

A. Συστηματικά

- Ατέλειες οργάνων
- Κακή ρύθμιση μηδενός
- Συνθήκες περιβάλλοντος
- Μέθοδος μέτρησης

B. Χονδρικά

- Κακή προπαρασκευή
- Λανθασμένη σύνδεση
- Λάθος υπολογισμοί

Γ. Τυχαία

- Μη ελεγχόμενοι παράγοντες π.χ. συμπτωματική ανωμαλία λειτουργίας οργάνου
- Χειριστής π.χ. Παράλλαξη

ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Αναλογικά

1. Έχουν συνήθως κινητά μέρη
2. Οι ενδείξεις παρέχονται από βελόνα που κινείται μπροστά σε βαθμολογημένη κλίμακα
3. Διαθέτουν συνήθως περισσότερες από μία κλίμακες και η επιλογή γίνεται με διακόπτη
4. Συνήθως διαθέτουν και διαφορετικές περιοχές μέτρησης
5. Οι κλίμακες των οργάνων μπορεί να είναι ανάλογα με τη μορφή τους
 - ευθύγραμμες
 - απλές
 - διπλές
 - σε τόξο κύκλου

Η ανάλογα με τη σχέση μεταξύ της γωνίας απόκλισης και μετρούμενου μεγέθους

- γραμμική όταν $\theta = c \cdot x$
- τετράγωνη όταν $\theta = c \cdot x^2$
- λογαριθμική όταν $\theta = c \cdot \ln x$

όπου θ η γωνία (ένδειξη) του οργάνου, c μια σταθερά και x η τιμή του μεγέθους προς μέτρηση

Ψηφιακά

1. Οι ενδείξεις παρέχονται απευθείας σε οθόνη (συνήθως LCD)
2. Έχουν διαφορετικές περιοχές μέτρησης, αλλά όχι κλίμακα

Κατάταξη Οργάνων Ηλεκτρικών Μετρήσεων

A. Ανάλογα με την αρχή λειτουργίας τους

1. Ηλεκτροστατικά (Μεταξύ ηλεκτρισμένων αγωγών)

Βολτόμετρα

Μετρούν Συνεχή και Εναλλασσόμενη Τάση

2. Ηλεκτρομαγνητικά (Μαγνητικές Επιδράσεις μεταξύ ρευμάτων)

Αμπερόμετρα

Βολτόμετρα

Συχνόμετρα

Βαττόμετρα

Φασίμετρα

Μετρούν Συνεχή και Εναλλασσόμενα ρεύματα

3. Θερμικά (Θερμική επίδραση ρεύματος)

Αμπερόμετρα

Βολτόμετρα

Βαττόμετρα

Μετρούν Συνεχή και Εναλλασσόμενα ρεύματα

4. Επαγωγικά (Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή)

Βαττόμετρα

Συχνόμετρα

Μετρούν μόνο Εναλλασσόμενα ρεύματα

B. Ανάλογα με τον τύπο του ρεύματος που μετρούν

1. Συνεχή

2. Εναλλασσόμενα (Υψηλής Συχνότητας ή Χαμηλής Συχνότητας)

Γ. Ανάλογα με το μέγεθος το οποίο μετρούν

Μέγεθος	Σύμβολο	Όνομασία Οργάνου	Μονάδα
Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος	I	Αμπερόμετρο	1 Ampere
Τάση	V	Βολτόμετρο	1 Volt
Αντίσταση	R	Ωμόμετρο	1 Ohm
Ισχύς	P	Βαττόμετρο	1 Watt
Συχνότητα	f	Συχνόμετρο	1 Hz
Φάση	φ	Φασίμετρο	1 rad

Δ. Ανάλογα με τον τρόπο που δίνουν το αποτέλεσμα της μέτρησης

1. Ενδεικτικά

Τα γνωστά όργανα που χρησιμοποιούν

- Απόκλιση βελόνας
- Φωτεινή κηλίδα
- Παλλόμενα ελάσματα

2. Καταγραφικά

Χρησιμοποιούν γραφίδα και κύλινδρο με χαρτί που περιστρέφεται (1 στροφή συνήθως σε 24 ώρες)

3. Παλμογράφοι

Φθορίζουσα Οθόνη, Δείχνουν Μέγεθος και Μορφή

4. Αθροιστικά

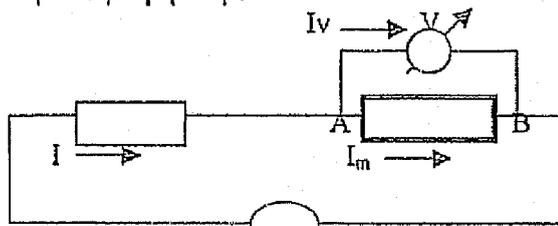
Μετρητές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Μέτρηση Βασικών Ηλεκτρικών Μεγεθών

A. Μέτρηση Τάσης

I. Με Βολτόμετρο

- Συνδέεται παράλληλα με το στοιχείο που θέλουμε να μετρήσουμε τη διαφορά δυναμικού
- Έχει μεγάλη εσωτερική αντίσταση (Μεγαλύτερη από 10 KΩ)
- Υπάρχει σε αρκετές εκδόσεις, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας και το είδος της τάσης που θέλουμε να μετρήσουμε



Πηγή Τάσης
Συνδεσμολογία Μέτρησης Τάσης (V_m) διπόλου AB

Πρέπει $I \approx I_m$

- Η ευαισθησία του μετριέται σε Ω/V , διαιρώντας την εσωτερική του αντίσταση με τη μέγιστη τάση της κλίμακας του.
- Όταν πρόκειται για μέτρηση Εναλλασσόμενης τάσης, μετράει την ενεργό τιμή της $V_{εν} = V_0 / \sqrt{2}$

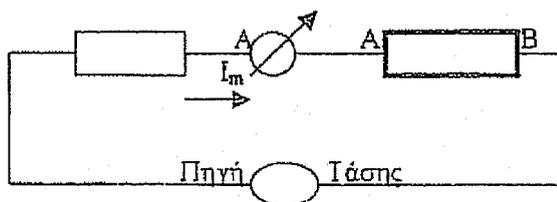
II. Με Παλιμογράφο

Μετράμε την τιμή της τάσης και βλέπουμε την κυματομορφή της

B. Μέτρηση Έντασης

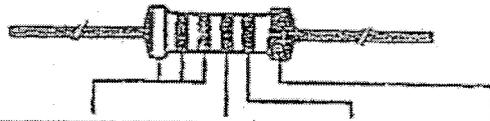
Η μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται με αμπερόμετρο

- Συνδέεται πάντοτε σε σειρά στον κλάδο του κυκλώματος που θέλουμε να μετρήσουμε την ένταση
- Έχει πολύ μικρή εσωτερική αντίσταση (της τάξης του ενός Ω)
- Υπάρχει σε αρκετές εκδόσεις, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας και το είδος της τάσης που θέλουμε να μετρήσουμε
- Όταν πρόκειται για μέτρηση Εναλλασσόμενου ρεύματος, μετράει την ενεργό τιμή του $I_{εν} = I_0 / \sqrt{2}$
- Ως ευαισθησία του ορίζεται η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που φέρει την βελόνα του σε πλήρη απόκλιση.
- ΠΡΟΣΟΧΗ!!! Αν συνδεθεί παράλληλα ή γενικότερα αν ξεπεραστεί η ευαισθησία του, θα καεί



Συνδεσμολογία Μέτρησης Έντασης Ρεύματος (I_m) διπόλου AB

ΧΡΩΜΑΤΙΚΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ



Χρώμα	αντίσταση σε Ω		ανοχή	συντελεστής* θερμοκρασίας
	τιμή	πολλαπλ/οστής		
Κανένα	—	—	± 20 %	—
Ασημί	—	10^{-2}	± 10 %	—
Χρυσό	—	10^{-1}	± 5 %	—
Μαύρο	0	1	—	± $200 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$
Καφέ	1	10	± 1 %	± $100 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$
Κόκκινο	2	10^2	± 2 %	± $50 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$
Πορτοκαλί	3	10^3	—	± $15 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$
Κίτρινο	4	10^4	—	± $25 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$
Πράσινο	5	10^5	± 0.5 %	—
Μπλε	6	10^6	± 0.25 %	± $10 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$
Μώβ	7	10^7	± 0.1 %	± $5 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$
Γκρι	8	—	—	± $1 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$
Λευκό	9	—	—	—

* Αν ο συντελεστής αναφέρεται με δακτυλίδι χρώματος,
τότε βρίσκεται πάντα δεξιά από το δακτυλίδι ανοχών, είναι πάντα πάνω
στο καπάκι και είναι πλατύτερος

ΤΜΟΔ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ ΦΥΣΙΚΗΣ Ι

ΑΣΚΗΣΗ ΣΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

1. Αν σας δοθούν μετρήσεις $A \pm \delta A$, $B \pm \delta B$, $C \pm \delta C$, βρείτε το σφάλμα του μεγέθους D το οποίο υπολογίζεται από τα A , B , C ως εξής (η είναι ένας αριθμός χωρίς σφάλμα).

- $D = nA$
- $D = A^n$
- $D = A \pm B \pm C$
- $D = AB$
- $D = A/B$
- $D = e^A$
- $D = \log A$

2. Πόσα σημαντικά ψηφία έχει ο κάθε ένας από τους παρακάτω αριθμούς:

976.45 4.000 4.00×10^2 84.000 10
0.0094 5280 3.010×10^4 301.07 400.

Στρογγυλοποιείστε τους παραπάνω αριθμούς ώστε να έχουν δύο σημαντικά ψηφία.

3. Βρείτε την μέση τιμή, την πιο πιθανή τιμή και την τυπική απόκλιση για τις παρακάτω μετρήσεις.

i	x_i	i	x_i	i	x_i
1	73	11	73	21	69
2	91	12	46	22	70
3	72	13	64	23	82
4	81	14	61	24	90
5	82	15	50	25	63
6	46	16	89	26	70
7	89	17	91	27	94
8	75	18	82	28	44
9	62	19	71	29	100
10	58	20	76	30	88

4. Η αρχική ενεργότητα N_0 (διασπάσεις ανά δευτερόλεπτο) και η χρονική σταθερά τ μίας ραδιενεργού πηγής είναι γνωστές με αβεβαιότητα 1% η κάθε μία. Για να εκτιμήσουμε την ενεργότητα $N = N_0 \exp^{-t/\tau}$, το σφάλμα στην αρχική ενεργότητα N_0 κυριαρχεί σε πολύ μικρούς χρόνους και το σφάλμα στην χρονική σταθερά κυριαρχεί σε μεγάλους χρόνους. (Γιατί;) Για ποιά τιμή του t/τ τα σφάλματα στο N_0 και στο τ συνεισφέρουν το ίδιο στην αβεβαιότητα του N .
5. Ο νόμος του Snell συσχετίζει την γωνία διάθλασης θ_2 μίας φωτεινής ακτίνας που ταξιδεύει σε ένα μέσον με δείκτη διάθλασης n_2 με την γωνία πρόσπτωσης θ_1 της ακτίνας που ταξιδεύει σε ένα οπτικό μέσον με δείκτη διαθλασης n_1 , μέσω της σχέσης $n_2 \sin \theta_2 = n_1 \sin \theta_1$. Βρείτε το n_2 και την ακρίβεια στον υπολογισμό του, από τις ακόλουθες μετρήσεις $\theta_1 = (22.03 \pm 0.2)^\circ$, $\theta_2 = (14.45 \pm 0.2)^\circ$, $n_1 = 1.000$
Υποθέστε ότι δεν υπάρχει σφάλμα στην μέτρηση του n_1 .
6. Από τις μετρήσεις των διαστάσεων ενός κυλίνδρου προέκυψαν οι εξής τιμές: διάμετρος $D = (4.0 \pm 0.1) \text{ mm}$ και ύψος $h = (7.4 \pm 0.2) \text{ mm}$. Να υπολογισθεί ο όγκος V και το τυπικό σφάλμα δV , το σχετικό σφάλμα $\sigma\%$ και να γραφούν οι εκφράσεις $V = \bar{V} \pm \delta V$, $V = \bar{V} \pm \sigma\%$.

ΑΣΚΗΣΗ 2^η Ζυγός ρεύματος – Δύναμη Laplace

Θεωρητική εισαγωγή

Σε ένα κινούμενο φορτισμένο σωματίδιο φορτίου q και ταχύτητας v που βρίσκεται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο μαγνητικής επαγωγής B ασκείται μια μαγνητική δύναμη F (Δύναμη Lorentz ή Δύναμη Laplace στην Ελληνική βιβλιογραφία) ίση με:

$$F=q \cdot (v \times B) \quad (1)$$

Η δύναμη αυτή έχει διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο που σχηματίζουν τα διανύσματα v και B και φορά που ορίζεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού (εξωτερικό γινόμενο). Εάν η γωνία μεταξύ των διανυσμάτων v και B είναι ορθή, τότε η σχέση (1) γίνεται:

$$F=q \cdot v \cdot B \quad (2)$$

Η ταχύτητα των φορέων ρεύματος (ηλεκτρόνια) μετριέται μέσω του ρεύματος I_L που διαρρέει τον αγωγό. Το συνολικό φορτίο ηλεκτρονίων στο κομμάτι του αγωγού μήκους l που βρίσκεται μέσα στο πεδίο, δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$q \cdot v = I_L \cdot l \quad (3)$$

Από τις δύο προηγούμενες σχέσεις προκύπτει για την δύναμη Laplace:

$$F = I_L \cdot l \cdot B \quad (4)$$

Στο συγκεκριμένο πείραμα θα μετράται η δύναμη Laplace F σαν συνάρτηση του ρεύματος I_L που διαρρέει αγωγό συγκεκριμένου μήκους και σαν συνάρτηση του μήκους l του αγωγού για συγκεκριμένη τιμή ρεύματος I_L .

Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη περιλαμβάνει:

- Ζυγό ακριβείας με βερνιέρο
- Βάση στήριξης των αγωγών
- Τροφοδοτικό AC/DC 24V
- Πεταλοειδή μαγνήτη (Σετ από μαγνήτες)
- Σετ από αγωγούς σε πλακέτα (6 διαφορετικά μήκη)
- Διαστημόμετρο
- Αμπερόμετρο

Εκτέλεση

1. Πραγματοποιήστε την συνδεσμολογία του κυκλώματος με την επίβλεψη του διδάσκοντα και τοποθετήστε τον πρώτο αγωγό στη βάση στήριξης έτσι ώστε να βρίσκεται μέσα στον πεταλοειδή μαγνήτη και χωρίς να ακουμπά σε αυτόν. Μετρήστε το μήκος του αγωγού με διαστημόμετρο και καταγράψτε την τιμή του.

Μετρήστε το μήκος του αγωγού με διαστημόμετρο και καταγράψτε την τιμή του.

2. Ζυγίστε τον πεταλοειδή μαγνήτη και υπολογίστε το βάρος του από τη σχέση $B = m \cdot g$ (5) ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$). Καταγράψτε την τιμή καθώς και το σχετικό σφάλμα.
3. Τροφοδοτήστε τον αγωγό με ρεύμα σταθερής τιμής (3 A). Θα παρατηρήσετε ότι η ισορροπία διαταράσσεται και αυτό συμβαίνει διότι στον αγωγό αλλά και στον πεταλοειδή μαγνήτη ασκείται η μαγνητική δύναμη Laplace. Μετρήστε την καινούργια ένδειξη και υπολογίστε το βάρος που προκύπτει.
4. Καταχωρήστε την τιμή του βάρους και του μήκους του αγωγού με τα σχετικά σφάλματα σε ένα πίνακα (Πίνακας 1).
5. Επαναλάβετε την ίδια διαδικασία και για τους έξι αγωγούς.
6. Τοποθετήστε έναν από τους αγωγούς στη βάση στήριξης και τροφοδοτήστε το κύκλωμα με ρεύμα I_L 0,4 A. Μετρήστε την ένδειξη του ζυγού και υπολογίστε το αντίστοιχο βάρος.
7. Με τον ίδιο αγωγό επαναλάβετε το ίδιο για δέκα διαφορετικές τιμές του ρεύματος (έως και 4 A). Καταχωρήστε τις τιμές βάρους και ρεύματος με τα σχετικά σφάλματα σε ένα πίνακα (Πίνακας 2).
8. Επαναλάβετε τα βήματα 6 και 7 για έναν αγωγό διπλάσιου μήκους(Πίνακας 3).

Επεξεργασία των μετρήσεων

1. Υπολογίστε τη διαφορά βάρους ΔB που προκύπτει από το κανονικό βάρος του μαγνήτη B_0 (πρώτη μέτρηση) μείον το πλασματικό βάρος B_p μετά την εφαρμογή της μαγνητικής δύναμης Laplace. Αυτή η τιμή είναι ουσιαστικά το μέτρο της δύναμης Laplace F (γιατί);
2. Επαναλάβετε το ίδιο και για τις έξι διαφορετικές τιμές μηκών l των αγωγών και καταχωρήστε τις τιμές στον πίνακα 1.
3. Κατασκευάστε το διάγραμμα $F - l$ και με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων χαράξτε την καλύτερη ευθεία. Επιβεβαιώνεται η γραμμική σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών όπως προκύπτει από τη σχέση (4); Τι παριστάνει η κλίση της ευθείας;
4. Υπολογίστε με τον ίδιο τρόπο την τιμή της δύναμης Laplace F για τα δεδομένα των πινάκων 2 και 3.
5. Κατασκευάστε δύο διαγράμματα $F - I_L$ και με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων χαράξτε την καλύτερη ευθεία. Επιβεβαιώνεται η γραμμική σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών όπως προκύπτει από τη σχέση (4); Τι παριστάνει η κλίση της ευθείας;
6. Σχολιάστε γενικότερα τα αποτελέσματα των μετρήσεων σας καθώς και τα σφάλματα που υπεισέρχονται σε αυτές. Ποια θεωρείτε ότι συνεισφέρουν περισσότερο;

ΑΣΚΗΣΗ 3^η

Νόμος Joule – Θερμιδομετρία

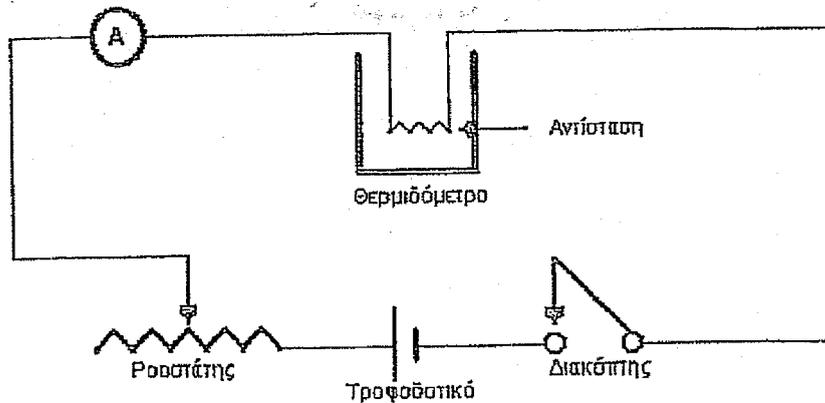
Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη περιλαμβάνει:

- Θερμιδόμετρο
- Τροφοδοτικό AC/DC 24V
- Αμπερόμετρο
- Ροοστάτης
- Διακόπτης απλός μαχαίρωτός
- Χρονόμετρο
- Θερμόμετρο υδραργύρου

Εκτέλεση

1. Γεμίστε τον καδίσκο με νερό αφού πρώτα το έχετε ζυγίσει, τοποθετήστε τον μέσα στο θερμιδόμετρο μαζί με το θερμαντικό στοιχείο και ασφαλίστε.
2. Πραγματοποιήστε την συνδεσμολογία του παρακάτω σχήματος



Σχ. 1

3. Για να μετρήσουμε το ποσό της θερμότητας που παράγεται από την αντίσταση του θερμιδόμετρου θα χρησιμοποιήσουμε τον νόμο της θερμιδομετρίας. Αυτός εκφράζεται με τον τύπο $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$, όπου m η μάζα του νερού μέσα στο θερμιδόμετρο, c η ειδική του θερμότητα και $\Delta\theta$ η μεταβολή της θερμοκρασίας του, όπως την βλέπουμε στο θερμόμετρο.
4. Διατηρώντας την ένταση του ρεύματος I σταθερή, μετρήστε τη μεταβολή θερμοκρασίας $\Delta\theta$ του νερού για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα (για $I = 1\text{A}$ και για 40 λεπτά παίρνοντας μετρήσεις ανά 4 λεπτά). Σε κάθε τιμή οποιουδήποτε μεγέθους καταγράφετε να σημειώνετε και το αντίστοιχο σφάλμα. Καταχωρήστε τις τιμές των μεγεθών t και $\Delta\theta$ σε έναν πίνακα (Πίνακας 1).

5. Μετρήστε στη συνέχεια τη διαφορά θερμοκρασίας $\Delta\theta$ για διάφορες τιμές του ρεύματος στο κύκλωμα ξεκινώντας από 0,4A έως και 2,4A κάνοντας έξι μετρήσεις των έξι λεπτών η κάθε μία. Καταχωρήστε τα αποτελέσματα για τα μεγέθη I και $\Delta\theta$ σε έναν πίνακα (Πίνακας 2). Για να μεταβάλετε την τιμή του ρεύματος μπορείτε να μεταβάλετε είτε την τάση του τροφοδοτικού είτε την αντίσταση του ροοστάτη.

Επεξεργασία των μετρήσεων

1. Με τις τιμές του πίνακα 1 για την $\Delta\theta$ υπολογίστε την θερμότητα Q που προκύπτει από το νόμο της θερμιδομετρίας.
2. Κατασκευάστε το διάγραμμα $Q - I$ και με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων χαράξτε την καλύτερη ευθεία. Επιβεβαιώνεται η γραμμική σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών όπως προκύπτει από τον νόμο του Joule $Q = I^2 \cdot R \cdot t$;
3. Κάνετε το ίδιο με τις τιμές του πίνακα 2 και κατασκευάστε το διάγραμμα $Q - I^2$. Με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων χαράξτε την καλύτερη ευθεία. Επιβεβαιώνεται η γραμμική σχέση μεταξύ των μεγεθών Q και I^2 όπως προκύπτει από τον νόμο του Joule;
4. Σχολιάστε γενικότερα τα αποτελέσματα των μετρήσεων σας καθώς και τα σφάλματα που υπεισέρχονται σε αυτές. Ποια θεωρείτε ότι συνεισφέρουν περισσότερο;

ΑΣΚΗΣΗ 4^η ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Πειραματική διάταξη

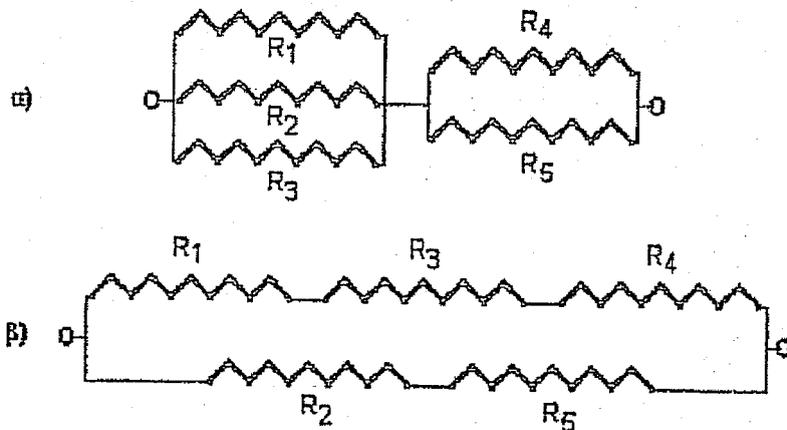
Η πειραματική διάταξη περιλαμβάνει:

- Ηλεκτρικές αντιστάσεις από 33Ω έως και $47 \text{ K}\Omega$
- Πλακέτα σύνδεσης
- Μπαταρίες $1,5 \text{ V}$ για τροφοδοσία συνεχούς τάσης
- Ποτενσιόμετρο
- Βολτόμετρο
- Αμπερόμετρο
- Καλώδια σύνδεσης

Εκτέλεση και επεξεργασία των μετρήσεων

A. Συνδεσμολογία αντιστάσεων

1. Αναγνωρίστε τις 5 αντιστάσεις που σας δίνονται από τα χρώματά τους και καταχωρήστε τις τιμές τους.
2. Συνδέστε τις αντιστάσεις με τους τρόπους που δείχνουν τα δύο κυκλώματα α και β του σχήματος 1.
3. Για κάθε κύκλωμα μετρήστε με το πολύμετρο την ολική αντίσταση $R_{ολ}$ της συνδεσμολογίας.
4. Υπολογίστε την επίσης, θεωρητικά. Υπάρχει συμφωνία των θεωρητικών τιμών με τις μετρούμενες; Αναφέρατε τα σφάλματα που υπολογίσατε και εξετάστε αν εμπίπτουν στα όρια της ανοχής του κατασκευαστή.

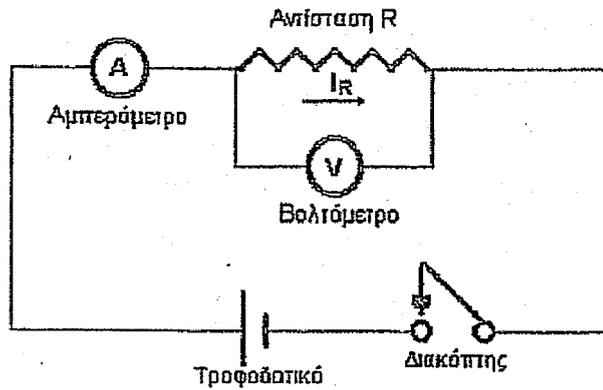


Σχήμα 1

B. Νόμος του Ohm

1. Πραγματοποιήστε το κύκλωμα του σχήματος 2.
2. Για 10 διαφορετικές τιμές συνεχούς τάσης του τροφοδοτικού μετρήστε τις τιμές της τάσης V στα άκρα της R και του ρεύματος I_R που τη διαρρέει. Κάθε φορά που κάνετε μέτρηση κλείνετε το διακόπτη. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις ο διακόπτης να παραμένει ανοικτός (κύκλωμα χωρίς ρεύμα)

3. Καταχωρήστε τις τιμές σε πίνακα και στην τελευταία στήλη του υπολογίστε κάθε φορά την τιμή της αντίστασης R . Υπολογίστε τη μέση τιμή R_m και την τυπική απόκλιση δR . Βρίσκεται σε συμφωνία με την ανοχή που καταγράφεται από τον χρωματικό κώδικα;

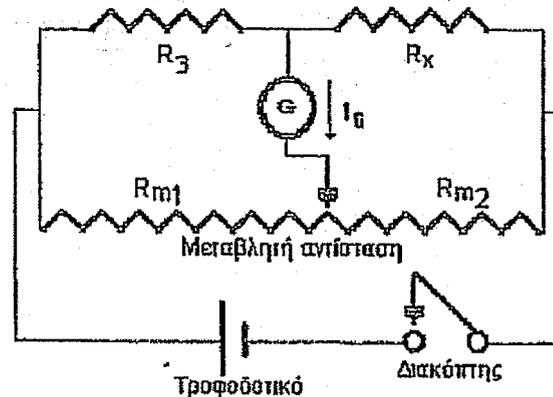


Σχήμα 2

4. Κατασκευάστε το διάγραμμα $I_R - V$ και με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων χαράξτε την καλύτερη ευθεία. Επιβεβαιώνεται η γραμμική σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών όπως προκύπτει από τον νόμο του Ohm ($I_R = (1/R)V$); Ποια τιμή προκύπτει για την αντίσταση από την κλίση της ευθείας.

Δ. Γέφυρα Whetstone – Μέτρηση τιμής άγνωστης αντίστασης

1. Πραγματοποιείτε το κύκλωμα του σχήματος 3.



Γέφυρα Whetstone

Σχήμα 3

2. Αλλάζοντας τη θέση το δρομέα, μεταβάλετε τις τιμές των αντιστάσεων R_{m2} και R_{m1} . Προσπαθήστε να δείτε το γαλβανόμετρο G να δείχνει μηδέν δηλαδή την γέφυρα να ισορροπεί.

3. Από τον τύπο

$$R_x = R_3 (R_{m2} / R_{m1})$$

υπολογίστε την άγνωστη αντίσταση R_x .

4. Επαναλάβετε το ίδιο και για 5 συνολικά άγνωστες αντιστάσεις.

5. Συμφωνούν οι τιμές που υπολογίσατε με τις θεωρητικές τιμές που προκύπτουν από τον κώδικα χρωμάτων; Σε κάθε περίπτωση να σχολιάσετε τους λόγους για τους οποίους υπάρχουν σφάλματα στις μετρήσεις σας. Ποιοι νομίζετε ότι είναι οι σημαντικότεροι σε κάθε περίπτωση;

ΑΣΚΗΣΗ 5η

ΜΕΛΕΤΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ RLC ΣΕ ΣΕΙΡΙΑΚΟ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟ

1. Θεωρητική Εισαγωγή

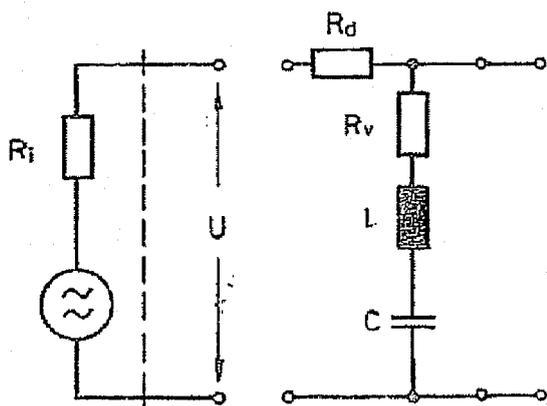
Εάν ένα πηνίο αυτεπαγωγής L ένας πυκνωτής χωρητικότητας C και ένας ωμικός αντίστασης R συνδεθούν σε σειρά με εναλλασσόμενη τάση

$$U = U_0 \cdot \cos \omega t \quad (1)$$

τότε με τη χρήση του δευτέρου κανόνα του *Kirchhoff* παίρνουμε

$$U = IR + L \frac{dI}{dt} + \frac{Q}{C} \quad (2)$$

όπου I το ρεύμα στο κύκλωμα και Q το φορτίο του πυκνωτή.



Σχήμα 1. Κύκλωμα συντονισμού σε σειρά

Αν η εξίσωση (2) λυθεί ως προς I λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (3)$$

παίρνουμε:

$$I = I_0 \cos(\omega t - \varphi) \quad (4)$$

όπου

$$I = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \quad (5)$$

Η διαφορά φάσης ϕ δίνεται από την

$$\tan \phi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (6)$$

Από την (4) το ρεύμα έχει σημείο συντονισμού το

$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (7)$$

Εάν τώρα εισαγάγουμε το συντελεστή ποιότητας Q ή το συντελεστή απωλειών d :

$$Q = \frac{R}{\omega_0 L}, d = \frac{1}{Q} \quad (8)$$

, μαζί με το

$$\eta = \frac{\omega}{\omega_0} \quad (9)$$

τότε οι εξισώσεις (5) και (6) γίνονται:

$$\frac{I_r}{\sqrt{1 + Q^2(\eta - \frac{1}{\eta})^2}} \quad (10)$$

και

$$\tan \phi = Q(\eta - \frac{1}{\eta}) \quad (11)$$

όπου I_r είναι το ρεύμα στη συχνότητα συντονισμού.
Εάν ορίσουμε τη συχνότητα ω_b ως τη συχνότητα στην οποία συμβαίνει

$$\frac{I}{I_r} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (12)$$

τότε το εύρος ζώνης (bandwidth) B θα ισούται με

$$B = 2(\omega_b - \omega_0) \quad (13)$$

και επειδή

$$2\pi f_0 = \omega_0 \quad (14)$$

παίρνουμε

$$B = \frac{f_0}{Q} \quad (15)$$

Υπενθυμίζουμε ότι στις προηγούμενες εξισώσεις η R συμβολίζει την ολική ωμική αντίσταση του κυκλώματος. Εάν η πηγή τάσης έχει εσωτερική αντίσταση R_i , και το πηνίο μια αντίσταση R_v , η ολική ωμική αντίσταση θα δίνεται από την εξίσωση

$$R = R_d + R_i + R_v \quad (16)$$

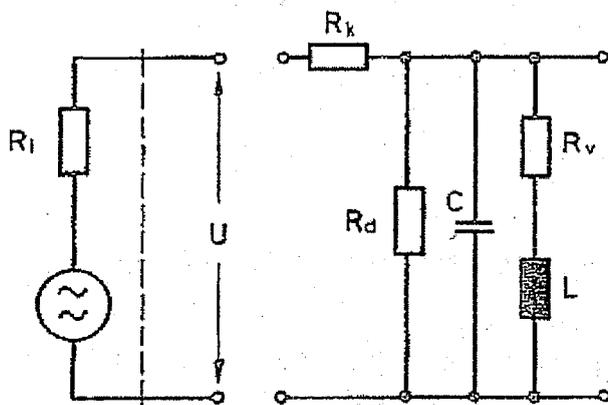
όπου R_d η αντίσταση του κυκλώματος.

Στην περίπτωση της παράλληλης συνδεσμολογίας αρκεί να προσθέσουμε τις αγωγιμότητες των στοιχείων και θα πάρουμε:

$$U = \frac{I_0}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_i+R} + \frac{1}{R_d}\right)^2 + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}} \quad (17)$$

από την οποία προκύπτει ότι συντονισμός συμβαίνει όταν:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0 \quad (18)$$



Σχήμα 2. Κύκλωμα παράλληλου συντονισμού

2. Πειραματική Διάταξη

Η πειραματική διάταξη περιλαμβάνει:

Ένα τυποποιημένο κύκλωμα RLC

Γεννήτρια συχνοτήτων

Βολτόμετρο

Αμπερόμετρο

Καλώδια σύνδεσης

3. Εκτέλεση

A. Συντονισμός σε σειρά

i. Συνδέουμε το κύκλωμα με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουμε τα στοιχεία του σε σειρά με το αμπερόμετρο και τροφοδοτούμε το κύκλωμα με τη γεννήτρια συχνοτήτων, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.

ii. Παρατηρούμε την ένδειξη του αμπερομέτρου και εκτελούμε με τη γεννήτρια συχνοτήτων σάρωση έτσι ώστε να εντοπίσουμε την περιοχή του συντονισμού (Μέγιστο ρεύμα).

iii. Παίρνουμε είκοσι τριάδες τιμών για τη συχνότητα, το ρεύμα και την τάση του κυκλώματος, συμμετρικά κατανομημένες γύρω από την συχνότητα συντονισμού που περίπου εντοπίσαμε στο

προηγούμενο βήμα.

iv. Συνδέουμε σε σειρά με την αντίσταση R_2 μία αντίσταση R_1 και επαναλαμβάνουμε τα δύο προηγούμενα βήματα.

iv. Αποσυνδέουμε και τις δύο αντιστάσεις R_2 και R_1 και επαναλαμβάνουμε τα βήματα ii και iii.

B. Παράλληλος Συντονισμός

i. Συνδέουμε το κύκλωμα με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουμε τα στοιχεία του παράλληλα με τη γεννήτρια συχνοτήτων και με το αμπερόμετρο να δείχνει το συνολικό ρεύμα στο κύκλωμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.

ii. Παρατηρούμε την ένδειξη του βολτομέτρου και με μία σάρωση εντοπίζουμε την περιοχή συχνοτήτων συντονισμού (Μέγιστη τάση).

iii. Παίρνουμε είκοσι τριάδες τιμών για τη συχνότητα, το ρεύμα και την τάση του κυκλώματος, συμμετρικά κατανομημένες γύρω από την συχνότητα συντονισμού που περίπου εντοπίσαμε στο προηγούμενο βήμα.

iv. Συνδέουμε παράλληλα με την αντίσταση R_2 μία αντίσταση R_1 και επαναλαμβάνουμε τα δύο προηγούμενα βήματα.

iv. Αποσυνδέουμε και τις δύο αντιστάσεις R_2 και R_1 και επαναλαμβάνουμε τα βήματα ii και iii.

4. Επεξεργασία των μετρήσεων

1. Καταχωρήστε τα αποτελέσματά των μετρήσεων σε πίνακες και για τις δύο περιπτώσεις συντονισμού.

2. Σημειώστε σε κάθε περίπτωση την συνολική ωμική αντίσταση.

3. Χαράξτε για κάθε περίπτωση συντονισμού τις καμπύλες $I(f)$ και $U(f)$ (δύο διαγράμματα για κάθε είδος συντονισμού). Σε κάθε ένα από τα διαγράμματα θα φαίνονται τρεις καμπύλες που θα αντιστοιχούν στις τρεις διαφορετικές τιμές της ολικής ωμικής αντίστασης.

4. Υπολογίστε θεωρητικά τις τιμές της συχνότητας συντονισμού, του συντελεστή ποιότητας και του εύρους ζώνης του κυκλώματος αναφέροντας και τα αντίστοιχα σφάλματα.

5. Συμφωνούν οι θεωρητικές με τις μετρούμενες τιμές; Άν όχι, ποιές θεωρείτε ως σημαντικότερες αιτίες σφαλμάτων; Σχολιάστε.

$$R_{\theta} = R_0 (1 + \alpha\theta) \quad (\beta.1)$$

όπου α είναι ο θερμοκός συντελεστής αντίστασης, θ η θερμοκρασία και R_0 η τιμή της αντίστασης για $\theta = 0^\circ \text{C}$. Ο θερμοκός συντελεστής αντίστασης είναι θετικός για τα μέταλλα και αρνητικός για τον άνθρακα και τους ημιαγωγούς.

Για το βολφράμιο, από το οποίο είναι κατασκευασμένο το νήμα στις λυχνίες πυροκτώσεως, ο θερμοκός συντελεστής αντίστασης για την περιοχή $0 - 100^\circ \text{C}$ έχει την τιμή $3,92 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Μπορούμε να προσδιορίσουμε εύκολα την αντίσταση ενός αγωγού από τον νόμο του Ohm, $V = RI$, μετρώντας την τάση στα άκρα του και το ρεύμα που τον διαρρέει. Επειδή η αντίσταση μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία, η καμπύλη του V συναρτήσει του I δεν είναι ευθεία αλλά καμπύλη με τα πόδια προς τα πάνω ή κάτω ανάλογα με το αν η αντίσταση, αντίστοιχα, αυξάνεται ή ελαττώνεται με τη θερμοκρασία.

Στην πραγματικότητα η σχέση που συνδέει την αντίσταση με τη θερμοκρασία, στις υψηλές θερμοκρασίες, δεν είναι γραμμική αλλά έχει τη μορφή:

$$R_{\theta} = R_0 (1 + \alpha\theta + \beta\theta^2 + \gamma\theta^3 + \dots) \quad (\beta.2)$$

Σε πολλά πρακτικά προβλήματα όμως, όπως και στην ασκήση αυτή, χρησιμοποιούμε προσεγγιστικά την Εξ. (β.1) θεωρώντας ότι ο συντελεστής α δεν είναι μία σταθερά αλλά εξαρτάται από τη θερμοκρασία.

β.2.2. Ακτινοβολία μέλανος σώματος

Στις υψηλές θερμοκρασίες τα σώματα, εκτός από τις μεταβολές των ιδιοτήτων που υφίστανται, συγχρόνως ακτινοβολούν, όπως για παράδειγμα το σύμμα βολφραμίου στις λυχνίες πυροκτώσεως.

Οι νόμοι της ακτινοβολίας εμπεριέχονται στη σχέση που έδωσε ο Planck για το μέλαν σώμα, που έχει τη μορφή:

$$E_{\lambda} = \frac{2\pi^5 h c^2}{15 \lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{kT\lambda}\right) - 1} \quad (\beta.3)$$

όπου c η ταχύτητα του φωτός, k η σταθερά του Boltzmann, h η σταθερά του Planck, λ το μήκος κύματος και E_{λ} η συνάρτηση κατανομής αμετρικής εκπομπής, δηλαδή η ακτινοβολούμενη ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα μήκους κύματος στην περιοχή μήκους κύματος λ .



Άσκηση

Εξάρτηση της αντίστασης αγωγού από τη θερμοκρασία

β.1. Σκοπός

Στην άσκηση αυτή προσδιορίζεται η καμπύλη της εξάρτησης της αντίστασης του βολφραμίου από τη θερμοκρασία και υπολογίζεται ο θερμοκός συντελεστής αντίστασης του βολφραμίου στις υψηλές θερμοκρασίες.

Παράλληλα δίνεται η δυνατότητα στον σπουδαστή να μελετήσει ποιοτικά το φαινόμενο της ισχύος που απορροφάται από ένα στερεό σε συναρτηση με τη θερμοκρασία του.

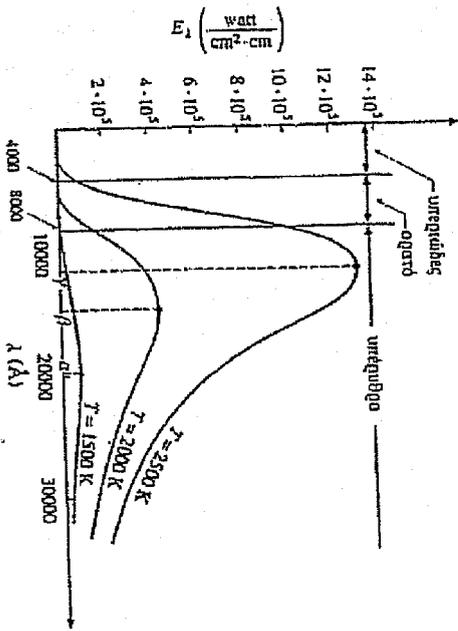
β.2. Γενικά

β.2.1. Μεταβολή της αντίστασης με τη θερμοκρασία

Είναι γνωστό ότι η αντίσταση ενός αγωγού εξαρτάται από τα γεωμετρικά του στοιχεία και δίνεται από τη σχέση $R = \rho L/S$ όπου L είναι το μήκος του αγωγού, S η επιφάνεια της διατομής του και ρ η ειδική αντίσταση που εξαρτάται από τη φύση του υλικού και τη θερμοκρασία.

Η σχέση που συνδέει την αντίσταση ενός αγωγού με τη θερμοκρασία έχει τη μορφή:

Επειδή η σχέση (8.3) δεν είναι εύκολα κατανοητή, δίνεται η γραφική της απεικόνιση στο Σχ. 8.1.
 Είναι φανερό ότι το γινόμενο $E_1 d\lambda$ εκφράζει την ισχύ που εκπέμπεται ανά μονάδα επιφανείας στα μήκη κύματος μεταξύ λ και $\lambda + d\lambda$ σε κάθε θερμοκρασία και ισούται με το εμβαδόν που περιλαμβάνεται από την αντίστοιχη καμπύλη του Σχ. 8.1 και τον άξονα των λ στην περιοχή μεταξύ λ και $\lambda + d\lambda$.



Σχ. 8.1. Η ακτινοβολούμενη ισχύς ανά cm^2 και μονάδα μήκους κύματος ως συνάρτηση του μήκους κύματος λ με παράμετρο την απόλυτη θερμοκρασία T .

8.3. Μέθοδος

Η θερμοκρασία του σώματος βολφραμίου μπορεί να μετρηθεί με τη μεταβολή του βήματος που διαγράφει το σπημα. Για το βολφραμίο υπάρχει εμπειρική σχέση που δίνει τη θερμοκρασία του νημάτος ως συνάρτηση του βήματος και της διαμέτρου του σώματος.

Η γραμμική παράσταση αυτής της σχέσης φανερώνεται στο Σχ. 8.3. Η αντιστάση του σώματος στις διάφορες θερμοκρασίες προσδιορίζεται από το νόμο του Ohm ($R = V/I$).
 Έτσι, αν χρησιμοποιηθεί μια λυχνία βολφραμίου, είναι εύκολο πραγματικά να προσδιοριστεί η αντιστάση του νημάτος της για θερμοκρασίες που προσδιορίζονται με ακρίβεια.

8.4. Πειραματική διάταξη

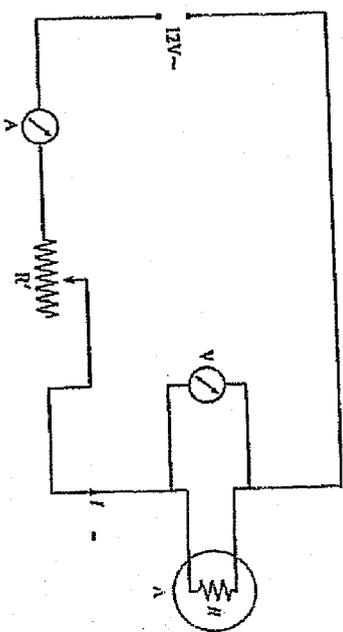
Για την εκτέλεση του πειράματος απαιτούνται:
 Μια πηγή εντάλασσομένης τάσης 12 V, μια λυχνία με νήμα από σπημα βολφραμίου, μια γυθμιζόμενη αντιστάση R' , ένα βολφόμετρο V και ένα αμπερόμετρο A (Σχ. 8.2).

Βιβλιογραφία

1. Μαθηματα φυσικής Berkeley. Τόμος 2: Ηλεκτρισμός-Μαγνητισμός. (Αθήνα, 1978). Κεφ. 4.
2. Κ. Αλεξόπουλος. Γενική Φυσική. Θερμότητας. Παράγρ. 186, 193.
3. Κ. Αλεξόπουλος. Γενική Φυσική. Ηλεκτρισμός. Παράγρ. 148.

8.5. Εξέλιξη

1. Σύνδεστε το κύκλωμα όπως φαίνεται στο Σχ. 8.2.



Σχ. 8.2. Η συνδεσμολογία του κυκλώματος που χρησιμοποιείται στην άσκηση.

2. Μεταβάλλοντας την τιμή της γυθμιζόμενης αντιστάσης R' , μετράνετε το βήμα I που διαγράφει η λυχνία βολφραμίου A και ταυτόχρονα μετρήνετε τη διαφορά δυναμισμού V στα άκρα της. Επαναλάβετε αυτή τη μέτρηση για δέκα τουλάχιστον τιμές του I μεταξύ 0 και 4 A. Καταχωρήστε τις μετρήσεις σας στον Πίνακα 1.

Πίνακας II

T (K)	V (Volt)	I (A)	W (Watt)
1500			
2000			
2500			

Παρατήρηστε πως μεταβάλλεται η ισχύς που αιτιοβολείται στο περιβάλλον από το νήμα της λυχνίας στις παραπάνω θερμοκρασίες και καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας.

β.6. Επεξεργασία των μετρήσεων

1. Για κάθε ζεύγος τιμών V και I που μετρήσατε, υπολογίστε την αντίσταση R της λυχνίας και καταχωρήστε τα αποτελέσματα στον Πίνακα I.
2. Σχεδιάστε την καμπύλη της διαφοράς δυναμίου V ως συνάρτησης του θερμοτός θ.
3. Για τις τιμές του θερμοτός θ της λυχνίας και ίσο την καμπύλη του Σχ. 8.3 που δίνει τη θερμοκρασία του νήματος συναφτήρι του ρεύματος, βρείτε τις αντίστοιχες τιμές της θερμοκρασίας T (σε βαθμούς Κελσίου, K) και θ (σε °C), ($\theta = T - 273$).

Καταχωρήστε τις τιμές αυτές στον Πίνακα I.

4. Σχεδιάστε την καμπύλη της αντίστασης της λυχνίας R ως συνάρτησης της θερμοκρασίας του νήματος θ.
5. Από την κλίση της καμπύλης R(θ) βρείτε τον θερμικό συντελεστή αντίστασης α του βολφραμίου σε αποκαθήμενη θερμοκρασία μεταξύ 1500°C και 2000°C. Για τη λυχνία που χρησιμοποιήθηκε, δίνεται ότι $R_0 = 0,75 \Omega$. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα σας με την τιμή του α μεταξύ 0°C και 100°C που είναι $3,92 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

6. Από τις μετρήσεις V και I που έχετε καταχωρήσει στον Πίνακα II βρείτε την προσφερόμενη στη λυχνία ηλεκτρική ισχύ, η οποία και αιτιοβολείται στο περιβάλλον.

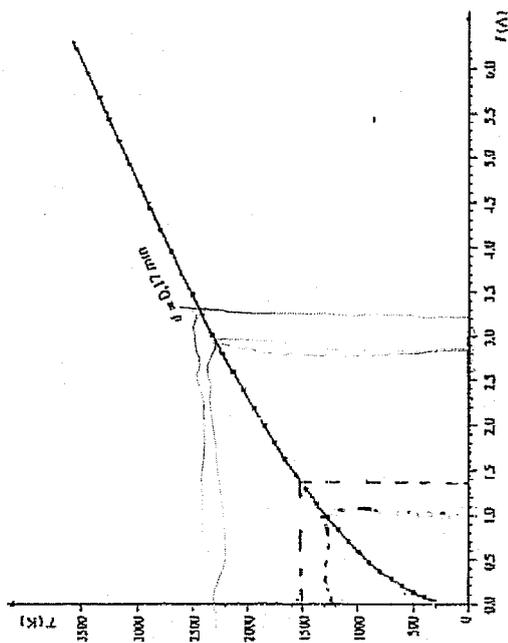
7. Συγκρίνετε ποσοτικά τις πειραματικές τιμές της αιτιοβολουμένης ισχύος, όπως προκύπτουν από τον Πίνακα II, με την ισχύ που προβλέπεται να αιτιοβολεί το νήμα της λυχνίας στις αντίστοιχες θερμοκρασίες σύμφωνα με το Σχ. 8.1.

Συμφωνούν τα αποτελέσματα σας με τις παρατηρήσεις που κάνετε στην ερώτηση 3 της παραγρ. 8.3 σχετικά με την μεταβολή της αιτιοβολούμενης ισχύος του νήματος συναφτήρι της θερμοκρασίας του;

Πίνακας I

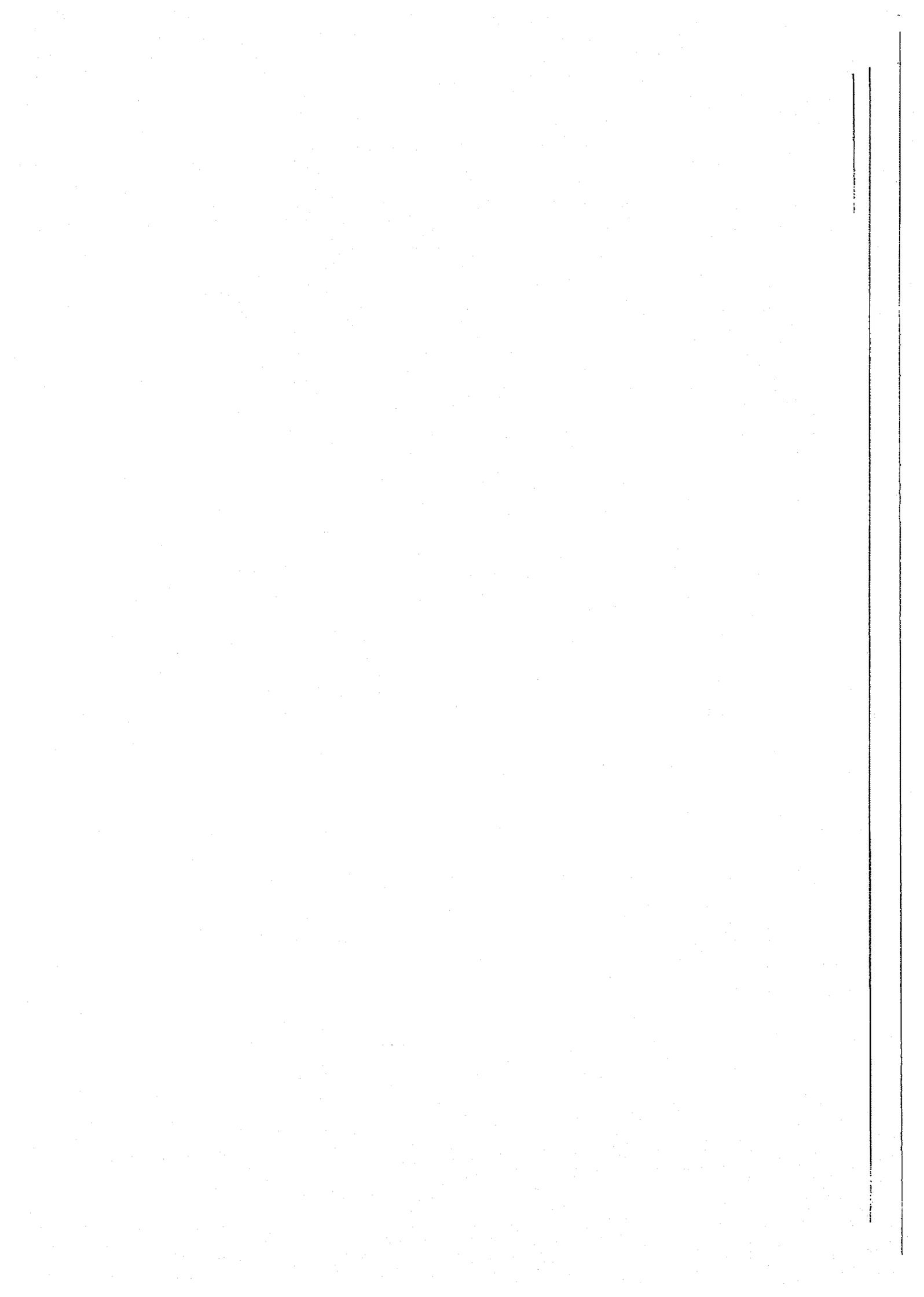
V (Volt)	I (A)	R (Ω)	T (K)	θ (°C)

3. Ρυθμίστε την αντίσταση ώστε να περάσει από τη λυχνία το ρεύμα που θα ανέρχεται τη θερμοκρασία του νήματος στους 1500 K, όπως αυτό προκύπτει από το διάγραμμα T = f(I) του Σχ. 8.3.



Σχ. 8.3. Η θερμοκρασία T με βαθμούς Κελσίου του νήματος βολφραμίου ως συνάρτηση του ρεύματος I που το διαρρέει. Η διαμέτρους του νήματος είναι $d = 0,17 \text{ mm}$.

Καταχωρήστε την τιμή του ρεύματος και της τάσης στα άκρα της λυχνίας στον Πίνακα I.
Επαναλάβετε τη διαδικασία για $T = 2000 \text{ K}$ και $T = 2500 \text{ K}$.



Άσκηση

II

Μέτρηση του μαγνητικού πεδίου ενός σωληνοειδούς

II.1. Σκοπός

Στην άσκηση αυτή θα μετρηθεί το μαγνητικό πεδίο ενός σωληνοειδούς (κυλινδρικού πηνίου). Θα χρησιμοποιηθεί ένα δοκιμαστικό πηνίο, η χρήση του οποίου στηρίζεται στον νόμο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, και ένα βαλλιστικό γαλβανόμετρο.

II.2. Γενικά

II.2.1. Το μαγνητικό πεδίο

Για την περιγραφή του μαγνητικού πεδίου στο χώρο χρησιμοποιούμε το διάνυσμα $B(x, y, z)$ που ονομάζεται μαγνητικό πεδίο ή μαγνητική επαγωγή. Σς εξίσωση ορισμού της μαγνητικής επαγωγής μπορούμε να θεωρήσουμε τη σχέση που περιγράφει τη δύναμη Lorentz που ασκείται πάνω σε ένα κινούμενο φορτίο

$$F = qE + qv \times B \quad (11.1)$$

όπου F η δύναμη, q το ηλεκτρικό φορτίο, E το ηλεκτρικό πεδίο και v η ταχύτητα του φορτίου.

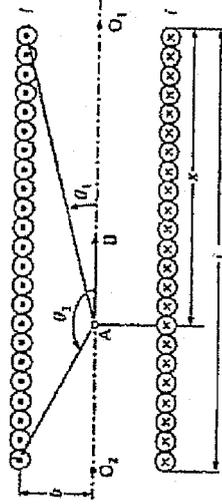
Στο σύστημα μονάδων S.I. η μονάδα μέτρησης του B είναι (από την Εξ. (11.1))

$$1 \frac{V \cdot s}{m^2} = 1 \text{ Tesla}$$

Ένα Tesla είναι ίσο με 10^4 Gauss, όπου το Gauss είναι η αντίστοιχη μονάδα στο σύστημα CGS.

II.2.2. Το μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς

Θεωρούμε σωληνοειδές μήκους L , ακτίνας b , με n περιελίξεις ανά μονάδα μήκους, που διαρρέεται από ρεύμα I . Στο Σχ. II.1 συμβολίζουμε με \odot και \otimes τα σημεία στα οποία οι περιελίξεις τέμνουν το επίπεδο του σχήματος με φορά του ρεύματος προς και από το επίπεδο αυτό αντίστοιχα. Θεωρούμε ότι οι περιελίξεις είναι αρκετά πυκνές, έτσι ώστε το σωληνοειδές να είναι ισοδύναμο με μια εκατόληφα $n \cdot L$ δακτυλίων ρεύματος ακτίνας b .



Σχήμα II.1. Σχηματική διάταξη για τον υπολογισμό του μαγνητικού πεδίου B στο σημείο A του άξονα ενός σωληνοειδούς.

Τότε, το μαγνητικό πεδίο B πάνω στον άξονα του πηνίου είναι παράλληλο προς τον άξονα και δίνεται, στο σημείο A του σχήματος, από τη σχέση

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad (11.2)$$

όπου

$$\cos \theta_1 = \frac{x}{\sqrt{b^2 + x^2}}, \quad \cos \theta_2 = -\frac{L-x}{\sqrt{b^2 + (L-x)^2}} \quad (11.3)$$

και $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ η μαγνητική διαπερατότητα του κενού.

Η τμήση του B γίνεται μέγιστη (B_{max}) στο μέσον του σωληνοειδούς ($x = L - x$)

$$B_{max} = \mu_0 n I \frac{L}{\sqrt{4b^2 + L^2}} \quad (11.4)$$

Αν $L \gg b$ τότε

$$B_{max} \approx \mu_0 n I \quad (11.5)$$

ενώ στο άκρο του πηνίου, $x = 0$ (και πάντα πάνω στον άξονα του πηνίου), έχουμε

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2} \quad (11.6)$$

Για σημεία εκτός του σωληνοειδούς και πάνω στην προέκταση του άξονά του οι εκφράσεις για τα $\cos \theta_1$ και $\cos \theta_2$ γίνονται

$$\cos \theta_1 = - \frac{x}{\sqrt{b^2 + x^2}} \quad \cos \theta_2 = - \frac{L + x}{\sqrt{b^2 + (L + x)^2}} \quad (11.7)$$

όπου x η απόσταση του σημείου από το άκρο O_1 του πηνίου ($x > 0$ πάντοτε).

11.2.3. Μέτρηση μαγνητικού πεδίου με δοκιμαστικό πηνίο

Η χρήση δοκιμαστικού πηνίου για τη μέτρηση ενός μαγνητικού πεδίου B στηρίζεται στον νόμο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής (νόμος του Faraday). Αν ένα δοκιμαστικό (μετρητικό) πηνίο διατομής A , με συνολικό αριθμό περιελίξεων N βελώνεται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο B με την επιφάνεια διατομής του κάθετη στη διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου, η μαγνητική γοή Φ που διέρχεται από κάθε σπειράκι είναι

$$\Phi = \int_A B \cdot da = BA \quad (11.8)$$

Η τελευταία ισότητα (όπως και οι επόμενες σχέσεις) ισχύει για μαγνητικό πεδίο που είναι ομογενές σε όλη την επιφάνεια της διατομής A .

Αν η μαγνητική αυτή γοή μεταβάλλεται με το χρόνο με ρυθμό $d\Phi/dt$, τότε η ηλεκτρογεννηθείσα δύναμη (τάση) στους ασροδέκτες του δοκιμαστικού πηνίου είναι

$$\mathcal{E}(t) = -N \frac{d\Phi}{dt} = -NA \frac{dB}{dt} \quad (11.9)$$

Αν R είναι η συνολική αντίσταση στο κλειστό κύκλωμα του δοκιμαστικού πηνίου, τότε η έξοδος του ρεύματος I στο κύκλωμα αυτό από το χρόνο δίνεται από τη σχέση

$$I(t) = \frac{\mathcal{E}(t)}{R} = - \frac{N}{R} \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{NA}{R} \frac{dB}{dt} \quad (11.10)$$

Αν η μεταβολή της γοής Φ από την αρχική της τιμή BA στην τελική της τιμή 0 (π.χ. αν το πηνίο περιτομαφεί κατά γωνία $\pi/2$, έτσι ώστε το μαγνητικό πεδίο B να είναι τελικά κάθελο προς την επιφάνεια διατομής του, ή αν απομακρύνουμε το πηνίο σε ένα χρόνο όπου $B = 0$ ή, τέλος, αν μηδενίζεται το ρεύμα I του σωληνοειδούς, χωρίς να μετακινηθεί το δοκιμαστικό πηνίο) απαιτεί χρόνο t , τότε το συνολικό φορτίο Q στο κλειστό κύκλωμα του δοκιμαστικού πηνίου είναι

$$Q = \int_0^t I(t) dt = - \frac{NA}{R} \int_0^t \frac{dB}{dt} dt = - \frac{NA}{R} \int_B^0 dB = \frac{NA}{R} B \quad (11.11)$$

Η Εξ. (11.11) επιγράφει τον υπολογισμό του μαγνητικού πεδίου B στην (αρχική) θέση του δοκιμαστικού πηνίου από τη μέτρηση του φορτίου Q . Θα πρέπει να παρατηρηθεί ότι η τιμή του φορτίου δεν εξαρτάται από την ταχύτητα μεταβολής της γοής Φ , αλλά μόνον από την αρχική και τελική της τιμή, μια ιδιότητα που καθιστά τη μέτρηση σχετικά άνετη.

11.2.4. Ηλεκτρικές μετρήσεις με γαλβανόμετρο

Το γαλβανόμετρο είναι ένα ευαίσθητο όργανο για τη μέτρηση μικρών ρευμάτων, τάσεων και ηλεκτρικών φορτίων. Η αρχή λειτουργίας του φαίνεται στα Σχ. 11.2 και 11.3.

Ένα πηνίο με n περιελίξεις βελώνεται στο διακενο μεταξύ των πόλων N και S ενός μόνιμου μαγνήτη και του κωλυόμενου του πηνία P , σχηματίζοντας ένα πλαίσιο γύρω από τον πυρήνα (Σχ. 11.2). Το πηνίο είναι ανηρτημένο από νήμα Γ (Σχ. 11.3), έτσι ώστε να μπορεί να περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του κωλυόμενου πηνία. Οι προσαρμογές ρεύματος A και K είναι σπειροειδή ελατήρια και εξασφαλίζουν, μαζί με την ανάστροφη Γ , την επιστροφή του πηνίου στη θέση ισορροπίας όταν το πηνίο δε διαρρέεται από ρεύμα.

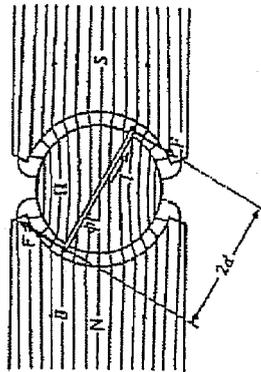
Το μαγνητικό πεδίο B στο διάκενο μεταξύ των πόλων (N, S) και του πυρήνα Π είναι πρακτικά ομογενικό (Σχ. 11.2). Το πηνίο στο Σχ. 11.2 έχει μία μόνο ορθογώνια περιέλιξη πλάτους $2d$ και μήκους l . Για μικρές σχετικά γωνίες περιστροφής ϕ ($\sin \phi \approx \phi$), οι κάθετες πλευρές μήκους l κινούνται σε ένα πρακτικά σταθερό χωρικό μαγνητικό πεδίο B και η μαγνητική ροή ϕ μέσα από το πηνίο είναι (από την Εξ. (11.8)).

$$\phi = B 2dl \sin \phi \approx 2Bdl\phi \quad (11.12)$$

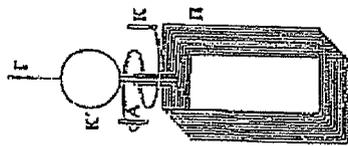
Όταν το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα I (το προς μέτρηση ρεύμα), η δύναμη Laplace, F , στις κάθετες πλευρές μήκους l είναι

$$F = nIBl \quad (11.13)$$

και η ηλεκτρομαγνητική ροπή



Σχ. 11.2. Αρχή λειτουργίας του γαλβανόμετρου (βλ. κείμενο).



Σχ. 11.3. Κατοπτρικό γαλβανόμετρο. Π: πηνίο, Α και Κ: προσμαγνητικό ρεύματος, Κ': κατοπτρικό, Γ: νημά αναρτήσης.

$$N_{\eta\mu} = nIBl \cdot 2d = nIBA = GI \quad (11.14)$$

όπου $A = l \cdot 2d$ η επιφάνεια διατομής του πηνίου. Το μέγεθος $G = nBA$ είναι μια σταθερά και ονομάζεται δυναμική σταθεμή του γαλβανόμετρου. Όταν το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα I , θα τσρορροησει σε μια γωνία περιστροφής ϕ : τέτοια ώστε η μικρανητη ροπή επαναφορδός του πηνίου $N_{\eta\mu} = D\phi$, όπου D η καταυθύνουσα ροπή του νημάτος αναρτήσης του πηνίου, να εξισορροπείται από την ηλεκτρομαγνητική ροπή $N_{\eta\mu}$:

$$D\phi = N_{\eta\mu} = N_{\eta\mu} = nIBA = GI \quad (11.15)$$

Με τη μέτρηση, λοιπόν, της γωνίας περιστροφής ϕ είναι δυνατόν να βρεθεί το ρεύμα I που διαρρέει το πηνίο του γαλβανόμετρου, αφού D και G είναι σταθερές του οργάνου. Η μέτρηση μιας άγνωστης τάσης ανάγεται, με βάση το νόμο του Ohm, στη μέτρηση ενός ρεύματος: η προς μέτρηση τάση στους ακροδέκτες Α και Κ του πηνίου του γαλβανόμετρου (Σχ. 11.3) είναι ανάλογη του ρεύματος μέσα από την εσωτερική αντίσταση του πηνίου. Για τη μέτρηση ηλεκτρικού φορτίου χρησιμοποιούμε το γαλβανόμετρο ως βαλλιστικό γαλβανόμετρο (βλ. παράγρ. 11.2.5).

Για πιο απειη και ακριβή μέτρηση της γωνίας περιστροφής του πηνίου ϕ , το γαλβανόμετρο είναι συνήθως εξοπλισμένο με κατοπτρικό Κ', που είναι στερεά συνδεδεμένο με το νημά αναρτήσης Γ (Σχ. 11.3) και περιστρέφεται μαζί με το πηνίο (κατοπτρικό γαλβανόμετρο). Περιστροφή του πηνίου κατά γωνία ϕ προκαλεί, λοιπόν, περιστροφή του κατοπτρικού κατά την ίδια γωνία. Μια προσπίπτουσα δέσμη φωτός ανακλάται τότε κατά γωνία $\delta = 2\phi$ (Σχ. 11.4). Η αντίστοιχη μετατόπιση της φωτεινής κηλίδας είναι

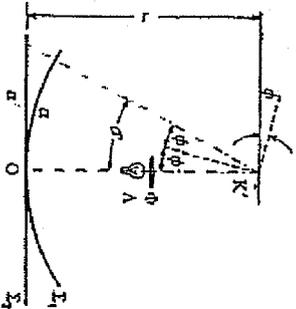
$$a = r\delta = 2r\phi \quad (11.16)$$

σε μια κυκλική κλίμακα ακτίνας r , στο κεντρο της οποίας βρίσκεται το κατοπτρικό του γαλβανόμετρου (Σ1, Σχ. 11.4). Τα δ και ϕ στην Εξ. (11.16) μετρούνται σε ακτίνια. Η μετατόπιση σε μια επίπεδη κλίμακα (Σ2, 11.4) είναι

$$a' = r \tan \delta = r \tan 2\phi \quad (11.17)$$

Για μικρές γωνίες ϕ μπορούμε να αντικαταστήσουμε το a με το a' , που μετράται πιο άγεια. Το σχετικό σφάλμα ($\approx 1\%$ για $\delta \approx \pi/18 \approx 10^\circ$) αυξάνει με τη γωνία δ .

Η κίνηση του πηνίου του γαββανομέτρου από τη θέση ισορροπίας, όταν το πηνίο δε διασφραγίζεται από γερμα ϕ ($\phi \neq 0$), στη νέα θέση ισορροπίας όταν αυτό διασφραγίζεται από γερμα I ($\phi \neq 0$) είναι αρχικά σύνθετη



Σχήμα 11.4. Ανάγνωση της γωνίας περιτροπής ϕ καταπομπικού γαββανομέτρου. Το νήμα του κρημπίτη Λ στεφανοειδώς μέσα του φεκού Φ και του κατόπτρου $\text{Κ}'$ στην κλίση $\Sigma 1$ ή $\Sigma 2$. Ο ϕ να η θέση της φωτεινής κηλίδας για μηδενική γωνία περιτροπής, $\phi = 0$.

και περιγράφεται από τη διαφορική εξίσωση ταλάντωσης με απόβλεση. Η απόβλεση είναι μηχανική (λόγω των τριβών αντίδρασης και της αντίστασης του αέρα στην κίνηση του πηνίου) και ηλεκτροδυναμική: η περιτροπή του πηνίου μέσα στο εξωτερικό μαγνητικό πεδίο προκαλεί μεταβολή της μαγνητικής ροής μέσα από το πηνίο και την εμφάνιση, επομένως, μιας ηλεκτρογενετικής δύναμης εξ επαγωγής στους ακροδότες του πηνίου και ενός ρεύματος εξ επαγωγής στο κύκλωμα του πηνίου, που «αντιτίθεται» στην κίνηση του πηνίου (κανόνας Lenz). Επιδρώντας κατάλληλα την αντίσταση στο κύκλωμα του γαββανομέτρου, μπορούμε να έχουμε μία από τις εξής τρεις περιπτώσεις απόβλεσης και κίνησης του πηνίου: *μικρή απόβλεση* και στήλη σφαιρική ταλάντωση με σταθίση γύρω από τη θέση ισορροπίας, *υπερσφαιρική* και μη ταλαντωτική κίνηση γύρω από τη θέση ισορροπίας πολύ αργά και, τέλος, *κρίσιμη απόβλεση* και αποκατάσταση της ισορροπίας στον ελάχιστο δυνατό χρόνο. Κατά κανόνα ένα γαββανομέτρο, όπως και άλλα όργανα μέτρησης, είναι ρυθμιζόμενο στην κρίσιμη απόβλεση, ώστε ο χρόνος που απαιτείται για τη μέτρηση να είναι ο ελάχιστος δυνατός.

9.2.5. Το βιολογικό γαββανομέτρο

Επίσης από μετρήσεις ρεύματος και τάσης, το γαββανομέτρο χρησιμοποιείται και για μετρήσεις ηλεκτρικού φορτίου

$$Q = \int_0^t I dt \quad (11.18)$$

με την προϋπόθεση ότι ο χρόνος διάρκεια του ρεύματος είναι μικρός σε σχέση με την περίοδο ταλάντωσης T του πηνίου του γαββανομέτρου. Η διάρκεια του ρεύματος προκαλεί μια αρχική απόβλεση του πηνίου, που αφήνεται μετά να εκλείψει, ανάλογα με την απόβλεση που έχει, περιδοική ή μη κίνηση. Σε κάθε περίπτωση μπορεί να δείχθει ότι η μέγιστη γωνία περιστροφής ϕ_{max} του πηνίου (και, επομένως, η μέγιστη αποκλίση α'_{max} της φωτεινής κηλίδας στην επίπεδη κλίμακα), είναι ανάλογη του ηλεκτρικού φορτίου Q (της αρχικής ώθησης, γενικά), ανεξάρτητα

$$Q = E_g \alpha'_{\text{max}} \quad (11.19)$$

Η σταθερά αναλογίας E_g είναι η βιολογική ευαισθησία του γαββανομέτρου. Για σταθερή απόβλεση, δηλαδή σταθερή αντίσταση στο ηλεκτρικό κύκλωμα του γαββανομέτρου, η E_g είναι μια σταθερά του γαββανομέτρου.

11.3. Μέθοδος

Η μέθοδος που ακολουθείται για τη μέτρηση του μαγνητικού πεδίου B σε μια θέση A (Σχ. 11.1) στηρίζεται στο νόμο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Ένα μικρό δοκιμαστικό (μετρητικό) πηνίο βελώνεται στη θέση A με την επιφάνεια διατομής του κάθετα στη διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου B . Το δοκιμαστικό πηνίο είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένο με ένα βιολογικό γαββανομέτρο. Το γερμα στο κύκλωμα του σπιδρωματικού ημεινέζεται (δικαιούτης) και μιλί, βίβια, και το μαγνητικό πεδίο. Τότε το ηλεκτρικό φορτίο που επάγεται στο κύκλωμα δοκιμαστικού πηνίου-γαββανομέτρου δίδεται από την Εξ. (11.11).

$$Q = \frac{NA}{R} B \quad (11.20)$$

όπου N ο συνολικός αριθμός περιελίξεων (σπειρών), A το εμβαδόν της διατομής του δοκιμαστικού πηνίου και R η ηλεκτρική αντίσταση στο κύκλωμα δοκιμαστικού πηνίου-γαββανομέτρου.

Το φορτίο Q μετρείται με το βιολογικό γαββανομέτρο και δίδεται από την Εξ. (11.19)

$$Q = E_{\sigma} \alpha'_{\text{μετ}} \quad (11.21)$$
 όπου E_{σ} είναι μια σταθερά του γαλβανόμετρου για σταθερή αντίσταση $R = R_{\sigma} + R_{\gamma}$ στο κύκλωμα δοκιμαστικού πηνίου-γαλβανόμετρου η οποία δίνεται. Το μαγνητικό πεδίο σε κάθε θέση του δοκιμαστικού πηνίου προκύπτει από τη μετρηση της αποκλίσης $\alpha'_{\text{μετ}}$ και τις Εξ. (11.20) και (11.19).

Το μαγνητικό πεδίο που θα μετρηθεί είναι το μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς σε διάφορες θέσεις πάνω στον άξονα του σωληνοειδούς και στην προέκτασή του άξονα έξω από το σωληνοειδές. Η θεωρητική τιμή του μαγνητικού πεδίου δίνεται από τις Εξ. (11.2), (11.3) και (11.7).

Παρατήρηση 1: Η μετρηση του μαγνητικού πεδίου είναι τόσο πιο «σημειακή», όσο μικρότερο είναι το δοκιμαστικό (μετρητικό) πηνίο. Όμως η γωνία περιστροφής $\phi_{\text{μετ}}$ του πηνίου του γαλβανόμετρου η το μέγεθος $\alpha'_{\text{μετ}}$ που θα μετρηθεί για τον προσδιορισμό του μαγνητικού πεδίου B , μειώνεται όσο μειώνεται ο αριθμός των περιελίξεων N και η επιφάνεια διατομής A του δοκιμαστικού πηνίου (βλ. Εξ. (11.8)-(11.9) και (11.19)). Η εξάρτηση αυτή θέτει ένα κάτω όριο για το γινόμενο NA και επομένως για το μέγεθος του δοκιμαστικού πηνίου, όριο που εξαρτάται από την ευαισθησία του γαλβανόμετρου.

Παρατήρηση 2: Η επιλογή που έγινε για τη μεγιστοποίηση του γινόμενου NA με παράλληλη ελαχιστοποίηση των διαστάσεων του δοκιμαστικού πηνίου, ιδιαίτερα της διάστασης της παράλληλης προς τον άξονα του σωληνοειδούς (επειδή θα μετρηθεί το μαγνητικό πεδίο του σωληνοειδούς σε διάφορες θέσεις πάνω στον άξονα-του σωληνοειδούς), επέβαλε την περιέλιξη περισσότερων από μίας στρώσεων σπειρών στο δοκιμαστικό πηνίο, τη μία στρώση πάνω στην άλλη. Τότε όμως η μαγνητική ροή Φ μέσα από το δοκιμαστικό πηνίο, για ομογενές μαγνητικό πεδίο B κάθετο στην επιφάνεια διατομής του, δε δίνεται από τη σχέση

$$\Phi = BNA \quad (11.22)$$

όπου A η επιφάνεια διατομής του δοκιμαστικού πηνίου, αλλά από τη σχέση

$$\Phi = B \sum_{i=1}^m N_i A_i \quad (11.23)$$

όπου N_i ο αριθμός περιελίξεων της στρώσης i , A_i η επιφάνεια διατομής για τη στρώση i και m ο συνολικός αριθμός των στρώσεων. Το μέγεθος

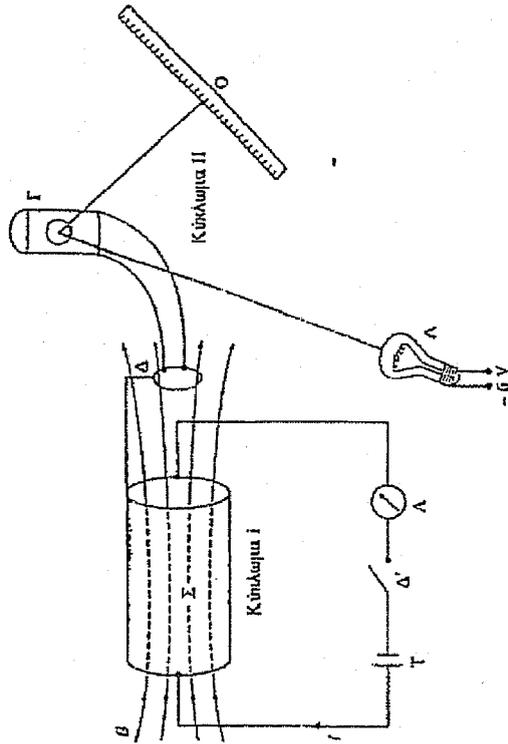
$$\sum_{i=1}^m N_i A_i$$

είναι μια σταθερά του δοκιμαστικού πηνίου (ένα είδος ενεργού τιμής του γινόμενου NA). Στην Εξ. (11.9) και σε όλες τις επόμενες το μέγεθος NA πρέπει να αντικατασταθεί στους υπολογισμούς με το άθροισμα $\sum_{i=1}^m N_i A_i$ (ή με την ενεργό τιμή του γινόμενου NA).

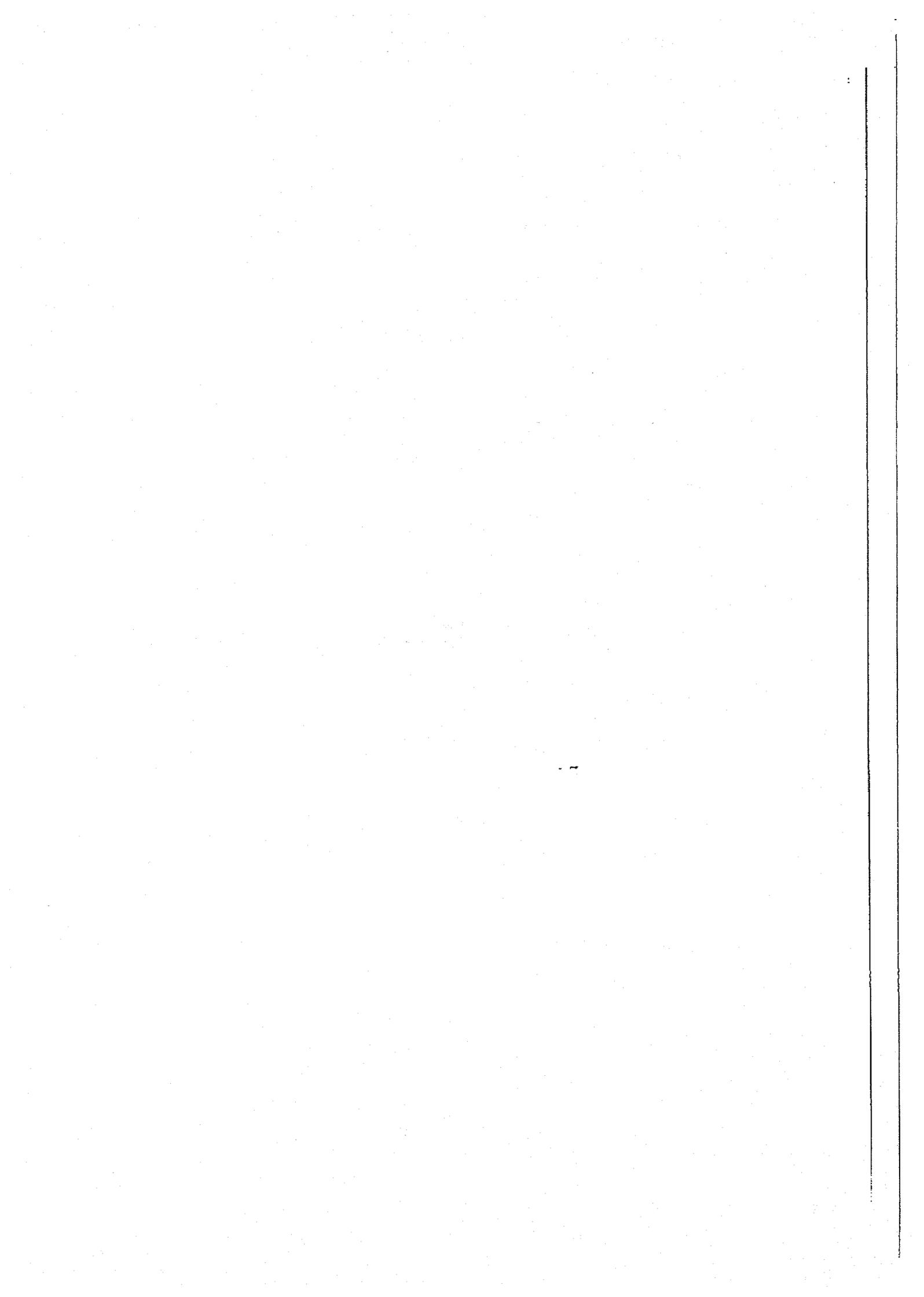
11.4. Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη περιλαμβάνει:

Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα για τη δημιουργία του μαγνητικού πεδίου που θα μετρηθεί (κύκλωμα I, Σχ. 11.5). Αποτελείται από



Σχ. 11 Σχηματική παράσταση της πειραματικής διάταξης. Σ: σωληνοειδές, Γ: τριφασικό κύκλωμα, Δ: διακόπτης, Λ: λαμπτήρας, Ο: σβόνι.



ΑΣΚΗΣΗ 11^η

ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΩΛΗΝΟΕΙΔΟΥΣ

Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη περιλαμβάνει:

- Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα για τη δημιουργία του μαγνητικού πεδίου που θα μετρηθεί (κύκλωμα I σχ1.). Αποτελείται από:

- Τροφοδοτικό (Τ).

- Αμπερόμετρο για τη μέτρηση της έντασης του ρεύματος I στο κύκλωμα I (Α).

- Μεγάλο κυλινδρικό πηνίο (σωληνοειδές Σ) για τη δημιουργία του μαγνητικού πεδίου που θα μετρηθεί. Το σωληνοειδές έχει μήκος $L = 0,30$ m, ακτίνα διατομής $b = 0,06$ m και συνολικό αριθμό σπειρών N ίσο με 320.

- Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα για τη μέτρηση του μαγνητικού πεδίου (κύκλωμα II, σχ.1). Αποτελείται από

- Μικρό δοκιμαστικό (μετρητικό) κυλινδρικό πηνίο (Δ) Το δοκιμαστικό πηνίο μπορεί να μετακινηθεί κατά μήκος του σωληνοειδούς με τον άξονά του πάνω στον άξονα του σωληνοειδούς. Έχει εσωτερική ακτίνα διατομής 2.1 cm. Ο συνολικός αριθμός σπειρών είναι $N = 400$. Η ενεργός τιμή του γινομένου NA στην Εξ. (11.20) είναι 0.554m^2

- Ένα γαλβανόμετρο (Γ)

Εκτέλεση

1. Συνδέστε σε σειρά το τροφοδοτικό ισχύος, το αμπερόμετρο και το σωληνοειδές (κύκλωμα I, σχ. 1).

2. Τοποθετήστε το δοκιμαστικό πηνίο στο μέσον του σωληνοειδούς. Τροφοδοτήστε το κύκλωμα I με ρεύμα (του οποίου την τιμή μετράτε με το αμπερόμετρο) και μετρήστε την απόκλιση $\alpha_{\text{μεγ}}$ του γαλβανομέτρου όταν μηδενίσετε το ρεύμα στο κύκλωμα I ανοίγοντας το διακόπτη Δ' (σχ. 1).

3. Επαναλάβετε τη μέτρηση με την ίδια θέση του δοκιμαστικού πηνίου για 8 διαφορετικές τιμές του ρεύματος και για μέχρι 5 A. Καταχωρήστε τα αποτελέσματα στον Πίνακα I. Για να μετατρέψετε τις μονάδες του γαλβανομέτρου Γ σε φορτίο Q πολλαπλασιάστε με π σταθερά $E_B = 3 \cdot 10^{-7}$ C. Η τιμή της B υπολογίζεται από τις εξισώσεις 11.19 και 11.20.

I (A)	$\alpha_{\text{μεγ}}$ (μονάδες Γ)	Q (C)	B (T)
-------	-----------------------------------	-------	-------

Πίνακας I

4. Για σταθερή τιμή του ρεύματος, (περίπου 3A), μετρήστε την απόκλιση $\alpha_{\text{μσ}}$ για διάφορες θέσεις του δοκιμαστικού πηνίου πάνω στον άξονα του σωληνοειδούς από το μέσον του σωληνοειδούς μέχρι 4 cm έξω από το σωληνοειδές, ανά 2 cm. Καταχωρήστε τα αποτελέσματα σας στον Πίνακα II. Στον Πίνακα II, χ είναι η απόσταση του κέντρου του δοκιμαστικού πηνίου από το άκρο του σωληνοειδούς.

x (cm)	$\alpha_{\text{μεγ}}$ (μονάδες Γ)	Q (C)	B (T)
--------	-----------------------------------	-------	-------

Πίνακας II

5. Εκτιμήστε την ακρίβεια με την οποία μετρούνται τα μεγέθη που υπεισέρχονται στις Εξ. (11.20) και (11.19) για τον υπολογισμό του μαγνητικού πεδίου. Εκτιμήστε επίσης την

ακρίβεια μέτρησης του ρεύματος I του σωληνοειδούς, καθώς και της θέσης του δοκιμαστικού πηνίου.

Επεξεργασία των μετρήσεων

1. Βρείτε για τις μετρήσεις 2-4 την εκάστοτε τιμή του μαγνητικού πεδίου και συμπληρώστε τους Πίνακες I και II. Εκτιμήστε την ακρίβεια μέτρησης του μαγνητικού πεδίου.
2. Παραστήστε γραφικά, σημειώνοντας και τα σφάλματα, την εξάρτηση του μαγνητικού πεδίου B από την τιμή του ρεύματος I στο σωληνοειδές, $B=B(I)$ (Πίνακας I). Επιβεβαιώνεται η γραμμική εξάρτηση;
3. Παραστήστε γραφικά, σημειώνοντας και τα σφάλματα, την εξάρτηση του μαγνητικού πεδίου B από την απόσταση χ από το άκρο του σωληνοειδούς, $B = B(\chi)$ (Πίνακας II). Σχεδιάστε στο ίδιο διάγραμμα τη θεωρητική καμπύλη από τις Εξ. (11.2) και (11.3). Συγκρίνετε τα πειραματικά σημεία με τη θεωρητική καμπύλη.

Παλμογράφος

15.1. Σκοπός

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι η εξάσκηση του σπουδαστή στις βασικές λειτουργίες του παλμογράφου και η χρήση του παλμογράφου στη μέτρηση συνεχούς και εναλλασσόμενης τάσης, συχνότητας και διαφοράς φάσης μεταξύ δύο κυματομορφών. Θα μελετηθεί ακόμη το φαινόμενο των διακοπτημάτων και οι καμπύλες Λισαζόυ.

15.2. Γενικά

15.2.1. Περιγραφή του παλμογράφου

Ο καθοδικός παλμογράφος είναι ένα από τα πιο χρήσιμα ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης και χρησιμοποιείται ευρύτατα σε πολλούς τομείς της έρευνας και της τεχνολογίας. Το όργανο αυτό παρέχει οπτική απεικόνιση κυματομορφών και μπορεί να μετρήσει τάση, χρόνο και διαφορά φάσης μεταξύ δύο εναλλασσόμενων τάσεων.

Τα περισσότερα όργανα που μετρούν τάσεις χρησιμοποιούν μηχανικά μέσα, όπως πηνία, δαίτες, καθέτες, κ.λ.π. Τα κινούμενα αυτά μηχανικά μέσα έχουν μεγάλη αδράνεια και δεν μπορούν να παρακολουθήσουν γρήγορες μεταβολές και, για το λόγο αυτό, δε μετρούν στιγμιαίες τιμές τάσης αλλά μέσες ή ενεργές τιμές. Αντίθετα, στον καθοδικό παλμογράφο δεν υπάρχουν μηχανικά κινούμενα μέρη. Το «κίνητό» μέρος είναι η δέσμη των ηλεκτρονίων, που έχει αμελητέα

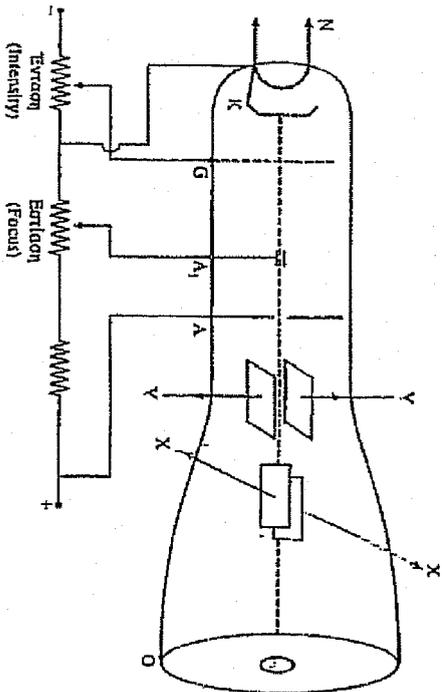
«αδράνεια» και γι' αυτό είναι σε θέση να απεικονίζει γρήγορες μεταβολές της τάσης.

Το κυριότερο εξάρτημα κάθε παλμογράφου είναι ο σωλήνας καθοδικών ακτίνων ή καθοδικός σωλήνας, που ως προς την αρχή λειτουργίας του μοιάζει με εκείνον της συσκευής τηλεόρασης (Σχ. 15.1). Αποτελείται από ένα γυάλινο σωλήνα, ο οποίος στο ένα άκρο του έχει μια κάθοδο (Κ), ενώ κατά το άλλο άκρο του διευρύνεται, σχηματίζοντας χροάνη και καταλήγει σε μια σχεδόν επίπεδη φθορίζουσα επιφάνεια, την οθόνη (Ο). Η παραγωγή των ηλεκτρονίων οφείλεται στη θερμοιονική επισοπή της καθόδου (Κ), που θερμαίνεται από το νήμα (Ν). Τα ηλεκτρόνια αυτά έλκονται από την άνοδο (Α) που έχει σχήμα κυλίνδρου ή δίσκου με μια μικρή τρύπα στη μέση, και βρίσκεται σε δυναμικό θετικό κατά μερικές χιλιάδες Volt ως προς την κάθοδο. Αμέσως μετά την κάθοδο υπάρχει ένα μεταλλικό πλέγμα (G), σε μεταβλητό αρνητικό δυναμικό ως προς την κάθοδο, που αφ' ενός συγκεντρώνει τα ηλεκτρόνια προς το κέντρο της ανόδου και αφ' ετέρου, με κατάλληλη ρύθμιση του αρνητικού δυναμικού, ελέγχει την ένταση της ηλεκτρονικής δέσμης. Μια βοηθητική άνοδος (Α₁) μεταξύ ανόδου και καθόδου βρίσκεται σε ενδιάμεσο θετικό μεταβλητό δυναμικό και με τη ρύθμιση του δυναμικού αυτού επιτυγχάνεται η επίταση της δέσμης πάνω στην οθόνη.

Όσα ηλεκτρόνια περάσουν μέσα από την τρύπα της ανόδου σχηματίζουν μια λεπτή δέσμη, η οποία, όταν συναντήσει την οθόνη, δίδει το φθορίζον υλικό της με αποτέλεσμα το σχηματισμό μιας φωτεινής κηλίδας.

Μετά την άνοδο υπάρχει ένα ζευγάρι από οριζόντια πλάκidia (Υ) και ένα ζευγάρι κατακόρυφα πλάκidia (Χ), που είναι τοποθετημένα έτσι ώστε η δέσμη των ηλεκτρονίων να περνάει ανάμεσα τους όπως φαίνεται στο Σχ. 15.1.

Αν μεταξύ των πλάκιδων Χ εφαρμοστεί μία συνεχής διαφορά δυναμικού, το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται είναι οριζόντιο και προκαλεί μία αντίστοιχη οριζόντια απόκλιση της κηλίδας πάνω στην οθόνη, ενώλοι της τάσης που εφαρμόζεται στα πλάκidia Χ. Αντίστοιχα, εφαρμογή μιας συνεχούς διαφοράς δυναμικού μεταξύ των πλάκιδων Υ, προξενεί μια κατακόρυφη απόκλιση της ηλεκτρονικής δέσμης και συνεπώς και της φωτεινής κηλίδας και πάλι ανάλογη της εφαρμοζόμενης τάσης. Επομένως, αν σχεδιάσουμε μία κατάλληλη καταπονομή (ή οριζόντια) ιλιμνια πάνω στην οθόνη, θα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα πλάκidia Υ (ή Χ) του παλμογράφου για τη μέτρηση τάσεων (βολτόμετρο).



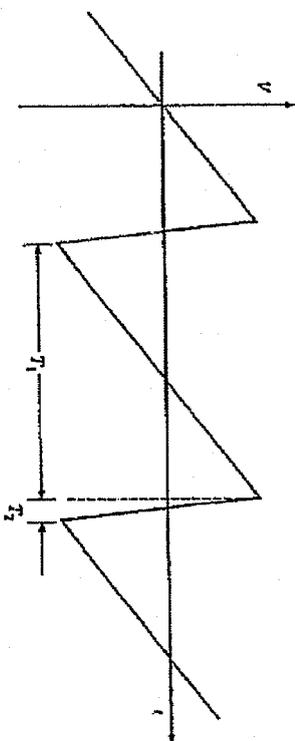
Σχήμα 15.1. Πρακτική οπή καθοδησών σωλήνα. K: καθόδος, N: θερμο-νημίο, G: ελεγκτικό πλέγμα, A₁: φθιρητικό άνοδος εστίασης, A: άνοδος, X και Y: ηλεκτρονική ακτίνα, O: οθόνη. Το ποτενομετρητό "intensity" εθρρίκει την ένταση της φω-τεινής ακτίνας και το "focus" την εστίαση της.

Προφανές είναι τώρα ότι, αν στα ηλεκτρόδια X (ή Y) εφαρμοστεί μια εναλλασσόμενη τάση, η φωτεινή ακτίνα θα πραγματοποιηθεί δεξιό-αριστερά (αριστερά-δεξιά), ακολουθώντας πιστά τις αλληλεπιδράσεις της τάσης. Όταν η συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσης είναι μικρή, το μάτι μας προοβαίνει να παρατηρήσει την ταλάντωση της ακτίνας. Όταν όμως η συχνότητα είναι μεγάλη (μεγαλύτερη από 10 Hz) δεν μπορούμε να δούμε τις διαδοχικές θέσεις της ακτίνας και το μάτι που θα βλέπουμε είναι μια οριζόντια (στασιμότητα) γραμμή.

Η χωματομετρητή (τάση) που θέλουμε να μελετήσουμε εφαρμόζεται εν γένει στα ηλεκτρόδια Y, ενώ αντίθετα στα ηλεκτρόδια X εφαρμόζουμε συνήθως «απόσπασμα» (δηλαδή μια περιορισμένη τάση), για να «αναγκά-ξουμε» στο χρόνο την χωματομετρητή των ηλεκτροδίων Y.

Όλοι οι παλιολογικοί περιέχουν εσωτερικά μία ηλεκτρονική διό-ταξη που παράγει περιορισμένη τάση (Σχ. 15.2).

Όταν εφαρμοστεί η περιορισμένη τάση στα ηλεκτρόδια X του καθό-δου σωλήνα, το ηλεκτρονικό πεδίο στο χώρο μεταξύ των ηλεκτροδίων μεταβάλλεται γραμμικά με το χρόνο, οπότε η ακτίνα μετακινείται οριζόντια προς τα δεξιά πάνω στην οθόνη και, επειδή η μετακίνηση είναι ανάλογη της τάσης και η τάση ανάλογη του χρόνου, στην πραγ-ματικότητα η μετακίνηση πάνω στην οθόνη είναι ανάλογη του χρό-

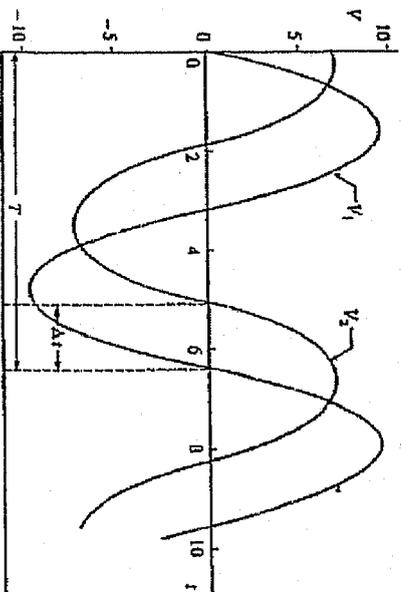


Σχήμα 15.2. Περιοριστή τάση, T₁: περίοδος ανόδου, T₂: περίοδος καθόδου, T₁ >> T₂.

νου. Η μετακίνηση της ακτίνας γίνεται συνεπώς με σταθερή ταχύτητα σε όλη τη διάρκεια T της ανόδου της περιορισμένης τάσης. Μετά όμως από χρόνο μιας περιόδου η ακτίνα ξαναεμφανίζεται πάλι ως αρχιστε-ρόν (T₁ >> T₂) στην αρχική της θέση, για να συνεχίσει και πάλι την οριζόντια κίνηση της προς τα δεξιά.

15.2.2. Διαφορά φάσης δύο χωματομετρητών

Αν εφαρμοστούν δύο χωματομετρητές της μορφής $V = V_0 \sin \omega t$ και $V_2 = V_0 \sin(\omega t + \phi)$ σε δύο διαδοχικά κανάλια Y και η απόσπασμα έλ-φεται από την περιορισμένη τάση που φαίνεται στο Σχ. 15.2, τότε η εικόνα που θα εμφανιστεί στην οθόνη του παλιολογίου δίνεται στο Σχ. 15.3.



Σχήμα 15.3. Μέτρηση διαφοράς φάσης.

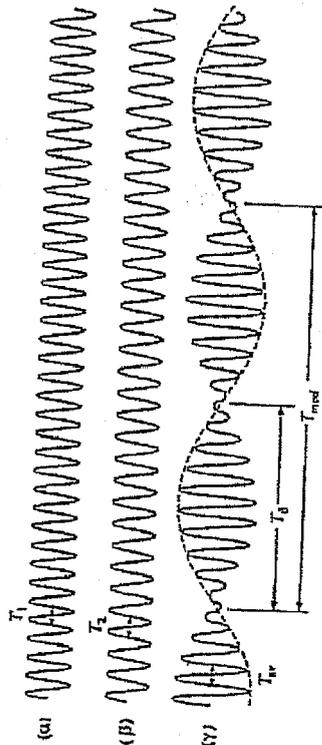
Οι κυματομορφές έχουν σχετική μετατόπιση η μια ως προς την άλλη κατά Δt και η διαφορά φάσης ϕ βρίσκεται από τη σχέση

$$\phi = 2\pi \frac{\Delta t}{T} \quad (15.1)$$

όπου T η κοινή περίοδος των κυματομορφών.

15.2.3. Διακροτήματα

Τα διακροτήματα είναι ταλαντώσεις με περιοδικά μεταβαλλόμενο πλάτος και προέρχονται από την επαλληλία δύο αρμονικών ταλαντώσεων, οι συχνότητες των οποίων διαφέρουν πολύ λίγο μεταξύ τους (Σχ. 15.4).



Σχ. 15.4. Διακροτήματα (γ) που προκύπτουν από τη σύνθεση δύο αρμονικών ταλαντώσεων (α) και (β) με γειτονικές συχνότητες.

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

$$\psi = A (\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t) = 2A \cos \omega_{mod} t \cos \omega_{av} t \quad (15.2)$$

όπου

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

και

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

Ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο διαδοχικούς μηδενισμούς του $\cos \omega_{mod} t$ καλείται περίοδος T_0 του διακροτήματος.

Η γωνιακή συχνότητα του διακροτήματος

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} \quad (15.5)$$

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

15.2.4. Καμπύλες Λισσαζου (Lissajous)

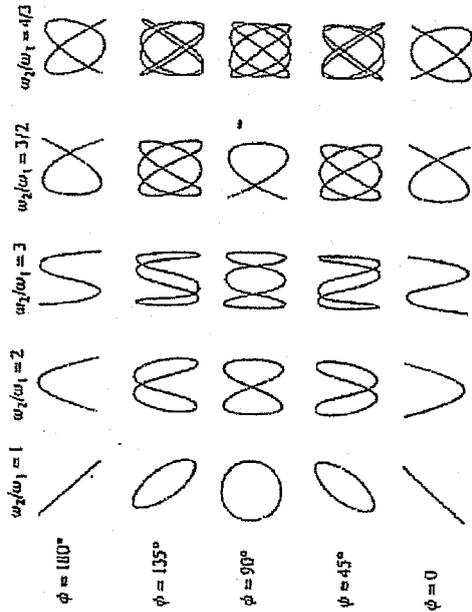
Οι καμπύλες Λισσαζου είναι κλειστές τροχιές που διαγράφονται από ένα σημείο που εκτελεί ταυτόχρονα δύο αρμονικές ταλαντώσεις

$$x = A_1 \cos(\omega_1 t + \phi_1)$$

$$y = A_2 \cos(\omega_2 t + \phi_2) \quad (15.6)$$

σε δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις.

Η μορφή των σχηματικών Λισσαζου εξαρτάται από τους λόγους των συχνότητων ω_1, ω_2 και των πλάτων A_1, A_2 , καθώς και από τη διαφορά των φάσεων ϕ_1, ϕ_2 . Αν οι συχνότητες ω_1 και ω_2 είναι γυμνές, δημιουργούνται περιπλοκές καμπύλες, στην περίπτωση όμως που οι συχνότητες έχουν λόγο ίσο με το λόγο δύο ακεραίων αριθμών, τότε παράγονται σταθερά απλά σχήματα της μορφής του Σχ. 15.5.



Σχ. 15.5. Σχήματα Λισσαζου που προκύπτουν από τη σύνθεση δύο κάθετων κυματομορφών με ίσα πλάτη, συχνότητες ω_1 και ω_2 αντιστοίχως και διαφορά φάσης ϕ . Ο αριθμός 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 Δισοαξίου με την οριζόντια και κατακόρυφη κλίση αντίστοιχώς του περιγεγραμμένου ορθογωνίου παραλληλόγραμμου, τότε ισχύει η σχέση

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

Για ένα συγκεντρωμένο άδρα συχνοτήτων, τα σχήματα Δισοαξίου εξαρτώνται από τη διαφορά φάσης. Π.χ. για $\omega_1 = \omega_2$ είναι ελλειψικές 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.

15.3. Μέθοδος

Στην άσκηση αυτή θα γίνουν οι ακόλουθες μετρήσεις:

- 1) Μέτρηση της συνεχούς τάσης μιας μπαταρίας καθώς και της ημιτονοειδούς τάσης και της συχνότητας μιας κηρατομορφής που προέρχεται από γεννητήρια εναλλασσόμενης τάσης.
- 2) Μέτρηση της διαφοράς φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος που διαρρέει ένα κηλάκιμα RC. Στη μία είσοδο του παλμογράφου εφαρμόζεται η τάση (V_0) που εφαρμόζεται και στα άκρα του κηλάκιμα RC και στη δεύτερη είσοδο η τάση στα άκρα της αντίστασης ($V_R = IR$) που είναι ανάλογη του ρεύματος που διαρρέει το κηλάκιμα. Εμφανίζονται έτσι στην οθόνη του παλμογράφου οι δύο χρονικά μετατοπισμένες κηρατομορφές. Από τη μέτρηση της σχετικής τους χρονικής μετατόπισης προσδιορίζεται η διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος και συγκρίνεται με την θεωρητικά αναμενόμενη τιμή που υπολογίζεται από τις τιμές των στοιχείων R και C του κηλάκιματος.
- 3) Μέτρηση της αντήησης δύο αρμονικών ταλαντώσεων με παρακάθιμες συχνότητες και προσδιορισμός της περιόδου των διαμορφώσεων που προκύπτουν. Πιο αναλυτικά, συνδέονται δύο γεννητήρες σε σειρά και παρατηρείται στον παλμογράφο το αποτέλεσμα της σύνθεσης δύο ταλαντώσεων, δηλαδή τα διαμορφώματα, και προσδιορίζεται η περίοδος τους. Από τη μέτρηση των περιόδων των δύο επί μερους κηρατομορφών στον παλμογράφο, υπολογίζεται η αναμενόμενη περίοδος των διαμορφώσεων και συγκρίνεται με την παραδοσιακή τιμή που περιγράφει ταλαντώσεις.

- 4) Παρατήρηση των σχηματίων Δισοαξίου. Εφαρμόζονται οι εναλλασσόμενες τάσεις από δύο γεννητήρες στα κηλάκια X και Y του παλμογράφου αντίστοιχώς και παρατηρούνται στην οθόνη τα σχήματα Δισοαξίου, καθώς μεταβάλλονται οι σχετικές συχνότητες των δύο ταλαντώσεων.

ΑΣΚΗΣΗ 15η

ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Βάλτε σε λειτουργία τον παλμογράφο στρέφοντας το μεταγωγό με την ένδειξη *intensity* δεξιά (περιμένετε περίπου ένα λεπτό για να ζεσταθεί).
2. Προσπαθήστε να δείτε την κηλίδα της δέσμης για το κανάλι 1, περιστρέφοντας τα κουμπιά *y position* και *x position*, που μετατοπίζουν τη θέση της κηλίδας πάνω-κάτω και δεξιά-αριστερά αντίστοιχα.
3. Εστιάστε τη δέσμη με το μεταγωγό *focus* και μεταβάλετε την ένταση με το μεταγωγό *intensity*, ώστε τελικά η κηλίδα να μην έχει έντονη φωτεινότητα. ΠΡΟΣΟΧΗ! Ποτέ μην αφήνετε μια έντονα φωτεινή κηλίδα ακίνητη πάνω στην οθόνη, γιατί θα την καταστρέψει.

A. ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΑΣΗΣ

1. Φέρτε πρώτα τον μεταγωγό *AC/GND/DC* στη θέση *GND* και ορίστε μια στάθμη μηδενικής τάσης, την οποία δεν πρέπει πια να μεταβάλετε. Επαναφέρετε το μεταγωγό στη θέση *DC* και πατήστε το κουμπί *CH1*.
2. Συνδέστε την έξοδο της μπαταρίας στο κανάλι 1 του παλμογράφου και μετρήστε στον κατακόρυφο άξονα την απόκλιση της κηλίδας. Υπολογίστε την τάση λαμβάνοντας υπόψη την ένδειξη του μεταγωγού *VOLTS/DIV* που καθορίζει πόσα *Volts* αντιστοιχούν σε κάθε υποδιαίρεση κατακόρυφης απόκλισης στην οθόνη. Εκτιμήστε και σημειώστε το σφάλμα ανάγνωσης.

B. ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΗΣ ΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

1. Συνδέστε την έξοδο της γεννήτριας στο κανάλι 1 του παλμογράφου. Φέρτε το μεταγωγό *AC/GND/DC* στη θέση *AC*. Βάλτε σε λειτουργία τη σάρωση στρέφοντας το μεταγωγό συχνότητας (*TIME/DIV*), ώστε να δείτε πάνω στην οθόνη σταθεροποιημένη την κυματομορφή για μία ή δύο περιόδους.
2. Προσδιορίστε το πλάτος V_0 αυτής της τάσης και εκτιμήστε το σφάλμα δV_0 .
3. Προσδιορίστε την περίοδο T της ημιτονικής κυματομορφής μετρώντας την οριζόντια απόσταση ανάμεσα σε δύο μέγιστα (ή ελάχιστα) και λαμβάνοντας υπόψη την ένδειξη του μεταγωγού *TIME/DIV* που καθορίζει πόσα *ms* ή *μs* αντιστοιχούν σε κάθε υποδιαίρεση οριζόντιας απόκλισης στην οθόνη. Εκτιμήστε το σφάλμα ανάγνωσης δT .

Γ. ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΦΑΣΗΣ

1. Τροφοδοτήστε τα άκρα του κυκλώματος *RC* με μία ημιτονική τάση από την έξοδο της γεννήτριας. Συνδέστε το κανάλι 1 του παλμογράφου με τα άκρα του κυκλώματος και το κανάλι 2 με τα άκρα της αντίστασης. Σημειώστε τις τιμές των R και C .
2. Επιλέξτε από τη γεννήτρια μια συχνότητα της τάξης των 200Hz . Στρίψτε τον μεταγωγό σάρωσης (*TIME/DIV*) ώστε να σταθεροποιηθούν στην οθόνη οι δύο κυματομορφές που πρέπει να είναι μετατοπισμένες χρονικά. Μετρήστε την περίοδο T της κάθε κυματομορφής

και τη σχετική χρονική μετατόπιση Dt δύο αντίστοιχων σημείων των δύο κυματομορφών (π.χ. των μεγίστων). Εκτιμήστε τα σφάλματα ανάγνωσης δT και $\delta(Dt)$.

Δ. ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΚΡΟΤΗΜΑΤΩΝ

1. Χρησιμοποιώντας τον παλμογράφο ρυθμίστε τις δύο γεννήτριες, ώστε οι εξοδοί τους να δίνουν ημιτονικές τάσεις με ίδιο πλάτος και περίπου την ίδια συχνότητα.

2. Συνδέστε τις εξόδους από τις δύο γεννήτριες με τα δύο κανάλια του παλμογράφου και πέστε τα κουμπιά $CH1$, $CH2$, και ADD . Μεταβάλλοντας τώρα σιγά-σιγά τη συχνότητα τής μιας γεννήτριας προσπαθήστε να δείτε τα διακριτήματα. Μετρήστε την περίοδο T_δ των διακριτημάτων από την απόσταση δύο μηδενισμών και εκτιμήστε το σφάλμα ανάγνωσης.

3. Χωρίς να αλλάξετε τη συχνότητα των δύο γεννητριών, αποσυνδέστε το προηγούμενο κύκλωμα και μετρήστε χωριστά τις περιόδους των δύο σημάτων T_1 , και T_2 , καθώς και τα σφάλματα ανάγνωσης δT_1 , και δT_2 με τη βοήθεια του παλμογράφου.

Ε. ΕΙΚΟΝΕΣ ΛΙΣΣΑΖΟΥ

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

2. Παρατηρήστε ότι, επειδή οι συχνότητες των δύο γεννητριών δεν είναι απολύτως σταθερές, οι εικόνες μεταβάλλονται (μοιάζουν σαν να περιστρέφονται στο χώρο), γράφοντας συνεχώς διάφορα σχέδια (σχήμα 15.5) για $\omega_1, / \omega_2$ σταθερό. Γράψτε τις παρατηρήσεις σας.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

1. Καταγράψτε όλες τις μετρήσεις που πήρατε με τη μορφή $x \pm \delta x$.

2. Υπολογίστε την ενεργό τιμή της εναλλασσόμενης τάσης V_e , και τη συχνότητα f καθώς και τα αντίστοιχα σφάλματα.

3. Υπολογίστε τη διαφορά φάσης φ ανάμεσα στην τάση και το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα RC και το σφάλμα $\delta\varphi$ (Εξ. 15.1).

4. Υπολογίστε θεωρητικά με βάση τα στοιχεία του κυκλώματος την τιμή της διαφοράς φάσης.

5. Συγκρίνετε τη θεωρητική με την πειραματική τιμή της διαφοράς φάσης και σχολιάστε τις τυχόν διαφορές.

6. Υπολογίστε τη συχνότητα f_δ και το σφάλμα δf_δ των διακριτημάτων που παρατηρήσατε.

7. Υπολογίστε τις συχνότητες f_1 , και f_2 καθώς και τα σφάλματα δf_1 , και δf_2 των δύο ημιτονικών κυματομορφών, που χρησιμοποιήθηκαν για την παρατήρηση των διακριτημάτων. f_1 , και f_2

8. Υπολογίστε τη διαφορά των συχνοτήτων

$$\frac{f_1 - f_2}{2} \quad (1)$$

καθώς και το σφάλμα.

9. Συγκρίνετε την παραπάνω συχνότητα με τη συχνότητα των διακριτημάτων f_δ .

10. Γράψτε τις παρατηρήσεις σας για τα σχήματα Λισσαζού.

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

$$x = A \cos \omega t \quad (2)$$

και

$$y = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (3)$$

τότε η σύνθεση των δύο δίνει ευθεία, αν $\varphi = 0$ και κύκλο, αν $\varphi = \pi/2$.

