

Η/Μ ΕΠΑΓΩΓΗ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΤΟΥ FARADAY

[Π. Μουρούζης, Γ. Παληός, Κ. Παπαμιχάλης, Γ. Τουντουλίδης, Τζ. Τσιποπούλου, Ι. Χριστακόπουλος]

Για το μαθητή

Στόχοι

Οι μαθητές να αποκτήσουν τις ακόλουθες δεξιότητες:

- 1) Στο πλαίσιο της πειραματικής διάταξης που χρησιμοποιούμε, να σχεδιάζουν με κοινό τον άξονα του χρόνου τα γραφήματα: α) του μαγνητικού πεδίου που προκαλεί ο μαγνήτης στο εσωτερικό του πηνίου και β) της ΗΕΔ από επαγωγή που παράγεται στο πηνίο λόγω της μεταβολής του μαγνητικού πεδίου (άρα και της μαγνητικής ροής) στο εσωτερικό του, και να προσδιορίζουν τα βασικά χαρακτηριστικά τους.
- 2) Με βάση τα πειραματικά γραφήματα α και β:
 - α) να καταγράφουν τις πειραματικές τιμές της ΗΕΔ, σε ορισμένες χρονικές στιγμές.
 - β) στις ίδιες χρονικές στιγμές να υπολογίζουν το ρυθμό μεταβολής του μαγνητικού πεδίου ($\Delta B/\Delta t$) στο εσωτερικό του πηνίου.
 - γ) Να ελέγχουν αν τα δύο μεγέθη (ΗΕΔ, $\Delta B/\Delta t$) είναι ανάλογα, όπως προβλέπεται από το νόμο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday.

Τι προβλέπει η θεωρία

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 ροής:

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

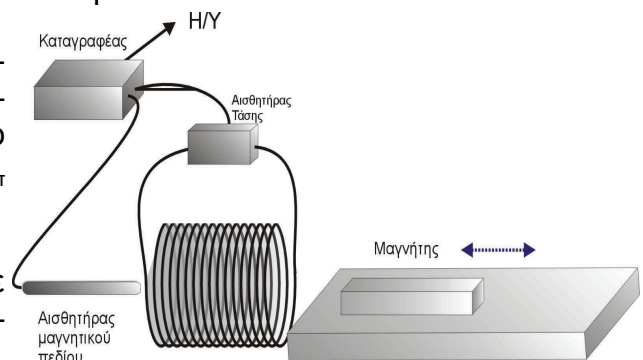
Γνωρίζουμε ότι μαγνητική ροή $\Phi_{ολ}$ που διέρχεται από το πηνίο είναι ανάλογη του μαγνητικού πεδίου B , μέσα στο οποίο βρίσκεται το πηνίο. Έτσι από τη σχέση 1 προκύπτει ότι, αν η μεταβολή της ροής οφείλεται στη μεταβολή του μαγνητικού πεδίου, η ΗΕΔ από επαγωγή είναι ανάλογη του ρυθμού μεταβολής του μαγνητικού πεδίου:

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

όπου η σταθερά K εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πηνίου (εμβαδόν των σπειρών, μήκος του πηνίου) και τον αριθμό των σπειρών του πηνίου.

Σύμφωνα με τη (θεωρητική) σχέση (2), αν τοποθετήσουμε ένα πηνίο μέσα σε ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο και μετράμε σε συνάρτηση με το χρόνο την $E_{επ}$ και το B , τότε σε κάθε χρονική στιγμή η $E_{επ}$ και η κλίση της καμπύλης $B-t$ είναι μεγέθη ανάλογα.

Με το σύστημα ΣΛΑ μπορούμε να κατασκευάσουμε τα πειραματικά γραφήματα της ΗΕΔ και του μαγνητικού πεδίου σε συνάρτηση με το χρόνο ($E_{επ}-t$ και $B-t$), να υπολογίσουμε τις πειραματικές τιμές των E και $\Delta B/\Delta t$ σε ορισμένες χρονικές στιγμές και να



Εικόνα 1: Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης

ελέγχουμε αν ο λόγος τους $E_{επ} / (\frac{\Delta B}{\Delta t})$ διατηρεί την τιμή του σταθερή.

Απαιτούμενα όργανα και υλικά

Σύστημα ΣΛΑ με αισθητήρες τάσης και μαγνητικού πεδίου (DBLab Fourier), πηνίο 24000 σπειρών, ισχυρός ευθύγραμμος μαγνήτης. χάρακας. ορθοστάτης.

Τάξη και τμήμα: _____
Ημερομηνία: _____
Όνομα μαθητή: _____

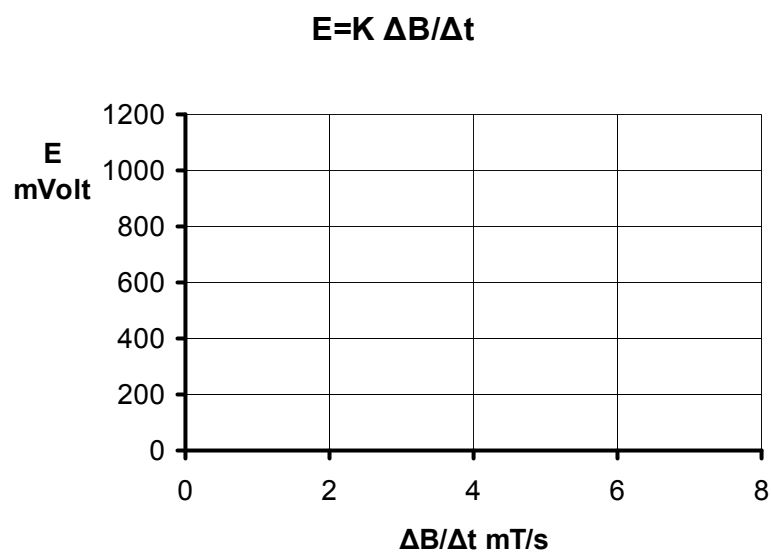
Επεξεργασία πειραματικών δεδομένων

1. Παρατηρήστε τα πειραματικά διαγράμματα $E_{\text{επ}}-t$ και $B-t$ και συμπληρώστε το κείμενο που ακολουθεί:

Όταν η **κλίση** της καμπύλης $B-t$ **αυξάνεται**, τότε η $E_{\text{επ}}$ _____ με το χρόνο. Όταν η **κλίση** της $B-t$ **ελαττώνεται**, τότε η $E_{\text{επ}}$ _____. Τα ακρότατα της καμπύλης $E_{\text{επ}}-t$ 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. Από τα πειραματικά διαγράμματα $E_{\text{επ}}-t$, $B-t$:
- 2.1. Υπολογίστε τις ακρότατες τιμές (μέγιστες ή ελάχιστες) της ΗΕΔ από επαγωγή ($E_{\text{επ}}$) και καταχωρίστε τις στον πίνακα Α.
 - 2.2. Για κάθε ακρότατη τιμή της $E_{\text{επ}}$ υπολογίστε την αντίστοιχη μέγιστη κλίση (a) του διαγράμματος $B-t$ και καταχωρίστε 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 DBLAB]
 - 2.3. Τέλος υπολογίστε τους λόγους ($E_{\text{επ}}/a$), και συμπληρώστε την τελευταία στήλη του πίνακα Α.
3. Στο σύστημα αξόνων $E_{\text{επ}}-a$ του σχήματος 1 τοποθετήστε τα πειραματικά σημεία ($E_{\text{επ}}, a$), που προκύπτουν από τον πίνακα Α. Ελέγξτε αν τα σημεία αυτά βρίσκονται κοντά σε μια ευθεία που διέρχεται από το μηδέν (0,0) των αξόνων. Αν ναι, σχεδιάστε (κατ' εκτίμηση) την ευθεία που διέρχεται πλησιέστερα στο σύνολο των πειραματικών σημείων και από το σημείο (0,0) των αξόνων.
4. Με βάση τα πειραματικά δεδομένα του πίνακα Α και το γράφημα που προέκυψε στην ερώτηση 3, επικυρώνονται οι προβλέψεις του νόμου του Faraday σε ικανοποιητικό βαθμό; **ΝΑΙ - ΟΧΙ**
5. Ποιοι είναι κατά τη γνώμη σας οι πιο σημαντικοί λόγοι της (όποιας) παρατηρούμενης απόκλισης μεταξύ της θεωρητικής πρόβλεψης και των πειραματικών αποτελεσμάτων; (Διαλέξτε 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.

ε) Το πεδίο του μαγνήτη είναι ανομοιογενές, με συνέπεια η σχέση 2 πάνω στην οποία στηρίχτηκε η πειραματική διαδικασία να είναι προσεγγιστική.



Η/Μ ΕΠΑΓΩΓΗ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΤΟΥ FARADAY

[Π. Μουρούζης, Γ. Παληός, Κ. Παπαμιχάλης, Γ. Τουντουλίδης, Τζ. Τσιποπούλου, Ι. Χριστακόπουλος]

Για το καθηγητή

Στόχοι

Οι μαθητές να αποκτήσουν τις ακόλουθες δεξιότητες:

- 1) Στο πλαίσιο της πειραματικής διάταξης που χρησιμοποιούμε, να σχεδιάζουν με κοινό τον άξονα του χρόνου τα γραφήματα: α) του μαγνητικού πεδίου που προκαλεί ο μαγνήτης στο εσωτερικό του πηνίου και β) της ΗΕΔ από επαγωγή που παράγεται στο πηνίο λόγω της μεταβολής του μαγνητικού πεδίου (άρα και της μαγνητικής ροής) στο εσωτερικό του, και να προσδιορίζουν τα βασικά χαρακτηριστικά τους.
- 2) Με βάση τα πειραματικά γραφήματα α και β:
 - α) να καταγράφουν τις πειραματικές τιμές της ΗΕΔ, σε ορισμένες χρονικές στιγμές.
 - β) στις ίδιες χρονικές στιγμές να υπολογίζουν το ρυθμό μεταβολής του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του πηνίου.
 - γ) Να ελέγχουν αν τα δύο μεγέθη είναι ανάλογα, όπως προβλέπεται από το νόμο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday.

Τι προβλέπει η θεωρία

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 ροής:

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

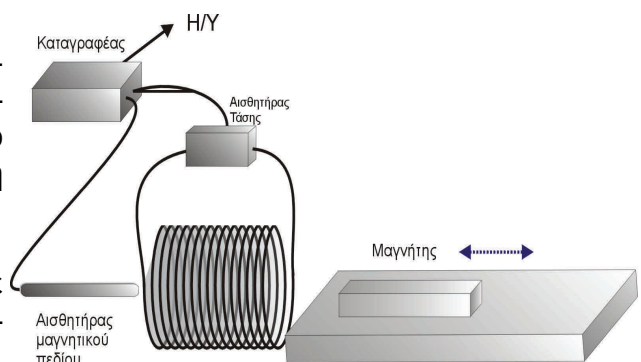
Γνωρίζουμε ότι μαγνητική ροή $\Phi_{ολ}$ που διέρχεται από το πηνίο είναι ανάλογη του μαγνητικού πεδίου B , μέσα στο οποίο βρίσκεται το πηνίο. Έτσι από τη σχέση 1 προκύπτει ότι, αν η μεταβολή της ροής οφείλεται στη μεταβολή του μαγνητικού πεδίου, η ΗΕΔ από επαγωγή είναι ανάλογη του ρυθμού μεταβολής του μαγνητικού πεδίου:

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

όπου η σταθερά K εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πηνίου (εμβαδόν των σπειρών, μήκος του πηνίου) και τον αριθμό των σπειρών.

Σύμφωνα με τη (θεωρητική) σχέση 2, αν τοποθετήσουμε ένα πηνίο μέσα σε ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο και μετράμε σε συνάρτηση με το χρόνο το E και το B , τότε σε κάθε χρονική στιγμή το E και η κλίση της καμπύλης $B-t$ είναι μεγέθη ανάλογα.

Με το σύστημα ΣΛΑ μπορούμε να κατασκευάσουμε τα πειραματικά γραφήματα της ΗΕΔ και του μαγνητικού πεδίου σε συνάρτηση με το χρόνο ($E_{επ}-t$ και $B-t$). Να υπολογίσουμε τις πειραματικές τιμές των E και $\Delta B/\Delta t$ σε ορισμένες χρονικές στιγμές και να



Εικόνα 1: Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης

ελέγξουμε αν ο λόγος τους $E_{επ} / (\frac{\Delta B}{\Delta t})$ διατηρεί την τιμή του σταθερή.

Απαιτούμενα όργανα και υλικά

Σύστημα ΣΛΑ με αισθητήρες τάσης και μαγνητικού πεδίου (DBLab Fourier). Πηνίο 24000 σπειρών.

Ισχυρό ευθύγραμμο μαγνήτη. Χάρακα. Ορθοστάτη.

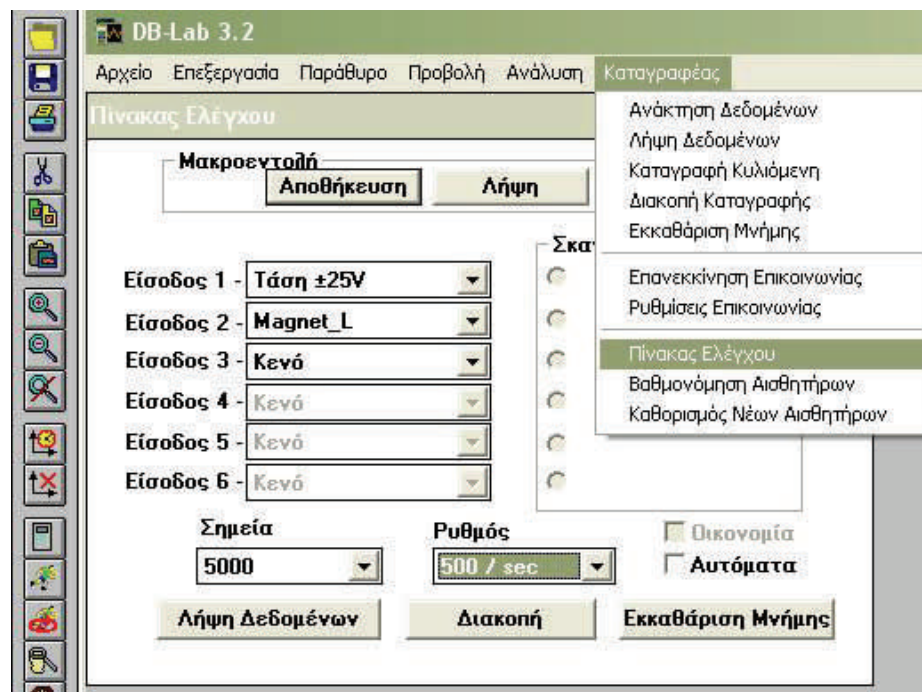
Η πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από ένα πηνίο 24000 σπειρών και ένα ραβδόμορφο μαγνήτη που μπορούμε να τον κινούμε ευθύγραμμα με το χέρι, μπροστά από το πηνίο (εικόνα 1).

Για να πετύχουμε την ευθύγραμμη κίνηση του μαγνήτη κατά μήκος του άξονα του πηνίου, τον κινούμε σε επαφή με χάρακα που έχουμε σταθεροποιήσει στη διεύθυνση του άξονα του πηνίου. Καθώς ο μαγνήτης πλησιάζει ή απομακρύνεται από το πηνίο, το μαγνητικό πεδίο μέσα στο οποίο βρίσκεται το πηνίο μεταβάλλεται χρονικά και προκαλείται ΗΕΔ από επαγωγή. Επειδή το πείραμα διαρκεί πολύ μικρό χρονικό διάστημα και εμείς χρειαζόμαστε αριθμό μετρήσεων ικανό για την κατασκευή των πειραματικών γραφημάτων E-t και B-t, η μέτρηση του μαγνητικού πεδίου B και της ΗΕΔ E γίνεται με αισθητήρες συστήματος ΣΛΑ.

Ρυθμίσεις του συστήματος DBLAB 3.2

1. Συνδέστε τον καταγραφέα (σε κατάσταση OFF) με σειριακή θύρα του Η/Υ.
2. Συνδέστε τους αισθητήρες τάσης και μαγνητικού πεδίου (low sensitivity) στις δύο πρώτες θύρες του καταγραφέα.
3. Θέστε τον καταγραφέα στη θέση ON. Αφού αυτορυθμιστεί, ενεργοποιήστε το λογισμικό του συστήματος ΣΛΑ (DBLAB 3.2).
4. Στο μενού εντολών «καταγραφέας» του συστήματος επιλέξτε την εντολή «πίνακας ελέγχου». Στον πίνακα ελέγχου ενεργοποιήστε τους αισθητήρες τάσης ($\pm 25V$) και μαγνητικού πεδίου στις αντίστοιχες θύρες. Ρυθμίστε τον καταγραφέα ώστε να λαμβάνει 5000 μετρήσεις με ρυθμό 500 μετρήσεις ανά δευτερόλεπτο (συνολικός χρόνος μελέτης του φαινομένου 10s – εικόνα 2).



Εικόνα 2

5. Επιλέξτε στον πίνακα ελέγχου την εντολή «λήψη μετρήσεων» και σχεδόν ταυτόχρονα κινήστε το μαγνήτη κατά μήκος του άξονα του πηνίου: «Πλησιάζω – ακινητοποιώ – απομακρύνω – αλλάζω πολικότητα – πλησιάζω κλπ»
6. Επειδή ο ρυθμός λήψης μετρήσεων είναι πολύ μεγάλος, το σύστημα δεν προλαμβάνει να σχεδιάσει τα γραφήματα σε πραγματικό χρόνο. Για να σχηματιστούν τα γραφήματα στην οθόνη, από το μενού

εντολών «καταγραφείας» επιλέξτε την εντολή «ανάκτηση δεδομένων».

7. Αφού εμφανιστούν τα γραφήματα $E_{\text{επ}}-t$ και $B-t$ στην οθόνη, από το μενού εντολών «προβολή», επιλέξτε διαδοχικά τις εντολές «κλίμακα» και «οθόνη». Από την εντολή «κλίμακα» επιλέξτε την κλίμακα των αξόνων της τάσης και του μαγνητικού πεδίου, ώστε: α) να τέμνουν και οι δύο άξονες τον οριζόντιο άξονα χρόνου στο μηδέν β) τα αντίστοιχα γραφήματα να καταλαμβάνουν το διαθέσιμο χώρο της περιοχής σχεδίασης (να εμφανίζονται περίπου όπως στην εικόνα 3).
8. Για να μπορέσουν οι μαθητές να διακρίνουν με σαφήνεια την αντιστοίχιση των σημείων καμπής του γραφήματος $B-t$ με τα ακρότατα του γραφήματος $E-t$ και να απαντήσουν στη σχετική ερώτηση του φύλλου εργασίας, κάνετε μια μεγέθυνση ενός τμήματος του γραφήματος. Προς τούτο, κάντε διπλό κλικ σε δύο σημεία, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνεται το προς μεγέθυνση τμήμα του γραφήματος και από το μενού «προβολή», επιλέξτε «μεγέθυνση». Μοιράστε στους μαθητές φωτοτυπίες παρόμοιες με αυτές της εικόνας 3.

Πειραματικά αποτελέσματα, που προέκυψαν κατά τη διεξαγωγή του πειράματος με χρήση του συστήματος DBLab Fourier.



Εικόνα 3

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	
-978	0,430	90	-5,0	196	
1026	-0,254	50	5,1	205	
-1124	0,235	40	-5,9	191	
1124	-0,235	40	5,9	191	
928	-0,254	50	5,1	181	
-733	0,274	70	-3,9	189	

$$E = K \Delta B / \Delta t$$

