

GRECE

29^η Διεθνής Ολυμπιάδα Φυσικής
Ρεύκιαβίκ, Ισλανδία

Θέματα Πειραματικού Διαγωνισμού

Δευτέρα 6 Ιουλίου 1998

Διάρκεια: 5 ώρες

Διαβάστε προσεκτικά:

1. Να χρησιμοποιήστε μόνο το στυλό / πέννα που σας δόθηκε.
2. Να γράφετε μόνο στην μπροστινή σελίδα του φύλλου απαντήσεων.
3. Να γράφετε όσο το δυνατόν λιγότερα σχόλια. Να εκφράζεστε κυρίως με εξισώσεις, αριθμούς και σχεδιαγράμματα. **Να συγκεντρώσετε τα αποτελέσματά σας στα φύλλα απαντήσεων.**
4. Να σημειώσετε πάνω σε όλα τα φύλλα το όνομα της ομάδας σας, τον αριθμό σας, τον αύξοντα αριθμό της σελίδας και το συνολικό πλήθος σελίδων. Στα κενά φύλλα απαντήσεων σημειώνετε επίσης τον αριθμό των προβλήματος.
5. Όταν τελειώσετε, παρακαλείστε να ταξινομήσετε τα φύλλα απαντήσεων σύμφωνα με τον αύξοντα αριθμό τους. Μπορείτε να αφήσετε στο τραπέζι των εξετάσεων ό,τι υλικό δεν θέλετε να βαθμολογηθεί.
6. Επιτρέπεται η χρήση υπολογιστικής μηχανής τσέπης.

Αντί η ομάδα προβλημάτων αποτελείται από 7 σελίδες, συμπεριλαμβανομένης και της παρούσας.

Το εξεταστικό δοκίμιο ετοιμάστηκε από το Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου της Ισλανδίας.

Πειραματικός Εξοπλισμός:

- A. Ξύλινη βάση με έξι υποδοχές βυσμάτων καλώδιων.
- B. Ειδικό πηνίο για μετρήσεις (ακολούθως θα ονομάζεται Πηνίο Μετρήσεων) ενσωματωμένο στην κάτω όψη της ξύλινης βάσης.
- C. Κομμάτι φερρίτη (υλικό που χρησιμοποιείται ως πυρήνας) σχήματος U, με δύο πηνία, A και B, τυλιγμένα στα σκέλη του.
- D. Κομμάτι φερρίτη χωρίς πηνία.
- E. Φύλλα αλουμινίου με πάχη 25μm, 50μm και 100μm.
- F. Γεννήτρια συχνοτήτων με καλώδια σύνδεσης
- G. Δύο πολύμετρα.
- H. Έχι καλώδια με μπανάνες (banana plugs).
- I. Δύο λαστιχάκια και δύο μικρά κομμάτια χαρτί.



Πολύμετρα

Τα πολύμετρα είναι συσκευές δύο ακροδεκτών, που χρησιμοποιούνται σε αυτό το πείραμα για να μετρούν εναλλασσόμενη τάση, εναλλασσόμενο ρεύμα, συχνότητα και αντίσταση. Σε όλες τις περιπτώσεις ο ένας από τους ακροδέκτες φέρει την ένδειξη COM. Για την μέτρηση τάσης, συχνότητας και αντίστασης, ο άλλος ακροδέκτης που χρησιμοποιείται είναι αυτός που έχει κόκκινο χρώμα και φέρει την ένδειξη V-Ω. Για την μέτρηση έντασης ρεύματος χρησιμοποιείται ο κίτρινος ακροδέκτης, που φέρει την ένδειξη mA. Με τον κεντρικό περιστρεφόμενο διακόπτη επιλέγεται το μετρούμενο μέγεθος (V~ για εναλλασσόμενη τάση, A~ για εναλλασσόμενη ένταση, Hz για συχνότητα, και Ω για αντίσταση) καθώς και το εύρος των μετρούμενων τιμών. Για εναλλασσόμενο ρεύμα το σφάλμα μέτρησης είναι $\pm(4\% \text{ της ένδειξης} + 10 \text{ μονάδες του τελευταίου δεκαδικού})$. Για να έχετε ακριβείς μετρήσεις ρεύματος, προτείνεται αλλαγή κλίμακας όταν η ένδειξη είναι μικρότερη από 10% του εύρους της χρησιμοποιούμενης κλίμακας. Τα πολύμετρα κλείνουν αυτόμata όταν δεν πραγματοποιηθεί αλλαγή κλίμακας ή μετρούμενου μεγέθους επί 50 λεπτά.

Γεννήτρια συχνοτήτων

Για να ανάψετε τη γεννήτρια συχνοτήτων πατήστε το κόκκινο κουμπί με την ένδειξη PWR. Επιλέξτε την περιοχή των 10 kHz, πατώντας το κουμπί με την ένδειξη 10 k, και την ημιτονοειδή κυματομορφή, πατώντας το κουμπί που βρίσκεται στα δεξιά, με την ένδειξη του συμβόλου του κύματος. Στην άσκηση αυτή δεν θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσετε κανένα άλλο κουμπί. Μπορείτε να γυρίσετε με ασφάλεια το κουμπί του ρύθμισης του πλάτους εντελώς προς τα δεξιά (κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού). Η συχνότητα ρυθμίζεται με το μεγάλο επιλογέα στα

αριστερά. Η συχνότητα εξόδου ισούται με το γινόμενο της τιμής που αναγράφεται στην κλίμακα του οργάνου πολλαπλασιασμένη επί την επιλεγόμενη κλίμακα. Οποιαδήποτε στιγμή μπορείτε να επαληθεύσετε την τιμή της συχνότητας με ένα από τα πολύμετρα. Χρησιμοποιήστε την έξοδο που φέρει την ένδειξη **MAIN**, η οποία έχει εσωτερική αντίσταση 50Ω .

Πυρήνες Φερρίτη

Να χειρίζεστε τους πυρήνες φερρίτη με προσοχή γιατί είναι εύθραυστοι!! Ο φερρίτης είναι ένα κεραμικό μαγνητικό υλικό με χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Κατά συνέπεια, οι απώλειες λόγω ρευμάτων Foucault (ή ρεύματα Eddy) μέσα στους πυρήνες είναι πολύ μικρές.

Μπανάνες (ή Banana Jacks)

Για να συνδέσετε το σύρμα ενός πηνίου σε μια μπανάνα, ξεβιδώστε το έγχρωμο πλαστικό κάλυμμα, τοποθετήστε το γυμνωμένο άκρο του σύρματος στο άνοιγμα που δημιουργήθηκε με το ξεβίδωμα και ξαναβιδώστε σφιχτά.

Πρώτο Μέρος: Μαγνητική Θωράκιση με χρήση ρευμάτων Foucault (ή eddy)

Χρονικά μεταβαλλόμενα μαγνητικά πεδία επάγουν ρεύματα Foucault (ή ρεύματα eddy), μέσα σε αγωγούς. Τα ρεύματα αυτά με τη σειρά τους παράγουν ένα αντίθετο μαγνητικό πεδίο. Λόγω της πεπερασμένης αγωγιμότητας των συνηθισμένων μετάλλων, τα ρεύματα αυτά δεν είναι τόσο αποδοτικά σε ό,τι αφορά στη θωράκιση του μαγνητικού πεδίου.

Για την περιγραφή το φαινομένου θωράκισης από φύλλα αλουμινίου, θα εφαρμόσουμε ένα φαινομενολογικό μοντέλο

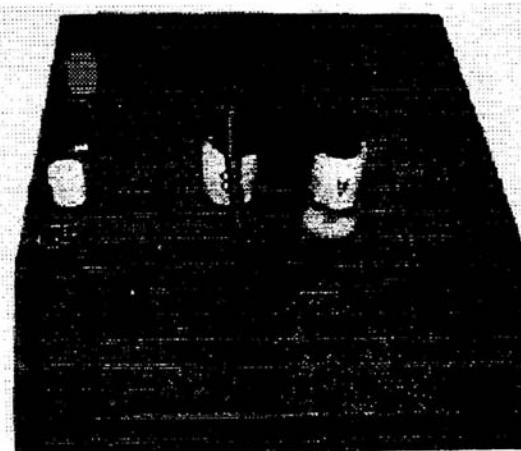
$$B = B_0 e^{-ad} \quad (1)$$

όπου B είναι η ένταση μαγνητικού πεδίου κάτω από το πηνίο, B_0 είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο ίδιο σημείο όταν δεν υπάρχει το φύλλο αλουμινίου, a είναι ο συντελεστής απορρόφησης και d είναι το πάχος του φύλλου αλουμινίου.

Πείραμα

Τοποθετήστε τον πυρήνα φερρίτη που φέρει τα πηνία, με τα σκέλη προς τα κάτω, πάνω στο αναστκωμένο τιμήμα της ξύλινης βάσης, κατά τρόπο ώστε το πηνίο A να έρθει ακριβώς πάνω από το Πηνίο Μετρήσεων που είναι στερεωμένο στην κάτω όψη της ξύλινης βάσης (Εικόνα 1). Σταθεροποιήστε τον πυρήνα στη θέση αυτή, τεντώνοντας τα λαστιχάκια πάνω από αυτόν και κάτω από τη βάση. Θεωρούμε αμελητέα τα σφάλματα μέτρησης στο πάχος του φύλλου αλουμινίου και της συχνότητας.

1. (1 μονάδα) Συνδέστε τα καλώδια των πηνίων A και B στις υποδοχές. Μετρήστε την αντίστασή των τριών πηνίων, για να βεβαιωθείτε ότι



Εικόνα 1: Πειραματική διάταξη για το πρώτο μέρος του πειράματος.

πραγματοποιήσατε τις συνδέσεις χωρίς σφάλμα. Οι αναμενόμενες τιμές της αντίστασης πρέπει να είναι μικρότερες από 10Ω . Γράψτε τις τιμές στο πεδίο 1 του φύλλου απαντήσεων.

2. (5 μονάδες) Πάρτε μετρήσεις για να επαληθεύσετε το παραπάνω μοντέλο και να υπολογίσετε την τιμή του συντελεστή απορρόφησης α για φύλλα αλονυμίου, που έχουν διάφορα πάχη ($25-175 \text{ } \mu\text{m}$), για τιμές της συχνότητας στην περιοχή $6-18 \text{ kHz}$. Τοποθετήστε τα φύλλα αλονυμίου μέσα στο τετράγωνο, πάνω από το Πηνίο Μέτρησης και τροφοδοτήστε με ημιτονοειδή τάση το πηνίο A. Γράψτε τα αποτελέσματα στο πεδίο 2 του φύλλου απαντήσεων.
3. (2 μονάδες) Χαράξτε τη γραφική παράσταση του α ως συνάρτηση της συχνότητας.

Δεύτερο Μέρος. Επαγωγική Σύζευξη

Στο μέρος αυτό μελετάται η συμπεριφορά δύο πηνίων γύρω από ένα κλειστό πυρήνα φερρίτη, υπό την επίδραση μια εξωτερικής εναλλασσόμενης τάσης (V_s), που παράγεται από μια ημιτονοειδή γεννήτρια συχνοτήτων. Με τον διαθέσιμο εξοπλισμό αποφεύγονται φαινόμενα κορεσμού, ενώ, επιπρόσθετα, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η μαγνητική διαπερατότητα μ του φερρίτη είναι σταθερή.

Θεωρία

Στην ακόλουθη συνοπτική θεωρητική αναφορά και κατά την διαχείριση των μετρήσεων, θεωρούμε ότι η ωμική αντίσταση των δύο πηνίων και οι απώλειες στον πυρήνα λόγω φαινομένων μαγνητικής υστέρησης έχουν αμελητέα επίδραση στα μετρούμενα ρεύματα και τις μετρούμενες τάσεις. Λόγω αυτών των απλοποίησεων, θα υπάρξουν κάποιες αποκλίσεις μεταξύ των θεωρητικών και των πειραματικών αποτελεσμάτων.

Μεμονωμένο Πηνίο

Ας μελετήσουμε αρχικά τον πυρήνα με μεμονωμένο πηνίο, το οποίο διαρρέεται από ρεύμα έντασης I . Η μαγνητική ροή Φ , που προκαλεί το ρεύμα στο κομμάτι του πυρήνα φερρίτη, που βρίσκεται μέσα στο πηνίο, είναι ανάλογη της έντασης I και του πλήθους των σπειρών N . Επιπρόσθετα, η ροή εξαρτάται από ένα παράγοντα γεωμετρίας g , ο οποίος καθορίζεται από το μέγεθος και το σχήμα του πυρήνα, και την μαγνητική διαπερατότητα $\mu = \mu_r \mu_0$, η οποία περιγράφει τις μαγνητικές ιδιότητες του υλικού που αποτελεί τον πυρήνα. Η σχετική διαπερατότητα συμβολίζεται με μ_r , ενώ μ_0 είναι η μαγνητική διαπερατότητα του κενού.

Συνεπώς η μαγνητική ροή δίνεται από τη σχέση

$$\Phi = \mu g N I = c N I \quad (2)$$

όπου $c = \mu g$. Η επαγόμενη τάση δίνεται από το νόμο του Faraday

$$E(t) = -N \frac{d\Phi(t)}{dt} = -c N^2 \frac{dI(t)}{dt} \quad (3)$$

Η σχέση ανάμεσα στην ένταση του ρεύματος και στην τάση ενός πηνίου περιγράφεται συνήθως μέσω του συντελεστή αυτεπαγγής L , που ορίζεται ως:

$$E(t) = -L \frac{dI(t)}{dt} \quad (4)$$

Μια γεννήτρια ημιτονοειδών σημάτων, συνδεδεμένη στο πηνίο, θα το τροφοδοτήσει με ρεύμα, του οποίου η ένταση δίνεται από τη σχέση

$$I(t) = I_0 \sin \omega t \quad (5)$$

όπου ω είναι η κυκλική συχνότητα και I_0 είναι το πλάτος της έντασης. Όπως προκύπτει από τη σχέση (3), αντό το εναλλασσόμενο ρεύμα θα επάγει μια τάση στο πηνίο, η οποία δίνεται από την

$$E(t) = -\omega c N^2 I_0 \cos \omega t \quad (6)$$

Το ρεύμα θα έχει τέτοια ένταση ώστε η επαγόμενη τάση να ισούται με την τάση σήματος της γεννήτριας V_g . Υπάρχει μια διαφορά φάσης 90° μεταξύ της έντασης και της τάσης. Αδιαφορώντας για αυτή τη διαφορά φάσης, και στρέφοντας το ενδιαφέρον μας στα πλάτη E_0 και I_0 , της εναλλασσόμενης τάσης και του εναλλασσόμενου ρεύματος, έχουμε

$$E = \omega c N^2 I \quad (7)$$

Ακολούθως δεν θα χρησιμοποιούμε στο συμβολισμό μας το δείκτη 0.

Δύο Πηνία

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε δύο πηνία σε έναν πυρήνα. Οι πυρήνες φερρίτη είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για τη μαγνητική σύζευξη δύο πηνίων. Σε ένα ιδανικό πυρήνα, η ροή θα είναι η ίδια, ανεξάρτητα από τη διατομή του πυρήνα. Στην πραγματικότητα, λόγω απωλειών της ροής στο χώρο, από το δευτερεύον πηνίο θα διέρχεται γενικά μικρότερη ροή από εκείνη του πρωτεύοντος. Η ροή Φ_B στο δευτερεύον πηνίο B θα εξαρτάται από τη ροή Φ_A στο πρωτεύον πηνίο ως εξής:

$$\Phi_B = k \Phi_A \quad (8)$$

Ομοίως, η ροή Φ_B που δημιουργείται στο δευτερεύον πηνίο από το ρεύμα που το διαρρέει, θα δημιουργήσει μια ροή $\Phi_A = k \Phi_B$ στο πηνίο A. Ο συντελεστής k , που ονομάζεται συντελεστής σύζευξης, έχει τιμή μικρότερη της μονάδας.

Ο υπό εξέταση πυρήνας φερρίτη είναι εφοδιασμένος με δύο πηνία, και ο συνδυασμός αποτελεί έναν μετασχηματιστή. Ας υποθέσουμε ότι το πηνίο A είναι το πρωτεύον (συνδεδεμένο στη γεννήτρια συχνοτήτων). Αν το πηνίο B δεν διαρρέεται από ρεύμα ($I_B=0$), η επαγόμενη τάση E_A λόγω του ρεύματος I_A είναι ίση κατά μέτρο και αντίθετης πολικότητας ως προς την V_g . Η ροή που δημιουργείται από το I_A στο δευτερεύον καθορίζεται από τη σχέση (8) και η επαγόμενη τάση στο πηνίο B είναι

$$E_B = \omega k c N_A N_B I_A \quad (9)$$

Αν ένα ρεύμα I_B διαρρέει ένα πηνίο B, θα επάγει μια τάση στο πηνίο A, η οποία περιγράφεται από μια παρόμοια εξίσωση. Κατά συνέπεια, η συνολική τάση στα άκρα του πηνίου A θα δίνεται από την

$$V_g = E_A = \omega c N_A^2 I_A - \omega k c N_A N_B I_B \quad (10)$$

Άρα το ρεύμα του δευτερεύοντος πηνίου επάγει μια αντίθετη τάση στο πρωτεύον, η οποία οδηγεί σε αύξηση της έντασης I_A . Μια παρόμοια εξίσωση μπορεί να γραφτεί για την τάση E_B .

Όπως μπορεί να διαπιστωθεί και από πειραματικές μετρήσεις, ο συντελεστής k είναι ανεξάρτητος από το πηνίο που χρησιμοποιείται ως πρωτεύον.

Πείραμα

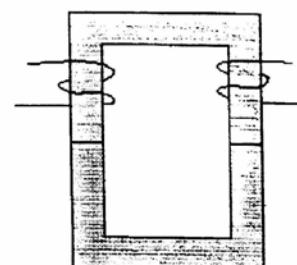
Τοποθετήστε τους δύο πυρήνες σχήματος U μαζί, όπως φαίνεται στο σχήμα 2, και στερεώστε τους με τα λαστιχάκια. Ρυθμίστε τη γεννήτρια συχνοτήτων ώστε να παράγει μια ημιτονοειδή τάση συχνότητας 10 kHz. Θυμηθείτε να ρυθμίσετε τα πολύμετρα στην πιο ευαίσθητη περιοχή μετρήσεων, κατάλληλη για κάθε μέτρηση. Το πλήθος των σπειρών κάθε πηνίου, A και B, είναι: $N_A = 150$ σπείρες και $N_B = 100$ σπείρες (± 1 σπείρα για κάθε πηνίο).

1. (3.5 μονάδες) Να δείξετε ότι ο συντελεστής αυτεπαγωγής και ο συντελεστής σύζευξης δίνονται από τις σχέσεις $L_A = \frac{E_A}{\omega l_A}$ όταν $I_B=0$, $L_B = \frac{E_B}{\omega l_B}$ όταν $I_A=0$

$$\text{και } k = \frac{N_B I_B}{N_A I_A} \text{ όταν } E_B=0, \text{ και να γράψετε τα αποτελέσματά σας στο πεδίο 1.a του φύλλου απαντήσεων.}$$

Να σχεδιάσετε κυκλωματικά διαγράμματα στο πεδίο 1.b. του φύλλου απαντήσεων, δείχνοντας τον τρόπο προσδιορισμού αυτών των ποσοτήτων. Υπολογίστε τις αριθμητικές τιμές των L_A , L_B και k και γράψτε τις τιμές αυτές στο πεδίο 1.c του φύλλου απαντήσεων.

2. (2 μονάδες) Όταν βραχυκυκλώσουμε το δευτερεύον, το ρεύμα I_p στο πρωτεύον θα αυξηθεί. Χρησιμοποιήστε τις ανωτέρω εξισώσεις για να παράγετε εκφράσεις που δίνουν ρητά το ρεύμα I_p ως συνάρτηση της τάσης πρωτεύοντος, της αυτεπαγωγής πρωτεύοντος και του συντελεστή σύζευξης, και γράψτε το αποτέλεσμά σας στο πεδίο 2.a του φύλλου απαντήσεων. Μετρήστε το ρεύμα I_p και γράψτε την τιμή στο πεδίο 2.b του φύλλου απαντήσεων.
3. (2.5 μονάδες) Τα πηνία A και B μπορούν να συνδεθούν σε σειρά με δύο διαφορετικούς τρόπους, τέτοιους ώστε οι ροές τους είτε να προστίθενται μεταξύ τους είτε να αφαιρούνται.
 - 3.1 Βρείτε τον συντελεστή αυτεπαγωγής L_{A+B} των σε σειρά συνδεδεμένων πηνίων από τις πειραματικά προσδιορισμένες φυσικές ποσότητες, στην περίπτωση προσθετικής σύνδεσης και γράψτε την απάντησή σας στο πεδίο 3.1 του φύλλου απαντήσεων.
 - 3.2 Μετρήστε τις τάσεις V_A και V_B , στην περίπτωση αφαιρετικής σύνδεσης. Γράψτε τις τιμές στα πεδία 3.2.a στο φύλλο απαντήσεων και το λόγο των τάσεων στο πεδίο 3.2.b. Να εξάγετε μια σχέση για το λόγο των τάσεων στα άκρα των δύο πηνίων, ως συνάρτηση του πλήθους των σπειρών και της σταθεράς σύζευξης, και να τη γράψετε στα πεδία 3.2.c. του φύλλου απαντήσεων.
4. (1 μονάδα) Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω αποτελέσματα να αποδείξετε ότι ο συντελεστής αυτεπαγωγής του πηνίου είναι ανάλογος προς το τετράγωνο του πλήθους των σπειρών και να γράψετε το αποτέλεσμα στο πεδίο 4 του φύλλου απαντήσεων.



Εικόνα 2: Μετασχηματιστής με κλειστό κύκλωμα μαγνητών.

5. (1 μονάδα) Να επιβεβαιώσετε ότι είχαμε δίκιο που θεωρήσαμε την αντίσταση του πρωτεύοντος πηνίου αμελητέα, και να γράψετε υπό μορφή μαθηματικής σχέσης το παραπάνω συμπέρασμα στο πεδίο 5 του φύλλου απαντήσεων.

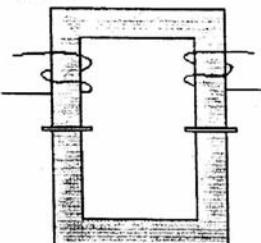
6. (2 μονάδες) Λεπτά φύλλα χαρτιού που τοποθετούνται μεταξύ των δύο πυρήνων (όπως φαίνεται στο σχήμα 3) ελαττώνουν σημαντικά την αντεπαγωγή του πηνίου. Χρησιμοποιήστε αυτή την ελάττωση για να προσδιορίσετε την σχετική διαπερατότητα μ_r του φερρίτη, έχοντας ως δεδομένα το νόμο του Ampere και τη συνέχεια της συνάρτησης της έντασης του μαγνητικού πεδίου κατά μήκος της επαφής του φερρίτη και του χαρτιού.

Υποθέστε ότι η μαγνητική διαπερατότητα του χαρτιού είναι $\mu_r = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Ns}^2/\text{C}^2$, ενώ το πάχος του είναι 43 μμ.

Η συντελεστής γεωμετρίας είναι δυνατό να εξαχθεί από το νόμο του Ampere

$$\oint \frac{1}{\mu} B dl = I_{total} \quad (11)$$

όπου I_{total} είναι το ολικό ρεύμα που περνά μέσα από την επιφάνεια που ορίζεται από την καμπύλη, η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του επικαμπύλου ολοκληρώματος. Γράψτε τις αλγεβρικές σχέσεις για το μ_r στο πεδίο 6.a του φύλλου απαντήσεων και την αριθμητική τιμή στο πεδίο 6.b.



Εικόνα 3: Οι πυρήνες φερρίτη μετά την τοποθέτηση του διαχωριστικού υλικού (χαρτί).