

## Η/Μ Επαγωγή - Πειραματικός έλεγχος του νόμου του Faraday

### Κεντρική ιδέα

Σχεδιάζουμε και συνθέτουμε μια πειραματική διάταξη με την οποία επιδιώκουμε να ελέγξουμε πειραματικά το νόμο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, του Faraday. Στο πλαίσιο του πειράματος δείχνουμε ότι ο ρυθμός μεταβολής της μαγνητικής ροής που διέρχεται από ένα πηνίο είναι ανάλογος με την ΗΕΔ από επαγωγή που μετράμε στα άκρα του.

### Τι προβλέπει η θεωρία - Σχεδιασμός του πειράματος

#### Βασικές έννοιες και σχέσεις

Μαγνητικό πεδίο - Μαγνητική ροή - ΗΕΔ από επαγωγή - Κλίση γραφήματος σε ορισμένο σημείο του - Ρυθμός μεταβολής συνάρτησης ως προς το χρόνο

Σύμφωνα με το νόμο του Faraday, όταν από ένα πηνίο διέρχεται μαγνητική ροή  $\Phi$  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  $\Phi$  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.

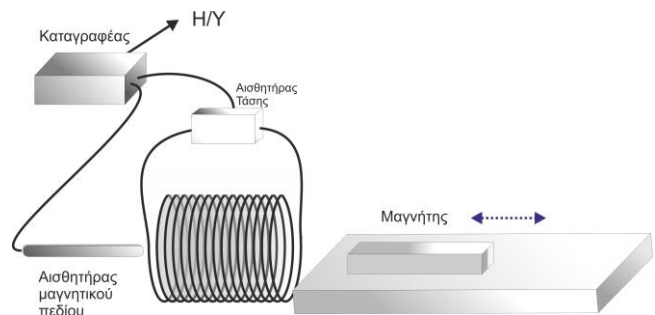
### Για να ελέγξουμε πειραματικά τη θεωρητική σχέση 2, συναρμολογούμε την

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 αν ισχύει η σχέση 2 πρέπει να κάνουμε μετρήσεις

της ΗΕΔ από επαγωγή  $E$ , σε ένα μεγάλο αριθμό χρονικών στιγμών και τις ίδιες χρονικές στιγμές να μετράμε και το μαγνητικό πεδίο  $B$ . Οι χρονικές στιγμές στις οποίες θα γίνουν οι μετρήσεις του  $E$  και του  $B$  πρέπει να είναι αρκετά κοντινές, 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. Αυτό σημαίνει ότι στο χρόνο αυτό καλούμαστε να κάνουμε περίπου 100 μετρήσεις, ώστε να είναι δυνατός ο σχεδιασμός των γραφημάτων  $E-t$  και  $B-t$  και  $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ -t. Τόσες μετρήσεις σε τόσο μικρό χρόνο δεν μπορούν να γίνουν με συμβατικά



Σχήμα 1: Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης.

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 τις ίδιες χρονικές στιγμές -ταυτόχρονα- το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του πηνίου και την ηλεκτρική τάση στους ακροδέκτες του. Ο καταγραφέας καταχωρεί τα δεδομένα και στο περιβάλλον του λογισμικού του συστήματος σχεδιάζονται τα πειραματικά γραφήματα B-t και E-t, **σε πραγματικό χρόνο**.

### **Στόχοι**

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

### **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) Συνδέω τον καταγραφέα (σε κατάσταση OFF) με τον Η/Υ.
- 2) Συνδέω τους αισθητήρες τάσης και μαγνητικού πεδίου (low sensitivity) στις δύο πρώτες θύρες του καταγραφέα.
- 3) Θέτω τον καταγραφέα στη θέση ON. Αφού αυτορυθμιστεί, ενεργοποιώ το λογισμικό του συστήματος MBL. Στο μενού εντολών «καταγραφέας» του συστήματος επιλέγω «πίνακας ελέγχου». Στο παράθυρο που αναδύεται, το σύστημα δείχνει ότι έχει ανιχνεύσει τους αισθητήρες τάσης ( $\pm 2,5V$ ) και μαγνητικού πεδίου, που έχω συνδέσει στις αντίστοιχες θύρες του καταγραφέα. Ρυθμίζω τον καταγραφέα ώστε να λαμβάνει μετρήσεις με ρυθμό 100 μετρήσεις ανά δευτερόλεπτο επί 10s.
- 4) Επιλέγω την εντολή «λήψη μετρήσεων» και ταυτόχρονα κινώ το μαγνήτη κατά μήκος του άξονα του πηνίου: Πλησιάζω – ακινητοποιώ – απομακρύνω – αλλάζω πολικότητα – πλησιάζω κλπ.
- 5) Το σύστημα MBL σχεδιάζει τα γραφήματα ΗΕΔ – χρόνου και μαγνητικού πεδίου – χρόνου ταυτόχρονα με την εξέλιξη του πειράματος (σε πραγματικό χρόνο).
- 6) Ρυθμίζω την κατάλληλα την κλίμακα και τη μορφή των γραφικών παραστάσεων. Εξομαλύνω τα πειραματικά γραφήματα. Από τις επιλογές «ανάλυσης» του λογισμικού, σχεδιάζω στο ίδιο παράθυρο την παράγωγο του «εξομαλυμένου» μαγνητικού πεδίου και τη συγκρίνω με το πειραματικό γράφημα της ΗΕΔ (σχήμα 2).

### Επεξεργασία και αξιολόγηση των πειραματικών δεδομένων

1. Παρατήρησε τα πειραματικά διαγράμματα E-t και B-t και συμπλήρωσε 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. Εκτύπωσε τα πειραματικά διαγράμματα E-t, B-t (ή χρησιμοποίησε το λογισμικό του συστήματος):
- 1) Υπολόγισε τις ακρότατες τιμές (μέγιστες ή ελάχιστες) της ΗΕΔ από επαγωγή (E) και καταχώρισέ τις στον πίνακα Α.
  - 2) Για κάθε ακρότατη τιμή του E υπολόγισε την αντίστοιχη μέγιστη κλίση (a) του διαγράμματος B-t και καταχώρισέ τη 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]
  - 3) Υπολόγισε τους λόγους (E/a), και συμπλήρωσε την τελευταία στήλη του πίνακα Α.

ΠΙΝΑΚΑΣ Α				
Ακρότατη τιμή της ΗΕΔ από επαγωγή: E mV	$\Delta B$ mT	$\Delta t$ 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. Χρησιμοποίησε το λογισμικό του συστήματος και σχεδίασε στο ίδιο παράθυρο, την παράγωγο του B ως προς t. Σύγκρινε τα δύο πειραματικά γραφήματα  $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ -t και E-t και σχολίασε το αποτέλεσμα. Κατάγραψε τα συμπεράσματά σου.

---

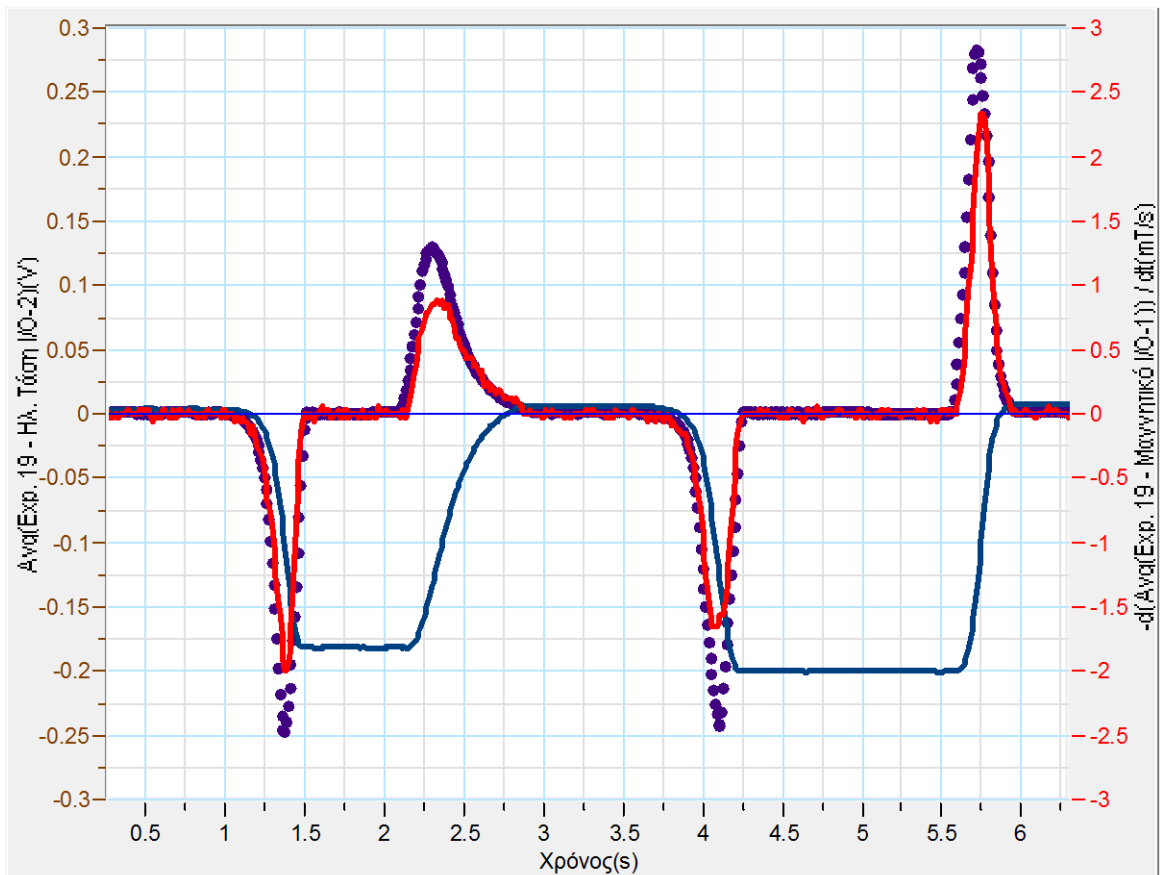
---

---

---

5. Ποιοι είναι κατά τη γνώμη σου οι πιο σημαντικοί λόγοι της (όποιας) παρατηρούμενης απόκλισης μεταξύ της θεωρητικής πρόβλεψης και των πειραματικών αποτελεσμάτων; (Διάλεξε μέχρι δύο απαντήσεις.)
- 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 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\_ΠΜ