

Η/Μ Επαγωγή - Πειραματικός Έλεγχος του Νόμου του Faraday

Βασικές γνώσεις: Μαγνητικό πεδίο - Μαγνητική ροή - Το φαινόμενο της Η/Μ επαγωγής - ΗΕΔ από επαγωγή - Νόμος του Faraday - Κανόνας του Lenz - Κλίση γραφήματος - Ρυθμός μεταβολής συνάρτησης ως προς το χρόνο

Οι μαθητές έχουν διδαχθεί ηλεκτρομαγνητισμό επιπέδου Λυκείου. Είναι εξοικειωμένοι με τη λειτουργία του πηνίου και την έννοια της μαγνητικής ροής. Εφαρμόζουν το νόμο της Η/Μ επαγωγής του Faraday για να περιγράψουν και να εξηγήσουν απλά φαινόμενα Η/Μ επαγωγής. Μπορούν να υπολογίζουν το ρυθμό μεταβολής συνάρτησης που απεικονίζεται με ένα γράφημα από την κλίση του γραφήματος, σε οποιοδήποτε σημείο του.

Στόχοι της Άσκησης

Οι μαθητές σχεδιάζουν και συνθέτουν πειραματική διάταξη για την επικύρωση του νόμου της Η/Μ επαγωγής του Faraday, με χρήση συστήματος MBL (Micro-processor Based Laboratory). Στο περιβάλλον του λογισμικού του συστήματος MBL, επεξεργάζονται τα πειραματικά γραφήματα και συγκρίνουν τις θεωρητικές προβλέψεις με τα πειραματικά δεδομένα.

Τι προβλέπει η θεωρία - Σχεδιασμός του πειράματος

Σύμφωνα με το νόμο του Faraday, όταν από ένα πηνίο διέρχεται μαγνητική ροή Φ που μεταβάλλεται με το χρόνο, στους ακροδέκτες του αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) από επαγωγή που είναι ανάλογη του ρυθμού μεταβολής της μαγνητικής ροής:

$$E = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (1)$$

Η μαγνητική ροή Φ που διέρχεται από το πηνίο είναι ανάλογη με το μαγνητικό πεδίο B , μέσα στο οποίο βρίσκεται το πηνίο. Έτσι από τη σχέση 1 προκύπτει ότι, η ΗΕΔ από επαγωγή (E) είναι ανάλογη του ρυθμού μεταβολής του μαγνητικού πεδίου:

$$E = -K \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} \quad (2)$$

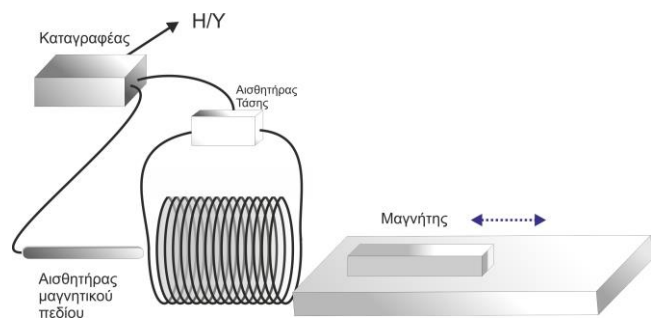
όπου η σταθερά K εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και την κατασκευή του πηνίου.

Για να ελέγξουμε πειραματικά τη θεωρητική σχέση 2, συναρμολογούμε την πειραματική διάταξη που εικονίζεται σχηματικά στο σχήμα 1.

Κινούμε με το χέρι μας το μαγνήτη κατά μήκος του άξονα του πηνίου, ώστε η μαγνητική ροή που διέρχεται από το πηνίο να μεταβάλλεται με το χρόνο. Τότε, σύμφωνα με τη θεωρία, στα άκρα του πηνίου αναπτύσσεται ΗΕΔ από επαγωγή που είναι ανάλογη του ρυθμού μεταβολής του μαγνητικού πεδίου (σχέση 2). Για να ελέγξουμε πειραματικά τη σχέση 2 πρέπει να κάνουμε μετρήσεις της ΗΕΔ από επαγωγή E και του μαγνητικού πεδίου B σε έναν αρκετά μεγάλο αριθμό χρονικών στιγμών, ώστε να μπορέσουμε να σχεδιάσουμε τα γραφήματα $E-t$ και $B-t$ και να υπολογίσουμε το ρυθμό μεταβολής

$\frac{\Delta B}{\Delta t}$ σε συνάρτηση με το χρόνο.

Για να πετύχουμε μετρήσιμες τιμές του E με τα διαθέσιμα βολτόμετρα, η κίνηση του μαγνήτη προς και από το πηνίο δεν μπορεί να διαρκεί περισσότερο από 1-2s. Στο χρόνο αυτό απαιτούνται περίπου 100 μετρήσεις, ώστε να είναι δυνατός ο σχεδιασμός των γραφημάτων $E-t$, $B-t$ και



Σχήμα 1: Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης.

$\frac{\Delta B}{\Delta t} - t$. Τόσες μετρήσεις στο χρόνο αυτό δεν μπορούν να γίνουν με συμβατικά όργανα μέτρησης. Μπορούν όμως να πραγματοποιηθούν με τη βοήθεια συστήματος MBL.

Για τη μέτρηση του μαγνητικού πεδίου, τοποθετούμε αισθητήρα μαγνητικού πεδίου μέσα στο πηνίο, κατά μήκος του άξονά του. Για τη μέτρηση της ΗΕΔ που αναπτύσσεται στο πηνίο, συνδέουμε στα άκρα του αισθητήρα ηλεκτρικής τάσης. Οι αισθητήρες συνδέονται με καταγραφέα συστήματος MBL. Στον πίνακα ελέγχου του λογισμικού του MBL ρυθμίζουμε το ρυθμό των μετρήσεων στις 100 ανά δευτερόλεπτο και συνολικό χρόνο μέτρησης 10-20s. Το σύστημα MBL μετράει σχεδόν ταυτόχρονα το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του πηνίου και την ηλεκτρική τάση στους ακροδέκτες του. Ο καταγραφέας καταχωρεί τα δεδομένα και στο περιβάλλον διεπαφής του συστήματος σχεδιάζονται τα πειραματικά γραφήματα $B-t$ και $E-t$, **σε πραγματικό χρόνο**.

Πειραματική διαδικασία

Απαιτούμενα όργανα και υλικά

1. Σύστημα MBL, με αισθητήρες τάσης και μαγνητικού πεδίου (MultilogPro της Fourier).
2. Πηνίο 24000 σπειρών.
3. Ραβδόμορφος μαγνήτης.
4. Χάρακας.
5. Ορθοστάτης και λαβίδα

Συνθέτουμε την πειραματική διάταξη που εικονίζεται στο σχήμα 1.

Για να πετύχουμε την ευθύγραμμη κίνηση του μαγνήτη πάνω στον άξονα του πηνίου, τον κινούμε κρατώντας τον σε επαφή με χάρακα που κρατάμε ακίνητο κατά μήκος του άξονα του πηνίου.

Ρυθμίσεις του συστήματος MultilogPro της FOURIER:

1. Συνδέουμε τον καταγραφέα (σε κατάσταση OFF) με τον Η/Υ.
2. Συνδέουμε τους αισθητήρες τάσης και μαγνητικού πεδίου (low sensitivity) στις δύο πρώτες θύρες του καταγραφέα.
3. Θέτουμε τον καταγραφέα στη θέση ON. Αφού αυτορυθμιστεί, ενεργοποιούμε το λογισμικό του συστήματος MBL. Στο μενού εντολών «καταγραφέας» του συστήματος επιλέγουμε «πίνακας ελέγχου». Στο παράθυρο που αναδύεται, το σύστημα δείχνει ότι έχει ανιχνεύσει τους αισθητήρες τάσης ($\pm 2,5V$) και μαγνητικού πεδίου, που έχουμε συνδέσει στις αντίστοιχες θύρες του καταγραφέα. Ρυθμίζουμε τον καταγραφέα ώστε να λαμβάνει μετρήσεις με ρυθμό 100 μετρήσεις ανά δευτερόλεπτο επί 10-20s.
4. Επιλέγουμε την εντολή «λήψη μετρήσεων» και ταυτόχρονα κινούμε το μαγνήτη κατά μήκος του άξονα του πηνίου: Πλησιάζουμε - ακινητοποιούμε - απομακρύνουμε - αλλάζουμε πολικότητα - πλησιάζουμε κλπ.
5. Το σύστημα MBL σχεδιάζει τα γραφήματα ΗΕΔ - χρόνου και μαγνητικού πεδίου - χρόνου ταυτόχρονα με την εξέλιξη του πειράματος (σε πραγματικό χρόνο).
6. Ρυθμίζουμε κατάλληλα την κλίμακα και τη μορφή των γραφικών παραστάσεων. Εξομαλύνουμε τα πειραματικά γραφήματα. Από τις επιλογές «ανάλυσης» του λογισμικού, σχεδιάζουμε στο ίδιο παράθυρο την παράγωγο του «εξομαλυμένου» μαγνητικού πεδίου και τη συγκρίνουμε με το πειραματικό γράφημα της ΗΕΔ (σχήμα 2).

Επεξεργασία και αξιολόγηση των πειραματικών δεδομένων

1. Παρατηρούμε τα πειραματικά διαγράμματα $E-t$ και $B-t$ και συμπληρώνουμε το κείμενο που ακολουθεί:

Όταν η **κλίση** της καμπύλης $B-t$ αυξάνεται, τότε το E _____ με το χρόνο. Όταν η **κλίση** της $B-t$ ελαττώνεται, τότε το E _____. Τα ακρότατα της καμπύλης $E-t$ παρατηρούνται στις χρονικές στιγμές που αντιστοιχούν σε _____ της καμπύλης $B-t$. Σε αυτές τις χρονικές στιγμές το μέτρο της ταχύτητας του μαγνήτη και ο

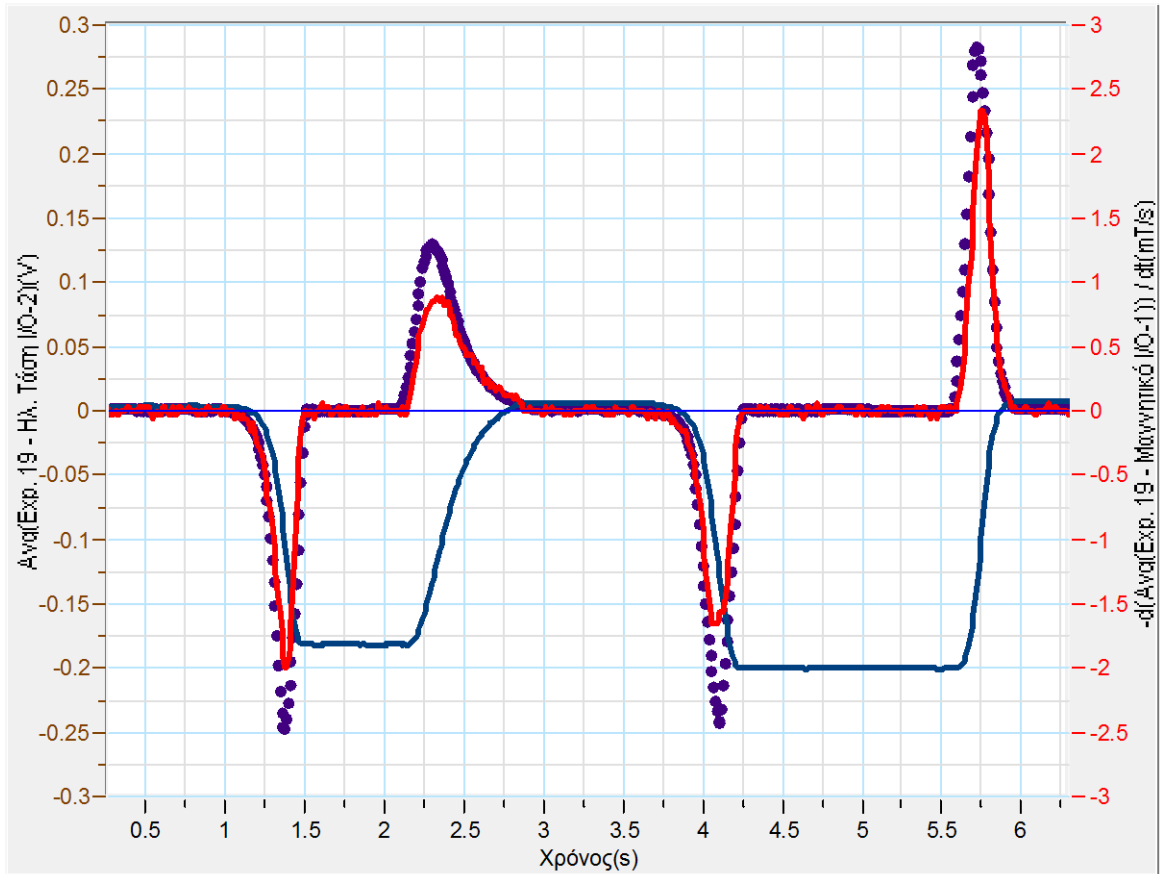
ρυθμός μεταβολής της μαγνητικής ροής που διέρχεται από το πηνίο (σε απόλυτη τιμή) έχουν _____ τιμές.

2. Εκτυπώνουμε τα πειραματικά διαγράμματα $E-t$, $B-t$ (ή χρησιμοποιούμε το λογισμικό του συστήματος):
 - a) Υπολογίζουμε τις ακρότατες τιμές (μέγιστες ή ελάχιστες) της ΗΕΔ από επαγωγή (E) και τις καταχωρούμε στον πίνακα Α.
 - b) Για κάθε ακρότατη τιμή του E υπολογίζουμε την αντίστοιχη μέγιστη κλίση (a) του διαγράμματος $B-t$ και την καταχωρούμε στον πίνακα Α. [Ο υπολογισμός της κλίσης μπορεί να γίνει είτε από το εκτυπωμένο γράφημα με χάρακα, είτε με τη βοήθεια του λογισμικού του συστήματος]
 - c) Υπολογίζουμε τους λόγους (E/a), και συμπληρώνουμε την τελευταία στήλη του πίνακα Α.

ΠΙΝΑΚΑΣ Α				
Ακρότατη τιμή της ΗΕΔ από επαγωγή: E mV	ΔB mT	Δt ms	$a = \Delta B / \Delta t$ mT/s	$K = E/a$ V.s/T

3. Με βάση τα πειραματικά δεδομένα του πίνακα Α, επικυρώνονται οι προβλέψεις του νόμου του Faraday σε ικανοποιητικό βαθμό; **ΝΑΙ - ΟΧΙ**
4. Χρησιμοποιούμε το λογισμικό του συστήματος και σχεδιάζουμε στο ίδιο παράθυρο, την παράγωγο του B ως προς t . Συγκρίνουμε τα δύο πειραματικά γραφήματα $\frac{\Delta B}{\Delta t} - t$ και $E-t$ και σχολιάζουμε το αποτέλεσμα. Καταγράφουμε τα συμπεράσματά μας.

5. Ποιοι είναι οι πιο σημαντικοί λόγοι της (όποιας) παρατηρούμενης απόκλισης μεταξύ της θεωρητικής πρόβλεψης και των πειραματικών αποτελεσμάτων; [Επιλέγουμε ποιες προτάσεις είναι σωστές και ποιες λανθασμένες]
 - a) Οι αισθητήρες πραγματοποιούν μεγάλο πλήθος μετρήσεων σε πολύ μικρό χρόνο, με συνέπεια τα πειραματικά αποτελέσματα να μην είναι αξιόπιστα.
 - b) Ο νόμος του Faraday δεν περιγράφει με ακρίβεια τα φαινόμενα της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής.
 - c) Το λογισμικό του συστήματος εισάγει σημαντικά συστηματικά σφάλματα στην επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων.
 - d) Η μαγνητική ροή που διέρχεται από το πηνίο δεν είναι ανάλογη του μαγνητικού πεδίου που μετράει ο μαγνητικός αισθητήρας.
 - e) Το πεδίο του μαγνήτη είναι ανομοιογενές, με συνέπεια η σχέση 2 πάνω στην οποία στηρίχτηκε η πειραματική διαδικασία να είναι προσεγγιστική.



Σχήμα 2. Η συνεχής κόκκινη καμπύλη παριστάνει την παράγωγο της μαγνητικής ροής. Τα μπλε σημεία είναι οι πειραματικές τιμές της επαγωγικής τάσης που μέτρησε ο αισθητήρας τάσης στα άκρα του πηνίου. Η συμφωνία πειράματος και θεωρητικής πρόβλεψης είναι εξαιρετική.

k_pm