

## ΑΣΚΗΣΗ 4

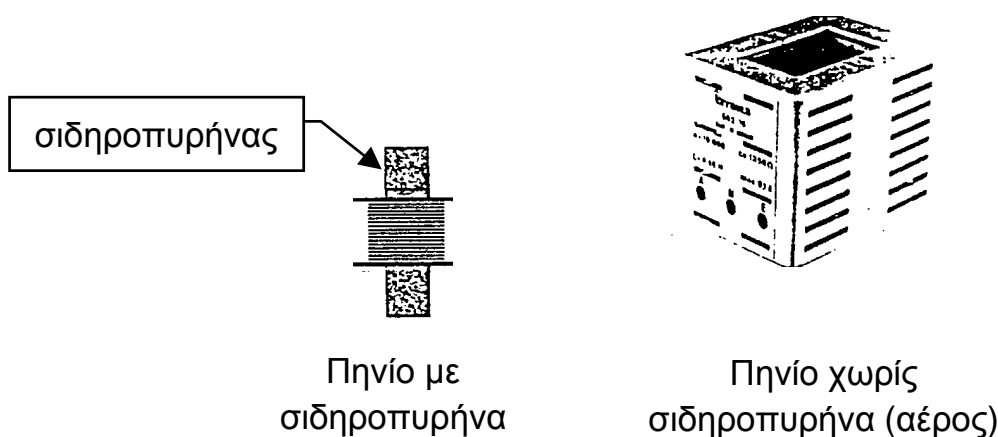
### Ωμική αντίσταση αυτεπαγωγή πηνίου

#### ΣΥΣΚΕΥΕΣ:

Ένα πηνίο, ένα βολτόμετρο (AC-DC), ένα αμπερόμετρο (AC-DC), τροφοδοτικό (AC-DC).

#### ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πηνίο είναι μια πυκνή σπειροειδής περιέλιξη ενός αγωγού σε ένα σιδηροπυρήνα. Ο σιδηροπυρήνας τοποθετείται για να αυξάνει το μαγνητικό πεδίο του πηνίου μπορεί όμως και να λείπει οπότε έχουμε ένα πηνίο αέρα.



Όταν ένα πηνίο διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί γύρω του ένα μαγνητικό πεδίο που είναι ανάλογο της έντασης του ρεύματος. Οποιαδήποτε μεταβολή του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο προκαλεί μεταβολή της μαγνητικής ροής που διαπερνά το πηνίο και επομένως επαγωγικά φαινόμενα με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται στο πηνίο μια επαγωγική Η.Ε.Δ. που ονομάζεται Η.Ε.Δ. από αυτεπαγωγή. Η από αυτεπαγωγή Η.Ε.Δ. είναι ανάλογη του συντελεστή αυτεπαγωγής  $L$  της ταχύτητας μεταβολής της έντασης ( $\frac{dl}{dt}$ ) και έχει φορά που αντιτίθεται στις μεταβολές του ρεύματος

$$\text{Η.Ε.Δ από αυτεπαγωγή } E = -L \frac{dl}{dt} \quad (1)$$

Το αρνητικό πρόσημο σημαίνει ότι η από αυτεπαγωγή Η.Ε.Δ. αντιτίθεται στην μεταβολή που την προκάλεσε. Αν το ρεύμα αυξάνεται ( $dl > 0$ ) τότε η από αυτεπαγωγή τείνει να κινήσει ένα ρεύμα αντίθετο με το ρεύμα του

πηνίου. Αν το ρεύμα ελαττώνεται ( $di < 0$ ) τότε η από αυτεπαγωγή Η.Ε.Δ. τείνει να κινήσει ένα ρεύμα ομόρροπο που θα συγκρατήσει την ελάττωση του ρεύματος του πηνίου. Συμβαίνει δηλαδή ότι και με ένα αδρανές σώμα. Η αδράνεια του σώματος αντιτίθεται σε κάθε μεταβολή της κινητικής του κατάστασης. Γι αυτό λέμε ότι το μαγνητικό πεδίο που προκαλεί τα επαγωγικά φαινόμενα, παρουσιάζει ιδιότητες αδράνειας.

Κάθε μεταβολή του μαγνητικού πεδίου τείνει να αναιρεθεί από τις επαγωγικές Η.Ε.Δ. που αναπτύσσονται. Ο συντελεστής αυτεπαγωγής  $L$  του πηνίου αποτελεί μέτρο της αδράνειας του μαγνητικού του πεδίου. Μπορούμε δε να πούμε ότι το μηχανικό ανάλογο του συντελεστή αυτεπαγωγής  $L$  είναι η μάζα ενός σώματος. Οι διαστάσεις του συντελεστή αυτεπαγωγής  $L$  βρίσκονται από τη σχέση (1):  $L$  (Henry) =  $\frac{Edt}{di}$  ( $\frac{\text{Volt sec}}{\text{Amp}}$ )

Η μονάδα αυτεπαγωγής  $\frac{\text{Volt sec}}{\text{Amp}}$  ονομάζεται Henry.

Κάθε αγωγός έστω και αν δεν έχει μορφή πηνίου παρουσιάζει μια αυτεπαγωγή. Στις καθарές ωμικές αντιστάσεις η αυτεπαγωγή είναι αμελητέα. Ο συντελεστής αυτεπαγωγής  $L$  ενός πηνίου δίνεται από τη σχέση:

$$L = \frac{N^2 \mu_0 \mu S}{\ell}$$

όπου:  $N$ : ο αριθμός των σπειρών του πηνίου

$S$ : η διατομή των σπειρών

$\mu_0$ : μαγνητική διαπερατότητα κενού

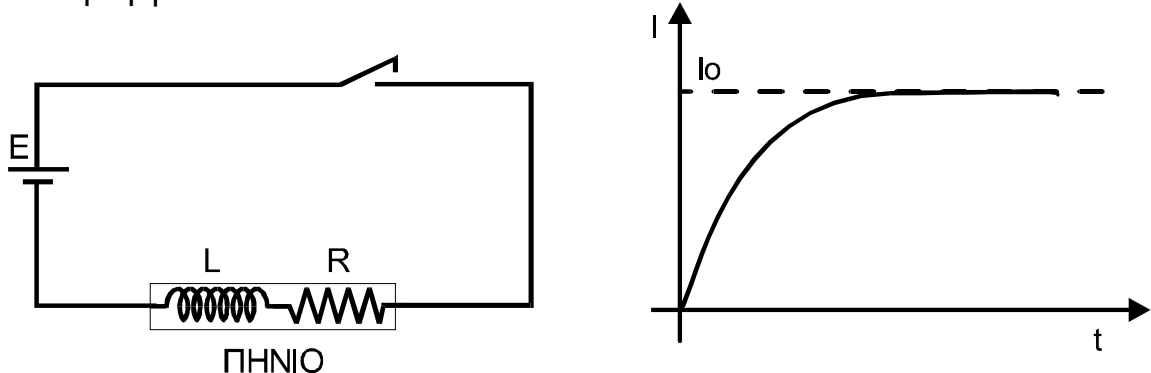
$\mu$ : μαγνητική διαπερατότητα του υλικού του σιδηροπυρήνα.

και  $\ell$ : είναι το μήκος του πηνίου.

Ο συντελεστής αυτεπαγωγής λοιπόν του πηνίου εξαρτάται από τους πέντε προηγούμενους παράγοντες δηλαδή το  $N$  το  $S$  το  $\mu_0$  το  $\mu$  και το  $\ell$ .

### Το πηνίο στο συνεχές

Έστω ότι συνδέουμε μια μπαταρία Η.Ε.Δ.  $E$  με ένα πηνίο που έχει αυτεπαγωγή  $L$ .

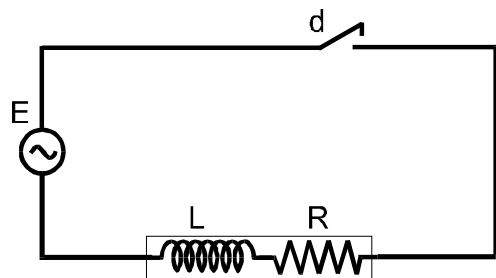


σχήμα 1

Το πηνίο, τα σύρματα σύνδεσης και η μπαταρία έχουν κάποια αντίσταση που την θεωρούμε σαν μια αντίσταση και τη συμβολίζουμε στο διάγραμμα με το σύμβολο της αντίστασης R. (Πρέπει να σημειώσουμε ότι και το υπόλοιπο κύκλωμα, καθώς και τα καλώδια σύνδεσης συνεισφέρουν λίγο στην αυτεπαγωγή.) Εάν κλείσουμε τον διακόπτη d η ένταση δεν θα πάρει αμέσως την τιμή που ορίζεται από τον νόμο του Ohm  $I_0 = \frac{E_0}{R}$  αλλά λόγω της αυτεπαγωγής θα χρειαστεί κάποιος χρόνος (ονομάζεται χρόνος της αποκατάστασης του ρεύματος) κατά την διάρκεια του οποίου η ένταση αυξάνεται εκθετικά μέχρι την τιμή  $I_0$ . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μόλις κλείσουμε τον διακόπτη d η από επαγωγή Η.Ε.Δ.  $(-L \frac{dl}{dt})$  έχει αντίθετη φορά από την  $E_0$  της πηγής ώστε η ηλεκτρεγερτική δύναμη E του κυκλώματος να είναι μικρότερη από την  $E_0$

### Το πηνίο στο εναλλασσόμενο.

Έστω ότι στα άκρα ενός πηνίου με ωμική αντίσταση R και αυτεπαγωγή L εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση  $E = E_0 \eta \mu \omega t$  (σχ.2).. Η τάση της πηγής E αντισταθμίζεται από την πτώση τάσης στα άκρα της αντίστασης R και από την αυτεπαγωγή Η.Ε.Δ. στα άκρα του πηνίου.



σχήμα 2

Επομένως είναι:

$E_0 \eta \mu \omega t = V_R + V_L$  (1). Η πτώση τάσης στα άκρα της αντίστασης R είναι  $V_R = R I$ . Η διαφορά δυναμικού  $V_L$  στα άκρα του πηνίου θα πρέπει να αντισταθμίζει την από αυτεπαγωγή Η.Ε.Δ.  $= -L \frac{dl}{dt}$

κατά συνέπεια:  $V_L = L \frac{dl}{dt}$

Αντικαθιστώ στην εξίσωση (1) τα  $V_R$  και  $V_L$  και παίρνω την διαφορική εξίσωση:

$$L \frac{dl}{dt} + RI = E_0 \eta \mu \omega t$$

Η λύση της εξίσωσης αυτής έχει την μορφή:

$$I = I_0 \eta \mu(\omega t - \phi) \quad (2)$$

όπου

$$I_0 = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \quad \text{ή} \quad I_0 = \frac{E_0}{Z}$$

και

$$\text{εφφ} = \frac{L\omega}{R} \quad (3)$$

Από τις (2) και (3) βλέπουμε ότι το ρεύμα σε ένα επαγωγικό κύκλωμα καθυστερεί ως προς την τάση.

Η ποσότητα  $\omega L$  έχει διαστάσεις αντίστασης συμβολίζεται συνήθως σαν  $X_L = \omega L$ , και εκφράζεται σε Ohms (είναι η επαγωγική αντίσταση του πηνίου).

Η σύνθετη αντίσταση  $Z$  είναι η αντίσταση που παρουσιάζει το πηνίο στο εναλλασσόμενο ρεύμα. Ισούται με τον λόγο της ενεργούς τάσης προς την ενεργό ένταση,

$$Z = \frac{V_{\text{εV}}}{I_{\text{εV}}}$$

ή

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

όπου:

$X_L = \omega L =$  επαγωγική αντίσταση.

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

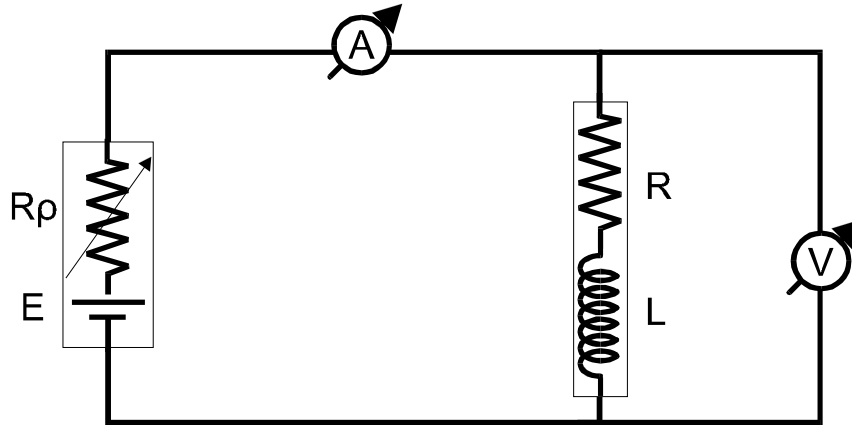
α) Μετρούμε με βολτόμετρο και αμπερόμετρο την αντίσταση  $R$  του πηνίου στο συνεχές ( $R=V/I$ ).

β) Μετρούμε με βολτόμετρο και αμπερόμετρο την αντίσταση  $Z$  του πηνίου στο εναλλασσόμενο ( $Z=V/I$ ).

γ) Υπολογίζουμε το συντελεστή αυτεπαγωγής  $L$  και τη διαφορά φάσης  $\phi$  με την βοήθεια των σχέσεων:  $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ ,  $X_L = \omega L$ ,  $\omega = 2\pi f$  και  $\text{εφφ} = \frac{L\omega}{R}$ .

### ΠΟΡΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

1. Πραγματοποιούμε το κύκλωμα του σχήματος. Το συνδέουμε με τη συνεχή (DC) τάση και σημειώνουμε τις ενδείξεις του αμπερομέτρου και του βολτομέτρου. Μεταβάλλουμε το ρεύμα  $I$  και μετρούμε τις αντίστοιχες τάσεις πέντε φορές. Καταχωρούμε τις μετρήσεις στον παρακάτω πίνακα και υπολογίζουμε τη μέση τιμή  $\bar{R}$  της μετρούμενης αντίστασης.



α/α	V(mV)	I(mA)	$R=V/I$ (Ω)	$\bar{R}$ (Ω)
1				
2				
3				
4				
5				

2. Αποσυνδέουμε το κύκλωμα από τη συνεχή πηγή και το συνδέουμε με πηγή εναλλασσόμενης (AC) τάσης. Ρυθμίζουμε τα όργανα να μετρούν εναλλασσόμενο και επαναλαμβάνουμε την εργασία 1.

α/α	$V_{rms}$ (mV)	$I_{rms}$ (mA)	$Z=V_{rms}/I_{rms}$ (Ω)	$\bar{Z}$ (Ω)
1				
2				
3				
4				

3. Από τη σχέση:  $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$  και  $X_L = \omega L$  υπολογίζουμε τον συντελεστή αυτεπαγωγής L. Δίδεται  $\omega = 2\pi f$  όπου f η συχνότητα της AC τάσης.

4. Υπολογίζουμε τη διαφορά φάσης φ μεταξύ τάσης και έντασης στα άκρα του πηνίου από τη σχέση (3).